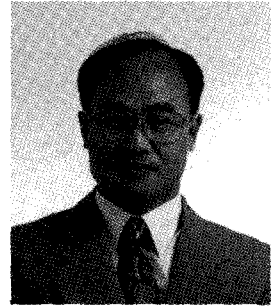


제지기술
강 의

紙類包裝 強度 研究

① - I. 概 說



강 원 대 학 교 제 지 공 학 과 교 수
농학박사 원 종 명

목	차
I. 개 설	
1. 골판지 포장강도의 필요성	
2. 골판지 원지강도와 골판지 포장강도와의 관계 개설	
1) 최대하중의 계산	
2) 포장 디자인(FEFCO 표준)	
3. 골판지 포장강도와 인자	

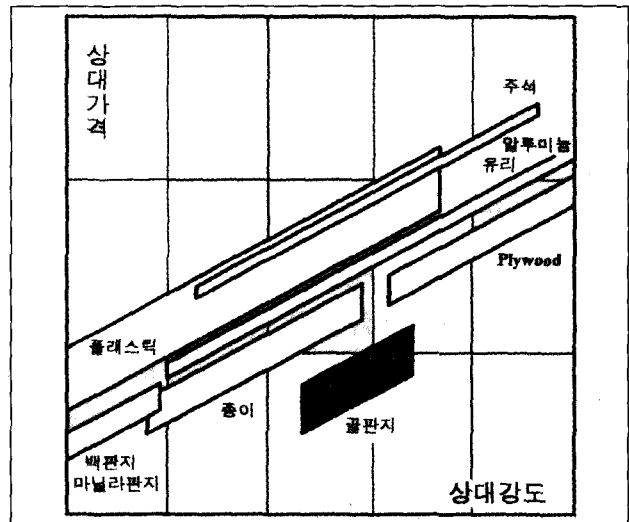


그림1. 각종 포장재료의 가격대비 강도적성질

1. 골판지 포장강도의 필요성

골판지 포장은 우리나라 뿐만 아니라 전세계의 산업 발전과 매우 밀접한 관계를 지니고 있다. 즉 산업 활동을 통하여 생산된 제품을 안전하게 보호하고, 운반 및 저장을 용이하게 하기위한 수단이 필요한데, 이러한 목적을 달성하기 위하여 사용 가능한 각종 재료중 골판지가 가장 가볍고 저렴하면서도 성능이 우수한 포장재료(그림 1)로 알려져, 널리 사용되고 있다. 골판지가 포장 재료로 사용되기 시작한 이래 100여년 이상을 앞에서 언급한 바와 같은 포장 목적을 위하여 사용되어 왔다. 그러나 최근 국제시장의 개방과 기업간의 경쟁이 치열해짐에 따라 포장의 중요성에 대한 인

식이 크게 고조되면서 기대하는 포장의 기능도 매우 다양화되었다. 즉, 포장이 곧 상품이라는 말이 나올 정도로 포장 자체가 상품에 대한 특성과 성능을 나타내어줄 뿐만 아니라 소비자로 하여금 구매하고 싶은 욕구를 갖도록 유도하고, 효율적인 물류 관리를 위한 바 코드와 같은 정보시스템까지도 포함하는 판매 촉진 기능, 정보 매체 기능 그리고 광고 매체 기능을 지니게 되었다.

이와 같이 포장의 기능이 다양해짐과 동시에 포장의 디자인에 대한 비중이 지나칠 정도로 커짐에 따라 오히려 포장 본래의 목적이 경시됨으로써 포장의 제기능을 충분히 발휘하지 못하는 문제가 종종 야기되는 것을 볼 수 있다. 아무

리 포장디자인이 우수하고, 물류관리를 효율적으로 할 수 있으며, 각종 특수한 성능을 지닌 고기능성 포장재를 만든다 하더라도 포장재 고유의 기능인 상품 보호기능이 상실될 경우 더 이상 포장재로서의 역할을 하는 것은 불가능하다.

