



การลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสัญญาณในอุตสาหกรรมกระดาศราฟท์

นางสาวภาณิชา ศิริชลธาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

การลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสัณฐานในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์

นางสาวภาณิชา ศิริชลธาร วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.อุษณีย์ คำมูล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ)

..... กรรมการ
(ผศ. ดร.อินันทนา อุดมศักดิ์กุล)

..... กรรมการ
(รศ. ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล)

..... กรรมการ
(นายธเนศ พงษ์ไพบูลย์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสันนูน ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวภาณิชา ศิริชลธาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคุณภาพ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาปัญหาของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย โดยเลือกบริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด เป็นกรณีศึกษา บริษัทดังกล่าวประสบปัญหาสูญเสียกระดาษในกระบวนการตกแต่งม้วนก่อนจัดส่ง เนื่องจากการกรีดทั้งกระดาษที่มีความบกพร่องประเภทสันนูนคิดเป็นร้อยละ 0.2204 ของน้ำหนักที่ขายทั้งหมด โดยพบมากที่สุดที่กระดาษสำหรับปะผิวนอกเกรด TA125 g/m² คือ ร้อยละ 0.0525 ของน้ำหนักที่ขายทั้งหมด หรือ 0.034 ตันต่อน้ำหนักม้วน งานวิจัยนี้ได้ตั้งเป้าหมายระดับโครงการวิจัยไว้ที่ 0.0142 ตันต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนการกรีดทั้งกระดาษจากปัญหาสันนูนต่อน้ำหนักที่ขายทั้งหมดลดเหลือร้อยละ 0.1882 ซึ่งถือเป็นเป้าหมายระดับธุรกิจ จากการศึกษาสภาพปัจจุบันพบว่าอาการสันนูนมีลักษณะเป็นแถบหรือวงแหวนรอบๆ ด้านนอกของม้วนกระดาษที่เกิดจากการดูดหรือคายความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอ และจากการศึกษากระบวนการผลิตและงานวิจัยในอดีตพบว่าปัจจัยที่มีแนวโน้มเป็นสาเหตุของปัญหา ได้แก่ ความชื้นกระดาษ ความเข้มข้นน้ำเยื่อ การเติมสารต้านทานการซึม ดังนั้นจึงพิสูจน์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาสันนูนด้วยการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าผลจากอิทธิพลร่วมของความชื้นกระดาษและความเข้มข้นน้ำเยื่อ และอิทธิพลหลักของการเติมสารต้านทานการซึมมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.013 จึงได้กำหนดมาตรการตอบโต้ ด้วยการกำหนดค่าความชื้นกระดาษให้เหมาะสมกับความเข้มข้นน้ำเยื่อ โดยพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นกระดาษและความเข้มข้นน้ำเยื่อพบว่าที่ระดับความชื้น 10 % และความเข้มข้นน้ำเยื่อ 0.5 % เป็นระดับที่ทำให้เกิดปัญหาค่าที่สุด จึงกำหนดระดับปัจจัยไว้ที่ค่าดังกล่าว รวมถึงการไม่เติมสารต้านทานการซึม ผลจากการปรับปรุงนี้ทำให้น้ำหนักกระดาษที่กรีดทั้งจากปัญหาสันนูนต่อม้วนใน

เกรด TA125 g/m² ลดเหลือ 0.00292 ตันต่อน้ำหนักม้วน ซึ่งทำให้สัดส่วนการกรีดทิ้งกระดาษจาก
ปัญหาสันนูนต่อน้ำหนักที่ขายทั้งหมดลดลงร้อยละ 0.168 ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

คำสำคัญ : กระดาษกราฟ / สันนูน / 2^k แฟลทอเรียล

Thesis Title	Reduction of Moisture welts Nonconforming Product Proportion in a Kraft Paper Industry
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Phanicha Sirichonlatarn
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Kitisak Ploypanichcharoen
Program	Master of Engineering
Field of Study	Quality Engineering
Department	Production Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2014

Abstract

The main problem found in the manufacturing process of kraft paper was the paper loss according to the moisture welts nonconformity problem. In this study, a finishing process of the roll paper was selected in such the way as a representative of the Siam Kraft Industry Co., Ltd manufacturers. Recently, the paper cut off, which was caused by moisture welts, was about 0.2204 % of the total sales weight. The most nonconforming products were found on the kraft liner board TA125 g/m² grade which was about 0.0525 % of the total sales weight or 0.034 tons per roll weight. Therefore, the objective of this research was set to reduce the nonconforming product in TA125 g/m² grade approximately to 0.0142 tons per roll weight. For the business target, the total paper cut off in the process should be decreased to be about 0.1882 % of the total sales weight. In the study, the moisture welts nonconformities, a bands or raised welts were occurred near the outer diameter of roll paper. This phenomenon had been the result of sheet absorbing or discharging moisture in a non-uniform manner. The 2^k factorials experiment was applied to test the significant effect of 3 potential cause factors i.e. the percentage of moisture content, the percentage of the consistency and adding internal sizing. There were two experiment results in this study. Firstly, there was an interaction effect between the percentage of moisture content factor and the percentage of the consistency factor. Secondly, adding internal sizing was the main effect of the moisture welts problem with the p-value 0.013. Then the percentage of moisture content and the percentage of the consistency were set to 10 % and 0.5 % respectively. Moreover, the process with non-adding internal sizing revealed the best condition. In conclusion, the moisture welts nonconformity problem in TA125 g/m² grade was reduced from 0.034

to 0.00292 tons per roll weight and the total paper cut off was reduced from 0.2204 % to 0.168 % of the total sales weight.

Keywords : Kraft paper / Moisture welts / 2^k factorials

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยและการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ประสบความสำเร็จล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละเวลาเพื่อให้คำแนะนำและแนวคิดในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัย กราบขอบพระคุณกรรมการสอบทุกท่านประกอบด้วย ดร.อุษณีย์ คำพูด ผศ.ดร.อภิรัตน์นา อุดมศักดิ์กุล รศ.ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล คุณธนศ พงษ์ไพบูลย์ และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆแก่ผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จล่วงไปด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้หากไม่ได้รับความร่วมมือจากคุณธนศ พงษ์ไพบูลย์ ผู้จัดการส่วนผลิต 2 คุณเกียรติศักดิ์ หล่อฤทัย ผู้จัดการส่วนส่งเสริมการผลิต คุณนิศา ฌรงค์ฤกษ์นาวัน ผู้จัดการประกันคุณภาพ คุณฉัตรมงคล แซ่ตั้ง หัวหน้าแผนกผลิตกระดาษ 6 คุณธวัชพร สุนทรสวัสดิ์ คุณธวัชวิทย์ ศรีสวัสดิ์ คุณวีระชัย วุฒิพงษ์ชัยกิจ วิศวกร และผู้เกี่ยวข้องในบริษัทกรมศึกษาทุกท่าน ที่ให้ความสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ รุ่นพี่และเพื่อนๆในสาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการดำเนินงานรวมถึงคุณนิโรจน์ ต้นตระกูล ผู้เป็นกำลังใจสำคัญในการดำเนินงานวิจัย สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวรเดช และคุณแม่โชติกา ศิริชลธาร ผู้ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู สนับสนุนทางด้านการศึกษา ให้คำปรึกษา และเป็นแรงบันดาลใจแก่ผู้วิจัย รวมไปถึงคุณกัญญาภา ศิริชลธาร พี่สาว และคุณกฤตภาส ศิริชลธาร น้องชาย ผู้ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลต่อผู้วิจัยเสมอ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ย่อมเป็นผลจากความกรุณาของทุกท่าน ดังกล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้าง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ในโอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๑๑
รายการตาราง	๑๒
รายการรูปประกอบ	๑๓
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๔
รายการสัญลักษณ์	๑๕
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	5
2.1 ทฤษฎีสำหรับการบ่งชี้ปัญหาด้านคุณภาพ	5
2.1.1 ความหมายและแนวคิดของคุณภาพ	5
2.1.2 การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า	6
2.1.3 การจำแนกลูกค้าตามการใช้งาน	7
2.2 ทฤษฎีสำหรับกลวิธีการแก้ไขและปรับปรุงคุณภาพ	8
2.2.1 กระบวนการแก้ปัญหา	8
2.2.2 การตัดสินใจโดยข้อเท็จจริง	9
2.2.3 หลักการ 5G	10
2.2.4 เครื่องมือพื้นฐานสำหรับการแก้ไขปัญหา	11
2.2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (measurement system analysis : MSA)	12
2.2.6 การออกแบบการทดลอง	13
2.3 ทฤษฎีสำหรับเทคโนโลยีเฉพาะด้าน	15

	หน้า
2.3.1 กระดาษคราฟท์ (kraft paper)	15
2.3.2 กระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์	20
2.3.3 โครงสร้างกระดาษ	29
2.3.4 เซลลูโลส	29
2.3.5 คุณสมบัติของกระดาษ	35
2.3.6 คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษ	39
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติด้านความคงรูปหรือเสถียรภาพ ด้านมิติของกระดาษ (dimension stability)	44
2.4.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการดูดความชื้นของกระดาษ	47
2.4.3 สรุปสิ่งที่ได้จากการศึกษางานวิจัยในอดีต	48
3. การนิยามปัญหา	50
3.1 วิวัฒนาการของกระดาษคราฟท์ในด้านอุปสงค์ (demand side)	50
3.1.1 การใช้กระดาษในระบบการเขียน	50
3.1.2 การใช้กระดาษเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์	51
3.1.3 สรุปวิวัฒนาการของกระดาษคราฟท์ในด้านอุปสงค์	54
3.2 วิวัฒนาการของกระดาษคราฟท์ในด้านอุปทาน (supply side)	57
3.2.1 วิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์กระดาษแต่ละประเภท	57
3.2.2 วิวัฒนาการการผลิตกระดาษ	59
3.2.3 วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทย	61
3.2.4 สรุปวิวัฒนาการของกระดาษคราฟท์ในด้านอุปทาน	64
3.3 ความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในระดับโลก	65
3.3.1 ปริมาณการบริโภคและปริมาณการผลิตกระดาษคราฟท์ที่ทั่วทุกภูมิภาค ของโลกที่ผ่านมาในอดีต	66
3.3.2 แนวโน้มปริมาณการบริโภคกระดาษคราฟท์ที่ทั่วทุกภูมิภาคของโลก	69
3.4 อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศ	73
3.4.1 ปริมาณการบริโภค กำลังการผลิต การนำเข้า และการส่งออกกระดาษ คราฟท์ในประเทศไทย	73
3.4.2 ภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศ	74
3.4.3 แนวโน้มภาวะเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศ	78

	หน้า
3.4.4 ผู้ผลิตและผู้เล่นหลัก (key player) ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย	78
3.5 ลูกค้ำของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ตามโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน	82
3.5.1 ลูกค้ำและความคาดหวังลูกค้ำกระดาษกราฟท์	82
3.5.2 ลูกค้ำหลักของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์	90
3.5.3 พฤติกรรมการบริโภคกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย	91
3.6 พฤติกรรมของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย	94
3.6.1 พฤติกรรมการแข่งขันด้านราคา	94
3.6.2 พฤติกรรมการแข่งขันที่ไม่ใช่ด้านราคา	95
3.7 ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย	96
3.7.1 สภาพปัจจัยการผลิตภายในประเทศ	97
3.7.2 สภาพอุปสงค์	99
3.7.3 อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและสนับสนุน	99
3.7.4 ภาครัฐหรือนโยบายด้านต่างๆของรัฐบาล	100
3.7.5 ปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย	103
3.8 การพิจารณาเลือกบริษัทสำหรับกรณีศึกษา	104
3.9 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา	106
3.9.1 สภาพปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา	106
3.9.2 ผลกระทบของบริษักรณีศึกษา	111
3.10 สภาพปัจจุบันของปัญหาในบริษัทกรณีศึกษา	114
3.10.1 สภาพปัจจุบันของปัญหากระดาษสันนูนจากหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่ง	122
3.11 การกำหนดหัวข้อสำหรับงานวิจัย	124
3.11.1 การทวนสอบสภาพปัจจุบันของปัญหากระดาษเป็นสันนูนของกระดาษ TA125	127
3.12 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดในโครงการวิจัย	130
4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	133
4.1 การระบุปัญหา	133
4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด	134

	หน้า
4.2.1 ขั้นตอนการศึกษากระบวนการวัด	137
4.2.2 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัด	138
4.2.3 ผลการทดสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัดเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง	141
4.2.4 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ)	141
4.3 การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา	142
4.3.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิต (material)	149
4.3.2 พนักงาน (man)	149
4.3.3 เครื่องจักร (machine)	150
4.3.4 วิธีการ (method)	151
4.3.5 สิ่งแวดล้อม (environment)	151
4.4 การออกแบบการทดลอง	154
4.4.1 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง (sample size)	154
4.4.2 การกำหนดลำดับและรูปแบบในการทดลอง	156
4.5 การยืนยันผลจากการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้ง 3	175
4.6 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย	183
5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	184
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	184
5.2 ประโยชน์และการนำไปใช้	186
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงในอนาคต	186
เอกสารอ้างอิง	187
ภาคผนวก	หน้า
ก. ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อม	195
ข. ข้อมูลการศึกษาความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ของโลก	199
ค. ตารางการทดลองของการวิเคราะห์ระบบการวัด	204
ง. ผลการทดลอง 2 ³ แฟกทอเรียล	210
ประวัติผู้วิจัย	216

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	3
2.1 บทสรุปสำหรับวิวัฒนาการด้านคุณภาพ	6
2.2 การประยุกต์ใช้เครื่องมือพื้นฐานในโรงงานวิจัย	11
2.3 หน้าที่ที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์	17
2.4 ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละ) ของกระดาษและกระดาษแข็งที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	42
3.1 วิวัฒนาการใช้กระดาษในมุมอุปสงค์	56
3.2 ปริมาณการบริโภค การนำเข้า การส่งออก การผลิต และกำลังการผลิตกระดาษกราฟของไทยปี พ.ศ. 2541-2555 (หน่วย : พันตัน)	75
3.3 แหล่งนำเข้ากระดาษกราฟที่สำคัญ 20 อันดับแรกของประเทศไทย	76
3.4 ตลาดส่งออกกระดาษกราฟที่สำคัญ 20 อันดับแรกของประเทศไทย	77
3.5 รายชื่อผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟของไทย ในปี พ.ศ. 2554	79
3.6 มูลค่าซื้อขายของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟ พ.ศ. 2550 -2553	80
3.7 สัดส่วนการครองตลาดของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟระหว่าง ปี พ.ศ. 2550 – 2553	81
3.8 ความคาดหวังของผู้บริโภคหรือผู้ใช้คนสุดท้าย	85
3.9 ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปขายต่อ	86
3.10 ก. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ (ผู้ผลิตประเภทที่นำกระดาษกราฟไปตัดรีม)	87
3.10 ข. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ (ผู้ผลิตที่เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่างๆ)	88
3.10 ค. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ (ผู้ผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมงานพิมพ์ หรือกระบวนการพิมพ์)	89
3.10 ง. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ (ผู้ผลิตกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆที่นำบรรจุภัณฑ์สำเร็จไปบรรจุสินค้า)	89
3.11 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตกระดาษกราฟ	97
3.12 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนการผลิตกระดาษกราฟทำลอนลูกฟูก	98
3.13 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนการผลิตกระดาษกราฟทำผิวกล่อ	98
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างหัวข้อการคัดเลือกเข้าทำงานวิจัยและผู้ผลิตกระดาษ	105

ตาราง	หน้า
3.15 ปริมาณกระดาศที่สูญเสียในกระบวนการตกแต่งม้วนของแผ่นคลึงแยกตามประเภทความเสียหายตั้งแต่เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557	115
3.16 มูลค่า/จำนวนม้วนและน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดทิ้งจากปัญหาสันนูนตามชนิดกระดาศ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557	122
3.17 ค่าคำนวณปริมาณน้ำหนักเศษกระดาศจากการกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายในแต่ละเกรด * สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ขายแต่ละเกรด	123
3.18 ปริมาณน้ำหนักเศษกระดาศที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูนแยกตามเกรดกระดาศ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557	125
3.19 ปริมาณน้ำหนักเศษกระดาศเกรด TA ที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูนแยกตามเกรดกระดาศ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557	125
3.20 สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนแยกตามวันที่กรีด	127
4.1 วิเคราะห์กระบวนการที่ส่งผลให้เกิดอาการ ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสันนูน	143
4.2 การระบุกระบวนการต้นเหตุของอาการสันนูน	146
4.3 ปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ	149
4.4 ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องผลิตกระดาศที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ	150
4.5 ปัจจัยเกี่ยวกับวิธีการผลิตกระดาศที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ	151
4.6 ปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ	151
4.7 ลำดับการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองแบบ 2^3 factorials design	160
4.8 สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนแยกตามวันที่กรีดจากการทดลองยืนยันผลจากกระเปลี่ยนระดับปัจจัยทั้ง 3	178
4.9 สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนในเดือน เม.ย. 57 (ก่อนปรับปรุง) และหลังเปลี่ยนระดับ 3 ปัจจัย (หลังปรับปรุง) แยกตามวันที่กรีด	179
4.10 ตารางควบคุมค่าพารามิเตอร์บนเครื่องผลิตกระดาศ	183
ก.1 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ	196
ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศบริเวณคลังที่ใช้เก็บม้วนกระดาศตั้งแต่ ก.ค. – ส.ค. 2557	197
ค.1 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (2 ซ้ำ)	205
ค.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ)	206
ง.1 ผลทดสอบความเข้มข้นน้ำเยื่อจริง (% consistency) ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง	211

ตาราง	หน้า
ง.2 ผลทดสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาศ (formation) ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง	212
ง.3 ผลทดสอบความชื้นของกระดาศ (% moisture content) ด้วยเครื่องไฮโกรมิเตอร์ ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง	213
ง.4 ผลทดสอบความต้านทานการซึมน้ำโดยจับเวลาที่น้ำซึมทะลุกระดาศ cobb และ stockiest test ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง	214
ง.5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง	215

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า	
2.1	เงื่อนไขที่เพียงพอต่อการสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า	6
2.2	คุณภาพตามพฤติกรรมของลูกค้า	7
2.3	กระบวนการตัดสินใจโดยข้อเท็จจริง	10
2.4	แนวคิดของการผลิตกระดาษ	22
2.5	ลำดับขั้นตอนในการเตรียมเยื่อ	23
2.6	กระบวนการขึ้นรูปและตัดกระดาษ	26
2.7	ทิศทางที่ใช้ศึกษาในกระบวนการผลิตกระดาษ	27
2.8	โครงสร้างกระดาษที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสและช่องว่างระหว่างเซลลูโลสแต่ละสาย	30
2.9	โมเลกุลน้ำที่แทรกตัวอยู่ที่หมู่ OH ⁻ ในสายโซ่เซลลูโลสขณะที่กระดาษเปียกน้ำ	30
2.10	หมู่ OH ⁻ ระหว่างสายเซลลูโลสก่อพันธะไฮโดรเจนกันโดยตรงเมื่อกำจัดน้ำออกจากกระดาษ	30
2.11	โครงสร้างของเซลลูโลส	31
2.12	พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเซลลูโลส	32
2.13	ลักษณะการจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลที่เป็นไปได้	32
2.14	ลักษณะการดึงดูดของโมเลกุล H ⁺ และ OH ⁻ โดยเส้นใยเซลลูโลสจนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน	33
2.15 ก.	เส้นใยเซลลูโลสขนาดปกติ	34
2.15 ข.	เส้นเซลลูโลสเมื่อพองตัว	34
2.16	สมดุลในการดูดซับน้ำของเซลลูโลสที่แรงดันไอสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ	35
2.17	ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวม น้ำหนักแห้ง และความชื้นในกระดาษ	36
2.18	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นสมดุลของเยื่อเซลลูโลส	40
2.19	ปริมาณความชื้นสมดุลของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่อุณหภูมิบรรยากาศเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น	42
3.1	ปริมาณการบริโภคกระดาษทั่วโลกแยกตามภูมิภาคต่างๆในปี ค.ศ. 1961 – 2013	67
3.2	ปริมาณการผลิตกระดาษทั่วโลกแยกตามประเภทกระดาษปี ค.ศ. 1990 – 2013	68
3.3	สัดส่วนการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของโลกในปี พ.ศ. 2555 และค่าพยากรณ์สัดส่วนการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของโลกในปี พ.ศ. 2561	69

รูป	หน้า
3.4 กราฟแสดงแนวโน้มยอดจัดจำหน่ายหนังสือพิมพ์ที่ลดลงแต่ละหัวในประเทศ สหราชอาณาจักร (หน่วย : ฉบับ)	71
3.5 ยอดจัดจำหน่ายหนังสือพิมพ์ (หน่วย : ฉบับ/ 1,000 คน) และเปอร์เซ็นต์การ เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 – 2012	72
3.6 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมกระดาษ	84
3.7 สัดส่วนปริมาณอุปสงค์กระดาษในประเทศไทย	90
3.8 เปอร์เซ็นต์มูลค่าการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของประเทศไทยแยกตามประเภทของ วัตถุดิบ	92
3.9 เปอร์เซ็นต์การใช้บรรจุภัณฑ์แยกตามประเภทสินค้า	92
3.10 SIPOC model แสดงแนวคิดกระบวนการทำงานของบริษัท	107
3.11 แผนภาพกระบวนการทางธุรกิจของบริษัท	108
3.12 ผลิตภัณฑ์กล่องลังซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทกราฟท์ ไลน์อร์ บอร์ด	111
3.13 ผลิตภัณฑ์ถุงห่อปิงซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทแซ็ค กราฟท์	112
3.14 ผลิตภัณฑ์ถุงปูนซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทแซ็ค กราฟท์	112
3.15 กระดาษลอนลูกคลื่น (กระดาษลูกฟูก) สำหรับประกอบเป็นชั้นกลางของกล่อง	112
3.16 กระดาษสำหรับทำแกนต่างๆ	113
3.17 พนักงานกำลังทำการกรีดตกแต่งม้วนกระดาษ	115
3.18 สภาพม้วนกระดาษที่พบปัญหาสันนูน	116
3.19 ลักษณะปัญหากระดาษกล่องลูกฟูกไม่ติดกาวจากปัญหากระดาษสันนูน	117
3.20 ปัญหากระดาษสันนูนที่ส่งผลกระทบต่อทั้งงานพิมพ์	117
3.21 ก. ridges จากหนังสือ TAPPI	118
3.21 ข. ridges ที่พบในกระบวนการผลิตกระดาษ	118
3.22 ก. moisture welts จากหนังสือ TAPPI	119
3.22 ข. moisture welts ที่พบในม้วนกระดาษ	119
3.23 สภาพผิวกระดาษปกติของม้วนกระดาษเมื่อตั้งทิ้งไว้ในคลัง	120
3.24 การเกิดสันนูนบริเวณผิวกระดาษเมื่อตั้งทิ้งไว้ในคลังเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง	120
3.25 สัดส่วนของน้ำหนักเศษกระดาษที่ถูกกรีดทิ้งจากปัญหาสันนูนแยกตาม เกรดกระดาษ	126
3.26 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่กรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วน ของกระดาษในเดือนเมษายน 2557	128

รูป	หน้า
3.27 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่กรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วน ของกระดาศเมื่อตัดข้อมูลวันที่ 30 เม.ย. 57 ออก	128
4.1 โครงสร้างของเครื่องชั่งน้ำหนัก	135
4.2 ก. พนักงานยกม้วนกระดาศด้วยรถโฟล์คลิฟท์เพื่อนำไปวางบนแท่นชั่งน้ำหนัก	136
4.2 ข. ม้วนกระดาศถูกวางลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องชั่งน้ำหนัก	136
4.2 ค. จอแสดงผลสำหรับอ่านค่าน้ำหนักม้วนกระดาศ	136
4.3 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนัก ม้วนกระดาศ <u>ก่อน</u> ตกแต่งม้วน	137
4.4 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนัก ม้วนกระดาศ <u>หลัง</u> ตกแต่งม้วน	138
4.5 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนัก ม้วนกระดาศ <u>ก่อน</u> ตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง	140
4.6 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนัก ม้วนกระดาศ <u>หลัง</u> ตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง	140
4.7 ผลการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาศ <u>หลัง</u> ตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง หลังตัดข้อมูลชิ้นงานที่ 8 ทิ้ง	141
4.8 แผนภาพก้างปลาแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูน	152
4.9 หน้าจอแสดงผลสำหรับกำหนดค่าเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างในโปรแกรม Minitab	154
4.10 ผลการหาขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม Minitab	155
4.11 กระดาศม้วน jumbo reel	157
4.12 ลำดับการเรียกม้วนกระดาศจากการกรอม้วน jumbo reel	158
4.13 ขั้นตอนการปฏิบัติงานหลังจากเก็บม้วนกระดาศตัวอย่างเมื่อปรับตามเงื่อนไข การทดลอง	159
4.14 ก. หน้าจอควบคุมพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 11 (jumbo reel no. 5668)	161
4.14 ข. หน้าจอค่า basis weight (BW) ตามแนว CD เงื่อนไขทดลองที่ 11	161
4.14 ค. หน้าจอค่า moisture content profile (MP) ตามแนว CD เงื่อนไขทดลองที่ 11	162
4.15 สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาศเฉลี่ยตาม ตำแหน่งม้วน A B และ C	162
4.16 หน้าจอควบคุมแสดง profile ของกระดาศเป็นรูปหน้าบึ้งตามแนว CD ตาม เงื่อนไขทดลองที่ 9 (jumbo reel no. 5666)	163

รูป	หน้า
4.17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์เพื่อทดสอบคุณภาพของข้อมูลการทดลอง 2^3 แฟคทอเรียล	164
4.18 กราฟ Normal Probability Plot (NOPP) แสดงความปกติของข้อมูล	165
4.19 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูล	165
4.20 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab ในส่วนของ session	166
4.21 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab เมื่อขูบเทอม 3-way interaction effect	167
4.22 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องการเติมสาร internal sizing และความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency)	168
4.23 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องการเติมสาร internal sizing และปริมาณความชื้นของกระดาษ (% moisture content)	170
4.24 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency) และปริมาณความชื้นของกระดาษ (% moisture content)	171
4.25 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab (session) เมื่อขูบเทอม 2-way interaction effect คือ sizing*consist และ sizing*moisture ออกไป	173
4.26 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลหลักของปัจจัยเรื่องการเติมสารกันซึม internal sizing	174
4.27 หน้าจอแสดงผลสำหรับกำหนดค่าเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างในโปรแกรม Minitab	176
4.28 OC curve แสดงผลการหาขนาดตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานจาก Minitab	176
4.29 ม้วนกระดาษที่เกิดสันนูนและต้องทำการกรีดคดแต่งม้วน	177
4.30 ม้วนกระดาษที่ไม่พบปัญหาสันนูน	178
4.31 ผลการวิเคราะห์ two equal variances จากโปรแกรม Minitab	180
4.31 ผลการทดสอบระดับนัยสำคัญสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนต่อ น้ำหนักม้วนกระดาษระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงของกระดาษ TA125	181
4.31 ผลของการปรับปรุงกระบวนการเทียบกับเป้าหมายระดับธุรกิจ	182
4.32 ผลของการปรับปรุงกระบวนการเทียบกับเป้าหมายระดับงานวิจัย	182
ก.1 กราฟอนุหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ตำแหน่งวัด บริเวณคลังที่ใช้เก็บ ม้วนกระดาษตั้งแต่ ก.ค. - ส.ค. 2557	198
ข.1 กราฟแสดงปริมาณการบริโภคกระดาษต่อหัวทั่วโลกปี ค.ศ. 2013 (กิโลกรัม/คน)	200
ข.2 ปริมาณการผลิตและบริโภคกระดาษของประเทศไทยเทียบกับทั่วโลก ปี ค.ศ. 2009 (ตัน)	201

รูป

หน้า

- ข.3 ปริมาณการบริโภคกระดาษต่อหัวของไทยเทียบกับทั่วโลกปี ค.ศ. 2009
(กิโลกรัม/คน)
- ข.4 สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษภายในประเทศไทย

202

203

ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

Absolute humidity (AH)	= ความชื้นสัมบูรณ์ คือ ไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น
Absorption	= การดูดความชื้น
Advertising	= การโฆษณา
Agent	= ตัวแทนจำหน่าย
AKD	= สารเคมีช่วยให้กระดาษไม่ดูดซับน้ำมากเกินไป
Amorphous	= โครงสร้างส่วนอสัณฐาน หรือโครงสร้างของวัสดุที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ
Analog printing	= สิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือ
Assembly	= กระบวนการผลิตแบบงานประกอบ
Average out	= การเฉลี่ยออก
Balance out	= การเฉลี่ยออก
Basic properties	= สมบัติพื้นฐานของกระดาษ
Basis weight (BW)	= น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษซึ่งเป็นน้ำหนักกระดาษแห้งที่รวมกับความชื้นแล้ว
Batch	= แบบการผลิต
Beating	= กระบวนการตีเยื่อ
Bentonite	= สารที่ช่วยให้เยื่อไม่จับตัวเป็นก้อน
Benzene (C ₆ H ₆)	= เบนซีน คือ สารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง
Bi-carbonate	= สารละลายไบคาร์บอเนต ใช้เพื่อกำจัดลิกนินในกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี
Bi-sulfite	= สารละลายไบซัลไฟต์ ใช้เพื่อกำจัดลิกนินในกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี
Block size	= ขนาดของบล็อกการทดลอง
Board Of Investment (BOI)	= คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน
Boiler plant	= เครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งกระดาษ
Bond dry weight (BD)	= น้ำหนักกระดาษแห้งที่ไม่รวมความชื้น

Brand identification	=	การตราสินค้า
Branding	=	ตราสินค้า
Brightness	=	ความสว่าง
Bulk	=	ความฟุ้งของกระดาษ คือ ปริมาตรของกระดาษต่อ น้ำหนัก
Bursting strength	=	ความต้านแรงดันทะลุของกระดาษ
Business flow process	=	กระบวนการทางธุรกิจ
Calcium carbonate (CaCO_3)	=	แคลเซียมคาร์บอเนต หรือหินปูน
Calcium hydrogen sulfite ($\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$)	=	แคลเซียมไดไฮโดรเจนซัลไฟต์ ใช้ในกระบวนการ การผลิตเยื่อแบบเคมี
Calender part	=	กระบวนการขัดผิวกระดาษ
Calender roll	=	ลูกกลิ้งขัดผิวกระดาษ
Calendering	=	กระบวนการขัดผิวกระดาษ
Capillary	=	ท่อหรือหลอดที่มีรูหรือช่องว่างขนาดเล็ก
Capital intensive	=	การลงทุนที่มีต้นทุนสูง
Cartas	=	"การ์ตาส" ภาษาโปรตุเกสซึ่งเพี้ยนมาจนเป็นคำว่า "กระดาษ" ในภาษาไทย
Cationic corn starch (CATA)	=	สารที่ช่วยให้เส้นใยจับตัวกัน
Cause and effect diagram	=	แผนภาพสาเหตุและผล
Cell lumina	=	รอยแตกของเนื้อเยื่อในเยื่อของพืช เพื่อใช้รับแสง
Cellulose	=	เซลลูโลส คือ ผนังของหลอดอาหารในเนื้อไม้ เป็นส่วนที่ใช้ผลิตกระดาษ
Cellulose fiber	=	เส้นใยเซลลูโลส
Centrifugal force	=	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
Chemical pulping process	=	การผลิตเยื่อแบบเคมี
Chemical pulp	=	เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี
Chemical structure	=	โครงสร้างทางเคมี เช่น พันธะทางเคมีของโมเลกุล ของสสาร
Chest	=	ถังพักน้ำเยื่อเพื่อเตรียมเข้ากระบวนการ ผลิตกระดาษ

Chlorine dioxide (ClO ₂)	= คลอรีนไดออกไซด์ คือ สารใช้สำหรับฟอกขาว กระดาษ
Chronic	= เกิดอย่างเรื้อรัง
Cleaning	= กระบวนการทำความสะอาดเยื่อ
Client	= บุคคลหรือบริษัทที่จ่ายเงินสำหรับสินค้าหรือ การบริการ
Coating	= การเคลือบผิวกระดาษ
Cobb test	= การทดสอบระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ ประเภทหนึ่ง
Commercial packaging	= บรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่ายปลีก
Compatibility	= ความเข้ากันได้
Complaint	= คำร้องเรียน
Condensate tank	= ถังพักน้ำที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำใน กระบวนการอบแห้งกระดาษ
Confound	= อิทธิพลของปัจจัยที่ปะปนอยู่
Consistency	= คุณสมบัติความคงรูปของข้อมูล
Consumer	= ผู้บริโภค
Content	= เนื้อหา
Continuous flow process	= ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด เดียวในปริมาณที่มากอย่างต่อเนื่อง
Continuous process	= ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด เดียวในปริมาณที่มากอย่างต่อเนื่อง
Control limit	= พิกัดควบคุม
Convenience	= ความสะดวก
Converting	= กระบวนการตัดกระดาษเป็นรีม
Core paper	= กระดาษทำแกน
Correction	= การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า
Corrugated paper board	= กระดาษลูกฟูก
Corrugating medium	= กระดาษสำหรับทำลอนลูกฟูก
Cost (C)	= ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์

Cross-Linking	= การดัดแปลงโมเลกุลเซลลูโลสโดยการเติมสารหรือโมเลกุลที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับผนังเซลล์ของเซลลูโลส เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้ามาสร้างพันธะอ่อนๆกับผนังเซลล์ ทำให้เซลลูโลสไม่เกิดการบวม
Cross-machine direction (CD)	= ทิศขวางเครื่องจักร
Crystalline micelles/crystallites	= โครงสร้างผลึก หรือโครงสร้างของวัสดุที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ
Cut off	= การกรีดตักแต่งม้วนกระดาษ
Cyclic relative humidity	= สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่
Cyclone	= กระบวนการเหวี่ยงเพื่อสร้างแรงโน้มถ่วงเพื่อกำจัดอนุภาคที่มีความหนาแน่นออกจากเชื้อ
Cylinder type machine	= เครื่องโรยเยื่อกระดาษทรงกระบอกสำหรับกระดาษหลายชั้น
Cyperus papyrua	= ชื่อของต้นกกสำหรับผลิตกระดาษของชาวอียิปต์
Delivery (D)	= ความคาดหวังด้านการส่งมอบ
Delivery service	= บริการส่งมอบผลิตภัณฑ์
Demand	= อุปสงค์
Derivative	= การดัดแปลงโมเลกุลเซลลูโลสโดยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในพันธะเซลลูโลสด้วยสารที่มีหมู่แอซิติล (Acetyl Group ; COCH_3) ที่ลดการดึงดูดโมเลกุลของน้ำ
Design	= การออกแบบ
Design of experiment (DOE)	= การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม
Desorption	= การคายความชื้น
Development	= การพัฒนา
Digital printing	= งานพิมพ์แบบดิจิทัล
Dimension properties	= คุณสมบัติด้านมิติของกระดาษ ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความหนา
Dimension stability	= ความคงตัวต่อรูปร่าง หรือคุณสมบัติด้านเสถียรภาพด้านมิติ

Directionality	= คุณสมบัติการมีทิศทาง การเรียงตัวของเยื่อบนกระดาษ
Discrimination	= ความสามารถแยกความแตกต่าง
Dispersion properties	= คุณสมบัติการกระจายตัวของน้ำภายในเซลล์ลูโลส
Disposal	= การกำจัดทิ้ง
Distributor	= ศูนย์กระจายสินค้า
Downstream	= ปลายทาง หรือปลายน้ำของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Downstream integration	= อุตสาหกรรมที่มีการรวมตัวกับอุตสาหกรรมปลายทางของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Drag	= สภาพะลาก คือสถานะที่ลวดเดินแผ่นกระดาษลากน้ำเชื้อและเส้นใยไปตามทิศทาง การเดินกระดาษ
Dried freely	= การปล่อยกระดาษให้แห้งอย่างอิสระไม่มีแรงมากระทำ
Dried under restraint	= การควบคุมการแห้งของกระดาษโดยใช้แรงกระทำ กระดาษไม่ให้หดขณะแห้ง
Drive side (DS)	= ตำแหน่งการตั้งเครื่องผลิตกระดาษฝั่งที่เป็นมอเตอร์
Driving force	= แรงที่ความชื้นจากบรรยากาศสามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุเข้ามาได้
Dry-end	= ส่วนของเครื่องผลิตกระดาษตั้งแต่ส่วนของกระบวนการอบกระดาษให้แห้งจนถึงกระบวนการกม้วน
Dryer part	= กระบวนการอบกระดาษให้แห้ง
Drying	= การอบกระดาษให้แห้ง
Drying section	= ระบบอบแห้งในเครื่องผลิตกระดาษ
DYE	= สารให้สีกระดาษ
E-book	= สิ่งพิมพ์แบบอิเล็กทรอนิกส์
End user	= ผู้ใช้คนสุดท้าย
Environment	= สิ่งแวดล้อม
Equilibrium moisture content	= สถานะที่กระดาษมีความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

Factor	= ปัจจัย
Factorial design	= การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล
Fan pump	= อุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำเชื้อที่ส่งไปยังหัวจ่ายน้ำเชื้อ
Fiber	= เส้นใยที่ผลิตจากพืช
Fibril	= โครงสร้างเส้นใยเล็กๆที่เป็นมัดยาวรวมกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของเซลลูโลส
Fish bone diagram	= แผนภาพก้างปลา
Fluting medium	= กระดาษทำลอนลูกฟูก
Fold strength	= ความต้านทานการพับของกระดาษ
Formation	= การกระจายตัวของเส้นใยในกระดาษ
Forming	= การขึ้นรูปกระดาษ
Forming section	= ขั้นตอนการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาษ
Freeness	= ความละเอียดของเยื่อ
Frown	= โป้ไฟฟ้าของกระดาษตามทิศทางเครื่องจักรที่มีลักษณะคว่ำลง
Function	= หน้าที่หลัก
Furnish	= ชนิดเยื่อที่ใช้ผลิตกระดาษ
Furnish	= ชนิดของเยื่อที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ
Furnish ratio	= สัดส่วนของชนิดเยื่อที่ใช้ผลิตกระดาษ
Genba	= สถานที่เกิดเหตุ
Genbutsu	= ของจริง
Genjitsu	= ความจริง
Genri	= ทฤษฎี
Gensoku	= หลักการ
Glucose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	= น้ำตาลกลูโคส คือ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต
Glucoses chains	= การจัดเรียงตัวของหน่วยกลูโคสในสายพอลิเมอร์
Goods	= สินค้า

Grafting and Polymer Impregnation	=	การดัดแปลงโมเลกุลเซลลูโลสโดยการเติมสารหรือผสมพอลิเมอร์ชนิดที่ไม่ชอบน้ำลงในผนังเซลล์เพื่อไม่ให้น้ำสามารถเข้ามาแทรกที่บริเวณผนังเซลล์ได้
Gramage ; g/m^2	=	น้ำหนักกระดาษต่อพื้นที่
Graphic	=	งานกราฟฟิค
Green thinking	=	แนวความคิดแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
Ground wood pulping	=	เยื่อที่ผลิตด้วยกรรมวิธีเชิงกล
Hard wood	=	ไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้จากเขตร้อน ไม้ไผ่ หรือ ยูคาลิปตัส
Headbox	=	หัวจ่ายน้ำเยื่อ
Hemi-cellulose	=	เฮมิ เซลลูโลส คือ น้ำวุ้นตัวยืดของหลอดอาหารในเส้นใยเยื่อ
Hi-end	=	สินค้าระดับบน
High order interaction	=	อิทธิพลร่วมของปัจจัยในลำดับสูง
Hollow central core	=	โครงสร้างทางกายภาพของเซลลูโลสที่มีรูกลวงอยู่ภายใน
Hot dispersion	=	กระบวนการที่ให้ความร้อนเยื่อเพื่อหลอมสิ่งสกปรกที่มีความเหนียว เช่น กาว ให้ผสมไปกับเยื่อ
Hydrodynamic force	=	แรงดันน้ำจากหลอดเดินกระดาษบนเครื่องผลิตกระดาษ
Hydrogen bond	=	พันธะไฮโดรเจน
Hydrophilic material	=	วัสดุที่ชอบน้ำ
Hydroxyl group (OH ⁻)	=	หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลในสารประกอบอินทรีย์
Hygroexpansion	=	การขยายตัวเนื่องจากความชื้น
Hygroexpansion coefficient	=	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของกระดาษเนื่องจากความชื้น
Hygroscopic	=	คุณสมบัติดูดคายความชื้น
Hysteresis	=	คุณสมบัติของอัตราการการดูดและคายความชื้นที่ไม่เท่าเดิมของกระดาษเมื่อกระดาษเปลี่ยนจากเปียกไปแห้งและแห้งไปเปียก

Identification	= การบ่งชี้
Industrial downstream	= อุตสาหกรรมปลายทางหรืออุตสาหกรรมปลายน้ำของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Industrial intermediate	= อุตสาหกรรมกลางน้ำ หรืออุตสาหกรรมขั้นกลาง
Industrial revolution	= การปฏิวัติอุตสาหกรรม
Industrial upstream	= อุตสาหกรรมต้นทาง หรืออุตสาหกรรมต้นน้ำของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Information	= สารสนเทศ
Input variable	= ตัวแปรป้อนเข้า หรือตัวแปรขาเข้า
Intangible product	= ผลิตภัณฑ์ประเภทที่ไม่สามารถจับต้องได้ ไม่มีรูปร่าง ได้แก่ งานบริการ และงานด้านสารสนเทศสำหรับตัดสินใจ
Interaction effect	= อิทธิพลร่วม
Inter-crystalline swelling	= การพองตัวของเซลลูโลสระหว่างผลึกเกิดขึ้นที่โครงสร้างของเซลลูโลสส่วนอสัณฐาน
Inter-molecular hydrogen bonds	= พันธะที่ยึดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและออกซิเจนที่อยู่ต่างโมเลกุลกัน
Internal sizing	= สารต้านทานการซึมน้ำประเภทเติมลงในน้ำเยื่อ
Intra-crystalline swelling	= การพองตัวของเซลลูโลสภายในผลึกเกิดขึ้นที่โครงสร้างของเซลลูโลสส่วนที่เป็นผลึก
Intramolecular bond	= พันธะภายในโมเลกุลของสสาร
Intra-molecular hydrogen bonds	= พันธะไฮโดรเจนที่ยึดเส้นใยไว้ พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล และออกซิเจนภายในโมเลกุลหน่วยเดียวกัน
Intrinsic technology	= เทคโนโลยีเฉพาะทาง
Jet-to-Wire ratio	= อัตราส่วนความเร็วน้ำเยื่อต่อความเร็วหลอดตามแผ่น
Job-shop production	= ระบบการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์มีลักษณะหลากหลายตามความต้องการลูกค้า ปริมาณการผลิตต่อครั้งเป็นล็อต
Jumbo reel	= ม้วนกระดาษที่ออกจากเครื่องผลิตกระดาษ

Junction box	= อุปกรณ์สำหรับขยายสัญญาณในเครื่องชั่งน้ำหนัก
Key player	= ผู้ประกอบธุรกิจหลักของตลาด
Kraft linerboard	= กระดาษสำหรับทำผิวกล่อง
Kraft paper	= กระดาษเหนียวสีน้ำตาล (คราฟท์)
Kraft process	= กระบวนการคราฟท์ คือ กระบวนการผลิตเยื่อเชิงเคมีโดยใช้โซเดียมซัลเฟต
Level	= ระดับ
Lignin	= ลิกนิน คือ ส่วนที่เป็นยางไม้ของพืช
Load cell	= อุปกรณ์วัดน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์
Long fiber pulp	= เยื่อใยยาว
Lot size	= ขนาดลอตต่อ 1 รอบการผลิต
Low order interaction	= อิทธิพลร่วมของปัจจัยในลำดับต่ำ
Luxury packaging	= บรรจุภัณฑ์หรูหรา ฟุ่มเฟือย
Machine	= ปัจจัยเรื่องเครื่องจักร
Machine direction (MD)	= ทิศตามการวางเครื่องจักร
Macrofibril	= สายโซ่เซลลูโลสที่เรียงตัวภายในผนังเซลล์ของพืช จำนวนหลายๆเส้นใย
Main effect	= อิทธิพลหลัก
Man	= ปัจจัยเรื่องพนักงาน
Manufacturing	= ธุรกิจแบบผลิต
Market structure	= โครงสร้างทางการตลาด
Mass Production	= การผลิตเชิงมวล
Material	= ปัจจัยเรื่องวัสดุที่ใช้ในการผลิต
Measurement system analysis (MSA)	= การวิเคราะห์ระบบการวัด
Mechanical pulp	= เยื่อที่ผลิตจากวิธีเชิงกล
Merchant	= พ่อค้า
Method	= ปัจจัยเรื่องวิธีการในการผลิต
Mid-end	= สินค้าระดับกลาง
Midstream	= กลางน้ำ
Moisture content	= ปริมาณความชื้นในกระดาษ

Moisture equilibrium	=	สภาวะสมดุลความชื้น
Moisture sorption isotherm	=	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในกระดาษและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
Moisture welts	=	ปัญหาที่มีลักษณะแถบหรือเป็นรอยตะเข็บ ที่พูนขึ้นรอบๆ ม้วนกระดาษซึ่งจะเกิดที่ด้านนอกของม้วนกระดาษ โดยเป็นกระบวนการที่เกิดจากการดูดซับความชื้น หรือคายความชื้น ที่ไม่สม่ำเสมอ
Mono-saccharine D-glucose	=	น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เรียงตัวแบบ ดีกลูโคส
Moving range (MR)	=	ค่าพิสัยเคลื่อนที่
Multi-function	=	การรวมการทำงานเข้าไว้ในเครื่องเดียวกันของอุปกรณ์ต่างๆ
Must-be quality	=	คุณภาพในมิติเดียวตามพฤติกรรมของลูกค้า
Noise effect	=	อิทธิพลแทรกซ้อน
Normal	=	ปกติ
Observation	=	การสังเกตการณ์จากงานจริง
Oligopoly market	=	ตลาดการแข่งขันแบบกึ่งผูกขาด คือ ตลาดที่มีผู้ผลิตน้อยราย
Opacity	=	ความทึบแสง
Optical properties	=	ทัศนสมบัติ
Optimum	=	ภาวะที่ดีที่สุด
Output variable	=	ตัวแปรขาออก
Over supply	=	สภาวะที่กำลังการผลิตสูงกว่าปริมาณอุปสงค์
Packaging paper and board	=	กระดาษบรรจุภัณฑ์และกระดาษแข็ง
Packing	=	การบรรจุ
Paper	=	กระดาษ
Paper industrial supply chain	=	โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมกระดาษ
Paper mulberry	=	เปลือกสาสำหรับทำกระดาษ
Paper properties	=	สมบัติของกระดาษ
Paper structure	=	โครงสร้างของกระดาษ

Papyrus	=	ต้นกกปาปรัส
Percentage of consistency	=	ความเข้มข้นน้ำเยื่อ
Porus material	=	วัสดุที่โครงสร้างมีรูพรุน เช่น กระดาษ ฟองน้ำ
Power of the test	=	อำนาจในการทดสอบ
Precision	=	ความแม่นยำ
Presentation	=	การนำเสนอ
Preservation	=	การรักษาคุณภาพ
Press felt	=	ผ้าสักหลาดสำหรับใช้ซับน้ำในกระบวนการรีดน้ำออกจากกระดาษ
Press part	=	กระบวนการรีดน้ำออกจากกระดาษให้กระดาษให้แห้งมากขึ้น
Pressing	=	กระบวนการรีดน้ำออกจากกระดาษให้กระดาษแห้งมากขึ้น
Pressing roll	=	ลูกกดเพื่อรีดน้ำออกจากกระดาษในกระบวนการรีดน้ำออกจากกระดาษ
Primary packaging	=	บรรจุภัณฑ์ชั้นใน หรือ บรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิ
Processor	=	ผู้นำไปผลิตต่อ
Production	=	กระบวนการผลิต
Productivity	=	ผลิตภาพ หรือการเพิ่มปริมาณผลผลิต คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณสิ่งที่ใส่เข้าไป
Profile	=	คุณลักษณะการจัดเรียงตัวของเยื่อของกระดาษบนเครื่องผลิตกระดาษ
Protection	=	การป้องกัน
Pull system	=	ระบบการผลิตแบบดึง
Pulping	=	การเตรียมเยื่อ
Pulping preparation process	=	กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ
Pyrolysis	=	กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อนในสภาวะไร้อากาศ
Quality	=	คุณภาพ
quality (q)	=	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

Quality Control (QC)	=	การควบคุมคุณภาพ
Quality Improvement (QI)	=	การปรับปรุงคุณภาพ
Quantity	=	ปริมาณ
Random	=	สุ่ม
Randomization	=	การสุ่ม
Range	=	ค่าพิสัย
Raw data	=	ข้อมูล
Raw material	=	วัตถุดิบ
Recycle pulp	=	เยื่อรีไซเคิล
Recycle-Reuse-Reduce (3R)	=	หลักความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ซ้ำ การลดการใช้
Reeling	=	กระบวนการถอกกระดาษเข้าม้วนขนาดใหญ่
Refiner	=	กระบวนการบดละเอียดเยื่อ
Refiner power	=	พลังงานที่ใช้ในการบดเยื่อ
Relative fiber movement	=	การเคลื่อนตัวของเซลลูโลสในลักษณะที่สัมพันธ์กัน คือ การเคลื่อนตัวของเซลลูลูลภายในโครงสร้างกระดาษ
Relative humidity (RH)	=	ความชื้นสัมพัทธ์
Repeatability	=	การทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
Replication	=	การซ้ำ
Representation of product	=	ตัวแสดงสินค้า
Reproducibility	=	การทำซ้ำแบบต่างเงื่อนไข
Requirement	=	ความต้องการในสภาวะการณ์หนึ่งๆ
Research	=	งานวิจัย
Resolution	=	คุณสมบัติในการแยกความแตกต่างของข้อมูลจากการวัดซ้ำ
Retailer	=	ผู้ค้าปลีก
Retention aid	=	สารปรับสมดุลประจุไฟฟ้าให้กับเส้นใย
Ridges	=	ปัญหาที่มีลักษณะเป็นแถบ วงแหวนนูนรอบม้วนกระดาษ เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของกระดาษ

Ring crush strength	= ความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษ
Roll	= ม้วนกระดาษขนาดตามที่ลูกค้าสั่ง
Rush	= สภาวะกระแทก คือสภาวะที่น้ำเยื่อวิ่งชนลวด เดินแผ่นกระดาษ
Sack Kraft	= กระดาษทำถุง
Safety	= ความปลอดภัย
Sale promotion	= นโยบายส่งเสริมทางการตลาด
Sales	= งานขาย
Sample size	= ขนาดสิ่งตัวอย่าง
Screening	= การทำความสะอาดเยื่อโดยแยกเอาสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ ใหญ่ออกจากเยื่อ
Secondary packaging	= บรรจุภัณฑ์ขั้นที่สองหรือทุติยภูมิ
Semi-mechanical production	= การผลิตเยื่อแบบกึ่งเชิงกล
Sensitivity	= ความไว
Service	= บริการ
Set up time	= เวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรเพื่อการผลิต
Short fiber pulp	= เยื่อใยสั้น
Shrinkage	= หดตัว
Sigmoid shape	= กราฟรูปตัวเอส
SIPOC model	= แผนภาพแสดงแนวคิดของกระบวนการทางธุรกิจ
Size press	= กระบวนการเคลือบแป้งบนผิวกระดาษ
Sizing	= การเคลือบแป้งบนผิวกระดาษ
Slurry	= น้ำเยื่อ
Social	= ลูกค้าประเภทสังคม
Soda process	= กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมีโดยใช้สารสัคคิโซดา
Sodium carbonate (Na_2CO_3)	= โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช หรือโซดาซักผ้า ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี
Sodium hydroxide (NaOH)	= โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมี
Sodium sulphate (Na_2SO_4)	= โซเดียมซัลเฟต คือ เกลือโซเดียมของกรดกำมะถัน

Soft wood	= ไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้เมือ่งหนาว สนสองใบ สนสามใบ
Space	= พื้นที่ว่างภายในผนังเซลล์พืช
Sporadic	= เกิดอย่างครั้งคราว
Standard deviation	= ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Starch	= แป้งมันสำหรับเคลือบผิวกระดาษ
Statistical design of experiment	= การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ
Steam	= ไอน้ำสำหรับควบคุมความชื้นกระดาษ
Sticky	= สิ่งสกปรกที่มีความเหนียว เช่น กาว ที่ปะปนมากับ เยื่อกระดาษ
Stock approach flow system	= ระบบควบคุมการป้อนจ่ายน้ำเยื่อในกระบวนการ ผลิตกระดาษ
Stock dosing	= การควบคุมปริมาณน้ำเยื่อตามน้ำหนักกระดาษที่ ต้องการผลิต
Stockist test	= การทดสอบระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ ประเภทหนึ่ง
Stopper	= จุดรับแรงกระแทกบนเครื่องชั่งน้ำหนักม้วนกระดาษ
Strain gage	= ชนิดของโพลีเมอร์แบบสเตรนเกจ
Stream pressure	= ระบบความดันไอน้ำควบคุมความชื้นใน กระบวนการผลิตกระดาษ
Strength properties	= สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ
Structural physics	= โครงสร้างทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ความกว้าง ความยาว ความสูง
Style change	= การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสินค้า
Sulfite/Sulphites	= สารละลายซัลไฟต์ ใช้เพื่อกำจัดลิกนินในกระบวนการ ผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี
Sulfur dioxide (SO ₂)	= ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อ แบบเคมี
Sulphate process	= กระบวนการผลิตเยื่อโดยใช้โซเดียมซัลเฟต
Supplier	= ผู้ส่งมอบปัจจัยป้อนเข้า
Supply	= อุปทาน

Surface Sizing	=	สารต้านทานการซึมน้ำประเภทเคลือบผิว
Swelling	=	การบวม
Syphon dryer part	=	ช่องทางระบายแรงดันไอน้ำที่ควบแน่นเป็นน้ำออกจากลูกอบ
Tallas	=	ข้อสงครามทลัสระหว่างจีนและอาหรับ
Tangible product	=	ผลิตภัณฑ์ประเภทที่สามารถจับต้องได้ มีรูปร่างได้แก่ สินค้า
Tender side (TS)	=	ตำแหน่งการตั้งเครื่องผลิตกระดาษฝั่งทางเดินของพนักงาน
Tensile strength	=	ความต้านทานแรงดึง
Tertiary packaging	=	บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สามหรือตติยภูมิ
Thickness	=	ความหนา
Transaction	=	งานธุรกรรม
Treatment combination	=	เงื่อนไขในทรีตเมนต์คอมบินชันสำหรับการทดลอง
Two equal variances	=	การทดสอบผลต่างของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติสองประชากร
Two sample t-test	=	การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติกรณีประชากรสองชุด
Uncontrollable factor	=	ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้
Unit packaging	=	หน่วยบรรจุภัณฑ์
Upstream	=	ต้นทาง หรือต้นน้ำของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Upstream integration	=	อุตสาหกรรมที่มีการรวมตัวกับอุตสาหกรรมต้นทางของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน
Use	=	การใช้งาน การได้รับอรรถประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าจะเป็นไปได้ตามจุดหมายที่ตั้งไว้
User	=	ผู้ใช้งาน
Value added	=	การสร้างมูลค่าเพิ่ม
Variable	=	ข้อมูลแบบผันแปร

Vertical integration	= การขยายตัวตามแนวดิ่ง หรือการเข้าควบคุมกิจการตลอดทั้งสายการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ
Virgin pulp	= เยื่อใหม่ซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งาน
Voice of customer (VOC)	= ความต้องการของลูกค้าในภาษาของลูกค้า
Waste paper pulp	= เยื่อจากเศษกระดาษ
Water adsorption	= คุณสมบัติการดูดซับโมเลกุลน้ำของเซลลูโลส
Water sensitivity	= สมบัติด้านความไวต่อน้ำของกระดาษ
Web-ordering	= ศูนย์บริการข้อมูลออนไลน์สำหรับสั่งผลิตภัณฑ์
Weight scale	= เครื่องชั่งน้ำหนัก
Wet-end	= ส่วนของเครื่องผลิตกระดาษตั้งแต่ส่วนของการขึ้นรูปกระดาษไปจนถึงการรีดน้ำออกจากกระดาษ
Wheatstone bridge circuit	= ขั้ววงจรไฟฟ้าแบบวิดสโตน บริดจ์
Wholesaler	= ผู้ค้าส่ง
Wide Flange Shape (WF)	= เหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง
Winder	= เครื่องกรอแบ่งม้วนกระดาษ
Wire	= ลวดเดินแผ่นกระดาษของส่วนขึ้นรูปกระดาษ
Wood pulp	= เยื่อกระดาษจากไม้
Wrapping	= การห่อพลาสติก
Writing paper	= กระดาษพิมพ์เขียน
X-Y plane	= กระดาษในแนวระนาบ คือ ทิศทางตามความกว้างและความยาวของกระดาษ
Yield loss	= ความสูญเสียผลผลิตสุทธิที่ควรจะได้
Z- direction	= ทิศทางตามความหนาของกระดาษ

รายการสัญลักษณ์

AH	=	ความชื้นสัมบูรณ์
μm .	=	หน่วยความยาว ; ไมโครเมตร
cm^3/g	=	หน่วยปริมาตรต่อน้ำหนัก ; ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
d_2^*	=	แฟกเตอร์ปรับค่าแบบเอนเอียง
delta l	=	ผลต่างระหว่างความยาวเดิมและความยาวหลังยืด ตัวของวัสดุ
ft^2	=	หน่วยพื้นที่ ; ตารางฟุต
g/cm^3	=	หน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร ; กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร
g/m^2	=	หน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ ; กรัมต่อตารางเมตร หรือ แกรมเมต
H^+	=	ธาตุไฮโดรเจนที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป 1 ประจุ
H_0	=	สมมติฐานหลัก
H_1	=	สมมติฐานอื่น/ความสงสัย
H_2O	=	โมเลกุลน้ำ
k	=	จำนวนกลุ่มย่อย
kg/cm^2	=	หน่วยแรงดัน ; กิโลกรัมต่อตารางเมตร
kN/m	=	หน่วยแรงกดในแนวระนาบเดียว ; กิโลนิวตันต่อเมตร
kPa	=	หน่วยแรงดัน ; กิโลปาสกาล
Kw/Ton	=	หน่วยพลังงาน ; กิโลวัตต์ต่อตัน
l	=	ความยาวของวัสดุเดิมก่อนยืด
lb	=	หน่วยน้ำหนัก ; ปอนด์
lb/ft^3	=	หน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร ; ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต
lb/in	=	หน่วยแรงในแนวระนาบเดียว ; ปอนด์ต่อนิ้ว
lb/in^2	=	หน่วยแรงดัน ; ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
mf	=	ความชื้นของอากาศอิ่มตัว

mm.	=	หน่วยความยาว ; มิลลิเมตร
mN	=	หน่วยแรง ; มิลลินิวตัน
MR	=	ค่าพิสัยเคลื่อนที่
n	=	ขนาดสิ่งตัวอย่าง
N/m	=	หน่วยแรงในแนวระนาบเดียว ; นิวตันต่อเมตร
OH ⁻	=	หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล
P-value	=	ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำที่ทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน
R	=	พิสัย
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์
σ	=	ความผันแปรของประชากร
TA125 g/m ²	=	กระดาษสำหรับปะฟิวด้านนอกของกล่องกระดาษ ลูกฟูกเกรด TA น้ำหนัก 125 กรัมต่อตารางเมตร หรือ 125 แกรมเมต
WF	=	เหล็กหน้าตัดรูปปีกกว้าง
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
β-D-glucopyranose	=	เบตา-ดี-กลูโคส ลักษณะการจัดเรียงตัวของ เชลลูโลสซึ่งเป็นโมเลกุลกลูโคสประเภทหนึ่ง

บทที่ 1 บทนำ

กระดาษกราฟเป็นสินค้าที่ถือว่ามีความสำคัญต่อภาคธุรกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระดาษกราฟถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการทำบรรจุภัณฑ์กระดาษ เช่น กล่องกระดาษ ถุงกระดาษ และบรรจุภัณฑ์กระดาษอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ถือเป็นอาวุธสำคัญสำหรับการตลาดของภาคธุรกิจ ดังนั้นปริมาณอุปสงค์ของกระดาษกราฟจึงเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์

1.1 ที่มาของปัญหา

สำหรับอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทยนั้นถือเป็นหนึ่งในไม่กี่อุตสาหกรรมที่มีโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) ยาวต่อเนื่องตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำผู้ผลิตกระดาษ และอุตสาหกรรมปลายน้ำผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ ด้วยลักษณะโครงสร้างอุตสาหกรรมดังกล่าวจึงทำให้ธุรกิจกระดาษกราฟในประเทศไทยมีความได้เปรียบในเรื่องของวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้เอง อีกทั้งยังมีตลาดรองรับสินค้าเป็นของตนเอง ได้แก่ ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ อุตสาหกรรมกระดาษกราฟในไทยมีลักษณะตลาดแบบผู้ขายน้อยราย มีผู้ผลิตรายใหญ่เพียงไม่กี่รายเท่านั้น ทำให้แนวโน้มของอุตสาหกรรมเป็นไปตามผู้ผลิตรายใหญ่ซึ่งเป็นผู้เล่นหลักในโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในเบื้องต้นดูเหมือนว่าอุตสาหกรรมกระดาษกราฟไทยจะมีแนวโน้มที่สดใส เพราะสามารถเติบโตตามการขยายตัวของเศรษฐกิจโลกที่มีปริมาณอุปสงค์ของกระดาษกราฟเพิ่มขึ้น แต่ด้วยการเปิดเขตเสรีการค้าและด้วยสภาวะปริมาณอุปทานของผู้ผลิตกราฟในประเทศไทยมีมากเกินไปปริมาณอุปสงค์ภายในประเทศ ทำให้ผู้ผลิตกราฟในไทยต้องหาช่องทางระบายสินค้าออกสู่ตลาดต่างประเทศ ซึ่งทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟในไทยต้องตกอยู่ในสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งลูกค้ามีความต้องการด้านคุณภาพมากขึ้นและมีทางเลือกในการใช้สินค้าน่ามากขึ้น เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟเป็นสินค้าที่สามารถใช้แทนกันได้ ลูกค้าจึงตัดสินใจเลือกกระดาษกราฟจากคุณภาพเป็นสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกค้ากลุ่มที่นำกระดาษกราฟไปเข้ากระบวนการผลิตกล่องลูกฟูกต่อ ถือเป็นกลุ่มลูกค้าหลักที่รองรับกระดาษจากผู้ผลิตกราฟ ลูกค้ากลุ่มดังกล่าวมีความคาดหวังถึงคุณภาพกระดาษที่ส่งผลต่อการนำไปขึ้นรูปต่อเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการผลิต ลูกค้าประเภทนี้มีลักษณะกระบวนการผลิตแบบผลิตตามคำสั่งซึ่งเรื่องของเวลาในการผลิตมีความสำคัญ ดังนั้นลูกค้าจึงคาดหวังว่ากระดาษกราฟที่นำมาขึ้นรูปต่อขึ้นรูปต้องมีความคาดหวังถึงคุณภาพกระดาษที่ดี สามารถนำขึ้นรูปได้ทันทีและไม่ส่งผลกระทบให้เครื่องจักรต้องหยุดชะงักระหว่างผลิต ความต้องการนี้เองส่งผลทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟจำเป็นต้องดำเนินการผลิตกระดาษกราฟให้ได้ตามความต้องการของผู้ผลิตกล่อง ผลที่ตามมาคือต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากผู้ผลิตกระดาษกราฟต้องเพิ่มหน่วยงานต่างๆ เช่น หน่วยงาน

ตรวจสอบคุณภาพ หน่วยงานแก้ไขงาน หรือหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยประสบปัญหาด้านทุนคุณภาพที่ส่งผลต่อศักยภาพการแข่งขันในระดับนานาชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นมาของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์และแนวโน้มความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในระดับมหภาค
2. ศึกษาลักษณะอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยเพื่อค้นหาประเด็นที่เป็นปัญหาของผู้ผลิตคราฟท์ในไทยที่มีผลต่อการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในระดับเวทีโลก
3. ศึกษาปัญหาต้นทุนที่พบในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเด็นที่ไม่เคยมีงานวิจัยมาก่อนเพื่อทำการศึกษา
4. ค้นหาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหาต้นทุนและทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยสำหรับควบคุมในกระบวนการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต้นทุนอีก
5. กำหนดแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อกำหนดไว้ซึ่งระดับคุณภาพที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนอีกในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาปัญหาความไม่ตรงข้อกำหนดประเภทต้นทุนในกระดาษคราฟท์สำหรับปะผิวกล่องเกรด TA125 g/m² ที่พบในกระบวนการตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งของบริษัทสยามคราฟท์ อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด ซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับศึกษาปัญหาของผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนที่	ชื่อขั้นตอน	กิจกรรมในขั้นตอนนี้
1	คัดเลือกหัวข้อ (select topic)	- ศึกษากระบวนการทางธุรกิจขององค์กร - ศึกษาเทคโนโลยีที่ดีที่สุดของธุรกิจกระดาษ - ทบทวนวรรณกรรม (literature review) - ระบุปัญหาและเลือกหัวข้อปัญหา

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา (ต่อ)

ขั้นตอนที่	ชื่อขั้นตอน	กิจกรรมในขั้นตอนนี้
2	ทำความเข้าใจกับสถานการณ์ปัญหา และตั้งเป้าหมาย (understand situation and set target)	- สำรวจสถานการณ์จริง - เก็บข้อมูลในอดีตเพื่อคำนวณค่า baseline - กำหนดเป้าหมาย
3	วางแผนกิจกรรม (plan activities)	- จัดทำตารางกำหนดการและแบ่งความรับผิดชอบ
4	วิเคราะห์หาสาเหตุ (analyze causes)	- บ่งชี้กระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหา - วิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ - กำหนดหัวข้อหรือประเด็นที่จะทำการแก้ไข
5	พิจารณาและนำมามาตรการตอบโต้ไปปฏิบัติ (consider and implement countermeasures)	- นำเสนอแนวคิดในการแก้ปัญหา - สร้างทางเลือกในการแก้ปัญหา - พิจารณาเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดโดยวิเคราะห์ควบคู่ไปกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ - จัดทำแผนการปฏิบัติตามมาตรการตอบโต้
6	ประเมินผลการแก้ปัญหา (check results)	- ประเมินประสิทธิผลของมาตรการตอบโต้ปัญหานั้น - เปรียบเทียบผลที่ได้เทียบกับเป้าหมาย - ระบุและแยกแยะผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อมที่ได้รับ
7	จัดทำเป็นมาตรฐานปฏิบัติและจัดตั้งการควบคุม (standardize and establish control)	- จัดทำเป็นมาตรฐาน - กำหนดวิธีควบคุม - ฝึกอบรมบุคคลที่เกี่ยวข้อง - ติดตามประเมินผลเพื่อให้มั่นใจว่าจะนำไปปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับทราบความเป็นมาและความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ของโลก
2. ได้รับทราบถึงประเด็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย
3. ได้องค์ความรู้ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสำนวนในประเด็นที่ไม่เคยมีการวิจัยมาก่อนตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
4. สามารถควบคุมตัวแปรในกระบวนการผลิตที่ส่งผลให้เกิดปัญหาสำนวน โดยบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
5. สามารถกำหนดค่าควบคุมกระบวนการผลิตใหม่ให้มีประสิทธิภาพ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

สำหรับบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง ทฤษฎีสำหรับการบ่งชี้ปัญหาด้านคุณภาพ ส่วนที่สอง ทฤษฎีสำหรับกลวิธีการแก้ไขและปรับปรุงคุณภาพ ส่วนที่สาม ทฤษฎีสำหรับเทคโนโลยีเฉพาะด้าน และส่วนที่สี่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีสำหรับการบ่งชี้ปัญหาด้านคุณภาพ

เนื้อหาในส่วนที่หนึ่งนี้เป็นแนวคิดคุณภาพเพื่อสร้างแนวคิดในการบ่งชี้ปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็นเนื้อหาทฤษฎีที่มีความสำคัญต่อการบ่งชี้หัวข้อปัญหาสำหรับงานวิจัยเป็นอย่างมาก โดยมีรายละเอียดเนื้อหา สาระสำคัญ และแนวคิดต่างๆสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 ความหมายและแนวคิดของคุณภาพ [1]

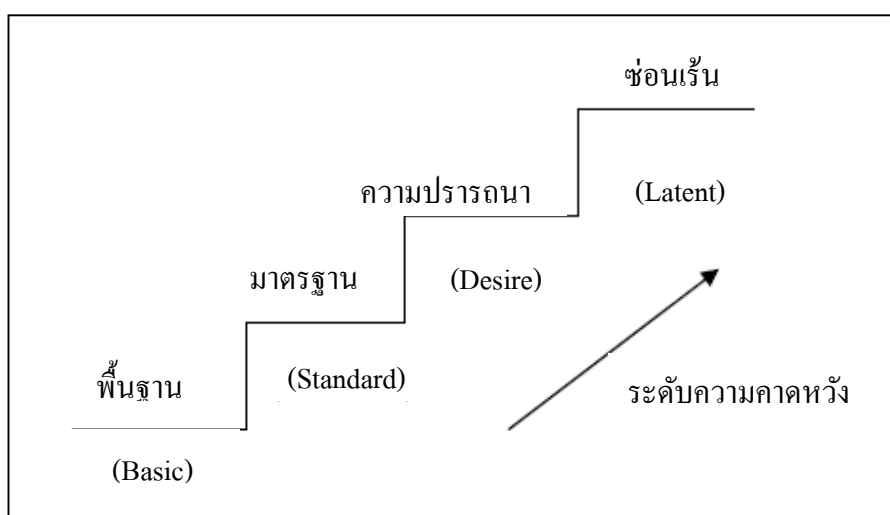
ในกระบวนการทางธุรกิจทั้งภาคการผลิต และภาคบริการ ล้วนแต่มีจุดประสงค์เช่นเดียวกันคือ ทำอย่างไรให้ผลิตแล้วสามารถขายได้ โดยความสามารถในการขายได้ของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับสถานการณ์การแข่งขันด้านการตลาดเป็นสำคัญ กล่าวคือ ในภาวะที่ตลาดมีการแข่งขันไม่สูงมากนัก การผลิตผลิตภัณฑ์ให้ขายได้จึงไม่ใช่เรื่องที่ยากลำบาก แต่ในยุคที่มีการแข่งขันแบบไร้พรมแดน การผลิตผลิตภัณฑ์ที่สามารถขายได้ถือว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถของผู้ผลิตทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าการแข่งขันด้านตลาดจะอยู่ในระดับใดก็ตาม ความสามารถในการขายได้ของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับผู้ตัดสินใจเป็นสำคัญ คือ ผู้ซื้อ และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว และผู้ซื้อหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จะอาศัยการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์หรือไม่จากคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญ ซึ่งนับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน มีนักวิชาการจำนวนมากได้พยายามให้ความหมายของคุณภาพ ทั้งที่มีความคล้ายคลึงกัน และมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีผู้เชี่ยวชาญสาขาคุณภาพได้ทำการถอดความหรือสรุปไว้อย่างกระชับสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย อาทิเช่น กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ [1] ซึ่งการทำความเข้าใจกับความหมายของคุณภาพถือเป็นบันไดขั้นแรกในการแก้ไขปัญหาคุณภาพ ซึ่งความแตกต่างของความหมายนั้นจะขึ้นอยู่กับยุคสมัย และมุมมองด้านคุณภาพที่แตกต่างกันจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจความหมายโดยรวมของคำว่าคุณภาพโดยการศึกษาวิวัฒนาการด้านคุณภาพซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บทสรุปสำหรับวิวัฒนาการด้านคุณภาพ

ยุคสมัย	นิยาม	วิธีการสำคัญของคุณภาพ
ก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม	ความสามารถในการแทนกันได้	แรงงานฝีมือ
หลังการปฏิวัติอุตสาหกรรม	การตรงต่อข้อกำหนดเฉพาะ	การตรวจสอบคุณภาพ
หลังสงครามโลกครั้งที่ 2	การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า	ระบบการควบคุมคุณภาพ ที่ทุกคนมีส่วนร่วม
โลกาภิวัตน์	การสร้างความประทับใจต่อลูกค้า	การปรับปรุงคุณภาพ
อนาคต	การสร้างความประทับใจแบบ เบ็ดเสร็จ	การพัฒนาคุณภาพ

2.1.2 การสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า [1]

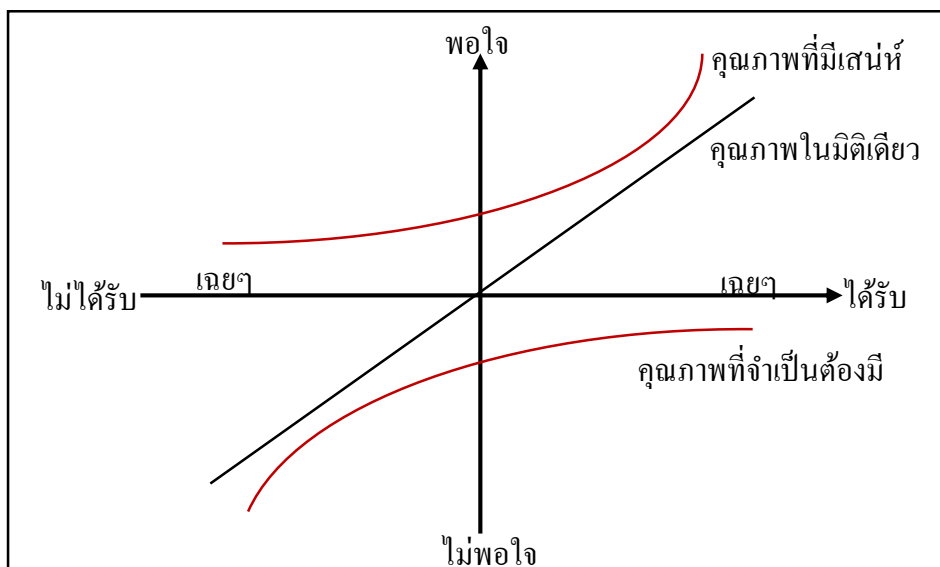
ในการสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้านั้นจำเป็นต้องเข้าใจกับความพึงพอใจของลูกค้าเสียก่อน ซึ่งหมายถึง การตอบสนองในสิ่งที่จำเป็นภายใต้ความคาดหวังของลูกค้า โดยสิ่งที่จำเป็นนี้จะหมายถึง สิ่งใดก็ตามที่ลูกค้าขาดแคลนแล้วมีความเดือดร้อนอย่างใดอย่างหนึ่งต่อการดำเนินชีวิตโดยปกติ ภายใต้เงื่อนไขที่จำเป็นของลูกค้านั้น ผู้ผลิตจะตอบสนองต่อเงื่อนไขที่เพียงพอให้กับลูกค้าเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า และจะเรียกเงื่อนไขดังกล่าวว่า ความคาดหวัง โดยทั่วไปจะแบ่งความคาดหวังเป็น 4 ระดับดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เงื่อนไขที่เพียงพอต่อการสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า

ในการทำความเข้าใจกับความต้องการของลูกค้า นอกเหนือจากการทำความเข้าใจถึงความจำเป็น และความคาดหวังของลูกค้าแล้ว ควรทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของลูกค้าอีกด้วย โดยอธิบายโดยใช้ตัว

แบบคาโน ดังรูปที่ 2.2 โดยคุณภาพในโครงการวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับคุณภาพที่จำเป็นต้องมี (must-be quality) กล่าวคือ ถ้าไม่ได้รับตามความคาดหวัง ลูกค้าจะมีความไม่พึงพอใจ และถึงแม้ว่าจะตอบสนองตรงตามความคาดหวังแล้วก็มีส่งผลให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ



รูปที่ 2.2 คุณภาพตามพฤติกรรมของลูกค้า

2.1.3 การจำแนกลูกค้าตามการใช้งาน [2]

ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยความหมายของคำว่าการใช้งาน (use) จะมีความหมายมิใช่เฉพาะการอุปโภคและบริโภคของผู้ใช้ในขั้นสุดท้ายดังที่เข้าใจกันโดยทั่วไป เพราะในที่นี้ควรให้ความหมายว่าการได้อรรถประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าจะจะเป็นไปตามจุดหมายที่ตั้งใจไว้

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ [2] ได้อ้างอิงถึง Juran ซึ่งให้นิยามความหมายของผู้ใช้งาน (user) ไว้ว่า หมายถึง ใครก็ตามที่ดำเนินการตามที่สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่กำหนดไว้ในตัวผลิตภัณฑ์ให้สำเร็จลุล่วง นอกจากนี้แล้วยังจำแนกกลุ่มลูกค้าบนแนวความคิดการนำไปใช้ออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

ก. ผู้นำไปผลิตต่อ (processor)

ผู้นำไปผลิตต่อ คือ บุคคลหรือองค์กรที่มีการนำผลิตภัณฑ์ของเราไปใช้เป็นปัจจัยป้อนเข้าในกระบวนการ เพื่อเพิ่มคุณค่าบางประการลงไปให้ผลิตภัณฑ์ในขั้นถัดไป

ข. พ่อค้า (merchant)

พ่อค้า คือ บุคคลหรือองค์กรที่มีการนำผลิตภัณฑ์ของเราไปใช้เพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์

ค. ผู้ใช้ขั้นสุดท้าย (ultimate user)

ผู้ใช้ขั้นสุดท้าย คือ ผู้บริโภค (consumer) ผู้ที่นำผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายไปใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้

ง. สังคม (social) หรือสาธารณชน (public)

สังคมหรือสาธารณชน คือ ผู้ที่ได้รับประโยชน์หรือสูญเสียประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ของเรา แม้ว่ามิใช่ผู้ซื้อหรือผู้ใช้สินค้าและบริการโดยตรง

2.2 ทฤษฎีสำหรับกลวิธีการแก้ไขและปรับปรุงคุณภาพ

สำหรับเนื้อหาในส่วนที่สองนี้เป็นทฤษฎีที่เน้นถึงวิธีการแก้ปัญหา และปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการแก้ปัญหาคุณภาพ และกลยุทธ์ต่างๆ โดยอาศัยเครื่องมือพื้นฐานเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

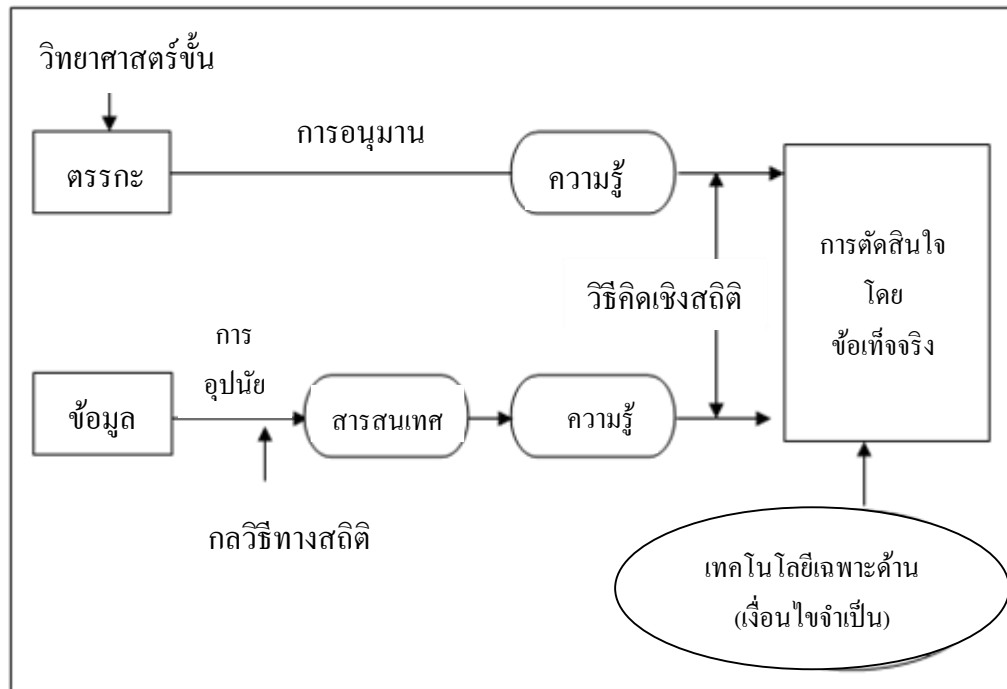
2.2.1 กระบวนการแก้ปัญหา [3]

โดยทั่วไปในการดำเนินการทางธุรกิจเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นแล้ว จำเป็นต้องดำเนินการควบคุมคุณภาพด้วยมาตรการเฉพาะหน้าก่อน คือ การดำเนินการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า (correction) ก่อนเพื่อมิให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องดังกล่าวหลุดรอดไปถึงมือลูกค้า เช่น การทำลายทิ้ง การรีเวิร์ก เป็นต้น แต่ทว่าในกรณีที่ผลิตภัณฑ์หลุดรอดไปถึงมือลูกค้าแล้ว เช่น ชิ้นงานเคลม ก็จำเป็นที่จะต้องดำเนินการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเช่นกัน ด้วยการเข้าไปแก้ไขชิ้นงาน กล่าวคำขอโทษ และนำชิ้นงานไปทดแทนให้ทันตามเวลา เมื่อผลิตภัณฑ์บกพร่องได้รับการดำเนินการแก้ไขแล้ว ในขั้นตอนต่อไปของการควบคุมคุณภาพจะเป็นขั้นตอนของการค้นหาสาเหตุรากเหง้าเพื่อหาทางกำจัดทิ้ง และป้องกันการเกิดซ้ำของผลิตภัณฑ์ ซึ่งควรทำการบ่งชี้ให้ชัดเจนว่าปัญหาดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นอย่างเป็นครั้งคราว (sporadic) หรือเรื้อรัง (chronic) เพื่อที่จะบ่งชี้ปัญหาคุณภาพในโครงการวิจัยได้อย่างถูกต้อง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวนั้นจะทำการแก้ปัญหาโดยกระบวนการควบคุมคุณภาพ (quality control) แต่ในกรณีที่มีการเกิดปัญหาแบบเรื้อรังจะทำการแก้ปัญหาโดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชิงตอบโต้ (quality improvement)

2.2.2 การตัดสินใจโดยข้อเท็จจริง [4]

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อคนเราเผชิญหน้ากับปัญหามักจะดำเนินการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยอาจจะละเลยการกำจัดสาเหตุเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำของปัญหา และถ้ามีการกำจัดสาเหตุเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำมักจะอาศัยประสบการณ์หรือลางสังหรณ์ของตนเองในการสรุปถึงสาเหตุของปัญหาแล้วทำการกำจัดทั้งทันที ซึ่งจะพบว่าสาเหตุดังกล่าวอาจจะมีสาเหตุรากเหง้าของปัญหาได้ ซึ่งนอกจากจะไม่สามารถป้องกันการเกิดซ้ำของปัญหาได้แล้ว ในบางครั้งอาจจะทำให้เกิดการย้ายอาการปัญหาจากอาการหนึ่งสู่อีกอาการหนึ่งได้ อาทิ มีการแก้ไขปัญหาคอขวดของผลิตภัณฑ์แต่ทำให้เกิดปัญหาการลดต้นทุนสูงขึ้นแทน หรือบางครั้งอาจจะมีการแก้ไขปัญหาการลดต้นทุนของการผลิตผลิตภัณฑ์ ก็อาจจะทำให้เกิดปัญหาคอขวดของผลิตภัณฑ์ขึ้นมาได้ เป็นต้น

การตัดสินใจโดยข้อเท็จจริง หมายถึง การตัดสินใจที่มีได้อาศัยเพียงประสบการณ์ ลางสังหรณ์ และความกล้าตัดสินใจของผู้ตัดสินใจ แต่ต้องตัดสินใจโดยอาศัยข้อความหรือเหตุการณ์ที่ผ่านการวินิจฉัยแล้วว่าเป็นความจริงโดยการวินิจฉัย และอาศัยข้อมูลหรือตรรกะซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 การตัดสินใจโดยข้อเท็จจริงจะต้องเกิดจากองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ ความรู้เฉพาะในงานที่พิจารณาหรือเทคโนโลยีเฉพาะด้านที่ถือเป็นเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการตัดสินใจ และความรู้ในด้านความผันแปรหรือวิธีคิดเชิงสถิติที่ถือเป็นเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจ โดยความรู้เฉพาะในงานอาจจะประกอบด้วยเทคโนโลยีด้านผลิตภัณฑ์ และเทคโนโลยีด้านการผลิต อาทิ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุ บัญชี และการเงิน การตลาด ฯลฯ สำหรับความรู้ในการผันแปรอาจจะประกอบด้วยเทคโนโลยีด้านการบริหาร อาทิ วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมควบคุมคุณภาพ การวิจัยการดำเนินงาน วิศวกรรมคุณค่า และสถิติ ในระยะเริ่มแรกของการตัดสินใจโดยข้อเท็จจริงนั้น ผู้ตัดสินใจได้ตัดสินใจดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ มักจะอาศัยความรู้ส่วนใหญ่ (ประมาณ 80 %) มาจากเทคโนโลยีเฉพาะด้าน และส่วนน้อย (ประมาณ 20 %) มาจากความรู้ในด้านความผันแปร อย่างไรก็ตามเมื่อมีประสบการณ์การตัดสินใจมากขึ้น จะทำให้พัฒนาเทคโนโลยีเฉพาะด้านเพิ่มมากขึ้น และมากจนกระทั่งสามารถสร้างเทคโนโลยีของตนเองได้ ดังนั้นสัดส่วนของการใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีเฉพาะด้านจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ในขณะที่สัดส่วนของการใช้ความรู้ด้านความผันแปรเริ่มลดลงสำหรับการตัดสินใจกับปัญหาเดิม จนในที่สุดการตัดสินใจจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดก็ต่อเมื่อมีการตัดสินใจโดยสามัญสำนึก



