

골판지상자강도의 예측신뢰성에 대한 최신 측정기술의 연구

-Ring Crush 측정법과 SCT 측정법의 비교-

SCMI골판지기계연구소
소장 전재형

차 례

서 언

- 8) ECS를 측정하는 다른 방법들
- 9) 다른 측정방법들간의 비교
- 10) 결 론

1. 제1장 -골판지상자의 압축강도

- 1) 골판지상자의 압축강도 시험법
- 2) 어떠한 특성들이 골판지상자의 내하중에 기여하는가?
- 3) Mckee의 방정식
- 4) BCT값의 최적화
- 5) 골판지의 ECT값과 라이나 및 골심지의 압축강도와의 관계
- 6) 골판지의 B.S값과 라이나 및 골심지의 Tensile Stiffness와의 관계
- 7) 요약

2. 제 2장 -골판지의 ECT강도의 측정

- 1) ECT의 정의
- 2) 서로다른 측정방법들
- 3) 가장자리 찌그러짐을 피하는 다른 방법들
- 4) TAPPI방법
- 5) JIS Z-0401
- 6) Edge Failure 를 피할수 있는 해결책
- 7) FPL Neck-down 방법

3. 제 3장 -골판지의 Bending Stiffness의 측정

- 1) Bending Stiffness의 정의
- 2) 생산관리에서의 B.S 측정
- 3) B.S의 측정
- 4) 3-point와 4-point 방법과의 비교
- 5) 골판지에서의 B.S 시험기

4. 제4장 -라이나와 골심지의 수평압축강도의 측정

- 1) 라이나와 골심지의 수평압축강도의 측정
- 2) SCT (STFI) 방법에 따른 압축강도 측정 원리
- 3) SCT와 다른 압축강도 측정방법과의 비교
- 4) 여러가지 압축강도 측정방법간의 비교
- 5) 결 론

- 참고문헌

서 언

100년 이상의 역사에도 불구하고 골판지는 포장산업안에서 새로운 시장영역을 계속적으로 넓혀가고 있는 현대생활에 필수적인 공산품이다. 새로운 많은 응용분야는 골판지에 요구되는 품질특성을 새롭고 더욱 엄격하게 만든다. 더 강한 내하중력, 더 높은 휨강성, 더 나은 인쇄적성, 더 강화된 내수성등이 이런 요구사항이다. 이들 외에도 주행성(Runnability)과 특수한 가공적성도 요구된다. 와프와 잘못된 패션으로 인하여 최신의 자동충진포장기에서의 문제도 증가된다.

물론 골판지제품에 요구되는 서로다른 모든 이러한 요구사항들은 시장의 요구사항을 반영하여 최적화 된것들이다. 어떻게 이를 서로 다른제조환경, 제조설비, 시장조건, 상이한 지리적위치등에서 최적화 할수 있을까?

그러나 한가지 공통적인것이 있다. 골판지의 생산공정과 골판지제품의 특성, 그리고 어떻게 이들 특성을 라이나와 골심지의 선정에 의해 효과적으로 할 수 있는가 등에 대한 지식 없이는, 이를 최적화 시키는 것은 불가능 하다는 것이다.

모든 골판지 제조업자에 공통적인 또다른 요소는 골판지공장의 총비용의 50% 이상을 점유 하는것이 라이나와 골심지의 비용이라는 것이다.여기에서 우리의 주된 관점은 명백해진다. 라이나 및 골심지의 원재료부분의 절감이 가장 큰 이익을 가져다 주는 것이다.이는 완성된 제품의 지속적인 품질특성시험을 통하여 골판지제품의품질특성과 원재료와의 상관관계를 지속적으로 검토하고 생산현장에 반영하여 품질향상 및 원가절감에 노력하여야 된다는 것을 의미한다.

이 글에서 우리는 완성된 골판지상자와 골판지의 가장 중요한 품질특성 및 현대적인 실험방법과 최신 이론을 통하여 어떻게 이들을 최적화하여 최소의 비용으로 시장의 요구에 부응하는, 최대의 골판지 품질향상을 달성할수 있는가를 알수 있을 것이다

SCMI골판지기계연구소장 전 재 형

제 1 장

골판지상자의 압축강도

골판지상자의 압축강도는 골판지 상자로 포장 후 적재시의 강도를 직접적으로 나타낸다. 상자가 하중을 견디는 힘은 현재 운송상황에서 볼 때 결정적으로 중요하므로 압축강도는 골판지 포장의 성능을 알기 위해 일반적으로 측정되는 항목이 되었다. 압축강도는 몇가지의 표준에 의해 측정되며 BCT(Box Compression Test) 값으로 나타난다.

그림 1. 1은 압축강도가 충분치 않아 골판지 상자가 찌그러진 2가지 예를 보여준다. 왼쪽의 그림은 가장 밑에 위치한 상자가 전체 하중에 의해 어떻게 찌그러져나를 보여준다.

◆ 상자압축강도시험법 (BCT METHOD)

이시험법은 측정기의 두개의 평행한 판 사이에 빈 상자를 놓고 10 - 13mm/min의 속도로 지속적

으로 압축하여 윗면부터 아랫면까지 작용하는 순수한 하중 TEST이다. 이 힘과 변형을 (STRAIN)은 상자가 찌그러들때 (FAILURE)까지 기록된다.

이 과정에서 측정되는 최대의 힘이 골판지 상자의 압축강도로 인정된다. 이 실험은 23°C, 50% RH에서 실행된다. 이 방법은 상자를 적재했을 때 실제로 얼마나 잘 견딜 수 있는가를 알려주는 널리 알려진 방법이다. BCT METHOD는 여러가지 상자들이 하중을 견딜 수 있는 능력을 비교하는 좋은 방법이다. 또한 측정에 사용되는 박스는 비교가 가능하도록 필히 같은 크기의 것이어야 한다. FEFCO No. 50, TAPPI T-804등의 몇 가지 표준이 측정방법에 대해 자세하게 기술하고 있다.

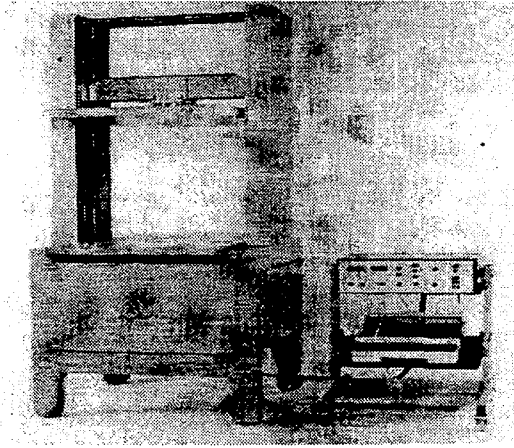
◆ 측정장비

BCT를 정확하고 균일하게 측정하기 위해서는 표준에서 제시하는 조건들을 충족시켜야 한다. 이러한 조건들은 측정결과에 영향을 주는 것들을

1. 1 Compression damage to corrugated board boxes.



1. 2 Modern compression strength tester for corrugated board packages.



가능한한 배제하려는 것이다. 측정장소에 관계없이 DATA를 비교하기 위해서는 이러한 조건은 필수적이다. 이 중 몇가지의 조건은 압축판에 관련된 것이다. 이 압축판은 단단하고 편평해야 하며 압축판간의 평행도는 2/1000이하이어야 한다. 즉 압축판의 길이가 1000mm 일때 압축판간의 평행도의 편차가 2mm를 넘어서는 안된다.

또 다른 조건은 압축속도가 10 - 13mm/min로 고정되어야 한다는 것이다.

실제적인 하중이 짧은 충격하중 에서부터 1년 이상의 장기적재하중의 경우까지 고려할 때 정밀하게 압축속도를 지정해야 하는 것이 이상할 수 있다. BCT값의 80 - 90%에 이르는 하중이 정지된 상태로 작용하면 몇 분안에 상자가 찌그러지게 되고 60% 정도일 경우는 한달 정도 견디게 된다. 그러므로 압축속도는 실제적으로 하중이 주어지는 경우와는 큰 관련이 없지만 좁은 제한된 조건들 안에서 측정된 결과들을 비교하기 위해서는 필수적이다.

FEFCO에서 하중 측정 시스템의 정확도는 하중의 2% 이내로 규정되어 있다. STRAIN은 5% 이내로 규정되어 있으나 FEFCO 기준에서는 측정하지 않기 때문에 다소 불균일할 수도 있다. 반면 TAPPI-804에서는 하중/STRAIN 그래프가 측

정결과에 포함될 것을 요구한다. 따라서 압축강도 측정기는 하중을 아날로그 recorder에서 strain의 함수로써 기록할 수있어야 한다. 컴퓨터화 된 장비라면 하중/strain 기록이 다른 측정 결과들과 함께 나타내어질 수 있다.

그림 1. 2는 현대화된 압축강도 측정기의 샘플을 보여준다. (30KN, 600*1000, Box Height 1000mm, Compression Speed 1~50mm/Min)

◆ 어떠한 성질들이 골판지 상자가 하중에 잘 견디도록 하여 주는가 ?

이 질문에 만족스러운 대답을 주기 위하여 빈 상자를 평행한 압축판 사이에서 하중을 가하는 BCT만을 바라보고 있을수는 없다. 즉 다시 말하면 실험은 빈 골판지 상자를 평행판 사이에서 압축하지만, 실제상황은 완전히 다르고 필수적으로 다음 사항들도 고려되어야 한다.

- 골판지 상자는 안쪽에서 크거나 적은 힘을 작용하는 내용물로 채워지게 되며 따라서 상자를 바깥쪽으로 휘어지게 한다.
- 하중이 장기간 가해진다.
- 운송중에 상자가 진동이나 충격을 받게된다.
- 골판지 상자는 여러가지 기후조건에 노출될 수 있다.
- 창고에서의 하중은 압축강도 측정기 처럼 균일한 하중을 주지는 않는다.

실제 측정에서는 BCT값의 20 - 35%에 의지할 수 있음을 보여 주었고 이것은 실제 작용하중의 3 - 5 배의 안전계수가 필요하다는 것을 의미한다.

운송중 하중이 다시 가해지거나 다른 기후, 장시간의 보관등의 경우에는 더 높은안전계수가 필요하다.

그럼에도 불구하고 BCT 값은 상자의 적재 및 운송과정에서의 상자의 기능을 나타내는 매우 중요한 성질임을 보여준다. 이 점에서 출발하여 골판지 상자에 강도를 부여하는 골판지의 성질들에

대해 연구할 수 있다. 또한 한단계 더 나아가 원 재료 즉 골판지원단을 구성하는 라이너와 골심지의 효과에 대해 연구할수 있다.

이 주제에 대해 많은 연구결과들이 나와 있으며 주요한 주제는 골판지 상자와 골판지 원지의 압축강도, 휨강성(Bending Stiffness), 상자의 주변장에 관련된 골판지 상자와 골판지 원단과의 관계를 나타낸다.

McKee와 동료들은 일찌기 1960년대에 기본적인 연구를 수행했다. 강조점이 약간 다르지만 이 글에서도 예외는 아니다. 대부분의 논문은 McKee의 방정식을 이용하여 BCT를 어떻게 최적화하는가에 대해 논한다. 라이너나 골심지 원지 제조업자들은 McKee 방정식을 이용하여 자사의 제품들이 뛰어나다는 것을 골판지 제조업자들에게 확신시키려 한다. 우리는 여기에서 무엇이 옳고 그르다는 것을 제조업자들에게 확신시키기 위한 어떤 시도도 하지 않을 것이다.

반면에 측정방법과 필요한 측정기기를 기술하여 골판지 제조업자들이 그들의 제품을 예상품질에 최적화 시킬 수 있도록 하겠다. 시장과 생산공정의 잠재력에 더 나은 통찰력을 지닌 골판지 제조업자들이 필요한 지식을 갖춰야 한다는 것이 우리의 관점이다.

우리는 모두 서로다른 골종류,원지 종류와 시험원지의 등급등 범용적인 선택이 불가능한 현지 조건에 놓여져 있다. 그러므로 우리는 최적의 측정기술에 초점을 집중시켜야 한다.