따라서 포장재료로 사용되는 골판지 포장은 각종 기능성의 부여 및 포장 디자인시 용도에 적합한 강도적 성질을 제공할 수 있도록 주의하여야 한다.

더욱이 우리나라의 경우, 골판지 제조 원료로 수입 또는 국내 OCC를 사용하기 때문에 북미 및 유럽과 같은 제1선진국에서 생산되는 골판지와는 비교도 할 수 없을 만큼 열등한 품질, 특히 열등한 강도적 성질을 지니는 골판지를 생산하고 있다. 필자가 아직도 생생하게 기억하고 있는 것은 캐나다 펄프·종이 연구소에서 2년간 연구 생활을 하면서 실험 재료들을 보관하기 위하여 사용했던 골판지상자에 사람이 올라서도 전혀 찌그러지지 않을 정도로 견고했던 사실이다.

물론 이와 같이 높은 강도를 얻을 수 있었던 것은 그들이 버진펄프를 원료로 사용한 것이 가장 큰 이유이지만, 이를 더욱 뒷받침해준 것은 골판지의 품질 향상을 위하여 기술 투자 및 개발을 게을리하지 않은데 있다. 이미 여러번 재활용된 열등한 원료를 골판지 제조에 사용하는 우리의 경우에는 이와 같이 매우 불리한 여건을 극복하기 위하여 기술 개발에 몇배 더 노력을 하지 않으면 안된다.

2. 골판지 원지강도와 골판지 포장강도와의 관계 개설

골판지는 골심지와 라이너로 구성된 일종의 복합 구성체로서 경량이면서도 중량 대비 강성이 우수한 소재이다. 비록 우리나라에서는 포장 재료중에 골판지 포장의 비중이 약 35%이나, 미국에서는 이 보다 훨씬 많이 골판지를 사용하고 있다. 이와 같은 경향은 그림 1에서 나타난 바와 같이 가격 대비 강도 및 상품 보호 특성이 매우 우수하기 때문인 것으로 생각된다.

골판지는 라이너원지와 골심지를 접착제로 결합하는 2단계 공정을 거쳐서 만들어진다. 그러나 요구되는 판지의 성질에 따라 다양한 원료, 접착제 및 flute이 사용될 수 있고, 특히 각종 flute의 조합 방법에 따라서도 매우 다양한 특성을 지니는 골판지가 생산될 수 있다. 그 예로서 다양한 flute을 조합하거나, UPS(강화 골판지) 또는 최근 국내에

서 개발 발표한 이층 골심판지와 같이 구조를 변형시키는 등 다양한 형태의 골판지가 생산될 수 있다. 물론 초지공정에서 약품을 사용하거나 원료를 바꾸는 방법도 있으나 대부분이 골심지의 flute 모양을 적절히 조합하여 원하는 강도적성질, 완충성, 인쇄적성 등을 얻는 것이 보통이다. 이와 같은 노력의 일환으로 연구 개발이 꾸준히 이루어지고 있으며, 그 한 예로 수년전 미국의 맥도널드 햄버거사에서 F flute을 사용한 햄버거 포장용 골판지를 사용한 바 있고, 1996년에는 AICC 및 TAPPI 전시회를 통하여 N flute이 소개되어 큰 관심을 끈 바 있다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 flute의 종류는 표 1과 같으며, 라이너 및 골심지에 대하여 가장 일반적으로 적용되고 있는 평량은 표 2와 같다.