รูปที่ 2.3 กระบวนการตัดสินใจโดยข้อเท็จจริง

ในการใช้ความรู้ด้านความผันแปร ซึ่งถือเป็นเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจโดยข้อเท็จจริงนั้น จะอาศัยความรู้จากตรรกะ และจากสารสนเทศที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูล โดยความรู้ด้านตรรกะจะต้องได้มาจากผู้ตัดสินใจที่มีพื้นฐานเกี่ยวกับกฎทางตรรกศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์พื้นฐานค่อนข้างดี เพื่อจะสามารถอธิบายความเป็นเหตุ และผลต่อกันได้ สำหรับความรู้ที่ได้มาจากสารสนเทศที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลนั้น จะต้องอาศัยข้อมูลที่มีคุณภาพ แล้ววิเคราะห์ด้วยกลวิธีทางสถิติที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วสามารถจำแนกกลวิธีทางสถิติออกเป็น 2 สาขาใหญ่ๆ คือสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงอนุมาน ซึ่งสถิติเชิงพรรณนาจะมีแนวความคิดในการนำเอาข้อมูลที่ได้มาอธิบายถึงปัญหาที่ต้องการตัดสินใจตามรูปแบบการแจกแจงของข้อมูล สถิติเชิงพรรณนาจึงมีความเหมาะสมกับปัญหาที่มีข้อมูลจำนวนมาก สำหรับสถิติเชิงอนุมานจะมีแนวความคิดในการนำเอาข้อมูลที่มีจำนวนไม่มากนักไปทำการอนุมานทางสถิติโดยอาศัยกฎของความน่าจะเป็น ดังนั้นสถิติเชิงอนุมานจึงมีความเหมาะสมกับปัญหาที่มีข้อมูลจำนวนไม่มาก

2.2.3 หลักการ 5G [5]

หลักการ 5G เป็นระบบที่นำเอาหลักความคิด 2 ประการคือ หลักการทางทฤษฎี (genri) และระเบียบกฎเกณฑ์ (gensoku) รวมเข้ากับแนวคิดตามหลักการของความเป็นจริงในสถานที่ปฏิบัติงาน 3 ประการ โดยหลักการ 3G เป็นคำศัพท์ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายสาขาของอุตสาหกรรม การผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบริหารการผลิต หลักการ 3G นี้มาจากคำศัพท์ 3 คำในภาษาญี่ปุ่น โดยมีความหมายว่า จงไปที่พื้นที่จริง (genba) ไปดูของจริง (genbutsu) และยังคงคำนึงถึงความจริง

(genjitsu) ด้วยความหมายแฝงของหลักการ 3G ก็คือ การที่เรานั่งทำงานอยู่บนโต๊ะเพียงอย่างเดียวจะทำให้เราไม่สามารถมองเห็น หรือรับทราบถึงความเป็นจริงได้ ดังนั้นเราควรจะเข้าไปในพื้นที่ที่เกิดปัญหา ใช้สายตาของตนมองปัญหาที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ข้อมูลจากสภาพแวดล้อม และความเป็นจริงที่ได้รับทราบ แล้วจึงค่อยตัดสินใจแก้ไขปัญหา ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่สำคัญมาก ส่วนทำไมหลักการทางทฤษฎีและระเบียบกฎเกณฑ์จึงมีความสำคัญ เหตุผลก็คือ มีคนจำนวนมากที่นำเอา “หลักการ 3G” ไปใช้ปฏิบัติจริง หากแต่ยังขาดหลักการ และทฤษฎีอยู่เป็นเพราะหลักการ 3G นี้มิได้รวมเอาสิ่งที่ควรเป็นมาตรฐานในการตัดสินใจเข้าไปด้วย ตามปกติแล้วคนที่มีความคิดจะมีการตัดสินใจจากประสบการณ์ที่ตัวเองเคยผ่านมา หากแต่มีขาดหลักการทางทฤษฎี และระเบียบกฎเกณฑ์ ทำให้การตัดสินใจนั้นเกิดความเขย่ง และรวดเร็ว ถึงแม้จะเป็นคนที่มีการตัดสินใจดี และรวดเร็วเพียงใดก็ตาม แต่หากสิ่งนั้นไม่ได้เป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี และระเบียบกฎเกณฑ์แล้ว การตัดสินใจนั้นก็ไมอาจจัดเป็นสิ่งที่เหมาะสมได้

2.2.4 เครื่องมือพื้นฐานสำหรับการแก้ไขปัญหา [1]

เครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหานั้น อาศัยการแสดงผลข้อมูลด้วยแผนภาพสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายต่อการใช้งาน และการตีความหมายเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ได้ตามความเหมาะสม และข้อจำกัดบางประการ แต่ควรมีแนวคิดการใช้กลวิธีต่างๆ เป็นเครื่องมือแทนที่จะเป็นจุดประสงค์ ซึ่งเครื่องมือพื้นฐานในการแก้ปัญหาก็เลือกใช้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้เครื่องมือพื้นฐานในโครงการวิจัย

เครื่องมือคุณภาพ	ประเภท/แบบ	จุดประสงค์ที่ใช้ในโครงการวิจัย
กราฟ	กราฟเส้น	ดูความผันแปรของปัญหาในภาพรวม และวิเคราะห์หาสาเหตุความผันแปรของข้อมูล (กราฟแนวโน้ม)
	กราฟวงกลม	เปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภท
แผนภูมิควบคุม	I-MR chart	วิเคราะห์ความผันแปรของกระบวนการและการทวนสอบข้อมูลของปัญหา
แผนภาพสาเหตุและผล	กำหนดรายการของสาเหตุ	กำหนดสมมติฐานของสาเหตุ
แผนภูมิการไหลของกระบวนการ	กระบวนการทางธุรกรรม	ทำความเข้าใจกับภาพรวมของกิจกรรม

2.2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (measurement system analysis : MSA)

วัตถุต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะค่าหนึ่งซึ่งถือว่าเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ ซึ่งเรากำหนดค่าจริงของสิ่งเหล่านี้ผ่านระบบวัดอันประกอบไปด้วย เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด และสิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความสำคัญอย่างมากต่อการตัดสินใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ เนื่องจากในการวิเคราะห์ปัญหานั้นสิ่งที่เราต้องการ คือ ความผันแปรเนื่องจากกระบวนการ ดังนั้น หากระบบการวัดไม่มีคุณสมบัติที่เพียงพอแล้ว มีความเป็นไปได้ว่าความผันแปรที่วัดออกมาได้นั้นอาจมีสาเหตุมาจากความผันแปรเนื่องจากระบบการวัดมิใช่จากกระบวนการก็เป็นได้

2.2.5.1 ความหมายของระบบการวัด [3]

AIAG ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ระบบการวัด คือ สิ่งที่ยุบรวมไว้ซึ่งอุปกรณ์วัดคุณสมบัติหรืออุปกรณ์การวัด (เกจ) มาตรฐาน ขั้นตอนการปฏิบัติ วิธี อุปกรณ์จับยึดงาน ซอฟต์แวร์ บุคลากร สิ่งแวดล้อม และข้อสมมติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณของหน่วยวัด หรือประเมินคุณลักษณะที่ได้รับการวัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบการวัดต้องมีสมบัติขั้นพื้นฐาน 4 ประการ คือ

ก. มีความไว (sensitivity) และความสามารถแยกความแตกต่าง (resolution) ของค่าวัดอย่างเพียงพอ กล่าวคือ ส่วนเพิ่มของค่าวัดควรจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ

ข. ระบบวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ คือ ทำให้ความผันแปรของค่าวัดเป็นไปตามสาเหตุธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้ระบบวัดมีคุณสมบัติที่ดีในการทำซ้ำ (repeatability)

ค. ในการควบคุมผลิตภัณฑ์ ความผันแปรของระบบการวัดจะต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนยินยอมของข้อกำหนดเฉพาะ

ง. ในการควบคุมกระบวนการ ความผันแปรของระบบวัดจะต้องมีคุณสมบัติที่แยกความแตกต่าง (discrimination) ของชิ้นงานได้ และต้องมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการผลิต

2.2.5.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด คือ เทคนิคที่ทำการศึกษา และประเมินความสามารถของระบบการวัดที่เกิดจากพนักงาน เครื่องมือวัด วิธีการที่ใช้ในการวัด หรือผลิตภัณฑ์ที่ถูกวัดถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดว่ามีความผันแปรอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ การวิเคราะห์ระบบการวัดทำโดยวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด และวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการวัดหรือข้อมูลจากลักษณะเชิงผันแปร และวิธีการประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการนับหรือข้อมูลจากคุณลักษณะเชิงคุณภาพ

2.2.5.3 การประเมินผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลเชิงผันแปร

คุณสมบัติด้านความเที่ยงหรือด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัด สามารถแบ่งสาเหตุของความผันแปรได้เป็นรีพีทเทบิลิตี (repeatability) ซึ่งหมายถึง ความผันแปรภายใต้เงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัด และสาเหตุของความผันแปรแบบรีโพรดิวซิเบิลิตี (reproducibility) หมายถึง ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบวัด โดยวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เลือกชิ้นงานมาอย่างสุ่มจากกระบวนการ 12 ชิ้น โดยพยายามบ่งชี้ให้ความผันแปรครอบคลุมความผันแปรของกระบวนการ และทำการกำหนดตัวเลขแสดงชิ้นที่ของชิ้นงานโดยไม่ให้พนักงานรับทราบ
2. เลือกพนักงานวัดมาประมาณ 2-4 ชุด (เนื่องจากชิ้นงานในงานวิจัยไม่สามารถใช้พนักงาน 1 คนในการวัดได้)
3. ทำการวัดอย่างสุ่มจนครบทุกชิ้นงานแล้วบันทึกผล
4. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.2.6 การออกแบบการทดลอง [4]

การทดลอง หมายถึง การทดสอบหรือเป็นชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า (input variable) ของกระบวนการหรือระบบเพื่อว่าเราอาจจะสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลของตัวแปรขาออกได้ (output variable) โดยการออกแบบการทดลองให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์ผลได้ ต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (statistical design of experiment)” หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ หลักการสุ่ม (randomization) หลักการซ้ำ (replication) และหลักการบล็อก (blocking) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หลักการสุ่ม (randomization) เพื่อวัตถุประสงค์ในการเกลี่ยออก (balance out) อิทธิพลแทรกซ้อน (noise effect) ต่างๆ ที่มีต่อข้อมูล
2. หลักการซ้ำ (replication) เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดออก (average out) ซึ่งอิทธิพลแทรกซ้อนต่างๆ (noise effect) ที่มีในข้อมูล

3. หลักการบล็อก (blocking) เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอิทธิพลแทรกซ้อน (noise effect) ที่มีผลค่อนข้างมากออกไปเพื่อเพิ่มความแม่นยำ (precision) ในข้อมูลให้สูงขึ้นด้วยการกันความผันแปรจากอิทธิพลแทรกซ้อนออกไปขณะทำการทดลอง

การทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial experiment)

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลนั้น สามารถใช้ได้ในการศึกษาที่ต้องการทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปและต้องการศึกษาผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัยเหล่านั้น

ในการทดลองที่มีปัจจัยพิจารณาจำนวนมาก สิ่งสำคัญคือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ซึ่งถ้าละเลยหรือไม่สนใจแล้วอาจทำให้ตีความหมายผิดพลาดไป แต่ในการดำเนินการทดลองแบบแฟกทอเรียลเพื่อต้องการรู้ผลของปัจจัยหลายๆปัจจัยนั้น จะเป็นเหตุให้การทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นจำนวนวัตถุดิบ เวลา หรือแรงงานต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยเรียกการทดลองแบบนี้ว่า 2^k แฟกทอเรียล โดยที่

2 หมายถึง จำนวนระดับ (level)

k หมายถึง จำนวนปัจจัย (factor)

การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเป็นการทดลองที่มีจำนวนของปัจจัยเท่าไรก็ตามแต่กำหนด จำนวนของระดับที่ใช้ในการทดลองไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้น โดยเมื่อจำนวนปัจจัยการป้อนเข้าสำหรับการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเพิ่มจำนวนสูงขึ้น จำนวนของการทดลองก็จะสูงขึ้นด้วย เช่น การออกแบบการทดลอง 2^5 จะต้องการจำนวนการทดลอง 32 ครั้ง การออกแบบการทดลอง 2^6 จะต้องการจำนวนการทดลองถึง 64 ครั้ง ซึ่งยังไม่นับรวมการทดลองซ้ำซึ่งจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรไม่ว่าจะเป็นจำนวนสิ่งตัวอย่าง เวลาในการทดลองที่มากขึ้นและไม่อาจทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันได้ทั้งหมด ภาษาทางสถิติเรียกเงื่อนไขว่า “เงื่อนไขในทรีตเมนต์คอมบินชัน (treatment combination) มีมากกว่าเงื่อนไขขนาดของบล็อก (block size)” ดังนั้นในบางการทดลองจำเป็นต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ครั้ง หรือ 4 ครั้งเป็นต้น

การทดลองแบบแฟกทอเรียลจะตั้งสมมติฐานว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยในลำดับสูง (high order interaction) มีผลน้อยจึงทำให้ปะปน (confound) กับอิทธิพลหลัก (main effect) และอิทธิพลร่วมของปัจจัยในลำดับต่ำ (low order interaction) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านการทดลองแบบแฟกทอเรียลจะยังคงมีผลจากอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมในลำดับต่ำซึ่งเป็นสิ่งที่เราสนใจ

2.3 ทฤษฎีสำหรับเทคโนโลยีเฉพาะด้าน

ในส่วนที่สามนี้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระดาษ โครงสร้างของกระดาษที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษ คุณสมบัติของกระดาษ และกระบวนการผลิตกระดาษ ซึ่งรายละเอียดส่วนนี้มีความสำคัญมากต่อการทำความเข้าใจกับปัญหาและการวิเคราะห์ โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

2.3.1 กระดาษคราฟท์ (kraft paper) [6]

คำว่าคราฟท์ (kraft) มาจากภาษาเยอรมัน มีความหมายว่า แข็งแรง โดยกระดาษคราฟท์ คือ กระดาษที่ผลิตจากเยื่อเคมี (chemical pulp) ที่ได้จากกระบวนการคราฟท์ (kraft process) เป็นการใช้เทคโนโลยีในการแปลงสภาพจากเนื้อไม้เป็นเยื่อกระดาษไม้ (wood pulp) โดยใช้สารเคมีและความร้อนในการแยกเยื่อและขจัดลิกนิน เยื่อกระดาษที่ได้จากกระบวนการคราฟท์นี้จะผลิตกระดาษที่มีความแข็งแรงหรือเหนียวกว่ากระดาษชนิดอื่น โดยปกติกระดาษคราฟท์จะมีสีน้ำตาลตามสีของเนื้อไม้ที่นำมาผลิต แต่สามารถนำมาฟอกสีให้มีเนื้อสีขาวได้ กระดาษคราฟท์เป็นกระดาษที่มีความเหนียวและแข็งแรงกว่ากระดาษธรรมดา สามารถป้องกันแรงอัดและการทิ่มแทงจากการกระทบกระแทกจากภายนอกได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านทานการเปียกน้ำ ต้านทานการเปรอะน้ำมัน ต้านทานการเสียดสี มีความหนาและมีความเรียบสม่ำเสมอ สามารถติดกาวได้ดี และเหมาะสำหรับการพิมพ์ จากคุณลักษณะที่ดีเด่นของกระดาษคราฟท์ชนิดต่างๆทำให้สามารถนำมาแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์และภาชนะหีบห่อได้อย่างเหมาะสม ทั้งด้านการผลิต การบรรจุและการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้อีก ช่วยให้เกิดปัญหามลพิษด้านสภาวะแวดล้อมลงได้ระดับหนึ่ง ดังนั้นกระดาษคราฟท์จึงเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม

2.3.1.1 ผลิตภัณฑ์ของกระดาษคราฟท์ [7], [8]

กระดาษคราฟท์มีหลายประเภท ดังนี้

ก. กระดาษแข็งประเภทคอนเทนเนอร์บอร์ด (container board) เป็นกระดาษที่ใช้ในการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (corrugated paper board) มี 2 ชนิด คือ

ก.1 กระดาษทำผิวกล่อง (kraft linerboard) หมายถึงกระดาษที่ใช้ปะหรือยึดติดกับกระดาษที่ใช้ทำลอนลูกฟูก

ก.2 กระดาษทำลอนลูกฟูก (corrugating medium หรือ fluting medium) กระดาษที่นำมาขึ้นลอนเป็นกระดาษลูกฟูกสำหรับประกอบเป็นชั้นกลางของกล่องลัง

ข. กระดาษสำหรับทำถุง (sack kraft) คือ กระดาษสำหรับผลิตเป็นถุงชอปปิง และถุงปูน

ค. กระดาษสำหรับวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น กระดาษริบกราฟท์ที่ใช้บรรจุหีบห่อสินค้าต่างๆ และแกนกระดาษ เป็นต้น

สำหรับบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ผลิตจากกระดาษกราฟท์นั้นมี 2 ลักษณะด้วยกัน คือ กล่องกระดาษ และ ถุงกระดาษ และสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ตามลักษณะของการออกแบบตามการนำไปใช้งาน ได้แก่

ก. บรรจุภัณฑ์ชั้นในหรือปฐมภูมิ (primary packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกสัมผัสกับอาหารหรือสิ่งของที่เป็นสินค้าโดยตรง เช่น ซองบรรจุน้ำตาล กล่องกระดาษแข็งใส่ขนมปัง พืชชำ กล่องนม ถุง/ซองบรรจุอาหารสัตว์

ข. บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองหรือทุติยภูมิ (secondary packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่รวบรวมบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกเข้าด้วยกัน เช่น กล่องกระดาษที่ใช้บรรจุสินค้า กล่องกระดาษแข็งของหลอดยาสีฟัน ถุงกระดาษชนิดต่างๆ เป็นต้น

หมายเหตุ บรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ชั้นในและบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า บรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่ายปลีก (commercial packaging)

ค. บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สามหรือตติยภูมิ (tertiary packaging) ใช้เพื่อการขนส่งสินค้าโดยเฉพาะ จึงเรียกบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สามนี้อีกชื่อหนึ่งว่าบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง เช่น กล่องกระดาษลูกฟูก กล่องพัสดุทางไปรษณีย์ ฯลฯ

2.3.1.2 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์กระดาษ [8], [9], [10]

บรรจุภัณฑ์หรือการบรรจุหีบห่อ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าที่มุ่งเพื่อปกป้องสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีความเสียหายหรือเสียหายน้อยที่สุด เพื่อการคุ้มครองปกป้องสินค้าจากผู้ผลิตจนถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัย โดยมักคำนึงถึงต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมและบรรจุภัณฑ์ต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากบรรจุภัณฑ์จะสามารถลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสินค้าหรือ

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สวยงามยังมีส่วนช่วยอย่างมากในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า เป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับสินค้าได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์โดยทั่วไปต้องสามารถตอบสนองความต้องการใช้งานของผู้บริโภคได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ [9], [10], [11]

หน้าที่ (function)	รายละเอียด
การบรรจุสินค้า (packing)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีจะทำหน้าที่บรรจุสินค้าหรือนำพาสินค้าผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตจนกระทั่งไปถึงมือผู้บริโภค หรือ ผู้ใช้คนสุดท้าย
การป้องกันตัวสินค้า (protection)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีจะทำหน้าที่ป้องกันคุ้มครองสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในไม่ให้บุบสลาย เสียรูป แดกหัก ไหลซึม หรือเสียหายทางกายภาพอันเกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยสภาพดินฟ้าอากาศ ระยะเวลาในการเก็บรักษา สภาพการขนส่ง กล่าวคือต้องคงสภาพลักษณะของสินค้าให้สมบูรณ์ให้มากที่สุดก่อนถึงมือลูกค้าจนถึงผู้บริโภค
รักษาคุณภาพสินค้า (preservation)	สินค้าบางชนิดโดยเฉพาะอาหาร การรักษาคุณภาพให้เหมือนเดิม หรือชะลอคุณภาพมีความจำเป็นอย่างยิ่ง บรรจุภัณฑ์มีหน้าที่ป้องกันทางภายนอกไม่ให้สินค้าภายในแปรสภาพไป เช่น การป้องกันอากาศซึมผ่าน ป้องกันแสง หรือก๊าซเฉื่อย ที่อาจทำปฏิกิริยากับตัวสินค้าได้
ความเข้ากันได้ (compatibility)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องมีความเข้ากันได้กับตัวผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ กล่าวคือวัสดุที่ทำบรรจุภัณฑ์ต้องไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายใน
ความปลอดภัย (safety)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องไม่ปล่อยสารที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้สู่ผลิตภัณฑ์
การบ่งชี้ (identification)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องสามารถสื่อสาร หรือบ่งชี้รายละเอียดต่าง ๆ ของสินค้าเกี่ยวกับชนิด คุณภาพและแหล่งที่มาโดยหีบห่อต้องแสดงข้อมูลอย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้บริโภคทราบถึงข้อมูลสินค้า เช่น สถานที่ผลิต ปริมาณ การบรรจุ ส่วนประกอบ เวลาผลิตและหมดอายุ การระบุข้อความสำคัญ ๆ ตามกฎหมาย โดยเฉพาะสินค้าประเภทอาหารและยา
ความสะดวกในการใช้งาน (convenience)	ขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์นั้นต้องออกแบบให้มีความสะดวกในเรื่องการขนส่ง การจัดเก็บ และมีความรวดเร็วในการขนถ่าย อย่างเช่นการรวมหน่วยของผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วยเดียวกันเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

หน้าที่ (function)	รายละเอียด
การสร้างมูลค่าเพิ่ม (value added)	บรรจุภัณฑ์ต้องสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ สร้างความเชื่อถือและภาพลักษณ์ ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่นการใช้ตราสินค้า (branding) เป็นสื่อโฆษณาถึงสรรพคุณ คุณ ุขขาย เพื่อเพิ่มความต้องการในการบริโภค
ความจงใจให้ซื้อ (presentation)	บรรจุภัณฑ์ที่ดีต้องช่วยดึงดูดความสนใจและช่วยชักจูงในการซื้อสินค้า เนื่องจากสินค้าชนิดใหม่มีเพิ่มขึ้นในตลาดอยู่ตลอดเวลา การแข่งขันทางด้านตลาดก็เพิ่มขึ้น ผู้ซื้อสินค้านิยมไม่อาจติดตามการเคลื่อนไหวทางด้านตลาดได้ทัน หีบห่อจึงต้องทำหน้าที่แนะนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุอยู่ให้กับผู้ซื้อด้วย และช่วยดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อที่ไม่เคยใช้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เปรียบเสมือนพนักงานขายที่ไร้เสียง (silent salesman) และหลังจากใช้แล้วเกิดความพอใจที่จะซื้อใช้อีก หีบห่อจะทำหน้าที่ขายและโฆษณาสินค้าควบคู่กันไปในตัว ดังนั้นการที่บรรจุภัณฑ์จะสามารถดึงดูดความสนใจ และชักจูงใจให้เกิดการซื้อได้ซึ่งเป็นผลจากปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น ขนาด รูปร่าง สี รูปทรง วัสดุ ฯลฯ
การเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	บรรจุภัณฑ์ที่ดีควรมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ทำให้เกิดปริมาณขยะน้อย สามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศในกระบวนการผลิตจนถึงการกำจัด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และรวมถึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) และนำมาเวียนผลิตใหม่ (recycle) ได้

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์โดยทั่วไป แต่จริงๆแล้วบรรจุภัณฑ์ยังถูกออกแบบให้มีลักษณะแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน ซึ่งมีหน้าที่หลักที่แตกต่างกันออกไปสามารถจำแนกในรายละเอียดได้ ดังนี้ [12], [13]

ก. บรรจุภัณฑ์ชั้นในหรือปฐมภูมิ (primary packaging)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ผู้ซื้อหรือผู้บริโภคจะได้สัมผัสเวลาที่จะบริโภค บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้จะถูกทิ้งเมื่อมีการเปิดและบริโภคสินค้าภายในจนหมด เช่น ซองบรรจุน้ำตาล กล่องกระดาษแข็งใส่ขนมปัง พืชชำกล่องนม ถูง/ซองบรรจุอาหารสัตว์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์นี้เป็นบรรจุภัณฑ์ชั้นในสุดติดกับตัวสินค้า ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ชั้นในจึงมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาเพิ่มอีกเป็นกรณีพิเศษ 2 ประการ ประการแรก คือ ต้องมี

ความเข้ากันได้ของสินค้าและตัวบรรจุภัณฑ์ (compatibility) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าในอุตสาหกรรมอาหาร บรรจุภัณฑ์ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงไปเมื่อบรรจุอาหารเข้าไป ประการที่สอง คือ บรรจุภัณฑ์ชั้นในจะเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถวางบนหิ้งได้หรือไม่ ในกรณีที่บรรจุภัณฑ์ชั้นในจำต้องวางบนหิ้งแสดงสินค้า นั้นหมายความว่าความสวยงาม การสื่อสารจะเริ่มเข้ามามีบทบาทในการใช้บรรจุภัณฑ์

ข. บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองหรือทุติยภูมิ (secondary packaging)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่รวบรวมบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกเข้าด้วยกันเพื่อเหตุผลในการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับสินค้า หรือเพื่อรวมหน่วยของสินค้าเพื่อจัดจำหน่ายสินค้าได้มากขึ้น หรือด้วยเหตุผลในการขนส่ง และยังช่วยเสริมคุณค่าของสินค้าภายในให้สามารถดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อเพื่อประชาสัมพันธ์สินค้า ณ จุดขาย ตัวอย่างเช่น กล่องกระดาษที่ใช้บรรจุสินค้า กล่องกระดาษแข็งของหลอดยาสีฟัน หรือกล่องกระดาษแข็งที่บรรจุถุงขนมเป็นหน่วยโหลสำหรับขายยกโหล ถุงกระดาษชนิดต่างๆ เป็นต้น ความสำคัญของบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองนี้ คือ เนื่องจากส่วนใหญ่มักเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ต้องแสดงบนหิ้ง ณ จุดขาย ดังนั้นจึงต้องเน้นเรื่องการสื่อความ การดึงดูดความสนใจในเรื่องความสวยงาม และการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตัวสินค้า ในทางกลับกัน เรื่องของการช่วยรักษาคุณภาพของสินค้าภายในอาจไม่จำเป็นมากเท่ากับบรรจุภัณฑ์ชั้นใน ซึ่งสามารถเรียกบรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ชั้นในและบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองอีกชื่อหนึ่งว่า บรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่ายปลีก (commercial packaging)

ค. บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สามหรือตติยภูมิ (tertiary packaging)

มีคุณลักษณะแข็งแรงมากที่สุด ใช้เพื่อการขนส่งสินค้าโดยเฉพาะ จึงเรียกบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สามนี้อีกชื่อหนึ่งว่าบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง จำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้จากแหล่งผลิตถึงแหล่งขายปลีก เมื่อสินค้าได้รับการจัดเรียงวางบนหิ้งหรือคลังสินค้าของแหล่งขายปลีกแล้ว บรรจุภัณฑ์ขนส่งก็หมดหน้าที่การใช้งาน บรรจุภัณฑ์เหล่านี้ เช่น กล่องลังกระดาษลูกฟูกขนาดใหญ่ เป็นต้น

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ระหว่างโรงงาน เป็นบรรจุภัณฑ์ที่จัดส่งสินค้าระหว่างโรงงาน ตัวอย่างเช่น ลังใส่ของฟริกป็น ถู่น้ำจิ้ม ที่เป็นผลผลิตจากโรงงานหนึ่งส่งไปยังโรงงานอาหารสำเร็จรูปเพื่อทำการบรรจุไปพร้อมกับอาหารหลัก เป็นต้น

- บรรจุภัณฑ์ที่ใช้จากแหล่งขายปลีกไปยังมือผู้อุปโภคบริโภค เช่น ถุงต่างๆ ที่ร้านค้าปลีกสินค้าให้แก่ผู้ซื้อ

2.3.2 กระบวนการผลิตกระดาษคราฟท์ [14]

2.3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ

ในการผลิตกระดาษประกอบด้วยวัตถุดิบที่เป็นเยื่อกระดาษและสารเติมแต่งกระดาษ ซึ่งกระดาษที่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้ามาใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ๆคือ เยื่อกระดาษซึ่งยังไม่ผ่านการใช้งาน (virgin pulp) และเยื่อที่ได้จากกระดาษรีไซเคิล (recycle pulp, waste paper pulp)

ก. เยื่อกระดาษ

วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตกระดาษคือเยื่อกระดาษ เยื่อกระดาษ คือ เส้นใย (fiber) ที่ผลิตมาจากพืช เส้นใยคือเซลล์ที่เป็นหน่วยโครงสร้างที่เจริญเติบโตเป็นต้นพืช แต่ละเซลล์ประกอบด้วยผนังเซลล์ล้อมรอบช่องว่าง เซลล์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง ปลายทั้งสองแหลม พืชที่นำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษจะต้องมีเส้นใยนี้มากพอ แต่ถึงแม้ว่าพืชทุกชนิดจะมีเส้นใยอยู่ก็ตามแต่ก็มีได้หมายความว่าพืชทุกชนิดสามารถนำไปทำเยื่อกระดาษได้ ซึ่งในการนำพืชมาทำเยื่อกระดาษนั้นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมต่างๆด้วย คือ

- มีเส้นใยที่สามารถใช้งานได้ และมีปริมาณที่มากพอ
- ความง่ายต่อการต้มย่อยเป็นเยื่อ
- ความสามารถในการทนต่อปฏิกิริยาในการต้มย่อย
- แหล่งและการจัดหา
- ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษา รวบรวม ขนส่ง

ข. ส่วนประกอบของเยื่อ

ข.1 เซลลูโลส (cellulose) คือ ผนังของหลอดอาหารในเนื้อไม้ ส่วนนี้ใช้ในการทำกระดาษ

ข.2 เฮมิ-เซลลูโลส (hemi-cellulose) คือ น้ำวุ้นตัวยืดของหลอดอาหาร

ข.3 ลิกนิน (lignin) คือ ขางไม้ เป็นสิ่งที่การทำกระดาษไม่ต้องการ ต้องกำจัดออก

ค. ประเภทของเยื่อ

ค.1 เยื่อใยยาว (long fiber pulp) เป็นเยื่อที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำจากไม้เนื้ออ่อน (soft wood) พวกไม้เมืองหนาว, สนสองใบและสนสามใบ จะให้เส้นใยยาวประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร เส้นใยที่ได้จะมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง

ค.2 เยื่อใยสั้น (short fiber pulp) เป็นเยื่อที่สามารถผลิตได้ในประเทศ ทำมาจากไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เช่น ไม้ไผ่ ยูคาลิปตัส หรือวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (non wood) เช่น ชานอ้อย จะให้เส้นใยยาวประมาณ 1 - 2 มิลลิเมตร มีความเหนียวต่ำกว่าเยื่อใยยาว แต่ราคาถูกกว่าและช่วยให้กระดาษมีพื้นผิวที่ดี

ค.3 เยื่อจากเศษกระดาษ (waste paper pulp) ทำจากเศษกระดาษที่ใช้แล้ว จะประกอบด้วยเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้นผสมกัน ความแข็งแรงต่ำกว่าเยื่อ 2 ประเภทแรก เพราะผ่านกระบวนการผลิตมาหลายครั้ง

ง. สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

ในการผลิตกระดาษนั้นจำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายชนิดเพื่อปรับคุณสมบัติของกระดาษ ดังนี้

ง.1 AKD เป็นสารที่ช่วยให้กระดาษไม่ดูดซับน้ำมากเกินไป ถ้าไม่ใส่สารชนิดนี้กระดาษที่ได้นั้นเมื่อเปียกน้ำจะมีลักษณะอมน้ำเหมือนกระดาษชำระ

ง.2 DYE เป็นกลุ่มสารสีที่มีสาร 3 ชนิด คือ แดง, น้ำเงิน และม่วง ใส่เพื่อควบคุมสีของกระดาษให้ขาวตามที่ลูกค้าต้องการ โดยใส่สีแต่ละสีในปริมาณที่ต่างกัน

ง.3 calcium carbonate (CaCO_3) เป็นสารที่ใส่เพื่ออุดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพื่อเพิ่มความเรียบบนผิวของกระดาษ ช่วยเพิ่มความขาวของกระดาษ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการพิมพ์

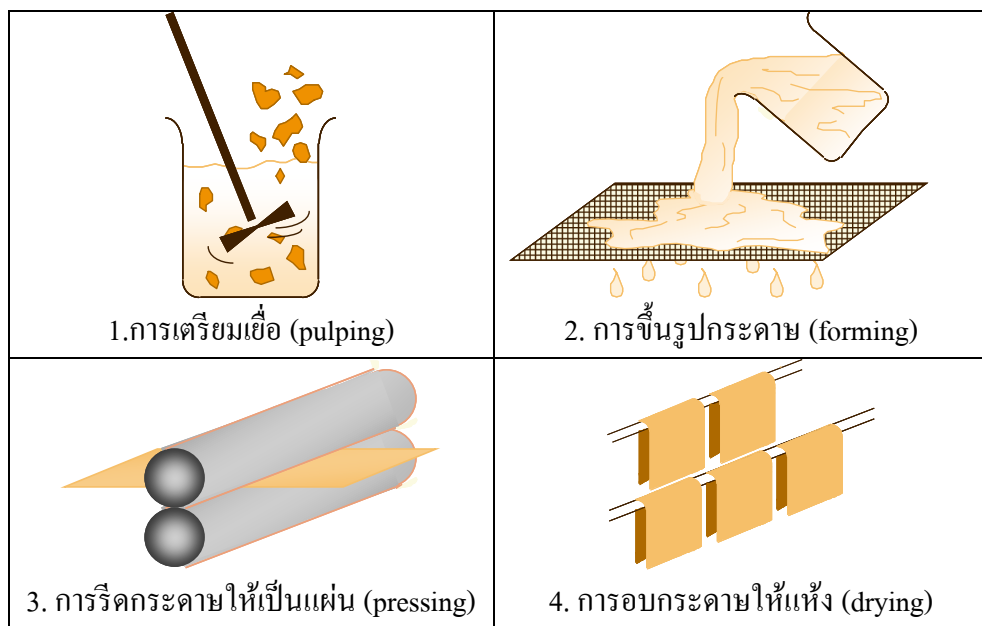
ง.4 cationic corn starch เป็นสารที่ช่วยให้เส้นใยจับตัวกันได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียว ทำให้กระดาษมีความทนทาน

ง.5 retention aid เป็นสารที่ทำให้ประจุไฟฟ้าในเส้นใยสมดุล เพื่อช่วยอุ้มเส้นใยและสารเคมีที่ใส่ลงไปให้ติดอยู่กับกระดาษไม่ให้สูญหายไปกับกระบวนการผลิต

ง.6 bentonite เป็นสารที่ทำให้เยื่อไม่จับตัวเป็นก้อน ใส่เพื่อป้องกันเยื่อรวมตัวกันอยู่จุดใดจุดหนึ่งมากเกินไป เพราะจะทำให้เนื้อกระดาษไม่สม่ำเสมอตลอดแผ่น

ง.7 starch เป็นแป้งมันที่ใช้เคลือบผิวกระดาษ เพื่อให้ผิวกระดาษมีความสวยงาม เพิ่มความแข็งแรง และป้องกันการหลุดของเส้นใยเมื่อนำกระดาษไปพิมพ์

การผลิตกระดาษมีแนวคิดของขั้นตอนหลักในการขึ้นรูปกระดาษ 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แนวคิดของการผลิตกระดาษ

2.3.2.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษถูกออกแบบเพื่อกำจัดสารลิกนิน วิธีการผลิตเยื่อกระดาษมี 2 วิธี ดังนี้

ก. การผลิตเยื่อแบบกึ่งเชิงกล (semi-mechanical process)

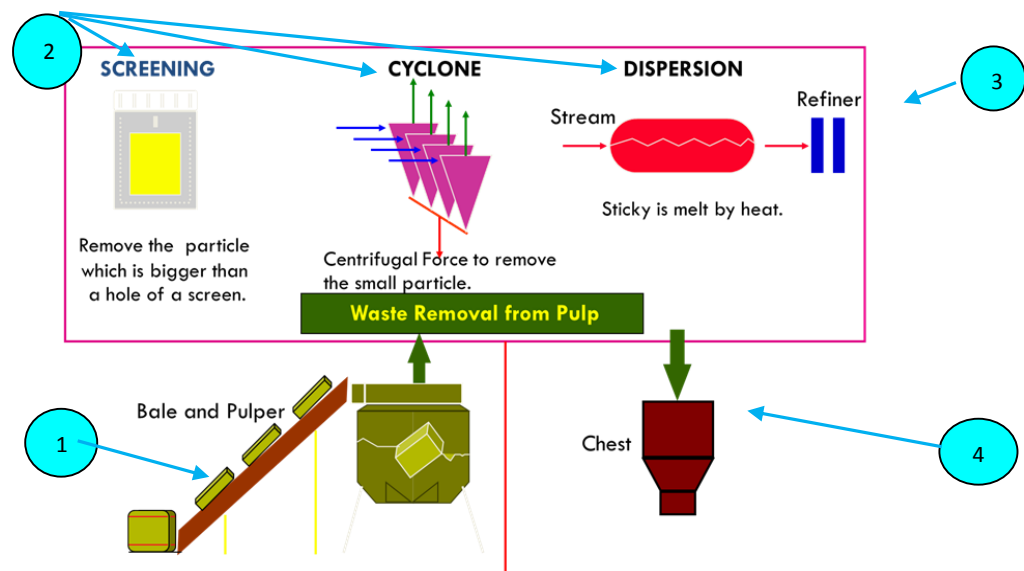
วิธีนี้ไม้จะถูกทำปฏิกิริยากับสารละลายซัลไฟต์ (sulfite) ไบซัลไฟต์ (bi-sulfite) หรือไบคาร์บอเนต (bi-carbonate) เพื่อให้ส่วนของลิกนินอ่อนนุ่มลง ไม้ที่เตรียมนำไปทำปฏิกิริยาจะถูกย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อกำจัดลิกนินออก ข้อดีของการผลิตโดยวิธีนี้ คือ จะได้เซลลูโลสเป็นผลผลิตเกือบ 100 % แต่ข้อเสียคือ ลิกนินในเนื้อไม้จะไม่ได้ถูกกำจัดให้หมดไป

ข. การผลิตเยื่อแบบเคมี (chemical process)

กระดาษที่ถูกผลิตขึ้นโดยวิธีทางเคมีจะใช้สารละลายเคมีเพื่อกำจัดลิกนินออกไปทั้งหมด ซึ่งเยื่อจากผลผลิตที่ได้จะน้อยกว่าวิธีการผลิตแบบอื่น แต่วิธีการผลิตกระดาษแบบนี้จะทำให้ได้กระดาษสำหรับเขียนและพิมพ์ที่มีคุณภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้ทั้งหมด กระบวนการผลิตเยื่อแบบเคมีจะใช้สารสกัดด้วยโซดา (soda process) คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide ; NaOH) ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate ; Na_2CO_3) 2.4% และสามารถใช่วิธีการสกัดด้วยซัลไฟต์ได้อีกด้วย โดยใช้ส่วนผสมของแคลเซียมไดไฮโดรเจนซัลไฟต์

(calcium hydrogen sulfite ; $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide ; SO_2)

2.3.2.3 กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ (pulping preparation)



รูปที่ 2.5 ลำดับขั้นตอนในการเตรียมเยื่อ

1 การป่นเยื่อ

3 การบดหรือตีเยื่อ

2 การทำความสะอาดเยื่อ

4 การเก็บเยื่อในถังพักเยื่อ

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมเยื่อดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีรายละเอียดดังนี้

1. การปั่นเยื่อ (pulping)

เป็นการนำก้อนเยื่อมากระจายในน้ำให้เป็นลักษณะของเหลวข้น (slurry) การปฏิบัติสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องหรือเป็นครั้งๆ (batch)

2. กระบวนการทำความสะอาด (cleaning)

เนื่องจากวัตถุดิบที่เข้ามาเป็นวัตถุดิบประเภทรีไซเคิลซึ่งมีสิ่งสกปรกเจือปนมา เช่น พลาสติก เศษลวด หรือเศษแก้ว ฯลฯ ดังนั้นจึงต้องดึงเอาสิ่งสกปรกที่เจือปนเหล่านี้ออกมาจากเยื่อโดยมีกระบวนการย่อยในการคัดกรองสิ่งสกปรกเหล่านี้ออก โดยแต่ละขั้นตอนจะสามารถดึงเอาสิ่งสกปรกที่มีขนาดแตกต่างกันออกมาตามลำดับ ดังนี้

2.1 screening เป็นส่วนที่ดึงเอาสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่ออกในขณะปั่นเยื่อโดยการแยกสิ่งเจือปนออกจากเยื่อในถังปั่นเยื่อ

2.2 cyclone ใช้แรงเหวี่ยง (centrifugal force) ในการดึงอนุภาคที่มีความหนาแน่นออกมา เช่น เม็ดทราย, เม็ดโฟม

2.3 hot dispersion เป็นกระบวนการหลอมเหลวอนุภาคนาขนาดเล็กประเภทแก้ว หรือสารเจือปนอื่นๆให้ละลายปะปนไปกับเยื่อเพื่อปรับด้านภาพลักษณ์ (appearance) ของกระดาษ

3. การบดหรือการตีเยื่อ (refine of beating)

เยื่อถูกแรงทางกลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ขั้นตอนการบดมักจะเป็นแบบต่อเนื่อง แต่เยื่อ non-wood และเยื่อพิเศษ บางครั้งต้องบดลักษณะเป็นครั้งแบบไม่ต่อเนื่อง

4. สารเติมแต่ง

มีมากมายหลายชนิด สารเคมีหลายชนิดถูกเติมในน้ำเยื่อ เพื่อปรับคุณสมบัติเฉพาะของกระดาษหรือเพิ่มความเสถียรในการผลิตกระดาษ

5. การวัดและผสม (metering and blending)

เส้นใยและส่วนผสมที่ไม่ใช่เส้นใยหลายชนิดถูกผสมอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

2.3.2.4 กระบวนการขึ้นรูปกระดาษ (forming)

1. ระบบควบคุมการป้อนจ่ายน้ำเยื่อ (stock approach flow system) คือ ระบบที่ต่อเนื่องไปจนถึงหัวจ่ายน้ำเยื่อ (headbox) หน้าที่หลัก คือ

1.1 ควบคุมการจ่ายน้ำเยื่อเข้มข้นและเจือจางน้ำเยื่อให้ความเข้มข้นต่ำลงจนถึงความเข้มข้นที่ต้องการ

1.2 กำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากระบบ

1.3 ผสมสารเคมีต่างๆ เข้ากับน้ำเยื่อ

1.4 ส่งน้ำเยื่อให้กับ headbox

ระบบควบคุมการป้อนจ่ายน้ำเยื่อมีอุปกรณ์และการทำงานที่สำคัญในระบบ ดังนี้

1. fan pump ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำเยื่อที่ส่งไปยัง headbox

2. stock dosing น้ำหนักกระดาษควบคุมได้โดยการควบคุมปริมาณน้ำเยื่อเข้มข้นที่เข้าผสมกับน้ำ

3. cleaning and screening ทำหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับน้ำเยื่อ อุปกรณ์ที่ใช้ คือ hydrocyclone cleaner

headbox เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องผลิตกระดาษมีรูปร่างเป็นลักษณะเป็นท่อนมีรูเหมือนรังผึ้งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการไหลของน้ำเยื่อจากที่ไหลในท่อกลมให้ไหลในลักษณะสี่เหลี่ยมตลอดหน้ากว้างเครื่องและไหลในทิศทางตามเครื่อง โดยมีหน้าที่สำคัญ คือ

1. ปล่อยน้ำเยื่ออย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างเครื่อง

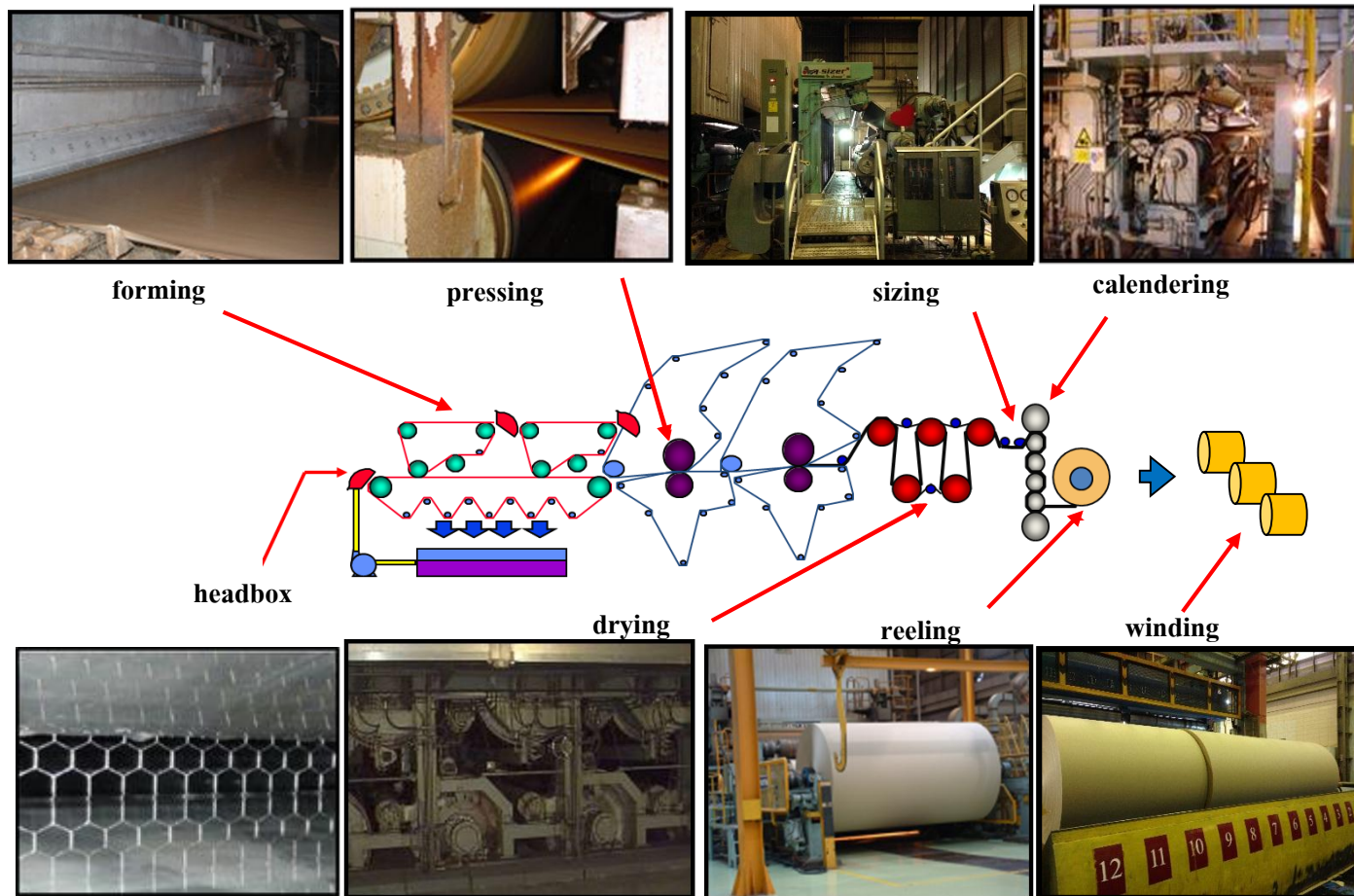
2. กำจัดการไหลตามขวาง (cross-current) และลดความไม่สม่ำเสมอของความเข้มข้นน้ำเยื่อ

3. สร้างความปั่นป่วนในน้ำเยื่อเพื่อให้เยื่อกระจายตัว

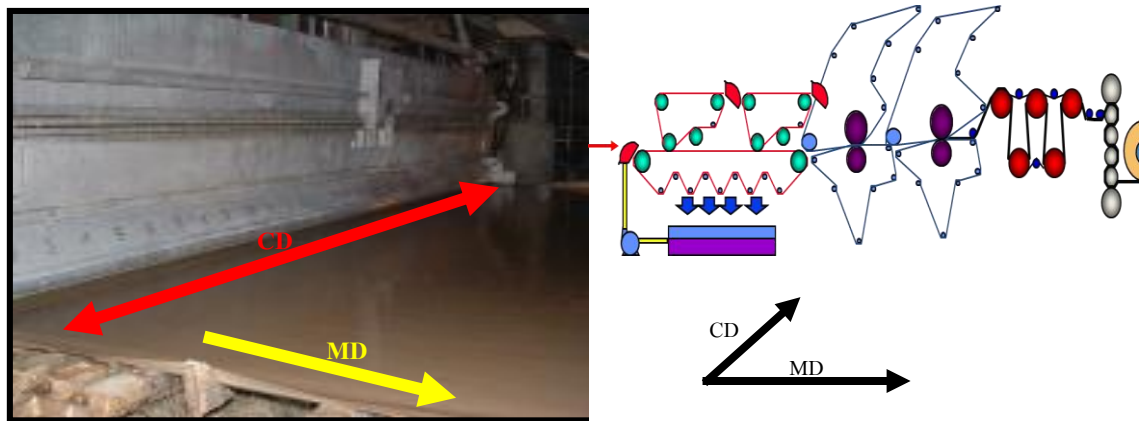
4. ควบคุมจุดตกของน้ำเยื่อบนลวดเดินแผ่นให้เหมาะสมทั้งตำแหน่งและมุม

2. ขั้นตอนการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาษ (forming section)

เป็นส่วนที่เส้นใยที่ได้จากระบบควบคุมการป้อนจ่ายน้ำเยื่อเกิดการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาษบนลวดเดินแผ่น (wire) โดยขั้นตอนนี้เริ่มต้นที่ headbox จะจ่ายและกระจายน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้น 0.3 – 0.5 % ตามแนวการวางเครื่องจักร (machine direction : MD) น้ำจะถูกระบายออกในขณะที่ลวดเดินแผ่นวิ่งไปจนกระดาษเหลือความชื้น 70 - 80 % ของน้ำหนักกระดาษ



รูปที่ 2.6 กระบวนการขึ้นรูปกระดาษและตัดกระดาษ



รูปที่ 2.7 ทิศทางที่ใช้ศึกษาในกระบวนการผลิตกระดาษ [15]

MD (machine direction) คือ ทิศที่ขนานตามการวางของเครื่องผลิตกระดาษ โดยส่วนใหญ่แล้วเยื่อจะเรียงตัวขนานตามทิศทางดังกล่าว

CD (cross-machine direction) คือ ทิศที่ตั้งฉากกับแนวการวางของเครื่องผลิตกระดาษ (หรือขนานตามความกว้างของเครื่องผลิตกระดาษ)

จากรูปที่ 2.7 ทิศทางของเส้นใย (directionality) [15] ที่เรียงตัวบนเครื่องผลิตกระดาษในกระบวนการผลิตกระดาษนั้นจะเรียงตัวในแนวราบเป็นส่วนใหญ่ โดยเส้นใยจะเรียงตัวตามแนวนานเครื่อง (MD) มากกว่าแนวขวางเครื่อง (CD) เปรียบเสมือนท่อนซุงลอยน้ำที่ลอยตามกระแสน้ำ ซึ่งสำหรับในกระบวนการผลิตมีกรรมวิธีลดความแตกต่างด้านทิศทางของกระดาษ โดยการทำความเร็วของน้ำเยื่อให้ใกล้เคียงกับความเร็วของลวดเดินแผ่น ซึ่งอัตราส่วนของความเร็วนี้เรียกว่า jet-to-wire ratio โดย jet คือ ความเร็วของน้ำเยื่อและ wire คือความเร็วของลวดเดินแผ่น หากความเร็ว jet น้อยกว่าความเร็ว wire ($\text{jet/wire} < 1$) จะทำให้ลวดเดินแผ่นลากน้ำเยื่อและเส้นใย เรียกว่า สภาวะลาก (drag) ซึ่งจะทำให้การเรียงตัวของเส้นใยส่วนใหญ่อยู่ในแนว MD หากความเร็ว jet มากกว่า wire ($\text{jet/wire} > 1$) จะทำให้น้ำเยื่อวิ่งชนลวดเดินแผ่น เรียกว่ากระแทก (rush) ซึ่งหากค่านี้สูงเกินไปจะทำให้เส้นใยกระแทกเป็นคลื่นและเกิดเป็นแถบกระดาษที่มีความหนาสลับบางไม่เท่ากันในแนว CD ทั้งนี้การทำให้ jet/wire เท่ากับ 1 ไม่ได้ทำให้ความมิติศทางของเส้นใยในของกระดาษหมดไป แต่จะทำให้ความแตกต่างของคุณสมบัติต่างๆของกระดาษในแนว MD และ CD ที่เป็นผลจากการจัดเรียงตัวของเยื่อที่มีทิศทางนี้มีค่าต่ำที่สุด

2.3.2.5 กระบวนการรีดกระดาษให้เป็นแผ่น (pressing)

น้ำที่ผสมอยู่ในเยื่อกระดาษที่ถูกจ่ายจาก headbox จะถูกระบายออกในขั้นตอนการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาษผ่านช่องว่างของลวดเดินแผ่นกระดาษออกไปเพียง 20 - 22 % ของน้ำหนักกระดาษ ซึ่ง

ไม่สามารถที่จะเอาน้ำออกได้มากกว่านี้อีกในขั้นตอนดังกล่าว เพราะน้ำที่เหลืออยู่จะอยู่ในโครงสร้างไฟเบอร์ของเยื่อกระดาษ การใช้แรงดูดอย่างรุนแรงจะทำให้โครงสร้างภายในของกระดาษเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการกดเอาน้ำออก โดยกดเยื่อด้วยผ้าลูกกด (pressing roll) ซึ่งมีลักษณะคล้ายสั๊กหลอด และดูดซับน้ำได้ดี และการกดยังช่วยให้เยื่อกระดาษจับตัวกันได้ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งใช้ลูกกดทั้ง 2 ชุด การระบายน้ำให้ออกจากแผ่นเยื่อ

2.3.2.6 กระบวนการอบกระดาษให้แห้ง (drying)

กระดาษที่ผ่านการรีดแล้ว ยังคงมีความชื้นประมาณ 50 – 55 % ของน้ำหนักกระดาษ ซึ่งไม่สามารถกำจัดน้ำออกโดยการกดได้อีก เนื่องจากน้ำถูกดึงไว้ด้วยแรงตึงผิวของน้ำภายในโครงสร้างของเยื่อกระดาษ ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อนในการทำให้น้ำระเหยออกมา เนื่องจากกระดาษที่ใช้ในสภาวะปกติจะมีความชื้นไม่เกิน 10 % ของน้ำหนักกระดาษ หลักการของการอบแห้งกระดาษ คือ จ่ายไอน้ำเข้าไปภายในลูกอบเพื่อให้ผิวลูกอบเป็นตัวถ่ายเทความร้อนไปสู่กระดาษที่แนบอยู่กับผิวด้านนอกของลูกอบ และไอน้ำในลูกอบจะได้รับการควบแน่นเป็นน้ำแล้วถูกระบายออกทาง syphon dryer part และถูกส่งไปยังถัง condensate tank เพื่อส่งกลับไปยังแหล่งกำเนิด คือ boiler plant สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำอีกครั้ง

2.3.2.7 กระบวนการเคลือบแป้งบนผิวกระดาษ (sizing)

เป็นกระบวนการในการเคลือบแป้งกระดาษซึ่งอาจมีหรือไม่มีขั้นตอนดังกล่าวนี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าต้องการกระดาษที่มีคุณสมบัติอย่างไร โดยทำขั้นตอนดังกล่าวเพื่อเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษและเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ หลักการ คือ ทาน้ำแป้งให้ลูกเคลือบกระดาษและลูกเคลือบจะหมุนนำน้ำแป้งไปเคลือบที่ผิวกระดาษที่ลูกเคลือบประกบอยู่

2.3.2.8 กระบวนการขัดผิวกระดาษ (calendaring)

กระดาษที่ออกจากขั้นตอนการอบกระดาษให้แห้งจะมีผิวก่อนข้างหยาบและไม่แน่นตัว จึงต้องส่งผ่านลูกกลิ้งโลหะที่ใช้แรงกดสูง เพื่อควบคุมความหนากระดาษ และควบคุมความเรียบของกระดาษให้เหมาะสมกับการใช้งานในกระบวนการถัดไป

2.3.2.9 กระบวนการกรอกระดาษ (reeling)

เป็นการกรอเข้าม้วนกระดาษที่ผลิตเสร็จแล้วเป็นม้วนใหญ่ เรียกว่า jumbo reel มีขนาดเท่ากับหน้ากว้างของเครื่องผลิตกระดาษ เพื่อนำไปที่กระบวนการต่อไป

2.3.2.10 กระบวนการกรอแบ่งกระดาษ

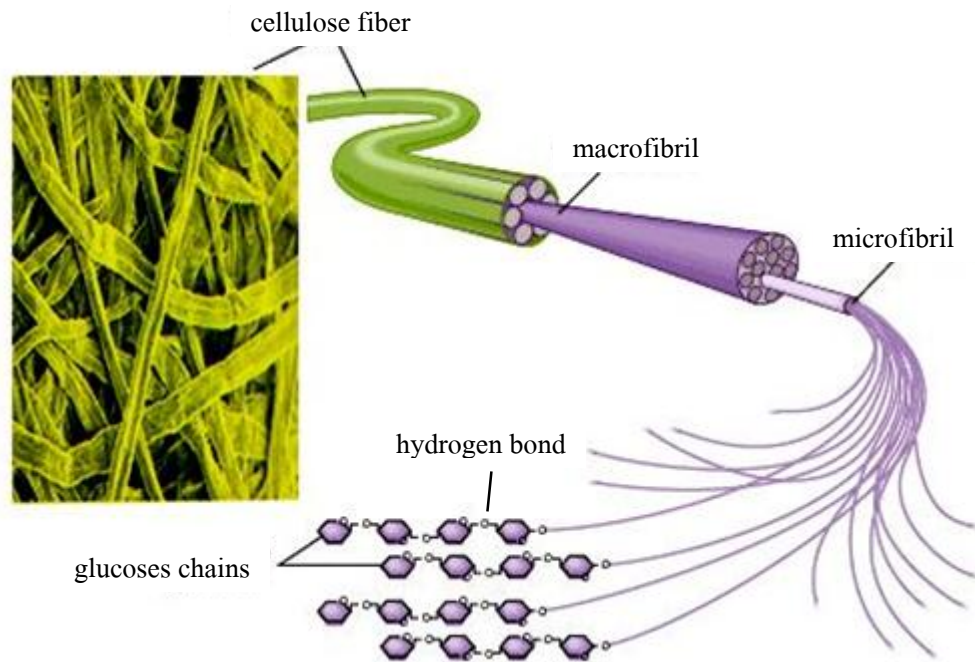
เป็นขั้นตอนที่เริ่มตั้งแต่การนำกระดาษที่ผลิตจากเครื่องผลิตกระดาษมากรอแบ่งม้วนให้มีขนาดเล็กลง เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการอื่นในลำดับถัดไป กระบวนการแบ่งม้วนกระดาษให้มีขนาดเล็กลงจะใช้เครื่องกรอ (winder) ซึ่งมีหน้าที่กรอแบ่งม้วนกระดาษม้วนใหญ่ให้มีขนาดเล็กตามต้องการ ความคาดหวังขั้นพื้นฐานของม้วนกระดาษ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ถูกต้อง ม้วนมีสภาพกลมและแกนอยู่ที่ศูนย์กลาง หน้าตัดม้วนเรียบ ความแน่นม้วนเหมาะสม ม้วนสะอาดไม่มีฝุ่น และไม่มีส่วนเสียหาย

2.3.3 โครงสร้างกระดาษ (paper structure)

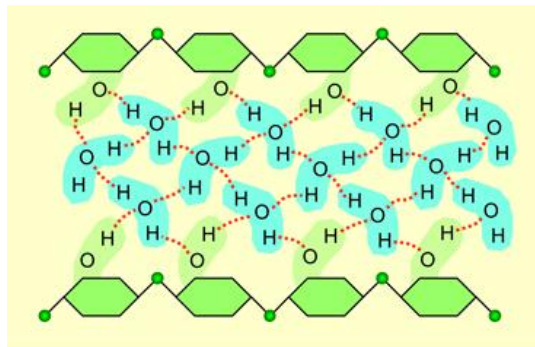
โครงสร้างหลักของกระดาษประกอบไปด้วยเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) จำนวนมากที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ดังรูปที่ 2.8 กระดาษเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยเนื่องจากภายในโครงสร้างมีช่องว่างที่เกิดจากการเกาะเกี่ยวกันของเส้นใยอยู่มาก ซึ่งเรียกโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุนนี้ว่าเป็น porous material โดยความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลสเกิดขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของหน่วยกลูโคสในสายพอลิเมอร์ (glucoses chains) และพันธะไฮโดรเจนที่ยึดเส้นใยไว้ พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group ; OH⁻) และออกซิเจนภายในโมเลกุลของกลูโคสหน่วยเดียวกัน เรียกว่า intra-molecular hydrogen bonds ส่วนพันธะที่ยึดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและออกซิเจนที่อยู่ต่างโมเลกุลกัน เรียกว่า inter-molecular hydrogen bonds พันธะทั้ง 2 พันธะนี้จะสูญเสียความแข็งแรงลงเมื่อเส้นใยเซลลูโลสสัมผัสกับน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลและออกซิเจน ในกระบวนการผลิตกระดาษ ดังรูปที่ 2.9 เมื่อน้ำถูกกำจัดออกไปจะทำให้สายโซ่โมเลกุลอยู่ชิดกันและมีโอกาสที่หมู่ไฮดรอกซิลบนผิวหน้าของเส้นใยจะมาอยู่ใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นโดยตรง ดังรูปที่ 2.10

2.3.4 เซลลูโลส (cellulose) [16], [17]

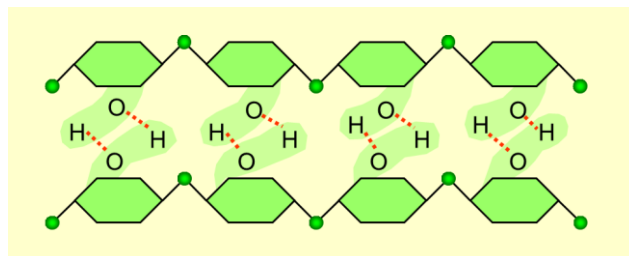
เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยประกอบด้วยเบตา-ดี-กลูโคไพราโนส (β -D-glucopyranose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (1,4) ประมาณ 10,000 หน่วยดังรูปที่ 2.11 เมื่อสายโซ่นี้จัดเรียงตัวเป็นวงแหวนแล้ววางตัวในระนาบเดียวกันจะมีลักษณะคล้ายริบบิ้นที่จัดเรียงตัวหลายแบบอยู่ภายในโครงสร้างของผนังเซลล์ การเรียงตัวของสายโซ่เซลลูโลสหลายๆเส้นจะได้มาโครไฟบริล (macrofibril)



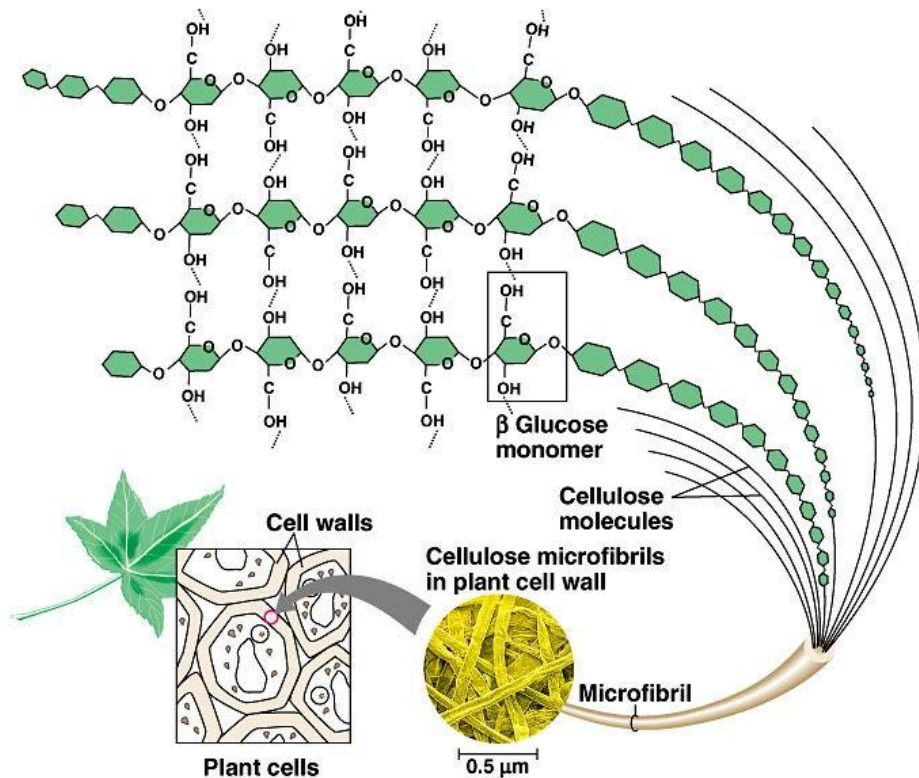
รูปที่ 2.8 โครงสร้างกระดาษที่ประกอบไปด้วยเซลลูโลสและช่องว่างระหว่างเซลลูโลสแต่ละสาย [16]



รูปที่ 2.9 โมเลกุลน้ำที่แทรกตัวอยู่ที่หมู่ OH ในสายโซ่เซลลูโลสขณะที่กระดาษเปียกน้ำ [16]



รูปที่ 2.10 หมู่ OH ระหว่างสายเซลลูโลสก่อพันธะไฮโดรเจนกันโดยตรงเมื่อกำจัดน้ำออกจากกระดาษ [16]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเซลลูโลส [16]

2.3.4.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

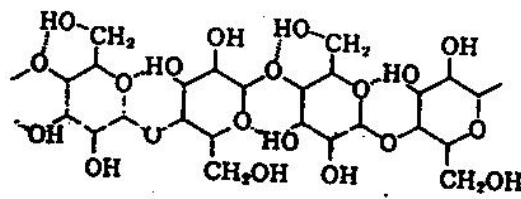
เซลลูโลสมีโครงสร้างเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่าไฟบริล (fibril) มีลักษณะเป็นมัดยาวรวมกันอยู่อย่างแข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group ; OH)

ก. โครงสร้างทางเคมี (chemical structure)

พื้นฐานของเซลลูโลส คือ mono-saccharine D-glucose ที่มีสูตรทางเคมี $C_6H_{12}O_6$ ซึ่งมีแบบจำลองโครงสร้างหลายลักษณะด้วยกัน เช่น โครงสร้างแบบฟิชเชอร์ และโครงสร้างแบบเก้าอี้ เป็นต้น

ข. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุลซึ่งมีความสำคัญในลักษณะทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส โดยพันธะภายในโมเลกุล (intramolecular bond) จะให้ความแข็งแรงหรือแน่นหนากับโมเลกุลของเซลลูโลส ดังรูปที่ 2.12

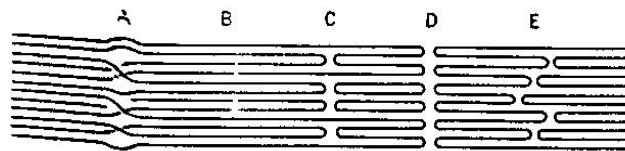


รูปที่ 2.12 พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเซลลูโลส [17]

พันธะไฮโดรเจนหลักภายในโมเลกุลของเซลลูโลสทำให้เซลลูโลสมีโมเลกุลที่แน่นหนาและมีลักษณะโมเลกุลเป็นแท่ง พันธะไฮโดรเจนไม่ได้ส่งผลเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพเท่านั้น แต่ยังส่งผลถึงความไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีด้วย

ค. โครงสร้างทางกายภาพ (structural physics)

เซลลูโลสมีโครงสร้างเส้นใยเล็กๆ ที่เรียกว่าไฟบริล (fibril) มี 2 ส่วนด้วยกันคือ เซลลูโลสมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบในส่วนของโครงสร้างผลึก (crystalline micelles หรือ crystallites) และ เซลลูโลสส่วนที่จัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนอสัณฐาน (amorphous) การจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลจะแตกต่างกันในหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะการจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลที่เป็นไปได้ [17]

- A โมเลกุลต่อเนื่องเหมือนโซ่โดยมีการเปลี่ยนทิศทางในเขตที่ไม่เป็นระเบียบ
- B โซ่ต่อเนื่องปิดในเขตที่ไม่เป็นระเบียบ
- C โซ่บางส่วนห่อตัว
- D โซ่ห่อตัวมีลักษณะป้าน
- E โซ่ซ้อนกัน

ง. โครงสร้างช่องว่างที่เป็นรูพรุนของเส้นใยเซลลูโลส (capillary structure of cellulose fibers)

โครงสร้างช่องว่างที่เป็นรูพรุนในไม้ และเส้นใยประกอบด้วย

ง.1 กรอส คาปิลลารี (gross capillary) ได้แก่ เซลล์ลูมินา (cell lumina) คือ รอยแตกช่วงของช่องรับแสง และรอยแยกของช่องที่เนื้อเยื่อ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 200 อังสตรอมจนถึงขนาดหลายไมครอน

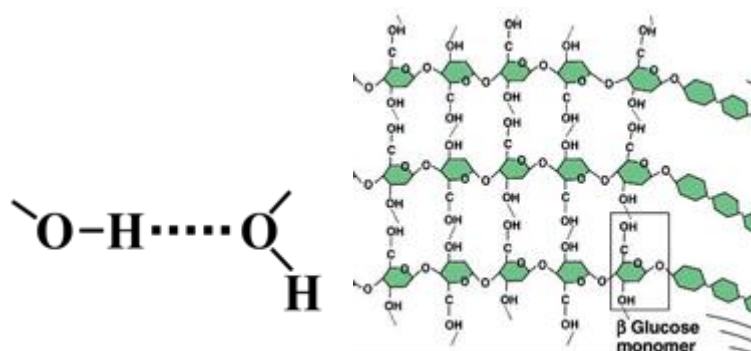
ง.2 แคปิลลารีของผนังเซลล์ เช่น พื้นที่ว่างระหว่างไมโครไฟบริลและผนังเซลล์โลสโมเลกุลในส่วนอสัณฐาน ผิวส่วนที่เป็นรูพรุนของผนังเซลล์จะปิดเมื่อไม่มีน้ำ และจะเปิดอีกครั้งเมื่อความชื้นถูกดูดซับเข้ามา เมื่อวัสดุอิ่มตัวด้วยน้ำอย่างเต็มที่ ผนังเซลล์ส่วนที่เป็นรูพรุนขยายเต็มที่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 200 อังสตรอม

2.3.4.2 สมบัติของเซลลูโลส [16]

สมบัติของเซลลูโลสมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำ เนื่องจากเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชซึ่งมีหน้าที่ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงและมีความคงรูป ทั้งนี้แรงดันน้ำภายในเซลล์มีส่วนทำให้ผนังเซลล์เกิดการขยายตัวและพองตัวได้ในธรรมชาติ ผนังเซลล์ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของไอออนและน้ำ เมื่อผนังเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยน้ำจึงทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำและสารละลายต่างๆ ผ่านเข้าออกเซลล์พืชได้ โดยเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ด้วยกระบวนการแพร่ ส่วนน้ำสามารถระเหยผ่านผนังเซลล์โดยตรงเช่นกัน ดังนั้นผนังเซลล์พืชจึงทำหน้าที่เป็นช่องทางให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกด้วย ดังนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ; RH) โดยรอบเปลี่ยนแปลงไป เซลลูโลสที่มีลักษณะแห้งจะสามารถดูดความชื้นทำให้เซลลูโลสสามารถพองตัวหรือหดตัวได้ แต่ในบางภาวะ เช่น เมื่อเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน (benzene ; C_6H_6) เซลลูโลสจะไม่เกิดการพองตัวเหมือนอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ ความสามารถในการพองตัวของเซลลูโลสอยู่ในช่วง 9 - 21.1 % ของขนาดปกติ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยการดูดน้ำหรือความชื้นจะเกิดจากท่อขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลสและพื้นที่ทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเซลลูโลสสามารถพองตัวได้ประมาณ 100 เท่าของวัสดุขณะแห้ง ซึ่งการพองตัวได้จะทำให้ตัวทำละลายต่างๆ เข้าทำลายโครงสร้างได้ง่ายขึ้น

ก. การดูดซับ โมเลกุลน้ำ (water adsorption)

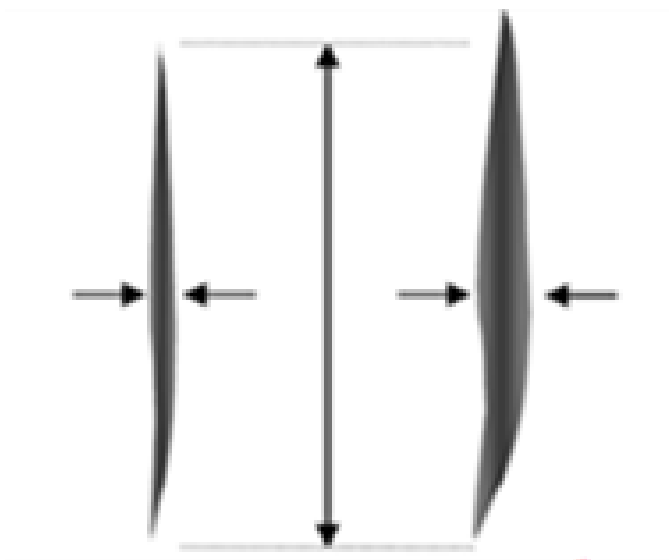
ที่ผิวของสายโซ่โมเลกุลเซลลูโลสถูกปกคลุมไปด้วยกลุ่มของ H^+ และ OH^- ทำให้เกิดแรงดึงดูดกันกลายเป็นพันธะไฮโดรเจนที่มีลักษณะเดียวกันกับโมเลกุลของน้ำ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการดึงดูดของโมเลกุล H^+ และ OH^- โดยเส้นใยเซลลูโลสจนเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน

การที่เซลลูโลสมีหมู่ OH^- เป็นจำนวนมากทำให้เซลลูโลสอยู่ในสภาพที่พร้อมจะสร้างพันธะอ่อนๆกับกลุ่ม H^+ ในโมเลกุลน้ำ (H_2O) แสดงในรูปที่ 2.9

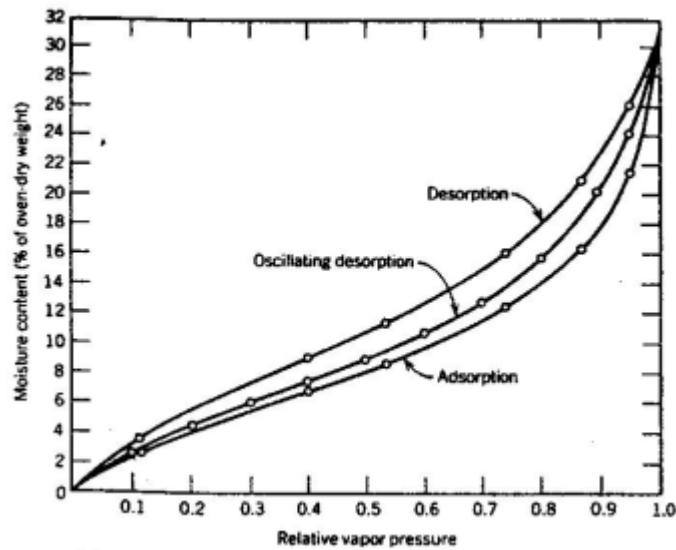
ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเซลลูโลสที่เป็นเส้นไฟบริลจะมีรูกลวงอยู่ภายใน (hollow central core) และที่บริเวณผนังเซลล์จะมีพื้นที่ว่าง (space) ที่โมเลกุลของน้ำสามารถเข้ามาแทรกตัวอยู่ได้ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำเข้ามาสร้างพันธะอ่อนๆกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจะแทรกตัวเข้ามาอยู่ภายในบริเวณผนังเซลล์ ซึ่งผลที่ตามมาก็คือเราจะเห็นว่าเซลลูโลสเกิดการพองตัวหรือบวมตัว (swelling) เนื่องจากโมเลกุลของน้ำแทรกตัวอยู่ระหว่างผนังเซลล์ ทำให้ไฟบริลของเซลลูโลสแยกตัวออกจากกัน โดยทั่วไปแล้วเซลลูโลสจะพองตัวออกทางด้านข้าง (แนวเส้นผ่านศูนย์กลาง) มากกว่าในแนวตามยาว 20-25 เท่าตัว เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลอยู่บริเวณด้านข้างของสายโซ่เซลลูโลส ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้ามาสร้างพันธะที่ด้านข้างได้ง่ายกว่า [18] ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 (ก) ซ้าย เส้นใยเซลลูโลสขนาดปกติ และ (ข) ขวา เส้นเซลลูโลสเมื่อพองตัว [15]

ข. คุณสมบัติการกระจายตัว (dispersion properties)

การดูดซับโมเลกุลน้ำ (water adsorption) ของเซลลูโลส เซลลูโลสสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำได้ได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำที่ติดแน่นกับเซลลูโลสที่สุดคือน้ำที่สร้างขึ้นจากกระบวนการ pyrolysis ของเซลลูโลส โดยน้ำในส่วนนี้ถูกนำไปใช้สร้างพันธะโควาเลนต์ ซึ่งน้ำที่สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ในเซลลูโลสได้จะมีสมคุณระดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สมดุลในการดูดซับน้ำของเซลลูโลสที่แรงดันไอสัมพัทธ์ที่ระดับต่างๆ [17]

ค. การพองตัว (swelling) [17]

โดยทั่วไปเซลลูโลสจะบวมหรือพองตัวอย่างช้าๆ เมื่อสัมผัสกับน้ำหรือสารที่มีขี้ เมื่อเซลลูโลสที่แห้งถูกวางไว้ในบรรยากาศในพื้นที่ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึง 100 % เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะเพิ่มขึ้น 20 – 25 % ซึ่งถ้าเส้นใยดังกล่าวมาจุ่มลงในน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นอีก 20 – 25 % ซึ่งการเพิ่มขึ้นของขนาดของเส้นใยนั้นจะเป็นไปในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าในแนวตามยาวของเส้นใยเซลลูโลส การทำปฏิกิริยาของเซลลูโลสด้วยสารที่ทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัวแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การพองตัวระหว่างผลึก (inter-crystalline swelling) มีสาเหตุมาจากการแทรกของส่วนอสัณฐานระหว่างผลึก และการพองตัวภายในผลึก (intra-crystalline swelling) มีสาเหตุมาจากการแทรกตัวและทำให้ส่วนที่เป็นผลึกในโมเลกุลของเซลลูโลสแตกออก ถ้าสารมีความเป็นขี้สูงจะมีความสามารถทำให้เซลลูโลสพองตัวได้มากกว่า ขณะที่เซลลูโลสเกิดการพองนั้น ในส่วนโครงสร้างผลึกที่สำคัญของเซลลูโลสจะยังคงอยู่ แต่ส่วนที่เป็น อสัณฐานจะเกิดการทำให้ปฏิกิริยาเคมีหรือมีการแตกออกทำให้โครงสร้างเซลลูโลสแตกออก

2.3.5 สมบัติของกระดาษ (paper properties)

สมบัติของกระดาษที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้จะจำแนกออกเป็น 4 ด้านด้วยกัน ได้แก่ สมบัติพื้นฐาน (basic properties) ทักษะสมบัติ (optical properties) สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) และสมบัติด้านความไวต่อน้ำ (water sensitivity) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

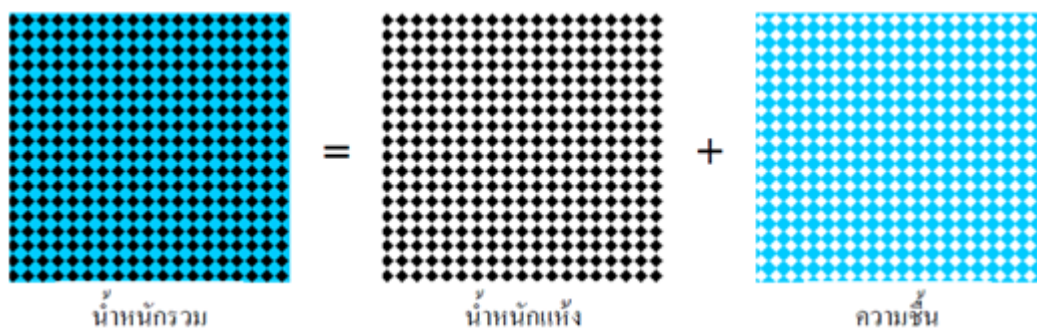
2.3.5.1 สมบัติพื้นฐาน (basic properties) [19]

ก. ปริมาณความชื้นในกระดาษ (moisture content)

ปริมาณความชื้นในกระดาษ หมายถึง ปริมาณน้ำในแผ่นกระดาษ สามารถผันแปรได้ตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะนั้น สมบัติด้านความชื้นเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่ง เนื่องจากสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระดาษ ความชื้นในกระดาษมากเกินไปจะทำให้กระดาษโค้งงอเกิดรอยร่น มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและเพิ่มความลำบากในการเคลื่อนย้าย แต่หากความชื้นในกระดาษน้อยเกินไป จะส่งผลให้กระดาษกรอบ ขาดความยืดหยุ่น เป็นต้น กระดาษทั่วไปอาจมีปริมาณความชื้นอยู่ 3 – 7 % ของน้ำหนักกระดาษ [19] หรือ 6 – 9 % ของน้ำหนักกระดาษ [15] ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษและวัสดุที่นำมาใช้ผลิต เนื่องจากปริมาณความชื้นในกระดาษสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังนั้นก่อนการทดสอบกระดาษทุกชนิดจึงจำเป็นต้องทำการปรับสภาพ โดยนำตัวอย่างกระดาษเก็บในบรรยากาศควบคุมเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยนั้นกำหนดให้มีการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 27.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65.0 ± 2.0 % เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วสามารถตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อกระดาษได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีที่นิยมใช้และเชื่อถือได้มากที่สุด คือ การทดสอบด้วยการอบกระดาษ โดยการชั่งน้ำหนักกระดาษตัวอย่าง (หน่วย : กรัม) จากนั้นนำกระดาษตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำกระดาษตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น \%} = \frac{(\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกระดาษหลังอบ})}{\text{น้ำหนักกระดาษก่อนอบ}} \times 100\%$$



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวม น้ำหนักแห้ง และความชื้นในกระดาษ [15]

ข. น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight)

น้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง คำนวณน้ำหนักต่อพื้นที่ของกระดาษ นิยมรายงานผลเป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m^2) หรือปอนด์ต่อ 1,000 ตารางฟุต (lb/1,000 ft^2) ปอนด์ต่อ 2,000 ตารางฟุต (lb/2,000 ft^2) หรือปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต (lb/3000 ft^2) น้ำหนักมาตรฐานมีประโยชน์ใช้ในการควบคุมการผลิตกระดาษ คำนวณน้ำหนักมาตรฐานนิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายกระดาษ และเป็นตัวที่จะบ่งบอกถึงสมบัติด้านอื่นๆ ได้ เช่น กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมาก จะมีความแข็งแรง ความหนาและความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานน้อย

ค. ความหนา (thickness)

ความหนา หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ นิยมระบุหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm.) หรือไมโครเมตร (μm). โดยทั่วไปเมื่อกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้น ความหนาของกระดาษมักจะเพิ่มขึ้นและทำให้กระดาษมีสมบัติด้านความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

ง. ความฟุ้งและความหนาแน่น (bulk and density)

ความฟุ้ง หมายถึง ปริมาตรของกระดาษต่อน้ำหนัก มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม (cm^3/g) ความฟุ้งเป็นค่าที่แสดงส่วนกลับของความหนาแน่น ซึ่งแสดงน้ำหนักของกระดาษต่อปริมาตรและมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lb/ft^3) กระดาษแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่น กระดาษเคลือบไขจะมีความหนาแน่นสูง กระดาษทิชชูจะมีความหนาแน่นต่ำ เป็นต้น

2.3.5.2 ทิศนะสมบัติ (optical properties) [19]

ก. ความสว่าง (brightness)

ความสว่าง หมายถึงค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร เมื่อกระดาษที่ไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มถึงเหลืองอ่อน เนื่องจากกลืนดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ แต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกแล้ว ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินจะสูงขึ้น ทำให้มองเห็นกระดาษขาวสว่างมากขึ้น

ข. ความทึบแสง (opacity)

ความทึบแสงเป็นสมบัติของกระดาษที่จะบดบังสิ่งที่อยู่ข้างหลังขึ้นกับการกระจายแสงและการดูดซับแสงของเยื่อและสารเคมีต่างๆ ในเนื้อกระดาษ วัดค่าเป็นร้อยละของความทึบแสง เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากอาจมีปัญหาในเรื่องความทึบแสง

2.3.5.3 สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) [19]

ก. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength)