라이너와 골심지 원지의 올바른 측정이 골판지 원단과 골판지 상자에 어떻게 작용하는지에 대한 지식없이 최적화하려는 노력은 의미가 없다. 잘못된 측정기구와 측정방법은 오히려 혼란을 일으킨다. 측정은 알기 위해서 하는 것이다. 그러나 틀리게 측정 한다면 무엇을알 수 있겠는가?

◆ McKee 의 방정식

McKee의 방정식에 따라 RSB-Regular Slotted Box (A 형) 박스의 압축강도는 다음을 통해 예측할 수 있다.

1. 골판지의 Edgewise crush resistance, ECT 값. kN/m(2장 참조)
2. 골판지의 MD와 CD 방향에서의 Bending Stiffness, Sb_{MD} , Sb_{CD} , in Nm(3장 참조)
3. 상자의 주변장, Z, m로 표시

일반적으로 말하는 McKee 공식은 다음과 같다.
 $BCT = k_1 \cdot ECT^b \cdot S^{1+b} \cdot Z^{2b-1}$

골판지상자 에서는 다음 공식이 적용될 수 있다

$$BCT = k_1 \cdot ECT^{0.75} \cdot Sb^{0.25} \cdot Z^{0.5} \dots [1.1]$$

여기에서 Sb는 다음 공식에 의한 기하평균 계산치이다

$$Sb = \sqrt{(Sb_{MD} \cdot Sb_{CD})}$$

단순화된 방정식에서는 Bending Stiffness 대신 두께를 사용한다

$$BCT = k_2 \cdot ECT \cdot T^{0.5} \cdot Z^{0.5} \dots [1.2]$$

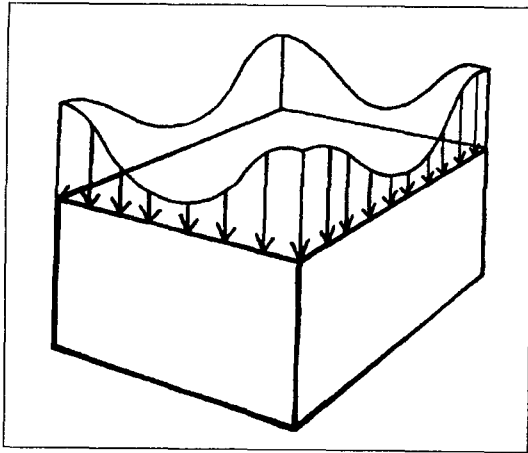
k_1 과 k_2 는 N을 단위로 사용하는 BCT 값을 산출하기 위한 상수이다.

이 공식은 골판지의Bending Stiffness는 sheet의 neutral bending center line 에서 표면라이너 의 중심부까지의 거리에 의해, 즉 다시말하면 대략 골판지의 두께에 크게 영향을 받는다는데에 근거한다. (아래 참조)

이 단순화된 공식은 Bending Stiffness에 큰 영향을 주는 라이너의Tensile Stiffness (CD방향에서는 골심지의 Tensile Stiffness도 포함)를 고려한 것이 아니므로 실제 BendingStiffness라고 볼 수는 없다. 그러므로 다른 종류의 라이너 및 골심지를 사용한 상자들을 비교하기 위해 BCT를 계산하기 위해서는 이 공식을 사용해서는 안된다.

따라서 사용자로서 당신은 크라프트 라이너 제조회사가 그들 제품의 우수성을 보여주기 위하여 맥키의 완전한 공식을 사용하기를 좋아 한다는

1.3 The stress distribution the edges of a corrugated board box under load.



것을 예상할수 있을것이다. 이에 반하여 골심지와 기타 라이나 제조 업체들은 심중팔구는 단순화된 공식을 택할것이다.

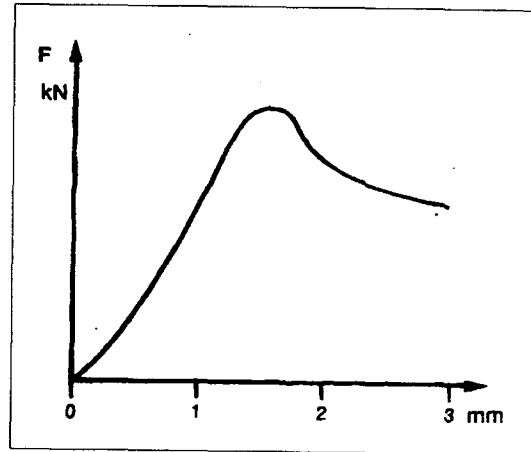
그 이유는 이해될 수 있다. 좋은품질의 골심지와 라이나의 등급은 오늘날 적어도 크라프트라이너 수준의 압축강도를 보여준다. 크라프트 라이너는 현저하게 높은 파열강도치를 가지고있다. 그렇더라도 파열강도와 상자 압축강도와와의 사이에 참된 연관관계는 없다.

그러나 크라프트 라이너는 기타 라이나보다 항상 현저하게 높은 인장 강도치를 가지고 있다. 그리고 이는 완성된 골판지 원단의 높은 휨강성(Bending Stiffness)을 나타내고, 또한 그 때문에 높은 상자압축강도를 이끌어 낸다.

단순화된 공식은 맥키가 방정식을 만들었을 때는, Bending Stiffness를 측정할 수 있는 측정기가 없었기 때문에 필요하였으나 지금은 제 3장에 소개된 측정기로 측정할 수 있게 되었기 때문에 완전한 공식을 사용하는 편이 좋다.(Christer Fellers와 STFI에 의해서 고도의 정밀도를 가진 측정기가 개발 되었음)

Mckee의 방정식은 어떻게 BCT값이 Bending Stiffness와 ECT 값에 영향을 받게 되는지를 완전

1.5 The load to failure as a function of the deformation under load of a glued sealed corrugated board box.



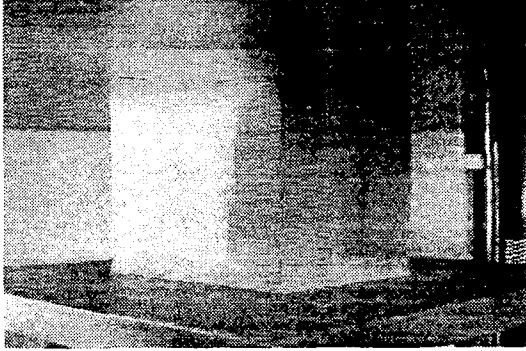
하게 알려주지는 않는다. Mckee 방정식은 골판지의 압축강도와 Bending Stiffness값이 상자의 BCT값과 밀접한 관계가 있다는 것을 보여준다. 골판지의 높은 압축강도는 높은 BCT값과 직접 연결된다. 또한 높은 휨강성(Bending Stiffness)도 요구된다는 것을, 상자에 압축력이 작용하여 찌그러지는 과정을 연구 해보면 BCT값과의 관련성을 명확히 알 수 있다.

그림 1.3은 하중이 가해진 골판지 상자의 응력 집중을 보여준다. 응력은 상자의 모서리에서 가장 크다.

응력이 작을 경우는 상자의 주변장에 균일하게 분포되지만, 하중을 계속 증가시키면 상자벽이 바깥쪽으로 탄력적으로 휘어지는 임계하중에 도달하게 된다. 반면 수직 모서리는 곧바로 서 있다. 그러므로 상자주변장을 따라 있는 하중 분포는 모서리에 집중되기 시작한다. 하중이 더 증가하면 수평, 수직 모서리가 만나는 지점 가까이에서 FAILURE가 일어나게 되고 그후부터 안쪽 라이너지가 먼저 찌그러짐으로 상자 벽은 파손된다.

결국 골판지 상자의 하중을 견디는 능력은 골판지 원단의 하중을 견디는 힘 뿐만이 아니라 상자벽의 휨에 견디는 힘에 크게 의존한다. 즉 다시 말하면 휨강성(Bending Stiffness)에 크게 의존하

1.4 Characteristic buckling out of the walls of a box when loaded to failure in a compression strength tester.



게 된다. 골판지 원단의 높은 휨강성은 골판지 원단의 내하중력을 더 나아지게 할 수 있다.

◆ BCT 값의 최적화

그림 1.6은 완성된 골판지 상자의 성능을 결

정하는 골판지 원단의 성질과 라이너 및 골심지 사이의 관계를 다이어그램으로 나타낸 것이다. 종이로 부터 완성된 골판지 상자에 이르기까지의 상관관계에 대한 연구는 요구되는 최종제품의 특성을 얻기위한 실험의 특별하게 중요한 제반 특성치들을 나타낸다. 즉 다시 말하면, 최소의 비용으로 최대의 골판지상자의 압축강도를 얻을수 있도록 해준다.

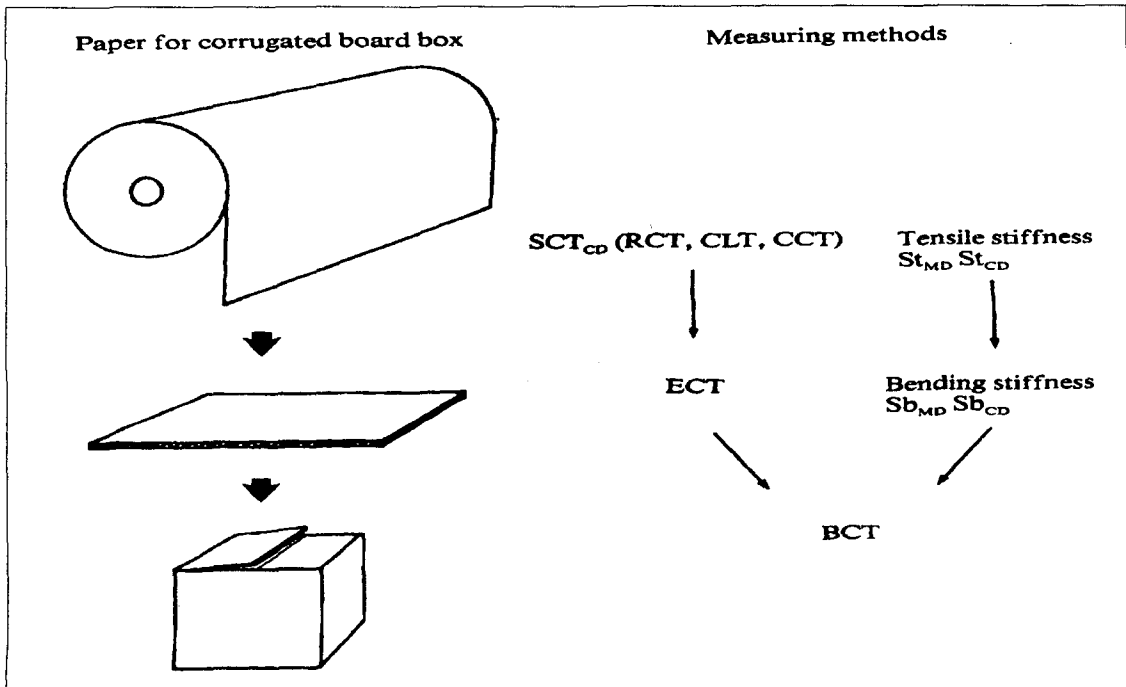
◆ 골판지의 ECT값과 라이너 및 골심지의 압축강도와의 관계

ECT값과 라이너 및 골심지 원지의 압축강도와의 관계는 아래와 같다.

$$ECT = k (F_{L1} + F_{L2} + \alpha F_r) \dots [1.3]$$

여기에서 F는 압축강도이고, L1은 라이너 1, L2는 라이너 2, f는 골 을 나타낸다. α 는 골조율 이

1.6 The properties of liner and corrugated board which determine the stacking performance strenght, BCT, of a corrugated board box.



며 k는 상수이다.

