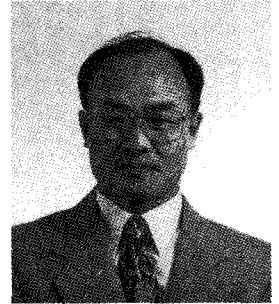


제지기술  
강 의

# 紙類包裝 強度 研究

Ⅱ. 골판지 원지의 제강도 ②  
Ⅲ. 골판지의 강도



강원대학교 제지공학과 교수  
농학박사 원종명

목 차

I. 개설

1. 골판지 포장강도의 필요성
2. 골판지 원지강도와 골판지 포장강도와의 관계 개설
  - 1) 최대하중의 계산
  - 2) 포장디자인 (FEFCO표준)
3. 골판지포장강도와 인자 (이상 제23호 게재)

Ⅱ. 골판지 원지의 제강도

1. 평면 압축강도 (Inplane compression strength)
2. Tensile stiffness

Ⅲ. 골판지의 강도

1. 골판지 파열강도
2. 골판지 압축강도
  - 2.1 평면 압축강도 (Flat compression strength)
  - 2.2 수직 압축강도 (Edgewise compression strength, ETC)

I. 골판지 원지의 제강도

1. 평면 압축강도 (Inplane compression strength)

라이너와 골심지층의 평면 압축강도와 골판지 및 골판지 상자의 강도 사이에 매우 높은 상관관계가 존재하기 때문에

골판지를 구성하는 요소인 라이너와 골심지의 압축강도는 매우 중요한 성질로 알려져 있다. 따라서 이러한 성질을 측정하는데 사용되는 방법들이 실제로 다른 성질에 의하여 영향을 받지않은 순수한 압축강도를 측정할 수 있는지가 매우 중요하다. 만약 압축강도를 정확히 측정하지 못하면 잘못된 정보를 제공하는 결과를 초래할 수 있다.

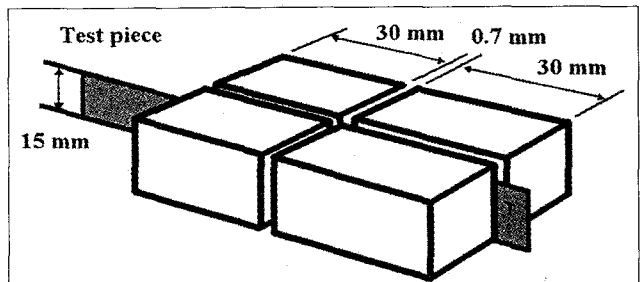


그림9. Short span 압축강도 시험장치

종이의 평면 압축강도는 인장강도보다 측정이 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나 스웨덴 펄프·종이연구소(STFI)와 Lorentzen & Wettre에 의하여 개발된 short span 압축강도 시험(SCT, 그림 9) 방법을 개발함으로써 해결되었다. SCT 방법은 시험 원리 뿐만 아니라 정확성과 속도가 크게 향상되었다. 따라서 SCT 방법은 짧은 기간내에 급속히 보급되어 라이너와 골심지 제조회사에 의해서 뿐만 아니라 골판지 제조회사에서 원료의 성질과 BCT를 최적화하는 수단으로 널리 사용되고 있다. SCT 방법에 의한 압축강도의 측정은 시험편을 0.7 mm의 간격을 두고 위치한 클램프(short span) 사이에 위치시키고, 클램프를 조인후, 압축

시험을 행하면 시편내 응력이 증가된다. 시편이 두께에 비하여 짧기 때문에 slenderness ratio가 낮고, 버클링이 방지될 수 있다.

라이너와 골심지의 압축강도를 측정하기 위하여 과거에 사용되던 구형의 방법들은 압축강도와 같은 재료의 성질을 특정하기 위하여 개발된 것이 아니며, 이 결과들은 시험 장치의 설계, 시험편의 크기 및 시험편의 조제 방법에 의하여 큰 영향을 받았다. 대부분의 방법에서 폭 12.7 mm, 길이 152 mm의 시편이 사용되고 있으며, 압축되는 시편의 길이는 6.35 mm이다. 시험편을 평행한 두 판 사이에 위치시키고 압착시켜 얻어진 최대값을 취한다. 모든 경우에 있어서 상부의 시험편에 의하여 시험편의 모서리에 직접 하중이 가해진다. 이들 시험 방법간의 차이는 단지 구조적인 디자인의 차이뿐이다.