ความต้านทานแรงดึงเป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานต่อแรงดึงที่มากระทำที่ปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด วัดค่าออกมาเป็นแรงที่ใช้ดึงให้ตัวอย่างขาด โดยมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m) หรือ ปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in)

ข. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (bursting strength)

ความต้านทานแรงดันทะลุเป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานต่อแรงดันที่กระทำบนแผ่นกระดาษ วัดค่าออกมาเป็นแรงดันที่ทำให้แผ่นตัวอย่างขาด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) กิโลปาสกาล (kPa) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2) ความต้านทานแรงดันทะลุเกี่ยวข้องกับพันธะที่ยึดกันระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น ถ้าแรงยึดเกาะมีสูง กระดาษจะมีความต้านทานต่อแรงดันทะลุได้ดีขึ้น

ค. ความแข็งแรงต่อแรงกดวงแหวน (ring crush strength)

ความต้านทานแรงกดวงแหวน หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานแรงกดในแนวระนาบเดียวกับกระดาษจนขอบกระดาษหักพับ มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) เป็นค่าที่นิยมใช้ทดสอบกระดาษทำฟิวกล่องและกระดาษทำลูกฟูกเมื่อทราบความต้านทานแรงกดวงแหวนของกระดาษลูกฟูกแล้วจะสามารถคำนวณกลับไปเป็นความแข็งแรงโดยรวมของกล่องลูกฟูกได้

ง. ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength)

ความต้านทานแรงต่อแรงฉีกวัดได้จากค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้ในการทำให้กระดาษซึ่งถูกฉีกให้ขาดไปแล้วขาดอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็นมิลลินิวตัน (mN) การนำเยื่อใยยาวมาใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตกระดาษและการเพิ่มปริมาณการบดเยื่อจะช่วยให้กระดาษมีความต้านทานแรงฉีกได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการบดเยื่อมากเกินไปจะทำให้เยื่อมีขนาดสั้นลง มีผลให้ความต้านทานแรงฉีกลดลงแม้ว่าเส้นใยจะมีการสร้างพันธะระหว่างกันได้มากก็ตาม

จ. ความแข็งแรงต่อการพับ (fold strength)

ความแข็งแรงต่อการพับ หมายถึงจำนวนครั้งของการหักพับไปมาของกระดาษจนกระทั่งกระดาษขาดออกจากกัน โดยการใช้แรงดึงในการทดสอบตามมาตรฐานกำหนด เช่น 1 กิโลกรัม เป็นต้น พับกระดาษด้วยมุม 270 องศา สมบัติด้านนี้มีความจำเป็นสำหรับกระดาษที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีการพับมาก เช่น ซองจดหมาย กล่องกระดาษ เป็นต้น

2.3.5.4 สมบัติด้านความไวต่อน้ำ (water sensitivity) [19]

ก. ความคงตัวต่อรูปร่างหรือเสถียรภาพด้านมิติ (dimension stability)

ความคงตัวต่อรูปร่าง หมายถึง ความสามารถของแผ่นกระดาษที่จะต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำ เนื่องจากเมื่อกระดาษสัมผัสกับน้ำ เส้นใยเซลลูโลสจะบวมและแยกออกจากกัน ทำให้ความหนาของกระดาษค่อยๆ เพิ่มขึ้นและทำให้ขนาดของกระดาษมีการเปลี่ยนแปลงไป การขยายของขนาดนี้จะเกิดขึ้นกับกระดาษในทิศทางเครื่องจักร มากกว่าในทิศตามเครื่องจักร (machine direction, MD)

ข. การดูดซึม (absorption)

การดูดซึมของกระดาษเป็นสมบัติที่มีความสำคัญมากต่อการนำไปใช้ประโยชน์ นิยมวัดเป็นปริมาณของของเหลวที่ถูกดูดซึมทั้งหมดต่อพื้นที่ภายในเวลาที่กำหนด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษว่าจะมีการดูดซึมมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดสอบ

2.3.6 คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษ [17], [19]

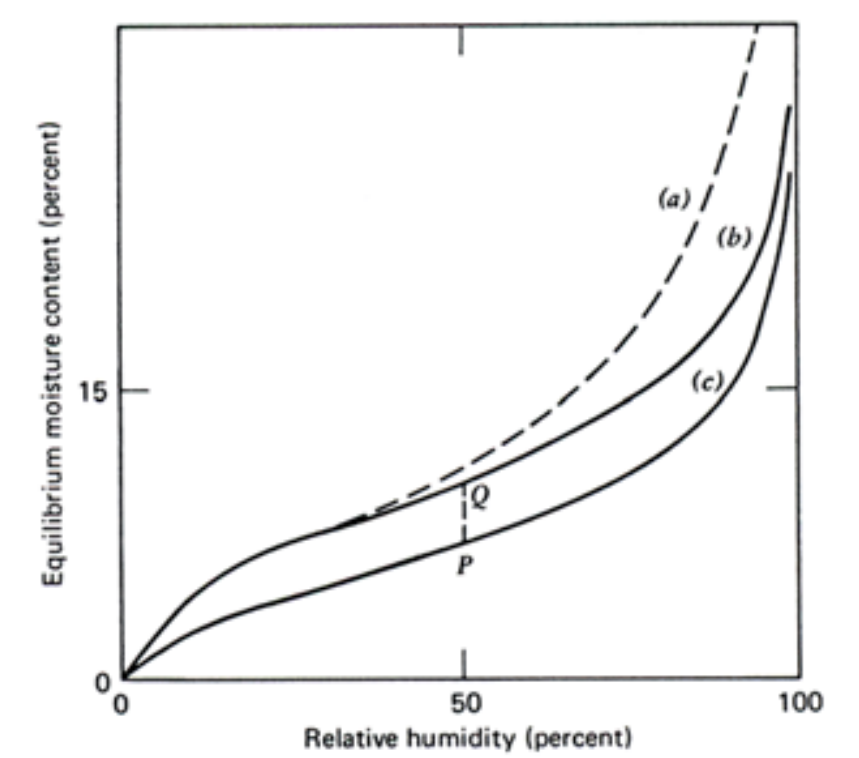
องค์ประกอบหลักในกระดาษคือเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก สามารถถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้กระดาษเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic material) ในขั้นตอนการทำแห้งของกระบวนการผลิตกระดาษนั้น โมเลกุลน้ำจะถูกดึงออกจากเส้นใยเกิดพันธะไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวเส้นใยแต่ละเส้นเข้าไว้ด้วยกันจนเป็นแผ่นกระดาษโดยไม่ต้องใช้กาว เมื่อกระดาษสัมผัสกับน้ำอีกครั้ง โมเลกุลน้ำจะเข้ามาแทนที่พันธะไฮโดรเจน ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลง ผิวหน้าของกระดาษมีรูพรุนที่เกิดจากการสานกันของเส้นใยอยู่มาก เมื่อกระดาษสัมผัสของเหลวจะมีพฤติกรรมเหมือนฟองน้ำคือดูดซับของเหลวไว้อย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวกระดาษเปียก ต่อมาน้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปในโครงสร้างของกระดาษผ่านช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น จากนั้นจึงเกิดกลไกการสร้างพันธะกับเส้นใยเซลลูโลส โดยทั่วไปแล้วกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารกันซึมจะมีคุณสมบัติชอบน้ำ เมื่อหยดน้ำซึมเข้าสู่กระดาษ อาจเกิดการซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเส้นใยหรืออาจถูกเส้นใยดูดซึมไว้ได้ซึ่งถ้าเกิดการซึมผ่านทางช่องว่างจะมีการดูดซึมอย่างรวดเร็ว แต่หากเป็นการถูกดูดซึมโดยเส้นใยเซลลูโลสนั้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ

2.3.6.1 ผลของความชื้นที่มีต่อกระดาษ

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity ; RH) คือ ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ (absolute humidity ; AH) ขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน นิยมบอกค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นร้อยละ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = [\text{ความชื้นสัมบูรณ์ (ไอน้ำมีอยู่จริง)} / \text{ความชื้นของอากาศอิ่มตัว}] \times 100\%$$

ปริมาณความชื้นในกระดาศของกระดาศมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศรอบๆ การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศส่งผลให้ปริมาณความชื้นในกระดาศเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงข้ามหากปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นในกระดาศ ลดต่ำลงด้วย เนื่องจากกระดาศมีคุณสมบัติดูดคายความชื้น (hygroscopic) ดังนั้นกระดาศจะสามารถ ดูดหรือคายความชื้นจากบรรยากาศได้โดยมีอัตราเร็วในการดูดหรือคายความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิขณะนั้น เมื่ออัตราเร็วในการดูดและคายเท่ากันแสดงว่า ปริมาณความชื้นในกระดาศเข้าสู่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (equilibrium moisture content) แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์หรืออุณหภูมิในอากาศเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ปริมาณความชื้นใน กระดาศจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณความชื้นสมดุลในกระดาศจะ เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ กระดาศมีการดูดความชื้น (absorption) จากบรรยากาศ หรือคายความชื้น (desorption) ออกสู่บรรยากาศ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นสมดุลของเชื้อเซลลูโลส [19]

ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อนำปริมาณความชื้นในกระดาศกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาสร้างกราฟ ความสัมพันธ์จะได้กราฟที่เรียกว่า moisture sorption isotherm ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 ในกระบวนการผลิตกระดาศระหว่างขั้นตอนการทำแห้ง ปริมาณความชื้นในกระดาศที่ลดลงแสดงได้ดังกราฟเส้น (a) หากนำกระดาศแผ่นเดียวกันไปไว้ในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกระดาศจะดูดความชื้นแล้วทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะการเพิ่มของความชื้นนี้แสดงดังกราฟเส้น (c) หลังจากนั้นถ้ากระดาศถูกนำไปวางในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง กระดาศจะค่อยๆคายความชื้นออกทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ลักษณะการลดลงของความชื้นครั้งนี้แสดงดังกราฟเส้น (b) สังเกตได้ว่าเมื่อกระดาศมีการดูดความชื้นเข้าไปและคายความชื้นออกมานั้น อัตราเร็วในการดูดและคายจะไม่เท่าเดิมทำให้เส้นกราฟของการดูดและคายความชื้นนั้นไม่เป็นเส้นเดียวกัน และระยะห่างระหว่างเส้นดูดและคายความชื้นของกระดาศจะเรียกว่า hysteresis จากรูปที่ 2.18 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นกราฟดูดและคายความชื้นมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 65 โดยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงไปประมาณร้อยละ 10 จะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาศเปลี่ยนแปลงเพียงร้อยละ 1 แต่ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ความชื้นสมดุลในกระดาศจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ลักษณะของเส้นกราฟที่เป็นรูปตัวเอส (sigmoid shape) เป็นลักษณะกราฟแสดงการดูดความชื้นของวัสดุประเภทที่มาจากธรรมชาติ

นอกจากนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศจะส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในกระดาศด้วย โดยในตารางที่ 2.4 และรูปที่ 2.19 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นสมดุลของกระดาศและกระดาศแข็งที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศคงที่ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณความชื้นของกระดาศลดลง ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของอากาศคงที่ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ความชื้นของกระดาศเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.6.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับความชื้นของกระดาศแต่ละแผ่น

ก. ความชื้นสัมพัทธ์

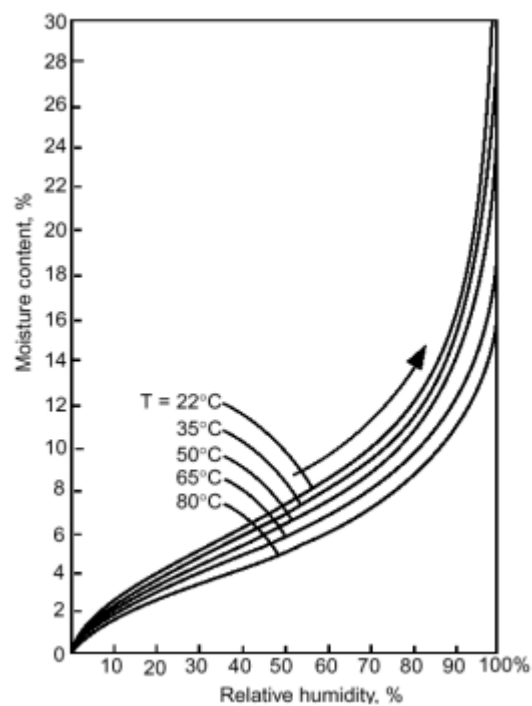
ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งๆ ของบรรยากาศ กระดาศจะมีความสามารถในการดูดหรือคายความชื้นจนถึงจุดอิ่มตัวตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ข. อุณหภูมิ

กระดาศมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำมีค่าดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละ) ของกระดาษและกระดาษแข็งที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ [19]

Temperature		Relative Humidity								
°C	(°F)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-1.1	(30)	2.5	4.3	6.0	7.3	8.3	9.6	12.3	15.5	22.5
4.4	(40)	2.4	4.3	5.9	7.3	8.1	9.4	12.1	15.4	22.0
10.0	(50)	2.4	4.2	5.8	7.2	8.0	9.2	11.9	15.3	21.5
15.6	(60)	2.3	4.2	5.8	7.1	7.9	9.1	11.7	15.2	21.0
21.1	(70)	2.2	4.0	5.8	7.0	7.8	9.0	11.4	15.0	20.5
26.7	(80)	2.1	4.0	5.7	6.9	7.7	8.8	11.2	14.8	20.0
32.2	(90)	2.0	4.0	5.5	6.7	7.5	8.6	11.0	14.4	19.8
37.8	(100)	1.9	3.8	5.3	6.5	7.3	8.4	10.7	14.0	19.5
43.3	(110)	1.9	3.7	5.1	6.2	7.0	8.2	10.4	13.7	19.1
48.9	(120)	1.8	3.5	4.8	5.9	6.7	7.8	10.1	13.2	18.6
54.4	(130)	1.8	3.4	4.6	5.5	6.4	7.5	9.7	12.7	18.0
60.0	(140)	1.8	3.2	4.3	5.2	6.1	7.1	9.3	12.3	17.5
65.6	(150)	1.6	2.9	4.1	4.9	5.8	6.7	8.8	11.9	16.9
71.1	(160)	1.5	2.7	3.8	4.6	5.4	6.3	8.4	11.3	16.3



รูปที่ 2.19 ปริมาณความชื้นสมดุลของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่อุณหภูมิบรรยากาศต่างๆ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น [19]

ค. แหล่งของพืชที่นำมาผลิตเส้นใยเชื้อ

เส้นใยเชื้อจากพืชที่มาจากพันธุ์ต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดและคายความชื้นต่างกัน ทำให้กระดาษมี equilibrium moisture content ต่างกัน

ง. ชนิดของเยื่อที่ใช้ทำกระดาษ

กระดาษที่ผลิตจากเยื่อแบบเคมีจะมีความสามารถในการดูดและคายความชื้นน้อยกว่าที่ผลิตจากเยื่อแบบเชิงกลเนื่องจากเยื่อแบบเชิงกลมีปริมาณเส้นใยที่แตกหัก (fine) มากกว่า ทำให้มีพื้นผิวในการดูดและคายความชื้นมากกว่า

จ. ประวัติการหมุนเวียนใช้งาน (recycle) ของเส้นใย

เยื่อบริสุทธิ์จะมีความสามารถในการดูดและคายความชื้นมากกว่าเส้นใยที่ผ่านการรีไซเคิล (recycle) มาแล้ว เพราะเส้นใยที่ผ่านการรีไซเคิลมาแล้วจะมีสภาพบอบช้ำและไม่ฟูหรืออ่อนตัวเท่าเยื่อบริสุทธิ์

ฉ. กรรมวิธีผลิตและปรุงแต่งผิวกระดาษ

กระดาษที่มีความหนาแน่นสูง เช่นผ่านการขัดมันด้วย calender จะมีความพรุนต่ำทำให้ความสามารถในการดูดและคายความชื้นน้อยกว่ากระดาษปกติ นอกจากนี้กระดาษที่มีการเคลือบผิว (coating) หรือเพิ่มสารต้านทานการซึมน้ำ (sizing) ก็จะสามารถดูดและคายความชื้นต่ำกว่ากระดาษปกติเช่นกัน

2.3.6.3 ผลกระทบของความชื้นต่อสมบัติด้านมิติของกระดาษ (dimension properties)

จากคุณสมบัติการพองตัวของเซลลูโลสที่สามารถดูดซับน้ำเข้าไปไว้ในผนังเซลล์ได้ ส่งผลให้ผนังเซลล์หรือไฟบริลแยกออกจากกัน ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษ ซึ่งปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษประกอบไปด้วย

ก. การบวม (swelling) และการหด (shrinkage) ของเซลลูโลสแต่ละเส้นเมื่อมันดูดหรือคายความชื้น

ข. relative fiber movement ของเซลลูโลสขณะบวมตัว และพันธะระหว่างเซลลูโลส (fiber-to-fiber bond) ที่ถูกทำลายลง

ค. การกระจายตัวของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระดาษ

ความชื้นทำให้ขนาดของกระดาษเปลี่ยนแปลงได้ [15] โดยสัมพันธ์การยืด-หดตัวจากความชื้น (hygroexpansivity) ของกระดาษในแต่ละมิติมีค่าดังนี้

- machine direction ประมาณ 0.002 – 0.003 % เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 %
- cross direction ประมาณ 0.008 – 0.024 % เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 %
- z direction (ความหนากระดาษ) ประมาณ 0.14 – 0.28 % เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 %

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเส้นใยเยื่อแต่ละเส้นสามารถหด - ขยายตัวในแนวขวางมากกว่าแนวยาว เหมือนกับคนเราที่โตเต็มที่แล้ว ขนาดความสูงจะเปลี่ยนน้อยกว่าขนาดความอ้วนด้านข้างและสาเหตุที่สองคือเส้นใยในเนื้อกระดาษมักจะเรียงตัวในแนว MD ของกระดาษอันเป็นผลมาจากแรงน้ำ (hydrodynamic force) บนผิวดินแผ่นของเครื่องผลิตกระดาษ ส่วนการที่ z-direction มีความสามารถในการยืด-หดตัวสูงสุดเนื่องจากเส้นใยมีอิสระในการยืด-หดตัวมากกว่าทิศทางอื่นๆ (ความหนา มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความกว้างหรือความยาวของกระดาษ)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติความคงรูปร่างหรือเสถียรภาพด้านมิติของกระดาษ (dimension stability)

Roisum [20] ศึกษาผลกระทบจากการดูดความชื้นของกระดาษต่อการสูญเสียคุณสมบัติกระดาษเรื่องเสถียรภาพด้านมิติ โดยจากงานวิจัยพบว่ากระดาษจะมีการสูญเสียมิติไปเมื่อดูดความชื้น ซึ่งเรียกพฤติกรรมการขยายตัวจากการดูดความชื้นของกระดาษนี้ว่า hygroexpansion กรณีที่กระดาษมีลักษณะเป็นม้วน ความชื้นจะไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงชั้นในของกระดาษได้ กระดาษจึงมีการเปลี่ยนแปลงมิติเฉพาะผิวชั้นนอกเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขยายตัวตามแนวขวางของเครื่องผลิตกระดาษ (CD) เนื่องจากเซลล์ulosจะขยายตัวแนวขวางของเครื่องผลิตกระดาษ(CD) มากกว่าแนวตามการวางเครื่องผลิตกระดาษ (MD)

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

1. ทราบว่ากระดาษจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติไปเมื่อเกิดการดูดความชื้น โดยกระดาษแบบม้วนจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติด้านนอกเท่านั้นเนื่องจากความชื้นไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงด้านในได้

2. ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการดูดความชื้นของกระดาษ คือ 1. ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ 2. ปัจจัยจากโครงสร้างกระดาษ ได้แก่ ความหนา, ชนิดเยื่อ, การกระจายตัวของความชื้นบนผิวกระดาษ

Thorpe and Choi [21] ศึกษาผลกระทบจากการดูดความชื้นของกระดาษต่อพฤติกรรมการเกิดข้อบกพร่องที่เกิดจากการขยายตัวของกระดาษที่ขรุขระ เรียกว่า roll cockle หรือ roll surface buckling การขยายตัวเนื่องจากความชื้นของกระดาษม้วนนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวชั้นนอกของม้วนกระดาษเท่านั้น เนื่องจากความชื้นจากบรรยากาศไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงกระดาษที่อยู่ชั้นในๆ ได้ ซึ่งความลึกของการเกิดการขยายตัวนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการแพร่ของความชื้นเข้าไปในชั้นกระดาษว่าได้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งเรียกว่า driving force (driving force ; แรงที่ความชื้นจากบรรยากาศสามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุเข้าไปได้ ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอุณหภูมิ)

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

1. ทราบว่ากระดาษที่ขรุขระจะมีการเปลี่ยนแปลงมิติบริเวณผิวด้านนอกเนื่องจากกระดาษขยายตัวจากการดูดความชื้น
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกของการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติของกระดาษม้วน คือ ความสามารถของความชื้นที่สามารถแพร่เข้าไปได้ ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในบรรยากาศ

Fahey and Chilson [22] ศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมการแห้งของกระดาษบนเครื่องผลิตกระดาษ 2 ทิศทาง คือ การแห้งกระดาษตามแนวการวางเครื่อง และการแห้งตามแนวขวางเครื่อง ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติกระดาษเรื่องเสถียรภาพด้านมิติ พบว่ากระดาษตามแนวการวางเครื่องผลิตกระดาษ (MD) มีพฤติกรรมการแห้งภายใต้สภาวะที่มีแรงดึงทำให้กระดาษแห้งโดยไม่มีการหดทำให้เมื่อกระดาษมีการดูดความชื้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติอีก ส่วนการแห้งของกระดาษในแนวขวางของเครื่องผลิตกระดาษ (CD) จะมีพฤติกรรมที่แห้งอย่างอิสระไม่มีแรงใดมากระทำ ทำให้กระดาษมีการหดตัวขณะแห้งทำให้เมื่อกระดาษดูดความชื้นแล้วจะเกิดการขยายตัวซึ่งส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติไป

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

1. ทราบว่าพฤติกรรมการแห้งของกระดาษส่งผลต่อคุณสมบัติเรื่องเสถียรภาพทางมิติของกระดาษ โดยกระดาษที่ถูกปล่อยให้แห้งอย่างอิสระไม่มีแรงดึงมากระทำนั้นจะหดตัวขณะแห้ง ส่งผลทำให้เมื่อกระดาษดูดความชื้นก็จะเกิดการขยายตัวอีกครั้ง ซึ่งลักษณะการแห้งดังกล่าวปรากฏในกระดาษตาม

ทิศทางของการวางเครื่องผลิตกระดาษ โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การหดกับเปอร์เซ็นต์การขยายตัวจากความชื้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

2. ปัจจัยที่ทำให้กระดาษมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติเมื่อดูดหรือคายความชื้น ได้แก่ ระดับความละเอียดของเยื่อ ซึ่งมีผลเฉพาะกระดาษตามทิศแนววางของเครื่องจักร แต่ปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติกระดาษตามแนวการวางของเครื่องจักร เนื่องจากว่ากระดาษในทิศดังกล่าวไม่มีการหดตัวในขณะที่แห้ง

Larsson and Wågberg [23] ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเรื่องเสถียรภาพด้านมิติของกระดาษระหว่างกระดาษที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใย PEM-treated (polyelectrolyte multilayer) ซึ่งกระดาษทุกๆเงื่อนไขจะถูกทำแห้ง 2 วิธีการ คือ การปล่อยให้แห้งอย่างอิสระ (dried freely) และการทำให้แห้งภายใต้การควบคุมด้วยแรงดัน (dried under restraint) ซึ่งการควบคุมการแห้งของกระดาษส่งผลให้กระดาษมีการหดตัว (shrinkage) น้อยกว่าการปล่อยให้กระดาษแห้งอย่างอิสระ

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

พบว่าปัจจัยเรื่องพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษเมื่อกระดาษได้รับความชื้นสำหรับกระดาษที่ถูกปล่อยให้แห้งอย่างอิสระในขั้นตอนการทำแห้ง เนื่องจากผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ากระดาษที่ผ่านการทำ PEM-treated จะมีการเปลี่ยนแปลงมิตินอกจากกระดาษที่ไม่ผ่านการทำแล้วอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกรณีที่กระดาษถูกควบคุมให้แห้งด้วยแรงดันพบว่ากระดาษที่ผ่านและไม่ผ่านการทำ PEM-treated มีการเปลี่ยนแปลงมิติแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

หมายเหตุ การแห้งของกระดาษตามแนวการวางของเครื่องผลิตกระดาษจะมีพฤติกรรมแบบถูกทำให้แห้งภายใต้สภาวะที่มีแรงดึงจากลูกอบในกระบวนการอบกระดาษให้แห้งเข้ามากระทำ ส่วนการแห้งตามแนววางของเครื่องผลิตกระดาษนั้นจะแสดงพฤติกรรมแบบแห้งอย่างอิสระ

Caulfield [24] เป็นงานวิจัยที่พยายามรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเรื่องเสถียรภาพด้านมิติของกระดาษเมื่อกระดาษดูดความชื้น โดยสนใจเฉพาะการเปลี่ยนแปลงขนาดกระดาษในมิติของความกว้างและความยาว เท่านั้นเพราะการเปลี่ยนแปลงในมิติความหนานั้นมีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากความหนาของกระดาษน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวและความกว้าง

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลให้กระดาษมีการเปลี่ยนแปลงมิติไปเมื่อสัมผัสกับความชื้น คือ 1. ปัจจัยจากกระบวนการผลิต ได้แก่ ชนิดของเยื่อ ระดับความละเอียดของการบดเยื่อ, ทิศทางการเรียงตัวของเยื่อบนกระดาษ, เงื่อนไขการทำแห้งกระดาษ, การฉาบสารกันซึมต่างๆบนผิวกระดาษ, การขัดผิวกระดาษเพื่อเพิ่มความหนาแน่น และ 2. ปัจจัยจากโครงสร้างโมเลกุลเยื่อโดยการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุล ได้แก่ การเติมสารต่อเติม (derivative), grafting and polymer impregnation และ cross-linking

2.4.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการดูดความชื้นของกระดาษ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่ากระดาษมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ซึ่งทำให้กระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติ โดยจะเรียกคุณสมบัติดังกล่าวนี้ว่าความมีเสถียรภาพด้านมิติ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์จากกระดาษ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการดูดความชื้นของกระดาษเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

Bandyopadhyay [25] ศึกษากระบวนการเคลื่อนที่ของความชื้นเข้าสู่กระดาษ (moisture transport) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่คงที่ผ่านแบบจำลองการเคลื่อนที่ของความชื้น โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 มุมมอง คือ การเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างกระดาษส่วนที่เป็นเซลล์ลูโลส (intra-fiber diffusion) และการเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างที่เป็นช่องว่าง (inter-fiber diffusion)

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

พบว่าปัจจัยที่ทำให้ความชื้นแพร่เข้าสู่กระดาษยากหรือง่ายขึ้นขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของช่องว่างภายในโครงสร้างกระดาษ กระดาษที่โครงสร้างช่องว่างมีความคดเคี้ยวมากขึ้นจะทำให้ความชื้นแพร่เข้าสู่กระดาษยาก ซึ่งกระดาษที่มีความหนาแน่นมากจะมีช่องว่างของกระดาษที่คดเคี้ยวและซับซ้อนมากขึ้น ทำให้ความชื้นเข้าไปสู่โครงสร้างส่วนที่เป็นเส้นใยได้ช้าลง

Foss และคณะ [26] ได้สร้างแบบจำลองของการเคลื่อนที่ของความร้อนและมวล (heat and mass transfer) ผ่านชั้นกระดาษ โดยที่กระบวนการดูดซึมของความชื้นผ่านเนื้อกระดาษมีอยู่สามขั้นตอน คือ การแพร่จากภายนอกผ่านเข้ามาบนผิวกระดาษ การแพร่ผ่านโครงสร้างรูพรุน และการแพร่จากรูพรุนสู่เส้นใย

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการดูดซึมความชื้นเข้าสู่เส้นใยของกระดาษขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอก รวมไปถึงประวัติการเปลี่ยนแปลงความชื้น (moisture history) ของกระดาษนั้นๆด้วย

Roisum [20] ได้สร้างแบบจำลองที่ใช้ทำนายเวลาที่ใช้ในการแพร่ความชื้นเข้าหรือออกสู่กระดาษเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาความเสียหายของกระดาษเนื่องจากความชื้น

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการแพร่ความชื้นเข้าหรือออกกระดาษ คือ 1. ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ 2. ปัจจัยจากโครงสร้างกระดาษ ได้แก่ ความหนา, ชนิดเยื่อ, การกระจายตัวของความชื้นบนผิวกระดาษ โดยผู้วิจัยได้นำกระดาษมาทดลองในห้องควบคุมสภาวะให้กระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้น แล้วนำผลที่ได้มาประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ “reverse engineer” เพื่อใช้ทำนายเวลาในการเปลี่ยนแปลงความชื้นในกระดาษ

2.4.3 สรุปสิ่งที่ได้จากการศึกษางานวิจัยในอดีต

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพบว่าผลกระทบจากการบวมของเซลล์โลสที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดกระดาษในระหว่างกระบวนการผลิตได้ถูกศึกษามาเป็นที่เรียบร้อยแล้วโดยรายละเอียดตามเนื้อหางานวิจัยในหัวข้อที่ 2.4.1 แต่วิธีการสำหรับควบคุมปัญหาการเปลี่ยนแปลงขนาดทั้งการเปลี่ยนแปลงเฉพาะเส้นใยเพียงอย่างเดียว (individual fibers) และ โครงข่ายของเส้นใยที่ถูกขึ้นรูปเป็นกระดาษ (whole fibers network) ยังมิได้มีการศึกษาอย่างสมบูรณ์นัก

โดยเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าพันธะไฮโดรเจนภายในเส้นใยเซลล์โลส (intra-fiber bond) และพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใย (inter-fiber bond) จะถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำเมื่อเส้นใยดูดซับน้ำเข้าไปและส่งผลให้ไฟบริลแยกตัวออกจากผนังเซลล์ทำให้เห็นว่าเส้นใยเกิดการบวมตัว เมื่อเส้นใยเซลล์โลสในโครงสร้างกระดาษเกิดการบวมเมื่อดูดซับความชื้นเข้าไป จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษ และเรียกคุณสมบัติเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษนี้ว่า “ความคงตัวต่อรูปร่างหรือเสถียรภาพด้านมิติ” ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมิตินี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่กระดาษสามารถดูดซับเข้าไปในโครงสร้างได้นั่นเอง ทำให้การเปลี่ยนแปลงความชื้นนี้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานผลิตภัณฑ์จากกระดาษเป็นอย่างมากเนื่องจากทำให้กระดาษมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและมิติไป ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการดูดความชื้นของ

กระดาศเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าวตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.4.2 ซึ่งจากงานวิจัยเบื้องต้นนี้ทำให้ทราบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการดูดหรือคายความชื้นของกระดาศประกอบไปด้วยปัจจัยจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ และปัจจัยจากโครงสร้างของกระดาศเอง ได้แก่ ความหนา, ชนิดเยื่อ, ความชื้นของกระดาศ, ความคดเคี้ยวและซับซ้อนของรูพรุนภายในโครงสร้างกระดาศ รวมไปถึงประวัติการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระดาศนั้นๆ โดยงานวิจัยได้นำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายเวลาในการดูดความชื้นของกระดาศเพื่อใช้ทำนายเวลาในการเกิดความเสียหายของผลิตภัณฑ์กระดาศ

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังเห็นว่ายังไม่มียงานวิจัยใดที่ศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลร่วม (interaction effect) ของปัจจัยต่างๆเหล่านี้ต่อเวลาที่ใช้ในการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการเพื่อลดอัตราการดูดความชื้นเข้ามาภายในโครงสร้างกระดาศเพื่อลดความเสียหายของกระดาศที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติ ดังนั้นจึงเป็นโอกาสที่ทำให้ผู้วิจัยคัดเลือกการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาถึงผลกระทบจากอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่โครงสร้างกระดาศซึ่งส่งผลให้กระดาศเกิดการเปลี่ยนแปลงมิติไปเมื่อสัมผัสกับความชื้นในบรรยากาศ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการลดอัตราการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศในสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงในการใช้งานจริงที่มีปริมาณความชื้นและอุณหภูมิไม่คงที่ (cyclic relative humidity) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมของประเทศไทยซึ่งเป็นภูมิภาคที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร มีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ [27]

บทที่ 3 การนิยามปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ [7] ซึ่งเป็นการนำเยื่อกระดาษมาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่างๆหลายชนิด กระดาษชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อภาคธุรกิจ คือ กระดาษกราฟ เนื่องจากปัจจุบันกระดาษกราฟมีสัดส่วนในการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมายที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุด ผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น กล่องกระดาษ ถุงกระดาษ ซองเอกสารสำคัญต่างๆ เป็นต้น

3.1 วิวัฒนาการของกระดาษกราฟที่ในมุมมองอุปสงค์ (demand side) [28], [29]

ประวัติของกระดาษเริ่มเมื่อประมาณ 5,000 ปีมาแล้ว เชื่อกันว่ามีการใช้กระดาษครั้งแรกโดยชาวอียิปต์ และชาวจีนโบราณ แต่กระดาษในยุคแรกๆผลิตขึ้นเพื่อการจดบันทึกเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบการเขียนคือแรงผลักดันให้เกิดการผลิตกระดาษขึ้นในโลกนั่นเอง [30] จนกระทั่งชาวอาหรับได้นำวิธีทำกระดาษของชาวจีนมาเผยแพร่เข้าสู่ประเทศในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกาจึงทำให้มนุษย์เริ่มใช้กระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ครั้งแรกในรูปของถุงกระดาษ และเริ่มขึ้นรูปกระดาษเป็นกล่องกึ่งตัวสำหรับบรรจุสินค้าต่างๆเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ทำให้จุดประสงค์ของการใช้กระดาษเริ่มเปลี่ยนแปลงและมีความหลากหลายมากขึ้นทั้งในเรื่องงานพิมพ์และงานบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวิวัฒนาการด้านอุปสงค์ของการใช้กระดาษ 2 วัตถุประสงค์ด้วยกัน คือ การใช้กระดาษเพื่อระบบการเขียน และการใช้กระดาษเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ โดยผู้วิจัยจะศึกษาในรายละเอียดของการใช้กระดาษเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก

3.1.1 การใช้กระดาษในระบบการเขียน [30], [31]

ในยุคโบราณก่อนที่จะมีกระดาษ มนุษย์มีวิธีการติดต่อสื่อสารกันด้วยการขีดเขียนข้อความ สัญลักษณ์ลงบนพื้นผิวของวัตถุต่างๆหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น หิน แผ่นหิน แผ่นศิลา แผ่นไม้ แผ่นโลหะต่างๆ ฯลฯ ซึ่งปัญหาของวัตถุพวกนี้ คือ น้ำหนักของวัตถุที่ค่อนข้างมาก ทำให้เคลื่อนย้ายค่อนข้างลำบาก ดังนั้นการค้นพบกระดาษและวิธีการผลิตกระดาษจึงถือเป็นการพลิกโฉมหน้าของวิธีการในการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมาก แต่ก่อนที่มนุษย์จะมีการค้นพบกระดาษโดยชาวจีนนั้น มนุษย์ได้มีความพยายามและใช้วัตถุดิบอื่นๆที่มีผิวเรียบ น้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมาก่อน เช่น ใบไม้ขนาดใหญ่ แผ่นหนังลูกวัว และวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการเขียน หรือส่งข้อความเพื่อติดต่อสื่อสารมากที่สุดในยุคนั้น คือ แผ่นสานจากต้นกกปาปิรัส (papyrus) ซึ่งชาวอียิปต์เป็นผู้คิดค้นผลิตและจำหน่าย ต้นกกสานดังกล่าวถูกใช้มายาวนานกว่า 5,000 ปี แต่เนื่องจากชาวอียิปต์เป็นผู้เป็นเจ้าของเทคโนโลยีเป็นผู้เดียวที่สามารถผลิตได้ ซึ่งชาวอียิปต์นั้นได้ปกปิดความรู้และกรรมวิธีการผลิต

ไว้แต่เพียงผู้เดียวทำให้ราคาของกกปาไปร้สค่อนข้างแพงมาก แต่ต่อมาเมื่อชาวจีนชื่อว่า Ts'ai'Lung ได้ค้นพบวิธีทำกระดาษโดยใช้เปลือกไม้ที่ได้จากเศษอวนจับปลามาต้มจนได้เยื่อกระดาษและนำมาเกลี่ยบนตระแกรงและปล่อยให้แห้ง ทำให้มีการใช้วิธีผลิตกระดาษเช่นนี้แพร่หลายอย่างรวดเร็ว กระดาษของชาวจีนจึงถูกนำมาใช้แทนต้นกกปาไปร้สของชาวอียิปต์ เพราะมีต้นทุนต่ำกว่าและคุณสมบัติของกระดาษที่เหมาะสมกับการอ่านมากกว่า จากนั้นในช่วงปี ค.ศ.751 เกิดสงครามระหว่างจีนกับอาหรับ เขตศึกษาจีนได้เปิดเผยวิธีการทำกระดาษแก่ชาวอาหรับ ชาวอาหรับจึงนำวิธีการผลิตกระดาษของจีนไปใช้ ทำให้กระดาษเปลี่ยนจากศิลปะไปเป็นอุตสาหกรรมกระดาษ และเผยแพร่ไปสู่ประเทศสเปน อิตาลี เนเธอร์แลนด์ เบลเยียม เยอรมัน และฝรั่งเศส และเข้าสู่ประเทศอังกฤษในช่วงศตวรรษที่ 12 – 13 และเมื่อกูเทนเบิร์ก (Gutenberg) สามารถประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ได้สำเร็จ กระดาษจึงเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้สำหรับงานพิมพ์และมีวิวัฒนาการควบคู่กับวิวัฒนาการของงานพิมพ์มาโดยลำดับ

3.1.2 การใช้กระดาษเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ [32], [33]

มนุษย์เริ่มมีการใช้บรรจุภัณฑ์มาเป็นเวลาช้านานตั้งแต่สมัยในยุคนหินโดยไม่รู้ตัว ในยุคดังกล่าวมนุษย์ใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อห่อหุ้มสัตว์ที่ล่ามาได้เพื่อป้องกันแมลง แสงแดด และฝน สิ่งที่ใช้ห่อหุ้มจะเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถหาได้ เช่น ใบไม้ เปลือกไม้ เปลือกหอย กระบอไม้ กระเพาะสัตว์ หรือ หนังสัตว์ เป็นต้น การที่มนุษย์รู้จักแก้ปัญหาด้วยการนำเอาวัตถุดิบ (raw material) จากธรรมชาติเข้ามาเป็นอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้ายวัตถุมวลสารเป็นที่มาของการบรรจุภัณฑ์เอง แรกเริ่มที่มนุษย์อยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็กๆและดำรงชีวิตง่ายๆด้วยการอาศัยผลิตผลจากการเพาะปลูก หรือการเลี้ยงสัตว์เพียงจำนวนไม่มาก มีการพึ่งพาอาศัยและติดต่อกันในกลุ่มใกล้เคียงเท่านั้น การเคลื่อนย้ายสิ่งของเครื่องใช้ที่มีการแลกเปลี่ยนก็อาศัยภาชนะตามพื้นบ้านที่ใช้กันอยู่ในครัวเรือนตามสะดวก แต่ต่อมาเมื่อการแลกเปลี่ยนขยายขอบเขตวงกว้างออกไปมากขึ้น บรรจุภัณฑ์ชนิดใหม่ๆจึงเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการค้าและการบริการในฐานะของสิ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่การขนส่งสินค้า (aid transportation) โดยทำหน้าที่ขึ้นพื้นฐาน คือ ปกป้อง กลุ่มครองสินค้าให้ปลอดภัยจากความเสียหาย อันเนื่องมาจากการกระทบกระเทือน และป้องกันสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค ซึ่งบทบาทนี้มีผลทำให้รูปแบบของบรรจุภัณฑ์มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับ มีการออกแบบภาชนะบรรจุแบบปิด เช่น ถังไม้ การรู้จักปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ เช่น มีฝาจุปิดขวด ฯลฯ เป็นต้น เทคนิคและกรรมวิธีการบรรจุที่พัฒนาขึ้นตามหน้าที่ใช้สอยเหล่านี้

กระดาษเริ่มเข้ามามีบทบาทเป็นบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ใช้เฉพาะในระบบงานเขียน เนื่องจากกระดาษทำจากเศษไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ทั่วไปและมีวิธีการขึ้นรูปที่ไม่ซับซ้อน ใช้เพียงตะแกรงเกลี่ยเยื่อไม้ที่ได้จากการต้มเศษไม้ก็สามารถผลิตกระดาษออกมาได้ ซึ่งกระดาษถูกนำมาใช้ห่อหุ้มสินค้าครั้งแรกในรูปของถุงกระดาษ ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้กระดาษเข้ามามีบทบาทเป็นบรรจุภัณฑ์ คือ การ

เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม (industrial revolution) ทำให้ระบบการผลิตกลายเป็นการผลิตเชิงมวล (mass production) จึงเกิดความต้องการเรื่องความสะดวกสบายต่อการขนส่งสินค้า ความต้องการด้านความปลอดภัย ความรวดเร็ว ความต้องการสินค้าที่มีคุณภาพ และความต้องการความหลากหลายของสินค้า ฯลฯ จึงทำให้เกิดการตรากฎหมายเรื่องหน่วยบรรจุภัณฑ์ (unit packaging) การตราสินค้า (brand identification) และการโฆษณา (advertising) ปรากฏการณ์เหล่านี้ทำให้ตัวบรรจุภัณฑ์เริ่มเข้ามามีบทบาทแทนพนักงานขาย มีความสำคัญมากในฐานะ “ตัวแสดงสินค้า” (the representation of product) ที่ต้องการแสดงให้ผู้บริโภคเห็นถึงเนื้อหาหรือเนื้อหา (content) ของสินค้าด้วยการให้ข้อมูลรายละเอียดของสินค้าบนหีบห่อ ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องหาวิธีการในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้สามารถสื่อสารและดึงดูดผู้บริโภคได้ ซึ่งนอกจากการออกแบบตัวโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่ดีแล้ว สิ่งที่เป็นมาอีกสิ่งคือ “งานพิมพ์” ซึ่งกระดาษในยุคนั้นถูกนำมาใช้ในงานพิมพ์เป็นหลักอยู่แล้ว ดังนั้นกระดาษจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อย่างแพร่หลายในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้งานกระดาษครั้งใหญ่จากเดิมที่ใช้เพื่อติดต่อสื่อสารเท่านั้นมาทำหน้าที่เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษนั้นได้รับการพัฒนาการตามการใช้งานตามยุคสมัยดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ยุคโรมันถึงศตวรรษที่ 14-16 [35]

วิธีทำกระดาษค้นพบโดยชาวจีนเมื่อประมาณปี ค.ศ. 105 แต่ในยุคนั้นกระดาษยังไม่ได้มีการนำมาใช้ห่อสินค้า จนกระทั่งกระดาษถูกนำเข้าสู่ประเทศในทวีปยุโรปผ่านประเทศทางอาหรับ ชาวยุโรปได้มีการนำเอากระดาษมาใช้ห่อหุ้มสินค้าต่างๆ โดยยังไม่มีกรขึ้นรูปเพื่อใช้สำหรับป้องกันสินค้าที่พวกเขาต้องการแลกเปลี่ยน ซึ่งในเวลาต่อมาสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาการใช้กระดาษห่อหุ้มสินค้าจนกลายมาเป็นถุงกระดาษในช่วงปี ค.ศ. 1625

3.1.2.2 ยุคคลาสสิก (classical period; ค.ศ. 1880 – 1899) [29], [32], [34], [35]

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม มนุษย์สามารถผลิตสินค้าได้จำนวนมากขึ้นในเวลาทีน้อยลง เกิดคำว่าผลิตเชิงมวลและทำให้เกิดกำลังในการซื้อสินค้าอุปโภคบริโภคเพิ่มมากขึ้น อุปสงค์ของบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้น และเกิดความต้องการบรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสินค้า ทำให้เริ่มมีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ในหลากหลายรูปแบบมากขึ้น โดยเริ่มมีการแบ่งบรรจุสินค้า มีการบอกรหัสและสรรพคุณบนบรรจุภัณฑ์เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกซื้อสินค้ากับบุคคลต่างๆ นอกจากนี้แล้วยังมีความต้องการขนย้ายสินค้าในหน่วยที่มากขึ้น จึงต้องการบรรจุภัณฑ์ที่สามารถบรรจุสินค้าได้ในปริมาณมากๆ ดังนั้นกระดาษจึงถูกนำมาขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นกล่องที่สามารถขนถ่ายสินค้าได้ครั้งละมากๆ โดยกล่องกระดาษแข็งแบบคงรูปเริ่มมีการใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณปี ค.ศ. 1839 เพื่อใช้บรรจุเครื่องประดับ เช่น เพชรพลอย และต่อมาใน

ปี ค.ศ. 1856 แนวคิดของกระดาดลูกฟูกได้ถือกำเนิดขึ้นจากกลุ่มแพ้นเส้นผ่า โดยการนำผ้ามาพับเป็น ปกคอและปลายแขนเสื้อ จากการพับผ้าไปมาแล้วรีดทับ โดย Healey และ Allen ชาวอังกฤษได้ค้นพบ การนำกระดาดเข้ามาทำเป็นลอนแล้วจึงนำมาใช้ในหมวดทรงสูงทำให้หมวกอยู่ทรงได้ดี ซึ่งต่อมาถูก นำมาใช้ในกล่องกระดาดลูกฟูก กล่องกระดาดลูกฟูกถูกนำมาใช้ขนส่งสินค้าที่เปราะบางประเภทแก้ว อย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทนต่อแรงกระแทกได้ดี

3.1.2.3 ยุคสงครามโลกครั้งที่ 1 (ค.ศ. 1914 - 1918) [29]

ช่วงเวลาดังกล่าวมีปรากฏหลักฐานว่ามนุษย์นำกล่องกระดาดลูกฟูกมาใช้ในการขนส่งอาวุธสงคราม ร่วมกับถังไม้ เนื่องจากกล่องกระดาดลูกฟูกมีน้ำหนักเบา และสามารถทนต่อแรงกระแทกจากภายนอก ได้ดี นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 1915 Altick ได้คิดค้นกระดาดเหนียวสีน้ำตาลหรือกระดาดกราฟท์ซึ่งเป็น กระดาดที่มีความเหนียวมากกว่ากระดาดประเภทอื่นๆ จึงทำให้กระดาดประเภทดังกล่าวได้รับความนิยม นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เป็นอย่างมาก ซึ่งการค้นพบดังกล่าวมีความสำคัญอย่างมากในวงการ บรรจุภัณฑ์กระดาด

3.1.2.4 ยุคอาร์ตเดโค (art deco; ค.ศ. 1920 - 1939) [29], [32]

มนุษย์มีความต้องการให้อาหารและเครื่องดื่มสามารถเก็บไว้ได้นานมากขึ้น และต้องการความ สะดวกสบายต่อการเคลื่อนย้ายมากขึ้น จึงเริ่มนำกระดาดมาทำการเคลือบไขเพื่อให้สามารถทนน้ำได้ เช่น การใช้กล่องแข็งเคลือบไขเพื่อการบรรจุนมแทนขวดแก้วที่มีน้ำหนักมากกว่าและดูแลยากกว่า เนื่องจากสามารถแตกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทก ยุคดังกล่าวเป็นยุคที่บรรจุภัณฑ์กระดาดถูก นำมาใช้บรรจุสินค้าประเภทอาหารและเครื่องดื่มมากขึ้น

3.1.2.5 ยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1939-1945) [32]

ช่วงเวลาดังกล่าวกล่องลูกฟูกได้ถูกนำมาใช้แทนถังไม้ จากเดิมก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 มี ผู้ประกอบการใช้ถังไม้เพื่อการขนส่งสินค้าและอาวุธถึง 80 % ของปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภท ถังและใช้กล่องกระดาดเพียง 20 % ของปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทถัง แต่เมื่อหลังสงครามโลก ครั้งที่ 2 กระดาดถูกนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หลักเพื่อการขนส่งถึง 80 % ของปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ ประเภทถัง ในขณะที่ถังไม้มีการใช้ไม่ถึง 20 % ของปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทถัง เนื่องจาก กล่องกระดาดลูกฟูกมีน้ำหนักเบากว่าถังไม้จึงสามารถอำนวยความสะดวกในเรื่องการขนส่งมากกว่า

3.1.2.6 ยุคเทคโนโลยี (ค.ศ. 1960 - 1970) [32]

จากปัญหาเรื่องน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ประเภทโลหะหรือแก้วที่แม้จะสามารถรักษาและป้องกันคุณภาพสินค้าภายในได้ดี แต่ยังมีข้อเสีย คือ มีน้ำหนักมาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการขนย้ายในระยะทางไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งบรรจุภัณฑ์ประเภทแก้วที่แตกเสียหายได้ง่ายถ้าได้รับแรงกระแทก ดังนั้นมนุษย์จึงนิยมใช้กล่องกระดาษเคลือบไขมากขึ้นเนื่องจากมีน้ำหนักที่เบากว่า และยังสามารถกล่องกระดาษมาประกบกับฟิล์มพลาสติกเพื่อใช้แทนขวดแก้วบรรจุนม ซึ่งยุคนี้ยังเป็นยุคที่อุปสงค์การใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

3.1.2.7 ยุคปัจจุบัน [32]

หลังปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมามนุษย์เริ่มคำนึงถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกันมากยิ่งขึ้น บรรจุภัณฑ์ที่ดีนอกจากจะต้องสามารถปกป้องสินค้าภายในได้และมีน้ำหนักเบาเพื่อความสะดวกสบายแล้วจะต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามหลัก 3R (recycle-reuse-reduce) อีกด้วย ดังนั้นบรรจุภัณฑ์กระดาษจึงถือเป็นทางเลือกที่ผู้บริโภคให้ความสนใจอย่างมาก และจากการแข่งขันทางการตลาดของสินค้าต่างๆ รุนแรงมากขึ้น ผู้บริโภคมีทางเลือกในการบริโภคสินค้าที่หลากหลาย ความน่าดึงดูดใจจากบรรจุภัณฑ์จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าต่างๆ ทำให้ผู้บริโภคในยุคใหม่สนใจในเรื่องความสวยงามและรูปลักษณ์ภายนอกมากขึ้น นอกจากนี้การทำบรรจุภัณฑ์กระดาษในช่วงหลังนอกจากจะต้องมีความแข็งแรง ด้านทานน้ำได้ดีแล้ว ยังต้องเน้นในเรื่องการออกแบบทั้งรูปร่างและงานพิมพ์ที่สวยงามเพื่อจูงใจในการเลือกซื้อของผู้บริโภคมากขึ้น

3.1.3 สรุปวิวัฒนาการของกระดาษกราฟที่ในมุมมองอุปสงค์

จากการศึกษารายละเอียดการใช้กระดาษใน 2 วัตถุประสงค์ ได้แก่ การใช้กระดาษในระบบการเขียนและการใช้กระดาษเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ สามารถสรุปประเด็นสำคัญที่เป็นตัวกำหนดวิวัฒนาการของกระดาษกราฟที่ในมุมมองอุปสงค์ได้ ดังนี้

วิวัฒนาการของการใช้กระดาษของมนุษย์ในช่วงเวลาต่างๆ ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า เริ่มแรกนั้นเนื่องจากมนุษย์เป็นสัตว์สังคมและมีความต้องการ (requirement) ในด้านการมีปฏิสัมพันธ์ ต้องการติดต่อสื่อสาร มนุษย์จึงคิดค้นหาวัสดุที่สามารถใช้สื่อสารกันได้ผ่านการเขียน จึงเป็นต้นกำเนิดของการใช้กระดาษ โดยเริ่มแรกกระดาษได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารข้อความเท่านั้น แต่ต่อมาเมื่อมนุษย์เริ่มมีกิจกรรมเชิงพาณิชย์ เริ่มมีความต้องการแลกเปลี่ยนสิ่งของต่างๆ ต่อกัน มนุษย์เริ่มมีความต้องการในการลำเลียงขนส่งสินค้าของตนไปสู่ที่ต่างๆ ให้อย่างปลอดภัยและเคลื่อนย้ายไปได้ครั้งละมากๆ จึงเป็นจุดกำเนิดของการใช้บรรจุภัณฑ์ ทำให้วัตถุประสงค์ของการใช้กระดาษจึงเริ่ม

เปลี่ยนไป กระดาษได้ถูกนำมาใช้ห่อหุ้มและปกป้องสิ่งของต่างๆที่จะทำการเคลื่อนย้ายและแลกเปลี่ยนระหว่างกัน ด้วยเพราะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและขึ้นรูปได้สะดวกมนุษย์จึงนิยมนำกระดาษมาใช้ห่อหุ้มสินค้านั่นเอง จุดเปลี่ยนสำคัญของกระดาษในฐานะบรรจุภัณฑ์เริ่มเมื่อเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้นี้ “บรรจุภัณฑ์” กลายเป็นเครื่องมือทางการตลาดที่สำคัญ เนื่องจากผู้ผลิตต้องการให้บรรจุภัณฑ์เป็นตัวแสดงสินค้าที่สามารถสื่อสารกับผู้บริโภคได้ด้วยการให้ข้อมูลรายละเอียดของสินค้าบนหีบห่อผ่านงานพิมพ์บนตัวบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นกระดาษจึงกลายเป็นวัตถุดิบสำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับงานเขียนหรืองานพิมพ์อยู่แล้ว ตั้งแต่ต้น หลังจากการเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมแล้ว บทบาทของกระดาษในฐานะบรรจุภัณฑ์จึงมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นมนุษย์จึงเริ่มมีความต้องการในด้านคุณสมบัติของกระดาษที่กระทบต่อคุณภาพบรรจุภัณฑ์มากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการที่มนุษย์นำกระดาษมาทำการเคลือบไข หรือประกบกับฟิล์มพลาสติกเพื่อนำมาใช้บรรจุสินค้าจำพวกอาหารทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทแก้ว ซึ่งเกิดจากความต้องการให้บรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย แต่ยังคงสามารถบรรจุสินค้าที่เป็นของเหลวหรือมีความชื้นได้ นอกจากนี้ยังมีการนำกระดาษมาขึ้นรูปเป็นกล่องลังเพื่อทดแทนลังไม้เป็นเพราะมนุษย์มีความต้องการบรรจุภัณฑ์ที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้คั่นเอง เพราะด้วยข้อดีของกระดาษคือน้ำหนักเบาเหมาะกับการเคลื่อนย้ายขนส่ง มนุษย์จึงพยายามนำกระดาษมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามกระดาษมีข้อเสียสำคัญ คือมีความแข็งแรงต่อแรงดึงค่อนข้างต่ำ ไม่สามารถบรรจุทุกสินค้าที่มีน้ำหนักมากได้ มนุษย์จึงพยายามคิดค้นและพัฒนากระดาษที่มีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสามารถรับน้ำหนักสินค้าที่บรรจุได้จนเป็นที่มาของการคิดค้นและผลิตกระดาษเหนียวสีน้ำตาล หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า “กระดาษคราฟท์” ซึ่งต่อมากระดาษคราฟท์ได้กลายมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษแทบทุกประเภท และด้วยในยุคปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามนุษย์เริ่มให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ปัจจัยดังกล่าวทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษยังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย จึงเป็นปัจจัยส่งเสริมให้กระดาษคราฟท์ที่มีความสำคัญยิ่งขึ้นในฐานะของวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษที่มนุษย์มีความต้องการและมีความคาดหวัง (expectation) ให้สามารถนำมาใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์จำพวกพลาสติกให้ได้ โดยเหตุการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการของการใช้กระดาษในมุมมองสังคมสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิวัฒนาการใช้กระดาษในมุมมองสังคม [18], [28]

พ.ศ.	ค.ศ.	ประวัติ
	3,000 ปีก่อน	ชาวอียิปต์รู้จักทำกระดาษจากต้นกก ชื่อ <i>Cyperus papyrus</i> (<i>papyrus</i> เป็นต้นกำเนิดของคำว่า paper) โดยการลอกกอกเป็นริ้วยาว ๆ นำมาวางสวนกันไปมาบนพื้นผิวเรียบและแห้ง จากนั้นใช้น้ำหนักกดทับให้เป็นแผ่น ซึ่งอาจมีการขัดผิวให้เรียบมากขึ้น โดยการใช้น้ำขี้ผึ้งหรือหินขัด
648	105	ค้นพบวิธีทำกระดาษโดยชาวจีน และกระดาษถูกนำมาแทนวัสดุอื่น ๆ สำหรับการเขียน
1294	751	เกิดสงครามระหว่างจีนกับอาหรับ ชาวอาหรับจึงนำวิธีการผลิตกระดาษของจีนไปใช้ และเผยแพร่ไปสู่ประเทศในแถบยุโรป
2161	1618	กระดาษถูกนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์โดยยังไม่ได้มีการขึ้นรูป (สเปน)
2382	1839	กระดาษถูกนำมาขึ้นรูปเป็นกล่องแข็งแบบคงรูปเพื่อใช้บรรจุเครื่องประดับ เช่น เพชรพลอย
2399	1856	กระดาษลูกฟูก เป็นที่รู้จักครั้งแรก และได้รับการจดสิทธิบัตรเป็นวัสดุรองทรงของหมวกทรงสูง ของชาวอังกฤษสองคน คือ Haeley และ Allen
2403	1860	พัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษมาเป็นรูปของถุงกระดาษและจดลิขสิทธิ์ (สหรัฐอเมริกา)
2414	1871	กระดาษลูกฟูกถูกใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ครั้งแรก คือถูกนำมาห่อใส่ตะเกียงแก้ว และของที่บอบบางเช่น ขวดแก้ว
2428	1885	ใช้กระดาษในการห่อหีบผัก (สหรัฐอเมริกา)
2437	1894	เริ่มมีการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกในการขนส่งทางรถไฟในสหรัฐอเมริกาใช้ระบบสุญญากาศเป็นครั้งแรกสำหรับยาสูบในประเทศอังกฤษ
2458	1915	Altick คิดค้นกระดาษเหนียวสีน้ำตาล
2463	1920	ผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบายมากขึ้น ทำให้กระดาษถูกนำมาเคลือบไขเพื่อใช้บรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มแทนวัสดุพวกแก้วที่มีน้ำหนักมากกว่า
2533- 2543	1990- 1999	อุปสงค์ของบรรจุภัณฑ์จากกระดาษเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแนวคิดเรื่องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
ปัจจุบัน	ปัจจุบัน	บรรจุภัณฑ์กระดาษถูกเน้นในเรื่องของการออกแบบเพื่อดึงดูดความสนใจจากผู้บริโภค รวมไปถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

3.2 วิวัฒนาการของกระดาษกราฟที่ในมุมมองอุปทาน (supply side)

จากการศึกษาวิวัฒนาการของการใช้กระดาษในมุมมองอุปสงค์ทำให้ทราบว่ากระดาษที่มนุษย์ใช้นั้นมีด้วยกัน 2 วัตถุประสงค์ ได้แก่ ใช้สำหรับระบบงานเขียน และใช้สำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งกระดาษที่ถูกนำมาใช้ทั้ง 2 วัตถุประสงค์ที่ต่างกันนั้นย่อมมีความต้องการและความคาดหวังที่แตกต่างกัน ความต้องการบรรจุภัณฑ์สำหรับห่อหุ้มและปกป้องสินค้าเพื่อประโยชน์ในเชิงพาณิชย์นำพามาซึ่งปริมาณอุปสงค์ของกระดาษวัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์สูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้เองทำให้กระดาษกราฟที่กลายเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญซึ่งสามารถชี้แจงแสดงถึงการเติบโตของอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาถึงวิวัฒนาการของกระดาษกราฟที่ในมุมมองอุปทาน โดยจะกล่าวรวมใน 2 ประเด็น คือ วิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท และวิวัฒนาการของการผลิตกระดาษจนเป็นอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่ รวมไปถึงวิวัฒนาการของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทยในตอนท้าย

3.2.1 วิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์กระดาษแต่ละประเภท [29], [35], [36]

ปัจจุบันกระดาษได้ถูกนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากมายหลายประเภท แต่บรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจะมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท คือ ถุงกระดาษ, กล่องกระดาษ, กล่องกระดาษลูกฟูก และกระป๋องกระดาษ โดยวิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1.1 บรรจุภัณฑ์ถุงกระดาษ

ชาวจีนเป็นผู้คิดค้นกระดาษขึ้นครั้งแรก ซึ่งในขณะนั้นกระดาษไม่ได้ใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ แต่จะใช้ในการเขียนบันทึกต่างๆ แต่ต่อมาเมื่อกระดาษได้ถูกนำมาเผยแพร่สู่ยุโรปและมีการผลิตครั้งแรกที่ประเทศสเปน จากนั้นประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนากระดาษจนกลายมาเป็นถุงกระดาษและได้จดสิทธิบัตรครั้งแรกในปี ค.ศ. 1860 จนพัฒนาจนมาเป็นถุงกระดาษแบบหลายชั้นในปี ค.ศ. 1898 ซึ่งมีส่วนเปิด-ปิดแบบลิ้น

3.2.1.2 บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ

เชื่อกันว่าคนจีนเป็นผู้คิดค้นและเริ่มทำกล่องกระดาษเพื่อใช้ในการบรรจุใบชา โดยกล่องกระดาษแข็งแบบคงรูปเริ่มใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณปี ค.ศ. 1839 เพื่อใช้ในการบรรจุเครื่องประดับ ปัจจุบันกล่องกระดาษแข็งได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ เช่น พลาสติก, โลหะ หรือสามารถเคลือบไขเพื่อให้สามารถต้านทานการซึมน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่ต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มี

น้ำหนักเบาแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทแก้วหรือโลหะ แต่ยังคงสามารถบรรจุสินค้าที่เป็นของเหลวหรือมีความชื้นได้ และไม่ทำปฏิกิริยากับสินค้าที่บรรจุ

3.2.1.3 บรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก

แม้จะมีการนำบรรจุภัณฑ์กระดาษมาใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทถังไม้ โลหะ หรือแก้ว ด้วยข้อดีของกระดาษ คือ น้ำหนักที่เบาและมีต้นทุนวัตถุดิบราคาถูก แต่ก็มีข้อเสียสำคัญ คือ ความแข็งแรงดิ่งต่ำ ไม่สามารถรับน้ำหนักครั้งละมากๆ ได้ และทนแรงกระแทกได้ต่ำ ทำให้มนุษย์พยายามคิดค้นรูปแบบของผลิตภัณฑ์กระดาษที่สามารถรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น มนุษย์จึงได้พัฒนากระดาษลูกฟูกขึ้นมา โดยการขึ้นรูปกระดาษให้มีลักษณะเป็นลอนเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น โดยกระดาษลูกฟูกนั้นได้รับการจดสิทธิบัตรครั้งแรกโดย Healey และ Allen ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1871 Albert ชาวอเมริกันได้นำกระดาษลูกฟูกมาขึ้นรูปเป็นกล่องเพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก เพื่อปกป้องวัสดุที่มีความเปราะบางแตกหักง่ายระหว่างการขนส่ง เช่น ขวดแก้ว และชุดตะเกียงน้ำมันก๊าด

ค.ศ. 1874 กำเนิดเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูกที่สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และ Oliver ค้นพบว่า หากแปะกระดาษเรียบเข้ากับอีกด้านของลอนกระดาษ จะช่วยป้องกันไม่ให้ลอนยัด และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษลูกฟูกอีกด้วยจึงเกิดเป็นกระดาษ 2 ชั้น ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน Robert ช่างพิมพ์ชาวสก็อต ค้นพบโดยความบังเอิญว่าเพียงแค่ตัดและทับเส้นพับ ลุงกระดาษสามารถขึ้นรูปกลายเป็นกล่องได้ทันทีในขณะที่เขาทำถุงกระดาษให้กับลูกค้า วิธีที่เขาค้นพบจึงถูกนำมาใช้กับกระดาษลูกฟูก

ค.ศ. 1881 มีการพัฒนาคิดค้นเครื่องจักรในการผลิตกระดาษลูกฟูกจาก 1 ชั้น มาเป็น 2 ชั้น โดยการใช้การหมุนจากกระดาษ 1 ชั้นที่เป็นลอนและมาประกบกับแผ่นเรียบจึงเกิดเป็น 2 ชั้น

ค.ศ. 1894 กระดาษลูกฟูกถูกนำมาตัดและเจาะรูเพื่อทำเป็นกล่องครั้งแรก และ Wells ได้ใช้กล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุสินค้าชิ้นเล็กๆ ในการขนส่ง

ค.ศ. 1895 บริษัท Sefton Manufacturing จำกัด ได้พัฒนาเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูกแบบต่อเนื่องขึ้น ซึ่งสามารถผลิตกระดาษได้ 3 ชั้นด้วยกัน

ค.ศ. 1903 กระดาษลูกฟูกได้รับการยอมรับตามกฎหมายว่าเป็นวัสดุเพื่อการขนส่งรัษฎพิชอบกรอบ

ปัจจุบันกล่องกระดาษถูกฟูกลได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีราคาถูก น้ำหนักเบา สะดวกในการขนย้าย สามารถช่วยป้องกันสินค้าที่อยู่ภายในได้ดีเนื่องจากรับน้ำหนักได้มาก และสามารถทนแรงกระแทกได้ดี

3.2.1.4 บรรจุภัณฑ์กระป๋องกระดาษ

บรรจุภัณฑ์กระป๋องกระดาษได้รับการพัฒนาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1920 เพื่อเป็นคู่แข่งของกระป๋องโลหะ ซึ่งปัจจุบันมีความนิยมนำกระป๋องกระดาษมาใช้บรรจุเครื่องดื่มต่างๆ, แป้ง, ผลไม้แช่แข็ง, ยาสูบ, เนย และเครื่องดื่มต่างๆ เป็นต้น

3.2.2 วิวัฒนาการการผลิตกระดาษ [18], [30], [31]

ประมาณ 3,000 ปีก่อนคริสตกาล กระดาษได้ถูกผลิตโดยชาวอียิปต์โบราณ โดยใช้ต้นกกชนิดหนึ่งที่เรียกว่าปาไปรัส โดยพบหลักฐานว่ามีการใช้จารึกบทสวดและคำสาบานบรรจุไว้ในพีระมิดของอียิปต์ เพื่อวัตถุประสงค์มาใช้ในการจดบันทึกต่างๆ เท่านั้น

ค.ศ. 105 ชาวจีนชื่อว่า Ts'ai'Lung ได้ประดิษฐ์กระดาษโดยใช้เปลือกไม้จากเศษอวนจับปลามาต้มจนได้เยื่อกระดาษ จากนั้นจึงนำมาเกลี่ยบนตระแกรงและปล่อยให้แห้ง โดยวิธีดังกล่าวเป็นการผลิตกระดาษด้วยมือ จึงถือเป็นงานฝีมือประเภทหนึ่งที่ต้องใช้ทักษะของมนุษย์ ซึ่งในภายหลังวิธีผลิตกระดาษของชาวจีนแพร่หลายอย่างรวดเร็ว

ค.ศ. 751 วิธีการทำกระดาษจากประเทศจีนถูกถ่ายทอดให้กับชาวอาหรับผ่านสงครามทัลลัส (Tallas) ที่กองทัพจีนรบกับกองทัพอาหรับ โดยเชลยศึกชาวจีน 2 คนได้เปิดเผยวิธีการทำกระดาษด้วยมือแก่ชาวอาหรับก่อนได้รับการปล่อยตัวไป ชาวอาหรับปรับปรุงวิธีการทำกระดาษโดยใช้วัตถุดิบเป็นผ้าลินินแทนเปลือกของต้นหม่อนอย่างที่ทำชาวจีนทำ เนื่องจากเศษผ้าลินินไม่เน่าเปื่อยแต่จะเปื่อยโศกและหมักอยู่ในน้ำ เศษผ้าที่ต้มแล้วจะปราศจากกากที่เป็นด่างและสิ่งสกปรกอื่นๆ จากนั้นเศษผ้าจะถูกนำมาทุบด้วยค้อนให้เป็นเยื่อ เทคนิคที่ทำให้เป็นเยื่อแบบนี้ถูกพัฒนาโดยชาวอาหรับที่กรุงแบกแดด จึงทำให้มีโรงงานกระดาษเกิดขึ้นมากมายในกรุงแบกแดดในยุคนี้ เมื่อมีปริมาณกำลังการผลิตกระดาษเพิ่มขึ้น กระดาษจึงมีราคาถูกลง คุณภาพดีขึ้นและมีจำหน่ายอย่างแพร่หลาย

ค.ศ. 850 โรงงานกระดาษที่เฟื่องฟูอยู่ในอิรัก ซีเรีย และปาเลสไตน์ได้ขยายตัวไปสู่ทางตะวันตกในทวีปแอฟริกา, ประเทศอียิปต์และโมร็อกโก

ค.ศ. 950 โรงงานกระดาษได้ขยายไปยังทวีปยุโรป ซึ่งกระดาษถูกผลิตครั้งแรกในประเทศสเปน โดยใช้ปอชั้นดีของบาเลนเซีย (Valencian) และมูร์เซีย (Murcia) เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

ค.ศ. 1293 วิธีการผลิตกระดาษได้ถูกเผยแพร่ไปสู่ชาวคริสเตียนในอิตาลี มีการตั้งโรงงานกระดาษที่โบโลญญา (Bologna)

ค.ศ. 1309 เริ่มมีการผลิตและใช้กระดาษในอังกฤษ และเยอรมัน

ค.ศ. 1799 ได้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรสำหรับการผลิตกระดาษออกมาเป็นม้วน ซึ่งทำให้ในช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรมมีปริมาณกระดาษที่ผลิตออกมาเป็นจำนวนมากและสามารถตอบสนองต่อปริมาณอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้น ถือได้ว่าเป็นช่วงที่กระดาษเข้าสู่ระดับอุตสาหกรรมผลิตกระดาษในที่สุด

ค.ศ. 1799 – 1803 พี่น้องตระกูล Fourdrinier ได้ประดิษฐ์เครื่องโรยเยื่อกระดาษแบบต่อเนื่อง ซึ่งต่อมาได้เรียกเครื่องโรยเยื่อกระดาษนี้ว่า “Fourdrinier” และใช้กันมาจนถึงปัจจุบันซึ่งเรียกขั้นตอนดังกล่าวในเครื่องจักรผลิตกระดาษว่าขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษ ใช้สำหรับผลิตกระดาษชั้นเดียวหรือกระดาษบางในปัจจุบัน

ค.ศ. 1807 ชาวเยอรมันได้มีการประยุกต์ใช้แป้งมาเคลือบระหว่างชั้นกระดาษเพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานการซึมน้ำให้กับกระดาษ เนื่องจากมนุษย์มีความต้องการกระดาษมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุสินค้าที่มีความชื้น หรือมีความเปียก เช่น อาหารต่างๆ

ค.ศ. 1817 ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องโรยเยื่อทรงกระบอก (cylinder type machine) ซึ่งใช้สำหรับผลิตกระดาษหนาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงดึงของกระดาษ ให้บรรจุภัณฑ์กระดาษสามารถรับน้ำหนักของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในได้มากยิ่งขึ้น เครื่องโรยเยื่อทรงกระบอกนี้สามารถผลิตกระดาษซ้อนกันได้หลายชั้นทับกันโดยสามารถเลือกใช้เยื่อกระดาษสำหรับแต่ละชั้นแตกต่างกันได้ ปัจจุบันเครื่องโรยเยื่อทรงกระบอกเป็นรูปแบบของเครื่องผลิตกระดาษที่ผลิตกระดาษหลายชั้นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ค.ศ. 1820 ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์เครื่องผลิตกระดาษที่มีระบบอบแห้ง ซึ่งปัจจุบันเรียกส่วนนี้ว่า drying หรือ dry end ซึ่งทำให้กระดาษมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 3 – 10 % ของน้ำหนักกระดาษ

ค.ศ. 1840 หลังจากเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมทำให้กระดาษมีปริมาณอุปสงค์มากขึ้น เนื่องจากมนุษย์นำกระดาษมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์และมีการใช้เครื่องจักรในการผลิตกระดาษให้ได้ในปริมาณมาก ทำให้วัตถุดิบจำพวกเศษผ้าเก่าและผ้าฝ้ายไม่เพียงพอต่อการผลิต ช่วงเวลาต่อมามนุษย์จึงพยายามแสวงหาแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ โดย Friedrich ชาวเยอรมันได้ประดิษฐ์

เครื่องจักรผลิตเยื่อกระดาษจากไม้ และเรียกเยื่อที่ผลิตได้ว่าเยื่อทางกล (mechanical pulp/ground wood pulping) จึงทำให้มนุษย์เปลี่ยนมาใช้เยื่อจากไม้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกระดาษในเวลาต่อมา

ค.ศ. 1867 – 1882 ชาวอเมริกันคือ Hung และ Charies [30] ค้นพบวิธีการสกัดเยื่อกระดาษโดยการใช้กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid ; H_2SO_4) ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีการสกัดเยื่อกระดาษโดยวิธีทางเคมีที่ใช้กันในปัจจุบัน เนื่องจากเยื่อที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวสามารถแยกเอาลิกนินออกจากเซลลูโลสได้มากที่สุด

ค.ศ. 1864 ชาวอเมริกันนำผ้าสักหลาด (press felt) มาติดตั้งที่เครื่องผลิตกระดาษเพื่อช่วยในการรีดน้ำออกในขั้นตอนการทำแห้งกระดาษ เพื่อควบคุมให้กระดาษแห้งอย่างสม่ำเสมอ ทำให้กระดาษที่ได้มีความเรียบผิวที่ดีมีคุณภาพมากขึ้น

ค.ศ. 1884 ค้นพบวิธีผลิตเยื่อโดยใช้โซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate, Na_2SO_4) ในการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อ กระบวนการนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า กระบวนการคราฟท์ (kraft process) ซึ่งเยื่อที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะมีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด

ค.ศ. 1915 ได้มีการนำเยื่อที่ผลิตจากกระบวนการคราฟท์มาทำใช้ผลิตกระดาษเหนียวสีน้ำตาล จึงเรียกกระดาษดังกล่าวว่า กระดาษคราฟท์ ซึ่งใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษประเภทต่างๆในปัจจุบัน

ค.ศ. 1945 เริ่มมีการคิดค้นในการใช้คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide, ClO_2) ในการฟอกสีกระดาษให้เป็นสีขาว ซึ่งสามารถใช้สารดังกล่าวในการฟอกขาวได้สำเร็จในปี ค.ศ. 1950

หลังจากปี ค.ศ. 1970 การพัฒนาในกระบวนการผลิตกระดาษจะเป็นในทางปรับปรุงเครื่องผลิตกระดาษโดยให้สามารถควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมคุณลักษณะด้านต่างๆของกระดาษให้มีคุณภาพ รวมไปถึงการพัฒนาสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรง และการต้านทานการช้มน้ำให้ดียิ่งขึ้น

3.2.3 วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทย [37]

ในภาษาไทย คำว่า “กระดาษ” สันนิษฐานว่าจะเรียกชื่อเพี้ยนมาจากภาษาโปรตุเกส ซึ่งเรียกว่า “การ์ตาส” (cartas) การทำกระดาษในประเทศไทยนั้น ไม่ทราบแน่นอนว่าได้เริ่มการทำมาตั้งแต่เมื่อใด และได้รับการถ่ายทอดวิธีการมาจากแหล่งใด แต่เป็นที่ทราบว่าตั้งแต่สมัยกรุงสุโขทัยเป็นต้นมา ได้มีการขีดเขียนตัวอักษรหรือรูปภาพลงบนแผ่นไม้ หนังสัตรี และแผ่นหิน ที่เรียกว่า “ศิลาจารึก” และต่อมาได้

วิวัฒนาการมาใช้เปลือกข่อยคำทำเป็นแผ่นข้อมด้วยน้ำมะเกลือเป็นสีดำตกให้แห้งแล้วเขียนด้วยรงควัตถุ เรียกว่า “สมุดข่อย” หรือ “กระดาษข่อย” และมีการใช้เหล็กปลายแหลมเขียนบนใบลาน ต่อมาได้มีการคิดค้นวิธีการทำกระดาษจากเปลือกสา (paper mulberry) ซึ่งมีมากทางภาคเหนือของประเทศไทย

วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ยุค คือ 1. ยุคก่อนมีพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน (ก่อน พ.ศ. 2505) 2. ยุคพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน (พ.ศ. 2505-2524) และยุคสุดท้าย คือ ยุคเริ่มมีการผลิตเยื่อกระดาษเอง (พ.ศ. 2525-ปัจจุบัน)

3.2.3.1 ยุคก่อนมีพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน (ก่อน พ.ศ. 2505)

การพัฒนาอุตสาหกรรมในช่วงก่อนมีพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน เป็นการลงทุนโดยภาครัฐบาลเองทั้งหมดหรือรัฐเป็นผู้ถือหุ้นใหญ่ โดยการผลิตกระดาษในระดับโรงงานเริ่มมีในประเทศไทยเมื่อหลังสงครามโลกครั้งที่ 1 (ประมาณปี พ.ศ. 2460) ซึ่งในขณะนั้นมีการนำกระดาษจากต่างประเทศเข้ามาจำหน่ายน้อยทำให้มีราคาแพงมาก ดังนั้นเจ้ากรมแผนทหารบกในขณะนั้น คือ พลตรีพระยาภักดีภูธร (ชื่น ภักดีกุล) จึงได้เริ่มให้กรมแผนที่ทำกระดาษขึ้นเพื่อใช้ในราชการกระทรวงกลาโหม โดยใช้เปลือกข่อยเป็นวัตถุดิบหลัก สามารถผลิตกระดาษเขียน กระดาษพิมพ์ และกระดาษซับ โดยโรงงานดังกล่าวสามารถผลิตกระดาษเฉลี่ยได้เพียงปีละ 2.8 ตัน เท่านั้น เนื่องจากใช้แรงงานคนในการผลิต ซึ่งในระยะต่อมาได้เปลี่ยนเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักรโดยได้ตั้งโรงงานที่ใช้เครื่องจักรผลิตกระดาษที่ตำบลสามเสน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา กำลังผลิตประมาณวันละ 1 ตัน วัตถุดิบที่ใช้ คือเศษกระดาษตามสถานที่ทำการรัฐบาล และซื้อจากโรงพิมพ์เอกชน

หลังจากเปลี่ยนแปลงการปกครองในปีพ.ศ. 2475 จอมพลแปลก พิบูลสงคราม ได้เห็นความสำคัญของอุตสาหกรรมกระดาษประเภทนี้ แต่เนื่องจากโรงงานกระดาษสามเสนผลิตกระดาษไม่ทันกับปริมาณอุปสงค์ของราชการและประชาชน จึงให้เจ้ากรมแผนที่ขณะนั้น คือ พระรณรัฐภาคกิจ (อุ่น วิโรจน์เพชร) ดำเนินการสร้างโรงงานกระดาษขึ้นอีกแห่งหนึ่ง กรมแผนที่ทหารบกพิจารณาว่าโครงการและได้เสนอให้สร้างที่จังหวัดกาญจนบุรีเพราะเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยวัตถุดิบ ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้รวก และไม้เบญจพรรณเนื้ออ่อนสำหรับผลิตเยื่อกระดาษ โดยโรงงานได้มีการก่อสร้างแล้วเสร็จและดำเนินการได้เป็นครั้งแรกเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2481 มีกำลังผลิตประมาณ 7 ตันต่อวัน นับเป็นโรงงานแรกที่ผลิตเยื่อสำหรับใช้เอง และต่อมาเมื่อมีการตั้งกระทรวงอุตสาหกรรมขึ้นเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2485 โรงงานกระดาษไทย ซึ่งสังกัดกรมแผนที่จึงได้ถูกโอนมาสังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม นอกจากนี้แล้วยังได้มีการจัดสร้างโรงงานกระดาษบางปะอินขึ้นที่จังหวัดอยุธยาในปี พ.ศ. 2498 โดยสังกัดอยู่ในบริษัทส่งเสริมเศรษฐกิจแห่งชาติ ซึ่งรัฐบาลเป็นผู้ถือหุ้นรายใหญ่ ภายหลังจากการเลิกล้มบริษัทส่งเสริมกิจการแห่งชาติ ทำให้โรงงานกระดาษบางปะอินถูกโอนมาสังกัดในกรมโรงงาน

อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เนื่องจากโรงงานมีปัญหาทางการเงินและการจัดการ จึงไม่สามารถทำการผลิตได้เต็มที่ จนกระทั่งกลางปี พ.ศ. 2505 รัฐบาลมีนโยบายเร่งรัดพัฒนาอุตสาหกรรม โดยสนับสนุนให้เอกชนเป็นตัวจักรสำคัญในการริเริ่ม และขยายกิจการอุตสาหกรรมไปอย่างกว้างขวางมากขึ้น อุตสาหกรรมกระดาษเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่รัฐมุ่งส่งเสริม โดยให้ได้รับสิทธิพิเศษตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการลงทุน อุตสาหกรรมกระดาษภายในประเทศ จึงทำให้โรงงานกระดาษมีการขยายตัวและมีการผลิตกระดาษหลากหลายประเภทมากขึ้น

3.2.3.2 ยุคพระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุน (พ.ศ. 2505 - 2524)

ผลจากการที่การผลิตกระดาษพิมพ์เขียนภายในประเทศซึ่งลงทุนโดยภาครัฐยังไม่เพียงพอต่อปริมาณอุปสงค์ของกระดาษภายในประเทศ ทำให้ต้องมีการนำเข้ากระดาษจากต่างประเทศเข้ามา ประกอบกับรัฐบาลยุคนั้นได้เล็งเห็นความสำคัญของการเร่งพัฒนาอุตสาหกรรม โดยมีการวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม มีการจัดตั้งคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนเพื่อสนับสนุนทั้งในภาคเอกชนและต่างประเทศหันมาสนใจการลงทุนและมีการขยายกิจการด้านอุตสาหกรรมต่างๆทำให้อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษเริ่มขยายตัวนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2505 เป็นต้นมา ซึ่งเป็นปีที่ประเทศไทยได้ใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการลงทุนเป็นครั้งแรก ในช่วงของการส่งเสริมการลงทุนนั้นจะเน้นการส่งเสริมการผลิตกระดาษคราฟท์ เนื่องจากว่าเป็นกระดาษที่สำคัญและจำเป็นต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ทั้งนี้เพราะกระดาษคราฟท์เป็นวัสดุที่ใช้ในการหีบห่อและบรรจุภัณฑ์

3.2.3.3 ยุคเริ่มมีการผลิตเยื่อกระดาษเอง (พ.ศ. 2525 - ปัจจุบัน)

แม้ว่าจะเริ่มมีการประกาศใช้พระราชบัญญัติส่งเสริมการลงทุนแล้ว แต่สภาพของการผลิตกระดาษยังคงไม่ราบรื่นเนื่องจากยังไม่สามารถผลิตเยื่อกระดาษใช้เองได้ ต้องทำการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ดังนั้นสถานการณ์ของอุตสาหกรรมกระดาษจึงผันแปรไปตามความผันผวนของตลาดโลก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2516 - 2517 ได้เกิดการขาดแคลนเยื่อกระดาษในตลาดโลก ขณะเดียวกันก็เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์การเงินระหว่างประเทศและวิกฤตราคาน้ำมัน ทำให้สินค้าต่างๆรวมไปถึงราคาเยื่อกระดาษสูงขึ้นอย่างมาก กระทรวงพาณิชย์จึงต้องออกประกาศควบคุมราคากดาษพิมพ์เขียน ส่วนด้านผู้ผลิตกระดาษเริ่มมีการตื่นตัวที่จะผลิตเยื่อกระดาษใช้เองเพื่อแก้ปัญหาเยื่อกระดาษแพง และเพื่อให้มีวัตถุดิบที่เพียงพอและแน่นอนสำหรับใช้ภายในประเทศ โดยได้ใช้วัตถุดิบจากชานอ้อย ฟางข้าว หนุ่ยขจรจบ และไม้ไผ่ แต่ทั้งนี้เป็นการผลิตเพื่อป้อนโรงงานผลิตกระดาษของตนเองเท่านั้น ซึ่งคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนได้หันมาสนใจในการส่งเสริมการผลิตเยื่อกระดาษเพื่อจำหน่ายในประเทศอย่างจริงจังในปลายปี พ.ศ. 2525 ทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตเยื่อกระดาษได้เองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมา โดยเยื่อกระดาษที่สามารถผลิตได้เป็นเยื่อกระดาษประเภทเยื่อใยสั้นที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทไม้เนื้อแข็งภายในประเทศ

3.2.4 สรุปวิวัฒนาการของกระดาษกราฟทั้งในด้านอุปทาน

จากการศึกษารายละเอียดวิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท และวิวัฒนาการของการผลิตกระดาษ สามารถสรุปประเด็นสำคัญที่เป็นตัวกำหนดวิวัฒนาการของกระดาษกราฟทั้งในมุมมองอุปทานได้ดังนี้