표 1. 골판지 제조에 사용되고 있는 flute의 종류

Flute	Flute 수/m	Flute 높이 (mm)	Take-up 지수
A	118 ± 10	4.5 - 4.8	1.53 - 1.57
C	138 ± 10	3.4 - 3.7	1.42 - 1.47
B	164 ± 10	2.4 - 2.6	1.32 - 1.33
E	309 ± 14	1.1 - 1.6	1.23 - 1.30

* Take-up 지수는 골심지의 길이를 라이너의 길이로 나눈 값임

표 2. 일반적으로 사용되는 라이너 및 골심지의 평량

원 지	평 량 (g/m ²)
라이너	127, 161, 185, 205, 229, 336, 439
골심지	127, 137, 146, 161, 176, 195, 205, 244, 254

이상과 같이 골판지는 포장용 상자의 용도 또는 사용되는 환경에 만족할 수 있도록 하기 위하여 각종 독특한 특성을 지니는 소재를 다양한 방법으로 조합하여 만들어질 수 있다. 그러나 이와 같은 조합을 적절히 하기 위해서는 원지와 골판지 특성간의 관계가 정립되어야 한다.

골판지는 다기능성 포장재료로서 실제 사용 환경에서 많은 응력과 변형을 받게 된다. 따라서 최종적으로 제조된 상자를 시험할 경우 전반적인 강도와 내구성이 평가되어야 한다. 이들 성질을 정확히 측정하려면 상자 뿐만 아니라 상자를 구성하는 개개 구성 요소의 물리적 성질을 아는 것이 중요하다. 따라서 포장용 골판지상자의 성능을 평가하기 위한

일환으로 라이너원지, 골심지 및 골판지상자를 평가하기 위한 많은 표준법들이 사용되고 있으며, 이 방법들에 의하여 얻어진 자료를 근거로 최종적으로 사용하고자 하는 용도에 적합한 성질을 지니는 상자를 제조하는 것이 가능하다.

이해를 돕기 위하여 골판지 포장디자인에 대하여 간단히 소개하고자 한다. 골판지 포장의 디자인은 3단계로 구성된다. 소비자의 요구를 만족시키기 위한 골판지 포장을 디자인하기 위해서는 먼저 포장의 성능을 나타낼 수 있는 방법으로 유통 위험 정도를 규격에 포함시켜야 한다.

그리고 나서 운반 용이성, 개폐 용이성 및 기타 사항이 결정될 수 있다. 일단 요구되는 골판지 포장의 압축강도가 결정되면 각종 다양한 골판지 조합 및 포장디자인이 선택될 수 있다. 이에 대한 디자이너의 지식과 창출성이 자원의 사용을 최소화하는데 응용될 수 있다. 효과적인 포장디자인을 하기 위해서는 이들 자료의 축적이 필수적이다. 포장의 성능은 원료와 디자인의 선택에 의하여 결정된다. 포장디자인의 첫 번째 단계는 유통 시스템에 의하여 요구되는 골판지 포장에 걸리는 하중의 계산이다. 두 번째 단계는 사용할 적절한 포장의 종류를 결정하고, 세 번째 단계에서 원료를 조합하는 방법을 결정한다.

1) 최대하중의 계산

◆ 상자의 압축강도

포장된 상품은 보통 운반기구(트럭, 기차 등) 및 창고에서 쌓아올려진다. 이 형태는 개개의 상태로 이루어질 수도 있고, pallet 위에 쌓기도 한다. 포장이 견딜 수 있는 최대 임계(臨界) 하중은 가장 상태가 좋지않은 아래쪽에 있는 포장에 대하여 계산된다(그림 2). 또한 골판지는 시간과 기후 등에 의하여 변화되는 특성을 지니고 있으므로 필요로 하는 압축강도(BCT)의 계산은 이들 인자들을 포함시켜 보정되어야 한다.