여기서의 문제는 정확한 k상수값을 찾는 것이다. 이론적으로는 라이너와 골심지의 합이 ECT 값과 같아야 하므로 k=1이거나 약간 작을 수 있다.(골심지 제작과정에서 압축강도를 약간 잃게 된다. -거의 무시할 정도임)

그러나 불행히도 실재는 약간 더 복잡하다. 정확히 동일한 측정 조건하에서도 ECT값을 정하는 것은 어렵기 때문에 우리는 여기에서 k값을 측정 방법에 대한 함수로 여겨야한다. 그리고 ECT값은 라이너 및 골심지의 압축강도의 합이다라는 명제가 응력이 라이너와 골심지에 모두 작용할 때에만 가능하므로 일치하기가 어렵다.

측정방법에 의존하는 k값이 어떠한가는 스웨덴의 SCA에 의해 다음과 같이 주어졌다.

실험방법	k-value
RCT	1.28 +/- 0.08
CCT	0.97 +/- 0.04
SCT	0.71 +/- 0.03

각각의 경우의 ECT값은 FEFCO 방법을 따른 것이다.

◆ 골판지의 Bending Stiffness와 라이너 및 골심지 Tensile Stiffness와의 관계

이 관계는 계산하기에는 이론적으로 매우 복잡하다. 좋은 Bending Stiffness 값을 얻기 위한 골심지의 주요 기능은 골판지 원단이 휘어지는 동안 라이너에서 일어나는 인장과 압축을 잘 유지하는 것이다. 잘 유지한다 가정하고, 관계는 다음과 같이 단순화 된다.

$$S_b = k \cdot E_L \cdot WI \quad \dots [14]$$

여기에서 S_b 는 Bending Stiffness, E_L 은 tensile stiffness index (kNm/Kg)이며 WI 는 bending에

서의 관성모멘트(moment of inertia) 이다. E_{LMD} 값은 골판지의 기계 방향 Bending Stiffness S_{bMD} 를 구성하며 E_{LCD} 는 폭방향의 Bending Stiffness S_{bCD} 를 구성한다. 또한 골판지의 Bending Stiffness는 골판지 전체 두께의 제곱에 비례한다.

이 두께는 골의 TYPE과 골 프로파일의 형성상태 및 가공기에서의 보존정도에 따라 결정된다. 두께는 휨발생시 관성모멘트(Inertia Moment)에 커다란 영향을 끼치므로, 골판지 두께측정용으로 특수제작된 표준화된 측정기로 측정하는 것이 좋다. 표준화된 측정 압력은 너무 낮아서 상자압축강도에 영향을 끼치는 원단을 손상시키는 당연한 두께변화를 나타낼수 없을 수 있다.

$$S_b \approx 0.5 \times D_L \times T^2 \quad \dots [15]$$

여기에서 S_b =Bending Stiffness

- $D_L = E_L \times t_L =$ 라이너의 tensile stiffness
- $E_L =$ 라이너의 탄성계수
- $t_L =$ 라이너의 두께
- $T =$ 골판지의 두께

골판지의 Bending Stiffness는 다소 작게 산출되는데(특히 CD 방향에서) 만약 골심지층이 골판지의 Bending Stiffness에 기여하는 정도를 무시한다면 식 15를 사용하는 것이 편리하다.

◆ 요약

E.C.T값은 상승 될수 있고, 이런 이유로 고평량 또는 고압축강도의 라이너 및 골심지를 사용함으로써 정해진 규격의 상자의 B.C.T 값을 올릴수 있다. 골판지 상자의 B.C.T계산을 위한 맥키의 공식에 의하면 E.C.T값은 0.75 누승 이다. 정해진 골높이와 원단평량의 조건에서 벤딩 스티프네스는 가능한 만큼의 평량을 라이너로 옮기고, 원단표면지를 더 높은 인장강도를 가진

라이나를 사용함으로써 증가 시킬수 있다. 맥키의 공식에서 밴딩스티프네스의 기하평균 ($\sqrt{(Sb_{MD} Sb_{CD})}$)는 단지 0.25누승 이다. 따라서, 밴딩 스티프네스의 효과는 쉽게 경시 되어진다. 실제로는 단지 밴딩스티프네스를 상승 시킴으로써 B.C.T값은 종종 가장 쉽게 상승 된다. 라이나의 평량을 적당하게 올려 조절 함으로써 밴딩 스티프네스가 극적으로 상승 되는 것이 그 이유이다.

BCT강도를 최적화 할때,동시에 F.C.T나 파열 강도같은 다른 강도도 필히 고려 하여야 한다. 이들이 완전히 무시되지는 않는다.

높은 밴딩 스티프네스의 추구는 절대 F.C.T값이 너무 낮아져서 골판지 원단이 쉽게 손상 되어지는 것은 아니다. 또는 골심지층이 라이나가 굽어지는 동안 별도로 내하중을 유지하는 것을 견디지 못하게 되는 것은 아니다. 어떻게 종이의 특성이 골판지원단의 특성들에 영향을 끼치는 가를 잘 압으로서,이들의 상관관계들은 E.C.T와 밴딩 스티프네스 값 대신에 맥키의 방정식에 대입 시킬수 있다.

공식은 확실히 복잡하지만 컴퓨터의 도움과 시장의 요청에 의해 만들어진 널리 행해지는 계산 프로그램으로 골판지제품의 최적화는 쉽게 상대적으로 좋은 정밀도를 가진다.

원료가격의 경향과 다른 생산요소도 또한 전반적으로 민감한 분석을 가능하게 하는 방정식에 대입 할수 있다. 이러한 기술로 골판지 제품의 성능을 최적화 하기 위한 자연적인 조건들이 탄생된다. 그러나 우리는 이러한 기술들은 불확실한 상관관계와, 종이와 골판지 및 골판지상자를 주의깊게 측정할수 있는 잘 구비된 종이실험을위한 실험실을 기본으로 한다는 것을 명심 하여야 한다. 이익의 가능성은 원가의 절반 이상을 구성하는 요소로서 원재료비용을 유의 할때 명확하게 높아질것이다. 그런 관점에서 최신의 잘구비된 골판지 실험실의 비용은 그것이 기여할수 있는 이익의 관점에서 볼때 무시될 수 있다.

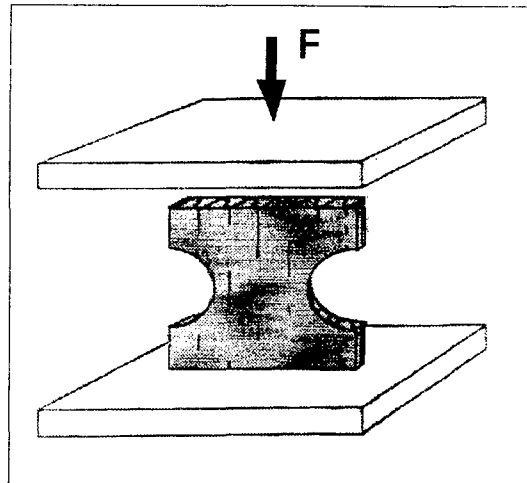
제 2장

골 판 지 의 ECS(Edgewise Compressive Strength)의 측정

◆ ECS의 정의

골판지의 ECS(edge crush resistance or ECT-strength라고도 불림)는 시편이 찌그러지지 않고 견딜수 있는 최대의 압축강도로 정의된다. 두개의 평행한 판과 골심이 수직을 이루도록 시편을 올려 놓은 상태에서 10 - 15mm/min로 하중이 가해진다. 최대의 ECS는 단위길이당 힘으로 표시되며(kN/m) 표준에 따라 여러가지 측정방법이 기술되어 있다.

2.1 Edgewise crush test, ECT.



현재 ECS가 골판지의 가장 중요한 성질중 하나라는 것에는 의심의 여지가 없다.

1장에서 지적한 바와 같이 ECS는 McKee 방정식에 따라 완성된 골판지의 압축강도인 BCT와 밀접한 관계가 있으며 그 관련성은 많은 독립적인 연구결과에 의해 확인되었다.

스웨덴의 포장연구협회에서는 광범위한 연구를 하고 있으며 실제적인 BOX의 운반과정에서의 실험을 위해 11,000개 이상의 BOX를 사용하였다.

이 연구의 목적은 골판지 상자의 실제적인 기능과 가장 큰 관련이 있는 골판지의 성질을 규명하고자 함에 있으며 ESC가 운송과정과 가장 큰 관련이 있는 것으로 밝혀졌다.

◆ ECS의 측정

ECS는 1950대부터 측정되기 시작했으며 상자 압축강도를 예상하는데 매우 중요했으므로 빠르게 표준화되었고, 동일한 특성을 측정하기 위한 5가지 다른 방법의 원리가 현재 사용되고 있다.

서로다른 이 방법들에 의한 측정결과와 비슷한 ECS값을 나타낸다면 동시에 사용될 수가 있겠지만, 다른 실험실에서 다른 방법을 사용함으로써 실제로는 30%정도까지의 차이가 나기 때문에 단순히 동일오차의 개략적인 품질의 순서를 정하는 것만이 가능하다는 것을 고려하여야 한다.

따라서 이러한 커다란 편차 때문에 가장 타당한 측정방법을 찾기 위한 조건으로 다음 항목을 제시한다.

1. 측정하고자 하는 성질만을 측정하는 것, 즉 이 경우에는 전체 골판지 시편의 순수한 압축강도를 측정할 수 있어야 한다.
2. 측정결과가 정확하고, 재측정시 비슷한 DATA를 얻을 수 있을 것.
3. 연구소 및 품질관리실에서 단순 반복측정이 용이할 것.

이러한 측면에서 출발하여 각각의 다른 방법이 위의 기준들을 얼마나 잘 충족시키는지 세밀하게 살펴보겠다.

◆ 서로다른 측정방법들

ECS 측정방법이 소개되자마자 시편의 끝면(EDGE SURFACE)이 찌그러져 있는 것이 문제점으로 지적되었다. 이것은 골판지에서 정확한 ECS 값을 측정할 수 있는지, 시편의 EDGE를 어떻게 정확하게 평행하게 자를수 있는지, 압축판

이 얼마나 편평하고 평행한지를 알 수 없다는 것을 의미한다.

시편의 끝부분에서의 CRUSH를 피해야 하는 결정적인 적어도 두가지의 이유가 있다. 첫째는 골판지 상자에서는 어떤 끝면(EDGE SURFACE)에서도 CRUSH가 일어나지 않는다는 것이고, 둘째는 정확하고 측정시마다 똑같은 신뢰할만한 DATA를 얻기 위해서는 시편의 절단 및 압축강도 측정기에 따라 DATA가 변해서는 안된다는 것이다.

그리고 개선된 골심지와 라이너지의 압축강도 측정 방법인 SCT는 종이의 압축강도를 측정하는 것이지 EDGE 표면의 압축강도를 측정하는 것은 아니라는 것이다.

따라서 이러한 관련된 요구가 골판지의 측정방법에서 수용되어야 한다.

◆ EDGE에서의 FAILURE(구겨짐, 파괴됨)을 피하기 위한 다른 방법들

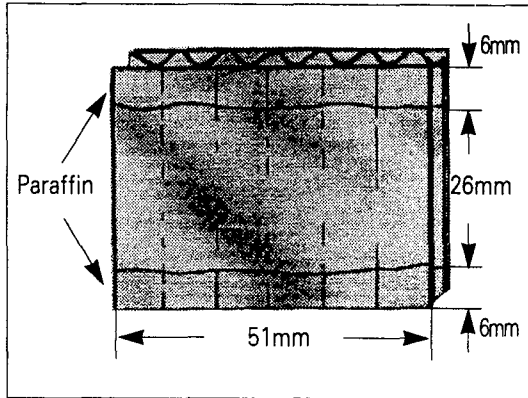
EDGE FAILURE를 피하기 위한 방법으로 Edge surface의 보강, 클램핑, EDGE 면에 집중되는 힘의 분산등 세가지의 방법이 사용된다.

◆ TAPPI 방법

TAPPI에서는 EDGE 표면을 용해된 파라핀 왁스에 담금으로써 강화시킨다. (그림 2.2) 이 방법을 통해 15kN/m까지의 압축강도를 갖는 골판지에서는 EDGE FAILURE를 제거할 수 있다. 그러나 그 이상의 강도를 갖는 골판지는 파라핀의 침투를 통해 EDGE FAILURE를 막을 수는 없다.

이 방법의 가장 큰 단점은 시편 준비 과정이 복잡하다는 것이다. (TAPPI T-823 참조) 이것은 위에 제시한 세가지의 조건중 세번째 것을 만족시키지 못한다. 또한 앞의 2가지 조건은 충족시키지만 높은 압축강도의 원단의 등급에서는 완전하지 못하다. 따라서 TAPPI의 왁스 보강법은 기본요구사항을 완전히 충족시키는 좋은 방법이 될 수 없다.

2. 2 Edgewise crush test piece according to TAPPI.



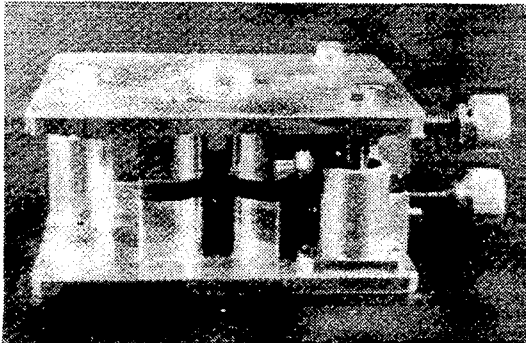
◆ 클램핑으로 조이는 방법

TAPPI 방법의 대안으로 시편을 지지해주기 위한 여러가지의 장치가 이 방법을 위해 고안되었다. 이 방법은 클램핑 압력을 매우 중요한 요소가 되게 하였고 모든 골의 등급에 사용될 수 있어야 한다. 이 방법에 의해 EDGE FAILURE를 피하기란 매우 어렵다.

이 방법에는 몇 가지의 약점이 있다. TAPPI 방식과 이 방법으로 유사한 결과를 얻을 수 있었으나 이러한 시도는 시편을 매우 정밀하게 자를 수 있고 클램핑 압력을 조절할 수 있는 특별한 장치가 있는 연구소에서만 가능하다. LINEAR BALL BEARING으로 조정하는 JAW에도 오류의 원인이 있다.

이 크기의 BALL BEARING은 틈에 끼어 원치

2. 3 J-clamp.



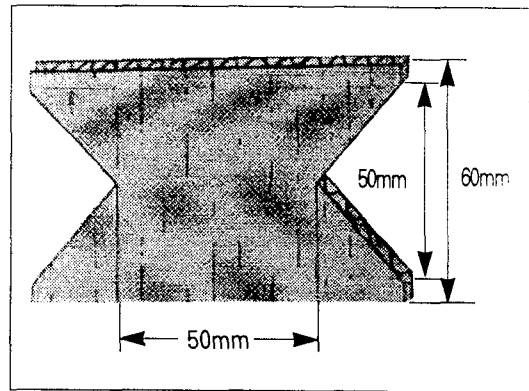
않는 힘을 작용시키는 종이면지에 매우 민감하다.

그러므로 이 방법은 위에서 제시한 세 가지의 기준 중 어느 것도 만족시키지 못한다.

◆ 일본 산업규격 JS Z-0401

이 방법은 위에서 언급한 것과 같은 원리에서 만들어졌다. 즉 특수한 클램핑 JAW가 EDGE FAILURE를 방지하기 위해 샘플을 지탱하고 보호해준다. 이 방법은 시편이 좁은 허리를 가지고 있다는 점이 다르다.(그림 2. 4 참조)

2. 4 Test piece according to JIS - 0401.



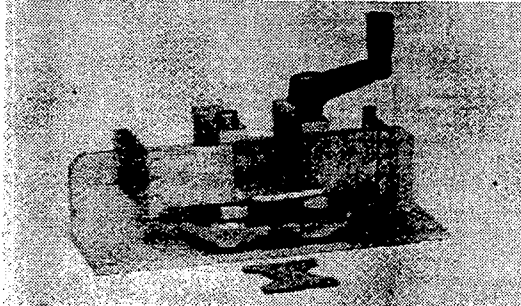
그러나 지금까지의 비교연구에서 이 방법은 다른 방법과 비교할 때 뿐 아니라 원지의 강도에 관련해서도 비교적 낮은 ECS 값을 나타낸다.

그 이유는 완벽하게 이해되지는 않지만 좁게 만든 허리부분에 불필요한 하중이 집중되었기 때문으로 생각된다. 그러나 EDGE FAILURE는 일어나지 않는다.

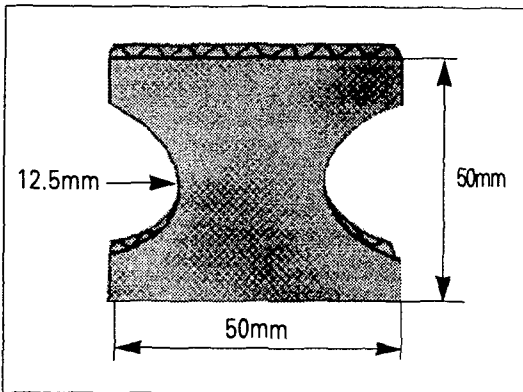
이 기준은 측정하고자하는 순수한 압축강도를 측정하지 않으므로 정확하지 못하다. 게다가 샘플의 절단이 복잡하고 시간이 많이 소요되며 클램핑 방법이 갖는 클램핑 압력과 BALL BEARING에 의한 오류의 약점을 가지고 있다. 따라서 이 방법은 추천되지 않는다.

◆ 그렇다면 어떻게 EDGE FAILURE를 피할 수 있는가 하는 문제에 대한 해결책은 없는가?

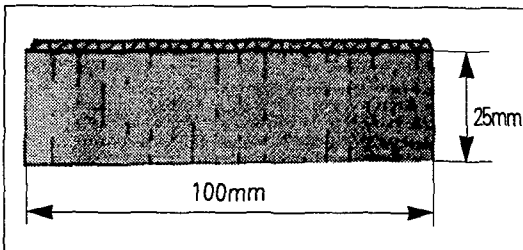
2.5 Neck-down test piece cutter.



2.6 Neck-down test piece according to the FPL-method.



2.7 Test piece according to FEFCO and other standards.



EDGE FAILURE는 시편의 끝부분에 집중되는 힘을 줄이므로 효과적으로 피할 수 있으며 이것은 압축판에 닿는 시편의 끝부분의 면적을 시편의 중앙의 폭방향 면적보다 크게 함으로써 가능해진다. 이 방법은 시편의 모양 때문에 "CIRCULAR NECK - DOWN" 방법이라 불린다. (그림 2.6)

◆ FPL neck-down 방법

Circular Neck-down 방법은 1964년에 미국의 FPL (임산물연구소)의 John W. Koning Jr. 에 의해 TAPPI 논문으로 소개되었으며 그후 정확한 ECT강도가 중심이 되는 임산물 연구소에서 많은 연구 프로젝트에 성공적으로 사용되어왔다.

그러나 이 방법은 현재처럼 시편 절단기가 상업용으로 쉽게 구입할수 있게 보급되기 전까지는 널리 사용되어지지 못했다. 그러나 스웨덴의 포장연구소와 STFI 그리고 L&W가 매우 간단하고 대단히 정확한 시편절단기를 개발함으로써 적합한 측정방법을 정하기 위해 제시한 세가지 기준을 만족할 수 있게 되었다.

◆ ECS를 측정하는 다른 방법들

유럽에서는 FEFCO 방법이 EDGE FAILURE를 피할 수 없음에도 불구하고 널리 사용되고 있다. FEFCO의 표준 No.8은 EDGE FAILURE가 부정확한 측정결과를 가져온다는 것에 대한 언급조차도 없다. 그러나 시편 양모서리의 수평 정도가 측정결과에 상당한 영향을 미친다는 것은 일반적으로 알려져 있다. 불균일한 하중의 분포는 필연적으로 매우 낮은 측정결과를 가져오게 되므로 틀린 DATA를 얻게 된다. 물론 시편의 양모서리와 상하의 압축판이 충분히 평행하다면 문제가 없을 수 있으나 여러 곳에서 실험한 결과는 성공적이지 못했다.

시편의 평행성이 증가할수록 ECS값도 증가하나 시편에 대한 평행성의 허용범위를 설정하지는 못했다. 즉 이 방법에서 EDGE FAILURE 문제를 피하는 것은 불가능했다.

스웨덴의 포장연구협회에서 연구한 바에 의하면 시편의 평행성의 편차를 0.1mm이하로 만들기는 어려우며 라이너지나 폴심지가 찌그러지는 높이는 시편 높이의 0.5 - 1%로 FEFCO에 따르는 시편의 높이가 25mm (그림 2.7)이므로 최대 0.1 - 0.2mm정도가 찌그러지게 된다고 한다.

TAPPI 방법의 압축시편은 이값의 2배이다. EDGE 평행성의 불량에 초래하는 큰 영향을 피

하기 위해서는 시편의 절단에서 생기는 오차가 이 값의 십분의 일인 0.01 - 0.02mm내에 있어야 한다.

설령 이것이 가능하다 하더라도 끝면에서의 종이의 섬유와 골심지와 라이너간의 접착이 절단 과정에서 기계적인 응력에 의해 손상되기 때문에 시편에서 가장 약한 부분을 형성하게 된다.

◆ 다른 측정방법들간의 비교

그림 2. 8은 FEFCO에서 연구한 결과를 FEFCO의 기술 세미나 (Nice, 1987)에서 발표한 것으로 여러가지 방법에 의한 ECS의 비교결과이다

그림 2. 9는 TAPPI 저널 (1986) 에 실렸던 것이며 15 kN/m 까지는 TAPPI 방법과 neck-down 방법이 비슷한 결과를 보이지만 그 이상의 강도에서는 TAPPI 방식에 의한 WAX의 시편에의 침투가 더 이상 EDGE FAILURE를 막아주지 못해 낮은 수치를 얻게 된다는 것을 보여준다. 이 표는 Neck-down법의 장점을 명확히 나타내주고 있다.

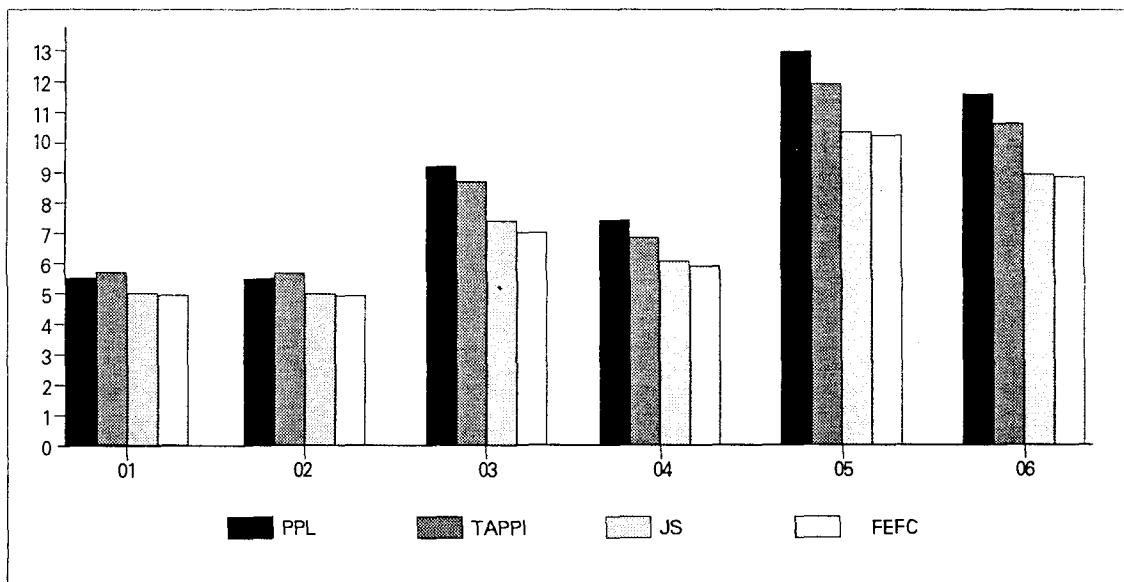
그림 2. 10은 STFI에서 행한 FEFCO 방법과 FPL 방법과의 차이를 보여준다. Circular neck-down 방식에 의해 EDGE FAILURE를 피한 FPL 방법이 FEFCO 방법에 의한 DATA보다 평균 31% 정도 높은 값을 나타낸다. (C - Flute Grade)

FEFCO 방식에 의해 측정되는 DATA는 시편이 평행성에 따라 크게 영향을 받으므로 서로 다른 절단기를 사용하여 시편의 평행성에 영향을 주는 것을 방지하기 위해 Billerud cutter가 사용되었다. FPL 방식의 분산값이 다소 크지만 이것은 측정면적이 상대적으로 작기 때문이며 FEFCO 방식에서 연구소에 따라 시편 및 압축판의 평행성의 차이로 인해 발생하는 DATA의 차이에 비하면 그리 심한 것은 아니다.

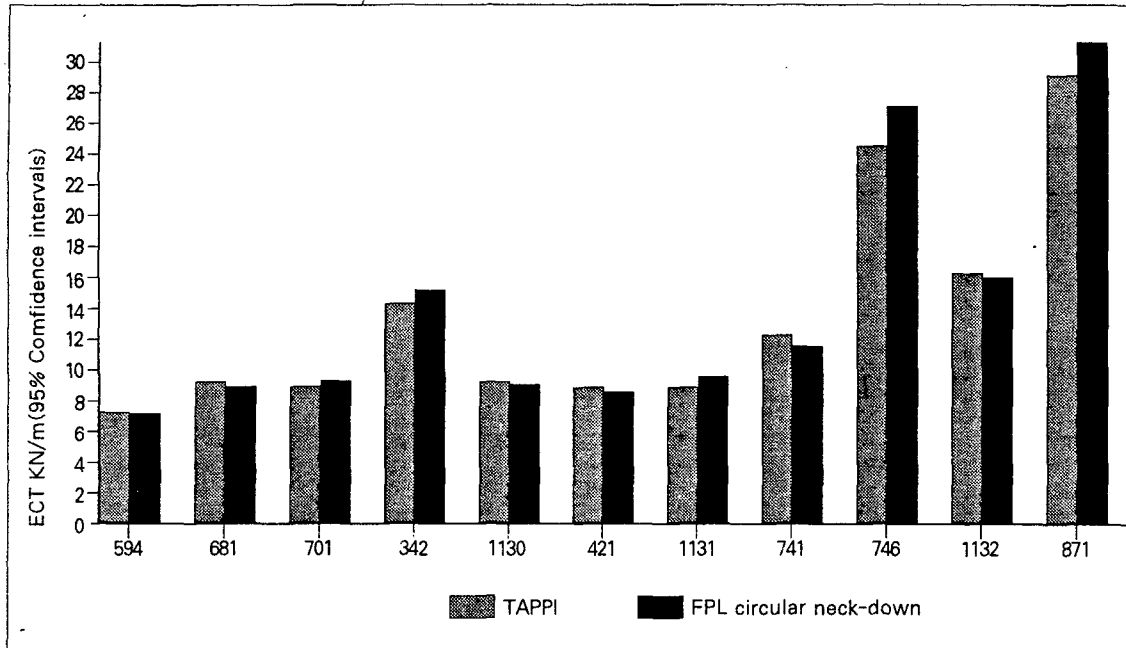
또한 FEFCO 방식에서 시편의 높이가 작을수록 상대적으로 큰 DATA의 오차를 보인다.

FPL 방식을 사용하는 가장 중요한 이유중의 하나는 이 방법이 SCT 방식을 사용하는 라이너지 및 골심지의 압축강도 측정에 사용하는 SCT

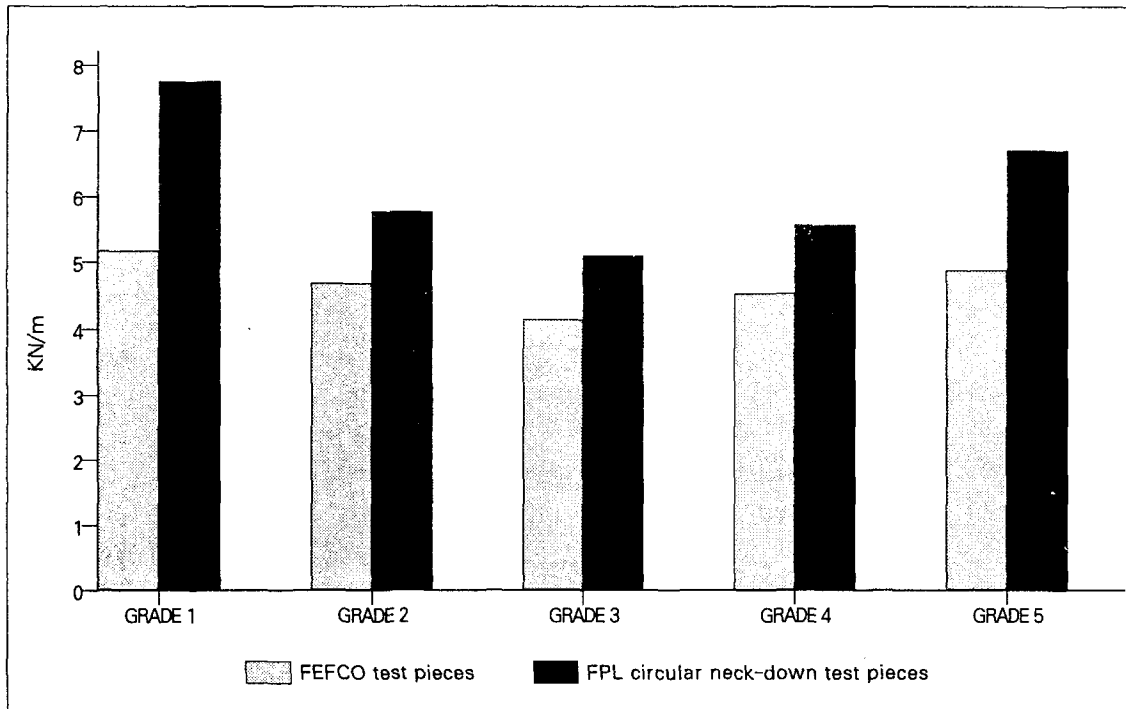
2. 8 Comparison between different ECT test methods.



2.9 Comparison between TAPPI and FPL neck-down methods.



2.10 Comparison between FEFCO and FPL neck-down methods.



(STFI 측정법으로도 알려져 있다.) 측정방법과 비슷하다는 것이다. 이것은 ECT를 골판지 구성 성분의 압축강도를 이용하여 계산할 수 있다는 것을 의미한다. 아래식에서 k값은 1에 근접하며, 완전히 무시될 수도 있다.

$$ECT = k (F_{L1} + F_{L2} + \alpha F_r) \dots [2.1]$$

더욱이 골판지상자의 BCT 강도 측정에서 BCT결과에 영향이 있는 상자가장자리의 패션에도 불구하고 실제로 찌그러짐은 FEFCO방식처럼 절단면에서 일어나지는 않는다.

따라서 주어진 BOX 크기에 대한 BCT 값의 보다 정확한 계산은 FPL 방식에 근거할 때 기대될 수 있다.

◆ 결 론

ECT강도는 골판지의 가장 중요한 성질중 하나이며 골판지 상자의 전체과정의 운반 및 적재강도에 관련된 성질이다. 따라서 가능한한 정확한 방법으로 측정되어야 하지만 현재는 여러가지 다른 방법에 의해 다른 값들을 얻고 있다.

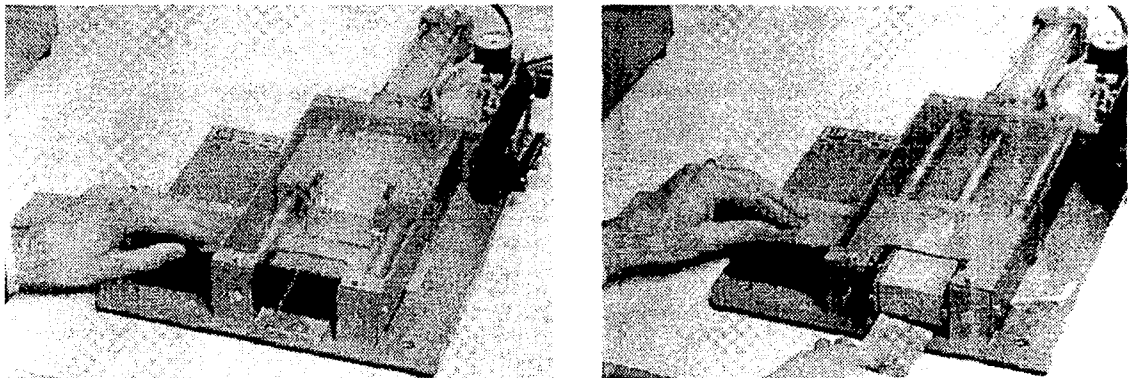
순수한 골판지의 압축강도를 얻도록 하는 간단하고 확실한 ECS 측정방법은 가장 큰 측정결과를 얻도록 해주는 방법이다.

잘못된 시편절단, 골판지의 두께에 비해 높이가 높은 시편, 통제되지 않는 시편의 부적절한 하중 집중, 불안정한 압축판을 가진 측정기등의 잘못된 조건은 ECT강도가 적은 값이 나오도록 한다.

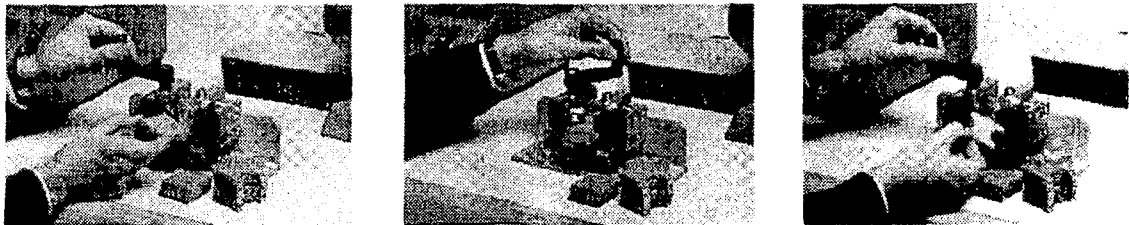
한가지 예외는 LINEAR BALL BEARING을

Measurement of the edgewise compressive strength of corrugated board as per the neck-down method.

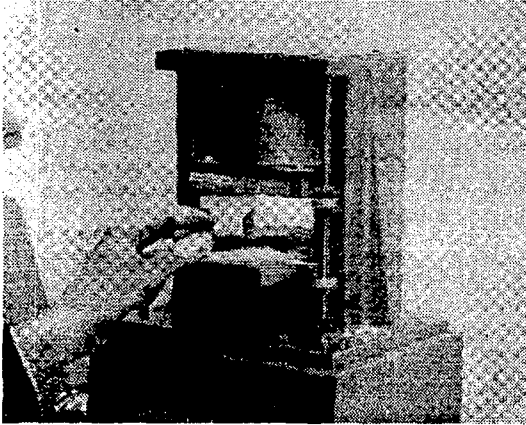
2 . 11 Square test pieces are cut with a pneumatic double blade cutter.



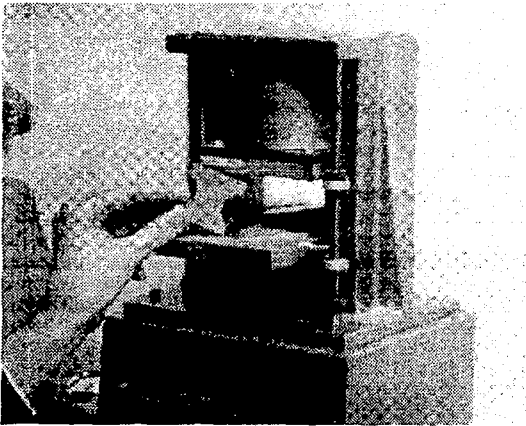
2 . 12 A special cutting apparatus is used to give the test piece its characteristic waist.



2 . 13 The test piece is placed vertically with the help of two loose metal blocks between the plates of the crush resistance tester.