จากวิวัฒนาการในมุมมองอุปสงค์แสดงให้เห็นว่า เมื่อมนุษย์มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนสินค้าต่าง ๆ มนุษย์เริ่มใช้กระดาษเพื่อวัตถุประสงค์ในการบรรจุสินค้าต่าง ๆ เพิ่มจากเดิมที่ใช้ในระบบงานเขียน เมื่อบรรจุภัณฑ์กลายมาเป็นเครื่องมือที่สำคัญในเชิงพาณิชย์ จึงนำมาซึ่งความต้องการคุณภาพของบรรจุภัณฑ์กระดาษมากขึ้น รวมไปถึงปริมาณอุปสงค์ที่มากขึ้นตามไปด้วย ด้วยข้อดีของบรรจุภัณฑ์จากกระดาษ ได้แก่ ราคาต้นทุนของวัตถุดิบถูก น้ำหนักเบา สามารถออกแบบงานพิมพ์ให้มีความสวยงาม น่าดึงดูดใจ และสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ อีกทั้งคำนึงถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษถูกนำมาใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ มากขึ้น โดยผู้ผลิตได้ออกแบบบรรจุภัณฑ์กระดาษให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหลายหลายลักษณะด้วยกันเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ ได้แก่ ถุงกระดาษ กล่องกระดาษ กล่องกระดาษลูกฟูก และกระป๋องกระดาษ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้ความต้องการและปริมาณอุปสงค์ของกระดาษกราฟซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

กระดาษเริ่มมีการผลิตตั้งแต่ 3,000 ปีก่อนคริสต์ศตวรรษ โดยในช่วงแรกนั้นกระดาษที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยเนื่องจากการผลิตกระดาษยังต้องทำด้วยมือ ซึ่งต้องอาศัยแรงงานคนในการผลิต จนกระทั่งความรู้เรื่องการทำกระดาษถูกเผยแพร่มายังยุโรปและเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม เมื่อกระดาษถูกนำมาใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์ทำให้ปริมาณอุปสงค์สูงขึ้น จึงทำให้กรรมวิธีการผลิตกระดาษถูกพัฒนาให้สามารถทำการผลิตได้ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่สูงขึ้นเพียงพอต่อปริมาณอุปสงค์ การผลิตกระดาษจึงเข้าสู่การผลิตแบบเชิงมวลและกลายเป็นอุตสาหกรรมกระดาษในที่สุด ผู้ผลิตมีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องผลิตกระดาษที่สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งองค์ประกอบของเครื่องผลิตกระดาษอย่างต่อเนื่องนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นทีละส่วน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการโรยเยื่อกระดาษเพื่อขึ้นรูปกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันเรียกขั้นตอนดังกล่าวบนเครื่องผลิตกระดาษว่า ขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษ (forming section) คิดค้นโดยพี่น้องตระกูล Fourdrinier จากนั้นจึงเริ่มมีการพัฒนาเครื่องผลิตกระดาษที่มีระบบอบแห้งต่อเนื่องจากการขึ้นรูปกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันเรียกขั้นตอนดังกล่าวบนเครื่องผลิตกระดาษว่ากระบวนการอบกระดาษให้แห้ง (drying) ส่วนต่าง ๆ บนเครื่องผลิตกระดาษเหล่านี้ได้ถูกประดิษฐ์คิดค้นและพัฒนาขึ้นจนทำให้ปัจจุบันมนุษย์สามารถสร้างเครื่องผลิตกระดาษที่สามารถผลิตกระดาษได้ในปริมาณมากและเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous process) ซึ่งมีกำลังการผลิตที่สามารถป้อนให้กับอุปสงค์กระดาษกราฟที่เพิ่มสูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม

นอกจากปริมาณอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ความต้องการด้านคุณภาพของบรรจุภัณฑ์กระดาษก็มีเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษกราฟท์จึงต้องมีการพัฒนาด้านคุณภาพของกระดาษกราฟท์ควบคู่มากับการพัฒนาเครื่องผลิตกระดาษด้วย โดย John ได้พัฒนาเครื่องโรยเยื่อกระดาษให้เป็นเครื่องโรยเยื่อทรงกระบอกที่สามารถโรยเยื่อกระดาษเรียงซ้อนกันได้หลายชั้น ทำให้สามารถผลิตกระดาษได้หนาขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในเรื่องเพิ่มความสามารถรับแรงกระแทกของบรรจุภัณฑ์กระดาษ และผู้ผลิตยังได้มีการนำผ้าสักหลาดมาติดตั้งในเครื่องผลิตกระดาษเพื่อใช้รีดน้ำออกจากกระดาษก่อนทำการอบกระดาษให้แห้งเพื่อควบคุมให้กระดาษแห้งอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้กระดาษมีความเรียบผิวดีขึ้น ซึ่งปัจจุบันเรียกขั้นตอนดังกล่าวบนเครื่องผลิตกระดาษว่ากระบวนการรีดกระดาษให้เป็นแผ่น (pressing) นอกจากนี้แล้วในปัจจุบันยังมีการพัฒนาเครื่องผลิตกระดาษให้สามารถควบคุมการผลิตด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมคุณภาพของกระดาษให้มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งกระบวนการผลิต รวมไปถึงการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำด้วยการใช้สารเคลือบต่างๆบนผิวกระดาษ และคิดค้นกรรมวิธีการผลิตเยื่อกระดาษเพื่อให้ได้เยื่อกระดาษที่มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการด้านคุณภาพอีกด้วย

โดยสรุปแล้วจากวิวัฒนาการในมุมมองอุปสงค์ที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นความต้องการด้านคุณภาพของบรรจุภัณฑ์กระดาษกราฟท์ที่มากควบคู่กับปริมาณอุปสงค์ของบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้วิวัฒนาการของกระดาษกราฟท์ในมุมมองทางเป็นไปในทิศทางการผลิตเพื่อตอบสนองต่อทั้งความต้องการด้านคุณภาพ และปริมาณอุปสงค์ ซึ่งสำหรับในประเทศไทยนั้นจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่รัฐบาลให้ความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากทางรัฐเห็นถึงความสำคัญต่อเศรษฐกิจทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ รวมไปถึงผู้อุปโภคบริโภคอีกด้วย

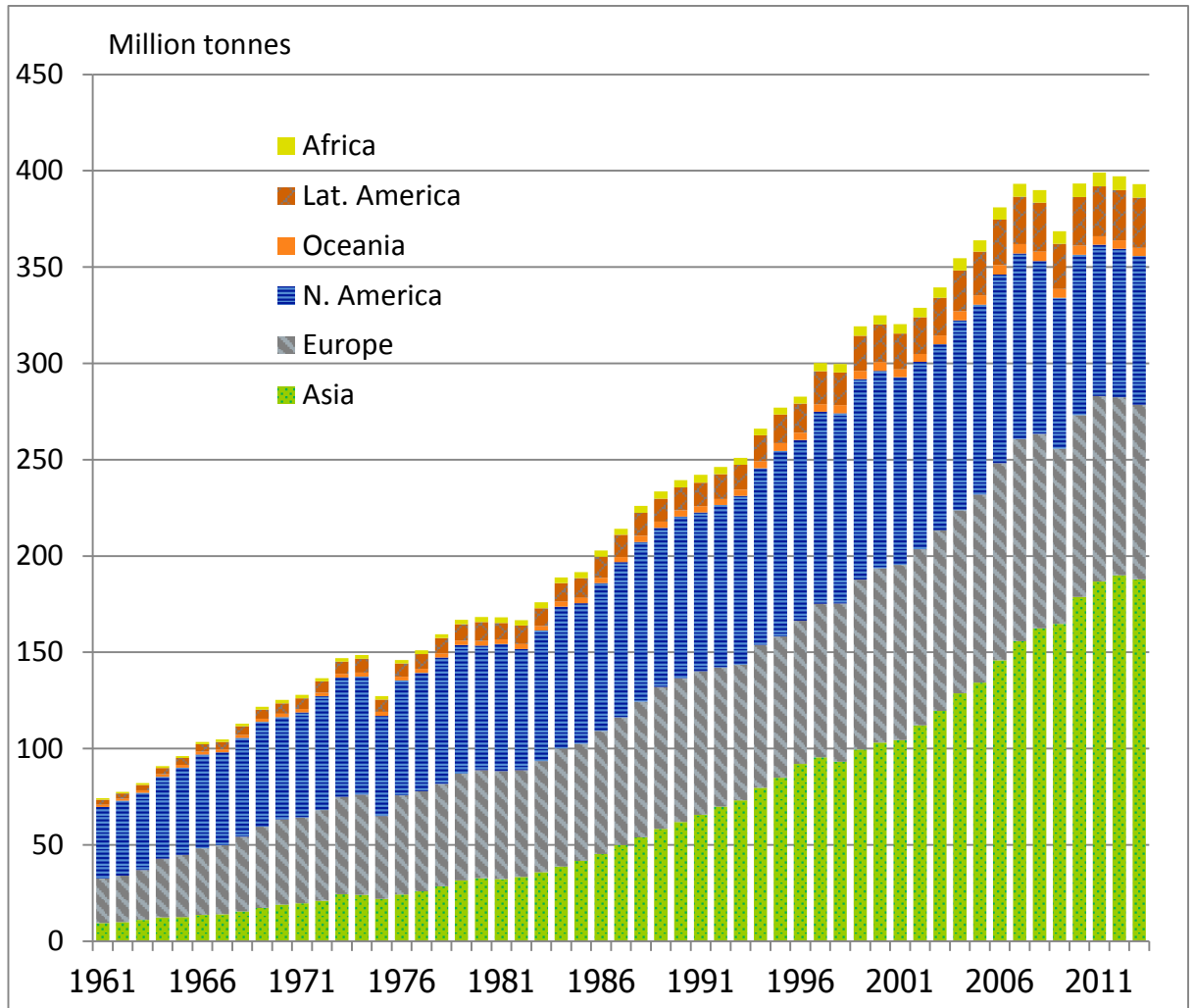
3.3 ความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในระดับโลก

จากวิวัฒนาการทางด้านอุปสงค์จะเห็นได้ว่าตั้งแต่เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา มนุษย์เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้กระดาษจากใช้ในกระบวนการเขียนเพื่อติดต่อสื่อสารมาเป็นใช้เพื่อบรรจุสินค้า นั่นทำให้วิวัฒนาการของกระดาษในยุคถัดมาเป็นไปในทิศทางที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ทั้งสิ้น โดยเฉพาะการคิดค้นกระดาษเหนียวสีน้ำตาล หรือ “กระดาษกราฟท์” ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษ ด้วยความต้องการด้านคุณภาพบรรจุภัณฑ์และปริมาณอุปสงค์ของบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้วิวัฒนาการของกระดาษทางด้านอุปทานหรือทางด้านผู้ผลิตนั้นเป็นไปในทิศทางการพัฒนารูปแบบของบรรจุภัณฑ์จากกระดาษและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับผลิตกระดาษกราฟท์ให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตให้ได้กระดาษกราฟท์ที่มีคุณภาพดีขึ้นตามความต้องการของผู้ใช้ อย่างไรก็ตามการศึกษาวิวัฒนาการในมุมมองอุปสงค์และอุปทานจะให้

ความชัดเจนในเรื่องของพฤติกรรมการใช้กระดาษของมนุษย์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละยุค หรือการเปลี่ยนแปลงความต้องการในด้านคุณภาพ (quality) เท่านั้น แต่ในเชิงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ (quantity) นั้นจะเห็นเพียงภาพรวมคร่าวๆว่ามีปริมาณอุปสงค์ที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากเกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอหากต้องการทราบถึงทิศทางและความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในอนาคต ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาปริมาณการบริโภคกระดาษของประชากรโลกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และศึกษาแนวโน้มของปริมาณการบริโภคบรรจุภัณฑ์กระดาษของประชากรโลกเพื่อใช้อธิบายถึงทิศทางความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในอนาคต โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ปริมาณการบริโภคและปริมาณการผลิตกระดาษกราฟที่ทั่วทุกภูมิภาคของโลกที่ผ่านมาในอดีต [38]

จากรูปที่ 3.1 แสดงปริมาณการบริโภคกระดาษรวมทุกประเภทแยกตามภูมิภาคของโลกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1961 - 2013 ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกๆปี ยกเว้นในปี ค.ศ. 1975 และ 2008 ที่มีปริมาณลดลงเล็กน้อย แต่โดยภาพรวมถือว่าแนวโน้มของปริมาณอุปสงค์เพิ่มสูงขึ้นจากประมาณ 75 ล้านตัน เป็นเกือบ 400 ล้านตัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชียมีอัตราการขยายตัวสูงที่สุดเมื่อดูจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของกราฟในแต่ละปี สาเหตุมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศภายในภูมิภาค โดยเฉพาะประเทศจีนซึ่งมีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในช่วง 10 กว่าปีหลังจากมีการเปิดประเทศ ทำให้จีนที่มีประชากรมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลกนั้นกลายเป็นกลุ่มบริโภคกระดาษหลักๆของโลก โดยปี ค.ศ. 2013 ที่ผ่านมามีการบริโภคกระดาษสูงถึง 188 ล้านตัน ลำดับถัดมา คือ ยุโรป 91 ล้านตัน และ อเมริกาเหนือ 77 ล้านตัน และปริมาณการบริโภครวมทั้งหมด คือ 393 ล้านตัน

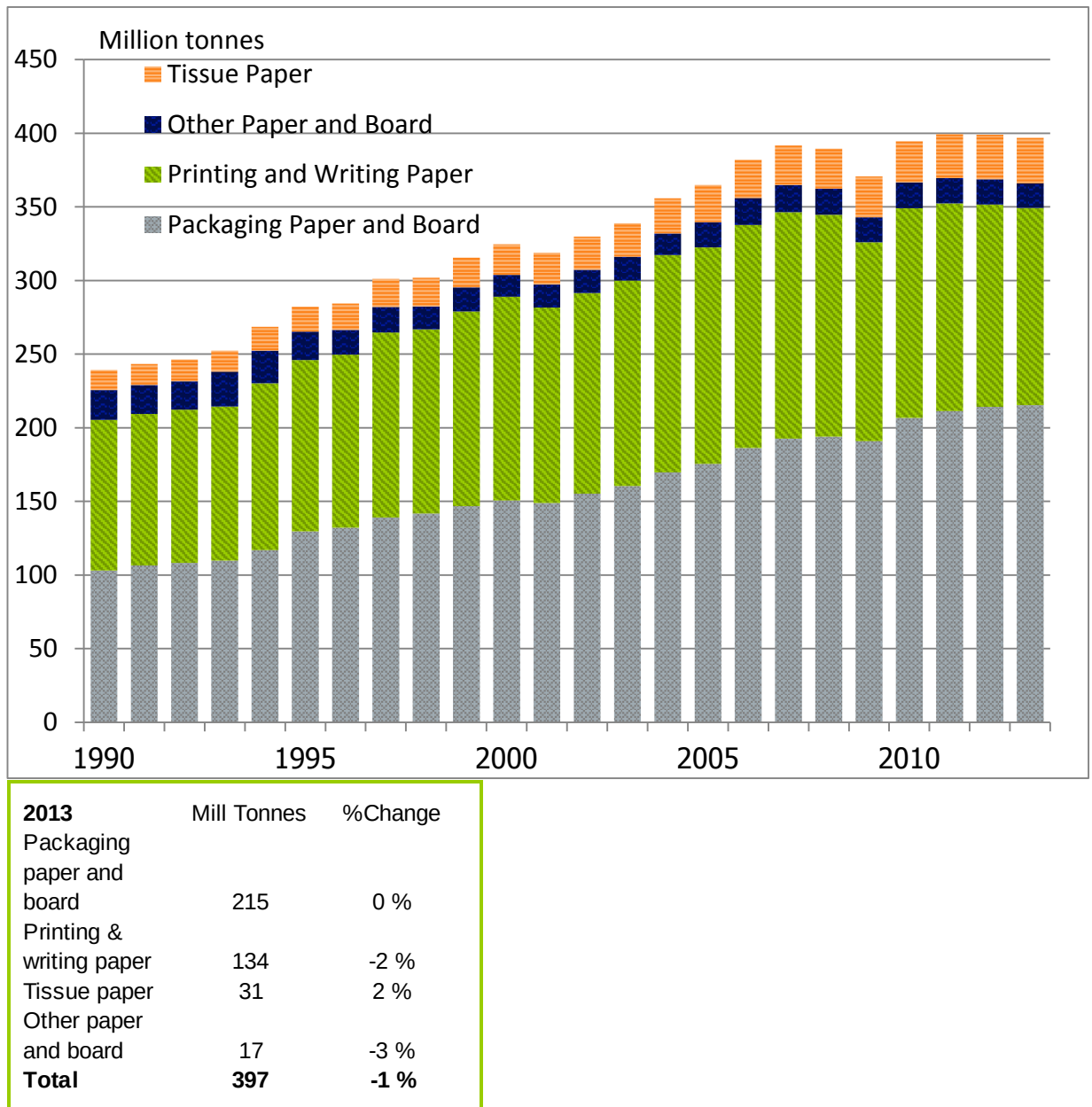


2013	Mill Tonnes	%Change
Asia	188	-1 %
Europe	91	-2 %
N. America	77	0 %
Oceania	4	-4 %
Lat. America	26	0 %
Africa	7	-3 %
Total	393	-1 %

*% change from previous year

รูปที่ 3.1 ปริมาณการบริโภคปุ๋ยรวมทุกประเภททั่วโลกแยกตามภูมิภาคต่างๆใน

ปี ค.ศ. 1961 – 2013 [38]



*% change from previous year

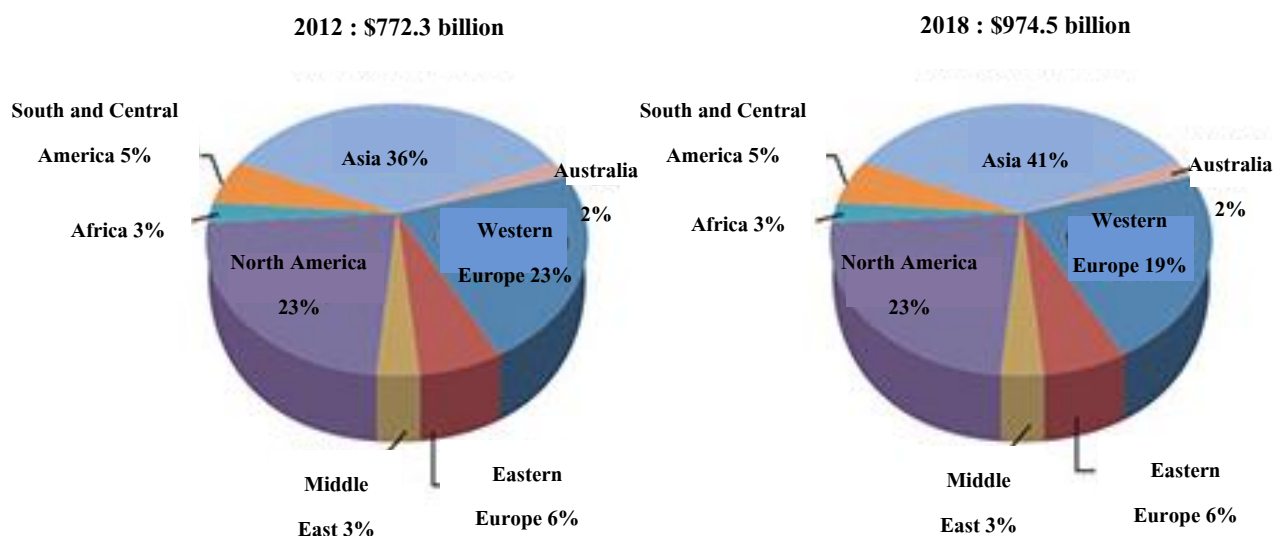
รูปที่ 3.2 ปริมาณการผลิตกระดาษทั่วโลกแยกตามประเภทกระดาษในปี ค.ศ. 1990 – 2013 [38]

เนื่องจากในรูปที่ 3.1 มิได้ระบุปริมาณการบริโภคกระดาษแยกตามประเภทกระดาษ ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนของการใช้กระดาษแต่ละประเภทจึงจำเป็นต้องอ้างอิงข้อมูลจากปริมาณการผลิตกระดาษทั่วโลกแยกตามประเภทกระดาษซึ่งแสดงใน รูปที่ 3.2 โดยจะแสดงปริมาณกระดาษที่ผลิตออกมาแยกตามประเภทกระดาษทั่วทุกภูมิภาคในช่วง ค.ศ. 1990 – 2013 ซึ่งพบว่าในแต่ละปีนั้นกระดาษที่ผลิตออกมามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณมากกว่าปริมาณการบริโภคกระดาษในรูปที่ 3.1 เพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่ากำลังการผลิตมีมากเพียงพอกับปริมาณอุปสงค์ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยกระดาษบรรจุภัณฑ์หรือกระดาษกราฟท์และกระดาษแข็ง (packaging paper and board) เป็นกระดาษที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดถึง 215 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 2013 ข้อมูลดังกล่าวแสดง

ให้เห็นว่ากระดาษบรรจุภัณฑ์หรือกระดาษกราฟท์และกระดาษแข็งนั้นมีปริมาณอุปสงค์และปริมาณอุปทานสูงที่สุดในปัจจุบันสอดคล้องกับวิวัฒนาการในมุมมองอุปสงค์และอุปทานในหัวข้อที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ถูกใช้เป็นเครื่องมือเชิงพาณิชย์นั้นมีบทบาทสำคัญในภาคการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้อุปสงค์ของกระดาษกราฟท์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ในหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าตลอดระยะเวลากว่า 50 ปีที่ผ่านมาการบริโภคและปริมาณการผลิตกระดาษทั่วโลกเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 5.3 เท่าตัวจากปี ค.ศ. 1961 โดยกระดาษบรรจุภัณฑ์หรือกระดาษกราฟท์มีส่วนการผลิตสูงที่สุด เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในภูมิภาคเอเชีย

3.3.2 แนวโน้มปริมาณการบริโภคและปริมาณการผลิตกระดาษกราฟท์ทั่วทุกภูมิภาคของโลก [39], [40]



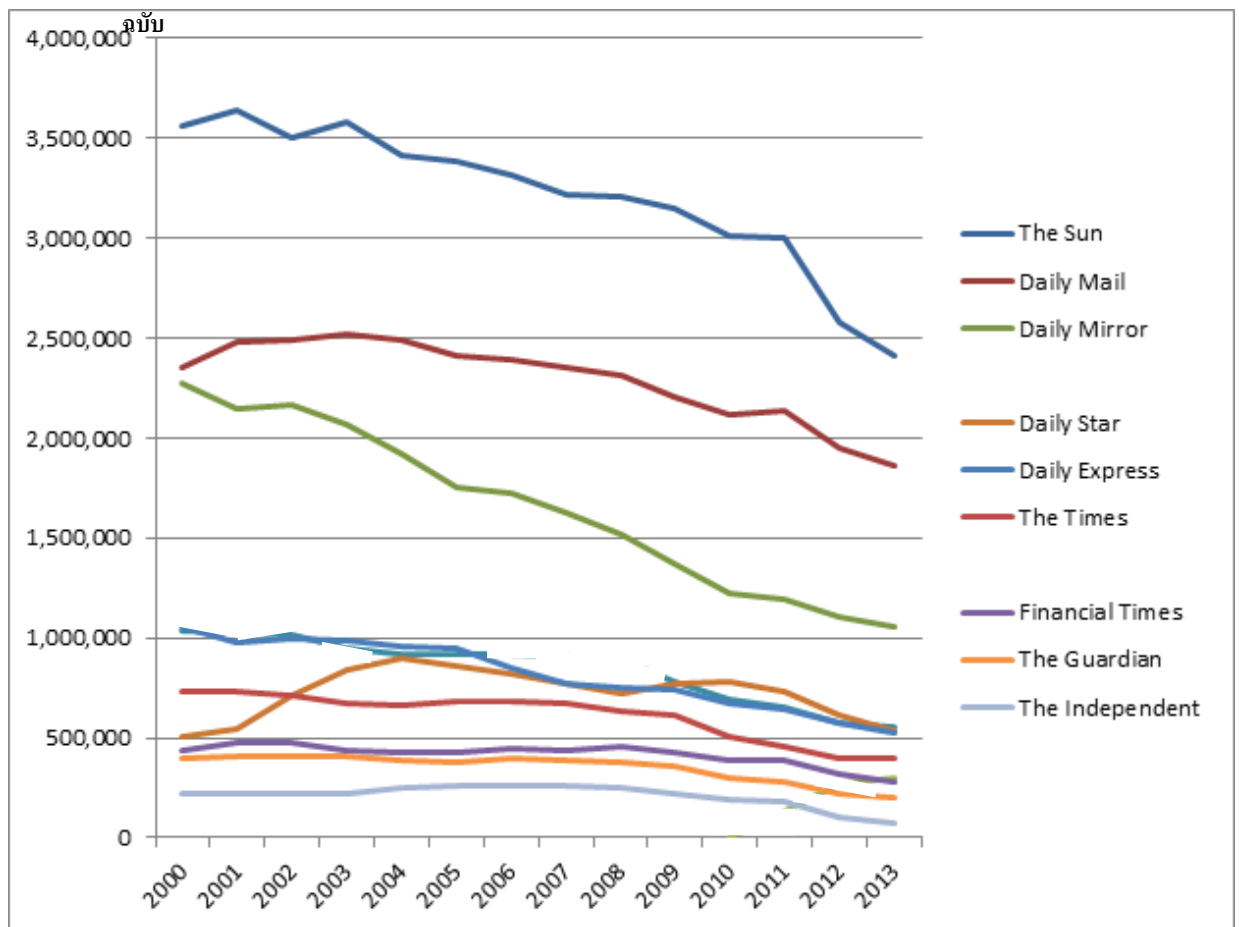
รูปที่ 3.3 สัดส่วนการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของโลกในปี พ.ศ. 2555 และค่าพยากรณ์สัดส่วนการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของโลกในปี พ.ศ. 2561 [41]

บทความเรื่อง “Global Packaging Market to reach \$975 Billion by 2018” ของ Smithers [41] (the world wide authority on the packaging, paper and print industry supply chain) เผยแพร่ในวันที่ 19 ธันวาคม 2556 ได้กล่าวว่า “ยอดขายของบรรจุภัณฑ์กระดาษรวมของโลกนั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ในปี

ค.ศ. 2013 คิดเป็นมูลค่า 797 แส่นล้านเหรียญสหรัฐฯ และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 4 ต่อปีไปจนถึงปี ค.ศ. 2018 ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 974.5 แส่นล้านเหรียญสหรัฐฯ” โดยปัจจัยของการเพิ่มขึ้นนี้ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับตลาดบรรจุภัณฑ์ได้ระบุว่ามาจากหลากหลายสาเหตุด้วยกัน ได้แก่ การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆซึ่งทำให้บรรจุภัณฑ์กระดาษมีมูลค่ามากขึ้น การให้การสนับสนุนของรัฐบาลในประเทศ และที่สำคัญ คือ อุปสงค์ของประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมืองทำให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจ นั่นหมายความว่า อุปสงค์ในสินค้าต่างๆก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการส่งมอบสินค้าอุปโภคบริโภคต่างๆจากผู้ผลิตไปยังมือผู้บริโภคนั้นบรรจุภัณฑ์กระดาษมีบทบาทสำคัญอย่างมาก จึงทำให้อุปสงค์ของกระดาษบรรจุภัณฑ์ (คราฟท์) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ในรายงานได้กล่าวถึงสัดส่วนยอดขายบรรจุภัณฑ์กระดาษในปี พ.ศ. 2555 ภูมิภาคเอเชียมีสัดส่วนสูงสุดถึงร้อยละ 36 ของมูลค่าทั้งหมด ลำดับถัดมา คือ ภูมิภาคอเมริกาเหนือมียอดขายคิดเป็นร้อยละ 23 และภูมิภาคยุโรปตะวันออกร้อยละ 22 สำหรับภูมิภาคอเมริกากลางและใต้ ยุโรปตะวันออก ตะวันออกกลาง และแอฟริกาขายบรรจุภัณฑ์กระดาษคิดเป็นร้อยละ 5, 5, 3 และ 3 ของมูลค่ารวมตามลำดับ

นอกจากนี้ บทความเกี่ยวกับแนวโน้มการบริโภคสิ่งพิมพ์ในอนาคต เรื่อง “Global printing market to top \$980 billion by 2018” ของ Smithers [42] ซึ่งเผยแพร่ในวันที่ 2 มกราคม 2557 ได้คาดการณ์มูลค่าทางการตลาดของอุตสาหกรรมการพิมพ์ทั่วโลกว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 980 แส่นล้านเหรียญสหรัฐฯ ในปี ค.ศ. 2018 โดยสัดส่วนตลาดงานพิมพ์ประเภทสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์ และฉลากจะเพิ่มมากที่สุด รองลงมา คือ งานกราฟฟิค (graphic), งานพิมพ์แบบดิจิทัล (digital printing) และสิ่งพิมพ์แบบหนังสือ (analog printing) ตามลำดับ บทความได้กล่าวอีกว่าอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการพิมพ์ของโลกกำลังเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากภัยคุกคามจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์หรือสื่อดิจิทัล แต่สื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่กำลังมีบทบาทอยู่มากตามกระแสโลกนั้นอาจมีผลกระทบกับสิ่งพิมพ์ในบางหมวดเท่านั้น เพราะอัตราการใช้กระดาษยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากยังคงมีประเทศที่เกิดใหม่หลายประเทศที่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ยกเว้นประเทศที่มีความอิ่มตัวทางด้านสื่อสิ่งพิมพ์มากๆ เช่น สหรัฐอเมริกาหรือประเทศในยุโรป อย่างไรก็ตามแม้ว่าสื่อสิ่งพิมพ์ส่วนที่เป็นหนังสือพิมพ์จะได้รับผลกระทบมาก แต่ยอดการจัดจำหน่ายมิได้ลดลงมากนัก หนังสือพิมพ์หลายๆหัวยังคงมียอดจำหน่าย 2 – 3 ล้านฉบับต่อปีดังแสดงในรูปที่ 3.4 แต่ที่ขาดทุนหรือเลิกกิจการไปนั้นเกิดจากรายได้จากโฆษณาตกลง เนื่องการโฆษณาในปัจจุบันมีสื่อทางเลือกเกิดขึ้นมากมายซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงแต่สามารถกระจายข้อมูลการโฆษณาได้ครอบคลุมมาก แต่เมื่อย้อนกลับมามองประเทศแถบเอเชียหรือประเทศที่เพิ่งเกิดใหม่จะพบว่า สื่อหนังสือพิมพ์นั้นยังมีโอกาสในการเติบโตได้อีกดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยเฉพาะประเทศที่มีจำนวนประชากรค่อนข้างมากอย่างประเทศจีน อินเดีย แต่อย่างไรก็ตามสื่ออิเล็กทรอนิกส์ก็ยังถือเป็นสื่อที่เข้ามาแทนที่สื่อสิ่งพิมพ์แบบเดิมหลายประเภท เช่น e-book, นิตยสาร โดยเฉพาะสื่อโฆษณาอย่างเคตตาล็อก และ โบรชัวร์ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณสิ่งพิมพ์ในรูปแบบหนังสือ

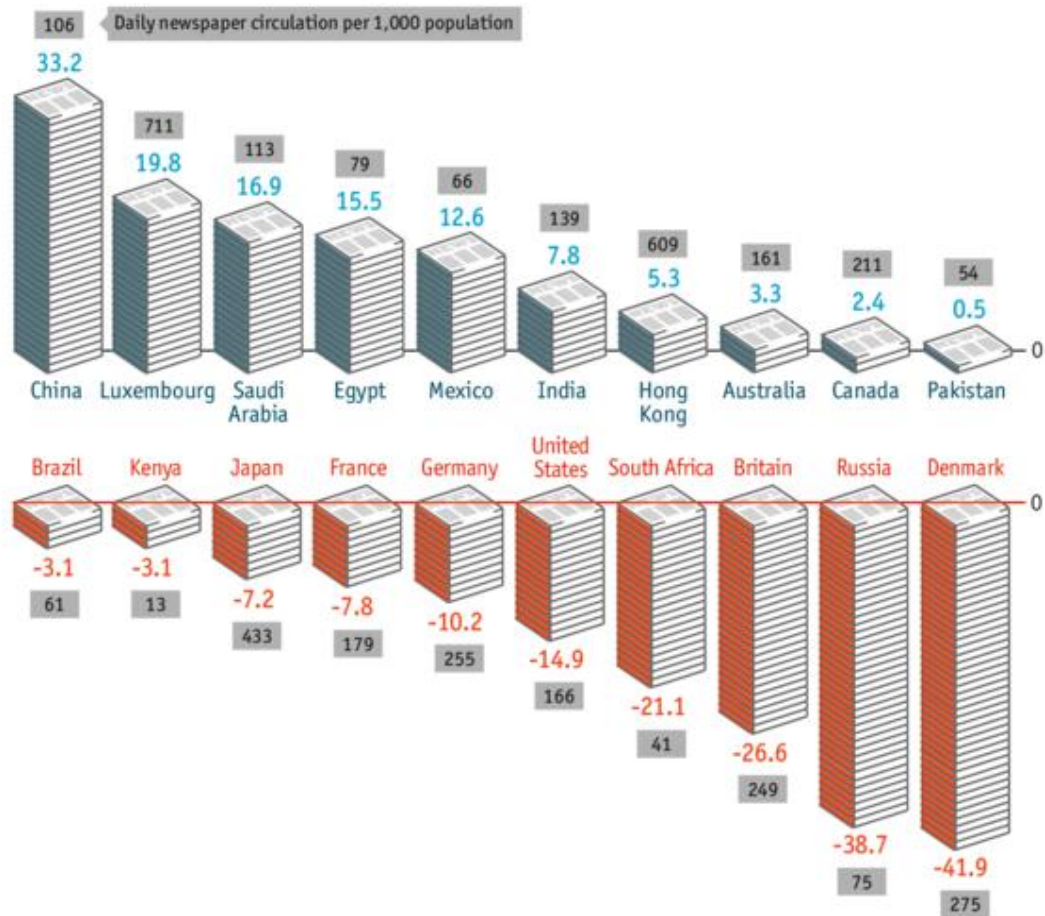
หรือสิ่งพิมพ์ที่ใช้กระดาษแบบเดิมนั้นลดปริมาณลงไป ยกเว้นกลุ่มสิ่งพิมพ์บรรจุกันต์ต่างๆ และฉลากที่ยังคงมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสวนทางกับสิ่งพิมพ์ประเภทอื่นๆ แนวโน้มของการเติบโตของบรรจุกันต์ของโลกยังมีอัตราการเติบโตที่สูงมาก และทั่วโลกมองว่าบรรจุกันต์ถือเป็นอาวุธสำคัญในด้านการตลาด เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่า ทำให้สามารถขายสินค้าได้ในปัจจุบัน ส่วนของบรรจุกันต์ที่เรียกว่า บรรจุกันต์ฟุ่มเฟือย (luxury packaging) ซึ่งทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญอย่างยิ่งและมีอัตราการเติบโตสูง [12], [43]



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงแนวโน้มยอดขายจัดจำหน่ายหนังสือพิมพ์ที่ลดลงแต่ละหัวในประเทศสหราชอาณาจักร (หน่วย : ฉบับ/ปี) [44]

Daily newspaper circulation

2008-2012, % change



รูปที่ 3.5 ขอดจัดจำหน่ายหนังสือพิมพ์ (หน่วย : ฉบับ/ 1,000 คน) และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง
ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 – 2012 [45]

โดยสรุปแล้ว บทความของ Smithers [41,42] ได้มีการคาดการณ์มูลค่ายอดขายของบรรจักษ์์ประเภทกระดาษในอีก 6 ปีข้างหน้าไว้ว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอีกจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 4 ของมูลค่ายอดขายรวม และมีการคาดการณ์แนวโน้มการบริโภคสิ่งพิมพ์ประเภทสิ่งพิมพ์บรรจักษ์์และฉลากในอนาคตว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องสวนทางกับสิ่งพิมพ์ประเภทอื่นๆ สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าประชากรโลกมีพฤติกรรมการใช้กระดาษที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมที่ใช้เป็นเครื่องมือติดต่อสื่อสารมาสู่การใช้เป็นบรรจักษ์์ และมีแนวโน้มว่าปริมาณอุปสงค์ของกระดาษบรรจักษ์์หรือกระดาษกราฟนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นอีกอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เกิดจากผู้ประกอบการทั่วโลกใช้บรรจักษ์์เป็นอาวุธสำคัญทางการตลาด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุตสาหกรรมกระดาษกราฟจะมีทิศทางการเติบโตเพิ่มขึ้นตามทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นจากอุปสงค์ของประชากรโลก

3.4 อุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย [46]

หลังจากทำความเข้าใจเกี่ยวกับความเป็นมาของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟทั้งในมุมมองอุปสงค์และมุมมองอุปทานเพื่อทำความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้กระดาษของมนุษย์ รวมถึงศึกษาแนวโน้มความเป็นไปของการบริโภคกระดาษกราฟในเชิงปริมาณแล้ว ทำให้ทราบว่าอุตสาหกรรมกระดาษกราฟเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ ซึ่งมีแนวโน้มที่อุตสาหกรรมดังกล่าวจะเติบโตขึ้นอีกตามปริมาณอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้น นั้นหมายความว่าความแข่งขันเชิงธุรกิจย่อมมีความรุนแรงมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับประเทศไทยเองนั้นก็ให้ความสำคัญกับอุตสาหกรรมกระดาษกราฟเช่นกัน โดยรัฐบาลได้ให้การสนับสนุนและมีการจัดสร้างโรงงานสำหรับผลิตกระดาษกราฟที่ขึ้นในประเทศไทย เท่ากับว่าประเทศไทยเองก็เข้าร่วมเป็นหนึ่งในคู่แข่งด้านธุรกิจกระดาษกราฟด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาถึงลักษณะของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟของประเทศไทยเพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์ปัจจุบันของตลาด และลักษณะของผู้ผลิตกระดาษกราฟภายในประเทศ รวมไปถึงพฤติกรรมการบริโภคกระดาษกราฟในประเทศไทย เพื่อดำเนินการวิเคราะห์หาสภาพปัญหาของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทยที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจในระดับโลกได้

3.4.1 ปริมาณการบริโภค กำลังการผลิต การนำเข้า และการส่งออกกระดาษกราฟในประเทศไทย [47]

3.4.1.1 ปริมาณการบริโภค

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 จนถึงปี พ.ศ. 2550 ปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดจาก 923,000 ตันต่อปี เป็น 2,012,000 ตันต่อปี ดังตารางที่ 3.2 แต่ในปี พ.ศ. 2551 – 2552 ปริมาณการบริโภคกระดาษกราฟกลับมีจำนวนลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากภาวะความผันผวนของเศรษฐกิจโลก แต่หลังจากภาวะเศรษฐกิจดังกล่าวมีการประมาณการถึงการบริโภคกระดาษกราฟ ในปี พ.ศ. 2553 – 2555 ว่าจะมีปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้น ซึ่งการขยายตัวของการบริโภสดังกล่าวเป็นผลมาจากการขยายตัวของเศรษฐกิจทั้งในประเทศและต่างประเทศ

3.4.1.2 กำลังการผลิต

จากปี พ.ศ. 2541 จนถึงปี พ.ศ. 2550 กำลังการผลิตโดยรวมของกระดาษกราฟได้เพิ่มขึ้นจาก 1,970,000 ตันต่อปี เป็น 3,178,000 ตันต่อปี และได้ลดลงมาเป็น 3,063,000 ตันต่อปีในปีถัดมา ดังตารางที่ 3.2 ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจโลกที่ผันผวน โดยมีผู้ผลิตรายใหม่และรายเดิมได้ขยายกำลังการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณอุปสงค์ทั้งภายในและภายนอกประเทศ ซึ่งจากการรวบรวมของสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษไทย (พ.ศ. 2553 - 2555) พบว่าในปัจจุบันมีจำนวน

ผู้ผลิตกระดาษกราฟทุกชนิดในประเทศไทยรวมทั้งสิ้น 18 ราย ซึ่งมีกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น จำนวน 3,050,800 ตันต่อปี

3.4.1.3 การนำเข้า

กระดาษกราฟที่นำเข้าส่วนใหญ่เป็นกระดาษคุณภาพดี และกระดาษกราฟบางประเภทที่ผู้ผลิตภายในประเทศยังไม่สามารถผลิตได้ในระดับต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก โดยไทยนำเข้ากระดาษกราฟจากประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สวีเดน ออสเตรีย และจีน ซึ่งสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สวีเดน และออสเตรีย เป็นสามารถผลิตกระดาษได้จากเยื่อใยยาวที่ประเทศไทยไม่มีวัตถุดิบ และเป็นประเทศที่มีเทคโนโลยีการผลิตสูง ส่วนจีนนั้นสามารถผลิตกระดาษได้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำเนื่องจากมีกำลังการผลิตสูง โดยสัดส่วนการนำเข้าในปี พ.ศ. 2557 ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์อยู่ที่ร้อยละ 26.42, 20.34, 16.04, 14.85 และ 4.85 ตามลำดับตามตารางที่ 3.3 อย่างไรก็ตามผู้ผลิตกระดาษกราฟภายในประเทศได้มีการพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้ดีขึ้นเพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

3.4.1.4 การส่งออก

ตลาดการส่งออกกระดาษกราฟที่สำคัญของไทยนั้นอยู่ในประเทศแถบเอเชียเป็นหลัก ดังตารางที่ 3.4 โดยในช่วงปี พ.ศ. 2557 ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์นั้น ตลาดการส่งออกหลักใน 5 ประเทศแรกอยู่ที่ประเทศ บังกลาเทศ ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย เกาหลีใต้ และพม่า โดยมีสัดส่วนร้อยละ 21.66, 17.55, 14.24, 10.29 และ 9.67 ตามลำดับ เนื่องจากประเทศดังกล่าวเป็นกลุ่มประเทศที่มีผู้ผลิตกระดาษกราฟรายใหญ่ของไทยได้เข้าไปครอบครองการบริหารกิจการ

3.4.2 ภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย [51]

ในปี พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมามีปริมาณการผลิตกระดาษแข็ง และกระดาษกราฟปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีก่อนๆ ตามปริมาณอุปสงค์ของภาคอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ กระดาษ ส่วนการส่งออก ในส่วนของการส่งออกกระดาษ มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน เป็นผลจากคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นจากตลาดหลัก ได้แก่ บังกลาเทศ ฟิลิปปินส์ อินเดีย เกาหลีใต้ และพม่า ซึ่งผู้ประกอบการไทยสามารถรักษากำไรการส่งออกไปยังประเทศดังกล่าวที่มีแนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 3.2 ปริมาณการบริโภค การนำเข้า การส่งออก การผลิต และกำลังการผลิตกระดาษคราฟท์
ของไทยปี พ.ศ. 2541-2555 (หน่วย : พันตัน) [48]

ปี	ปริมาณการ บริโภค	ปริมาณการ นำเข้า	ปริมาณการ ส่งออก	ปริมาณการ ผลิต	กำลังการผลิต
2541	923	17	393	1,299	1,970
2542	1,036	33	501	1,504	2,042
2543	1,182	48	379	1,513	2,187
2544	1,261	46	346	1,561	2,196
2545	1,394	92	304	1,607	2,200
2546	1,509	95	308	1,900	2,400
2547	1,706	89	332	2,148	2,400
2548	1,784	119	389	2,253	2,673
2549	1,993	110	533	2,616	3,283
2550	2,012	123	536	2,625	3,178
2551	1,962	120	509	2,552	3,063
2552	1,857	98	516	2,475	3,063
2553*	1,912	-	-	-	3,063
2554*	1,970	-	-	-	3,063
2555*	2,029	-	-	-	3,063

*ตัวเลขประมาณการนี้

ตารางที่ 3.3 แหล่งนำเข้ากระดาษกราฟที่สำคัญ 20 อันดับแรกของประเทศไทย [49]

ประเทศ	มูลค่า : ล้านบาท				อัตรายายตัว (%)				สัดส่วน (%)			
	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)
สหรัฐอเมริกา	478.50	493.01	635.56	148.10	-20.08	3.03	28.91	27.02	15.67	14.77	19.34	26.42
ญี่ปุ่น	455.25	556.16	595.80	114.00	5.92	22.16	7.13	15.63	14.91	16.66	18.13	20.34
สวีเดน	940.08	1,033.38	630.48	89.91	106.78	9.93	-38.99	-43.67	30.78	30.96	19.18	16.04
ออสเตรเลีย	196.86	105.24	516.78	83.21	698.32	-46.54	391.05	2.54	6.45	3.15	15.72	14.85
จีน	176.29	238.32	170.16	27.20	34.98	35.19	-28.60	-17.71	5.77	7.14	5.18	4.85
ออสเตรเลีย	133.36	163.60	161.58	26.06	-16.41	22.67	-1.24	38.50	4.37	4.90	4.92	4.65
ไต้หวัน	119.44	202.37	166.87	23.69	-26.06	69.43	-17.54	-1.79	3.91	6.06	5.08	4.23
นิวซีแลนด์	67.97	48.22	53.09	11.38	5.12	-29.06	10.10	74.83	2.23	1.44	1.62	2.03
เยอรมนี	103.77	129.18	64.20	6.58	-2.41	24.48	-50.30	-48.60	3.40	3.87	1.95	1.17
สวิตเซอร์แลนด์	38.72	42.41	69.84	6.55	44.83	9.52	64.69	-64.16	1.27	1.27	2.12	1.17
ฟินแลนด์	75.65	63.49	66.92	5.44	-9.58	-16.06	5.39	-62.17	2.48	1.90	2.04	0.97
ฝรั่งเศส	19.94	17.50	21.33	3.81	33.68	-12.21	21.83	1.08	0.65	0.52	0.65	0.68
สหราชอาณาจักร	25.93	19.80	19.84	3.64	44.86	-23.63	0.20	13.31	0.85	0.59	0.60	0.65
รัสเซีย	36.32	33.16	16.42	3.32	13.91	-8.72	-50.48	-26.22	1.19	0.99	0.50	0.59
สาธารณรัฐเช็ก	28.14	11.86	6.73	3.28	144.71	-57.84	-43.29	0.00	0.92	0.36	0.20	0.58
เกาหลีใต้	18.24	24.65	24.74	2.05	257.47	35.17	0.34	-3.89	0.60	0.74	0.75	0.37
สิงคโปร์	5.64	7.14	5.09	0.70	-42.39	26.55	-28.70	-23.78	0.18	0.21	0.15	0.13
อินโดนีเซีย	47.34	67.61	18.09	0.63	18.76	42.83	-73.24	-94.74	1.55	2.03	0.55	0.11
อิตาลี	1.58	3.66	4.55	0.31	-88.39	131.57	24.51	-85.94	0.05	0.11	0.14	0.05
อินเดีย	6.35	2.30	2.90	0.26	28.39	-63.71	25.75	-66.66	0.21	0.07	0.09	0.05

ตารางที่ 3.4 ตลาดส่งออกกระดาศกราฟที่สำคัญ 20 อันดับแรกของประเทศไทย [50]

ประเทศ	มูลค่า : ล้านบาท				อัตรายายตัว (%)				สัดส่วน (%)			
	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)	2554	2555	2556	2557 (ม.ค.-ก.พ.)
บังกลาเทศ	170.81	216.11	186.61	30.60	-12.81	26.52	-13.65	598.35	11.98	26.30	23.91	21.66
ฟิลิปปินส์	147.87	42.67	12.48	24.79	158.71	-71.15	-70.75	2,434.91	10.37	5.19	1.60	17.55
มาเลเซีย	212.82	128.70	116.25	20.12	-7.47	-39.52	-9.68	7.33	14.92	15.66	14.89	14.24
เกาหลีใต้	59.65	54.66	60.79	14.54	63.22	-8.36	11.21	127.84	4.18	6.65	7.79	10.29
พม่า	36.04	33.80	58.17	13.66	43.11	-6.21	72.08	105.66	2.53	4.11	7.45	9.67
ไต้หวัน	88.74	102.30	37.29	12.68	539.51	15.28	-63.55	225.72	6.22	12.45	4.78	8.98
มอริเชียส	10.50	22.48	23.95	6.68	-36.91	114.07	6.52	41.75	0.74	2.74	3.07	4.73
อินโดนีเซีย	32.11	37.75	28.99	5.58	48.68	17.56	-23.19	25.27	2.25	4.59	3.71	3.95
สิงคโปร์	35.81	1.17	3.96	3.38	-41.72	-96.74	239.06	22,444.67	2.51	0.14	0.51	2.39
ลาว	11.05	8.80	13.85	3.31	-32.64	-20.38	57.43	27.80	0.77	1.07	1.77	2.34
เวียดนาม	3.73	23.23	22.16	2.07	-89.45	523.59	-4.62	-49.47	0.26	2.83	2.84	1.46
รัสเซีย	0.00	0.00	2.19	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	1.45
อินเดีย	3.40	1.01	1.54	0.92	52.31	-70.14	52.09	10.81	0.24	0.12	0.20	0.65
จีน	1.41	1.24	1.47	0.68	-87.22	-12.47	19.18	6,945.83	0.10	0.15	0.19	0.48
วานูอาตู	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
ญี่ปุ่น	1.72	3.01	0.64	0.06	-62.63	75.49	-78.64	361.43	0.12	0.37	0.08	0.05
เยอรมนี	0.17	0.00	0.33	0.04	-81.72	-99.35	29,990.91	730.00	0.01	0.00	0.04	0.03
ปาปัวนิวกินี	0.00	0.65	0.20	0.01	0.00	0.00	-69.23	0.00	0.00	0.08	0.03	0.01
กาตาร์	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
อิตาลี	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	2,600.00	-1.69	0.00	0.00	0.00	0.00

3.4.3 แนวโน้มภาวะเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย [51]

ภาวะอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่ในอนาคต คาดว่าการผลิตโดยรวมจะขยายตัวตามวัฏจักรเศรษฐกิจ และมีทิศทางเดียวกันกับปี พ.ศ. 2556 สำหรับการส่งออกมีแนวโน้มขยายตัวแม้ว่าจะมีการใช้สื่อดิจิทัลอย่างกว้างขวาง แต่กระดาษกราฟยังคงเป็นที่ต้องการใช้ในชีวิตประจำวันของผู้บริโภค เนื่องจากบรรจุก๊าซเพื่อการบริโภคและอุปโภคมีปริมาณอุปสงค์เพิ่มขึ้นเพื่อรองรับการขยายตัวของเศรษฐกิจภายในประเทศ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะขยายตัวอย่างต่อเนื่องเป็นไปในทิศทางเดียวกับอุตสาหกรรมกระดาษกราฟของโลก

3.4.4 ผู้ผลิตและผู้เล่นหลัก (key player) ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย

จากข้อมูลปี พ.ศ. 2554 มีผู้ผลิตในประเทศไทยรวมทั้งสิ้นจำนวน 18 บริษัท ดังแสดงในตารางที่ 3.5 โดยมีกำลังการผลิตรวม 3.05 ล้านตันต่อปี แต่มีผู้ผลิตรายใหญ่เพียงไม่กี่รายและผู้ผลิตรายใหญ่มักกล่าวถึงเป็นบริษัทในเครือเดียวกัน เช่น บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (บ้านโป่ง) จำกัด และบริษัทไทยเคนเปเปอร์จำกัด (มหาชน) ต่างเป็นบริษัทในกลุ่มเครือเอสซีจีเพปเปอร์ (SCG Paper) นอกจากนี้พบว่าผู้ผลิตรายใหญ่ 2 ราย ได้แก่ กลุ่มธุรกิจกระดาษในเอสซีจีเพปเปอร์ และกลุ่มปัญญาพล อินคัสตรี ได้มีการขยายตัวตามแนวดิ่ง (vertical integration) ตลอดสายการผลิต ซึ่งหมายถึง ผู้ผลิตมีการเข้าครอบครองหรือเข้าควบคุมกิจการตลอดตั้งแต่ธุรกิจเยื่อกระดาษที่อยู่ต้นน้ำจนถึงธุรกิจการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษที่อยู่ท้ายน้ำ เป็นทั้งผู้ผลิตเยื่อกระดาษกระดาษกราฟท์ และกล่องกระดาษลูกฟูกแสดงดังตารางที่ 3.5 โดยเอสซีจีเพปเปอร์นั้นมีบริษัทเยื่อกระดาษสยามจำกัด (มหาชน) และบริษัทสยามเซลลูโลส จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตเยื่อกระดาษ มีบริษัทสยามกราฟท์และบริษัทในกลุ่มบรรจุภัณฑ์ เป็นผู้ผลิตกระดาษกราฟท์และกล่องกระดาษลูกฟูก ส่วนบริษัทปัญญาพลอินคัสตรี มีบริษัทปัญญาพลพัล อินคัสตรี จำกัด เป็นผู้ผลิตเยื่อกระดาษ บริษัทปัญญาพลเพเปอร์ อินคัสตรี จำกัด และบริษัทปัญญาพล ไฟเบอร์ คอนเทนเนอร์ เป็นผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ และมีบริษัทปัญญาพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ และบริษัทปัญญาพลแพคเกจจิ้ง จำกัด เป็นผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ตารางที่ 3.5 รายชื่อผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟของไทย ในปี พ.ศ. 2554
[48], [54], [55], [56]

ลำดับ	รายชื่อผู้ผลิตของไทย	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)	สัดส่วน กำลัง การผลิต	รวมตัวกับ อุตสาหกรรม ต้นทาง (upstream integration)	รวมตัวกับ อุตสาหกรรม ปลายทาง (downstream integration)
1	บริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด	600,000	19.7%	มี	มี
2	บริษัท ปัญจพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ จำกัด	500,000	16.4%	มี	มี
*3	บริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม (บ้านโป่ง) จำกัด	380,000	12.5%	มี	มี
4	บริษัท ปัญจพล เปเปอร์ อินดัสตรี จำกัด	300,000	9.8%	มี	มี
5	บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	285,000	9.3%	ไม่มี	ไม่มี
6	บริษัท เอเชียกราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	240,000	7.9%	ไม่มี	มี
7	บริษัท เอลิท กราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	128,000	4.2%	ไม่มี	มี
8	บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด	120,000	3.9%	ไม่มี	มี
9	บริษัท อินเตอร์ แปซิฟิก เปเปอร์ จำกัด	120,000	3.9%	ไม่มี	มี
10	บริษัท ยูไนเต็ด เปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	100,000	3.3%	ไม่มี	มี
11	บริษัท มหาชัยกราฟท์เปเปอร์ จำกัด	90,000	3.0%	ไม่มี	มี
12	ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานกระดาษปทุมธานี	75,000	2.5%	ไม่มี	มี
13	บริษัท ไทยพัฒนากระดาษ จำกัด	40,000	1.3%	ไม่มี	มี
14	บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษชนาคร จำกัด	32,000	1.0%	ไม่มี	มี
15	บริษัท ฤกษ์มงคล จำกัด	20,000	0.7%	ไม่มี	มี
16	บริษัท นูรพาอุตสาหกรรม จำกัด	10,000	0.3%	ไม่มี	มี
17	บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษสยาม เจ.เอ็น.เค จำกัด	6,000	0.2%	ไม่มี	มี
18	บริษัท เจริญชัยอุตสาหกรรม จำกัด	4,800	0.2%	ไม่มี	มี
รวม	ผู้ผลิตของไทยจำนวน 18 บริษัท	3,050,800	100.0%		

*บริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม (บ้านโป่ง) จำกัด ได้ดำเนินการตั้งเครื่องจักรใหม่มีกำลังการผลิต 320,000 ตัน/ปี แล้วเสร็จในไตรมาสที่ 4 ปี พ.ศ. 2557

ตารางที่ 3.6 มูลค่ายอดขายของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่ระหว่าง
ปี พ.ศ. 2550 - 2553 [47]

บริษัท	หน่วย : ล้านบาท			
	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552	พ.ศ. 2553
บริษัท เอสซีจี เปเปอร์	34,766.44	33,249.85	26,584.93	32,484.39
บริษัท ปัญจพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ จำกัด	6,104.24	6,500.13	5,792.75	7,173.88
บริษัท ปัญจพล เปเปอร์ อินดัสตรี จำกัด	3,329.97	4,049.60	4,097.50	3,228.88
บริษัท เอเชียกราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	2,579.64	2,836.41	2,291.44	2,993.16
บริษัท เอลิท กราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	143.91	1,163.48	1,651.25	2,356.07
บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด	975.8	1,589.00	1,241.75	1,426.28
บริษัท อินเตอร์ แปซิฟิก เปเปอร์ จำกัด	850.13	1,279.73	909.07	1,454.26
บริษัท ยูไนเต็ด เปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	1,480.99	1,763.44	1,372.33	1,810.82
บริษัท มหาชัยกราฟท์เปเปอร์ จำกัด	1,112.25	939.09	540.98	1,005.29
ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานกระดาษ ปทุมธานี	908.24	737.01	578.31	924.43
บริษัท ไทยพัฒนากระดาษ จำกัด	412.09	466.02	388.28	140.41
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษชนากร จำกัด	179.28	287.81	287.87	377.63
บริษัท กฤษณะมงคล จำกัด	279.08	372.65	261.98	481.32
บริษัท บุรพาอุตสาหกรรม จำกัด	1,887.37	1,865.12	1,656.98	1,742.71
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษสยาม เจ.เอ็น. เค จำกัด	120.16	78.03	34.89	37.06
บริษัท เจริญชัยอุตสาหกรรม จำกัด	126.84	140.11	114.77	167.69

ตารางที่ 3.7 สัดส่วนการครองตลาดของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่ ระหว่าง
ปี พ.ศ. 2550 – 2553 [47]

บริษัท	หน่วย : ร้อยละ			
	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552	พ.ศ. 2553
บริษัท เอสซีจี เปเปอร์	62.92	58.01	55.61	56.2
บริษัท ปัญจพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ จำกัด	11.05	11.34	12.12	12.41
บริษัท ปัญจพล เปเปอร์ อินดัสตรี จำกัด	6.03	7.07	8.57	5.59
บริษัท เอเชียกราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	4.67	4.95	4.79	5.18
บริษัท เอลิท กราฟท์ เปเปอร์ จำกัด	0.26	2.03	3.45	4.08
บริษัท ไทยเปเปอร์มิลล์ จำกัด	1.77	2.77	2.6	2.47
บริษัท อินเตอร์ แปซิฟิก เปเปอร์ จำกัด	1.54	2.23	1.9	2.52
บริษัท ยูไนเต็ล เปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	2.68	3.08	2.87	3.13
บริษัท มหาชัยกราฟท์เปเปอร์ จำกัด	2.01	1.64	1.13	1.74
ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานกระดาษปทุมธานี	1.64	1.29	1.21	1.6
บริษัท ไทยพัฒนากระดาษ จำกัด	0.75	0.81	0.81	0.24
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษธนกร จำกัด	0.32	0.5	0.6	0.65
บริษัท กฤษณะมงคล จำกัด	0.51	0.65	0.55	0.83
บริษัท บุรพาอุตสาหกรรม จำกัด	3.42	3.25	3.47	3.01
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษสยาม เจ.เอ็น.เค จำกัด	0.22	0.14	0.07	0.06
บริษัท เจริญชัยอุตสาหกรรม จำกัด	0.23	0.24	0.24	0.29
รวม	100	100	100	100

สมเจตน์ เจ๊ะสินี [47] ทำการศึกษาโครงสร้างตลาด (market structure) ของอุตสาหกรรมกระดาษkraft ในประเทศไทย ผ่านการวิเคราะห์การกระจุกตัวของอุตสาหกรรมกระดาษkraft ในประเทศไทย (ข้อมูลจากปี พ.ศ. 2550-2553) พบว่าปัจจุบันโครงสร้างอุตสาหกรรมกระดาษkraft เป็นตลาดผู้ขายน้อยรายที่มีผู้ผลิตรายใหญ่เพียงไม่กี่ราย ซึ่งโครงสร้างของตลาดผู้ขายน้อยรายมีลักษณะพิเศษกว่าตลาดอื่น คือ “ผู้ผลิตในตลาดจะขึ้นต่อกันและกัน” การที่ผู้ผลิตรายใดรายหนึ่งแสดงพฤติกรรมใดๆ ออกไปมักจะได้รับการตอบโต้จากผู้ผลิตรายอื่นๆ ในตลาดเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผู้ผลิตรายใหญ่ในตลาดน้อยรายแสดงพฤติกรรมใดๆ ออกไปจะส่งผลให้ผู้ผลิตอื่นๆ ภายในตลาดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผู้ผลิตรายใหญ่ด้วย หมายความว่าตลาดลักษณะผู้ขายน้อยรายนี้มีทิศทางขึ้นอยู่กับผู้ผลิตรายใหญ่เป็นสำคัญ หรือผู้ผลิตรายใหญ่เป็นผู้เล่นหลัก (key player) นั่นเอง [52, 53] โดยผลจากงานวิจัยได้ระบุว่าโครงสร้างตลาดของอุตสาหกรรมกระดาษkraft มีการกระจุกตัวอยู่ที่ผู้ผลิตรายใหญ่เพียงไม่กี่ราย ซึ่งเฉพาะ 5 รายแรก ก็มีกำลังการผลิตรวมมากกว่า 70 % ของกำลังการผลิตรวมทั้งประเทศ โดยในกลุ่มดังกล่าวมีผู้ผลิตในกลุ่มบริษัทเอสซีจีเปเปอร์เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุด โดยเป็นผู้จำหน่ายด้านกำลังการผลิต และยอดขายภายในประเทศ โดยมีกำลังการผลิตรวมทุกบริษัทในเครือ 1,265,000 ล้านตัน คิดเป็น 43 % ของกำลังการผลิตรวมทั้งประเทศ และมียอดขายรวมมูลค่า 32,484.39 ล้านบาท และมีสัดส่วนการครองตลาดสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.2 ตามข้อมูลในตารางที่ 3.6 และ 3.7 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าบริษัทในเครือเอสซีจีเปเปอร์เป็นผู้เล่นหลักของอุตสาหกรรมกระดาษkraft ในประเทศไทย

3.5 ลูกค้าของอุตสาหกรรมกระดาษkraft ตามโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน

ในหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงสถานะปัจจุบันของอุตสาหกรรมกระดาษkraft ในประเทศไทย รวมไปถึงรายชื่อผู้ประกอบการต่างๆ และลักษณะ โครงสร้างตลาด ซึ่งก่อนจะศึกษาสภาพปัญหาของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษkraft นั้น มีความจำเป็นต้องเข้าใจถึงความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กระดาษkraft ในปัจจุบันก่อน เพื่อสามารถดำเนินการตอบสนองต่อความต้องการเหล่านั้นได้ตามหลักการการประกันคุณภาพ

3.5.1 ลูกค้าและความคาดหวังลูกค้ากระดาษkraft [57]

อุตสาหกรรมกระดาษkraft ของไทยเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมกระดาษที่มีโครงสร้างต่อเนื่อง เชื่อมโยงครบวงจรตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ มีทั้งอุตสาหกรรมผลิตเยื่อ ผลิตกระดาษ จนถึงอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์และสิ่งพิมพ์ ถือเป็นหนึ่งในไม่กี่อุตสาหกรรมของไทยที่มีลักษณะเช่นนี้ โดยอุตสาหกรรมผลิตกระดาษkraft จัดอยู่ในอุตสาหกรรมขั้นกลาง หรืออุตสาหกรรมกลางน้ำ (industrial intermediate/midstream) ซึ่งหมายถึงกระบวนการผลิตในขั้นแปรรูปเพื่อแปรรูป วัตถุดิบ

ในที่นี้ คือ เชื้อกระดาษจากไม้ มาแปรรูปเป็นกระดาษกราฟเพื่อส่งต่อไปให้กับกระบวนการขึ้นถัดไป ซึ่งความคาดหวังของผลิตภัณฑ์จากกระดาษกราฟจะถูกกำหนดจากผู้ที่นำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานต่อ หรือ “ลูกค้า” ซึ่งเป็นผู้ที่อยู่ถัดจากอุตสาหกรรมกระดาษกราฟเป็นต้นไปจากโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานตามรูปที่ 3.6 ลูกค้าแต่ละรายมีความคาดหวังแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่านำกระดาษกราฟไปใช้งานในลักษณะใด ในหัวข้อนี้จึงเป็นการทำความเข้าใจถึงลูกค้าแต่ละประเภทตามแนวคิดการนำไปใช้งาน เพื่อทำความเข้าใจกับความคาดหวังของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานจะพบว่าผู้ที่อยู่ปลายทาง หรือผู้บริโภคนั้นเป็นผู้ที่มีความสำคัญที่สุดต่ออุตสาหกรรมต่างๆตลอดทั้งโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน เนื่องจากจะเป็นผู้กำหนดอุปสงค์และความต้องการทั้งหมด ซึ่งส่งผลกระทบต่อย้อนกลับมายังผู้ผลิตกระดาษกราฟที่อยู่ต้นทางตามหลักการของระบบการผลิตแบบดึง (pull system) ดังนั้นจึงดำเนินการทำความเข้าใจถึงความต้องการของผู้บริโภคคนสุดท้ายก่อน แล้วจึงสืบย้อนกลับมายังอุตสาหกรรมกระดาษกราฟ

ก. ผู้บริโภค หรือ ผู้ใช้คนสุดท้าย (consumer/end user)

ผู้บริโภคหรือผู้ใช้คนสุดท้าย คือ ลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของกระดาษกราฟ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์กระดาษ กล่องสำหรับหีบห่อ กล่องลูกฟูก ถุงกระดาษ ของกระดาษ ไปใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้ คือ นำไปใช้บรรจุของหรือสินค้าที่อยู่ภายใน เช่น ใช้กล่องสำหรับบรรจุของของขวัญต่างๆ ใช้ถุงห่อป้องกันห้างสรรพสินค้า หรือแม้กระทั่งการตัดสินใจซื้อสินค้าจากชั้นวางสินค้าโดยการอ่านรายละเอียดบนบรรจุภัณฑ์ ความคาดหวังของลูกค้ากลุ่มนี้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.8

ข. ลูกค้าประเภทที่นำผลิตภัณฑ์ไปขายต่อ (merchant)

ลูกค้าประเภทนี้เป็นลูกค้าที่ใช้งานกระดาษกราฟเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์ ได้แก่ ตัวแทนจำหน่าย (agent), ศูนย์กระจายสินค้า (distributor), ผู้ค้าส่ง (wholesaler), ผู้ค้าปลีก (retailer) ที่จำหน่ายกระดาษกราฟโดยตรงหรือจำหน่ายบรรจุภัณฑ์กระดาษต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์จากกระดาษกราฟทั้งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ติดมากับสินค้าที่บรรจุ บรรจุภัณฑ์เปล่า กระดาษกราฟประเภทต่างๆที่เป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปผลิตต่อ ขึ้นอยู่กับว่าอยู่ในส่วนใดของห่วงโซ่อุปทานกระดาษกราฟ ความคาดหวังของลูกค้ากลุ่มนี้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.9

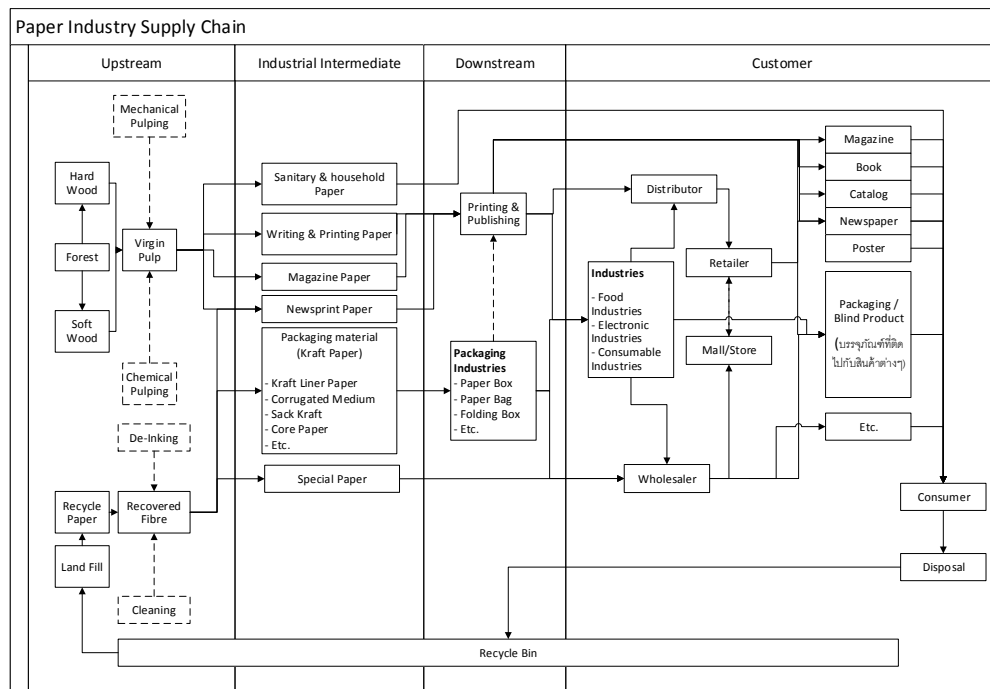
ค. ลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ (processor)

ลูกค้าประเภทนี้เป็นกลุ่มลูกค้าที่นำกระดาษกราฟเป็นวัตถุดิบ (base material) สำหรับไปเข้ากระบวนการผลิตต่อเมื่อจากโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมที่อยู่ถัดจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษกราฟที่นำกระดาษกราฟไปทำการผลิตต่อโดยตรง ได้แก่ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

กระดาษ กระบวนการตัดกระดาษ (converting) รวมไปถึงกระบวนการต่อเนื่อง คือ การพิมพ์บรรจุภัณฑ์ ส่วนอีกกลุ่มหนึ่ง คือ โรงงานต่างๆที่เป็นอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ ที่นำบรรจุภัณฑ์ไปบรรจุสินค้า ซึ่งการใช้งานของลูกค้ากลุ่มนี้เป็นลักษณะของการประกอบ (assembly) บรรจุภัณฑ์กับสินค้าเข้าด้วยกัน เช่น โรงงานผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคจำพวกสบู่ ยาสีฟัน ฯลฯ ที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษ โรงงานในอุตสาหกรรมอาหาร หรือร้านค้าที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษสำหรับบรรจุสินค้า เช่น กล่องพิซซ่า หรือหีบห่อสรรพสินค้าที่ใช้ถุงขอปึงสำหรับบรรจุสินค้าเพื่อจำหน่าย โดยความคาดหวังของลูกค้าประเภทนี้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.10

ง. สังคม (social)

ผลิตภัณฑ์จากกระดาษกราฟที่จะส่งผลกระทบต่อตั้งแต่ ระหว่างกระบวนการผลิต เช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ทางอากาศ จากการปล่อยน้ำจากกระบวนการผลิตลงสู่แหล่งน้ำ หรือการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการผลิตขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ รวมไปถึงการกำจัดหลังจากผู้บริโภคทำการบริโภคเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งข้อดีของกระดาษก็คือกระดาษที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) โดยวนกลับไปสู่กระบวนการผลิตเชื้อใหม่ และน้ำจากกระบวนการผลิตนั้นสามารถจัดการแบบระบบปิด คือ สามารถนำน้ำทั้งหมดกลับมาใช้ได้ใหม่ในกระบวนการผลิตโดยไม่ต้องกำจัดทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ



รูปที่ 3.6 โครงสร้างห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมกระดาษ

ตารางที่ 3.8 ความคาดหวังของผู้บริโภคหรือผู้ซื้อคนสุดท้าย

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
บรรจุภัณฑ์ชั้นใน (primary packaging)	บรรจุและเก็บสิ่งที่อยู่ภายใน	สามารถป้องกันสิ่งของที่อยู่ภายในมิให้ได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายนอก
		สามารถรักษาคุณภาพและไม่ทำปฏิกิริยากับสิ่งที่อยู่ภายใน
	อำนวยความสะดวกในการบริโภค	บรรจุภัณฑ์มีเหมาะสมทั้งขนาด รูปทรง น้ำหนัก เพื่อสะดวกในการบริโภค การพกพา รวมไปถึงการจัด
บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สอง (secondary packaging)	รวมหน่วยสิ่งที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกเข้าด้วยกันเพื่อการบรรจุที่มากขึ้น	รูปทรง ขนาด ที่สามารถรวมสิ่งที่อยู่ภายในได้ตามจำนวนที่ต้องการ
	อ่านรายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งที่อยู่ภายในเพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อสิ่งนั้น	สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งของภายในได้
	อำนวยความสะดวกในการบริโภคสิ่งที่อยู่ภายใน	รูปลักษณะภายนอก เช่น สี สันที่สวยงาม และความคมชัด สวยงาม และครบถ้วนสมบูรณ์ของรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับสิ่งของภายในที่แสดงบนบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจซื้อ
บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สาม (tertiary packaging)	บรรจุสิ่งที่อยู่ภายในเพื่อการเคลื่อนย้ายหรือขนส่ง	บรรจุภัณฑ์มีเหมาะสมทั้งขนาด รูปทรง น้ำหนัก เพื่อสะดวกในการบริโภค การพกพา รวมไปถึงการจัด
ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		ความแข็งแรง ความสามารถในการป้องกันการกระแทก หรือ การกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ราคาที่จ่ายไปเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับทั้งในเรื่องคุณภาพและความสวยงาม
		ได้รับผลิตภัณฑ์ทันทีที่การขายจบลง หรือ ได้รับภายในเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 3.9 ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาศราฟท์ของลูกค้านำผลิตภัณฑ์ไปขายต่อ

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
บรรจุภัณฑ์ที่ดีมาพร้อมกับสินค้าที่บรรจุ	บรรจุสินค้าที่อยู่ภายใน	สามารถป้องกันสิ่งของที่อยู่ภายในมิให้ได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายนอก
		สามารถรักษาคุณภาพของสินค้าที่อยู่ภายในก่อนส่งมอบถึงมือผู้บริโภคขั้นสุดท้าย
	อำนวยความสะดวกในการขนย้าย จัดเก็บสินค้าที่ถูกบรรจุอยู่ภายใน	ความแข็งแรง ขนาด รูปทรง น้ำหนัก ของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย
		ความชัดเจนของการระบุรายละเอียดสินค้าที่อยู่ภายใน เช่น ชนิด และปริมาณของสินค้าที่ทำการส่งมอบให้ถูกต้องครบถ้วน สามารถติดตามได้
	ขาย	รูปลักษณะต่างๆ เช่น ความสวยงาม เพื่อดึงดูดใจให้กับตัวสินค้าที่ถูกบรรจุอยู่ภายใน
บรรจุภัณฑ์เปล่า	การขนย้าย จัดเก็บ	ระบบตรวจติดตาม การรวมหน่วยที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และง่ายต่อการตรวจสอบ
	ขาย	รูปลักษณะต่างๆ เช่น ความสวยงาม เพื่อเพิ่มความน่าดึงดูดใจ ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดมาจากผู้บริโภคขั้นสุดท้าย
กระดาศราฟท์ประเภทต่างๆ	การขนย้าย จัดเก็บ	ระบบตรวจติดตาม การรวมหน่วยที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ
	ขาย	รูปลักษณะต่างๆ เช่น สีของกระดาศ ความสวยงามของกระดาศ รวมไปถึงคุณสมบัติของกระดาศที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้ซื้อ เช่น ความแข็งแรง ความสามารถในการกักเก็บความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ซื้อเป็นใคร
ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		ราคาต้นทุนที่ส่งผลต่อราคาขายกระดาศเพื่อทำกำไร
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ระยะเวลาในการส่งมอบอยู่ในข้อสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้

ตารางที่ 3.10 ก. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟท์ของลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ
(ผู้ผลิตประเภทที่นำกระดาษกราฟท์ไปตัดริม)

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
กระดาษกราฟท์ประเภทต่างๆ	เปลี่ยนรูปผลิตภัณฑ์โดยการตัดแบ่งกระดาษ	คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ เช่น ความหนา ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ ความเรียบผิว ขนาด ฯลฯ ที่ส่งผลต่อกระบวนการตัด
		คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษ เช่น ความแข็งแรงต่างๆ ความต้านแรงดึง แรงฉีก ฯลฯ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการตัด
	ส่งมอบไปยังกระบวนการถัดไป เช่น กระบวนการพิมพ์ งานขาย	คุณสมบัติต่างๆของกระดาษที่ส่งผลกระทบต่อกุณภาพของกระดาษที่ตัดออกมาได้ เช่น ความเรียบผิว ความแข็งแรงต่อแรงดึง ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดมากจากกระบวนการถัดไป เช่น งานขาย
ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		รูปลักษณะภายนอก เช่น สีของกระดาษ ความสมบูรณ์ของกระดาษที่ส่งผลต่อการส่งมอบไปยังกระบวนการถัดไป ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดจากผู้บริโภคที่สนใจเรื่องความสวยงามของบรรจุภัณฑ์
		ราคาต้นทุนที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันกับโรงตัดริมอื่นๆ
		ราคาต้นทุนที่ส่งผลต่อราคาขายกระดาษริมเพื่อทำกำไร
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ระยะเวลาในการส่งมอบอยู่ภายในข้อสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้

ตารางที่ 3.10 ข. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟท์ของลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ
(ผู้ผลิตที่เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ต่างๆ)

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
กระดาษกราฟท์ประเภทต่างๆ	การเปลี่ยนรูปผลิตภัณฑ์	คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ เช่น ความหนา ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ ความเรียบผิว ฯลฯ ที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์
		คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษ เช่น ความแข็งแรงต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์
		คุณสมบัติด้านการกีดกันและความต้านทานของกระดาษ เช่น การป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใดๆ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปกระดาษ เช่น ขั้นตอนการเชื่อมติดบรรจุภัณฑ์ด้วยกาวเหลว
	การส่งมอบต่อไปยังกระบวนการถัดไป เช่น กระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆที่ใช้บรรจุภัณฑ์ หรือ ผู้ขาย	คุณสมบัติต่างๆของกระดาษ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตออกมา ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดมาจากกระบวนการถัดไป เช่น คุณสมบัติด้านการต้านทานการซึมของน้ำ ที่ส่งผลต่อกระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ หรือความต้องการในเรื่องรูปลักษณ์ภายนอกที่สวยงามของผู้บริโภค
		ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ เช่น ความแข็งแรงต่อการพับ ความต้านแรงฉีก ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษที่เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดมาจากกระบวนการถัดไป เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้บรรจุภัณฑ์
		รูปลักษณ์ภายนอก เช่น สี, ความสมบูรณ์ของกระดาษที่ส่งผลต่อการส่งมอบไปยังกระบวนการถัดไป ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดจากผู้บริโภคที่สนใจเรื่องความสวยงามของบรรจุภัณฑ์
ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันกับผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เช่น บรรจุภัณฑ์แก้ว พลาสติก โลหะ ฯลฯ
		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลต่อราคาขายบรรจุภัณฑ์เพื่อทำกำไร
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ระยะเวลาในการส่งมอบอยู่ภายในข้อสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้
		มีวัตถุดิบในเวลาที่ต้องทำการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 3.10 ค. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟท์ของลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ
(ผู้ผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมงานพิมพ์ หรือกระบวนการพิมพ์)

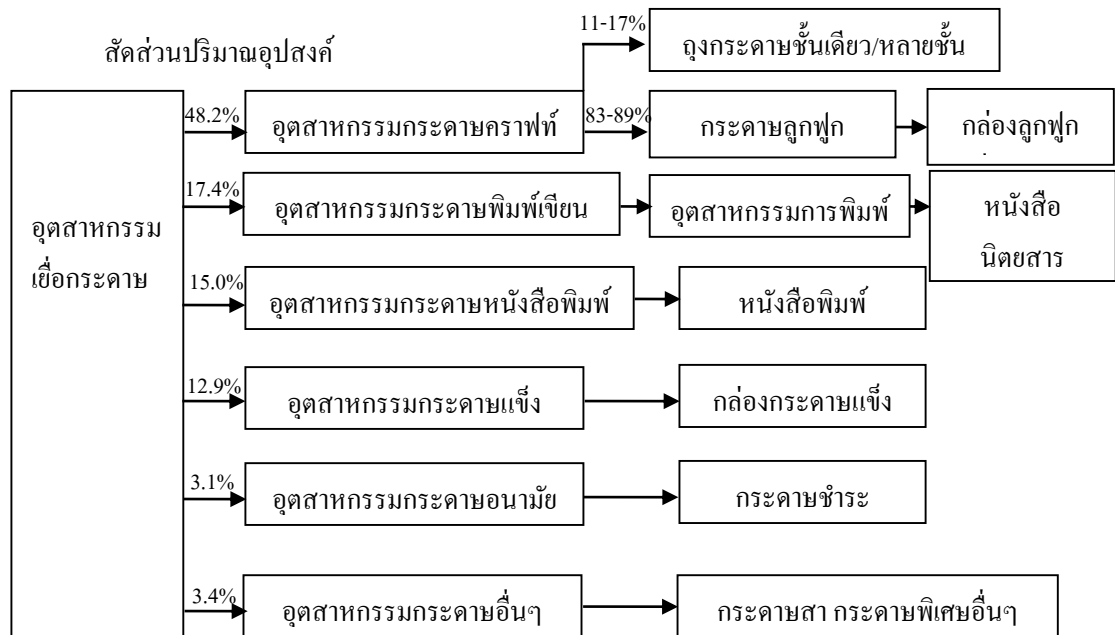
ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
กระดาษกราฟท์ประเภทต่างๆ หรือบรรจุภัณฑ์กระดาษกราฟท์	การเปลี่ยนรูปผลิตภัณฑ์ เช่น การพิมพ์บนกระดาษ	คุณสมบัติทางโครงสร้าง เช่น ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ
		คุณสมบัติด้านการต้านทานการซึมผ่านของสาร ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการพิมพ์ เช่น ความสามารถในการรับหมึก
	ส่งมอบไปยังกระบวนการถัดไป เช่น ผู้ขาย โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ	สนใจเรื่องคุณสมบัติต่างๆ ของตัวกระดาษที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานพิมพ์ รวมไปถึงรูปลักษณะภายนอก ซึ่งเป็นความคาดหวังที่ถูกถ่ายทอดมาจากลูกค้าจากกระบวนการถัดไป เช่น ผู้บริโภคสิ่งพิมพ์ต่างๆ
ความคาดหวังด้านต้นทุนของผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลกระทบต่อราคาของงานพิมพ์โดยรวม
		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลกระทบต่อราคาขายงานพิมพ์เพื่อทำกำไร
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ต้องมีวัตถุดิบพร้อมในเวลาที่จะทำการพิมพ์

ตารางที่ 3.10 ง. ความคาดหวังในผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟท์ของลูกค้าที่นำผลิตภัณฑ์ไปผลิตต่อ
(อุตสาหกรรมที่นำบรรจุภัณฑ์สำเร็จไปบรรจุสินค้า เช่น อุตสาหกรรมอาหาร)

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการนำไปใช้งาน	ความคาดหวังด้านคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (q : quality)
บรรจุภัณฑ์ ต่างๆ	การประกอบ สินค้าเข้ากับบรรจุ ภัณฑ์	ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ที่ส่งผลต่อกระบวนการบรรจุ
	การส่งมอบไปยัง ผู้ขาย หรือ ผู้บริโภค ขั้นสุดท้าย	คุณสมบัติของกระดาษ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุ สินค้าเพื่อส่งมอบให้กับตลาดต่างๆ เช่น คุณสมบัติที่ไม่ทำปฏิกิริยากับ สินค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าในอุตสาหกรรมอาหาร
		คุณสมบัติของกระดาษที่ส่งผลต่อรูปลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็น การสร้างภาพลักษณ์ให้กับสินค้า เช่น ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ สีของงานพิมพ์ ฯลฯ
ความคาดหวังด้านต้นทุนของ ผลิตภัณฑ์ (C : Cost)		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลต่อราคาสินค้าโดยรวม
		ราคาค่าต้นทุนที่ส่งผลต่อราคาขายของสินค้านั้นๆ เพื่อทำกำไร
ความคาดหวังด้านการส่งมอบ (D : Delivery)		ต้องมีวัตถุดิบพร้อมในเวลาที่จะทำการบรรจุสินค้าลงในบรรจุภัณฑ์

3.5.2 ลูกค้าน้ำหลักของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟ [58]

ผู้ผลิตกระดาษกราฟต้องมุ่งให้ความสำคัญกับลูกค้ากลุ่มหลักเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันเชิงธุรกิจในการขีดยส่วนแบ่งการตลาด ซึ่งจากการที่กระดาษกราฟเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกล่องกระดาษและถุงกระดาษเป็นส่วนใหญ่ ฉะนั้น ตลาดใหญ่จึงอยู่ที่อุตสาหกรรมการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยจากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนปริมาณอุปสงค์ของกระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษไทย พบว่ากระดาษกราฟครองสัดส่วนสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 48.2 ของปริมาณอุปสงค์กระดาษทั้งหมด ซึ่งตลาดที่รองรับกระดาษกราฟที่กว่าร้อยละ 83 – 89 โดยตรงคือ อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นกระดาษและกล่องกระดาษลูกฟูก ดังนั้นจึงหมายความว่าลูกค้าหลักของผู้ผลิตกระดาษกราฟ คือ ผู้ผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งอยู่ถัดจากผู้ผลิตกระดาษกราฟ และรับกระดาษกราฟไปทำการผลิตต่อโดยตรง



รูปที่ 3.7 สัดส่วนปริมาณอุปสงค์กระดาษในประเทศไทย [58]

ผู้ผลิตกระดาษกราฟส่วนใหญ่จัดจำหน่ายในประเทศเป็นหลัก โดยโรงงานกระดาษกราฟจะได้รับการติดต่อจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษโดยตรง ซึ่งในบางกรณีอาจเป็นการผลิตกระดาษกราฟเพื่อใช้เอง เนื่องจากผู้ผลิตกระดาษกราฟส่วนใหญ่มีการผลิตครบวงจรจึงมีโรงงานทำกล่องเป็นของตนเอง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผู้ผลิตกระดาษลูกฟูก หรือ โรงงานกล่องกระดาษลูกฟูกจะถือเป็นลูกค้าหลักของกระดาษกราฟก็ตาม แต่ด้วยระบบการผลิตแบบระบบดึง (pull system) จึงทำให้ความต้องการและความคาดหวังของลูกค้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายหรือผู้บริโภคนั้นถูกถ่ายทอดและส่งย้อนกลับมาถึงผู้ผลิตกระดาษกราฟด้วย ซึ่งนอกจากประชาชนหรือคนทั่วไปที่เป็นผู้บริโภค