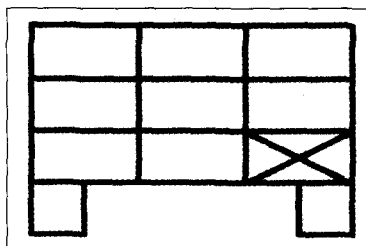


그림 2 최대 하중 측정 위치

- Pallet을 사용하지 않을 때 :

$$B = a \times h \times d \times g$$

B : 하중

a : 골판지 포장의 기부 면적

h : 가장 아래 골판지 포장에서 가장 윗부분 골판지 포장까지의 높이

d : 하중의 밀도(kg/m³)

g : 중력(9.81 m/s²)

- Pallet을 사용할 때 :

$$B = (n-1)w$$

B : 하중

n : 단위 하중에 대한 포장의 개수

w : 각 포장의 무게

◆ 부하 시간의 영향

가해진 하중에 대하여 견디는 골판지의 능력은 그림 2와 같이 시간이 지남에 따라 변한다. 이러한 현상은 어떤 물체에 일정한 하중이 가해질 경우 시간이 지남에 따라 계속 변형을 일으켜(Creep) 골판지에 걸리는 응력이 낮아지는 응력이완(Stress relaxation) 현상을 나타내기 때문이다. 따라서 이러한 변화를 보정하기 위한 보정계수가 필요하다. 이 보정계수를 얻으려면 골판지 포장의 하중에 노출되는 시간이 결정되어야 하는데, 이때 가장 긴 부하시간과 내부 및 외부 저장의 경우를 포함시켜야 한다. 이 보정지수는 그림 3에서 직접 얻을 수 있다. 즉 2개월간 저장을 할 경우 2달 동안 하중에 견딜 수 있는 초기 BCT를 구하기 위한 보정지수는 약 0.6이 된다.

