การพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT)

เนื้อหา

- ประวัติองค์กร
- บทนำ
- การคัดเลือกปัญหา
- การสำรวจสภาพปัจจุบัน
- การวิเคราะห์
- การดำเนินการ
- การตรวจสอบผล
- การทำมาตรฐาน
- สรุปและประโยชน์ที่ได้รับ
- ความท้าทายต่อไป
- การเรียนรู้ ความคาดหวัง ของลูกค้าของกระบวนการ
- ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการแก้ไข
- ปัจจัยแห่งความสำเร็จและความยั่งยืน
- เอกสารอ้างอิง

ประวัติองค์กร

- Video แนะนำ SCG Paper

Siam Cement Group (SCG) was founded under the Royal Decree of His Majesty King Rama VI in 1913 as the nation's first cement producer, a construction material critical to national development. The group has expanded continuously since that time, became the largest and most advanced industrial conglomerate in Thailand with five strategic business units :

Board of Directors SCG

Mr. Kan Trakulhoon
President of SCG

SCG Paper

SCG Chemicals

SCG Cement

SCG Distribution

SCG Building Materials

1. SCG Paper
2. SCG Chemicals
3. SCG Cement
4. SCG Distribution
5. SCG Building Materials

All business operate under the principles of good corporate governance and promote innovation in products/ services, processes and business models to delight consumers. The Group continually rejuvenates itself to sustain business leadership in Thailand and in the region, and remain internationally competitive.

Pillar : Outline of our company and plant

SCG : Business Organization

SCG

- SCG Paper
- SCG Chemicals
- SCG Building Materials
- SCG Cement
- SCG Distribution
- Join Venture Business

SCG : 2010[2]

Asset	9.6 billion USD
Net Sales	9.5 billion USD
Net Profit	1.2 billion USD

SCG Paper : 2010[2]

Asset	1.6 billion USD
Net Sales	1.6 billion USD
Net Profit	104 million USD

SCG Paper Operation in ASEAN

1. SCG has been recognized by the Dow Jones Sustainability Indexes (DJSI) as the Supersector Leader in Construction & Materials in 2010
2. FX : 31.7 Thai Baht : 1 USD

Forestry	Pulp, P&W Paper	Paperboard	Container Board	Corrugated Containers
The Siam Forestry Co., Ltd.	- SCG Paper PLC. - Siam Cellulose Co., Ltd. - Phoenix Pulp & Paper PLC. - Thai Paper Co., Ltd. - Thai Union Paper PLC.	Thai Union Paper Industry Co. ,Ltd.	- Siam Kraft Industry Co. Ltd. - Thai Kraft Industry Co. Ltd. - Thai Cane Paper Co., Ltd. - United Pulp and Paper Co., Inc. (Philippines) - Vina Kraft Co., Ltd. (Vietnam)	- Thai Containers Ltd. - Thai Containers Saraburi - Thai Containers Navanakorn - Thai Containers Ratchaburi - Thai Containers Patumthani - Thai Containers Khonkaen - Thai Containers Bangpo - Thai Containers Prachinburi - Thai Containers Rayong - Thai Containers Chonburi - Thai Containers Songkhla - TCG (Malaysia) -TCG (Singapore) - TCG (Vietnam)

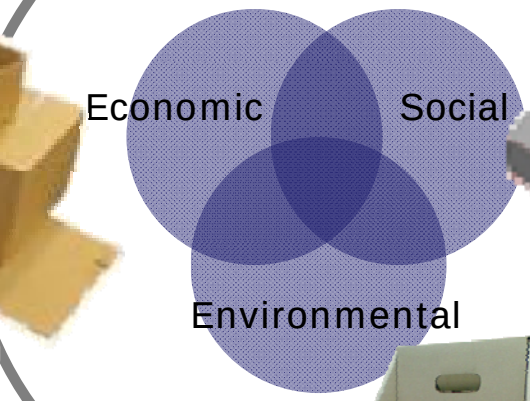
Production Capacity (T/Y) :

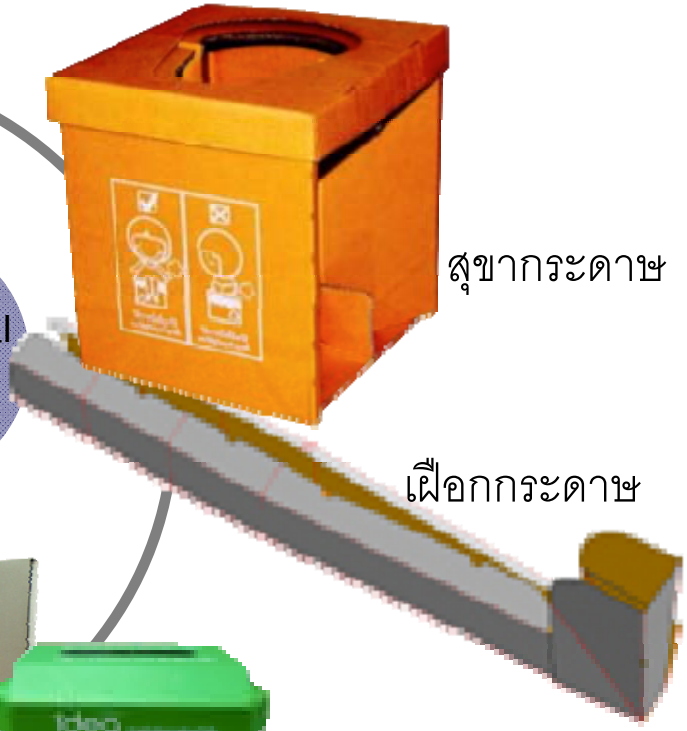
Pulp	431K
P&W Paper	547K
Paper Board	160K
Containerboard	1,600K
Corrugated Containers	809K