ขั้นสุดท้ายแล้ว ยังรวมไปถึงผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสินค้าอุปโภคบริโภค ฯลฯ ซึ่งถือเป็นกลุ่มผู้บริโภคแฝงที่ใช้กล่องบรรจุภัณฑ์อันเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายแต่เป็นลูกค้าประเภทผู้นำไปผลิตต่อ ก็มีส่วนร่วมเป็นผู้กำหนดอุปสงค์และความต้องการมายังผู้ผลิตกระดาษกราฟที่เช่นเดียวกัน ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษกราฟก็ต้องทำความเข้าใจพฤติกรรมผู้บริโภคบรรจุภัณฑ์กระดาษของลูกค้ากลุ่มนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกสินค้าหรือกิจกรรมที่ส่งเสริมการขาย เพื่อชักจูงให้ผู้ซื้อซื้อสินค้าของตนเอง รายละเอียดตามหัวข้อถัดไป

3.5.3 พฤติกรรมการบริโภคกระดาษกราฟในประเทศไทย [43], [59]

พฤติกรรมการบริโภคกระดาษกราฟในประเทศไทยที่ต้องทราบ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. พฤติกรรมของผู้บริโภคขั้นสุดท้ายที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษ
2. พฤติกรรมของผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษ

3.5.2.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

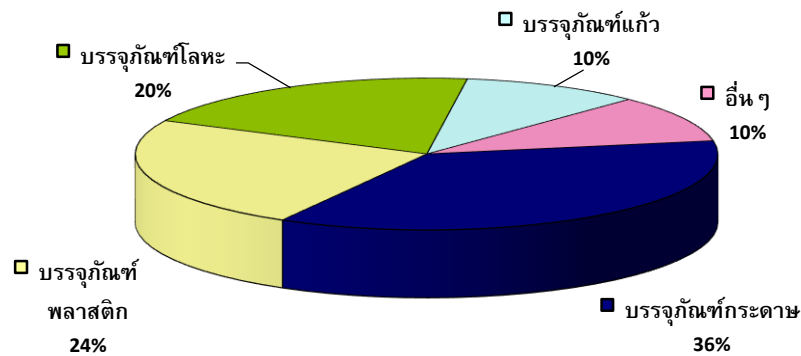
ผู้บริโภคขั้นสุดท้ายมิได้ซื้อบรรจุภัณฑ์กระดาษโดยตรง แต่เป็นการเลือกซื้อทางอ้อมจากการซื้อสินค้าที่อยู่ภายใน ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าผ่านบรรจุภัณฑ์ มีดังนี้

ก. การเลือกซื้อสินค้าโดยตัดสินใจจากรูปลักษณ์ภายนอกของบรรจุภัณฑ์ เช่น ดีไซน์ที่ทันสมัย ความสวยงาม สี ลวดลาย ตราสินค้า (branding) เป็นต้น โดยเฉพาะสินค้าในระดับกลาง (mid-end) และระดับบน (hi-end) หรือพวงสินค้าในหมวดบรรจุภัณฑ์หรูหราฟุ่มเฟือย (luxury packaging)

ข. การเลือกบริโภคบรรจุภัณฑ์ที่ง่ายต่อการกำจัด สามารถรีไซเคิลได้ เนื่องจากกระแสอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (green thinking)

3.5.2.2 พฤติกรรมของอุตสาหกรรมภาคการผลิต

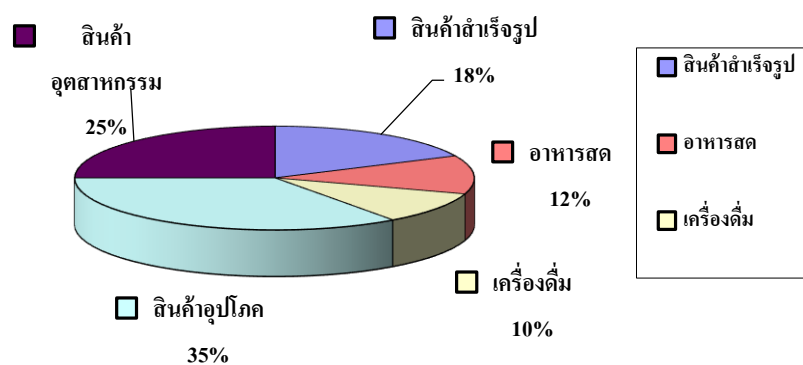
รายงานของกรมการค้าต่างประเทศกระทรวงพาณิชย์ระบุว่าสัดส่วนการบริโภคบรรจุภัณฑ์กระดาษในประเทศไทยคิดเป็นประมาณร้อยละ 36 ของมูลค่าการบริโภคทั้งหมดในปัจจุบันตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เปรอร์เซ็นต์มูลค่าการบริโภคบรรจุภัณฑ์ของประเทศไทยแยกตามประเภทของวัสดุ

โดยภาคการผลิตที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษมากที่สุด คือ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร (อาหารสำเร็จรูป อาหารสด และเครื่องดื่ม) เช่น การใช้ลังกระดาษบรรจุผลไม้สดเพื่อการส่งออก คิดเป็นร้อยละ 40 ของการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษทั้งหมด รองลงมา คือ สินค้าอุปโภค (เสื้อผ้า รองเท้า และสินค้าเบ็ดเตล็ดอื่นๆ) คิดเป็นร้อยละ 35 และสินค้าอุตสาหกรรม (อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า) คิดเป็นร้อยละ 25 ของการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษทั้งหมด รายละเอียดดังรูปที่ 3.9

สัดส่วนการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษตามประเภทสินค้า



รูปที่ 3.9 เปรอร์เซ็นต์การใช้บรรจุภัณฑ์แยกตามประเภทสินค้า [60]

ก. พฤติกรรมการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษของอุตสาหกรรมอาหาร [43], [60]

บรรจุภัณฑ์อาหารถือเป็นหมวดหมู่ที่มีอัตราการเติบโตสูง เนื่องจากขณะนี้ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นครัวของโลก ทำให้สามารถส่งสินค้าจำพวกอาหารแช่แข็ง อาหารสำเร็จรูปไปเป็นจำนวนมากขึ้น ซึ่ง

ต้องการบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันความชื้น น้ำ หรือสารอื่นๆ ที่จะซึมเข้ามากระทบกับสินค้า ดังนั้นบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เลือกใช้จะต้องมีคุณสมบัติแข็งแรงและทนทานมากขึ้น โดยต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติก โดยใช้วัสดุที่ปลอดภัย และป้องกันความชื้น หรือการซึมผ่านของน้ำ มาเคลือบผิวของบรรจุภัณฑ์กระดาษอีกที หรือเลือกกระดาษที่มีคุณสมบัติในเรื่องการต้านทานการซึมน้ำมาใช้มากขึ้น

ข. พฤติกรรมการใช้บรรจุภัณฑ์ของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสินค้าอุปโภค - บริโภค [12], [51]
การใช้บรรจุภัณฑ์ของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมสินค้าอุปโภคบริโภคนอกจากจะมีวัตถุประสงค์เพื่อความสะดวกในการขนส่ง เพื่อเก็บรักษาสินค้าแล้วยังเพื่อเพิ่มความสวยงามและเพิ่มมูลค่าสินค้า เพื่อเป็นการเสริมภาพลักษณ์ของสินค้าให้ดูดี และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าของตนเองด้วย เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามจะช่วยดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค และก่อให้เกิดความประทับใจซึ่งทำให้เกิดความต้องการแก่ผู้พบเห็น นอกจากนี้ยังมีการนำตราสินค้า (branding) มาเป็นสื่อโฆษณาถึงสรรพคุณ ข้อดีของสินค้า บ่งบอกชื่อเสียงของผู้ผลิต และคุณสมบัติของสินค้า ณ จุดขาย

ค. พฤติกรรมการใช้บรรจุภัณฑ์ของผู้ประกอบการสินค้าอุตสาหกรรม [12], [51]
การใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษของผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านรูปแบบบรรจุภัณฑ์และรูปแบบผลิตภัณฑ์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบบรรจุภัณฑ์นั้นเกิดจากการที่สินค้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น โทรทัศน์ขนาดใหญ่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในสำนักงาน ฯลฯ เริ่มนิยมใช้กล่องพับแข็งปะลอนแทนการใช้กล่องลูกฟูกมากขึ้น เพราะมีความสวยงามกว่ากล่องลูกฟูก ในขณะที่มีความแข็งแรงเช่นเดียวกับกล่องลูกฟูก ทำให้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งได้อีกด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบผลิตภัณฑ์นั้นเกิดจากการพัฒนา รูปแบบผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น การรวมการทำงานของเครื่องถ่ายภาพเอกสาร-พรีนเตอร์และโทรสารไว้ในเครื่องเดียวกัน (multi-function) เป็นต้น ซึ่งทำให้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงส่งผลให้ต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3.5.2.3 แนวโน้มของบรรจุภัณฑ์กระดาษในอนาคต

จากพฤติกรรมของลูกค้าปลายทางที่เปลี่ยนไปตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์กระดาษในอนาคตสำหรับประเทศไทยไว้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- มีรูปแบบที่ทันสมัย เน้นการออกแบบ (design) และมีความสวยงาม เพื่อให้สินค้าดูดีมีมูลค่า คุ้มราคาแพง และมี brand

- กระดาษที่นำมาผลิตต้องปลอดภัยทั้งต่อผู้บริโภค และต่อสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน โดยเฉพาะสินค้ากลุ่มอาหาร และเครื่องอุปโภคบริโภค
- กระดาษที่นำมาผลิตต้องสามารถกำจัดหรือย่อยสลายได้ง่าย เพื่อมิให้เป็นภาระในการกำจัด
- กระดาษที่นำมาผลิตต้องมีความแข็งแรง ทนทาน มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ทดแทนวัสดุกลุ่มพลาสติกได้
- มีความหลากหลาย ตอบสนองความต้องการที่หลากหลายรูปแบบ

3.6 พฤติกรรมของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย

เมื่อทราบถึงสถานะปัจจุบันของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟในประเทศไทย รายชื่อผู้ประกอบการ ลักษณะของผู้ประกอบการแต่ละราย รวมไปถึงพฤติกรรมของลูกค้านั้นแต่ละประเภทแล้ว ในลำดับถัดมาผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาลักษณะการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษกราฟ เพื่อทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่จะนำไปสู่การครอบครองส่วนแบ่งทางการตลาดสูงที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตลาดของกระดาษกราฟที่มีลักษณะการแข่งขันแบบกึ่งผูกขาด [47] (oligopoly market คือ ตลาดแข่งขันไม่สมบูรณ์เพราะมีผู้ผลิตจำนวนไม่กี่ราย) ทั้งนี้เนื่องจากมีผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีคุณภาพมาตรฐานเพียงไม่กี่ราย และถึงแม้ว่าแต่ละรายจะผลิตกระดาษกราฟที่มีคุณภาพแตกต่างกันแต่ก็สามารถใช้ทดแทนกันได้ ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษกราฟจึงมีพฤติกรรมตามแบบของผู้ผลิตในตลาดน้อยรายซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.6.1 พฤติกรรมการแข่งขันด้านราคา [46], [47]

ผู้ผลิตในตลาดน้อยรายไม่นิยมใช้การแข่งขันทางด้านราคา ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของตลาดผู้ขายน้อยรายที่มีลักษณะขึ้นต่อกัน ทำให้ผู้ผลิตในตลาดสามารถคาดคะเนได้ว่ากลยุทธ์ต่างๆที่ใช้ไปนั้นจะมีผลให้มีรายได้หรือกำไรเพิ่มขึ้นหรือไม่ การแข่งขันโดยวิธีการลดราคาจึงเป็นเครื่องมือการแข่งขันที่ผู้ผลิตรายอื่นสามารถตอบโต้โดยการลดราคาตาม และถ้าผู้ผลิตต่างลดราคาลงไปอีกก็จะนำไปสู่สงครามราคาได้ โดยผู้ผลิตมักจะมีการตั้งราคาตามผู้ผลิตรายใหญ่ซึ่งเป็นผู้เล่นหลัก (key player) ของตลาด หรือรวมตัวกันกำหนดราคา โดยผู้ผลิตรายย่อยจะหลีกเลี่ยงการแข่งขันในเรื่องราคาสินค้ากับผู้ผลิตรายใหญ่ เพราะจะทำให้ผลประโยชน์ของตนเองเนื่องจากไม่สามารถสู้กับราคาและต้นทุนที่ต่ำกว่าของผู้ผลิตรายใหญ่ได้ ดังนั้นเมื่อผู้ผลิตรายใหญ่กำหนดราคาและปริมาณการผลิตของตนแล้ว ผู้ผลิตรายอื่นก็จะนำราคาเปรียบเทียบกับราคาและต้นทุนของตน แล้วอิงราคาสินค้าตามผู้ผลิตรายใหญ่เป็นราคาขายของตน

3.6.2 พฤติกรรมการแข่งขันที่ไม่ใช่ด้านราคา

ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟ การแข่งขันด้านคุณภาพของสินค้ามีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากผู้ผลิตในตลาดน้อยรายไม่นิยมใช้การแข่งขันในด้านราคา ผู้ผลิตกระดาษกราฟที่จึงมุ่งเน้นการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพสูงสุดตรงตามมาตรฐานและตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยรูปแบบการแข่งขันมีด้วยกัน 3 ด้าน คือ การแข่งขันด้านผลิตภัณฑ์ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และการแข่งขันด้านการส่งเสริมการตลาด

3.6.2.1 การแข่งขันทางด้านผลิตภัณฑ์

ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟต่างพยายามสร้างความแตกต่างด้านผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านรูปแบบ คุณภาพ การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีเอกลักษณ์เป็นของตนเอง ตลอดจนพยายามสร้างภาพพจน์ให้ผู้บริโภคเห็นว่าผลิตภัณฑ์ของตนมีจุดเด่นที่ดีกว่าคู่แข่ง โดยพิจารณาแยกเป็นแต่ละรูปแบบ ดังนี้

ก. การวิจัยและพัฒนา (research & development)

เป็นกลยุทธ์ด้านผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟ เพื่อให้สินค้าสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเพื่อสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้บริโภคหันมาสนใจสินค้ามากขึ้น หรือวิจัยและพัฒนาเพื่อต่อยอดเทคโนโลยี เครื่องจักร อุปกรณ์ และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อให้สามารถลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง และเนื่องจากต้นทุนการวิจัยและพัฒนาค่อนข้างสูง ผู้ผลิตรายใหญ่จึงมีความได้เปรียบในการวิจัยและพัฒนา อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องซึ่งอยู่ในกลุ่มบริษัทเดียวกันได้อีกทางหนึ่งด้วย

ข. การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสินค้า (style change)

รูปแบบของกระดาษกราฟนั้นจะขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้ประโยชน์ของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ดังนั้น ผู้ผลิตที่มีรูปแบบของกระดาษกราฟที่หลากหลาย มีสินค้าที่หลากหลายรูปแบบ จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับลูกค้ามากขึ้นด้วย

ค. การแข่งขันทางการโฆษณา (advertising)

เนื่องจากกระดาษกราฟเป็นสินค้าที่อยู่ในอุตสาหกรรมกลาน้ำ เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมปลายน้ำอย่างบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งมีการสั่งซื้ออย่างต่อเนื่อง ดังนั้น บทบาทการโฆษณาจึงเป็นเรื่องของคุณภาพ

และความทนทานของสินค้า และความเชื่อมั่นในกลุ่มบริษัทผู้ผลิต ในขณะเดียวกันก็เป็นการโฆษณา เพื่อให้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับคุณสมบัติของสินค้า รวมทั้งให้ทราบว่าสินค้าประเภทใดอยู่ในตลาด

3.6.2.2 การแข่งขันด้านช่องทางการจัดจำหน่าย

ช่องทางการจัดจำหน่ายของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ มีทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศ โดยที่ตลาดภายในประเทศมีวิธีการจัดจำหน่าย 2 วิธีที่นิยมใช้ คือ การจำหน่ายโดยตรงกับผู้ซื้อ เช่น โรงงานทำกล่อง และทำสัญญาซื้อขายระยะยาว สำหรับตลาดต่างประเทศจัดจำหน่ายผ่านตัวแทนส่งออก

3.6.2.3 การส่งเสริมการตลาด

การส่งเสริมการตลาดเป็นเครื่องมือในการผลักดันสินค้าสู่ผู้ซื้อในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เป็นการกระตุ้นให้สั่งซื้อในปริมาณที่มากขึ้น และกระตุ้นการตัดสินใจสั่งซื้อได้เร็วขึ้น

3.7 ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในไทย

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงพฤติกรรมการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ภายในประเทศไทย โดยมุ่งประเด็นไปที่ตลาดภายในประเทศเท่านั้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจมิได้แข่งขันเพียงในประเทศเท่านั้น แต่ยังต้องแข่งขันกันในระดับเวทีโลกด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลการนำเข้าและการส่งออกกระดาษกราฟท์ของประเทศไทยที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.4 นั้นหมายความว่าผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยนั้นมีคู่แข่งทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งยังมีการเปิดเขตเสรีการค้า หรือในอนาคตจะมีการเปิดสมาคมอาเซียน ลูกค้าย่อมมีทางเลือกมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีศักยภาพมากเพียงพอที่จะแข่งขันในตลาดระดับนานาชาติได้ ดังนั้นในหัวข้อต่อมาผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยในระดับเวทีซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยการผลิต สภาพอุปสงค์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและสนับสนุน รวมไปถึงนโยบายจากภาครัฐ ปัจจัยเหล่านี้แสดงถึงศักยภาพของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ที่เข้มแข็ง และมีประสิทธิภาพซึ่งย่อมส่งผลไปสู่ความสามารถในการแข่งขันระดับเวทีโลกได้

3.7.1 สภาพปัจจัยการผลิตภายในประเทศ

3.7.1.1 วัตถุดิบ [46], [54], [58]

อุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่ใช้วัตถุดิบหลัก คือ เยื่อใยสั้น เยื่อใยยาวและเศษกระดาษกว่าร้อยละ 70 - 80 ของวัตถุดิบทั้งหมด โดยประเทศไทยสามารถผลิตเยื่อใยสั้นได้เอง จึงนับว่ามีความได้เปรียบอยู่มาก แต่ในส่วนของเยื่อใยยาวยังต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งราคาของเยื่อกระดาษโลกค่อนข้างมีความผันผวนสูง สำหรับเศษกระดาษ บริษัทต่างๆจะมีจตุรับซื้อเศษกระดาษ เช่น บริษัท สยามกราฟท์ จำกัด จะมีจตุรับซื้อกระดาษอยู่ทั่วประเทศ บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน) จะใช้วิธีรับซื้อต่อจากกลุ่มของสยามกราฟท์อีกต่อหนึ่ง การรับซื้อจะรับซื้อจากผู้รับเหมาตามราคาตลาด ซึ่งส่วนใหญ่บริษัทขนาดใหญ่จะซื้อเศษกระดาษจากผู้รับเหมาที่เข้ามาเสนอราคาโดยวิธีการประเมินราคา และจะไม่มีการทำสัญญาซื้อขายโดยตรงกับผู้จำหน่ายเศษกระดาษรายใดรายหนึ่ง เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้จำหน่ายเศษกระดาษใช้แล้วอยู่เป็นจำนวนมาก และปริมาณการบริโภคกระดาษกล่องของโลกก็ยังคงอยู่ในระดับที่สูงและมีแนวโน้มเติบโตเพิ่มขึ้นในอนาคต ผู้ผลิตกระดาษกราฟท์จึงสามารถเลือกสั่งซื้อเศษกระดาษกล่องที่ใช้แล้วจากผู้จำหน่ายที่เสนอราคาและเงื่อนไขในการสั่งซื้อที่ดีที่สุดได้ อีกทั้งนโยบายจากภาครัฐที่เข้ามาช่วยสนับสนุนการรณรงค์เรื่องการคัดแยกขยะ ซึ่งช่วยลดต้นทุนการเก็บรวบรวมกระดาษ ส่งผลให้ลดการนำเข้าเศษกระดาษได้

ประเทศไทยมีปัจจัยด้านวัตถุดิบภายในประเทศ ได้แก่ เยื่อใยสั้น และเศษกระดาษที่ส่งผลดีต่อศักยภาพการแข่งขันในระดับโลก มีข้อเสียเปรียบเพียงเรื่องที่ยังต้องนำเข้าเยื่อใยยาวจากต่างประเทศ ซึ่งผู้ผลิตแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใช้เยื่อใยยาวในสัดส่วนที่น้อยที่สุดโดยใช้ในกระดาษบางประเภทที่ต้องการความแข็งแรงเท่านั้น

ตารางที่ 3.11 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตกระดาษกราฟท์ [61]

ประเภทวัตถุดิบ	สัดส่วน (%)
เยื่อใยยาว	8 -12
เศษกระดาษและเยื่อใยสั้น	48 – 52
สารเคมี	≤ 10
เชื้อเพลิง	≤ 10
น้ำ	1 - 2
รวม	100.0

3.7.1.2 ทรัพยากรมนุษย์ [62]

ปัจจุบันในหลายบริษัทได้มีการฝึกอบรมเพื่อพัฒนาบุคลากร ทำการเพิ่มสัดส่วนแรงงานที่มีวุฒิการศึกษาสูง มีการจัดฝึกอบรมเพื่อพัฒนาความรู้ ทักษะ และเพิ่มประสิทธิภาพให้พนักงานทุกระดับอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความสามารถในการผลิตสินค้าและบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งเพื่อรักษาความเป็นผู้นำในตลาดอีกด้วย

ในส่วนของต้นทุนด้านแรงงาน เมื่อพิจารณาโครงสร้างต้นทุนการผลิตพบว่า ต้นทุนค่าแรงและค่าโสหุ้ยการผลิตในกระดาศกราฟท์ทำลอนลูกฟูกคิดเป็นร้อยละ 25 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ส่วนในกระดาศกราฟท์ทำผิวกล่อนนั้นอยู่ที่ร้อยละ 10 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดเท่านั้น รายละเอียดตามตารางที่ 3.12 และ 3.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนด้านแรงงานนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับต้นทุนด้านวัตถุดิบ เนื่องจากลักษณะการผลิตกระดาศกราฟท์จะใช้การควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์จึงไม่ต้องพึ่งพิงแรงงานในกระบวนการผลิตมากนัก ดังนั้นปัญหาเรื่องต้นทุนด้านแรงงานจึงไม่มีความรุนแรงในอุตสาหกรรมกระดาศกราฟท์

ตารางที่ 3.12 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนการผลิตกระดาศกราฟท์ทำลอนลูกฟูก [63]

ประเภทต้นทุนการผลิต	สัดส่วน (%)
วัตถุดิบ	57.0
ค่าแรงและค่าโสหุ้ยการผลิต	43.0
รวม	100.0

ตารางที่ 3.13 ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนการผลิตกระดาศกราฟท์ทำผิวกล่อน [63]

ประเภทต้นทุนการผลิต	สัดส่วน (%)
วัตถุดิบ	80.0
ค่าแรงและค่าโสหุ้ยการผลิต	20.0
รวม	100.0

3.7.1.3 เครื่องจักร อุปกรณ์ และเทคโนโลยีในการผลิต [46], [58], [64], [65]

อุตสาหกรรมกระดาศกราฟท์เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยี และการลงทุนสูง (capital intensive) ผู้ผลิตจะใช้กรรมวิธีการผลิตที่นำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยควบคุมการผลิตในแต่ละขั้นตอนเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิต (ตัน/ชั่วโมง) ที่มากขึ้น ซึ่งประเทศไทยไม่มีเทคโนโลยีและความเชี่ยวชาญในการประดิษฐ์เครื่องจักรเองได้ บริษัทผู้ผลิตกระดาศกราฟท์จึงต้องนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศเข้ามา

โดยประเทศที่เป็นผู้นำในด้านเทคโนโลยีการผลิตคือกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา ซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้มีราคาสูงจึงส่งผลทำให้ต้นทุนในการลงทุนสูงขึ้นตามไปด้วย

อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) เกือบทุกราย รายละเอียดจากเอกสารเรื่อง ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนครั้งที่ 10/2552 เรื่องประเภท ขนาด และเงื่อนไขของกิจการที่ให้การส่งเสริมการลงทุน หมวด 6 เคมีภัณฑ์ กระดาษ และพลาสติก [64, 65] เนื่องจากรัฐบาลเล็งเห็นความสำคัญของอุตสาหกรรมดังกล่าว จึงทำให้ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยได้รับสิทธิประโยชน์ในด้านอากรนำเข้าสำหรับเครื่องจักร ซึ่งช่วยลดความรุนแรงปัญหาเรื่องต้นทุนการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีได้

3.7.2 สภาพอุปสงค์

ปัจจุบันการบริโภคกระดาษต่อหัวของประเทศไทยในปี พ.ศ. ปี 2552 อยู่ที่ 53 กิโลกรัม/คน/ปี ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกลุ่มประเทศอื่นในเอเชียที่เป็นกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้แก่ ญี่ปุ่นบริโภคกระดาษถึง 218 กิโลกรัม/คน/ปี เกาหลีและฮ่องกงอยู่ที่ 158 กิโลกรัม/คน/ปี ส่วนประเทศในกลุ่มกำลังพัฒนาแต่เป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จทางด้านเศรษฐกิจอย่างจีนและไต้หวันนั้นมีปริมาณการบริโภคกระดาษอยู่ที่ 75 กิโลกรัม/คน/ปี [40, 46] นั่นแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนายังมีศักยภาพในเติบโตทางเศรษฐกิจได้อีก จึงสามารถบริโภคกระดาษเพิ่มขึ้นได้ โดยสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทยได้คาดการณ์ว่าในปี 2558 การบริโภคกระดาษต่อหัวของไทยจะเพิ่มขึ้นเป็น 66 กิโลกรัม/คน/ปี นอกจากนี้ผลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่งออกบรรจุภัณฑ์กระดาษของประเทศ รวมไปถึงการส่งออกของอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ รถยนต์ ส่วนประกอบต่างๆ อาหารทะเลและอาหารกระป๋อง ซึ่งใช้กล่องกระดาษเป็นบรรจุภัณฑ์ จึงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอุปสงค์ของกระดาษคราฟท์เช่นกัน ซึ่งหมายความว่าด้วยปริมาณอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจะช่วยสร้างความมั่นใจต่อผู้ประกอบการว่ามีตลาดรองรับสินค้าอย่างแน่นอน

3.7.3 อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและสนับสนุน [56]

อุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องกับอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษคราฟท์ในไทย มีความพร้อมในระดับดี เช่น อุตสาหกรรมเยื่อที่สามารถผลิตเยื่อได้เองและอุตสาหกรรมรองรับอย่างอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งผู้ผลิตมีการขยายการลงทุนไปในอุตสาหกรรมต้นน้ำและปลายน้ำ หรือการรวมตัวกันของผู้ผลิตแบบแนวดิ่ง นอกจากนี้แล้วการผู้ผลิตภายในประเทศยังมีการรวมกลุ่มกันในรูปของสมาคมผู้ผลิตและสมาคมการค้า ซึ่งสมาคมเหล่านี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยีการผลิตและการถ่ายทอดความรู้ต่างๆ การติดต่อประสานงานระหว่างภาคเอกชนด้วยกัน

หรือระหว่างภาครัฐและเอกชน และการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านการค้า เช่น ด้าน
อำนาจการต่อรองต่อซัพพลายเออร์ เป็นต้น

3.7.4 ภาครัฐหรือนโยบายด้านต่างๆของรัฐบาล

นโยบายของภาครัฐมีผลทั้งทางบวกและลบต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม จากการจัดตั้งเขตการค้าเสรี
อาเซียน-จีน กระดาษกราฟที่จัดเป็นสินค้าประเภทลดภาษีตามปกติ โดยเริ่มลดภาษีสินค้าปกติตั้งแต
วันที่ 1 กรกฎาคม 2548 ที่ผ่านมา และลดสินค้าประเภทอื่นๆตามลำดับจนเหลือ 0 % ครอบคลุมประเภท
ในวันที่ 1 มกราคม 2553 และในวันที่ 1 มกราคม 2558 นโยบายสินค้าลดภาษีจะมีผลกับประเทศ
สมาชิกอาเซียนและจีน การลดภาษียังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตทั้งในด้านบวกสำหรับผู้ผลิตที่
สามารถทำการผลิตและส่งออกได้มากขึ้น และในด้านลบสำหรับผู้ผลิตที่จะต้องประสบปัญหาในการ
แข่งขันกับสินค้าที่นำเข้าจากประเทศสมาชิกในกลุ่มอาเซียนและประเทศจีน

การแข่งขันในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟที่อยู่ในระดับสูงเนื่องจากการขยายกำลังการผลิตทั้งใน
ประเทศและต่างประเทศ ทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟต้องมีการพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพ การ
นำเทคโนโลยีมาใช้ในการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพสินค้า การบริหารจัดการตลอดจนการรวมกลุ่มทาง
การค้า และลดต้นทุนให้ตรงกับความต้องการของผู้ผลิตบรรจภัณฑ์และผู้บริโภค เพื่อให้ผู้ผลิต
กระดาษกราฟในประเทศไทยสามารถเข้าไปสู่การแข่งขันในระดับเวทีโลกได้ ซึ่งสถานะแวดล้อมที่
มีผลต่อการอยู่รอดของธุรกิจที่สำคัญ มี 2 ประการคือ อำนาจการต่อรองของซัพพลายเออร์ และอำนาจ
การต่อรองของผู้บริโภค

อำนาจต่อรองของซัพพลายเออร์ [46], [47]

ผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยโดยเฉพาะผู้ผลิตรายใหญ่จะมีความได้เปรียบในด้านอำนาจการ
ต่อรองกับซัพพลายเออร์ เนื่องจากมีระบบการจัดซื้อโดยผ่านหน่วยงานจัดซื้อกลางในการจัดซื้อ
วัตถุดิบ มีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะในการจัดซื้อเยื่อกระดาษ สารเคมี และวัตถุดิบอื่นๆ ในปริมาณมาก
ก่อให้เกิดอำนาจในการต่อรองและประหยัดเรื่องค่าขนส่ง นอกจากนี้ในการสั่งซื้อเยื่อใยสั้นนั้น
เนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตได้เอง บริษัทผู้ผลิตกระดาษกราฟจะสั่งซื้อจากผู้ผลิตเยื่อกระดาษ
ในเครือภายในประเทศเป็นหลักจึงไม่มีปัญหาด้านอำนาจการต่อรอง สำหรับเยื่อใยยาวจะสั่งซื้อจาก
ต่างประเทศโดยผ่านตัวแทนจำหน่ายที่นำเข้า ซึ่งซัพพลายเออร์ไม่ได้เป็นผู้มีอำนาจในการกำหนดราคา
เองโดยตรง แต่ราคาลงจะขึ้นอยู่กับกลไกของตลาดทั้งในและต่างประเทศ นอกจากนี้ผู้ผลิต
กระดาษยังมีการจัดเก็บข้อมูลซัพพลายเออร์เพื่อวัดประสิทธิภาพการดำเนินงาน และเปิดโอกาสให้
ผู้ขายวัตถุดิบรายใหม่ที่มีศักยภาพเข้ามาเป็นรายสำรอง เพื่อป้องกันการผูกขาด และการขาดแคลน
วัตถุดิบเพื่อป้องกันการผลิตได้ทัน

อำนาจต่อรองของผู้บริโภค

ปัจจุบันการแข่งขันของอุตสาหกรรมกระดาษ จะเน้นปัจจัยการแข่งขันกันในเรื่องของคุณภาพ ปริมาณ และราคา แต่การปรับราคาจำหน่ายสูงขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับต้นทุนการผลิตนั้นทำได้ลำบาก เนื่องจากผู้ผลิตในตลาดมีความขึ้นต่อกันตามพฤติกรรมของตลาดผู้ผลิตน้อยราย แต่เนื่องจากผู้ผลิตบรรจุก๊าซหลายรายเป็นบริษัทที่อยู่ในเครือเดียวกันกับผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ จึงทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟท์มีอำนาจการต่อรองค่อนข้างมาก แต่ด้วยลักษณะของกระดาษกราฟท์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแตกต่างกันในเรื่องของคุณภาพ เช่น ปริมาณความชื้น ความแข็งแรง แต่ก็สามารถใช้ทดแทนกันได้ ซึ่งลูกค้าสามารถเลือกใช้กระดาษกราฟท์จากผู้ผลิตรายใดก็ได้หากคุณภาพไม่ต่างกัน ดังนั้นผู้ผลิตกระดาษกราฟท์จึงต้องพยายามสร้างความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านรูปแบบ และ คุณภาพ เพื่อให้ลูกค้าเห็นว่าผลิตภัณฑ์ของตนมีจุดเด่นที่ดีกว่าคู่แข่ง นอกจากนั้นแล้วจากข้อมูลปริมาณการบริโภค และกำลังการผลิตกระดาษกราฟท์ในไทยตามหัวข้อที่ 3.4.1 พบว่าด้วยกำลังการผลิตปัจจุบันที่สูงเกินปริมาณอุปสงค์ภายในประเทศ (over supply) ทำให้ผู้ประกอบการกระดาษกราฟท์ของไทยจำเป็นต้องหาตลาดส่งออกเพื่อรองรับผลผลิตส่วนเกิน ซึ่งผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศมีความต้องการกระดาษที่มีคุณภาพสูงมากกว่าผู้บริโภคในประเทศประกอบกับมีสินค้าจากประเทศคู่แข่งกันในตลาดอีกหลายราย จึงทำให้ผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศค่อนข้างมีอำนาจในการต่อรองอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้บริโภคที่มีข้อมูลต่างๆของสินค้า จะมีอำนาจในการต่อรองมากที่สุด เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตได้สร้างทางเลือกให้ผู้บริโภคในทุกระดับสามารถเลือกโรงงานกระดาษกราฟท์ รับทราบข่าวสารและข้อมูลต่างๆของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

สรุปประเด็นที่ได้จากการศึกษาความสามารถของผู้ผลิตอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยในระดับเวทีโลก มีดังนี้

1. จุดแข็งของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในไทย

- สามารถผลิตเยื่อใยสั้นได้เองภายในประเทศ และมีผู้จำหน่ายเศษกระดาษมากเพียงพอส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง
- ลักษณะอุตสาหกรรมเป็นแบบต่อเนื่องมีการเชื่อมโยงตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ และมีการขยายการลงทุนของผู้ผลิตในแบบแนวตั้งซึ่งเพิ่มศักยภาพผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ให้แข็งแกร่ง
- มีการรวมตัวกันของผู้ผลิตในรูปแบบของสมาคมการค้าซึ่งช่วยเพิ่มอำนาจในการต่อรอง และการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นประโยชน์ด้านธุรกิจ

2. จุดอ่อนของผู้ผลิตกระดาษกราฟที่ในไทย

- วัตถุดิบประเภทเยื่อใยยาวซึ่งมีความแข็งแรงต้องนำเข้าทั้งหมด เนื่องจากไม่สามารถผลิตเองได้เพราะสภาพภูมิประเทศไม่เอื้อต่อการปลูกพืชจำพวกไม้เนื้ออ่อน ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต
- ไม่มีเทคโนโลยีการผลิตที่ดี ต้องนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศส่งผลต่อปัญหาการลงทุนทำให้เป็นอุตสาหกรรมที่ลงทุนสูง
- กำลังการผลิตสูงเกินความต้องการภายในประเทศ (over supply) ทำให้ต้องหาตลาดส่งออกซึ่งผู้บริโภคต่างประเทศมีความต้องการด้านคุณภาพสูง

3. โอกาส

- ปริมาณอุปสงค์ทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการบริโภคที่เพิ่มขึ้นและรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่างๆที่ใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษ
- เป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ซึ่งเอื้อประโยชน์ในเรื่องของอากรการนำเข้าเครื่องจักร และภาษีนิติบุคคลต่างๆ ซึ่งช่วยลดปัญหาเรื่องต้นทุนของผู้ผลิตกระดาษกราฟที่ในไทยได้
- การจัดตั้งเขตการค้าเสรีทำให้กระดาษกราฟที่เป็นสินค้าลดภาษีทำให้ผู้ผลิตสามารถส่งออกสินค้าได้มากขึ้น

4. อุปสรรค

- การจัดตั้งเขตการค้าเสรีทำให้กระดาษกราฟที่เป็นสินค้าลดภาษี ผู้ผลิตประสบปัญหาในการแข่งขันกับสินค้าที่นำเข้าจากประเทศสมาชิก
- มีสินค้าจากผู้ผลิตจากประเทศคู่แข่งหลายราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีเทคโนโลยีการผลิตที่สูงกว่า เช่น ญี่ปุ่น จีน ประเทศในแถบยุโรป สามารถผลิตกระดาษมีคุณภาพมากกว่า ทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกมากขึ้น
- ผู้บริโภคมีอำนาจการต่อรองสูง เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของคุณภาพ เช่น ปริมาณความชื้น ความแข็งแรงทนทาน แต่สามารถใช้ทดแทนกันได้ ผู้บริโภคจะตัดสินใจเลือกกระดาษกราฟจากคุณภาพของกระดาษที่โดดเด่นกว่าเจ้าอื่นๆ

3.7.5 ปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทย [58]

1. ปัญหาต้นทุนการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ

จากประเด็นจุดอ่อนเรื่องต้นทุนที่สูงจากการนำเข้าวัตถุดิบประเภทเยื่อใยเวลานั้น ผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยสามารถลดความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการลดปริมาณสัดส่วนการใช้เยื่อใยยาวลง โดยการใช้เยื่อใยสั้นและเศษกล่องกระดาษทดแทนซึ่งเป็นจุดแข็งของผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยที่สามารถผลิตวัตถุดิบนี้ได้เอง นอกจากนี้แล้วการรวมตัวกันของผู้ผลิตในลักษณะของสมาคมกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ ยังช่วยเพิ่มอำนาจการต่อรองกับซัพพลายเออร์ได้อีก จึงช่วยบรรเทาความรุนแรงในประเด็นจุดอ่อนเรื่องการนำเข้าเยื่อใยยาวจากต่างประเทศได้

2. ปัญหาต้นทุนจากการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

จากประเด็นจุดอ่อนเรื่องต้นทุนที่สูง จากการนำเข้าเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ทันสมัยจากต่างประเทศนั้น ผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยได้รับโอกาสจากภาครัฐให้ได้รับการสนับสนุนในเรื่องของภาษีอากรการนำเข้า และสิทธิประโยชน์อื่นๆ จึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

3. ปัญหาต้นทุนจากการดำเนินการด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระดาษกราฟ

ประเด็นจุดอ่อนจากสถานะกำลังการผลิตสูงเกินความต้องการภายในประเทศ (over supply) ผู้ผลิตกระดาษกราฟไทยต้องหาช่องทางระบายสินค้า ส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินงานของผู้ผลิตกระดาษกราฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้ผลิตต้องทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า

ประเด็นอุปสรรคจากการแข่งขันกับคู่แข่งในต่างประเทศจากการจัดตั้งเขตการค้าเสรี ทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟไทยต้องเร่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ เพราะลูกค้ามีทางเลือกมากขึ้นและส่งผลให้ลูกค้ามีอำนาจต่อรองมากขึ้น

นอกจากนี้ในหัวข้อที่กล่าวถึงลูกค้าของผู้ผลิตกระดาษกราฟ พบว่าผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกถือเป็นลูกค้าสำคัญของผู้ผลิตกระดาษกราฟ โดยลักษณะการผลิตของผู้ผลิตกล่องเป็นแบบจ๊อบช็อป (job-shop production) คือ วิธีการผลิตจะผลิตครั้งละน้อยๆ มีขนาดล็อต (lot size) ค่อนข้างเล็ก และผลิตตามคำสั่งของลูกค้า ซึ่งการผลิตลักษณะดังกล่าวเรื่องของเวลาการจัดเตรียมเครื่องจักร (set up time) มีความสำคัญมากเพราะส่งผลต่อผลิตภาพ หรือการเพิ่มผลผลิต (productivity) โดยตรง ดังนั้นผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจึงมีความคาดหวังต่อกระดาษกราฟในเรื่องของคุณภาพที่จะส่งผลต่อกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก เพราะหากกระดาษกราฟที่มีคุณภาพที่ไม่ดีจะส่งผลให้การผลิตหยุดชะงักส่งผลให้เวลาจัดเตรียมเครื่องจักรเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการผลิตต่ำลง ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตสุทธิที่ควรจะได้ (yield loss) อีกด้วย ดังนั้นผู้ผลิตกล่อง

กระดาษลูกฟูกจึงเลือกใช้กระดาษคราฟท์จากผู้ผลิตที่สามารถผลิตกระดาษคราฟท์ที่มีคุณภาพตรงตามที่ต้องการ ซึ่งส่งผลให้ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ต้องดำเนินการจัดการปรับปรุงคุณภาพกระดาษให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าซึ่งส่งผลกระทบต่อการเพิ่มต้นทุนคุณภาพตามมา เช่น การจัดตั้งหน่วยงานตรวจสอบผลิตภัณฑ์ หน่วยงานแก้ไขงาน ต้นทุนการทำวิจัยและพัฒนา ฯลฯ

จากประเด็นต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยกำลังประสบ “**ปัญหาเรื่องต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานคุณภาพ**” เป็นประเด็นที่ทำให้ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในไทยเผชิญกับปัญหาด้านต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการแข่งขันกับผู้ผลิตจากประเทศอื่นๆ ในระดับนานาชาติ

3.8 การพิจารณาเลือกบริษัทสำหรับกรณีศึกษา

สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ที่ได้รับผลกระทบต่อนโยบายคุณภาพกระดาษตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.7 แต่เนื่องจากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ทุกรายประสบเช่นเดียวกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้เกณฑ์การตัดสินใจเลือกผู้ผลิตที่สามารถเป็นตัวแทนของผู้ประกอบการของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยได้ โดยอาศัยลักษณะโครงสร้างตลาดเป็นสำคัญ ซึ่งจากรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.2 พบว่าผู้ประกอบการรายใหญ่ของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยมีด้วยกัน 2 รายด้วยกัน คือ กลุ่มธุรกิจกระดาษในกลุ่มบริษัทเอสซีจี เปเปอร์ และกลุ่มบุญจพล อินคัสตรี แต่ข้อมูลทางสัดส่วนการครองตลาดชี้ให้เห็นว่าผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในกลุ่มบริษัทเอสซีจี เปเปอร์ ถือเป็นเจ้าตลาด หรือ key player ของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทย ดังนั้นผู้ผลิตที่อยู่ในกลุ่มธุรกิจกระดาษในกลุ่มบริษัทเอสซีจี เปเปอร์ จึงมีความเหมาะสมที่สุดในกรณีศึกษา อย่างไรก็ตามผู้ผลิตภายใต้กลุ่มบริษัทเอสซีจี เปเปอร์ มีด้วยกัน 3 บริษัทด้วยกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการคัดเลือกบริษัทให้สามารถเป็นตัวแทนการศึกษาสภาพปัจจุบันของอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ในประเทศไทยตามเกณฑ์ดังนี้ คือ

1. มีกำลังการผลิตสูงเพื่อเป็นตัวแทนผู้ผลิตที่มีกำลังการผลิตที่มากที่สุดเพื่อให้มั่นใจว่าเพียงพอต่อปริมาณอุปสงค์
2. เป็นบริษัทที่มีการรวมตัวในแนวดิ่ง (vertical integration) กับอุตสาหกรรมต้นน้ำและปลายน้ำเพื่อให้เห็นการเชื่อมต่อของอุตสาหกรรมกระดาษตามโครงสร้างห่วงโซ่อุปทานได้อย่างครบถ้วน

จากเกณฑ์เบื้องต้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากผู้ผลิตได้แก่ บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (บ้านโป่ง) จำกัด และบริษัทไทยเคนเปเปอร์จำกัด (มหาชน) ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) มาพิจารณาความสอดคล้องกับเกณฑ์จากข้อมูลในตารางที่ 3.5 3.6 และ 3.7 ซึ่งระดับความสัมพันธ์กับหัวข้อต่างๆมีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 3.14 ซึ่งจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ทั้ง 3 ราย และหัวข้อที่ใช้เป็นเกณฑ์ทั้ง 2 ข้อแล้วพบว่า บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด มีความสอดคล้องกับเกณฑ์การคัดเลือกดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกบริษัทดังกล่าวเป็นบริษัทตัวแทนในกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างหัวข้อการคัดเลือกเข้าทำงานวิจัยและผู้ผลิตกระดาษคราฟท์

หัวข้อที่พิจารณา	สยามคราฟท์ (วังศาลา)	สยามคราฟท์ (บ้านโป่ง)	ไทยเคนเปเปอร์
1. มีกำลังการผลิตสูง	◎	○	-
2. เป็นบริษัทที่มีการรวมตัวในแนวดิ่ง (vertical integration) กับอุตสาหกรรมต้นน้ำและปลายน้ำ	◎	◎	-

ความหมาย ◎ มีความสอดคล้องกับหัวข้อนั้นอย่างมาก

○ มีความสอดคล้องกับหัวข้อนั้นพอสมควร

△ มีความสอดคล้องกับหัวข้อนั้นเล็กน้อย

- ไม่มีความสอดคล้องกับหัวข้อนั้นเลย

3.9 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกระดาษ

บริษัทกระดาษเป็นบริษัทในเครือของบริษัทเอสซีจี เปเปอร์ (SCG Paper) ซึ่งเป็นธุรกิจหนึ่งขององค์กรขนาดใหญ่ของไทย คือ เครือซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) มีรายละเอียดดังนี้

ชื่อบริษัท : บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด (Siam Kraft Industry Co., Ltd ; SKIC)

ที่อยู่ : 99 หมู่ 6 ถนนแสงชูโต ตำบลวังศาลา อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี 71130

ปริมาณการผลิตปัจจุบัน : 600,000 ตันต่อปี

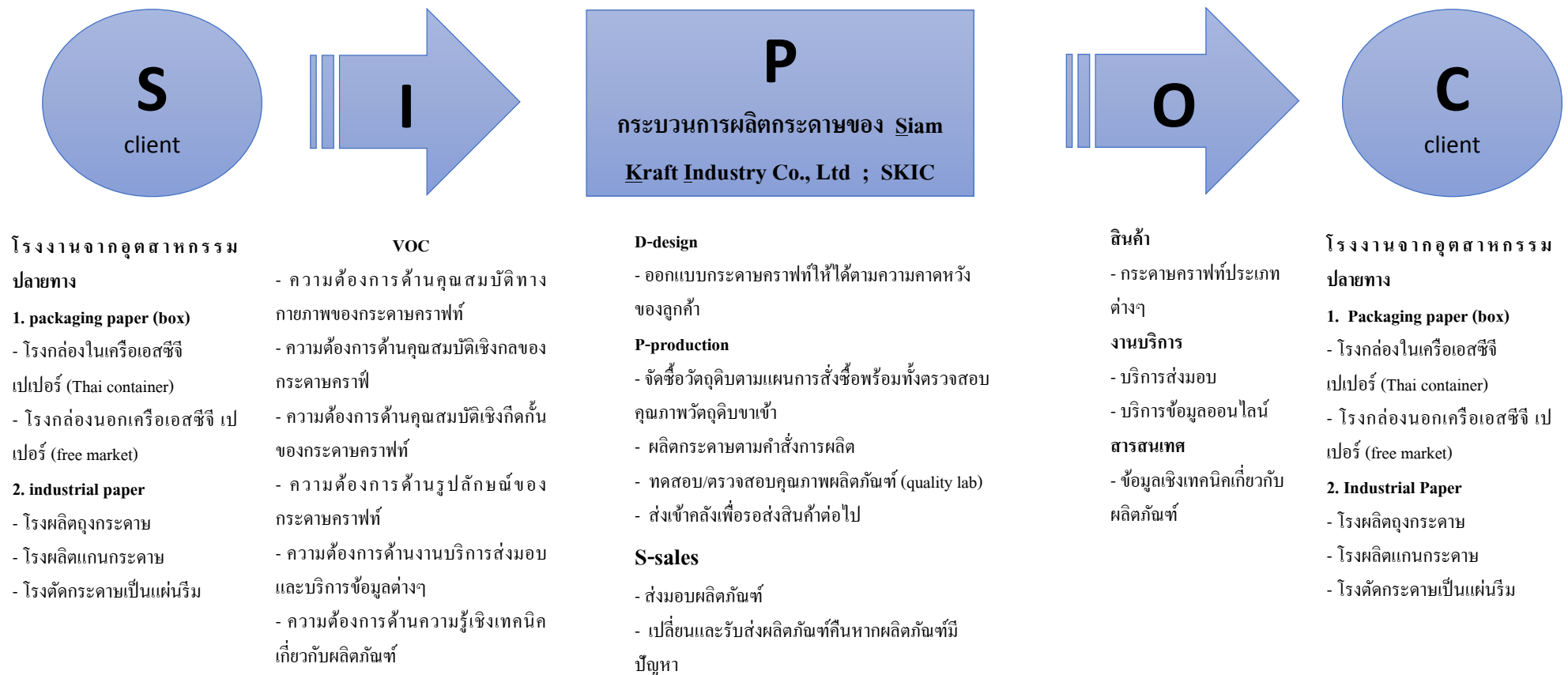
3.9.1 สภาพปัจจุบันของบริษัทกระดาษ

3.9.1.1 SIPOC Model

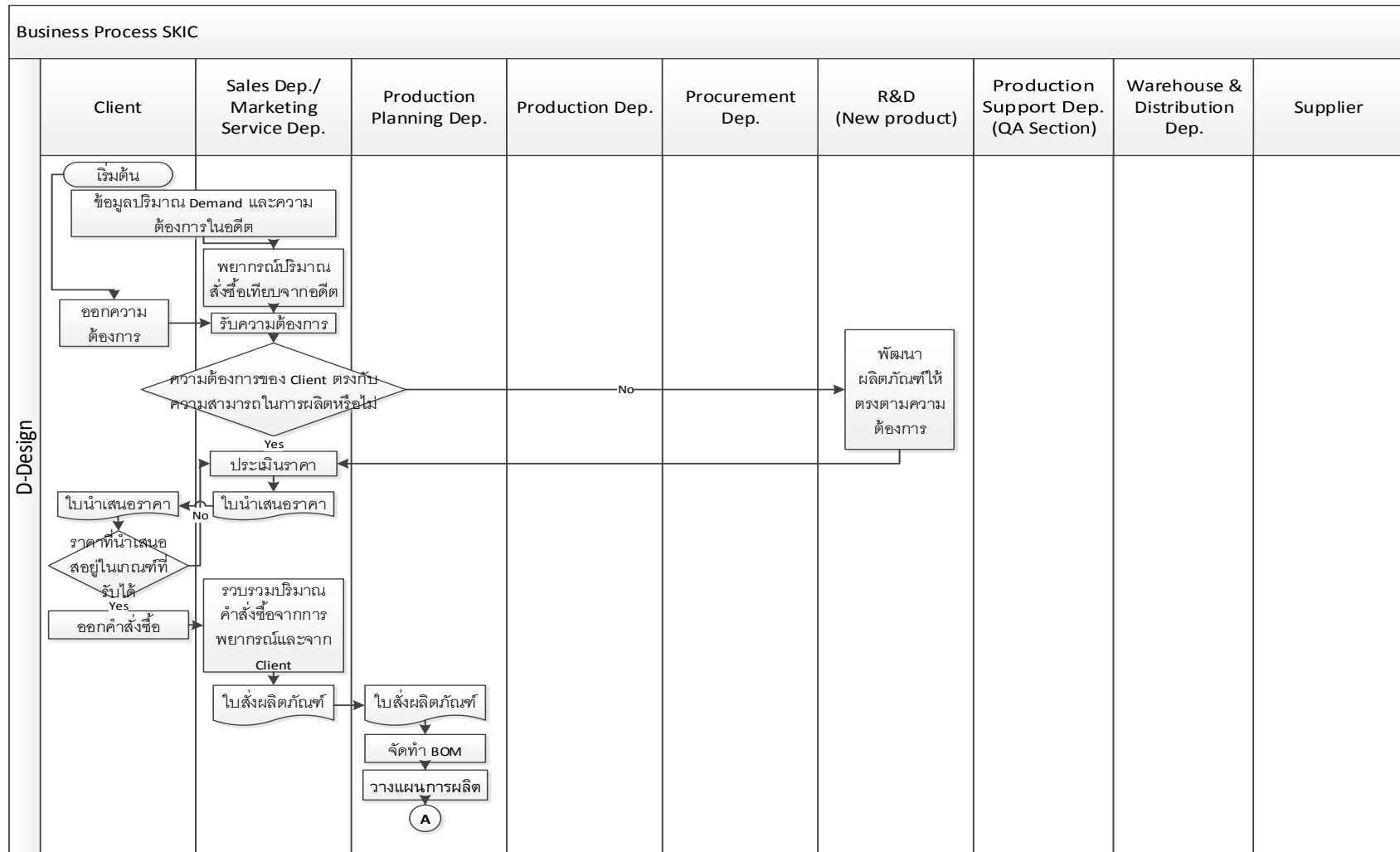
บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด มีธุรกิจหลักเป็นธุรกิจผลิตกระดาษสำหรับนำไปใช้ผลิตต่อเป็นบรรจุภัณฑ์ และกระดาษอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจัดเป็นธุรกิจแบบผลิต (manufacturing) และมีลักษณะของการผลิตแบบกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous production) โดยแนวคิดของกระบวนการทำงานสามารถแสดงได้ในรูปของ SIPOC model ดังรูปที่ 3.10

3.9.1.2 กระบวนการทางธุรกิจ (business flow process)

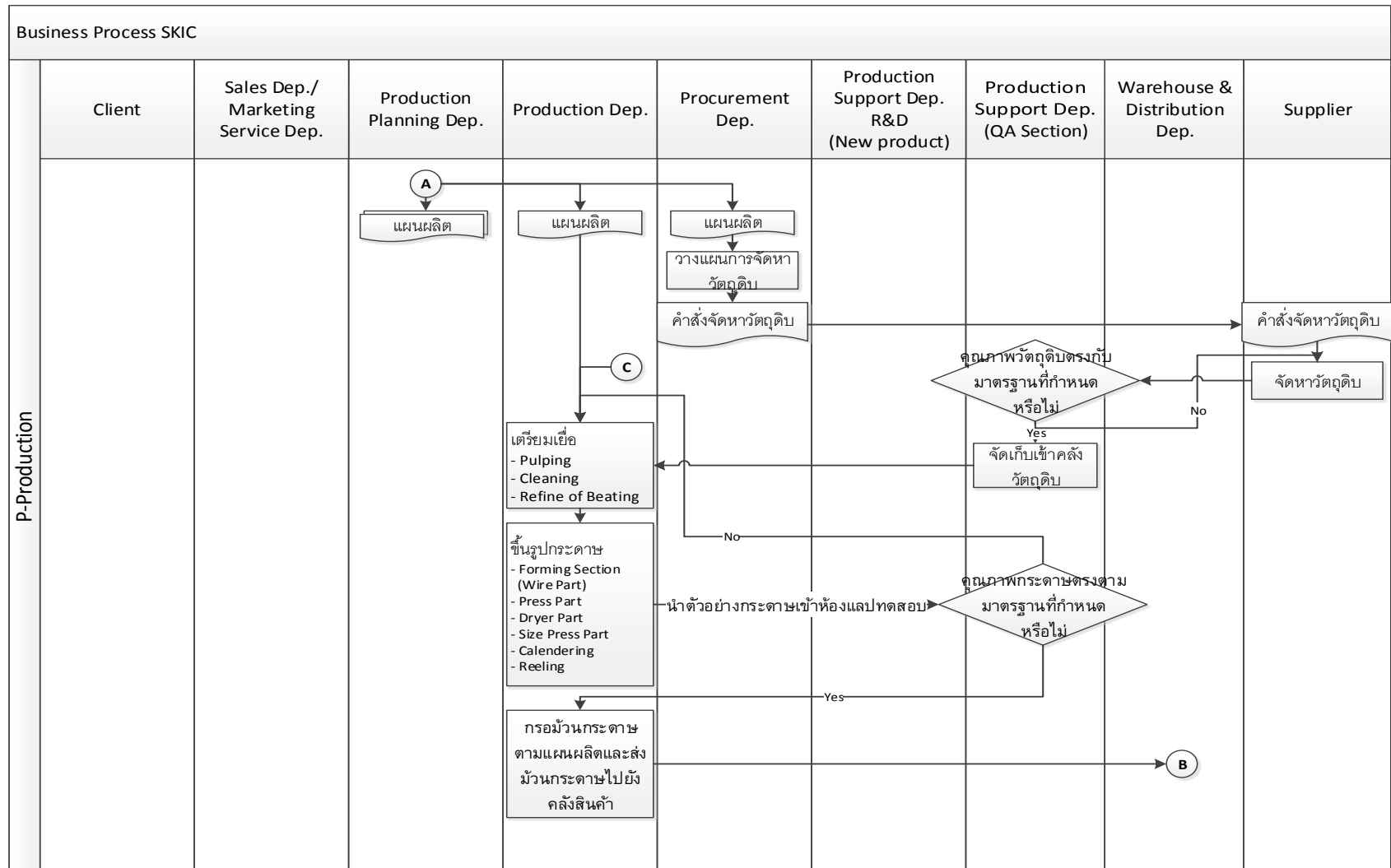
SIPOC model เป็นเพียงแผนภาพแสดงแนวคิดกระบวนการทำงานของบริษัท และความสัมพันธ์ระหว่างบริษัทกับผู้ส่งมอบและลูกค้าในลำดับถัดมาจึงต้องทำความเข้าใจกับกระบวนการทำงานของบริษัทว่ามีกระบวนการทำงานของแต่ละหน่วยงานสัมพันธ์กันอย่างไร ตั้งแต่การรับความต้องการจนกระทั่งผลิตออกมาในรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงได้อยู่ในรูปของแผนภาพกระบวนการทางธุรกิจ (business flow process chart) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 SIPOC model แสดงแนวคิดกระบวนการทำงานของบริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด



รูปที่ 3.11 แผนภาพกระบวนการทางธุรกิจของบริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด



รูปที่ 3.11 แผนภาพกระบวนการทางธุรกิจของบริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด (ต่อ)

3.9.2 ผลผลิตของธุรกิจการศึกษา

ผลผลิตของบริษัทแบ่งออกเป็น 3 ประเภทโดยแบ่งตามคุณลักษณะทางธรรมชาติของตัวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ ผลผลิตประเภทที่สามารถจับต้องได้ มีรูปร่าง (tangible product) หรือ ผลผลิตที่เป็นสินค้า (goods) และผลผลิตประเภทที่ไม่มีรูปร่าง (intangible product) แบ่งออกเป็น 2 ผลผลิต คือ งานบริการ (service) และสารสนเทศที่ใช้สำหรับการตัดสินใจ (information) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.9.2.1 ผลผลิตที่มีรูปร่าง (tangible product) หรือสินค้า (goods)

ผลผลิตของธุรกิจการศึกษาที่มีคุณลักษณะเป็นผลผลิตที่มีรูปร่าง หรือที่เรียกว่าสินค้า ได้แก่ กระดาษประเภทต่างๆของบริษัท

กระดาษเป็นผลผลิตที่ผ่านกระบวนการเพิ่มมูลค่าด้วยการเปลี่ยนรูปร่าง (transformation) หรือเรียกว่าผ่านกระบวนการผลิต (manufacturing process) โดยแนวคิดการทำงานของกระบวนการผลิต คือ การทำให้วัตถุดิบเปลี่ยนรูปร่างไปกลายเป็นผลผลิต กรณีของบริษัท คือ การเปลี่ยนเยื่อให้เป็นกระดาษประเภทต่าง ๆ นั้นเอง โดยกระดาษที่บริษัทธุรกิจศึกษาทำการผลิตมีหลายประเภทด้วยกัน ดังนี้

ก. กราฟท์ ไกลเนอร์ บอร์ด (kraft liner board)

กระดาษสำหรับผลิตกระดาษชั้นนอก และกระดาษชั้นในสำหรับประกอบเป็นกล่องดังรูปที่ 3.12 ได้แก่ กระดาษเกรด KA, TA, KT, KP



รูปที่ 3.12 ผลผลิตกล่องซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทกราฟท์ ไกลเนอร์ บอร์ด

ข. แซ็ค คราฟท์ (sack kraft)

กระดาษสำหรับผลิตเป็นถุงขอปปีงและถุงปูนดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 ได้แก่ กระดาษ WEK, EK, SB



รูปที่ 3.13 ผลิตภัณฑ์ถุงขอปปีงซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทแซ็ค คราฟท์



รูปที่ 3.14 ผลิตภัณฑ์ถุงปูนซึ่งได้มาจากกระดาษประเภทแซ็ค คราฟท์

ค. คอรัวเกเดีท มีเดียม (corrugated medium)

กระดาษลอนลูกคลื่นสำหรับประกอบเป็นชั้นกลางของกล่องดังรูปที่ 3.15 ได้แก่ กระดาษเกรด CA



รูปที่ 3.15 กระดาษลอนลูกคลื่น (กระดาษลูกฟูก) สำหรับประกอบเป็นชั้นกลางของกล่อง

ง. คอรัว เปเปอร์ (core paper)

กระดาษสำหรับทำแกนต่างๆ เช่น แกนด้าย แกนกระดาษ แกนกระดาษทิชชูดังรูปที่ 3.16 ได้แก่ กระดาษเกรด CP, CK, CX, CB



รูปที่ 3.16 กระดาษสำหรับทำแกนต่างๆ

3.9.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรูปร่าง (intangible product)

ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรูปร่าง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มมูลค่าโดยงานทางธุรกรรม (transaction) ซึ่งวัตถุดิบที่สำคัญ คือ ข้อมูล (data) แนวคิดในการทำธุรกรรมข้อมูล คือ การนำข้อมูลมาดำเนินการหรือจัดการให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ผลิตภัณฑ์ คือ งานบริการ (service) และ สารสนเทศ (information) สำหรับใช้ในการตัดสินใจ

ก. ผลิตภัณฑ์ที่เป็นงานบริการ (service)

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่เป็นงานบริการ ได้แก่ การบริการส่งมอบผลิตภัณฑ์ และศูนย์บริการข้อมูลออนไลน์สำหรับลูกค้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก.1 บริการส่งมอบผลิตภัณฑ์ (delivery service)

บริษัทมีนโยบายที่ไม่เพียงแต่จัดส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าเท่านั้น แต่ต้องเป็นการจัดส่งผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งคุณภาพ ทั้งทางด้านคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์เอง รวมไปถึงเวลาในการส่งมอบที่ตรงต่อเวลา และสถานที่ในการส่งมอบต้องถูกต้องครบถ้วนด้วย

ก.2 ศูนย์บริการข้อมูลออนไลน์สำหรับลูกค้า (web-ordering)

บริษัทมีระบบฐานข้อมูลออนไลน์ที่ลูกค้าสามารถสั่งซื้อสินค้าและตรวจสอบสถานะของสินค้าที่ทำการสั่งซื้อได้ตลอด 24 ชั่วโมง

ข. ผลลัพธ์ที่เป็นสารสนเทศสำหรับใช้ตัดสินใจ (information)

บริษัทกรณีสึกษามีการให้บริการด้านข้อมูลเชิงเทคนิคแก่ลูกค้าโดยมีฝ่ายบริการเทคนิคซึ่งมีประสบการณ์มากกว่า 20 ปี เป็นฝ่ายที่ให้ข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้งาน ช่วยตอบปัญหา และให้ข้อมูลการแก้ไขปัญหาเมื่อลูกค้าเกิดปัญหาจากการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน

บริษัทในกรณีสึกษานี้มีผลิตภัณฑ์ครอบคลุมทั้ง 3 ประเภทตามคุณลักษณะทางธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น แต่เนื่องจากการกิจหลักของบริษัท คือ การผลิตกระดาษเพื่อจัดจำหน่าย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท คือ สีน้าหรือกระดาษ ดังนั้นสิ่งที่บริษัทต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก คือ การผลิตกระดาษที่มีคุณภาพ จึงต้องมุ่งเน้นศึกษากระบวนการผลิตกระดาษ เพื่อนำไปสู่วิธีที่ทำให้เกิดคุณภาพเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

3.10 สภาพปัจจุบันของปัญหาในบริษัทกรณีสึกษา

จากประเด็น “**ปัญหาเรื่องต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานคุณภาพ**” เช่น หน่วยงานตรวจสอบคุณภาพ หน่วยงานแก้ไขงาน หรือหน่วยงานทำวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.7 ผู้วิจัยได้ทำการทวนสอบกลับไปยังสภาพปัจจุบันของปัญหาของโรงงานสยามกราฟท์ (วังศาลา) ว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของงานวิจัยได้หรือไม่ โดยจะพิจารณาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของผู้ผลิตกล่องลูกฟูกรวมไปถึงกลุ่มผู้ที่นำกระดาษไปตัดรีม (converting) ซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้าสำคัญว่ามีปัญหาจากกระดาษกราฟท์อะไรบ้างที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของลูกค้ากลุ่มนี้ ซึ่งจากข้อมูลพบว่าปัจจุบันลูกค้ากลุ่มดังกล่าวมีการร้องเรียน (complaint) เกี่ยวกับปัญหาสภาพม้วนกระดาษที่ไม่เรียบร้อยส่งผลต่อการนำไปขึ้นเครื่องผลิตทำให้ต้องทำการตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจะนำขึ้นเครื่องจักรส่งผลให้ set-up time เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตกล่องลูกฟูกหรือกระบวนการตัดรีมจึงต้องการให้โรงงานจัดส่งม้วนกระดาษกราฟท์ที่มีสภาพม้วนเรียบร้อยสามารถนำไปเข้ากระบวนการผลิตต่อได้ทันที เมื่อผู้วิจัยทำการสืบย้อนกลับ (feed backward) มายังโรงงานพบว่าโรงงานต้องมีการจัดตั้งหน่วยงานต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องสภาพม้วนที่ไม่เรียบร้อย โดยผู้วิจัยพบว่าหน่วยงานสุดท้ายก่อนที่ม้วนกระดาษจะถูกจัดส่งให้แก่ลูกค้า คือ หน่วยงานตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่ง ซึ่งทางโรงงานจัดตั้งหน่วยงานดังกล่าวขึ้นเพื่อทำการตรวจสอบม้วนกระดาษและตกแต่งม้วนกระดาษที่พบปัญหาไม่ตรงข้อกำหนดต่างๆ และตกแต่งม้วนกระดาษให้มีสภาพเรียบร้อยเพื่อจัดส่งให้กับลูกค้า ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาด้านต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพและแก้ไขงานเพิ่มขึ้นมา เช่น ต้นทุนจากการจ้างบุคลากรหน้างาน ต้นทุนจากการจัดหาพื้นที่สำหรับตั้งหน่วยงาน ต้นทุนจากการจัดการกับเศษกระดาษที่สูญเสียจากกระบวนการดังกล่าว ฯลฯ ซึ่งปัญหาเหล่านี้สอดคล้องกับปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยตามหัวข้อที่ 3.7 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเข้าไปทำการศึกษาข้อมูลจากหน่วยงานดังกล่าว โดยพบว่าตั้งแต่

เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557 ที่ผ่านมา (โรงงานมีการบูรณะซ่อมแซมเครื่องจักรให้กลับคืนสู่สภาวะปกติตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2556) พบว่าหน่วยงานดังกล่าวมีการตรวจพบข้อบกพร่องของสภาพม้วนกระดาษจนทำให้ต้องมีการกรีดกระดาษทิ้งเพื่อตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งให้ลูกค้าดังรูปที่ 3.17 ซึ่งข้อมูลปริมาณกระดาษที่สูญเสียสามารถจำแนกออกได้ตามประเภทความเสียหายดังตารางที่ 3.15



รูปที่ 3.17 พนักงานกำลังทำการกรีดตกแต่งม้วนกระดาษ

ตารางที่ 3.15 ปริมาณกระดาษที่สูญเสียในกระบวนการตกแต่งม้วนของแผนคลังแยกตามประเภทความเสียหายตั้งแต่เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557

ประเภทความเสียหาย	น้ำหนักเศษกระดาษ (ตัน)						
	ต.ค.-13	พ.ย.-13	ธ.ค.-13	ม.ค.-14	ก.พ.-14	มี.ค.-14	รวม
กรีดต้นนูน	115.199	119.561	56.264	44.597	46.853	62.014	444.029
เกล็ดขน-เกล็ด-กระแทก	0.81	0.606	0.886	0.685	0.882	0.576	4.445
ตั้งเกยกัน (หน้าตัดซ้อนกัน)	0.035	0	0	0	0	0	0.035
เกล็ดรูด (จับไม่อยู่-จับไม่แน่น)	0	0	0	0	0	0	0
เกล็ดเสยหน้าตัด	0.46	0.315	0.472	0.816	0.283	0.244	2.59
เกล็ดขาดข้างม้วน	0	0	0	0	0	0	0
หน้าตัดถูกับพื้น (ยกม้วนไม่พ้นพื้น)	0.266	0.279	0.251	0.572	0.481	0.46	2.309
ล้อเปิดข้างม้วน	0.047	0.037	0.069	0.008	0.089	0.142	0.392
ตั้งทับสิ่งของ (ของแข็ง)	0.02	0	0.02	0.018	0.07	0.348	0.476
ม้วนหล่น	0	0	0	0	0	0	0
ปล่อยเบียดแผงรถบรรทุก	0.016	0.09	0	0.036	0.048	0	0.19
ท้ายรถเบียด	0.112	0.08	0.038	0.015	0.018	0.051	0.314
เปื้อนน้ำมัน	0	0	0	0	0	0	0
อื่น ๆ	0	0	0	0	0	0	0

ข้อมูลจากตารางที่ 3.15 พบว่าปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดประเภทสันนูนเป็นปัญหาที่ทำให้หน่วยงานตกแต่งม้วนกระดาษต้องทำการกรีดกระดาษทิ้งเพื่อตกแต่งม้วนกระดาษมากที่สุดถึง 444.029 ตัน ซึ่งเมื่อผู้วิจัยลงไปทำการสำรวจหน้างานพบว่าความเสียหายดังกล่าวเป็นเป็นปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดที่เกิดจากคุณภาพของกระดาษกราฟท์เอง ในขณะที่ความเสียหายประเภทอื่นๆ เกิดขึ้นจากกระบวนการขนถ่ายม้วนกระดาษระหว่างหน่วยงานมิได้เกี่ยวข้องกับคุณภาพของกระดาษแต่อย่างใด

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบจากสภาพม้วนกระดาษที่เป็นปัญหาสันนูนดังรูปที่ 3.18 ต่อลูกค้าที่นำไปผลิตต่อ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

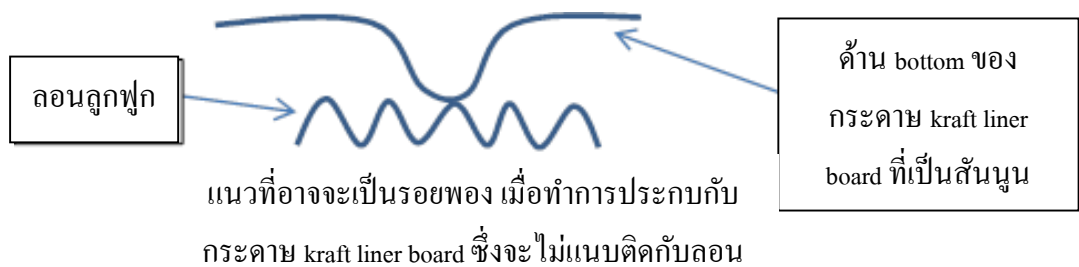


รูปที่ 3.18 สภาพม้วนกระดาษที่พบปัญหาสันนูน

ปัญหาสันนูน มีลักษณะเป็นแถบหรือวงแหวนรอบม้วนกระดาษ บริเวณที่เป็นสันนูนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใหญ่กว่าบริเวณอื่นๆตลอดม้วน ทำให้มีลักษณะคล้ายมีวงแหวนพันอยู่รอบม้วนกระดาษ ดังแสดงใน รูปที่ 3.18 เมื่อใช้นิ้วกดบริเวณแถบสันนูนพบว่ามีลักษณะปูดแข็งเนื่องจากกระดาษที่เกิดเป็นสันนูนทับซ้อนกันหลายชั้นกระดาษ อาจมีแถบเดียวหรือหลายแถบติดกัน เมื่อกรีดผิวนอกออก 5 - 6 ชั้น จะยังพบร่องลึกอยู่ และต้องกรีดกระดาษทิ้งเป็นปริมาณกลายกิโลกรัมจึงจะไม่พบรอยดังกล่าวอีก ซึ่งเมื่อลูกค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกค้าประเภทที่นำไปผลิตต่อ นำกระดาษที่พบปัญหาสันนูนไปทำการผลิตต่อจะส่งผลกระทบทั้งต่อในกระบวนการผลิต และปัญหาเรื่อง appearance ซึ่งสภาพปัญหาลูกค้าที่นำไปผลิตต่อพบมีดังต่อไปนี้

1. ลูกค้ำกลุ่มตัดริม (converting) คือ ลูกค้ำจะนำม้วนกระดาษเข้าสู่เครื่องตัดแผ่นกระดาษให้ได้ตามขนาดที่ลูกค้ำใช้งานและเป็นตั้งกระดาษ ซึ่งปัญหาที่ลูกค้ำพบคือ ม้วนกระดาษเป็นสันนูนสามารถพบเห็นก่อนจะนำขึ้นเครื่องตัดทำให้ลูกค้ำไม่มั่นใจในคุณภาพ และเมื่อกระดาษผ่านกระบวนการตัดเป็นแผ่นแล้วที่ตั้งกระดาษมีลักษณะเป็นคลื่น รัว ไม่เรียบตลอดหน้า ซึ่งทำให้ลูกค้ำไม่สามารถส่งขายให้ยังลูกค้ำถัดไปที่จะทำการแปรรูปเป็นซองเอกสารได้เพราะจะทำซองเอกสารที่ได้ไม่เรียบ ผู้ใช้งานรู้สึกวุ่นวายและมีผลกระทบต่อการจัดจำหน่าย

2. ลูกค้ำที่ผลิตกล่องลูกฟูก ในกระบวนการทำกล่องลูกฟูกจะต้องทำการประกบกระดาษส่วนที่เป็นลอนลูกฟูกกับกระดาษที่ปะผิวหน้า ซึ่งถ้ากระดาษม้วนที่นำไปขึ้นลอน หรือทำผิวปะหน้าดังกล่าวมีปัญหาสันนูนจะทำให้กระดาษไม่ติดกาว เนื่องจากบริเวณที่เป็นสันนูนไม่แนบติดกาว ดังรูปที่ 3.19 และนอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการพิมพ์ ซึ่งแนวรอยสันนูนที่ไม่เรียบจะทำให้พิมพ์ติดสีไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ลักษณะปัญหากระดาษกล่องลูกฟูกไม่ติดกาวจากปัญหากระดาษสันนูน



รูปที่ 3.20 ปัญหากระดาษสันนูนที่ส่งผลกระทบต่องานพิมพ์

จากผลกระทบที่เกิดจากปัญหาสันนูนที่ลูกค้ำพบบนม้วนกระดาษ ทำให้ลูกค้ำต้องทำการกรีดกระดาษ ส่วนที่พบสันนูนทิ้งก่อนเข้ากระบวนการผลิต ทำให้สูญเสียเวลา set-up time เพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อ productivity ต่ำลง รวมไปถึงเกิด yield loss อีกด้วย ดังนั้นลูกค้ำจึงร้องเรียนให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างเร่งด่วน

อย่างไรก็ตามปัญหาสันนูนที่พบเป็นเพียงข้อที่ลูกค้ำและกลุ่มบริษัทใช้เรียกในทางการค้าเท่านั้น ซึ่งอาจไม่ตรงกับชื่อปัญหาในเชิงวิศวกรรม ในหัวข้อต่อไปนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาถึงลักษณะอาการของปัญหาสันนูนที่ลูกค้ำพบแล้วทำการให้คำจำกัดความให้ตรงกับชื่อปัญหาทางวิศวกรรม

จากสภาพเบื้องต้นของปัญหาสันนูนที่พบที่ลูกค้ำ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสภาพปัญหาซึ่งอ้างอิงจากหนังสือ TAPPI – Roll AND WEB DEFECT TERMINOLOGY [66] แล้วพบว่าสันนูนที่ลูกค้ำพบนั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหา 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ ridges และ moisture welts ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ridges คือ ปัญหาที่มีลักษณะแถบ หรือเป็นวงแหวนที่นูนขึ้นรอบๆม้วนกระดาษ ที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของกระดาษ และสามารถพบปัญหาได้ในระหว่างกระบวนการผลิต



รูปที่ 3.21 ก. ridges จากหนังสือ TAPPI และ ข. ridges ที่พบในกระบวนการผลิตกระดาษ [66]

สาเหตุเบื้องต้นของปัญหา ridges ได้แก่

A. ความหนาไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตามแนวขวางเครื่องผลิตกระดาษ (CD direction) ซึ่งอาจเกิดได้จาก น้ำหนักกระดาษ (basis weight), ระบบอบแห้ง (drying) และ ระบบขัดเรียบกระดาษ (calendering) โดยมีรายละเอียดดังนี้

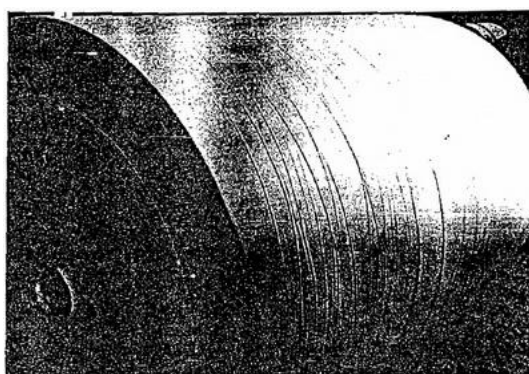
I. non-uniform head box flow.

II. ridge wire or crowded wire.

- III. plugged felt or suction roll.
- IV. damaged or filled dryer felt.
- V. coat weight variations.
- VI. build-up on calender rolls.
- VII. worn calender rolls.