$$B = B_i / f_1$$

B : 골판지 포장이 견딜 수 있는 초기 하중

B_i : 예정된 저장 기간 말기에 포장에 걸리는 하중

f₁ : 시간에 대한 보정지수

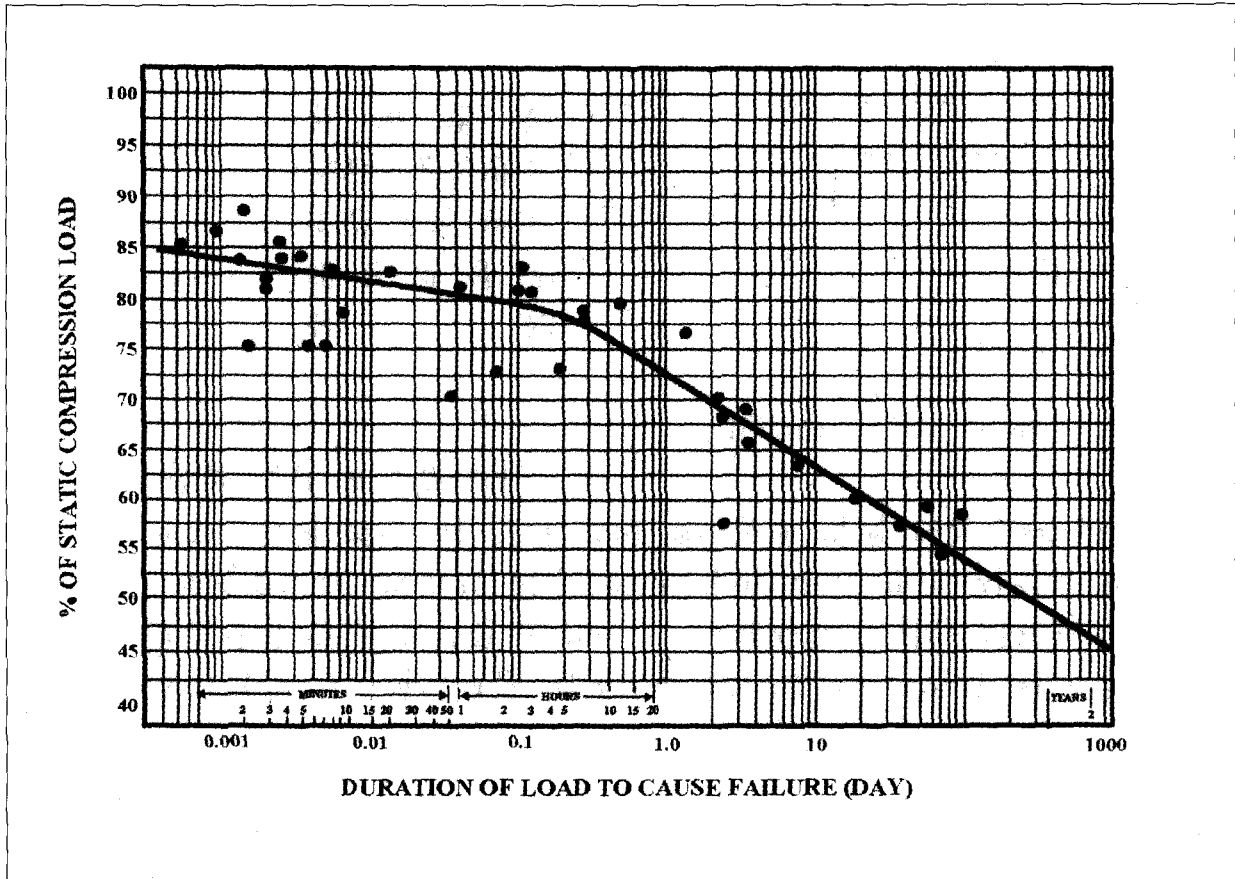


그림 3. 시간에 따른 하중 지지 용량의 변화

◆ 부하 형태의 영향

골판지 포장은 보통 불균일한 하중 분포를 나타낸다. 즉 포장의 Buckling pattern 에 의하여 가운데 보다 모서리에서 높은 하중이 걸리게 된다. 물론 Pallet의 사용 여부도 영향을 미친다. 포장의 쌓는 방법에 따라 다음과 같이 두가지 형태로 나누어 질 수 있다.

- Column stacking : 모서리가 균일하게 모서리 위에 퇴적되는 형태로 골판지 제조 원료가 적절히 사용되었을 경우 선호하는 방법이다.
- Interlock stacking : 하중에 대하여 보다 잘 견딜 수 있도록 하기 위하여 서로 엇갈리게 쌓는 방법이다. 이 경우에는 Column stacking의 1/2에 해당하는 하중에 견딜 수 있다.

가지 쌓는 방법 사이에 미치는 영향이 다르게 나타나므로 10 mm 변형마다 다음과 같이 보정지수 (f2)를 적용해주어야 한다.

$$B = B_i / (f_1 \times f_2)$$

f2 : 하중 형태에 따른 보정지수

◆ 관계습도의 영향

전술한 바와 같이 골판지의 강도는 비록 온도의 영향은 별로 크지않아서 심각한 수준이 아니지만, 수분 변화에 의하여 큰 영향을 받는다(그림 4). 따라서 최대 하중 계산시 관계습도 또는 수분의 변화에 대한 보정이 필요하다.

$$B = B_i / (f_1 \times f_2 \times f_3)$$

f3 : 관계습도에 대한 보정지수

포장을 쌓을 때 조금이라도 변형이 일어날 경우 상기 두

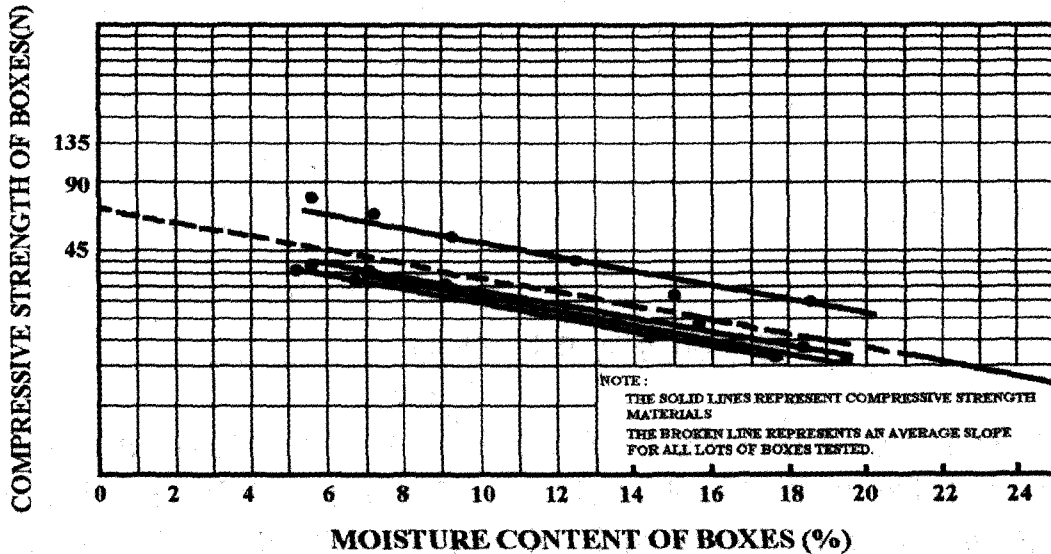


그림 4. 관계습도 및 함수율에 따른 부하지지 용량의 변화

◆ 비의 영향

강우도 골판지 포장의 성능에 영향을 미친다. 그러나 비에 대한 노출 빈도가 이에 대한 보정지수를 계산에 포함시킬 것인지를 결정하게 해줄 것이다. 물론 강우량이 2-3 mm/min의 열대강우나 0.1-0.5 mm/min의 유럽 강우는 서로 다른 영향을 미칠 것이다. 열대지역에서의 강우 조건에서는 골판지 포장의 강도 손실이 약 50%에 달한다. 만약 비가 5분 이상 내리게 되면 다음과 같이 보정지수(f4)를 적용해주어야 한다.

$$B = B_i / (f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4)$$

f4 : 강우에 대한 보정지수

◆ 포장될 제품의 성질

포장될 제품의 성질에 따라 골판지상자 디자인이 요구되는 하중이 영향을 받을 수 있으므로 다음과 같이 이에 대한 보정도 고려되어야 한다.

$$B = (B_i - B_p) / (f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4)$$

Bp : 포장 제품이 하중에 미치는 영향

2) 포장디자인 (FEFCO 표준)

디자인도 치수 및 구조에 의하여 포장의 성능에 영향을 미치며, 매우 다양한 표준 골판지 포장디자인이 있다. 크기 또한 매우 다양하며, 매우 다양한 용도로 사용될 수 있다. 이들 포장디자인은 다음과 같이 3가지로 나누어질 수 있다.

- Regular slotted container (RSC) :

0200-0216, 0225, 0300-0313, 0320-0321

- Package type 2(그림 5) : 0421-0423, 이 디자인은 RSC 압축강도의 80%에 해당되는 하중을 지지해 줄 수 있다.
- Package type 3(그림 6) : 이 디자인은 (2 x RSC 압축강도)의 제곱근 값에 해당되는 하중을 지지해 줄 수 있다.

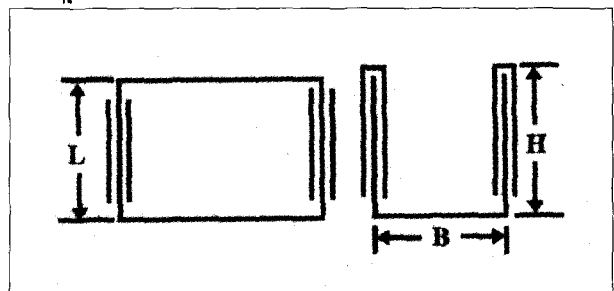


그림 5. 포장디자인 type 2

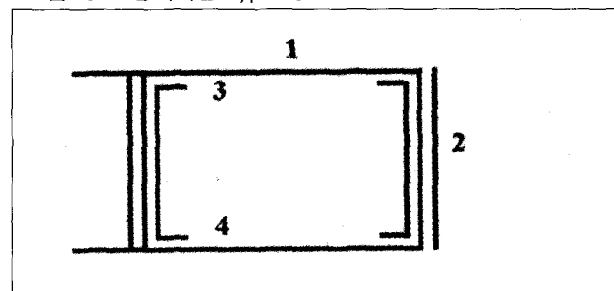


그림 6. 포장디자인 type 3

BCT는 포장디자인 뿐만 아니라 포장의 크기에 의해서도 영향을 받는다. 즉 포장 깊이가 포장 들레의 1/7보다 작거나 같을 경우 버클링에 견딜 수 있으며(그림 7), 포장 깊이가

가 증가됨에 따라 버클링이 일어날 수 있고, 결국 포장의 압축강도에 영향을 미치게 된다. (그림 8). 포장 깊이가 포장 둘레의 1/7보다 작은 포장에 대하여 요구되는 BCT는 다음과 같이 포장 디자인의 종류에 따라 달라진다.

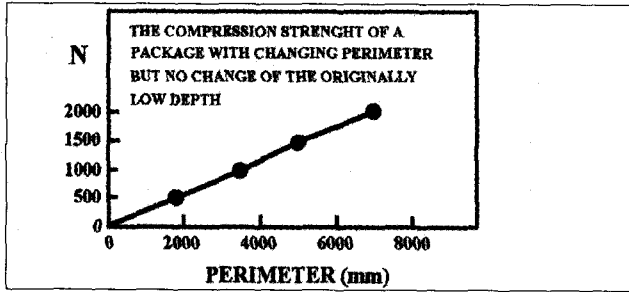


그림7. 하부 포장에 버클링이 생기지 않음

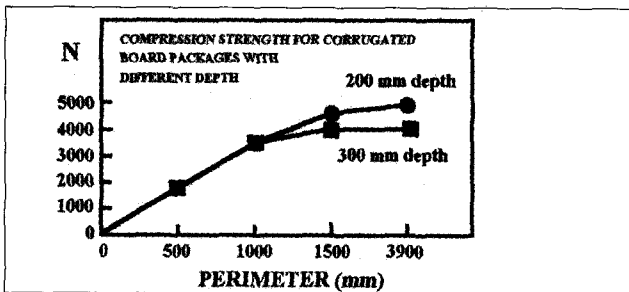


그림8. 포장 둘레와 포장 깊이가 골판지의 BCT에 미치는 영향

- Package type 1 : $B = B_i / (f_1 \times f_2 \times \dots)$
- Package type 2 : $B = (B_i \times 0.8) / (f_1 \times f_2 \times \dots)$
- Package type 3 : $B = (B_i \times \sqrt{2}) / (f_1 \times f_2 \times \dots)$

3. 골판지포장강도의 인자

골판지의 성질은 사용된 원료의 특성, Flute의 형성, 골판지의 제조 및 가공 방법에 의하여 결정된다. 결국 골판지의 포장강도는 이미 전술한 바와 같이 골판지 제조 원료에서부터 최종적으로 골판지상자를 만들기 까지 관련된 수많은 인자들에 의하여 좌우된다고 할 수 있다. 또한 종이와 마찬가지로 골판지의 성질도 노출된 환경의 온도와 습도에 의하여 큰 영향을 받기 때문에 표준법에서 정하고 있는 온·습도 조건하에서 전처리를 한후 규정된 조건하에서 시험을 하여야 한다.