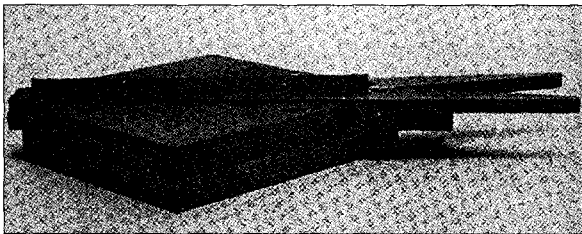


그림10. Crush liner 측정용 시험편 홀더

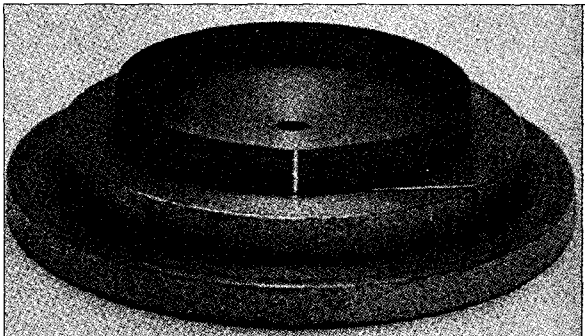


그림11. Ring Crush 측정용 시험편 홀더

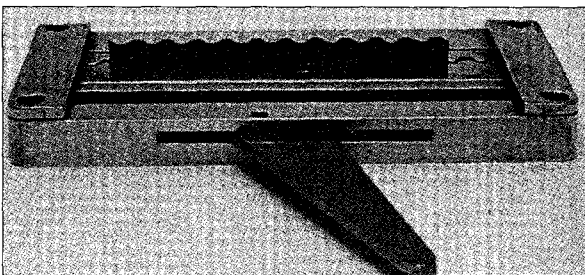


그림12. Corrugated Crush 측정용 시험편 홀더

Crush liner test (CLT, 그림 10)나 Concora liner test 법에서는 특별하게 설계된 홀더에 시편을 수직으로 고정시키는 방법을 사용하고, Ring crush test (RCT, 그림 11) 법에서는 시험편을 특별히 제작된 홀더의 동심원상 홈에 링 모양으로 삽입하여 압축강도를 측정한다. 그러나 Corrugated crush test (CCT, 그림 12)나 Concora corrugated test 법에서는 먼저 실험실에서 시험편에 골을 만든 후, corrugator 롤과 같은 프로파일로 지니는 지그에 수직으로 고정시켜 시험한다. 이들 세가지 다른 디자인은 모두 시험편의 slenderness ratio를 감소시켜 버클링에 의한 파괴를 방지하고자 하는 동일한 목적을 지니고 있다. 그러나 이들 방법들은 다음과 같은 이유 때문에 어느 것도 만족스러운 결과를 주지는 못한다.

- ◆ 시험편의 상부 모서리가 상부 시험편에 대하여 고정되어 있지 않기 때문에 이 모서리 부분에서 시험편이 파괴될 수 있다.
- ◆ 시험편과 시험편의 모서리가 정확히 평행을 유지하도록 하기가 어렵다. 만약 이들이 평행으로부터 크게 벗어날 경우 시험편의 어느 특정 부위에 응력의 집중 현상이 일어날 수 있다.

상기 단점 이외에도 slenderness ratio가 큰 CLT법은 항상 버클링이 상당히 일어날 수 있기 때문에 부적합하다. RCT법의 큰 문제점은 특히 링을 이루는 시험편의 끝에서 버클링이 일어날 수 있는 것이다. CCT법에서는 edge effect가 두 개의 수직 모서리에서 발생되며, 압축강도 또한 실험실용 corrugator에서의 가열과 몰딩에 의한 영향을 받을 수 있다.

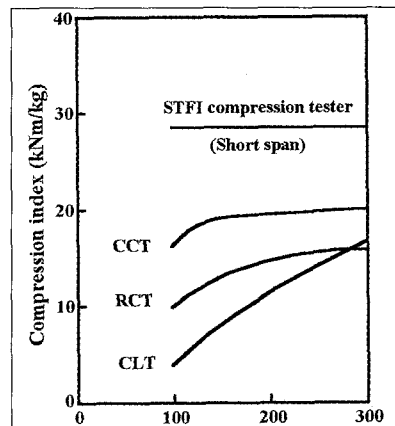


그림13. 각종 압축강도 측정 결과의 비교

그림 13는 라이너와 골심지의 압축강도를 여러가지 시험 방법으로 측정한 결과를 비교한 것이다. 이때 사용된 시험편은 전형적인 라이너 제조용 펄프를 사용하여 평량을 100~300 g/m<sup>2</sup>으로 조절하였으며, 동일한 방법으로 압착시켜 밀도가 약 750 kg/m<sup>3</sup>가 되도록 하였다. 그림에서 나타난 압축지수는 이론적으로 평량의 의한 영향을 받지 않는 점을 고려할 경우, 각 측정 방법들의 상대적인 순위는 쉽게 확인될 수 있다. 특히 CLT법과 RCT법은 평량이 증가됨에 따라 크게 증가되었으며, 낮은 평량에서의 파괴는 기대하는 바와 같이 압축에 의하여 일어나기보다는 버클링에 의하여 일어났다. 따라서 이들 방법들은 평가된 평량 범위에서는 골판지 원지의 압축강도를 정확히 측정하는 것이 불가능하다.

CCT법은 평량의 변화에도 불구하고 비교적 일정한 값을 나타내었으나, 역시 평량의 영향이 거의 나타나지 않은 SCT법에 의하여 얻어진 값의 약 60%에 해당되는 매우 낮은 값을 나타내었다. 비록 강도 감소가 낮은 평량보다는 높은 평량에서 더욱 현저하기는 하지만 이러한 압축지수 감소의 일부는 corrugator에 의한 약화 현상에서 비롯된 것으로 생각된다.

골판지의 ECT(Edge compression strength test) 강도는 라이너와 골심지의 압축강도 측정으로부터 다음 식으로부터 계산될 수 있다. 이 계산의 정확성은 압축강도 측정의 정확성과 골판지의 수직 압축강도의 정확성에 의하여 직접적으로 영향을 받는다.

$$ECT = k (SCTL + \alpha SCTF)$$

k : 상수       $\alpha$  : Take-up factor (라이너 길이에 대한 골심지 길이의 비)

이론적으로 만약 실험적인 오차가 없고, 라이너와 골심지가 동일한 응력-변형 관계를 지니며, 골심지의 압축강도가 골을 만드는 동안 감소되지 않는다면, k는 항상 1의 값을 지닌다. 따라서 이상적인 현상은 항상 실제와는 거리가 먼 것으로 여겨진다. 스웨덴 STORA사의 Billerud는 일련의 연구를 통하여 다음과 같은 관계를 유도하였다.