B. การกรอแบ่งม้วนมีความแน่นม้วนมากเกินไปในบริเวณที่เป็นปัญหาดังกล่าว

2. moisture welts คือ ปัญหาที่มีลักษณะแถบหรือเป็นรอยตะเข็บ ที่นูนขึ้นรอบๆม้วนกระดาษซึ่งจะเกิดที่ด้านนอกของม้วนกระดาษ โดยเป็นกระบวนการที่เกิดจากการดูดซับความชื้น หรือคายความชื้น ที่ไม่สม่ำเสมอ โดยพบมากที่กระดาษที่ไม่เคลือบ-แห้ง หรือกระดาษเกรดบางๆ และจะไม่พบปัญหาเมื่อมีการตัดกระดาษออกเป็นแผ่นๆจากม้วนกระดาษ และจะเกิดปัญหาเมื่อมีการตั้งม้วนกระดาษทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 3.22 ก. moisture welts จากหนังสือ TAPPI และ ข. moisture welts ที่พบในม้วนกระดาษ [66]

สาเหตุเบื้องต้นของปัญหา moisture welts ได้แก่

- A. ม้วนกระดาษมีความแห้งเกินไป
- B. ม้วนกระดาษมีความแห้งกว่า สมดุลความชื้น (moisture equilibrium) ของสถานะที่กองเก็บ
- C. เมื่อความชื้นของสถานะในพื้นที่การกองเก็บสูงขึ้นจากฤดูหรือภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป

จากการของความไม่ตรงข้อกำหนดผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาถึงอาการปัญหาที่หน้างานจริง ของจริง และพบว่ามึลักษณะดังนี้

1. ไม่สามารถตรวจพบปัญหาได้ในระหว่างกระบวนการผลิต แต่จะตรวจพบปัญหาสันนูนได้เมื่อเก็บไว้ในคลังสินค้าในระยะเวลาหนึ่ง ดังรูปที่ 3.23 และ 3.24
2. เกิดที่บริเวณผิวด้านนอกของม้วนกระดาษ ซึ่งจะมีความลึกมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาการกองเก็บ โดยความลึกของการเกิดสามารถวัดได้จากปริมาณน้ำหนักระดาษที่ถูกกรีดทิ้งซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

จากลักษณะของปัญหาที่ตรวจสอบ พบว่าปัญหากระดาษไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะเรื่องสันนูนนั้น มีคุณลักษณะตรงตามลักษณะของ moisture welts ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้จะนิยามปัญหาสันนูนของบริษัทกรณีศึกษา คือ ปัญหา moisture welts ในทางวิศวกรรม แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะยังคงเรียกปัญหาดังกล่าวว่าปัญหาสันนูนเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการเรียกชื่อปัญหาทางธุรกิจ



รูปที่ 3.23 ภาพผิวกระดาษปกติของม้วนกระดาษเมื่อตั้งทิ้งไว้ในคลัง



รูปที่ 3.24 การเกิดสันนูนบริเวณผิวกระดาษเมื่อตั้งทิ้งไว้ในคลังเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง

จากข้อมูลในเบื้องต้นเมื่อโรงงานกรณีศึกษาทราบว่าสาเหตุเบื้องต้นของปัญหาสันนูนเกิดจากกระดาษ มีการดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อม โรงงานจึงมีการห่อหุ้มพลาสติก (wrapping) ม้วนกระดาษก่อนจัดส่งให้ลูกค้าแล้วในเบื้องต้น แต่การแก้ไขปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

ของลูกค้า เพราะลูกค้าจะต้องเสียเวลาในการแกะห่อพลาสติกก่อนเข้ากระบวนการผลิตทำให้ set-up time เพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วในกรณีที่ลูกค้าใช้กระดาษไม่หมดม้วน เนื่องจากกระบวนการผลิตของลูกค้าเป็นแบบ job-shop production ลูกค้าจะผลิตตามคำสั่งซื้อ ทำให้ลูกค้าต้องเสียเวลาในการห่อพลาสติกให้กับม้วนกระดาษที่เหลือเพื่อเก็บรักษากระดาษอีกด้วย ทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ และร้องเรียนกลับมาที่โรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษาจึงทำได้เพียงแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า (correction) ด้วยการเพิ่มกระบวนการตกแต่งม้วนกระดาษเพื่อกรีดม้วนกระดาษส่วนที่เป็นปัญหาสันนูนก่อนส่งม้วนกระดาษให้ลูกค้าเท่านั้น

จากประเด็นปัญหาเรื่องสันนูนของบริษัทรณีศึกษาที่พบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลูกค้าของโรงงานกรณีศึกษาได้รับผลกระทบจากความเสียหายของม้วนกระดาษ เพราะทำให้ต้องเพิ่มเวลาในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร ส่งผลต่อ productivity และเกิด yield loss ทำให้ลูกค้าร้องเรียนกลับมายังโรงงานกรณีศึกษาให้แก้ไขปัญหาดังกล่าว
2. โรงงานกรณีศึกษาต้องดำเนินการจัดตั้งหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งให้กับลูกค้า ซึ่งปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานคุณภาพสอดคล้องกับปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทย ซึ่งหลังจากการคืนสภาพเครื่องจักรให้อยู่ในสภาวะปกติ ตั้งแต่เดือน ต.ค. 56 – มี.ค. 57 ที่ผ่านมามีพบว่าปัญหาสันนูนเป็นปัญหาที่ทางโรงงานพบและทำการกรีดทิ้งมากที่สุดถึง 444.029 ตัน
3. ปัญหาสันนูนเป็นปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดที่เกิดจากคุณภาพของกระดาษกราฟที่เองมิได้เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการขนส่ง มีชื่อทางวิศวกรรมว่า moisture welts มีสาเหตุมาจากการดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อมซึ่งในเบื้องต้นทางโรงงานแก้ไขด้วยการห่อพลาสติกให้กับม้วนกระดาษ แต่วิธีดังกล่าวส่งผลกระทบต่อลูกค้าที่นำกระดาษไปเข้ากระบวนการผลิตต่อ ลูกค้าจึงไม่ต้องการให้ห่อม้วนกระดาษ
4. ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาทำได้เพียงแก้ไขปัญหเฉพาะหน้าโดยการเพิ่มหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งเท่านั้น

จากประเด็นนี้เองพบว่า ปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดของกระดาษประเภทสันนูนส่งผลกระทบทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องเพิ่มต้นทุนในการจัดการด้านคุณภาพโดยการเพิ่มหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วน นอกจากนี้แล้วยังส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการแข่งขันของโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของลูกค้า อาจทำให้ลูกค้าหันไปใช้กระดาษจากผู้ผลิตอื่น

ได้ในอนาคต ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัญหาที่โรงงานกรณีศึกษาได้รับผลกระทบเป็นปัญหาเดียวกับปัญหาที่ผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในไทยกำลังเผชิญอยู่ นั่นคือ **ปัญหาเรื่องต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่ง** ซึ่งส่งผลกระทบต่อศักยภาพการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษคราฟท์ในไทยมากที่สุด

3.10.1 สภาพปัจจุบันของปัญหากระดาษสันนูนจากหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่ง

เนื่องจากกระดาษที่พบปัญหาสันนูนมีหลายชนิดและหลายค่าแกรมเมต (grammage ;g/m²) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาสันนูนได้มากน้อยไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทำการจำแนกข้อมูลกระดาษที่พบปัญหาสันนูนตามชนิดของกระดาษ ซึ่งข้อมูลมูลค่าและน้ำหนักของกระดาษที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากปัญหาสันนูน ในช่วงเดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557 จำแนกตามชนิดของกระดาษมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.16 โดยน้ำหนักกระดาษที่สูญเสียไป จากข้อมูลพบว่าในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมาทางบริษัทกรณีศึกษาต้องสูญเสียกระดาษเนื่องจากต้องกรีดทิ้งเพราะพบปัญหาสันนูน จำนวน 444.029 ตัน

ตารางที่ 3.16 มูลค่า/จำนวนม้วนและน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดทิ้งจากปัญหาสันนูนตามชนิดกระดาษ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557

ชนิดกระดาษ	ปริมาณการกรีดสันนูน				ปริมาณการขายรวม	
	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนม้วนที่ถูกกรีด (ม้วน)	น้ำหนักม้วนที่ถูกกรีด (ตัน)	น้ำหนักเศษกระดาษ (ตัน)	จำนวนม้วนที่ขาย (ม้วน)	น้ำหนักกระดาษ (ตัน)
TA-2	2,438,053.57	3,031	4,683.67	150.618	21,262	25,738.90
KA	1,271,849.28	1,851	2,722.00	73.751	29,698	43,148.56
CA-1	782,327.52	1,510	1,520.10	61.893	28,181	33,989.96
TR	722,756.65	1,138	1,175.26	55.507	6,433	6,905.29
SB	471,613.71	1,079	780.729	37.832	3,709	2,754.50
KT-1	274,634.30	578	727.95	21.048	15,908	26,476.74
KT-2	200,117.18	444	1,009.42	15.337	24,945	45,387.98
KI	105,973.88	234	235.285	5.842	896	922.858
อื่นๆ	300,892.03	469	618.838	22.201	12,682	16,154.424
รวม	6,568,218.12	10,334	13,473.25	444.029	143,714	201,479.21

หมายเหตุ KT-1 คือ กระจายเกรด TA ที่ผลิตจากส่วนผลิต 1
KT-2 คือ กระจายเกรด TA ที่ผลิตจากส่วนผลิต 2

ข้อมูลจากตารางที่ 3.16 แสดงให้เห็นว่ากระจายเกรด TA-2 (กระจายสำหรับปะผิวปะกล่องถูกฟูกซึ่งผลิตจากส่วนผลิต 2) มีมูลค่าการสูญเสียสูงสุด คือ 2,438,053.57 บาท คิดจากน้ำหนักเศษกระจายที่ถูกกรีดออกมาทั้งสิ้น 150.618 ตัน ซึ่งมาจากการกรีดม้วนกระจายรวมทั้งสิ้นจำนวน 3,031 ม้วน จากจำนวนม้วนที่ขายทั้งสิ้น 21,262 ม้วน อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมิได้พิจารณาจากปริมาณที่กรีดสูงสุดเพียงอย่างเดียว เพราะตัวเลขดังกล่าวอาจเกิดจากปริมาณการขายที่มากกว่ากระจายเกรดอื่นๆ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมของข้อมูล ผู้วิจัยจึงทำการคำนวณปริมาณน้ำหนักเศษกระจายจากการกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระจายที่ขายในแต่ละเกรด และนำค่าดังกล่าวไปคูณค่าสัดส่วนน้ำหนักการขายของกระจายเกรดนั้นๆดังตารางที่ 3.17 เพื่อพิจารณาเลือกกระจายเกรดที่มีสัดส่วนการกรีดสันนูนสูงสุดและมีสัดส่วนปริมาณการขายสูงสุดเพื่อมาเป็นตัวแทนสำหรับการศึกษาปัญหาวิจัยนี้

ตารางที่ 3.17 ค่าคำนวณปริมาณน้ำหนักเศษกระจายจากการกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระจายที่ขายในแต่ละเกรด * สัดส่วนน้ำหนักกระจายที่ขายแต่ละเกรด

ชนิดกระจาย	สัดส่วนน้ำหนักที่ขายในแต่ละเกรด(A)	สัดส่วนน้ำหนักเศษกระจาย/ น้ำหนักที่ขายแต่ละเกรด (B)	(A) * (B)
TA-2	0.13	0.0058518	0.0007607
KA	0.21	0.0017092	0.0003589
CA-1	0.17	0.0018209	0.0003096
TR	0.03	0.0080383	0.0002411
SB	0.01	0.0137346	0.0001373
KT-1	0.13	0.000795	0.0001033
KT-2	0.23	0.0003379	7.772E-05
KI	0.01	0.0063303	6.33E-05
อื่นๆ	0.08	0.0013743	0.0001099

จากข้อมูลในตารางที่ 3.17 จะเห็นได้ว่ากระจายเกรด TA-2 มีสัดส่วนการขายคิดเป็นร้อยละ 13 ของปริมาณการขายทั้งหมด (ตัน) และถูกกรีดทิ้งเป็นน้ำหนักเศษกระจายที่เทียบกับน้ำหนักที่ขายร้อยละ

0.58518 เมื่อนำค่าดังกล่าวคูณเข้ากับสัดส่วนการขาย (สัดส่วนการขาย คือ โอกาสที่จะขายกระดาดเกรดนั้นๆ และสัดส่วนน้ำหนักเศษกระดาดที่กริดในแต่ละเกรด คือ โอกาสที่จะพบกระดาดที่เป็นสันนูนต่อม้วน) คือ $0.0058518 \times 0.13 = 0.0007607$ ได้ค่าสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกระดาดเกรดดังกล่าวเป็นตัวแทนของการศึกษาปัญหากระดาดเป็นสันนูนในงานวิจัยนี้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัญหาธุรกิจของบริษัทกรณีศึกษา คือ ปัญหาการสูญเสียกระดาดในกระบวนการตกแต่งม้วนกระดาดก่อนจัดส่งเนื่องจากปัญหาไม่ตรงต่อข้อกำหนดประเภทสันนูน ซึ่งส่งผลให้เกิดต้นทุนเพิ่มสูงขึ้นซึ่งลดศักยภาพในการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาดกราฟท์ โดยสัดส่วนของกระดาดที่ถูกกริดทิ้งเนื่องจากพบสันนูนเทียบกับปริมาณกระดาดที่ขายทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเท่ากับ $444.029 \text{ ตัน} / 201,479.21 \text{ ตัน} = 0.00220384525$ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.2204 ของน้ำหนักกระดาดที่ขายทั้งหมด

3.11 การกำหนดหัวข้อสำหรับงานวิจัย

จากการทำความเข้าใจกับปัญหาดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.10 พบว่าในปัจจุบันบริษัทกำลังประสบปัญหาคุณภาพกระดาด และเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนกตกแต่งม้วนกระดาดก่อนส่งขายพบว่าปัญหาด้านคุณภาพกระดาดทำให้สูญเสียกระดาดจากกระบวนการกริดกระดาดเพื่อตกแต่งม้วนเนื่องจากพบปัญหากระดาดไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสันนูนมากที่สุด โดยพบว่าค่าสัดส่วนจำนวนม้วนกระดาดที่ถูกนำมากริดเทียบกับจำนวนม้วนที่ขายในแต่ละเกรดกระดาดคูณกับค่าสัดส่วนจำนวนม้วนที่ขายแยกตามเกรดกระดาดของเกรด TA มีค่าสูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกกระดาดเกรดดังกล่าวเป็นตัวแทนของการศึกษาปัญหาดังกล่าว และเมื่อนำข้อมูลปริมาณเศษกระดาดที่ถูกกริดทิ้งมาวิเคราะห์แยกตามชนิดกระดาดตามตารางที่ 3.18 แล้วพบว่าน้ำหนักกระดาดที่ถูกกริดทิ้งรวมทุกๆ เกรดในช่วงเดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557 ที่ผ่านมานั้นมีจำนวนทั้งสิ้น 444.029 ตัน ซึ่งกระดาดเกรด TA ถูกกริดทิ้งจากปัญหาสันนูนทั้งสิ้น 150.618 ตัน คิดเป็นสัดส่วน 0.032158 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ของน้ำหนักม้วนที่ถูกกริด หรือกล่าวได้ว่าหากกระดาด 1 ม้วนหนัก 1,000 กิโลกรัม จะถูกกริดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูน 32.158 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาเฉพาะกระดาดเกรด TA พบว่ากระดาดเกรดดังกล่าวที่ขายมีด้วยกันหลายเกรด ได้แก่ TA125, TA150, TA185 และ TA230 g/m² ซึ่งแต่ละเกรดมีปริมาณการขายและปริมาณการกริดแตกต่างกันรายละเอียดตามตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.18 ปริมาณน้ำนักเศษกระดาศที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูนแยกตามเกรด
กระดาศ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557

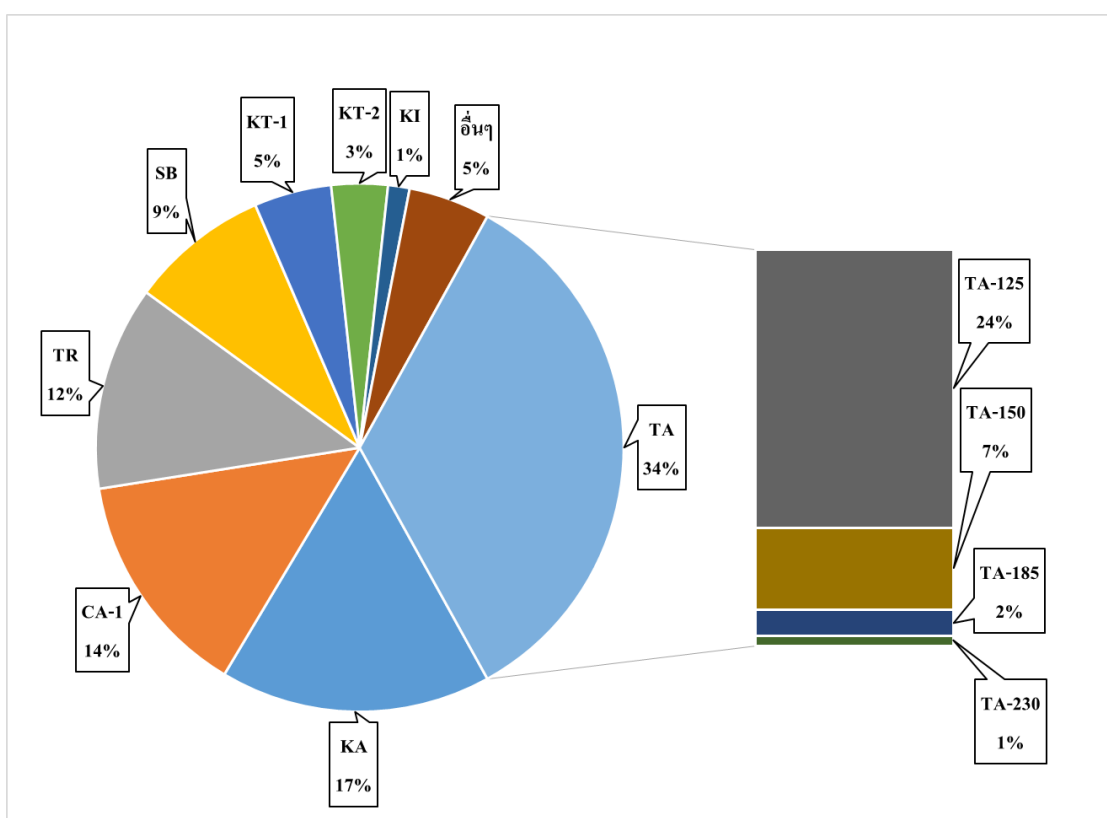
ชนิด กระดาศ	น้ำนักเศษ กระดาศ (ตัน)	น้ำนักม้วนที่ ถูกกรีด (ตัน)	สัดส่วนน้ำนักกระดาศที่กรีด สันนูนแต่ละเกรดเทียบกับ ปริมาณกระดาศที่ถูกกรีดสัน นูนรวมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	สัดส่วนน้ำนักกระดาศที่กรีด สันนูนเทียบกับน้ำนักม้วนที่ ถูกกรีดแต่ละเกรด (ตัน/น้ำนักม้วน 1 ตัน)
TA-2	150.618	4,683.67	33.92	0.032158
KA	73.751	2,722.00	16.61	0.027094
CA-1	61.893	1,520.10	13.94	0.040716
TR	55.507	1,175.26	12.50	0.047229
SB	37.832	780.729	8.52	0.048457
KT-1	21.048	727.95	4.74	0.028914
KT-2	15.337	1,009.42	3.45	0.015194
KI	5.842	235.285	1.32	0.024829
อื่นๆ	22.201	618.838	5.00	0.035875
รวม	444.029	13,473.25	100	0.032956

ตารางที่ 3.19 ปริมาณน้ำนักเศษกระดาศเกรด TA ที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูนแยกตาม
แกรมกระดาศ เดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557

ชนิด กระดาศ	น้ำนักเศษ กระดาศ (ตัน)	น้ำนักม้วน ที่ถูกกรีด (ตัน)	สัดส่วนน้ำนัก กระดาศ TA แต่ละ แกรมที่กรีดสันนูน เทียบกับปริมาณเศษ กระดาศรวมทุก แกรมในเกรด TA (เปอร์เซ็นต์)	สัดส่วนน้ำนัก กระดาศ TA แต่ละ แกรมที่กรีดสันนูน เทียบกับปริมาณ เศษกระดาศรวม ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	สัดส่วนน้ำนัก กระดาศที่กรีด สันนูนเทียบกับ น้ำนักม้วนที่ถูก กรีดแต่ละแกรม (ตัน/น้ำนัก ม้วน 1 ตัน)
TA-125	105.756	2757.063	70.21	23.82	0.038358
TA-150	31.155	1270.674	20.68	7.02	0.024518
TA-185	9.869	391.695	6.55	2.22	0.025196
TA-230	3.838	264.24	2.55	0.86	0.014525
รวม	150.618	4,683.672	100	33.92	0.032158

จากข้อมูลในตารางที่ 3.19 พบว่ากระดาด TA แกรม 125 g/m² ซึ่งเป็นกระดาดแกรมบางที่สุดในการติดตั้งแล้วมีปริมาณการกรีดสูงสุด คือ 105.756 ต้น คิดเป็นร้อยละ 70.21 ของน้ำหนักระดาดที่ถูกกรีดทั้งเฉพาะในกระดาด TA ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 23.82 ของน้ำหนักระดาดที่ถูกกรีดทั้งหมด และคิดเป็นสัดส่วนน้ำหนักระดาดที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักรวมเท่ากับ 0.03835 ต้น/น้ำหนักรวม 1 ต้น หรือกล่าวได้ว่าหากกระดาด 1 ม้วนหนัก 1,000 กิโลกรัม จะถูกกรีดทั้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูน 38.358 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบสัดส่วนของกระดาดที่ถูกกรีดจากปัญหาสันนูนกับน้ำหนักรวมทั้งหมดแล้วจะมีค่าเท่ากับ 105.756 ต้น / 201,479.21 ต้น = 0.0005248 หรือคิดเป็นร้อยละ 0.0525 ของน้ำหนักระดาดที่ขายทั้งหมด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงสัดส่วนความไม่ตรงต่อข้อกำหนดเฉพาะประเภทสันนูน โดยมุ่งที่กระดาดสำหรับปะผิวนอกกระดาด TA ค่าแกรมเมต 125 g/m² เท่านั้น เนื่องจากกระดาดเกรดดังกล่าวเป็นกระดาดแกรมบางซึ่งมีโอกาสพบปัญหาสันนูนมากกว่าเกรดอื่นๆ เนื่องจากสามารถดูดความชื้นเข้ามาในโครงสร้างได้ง่ายที่สุด

ดังนั้นจึงทำการสรุปหัวข้อปัญหาของโครงการวิจัย คือ การลดสัดส่วนการกรีดกระดาดทั้งเนื่องจากปัญหาสันนูนของกระดาดเกรด TA125 g/m²



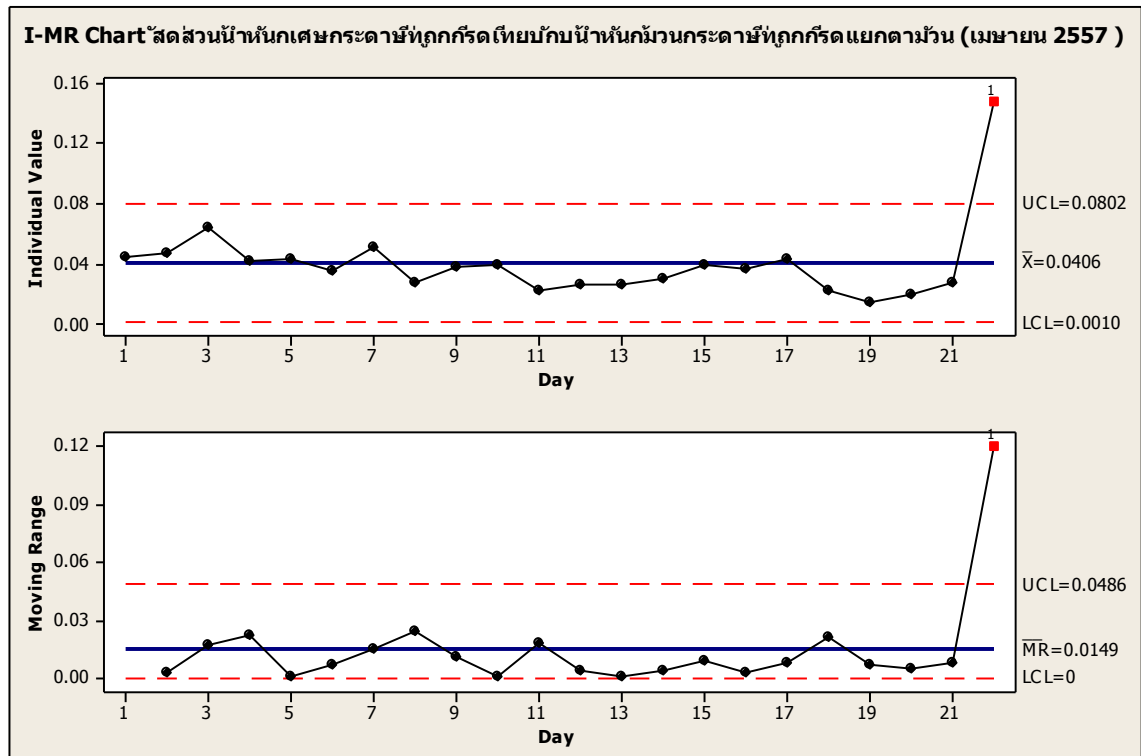
รูปที่ 3.25 สัดส่วนของน้ำหนักระดาดที่ถูกกรีดทั้งจากปัญหาสันนูนแยกตามเกรดกระดาด

3.11.1 การทวนสอบสภาพปัจจุบันของปัญหากระดาชเป็นสัณฐานของกระดาช TA125

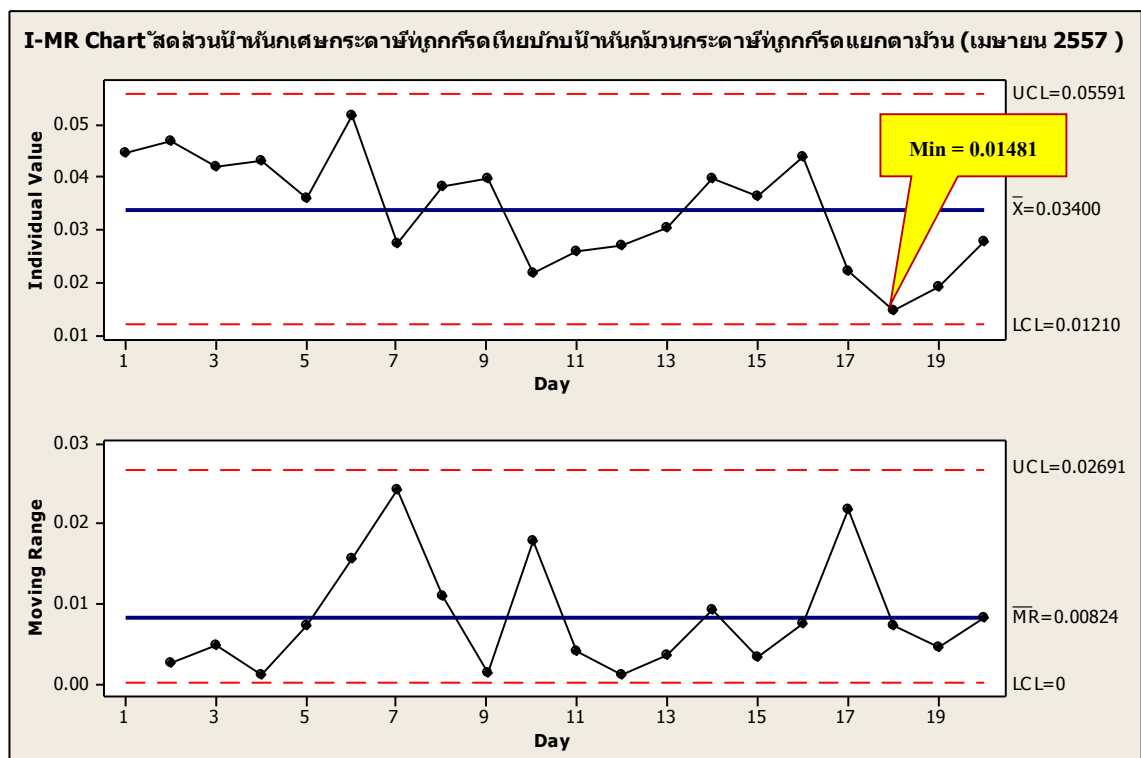
ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลน้ำหนักกระดาชที่ถูกกริดออกเนื่องจากพบปัญหาสัณฐานเทียบกับน้ำหนักกระดาชของม้วนกระดาชที่ถูกนำมากริด ในเกรด TA125 g/m² แยกตามวันที่กริดในเดือนเมษายน 2557 ที่ผ่านมาเป็นเวลา 23 วัน เนื่องจากปัจจัยเรื่องความชื้นในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน อาจเป็นเหตุที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดสัณฐานในม้วนกระดาช ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.20 จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บได้มาทำการยืนยันความปกติของข้อมูลผ่านแผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 3.26

ตารางที่ 3.20 สัดส่วนน้ำหนักกระดาชที่ถูกกริดสัณฐานเทียบกับน้ำหนักม้วนแยกตามวันที่กริด

วันที่กริด	น้ำหนักกระดาชที่กริดสัณ ฐาน (ตัน)	น้ำหนักม้วนที่ถูก กริดสัณฐาน (ตัน)	สัดส่วนน้ำหนักกระดาชที่กริดสัณฐานเทียบ กับน้ำหนักม้วน (ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน)
1/4/2014	0.853	19.161	0.0445175
2/4/2014	1.393	29.632	0.04701
3/4/2014	0.333	5.139	0.0647986
4/4/2014	0.749	17.742	0.0422162
5/4/2014	0.737	17.053	0.0432182
7/4/2014	0.231	6.408	0.0360487
8/4/2014	1.775	34.254	0.0518188
9/4/2014	0.293	10.645	0.0275247
10/4/2014	0.102	2.649	0.0385051
16/4/2014	0.204	5.121	0.039836
17/4/2014	0.163	7.428	0.021944
18/4/2014	0.157	6.046	0.0259676
19/4/2014	0.241	8.942	0.0269515
21/4/2014	0.152	4.987	0.0304792
22/4/2014	0.515	12.986	0.0396581
23/4/2014	0.675	18.571	0.036347
24/4/2014	0.088	2	0.044
25/4/2014	0.11	4.956	0.0221953
26/4/2014	0.081	5.47	0.014808
28/4/2014	0.087	4.498	0.0193419
29/4/2014	0.129	4.658	0.0276943
30/4/2014	0.249	1.68	0.1482143



รูปที่ 3.26 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยสัดส่วนน้ำหนักกระดาศ์ที่กรัดสันนูนต่อน้ำหนักมวลของกระดาศ์
ในเดือนเมษายน 2557 (หน่วย ; ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน)



รูปที่ 3.27 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยสัดส่วนน้ำหนักกระดาศ์ที่กรัดสันนูนต่อน้ำหนักมวลของกระดาศ์
เมื่อตัดข้อมูลวันที่ 30 เม.ย. 57 ออก (หน่วย ; ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน)

จากรูปที่ 3.26 พิจารณา MR-chart แล้วพบว่าข้อมูลของวันที่ 30/04/2014 ออกนอกพิสัยควบคุม จึงต้องดำเนินการตัดข้อมูลออกก่อนแล้วจึงวิเคราะห์ต่อซึ่งเมื่อทำการตัดข้อมูลดังกล่าวออกจะเป็นดังรูปที่ 3.27 ซึ่งสามารถตีความได้ดังนี้

1. พิจารณา MR-chart แล้วพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวดีภายใต้พิสัยควบคุม แปลความว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอ
2. พิจารณา I-chart แล้วไม่พบค่าที่ออกนอกพิสัยควบคุม แปลความว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมโดยมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่กรีดสั้นนูนต่อน้ำหนักม้วนกระดาษอยู่ที่ 0.0340 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งหมายความว่ากระดาษจะถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสั้นนูนประมาณ 34 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วนกระดาษ 1 ตัน

จากการสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหาผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสั้นนูนจากหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งของโรงงานกรณีศึกษามีรายละเอียดสรุปได้ดังนี้

1. ในช่วงเดือน ตุลาคม 2556-มีนาคม 2557 ที่ผ่านมามีบริษัทกรณีศึกษาทำการขายกระดาษเกรดที่ศึกษารวมทั้งสิ้น 143,741 ม้วน คิดเป็น 201,479.21 ตัน แต่พบว่าม้วนกระดาษจำนวนทั้งสิ้น 10,334 ม้วน พบปัญหาผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสั้นนูน จึงต้องทำการกรีดกระดาษทิ้งเพื่อตกแต่งม้วนก่อนส่งขายซึ่งกระดาษที่ถูกกรีดทิ้งคิดเป็นน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 444.029 ตัน หรือคิดเป็น 0.032956 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ของน้ำหนักม้วนกระดาษที่ถูกนำมากรีด และคิดเป็นร้อยละ 0.2204 ของน้ำหนักกระดาษที่ขายทั้งหมด
2. กระดาษสำหรับทำผิวปะก่องลูกฟูก (kraft liner board) เกรด TA มีสัดส่วนการขายคิดเป็นร้อยละ 13 ของน้ำหนักที่ขายทั้งหมด (ตัน) และถูกกรีดทิ้งเป็นน้ำหนักเศษกระดาษที่เทียบกับน้ำหนักที่ขายร้อยละ 0.58518 เมื่อนำค่า 2 ค่า นี้คูณกันพบว่ามีค่าสูงที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกกระดาษเกรดดังกล่าวมาเป็นตัวแทนในกรณีศึกษา
3. กระดาษเกรด TA มีขนาดค่าแกรมแตกต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 125, 150, 185 และ 230 g/m^2 มีปริมาณการกรีดในช่วงเดือน ตุลาคม 2556-มีนาคม 2557 รวมทั้งสิ้น 150.6189 ตัน คิดเป็นสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสั้นนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาษที่กรีด 0.032158 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งในแกรม 125 g/m^2 มีปริมาณการกรีดสูงสุด คือ 105.756 ตัน คิดเป็นสัดส่วน 0.038358 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน และคิดเป็นร้อยละ 0.0525 ของปริมาณน้ำหนักกระดาษที่ขายทั้งหมด เนื่องจากกระดาษเกรด TA125 g/m^2 นี้เป็นกระดาษ TA มีแกรมบางที่สุด ซึ่งปัจจัยเรื่องความหนาของกระดาษอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูด/คายความชื้นและจะส่งผลต่อการเกิดสั้นนูนตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.10.1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาเฉพาะกระดาษเกรด TA125 g/m^2 สำหรับงานวิจัย

4. สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดออกเนื่องจากพบปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศของม้วนกระดาศที่ถูกนำมากรีด ในเกรด TA125 g/m² ในช่วงเดือนเมษายน 2557 ที่ผ่านมามีค่าเฉลี่ย 0.0340 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน หมายความว่าหากกระดาศ 1 ม้วนมีน้ำหนัก 1 ตัน จะพบปัญหาสันนูนและต้องทำการกรีดทิ้งเพื่อตกแต่งม้วน 34 กิโลกรัม

3.12 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดในโครงการวิจัย

เมื่อพิจารณาจาก I-MR chart ในรูปที่ 3.27 จะพบว่าค่าสัดส่วนน้ำหนักเศษกระดาศเกรด TA125 g/m² ที่ถูกกรีดเนื่องจากปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาศที่นำมากรีดที่ต่ำที่สุดที่บริษัทกรณีศึกษาเคยทำได้มีค่าเท่ากับ 0.01481 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ค่าดังกล่าวเป็นเป้าหมายของโครงการวิจัย โดยจากรายละเอียดของปัญหารูทริกในหัวข้อที่ 3.10 และข้อมูลจากกระบวนการตกแต่งม้วนกระดาศซึ่งเป็นจุดที่ตรวจพบปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดเรื่องสันนูนตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.11 โครงการวิจัยนี้สามารถกำหนดเป้าหมายตัวชี้วัดระดับธุรกิจจากนโยบายของทางบริษัทซึ่งต้องการยุบหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาศก่อนจัดส่งให้ลูกค้า ซึ่งสามารถแปรนโยบายดังกล่าวในเชิงการแก้ปัญหาได้ว่าบริษัทต้องการให้สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดเทียบกับน้ำหนักที่ขายเท่ากับ 0 แต่ในปัจจุบันพบว่าในช่วงเดือนตุลาคม 2556 – มีนาคม 2557 ที่ผ่านมา สัดส่วนดังกล่าวของกระดาศทุกๆประเภทมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.2204 ของปริมาณน้ำหนักที่ขายทั้งหมด ดังนั้นตัวชี้วัดระดับธุรกิจของโครงการวิจัยนี้ คือ ค่าร้อยละของน้ำหนักเศษกระดาศที่ถูกกรีดเนื่องจากปัญหาไม่ตรงต่อข้อกำหนดประเภทสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด และผู้วิจัยสามารถกำหนดเป้าหมายตัวชี้วัดโครงการวิจัยผ่านการแปรนโยบายของบริษัทได้โดยมีรายละเอียด ดังนี้

จากร้อยละของน้ำหนักเศษกระดาศที่ถูกกรีดทิ้งเนื่องจากพบปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด เท่ากับ

$$\frac{\text{น้ำหนักกระดาศที่กรีดสันนูนทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด}} * 100\% = \frac{444.029 \text{ ตัน}}{201,479.21 \text{ ตัน}} * 100\% = 0.2204 \%$$

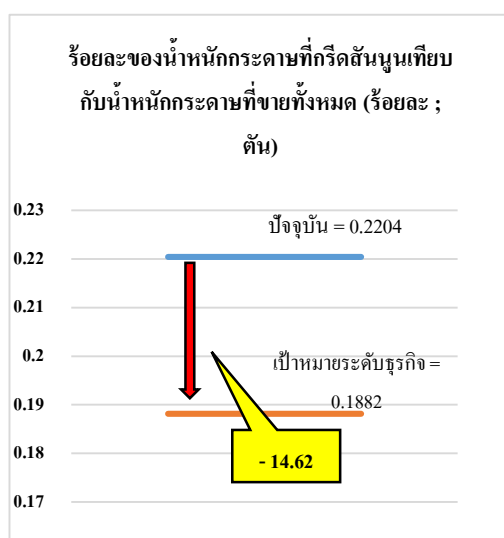
จากแผนภูมิ I-MR chart ในรูป 3.27 พบว่าหากสามารถลดสัดส่วนน้ำหนักเศษกระดาศเกรด TA125 ที่กรีดเนื่องจากปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาศกรีดให้เหลือต่ำที่สุดเท่าที่เคยทำได้ คือ เท่ากับ 0.01481 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน

เมื่อนำสัดส่วนดังกล่าวคูณเข้ากับค่าน้ำหนักมวลกระดาศที่ถูกนำมากริดในช่วงเดือน ตุลาคม 2556 – มีนาคม 2557 จะพบว่าเศษกระดาศเกรด TA125 g/m^2 ที่ถูกกริดสันนูนจะลดลงจาก 105.756 เหลือเท่ากับ $0.01481 \times 2,757.063$ ตัน = 40.84 ตัน ทำให้เมื่อคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักเศษกระดาศที่ถูกกริดทั้งทั้งหมดเนื่องจากปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมดใหม่อีกครั้งจะได้เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 & \frac{\text{น. น. กระดาศกริดสันนูนทั้งหมด} - \text{น. น. กระดาศกริดสันนูน TA125 (เดิม)} \\
 & \quad + \text{น. น. กระดาศกริดสันนูน TA125 (ใหม่)}}{\text{น. น. กระดาศที่ขายทั้งหมด}} \times 100\% \\
 = & \frac{444.029 \text{ ตัน} - 105.756 \text{ ตัน} + (0.01481 \times 2,757.63) \text{ ตัน}}{201,479.21 \text{ ตัน}} \times 100\% \\
 & = 0.1882 \%
 \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถสรุปตัวชี้วัดและเป้าหมายตั้งแต่ระดับธุรกิจถึงระดับโครงการได้ดังนี้

ตัวชี้วัดระดับธุรกิจ



ปัญหาของผู้ผลิตกราฟท์ : ต้นทุนจากการตั้งหน่วยงานคุณภาพ

ปัญหาของโรงงาน : ต้นทุนจากการตั้งหน่วยงานตรวจสอบ และตกแต่งมวลกระดาศก่อนจัดส่ง

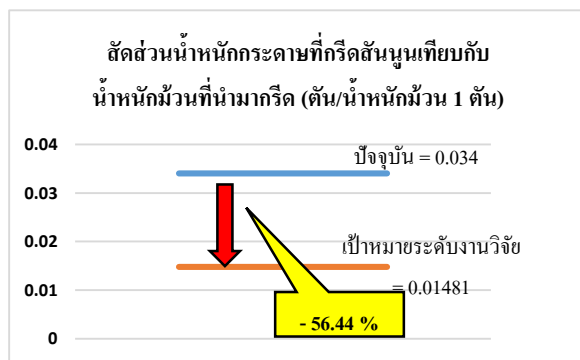
นโยบายของโรงงาน = ขูยหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งมวลกระดาศก่อนจัดส่งเพื่อแก้ไขปัญหาต้นทุนจากการจัดตั้ง

หน่วยงานคุณภาพ

การแปรนโยบายในเชิงการแก้ไขปัญหา = ลดปริมาณน้ำหนักกระดาศที่สูญเสียในกระบวนการตกแต่งมวลก่อนจัดส่งเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมดให้เหลือ 0

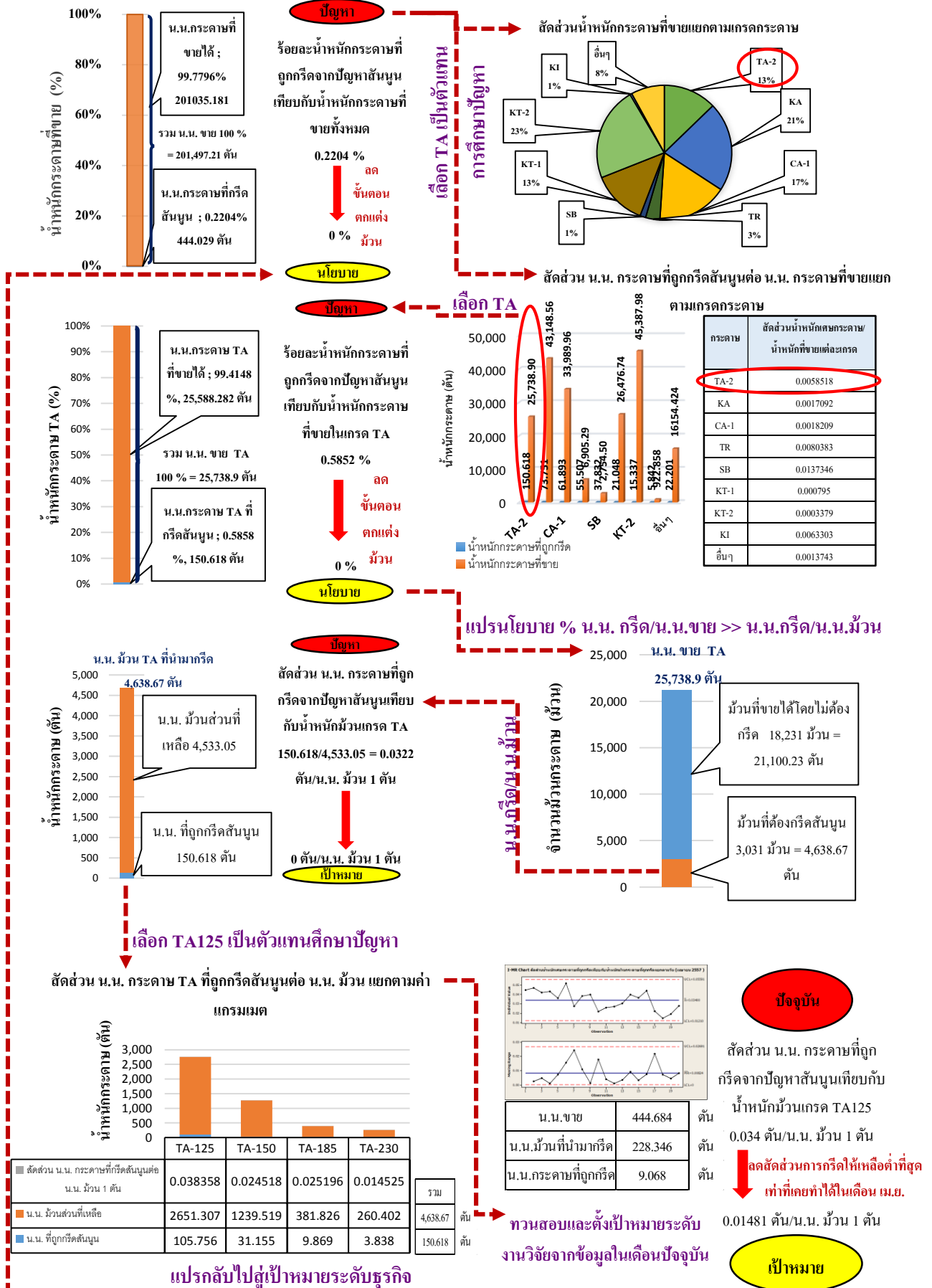
ตัวชี้วัดในระดับธุรกิจ = ร้อยละของน้ำหนักกระดาศที่กริดสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด

ตัวชี้วัดระดับโครงการวิจัย



จากข้อมูล I-MR chart ของเดือน เม.ย. 57 ทำการลดสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกริดสันนูนเทียบกับน้ำหนักมวลกระดาศเนื่องจากปัญหาความไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะเรื่องสันนูนของกระดาศเกรด TA125 g/m^2 ลงจากเดิมที่กริดทั้ง 0.034 ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน ให้เหลือ 0.01481 ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน ซึ่งลดลง 19.19 กิโลกรัม คิดเป็น 56.44 เปอร์เซ็นต์

สรุปความสัมพันธ์ของเป้าหมายทางธุรกิจและเป้าหมายระดับโครงการวิจัย



บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากเนื้อหาในบทที่ผ่านมาได้อธิบายถึงปัญหาคุณภาพของกระดาษกราฟที่ซึ่งส่งผลให้เกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้า ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีกระบวนการตกแต่งสินค้าเพื่อคัดแยกเอากระดาษส่วนที่พบปัญหาออกจากม้วนกระดาษก่อนส่ง แต่กระบวนการดังกล่าวเป็นเพียงกระบวนการที่ช่วยคัดกรองไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะหลุดไปถึงมือลูกค้าภายนอกเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาด้านทุนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีได้เพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าแต่อย่างใด ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงคุณภาพจึงมีความจำเป็นสำหรับปัญหาดังกล่าว โดยในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานโดยเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัด การทำความเข้าใจกับสถานะปัจจุบันของปัญหาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุ การค้นหาสาเหตุรากเหง้า การกำหนดมาตรการตอบโต้ที่เหมาะสม และประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากมาตรการตอบโต้เทียบกับเป้าหมายที่กำหนด รวมถึงการจัดทำให้เป็นมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 การระบุปัญหา

จากขั้นตอนการทำความเข้าใจกับปัญหาที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 พบว่าปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ คือ “ปัญหาด้านทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานคุณภาพ ได้แก่ หน่วยงานตรวจสอบผลิตภัณฑ์ หน่วยงานแก้ไขงาน หน่วยงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์” เนื่องจากประเด็นดังกล่าวทำให้ผู้ผลิตกระดาษกราฟในประเทศไทยเผชิญกับปัญหาด้านทุนที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการแข่งขันกับผู้ผลิตจากประเทศอื่นๆในระดับนานาชาติ โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกบริษัทกรณีศึกษาเพื่อเป็นตัวแทนศึกษาปัญหาดังกล่าว พบว่าปัญหาของบริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) จำกัด คือ ปัญหาด้านทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการตกแต่งม้วนกระดาษเนื่องจากปัญหาคุณภาพเรื่องความไม่ตรงต่อข้อกำหนดเฉพาะประเภทสันนูน ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีชื่อทางวิศวกรรมว่า “moisture welts” เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความคงรูปหรือเสถียรภาพด้านมิติของกระดาษ (dimension stability) มีสาเหตุเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการดูด/คายความชื้น (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4) ซึ่งพบว่าบริษัทต้องสูญเสียกระดาษในกระบวนการตกแต่งม้วนก่อนจัดส่งคิดเป็นมูลค่า 6,568,218.12 บาท ในช่วงเดือน ต.ค. 2556 – มี.ค. 2557 ที่ผ่านมา โดยน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดจากปัญหาสันนูนรวมทั้งสิ้น 444.029 ตัน คิดเป็นร้อยละ 0.2204 ของน้ำหนักกระดาษที่ขายทั้งหมด โดยพบว่ากระดาษสำหรับปะผิวด้านนอกของกล่องกระดาษลูกฟูกเกรด TA125 g/m² มีโอกาสพบปัญหามากที่สุด เนื่องจากเป็นกระดาษเกรดบางที่สุดส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานความชื้นต่ำที่สุด จึงทำให้ข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตพบว่ากระดาษเกรดดังกล่าวมีมีสัดส่วน

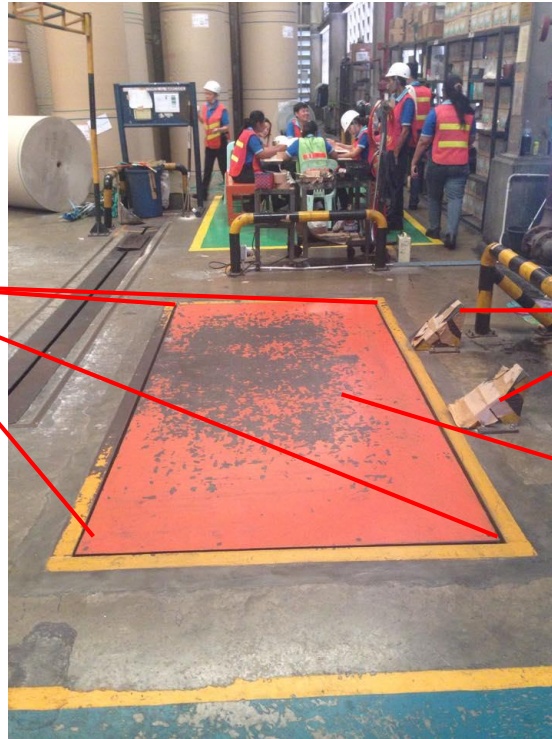
น้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนกระดาศสูงที่สุด คือ 0.034 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกระดาศเกรด TA125 g/m² เพื่อดำเนินศึกษาและทำการปรับปรุงในงานวิจัยครั้งนี้

เนื่องจากบริษัทต้องการลดขั้นตอนการกรีดตกแต่งม้วนกระดาศเนื่องจากปัญหาสันนูน บริษัทจึงมีนโยบายที่จะลดน้ำหนักกระดาศที่ต้องกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักกระดาศที่ขายให้เหลือร้อยละ 0 ดังนั้นผู้วิจัยจึงตั้งเป้าหมายและตัวชี้วัดระดับธุรกิจให้สอดคล้องกับนโยบายของบริษัท คือ การลดน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนลงให้เหลือร้อยละ 0.1882 ของน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด โดยปัจจุบันมีค่าดังกล่าวอยู่ที่ร้อยละ 0.2204 โดยการลดสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนในกระดาศเกรด TA125 g/m² ซึ่งปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.034 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน (34 กิโลกรัมต่อม้วน 1 ตัน) ให้เหลือเท่ากับค่าต่ำที่สุดเท่าที่เคยทำได้ในช่วงเดือน เม.ย. 2557 คือ 0.01481 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีอุณหภูมิในบรรยากาศสูง ปริมาณความชื้นในบรรยากาศต่ำ ซึ่งเชื่อว่าที่ระดับความชื้นปัจจุบันของกระดาศที่ทำการผลิตในโรงงานมีความเหมาะสมกับสถานะสมดุลความชื้นในบรรยากาศ กระดาศจึงดูดความชื้นเข้าไปในโครงสร้างได้น้อย เมื่อสามารถทำได้ตามค่าดังกล่าวแล้วจะทำให้น้ำหนักเศษกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนลดลงเหลือร้อยละ 0.1882 ของน้ำหนักกระดาศที่ขายทั้งหมด ซึ่งเข้าใกล้ตามนโยบายของบริษัทมากขึ้น

4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ระบบการวัดเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความผันแปรของระบบการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดจึงมีความสำคัญเพื่อวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนของระบบวัด เช่น พนักงาน, เครื่องมือวัด, ชิ้นงานที่ทำการวัดและวิธีการวัด ในการที่นำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติหรือทดสอบสมมติฐานนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การยอมรับทางสถิติเสียก่อน เพื่อให้มั่นใจว่าความผันแปรที่วัดได้นั้นมีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตเท่านั้นมิได้มาจากระบบการวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัญหากระดาศที่ไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสันนูน โดยในงานวิจัยได้วัดความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวผ่านน้ำหนักของเศษกระดาศที่ถูกกรีดทิ้งเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาศก่อนถูกกรีดซึ่งเป็นค่าวัดแบบผันแปร (variable) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นตัวเลขเพื่อนำไปใช้ตัดสินใจว่าปัญหาสันนูนของม้วนกระดาศแต่ละม้วนนั้นมีมากน้อยเพียงใด โดยข้อมูลที่ศึกษานี้ได้จากการตรวจสอบน้ำหนักม้วนกระดาศก่อนและหลังทำการตกแต่งในกระบวนการตกแต่งม้วนกระดาศก่อนจัดส่ง จากเครื่องมือวัด คือ เครื่องชั่งน้ำหนัก (weight scale) ที่ใช้อุปกรณ์วัดน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าโหลดเซลล์ (load cell) แบบสเตรนเกจ (strain gage) จำนวนทั้งสิ้น 4 ตัว ซึ่งทำการติดตั้งที่ 4 มุม ของบริเวณเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยรายละเอียดโครงสร้างเครื่องชั่งน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.1

โหลดเซลล์
ถูกยึดอยู่ได้
โครงสร้าง



จุดรับแรง
กระแทก

แผ่นปิดโครงสร้าง
รับโหลด

รูปที่ 4.1 โครงสร้างของเครื่องชั่งน้ำหนัก

1. โครงสร้างรับโหลดซึ่งเป็นเหล็ก WF ขนาด 150 x 75 นิ้ว
2. ช่วงคานโหลดเป็นเหล็กทรงขนาด 4 นิ้วจำนวน 5 แถว
3. โครงสร้างด้านล่างยึดโหลดเซลล์มุมละ 1 ชั้น เดินกรอบด้วยเหล็กขนาด 4 นิ้ว
4. ปูแผ่นหน้าปิดโครงสร้างด้านบนด้วยเหล็กแผ่นเรียบหนา 10 มิลลิเมตร
5. โครงสร้างมีจุดรับแรงกระแทกด้านข้างทั้ง 2 ด้าน (stopper)

เครื่องชั่งน้ำหนักทำงานโดยอาศัยหลักการทำงานของโหลดเซลล์ที่แปลงค่าแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยเกิดขึ้นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การแปลงค่าทางกลศาสตร์โดยแรงจะถูกตรวจจับได้จากการเปลี่ยนรูปร่างของสเตรนเกจ ซึ่งเกิดจากน้ำหนักของมวลกระดาศกดทับลงบนเครื่องชั่งทำให้สเตรนเกจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จากนั้นในขั้นตอนที่สอง สเตรนเกจจะแปลงค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (ความเครียด) นี้ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โหลดเซลล์ 1 ตัว จะประกอบไปด้วยสเตรนเกจ 4 ตัวจัดเรียงวงจรแบบวิสโตน บริดจ์ (Wheatstone bridge circuit) โดยสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายออกไปนี้มีขนาดสูงสุด 3 มิลลิโวลต์ เมื่อมวลกระดาศถูกวางลงบนเครื่องชั่งสัญญาณไฟฟ้าจากโหลดเซลล์ทั้ง 4 ตัวจาก 4 มุมของเครื่องชั่งน้ำหนักจะถูกนำมาประมวลผลรวมกันและถูกขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (junction box) และแสดงผลออกไปเป็นตัวเลขน้ำหนักที่แสดงบนจอแสดงผลซึ่งแสดงเป็นหน่วยกิโลกรัม โดยอุปกรณ์วัดน้ำหนักนี้ได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐานทุก 6 เดือน (ตามกฎหมายกำหนดคือ 2 ปี) สำหรับวิธีการวัดน้ำหนักมวลกระดาศ 1 ครั้ง ต้องใช้พนักงานทั้งสิ้น 2-3 คน โดย

พนักงาน 1 คน ทำหน้าที่ยกม้วนกระดาษวางบนเครื่องชั่งน้ำหนักโดยใช้รถโฟล์คลิฟท์ และพนักงานอีก 2 คนทำหน้าที่กำกับม้วนกระดาษให้ตรงตำแหน่งกลางแท่นชั่ง และทำการอ่านค่าบนหน้าจอแสดงผลเมื่อค่าน้ำหนักหยุดนิ่ง ซึ่งทำการวัดเหมือนกันทั้งก่อนและหลังทำการตกแต่งม้วนกระดาษ

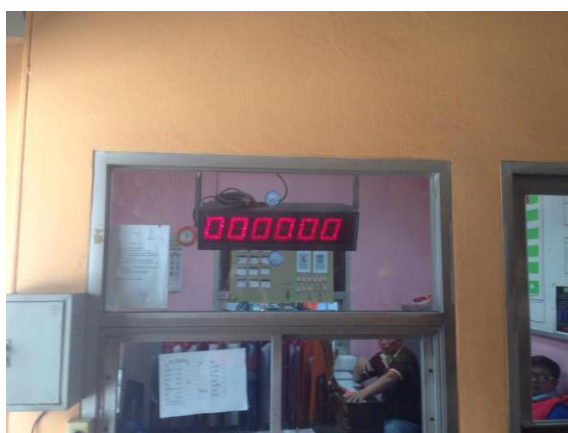


รูปที่ 4.2 ก. พนักงานยกม้วนกระดาษด้วยรถโฟล์คลิฟท์เพื่อนำไปวางบนแท่นชั่งน้ำหนัก



จอแสดงค่าน้ำหนัก
ม้วนกระดาษ

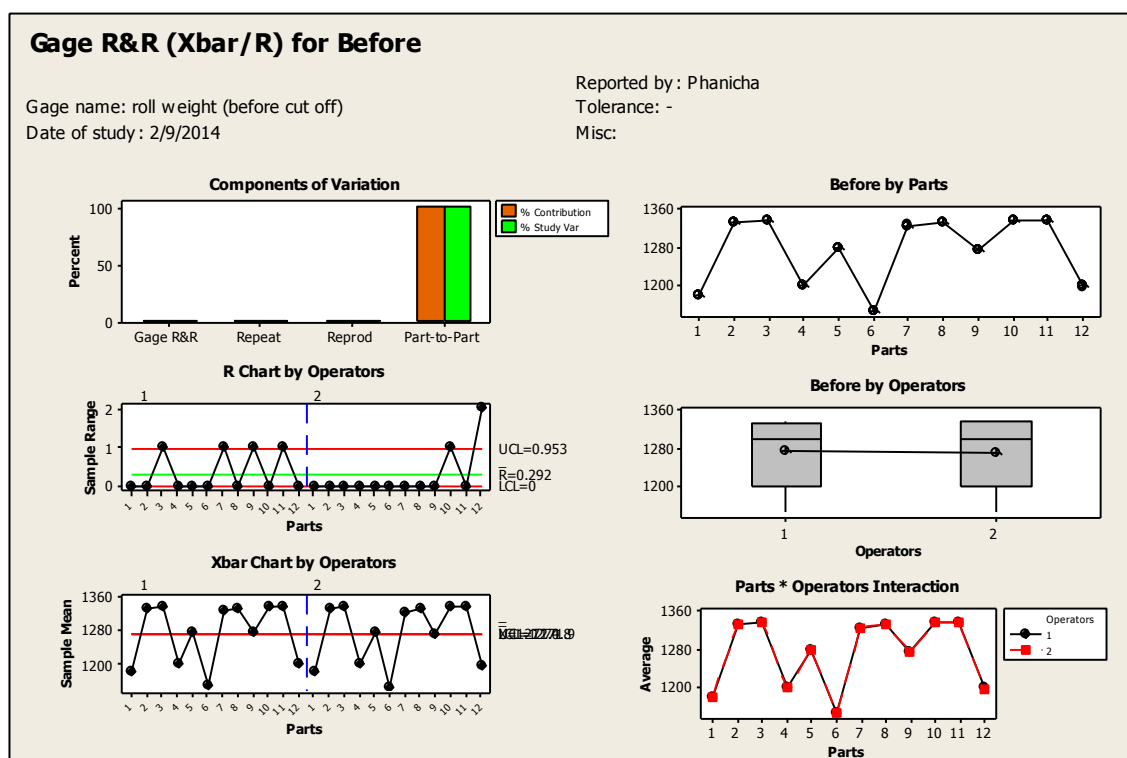
รูปที่ 4.2 ข. ม้วนกระดาษถูกวางลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องชั่งน้ำหนัก



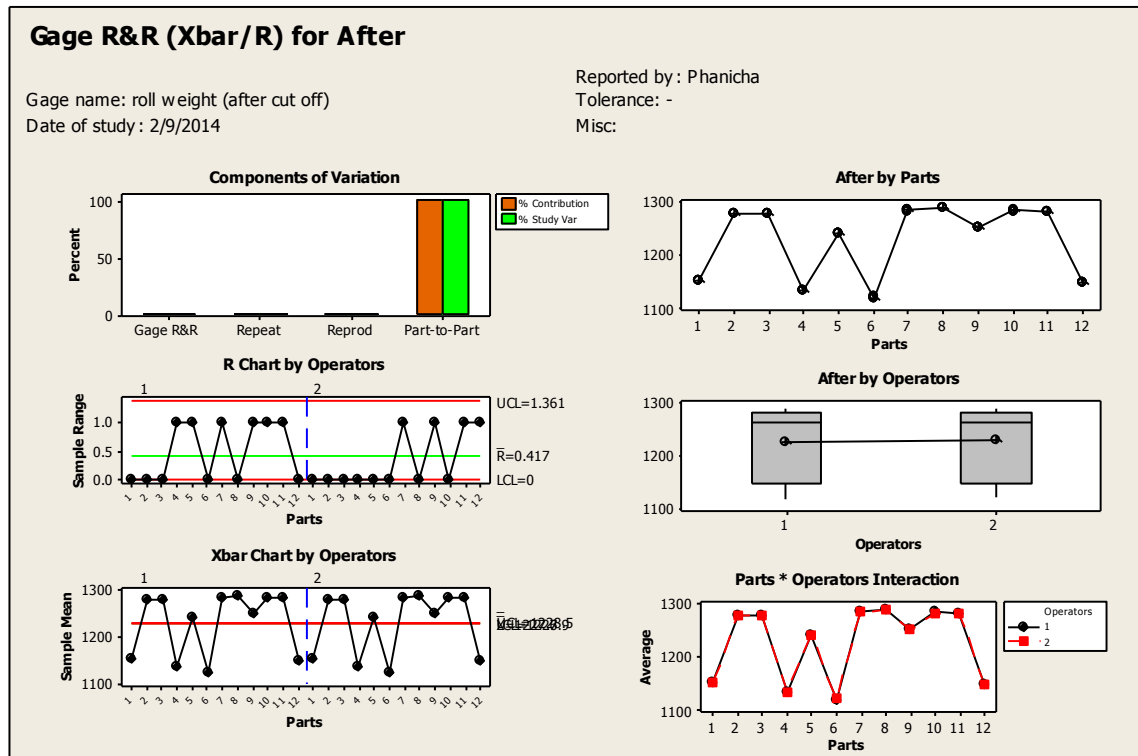
รูปที่ 4.2 ค. จอแสดงผลสำหรับอ่านค่าน้ำหนักม้วนกระดาษ

4.2.1 ขั้นตอนการศึกษากระบวนการวัด

1. สุ่มเลือกม้วนกระดาษจากกระบวนการผลิตทั้งหมด 12 ม้วน โดยสุ่มให้ครอบคลุมตลอดช่วงการผลิต จากรอบการผลิตกระดาษ TA125 g/m²
2. สุ่มเลือกพนักงาน 2 ชุด (6 คน) จากพนักงานประจำตำแหน่งตักแต่งม้วน 3 ชุด ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบ ในกระบวนการดังกล่าวและผ่านการอบรมในการใช้เครื่องมือวัดแล้ว
3. กำหนดให้ช่างนำหนักม้วนกระดาษตัวอย่าง 12 ม้วน โดยทำซ้ำม้วนละ 2 ครั้งต่อพนักงาน 1 ชุด ทั้ง ก่อนและหลังทำการตักแต่งม้วนกระดาษ และใช้หลักการสุ่มสำหรับลำดับในการวัดในสถานที่จริง ด้วยเวลาการตัดสินใจใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง
4. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด



รูปที่ 4.3 ผลจากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษ ก่อนตักแต่งม้วน



รูปที่ 4.4 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษ
หลังตกแต่งม้วน

4.2.2 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัด

4.2.2.1 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนและหลังตกแต่งม้วน

1. จากแผนภูมิควบคุม R ของระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนตกแต่งม้วนในรูปที่ 4.3 พบว่าค่า R หรือค่าพิสัย (range) มีเพียง 1 ค่าเท่านั้นที่อยู่ภายใต้พิสัยควบคุม คือ 0 ส่วน 1 และ 2 นั้นออกนอกพิสัยควบคุม (control limit) แสดงว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติในการแยกความแตกต่าง (resolution) เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัยนั้นสามารถวัดได้หน่วยละเอียดที่สุดเป็นหน่วยกิโลกรัมเท่านั้น แต่ความแตกต่างของน้ำหนักม้วนกระดาษแต่ละม้วนนั้นแตกต่างกันในระดับหน่วยกรัมหรือหน่วยมิลลิกรัม ซึ่งเครื่องชั่งน้ำหนักไม่สามารถตรวจจับค่าความแตกต่างดังกล่าวได้ ดังนั้นจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขความผันแปรในระบบการวัดก่อนซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

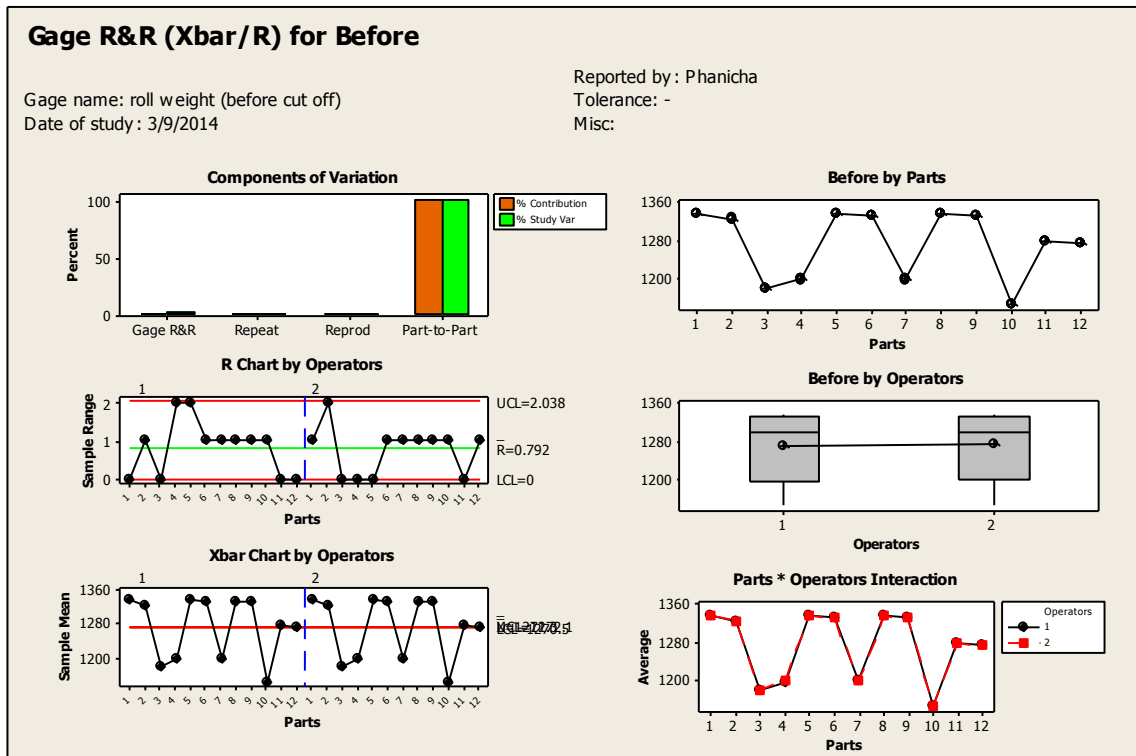
2. จากแผนภูมิควบคุม R ของระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษหลังตกแต่งม้วนในรูปที่ 4.4 พบว่าค่า R ที่ได้มีค่าที่เป็นไปได้เพียง 2 ค่าเท่านั้นที่อยู่ภายใต้พิสัยควบคุม คือ 0 และ 1 แสดงว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติในการแยกความแตกต่าง (resolution) ดังนั้นจึงต้องดำเนินการแก้ไขความผันแปรในระบบการวัดก่อนจึงจะสามารถวิเคราะห์ต่อไปได้เช่นเดียวกัน

4.2.1.2 การดำเนินการแก้ไขความผันแปรในระบบวัด

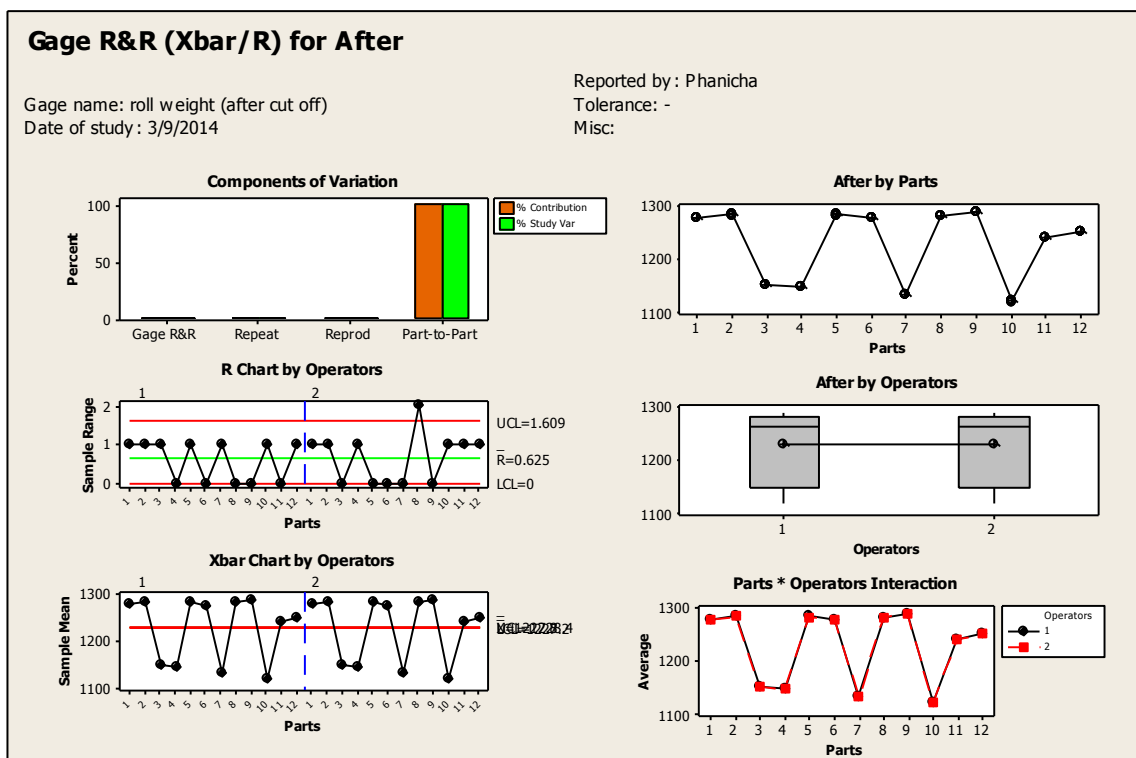
เนื่องจากระบบการวัดนี้ขาดคุณสมบัติในการแยกความต่างดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.2.3.1 ผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขความผันแปรในระบบการวัดก่อน โดยหลักการแก้ไขต้องดำเนินการผ่านการเปลี่ยนแปลงระบบการวัดให้สามารถตรวจจับความผันแปรในกลุ่มย่อยให้ได้ ซึ่งอาจจะดำเนินการผ่านวิธีการใดวิธีการหนึ่งดังต่อไปนี้

- ก. เพิ่มความแตกต่างของค่าวัดโดยการเพิ่มความละเอียดของเครื่องมือวัด
- ข. เพิ่มความผันแปรภายในกลุ่มย่อยของค่าวัดด้วยการเพิ่มจำนวนซ้ำ (ขนาดกลุ่มย่อย)
- ค. เปลี่ยนวิธีการตัดสินใจเป็นแบบ ผ่าน/ไม่ผ่าน หรือ G/NG

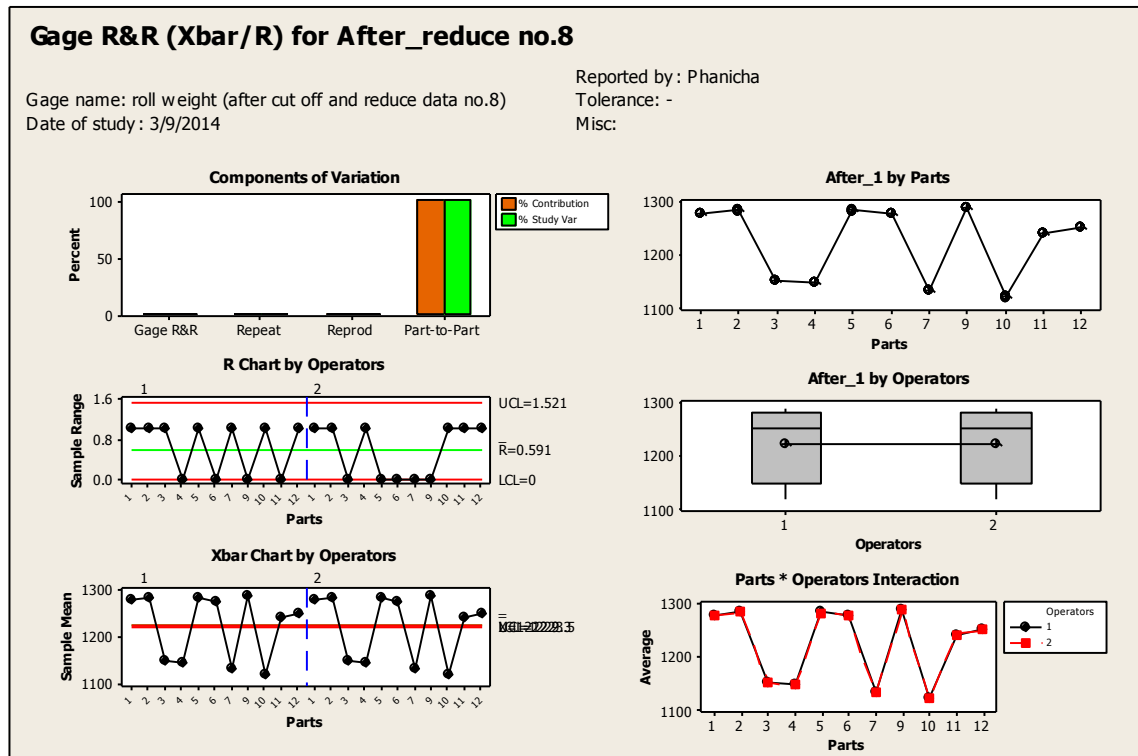
ในเบื้องต้นนั้นบริษัทไม่สามารถดำเนินการแก้ไขได้ในเรื่องการเพิ่มความละเอียดของเครื่องมือวัด เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับการควบคุมภายใต้มาตรฐานที่กำหนดในระบบ ชั่ง ตวง วัด ที่ใช้สำหรับทางธุรกิจซึ่งการเพิ่มความละเอียดเครื่องมือวัดไม่มีคุณค่าทางธุรกิจ ดังนั้นสำหรับในงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ด้วยการเพิ่มความละเอียดของเครื่องมือวัดได้ ผู้วิจัยจึงดำเนินการแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มจำนวนซ้ำของการวัด โดยการเพิ่มเป็นวัดซ้ำ 3 ครั้งต่อพนักงานวัด 1 ชุด และผู้วิจัยไม่สามารถวัดซ้ำได้มากกว่านี้เนื่องจากการชั่งน้ำหนักม้วนกระดาษซ้ำหลายๆครั้งจะสร้างความเสียหายต่อม้วนกระดาษ เนื่องจากพนักงานต้องกลิ้งม้วนกระดาษเข้าไปยังบริเวณจุดชั่งซึ่งมีระยะห่างจากจุดที่รถโฟล์คลิฟท์สามารถเข้าถึงได้ประมาณ 1 เมตร ทำให้ผิวหน้าของม้วนกระดาษสัมผัสกับพื้นซีเมนต์ ทำให้ผิวกระดาษดำและผิวถลอกเปิดจากการแรงเสียดสีกับพื้น อีกทั้งทำให้ผิวบริเวณที่ขึ้นเป็นสนิมเกิดการยุบ บุบตัว ส่งผลต่อการพิจารณาในขั้นตอนการตกแต่งม้วนอีกด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการเพิ่มการวัดซ้ำแสดงในรูป 4.5-4.7



รูปที่ 4.5 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษ ก่อนตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง



รูปที่ 4.6 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษ หลังตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง



รูปที่ 4.7 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษ
หลังตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง หลังตัดข้อมูลชิ้นงานที่ 8 ทั้ง

4.2.3 ผลการทดสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัดเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง

หลังจากดำเนินการเพิ่มการวัดข้อมูลซ้ำเป็น 3 ครั้งต่อพนักงาน 1 ชุด พบว่ามีข้อมูลที่มีความผิดปกติเนื่องจากค่าพิสัย ของชิ้นงานที่ 8 จากระบบวัดน้ำหนักม้วนกระดาษหลังตกแต่งม้วน ออกนอกพิสัยควบคุมดังรูปที่ 4.6 แสดงว่าข้อมูลมีปัญหาด้านความคงรูป (consistency) จึงต้องมีการตัดข้อมูลออกก่อนนำไปวิเคราะห์ ทำให้เหลือข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างเพียง 11 ตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งข้อมูลที่ได้หลังการตัดข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.7

4.2.4 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ)

4.2.4.1 การตีความและสรุปผลในการวิเคราะห์ระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนและหลังตกแต่งม้วนเมื่อเพิ่มการวัดซ้ำเป็น 3 ครั้ง

1. จากแผนภูมิควบคุม R ของระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนตกแต่งม้วนในรูปที่ 4.5 พบว่าค่า R ที่ได้มีค่าที่เป็นไปได้เพียง 3 ค่าเท่านั้นที่อยู่ภายใต้พิสัยควบคุม คือ 0, 1 และ 2 แสดงว่าระบบการวัดยังคงขาดคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างซึ่งการเพิ่มจำนวนการวัดซ้ำไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

2. จากแผนภูมิควบคุม R ของระบบการวัดน้ำหนักม้วนกระดาษหลังตกแต่งม้วนในรูปที่ 4.7 พบว่าค่า R ที่ได้มีค่าที่เป็นไปได้เพียง 2 ค่าเท่านั้นที่อยู่ภายใต้พิสัยควบคุม คือ 0 และ 1 แสดงว่าระบบการวัดยังคงขาดคุณสมบัติในการแยกความแตกต่าง ซึ่งการเพิ่มจำนวนการวัดซ้ำไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรึกษากับคณะทำงานภายในบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วย หัวหน้าแผนกเครื่องผลิต 6 และวิศวกรประจำแผนกและทวนสอบข้อมูลสำหรับเป็นเกณฑ์คัดแยกม้วนกระดาษที่เกิดปัญหาสันนูนเป็น G/NG พบว่าไม่มีประเด็นดังกล่าว เนื่องจากกระดาษทุกม้วนที่ผลิตเพื่อความยาวของกระดาษให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าที่ลูกค้าต้องการนำไปใช้งานเพื่อรองรับการกรีดทิ้งเมื่อเกิดปัญหาสันนูน ซึ่งที่ผ่านมายังไม่พบม้วนกระดาษที่เป็น NG คือ กรีดกระดาษส่วนที่เป็นสันนูนทั้งจนม้วนกระดาษไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนดจากทางบริษัท ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถแก้ปัญหาระบบการวัดการแยกความแตกต่างของระบบการวัดได้ นั่นหมายความว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หามีได้มีผลมาจากระบบการวัดเนื่องจากเครื่องมือวัดแยกความผันแปรดังกล่าวไม่ออก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในหัวข้อที่ 3.11.1 พบว่าสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนกระดาษ 1 ตัน ของกระดาษเกรด TA125 g/m² ในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 34 กิโลกรัม/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งระดับของปัญหามีขนาดใหญ่กว่าค่าความละเอียดของเครื่องมือวัด (1 กิโลกรัม) มากถึง 34 เท่าเมื่อเทียบกับความละเอียดของเครื่องมือวัด และในงานวิจัยมีการตั้งเป้าหมายที่จะลดปัญหาดังกล่าวให้เหลือประมาณ 14 กิโลกรัม/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งแตกต่างกับค่าปัจจุบันอยู่มากถึง 19 กิโลกรัม ดังนั้นด้วยระดับของปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่าความละเอียดของเครื่องมือวัดในปัจจุบันมาก ปัญหาระบบการขาดคุณสมบัติด้านการแยกความแตกต่างของเครื่องมือวัดจึงไม่ส่งผลกระทบมากนัก ผู้วิจัยจึงใช้ระบบการวัดดังกล่าวในงานวิจัยครั้งนี้ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามถ้าในอนาคตหากปัญหาสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดนี้ลดลงจนอยู่ที่ระดับ 1 กิโลกรัม/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ก็มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการแก้ปัญหาระบบการวัดให้สามารถตรวจจับความผันแปรได้น้อยกว่า 1 กิโลกรัม

4.3 การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา

จากการศึกษากระบวนการผลิตกระดาษรวมไปถึงสังเกตอาการของปัญหาสันนูนด้วยหลัก 3 จริงตามรายละเอียดในบทที่ 3 และศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตในบทที่ 2 พบว่าปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุเบื้องต้นมาจากการดูดความชื้นของกระดาษจากสิ่งแวดล้อม ทำให้กระดาษมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเปลี่ยนมิติไป ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ต่อไปว่ากระบวนการใดบ้างในการผลิตกระดาษที่จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแพร่ความชื้นเข้าสู่โครงสร้างกระดาษเมื่อกองเก็บกระดาษไว้ใน

สภาวะแวดล้อมแบบมิได้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการปัญหาไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสัณฐานที่เกิดขึ้น โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์กระบวนการที่ส่งผลให้เกิดอาการไม่ตรงข้อกำหนดประเภทสัณฐาน

กระบวนการ	โอกาสที่เป็นสาเหตุของปัญหา	เหตุผล
กระบวนการตกแต่งม้วนกระดาก่อนจัดส่ง	ไม่มี	เป็นกระบวนการที่พบปัญหาสัณฐานมิได้เกี่ยวข้องกับการดูดหรือคายความชื้นของโครงสร้างกระดาก
กระบวนการกองเก็บกระดากในคลังเพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า	มี	ส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดากทำให้กระดากเกิดการเปลี่ยนแปลงมิติ
กระบวนการเคลื่อนย้ายม้วนกระดากจากเครื่องผลิตไปเก็บในคลัง	ไม่มี	มิได้ส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดาก
กระบวนการกรอแบ่งม้วนกระดากออกเป็นขนาดตามที่ลูกค้าสั่ง	ไม่มี	มิได้ส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดาก
กระบวนการกรอเข้าม้วนกระดาก jumbo reel	ไม่มี	มิได้ส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดาก
กระบวนการขัดกระดาก	มี	ส่งผลให้กระดากมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เซลล์โลสอยู่ชิดกันมากขึ้น ลดช่องว่างภายในโครงสร้างกระดาก ซึ่งทำให้โมเลกุลน้ำจากความชื้นแพร่เข้าสู่โครงสร้างกระดากได้ยากขึ้น
กระบวนการเคลือบสารด้านทานการฉีกน้ำ (surface sizing)	มี	ส่งผลให้ลดจำนวนพันธะไฮดรอกซิลในเซลล์โลสที่เป็นตัวดึงดูดโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศได้
กระบวนการอบกระดากให้แห้ง	มี	ส่งผลต่อการกำหนดปริมาณความชื้นสุดท้ายในกระดาก ที่จะมีผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดาก

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์กระบวนการที่ส่งผลให้เกิดอาการไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะประเภทสันนูน
(ต่อ)

กระบวนการ	โอกาสที่เป็นสาเหตุของปัญหา	เหตุผล
กระบวนการรีดน้ำออกจากกระดาด	ไม่มี	เป็นเพียงกระบวนการดึงน้ำออกจากกระดาดขึ้นต้นเท่านั้น มิได้ส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นเข้าสู่เซลล์โลสในโครงสร้างกระดาด
กระบวนการขึ้นรูปกระดาด		
- ขั้นตอนเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาด	มี	ส่งผลต่อทิศทางและการจัดเรียงตัวเซลล์โลสของโครงสร้างกระดาดที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศเข้าสู่โครงสร้างกระดาด
- ขั้นตอนการป้อนจ่ายน้ำเยื่อ	มี	ส่งผลต่อทิศทางและการจัดเรียงตัวเซลล์โลสของโครงสร้างกระดาดที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศเข้าสู่โครงสร้างกระดาด
กระบวนการวัดและผสมเยื่อ	มี	ส่งผลต่อการกำหนดอัตราส่วนของชนิดเยื่อ ซึ่งเยื่อแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศได้แตกต่างกัน
กระบวนการใส่สารเติมแต่ง (internal sizing)	มี	ส่งผลให้ลดจำนวนพันธะไฮดรอกซิลในเซลล์โลสที่เป็นตัวดึงดูด โมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศได้
กระบวนการบดหรือตีเยื่อ	มี	ส่งผลต่อความละเอียดของเยื่อซึ่งทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเซลล์โลสและโมเลกุลน้ำมากขึ้น
กระบวนการทำความสะอาดเยื่อ	ไม่มี	เป็นเพียงกระบวนการทำความสะอาดเยื่อ มิได้ส่งผลกับการดูดหรือคายความชื้นเข้าสู่โครงสร้างกระดาด
กระบวนการปั่นเยื่อ	ไม่มี	เป็นกระบวนการกระจายก้อนเยื่อลงในน้ำเพื่อให้เป็นของเหลว มิได้ส่งผลกับการดูดหรือคายความชื้นเข้าสู่โครงสร้างกระดาด

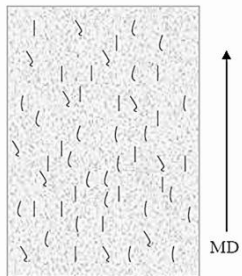
จากการศึกษากระบวนการผลิตกระดาษพบว่า มี 10 กระบวนการที่ส่งผลต่อตัวโครงสร้างกระดาษที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดหรือคายความชื้นจากสภาพแวดล้อมเข้าไปในโครงสร้างกระดาษ จนกระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงมิติ ได้แก่ กระบวนการกองเก็บกระดาษในคลังเพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า กระบวนการตัดกระดาษ กระบวนการเคลือบสารต้านทานการซึมน้ำ (surface sizing) กระบวนการอบกระดาษให้แห้ง กระบวนการขึ้นรูปกระดาษ ทั้งในขั้นตอนการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาษและขั้นตอนการป้อนจ่ายน้ำเยื่อ กระบวนการวัดและผสมเยื่อ กระบวนการใส่สารเติมแต่ง (internal sizing) และกระบวนการบดหรือตีเยื่อ ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ทั้ง 10 กระบวนการโดยละเอียดดังตารางที่ 4.2

จากการวิเคราะห์กระบวนการดังตารางที่ 4.2 พบว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหาสันนูนมีด้วยกันหลายกระบวนการ คือ กระบวนการกองเก็บกระดาษในคลังเพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า กระบวนการอบกระดาษให้แห้ง ขั้นตอนการป้อนจ่ายน้ำเยื่อ และกระบวนการใส่สารเติมแต่ง (internal sizing) แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous process) ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์กระดาษออกมาในกระบวนการสุดท้ายเท่านั้น คือ กระบวนการกรอเข้าม้วนกระดาษ jumbo reel ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรวบรวมปัจจัยจากกระบวนการที่มีแนวโน้มจะเป็นสาเหตุของปัญหาสันนูนทั้งหมดตลอดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการผลิตกระดาษ จากนั้นจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาสันนูนโดยอาศัยเทคโนโลยีเฉพาะทาง (intrinsic technology) ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติจากการสังเกตการทำงานจริงร่วมกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหาดังกล่าวที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วจึงทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป ซึ่งมีการระดมความคิดร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งผู้จัดการส่วนผู้เชี่ยวชาญด้านเยื่อและกระดาษ หัวหน้าแผนกผลิต วิศวกร รวมไปถึงผู้ควบคุมสายการผลิต เพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาสันนูน โดยในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิดเห็นเพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหาและในขั้นตอนสุดท้ายจะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วยเทคนิคแผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (fish bone diagram) ดังรูปที่ 4.8 เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยโดยได้ปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาษ 1 ตัน ในปัญหาสันนูนจากกระบวนการผลิตกระดาษโดยเริ่มวิเคราะห์จาก 4M ได้แก่ วัสดุในการผลิต (material) พนักงาน (man) เครื่องจักร (machine) และวิธีการทำงาน (method) ดังตารางที่ 4.3 – 4.6

ตารางที่ 4.2 การระบุกระบวนการต้นเหตุของอาการสันนูน

กระบวนการ	ลักษณะการทำให้เกิดปัญหา	ผลที่เกิด	เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหา
กระบวนการกองเก็บ กระดาษในคลังเพื่อรอคำ สั่งซื้อจากลูกค้า	ปริมาณ ความชื้นสัมพัทธ์ใน บรรยากาศสูงเกินกว่าความชื้น สมดุลระหว่างกระดาษและ บรรยากาศ	เซลลูโลสดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นใน บรรยากาศ ทำให้เซลลูโลสบวม ส่งผลให้ มิติกระดาษเปลี่ยนแปลงไป	เป็น เพราะเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิด กระบวนการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นใน บรรยากาศเข้าสู่โครงสร้างกระดาษจนเกิดเป็น ปัญหาสันนูน
กระบวนการจัดกระดาษ	จัดผิวกระดาษความหนาแน่นน้อย เกินไป	ช่องว่างภายในโครงสร้างกระดาษมีมาก ทำให้ความชื้นจากบรรยากาศสามารถแพร่ เข้าสู่เซลลูโลสได้รวดเร็ว	ไม่ เพราะ กระบวนการดังกล่าวเป็นเพียงการลด ช่องว่างระหว่างเซลลูโลสบริเวณผิวกระดาษเท่านั้น ซึ่งส่งผลต่ออัตราการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้น ในบรรยากาศเข้าสู่เซลลูโลสเพียงเล็กน้อย
กระบวนการเคลือบสาร ด้าน ทาน การ ชีม น้ำ (surface sizing)	เคลือบสารด้านทานการซึมที่ผิว กระดาษน้อยเกินไป	ระดับความด้านทานการซึมของผิว กระดาษน้อย เนื่องจากไม่มีสารที่ไปจับกับ พันธะไฮดรอกซิลแทนโมเลกุลของน้ำ ทำ ให้เซลลูโลสสามารถดูดความชื้นได้	ไม่ เพราะ การเคลือบสารด้านทานการซึมที่ผิวที่ น้อยเกินไปในกระบวนการถือเป็นสาเหตุผิดปกติ
กระบวนการอบกระดาษ ให้แห้ง	ไอน้ำที่อบกระดาษมากเกินไป	ความชื้นสุดท้ายของกระดาษต่ำกว่า ความชื้นในสภาวะสมดุลในบรรยากาศ	เป็น เพราะส่งผลให้เซลลูโลสในโครงสร้าง กระดาษอยู่ในสภาวะที่สามารถรับโมเลกุลน้ำจาก ความชื้นในบรรยากาศได้อีก

ตารางที่ 4.2 การระบุกระบวนการต้นเหตุของอาการสั่นนูน (ต่อ)

