



골판지원지를 알면 상품의 가치를 높일 수 있다①

충북대 산림과학부
교수 박종문

한국골판지포장공업협동조합과 한국목재공학회가 공동주관으로 2001년 11월 22일 한국무역투자진흥공사(KOTRA) 2층 대회의실에서 제2회 국제골판지포장기술 심포지엄 겸 제4회 2001년도 골판지포장공업 기술자 연수대회를 개최하였다. 이번 연수대회에서 발표한 내용들을 정리하여 관련 교육자료와 함께 연재하오니, 더 한층 발전하는 골판지포장업종이 될 수 있도록 업체에 종사하는 모든 분들의 많은 관심과 연구를 통한 기술력 향상에 많은 도움이 되었으면 합니다 (편집자 주).

SPEECH 0



차례

- ◆ 골판지의 이해
- ◆ 골판지 원지의 특징, 골판지의 중요성
- ◆ 골판지 원지의 중요특성
 - 접착성
 - 강도
 - 압축강도
 - 휨강도
- ◆ 섬유와 종이의 특성
- ◆ 골판지 원지 특성간의 상호관계



SPEECH 1

골판지원지를 알면 상품의 가치를 높일 수 있다

제2회 국제골판지 포장기술 심포지엄
제4회 2001년도골판지포장공업 기술자 연수대회

2001. 11. 22

충북대 산림과학부 박종문

SPEECH 2

골판지의 중요성

	Production million tonnes			Production % of virgin pulp produced			Production % of paper produced							
	Virgin Pulp	Recycled ¹⁾	Paper & Board	Mechanical ²⁾	Market ³⁾	Newsprint	Wood-Containing Printing ⁴⁾	Wood-Free Printing & Writing ⁵⁾	Wrapping & Packing	Corrugated Board ⁶⁾	Other Board ⁶⁾	Tissue	Other Papers	
USA	58.2	32.3	81.8	9.2	14.2	7.7	6.5	19.4	2.5	26.4	16.5	7.0	3.9	
Canada	24.28	4.4	16.4	46.0	26.7	48.9	16.9	8.8	2.7	14.8	5.4	2.8 ⁷⁾	-	
Sweden & Finland	19.5	2.1	19.5	34.4	24.2	18.5	24.0 ⁸⁾	17.1 ⁸⁾	7.1	14.0 ⁸⁾	18.1 ⁸⁾	4.1 ⁸⁾	-	
Germany	1.8	8.8	14.7	82.1	9.2	10.7	16.4 ⁸⁾	19.4 ⁸⁾	2.0 ⁸⁾	25.4 ⁸⁾	11.0 ⁸⁾	6.1	6.7	
Great Britain	0.6	4.3	6.2	86.0	-	16.6	4.0 ⁸⁾	24.3 ⁸⁾	2.4	27.3	11.1	9.5	5.6	
Japan	11.2	15.9	30.9	15.2	7.0	10.8	11.7	24.3	3.8	30.2	10.7	5.5	3.5	
China	19.0	9.2	28.0	5.7	2.0	3.8	-	17.0 ⁸⁾	6.5	28.8	14.7	8.8	22.7	

TABLE Types of pulp, paper and board produced by some of the principal world producers (1998 except for market pulp, see note 3). Overall world production of wood pulp in 1998 was 174 million tonnes, divided as: mechanical 30%, semi-chemical 3.9% and chemical 66.1%, of which sulfate 4%, unbleached sulfate 10%, bleached sulfate 42% (but fibre softwood), and 10% hardwood, dissolving pulp 1.5% (1999) (2, 3).

- 1) expressed as tonnes of wastepaper used for recycling.
- 2) mechanical pulp includes semi-chemical pulps for Finland.
- 3) that is, not used in integrated paper mills; data refers to 1999.
- 4) wood - groundwood but it means mechanical pulp today. Most magazine, newspaper supplements and many advertising grades are wood-containing.
- 5) that is, meatboard and corrugating medium.
- 6) that is, folding board, cartonboard, foodboard, gypsum (plaster/board, cupboard, etc).
- 7) includes other papers.
- 8) figures include some estimates because of different reported classifications.
- 9) all printing and writing grades except newspapers.