$$ECT = 0.45 (SCTL_1 + \alpha SCTF + SCTL_2) + 1.73$$

$$ECT = 0.46 (SCTL_1 + \alpha CCTF + SCTL_2) + 2.12$$

$$RCT = 120 \times SCT_{CD} - 97 \text{ 또는 } 95 \times SCT_{CD} \text{ (N)}$$

$$CCT = 0.79 \times SCT_{CD} + 0.1 \text{ 또는 } 0.8 \times SCT_{CD} \text{ (kN/m)}$$

$$CMT = SCT_{MD} \times 60 \text{ (N)}$$

## 2. Tensile stiffness

### 1) 정의

그림 6과 같이 응력-변형관계에서 일정 수준이하의 응력, 비례한계(proportional limit) 또는 항복강도(yield strength) 이하에서 물질은 탄성 변형을 하게되고, 응력( $\sigma$ )과 변형( $\epsilon$ )이 비례관계를 나타내어 탄성계수(E)라고 불리는 일정한 비를 나타내는 Hook의 법칙을 따른다( $\sigma = E \cdot \epsilon$ ). 이 관계식의 양변에 두께 t를 곱하면  $\sigma \cdot t = St \cdot \epsilon$  ( $St = E \cdot t$ )의 관계식이 얻어지며, St는 인장강성(tensile stiffness)을 나타내며, 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$S_t = \frac{1}{b} \cdot \frac{dF}{d\epsilon}$$

St : 인장강성

F : 하중

b : 시험편의 폭

$\epsilon$  : 변형

종이의 인장 및 압축시 일반적으로 얻어질 수 있는 응력-변형 특성은 그림 14와 같다. 인장 곡선에서 초기 직선부분의 기울기, 즉 인장강성은 압축시의 응력-변형 곡선에서도 같은 값이 얻어진다. 이러한 현상은 비록 인장시보다 압축시 훨씬 낮은 응력과 변형에서 파괴가 일어나며, 항복점(yield point)이 보다 일찍 시작되기는 하지만, 초기에 하중에 견디는 능력이 인장시와 압축시에 같음을 의미한다.

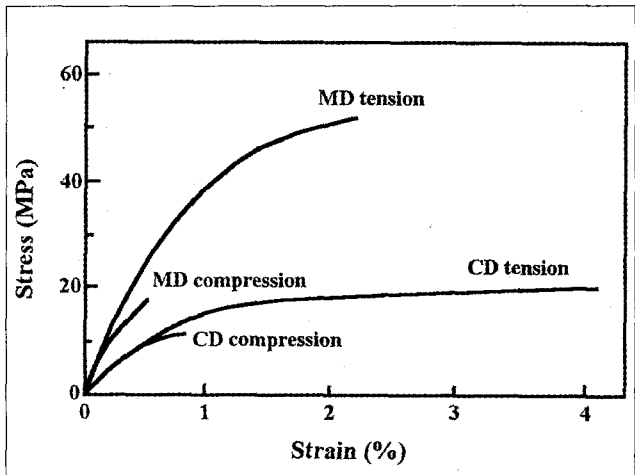


그림 14. 시트 인장 및 압축시 응력-변형 곡선

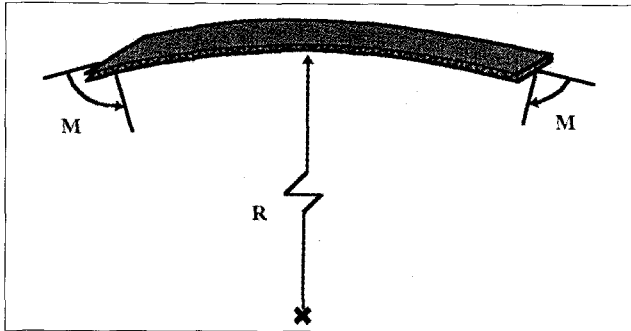


그림 15. 골판지의 휨 변형

2) 중요성

골판지가 그림 15와 같이 굴곡 모멘트 M의 힘을 받을 경우 곡률반경 R을 이루며 구부러지게 된다. 골판지가 각각 MD 또는 CD에서 구부러지는 동안 볼록한 부분의 라이너에서 인장응력(tensile stress)이 발생되고, 오목한 부분에서는 압축응력이 발생된다. 특히 CD로 골판지가 구부러질 경우에는 골심지에서도 이러한 응력이 발생된다.

제조된 골판지상자의 상자 압축강도(BCT)에 대한 굴곡강성(bending stiffness)의 중요성을 이해함으로써 인장강성이 라이너의 품질에 중대한 영향을 미칠 뿐만 아니라 CD에서의 골심지의 품질에 영향을 미치는 인자로 작용함을 인식하게 되었고, 라이너 뿐만 아니라 골심지 제조시 사용되는 원료의 선택에 의하여 다른 인장강성이 얻어짐을 알게 되었다.

3) 시험 방법

전형적인 인장시험기를 이용한 인장강성의 측정은 시간을 많이 소비할 뿐만 아니라 절차가 매우 복잡하다. 또한 시험 방법이 정확하지 않을 뿐만 아니라 시험 장치 및 측정자에 의하여도 크게 달라질 수 있다. 다행히도 마이크로 컴퓨터 기술의 개발에 힘입어 합리적이고, 지속적인 정확성을 유지하면서 인장강성을 측정하는 것이 가능하게 되었다.

III. 골판지의 강도

1. 골판지 파열강도

비록 파열강도가 상자의 BCT 강도와 직선적인 상관관계가 있지는 않지만, 상자의 포장강도를 나타내는 수단으로 하나로 알려져 있어서 파열강도는 골판지의 강도를 표현하는 수단으로 오랫동안 사용되어 왔다. 각종 수송 관련 규정들

은 Mullen Jumbo 원리에 의하여 파열강도를 측정하여 보고하도록 하였고, 이와 같은 관행은 결국 각 연구소 또는 표준 관련 기관에서 Mullen의 원리에 의하여 파열강도를 측정하는 방법을 표준화하기에 이르렀다. 1887년 초에 Mullen은 첫 번째 파열강도 측정장치를 개발하였다. 오늘날 사용되고 있는 파열강도도 근본적으로 같은 원리에 의하여 측정되지만, 새로운 소재, 현대적인 전자기술 및 마이크로 컴퓨터 기술의 도입으로 정확성, 정밀성 및 반복성이 보다 우수한 시험이 가능하게 되었을 뿐만 아니라, 사용 또한 편리하게 되었다. 골판지의 파열강도를 측정할 경우 골모양을 이루고 있는 flute가 유연하고 저항력이 낮기 때문에 파열강도에 대한 flute의 기여도가 매우 낮다는 점을 알아야 한다. 즉 골판지의 파열강도는 대략적으로 라이너의 파열강도와 약 10%의 flute의 파열강도의 합에 해당한다.

1) 파열강도의 이론

파열강도를 측정하게 되면 원모양의 골판지가 고무막에 의하여 물집처럼 부풀어 오르다가 결국에는 파열된다. 이 과정에서 시험편은 인장, 전단 및 굴곡에 의한 영향을 받는다. 관련된 인자들을 단순화할 경우 라이너의 성질들을 비교하기 위한 식을 유도할 수 있으나, 파열강도의 경우 각기 다르게 작용하는 많은 독립적인 영향인자들이 고려되어야 한다. 파열강도는 매우 예민한 성질이기 때문에 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 측정장치에 대한 요구도 까다롭다. 그러나 측정이 매우 간편 신속하고, 시험의 재단이 필요하지 않다. 파열강도의 다른 장점은 시험편의 함수율 변이에 대하여 비교적 민감하지 않으며, 판지가 사용될때도 크게 문제되지 않는다. 파열강도는 일반적으로 골판지 상자의 성능, 즉 수송을 하는 동안 견딜수 있고 상품을 보호할 수 있는 능력을 잘 나타내는 측정 방법으로 알려져 있다.

2) 골판지의 품질관리

골판지의 품질관리에 파열강도를 사용할 경우 얻을 수 있는 중요한 장점은 single facer에서 flute와 라이너를 결합시킬 때, 너무 높은 압력이 가해짐으로써 야기되는 결함이 파악될 수 있다는 것이다. 만약 제조된 골판지의 파열강도가 라이너 파열강도의 합보다 낮게 나올 경우 single facer에서 너무 높은 압력이 가해져 라이너에 손상이 왔음을 의미한다. 이러한 힘들은 골판지의 파열강도를 감소시킬 뿐만 아니라 slotting과 folding 작업시 크랙 현상이 발생할 수

있으며, 표면에서의 수분 흡수를 증가시키는 결과를 가져온다. 그러나 골판지의 파열강도가 상자의 압축강도(BCT)와 직접적인 상관관계가 있지 않음도 명심해야 한다. 물론 평량의 증가는 골판지 파열강도의 증가를 수반하지만 상자의 압축강도와는 그러한 직접적인 관계는 존재하지 않는다.

### 3) 표준 시험법

파열강도의 시험 방법은 대부분의 표준 관련 기관에 의하여 잘 확립되어 있다. 이들 표준 시험법들이 나라에 따라 다소 다르기는 하지만 거의 일치하고 있다. 대부분의 표준법들은 동일한 파열강도 시험 장치(J model)를 라이너와 골판지 시험에 사용하도록 하고 있다. 일부 라이너 제조회사에서는 종이에 주로 사용되는 P model을 선호하기도 한다. 그러나 이것은 다음의 두가지 이유 때문에 적절치 못하다.

- ◆ 다른 모델의 사용은 라이너와 골판지의 파열강도를 비교하기 어렵게 한다.
- ◆ 만약 크라프트 라이너의 평량이 400 g/m<sup>2</sup> 이상일 경우 P model의 측정 범위를 벗어날 위험이 있다.

2중 양면 골판지(double wall corrugated board) 및 3중 골판지(triple wall corrugated board)의 경우 정확성이 의심스럽기 때문에 Mullen 원리에 의한 골판지 파열강도의 측정이 적용될 수 없음도 알아야 한다.

### 4) 파열강도 시험기

정확하고 반복성이 있는 결과를 얻기 위해서는 규격표준 방법에 따라 측정 헤드부분이 정확히 디자인되어야 하며, 고무막의 강성은 표준법에서 규정한대로 정확히 선택되어야

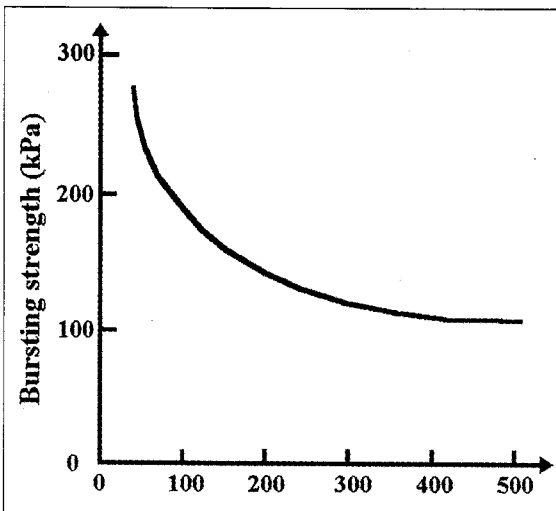


그림16. 시험편의 조임력이 파열강도 측정에 미치는 영향

하고, hydraulic system은 탈기 시스템이 포함되어야 한다. 그러나 가장 중요한 부분은 시험편이 조여지는 부분에 가해지는 힘과 시험편을 고정시켜주는 clamping 표면의 디자인이다. 그림 8에서 보는 바와 같이 시험편을 조여주는 힘이 너무 약할 경우 시험편의 파열가도가 지나치게 높게 나오는 문제가 야기될 수 있다.