กระบวนการ	ลักษณะการทำให้เกิดปัญหา	ผลที่เกิด	เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหา
ขั้นตอนการเรียงตัวเป็นแผ่นกระดาศ	เซลล์โลสมีการจัดเรียงตัวในทิศทาง MD มากเกินไป 	เซลล์โลสซึ่งมีรูปร่างยาวรีจะมีการบวมตัวด้านข้างมาก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่รับโมเลกุลน้ำได้มากกว่าเมื่อเซลล์โลสเรียงตัวไป MD มากไป ทำให้ด้านข้างของเซลล์โลสที่เป็นด้าน CD สามารถรับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศได้มากขึ้น	ไม่ เพราะ ในกระบวนการผลิตกระดาษควบคุมทิศทางการจัดเรียงตัวของเซลล์โลสบนกระดาษ (directionality) ผ่านอัตราส่วนที่เรียกว่า jet-to-wire ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วน้ำเยื่อและความเร็วหลอดเดินกระดาษซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตควบคุมค่า jet/wire เข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (optimum) [15] สำหรับกระบวนการผลิตแล้ว
ขั้นตอนการป้อนจ่ายน้ำเยื่อ	น้ำเยื่อมีความเข้มข้นสูงเกินไป ส่งผลต่อการกระจายตัวของเซลล์โลสและช่องว่างที่เรียงตัวบนกระดาษ ซึ่งเรียกว่าความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (formation)	เซลล์โลสบนกระดาษมีการกระจายตัวมากหรือกระดาษมีช่องว่างหรือรูพรุนมีมากทำให้ความชื้นจากบรรยากาศสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์โลสได้รวดเร็ว	เป็น เพราะ กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่กำหนดความหนาแน่น หรือความฟามของกระดาษซึ่งบ่งบอกถึงคุณลักษณะการกระจายตัวของรูพรุนภายในกระดาษ มีผลต่ออัตราการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศเข้าสู่เซลล์โลส

ตารางที่ 4.2 การระบุกระบวนการต้นเหตุของอาการสั้นนูน (ต่อ)

กระบวนการ	ลักษณะการทำให้เกิดปัญหา	ผลที่เกิด	เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหา
กระบวนการวัดและผสม เชื้อ	มีเชื้อบริสุทธิ์มากเกินไป	เซลล์โลสจากเชื้อบริสุทธิ์จะยังคงมีรูปร่างที่สมบูรณ์รวมไปถึงมีหมู่ไฮดรอกซิลมากซึ่งสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศได้ดี	ไม่ เพราะ สัดส่วนของเชื้อที่ใช้ในกระบวนการเป็นเชื้อรีไซเคิล มากกว่าเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งส่งผลให้ตัวเซลล์โลสเองมีความสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นได้น้อยลง
กระบวนการใส่สารเติมแต่ง (internal sizing)	ใส่สารต้านทานการซึมม้น้อยเกินไป	ระดับความต้านทานการซึมม่น้ำของโครงสร้างกระดาษน้อย เนื่องจากไม่มีสารที่ไปจับกับพันธะไฮดรอกซิลแทนโมเลกุลของน้ำ ทำให้เซลล์โลสสามารถดูดความชื้นได้	เป็น เพราะเป็นกระบวนการที่กำหนดโครงสร้างของเซลล์โลสในกระดาษว่าจะมีพันธะไฮดรอกซิลมากหรือน้อยเพียงใดสำหรับรับโมเลกุลของน้ำจากความชื้นในบรรยากาศของกระดาษ
กระบวนการบดหรือตี เชื้อ	ความละเอียดของเชื้อมากเกินไป	เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเซลล์โลสและโมเลกุลน้ำ จึงส่งผลต่อการดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศ	ไม่ เพราะการบดเชื้อละเอียดมากเกินไปถือเป็นสาเหตุที่ผิดปกติของกระบวนการ

4.3.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิต (material) [20], [22], [24]

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาษ

ปัจจัย	ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต	ชนิดของปัจจัย
ชนิดเยื่อ (furnish)	อัตราส่วนชนิดเยื่อ (furnish ratio)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้
ความละเอียดของเยื่อ (freeness)	refiner power (Kw/Ton)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

- อัตราส่วนชนิดเยื่อ หรือ สัดส่วนของเยื่อจะควบคุมปริมาณเยื่อแต่ละชนิดที่ใช้ผลิตกระดาษซึ่งเยื่อแต่ละชนิดส่งผลต่อความสามารถในการดูดหรือคายความชื้นของกระดาษ แต่เนื่องจากเยื่อที่ใช้ในกระบวนการเป็นเยื่อในถังกวนเดียวกันทั้งระบบ กระดาษประเภทเดียวกันจึงมาจากเยื่อชนิดเดียวกัน ปัจจัยเรื่องความแตกต่างของชนิดเยื่อจึงไม่มีประเด็นในงานวิจัยนี้

- ค่าความละเอียดของเยื่อควบคุมผ่านการบดเยื่อหรือการใส่พลังงานให้กับเครื่องบดละเอียด (refiner) ซึ่งความละเอียดของเยื่อมีผลต่อการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเซลลูโลสและโมเลกุลน้ำ จึงส่งผลต่อการดูดหรือคายความชื้นของกระดาษ แต่เนื่องจากเยื่อที่ใช้ในการผลิตกระดาษเป็นเยื่อในถังกวนเดียวกันทั้งระบบที่ควบคุมการบดเยื่อเท่ากัน ดังนั้นปัจจัยเรื่องความละเอียดของเยื่อจึงไม่มีประเด็นในงานวิจัยนี้

4.3.2 พนักงาน (man)

เนื่องจากเครื่องผลิตกระดาษเป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานอัตโนมัติ พนักงานมีหน้าที่เพียงใส่ค่าเซตติงลงไปทีแผงควบคุมตามมาตรฐานงานที่ระบุ และคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมระบบและกลไกต่างๆบนเครื่องผลิตให้ได้ค่าตามที่เซตติงนั้น ทำให้คุณสมบัติของพนักงานไม่มีผลต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต ดังนั้นปัจจัยเรื่องพนักงานจึงไม่มีประเด็นในงานวิจัยนี้

4.3.3 เครื่องจักร (machine) [20], [24], [25]

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยเกี่ยวกับเครื่องผลิตกระดาษที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาษ

ปัจจัย	ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต	ชนิดของปัจจัย
เปอร์เซ็นต์ความชื้นในกระดาษ (% moisture content)	steam pressure	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้
ทิศทางการเรียงตัวของเยื่อ (directionality)	อัตราส่วนความเร็วน้ำเยื่อ ต่อ ความเร็วลวดเดินแผ่น (jet-to-wire ratio)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้
ความสม่ำเสมอของเนื้อ กระดาษ (formation)	ความเข้มข้นของเยื่อ (percentage of consistency ; % consistency)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

- ปริมาณความชื้นในกระดาษมีหน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบต่อน้ำหนักกระดาษ โดยควบคุมผ่านระบบความดันไอน้ำ (steam pressure) ในปัจจุบันความชื้นของกระดาษถูกควบคุมไว้ที่ 8 – 10 % ของน้ำหนักกระดาษ ซึ่งมีความสงสัยว่าที่ระดับควบคุมดังกล่าวอาจมีไช้ระดับที่เหมาะสมที่สุดกับสภาวะสมดุลความชื้นระหว่างกระดาษและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศในปัจจุบัน เซลลูโลสจึงสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในบรรยากาศเข้ามาภายในโครงสร้างกระดาษได้ ดังนั้นปริมาณความชื้นในกระดาษจึงน่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูน

- ทิศทางการเรียงตัวของเยื่อบนกระดาษ (directionality) สามารถควบคุมผ่านอัตราส่วนที่เรียกว่า jet-to-wire ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วน้ำเยื่อและความเร็วลวดเดินกระดาษ ซึ่งค่าดังกล่าวส่งผลต่อการเรียงตัวของเยื่อตามแนว MD และ CD ซึ่งทิศของเยื่อมีผลต่อความสามารถในการแพร่ความชื้นเข้าสู่โครงสร้างกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการผลิตควบคุมค่า jet/wire เข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (optimum) [15] สำหรับกระบวนการผลิตแล้ว ดังนั้นปัจจัยเรื่องทิศทางการเรียงตัวของเยื่อจึงไม่มีประเด็นในงานวิจัยนี้

- ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ ควบคุมผ่านความเข้มข้นของน้ำเยื่อใน headbox (% consistency) ปัจจุบันควบคุมอยู่ที่ 0.3 – 0.5 % ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการกำหนดความหนาแน่นและความฟามของเยื่อ ซึ่งบ่งบอกถึงคุณลักษณะการกระจายตัวของรูพรุนภายในกระดาษ ซึ่งมีความสงสัยว่าระดับดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตกระดาษ และส่งผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูน

4.3.4 วิธีการ (method) [24]

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยเกี่ยวกับวิธีการผลิตกระดาศที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ

ปัจจัย	ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต	ชนิดของปัจจัย
ระดับความต้านทานการซึมผ่านของกระดาศ (cobb)	- ปริมาณการเติมสารด้านการซึมภายในน้ำเยื่อ (internal sizing)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้
	- ปริมาณการเคลือบสารด้านการซึมที่ผิวกระดาศ (surface sizing)	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

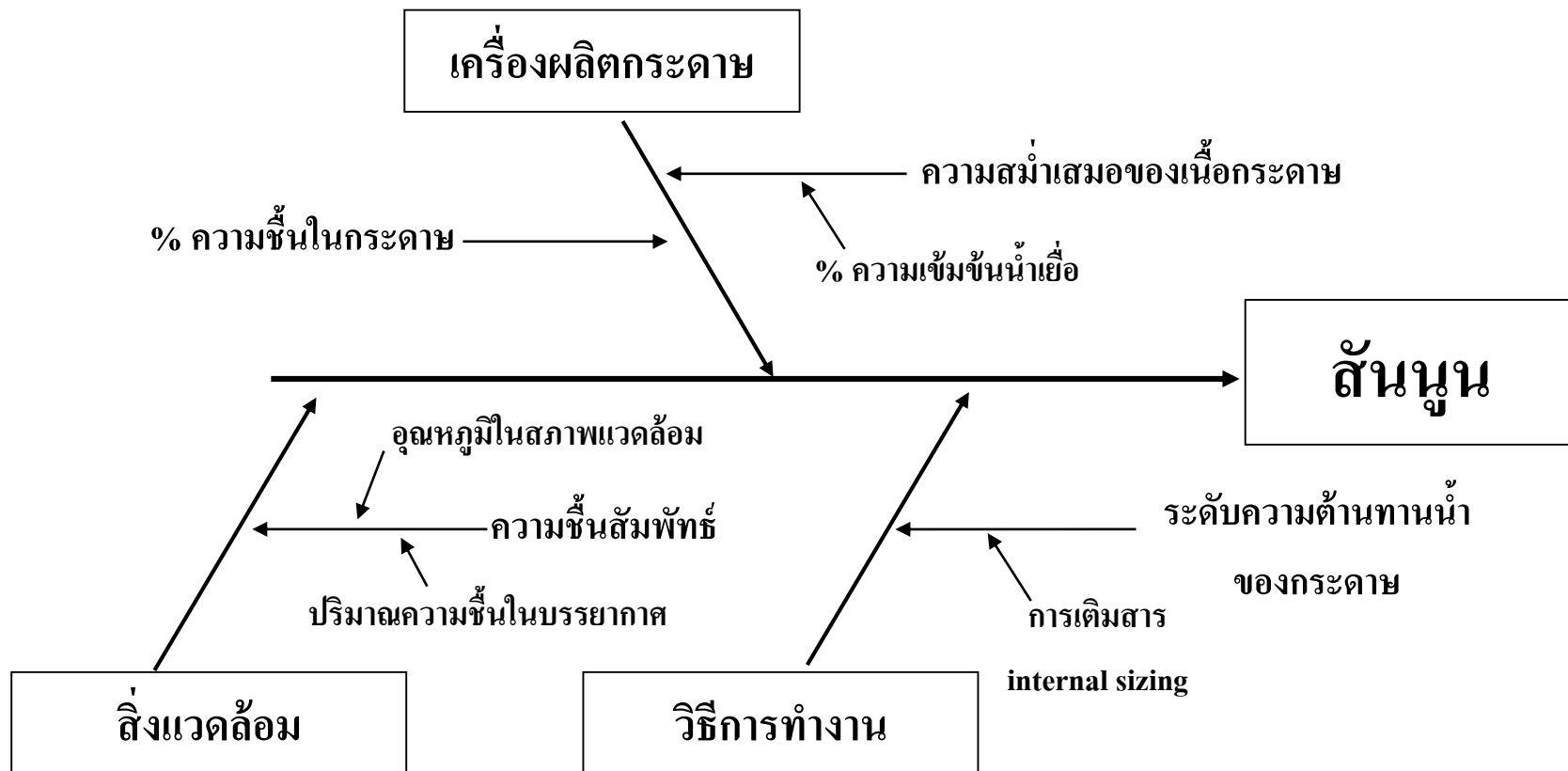
- ระดับความต้านทานการซึมผ่านของกระดาศ (cobb) ควบคุมผ่านปริมาณการเติมสารด้านการซึม internal sizing และการเคลือบสารกันซึมแบบ surface sizing ซึ่งกระดาศทุกๆ ประเภทภายใต้กระบวนการผลิตนี้มีการเคลือบผิวด้วย surface sizing เหมือนกันจึงไม่มีประเด็นเกี่ยวกับปัจจัยนี้ แต่สำหรับการเติมสาร internal sizing นั้นผู้วิจัยพบว่ากระดาศเกรด TA ที่ผู้วิจัยใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาไม่มีการใส่สาร internal sizing ในขณะที่กระดาศเกรด KA ซึ่งผลิตจากเครื่องเดียวกัน เชื้อประเภทเดียวกัน แต่ใส่ internal sizing พบว่ามีปริมาณการกีดกันน้ำต่อม้วนที่น้อยกว่ากระดาศเกรด TA (รายละเอียดตามบทที่ 3) ดังนั้นจึงมีความสงสัยว่าการเติมสารด้านการซึมแบบ internal sizing ลงในการด้ายเกรด TA ส่งผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูน

4.3.5 สิ่งแวดล้อม (environment) [20], [21]

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อการแพร่ความชื้นเข้าสู่กระดาศ

ปัจจัย	ตัวแปรควบคุมในกระบวนการผลิต	ชนิดของปัจจัย
ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ	ความชื้นสัมพัทธ์ (% relative humidity)	ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้
อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม	ความชื้นสัมพัทธ์ (% relative humidity)	ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

- ปริมาณความชื้นในบรรยากาศ และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งส่งผลต่อเวลาและความสามารถในการแพร่ความชื้นจนเข้าสู่สมดุลความชื้นของกระดาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสงสัยว่าไม่เหมาะสมกับความชื้นกับกระดาศที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน และส่งผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูน แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมในโรงงานผลิตและคลังเป็นระบบเปิดมีค่าดังกล่าวแตกต่างกัน และเป็นปัจจัยที่ทางโรงงานไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการต้องควบคุมค่าดังกล่าว จึงถือเป็นข้อจำกัดสำหรับงานวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 4.8 แผนภาพก้างปลาแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงปัญหาฐานทุน

จากรายละเอียดเกี่ยวกับปัจจัยในเบื้องต้นที่ได้รับการพิจารณาผ่านการระดมสมองตามหลักทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความชื้นในกระดาศ, ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ, การเติมสาร internal sizing ชั้นกลาง และความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อม ที่บริษัทกรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบันมีความไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตกระดาศ ซึ่งนำไปสู่การควบคุมความชื้นและทำให้กระดาศเกิดการเปลี่ยนแปลงมิติจนเห็นเป็นลักษณะสันนูนเมื่อเก็บไว้ในคลังเก็บสินค้า โดยสำหรับปัจจัยเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้นั้น ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกข้อมูลตลอดระยะเวลาในงานวิจัยพบว่ามีค่าอยู่ที่ 50 – 85 % ซึ่งบันทึกตั้งแต่เดือน ก.ค. 2557 ดังตารางที่ ก.2 ภาคผนวก ก. และทราบว่าม้วนกระดาศถูกกองเก็บภายในคลังเดียวกัน ผู้วิจัยจึงตั้งเงื่อนไขของการศึกษาเพื่อให้ข้อมูลจากการทดลองครั้งนี้สามารถนำไปใช้อธิบายผลจริงที่เกิดขึ้นในสภาวะปกติของกระบวนการผลิตในบริษัทได้ ดังนี้ คือ

1. ม้วนกระดาศที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยต้องกองเก็บไว้ในบริเวณเดียวกัน คือ บริเวณคลังส่วนผลิต 2 ซึ่ง เป็นสถานที่จริงที่ใช้สำหรับเก็บสินค้าจากเครื่องผลิตที่ใช้ในกรณีศึกษา
2. ช่วงเวลาในการกองเก็บกระดาศต้องเป็นช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อกันออกปัจจัยที่เกิดจากความผันแปรเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ โดยถือว่าสภาพดังกล่าวเป็นสภาพที่เกิดขึ้นจริงตามสภาพอากาศในประเทศไทย
3. ระยะเวลากองเก็บเท่ากัน โดยกองเก็บเป็นเวลา 20 วัน ตามเวลาเฉลี่ยจริงของการกองเก็บของม้วนกระดาศภายในคลังก่อนจะมีการส่งขาย (ข้อมูลจากเดือน เม.ย. 2557)

จากรายละเอียดข้างต้นสามารถสรุปปัจจัย และระดับของการใช้งานจริงในกระบวนการผลิตกระดาศ อันส่งผลต่อการปรับปรุงสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบต่อน้ำหนักม้วนกระดาศ 1 ตัน ของปัญหาสันนูนบนม้วนกระดาศได้ คือ

ปริมาณความชื้นในกระดาศ	8 – 10	เปอร์เซ็นต์
ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ	0.3 – 0.5	เปอร์เซ็นต์
การเติม internal sizing ชั้นกลาง	0 (เกรด TA) และ 0.63 Kg./Ton (เกรด KA)	
ความชื้นสัมพัทธ์	50 - 85	เปอร์เซ็นต์

(เป็นข้อจำกัดของงานวิจัยเนื่องจากไม่สามารถควบคุมได้ จึงปล่อยตามสภาพแวดล้อมจริง)

เมื่อระบุปัจจัยที่มีผลสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบต่อน้ำหนักม้วนกระดาศ 1 ตัน แล้ว ต่อมาผู้วิจัยจึงนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างปัจจัยก่อนจะเข้าสู่การหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยทั้ง 3 ด้วยการดูแผนภาพแสดงผลจากอิทธิพลร่วม และอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัย

4.4 การออกแบบการทดลอง

4.4.1 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง (sample size)

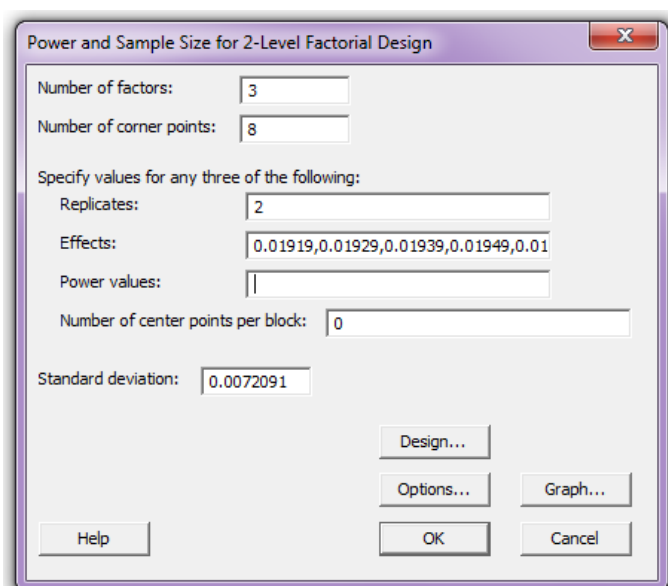
เนื่องจากขนาดตัวอย่าง หรือจำนวนการทำซ้ำ (replication) ของการทดลองมีผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของการทดลอง ซึ่งเรียกว่าระดับอำนาจของการทดสอบ (power of the test) เพราะเมื่อจำนวนของการทำซ้ำในการทดลองเพิ่มขึ้น จะทำให้ระดับของอำนาจของการทดสอบเพิ่มขึ้นด้วย แต่ในการปฏิบัติจริงนั้นยิ่งจำนวนการทำซ้ำเพิ่มมากขึ้นจะยิ่งทำให้ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเลือกขนาดตัวอย่างในการทำซ้ำให้เหมาะสมกับการทดลองในแต่ละครั้งโดยพิจารณาจากปัจจัยดังนี้

- ระดับอำนาจของการทดสอบ โดยทั่วไปผู้ทำการทดลองสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสมของมูลค่ากระบวนการ สำหรับการทดลองนี้ต้องการค่ามากกว่า 80 %

- ความไว (sensitivity) การเปลี่ยนแปลงขนาดของ effect ต้องส่งผลให้ค่าอำนาจของการทดลองเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การหาขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Minitab

เลือกคำสั่ง Stat > Power and sample size > 2-levels factorial design



รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลสำหรับกำหนดค่าเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างในโปรแกรม Minitab
ดำเนินการกำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 4.9

- **Number of factors** : จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา = 3
- **Number of corner points** : จำนวนระดับของทุกปัจจัยที่ต้องการศึกษา จาก 2^3 เพื่อให้ Treatment Combination สมดุลทำให้การออกแบบทดลองเป็น orthogonal ต่อกัน = 8
- **Replicates** : จำนวนซ้ำที่สามารถทำการทดลองได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดเป็น 2
- **Effects** : ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (δ) ที่สามารถยอมรับได้ในระหว่างกระบวนการ ซึ่งจากข้อมูลในเดือน เม.ย. 2557 ที่ผ่านมาพบว่าถ้าหากกระบวนการผลิตทำให้ปริมาณการกรีดสันสูงลดลงเกิน 0.01919 ดัน/น้ำหนักม้วน 1 ดัน (0.034 – 0.01481) จะถือว่าปริมาณการกรีดแตกต่าง
- **Standard deviation (σ)**: ความผันแปรของสัดส่วนน้ำหนักการกรีดสันสูง คือ $\overline{MR}/d_2^*$ ซึ่งจากข้อมูลในแผนภูมิควบคุมรูปที่ 3.26 มีค่า $\overline{MR} = 0.00824$ ดัน/น้ำหนักม้วน 1 ดัน, จำนวนกลุ่มย่อย (k) = 21, ขนาดของกลุ่มย่อย (n) = 2, ดังนั้นค่า $d_2^* = 1.143$ ดังนั้น $\overline{MR}/d_2^* = 0.0072091$

จากนั้นจะได้ระดับของอำนาจในการทดลองที่ขนาดตัวอย่างการทดลองต่างๆ ดังรูปที่ 4.10

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0072091					
Factors: 3 Base Design: 3, 8					
Blocks: none					
Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power	
0	0.01919	2	16	0.996032	
0	0.01929	2	16	0.996300	
0	0.01939	2	16	0.996551	
0	0.01949	2	16	0.996787	
0	0.01950	2	16	0.996810	
0	0.01969	2	16	0.997216	

รูปที่ 4.10 ผลการหาขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม Minitab

การหาขนาดตัวอย่างดังที่แสดงข้างต้น พบว่าขนาดตัวอย่างในการทดลองที่ replicates = 2 เป็นขนาดตัวอย่างที่เพียงพอและมีความเหมาะสมกับการเก็บข้อมูลจริงโดยไม่มีผลกับสายการผลิต มีระดับอำนาจในการทดลองสูงถึง 0.996787 หรือ 99.6787 % เมื่อพิจารณาถึงความไวกับ effects พบว่า effect มีความไวน้อยต่อค่าอำนาจในการทดสอบ

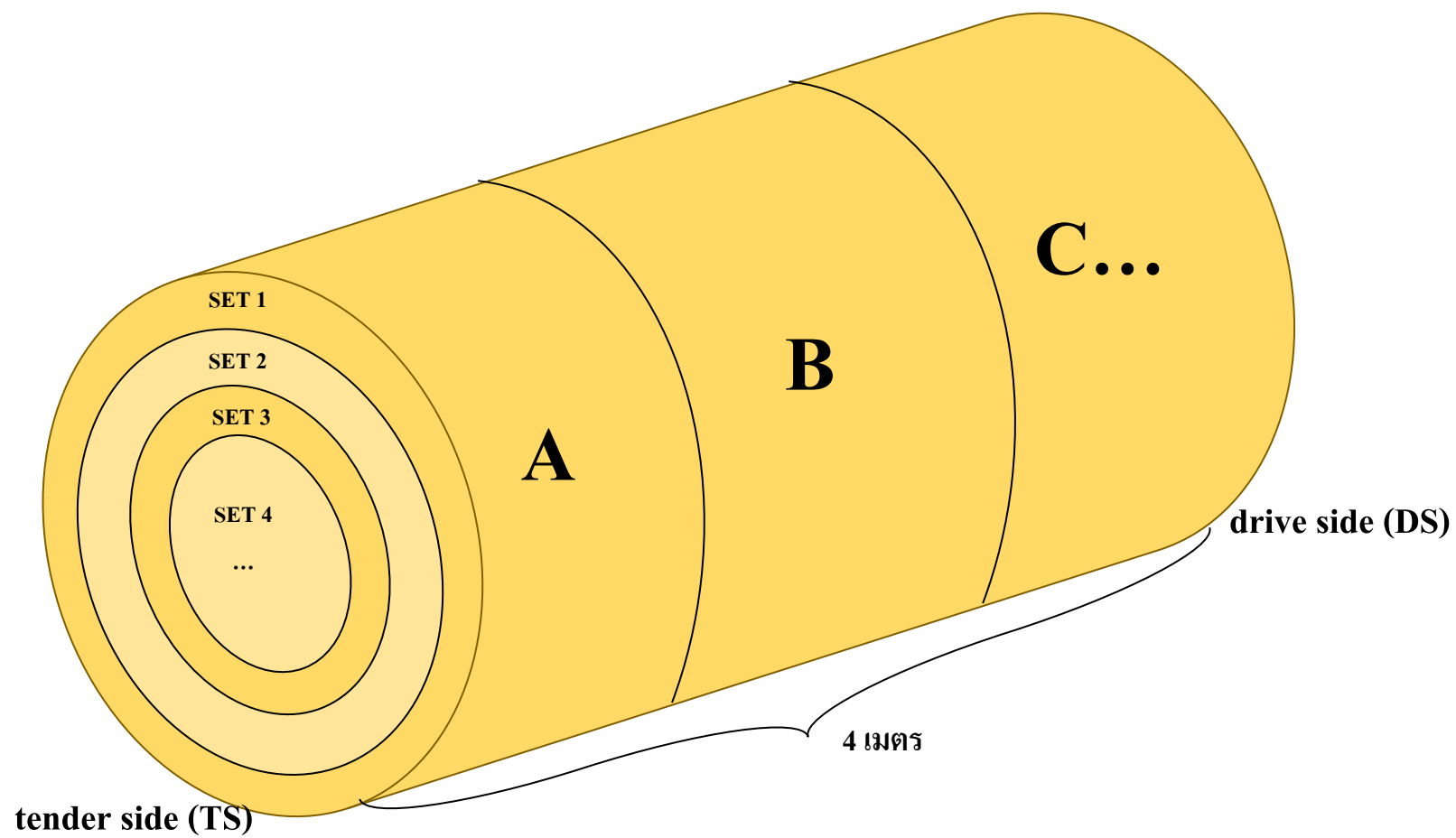
4.4.2 การกำหนดลำดับและรูปแบบในการทดลอง

ผู้วิจัยใช้การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล (2^k factorial design) มาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนน้ำหนักการกรีดกระดาษที่เกิดสัณฐานต่อน้ำหนักม้วน โดยในการทดลองครั้งนี้มีปัจจัยที่พิจารณาอยู่ 3 ปัจจัย คือ ปริมาณความชื้นในกระดาษ, ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และการเติมสาร internal sizing ส่วนปัจจัยเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้น บริษัทกระดาษไม่สามารถควบคุมได้ในขณะทดลอง ถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัย ทำให้เพียงการกำหนดขอบเขต คือ พื้นที่การกองเก็บ ระยะเวลาการกองเก็บ และช่วงเวลาการกองเก็บเพื่อลดความผันแปรจากปัจจัยดังกล่าว ดังนั้นการทดลองจึงมีทั้งสิ้น 2^3 แฟกทอเรียล และทำซ้ำเงื่อนไขเดิม 2 ซ้ำ รวมเป็นการทดลองทั้งสิ้น 16 เงื่อนไข โดยแต่ละเงื่อนไขจะทำการเก็บม้วนกระดาษตัวอย่างจากสายการผลิต 1 เซตด้วยกัน

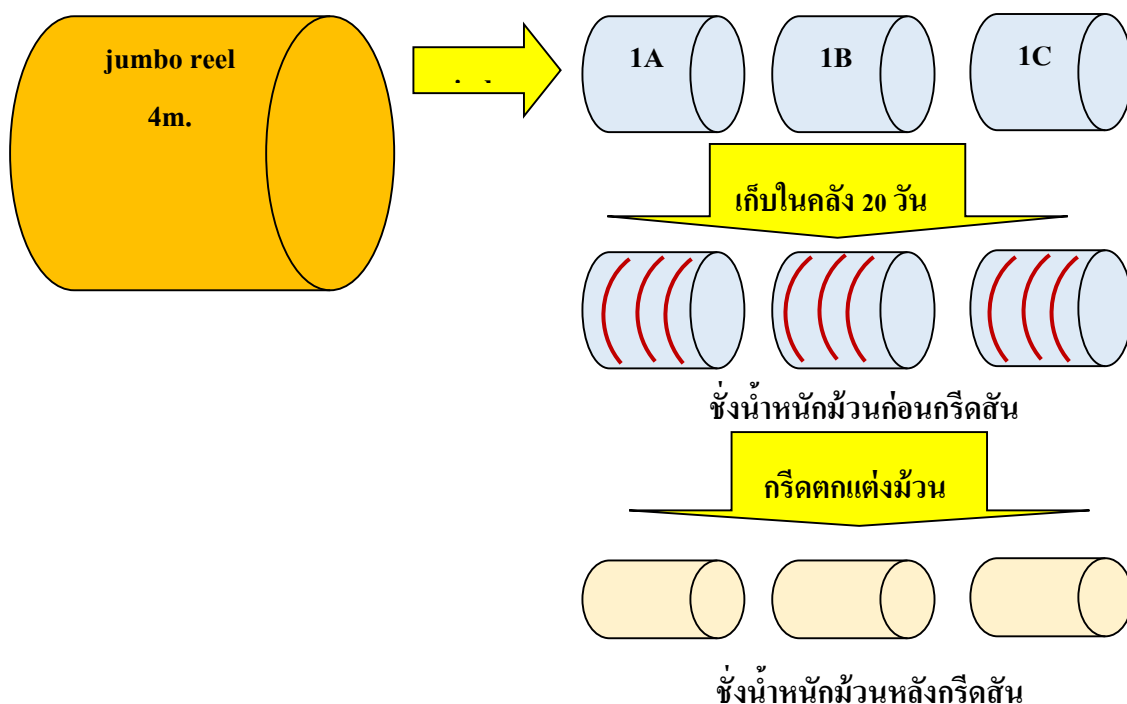
เนื่องจากในสายการผลิตกระดาษที่เป็นแบบต่อเนื่อง ผู้วิจัยจะทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองในการผลิตทุกๆ 1 ม้วน jumbo reel กระดาษ (น้ำหนักประมาณ 4 ตัน) ดังรูปที่ 4.11 โดยในแต่ละ jumbo reel จะนำมากรอแบ่งเป็นม้วนตามความยาวหน้ากว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลูกค้าต้องการ โดย 1 jumbo reel จะสามารถกรอแบ่งได้ประมาณ 4 – 5 เซต ดังรูปที่ 4.12 ขึ้นอยู่กับความยาวของม้วนกระดาษที่ต้องการกรอ โดยเริ่มนับจากรอบนอกม้วนเป็นเซตที่ 1 และส่วนของความกว้างกระดาษซึ่ง jumbo reel ยาวประมาณ 4 เมตร จะถูกตัดแบ่งออกตามขนาดหน้ากว้างได้ตั้งแต่ 2, 3, 4, 5, ... ม้วน ซึ่งขนาดมาตรฐานหน้ากว้างของกระดาษเกรด TA125 g/m² ที่ลูกค้าสั่งส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 1.3 – 1.6 เมตร นั้นหมายความว่า กระดาษจาก jumbo reel 1 เซตจะได้ม้วนกระดาษออกมาทั้งสิ้น 3 ม้วน โดยการตั้งชื่อม้วนกระดาษจะตั้งตามตำแหน่งการกรอโดยเริ่มจากฝั่งที่เป็นทางเดินของพนักงานตามแนวการวางเครื่องจักร เรียกว่า tender side (TS) ตั้งชื่อเป็นม้วน A, B, C, ... เรื่อยไปจนถึงฝั่งที่เป็นส่วนมอเตอร์เครื่องจักรอีกด้าน เรียกว่า drive side (DS) ดังรูปที่ 4.12 ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างผู้วิจัยได้ทำการเก็บม้วนกระดาษ 1 เซตจากการทดลอง 1 เงื่อนไข ทำให้ได้ม้วนกระดาษที่เป็นสิ่งตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 3 ม้วน โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกเก็บเฉพาะม้วนกระดาษจากการกรอเซตที่ 1 เนื่องจากเป็นม้วนที่อยู่ด้านนอกสุดของ jumbo reel คือ เป็นกระดาษช่วงสุดท้ายหลังจากการปรับเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งเชื่อว่าค่าที่ได้จากการปรับกระบวนการจะมีความนิ่งที่สุด ดังนั้นม้วนกระดาษจากการปรับเงื่อนไขการทดลอง 1 ครั้ง มีทั้งสิ้น 3 ม้วนด้วยกัน โดยเป็นม้วนลำดับที่ 1A, 1B และ 1C จากนั้นม้วนกระดาษที่เป็นชิ้นงานตัวอย่างจะถูกนำไปกองเก็บในคลังบริเวณที่ได้จัดเตรียมไว้เป็นเวลา 20 วัน จากนั้นจึงทำการชั่งน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนกรีดสัณฐาน แล้วให้พนักงานที่ทำหน้าที่ตกแต่งม้วนดำเนินการกรีดกระดาษส่วนที่เป็นสัณฐานออกตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด แล้วทำการชั่งน้ำหนักม้วนกระดาษหลังกรีดสัณฐานอีกครั้ง และทำการจดบันทึกค่า ขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 กระดาษม้วน jumbo reel



รูปที่ 4.12 ลำดับการเรียงม้วนกระดาดจากการกรอม้วน jumbo reel



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการปฏิบัติงานหลังจากเก็บม้วนกระดาษตัวอย่างเมื่อปรับตามเงื่อนไขการทดลอง

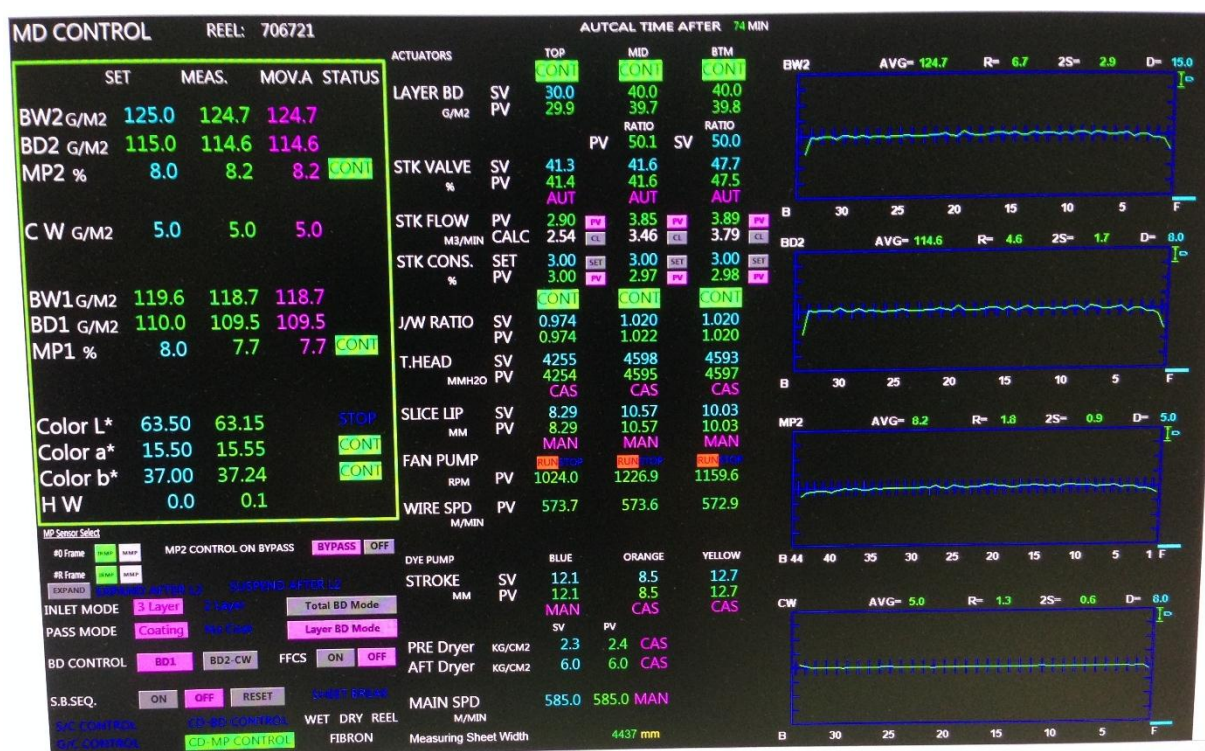
ในการลำดับและรูปแบบการทดลองแบบ 2^2 แฟกทอเรียลนั้นต้องการให้เป็นการทดลองแบบสุ่ม แต่เนื่องจากความยากของการปรับค่าเซตติงของแต่ละปัจจัยที่ทำการทดลองในสายการผลิตจริง ผู้วิจัยจึงลำดับการทดลองโดยคำนึงถึงความสามารถในการปรับค่าของกระบวนการจริงเป็นหลัก เริ่มจากการปรับปัจจัยเรื่องการใส่สาร internal sizing เนื่องจากตามแผนการผลิตมีการผลิตกระดาษเกรด TA150 g/m² อยู่ก่อนซึ่งเป็นกระดาษเกรดที่มีได้เติมสาร internal sizing ดังนั้นในการทดลองจึงต้องเริ่มต้นจากเงื่อนไขที่ไม่มีการเติมสาร internal sizing ทั้งหมดก่อน (ลำดับที่ 1-8) เพราะหากทดลองตามเงื่อนไขที่มีการเติมสาร internal sizing ก่อน หรือสลับไปมาระหว่างเติมและไม่เติม เงื่อนไขนั้นอาจได้รับผลจากสาร internal sizing ที่ค้างอยู่ในระบบน้ำ ซึ่งใช้หมุนเวียนกันในการผลิต ลำดับต่อมา คือ การปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency) หากมีการปรับปัจจัยดังกล่าวบ่อยครั้งในทุกๆ jumbo reel (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จะส่งผลให้น้ำเยื่อในสายการผลิตเกิดความปั่นป่วน ซึ่งอาจทำให้สายการผลิตหยุดชะงักเนื่องจากกระดาษมีปัญหาได้ ในการทดลองจึงทำการปรับค่าดังกล่าว 1 ครั้ง ต่อการทดลอง 2 เงื่อนไข และปัจจัยลำดับสุดท้าย คือ ปริมาณความชื้น (% moisture content) สามารถปรับได้ง่ายที่สุด ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าดังกล่าวทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ลำดับการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองแบบ 2³ factorials design

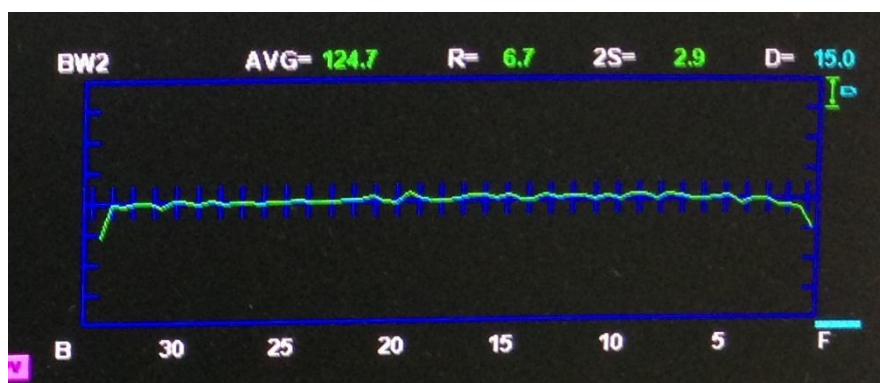
ลำดับการทดลอง	Sizing (Mid)	Consistency (%)	Moisture (%)	น้ำหนักม้วนกระดาษก่อนกรีด (กก.)			น้ำหนักม้วนกระดาษหลังกรีด(กก.)			น้ำหนักก่อนกรีด – น้ำหนักหลังกรีด (กก.)			สัดส่วนกระดาษที่ถูกกรีดสั้นบนต่อน้ำหนักม้วนกระดาษก่อนกรีด (กก./1ตัน)		
				A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	No	0.5	8	1112	1161	1200	1066	1130	1095	46	31	105	0.043152	0.027434	0.095890
2	No	0.5	10	1185	1210	*	1131	1156	*	54	54	*	0.047745	0.046713	*
3	No	0.3	8	1206	1172	1097	1144	1111	1040	62	61	57	0.054196	0.054905	0.054808
4	No	0.3	10	1153	1123	1080	1118	1123	1012	35	0	68	0.031306	0.000000	0.067194
5	No	0.5	8	1211	1264	1165	1143	1202	1084	68	62	81	0.059493	0.051581	0.074723
6	No	0.5	10	1137	1186	1099	1137	1186	1078	0	0	21	0.000000	0.000000	0.019481
7	No	0.3	8	1182	1233	1145	1104	1171	1050	78	62	95	0.070652	0.052946	0.090476
8	No	0.3	10	1186	1240	1145	1186	1240	1077	0	0	68	0.000000	0.000000	0.063138
9	Add	0.5	8	1188	1240	1142	1148	1240	1060	40	0	82	0.034843	0.000000	0.077358
10	Add	0.5	10	1177	1238	1140	1177	1238	1085	0	0	55	0.000000	0.000000	0.050691
11	Add	0.3	8	1192	1244	1145	1113	1244	1054	79	0	91	0.070979	0.000000	0.086338
12	Add	0.3	10	1201	1257	1155	1136	1257	1057	65	0	98	0.057218	0.000000	0.092715
13	Add	0.5	8	1210	1271	1167	1109	1175	1053	101	96	114	0.091073	0.081702	0.108262
14	Add	0.5	10	*	1218	1117	*	1218	1044	*	0	73	*	0.000000	0.069923
15	Add	0.3	8	1173	1225	1127	1115	1225	1019	58	0	108	0.052018	0.000000	0.105986
16	Add	0.3	10	1165	1217	1119	1102	1217	1025	63	0	94	0.057169	0.000000	0.091707

*ไม่มีข้อมูลเนื่องจากม้วนกระดาษสูญหาย (เงื่อนไขที่ 9 เริ่มทดลองห่างจากเงื่อนไขที่ 8 เป็นเวลา 1 กระดาษ (8 ชั่วโมง) เพื่อทำการใส่ internal sizing เข้าไปในระบบน้ำ)

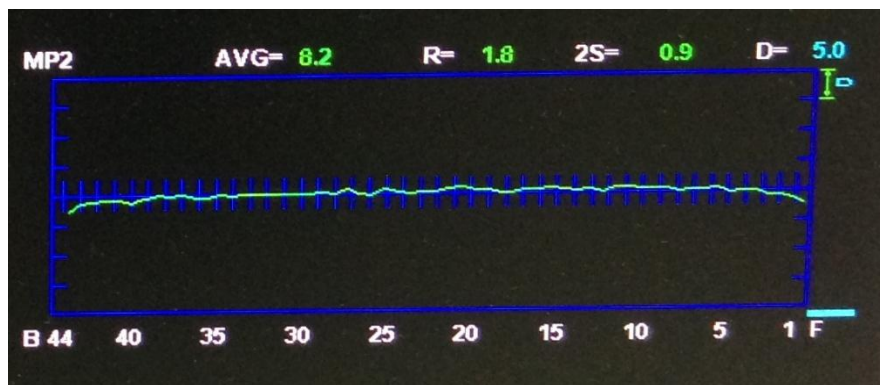
จากการสังเกตที่หน้างานจริงพบว่าในตอนเลือกปัจจัยมาทำการทดลองนั้น ผู้วิจัยให้ความสนใจเกี่ยวกับการปรับค่าปัจจัยต่างๆแล้วมีผลต่อกระดาษตามแนวเครื่องจักร (machine direction ; MD) เท่านั้น โดยเชื่อว่ากระดาษตามแนวขวางของเครื่องจักร (cross-machine direction ; CD) จะมีคุณลักษณะหรือในกระบวนการผลิตเรียกว่าโปรไฟล์ (profile) กระดาษที่เหมือนกัน เนื่องจากทราบว่าความผันแปรของโปรไฟล์กระดาษในเรื่องของค่าน้ำหนักกระดาษมาตรฐานที่รวมกับความชื้นแล้ว (basis weight ; BW) ค่าน้ำหนักกระดาษที่ไม่รวมความชื้น (bond dry ; BD) และปริมาณความชื้น (moisture content profile ; MP) ตามแนว CD มีความผันแปรน้อยมาก ซึ่งแสดงค่าความผันแปรตามจอมอนิเตอร์ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ก. หน้าจอควบคุมพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการทดลองที่ 11 (jumbo reel no. 5668)

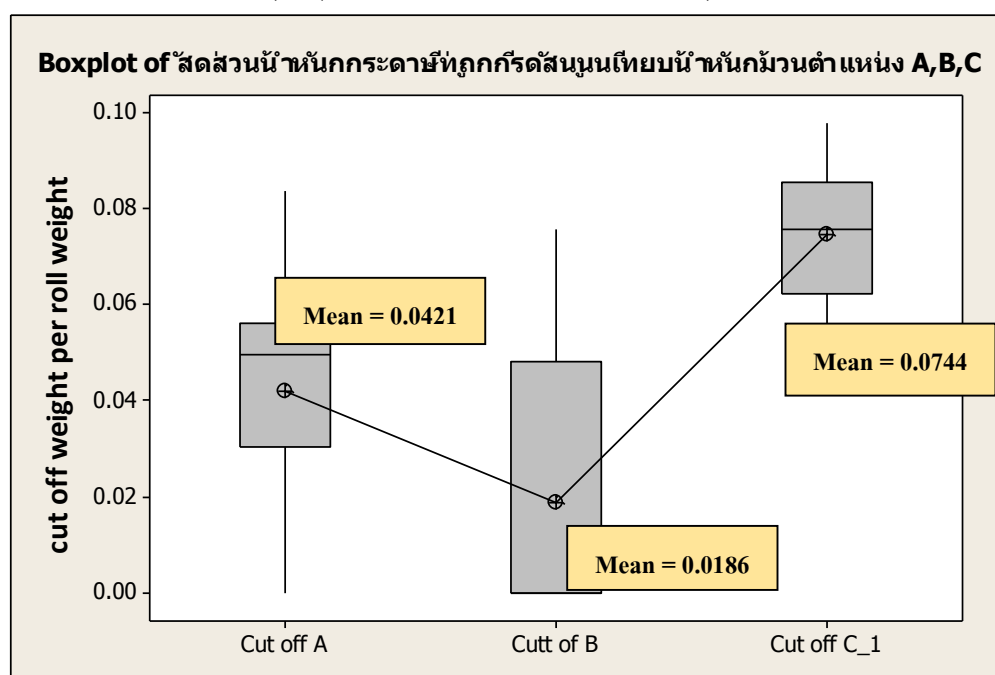


รูปที่ 4.14 ข. หน้าจอค่า basis weight (BW) ตามแนว CD เงื่อนไขทดลองที่ 11



รูปที่ 4.14 ค. หน้าจอค่า moisture content profile (MP) ตามแนว CD เงื่อนไขทคลองที่ 11

จากรูปที่ 4.14 ข. พบว่าเมื่อเซตค่า BW ไว้ที่ 125 g/m^2 มีค่า $2 \text{ sigma} = 2.9 \%$ ซึ่งคำนวณออกมาเป็นความผันแปรของค่า BW ตามแนว CD มีค่าเท่ากับ $(0.029 \times 125 \text{ g/m}^2) = \pm 3.625 \text{ g/m}^2$ และจากรูปที่ 4.14 ค. พบว่าเมื่อเซตค่า moisture content ไว้ที่ 8% จะมีค่า $2 \text{ sigma} = 0.9 \%$ ซึ่งคำนวณออกมาเป็นความผันแปรของค่า MP ตามแนว CD มีค่าเท่ากับ $(0.009 \times 8 \%) = \pm 0.072 \%$ ซึ่งเข้าใกล้นโยบายของบริษัทมากที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องผลิตกระดาษทุกเครื่องภายในโรงงาน ($2 \text{ sigma BW} < 1.5\%$ และ $2 \text{ sigma MP} < 1.0\%$) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงตั้งสมมติฐานในเบื้องต้นว่ากระดาษตามแนวขวางของเครื่องจักรจะมีคุณลักษณะเหมือนกัน แต่เมื่อทำการกรีดกระดาษหลังจากเก็บไว้ในคลัง 20 วัน แล้วกลับพบว่าสัดส่วนการกรีดม้วนกระดาษในแต่ละตำแหน่ง (A B และ C) มีสัดส่วนการกรีดเฉลี่ยที่แตกต่างกันเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ตำแหน่ง (C = 0.0744 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน) > (A = 0.0421 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน) > (B = 0.0186 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน)



รูปที่ 4.15 สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสั้นนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาษเฉลี่ยตามตำแหน่งม้วน A, B และ C

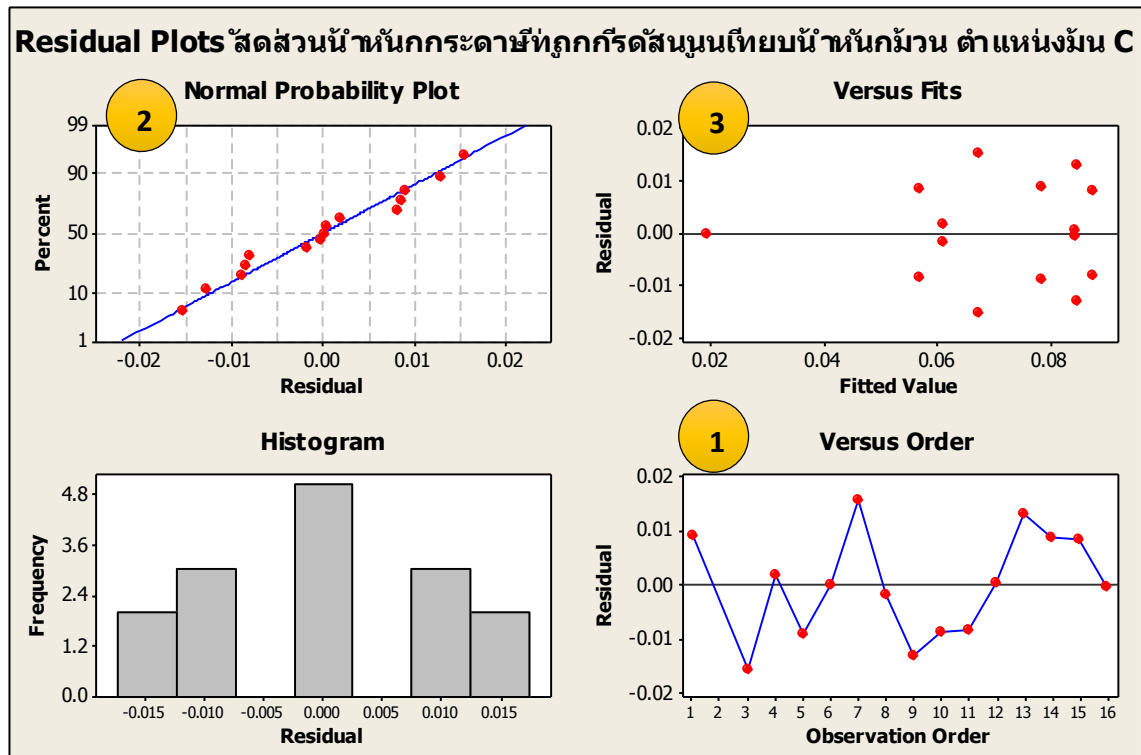
จากการสังเกตหน้างานจริงและจากข้อมูลในอดีตพบว่าม้วนกระดาษตำแหน่ง C เป็นตำแหน่งที่พบปัญหาสันนูนบ่อยที่สุด และมีการกริดกระดาษที่เกิดสันนูนเป็นน้ำหนักรวมมากที่สุด ซึ่งจากรูปที่ 4.15 พบว่าตำแหน่งกระดาษม้วน C มีสัดส่วนน้ำหนักรวมกระดาษที่ถูกกริดสันนูนเทียบกับน้ำหนักรวมกระดาษเฉลี่ยมากที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกข้อมูลจากการกริดกระดาษม้วนตำแหน่ง C มาวิเคราะห์เท่านั้น เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีโอกาสพบปัญหาสันนูนมากที่สุด

สำหรับสาเหตุของความแตกต่างของการเกิดสันนูนระหว่างตำแหน่งม้วนหรือตามแนว CD นั้นเป็นผลจากการปรับโปรไฟล์ของกระดาษตามแนว CD ซึ่งพนักงานหน้างานตั้งใจปรับให้ด้านริมกระดาษทั้งสองด้านมีค่า basis weight ต่ำกว่าบริเวณอื่นทำให้ลักษณะ profile ของกระดาษตามแนว CD เป็นรูปหน้าป้าง (frown) ดังรูปที่ 4.16 เพื่อให้กระดาษสามารถรีดลมออกได้ในขณะกรอเข้าม้วน jumbo reel ซึ่งถ้าไม่สามารถรีดลมออกได้ในขณะกรอจะส่งผลให้กระดาษเป็นร่องเกลียว และยับได้ในขณะเข้าม้วน โดยตำแหน่งริมทั้งสองด้านของกระดาษตรงกับตำแหน่งม้วน A และ C ทำให้ตำแหน่งดังกล่าวมีลักษณะโปรไฟล์กระดาษที่ไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ



รูปที่ 4.16 หน้าจอควบคุมแสดง profile ของกระดาษเป็นรูปหน้าป้างตามแนว CD ตามเงื่อนไขทดลองที่ 9 (jumbo reel no. 5666)

ก่อนจะทำการวิเคราะห์ผลจากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนกระดาศที่ถูกกริดทั้งเนื่องจากพบ สันฐานเทียบกับน้ำหนักม้วนนั้นจำเป็นต้องทำการทวนสอบคุณภาพของข้อมูลก่อน โดยมีผลวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 4.17

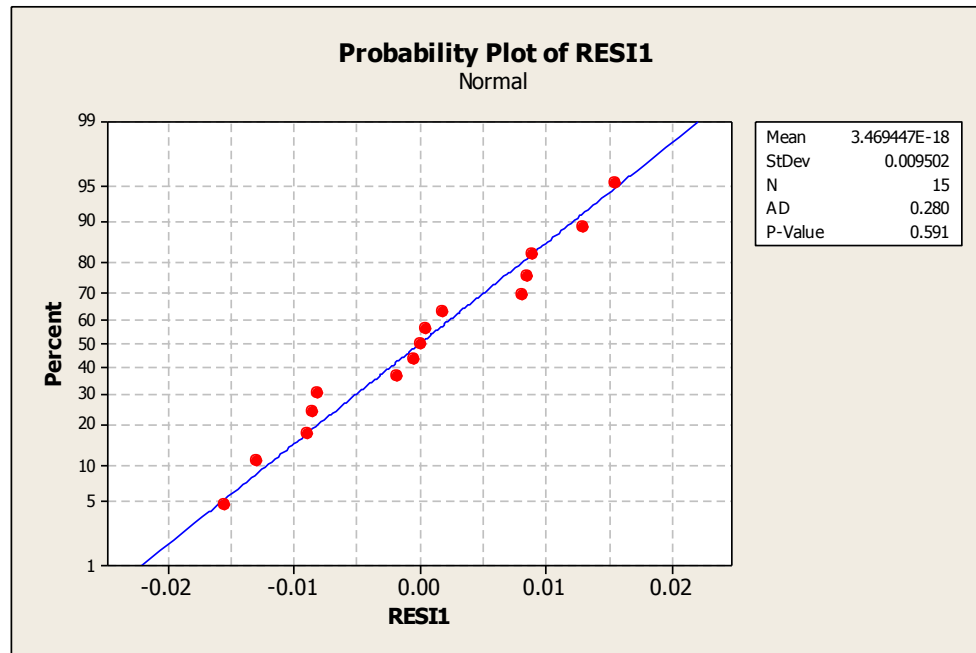


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์เพื่อทวนสอบคุณภาพของข้อมูลการทดลอง 2³ แฟกทอเรียล

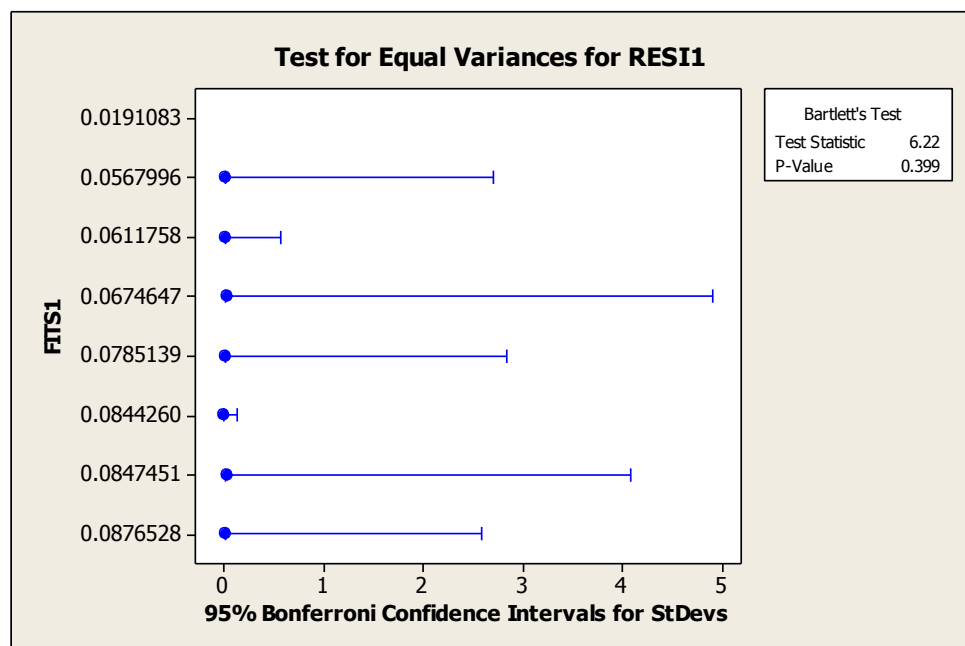
รูปที่ 4.17 กราฟหมายเลข ① แสดงโอกาสที่จะเกิดค่าสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกริดสันฐานต่อ น้ำหนักม้วนทุกๆค่าที่สามารถเกิดได้ในการทดลองครั้งนี้ด้วยความสุ่ม ซึ่งจากกราฟพบว่าข้อมูลที่ได้ จากการทดลองครั้งนี้มีความสุ่มดีแสดงว่าทุกๆข้อมูลมีโอกาสเกิดขึ้นเท่าๆกัน

รูปที่ 4.17 กราฟหมายเลข ② แสดงผลของการเชตติงของการทดลองครั้งนี้ซึ่งมีการปรับระดับปัจจัย ควบคุม 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณความชื้นกระดาศ ความเข้มข้นน้ำเยื่อ และการเติมสาร internal sizing และทำการ fix ปัจจัยควบคุมอื่นๆในงานทดลองให้คงที่ ซึ่งข้อมูลสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกริด สันฐานต่อน้ำหนักม้วนที่ได้จากการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเฉลี่ยออกปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ออก ทำให้ข้อมูลมีการฟอร์มตัวเป็นปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยควบคุมอื่นๆที่ fix ไว้ในการทดลอง แสดงว่าการทดลองครั้งนี้มีการเชตติงที่ดี

รูปที่ 4.17 กราฟหมายเลข ③ แสดงสภาวะควบคุมของกระบวนการทดลอง จากการกระจายตัวของ ข้อมูลสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกริดสันฐานต่อน้ำหนักม้วนในแต่ละเงื่อนไขพบว่ามีความผันแปรใกล้เคียงกันซึ่งความผันแปรดังกล่าวเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ แสดงว่าการทดลองครั้งนี้อยู่ภายใต้ สภาวะควบคุม



รูปที่ 4.18 กราฟ Normal Probability Plot (NOPP) แสดงความปกติของข้อมูล



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูล

จากรูปที่ 4.17 4.18 และ 4.19 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนที่ตำแหน่งม้วน C ที่เก็บได้จากการทดลองนี้ถูกเซตให้มีโอกาสเกิดขึ้นเท่าๆกันไม่มีการเอนเอียงของการเก็บข้อมูลทำให้ข้อมูลแสดงพฤติกรรมเป็นแบบสุ่ม (random) มีการเซตดังการทดลองที่ดี ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจึงมีการฟอร์มตัวเป็นปกติ (normal) และกระบวนการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมมีความผันแปรที่เกิดขึ้นจากสาเหตุธรรมชาติเท่านั้น ทำให้ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวที่

ดี หมายความว่าข้อมูลชุดนี้สามารถนำไปอนุมานผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไปได้ ต่อมาผู้วิจัยจึงพิจารณาผลจาก session ในรูปที่ 4.20 เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อค่าสัดส่วนการกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนที่ตำแหน่ง C และปัจจัยใดที่ไม่ส่งผลกับค่าดังกล่าวจะทำการตัดปัจจัยนั้นออกไป

Factorial Fit: สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่กรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนที่ตำแหน่งม้วน C
versus Sizing, Consist, Moisture

Estimated Effects and Coefficients for Cut off C (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.06749	0.003563	18.94	0.000
Sizing	0.02184	0.01092	0.003563	3.06	0.018
Consist	-0.01539	-0.00769	0.003563	-2.16	0.068
Moisture	-0.02422	-0.01211	0.003563	-3.40	0.011
Sizing*Consist	0.00012	0.00006	0.003563	0.02	0.987
Sizing*Moisture	0.00863	0.00432	0.003563	1.21	0.265
Consist*Moisture	-0.01946	-0.00973	0.003563	-2.73	0.029
Sizing*Consist*Moisture	0.00710	0.00355	0.003563	1.00	0.352

S = 0.0134380PRESS = *

R-Sq = 78.87%R-Sq(pred) = *%R-Sq(adj) = 57.74%

Analysis of Variance for Cut off C (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00312014	0.00382804	0.00127601	7.07	0.016
Sizing	1	0.00101507	0.00169598	0.00169598	9.39	0.018
Consist	1	0.00043397	0.00084193	0.00084193	4.66	0.068
Moisture	1	0.00167111	0.00208515	0.00208515	11.55	0.011
2-Way Interactions	3	0.00141940	0.00152320	0.00050773	2.81	0.117
Sizing*Consist	1	0.00003474	0.00000005	0.00000005	0.00	0.987
Sizing*Moisture	1	0.00012981	0.00026484	0.00026484	1.47	0.265
Consist*Moisture	1	0.00125485	0.00134630	0.00134630	7.46	0.029
3-Way Interactions	1	0.00017921	0.00017921	0.00017921	0.99	0.352
Sizing*Consist*Moisture	1	0.00017921	0.00017921	0.00017921	0.99	0.352
Residual Error	7	0.00126405	0.00126405	0.00018058		
Pure Error	7	0.00126405	0.00126405	0.00018058		
Total	14	0.00598280				

รูปที่ 4.20 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab ในส่วนของ session

จากผลการวิเคราะห์ในส่วนของ session จากโปรแกรม Minitab พบว่ามีค่า $R^2 = 78.87\%$ ซึ่งหมายความว่า ความผันแปรของข้อมูลค่าสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนที่ตำแหน่ง C ในการทดลองครั้งนี้ทั้งหมด 100 หน่วย² นั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุจากปัจจัยเรื่อง การเติมสารต้านทานการซึม internal sizing และความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency) และปริมาณความชื้นในกระดาษ (% moisture content) คิดเป็น 78.87 หน่วย² ส่วนอีก 22.28 หน่วย² ไม่สามารถอธิบายได้

จากนั้นจึงทำการพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆผ่านการอ่านค่า p-value โดยเริ่มอ่านที่ผลจากอิทธิพลร่วม (interaction effect) ที่ระดับสูงสุดก่อนลำดับแรก เพื่อพิจารณาว่าอิทธิพลร่วมดังกล่าวมีผลต่อการปรับปรุงปัญหาด้านนั้นหรือไม่ หากไม่มีผลจะดำเนินการขยับเทอมดังกล่าวไปเป็น error term เพื่อเพิ่มจำนวน degree of freedom (DF) ซึ่งในการทดลองนี้ คือ อิทธิพลจากการเติมสาร internal sizing และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และปริมาณความชื้นของกระดาษพร้อมกัน (3-way interaction effect) เรียงลงมาจนถึงผลจากอิทธิพลจากปัจจัยหลัก (main effect) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างการเติมสาร internal sizing และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และปริมาณความชื้นของกระดาษ (sizing*consist*moisture) มีค่า p-value = 0.352 แสดงว่าเมื่อทำการเติมสาร internal sizing และเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และเปลี่ยนระดับปริมาณความชื้นของกระดาษพร้อมกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.352 หมายความว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ไม่มี 3-way interaction effect ต่อกัน ดังนั้นจึงสามารถขยับเทอมดังกล่าวไปเป็น error term ได้ดังรูปที่ 4.21

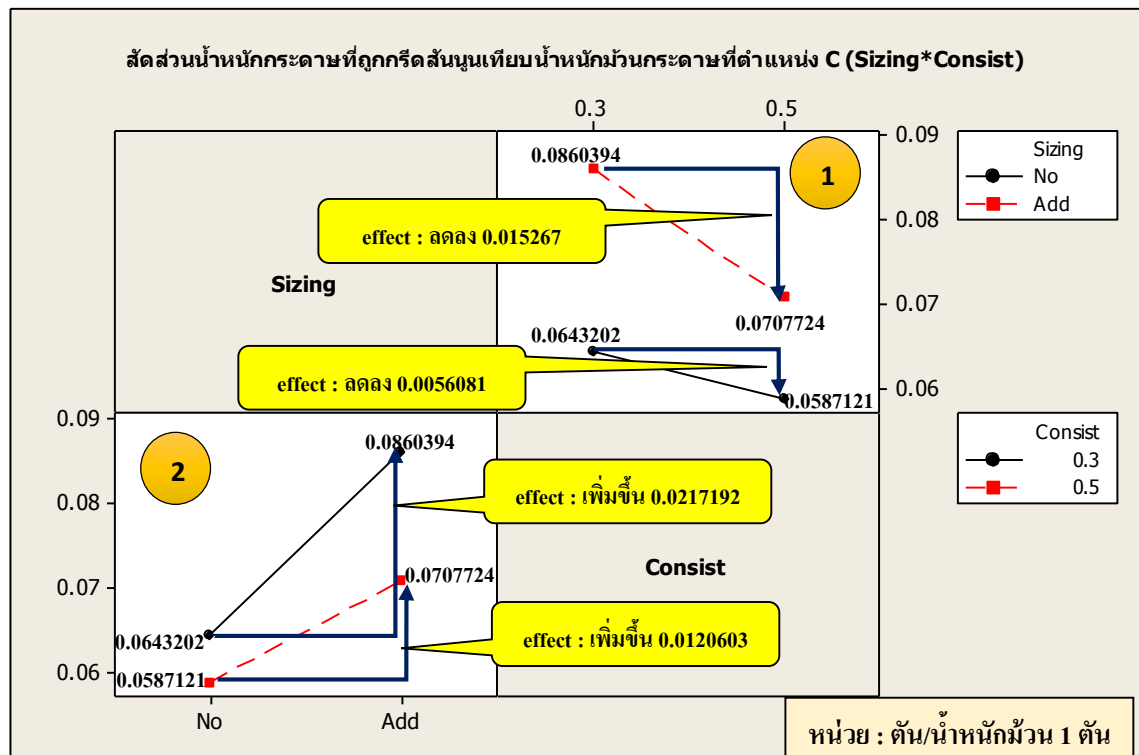
Factorial Fit: สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนที่ตำแหน่งม้วน C versus Sizing, Consist, Moisture						
Estimated Effects and Coefficients for Cut off C (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.06788	0.003540	19.18	0.000	
Sizing	0.02105	0.01053	0.003540	2.97	0.018	
Consist	-0.01460	-0.00730	0.003540	-2.06	0.073	
Moisture	-0.02343	-0.01171	0.003540	-3.31	0.011	
Sizing*Consist	-0.00067	-0.00033	0.003540	-0.09	0.927	
Sizing*Moisture	0.00784	0.00392	0.003540	1.11	0.300	
Consist*Moisture	-0.01867	-0.00934	0.003540	-2.64	0.030	
S = 0.0134316 PRESS = 0.00535360						
R-Sq = 75.88% R-Sq(pred) = 10.52% R-Sq(adj) = 57.78%						
Analysis of Variance for Cut off C (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00312014	0.00365723	0.00121908	6.76	0.014
Sizing	1	0.00101507	0.00159538	0.00159538	8.84	0.018
Consist	1	0.00043397	0.00076730	0.00076730	4.25	0.073
Moisture	1	0.00167111	0.00197591	0.00197591	10.95	0.011
2-Way Interactions	3	0.00141940	0.00141940	0.00047313	2.62	0.123
Sizing*Consist	1	0.00003474	0.00000161	0.00000161	0.01	0.927
Sizing*Moisture	1	0.00012981	0.00022137	0.00022137	1.23	0.300
Consist*Moisture	1	0.00125485	0.00125485	0.00125485	6.96	0.030
Residual Error	8	0.00144327	0.00144327	0.00018041		
Lack of Fit	1	0.00017921	0.00017921	0.00017921	0.99	0.352
Pure Error	7	0.00126405	0.00126405	0.00018058		

รูปที่ 4.21 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab (session) เมื่อขยับเทอม 3-way interaction effect

จากรูปที่ 4.21 เมื่อทำการยุบเทอม $sizing*consist*moisture$ ไปเป็น error term แล้ว ต่อมาต้องพิจารณาผลจากอิทธิพลร่วม (interaction effect) ที่ระดับรองลงมา คือ 2-way interaction effect ซึ่งมีด้วยกัน 3 คู่ ได้แก่ $sizing*consist$, $sizing*moisture$ และ $consist*moisture$ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. อิทธิพลร่วมระหว่างการเติมสาร internal sizing และความเข้มข้นของน้ำเยื่อ

ผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างการเติมสาร internal sizing และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ ($sizing*consist$) มีค่า $p\text{-value} = 0.927$ แสดงว่าเมื่อทำการเติมสาร internal sizing และเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของน้ำเยื่อพร้อมกัน จะส่งผลต่อปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.927 หมายความว่าเมื่อเติมสาร internal sizing (จากเดิมที่ไม่ได้เติม) แล้วจะไม่ทำให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % เป็น 0.5 % เปลี่ยนไป หรือเมื่อเปลี่ยนระดับเซตคิงค่าความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5 % แล้วจะไม่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเติมสาร internal sizing เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 4.22 ดังนั้นจึงสามารถยุบเทอมดังกล่าวไปเป็น error term ได้

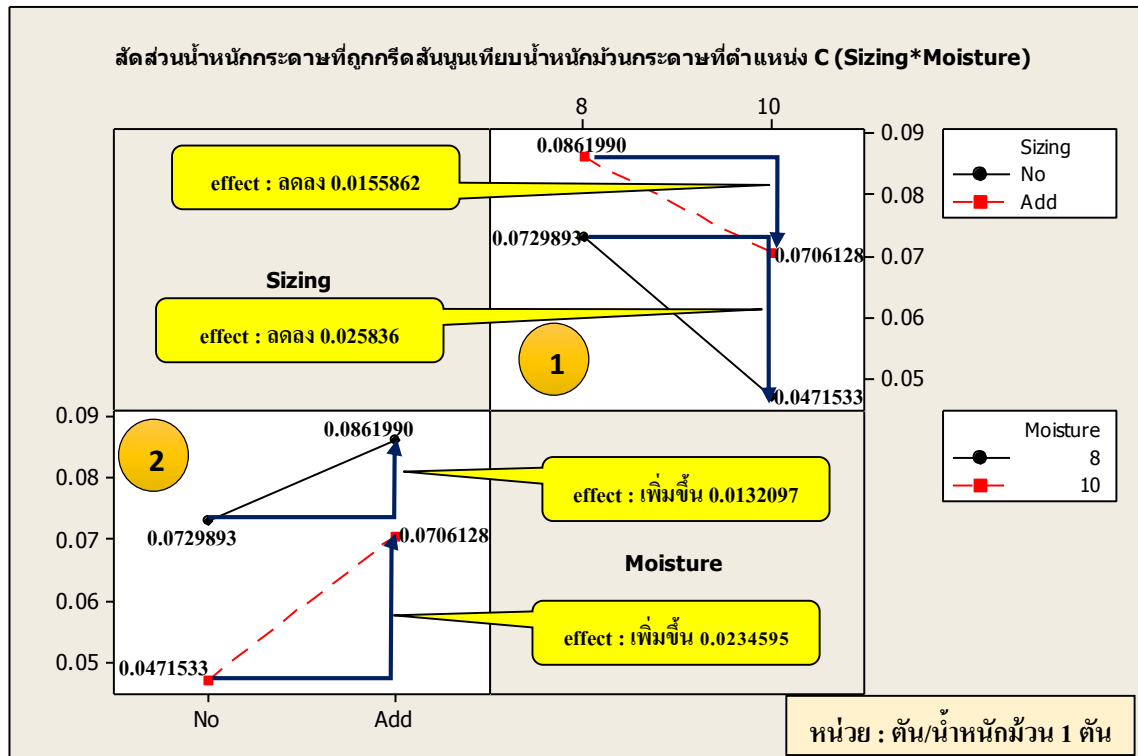


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องการเติมสาร internal sizing และความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency)

จากรูปที่ 4.22 กราฟหมายเลข ¹ พบว่าเมื่อไม่ได้เติมสาร internal sizing (No ; เส้นทึบ) ส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% นั้นลดลง 0.0056081 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน (ลดลง 5.6081 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน) และเมื่อทำการเติมสาร internal sizing (Add ; เส้นปะ) เข้าไป จะส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% นั้นลดลงเช่นเดียวกันแต่ลดลง 0.015267 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน (ลดลง 15.267 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน) ซึ่งในรูปที่ 4.22 กราฟหมายเลข ² ก็สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน ซึ่งในเชิงวิศวกรรมสามารถอธิบายได้ว่าการเติมสารกันซึมหรือ internal sizing ลงไปในน้ำเยื่อขณะผลิตกระดาษนั้น สารที่เติมจะไปสร้างพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ภายในเซลลูโลสซึ่งทำให้เซลลูโลสไม่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลน้ำ (H₂O) ได้อีกหรือสร้างได้น้อยลง เปรียบเสมือนกับตัวเซลลูโลสแต่ละเส้นถูกดัดแปลงโครงสร้างไปซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี (chemical structure) เท่านั้น แต่โครงสร้างทางกายภาพ (structural physics) หรือรูปร่างของเซลลูโลสยังคงมีลักษณะเหมือนเดิม จึงทำให้เซลลูโลสยังคงสามารถจัดเรียงตัวเป็นกระดาษได้อย่างมีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกับการไม่ได้เติมสารดังกล่าว ดังนั้นอิทธิพลของความสม่ำเสมอของกระดาษที่อธิบายด้วยปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่อปัญหาสันนูนจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้จะเติมหรือไม่เติมสาร internal sizing ลงในกระดาษก็ตาม

2. อิทธิพลร่วมระหว่างการเติมสาร internal sizing และความชื้นของกระดาษ

ผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างการเติมสาร internal sizing และปริมาณความชื้นของกระดาษ (sizing*moisture) มีค่า p-value = 0.300 แสดงว่าเมื่อทำการเติมสาร internal sizing และเปลี่ยนระดับปริมาณความชื้นของกระดาษพร้อมกัน จะส่งผลต่อปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.300 หมายความว่าเมื่อเติมสาร internal sizing (จากเดิมที่ไม่ได้เติม) แล้วจะไม่ทำให้ปริมาณสัดส่วนการกรดสันนูนเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความชื้นกระดาษจาก 8 % เป็น 10 % เปลี่ยนไป หรือเมื่อเปลี่ยนระดับเซตค่าความชื้นกระดาษจาก 8 % เป็น 10 % แล้วจะไม่ทำให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเติมสาร internal sizing เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 4.23 ดังนั้นจึงสามารถสรุปเทอมดังกล่าวไปเป็น error term ได้

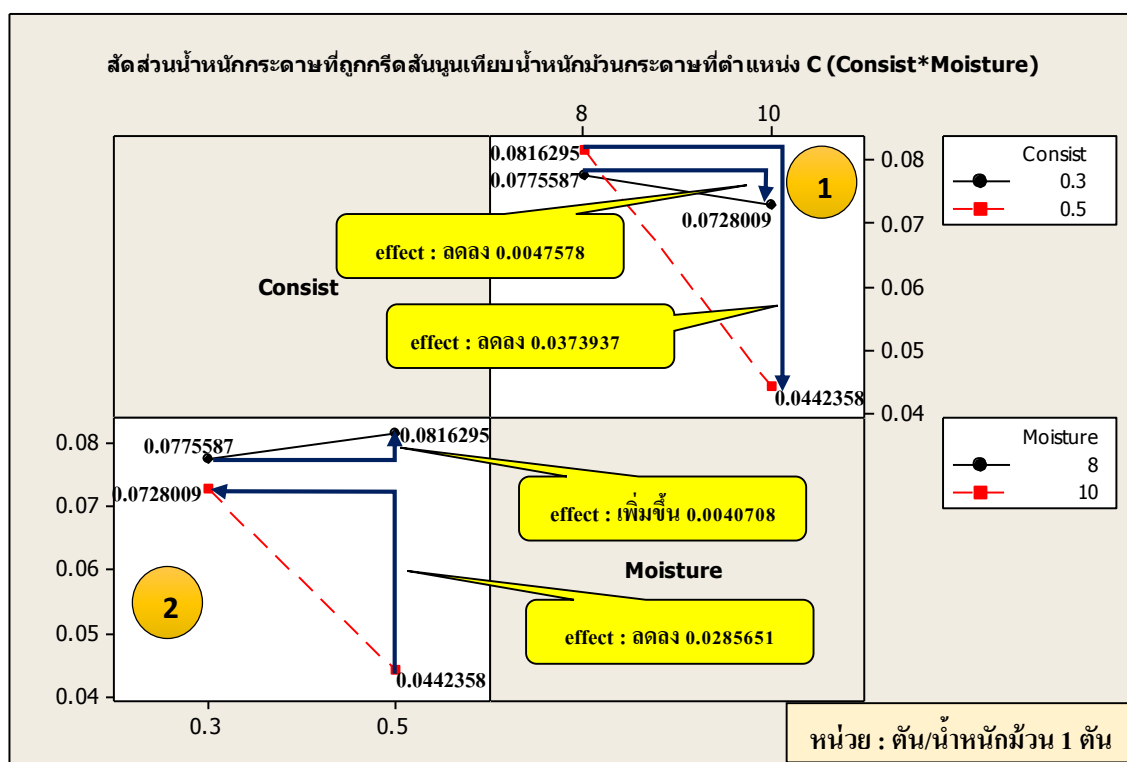


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องการเติมสาร internal sizing และ ปริมาณความชื้นของกระดาษ (% moisture content)

จากรูปที่ 4.23 กราฟหมายเลข ① พบว่าเมื่อไม่ได้เติมสาร internal sizing (No ; เส้นทึบ) ส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรดสั่นนูนเทียบน้ำหนักมันกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความชื้นจาก 8 % เป็น 10 % นั้นลดลง 0.025836 ตัน/น้ำหนักมัน 1 ตัน (ลดลง 25.836 กิโลกรัมต่อน้ำหนักมัน 1 ตัน) และเมื่อทำการเติมสาร internal sizing (Add ; เส้นปะ) เข้าไปจะส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนการกรดสั่นนูนของกระดาษตำแหน่งมัน C เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นน้ำเชื้อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% นั้นลดลงเช่นเดียวกันแต่ลดลง 0.0155862 ตัน/น้ำหนักมัน 1 ตัน (ลดลง 15.5862 กิโลกรัมต่อน้ำหนักมัน 1 ตัน) ซึ่งในรูปที่ 4.23 กราฟหมายเลข ② ก็สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน ซึ่งในเชิงวิศวกรรมสามารถอธิบายได้ว่ากระดาษที่มีความชื้น 8 % นั้นมีโมเลกุลน้ำสร้างพันธะอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสอยู่น้อยกว่ากระดาษที่มีความชื้น 10 % ดังนั้นกระดาษที่มีความชื้น 8 % ย่อมสามารถรับโมเลกุลของน้ำจากอากาศได้มากกว่ากระดาษที่มีความชื้น 10 % ซึ่งการเติมสารต้านทานการซึม (internal sizing) ขณะผลิตกระดาษซึ่งเป็นการลดหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลสลงหรือไม่เติมสารดังกล่าวนี้เซลลูโลสก็ยังคงสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำจากอากาศได้เช่นเดิม แต่อาจดูดซับได้มากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณความชื้นในกระดาษ และปริมาณสารต้านทานการซึมที่เติมลงไปนั่นเอง นั่นหมายความว่า การเติมสารกันซึมหรือ internal sizing ลงไปในน้ำเชื้อขณะผลิตกระดาษนั้นไม่ส่งผลต่อความชื้นของกระดาษที่จะไปกระทบต่อการเกิดปัญหาสันนูนบนผิวกระดาษเมื่อเก็บเป็นมัน

3. อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของน้ำเยื่อและความชื้นของกระดาศ

ผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และปริมาณความชื้นของกระดาศ (consist*moisture) มีค่า $p\text{-value} = 0.030$ แสดงว่าเมื่อทำการเปลี่ยนระดับความเข้มข้นของน้ำเยื่อและเปลี่ยนระดับปริมาณความชื้นของกระดาศพร้อมกัน จะส่งผลต่อปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาศที่ตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.030 หมายความว่าเมื่อเปลี่ยนระดับเซตตั้งค่าความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% แล้วจะส่งผลทำให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาศที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นจาก 8 % เป็น 10 % นั้นเปลี่ยนไป หรือเมื่อเปลี่ยนระดับเซตตั้งค่าความชื้นกระดาศจาก 8 % ไปเป็น 10 % แล้วจะส่งผลทำให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาศที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % เป็น 0.5 % เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ดังนั้นจึงไม่สามารถยุบเทอมดังกล่าวไปเป็น error term ได้ และจำเป็นต้องพิจารณาผลจากอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (% consistency) และปริมาณความชื้นของกระดาศ (% moisture content)

จากรูปที่ 4.24 กราฟหมายเลข 2 พบว่าเมื่อปรับค่าปริมาณความชื้นไว้ที่ 8 % (8 ; เส้นทึบ) ส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาศที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% นั้นเพิ่มขึ้น 0.0047578 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน (เพิ่มขึ้น

4.7578 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน) แต่เมื่อทำการปรับระดับปริมาณความชื้นของกระดาษขึ้นไปเป็น 10 % (10 ; เส้นปะ) กลับส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกีดกันบนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เนื่องจากการเปลี่ยนความเข้มข้นน้ำเยื่อจาก 0.3 % ไปเป็น 0.5% นั้นลดลง 0.0285651 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน (ลดลง 28.5651 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน) โดยสามารถอธิบายในเชิงวิศวกรรมได้ว่าเมื่อปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีจำนวนโมเลกุลน้ำ (H_2O) ที่สร้างพันธะอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ของเซลลูโลสในกระดาษมากขึ้น ทำให้เซลลูโลสไม่สามารถดูดความชื้นได้อีก เนื่องจากไม่มีพันธะไฮดรอกซิลสำหรับรับโมเลกุลน้ำหรือมีเหลือน้อยเต็มที ดังนั้นจึงปรากฏให้เห็นเส้นกราฟสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกีดกันบนเทียบน้ำหนักม้วนกระดาษ 1 ตัน ของปัจจัยความชื้น 10 % อยู่ต่ำกว่าที่ความชื้น 8 % ทุกๆสภาวะ เพราะเซลลูโลสไม่สามารถดูดซับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในสภาพแวดล้อมได้อีกจึงไม่เกิดการพองตัวและทำให้กระดาษเปลี่ยนแปลงมิติไปอย่างไรก็ตามการที่เพิ่มปริมาณความชื้นในกระดาษ ซึ่งถือเป็นการเพิ่มโมเลกุลน้ำเข้าไปในเซลลูโลสนั้น ผลที่ตามมาก็คือเซลลูโลสเกิดการพองตัว (จากคุณสมบัติการพองตัว บทที่ 2) มากกว่าเซลลูโลสในกระดาษที่มีความชื้นน้อยกว่า เมื่อเซลลูโลสแต่ละเส้นมีขนาดใหญ่มากขึ้น กรณีที่ความเข้มข้นน้ำเยื่อต่ำ (consistency 0.3 %) กระดาษมีการฟอร์มตัวที่มีความสม่ำเสมอดี หมายความว่าเซลลูโลสแต่ละเส้นกระจายตัวอยู่ค่อนข้างชิดกัน เหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เซลลูโลสแต่ละสายแย่งพื้นที่กันและเกิดการดันตัวจนพบเป็นปัญหาสันนูนมากกว่าในกรณีที่ความเข้มข้นของเยื่อ consistency 0.5 % แล้วซึ่งการฟอร์มตัวของเซลลูโลสในกระดาษอยู่อย่างกระจัดกระจายกัน เซลลูโลสที่มีการพองตัวก็จะไม่แย่งพื้นที่กัน ทำให้พบปัญหาสันนูนน้อยกว่า แต่ในทางตรงข้ามหากความชื้นในกระดาษมีน้อย (moisture content 8 %) เซลลูโลสฝืดเพราะพันธะกับโมเลกุลน้ำน้อยกว่า ทำให้เซลลูโลสแต่ละสายยังคงมีโอกาสรับโมเลกุลน้ำจากความชื้นในสภาพแวดล้อมได้อีก ทำให้อิทธิพลจากความสม่ำเสมอของกระดาษเป็นไปในทิศทางตรงข้าม คือ หากกระดาษมีการเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ (consistency 0.3 %) เซลลูโลสเรียงตัวชิดกันดี ช่องว่างระหว่างเซลลูโลสจะน้อยกว่าทำให้โมเลกุลน้ำหรือความชื้นจากสภาพแวดล้อมแพร่ผ่านเข้าสู่โครงสร้างกระดาษยากขึ้น เมื่อเซลลูโลสมีโอกาสสร้างพันธะกับโมเลกุลน้ำได้น้อย เซลลูโลสก็จะมีโอกาสพองตัวน้อยลง จึงทำให้พบปัญหาสันนูนน้อยกว่ากรณีที่กระดาษมีการเรียงตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (consistency 0.5 %) ช่องว่างระหว่างสายเซลลูโลสมาก ความชื้นจากสภาพแวดล้อมสามารถแพร่เข้าสู่โครงสร้างกระดาษได้ง่าย เซลลูโลสมีโอกาสสร้างพันธะกับโมเลกุลน้ำได้ดีและเกิดการพองตัวจึงพบปัญหาสันนูนได้มากกว่านั่นเอง