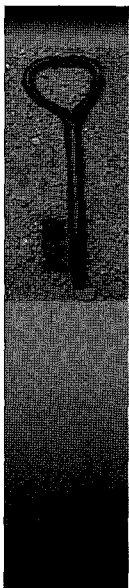
SPEECH 3



골판지의 이해 - 중요 특성

- ◆ 강도
- ◆ 평탄성(Flatness) < 6 mm (600 mm 거리)
- ◆ 함유율 (가공작업에 적합해야- 지나치게 건조하거나, 습윤 상태는 나쁨, 8% 이상)
- ◆ 평활성(인쇄공정과 외양상 중요-특히 경량 라이나지에서 중요)
- ◆ 치수안정성(최근 골게타는 폭, 길이, 패션*(creases) ±0.5 mm 허용됨. 절단상태가 직각이어야)
- ◆ 지분(판지표면 또는 절단면 잘못 - 인쇄문제)
- ◆ 골로라 마모(마모성 입자) - 후르트의 파괴, 낮은 FCT(flat crush test) 값, 찌부러진 후르트, 단조율 (take-up ratio) 증가됨, 골심지 소비 증가

SPEECH 4



골판지의 이해 - 패션

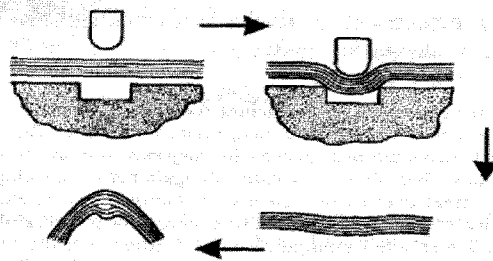


FIGURE . Forming a crease with folding boxboard.
(By courtesy of the editor of *Wochenblatt für Papierfabrikation*)

외층은 소성신장이 일어나고, 내층결합이 약하여 좌굴되어 접혀야 함.



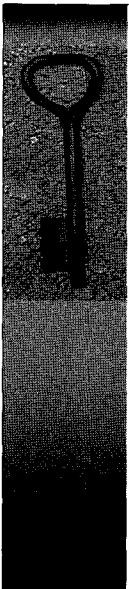
SPEECH 5



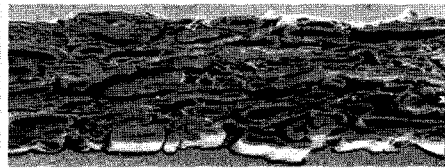
골판지의 이해 - 골판지 원지, 재료의 접착성 영향효과

- ◆ 최근 골게타 속도는 300 m/min 정도, 그러나 접착공정의 한계 때문에 그 이하 운전. 예전의 한계는 후루팅 공정 때문. 고평량 라이나지, 다층 골판지 제조시 접착공정이 더욱 문제됨.
- ◆ 결합강도 영향인자 : 골심지 특성, 기계운전 조건, 기계의 여러 부분의 온도, 접착제 품질 - 속도향상과 높은 결합강도는 이들 영향인자의 효율적 관리(balance)

SPEECH 6



종이는 3차원 재료



*매우 불균일한
물질

*두께방향으로의
특성 매우 중요



SPEECH 7

종이의 특성과 접착성

- ◆ 직접적 영향 - 기공성, 흡수성(water absorption power), 함유율과 그 분포
- ◆ 간접적 영향 - 종이특성의 균일성
- ◆ 접착제가 결합표면을 올바르게 적셔야
- ◆ 종이의 표면을 충분히 침투하되 너무 깊지 않게 해야
- ◆ 작업속도와 설비온도 간의 적합한 비율(proper ratio) 필요
- ◆ 함유율, 기공성, 종이표면의 흡수성이 잘 조화되고, 접착제의 점도, 젤화(gelling) 온도가 운전조건에 잘 맞아야
- ◆ 진입하는 원료가 동일하면 적합한 접착제 결합을 제공하는 온도범위와 접착제 조성을 찾기 쉽다.

SPEECH 8

골판지 원지의 압축강도

- ◆ 라이너지와 골심지의 압축강도 중요
- ◆ 평면내(in-plane) 압축강도는 판지의 중요한 특성
- ◆ 골판지에 있어서 라이너지와 골심지의 압축강도는 박스의 압축 강도를 좌우함. 박스의 압축강도는 edgewise compression strength가 절반이고 나머지는 휨강성(bending stiffness)이 발휘함
- ◆ 보통 압축강도는 인장강도의 1/3
- ◆ 압축과 인장강도의 차이는 심각한 휨(severe bending-buckling)이 있을 때 현저히 나타남
- ◆ 종이와 판지는 압축되는 면에서 먼저 항복(yield)이 일어남. 이것은 인장으로 인해 다른 축면이 파괴되는 것을 방지해 준다는 점에서 유리한 점도 있음
- ◆ 압축강도는 책과 잡지를 많이 접거나 판지에 꺾임(creasing)을 주는 등의 가공공정에서 중요



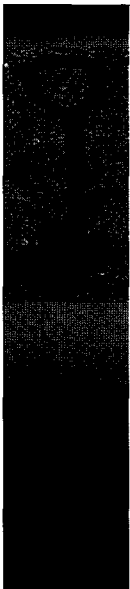
SPEECH 9



압축강도와 압축지수

- ◆ 압축강도(compressive strength)란 파괴없이 최대로 견딜 수 있는 압축력으로 정의됨
- ◆ 종이와 판지에서 압축강도는 보통 힘/폭(N/m)으로 표시. 이것은 평량에 의해 좌우되므로 물질의 특성이 아님. 그래서 압축강도를 평량으로 나누어 압축지수(Nm²/g)로 표시(물질의 특성이 됨)

SPEECH 10




압축강도의 측정

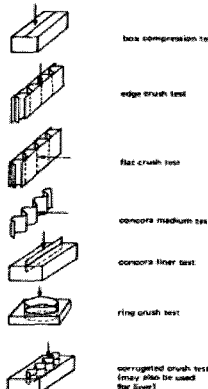
- ◆ 얇은 시료의 좌굴(buckling)을 방지하는 것이 중요. 압축강도보다 좌굴에 필요한 하중이 높도록 시료를 배치하기 위해, 시료의 형태를 조절, 배치를 하거나 또는 out-of-plane 변형을 방지하면서 측정



SPEECH 11




압축강도



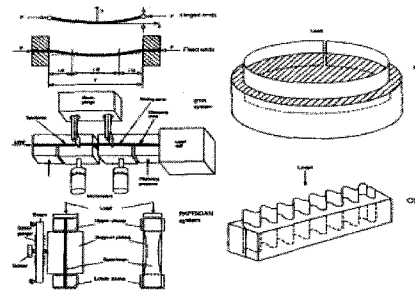
Figures - Various crush tests commonly applied to corrugating medium and linerboard.

- ◆ Edge crush test (ECT) : 수직 압축강도의 하나
- ◆ Flat crush test (FCT) : 평면 압축강도
- ◆ Pin adhesion test (PAT)

SPEECH 12



압축강도 측정방법



Figures - Compressive strength measurements¹⁵.

- ◆RCT(Ring Crush Test)
- ◆CCT(Corrugated Crush Test) : 골심지
- ◆SCT(Short Span Crush Test) : 0.7 mm
-가장 신뢰성 높음
- ◆좌굴 방식이 각기 다르므로 여러 가지 방법의 결과가 약간씩 다름

Fig. 4 -p204



SPEECH 13



압축강도와 탄성율의 상관 관계

- ◆ 탄성율로 압축강도를 대략적으로 추정 가능. 고해를 달리할 때 두 특성이 서로 직선적 관계를 가짐. 그러나 모든 범위에 적용되지 않으므로 주의해야 하고, MD, CD방향으로 각기 다른 상관관계를 가짐

SPEECH 14

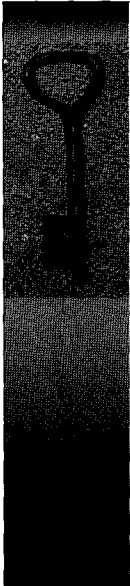


골판지 박스의 압축강도

- ◆ 골판지 박스 압축강도 F (McKee eq.)
 - $F = 2.028 ECT^{3/4} S_{b,geom}^{1/4} z^{1/2}$
 - $S_{b,geom} = \text{SQRT}(\text{힘강성 } S_{MD} \times \text{힘강성 } S_{CD})$
 - Z = 박스의 주변장(perimeter)
- ◆ 골판지 박스의 압축강도에서 압축강도의 $3/4$ 승, 힘강성의 $1/4$ 승이므로 압축강도가 중요



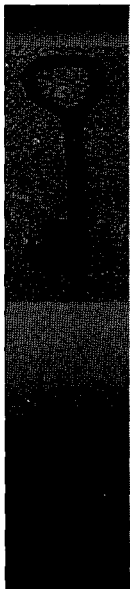
SPEECH 15



골판지의 압축강도

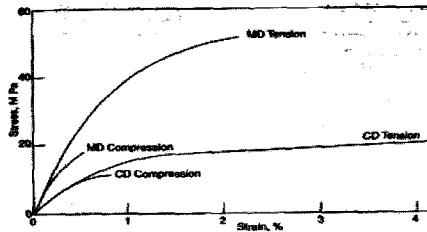
- ◆ 밀도가 높게, 두께가 얇게 생산하면 압축강도 향상. 그래도 골심지가 골판지의 두께를 형상적으로 유지해 주기 때문에 휨강성(bending stiffness)을 감소시키지 않음.
- ◆ 골판지 두께를 형상적으로 유지시킬 수 없고, 골게타에서 전분의 습윤흡수가 어려워 접착작업을 해주기 어렵게 되므로 골심지의 밀도를 너무 높일 수 없음

SPEECH 16



섬유네트워크의 압축

- ◆ 인장과 압축의 탄성율이 동일함
- ◆ 압축에서는 비선형 부분이 매우 짧음
- ◆ 인장강도에 비해 압축강도가 MD로는 약 1/3, CD로는 약 1/2
- ◆ 압축파괴변형율이 인장보다 MD로 1/4, CD로 1/5



판지의 인장, 압축의 응력-변형률 곡선

Figure 16. Stress-strain curve of a paperboard in tension and in compression



SPEECH 0 어떤 사람에게 우리가 보조금을 다 주고 또 그 사람이 규격에 대해서 연구를 하는 곳에서 골판지 상자를 연구하는 사람이 한 10년 동안 근무를 하고 또 연구를 해도 이 사람은 골판지 상자의 설계를 못합니다. 그 사람이 골판지 상자의 설계를 못하는 이유 중의 하나가 바로 골판지 원지를 모르기 때문입니다. 그래서 정말 골판지를 알려고 하면은 바로 가장 주요한 골판지 원지를 또 원지의 물성을 알아야 만이 여러분들이 골판지 상자에 대한 어떤 해안을 가질 수가 있다고 봅니다. 그런 점에서 이번 시간을 우리가 "골판지 원지를 알면 상품의 가치를 높일 수 있다" 라는 테마를 정했습니다. 이번 시간에는 충북대학교 임산공학과 박중문 교수님께서 강의를 해주시겠습니다.

SPEECH 1 감사합니다. 제가 한시간 동안 강의를 들었는데요. 오늘 방금 잘 소개해 주셨듯이 골판지 원지가 상당히 여러분들이 쓰실 때 중요한 여러 가지 특성들을 좌우할 것 같습니다. 거기에 대해서 오늘 말씀을 드리겠습니다.

SPEECH 2 강의의 차례는 일단 골판지의 예를 바탕으로 해두고 그 다음에 골판지 원지의 특성, 그 다음에 골판지의 중요성 이런 것들을 쪽 짚어보고요 그 다음에 좀 더 골판지 원지의 중요한 특성 쪽으로 접착성이라든지, 강도라든지, 이런 것들을 같이 생각을 해보겠습니다. 그 다음에 좀 더 깊이 들어가서 종이는 섬유로 만들어지는데 섬유의 특성과, 원료의 특성과, 종이 제품의 특성 등... 그리고 이러한 종이(골판지 원지)로 다시 또 여러분들은 골판지를 잘 만드시면 되니까 그런 응용적인 말씀을 좀 더 드리고 그 다음에 상호관계에 대해서 말씀을 드리겠습니다.

SPEECH 3 일단 골판지의 중요성은 여러분들이 다 잘 알고 계시는 부분이기 때문에 뭐 오래 얘기할 그러한 내용은 아니지만 여기에서 특별히 강조하고 싶은 것은 종지와 골판지가 거의 50:50이다 이렇게 보면 거의 될 정도 합해보면 한 52~53%가 골판지 및 판지 계통, 포장까지 다 합한다면 한 55% 정도가 되는 아주 중요한 산업을 여러분들이 담당을 해주고 계시는 것이 되겠습니다.

SPEECH 4 골판지의 이해를 먼저 좀 짚고 그 다음에 원지의 특성에 대하여 알아보겠습니다. 여러분들이 이 분야는 사실 저보다 더 전문가라고 저는 생각을 합니다. 그래서 골판지에서 강도가 상당히 중요하다라는 것을 우리들이 알고 있고, 그 다음에 평탄성이 매우 중요하다고 할 수 있습니다. 예를 들면 600mm정도의 길이 내에서 한 6mm 이내의 평탄성을 가져가야 하는 것이죠. 그리고 함수율이 매우



중요합니다. 골판지의 함수율이 중요한데 가공 작업에 적합해지지 지나치게 건조하거나 또 습윤하거나 축축하면 나쁘죠. 그래서 한 8%정도 약간 넘는 그런 정도의 함수율이 가공 작업에 적합한 것으로 알려져 있고요. 그 다음에 평활성에서 결국 여러분들이 골판지를 판매하시고 또 골판지 상자로 만들면 최종 소비자에게 갈 때 표면에 인쇄를 하게 되는데 굉장히 외형이, 겉모습이 매우 중요합니다. 그래서 평활한 면이 중요하게 되어있습니다. 특히 경량 라이나지에서는 이러한 평활성이 더 중요한 것으로 알려져 있습니다. 다음에 치수안정성이 매우 중요한 특성 중의 하나가 되겠습니다. 그래서 최근에 코루게 이터의 폭이라든지 길이라든지 이런 것들을 감안했을 때 최대한 치수안정성을 우리가 부여해 주어야만 합니다. 그래서 패션 같은 경우에는 $\pm 5\text{mm}$ 정도 허용되는 그러한 상태가 되겠고, 절단될 때에는 직각으로 우리가 치수안정성을 확보해 주어야 되겠습니다. 그 다음에 지분이 중요한데, 판지 표면이나 또는 절단면이 잘못되어 있으면 나중에 이러한 지분 즉 먼지들이 인쇄를 할 때 잉크와 자꾸 묻고 또 끈적끈적한 잉크에 달라붙어서 블랭킷(blanket)에 묻는다든지 그것이 떨어져 나가면서 인쇄에 문제가 되겠습니다. 그 다음에 골로라의 마모가 매우 중요한 것으로 제가 알고 있습니다. 골판지 원지내에 마모성 입자들이 있다면 상당히 문제가 심각해지겠죠. 그래서 여러분 입장에서 이러한 특성들이 매우 좋은 그러한 원지들을 원하고 계십니다. 그래서 그러한 마모가 생긴다든지 했을 때는 골(flute)이 파괴가 되고 그 다음에 FCT값이 강도가 떨어지고 그 다음에 flute의 형태가 찌부라지고 그 다음에 단조율이 증가 되고 그 다음에 소비가 증가되는 이러한 비효율적인 현상이 나타나게 되겠습니다.

SPEECH 5 그래서 방금 전에 별표 해두었던 패션에 대해서 한번 말씀을 드리면, 여러분들이 작업을 하실 때 패션을 많이 만드시는데 그런 것이 어떻게 종이 즉 원지의 특성과 어떻게 관계가 있는냐 그것을 조금 일단 한번 깊이 있게 말씀을 드리면, 아 그래서 종이의 특성이, 즉 원지의 특성이 중요하구나 이런 것을 한번 같이 느껴보도록 하겠습니다. 그래서 밑에 인제 골판지를 기계로 눌러서 홈에다 넣고 패션을 만들어 주어야 하는데 그럴 경우에 우리가 필요한 사항은 뭐냐면, 외층 즉 종이의 바깥 층은 소성신장이 일어나야 되고 그러니까 죽어난다는 거죠 소성신장이라 하면 제가 조금 어려운 말을 사용했는데 모르겠는데 탄성신장과 소성신장 두 가지로 볼 수 있습니다. 탄성은 용수철을 잡아당겼다가 다시 놓으면 원래의 형태로 돌아가죠? 완전하게 100%... 용수철은... 뭐 지나치게 잡아당기지 않으면... 그런 것을 탄성이라 하고 소성은 잡아당겼다가 놓으면 원래의 형태로 돌아가지 않죠. 그래서 여러분들이 식사 하셨으니깐 애인하고 데이트 할 때 반갑다고 너무 껴안아 버리면, 소성 변형이 일어나면 다시 원래의 형태로 돌아가지 않으니깐 안되죠. 그러니까 끌어 안으시더라도 여러분들은 좀 적절한 한



계 응력내에서 끌어 안으셔야지 한계 응력을 지나쳐 버리면 영구히 변형이 존재하게 됩니다. 그래서 탄성과 소성의 차이는 어떤 외부의 힘을 주었을 때 변형이 되었다가 외부의 힘을 제거하면, 100% 원래의 형태로 돌아가면 탄성이고 그 다음에 영구적인 변형이 일어나면, 절대 그러면 안됩니다. 아무리 애인이 반갑다고 너무 지나치게 힘을 주면 안돼요 그래서 그러할 때 생기는 것을 우리가 소성이라 생각할 수 있겠죠 그렇게 지나친 힘을 주면 그런 신장이 일어나야 합니다. 여기서 탄성이 일어나면 오히려 안돼요 여기서 약간의 영구적인 변형이 일어나야 패션이 잘 만들어진다는 말씀이죠 그 다음에 종이내의 내층결합, 즉 층과 층 사이의 층간 결합인 내층결합이 약해져야만 됩니다. 만약에 이것이 약해지지 않으면 부러지지 않거나, 또는 형태가 우리가 원하는 않는, 그런 정도밖에 만들 수가 없다는 얘기고 그래서 내층결합이 좀 약해져야 되고 또 좌굴되어야 한다는 거죠 좌굴이라는 말은 별다른 말은 아니고 확 휘는 거예요 확 휘는거... 여러분들 골판지 상자 놓고 위에서 힘을 확 눌러서 뺏으면 이렇게 휘죠 이것이 바로 좌굴입니다. 그래서 그러한 현상들이 우리가 원하는 만큼 일어나야 된다는 얘기고 그래서 그러한 원지내의 이러한 특성들이 되어야만 패션을 잘 만들 수 있다는 겁니다. 그냥 패션은 그냥 무조건 하는 것도 아니고 또 여러분들 다 기술적으로 다 노력을 하시지만, 안되는 경우가 있겠죠 아 그럴 때는 외층에서 소성신장이 잘 일어나느냐 그 다음에 내층결합이 충분히 우리가 원하는 정도 너무 약하면 안되겠지만, 우리가 원하는 정도의 약한 특성을 갖고 있느냐 그런 것을 한번 점검해 볼 필요가 있습니다.