2 . 14 The advantage of the method is that compression failure never occurs in the edge surfaces.



사용하는 크래프를 사용하는것인데 이것은 마찰로 인해 더 많은 힘이 작용하게 되어 실제보다 높은 ECT 강도를 나타내게 된다.

어떤 측정방법이 정말로 순수한 ECS값을 나타내는가를 평가하는 다른 방법은 골판지의 구성요소들의 압축강도로 계산한 값이 실제로 측정된 값을 얼마나 잘 증명해 주느냐 하는 것이다. 이것에 대한 연구는 TAPPI에서 WAX를 이용한 방법과 neck-down 방식에 행해졌는데 그 결과는 neck-down 방식이 TAPPI 방식에 비해 구성요소

의 압축강도에서 계산한 값이 실제측정값에 더욱 가깝다는 것을 보여준다. (Boxboard Container, Nov. 1986, FPL)

여기서 이끌어내어지는 결론은 CIRCULAR NECK DOWN 방식이 다른 방법들에 비해 모든 면에서 적합하다는 것이다.

제 3장

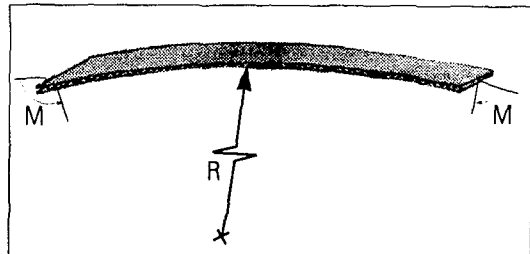
골판지의 (BENDING STIFFNESS) 측정

◆ BENDING STIFFNESS의 정의(이하 B.S 사용)

B.S는 휨모멘트 (bending moment) 와 탄성범위에서의 휨 사이의 관계로 정의된다.

골판지를 그림 3.1에 따라 생각해보라. 이 그림은 순수한 휨 bending을 나타내며 여기서 M은 bending moment이고 R은 휨 bending의 반경이다. 시편에 작용하는 전단력이 없다면 전체 길이에 작용하는 bending moment는 일정할 것이다. 볼록한 면에는 인장력이 작용하고 오목한 면에는 압축력이 작용한다.

3 . 1 Pure bending of corrugated board.



골판지 상자에서 B.S는 높은 품질을 유지하기 위한 가장 중요한 성질중 하나로 알려져 있다. 1장에서 지적한 대로 B.S는 골판지상자의 BCT강도와 골판지와의 관계를 나타내는 McKee의 공식에 포함되어 있다. McKee의 공식을 이용한 BCT 강도를 최적화하는 연구에서는 최적의 비용으로 최고의 BCT 강도를 달성할 수 있는 B.S의 중요

성을 과소평가하기 쉽다.

골판지의 B.S의 중요성은 골판지의 B.S가 골판지의 두께와 이면과 표면의 라이너지층이 인장 및 압축강도에 견딜수 있는 힘에 따라 거의 완전하게 결정되며, 골판지의 두께 및 표면원지의 평량과 TYPE에 따라 크게 변하기 때문이다. B.S는 또한 BOX의 내용물이 담겨져 있을때 골판지 상자가 휘는 것을 방지하는데 있어서 중요하다. 이러한 힘은 골판지 상자가 적재되어 있을 때 더 쉽게 발생하며 상자의 하중을 견딜 수 있는 힘을 현저히 감소시킨다. B.S는 포장 또는 크게열린 골판지상자를 진열하는데 있어서도 중요하다. 자동화 창고에서 상자의 파렛트밖으로의 찌그러짐은 큰문제를 야기 시킨다.

◆ 생산관리에서의 B.S 측정

B.S는 골판지의 두께에 의해 크게 좌우되므로 지속적인 B.S의 측정은 가공전후에서의 효과적인 품질 측정방법이다. 부분적으로 파손된 골심 프로파일처럼 일반적인 두께 측정으로 발견하기 어려운 압축에 의한 손상문제는 B.S를 측정함으로써 쉽게 알 수 있으며 가공공정의 단계별로 샘플을 측정할 경우에는 원인이 되는 부분도 발견할 수 있다.

이 방법은 다음과 같이 골판지의 B.S가 다소 단순화된 형태로 표시될 수 있다는 점에 근거를 두고 있다.

$$S_b \approx 0.5 \times D_t \times T^2 \quad \dots [3.1]$$

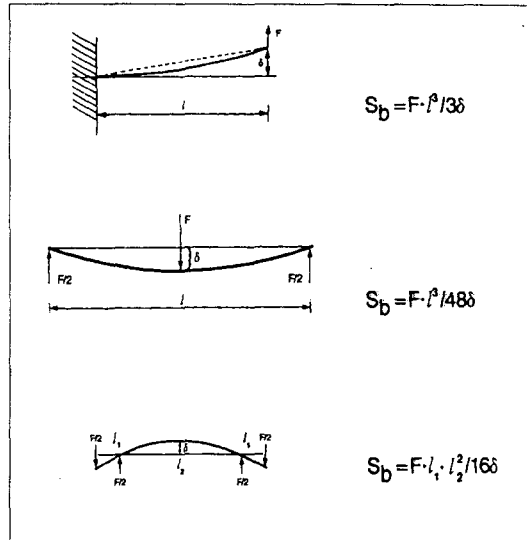
D_t = 라이나의 Tensile Stiffness
 T = 골판지의 두께

이 식에서 두께가 제곱이 되기 때문에 약간의 두께의 변화가 B.S에서는 큰 변화를 나타낼 수 있다. 가공과정에서 부주의로 두께에 변화가 생길 수 있으나 일반적으로 원래의 두께로 복원되기 때문에 골판지에 사용되는 두께 측정기의 압력으로 그 변화를 측정하기는 어렵다.

B.S측정에서 골판지는 골심층에 작용하는 압축

력에 영향을 받게되기 때문에 두께의 변화에 대한 B.S의 민감성과 조합시켜, 생산관리 TEST를 위한 최적의 방법으로 사용할 수 있다.

3 . 2 Different loading cases in the bending of corrugated board.



◆ BENDING STIFFNESS의 측정

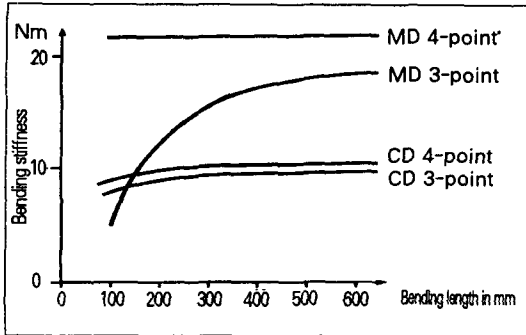
B.S를 정확히 측정하기 위한 방법은 초기부터 상당한 문제를 가지고 있었다. 2-point, 3-point, 4-point의 하중을 주는 방법이 사용되어 왔다.

2-point와 3-point 방법은 보편적인 시험기에 의해 쉽게 측정될 수 있으나 골판지가 휘어지는 동안 생기는 전단력으로 인해 수용할수 없는 큰 데이터 오류를 가져온다. 바람직하지 않은 전단력을 거의 완전하게 제거하며 충분한 정확도를 가지고 사용될 수 있는 방법은 4-point 방법뿐이다.

◆ 3-point와 4-point 방법과의 비교

그림 3.3은 3-point 방법이 시편의 길이에 크게 의존한다는 것을 보여준다. 특히 MD 방향에서 이 방법은 틀린 결과를 나타낸다. 이 방법으로 정확한 결과를 얻으려면 매우 긴 시편이 필요하며 실험실에서 긴 시편을 사용하는 것은 매우 불편하다.

3.3 The bending stiffness as a function of different test lengths for 3-point and 4-point loading.



◆ 골판지에서의 B.S TESTER

STFI와 협력하여 Lorentzen & Wettre는 특별히 골판지용으로 개량된 4-point bending stiffness tester를 개발했다. 이 방법은 정의에 맞는 순수한 B.S를 측정하기 때문에 이전의 ASTM D 1098에 따르는 3-POINT 방법에 비해 상당한 장점을 가지고 있다. 시편에 특수한 이동 클램핑 장치를 사용함으로써 와프, 뒤틀림, 팽래판원단등의 문제를 효과적으로 제거할 수 있게 됨으로써 현재 가장 합리적이고 정확한 방법으로 B.S를 반복적으로 측정할 수 있다. 또한 연구활동과 품질관리에서 안정적으로 장시간동안의 하중실험에 가장 적합하도록 만들어 졌다.

골판지의 강도들이 다양한 대기압에서 장시간의 하중에 의해 어떻게 작아지는지는 비교적 잘 알려지지 않았다. 그러나 압축력을 흡수하는 골판지의 능력은 하중과 시간, 그리고 대기의 상태에 영향을 받는다는 것은 알려져 있다.

대기조건이 변할 때 하중을 받고 있는 골판지의 압축강도는 하중이 없을 때보다 크게 줄어든다.

이때문에 B.S는 골판지 상자의 기능을 결정하는 하나의 중요한 요소이며 여러가지 대기상태에서 안정적인 하중을 받을 때의 B.S의 변화를 연구하는 것은 대기상태의 변화에 따른 골판지에의 영향을 아는데 좋은 정보를 제공해준다. 실제로 하중이 가해지면서 대기조건이 변화하는 상황에서 골판지상자의 품질특성에 영향을 주는 중

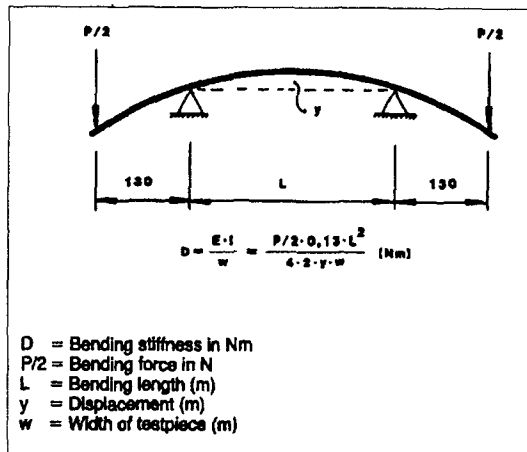
요한 골판지의 성질이 이 방법을 통해 쉽게 연구되고 최적화 될 수 있다.

◆ 요약

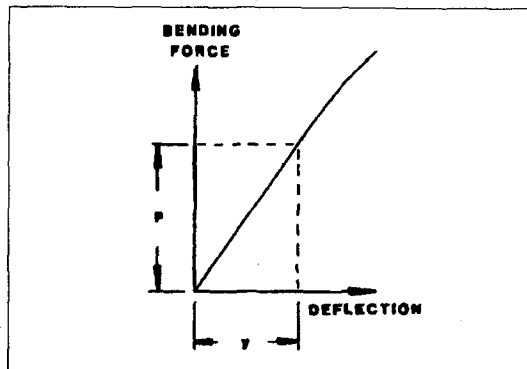
골판지의 BENDING STIFFNESS는 창고 적재시 중요한 성질인 BCT 값을 높여주기 위해서는 매우 중요한 성질이다. 정확한 B.S의 측정을 위해

This is how to measure the bending stiffness of corrugated board.

3.4 A modern 4-point bending stiffness tester for corrugated board-a 100mm wide test piece is placed in the tester.



3.5 The principles of the 4-point loading technology-the test piece is loaded statically with weights.



서는 4-POINT 방법이 사용되어야 한다.

골판지의 두께와 라이너의 TENSILE STIFFNESS의 조합이 골판지의 BS를 결정하는 중요한 요인이 된다. 가공공정에서 골판지를 거칠게 다루는 것은 BS 값을 상당히 낮추는 위험을 초래할 수 있다. 그러므로 골판지의 BS는 가공의 전후공정에서 지속적으로 측정되어야 한다

제 4 장

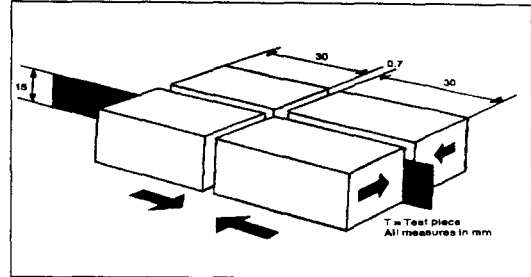
라이너와 골심지의 수평압축강도의 측정

라이너지와 골심지의 수평압축강도는 골판지 원단과 골판지 상자의 수직압축강도와 밀접한 관련이 있기 때문에 매우 중요하다. 따라서 다른 성질에 의해 영향을 받지 않는 순수한 압축강도를 측정할 수 있는 방법이 사용되어야 하며 부적합한 방법은 부적합한 DATA를 산출하게 된다. 수평 압축강도는 인장강도를 측정하는 것보다 어려웠으나 STFI와 Lorentzen & Wettre와의 협력으로 만들어진 Short-span Compression Test(SCT) 방법에 의해 비로서 측정할 수 있게 되었다. SCT 방법은 측정원리뿐 아니라 정확성과 측정속도 면에서도 압축강도를 측정하는데 빠르게 보급되었으며, 라이너지와 골심지업체 뿐 아니라 골판지 및 골판지 업체에서도 원재료인 원지의 관리와 상자의 압축강도를 최적화 하기위하여 사용된다. 여러가지의 측정방법을 살펴보도록 하자.

◆ SCT 방법에 따른 압축강도 측정의 원리

SCT 방법에 따른 라이너 및 골심지의 압축강도 측정에서 시편은 0.7mm의 간격을 갖고 있는 두개의 클랩프 사이에 놓여진다. 두개의 클랩프가 서로를 향해 움직이는 동안 길이는 줄어들면서 시편에 응력이 증가하게 된다. 두께에 비해 샘플이 짧기 때문에 slenderness ratio(시편이 얇아지는 현상)가 작고 휘지 않으므로 정확하게 측정할 수 있다.

3.5 The short span tester.

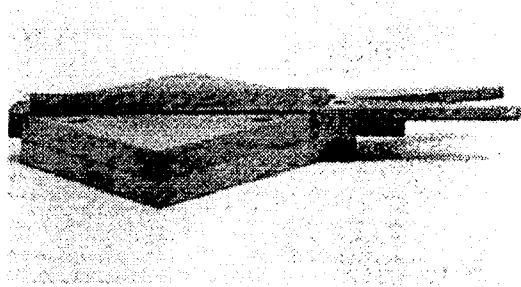


◆ SCT와 다른 압축강도 측정방법과의 비교

라이너지 및 골심지의 압축강도를 측정하기 위한 전통적인 방법들은 측정 물질의 성질을 고려하지 않았으므로 측정장치의 디자인과 시편의 크기 및 시편준비 방법에 따라 측정치가 크게 변하곤 했다. 대부분의 방법에서 0.5 6인치 (12.7 152mm)의 시편이 사용되며 수직방향으로 압축되는 부분은 0.25 인치 (6.35mm)이다. 시편은 두개의 평행한 압축판에서 눌러지며 이때 얻어지는 최대값이 압축강도가 된다. 모든 경우에 하중은 수직으로 작용하며 단지 차이점은 시편을 지지해주는 장치의 기하학적인 모양이다.

Cursh Linear Test(CLT) 또는 Concora Liner

4.3 The CLT method.

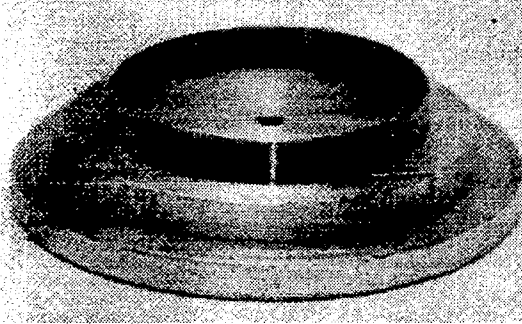


Test 방법은 직선의 시편을 수직으로 눌러준다.

RCT(ring crush test)방법은 특수지지장치의 둥근 고리모양의 틈새에 넣어 시편을 등글게 만들며, 틈새의 넓이는 시험편의 두께에 적합하도록 한다.

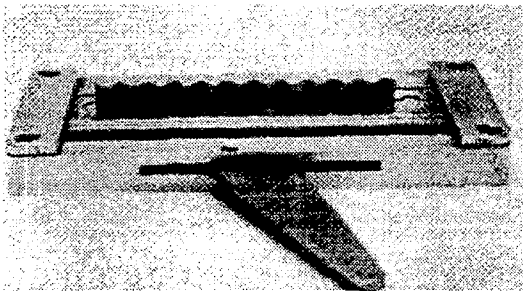
CCT (corrugated crush test)또는 Concora Corrugated Test방법은 먼저 시편을 실험실의 골

4. 4 The RCT method.



성형기로 골을 형성시킨후에 골성형기의 골모양과 동일한 형태의 지그(JIG)장치에 수직으로 물려준다.

4. 5 The CCT method.



이러한 세가지의 다른 디자인은 한가지의 목적으로 만들어졌으며 그 목적은 slenderness ratio를 줄이고 휨에 의한 측정의 오류를 없애는 것이다.

이 세가지 방법들은 다음과 같은 이유로 재료물리학과 측정공학의 관점에서 충분하지 못하다.

◆ 시편의 윗부분이 클램프로 고정되지 않으므로 항상 가장자리 (edge) 부분에서 찌그러짐 (crushing) 이 일어날 수 있다.

◆ 측정판과 시편의 모서리가 완전하게 평행할 수는 없으며 충분히 평행하지 못할 경우 응력이 일정부분에 집중된다.

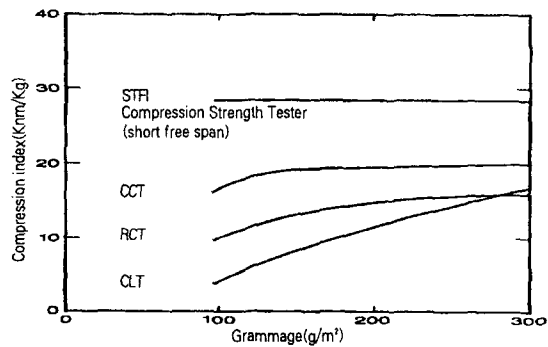
이러한 단점외에도 CLT 방법은 slenderness ratio를 부적절하게 크게 하여 시편을 항상 휘게한다. RCT 방법의 큰 단점은 RING 모양의 끝부분에서 CRUSHING이 발생한다는 것이다. CCT 측정에서는 시편이 실험실의 CORRUGATOR에서 형성되는 동안에 열과 MOULDING에 의해 압축강도가 영향을 받으며, 두수직 모서리에서 모서리효과 (Edge Effects)가 일어난다.

◆ 여러가지 압축강도 측정방법간의 비교

그림 4. 6은 4가지 방법간의 비교결과를 보여준다. 시편은 동일한 평량 및 밀도를 갖도록 했으며 압축강도를 평량으로 나눈 값과 평량간의 관계를 나타냈다.

RCT와 CLT는 고평량으로 갈수록 높은 값을 나타내며 이것은 저평량에서는 시편이 휘어졌다는 것을 의미한다. CCT 방법은 비교적 평량에 관계없이 균일한 값을 나타내지만 SCT값의 60% 정도에 지나지 않는다. 이러한 차이는 CORRUGATOR에서 강도가 떨어졌기 때문으로 분석할 수 있다.

4. 6 The compression index as a function of the grammage for the SCT, CCT, RCT and CLT tests.



◆ 요약

- SCT 방법은 의도한 대로 순수한 압축강도를 측정한다.
- SCT 방법은 빠르고 쉽게 Lorentzen & Wettre에 의해 개발된 측정기에 의해 쉽게 측정될

- 수 있다.
- SCT 방법을 통해 골판지의 ECT강도를 계산할 수 있다.
- SCT 방법은 단점없이 CLT, RCT, CCT 방법을 대체할 수 있다.

◆ 계산공식

ECT강도는 라이너와 골심지의 압축강도의 측정으로 부터 계산될 수 있다. 이 계산의 정확성은 압축강도의 정확도와 골판지원단의 ECT강도의 정확도에 따른다.

$$ECT = k \times (\sum SCT_L + \alpha \cdot SCT_F) \quad \dots [4.1]$$

k = 상수, α = 골조율 (Take-up factor)

이론적으로 여기에서 k 값은 측정에 오류가 없고 라이너와 골심지가 동일한 응력 - 변형(stress-strain) 관계에 따라 움직이며 골심지의 압축강도가 골형성(corrugation)과정에서 줄어들지 않는다면 1의 값을 갖는다.

이런 이상적인 경우는 일반적으로 실제와는 거리가 멀다. Billerud (STORA group)는 다음과 같은 관계식을 끌어내는 한쌍의 종합적인 연구를 했다.

$$ECT = 0.45(SCT_{L1} + \alpha \cdot SCT_F + SCT_{L2}) + 1.73 \quad \dots [4.2]$$

$$ECT = 0.46(SCT_{L1} + \alpha \cdot CCT_F + SCT_{L2}) + 2.12 \quad \dots [4.3]$$

SCT는 방정식에 의해 다른 옛날측정 방법과의 관계식으로 나타낼수 있다.

$$RCT = 120 \times SCT_{CB-97} \quad \dots [4.4]$$

또는 대략

$$RCT = 95 \times SCT_{CB} (N) \quad \dots [4.5]$$

$$CCT = 0.79 \times SCT_{CB} + 0.1 \quad \dots [4.6]$$

또는 대략

$$CCT = 0.8 \times SCT_{CB} (kN/m) \quad \dots [4.7]$$

CMT 와 SCT 는 관계식에 의해 대략 나타낼 수 있다.

$$CMT = SCT_{MD} \times 60 (N) \quad \dots [4.8]$$

제 5장

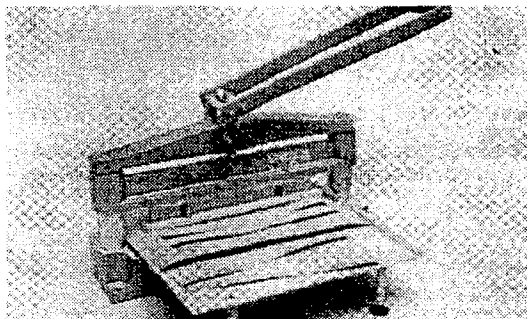
라이너와 골심지의 TENSILE STIFFNESS 측정

◆ TENSILE STIFFNESS의 정의

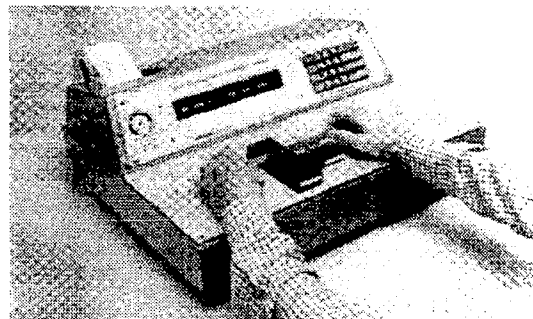
그림 5.1에서 종이의 힘 과 변형 (force/strain)

This is how the compression strength of liner and fluting is measured.

4 . 7 A 15mm wide sample is punched from a sheet.



4 . 8 The test piece is placed between the jaws of the compression strenght tester. The whole test takes only a few seconds.



곡선을 살펴보자.

일정 응력 아래에서 물질은 Hooke's의 법칙에 따르면 주어진 응력에 비례해서 신축적으로 늘어나거나 줄어든다.

여기에서 비례상수를 탄성계수 (E) 라고 한다.

$$\sigma = E \times \epsilon \quad \dots [5.1]$$

σ = 응력, ϵ = 변형률

양변에 두께 (t) 를 곱하면 $\sigma \times t = St \times \epsilon$ 를 얻게 되는데 여기에서 $St = E \times t$ 가 TENSILE STIFFNESS이다.

종이의 Tensile stiffness는 다음 함수의 최대값으로 정의된다.

$$St = 1/b \cdot dF / d\epsilon$$

St = tensile stiffness F = force

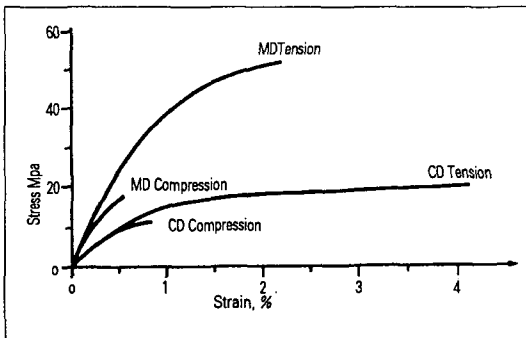
b = sample width $\epsilon = \Delta l/l$ = strain

그림 5. 1의 곡선은 일정한 기울기를 가지고 있지 않지만 곡선의 초기부분은 직선에 가깝다는 것을 알 수 있다. 이 부분은 인장과 압축시 일치한다.

◆ 골판지 B.S의 구성요소로서의 Tensile stiffness의 중요성

그림 3. 1를 보면 골판지에 bending moment가 작용할 때 바깥층에는 인장력이 안쪽면에는 압축력이 작용하는 것을 알 수 있다. CD 방향으로 BENDING이 작용하는 동안에는 골심지에도 응력이 가해진다. BCT에 큰 영향을 주는 Bending

5. 1 Characteristic stress/strain curves of paper.



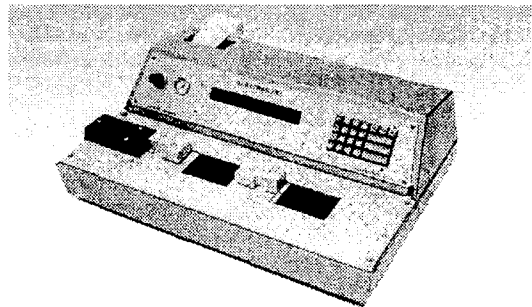
stiffness가 널리 인식되면서 Bending stiffness에 큰 영향을 주는 tensile stiffness도 중요한 요소로 인식되게 되었다.

다른 라이너지와 골심지는 다른 tensile stiffness 값을 가지므로 원지 선택시 tensile stiffness도 측정되어야 한다.

◆ Tensile stiffness testing

기존의 인장강도 측정기로 tensile stiffness를 측정하는 데는 시간이 오래 걸리며 복잡하다. 측정 방법도 원하는 만큼 정확하니 않으며 측정기의 부정확성에 따라 다르다. 그림 5. 3의 인장강도 측정기는 마이크로 컴퓨터가 내장되어 합리적이고 상당히 정확하게 tensile stiffness를 결정할 수 있으며 인장강도, 열단장, 인장시까지 흡수하는 에너지, 끊어질때의 에너지까지도 측정한다.

5. 3 Tensile strenght tester.



◆ 요약

라이너지와 골심지의 강한 tensile stiffness는 골판지의 두께와 함께 높은 bending stiffness를 얻기 위해 결정적으로 필요한 요소이다. 골판지의 bending stiffness는 라이너지의 tensile stiffness에 거의 비례하며 CD 방향에 있어서는 골심지의 tensile stiffness와 그리고 두께의 제곱과 비례한다. 그러므로 tensile stiffness는 원지를 선택함에 있어서 고려되어야 하는 중요한 품질 요소이며 Lorentzen & Wettre의 인장강도 측정기에 의해 쉽게 측정되어질 수 있다.

참고문헌

- R C McKee, J W Gander, J R Wachuta. *Compression Strength Formula for Corrugated Boxes*. *Paperboard Packaging* 48 (1963):10, 149—159
- H Kutt, B B Mithel. *Studies of Compressive Strength of Corrugated Containers*. *Tappi Journal*, Vol. 51, No. 4, April 1968
- W S Peterson, W J Schimmelpfenning. *Panel Edge Boundary Conditions and Compressive Strengths of Tubes and Boxes*. *Tappi Journal*, Vol. 65, No. 8, Aug 1982
- R Thielert. *Determination of stacking load-stacking life relationship of corrugated cardboard containers*. *Tappi Journal*. Vol. 67, No. 11, 1984
- M Wolf. *New Equation Helps Pin Down Box specifications*. *Package Engineering*, March 1972
- W Katzenbeisser, Th Rieder. *Die Vorausbestimmung des Stauchwiderstandes von Wellpappeschachteln aus den Eigenschaften der Wellpappe*. *Neue Verpackung* 1, 1982
- Optimierung der Wellpappekonstruktion unter Berücksichtigung des Stapelstauchwiderstandes der Wellpappkiste*. *Verpackungs-Folien/Papiere* nr 11, 1968
- R A Surber, A H Catlin. *Estimating the Effects of Interiors on Corrugated Box Stacking Strength*. *Packaging Technology*, June/July 1982
- P Messent. *Compression Tests on Different Configurations of Corrugated Fibreboard Sleeves*. *Pira Special Report*, Feb 1975
- U Höke och L Götttsching. *Stauchfestigkeiten von Papier, Wellpappe und Schachteln*. *Das Papier*, Heft 10A, 1985
- W S Peterson, T S Fox. *Workable Theory Proves How Boxes Fail in Compression*. *Paperboard Packaging*, 136, Oct 1980
- T S Fox. *Shipping Containers and Cartons Shown to Fail Only in Compression when Loaded Internally (I and II)*. *Paperboard Packaging*, 23, March and April 1978
- G G Maltenfort. *Compression Failure Analysis*. *Paperboard Packaging*, 172, Oct 1979
- L Nordman, E Kolhonen, M Toroi. *Investigation of the Compression of Corrugated Board*. *Paperboard Packaging*, 48, Oct 1978
- M W Johnson Jr, T J Urbanik, W E Denniston. *Maximizing Top-to-Bottom Compression Strength*. *Paperboard Packaging*, 98, April 1980
- R C Moody, K E Skidmore. *How Dead Load, Downward Creep Influence Corrugated Box Design*. *Package Engineering* 11 (8), 1966
- M Wolf. *Here's a Quick Way to Calculate Box Compression Strength*. *Package Engineering*, Feb 1974
- Billerud Handbook*. *Testing of corrugated board and its components*.
Lorentzen & Wettre. *Testing Instruments*
Nordliner Technical News SCA
- W Katzenbeisser, Th Rieder. *Die Vorausbestimmung des Stauchwiderstandes von Wellpappeschachteln aus den Eigenschaften der Wellpappe*. *Neue Verpackung* 1, 1982
- J W Koning Jr. *Compressive properties of linerboard as related to corrugated fiberboard containers; a theoretical model*. *Tappi* 58 (1975):12, 105—108.
- J W Koning, Jr, E W Kuenzi, R C Moody, W D Godshall. *Improving Comparability of Paperboard Test Results: Using Flexible and Rigid Type Testing Machines*. *Tappi* 55 (1972):5, 757—760
- W Vollmer. *Komponenten des Stauchwiderstandes von Wellpappe*. *Verpackungs-Rundschau* 24 (1973):12, T-W Beilage 95—99
- U Höke und L Götttsching. *Stauchfestigkeiten von Papier, Wellpappe und Schachteln*. *Das Papier*, Heft 10A, 1985
- H J Hohmann, R Heiss. *Über den physikalischen Inhalt der FEFCO Test Methode Nr 8 zur Messung des Kantenstauchwiderstandes von Wellpappe*. *Verpackungs-Rundschau* 23 (1972):9
- R C McKee, J W Gander, J R Wachuta. *Compression Strength Formula for Corrugated Boxes*. *Paperboard Packaging*, Aug 1963
- J W Koning, Jr. *A Short Column Crush Test of Corrugated Fibreboard*. *Tappi* 47 (1964):3, 134—137
- L-E Eriksson, *Packforsk PM EPAB* 11/71
- A d'Auria, P Marchese. *Influence of the Cutting Method on the Preparation of the Corrugated Board Test Pieces for the Edge Crush Test*. *Cartotecnica & Imballaggio* (2) No 6, Sept 1982
- R A Stott. *A Comparison of Edgewise Compression Test Methods*. *Appita Journal* 29 (1975):1, 29—32
- R Eschke and R Köhn. *Einfluss der Temperatur und des Wassergehaltes die Festigkeit von Wellpappe am Beispiel des Kantenstauchwiderstandes nach DIN 53 149 (12/77)*. *Verpackungs-Rundschau* 1987 No 7, T-W Beilage pp 49—53
- Billerud Handbook*. *Testing of corrugated board and its components*.
Lorentzen & Wettre. *Testing Instruments*
- H J Hohmann. *Biegesteifigkeit statt Stauchwiderstand-Möglichkeit für die Wellpappeprüfung?* *Verpackungs-Rundschau* 26 (1975) Nr 3 T-W Beilage pp 19—20
- A d Ruvo, Ch Fellers. *Die Mechanik des Kartons*. *Allg. Papier Rundschau* Nr 20, May 1983, pp 552—558
- H J Hohmann. *Biegesteifigkeit von Pappe und Karton*. *Verpackungs-Rundschau* 19 (1968) Nr 4 T-W Beilage pp 25—32
- Billerud Handbook*. *Testing of corrugated board and its components*.
Lorentzen & Wettre. *Testing Instruments*
Nordliner Technical News SCA
- Börje Steenberg, Josef Kubát, Sverker Martin-Löf and Lars Rudström. *Competition in Rigid Packaging Materials, Part 1 and 2*. *Sv Papperstidn* 73 (1970) No 4, pp 77—92

- S Cavlin, C Fellers. *A new method for measuring the edge compression properties of paper*. *Svensk Papperstidning* 78 (1975):329—332
- J W Koning, Jr, E W Kuenzi, R C Moody, W D Godshall. *Improving Comparability of Paperboard Test Results: Using Flexible and Rigid Type Testing Machines*. *Tappi* 55 (1972):5, 757—760
- V E Stockmann. *Measurement of Intrinsic Compressive Strength of Paper*. *Tappi* 59 (1976):7 93—97
- I B Sachs, T A Kuster. *Edgewise Compression Failure Mechanism of Linerboard Observed in a Dynamic Mode*. *Tappi Journal*, Vol. 63, No. 10, Oct 1980
- R C McKee, J W Gander, J R Wachuta. *Compression Strength Formula for Corrugated Boxes*. *Paperboard Packaging*. Aug 1963
- U Höke och L Götsching. *Stauchfestigkeiten von Papier, Wellpappe und Schachteln*. *Das Papier*, Heft 10A, 1985
- J W Koning Jr. *Compressive properties of linerboard as related to corrugated fiberboard containers; a theoretical model*. *Tappi* 58 (1975):12 105—108
- Lars-Erik Eriksson. *A Review of the Edge Crush Test of Corrugated Board*. *Boxboard Containers*, March and April 1979
- M W Johnson Jr, T J Urbanik, W E Denniston. *Maximizing Top-to-Bottom Compression Strength*. *Paperboard Packaging*, 98, Apr 1980
- W S Peterson, T S Fox. *Workable Theory Proves How Boxes Fail in Compression*. *Paperboard Packaging*, 136, Oct. 1980
- Gunilla K. Richardson and Ernst Back. *Note on the compression strength of fluting over a temperature and moisture range*. *Das Papier* 39, No 7, pp 302—305
- A J Crowther and R Rosser. *Standardisation of test methods for fluting papers*. *Paper Technology* 4 (1963) No 2, pp 153—156
- Billerud Handbook. *Testing of corrugated board and its components*.
Lorentzen & Wettre. *Testing Instruments*
Nordlinder Technical News SCA
- Roy E Benson. *Effects of Relative Humidity and Temperature on Tensile Stress-Strain Properties of Kraft Linerboard*. *Tappi* 54 (1971) No 5, pp 699—703
- Fellers and Carlsson. *Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard*, volume 1 (edited by Richard E Mark).
- Alfred H Nissan. *The effect of water on Youngs modulus of paper*. *Tappi* 60 (1977) No 10, pp 98—101
- Billerud Handbook. *Testing of corrugated board and its components*.
Lorentzen & Wettre. *Testing Instruments*
Nordlinder Technical News SCA