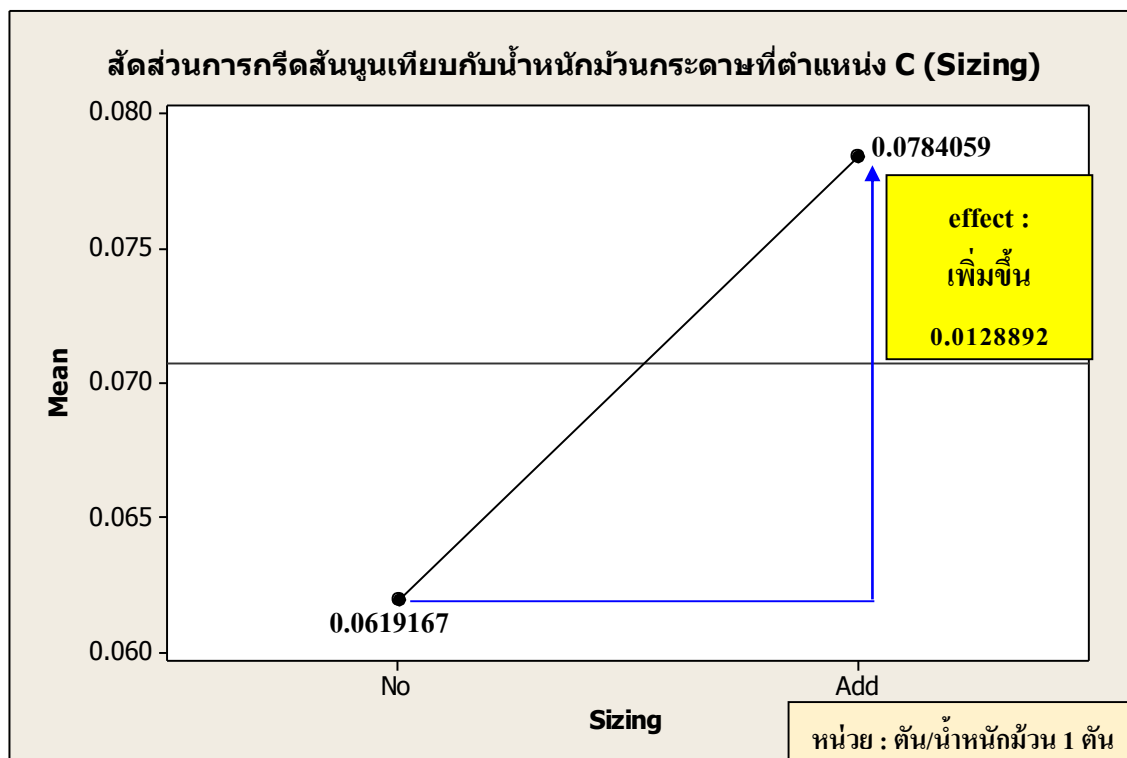
ดังนั้นอิทธิพลของความสม่ำเสมอของกระดาษที่อธิบายด้วยปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่อปัญหาสันนูน ที่ส่งผลต่อปัญหาสันนูนจึงเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลกระทบต่อการศึกษาปัญหาสันนูนในม้วนกระดาษเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลจากปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม (interaction effect) ครบทั้งหมดแล้วจะทำการยวบเทอมที่สามารถยวบได้ออกไปดังรูปที่ 4.25 และทำการพิจารณาผลจากอิทธิพลหลัก (main effect) ที่ไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมกับปัจจัยอื่น ซึ่งในการทดลองนี้ คือ ปัจจัยเรื่องการเติมสาร internal sizing

Factorial Fit: สัดส่วนน้ำหนักระคายที่กรีดสันนูนเทียบน้ำหนักมันที่ตำแหน่งมัน C versus Sizing, Consist, Moisture						
Estimated Effects and Coefficients for Cut off C (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.06821	0.003377	20.20	0.000	
Sizing	0.02040	0.01020	0.003377	3.02	0.013	
Consist	-0.01395	-0.00697	0.003377	-2.07	0.066	
Moisture	-0.02278	-0.01139	0.003377	-3.37	0.007	
Consist*Moisture	-0.01802	-0.00901	0.003377	-2.67	0.024	
S = 0.0129318 PRESS = 0.00382585						
R-Sq = 72.05% R-Sq(pred) = 36.05% R-Sq(adj) = 60.87%						
Analysis of Variance for Cut off C (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.0031201	0.0035853	0.0011951	7.15	0.008
Sizing	1	0.0010151	0.0015258	0.0015258	9.12	0.013
Consist	1	0.0004340	0.0007132	0.0007132	4.27	0.066
Moisture	1	0.0016711	0.0019020	0.0019020	11.37	0.007
2-Way Interactions	1	0.0011904	0.0011904	0.0011904	7.12	0.024
Consist*Moisture	1	0.0011904	0.0011904	0.0011904	7.12	0.024
Residual Error	10	0.0016723	0.0016723	0.0001672		
Lack of Fit	3	0.0004083	0.0004083	0.0001361	0.75	0.554
Pure Error	7	0.0012641	0.0012641	0.0001806		
Total	14	0.0059828				

รูปที่ 4.25 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab (session) เมื่อยวบเทอม 2-way interaction effect คือ sizing*consist และ sizing*moisture ออกไป

จากรูปที่ 4.25 พบว่าผลจากอิทธิพลหลัก คือ การเติมสาร internal sizing มีค่า p-value = 0.013 แสดงว่าเมื่อทำการเติมสาร internal sizing ลงไปในน้ำเชื้อจะส่งผลต่อปริมาณสัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกรีดสันนูนเทียบน้ำหนักมันกระคายที่ตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.013



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลจากอิทธิพลหลักของปัจจัยเรื่องการเติมสารกันซึม internal sizing

จากรูปที่ 4.26 พบว่าเพิ่มเติมสาร internal sizing ลงไปในน้ำเยื่อจะส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนกระดาษที่ตำแหน่ง C เพิ่มขึ้น 0.0128892 (เพิ่มขึ้น 12.8892 กิโลกรัมต่อน้ำหนักม้วน 1,000 กิโลกรัม) ซึ่งผลที่แสดงออกมาขัดกับความเชื่อเดิมที่ตั้งไว้เบื้องต้น โดยปกติแล้วการเติมสารกันซึมลงในกระดาษจะต้องช่วยให้กระดาษมีความต้านทานน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้องสามารถลดปริมาณการเกิดสันนูนบนกระดาษได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากสารดังกล่าวช่วยลดการดูดความชื้นเข้ามาภายในโครงสร้างกระดาษ แต่จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารดังกล่าวลงไปกลับทำให้สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนสูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อทำการอภิปรายร่วมกับบุคลากรในหน่วยงานผลิตและหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้ข้อสรุปในเบื้องต้นว่าสาเหตุดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากประสิทธิภาพการทำงานของสาร internal sizing โดยสารดังกล่าวจะสามารถทำงานได้เมื่อผ่านอุณหภูมิที่สูงระดับหนึ่งจากขั้นตอนการอบกระดาษ ซึ่งในปัจจุบันโรงงานยังไม่มีเทคโนโลยีที่ช่วยปรับระดับและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับดังกล่าวได้ ทางโรงงานจึงเชื่อว่าการที่ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเติม internal sizing ลงไปกลับทำให้สัดส่วนน้ำหนักที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนเพิ่มขึ้นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากอิทธิพลแทรกซ้อนเรื่องอุณหภูมินั่นเอง

4.5 การยืนยันผลจากการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้ง 3

ในหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าปัญหากระดาษเกรด TA125 g/m² เป็นต้นเหตุมีสาเหตุมาจากปัจจัยเรื่องการเติม internal sizing ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ และปริมาณความชื้นในกระดาษ ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการทดลองเพื่อยืนยันผลของระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตกระดาษที่จะทำให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดกันน้ำหนักรีดกระดาษน้อยที่สุด โดยเมื่อพิจารณาจากผลของอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของน้ำเยื่อและปริมาณความชื้นกระดาษที่แสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าการปรับเซตค่าความชื้นของกระดาษไว้ที่ 10 % และค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อ 0.5 % เป็นระดับของปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดกันน้ำหนักรีดกระดาษน้อยที่สุด รวมไปถึงผลจากอิทธิพลหลักจากการเติมสาร internal sizing ที่แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าการไม่เติมสาร internal sizing ทำให้สัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดกันน้ำหนักรีดกระดาษน้อยที่สุด ดังนั้นการทดลองเพื่อยืนยันผลการปรับปรุงปัญหาต้นเหตุในกระดาษเกรด TA125 g/m² ต้องดำเนินการปรับระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ไม่เติม internal sizing ลงในระบบน้ำ
2. ตั้งค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อไว้ที่ 0.5 %
3. ตั้งค่าปริมาณความชื้นของกระดาษไว้ที่ 10 %

เมื่อทราบระดับค่าเซตค่าของทั้ง 3 ปัจจัยแล้ว ลำดับถัดมาผู้วิจัยได้ทำการอธิบายขั้นตอนการปฏิบัติงานแก่พนักงานในกระบวนการเพื่อยืนยันผลการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้ง 3 จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลของการปรับเปลี่ยนระดับการทำงานใหม่โดยเก็บข้อมูลในรอบการผลิตเป็นเวลา 2 วัน วันละ 3 และ 4 jumbo reel ตามลำดับ โดยม้วนกระดาษ (roll) ที่กรอได้จากได้ทั้ง 7 jumbo reel นี้จะถูกติดตามผลการกีดกระดาษจากปัญหาต้นเหตุเมื่อมีการส่งขายลูกค้าตามวิธีการทำงานปกติของบริษัทกรณีศึกษา และนอกจากนี้แล้วผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างม้วนกระดาษจากเซตที่ 1 ของทุกๆ jumbo reel ที่ทดลองยืนยันผลและนำไปกองเก็บในคลังก่อนเป็นเวลา 20 วันก่อนจะทำการกีดขายเพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพของม้วนกระดาษ จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการนำข้อมูลสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดแยกตามรายวันหลังการปรับปัจจัยทั้ง 3 มาทำการเทียบความแตกต่างกับสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดกันน้ำหนักรีดต่อม้วนที่ถูกรีดของกระดาษเกรด TA125 g/m² ในปัจจุบัน (เดือน เม.ย. 2557) เพื่อยืนยันว่าการเปลี่ยนระดับของปัจจัย 3 ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการปรับปรุงสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกีดกันน้ำหนักรีดทั้งจากปัญหาความไม่ตรงข้อกำหนดประเภทต้นเหตุจริงโดยตั้งสมมติฐาน ดังนี้

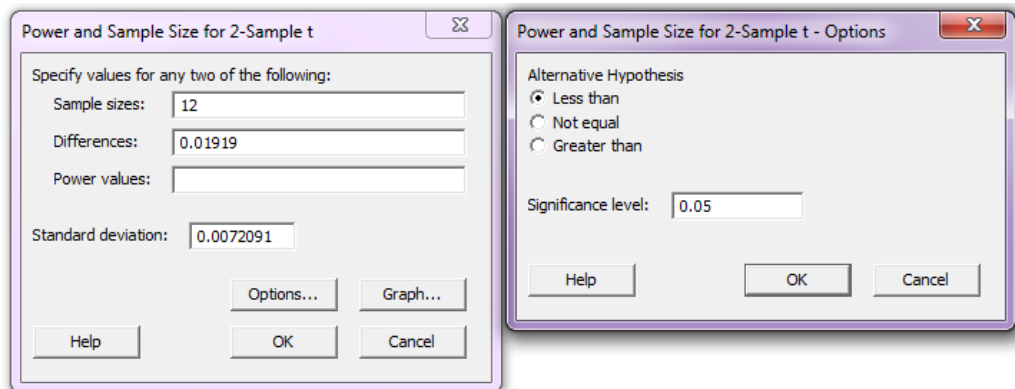
H_0 : การปรับปรุงไม่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนในกระดาศ TA125 g/m² ลดลง

H_1 : การปรับปรุงทำให้สัดส่วนน้ำหนักกระดาศที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนในกระดาศ TA125 g/m² ลดลง

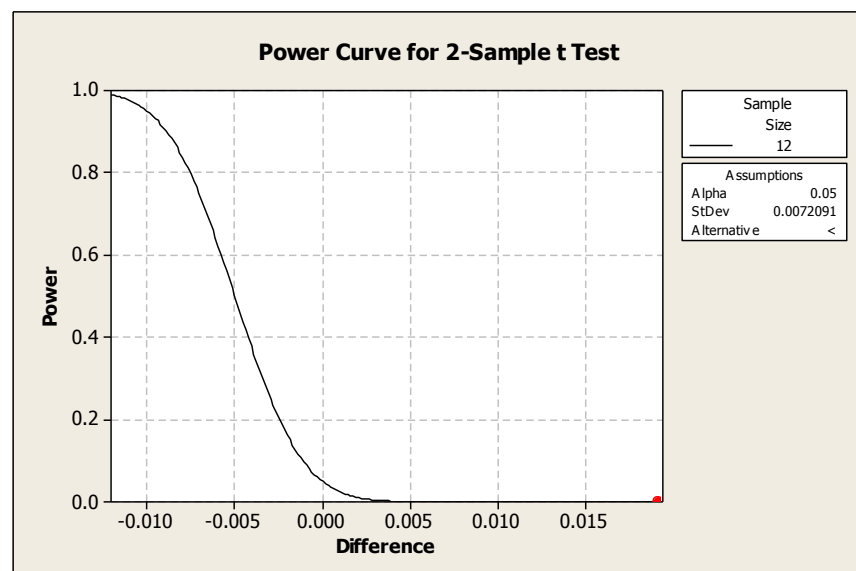
หรือ $H_0: \mu_{\text{หลังปรับปรุง}} \geq \mu_{\text{ก่อนปรับปรุง}}$

$H_1: \mu_{\text{หลังปรับปรุง}} < \mu_{\text{ก่อนปรับปรุง}}$

โดยกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดสอบสมมติฐานแบบ 2-sample t-test ตามจำนวนวันที่สามารถเก็บข้อมูลการกรีดกระดาศได้ คือ 12 วัน (n=12) และกำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 หน้าจอแสดงผลสำหรับกำหนดค่าเพื่อหาขนาดสิ่งตัวอย่างในโปรแกรม Minitab



รูปที่ 4.28 OC curve แสดงผลการหาขนาดตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานจาก Minitab

จากรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 12 และกำหนดค่าความแตกต่างเฉลี่ยที่ยอมรับว่าการปรับปรุงทั้ง 3 ส่งผลให้ปัญหาสันนูนลดลงจริง เท่ากับ 0.01919 ดัน/น้ำหนักม้วน 1 ดัน และค่าความผันแปรของสัดส่วนน้ำหนักที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วน 1 ดัน เท่ากับ 0.0072091 ดัน/น้ำหนักม้วน 1 ดัน ตามข้อมูลการกรีดของเดือนเมษายน 2557 ที่ผ่านมา และกำหนดค่าแอลฟา $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า power = 0.000 นั้นหมายความว่ามีโอกาสสรุปผลการทดสอบสมมติฐานครั้งนี้ผิดพลาดว่าการปรับระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูนเท่ากับ 0 % ดังนั้นขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 12 จึงเพียงพอต่อการทดสอบสมมติฐานสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ข้อมูลการกรีดสันนูนจากหน่วยงานตกแต่ม้วนก่อนจัดส่ง และจากการกรีดม้วนกระดาษเมื่อครบกำหนดเก็บ 20 วัน ของกระดาษจาก jumbo reel ที่ถูกทดลองยืนยันผลทั้ง 7 jumbo reel แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพม้วนกระดาษจากเซตที่ 1 ที่ถูกกองเก็บไว้เป็นเวลา 20 วันก่อนทำการกรีดตกแต่ม้วนที่พบปัญหาสันนูนและไม่พบปัญหาสันนูนแสดงดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ



รูปที่ 4.29 ม้วนกระดาษที่เกิดสันนูนและต้องทำการกรีดตกแต่ม้วน



รูปที่ 4.30 ม้วนกระดาษที่ไม่พบปัญหาสันนูน

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วนแยกตามวันที่กรีดจากการทดลองขึ้นชั้นผลจากการเปลี่ยนระดับปัจจัยทั้ง 3

วันที่กรีด	จำนวนม้วนที่ถูกกรีด	น้ำหนักเศษกระดาษที่ถูกกรีดสันนูน (ตัน)	น้ำหนักม้วนที่ถูกกรีด (ตัน)	สัดส่วนน้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนเทียบกับน้ำหนักม้วน
14/11/2014	9	0	11.689	0
15/11/2014	18	0.087	24.108	0.003609
18/11/2014	1	0	1.133	0
21/11/2014	1	0	1.406	0
22/11/2014	1	0	1.184	0
25/11/2014	1	0	1.181	0
26/11/2014	2	0.022	2.264	0.009717
27/11/2014	4	0	4.52	0
28/11/2014	1	0	1.13	0
2/12/2014	5	0.095	6.571	0.014457
3/12/2014	21	0.096	22.368	0.004292

* วันที่ 3/12/2014 เป็นวันครบกำหนดการเก็บม้วนกระดาษ 20 วัน

ตารางที่ 4.9 สัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกริดสัณฐานต่อน้ำหนักมวลในเดือน เม.ย. 57 (ก่อนปรับปรุง)
และหลังเปลี่ยนระดับ 3 ปัจจัย (หลังปรับปรุง) แยกตามวันที่กริด

ข้อมูลจากเดือน เม.ย. 57 (ก่อนปรับปรุง)	
วันที่กริด	สัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกริด สัณฐานเทียบกับน้ำหนักมวล (ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน)
1/4/2014	0.044518
2/4/2014	0.047010
3/4/2014	0.064799
5/4/2014	0.043218
7/4/2014	0.036049
8/4/2014	0.051819
9/4/2014	0.027525
10/4/2014	0.038505
16/4/2014	0.039836
17/4/2014	0.021944
18/4/2014	0.025968
19/4/2014	0.026952
21/4/2014	0.030479
22/4/2014	0.039658
23/4/2014	0.036347
24/4/2014	0.044000
25/4/2014	0.022195
26/4/2014	0.014808
28/4/2014	0.019342
29/4/2014	0.027694

ข้อมูลหลังเปลี่ยนระดับ 3 ปัจจัย (หลังปรับปรุง)	
วันที่กริด	สัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูก กริดสัณฐานเทียบกับน้ำหนักมวล (ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน)
14/11/2014	0
15/11/2014	0.003609
18/11/2014	0
21/11/2014	0
22/11/2014	0
25/11/2014	0
26/11/2014	0.009717
27/11/2014	0
28/11/2014	0
1/12/2014	0.020052
2/12/2014	0.014457
3/12/2014	0.004292

Test and CI for Two Variances: after, before

Method

Null hypothesis

Sigma(after) / Sigma(before) = 1

Alternative hypothesis

Sigma(after) / Sigma(before) not = 1

Significance level

Alpha = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
after	12	0.007	0.000
before	20	0.012	0.000

Ratio of standard deviations = 0.554

Ratio of variances = 0.306

95% Confidence Intervals

CI for

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	Variance Ratio
Normal	(0.333, 0.997)	(0.111, 0.994)
Continuous	(0.124, 0.959)	(0.015, 0.920)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	19	0.31	0.049
Levene's Test (any continuous)	1	30	4.60	0.040

รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ two equal variances จากโปรแกรม Minitab

ก่อนจะทดสอบสมมติฐานแบบ 2 sample t-test ระหว่างข้อมูลสัดส่วนน้ำกระดาษาที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนก่อนและหลังปรับปรุงนั้นจำเป็นต้องทวนสอบก่อนว่าข้อมูลทั้งสองชุดนี้มีความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งผลจากโปรแกรม Minitab ในรูปที่ 4.31 พบว่าผลการวิเคราะห์ two equal variances ของข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีค่า p-value = 0.049 หมายความว่าความแปรปรวนของสัดส่วนน้ำนักกระดาษาที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.049 ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐานด้วย 2 sample t-test ต้องวิเคราะห์แบบกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่ โดยผลการทดสอบสมมติฐานแสดงดังรูปที่ 4.32

Two-Sample T-Test and CI: after, before

Two-sample T for after vs before

	N	Mean	StDev	SE Mean
after	12	0.00434	0.00681	0.0020
before	20	0.0351	0.0123	0.0028

Difference = mu (after) - mu (before)

Estimate for difference: -0.03079

95% upper bound for difference: -0.02504

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -9.10 P-Value = 0.000 DF = 29

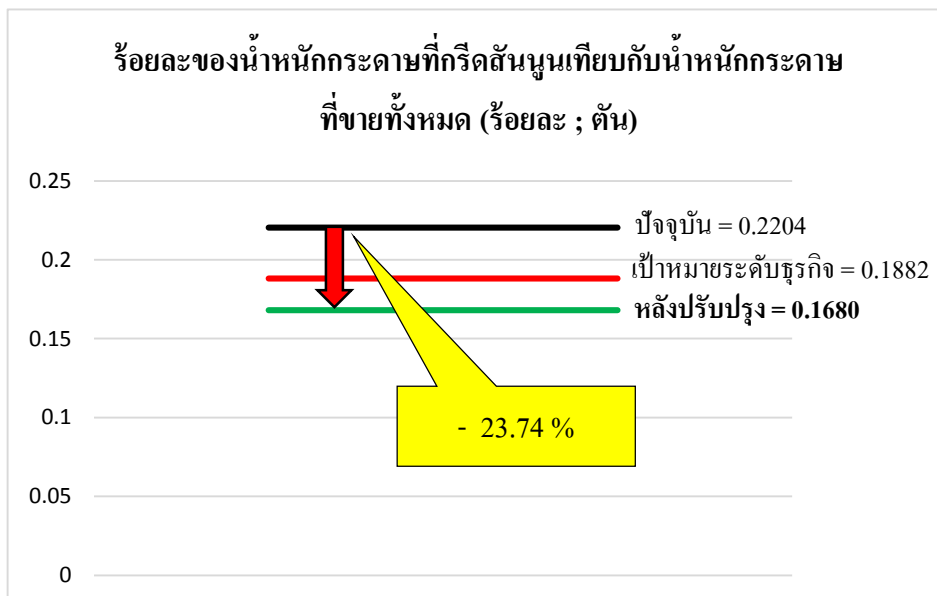
รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบระดับนัยสำคัญสัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักมวล
กระคายระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของกระคายเกรด TA125 g/m²

จากผลการทดสอบระดับนัยสำคัญระหว่างสัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักมวล
กระคายเกรด TA125 g/m² ระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 4.31 พบว่า
สัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักมวลกระคายหลังปรับปรุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.000 หมายความว่า การปรับปรุงกระบวนการผลิตกระคายด้วยเปลี่ยนระดับ
ปัจจัย ความชื้นของกระคายเป็น 10 % ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ 0.5 % และไม่เติมสาร internal sizing
ส่งผลให้ปริมาณสัดส่วนน้ำหนักระคายที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักมวลในกระคายเกรด TA125
g/m² ลดลงจริง โดยลดลงจากข้อมูลในเดือนเมษายน 2557 คือ จาก 0.0340 ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน
เหลือ 0.00292 ตัน/น้ำหนักมวล 1 ตัน หรือลดลง 80.31 % ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายระดับงานวิจัย
และส่งผลให้น้ำหนักของการกรีดกระคายเนื่องจากปัญหาสันนูนเทียบกับน้ำหนักระคายที่ขาย
ทั้งหมดรวมทุกเกรดกระคายลดลงจากปัจจุบัน คือ ร้อยละ 0.2204 เหลือร้อยละ 0.1680 ของน้ำหนัก
กระคายที่ขายทั้งหมด หมายความว่าปัญหาดังกล่าวลดลงไปทั้งสิ้น 23.75 % ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมาย
ในระดับธุรกิจที่ตั้งไว้

$$\begin{aligned}
 & \frac{\text{น. น. กระคายกรีดสันนูนทั้งหมด} - \text{น. น. กระคายกรีดสันนูน TA125 (เดิม)} + \text{น. น. กระคายกรีดสันนูน TA125 (ใหม่)}}{\text{น. น. กระคายที่ขายทั้งหมด}} \times 100\% \\
 = & \frac{444.029 \text{ ตัน} - 105.756 \text{ ตัน} + (0.00292 \times 77.554) \text{ ตัน}}{201,479.21 \text{ ตัน}} \times 100\% \\
 = & 0.1680 \%
 \end{aligned}$$

ตัวชี้วัดระดับธุรกิจ

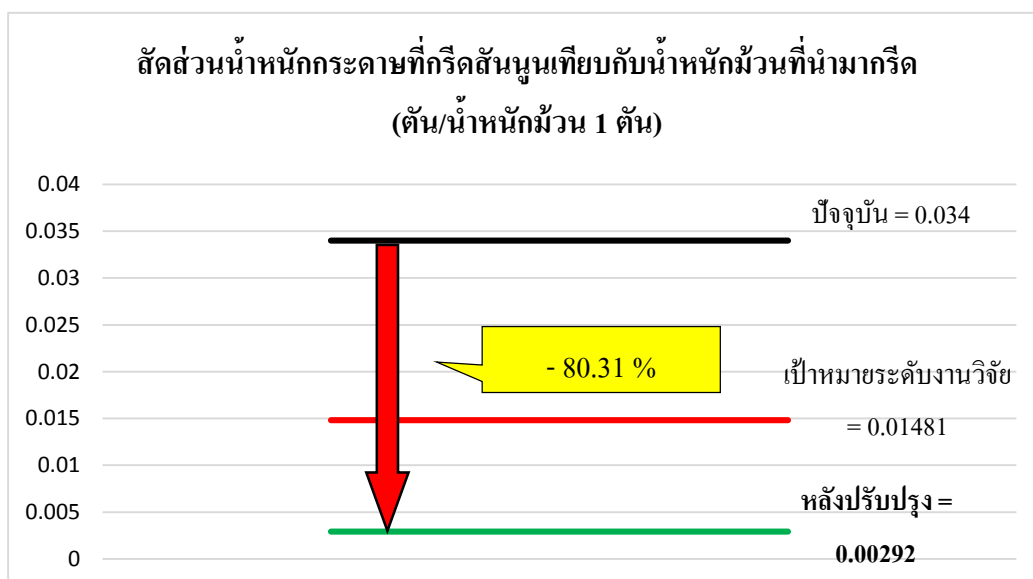
ร้อยละของน้ำหนักระดาษที่ถูกกรีดทิ้งจากปัญหาสันนูนเทียบกับปริมาณน้ำหนักระดาษที่ขายทั้งหมด



รูปที่ 4.31 ผลของการปรับปรุงกระบวนการเทียบกับเป้าหมายระดับธุรกิจ

ตัวชี้วัดระดับโครงการวิจัย

สัดส่วนน้ำหนักระดาษเกรด TA125 ที่ถูกกรีดเทียบกับน้ำหนักรีดทิ้งที่นำมากรีดภายในเกรด



รูปที่ 4.32 ผลของการปรับปรุงกระบวนการเทียบกับเป้าหมายระดับงานวิจัย

4.6 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย

จากการยืนยันผลการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ ปริมาณความชื้นกระดาษ และการเติมสารต้านทานการซึม internal sizing แล้วพบว่าทำให้สัดส่วนของการกีดกระดาษเนื่องจากพบปัญหาข้อบกพร่องประเภทสันนูนลดลง แต่ไม่สามารถยืนยันถึงความมั่นใจในการควบคุมให้ระดับสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดคงที่ ดังนั้นต้องกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการ (control plan) เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการทำงานและเป็นการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเพื่อให้คงไว้ซึ่งผลลัพธ์ใหม่ที่เกิดขึ้น จากการกำหนดมาตรการตอบโต้ปัญหาสันนูนมีความชัดเจนว่าต้องทำการปรับค่าเซตดิงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นน้ำเยื่อไว้ที่ 0.5 % เปอร์เซ็นต์ความชื้นกระดาษ 10 % และไม่เติมสารต้านทานการซึมน้ำ internal sizing ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยสามารถเฝ้าสังเกต (monitor) ผ่านหน้าจอควบคุมในห้องควบคุมค่าพารามิเตอร์บนเครื่องผลิตกระดาษโดยพนักงานตำแหน่ง DCS ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทุกๆ 1 ชั่วโมง หรือทุกครั้งที่มีการเริ่มต้นผลิตกระดาษม้วน jumbo reel ใหม่ เพื่อควบคุมค่าพารามิเตอร์ให้เท่ากับค่าเป้าหมายเสมอ ซึ่งสามารถสรุปจุดที่ต้องควบคุมได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ตารางควบคุมค่าพารามิเตอร์บนเครื่องผลิตกระดาษ

ลำดับที่	หัวข้อควบคุม	เป้าหมาย	วิธีการ	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ
1	ความเข้มข้นน้ำเยื่อ (consistency)	0.5 %	เช็คค่าควบคุม บนหน้าจอ ควบคุม	ทุกๆครั้งที่มีการ เริ่มต้นผลิต กระดาษม้วน jumbo reel ใหม่	พนักงาน ตำแหน่ง DCS
2	ความชื้นกระดาษ (moisture content)	10 %	เช็คค่าควบคุม บนหน้าจอ ควบคุม	ทุกๆครั้งที่มีการ เริ่มต้นผลิต กระดาษม้วน jumbo reel ใหม่	พนักงาน ตำแหน่ง DCS
3	สารต้านทานการ ซึม (internal sizing)	ไม่เติม	เช็คค่าควบคุม บนหน้าจอ ควบคุม	ทุกๆครั้งที่มีการ เริ่มต้นผลิต กระดาษม้วน jumbo reel ใหม่	พนักงาน ตำแหน่ง DCS

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของการดำเนินงาน ตลอดจนข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ปัญหา สำหรับการนำข้อมูลทั้งหมดไปประยุกต์ใช้เพื่อการดำเนินงานต่อไปในอนาคต ซึ่งหัวข้อที่กล่าวในบทนี้มีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการใช้แนวทางการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เข้าไปศึกษาและทำความเข้าใจการทำงานของบริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม (วังศาลา) ซึ่งผู้วิจัยใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาปัญหาของผู้ผลิตกระดาษกราฟที่ในประเทศไทยประเด็นเรื่องต้นทุนจากการจัดตั้งหน่วยงานคุณภาพ ได้แก่ หน่วยงานตรวจสอบคุณภาพ หน่วยงานแก้ไขคุณภาพ หน่วยงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ฯลฯ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขัน ปัจจุบันบริษัทกำลังประสบปัญหาต้นทุนที่เกิดจากกระบวนการตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่งเนื่องจากพบปัญหาความไม่ตรงต่อข้อกำหนดประเภทสีสนุน โดยผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายไว้ว่าจะลดสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกรีดสีสนุนทิ้งเทียบกับน้ำหนักม้วนของกระดาษเกรดที่นำมาศึกษาลง 56.44 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือทางสถิติในการดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นตอนการระบุปัญหาและการสำรวจสภาพปัจจุบันแล้วตั้งเป้าหมาย ขั้นตอนการวัด การวางแผนแก้ไข การวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาการกำหนดมาตรการได้ตอบผลการปฏิบัติและการติดตามผล

จากการสำรวจสภาพปัจจุบันพบว่าบริษัทมีนโยบายที่จะยุบหน่วยงานตรวจสอบและตกแต่งม้วนกระดาษก่อนจัดส่ง หมายความว่าทางบริษัทต้องการลดปริมาณการกรีดกระดาษเพื่อตกแต่งม้วนให้เหลือร้อยละ 0 ของปริมาณน้ำหนักระดาษที่ขายทั้งหมด แต่ปัจจุบันพบว่าปัญหาสีสนุนเป็นปัญหาที่มีการกรีดกระดาษน้ำหนักสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 0.2204 ของน้ำหนักระดาษที่ขายทั้งหมด โดยกระดาษสำหรับปะผิวนอกกล่องกระดาษลูกฟูก เกรด TA125 g/m² มีสัดส่วนน้ำหนักระดาษที่ถูกกรีดสีสนุนเทียบกับน้ำหนักม้วนที่นำมากรีดสูงสุด งานวิจัยจึงเน้นศึกษาถึงการลดอาการปัญหาสีสนุนในกระดาษเกรด TA125 g/m² โดยตั้งเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนน้ำหนัการกรีดกระดาษเทียบกับน้ำหนักม้วนของกระดาษเกรดดังกล่าวลง 56.44 % คือจาก 0.034 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน เหลือ 0.01481 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน เมื่อทราบถึงปัญหาที่จะดำเนินการปรับปรุงแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อให้มั่นใจว่าค่าที่ได้จากการวัดมิได้มีผลมาจากความผันแปรจากระบบการวัด แต่เป็นความผันแปรที่ได้มาจากกระบวนการผลิต ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์พบว่าระบบการวัดของโรงงานมีปัญหาเรื่องความสามารถในการแยกความแตกต่างเนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักสามารถวัดได้ละเอียดสุด

ในหน่วย 1 กิโลกรัมเท่านั้น และทางโรงงานไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ แต่เนื่องจากขนาดปัญหาในปัจจุบันมีขนาดใหญ่กว่าความละเอียดของเครื่องมือวัดอยู่มากถึง 34 เท่า (34 กิโลกรัม) ดังนั้นในผู้วิจัยจึงใช้ระบบการวัดดังกล่าวในงานวิจัยครั้งนี้ แต่จำเป็นต้องทิ้งประเด็นดังกล่าวไว้เป็นข้อเสนอแนะเพื่อดำเนินการแก้ไขในครั้งต่อไป

จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการระดมสมองร่วมกับวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องในแผนกผลิตผ่านการใช้หลักการ 3 จริ่ง รวมไปถึงศึกษางานวิจัยในอดีต และทำการคัดเลือกหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูนผ่านเครื่องมือแผนภาพแสดงเหตุและผล ซึ่งพบปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการปรับปรุงปัญหาสันนูนของม้วนกระดาษทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ ความชื้นในกระดาษ ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ การเติมสารต้านทานการซึม (internal sizing)

ในขั้นตอนต่อมาผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองด้วยการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าความชื้นในกระดาษและความเข้มข้นของน้ำเยื่อเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน และการเติมสารต้านทานการซึมส่งผลต่อปัญหาสันนูนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาหาค่าระดับปริมาณความชื้นกระดาษที่เหมาะสมกับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นน้ำเยื่อผ่านการพิจารณาแผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยเรื่องความชื้นกระดาษและความเข้มข้นน้ำเยื่อ และกำหนดวิธีการใส่สารต้านทานการซึม internal sizing ที่ทำให้ปริมาณน้ำหนักรีดกระดาษจากปัญหาสันนูนต่อน้ำหนักม้วนกระดาษ 1 ตันมีค่าต่ำที่สุดใกล้กับเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ 0.01481 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ดังนี้

ปริมาณความชื้นในกระดาษ	8	เปอร์เซ็นต์
ความเข้มข้นของน้ำเยื่อ	0.3	เปอร์เซ็นต์
การเติม internal sizing ชั้นกลาง	ไม่เติม	

จากนั้นจึงได้ใช้ค่าดังกล่าวไปกำหนดเป็นค่าปรับตั้งใหม่ให้กับกระบวนการผลิต โดยค่าปรับตั้งใหม่นี้ทำให้น้ำหนักกระดาษที่รีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วนในกระดาษเกรด TA125 g/m² ลดเหลือ 0.00292 ตัน/น้ำหนักม้วน 1 ตัน ซึ่งทำให้น้ำหนักกระดาษที่ถูกรีดทิ้งจากปัญหาสันนูนต่อน้ำหนักที่ขายทั้งหมดลดเหลือร้อยละ 0.1680 ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้

5.2 ประโยชน์และการนำไปใช้

จากรายงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและลดปัญหาข้อบกพร่องประเภทสันนูนในกระบวนการผลิตได้แล้ว ยังสามารถนำแนวทางการออกแบบการทดลองมาช่วยในการค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาดังกล่าวในผลิตภัณฑ์กระดาษเกรดอื่นๆ ที่มิได้นำมาศึกษาได้อีก ซึ่งส่งผลทำให้ลดปัญหาด้านต้นทุนของบริษัททดลองอย่างชัดเจน ซึ่งในด้านธุรกิจนั้นจะพบว่าเมื่อผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในไทยประสบปัญหาด้านต้นทุนน้อยลงก็ย่อมเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ผลิตกระดาษกราฟท์ในประเทศไทยได้ตามที่ได้กล่าวในเบื้องต้น ส่วนในด้านองค์ความรู้เชิงวิชาการ รายงานวิจัยนี้ได้ นำเอาปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาด้านเสถียรภาพทางมิติของกระดาษที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวเนื่องจากความชื้นของกระดาษมาทำการศึกษาถึงปัจจัยจากอิทธิพลร่วมซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตยังมีเคยกกล่าวถึง ผลที่ได้จากการทดลองเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาคะดาศที่ผลิตในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีฝนตกเกือบตลอดทั้งปี เพื่อปรับปรุงคุณภาพกระดาษที่ผลิตในไทยให้ดีขึ้นได้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงในอนาคต

1. จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่า การดำเนินการเกี่ยวกับระบบการวัดของบริษัทกรณีศึกษานั้นยังคงมีไว้ใช้เพียงเพื่อบ่งชี้ตัวผลิตภัณฑ์เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความสามารถในการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ต่อ ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์นี้ควรให้ความสำคัญและเร่งดำเนินการแก้ไขระบบการวัดให้มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น

2. ผู้วิจัยพบว่าผลวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลกรณีอิทธิพลหลักจากปัจจัยเรื่องการเติมสารต้านทานการซึมน้ำ internal sizing จากงานวิจัยครั้งนี้ขัดแย้งกับความเชื่อเดิมของบริษัท ที่เชื่อว่าสารดังกล่าวส่งผลให้ปัญหาด้านสันนูนลดน้อยลง แต่ผลสรุปที่ได้จากการทดลองกลับพบว่า การเติมสารดังกล่าวลงในกระบวนการผลิตกระดาษกลับส่งผลให้น้ำหนักกระดาษที่ถูกกรีดสันนูนต่อน้ำหนักม้วน 1 ตัน สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสาร internal sizing ในกระบวนการที่ทางบริษัทอาจไม่เคยได้ศึกษามาก่อน จึงทำให้องค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอในการใช้ตัดสินใจในงานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ต้องให้ความสำคัญกับการศึกษาเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้เฉพาะทางเกี่ยวกับกลไกการทำงานของสารต้านทานการซึมน้ำดังกล่าวต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550, **หลักการการควบคุมคุณภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 1 - 104.
2. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2557, **TQM : การบริหารเพื่อคุณภาพโดยรวม**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 72 - 94.
3. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553, **การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab15**, พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 1 – 296.
4. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2548, **การแก้ไขปัญหาธุรกิจด้วยวิธีทางสถิติ (SPS)**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 20 - 68.
5. โทโมโซ โกบาตะ, 2544, **5 G เพื่อการพัฒนาคุณภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. หน้า 1 – 38.
6. ไทยรุ่งแสงกราฟท์, **กระดาษกราฟท์คืออะไร** [online], Available : [http : // tsh-krft.com / about _paper_al.html](http://tsh-krft.com/about_paper_al.html) [28 กุมภาพันธ์ 2557].
7. กรทิพย์ วาณิชวิเศษกุลม, 2549, **การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงทางธุรกิจในการตรวจสอบบัญชี กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 11-12.
8. กนกอร พยัคฆพงษ์, 2552, **อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษ ตอนที่ 1/3** [online], Available : <http://pantavanij.blogspot.com/2010/06/13.html> [7 มีนาคม 2557].

9. เขาวลัทธิ โพนินิมิตร์, 2555, การลดอัตรารายการบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับการปฏิเสธลดจากการตรวจสอบรับเข้าโดยการจัดทำระบบการประกันคุณภาพผู้ส่งมอบ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคุณภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 8 – 18.
10. นิฉัย ชาดิชนวม, 2552, การลดข้อบกพร่องสีพิมพ์ไม่ตรงมาตรฐานโดยการปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมคุณภาพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคุณภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 36 – 38.
11. Kasikorn bank SME, **หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์** [online], Available : <http://www.ksmecare.com> [19 มีนาคม 2557].
12. Chineseinfo, **โอกาสและเส้นทางสู่ธุรกิจไทยในจีน อุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์** [online], Available : <http://chineseinfo.boi.go.th/> [7 มีนาคม 2557].
13. หนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร, 2554, **พัฒนาการของบรรจุภัณฑ์ ตอนที่ 2** [online], Available : http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0117/พัฒนาการของบรรจุภัณฑ์-ตอนที่-2 [7 มีนาคม 2557].
14. ภาณิชา ศิริชลธาร และศิริรัตน์ เรียงขัน, 2554, **การลดสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทกระดาษไม่ได้ขนาดในกระบวนการตัดกระดาษ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 20 – 25.
15. พรสิทธิ์ สุวรรณอักษร, 2554, **คุณลักษณะของกระดาษ**, ปรับปรุงครั้งที่ 1, เอสซีจี เปเปอร์, หน้า 1 – 108.
16. อังคณา ทองคำ, 2552, **การผลิตไซลิทอลจากผลพลอยได้อุตสาหกรรมโดยการหมัก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 6 – 12.

17. ชนิต เมธีบุญกุล, 2546, การผลิตเซลลูโลสที่มีรูพรุนรูปทรงกลมจากผลผลิตทางการเกษตรกรรม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 17 – 40.
18. Scott, W.E. and Abbott, J.C., 1995, **Properties of Paper : An Introduction**, 2nd ed., TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 1-122.
19. ดวงทิพย์ กู้เกียรติสกุลชัย, 2550, ผลการเคลือบสตาซ์ดัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟที่ทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสถานะห้องเย็น, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 4 – 15.
20. Roisum, D.R., 1992, “Moisture effects on webs and roll”, **TAPPI Finishing and Converting Conference**, Vol. 76, No. 6, 1992 July 2, pp. 129 – 136.
21. Thorpe, J. and Choi, D., 1991, “Roll cockle – following its evolution”, **TAPPI Finishing and Converting Conference**, 1991 May, pp. 204 – 208.
22. Fahey, D. J. and Chilson, W. A, 1963, “Mechanical Treatments for Improving Dimensional Stability of Paper”, **the 48th Annual Meeting of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry, held in New York**, Vol. 46, No. 7, 1963 February 17 - 21, pp. 393 – 399.
23. Larsson, P.A. and Wågberg, L., 2008, “Influence of fibre–fibre joint properties on the dimensional stability of paper”, **Springer Science+Business Media B.V. 2008** [Electronic], pp. 515 – 525, Available : Springer [2014, April 1].
24. Caulfield, D.F., 1988, “Dimensional Stability of Paper : Papermaking Methods and Stabilization of Cell Walls”, **Wood science seminar 1: Stabilization of the wood cell wall**, 1987 December 15 -16, pp. 87 – 98.

25. Bandyopadhyay, A., 2000, “Moisture Sorption Response of Paper Subjected to Ramp Humidity Changes: Modeling and Experiments”, **Ind. Eng. Chem. Res** [Electronic], Vol. 39, No. 1, 2000, pp. 219 – 226, Available : American Chemical Society [2014, April 1].
26. Foss, W.R., Bronkhorst, C.A. and Bennett, K.A., 2003, “Simultaneous heat and mass transport in paper sheets during moisture sorption from humid air”, **International Journal of Heat and Mass Transfer** 46 [Electronic], 2002, pp. 2,875 – 2,886, Available : Science direct [2014, April 2014].
27. กรมอุตุนิยมวิทยา, **ความชื้นสัมพัทธ์** [online], Available : <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=56> [20 เมษายน 2557].
28. หนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร, 2554, **พัฒนาการของบรรจุภัณฑ์ ตอนที่ 1** [online], Available : http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0095/พัฒนาการของบรรจุภัณฑ์-ตอนที่-1 [4 มิถุนายน 2557].
29. ความรู้ด้านบรรจุภัณฑ์, 2553, **ประวัติบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ** [online], Available : <http://www.bunjupun.com/ประวัติบรรจุภัณฑ์-2/2010/04/30/.html> [4 มิถุนายน 2557].
30. วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี, **กระดาษ** [online], Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/> [4 มิถุนายน 2557].
31. Gomew Graphic, 2546, **ความเป็นมาของกระดาษ** [online], Available : http://www.mew6.com/composer/package/package_18.php [4 มิถุนายน 2557].
32. เขาวนาถ นรินทร์สรศักดิ์, 2551, **ประวัติและวิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์** [online], Available : <http://issuu.com/narintornsorasak/> [6 มิถุนายน 2557].
33. Gomew Graphic, 2546, **ความเป็นมาของการบรรจุภัณฑ์** [online], Available : http://www.mew6.com/composer/package/package_0.php [4 มิถุนายน 2557].

34. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, **ประวัติความเป็นมาของการบรรจุภัณฑ์** [online], Available : <http://www.dbale.com/> [6 มิถุนายน 2557].
35. บริษัท เอส ซี เปเปอร์-แพ็ค จำกัด, **ความเป็นมาของบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก ต้นกำเนิดของกระดาษลูกฟูก** [online], Available : <http://www.scpaperpack.co.th/> [6 มิถุนายน 2557].
36. หนังสือแกะกล่อง เรื่องเล่าจากคนทำกล่อง, 2556, **ประวัติกล่องลูกฟูก** [online], Available : <http://www.balancepacking.co.th/> [9 มิถุนายน 2557].
37. สมเกียรติ เรืองช่วย, 2537, **การศึกษาการผลิตและอุปสงค์สำหรับกระดาษในประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 26 – 35.
38. Finish Forest Industries, 2014, **Pulp and paper industry statistics** [online], Available : <http://www2.forestindustries.fi/statistics> [2014 August 27].
39. Forestindustries – Forerunner in the bioeconomy, 2013, **Global paper consumption is growing** [online], Available : http://www2.forestindustries.fi/industry/paper_cardboard_converted/paper_pulp/Global-paper-consumption-is-growing-1287.html [2014 August 27].
40. Skogs Industrierna, 2014, **Per capita paper consumption** [online], Available : http://www.forestindustries.se/documentation/statistics_ppt_files/international/per-capita-paper-consumption [2014 August 27].
41. Smithers, P., 2013, **Global Packaging Market to reach \$975 Billion by 2018** [online], Available : <https://www.smitherspira.com/news/2013/december/global-packaging-industry-market-growth-to-2018> [2014, August 27].
42. Smithers, P., 2013, **Global printing market to top \$980 billion by 2018** [online], Available : <https://www.smitherspira.com/news/2014/january/global-printing-market-to-top-980-billion> [2014, August 27].

43. สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554, “ทิศทางธุรกิจสิ่งพิมพ์ไทยในบริบทเศรษฐกิจโลก”, โครงการพัฒนาศูนย์ข้อมูล SMEs Knowledge Center, CA International Information Co., Ltd. หน้า 1 – 4.
44. Stuey, G., 2013, **Graphs of UK newspaper circulation figures 2009 – 2013** [online], Available : [http:// garstontowers . blogspot . com / 2013 / 04 / graphs -of-uk-newspaper-circulation.html](http://garstontowers.blogspot.com/2013/04/graphs-of-uk-newspaper-circulation.html) [2014, August 27].
45. World Association of Newspapers and News Publishers, 2013, **Like the sun, newspaper circulation rises in the east and falls in the west** [online], Available : [http://www . economist . com / blogs / graphicdetail / 2013 / 06 / daily-chart-1](http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2013/06/daily-chart-1) [2014, August 27].
46. ฉัตรศิริพร จุละจาริตต์, 2553, **ศึกษาระบบอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษกราฟท์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจการเกษตร ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 24 - 61.
47. สมเจตน์ เจ๊ะสินี, 2555, **โครงสร้างตลาดกระดาษกราฟท์ในประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 1 – 59.
48. TAPPIA, 2009, **2010 – 2012 Directory The Thai Pulp and Paper Industries Association**, 2012, Bangkok, Author, pp. 1 – 95.
49. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร, 2557, **แหล่งนำเข้าสำคัญ n อันดับแรกของไทย** [online], Available : [http:// www . ops3 . moc . go . th / menucomth / import_topn_re / #](http://www.ops3.moc.go.th/menucomth/import_topn_re/#) [27 เมษายน 2557].
50. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร, 2557, **ตลาดส่งออก n อันดับแรกของไทย** [online], Available : http://www.ops3.moc.go.th/menucomth/export_topn_re/ [27 เมษายน 2557].

51. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2556, **สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2556 และแนวโน้มปี 2557** [online], Available : <http://www.oie.go.th/academic/> [27 เมษายน 2557].
52. ปันเทพ ตั้งศรีวงศ์, 2545, **เยื่อกระดาษสยาม “เรายังใหญ่ไม่พอ”** [online], Available : <http://info.gotomanager.com/news/details.aspx?id=3142> [27 เมษายน 2557].
53. นิตยสารผู้จัดการ, 2528, **จาก 5 เลือกลายเป็น 1 สิ่งตลาดกระดาษจะออกหัวหรือออกก้อย** [online], Available : <http://info.gotomanager.com/news/printnews.aspx?id=37954> [27 เมษายน 2557].
54. เศรษฐา ลิภาณวงศ์, 2545, **ผลกระทบและแนวโน้มต่อสถานะการแข่งขันและการนำเข้ากระดาษคราฟท์หลังเปิดเสรีทางการค้า**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารเทคโนโลยี วิทยาลัยนวัตกรรมการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 8 – 29.
55. อรรถกร โอชาพงศ์, 2546, **แรงจูงใจของหน่วยธุรกิจในการทำ Vertical integration กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 8 – 15.
56. สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทย, 2555, **สมาชิกกลุ่มอุตสาหกรรม** [online], Available : <http://ftiweb.off.fti.or.th/industrialgroup/paper/> [27 เมษายน 2557].
57. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2554, **เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมนำรู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กระดาษ และสิ่งพิมพ์**, บริษัททวงศ์สว่างพับลิชชิง แอนด์พรินติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 1 – 25.
58. ชัยพร ชุรุศิริพงษ์, 2545, **การศึกษาโครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, หน้า 29 – 73.
59. ฝ่ายวิจัย ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด, 2545, **อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษไทย : โอกาสและข้อจำกัดการเติบโต** [online], Available : <http://info.gotomanager.com/> [27 เมษายน 2557].

60. นภา บัวหลวง, 2554, **ธุรกิจบรรจุภัณฑ์** [online], Available : <http://thaibanker.com/> [29 ตุลาคม 2556].
61. บริษัท ยูไนเต็ด เปเปอร์ จำกัด (มหาชน), **ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตกระดาษคราฟท์** [online], Available : <http://www.unitedpaper.co.th/> [12 กันยายน 2557].
62. ผู้จัดการ 360 องศา รายสัปดาห์, 2552, **เปิดกรอบแนวคิดพัฒนาคน 'SCG' ด้วยการเรียนรู้รูปแบบบูรณาการ** [online], Available : <http://www.manager.co.th/mgrWeekly/> [12 กันยายน 2557].
63. บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน), **ประเภทและสัดส่วนของต้นทุนการผลิตกระดาษคราฟท์ทำลอนลูกฟูกและกระดาษทำผิวกล่อง** [online], Available : <http://www.thaicane.com/> [12 กันยายน 2557].
64. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, 2552, **ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ครั้งที่ 10/2552 เรื่องประเภท ขนาด และเงื่อนไขของกิจการที่ให้การส่งเสริมการลงทุน หมวด 6 เคมีภัณฑ์ กระดาษ และพลาสติก** [online], Available : <http://chiangmai.boi.go.th/MainSite> [12 กันยายน 2557].
65. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน, 2552, **ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ครั้งที่ 10/2552 เรื่องประเภท ขนาด และเงื่อนไขและสิทธิประโยชน์ของแต่ละประเภทกิจการที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุน** [online], Available : <http://www.cabinet.soc.go.th/> [12 กันยายน 2557].
66. Smith, R.D., 1995, **Roll and Web Defect Terminology**, TAPPI PRESS, United States of America, pp. 42 – 57.

ภาคผนวก ก.

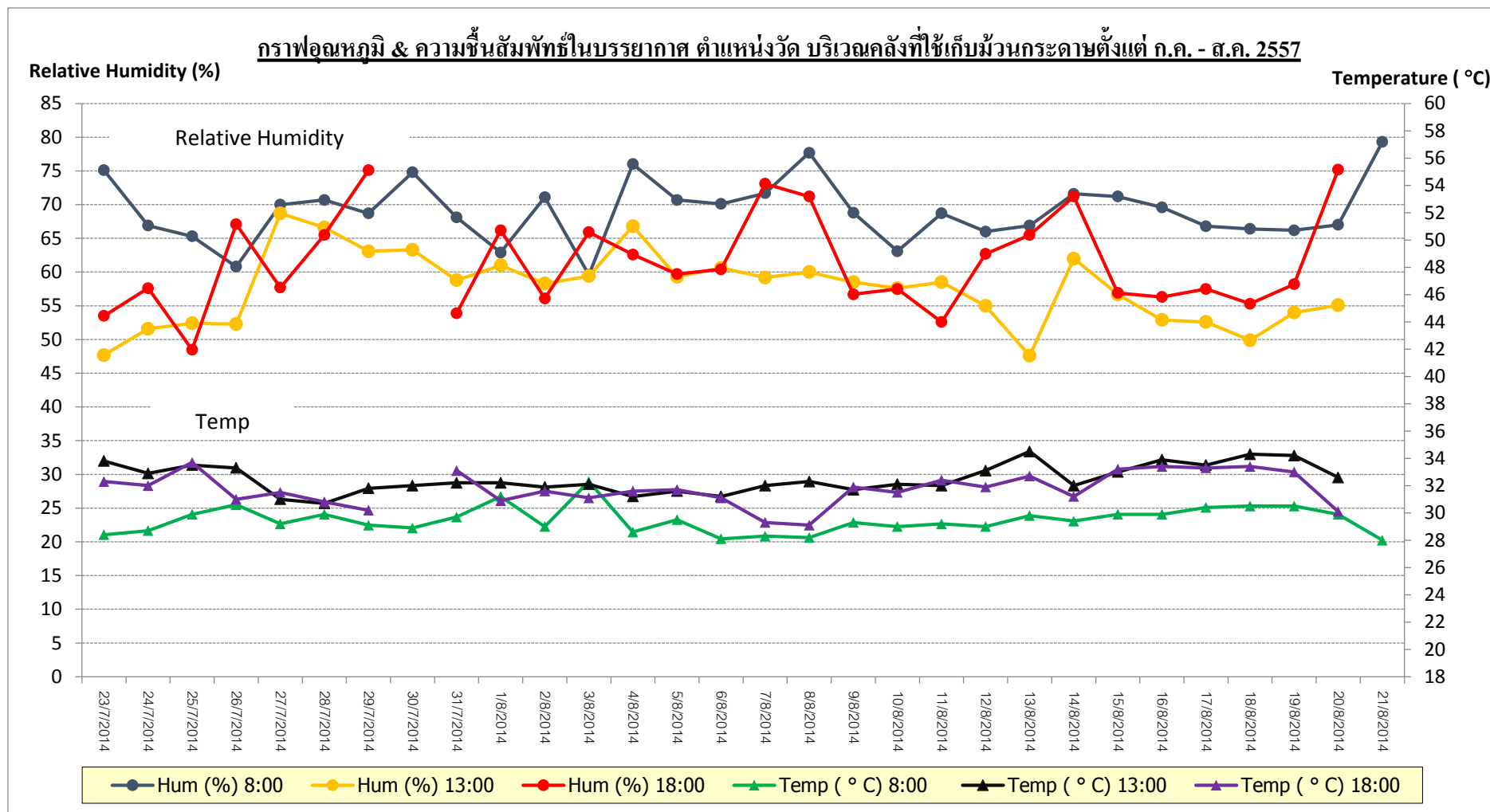
ข้อมูลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อม

ตารางที่ ก.1 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ [27]

ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ใต้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ใต้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศบริเวณคลังที่ใช้เก็บมันกระดาศ
ตั้งแต่ ก.ค. – ส.ค. 2557

วันที่	เวลาที่เก็บ Temperature (°C)			เวลาที่เก็บ Humidity (%)		
	8:00	13:00	18:00	8:00	13:00	18:00
23/7/2014	28.4	33.8	32.3	75.1	47.7	53.5
24/7/2014	28.7	32.9	32	66.9	51.6	57.6
25/7/2014	29.9	33.5	33.7	65.3	52.4	48.5
26/7/2014	30.6	33.3	31	60.8	52.3	67.1
27/7/2014	29.2	31	31.5	70	68.7	57.7
28/7/2014	29.9	30.7	30.8	70.7	66.6	65.5
29/7/2014	29.1	31.8	30.2	68.7	63.1	75.1
30/7/2014	28.9	32	-	74.8	63.3	-
31/7/2014	29.7	32.2	33.1	68.1	58.8	53.9
1/8/2014	31.2	32.2	30.9	62.9	61	66.2
2/8/2014	29	31.9	31.6	71.1	58.3	56.1
3/8/2014	32.3	32.1	31.1	59.6	59.4	65.9
4/8/2014	28.6	31.2	31.6	76	66.8	62.6
5/8/2014	29.5	31.6	31.7	70.7	59.3	59.7
6/8/2014	28.1	31.2	31.1	70.1	60.6	60.4
7/8/2014	28.3	32	29.3	71.7	59.2	73.1
8/8/2014	28.2	32.3	29.1	77.7	60	71.2
9/8/2014	29.3	31.7	31.9	68.8	58.5	56.7
10/8/2014	29	32.1	31.5	63.1	57.6	57.5
11/8/2014	29.2	32	32.4	68.7	58.5	52.6
12/8/2014	29	33.1	31.9	66	55	62.7
13/8/2014	29.8	34.5	32.7	66.9	47.6	65.5
14/8/2014	29.4	32	31.2	71.6	62	71.2
15/8/2014	29.9	33	33.2	71.2	56.7	56.9
16/8/2014	29.9	33.9	33.4	69.6	52.9	56.3
17/8/2014	30.4	33.5	33.3	66.8	52.6	57.5
18/8/2014	30.5	34.3	33.4	66.4	49.9	55.3
19/8/2014	30.5	34.2	33	66.2	54	58.2
20/8/2014	29.9	32.6	30.1	67	55.1	75.2
21/8/2014	28	-	-	79.3	-	-

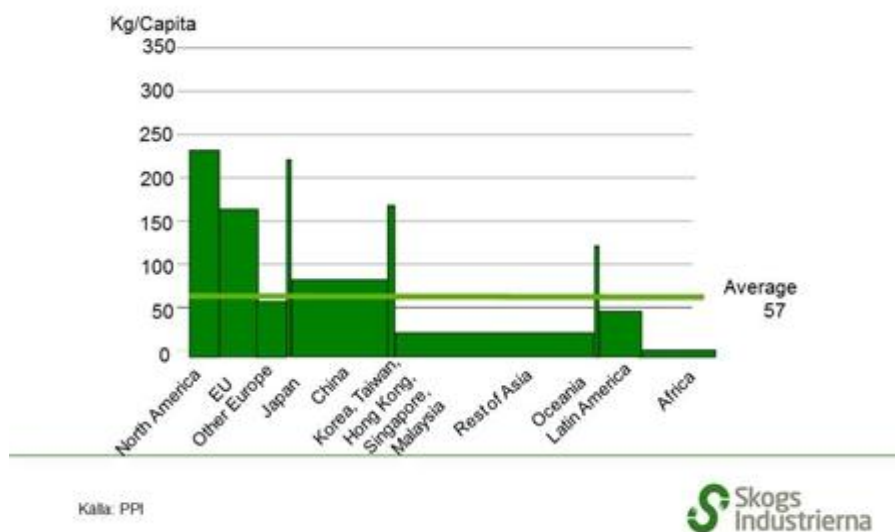


รูปที่ ก.1 กราฟอุณหภูมิ & ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ตำแหน่งวัด บริเวณคลังที่ใช้เก็บม้วนกระดาษตั้งแต่ ก.ค. - ส.ค. 2557

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลจากการศึกษาความเป็นไปของอุตสาหกรรมกระดาษกราฟของโลก

Per Capita Paper Consumption 2013



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงปริมาณการบริโภคกระดาษต่อหัวทั่วโลกปี ค.ศ. 2013 (กิโลกรัม/คน) [40]

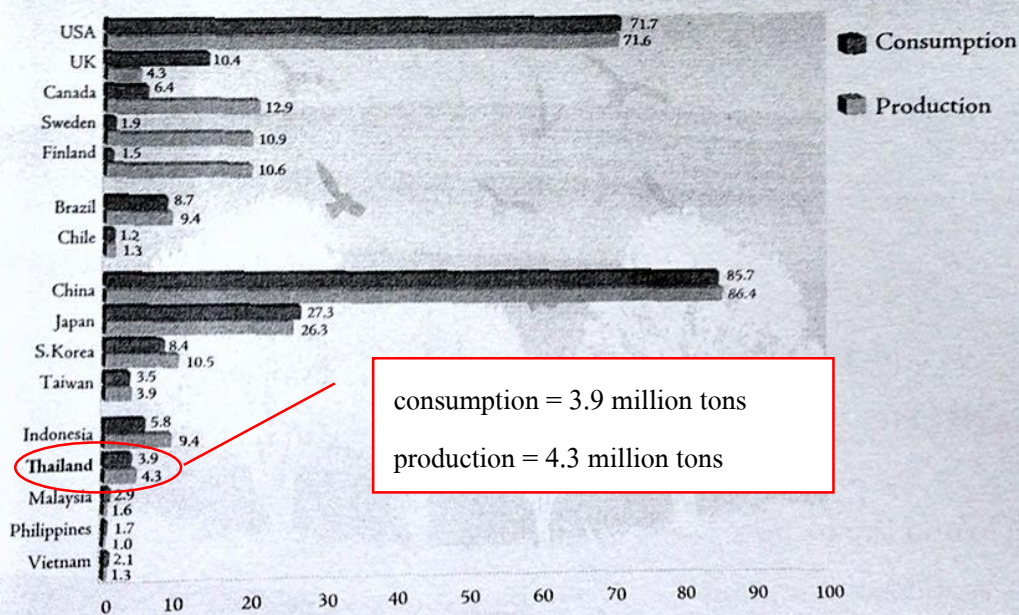
ประเทศ	กิโลกรัม/คน
North America	221
EU	156
Other Europa	52
Japan	215
China	75
Korea, Taiwan	
Hong Kong, Singapore & Malaysia	159
Rest of Asia	23
Oceania	126
Latin America	47
Africa	8

The World Paper and Paperboard Production and Consumption in 2009

Total Production 371 million tons

Total Consumption 371 million tons

Million Tons

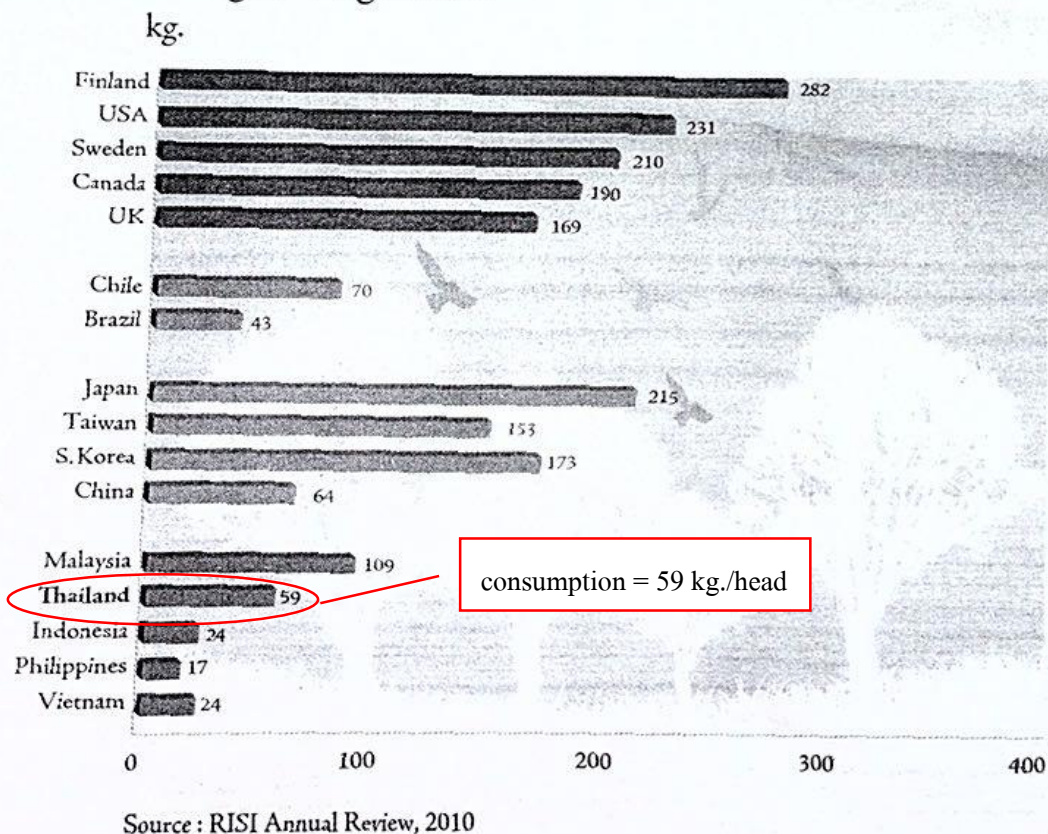


Source : RISI Annual Review, 2010

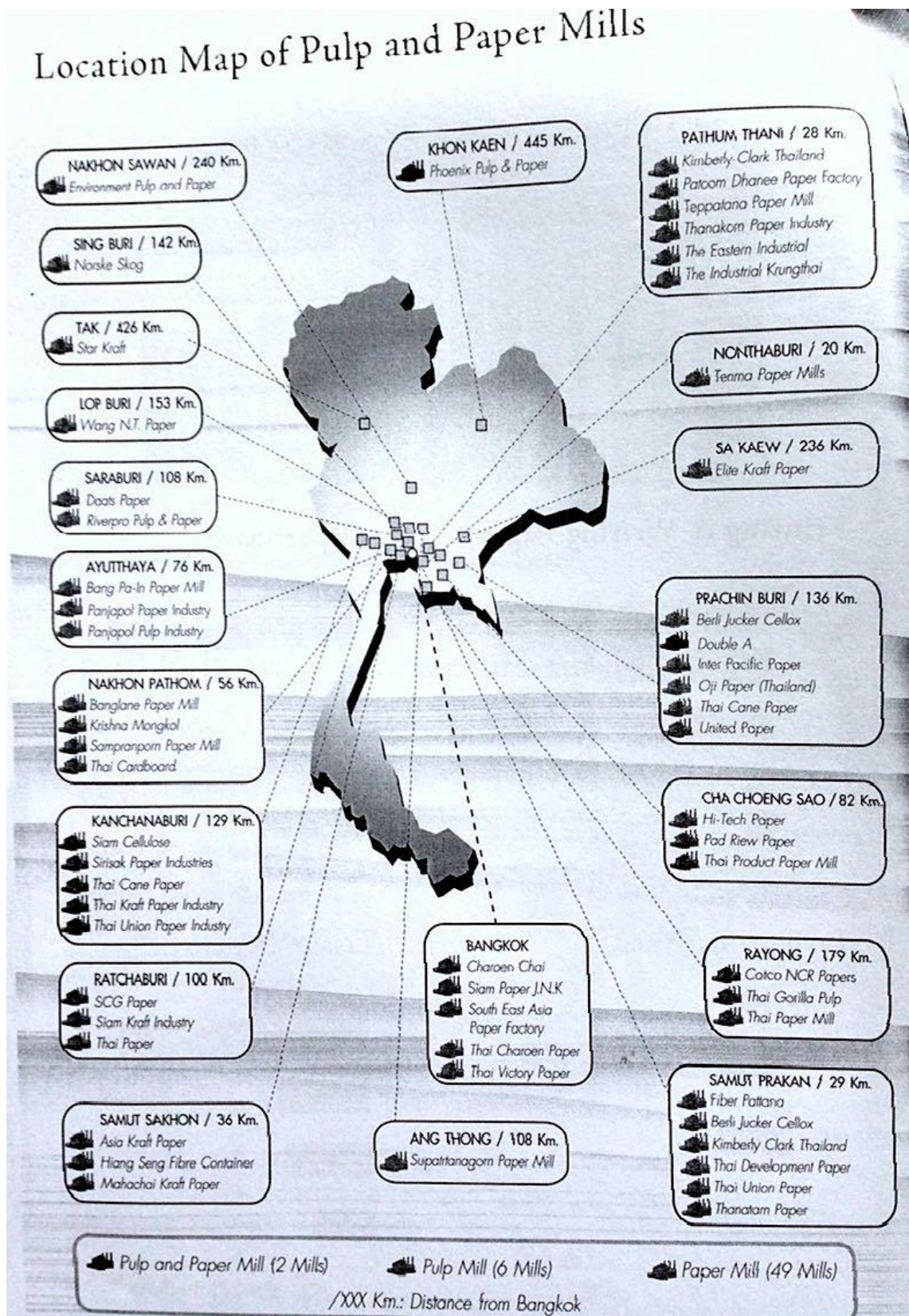
รูปที่ ข.2 ปริมาณการผลิตและบริโภคกระดาษของประเทศไทยเทียบกับทั่วโลกปี ค.ศ. 2009 (ต้น) [48]

The World Paper and Paperboard Consumption per Capita in 2009

World Average 54 kg./head



รูปที่ ข.3 ปริมาณการบริโภคกระดาษต่อหัวของไทยเทียบกับทั่วโลกปี ค.ศ. 2009 (กิโลกรัม/คน) [48]



รูปที่ ข.4 สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษภายในประเทศไทย [48]

ภาคผนวก ก.

ตารางการทดลองของการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ ค.1 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (2 ซ้ำ)

ลำดับ การวัด	ชิ้นงาน	พนักงาน	น้ำหนักก่อนกรีด (กก.)	น้ำหนักหลังกรีด (กก.)
1	6	1	1146	1120
2	11	1	1333	1281
3	2	1	1331	1276
4	10	1	1335	1283
5	7	1	1324	1283
6	8	1	1331	1287
7	4	1	1198	1134
8	12	1	1198	1147
9	5	1	1276	1242
10	1	1	1179	1151
11	3	1	1334	1278
12	9	1	1272	1251
13	10	2	1335	1283
14	5	2	1276	1242
15	4	2	1198	1133
16	12	2	1198	1148
17	1	2	1179	1151
18	6	2	1145	1121
19	8	2	1331	1287
20	9	2	1272	1250
21	2	2	1331	1276
22	11	2	1334	1281
23	3	2	1334	1277
24	7	2	1323	1284

ตารางที่ ค.1 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (2 ซ้ำ) (ต่อ)

ลำดับ การวัด	ชั้นงาน	พนักงาน	น้ำหนักก่อนกรีด (กก.)	น้ำหนักหลังกรีด (กก.)
25	4	1	1198	1133
26	12	1	1198	1147
27	8	1	1331	1287
28	5	1	1276	1241
29	6	1	1146	1120
30	2	1	1331	1276
31	9	1	1273	1250
32	7	1	1325	1284
33	1	1	1179	1151
34	10	1	1335	1284
35	11	1	1334	1280
36	3	1	1335	1278
37	11	2	1334	1282
38	8	2	1331	1287
39	12	2	1196	1147
40	1	2	1179	1151
41	5	2	1276	1242
42	7	2	1323	1283
43	2	2	1331	1276
44	10	2	1334	1283
45	9	2	1272	1251
46	3	2	1334	1277
47	4	2	1198	1133
48	6	2	1145	1121

ตารางที่ ค.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ)

ลำดับการวัด	ชิ้นงาน	พนักงาน	น้ำหนักก่อนกรีด (กก.)	น้ำหนักหลังกรีด (กก.)
1	11	1	1276	1242
2	4	1	1196	1147
3	12	1	1272	1250
4	6	1	1331	1276
5	5	1	1334	1283
6	10	1	1145	1121
7	3	1	1179	1152
8	7	1	1198	1133
9	2	1	1323	1283
10	9	1	1331	1287
11	8	1	1334	1281
12	1	1	1334	1277
13	8	2	1334	1282
14	4	2	1198	1148
15	12	2	1272	1251
16	3	2	1179	1151
17	10	2	1145	1121
18	11	2	1276	1242
19	1	2	1334	1277
20	5	2	1335	1283
21	7	2	1198	1133
22	6	2	1331	1276
23	9	2	1331	1287
24	2	2	1323	1284
25	4	1	1198	1147

ตารางที่ ค.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ) (ต่อ)

ลำดับการวัด	ชิ้นงาน	พนักงาน	น้ำหนักก่อนกรีด (กก.)	น้ำหนักหลังกรีด (กก.)
26	11	1	1276	1242
27	3	1	1179	1151
28	6	1	1331	1276
29	8	1	1333	1281
30	10	1	1146	1120
31	9	1	1331	1287
32	5	1	1335	1284
33	12	1	1272	1251
34	2	1	1324	1284
35	1	1	1334	1278
36	7	1	1198	1134
37	11	2	1276	1241
38	1	2	1335	1278
39	6	2	1331	1276
40	4	2	1198	1147
41	8	2	1334	1280
42	7	2	1198	1133
43	2	2	1325	1283
44	12	2	1273	1250
45	3	2	1179	1151
46	10	2	1146	1120
47	5	2	1335	1283
48	9	2	1331	1287
49	1	1	1334	1278
50	10	1	1145	1121

ตารางที่ ค.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด (3 ซ้ำ) (ต่อ)

ลำดับการวัด	ชั้นงาน	พนักงาน	น้ำหนักก่อนกรีด (กก.)	น้ำหนักหลังกรีด (กก.)
51	12	1	1272	1250
52	3	1	1179	1152
53	7	1	1197	1134
54	8	1	1333	1281
55	11	1	1276	1242
56	6	1	1330	1276
57	4	1	1196	1147
58	2	1	1324	1283
59	9	1	1330	1287
60	5	1	1333	1284
61	1	2	1335	1277
62	3	2	1179	1151
63	7	2	1197	1133
64	2	2	1325	1284
65	9	2	1330	1287
66	12	2	1273	1251
67	6	2	1330	1276
68	8	2	1333	1282
69	11	2	1276	1242
70	4	2	1198	1148
71	10	2	1145	1121
72	5	2	1335	1283

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลอง 2³ แฟกทอเรียล

ตารางที่ ง.1 ผลทดสอบความเข้มข้นน้ำเยื่อจริง (% consistency) ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง

ลำดับการ ทดลอง	sizing	consistency (%)		moisture (%)	date	time	reel no.	% consistency actual			
		middle	bottom					DCS display		lab	
								niddle	bottom	middle	bottom
1	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	9.55	5647	0.50	0.50	0.95	1.17
2	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	11.03	5648				
3	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	12.11	5649	0.39	0.37	0.94	1.12
4	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	13.02	5650				
5	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	16.10	5652	0.50	0.50	0.95	1.16
6	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	17.23	5653				
7	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	18.35	5654	0.38	0.37	0.89	1.08
8	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	22.00	5655				
9	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	9.28	5666	0.50	0.50	0.75	1.02
10	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	10.35	5667				
11	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	11.44	5668	0.48	0.44	0.80	0.90
12	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	12.25	5669				
13	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	13.47	5670	0.50	0.50	0.86	1.02
14	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	14.34	5671				
15	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	15.43	5672	0.43	0.37	0.89	0.95
16	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	16.56	5673				

ตารางที่ ๓.2 ผลทดสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (formation) ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง

ลำดับการทดลอง	sizing	consistency (%)		moisture (%)	date	time	reel no.	ค่าความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ 10 ตำแหน่งตามแนว TS-DS (L.T)										
		middle	bottom					ค่าเฉลี่ย = ความสม่ำเสมอของกระดาษดี										
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	9.55	5647	251	232	262	237.3	234	238.3	233	233.5	250	272.4	244.4
2	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	11.03	5648	222	220	212	225.9	214	208.4	211	228.5	212.8	223.7	217.8
3	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	12.11	5649	189	210	176	185.5	220	213.2	206	224	220.5	209	205.4
4	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	13.02	5650	203	196	200	196.9	189	192.4	195	189.2	211	204.5	197.6
5	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	16.10	5652	228	210	187	213.4	216	201.4	215	224.9	199	213	210.7
6	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	17.23	5653	210	184	208	213.3	222	198.9	195	193.3	214.9	220.3	206.0
7	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	18.35	5654	230	215	213	198.1	214	194.1	205	237.7	222.7	193.3	212.3
8	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	22.00	5655	178	215	205	209.8	210	194.1	204	188.5	194.7	179.7	197.9
9	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	9.28	5666	235	209	217	222	233	244.3	242	235.5	226.2	236.5	229.9
10	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	10.35	5667	228	220	234	243.5	227	221.7	222	230.9	222.2	244.3	229.4
11	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	11.44	5668	214	225	223	211	224	228.7	226	219.9	218.5	216.9	220.6
12	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	12.25	5669	206	198	221	210.9	225	217.2	214	222.9	221.1	210.3	214.6
13	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	13.47	5670	197	188	188	183.9	200	176.2	199	201.4	216.7	213.6	196.4
14	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	14.34	5671	195	210	187	202.9	198	213.1	207	202.1	201.4	196.6	201.3
15	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	15.43	5672	190	191	200	206.6	208	213.7	191	197.6	208.3	195.1	200.1
16	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	16.56	5673	180	189	190	197.1	196	194.8	199	191.6	199.2	192.3	192.9

หมายเหตุ % consistency middle : ความเข้มข้นของน้ำเยื่อบนลวดขึ้นรูปกระดาษชั้นกลาง, % consistency bottom : ความเข้มข้นของน้ำเยื่อบนลวดขึ้นรูปกระดาษชั้นล่าง

ตารางที่ ๓.3 ผลทดสอบความชื้นของกระดาษ (% moisture content) ด้วยเครื่องไฮโกรมิเตอร์ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง

ลำดับ การ ทดลอง	sizing	consistency (%)		moisture (%)	date	time	reel no.	ความชื้นของกระดาษ 10 ตำแหน่งตามแนว TS-DS (%)										
		middle	bottom					ค่ายิ่งน้อย = ความสม่ำเสมอของกระดาษดี										
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	9.55	5647	7.3	7.4	7.2	7.8	7.5	7.7	7.5	7.4	7.2	7.0	7.4
2	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	11.03	5648	9.2	8.9	9.2	10.0	9.4	9.9	9.6	10.3	10.0	6.8	9.3
3	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	12.11	5649	9.0	7.7	8.7	8.6	8.4	9.6	8.4	10.1	8.1	7.9	8.7
4	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	13.02	5650	9.6	8.4	9.2	9.4	9.3	10.3	9.0	10.0	9.4	9.4	9.4
5	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	16.10	5652	7.7	8.3	8.7	9.2	8.7	10.0	8.7	8.4	8.0	6.9	8.5
6	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	17.23	5653	8.9	10.3	10.1	10.2	10.6	10.3	9.8	10.1	8.5	10.8	10.0
7	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	18.35	5654	8.0	8.6	8.4	8.4	8.6	9.1	7.6	8.5	8.6	7.7	8.4
8	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	22.00	5655	9.1	10.2	11.0	10.4	11.2	11.3	10.7	11.4	10.5	10.6	10.6
9	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	9.28	5666	6.5	8.5	8.3	8.1	8.4	8.6	8.1	8.5	7.9	7.0	8.0
10	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	10.35	5667	8.2	9.5	10.2	10.9	10.8	10.6	9.7	10.6	9.3	8.2	9.8
11	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	11.44	5668	7.1	8.3	8.9	8.5	8.9	9.1	8.2	7.8	7.3	4.0	7.8
12	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	12.25	5669	8.8	10.1	11.0	10.3	10.8	10.9	10.4	10.1	9.7	8.4	10.1
13	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	13.47	5670	7.1	8.4	9.2	9.3	9.9	9.1	8.8	8.3	7.9	6.6	8.5
14	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	14.34	5671	8.7	11.2	10.9	11.4	11.0	11.2	10.9	11.0	10.1	8.4	10.5
15	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	15.43	5672	8.0	8.6	8.4	8.4	8.6	9.1	7.6	8.5	8.6	7.7	8.4
16	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	16.56	5673	9.1	10.2	11.0	10.4	11.2	11.3	10.7	11.4	10.5	10.6	10.6

ตารางที่ ๓.4 ผลทดสอบความต้านทานการซึมน้ำโดยจับเวลาที่น้ำซึมทะลุกระดาษ cobb และ stockiest test ขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง

ลำดับการทดลอง	sizing	consistency (%)		moisture (%)	date	time	reel no.	Cobb 2 นาที				Stockist test (วินาที)					
		middle	bottom					ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		top			bottom		
								top	bottom	top	bottom	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	9.55	5647	37	42	39	37	67	45	56	70	63	67
2	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	11.03	5648	43	47	44	44	46	73	60	40	27	34
3	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	12.11	5649	36	41	40	33	42	23	33	43	40	42
4	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	13.02	5650	39	47	44	37	25	35	30	100	45	73
5	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	16.10	5652	42	37	54	38	40	59	50	40	51	46
6	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	17.23	5653	60	40	44	38	31	57	44	64	52	58
7	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	18.35	5654	42	52	44	43	65	45	55	49	51	50
8	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	22.00	5655	46	39	43	42	45	44	45	37	54	46
9	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	9.28	5666	35	45	39	49	100	59	80	80	42	61
10	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	10.35	5667	34	37	36	41	35	45	40	62	75	69
11	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	11.44	5668	35	43	41	43	40	37	39	79	59	69
12	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	12.25	5669	38	47	39	57	62	66	64	38	45	42
13	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	13.47	5670	36	43	37	42	46	35	41	84	74	79
14	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	14.34	5671	60	40	52	37	72	57	65	78	84	81
15	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	15.43	5672	42	52	36	48	49	67	58	70	65	68
16	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	16.56	5673	46	39	44	43	22	41	32	35	81	58

หมายเหตุ Cobb top : ผิวด้านบนของกระดาษซึ่งเป็นส่วนของเยื่อชั้นบนสุด, Cobb bottom = ผิวด้านล่างของกระดาษซึ่งเป็นส่วนของเยื่อชั้นล่างสุด

ตารางที่ ๓.5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศขณะทดลองตามลำดับเงื่อนไขการทดลอง

ลำดับการทดลอง	sizing	consistency (%)		moisture (%)	date	time	reel no.	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
		middle	bottom						
1	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	9.55	5647	31.7	65.1
2	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	11.03	5648	32.6	68.9
3	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	12.11	5649	33.8	59.2
4	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	13.02	5650	34.5	53.2
5	No	0.5	0.5	8	13/10/2014	16.10	5652	34.3	55.6
6	No	0.5	0.5	10	13/10/2014	17.23	5653	34.1	56.4
7	No	0.3	0.3	8	13/10/2014	18.35	5654	31.6	64.5
8	No	0.3	0.3	10	13/10/2014	22.00	5655	31.8	65.2
9	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	9.28	5666	31.0	56.7
10	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	10.35	5667	31.8	55.8
11	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	11.44	5668	32.8	51.0
12	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	12.25	5669	34.2	51.9
13	Add	0.5	0.5	8	14/10/2014	13.47	5670	34.2	49.5
14	Add	0.5	0.5	10	14/10/2014	14.34	5671	34.5	49.8
15	Add	0.3	0.3	8	14/10/2014	15.43	5672	31.6	64.5
16	Add	0.3	0.3	10	14/10/2014	16.56	5673	31.8	65.2

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล

นางสาวภาณิชา ศิริชลธาร

วัน เดือน ปีเกิด

1 มีนาคม พ.ศ. 2533

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์
ฉะเชิงเทรา ปีการศึกษา 2551

ระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2554

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2557

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

ภาณิชา ศิริชลธาร, ศิริรัตน์ เรียงชั้น และ
กิตติศักดิ์ พลอย พานิชเจริญ, 2556, “การลดสัดส่วน
ข้อบกพร่องเรื่องความยาวของกระดาษในกระบวนการตัด
กระดาษ”, การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการ
ดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติครั้งที่ 4 CIOD 2013,
17 พฤษภาคม 2556, โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ.