3

การพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT)

บริษัท เอสซีจี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน)

ชื่อผู้เขียน นาย ชัยภัทร สิริพลวัฒน์
ตำแหน่ง วิศวกร
ที่อยู่ เลขที่ 1 ถนน ปูนซิเมนต์ไทย แขวง บางซื่อ เขต บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 025864444 โทรสาร 025864723
E-Mail chaiyaps@scg.co.th Website www.scg.co.th/paper

สรุปจุดที่เป็น "วิธีปฏิบัติที่เป็นแบบอย่างที่ดีเยี่ยม"

1) การประยุกต์เทคนิค DOE ในการหาความสัมพันธ์ของปัจจัย (Factor) กับ ค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) เพื่อให้ได้ค่าคำนวณความแข็งแรงกล่อง (BCT) ที่มีความแม่นยำ ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างการใช้ intrinsic knowledge ร่วมกับ เครื่องมือคุณภาพ ที่ก่อให้เกิดนวัตกรรมการพัฒนาสูตรการคำนวณความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีความแม่นยำมากกว่าสูตรการคำนวณแบบเก่า

ประสิทธิผล (ควรวัดค่าได้)

1) ลดความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) ได้มากกว่า 20 %

2) นำไปสู่การลดต้นทุนเฉลี่ยจากการลดปริมาณน้ำหนักกระดาษ ได้มากกว่า 15% ของต้นทุนเดิม ด้วยการใช้สูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนี้

บทสรุปผู้บริหาร

ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อรองรับการใช้งานของลูกค้าสำหรับสินค้าแต่ละประเภทและในทุกๆ อุตสาหกรรมนั้น ค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) จะถูกกำหนดขึ้นจากลักษณะการบรรจุ การใช้งาน การขนส่ง การจัดจำหน่าย รวมถึงสภาพสินค้าที่บรรจุภายในกล่องด้วย จึงทำให้ค่าความแข็งแรงกล่องสำหรับสินค้าแต่ละประเภทในหลากหลายอุตสาหกรรมนั้นจะมีค่าที่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆข้างต้น ซึ่งผู้ผลิตจะต้องผลิตกล่องที่มีความแข็งแรงของกล่องให้เพียงพอต่อความต้องการนั้นให้ได้

ในการคำนวณค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) จะมีการใช้สูตรการคำนวณที่ชื่อว่า สูตร McKee ซึ่งเป็นสูตรที่เริ่มมีการใช้งานเมื่อปี พ.ศ. 2506 โดยมีสมการ คือ $BCT = 5.87 \times ECT \times (ZH)^{1/2}$ (ECT = ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของแผ่นกระดาษลูกฟูก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเซ็นติเมตร, Z = เส้นรอบรูปของกล่อง มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร, H = ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร) ซึ่งจากสมการของ McKee นี้จะพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) มีดังนี้

1. ปริมาณน้ำหนักกระดาษที่ใช้ผลิตกล่อง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า ECT ในสมการ
2. ลอนกระดาษที่ใช้ผลิตกล่อง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า ECT และ H ในสมการ
3. เส้นรอบรูปกล่อง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Z ในสมการ

ดังนั้นการออกแบบขนาดของกล่อง รวมทั้งปริมาณน้ำหนักกระดาษที่ใช้ในการผลิตกล่อง จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) โดยตรง และเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของกล่อง เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานสำหรับสินค้าที่บรรจุภายในกล่องนั้นๆ ด้วย

และจากสูตรของ McKee ในข้างต้น เมื่อนำมาคำนวณค่า ความแข็งแรงกล่อง (BCT) พบว่ามีความแม่นยำเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงกล่องอยู่ในระดับหนึ่ง คือ มีความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.82 % (ข้อมูลจากกล่องลอน C ที่มีขนาดเส้นรอบรูป 100 เซ็นติเมตร) ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ยังไม่ได้ระบุรวมอยู่ในสูตรที่ใช้กันอยู่ จึงนำไปสู่การค้นคว้า ศึกษา ทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่องเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

จากการค้นคว้า ศึกษา รวมทั้งประสบการณ์ของผู้ออกแบบกล่อง สามารถระบุปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) เพื่อที่จะนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการออกแบบการทดลอง เพื่อระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า BCT อย่างมีนัยสำคัญต่อไป

และจากการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) ที่ยังไม่ได้ระบุอยู่ในสูตรของ McKee อย่างมีนัยสำคัญ มีอยู่ 2 ปัจจัย คือ 1. ความสูงของกล่องที่ขนาดเส้นรอบรูปกล่องคงที่ หรืออัตราส่วนความสูงของกล่องต่อขนาดเส้นรอบรูปกล่อง (Height หรือ Height/Perimeter Ratio) 2. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง (Length/Width Ratio)

จากปัจจัยทั้ง 2 จึงมีการออกแบบการทดลองที่ 3 ระดับของแต่ละปัจจัย (DOE CCD 2 factor 3 level) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) โดยเป็นการทดลองที่กระดาษลอน C ขนาดเส้นรอบรูป 100 เซ็นติเมตร และน้ำหนักกระดาษที่คงที่ ซึ่งเป็นการกำหนดปัจจัยคงที่ ในการทำการทดลองครั้งนี้

และจากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำให้ได้สมการที่เพิ่มปัจจัยทั้ง 2 เข้าไปกับสูตร McKee ที่ใช้อยู่เดิม โดยกำหนดให้ผลที่เกิดจากทั้ง 2 ปัจจัยความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 2 กับค่าความแข็งแรงของกล่อง มีค่าเป็น %diff ที่เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการของ McKee และจากการนำ % diff เพื่อเข้าไปใช้เพิ่มเติมในสมการของ McKee นั้น ส่งผลให้ค่าความแม่นยำของค่าความแข็งแรงของกล่องที่คำนวณได้นั้นสูงมากขึ้น คือ จากค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยที่ 32.82% เหลือ 12.76 % จากสูตรที่พัฒนาขึ้น โดยเป็นการปรับสมการ จาก $BCT_{McKee} = 5.87 \times ECT \times (ZH)^{1/2}$ มาเป็น $BCT_{Develop} = BCT_{McKee} + (BCT_{McKee} \times \%diff)$

หลังจากการได้สมการที่มีการเพิ่มปัจจัยเรื่องความสูงของกล่อง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่องเข้าไปแล้วนั้น ได้มีการทดลองนำไปใช้กับกล่องที่มีขนาดความยาว : กว้าง : สูง เท่ากับ 40 : 10 : 15 ซม. พบว่าจะได้ค่าความแข็งแรงจากการคำนวณที่มีความแม่นยำเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงกล่อง ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดน้ำหนักกระดาษที่ใช้ผลิตกล่อง เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) เพียงพอกับความแข็งแรงของกล่องที่ต้องการใช้งานได้ ประมาณ 15%

ประวัติองค์กร

บริษัท กลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกแบบครบวงจรรายใหญ่ที่สุดในภูมิภาคอาเซียน หนึ่งในธุรกิจกระดาษ เครือซิเมนต์ไทย (SCG Paper) โดยเป็นส่วนหนึ่งในความสำเร็จของลูกค้ามาตั้งแต่ปี 2514

บริษัทดำเนินธุรกิจด้วยความมุ่งมั่นในการคิดค้นและพัฒนานวัตกรรมทั้งในด้านการออกแบบ ตลอดจนเทคโนโลยีในการผลิต เพื่อที่จะส่งมอบสินค้าและบริการที่ดีที่สุดให้แก่ลูกค้า โดยตั้งมั่นในการพัฒนาสู่ความยั่งยืน รวมทั้งการพัฒนาสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้น

โรงงานผลิตทั้ง 10 แห่งที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆทั่วประเทศ ได้แก่ ปทุมธานี (2 แห่ง) สมุทรปราการ ราชบุรี สงขลา ชลบุรี ระยอง สระบุรี ปราจีนบุรี และขอนแก่น บริษัทสามารถรองรับทุกความต้องการที่หลากหลายของลูกค้าทุกพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว และอีก 5 แห่งที่ประเทศมาเลเซีย สิงคโปร์ และเวียดนาม (3 แห่ง) ทำให้บริษัทสามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพราะตระหนักดีว่าบรรจุภัณฑ์ไม่ใช่มีหน้าที่แค่เพียงปกป้องสินค้าในระหว่างการขนส่งเท่านั้น หากแต่เป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลทางการตลาด และเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับสินค้าที่บรรจุภายใน บริษัท กลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด จึงมีหน่วยงานออกแบบบรรจุภัฑณ์ (Packaging Design Unit) ที่พร้อมให้บริการด้านการออกแบบกราฟฟิคและโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนการจัดวางบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมให้แก่ลูกค้าอย่างมืออาชีพ เพื่อให้ลูกค้าได้รับบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสินค้าและการใช้งานในแต่ละประเภท อีกทั้งยังสามารถตอบโจทย์ด้านการตลาดของลูกค้าได้อีกด้วย

บริษัท กลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ได้แก่ บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก (RSC และ Die-Cut) ชั้นวางสินค้า (Point of Purchase) กระบะกระดาษ (Paper Pallet) แผ่นรองสินค้า (Slip Sheet) และเยื่อกระดาษขึ้นรูป (Pulp Mould)

บริษัทยังคงมุ่งมั่นสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อสร้างความหลากหลายและยกระดับให้กับสินค้าขึ้นมาในตลาดอย่างต่อเนื่อง เช่น กล่องกลิ่นหอม (Scented Carton) นวัตกรรมใหม่ที่เพิ่มลูกเล่นให้กับกล่องธรรมดาให้มีความโดดเด่นและแตกต่างจากคู่แข่ง โดยการเติมกลิ่นหอมซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและตัวผลิตภัณฑ์ ลงบนผิวกล่อง ซึ่งปัจจุบันได้รับความสนใจจากลูกค้าหลากหลายธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจส้มและกล้วยไม้ เป็นต้น

กระดาษลูกฟูกลอนเล็ก เป็นอีกนวัตกรรมหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้นใหม่ผสานกับการคัดสรรวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติพิเศษ ทำให้ได้กระดาษทำลอนที่มีความแข็งแรงสูง กระดาษมีน้ำหนักน้อยลง ช่วยลดน้ำหนักโดยรวมของสินค้าและบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งต้นทุนการขนส่ง นอกจากนี้ กระดาษลูกฟูกลอนเล็กยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นับเป็นการช่วยบรรเทาสภาวะโลกร้อนและรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นอีกทางหนึ่ง

บริษัท กลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด ได้รับรางวัลและการรับรองมาตรฐานการจัดการจากองค์กรในระดับประเทศและระดับโลก การรับรองมาตรฐานที่บริษัทได้รับ เช่น ISO 9000 / 14000 / 18000, Total Productive Maintenance (TPM), Good Manufacturing Practice (GMP) และ Prime Minister's Award การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของบริษัทนับว่าเป็นผลงานดีไซน์ระดับโลก ซึ่งได้รับรางวัลจากสถาบันชั้นนำเป็นประจำทุกปี ได้แก่ รางวัล FTA Graphic Design Award จากสถาบัน Flexographic Technical Association รางวัล World Excellence in Corrugated Graphics จากสถาบัน International Paper Board Industry รางวัล Thai Star Packaging Award โดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และรางวัล Asia Star Award จาก The Asian Packaging Federation เป็นต้น

ธุรกิจบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับสินค้าหลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องใช้ไฟฟ้า ผักผลไม้ เป็นต้น โดยบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกจะมีบทบาททั้งทางด้านการจัดจำหน่ายและการขนส่ง ซึ่งล้วนแต่ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงหรือความสามารถในการรับน้ำหนักของกล่อง ซึ่งจะถูกวัดเพื่อให้ทราบค่า โดยค่าที่วัดได้มีชื่อว่า BCT (Box Compression Test)

ค่า BCT นี้นอกจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของกล่อง ยังสามารถทราบได้จากการคำนวณโดยปัจจุบันสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่า BCT นี้ จะมีชื่อว่า McKee formula

McKee formula เป็นสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่อง ที่ถูกใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1963 จากสูตรจะพบว่า มีปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงกล่องอยู่หลักๆ คือ ขนาดเส้นรอบรูปกล่อง ความสูงลอน และ เกรดกระดาษที่ใช้ ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดจากกล่องด้วยเครื่องทดสอบ BCT พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ถึง 32.82 %

โดยปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่า BCT ก็คือ 1.รูปร่างรูปทรงของกล่องจากการออกแบบ 2. กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก และ 3. ค่า Actual ของกระดาษที่นำมาผลิตกล่อง ยังไม่ได้มีการนำมาใช้ในการคำนวณในปัจจุบัน อย่างเป็นระบบ

งานวิจัยชิ้นนี้ จึงเริ่มที่จะศึกษา เรื่องปัจจัยของการออกแบบ ว่าจะมีผลอย่างไรต่อค่า BCT เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาสูตรการคำนวณให้มีความแม่นยำมากขึ้น

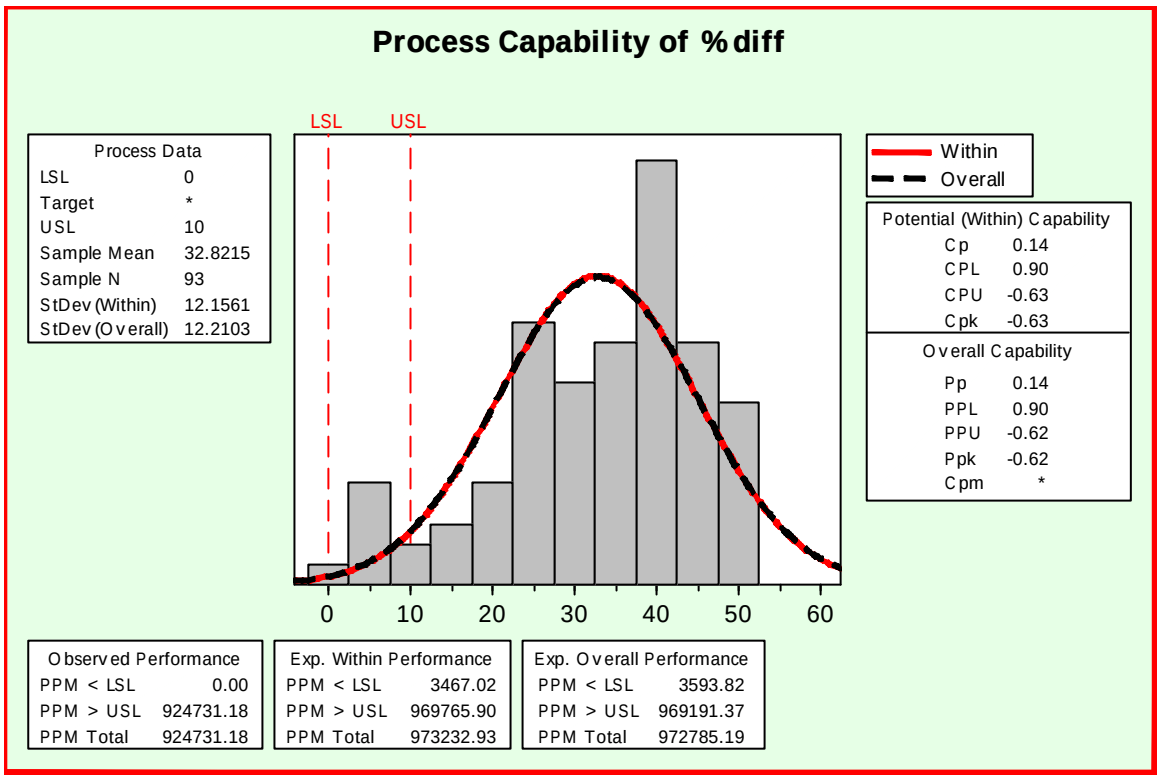
การคัดเลือกหัวข้อปัญหา (Problem)

ในการคำนวณความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก เราจะใช้สูตร McKee ในการคำนวณ

สูตร McKee; $BCT = 5.87 \times ECT \times (ZH)^{1/2}$ (ECT = ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งของแผ่นกระดาษลูกฟูก มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเซ็นติเมตร, Z = เส้นรอบรูปของกล่อง มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร, H = ความสูงของลอนกระดาษลูกฟูก มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร)

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่า มีความคลาดเคลื่อนของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ทดสอบ อยู่ 32.82% ของกลุ่มตัวอย่าง ลอน C ที่มีเส้นรอบรูป 1,000 มม.

โดยผลจากความคลาดเคลื่อนดังกล่าว จะส่งผลต่อการเลือกใช้เกรดกระดาษในการผลิตกล่อง และเกิดความสูญเสียจากการใช้งานเกรดกระดาษที่ไม่เหมาะสม ทั้งในแง่ที่มีการใช้มากเกินไปจนเกิดปัญหาด้านต้นทุนที่สูงเกินไปและส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรมากเกินความจำเป็น และในแง่ที่ใช้เกรดกระดาษน้อยเกินไปก็อาจเกิดปัญญาเรื่องคุณภาพของกล่องต่อการใช้งานได้



รูปที่ 1 – ภาพแสดง Process Capability ของ % diff

การสำรวจสภาพปัจจุบัน (Observation)

ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์กล่อง จะมีขั้นตอนการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่องเพื่อให้สามารถกำหนดเกรดกระดาษที่เหมาะสมกับการใช้งานได้ ดังนี้

เริ่มต้นจากการคำนวณค่าความแข็งแรงที่ต้องการ ซึ่งได้มาจากน้ำหนักของสินค้าที่บรรจุในกล่องรวมกับกล่องแล้วคูณเข้ากับจำนวนการเรียงซ้อนทั้งหมด(ไม่รวมชั้นล่างสุด)จากนั้นคูณด้วยค่าเผื่อการใช้งาน

เมื่อได้ค่าความแข็งแรงกล่องที่ต้องการแล้ว จึงทำการออกแบบขนาดกล่องและเกรดกระดาษที่จะใช้ผลิตกล่องโดยที่ค่าความแข็งแรงของกล่องที่ผลิตต้องมีมากกว่าหรือเท่ากับค่าความแข็งแรงกล่องที่ต้องการ

ซึ่งการคำนวณค่าความแข็งแรงของกล่องที่ผลิต จะใช้สูตร McKee ในการคำนวณ ซึ่งจะมีปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าการคำนวณในสูตร คือ ความหนาลอนลูกฟูก เกรดกระดาษที่ใช้ ขนาดเส้นรอบรูปกล่อง และจากปัจจัยที่กล่าวไปแล้วนั้น นักออกแบบรวมทั้งผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องทั้งหลายต่างมีข้อสันนิษฐานว่าอาจจะมีปัจจัยทางด้านการออกแบบอื่นๆอีก ที่จะมีผลต่อค่าความแข็งแรงของกล่อง เนื่องจากพบว่าค่าความแข็งแรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องทดสอบมักพบว่ามีความคลาดเคลื่อนกับค่าที่คำนวณได้จากสูตร McKee

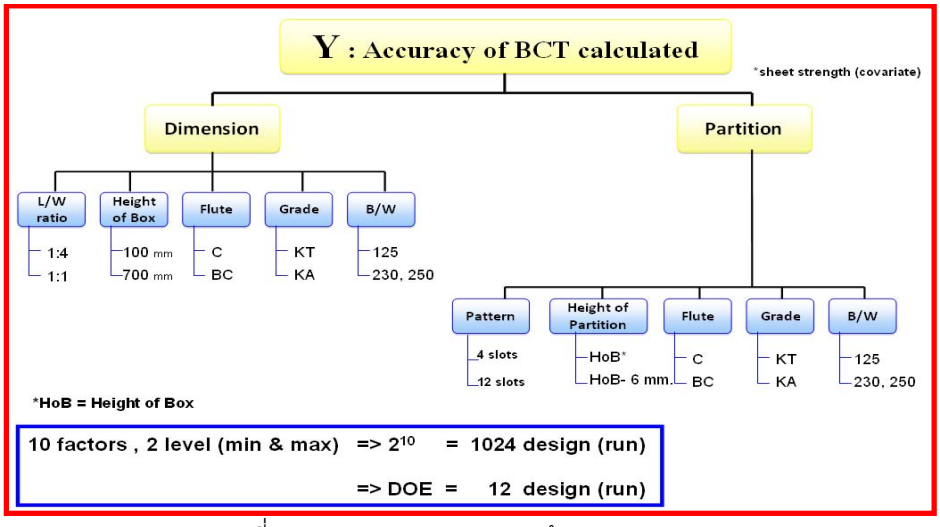
จึงได้มีการระดมสมองของทีมนักออกแบบ เพื่อทำการหาปัจจัยต่างๆที่อาจจะมีผลต่อค่า BCT ซึ่งก็ทำให้ได้ปัจจัยหลักที่จะทำการศึกษาต่อไป ดังนี้

1. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง (Length/Width Ratio) => กล่องจตุรัส / กล่องผืนผ้า
2. ความสูงของกล่อง (Box's Height) => กล่องเตี้ย / กล่องสูง
3. ประเภทลอนของกล่อง (Type of Box Flute) => ลอนเล็ก / ลอนใหญ่
4. ชนิดเกรดกระดาษของกล่อง (Box Paper Grade) => KT / KA
5. น้ำหนักมาตรฐานของกล่อง (Basis Box's Weight) => กระดาษบาง / กระดาษหนา
6. ลักษณะของไส้ฟัน (Partition style) => ไส้ฟัน 4 ช่อง / ไส้ฟัน 12 ช่อง
7. ความสูงของไส้ฟัน (Partition's Height) => ความสูงเท่ากับกล่อง / ความสูงน้อยกว่ากล่อง
8. ประเภทลอนของไส้ฟัน (Type of Partition Flute) => ลอนเล็ก / ลอนใหญ่
9. ชนิดเกรดกระดาษของไส้ฟัน (Partition Paper Grade) => KT / KA
10. น้ำหนักมาตรฐานของไส้ฟัน (Basis Partition's Weight) => กระดาษบาง / กระดาษหนา

การวิเคราะห์ (Analysis)

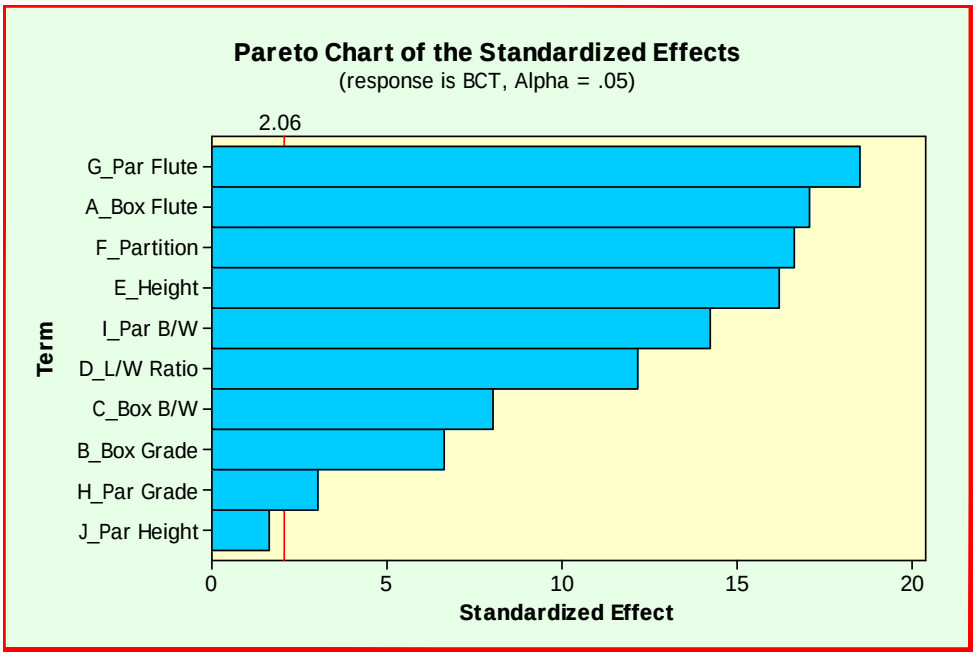
ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 10 ที่ได้มาจากการระดมสมอง โดยการใช้เครื่องมือ DOE (Design of Experiment) มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อเป็นการช่วยคัดกรองปัจจัยต่างๆ ก่อนจะทำการศึกษาอย่างละเอียดในแต่ละปัจจัย (จากการใช้ DOE จะสามารถช่วยลดจำนวนแบบตัวอย่างในการทดลองได้อย่างมาก จากปกติที่ 1024 แบบตัวอย่าง เหลือเพียงแค่ 12 แบบตัวอย่าง)

จากการออกแบบการทดลอง จะเป็นการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยไว้ที่ 2 ระดับ คือ Min และ Max ซึ่งจะสามารถเขียนแผนผังแสดงปัจจัยทางด้านการออกแบบ ได้ตาม รูปที่ 2



รูปที่ 2 – แผนผังแสดงปัจจัยทางด้านการออกแบบ

จากนั้น จึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยทางด้านการออกแบบที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) สำหรับขั้นตอนการคัดกรอง (Screening Phase) ปัจจัยจากการออกแบบทั้งหมด และได้ผลตาม รูปที่ 3



รูปที่ 3 – แสดง Pareto Chart ของปัจจัยทางการออกแบบที่ส่งผลต่อค่า BCT

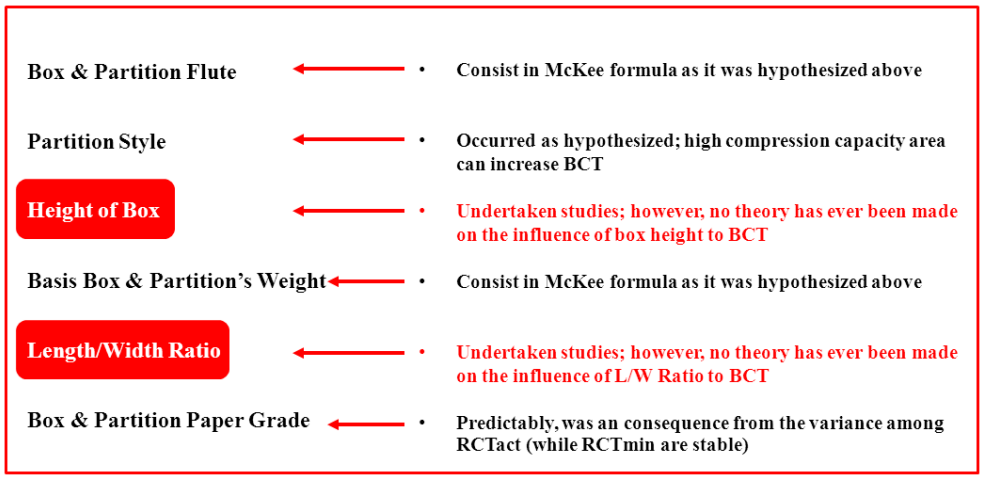
และจากผลสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) มีอยู่ทั้งสิ้น 9 ปัจจัย ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่ได้ทั้งสิ้น 6 หมวด ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกล่องอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

1. ประเภทลอน (Type of Flute) เป็นการรวมเข้ากันของทั้งส่วนของกล่องและไส้ฟัน
2. ลักษณะของไส้ฟัน (Partition style)
3. ความสูงของกล่อง (Box's Height)
4. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight) เป็นการรวมเข้ากันของทั้งส่วนของกล่องและไส้ฟัน
5. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง (Length/Width Ratio)
6. ชนิดเกรดกระดาษ (Paper Grade) เป็นการรวมเข้ากันของทั้งส่วนของกล่องและไส้ฟัน

โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปัจจัยที่มีอยู่แล้วในสูตรของ McKee และ
2. ปัจจัยที่ยังไม่มีอยู่ในสูตรของ McKee

ซึ่งสามารถเขียนสรุปกลุ่มของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง ได้ตาม รูปที่ 4



รูปที่ 4 – แสดง 2 ปัจจัยทางการออกแบบที่ส่งผลต่อค่า BCT และ ยังไม่มีอยู่ในสูตร McKee

ซึ่งในขั้นตอนต่อไป จะทำการวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยที่ยังไม่มีอยู่ในสูตรของ McKee แต่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) อย่างมีนัยสำคัญ

โดยการศึกษาปัจจัยในขั้นตอนนี้จะกำหนดค่าของแต่ละปัจจัย ที่ 3 ระดับ คือ Min, Medium & Max สรุปในขั้นตอนนี้จะเป็น การออกแบบการทดลอง แบบ 2 ปัจจัย 3 ระดับ

2 ปัจจัย ที่ทำการศึกษา จะประกอบด้วย

1. ความสูงกล่องที่ ระดับความสูง 50 มม. 200 มม. และ 350 มม.
2. อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง ที่ระดับอัตราส่วน 1:1, 2.5:1 และ 4:1

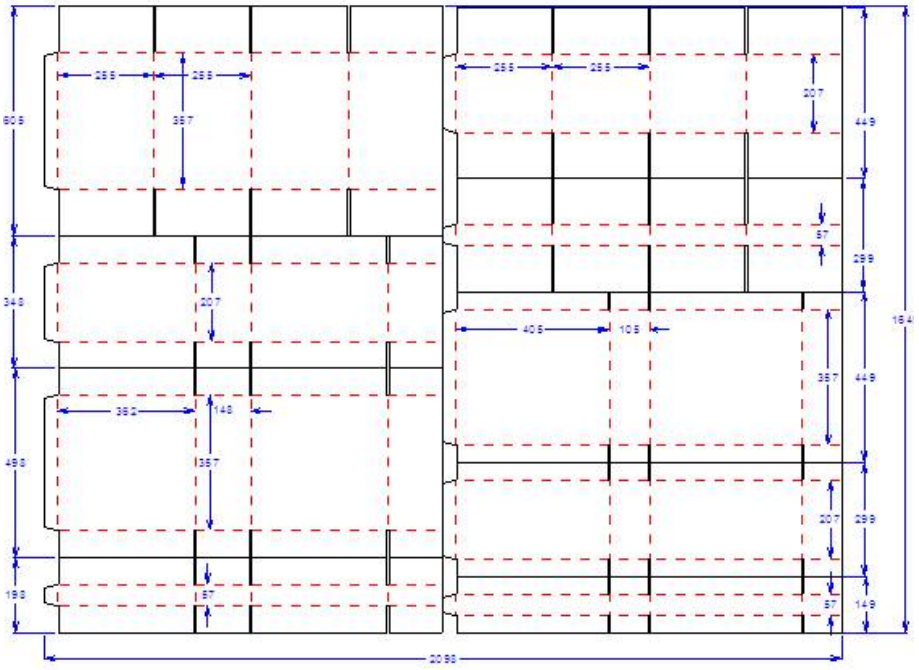
โดยมีการกำหนดปัจจัยควบคุมคงที่ คือ

1. เส้นรอบรูปของกล่องที่ขนาด 1,000 มม.
2. เกรดกระดาษ KT250/3CS110/KT250 ที่ชนิดลอน C

ซึ่งในการออกแบบการทดลอง จะได้รูปแบบกล่องทั้งสิ้น 9 รูปแบบ

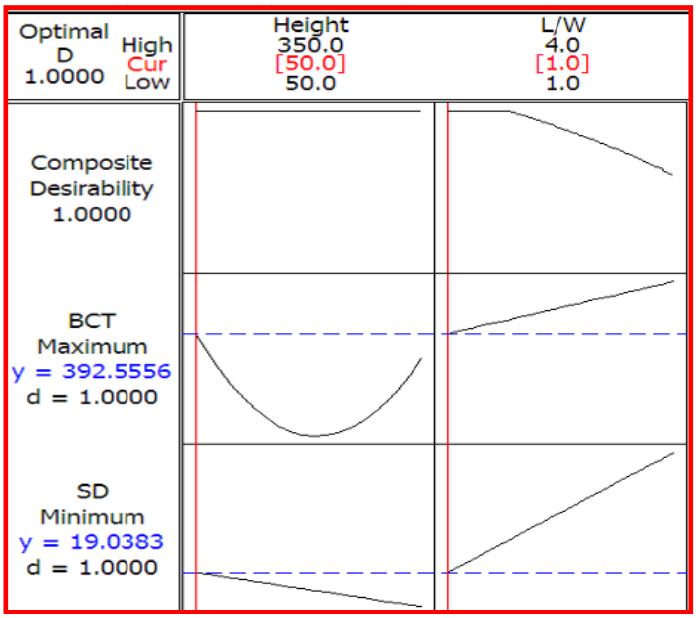
โดยในขั้นตอนการเตรียมกล่องเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบ มีการผลิตด้วยเครื่องตัดกล่องตัวอย่าง (Sample cutter) ซึ่งการเตรียมกล่องด้วยวิธีนี้จะช่วยลดความแปรปรวน ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิต

นอกจากนี้กล่องทั้ง 9 รูปแบบ จะถูกกำหนดให้ตัดบนกระดาษแผ่นเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนของกระดาษแต่ละแผ่นที่ใช้ทดสอบด้วย โดยมีรูปแบบตาม รูปที่ 5



รูปที่ 5 – แสดงรูปแบบการเตรียมกล่องตัวอย่างเพื่อลดความแปรปรวนจากกระดาษ

สูตรคำนวณที่ได้จากการทดสอบโดยมีการกำหนดค่า การวัดผลเป็น % Different เพื่อนำ % Different ที่ได้มาเพิ่มเข้าไปในสูตรของ McKee ที่ใช้อยู่เดิม โดยการใช้ Response Optimizer จะแสดงใน รูปที่ 6



รูปที่ 6 – แสดง Response Optimization Graph ของ 2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า BCT

จากการทดสอบผลที่ได้เมื่อระบุออกมาเป็น % different จากสูตร McKee จะได้ตาม รูปที่ 7

%Difference								
Z = 1000 mm. KT250/CA125/KT250 C flute		L/W Ratio						
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Height (Unit:mm)	50	41.72	44.03	46.34	48.66	50.97	53.28	55.59
	100	27.44	29.20	30.96	32.72	34.48	36.23	37.99
	150	18.44	19.64	20.84	22.05	23.25	24.45	25.66
	200	14.70	15.35	16.00	16.65	17.29	17.94	18.59
	250	16.23	16.32	16.42	16.51	16.61	16.70	16.79
	300	23.03	22.57	22.11	21.65	21.19	20.72	20.26
	350	35.10	34.08	33.06	32.05	31.03	30.02	29.00

รูปที่ 7 - % Difference ของค่า BCT ที่วัดได้จริงเมื่อเทียบกับ BCT ที่คำนวณด้วยสูตร McKee

การดำเนินการ (Action)

นำ % Different ที่ได้ มาเพิ่มเข้าไปในสูตร McKee ที่ใช้อยู่เดิม จะได้สูตรใหม่ ดังนี้

$$BCT_{New} = BCT_{McKee} + (BCT_{McKee} \times \% Diff)$$

โดยการคำนวณในสูตรใหม่นี้ จะอ้างอิงกับการคำนวณด้วยสูตร McKee ดังนั้นค่าที่ใช้ในการใส่ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณจึงเหมือนเดิม ซึ่งส่งผลให้ในทางปฏิบัติ หากต้องการใช้สูตรใหม่นี้เพื่อคำนวณหาความแข็งแรงของกล่อง จึงมีขั้นตอนการใส่ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณไม่แตกต่างไปจากการคำนวณแบบเดิม เพียงแต่เพิ่มในส่วนของ %Diff เข้าไปด้วยเท่านั้น

โดยได้มีการทดลองนำสูตรใหม่ ไปใช้คำนวณค่าความแข็งแรงของกล่องที่มีการผลิต จำนวน 7 รายการ และเปรียบเทียบผล กับสูตรของ McKee ซึ่งได้ผลตารางที่1(คำนวณด้วยสูตรของ McKee) และตารางที่ 2 (คำนวณสูตรใหม่)

ตารางที่ 1 – ความแตกต่างของค่า BCT actual กับ ค่า BCT ที่คำนวณด้วย McKee formula

Sample	BCT_{Actual}	BCT_{McKee}	$Diff_{McKee}$ (BCT_{Actual} - BCT_{McKee})	$\%Diff_{McKee}$ [($Diff_{McKee}$ / BCT_{McKee})*100]
1	110.90	80.98	29.92	36.95
2	130.86	100.05	30.81	30.79
3	135.83	100.25	35.58	35.49
4	141.67	109.93	31.74	28.87
5	157.30	124.50	32.80	26.35
6	220.20	163.37	56.83	34.79
7	324.96	262.55	62.41	23.77

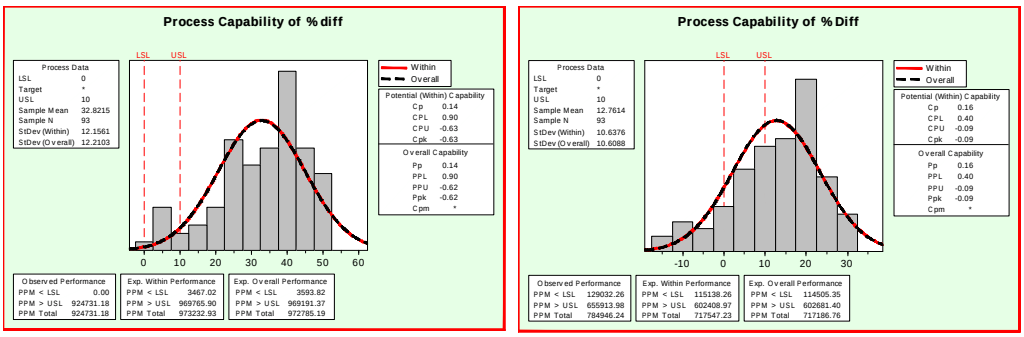
ตารางที่ 2 – ความแตกต่างของค่า BCT actual กับ ค่า BCT ที่คำนวณด้วยสูตรคำนวณใหม่

Sample	BCT_{Actual}	BCT_{New}	$Diff_{New}$ (BCT_{Actual} - BCT_{New})	$\%Diff_{New}$ [($Diff_{New}$ / BCT_{New})*100]
1	110.90	93.94	16.96	18.05
2	130.86	115.58	15.28	13.22
3	135.83	124.66	11.17	8.96
4	141.67	127.53	14.14	11.09
5	157.30	147.08	10.22	6.95
6	220.20	193.35	26.85	13.89
7	324.96	308.11	16.85	5.47

จากข้อมูลเปรียบเทียบของตารางทั้ง 2 ทำให้ทราบได้ว่า ค่าคำนวณ จากสูตรใหม่มีความใกล้เคียงกับค่าความแข็งแรงของกล่อง มากกว่าการคำนวณด้วยสูตร McKee ในทุกรายการที่มีการทดสอบ

การตรวจสอบผล (Check)

ได้มีการนำสูตรการคำนวณใหม่ ไปคำนวณกับกล่องลอน C ที่มีเส้นรอบรูป 1,000 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกับสูตร McKee ซึ่งได้ผลว่า สูตรใหม่สามารถคำนวณได้แม่นยำมากขึ้นกว่า 20 % เมื่อเทียบกับสูตร McKee เดิม ตาม รูปที่ 8



%Diff Mean = 32.82 %

%Diff Mean = 12.76 %

รูปที่ 8 – การพัฒนาขึ้นของสูตรการคำนวณค่า BCT ด้วยสูตรใหม่ เมื่อเทียบกับ คำนวณด้วย McKee

การกำหนดมาตรฐาน (Standardization)

เพื่อความมั่นใจในการใช้งาน ได้มีการกำหนดมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสูตรใหม่นี้ โดยการเพิ่มปัจจัยเรื่องความสูงกล่องและอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง เข้าไปในสูตร McKee

สรุปและประโยชน์ที่ได้รับ (Conclusion & Benefit)

ความสูงของกล่องและ อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่อง เป็นปัจจัยด้านการออกแบบที่มีการศึกษาแล้วพบว่า มีผลต่อค่า BCT อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อได้เพิ่มเติม 2 ปัจจัยนี้ เข้าไปคำนวณด้วยกับสูตร McKee ที่ใช้อยู่ จะสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการคำนวณได้มากกว่า 20 % คือ จากความคลาดเคลื่อนที่พบจากข้อมูลการวัดค่าความแข็งแรงของกล่องโดยเฉลี่ย (% Diff Mean) ที่พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จริง 38.32% ได้ลดลงเหลือเพียงแค่ 12.76% หลังจากการนำสูตรการคำนวณใหม่ที่ได้จากกระบวนการพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT) ในครั้งนี้

และนำไปสู่การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบ(กระดาษ) จากการคำนวณที่คลาดเคลื่อนได้ และจากการได้สมการใหม่ที่มีการเพิ่มปัจจัยเรื่องความสูงของกล่อง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของกล่องเข้าไปในสูตร McKee แล้วนั้น ได้มีการทดลองนำไปใช้กับกล่องที่มีขนาดความยาว : กว้าง : สูง เท่ากับ 40 : 10 : 15 ซม. พบว่าจะได้ค่าความแข็งแรงแรงกล่องจากการคำนวณ ที่มีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงกล่อง ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดน้ำหนักกระดาษที่ใช้ผลิตกล่อง เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของกล่อง (BCT) เพียงพอกับความแข็งแรงของกล่องที่ต้องการใช้งานได้ ประมาณ 15%

ความท้าทายต่อไป

เพื่อความสมบูรณ์ของการคำนวณ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของลอนชนิดอื่นๆ และ เส้นรอบรูป (perimeter) ขนาดอื่นๆ อีก เพื่อให้ครอบคลุมการคำนวณกล่องทุกขนาด และเพื่อให้สูตรการคำนวณสามารถพัฒนาให้สามารถใช้งานได้โดยง่ายที่สุดในทุกๆชนิดของลอนและขนาดของกล่อง ต่อไป

การเรียนรู้ ความคาดหวัง ของลูกค้าของกระบวนการ

ในส่วนของความคาดหวังจากลูกค้าของกระบวนการ จากการเรียนรู้ในเรื่องนี้ สามารถจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ลูกค้าภายในองค์กรและ ลูกค้าภายนอกองค์กร

ลูกค้าภายในองค์กร ได้แก่ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอการขายสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งก็คือ ผู้แทนขาย นักออกแบบบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ซึ่งก็คือ หน่วยงานการผลิตและหน่วยงานประกันคุณภาพ ซึ่งทั้งหมด ถือเป็นลูกค้าภายในองค์กรของกระบวนการนี้

ลูกค้าภายนอกองค์กร ได้แก่ ลูกค้าผู้สั่งซื้อบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งจะได้รับทราบค่าความแข็งแรงที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นจากกระบวนการปรับปรุงการคำนวณสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูกในครั้งนี้ด้วย

ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการแก้ไข

ปัญหาหลักที่พบ คือ ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรง ที่เกิดจากวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ซึ่งส่งต่อการวัดผลและการพัฒนาสูตรการคำนวณ จากปัญหาดังกล่าว ได้มีแนวทางแก้ไข ด้วยการกำหนดปัจจัยคงที่ และการจัดการในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง เพื่อช่วยลดปัจจัยรบกวนจากค่าความแปรปรวนเหล่านั้น รวมทั้งการใช้เทคนิคทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นจำนวนตัวอย่างในการทดสอบ การออกแบบการทดลองมาช่วยในแต่ละขั้นตอน เพื่อลดความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ผล รวมทั้งลดจำนวนทรัพยากรที่จะต้องใช้ในการทดสอบแต่ละขั้นตอนด้วย

ปัจจัยแห่งความสำเร็จและความยั่งยืน

การได้รับการสนับสนุนทั้งด้านการพัฒนาองค์ความรู้และการให้โอกาสในการพัฒนางาน จากทางผู้บริหารของกลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ และ เอสซีจี เปเปอร์ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการสร้างผลงานที่จะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนให้กับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก

องค์ความรู้ที่ได้รับจากการอบรมโดยผ่านโครงการ Operational Excellence ของทางศูนย์ส่งเสริมคุณภาพงาน เอสซีจี ซึ่งทำให้เกิดการเชื่อมโยงและประยุกต์ใช้ ของความรู้ทางด้านหลักสถิติ การพัฒนางานอย่างยั่งยืน เข้ากับ ความรู้ทางด้านการออกแบบและกระบวนการทำงานในโรงกล่อง และส่งผลให้เกิดการพัฒนาความรู้ทางด้านการออกแบบและกระบวนการทำงานในโรงกล่องได้

ความร่วมมือกันภายในองค์กร ในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ก่อให้เกิดงานที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานอื่นๆขององค์กรภายใต้แนวคิดการพัฒนางานอย่างเป็นระบบและยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] McKee, C.; Gander, J.W. & R., W.J., Compression strength formula for corrugated boxes, Paperboard Packaging 55, 149-159, 1963.

[2] Bhote, K. R., Bhote, K. A., (2000): World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen, 2nd ed., AMACOM, New York.

[3] Mark J. Kiemele, Stephen R. Schmidt, Ronald J. Berdine,(1999) Basic Statistics Tools for Continuous Improvement. Air Academy Press & Associates, LLC, Colorado