그림17. 최신형 전자식 파열강도 시험기

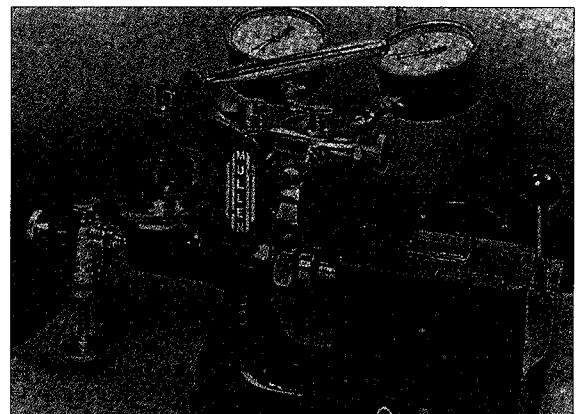


그림18. 구형 파열강도 시험기

시험 결과에 영향을 미치는 다른 중요한 성질은 파열 속도와 압력 센서의 동역학적인 성질이다. 그러나 최근에 생산되고 있는 대부분의 파열강도 시험기에는 전자 센서가 사용되기 때문에 동역학적인 성질은 더 이상 문제가 되지 않는다. 만약 전자 센서를 사용하는 최신 파열강도 시험기(그림 17)와 구형 파열강도 시험기(그림 18)를 비교할 경우, 구형 파열강도 시험기에 사용되는 마노미터의 역학적인 오버-스

잉 현상 때문에 구형 파열강도 시험기가 더 높은 값을 나타낸다. 이와 같이 마노미터가 잘못된 결과를 나타낼 경우 특히 강성이 높은 시험편을 측정할 때 압력의 상승이 매우 급속히 일어나기 때문에 더욱 큰 차이를 나타내게 된다.

## 2. 골판지 압축강도

### 2.1 평면 압축강도(Flat compression strength)

평면 압축강도는 골판지의 면에 대하여 수직 방향으로 작용하는 힘에 대하여 저항하고, 결국 골판상자의 최종 압축 강도에 영향을 크게 미치는 골판지의 능력을 나타내는 성질이다. die cutting 또는 인쇄시와 같은 가공을 하는 동안 골판지는 높은 평면 압축력을 받게되고, 골판상자 또한 골판지가 견뎌야 하는 평면 압축하중에 노출된다.

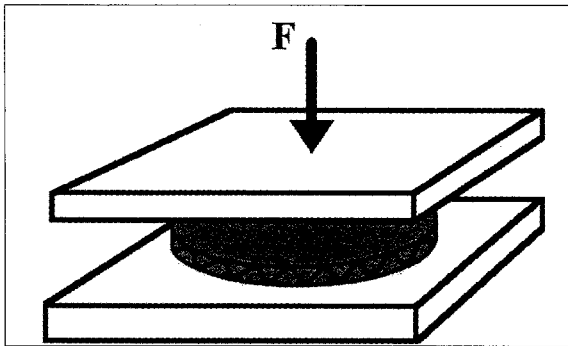
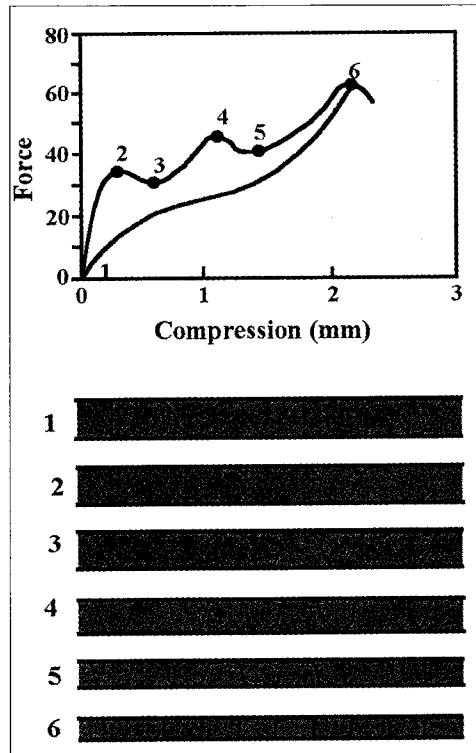


그림 19. Flat crush 시험 원리

Flat crush test(FCT, 그림 19)는 골판지 제조 효율을 평가하는데 사용되는 일반적인 평면 압축강도 시험 방법이다. 이 측정치는 골판지가 제조되는 동안 골심지의 골(flute)이 찌그러지거나 파손되었는지의 여부를 나타낸다. 그러나 포장의 압축에 그렇게 큰 충격을 주지는 않는다. flat crush는 표준법에 명시된 면적을 지니는 동심원상의 시험편을 취하여 시험편이 마끄러지지 않게 표면처리한 두 개의 평행한 판 사이에 놓고 압축력을 가하는 방법으로 측정된다. FCT 강도는 골의 압축강도와 매우 밀접한 관계를 지닌다. 그러나 골판지를 제조하는 동안 골의 압축강도가 다소 감소된다는 사실을 기억해야 한다. 이러한 감소 현상은 이론적으로 계산될 수 있는 강도보다 낮은 FCT가 얻어지는 원인으로 작용할 수 있다. 이러한 감소 정도는 골의 품질과 골판지 제조장치에 의하여 좌우된다.

FCT법은 많은 표준 시험법에서 채용되고 있으나, 모두 single wall 골판지로 측정하게 되어 있다. double wall과

triple wall 골판지를 시험하고자 할 경우에는 single wall 상태로 만들기 위하여 다른 부분들을 뜯어내야 한다. 또한 이들 결과의 해석이 간단하지도 않을 뿐만 아니라 double wall 또는 triple wall 골판지 실제 강도를 구하는 것도 사실상 어렵다.



번호가 적힌 곡선은 파손되지 않은 골판지의 압축하중-변형을 나타내며, 아래 곡선은 가공하는 동안 수직 방향으로 너무 높은 압력이 가해져 파손된 판지의 곡선을 나타낸 것이다

각기다른 하중에서 일어난 골판지 변형상태를 나타냄

그림 20. FCT의 하중-변형 곡선

최근에 사용되고 있는 시험법은 골이 붕괴되기 전에 골판지가 견딜 수 있는 최대 압축력을 측정하는 방법이다. 이것은 골판지의 두께가 원래 두께의 반 이하로 감소되고, 屈曲剛度(bending stiffness)가 급격히 감소되었을 때, 강도가 측정되었다는 것을 의미한다. 골판지의 flat crush 강도에 대한 정보들이 인장 에너지 및 하중-변형 곡선의 초기 기울기와 같이 보고될 경우 더욱 그 중요성이 커지게 될 것이다. 그림 20은 FCT의 전형적인 하중-변형 곡선을 나타낸 것이다.

핀랜드 펄프종이연구소에서 연구된 바에 의하면 비록 골판지가 원래 두께의 약 30%까지 미리 압축 처리를 받는다고 하여도 FCT가 변하지 않는다고 한다. 비록 판지를 다루는 동안 두께의 변형이 수반된다고 하더라도 그 중 일부는 원래의 두께를 회복되며, ECT(edgewise crush 값도

그 변화가 적다. 그러나 굴곡강도가 급격히 감소되어 결국 골판지 상자의 압축강도의 감소가 수반된다. 이러한 연구 결과는 골판지가 가공되는 동안 판지면에 대하여 수직 방향으로 압축력이 가해지는 것이 FCT법에 의하여 감지되지 않음을 나타내어 주었다. 단지 골판지가 매우 높은 압력에 노출되어 두께가 50% 이상 감소될 경우에는 FCT 강도의 감소가 관찰될 수 있다. 그러나 대부분의 경우 판지의 감소된 두께가 일부 회복되어 단지 10%의 두께 변화를 나타내며, 굴곡강도는 약 30%의 감소를 나타낸다(그림 21).

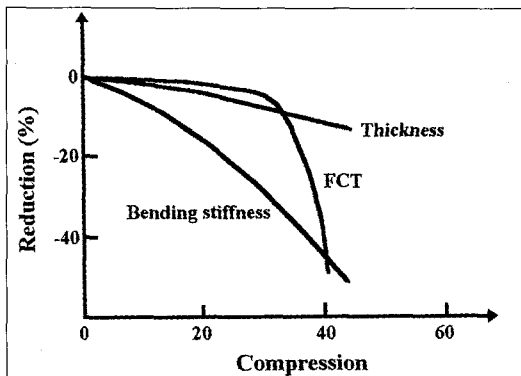


그림21. 압축력 증가에 따른 두께, FCT 및 굴곡 강도의 감소

이러한 결과로부터 우리는 다음과 같은 여러 결론을 얻을 수 있다. 즉 1) 현재 사용되고 있는 FCT법과는 다른 방법으로 압축력에 대한 골판지의 저항력을 측정할 수 있다. 2) 20 kPa의 압력하에서의 두께 측정은 골판지를 가공하는 동안 발생할 수 있는 두께의 감소가 일어나지 않는다. 3) 가공 공정이 어떤 심각한 품질의 손상을 가져오는 지를 파악할 수 있도록 주기적인 골판지의 굴곡강도의 측정이 이루어져야 한다. 이제 측정 장치에 있어서 큰 발전이 이루어져 과거에 FCT법이 표준법으로 채택될 당시보다 골판지의 성질을 더욱 평가하기 용이해졌다. 4) FCT법은 4점 굴곡강도의 측정으로 보완되어야 한다. 이와 같은 결과는 비록 FCT법이 판지의 평면 압축강도 측정을 위한 좋은 방법이라는 하나 두께의 현저한 감소에 의한 영향을 거의 받지 않는 점이다. 따라서 평면 압축강도 측정치로 판지의 굴곡강도와 상자의 압축강도를 예측하는 것은 불가능하다.

골판지 제조에 있어서 가장 중요한 작업의 하나는 골을 만드는 것이다. 이 작업을 평가하는 하나의 수단으로 FCT 강도의 측정이 사용될 수 있다. 최종적으로 생산된 single wall 골판지의 FCT 강도를 예측하기 위한 수단으

로 사용되는 유사한 방법은 단지 골에 대하여 시험이 이루어지는 골심지의 압축강도 시험법(corrugated medium test, CMT, 그림 22)이다. CMT 강도는 골심 재료의 가장 중요한 성질의 하나로 여겨지고 있다.

실험실에서 골을 제조하여 압축강도를 측정할 경우 골심지를 두 개의 평행한 판 사이에 놓고 압축강도를 측정하는데, 압력이 가해질 경우 라이너가 옆으로 눕는 경향이 있다. CMT의 가장 심각한 단점은 측정에 시간이 많이 소요되고, 만족스러운 결과를 얻기 위해서 매우 정확히 실험이 수행되어야 한다. 실험실용 골장치에의 경우 단지 A-flute만이 사용되기 때문에 다른 종류의 flute에 대하여 재계산이 요구된다. 그러나 이 방법은 골판지제조기(corrugator)의 넘에서 발생할 수 있는 약화 현상을 포함한 골심지의 평면 압축강도의 정도 및 그 서열을 제공해 줄 수 있다. SCT법의 경우 보다 순수한 라이너 및 골심지의 압축강도를 측정하는 것이 가능하기 때문에 최근에는 CMT법 대신 SCT법을 더 선호하고 있다. 만약 SCT 측정시 골심지의 머신 방향으로 측정될 경우 이것은 CMT의 하중이 가해지는 방향과 일치한다.

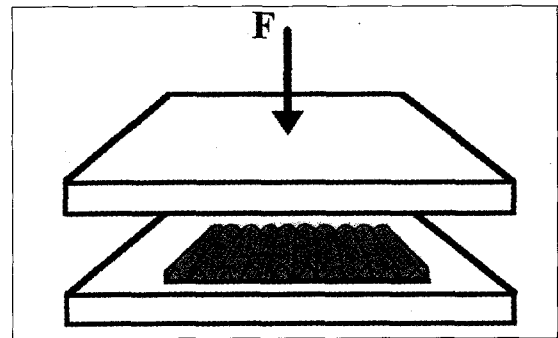


그림22. CMT 측정 방법

FCT와 CMT법은 만족스러운 결과를 얻기 위하여 이들 각 측정 방법에서 요구하는 특별한 요구를 만족시킬 수 있는 압축강도 측정장치가 사용되어야 한다. 압축을 가하는 동안 골이 파괴되지 않도록 하기 위해서는 압축강도 측정장치는 압축판이 측면으로 힘을 가하지 않도록 특별히 설계 제작되어야 한다. 다행히도 이를 만족시켜줄 수 있는 압축강도 측정기가 Lorentzen & Wettre사에서 개발 시판되고 있으며, 특별히 제작된 전자 센서가 내장되어 있어서 불균일한 하중이 가해질 경우에도 최적의 견고성을 제공해 준다.

## 2.2 수직 압축강도

(Edgewise compression strength, ECT)

골판지의 수직 압축강도는 시험편이 전혀 파손되지 않은 상태에서 견딜 수 있는 최대 압축력을 의미한다. 수직 압축강도의 측정은 시험편을 하부 평행판 위에 수직으로 놓고 상부의 평행한 판을 이용하여 일정한 하중 속도(보통 10-15 mm/min.)로 다른쪽 모서리에 하중을 가하는 방식으로 이루어진다. 최대 수직 압축강도는 일반적으로 단위 길이 당 힘(예를들면, kN/m)으로 표시된다.

수직 압축강도는 골판지의 가장 중요한 성질의 하나이며, McKee 방정식에 의하면 골판지의 ECT와 BCT(상자의 압축강도) 사이에 매우 밀접한 상관관계가 존재한다. 이들 상관관계에 대하여는 다른 많은 연구자들에 의해서도 확인되었다.

· 스웨덴 포장연구소에서 수행된 연구에서 11,000개 이상의 골판지 상자를 이용하여 실제 운송 시험이 실시되었다. 이 연구의 목적은 골판지의 어느 성질이 골판지 상자의 실제 성능과 가장 큰 상관관계를 나타내는가를 결정하기 위한 것이었으며, 연구 결과 ECT가 상자의 일반적인 성능 사이에 양호한 상관관계가 있음이 확인되었다.

골판지의 수직 압축강도는 1950년대에 측정되기 시작했다. 상자의 압축강도를 예측하는데 있어서 ECT가 매우 중요한 측정 방법임이 확인됨에 따라 급속히 표준화되어 동일한 성질을 측정하기 위하여 현재 5가지 다른 표준법이 사용되고 있다. 그러나 불행하게도 이들 방법들은 같은 값의 골판지의 압축강도를 제공해주지 못한다. 이들 각 표준법에 의한 측정치에 있어서의 차이는 30%까지 달할 수 있으며, 비록 각기 다른 방법에 의하여 다른 골판지에 대하여 대략 같은 서열을 매긴다 할지라도 만족스러운 결과를 얻을 수는 없다. 현재 우리는 이와 같은 서로 크게 다른 압축강도를 제공해주는 측정 방법을 사용하여 서로 다른 골판지의 품질을 분류하고 있다.

ECT법이 처음 도입되었을 때 시험편의 끝부분이 찌그러지는 문제가 확인되었다. 이러한 현상은 이 방법을 사용하여 골판지의 진정한 압축강도를 측정하는 것이 불가능하며, 시험편의 모서리가 평행하게 재단되었는지 또는 압축에 사용된 판이 평행한지를 알 수가 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 몇몇 주요 시험법에서 모서리의 강화, 클램핑 또는 모서리 표면에서 발생하는 힘의 집중을 감소시키는 방법을 도입하여 골판지 시험편의 모서리가 찌그러지

는 것을 방지하고 있다.

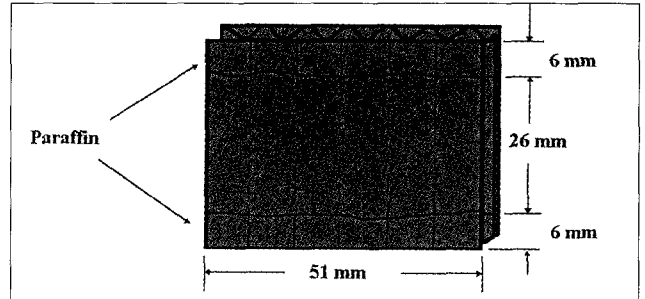


그림23. 수직 압축강도 측정용 시험편(TAPPI 표준법)

1) TAPPI 법

TAPPI 표준법 T-811 및 T-823에서는 그림 23과 같이 시험편의 끝을 용해시킨 파라핀 왁스에 담그어 강화시키는 방법을 사용하고 있다. 이 방법의 경우 골판지의 수직 압축강도가 15 kN/m에 달할때까지 모서리의 찌그러짐 문제가 발생되지 않았다. 이보다 높은 수직 압축강도를 지니는 판지의 경우, 더 이상 파라핀 왁스처리로 모서리의 찌그러짐을 막을 수 없다. 이 방법의 가장 큰 문제는 시험편의 전처리를 포함한 시험편 조제의 복잡성이다. 이 방법을 사용할 경우 높은 수직 압축강도의 골판지를 제외하고는 판지의 순수한 압축강도의 측정이 가능하며, 정확성과 재현성이 만족스럽다. 그러나 시험편의 조제가 복잡한 문제를 지니고 있다.

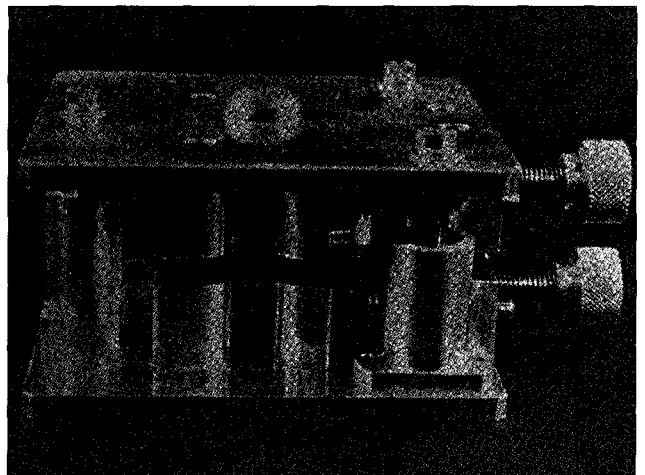


그림24. (J-clamp)

따라서 TAPPI 법을 대체하기 위하여 클램프에 시험편을 조이는 방법이 도입되었다. 이러한 목적을 위하여 다른 여러 가지 클램핑 장치가 사용되었으나, 시험편을 조이는 압력이 매우 중요하며, 골의 종류에 따라 조절되어야 한다.