이러한 각종 원료, 제조 방법에 따른 골판지의 품질 변화를 조사하기 위하여 다양한 방법들이 시도되었다. 비록 대부분의 경우 거의 같은 원리를 적용하고 있지만 나라에 따라서 일부 독특한 방법들이 적용되기도 한다(표 3). 특히 표준 규격들은 그 나라의 실정에 따라 각기 다르게 제정하여 사용되고 있다(표 4, 표 5, 표 6)

성질	표준법						
	SCAN	DIN	TAPPI	ASTM	BS	ISO	FEFCO
파열강도	P25	53141	810om	D2738	3137	2759	no. 4
ECT	P33	53149	811om	D2808	6036	3037	no. 8
BCT		55440	804om	D642			
SCT	P46	53134	826pm			9895	
RCT	P34		818om				
FCT	P32		808om	D1225		3035	no. 6
CMT		53143	809om			7263	
Cobb	P12		820cm			535	no. 3
굴곡강도		53121	460		3748	2493	
투기도	P19		803om		5926	3687	
Puncture			821om	D781		3036	no. 5
Pin adhesion							no. 11

SCAN : Scandinavian standard, DIN : German standard, ASTM : American standard, BS : British standard, ISO : International standard, FEFCO : European Corrugated Board Industry standard, ECT : Edgewise crush test, BCT : Box compression test, SCT : Short span compression test, RCT : Ring crush test, FCT : Flat crush test, CMT : Flat crush test for medium

표 4 한국의 골판지의 품질 기준 (KS A 1502)

종 류	기 호	파열강도 (kPa, kg/cm ²)	수직압축강도 (kN, mkg/50 mm)				
			A 골	B 골	C 골		
양면골판지	1종	S-1	638, 6.5 이상	3.41, 17.4 이상	3.30, 16.8 이상	3.35, 17.1 이상	
	2종	S-2	785, 8.0 이상	3.53, 18.0 이상	3.43, 17.5 이상	3.47, 17.7 이상	
	3종	S-3	1177, 12.0 이상	5.12, 26.1 이상	4.98, 25.4 이상	5.04, 25.7 이상	
	4종	S-4	1570, 16.0 이상	7.14, 36.4 이상	6.98, 35.6 이상	7.06, 36.0 이상	
이중양면골판지	1종	D-1	785, 8.0 이상	A B 골 4.98, 17.4 이상		B C 골 49.4, 25.2 이상	
	2종	D-2	981, 10.0 이상	5.55, 28.3 이상		5.49, 28.0 이상	
	3종	D-3	1373, 14.0 이상	5.12, 37.8 이상		7.34, 25.4 이상	
	4종	D-4	1766, 18.0 이상	9.06, 46.2 이상		9.86, 45.7 이상	

표 5. 스웨덴의 골판지 규격

등 급	ECT (kN/m) 하한치	파열강도 (kPa) 하한치	FCT (kPa) 하한치	Cobb (g/m) 상한치	두께 (mm)
110A or C	3.2	350	150/200	28	
120A or C	3.8	700	150/200	28	
140A or C	4.4	1000	150/200	28	A 4.75
150A or C	4.9	1200	150/200	28	C 3.75
160A or C	5.6	1300	150/200	28	
170A or C	6.6	1500	225/300	28	
120 B	3.6	700	250	28	
140 B	4.2	1000	250	28	B 2.7
160 B	5.4	1300	250	28	
210	7.0	1200	(200)	28	BA 7.2
220	8.5	1500	(200)	28	BC 6.4
240	11.0	2000	(250)	28	
320	14.0	2700	(250)	28	

표 6. 골판지의 FEFCO 표준

종 류	최소 성능 (SI unit)			
	등 급	파열강도 (kPa)	Puncture (J)	ECT (kN/m)
Class 1 Single wall	11	500	2.5	
	12	700	3.0	
	13	900	3.5	
	14	1200	4.0	
	15	1500	5.0	
	16	2000	6.5	
Class 2 Single wall	21	400		2.5
	22	600		3.0
	23	800		4.0
	24	1000		5.0
	25	1300		6.0
	26	1800		7.0
Class 3 Double wall	31	800		6.0
	32	1100		6.5
	33	1400		7.5
	34	1800		9.0
	35	2400		12.0
	36	2600		15.0
	37	2800		18.0

FEFCO : European Corrugated Board Industry Association, Class 1 : Containability, Class 2 : Compressibility, Class 3 : Compressibility & protection from shock