Other Businesses:-
- Thai British Security Printing Public Company Limited
- InfoZafe Company Limited
- Siam Toppan Packaging Co., Ltd.

ภายใต้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

กล่องเพื่อการขนส่ง
และจัดจำหน่าย





สุขากระดาษ

เฟือกกระดาษ

ถังขยะกระดาษ

เก้าอี้กระดาษ

กระทงกระดาษ

บทนำ

ปัจจุบันบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก ถูกกำหนดราคาซื้อขายกันที่น้ำหนักของกระดาษเป็นหลัก โดยที่มีตัวชี้วัดคุณภาพหลักอยู่ที่ค่าความต้านทานแรงกดของกล่อง (Box Compression Test : BCT)

โดยมีแนวโน้มในการลดต้นทุน เพื่อตอบสนองความต้องการหลักของลูกค้า และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิต

สำหรับโรงผลิตกระดาษ ก็คือ การพัฒนากระดาษให้มีน้ำหนักกระดาษน้อยลงโดยที่ความแข็งแรงหรือคุณสมบัติของกระดาษเทียบเท่าเดิมหรือสูงขึ้น

และสำหรับโรงกล่อง ก็คือ

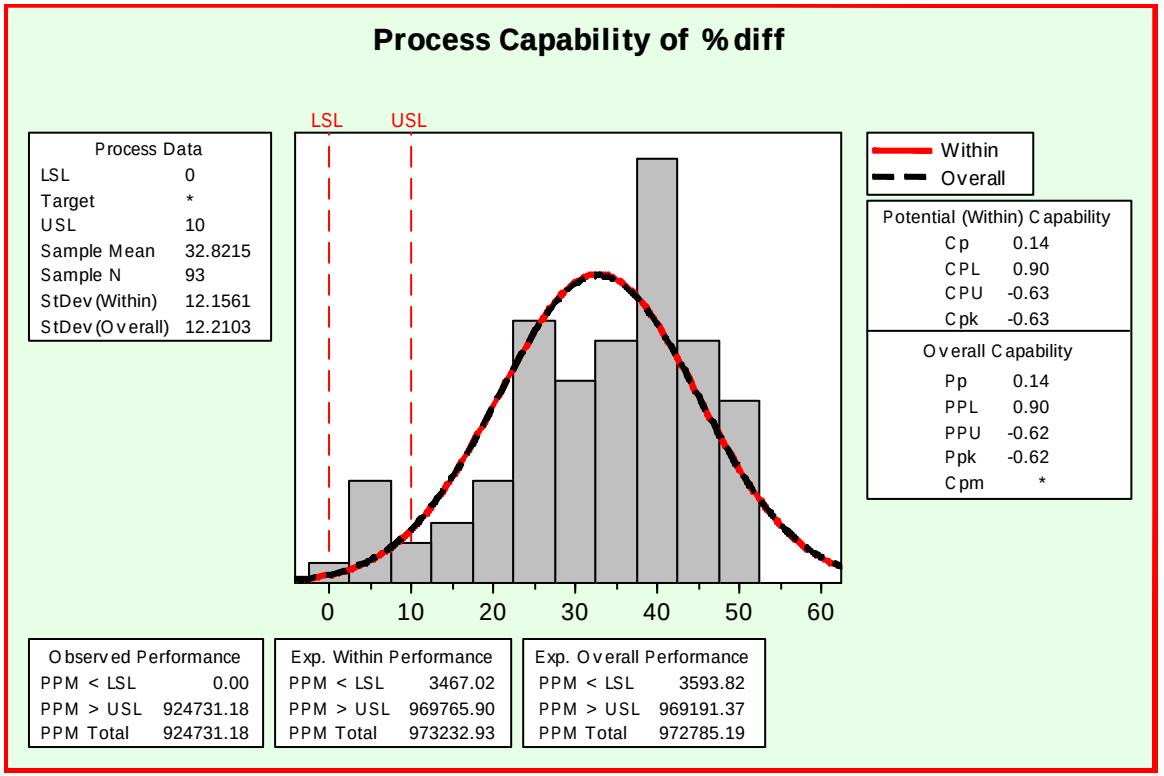
1.การออกแบบ Structure และ Board Combination ของกล่องให้ได้ค่าความต้านทานแรงกดของกล่อง (BCT) มากที่สุด โดยที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด (คุ้มค่ามากที่สุด)

2.การควบคุมการผลิต ให้กล่องที่ได้เกิด Strength Loss in Production น้อยที่สุด

จากเหตุผลข้างผล ทำให้ปัจจุบันการที่เราใช้สูตรคำนวน McKee ให้การคำนวนค่า BCT จะได้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง ($BCT_{calculate} \neq BCT_{actual}$)

การคัดเลือกปัญหา

ปัญหาหลักที่พบทางด้านคุณภาพ คือ ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรงกล่อง



รูปที่ 1 – ภาพแสดง Process Capability ของ % diff

การสำรวจสภาพปัจจุบัน

ปัญหาที่พบ

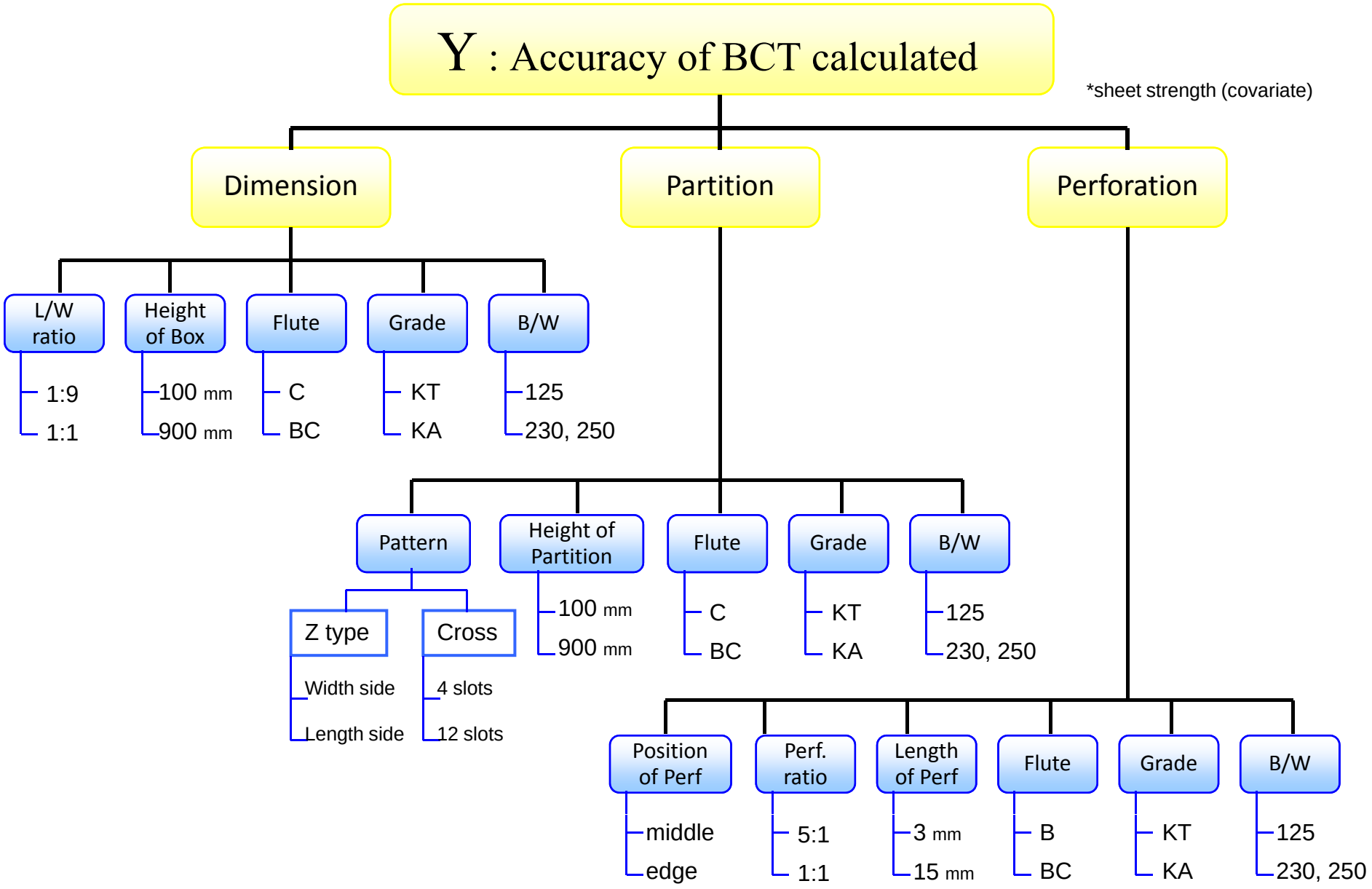
- ✓ ค่า BCT ที่วัดได้จริง กับที่คำนวนได้แตกต่างกัน
- ✓ กล่องมีความแข็งแรงสูง/ต่ำกว่าที่คำนวนได้โดยไม่ทราบถึงปัจจัยหรือสาเหตุที่แท้จริง

สูตร McKee ที่ใช้ในการคำนวนค่าความแข็งแรงกล่อง เป็นสูตรที่มีการเริ่มใช้งานครั้งแรก ปี คศ. 1963

$$5.87 \times K \left(\sum RCT_L + c \sum RCT_M \right) \times \sqrt{2(L+W) \times H}$$

เกิดคำถาม

- ✓ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อค่า BCT ที่ยังไม่ได้นำมาอยู่ในสูตรการคำนวน
- ✓ ปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อค่า BCT เป็นอย่างไร


Y : Accuracy of BCT calculated
*sheet strength (covariate)
Dimension
Partition
Perforation
L/W ratio
1:9
1:1
Height of Box
100 mm
900 mm
Flute
C
BC
Grade
KT
KA
B/W
125
230, 250
Pattern
Z type
Width side
Length side
Cross
4 slots
12 slots
Height of Partition
100 mm
900 mm
Flute
C
BC
Grade
KT
KA
B/W
125
230, 250
Position of Perf
middle
edge
Perf. ratio
5:1
1:1
Length of Perf
3 mm
15 mm
Flute
B
BC
Grade
KT
KA
B/W
125
230, 250

การวิเคราะห์

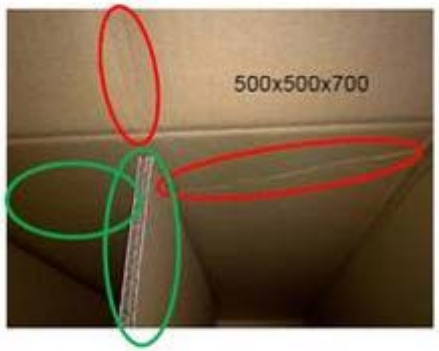
Observation

ฝากล่องเกิดการยุบตัวแต่จะเกิดความเสียหายบริเวณทางด้านขอบทางด้านข้าง ทางด้านฝากล่องทางด้านในมีรอยที่ถูก Partition กดลงมาเป็นรอย Partition ซึ่ง Partition เองนั้นยังมีความสมบูรณ์อยู่

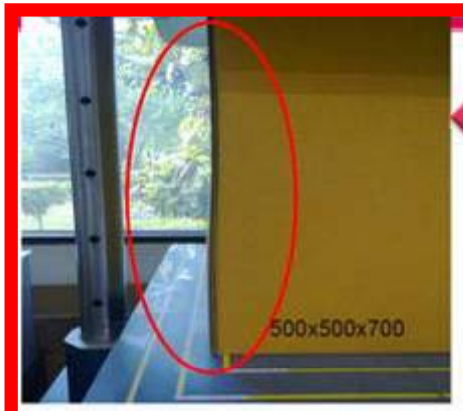
ฝากล่องจะยุบตัวลงมาและบริเวณมุมกล่องเสียหายแต่ความสูงขอบกล่องยังค่อนข้างสมบูรณ์

Observation

กล่องที่สามารถรับแรงกดได้มากกว่า 1800 kg(Box + Partition)



กล่องเกิดการโป่งออกทางด้านข้าง บริเวณฝาจะเห็นรอย
ยุบเป็นรอย Partition แต่สังเกตได้ว่า Partition ยังค่อนข้างสมบูรณ์



Observation

กล่องขนาด 500x500x100 ที่พบความเสียหายจะเป็นลอน C ซึ่งความเสียหายที่พบเป็นบริเวณด้านข้างทั้งสองด้านรวมถึงมุมกล่องที่เกิดความเสียหาย

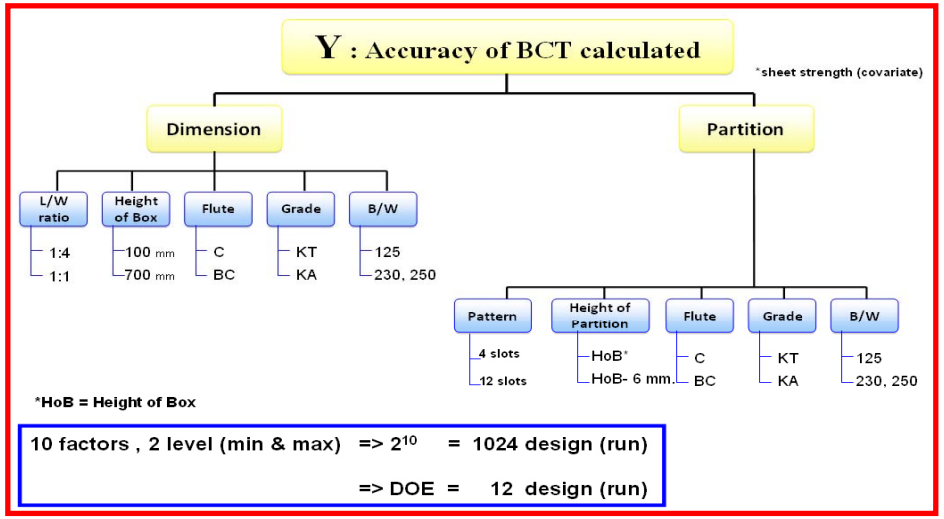
ในกล่องที่มีมิติกล่อง เป็น 500x500 ในกรณีที่มีความสูงของกล่อง 700 mm พบว่ากล่องจะเสียหายบริเวณด้านข้างทั้งสองด้านที่ยาว 500 mm.

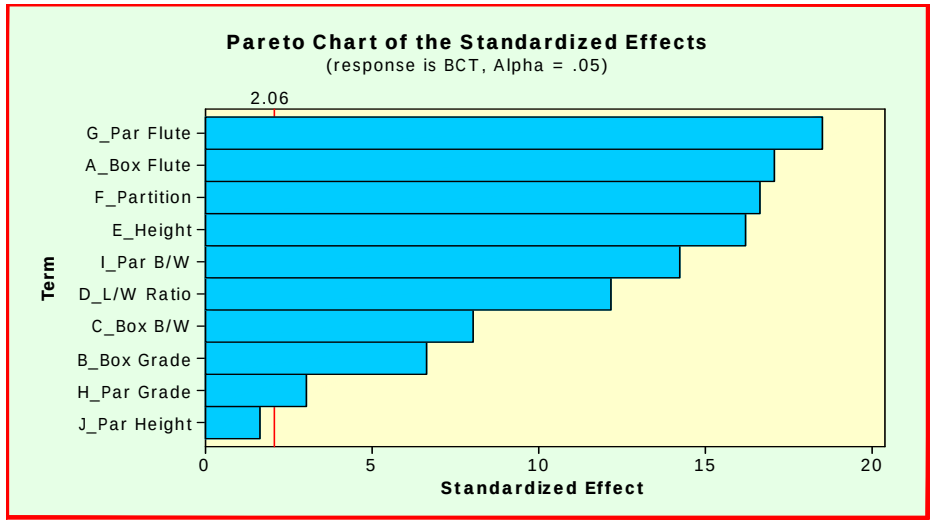
Observation

ลักษณะของกล่องที่ได้รับการทดสอบเรียบร้อยแล้วพบว่ากล่องที่มีความสูงน้อย ๆ เช่น 100 mm ที่ใช้ในการทดสอบนั้น จะมีความเสียหายโดยการโป่งออกทางด้านที่ยาวกว่า เช่น กล่องที่มีความยาว 800x200 ด้าน 800 จะโป่งออก

ส่วนในกรณีที่ความสูง 700 mm จะพบว่ากล่องจะเสียหายด้านที่ยาวกว่า คือด้านที่ยาว 800 mm. ซึ่งจะเห็นเป็นรอยโค้งลงจากขอบจนถึงจุดกึ่งกลางที่ห่างจากมุมมากที่สุด

การวิเคราะห์



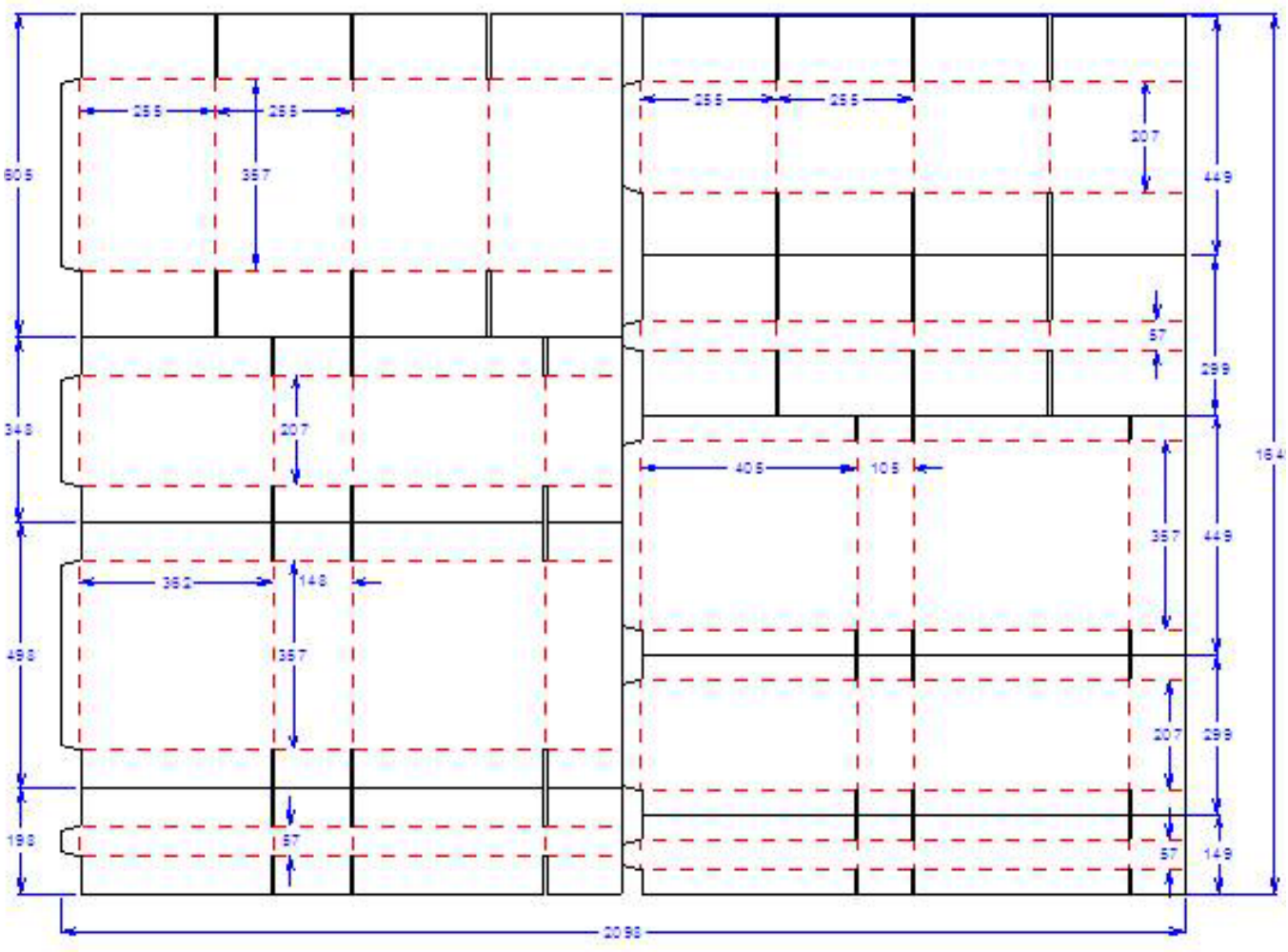


จากผลการวิเคราะห์ของ Factorial Design พบว่า Factor ทั้งหมด *ยกเว้น* ความสูงของ partition มีผลอย่างมีนัยยะสำคัญ (Significant) ต่อค่า BCT โดยดูจาก Pareto Chart ซึ่งจะพบว่า เรื่องของ ลอน(flute) มีผลต่อค่า BCT เป็นอันดับแรก และหากจะลำดับตามหมวดหมู่ในส่วนเฉพาะ factor ที่มีผลต่อค่า BCT อย่างมีนัยยะสำคัญจะได้ดังนี้

1. **Flute (ลอนของกล่องและPartition)** ; (Min = C , Max = BC) ← มีอยู่ในสูตรของ McKee เป็นไปตามสมมติฐานเบื้องต้น
2. **Partition (จำนวนร่องของ partition ที่ใส่ในกล่อง)** ; (Min = 4 slot, Max = 12 slot) ← เป็นไปตามสมมติฐาน พื้นที่รับแรงมากส่งผลให้ BCT มาก
3. **Height (ความสูงของกล่อง)** ; (Min =100 mm, Max = 700 mm) ← มีการวิจัย แต่ยังไม่มีทฤษฎีรองรับ ว่าความสูงมีผลอย่างไรต่อ BCT
4. **B/W (Basis Weight ของกล่องและpartition)** ; (Min = 125 , Max = KA230,KT250) ← มีอยู่ในสูตรของ McKee เป็นไปตามสมมติฐานเบื้องต้น
5. **L/W Ratio (สัดส่วนยาวต่อกว้างของกล่อง ณ.เส้นรอบรูปเดียวกัน)** ; (Min = 1:1 , Max = 4:1) ← มีการวิจัย แต่ยังไม่มีทฤษฎีรองรับ ว่า L/W Ratio มีผลอย่างไรต่อ BCT
6. **Grade (ชนิดกระดาษของกล่องและpartition)** ; (Min = KT, Max = KA) ← อาจเป็นผลจากค่า RCTact ที่แตกต่างกัน (RCTmin เท่ากัน)

Height of Box , Length/Width Ratio => Significantly (Design factor)

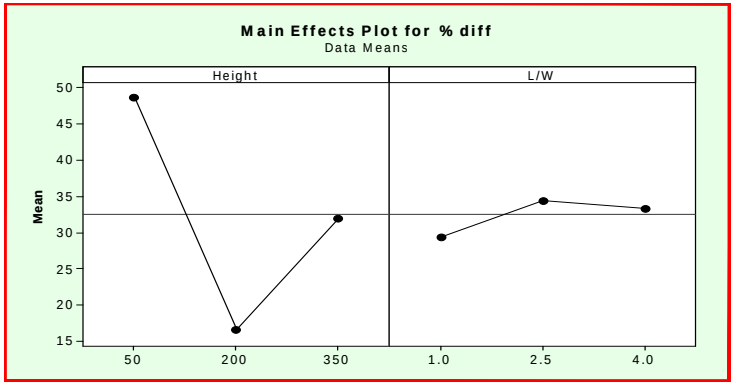
การดำเนินการ



Pattern for sample cutter to reduce variation (all design in one sheet board)

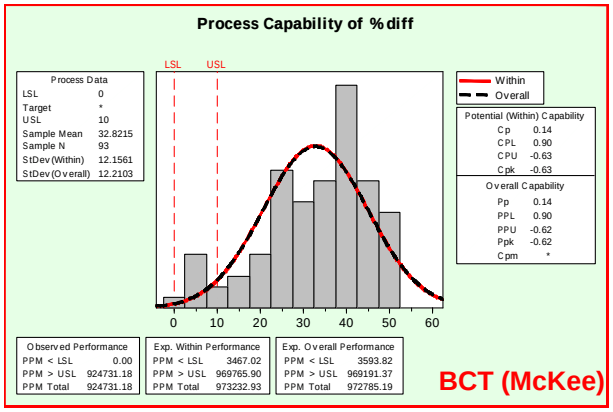
Main Effect for % diff

%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



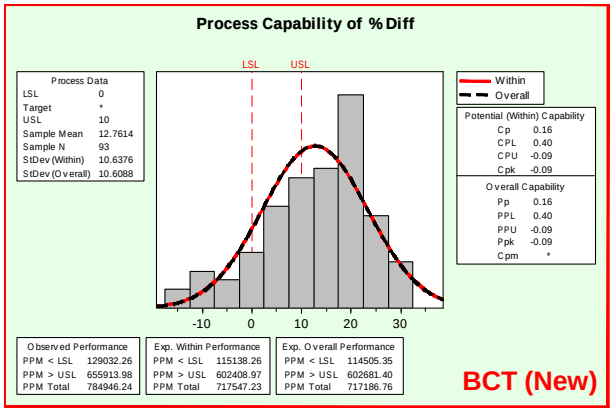
% Diff ที่เกิดจาก L/W Ratio และ Height จะถูกนำเข้าไปเพิ่มความแม่นยำให้กับการคำนวน BCT

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



BCT (McKee)

%Diff Mean = 32.82 %



BCT (New)

%Diff Mean = 12.76 %

ID : 400x100x150 mm.

KT250/CA125/KT250 (C flute)

BCT_{McKee} = 277 kg.

KT200/CA125/KT200 (C flute)

BCT_{New} = 225 + (225 x **25.66**%)
= **281 kg.**

Cost down = 15%

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

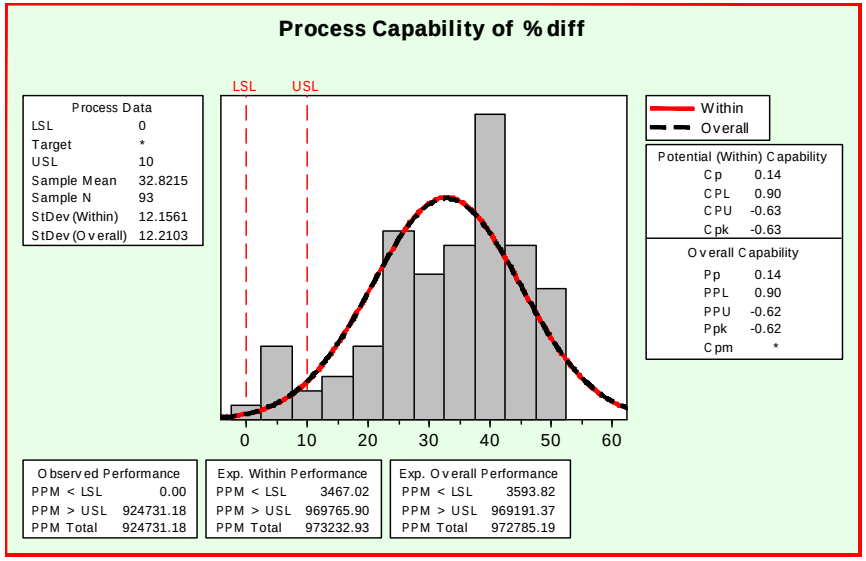
Sample	BCT_{Actual}	BCT_{McKee}	$Diff_{McKee}$ (BCT_{Actual} - BCT_{McKee})	$\%Diff_{McKee}$ [($Diff_{McKee}$ / BCT_{McKee})*100]
1	110.90	80.98	29.92	36.95
2	130.86	100.05	30.81	30.79
3	135.83	100.25	35.58	35.49
4	141.67	109.93	31.74	28.87
5	157.30	124.50	32.80	26.35
6	220.20	163.37	56.83	34.79
7	324.96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

ตารางที่ 2 – แสดงความแตกต่างของค่า BCT actual กับ ค่า BCT ที่คำนวณด้วยสูตรคำนวณใหม่

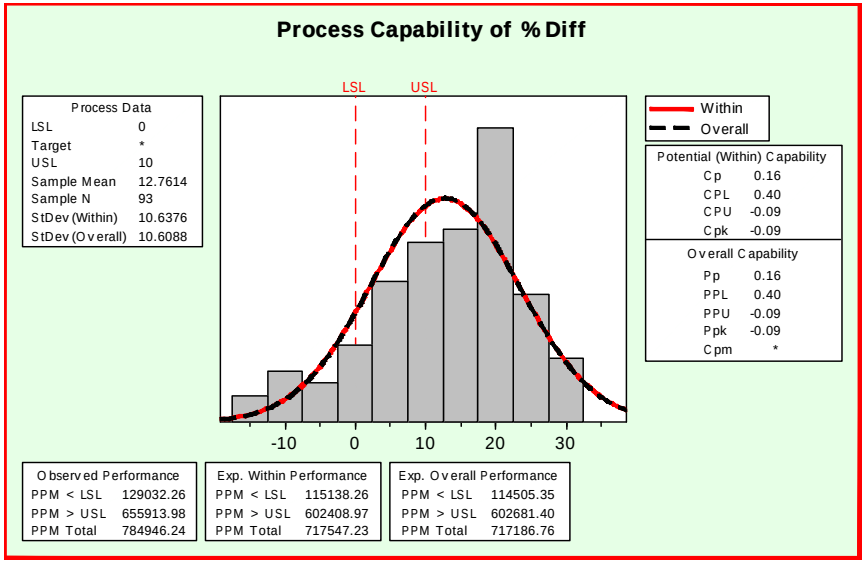
Sample	BCT_{Actual}	BCT_{New}	$Diff_{New}$ (BCT_{Actual} - BCT_{New})	$\%Diff_{New}$ [($Diff_{New}$ / BCT_{New})*100]
1	110.90	93.94	16.96	18.05
2	130.86	115.58	15.28	13.22
3	135.83	124.66	11.17	8.96
4	141.67	127.53	14.14	11.09
5	157.30	147.08	10.22	6.95
6	220.20	193.35	26.85	13.89
7	324.96	308.11	16.85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

การตรวจสอบผล

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



%Diff Mean = 32.82 %

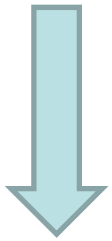


%Diff Mean = 12.76 %

การพัฒนาขึ้นของสูตรการคำนวณค่า BCT ด้วยสูตรใหม่ เมื่อเทียบกับ คำนวณด้วย McKee

การทำมาตรฐาน

McKee $$5.87 \times K \left(\sum RCT_L + c \sum RCT_M \right) \times \sqrt{2(L+W) \times H}$$



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

สรุปและประโยชน์ที่ได้รับ

- สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการคำนวณได้มากกว่า 20 %
- นำไปสู่การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบ(กระดาษ) จากการคำนวณที่คลาดเคลื่อนได้

ความท้าทายต่อไป

- การพัฒนาสูตรการคำนวนค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT) สำหรับเส้นรอบรูป 1,000 มม.
- การพัฒนาสูตรการคำนวนค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT) สำหรับเส้นรอบรูป 1,500 มม.
- การพัฒนาสูตรการคำนวนค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT) สำหรับเส้นรอบรูป 2,000 มม.

++ โดยการศึกษาที่กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (ลอน B และ C) และกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (ลอน BC) ++

การเรียนรู้ ความคาดหวัง ของลูกค้าของกระบวนการ

- ลูกค้าภายในองค์กร
  - ส่วนงานขาย
  - ส่วนออกแบบบรรจุภัณฑ์
  - ส่วนการผลิต
  - ส่วนประกันคุณภาพ
- ลูกค้าภายนอกองค์กร
  - ลูกค้าผู้สั่งซื้อกล่องจากองค์กร

ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการแก้ไข

- ความแปรปรวนของค่าความแข็งแรง
  - ที่เกิดจากวัตถุดิบ
  - กระบวนการผลิต
- แนวทางแก้ไข
  - กำหนดปัจจัยคงที่
  - การจัดการในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง
  - การใช้เทคนิคทางสถิติ

ปัจจัยแห่งความสำเร็จและความยั่งยืน

- การได้รับการสนับสนุนทั้งด้านการพัฒนาองค์ความรู้และการให้โอกาสในการพัฒนางาน จากทางผู้บริหารของ กลุ่มสยามบรรจุภัณฑ์ และ เอสซีจี เปเปอร์
- องค์ความรู้ที่ได้รับจากการอบรมโดยผ่านโครงการ Operational Excellence ของทางศูนย์ส่งเสริมคุณภาพงาน เอสซีจี
- ความร่วมมือกันภายในองค์กร ในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

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*