J-clamp(그림 24)는 이러한 목적으로 개발된 클램프의 하나이다. 그러나 이 방법의 경우에도 치명적인 결함이 있다. 즉 이 클램프의 조절이 롤 베어링에 의하여 이루어지는데, 조심스럽게 다루지 못할 경우 심지어 지분에 의해서도 아주 큰 문제를 야기시킬 수 있다.

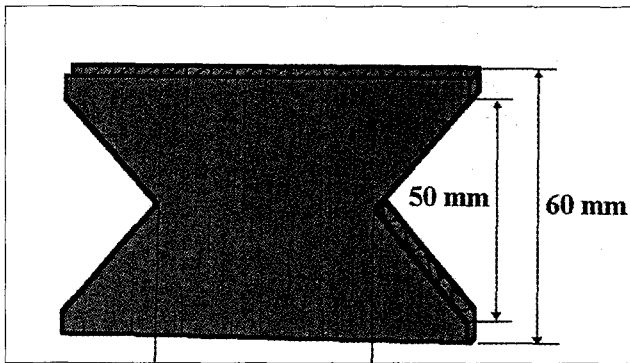


그림25. 수직 압축강도 측정용 시험편 (JIS-0401)

2) 일본 표준법(JIS Z-0401)

이 방법은 앞에서 언급된 바와 같이 시험편의 모서리가 찌그러지는 것을 방지하기 위하여 특별한 클램핑 장치 및 원리를 사용하였다. 이 방법의 다른 점은 허리가 뾰족하게 파인 시험편(그림 24)을 사용하는 것이다. 그러나 비교 연구에 의하면 이 방법을 사용할 경우, 수직 압축강도 측정치가 다른 방법에 의하여 얻어진 것보다 낮게 나왔다. 그 이유가 아직 밝혀지지 않았으나 허리가 뾰족하게 파였기 때문에 바람직하지 않은 응력의 집중을 초래하였기 때문인 것으로 생각된다. 결국 일본 표준법은 원래 의도했던 성질을 측정할 수 없을 뿐만 아니라 정확성도 떨어진다. 또한 시험편의 조제도 복잡하고, 클램프를 사용하는 다른 방법과 같은 결함을 지니고 있다.

3) 미국 임산물 연구소의 Neck-down법

1964년 미국 임산물 연구소의 John W. Koning Jr.이 TAPPI Journal에 골판지의 수직 압축강도를 측정하기 위한 원형의 neck-down법을 소개하였다. 이 방법은 그후 특히 정확한 수직 압축강도의 측정이 요구되는 미국 임산물 연구소의 여러 연구사업에서 성공적으로 사용되었다. 그럼에도 불구하고 이러한 시험편을 조제하기 위한 장치가 개발 시판되지 않아 그리 널리 전파되지 않았다. 따라서 스웨덴 포장연구소의 Lars-Erik Eriksson, 스웨덴 펄프종이연구소의 Christer Fellers의 도움으로 Lorentzen & Wettre

에서 원형 Neck-down 시험편을 정확하고 간단히 조제할 수 있는 장치를 개발하였다. Neck-down법은 전술한 방법에서 문제가 되었던 3가지 요소들을 모두 만족시킬 수 있었다. 즉, neck-down법을 사용함으로써 골판지의 순수한 압축강도의 측정이 가능하였고, 정확성 및 재현성이 입증되었을 뿐만 아니라 사용하기도 쉬웠다.

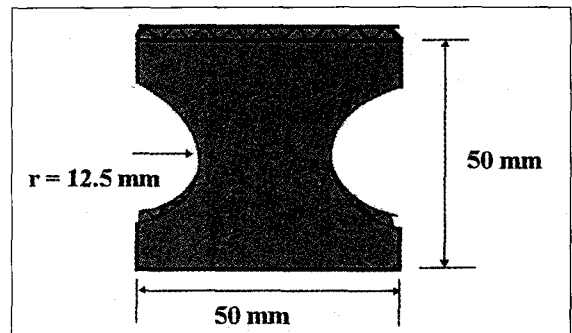


그림26. Neck-down 시험편 (FPL)

4) 기타 수직 압축강도 측정법

비록 시험편의 모서리가 찌그러지는 문제를 해결하고자 시도를 하지는 않았지만, 유럽에서는 수직 압축강도를 측정하기 위하여 FEFCO법(그림 27)이 널리 사용되고 있다. 그러나 이제는 시험 결과가 시험편의 모서리 면의 평행 여부에 의하여 크게 좌우된다는 사실이 잘 알려지게 되었다. 시험하는 동안 확인된 시험편의 약화 현상은 응력의 불균일한 분포 때문에 일어났음이 확인되었고, 그 결과 훨씬 낮은 값이 얻어질 뿐만 아니라 측정치가 부정확하였다. 따라서 시험편을 평행하게 정확히 조제하고, 압축력을 가하는 판이 충분히 평행할 경우 이 문제가 해결될 수 있을 것으로 기대하고, 여러 곳에서 시도하였으나 성공하지는 못했다.

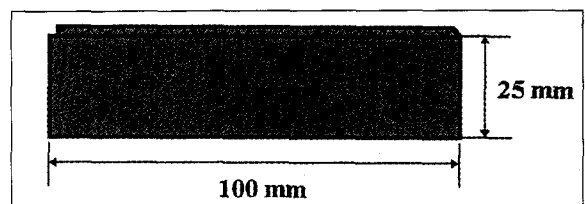


그림27. FEFCO의 ECT 측정용 시험편