SPEECH 6 골판지의 이해 측면에서 골판지 원지와 그 재료의 접착성, 영향효과, 인자들..., 이런 것들을 좀 살펴보도록 하겠습니다. 최근의 코루게이터 속도는 분당 300m 정도로 많이 상승되었죠 그런데 한계는 어디에서 일어나느냐면 항상 접착공정에서 그 한계가 있다. 이런 얘기입니다. 그래서 예전에는 fluting 공정, 즉 파형을 만드는 그쪽에서 한계가 있었지만 요즘에는 이쪽에는 상당히 기계적으로 발전이 되었고, 최근에는 접착공정 때문에 이런 현상들이 일어난다고 할 수 있습니다. 앞으로도 이 속도가 더욱 늘어난다면 그 fluting 공정보다는 접착공정의 한계성 때문에 나오는 것인데, 그러한 문제는 어디에서 나타날 수 있느냐, 고평량 라이나지나 이러한 다층 골판지를 제조할 때 접착공정은 점점 더 어려워질 수가 있겠습니다. 그래서 그럴 때는 골판지 원지에서 이러한 중요한 특성들을 잘 만들어 주어야 되겠죠 그래서 여기 오신 분 중에 원지를 제조하시는 분들도 많이 오신 것 같아요 그래서 그 분들도 나름대로 그쪽으로 어떻게 하면 골판지 원지쪽을 이러한 특성들을 잘 해서 여러분들이 가공을 잘 할 수 있을까 하는 쪽으로 많이 연구를 하고 있는 것으로 알고 있습니다. 그렇지만 조금 더 우리가 깊이



오늘 여러 가지 세부적인 것들을 좀 살펴보면 어떤 것이 영향을 더 미치는지 또 어떻게 영향 하는지를 같이 좀 보도록 하겠습니다. 그래서 결합강도, 즉 원지의 결합강도에 영향인자는 골섬지의 특성 골섬지가 과연 어느 정도의 특성을 갖고 있느냐, 그 다음에 기계 운전 조건, 그 다음에 기계에 온도, 그 다음에 접착제 품질, 이러한 것들이 상당히 중요한 결합강도를 좌우하는 인자가 되겠습니다. 그래서 속도 향상과 그 결합 강도를 높일 수 있도록 이러한 인자들을 효율적으로 관리를 잘 해야겠습니다. 그래서 여러분들이 코루게이터에서 작업하실 때에 여러분들이 좌우할 수 있는 특성이 있고 영향인자가 있고 또 여러분들이 하지 못하는 것은 원료를 제공해 주시는 분들에게 요구도 하고, 또 분석도 같이 하고 이렇게 해서 효율적으로 서로 win-win이라는 그런 얘기도 있지만 그런 식으로 관리가 잘 되어야 할 것 같습니다.

SPEECH 7 자 지금부터는 골판지의 특성에 대해서 전반적으로 이러한 특성이 있고, 원지와와의 관계에는 이런 것들이 상당히 중요한 특성들이 있겠다 하는 것을 꼭 살펴봤고요. 이제는 조금 더 고차적으로 한번 들어가 보시죠. 지금부터는 그래서 종이는 여러분들이 언뜻 보기에는 2차원 물질인 것 같죠. 평면을 가진 그냥 2차원 물질인 것 같지만, 자세히 보면 3차원의 형태를 가지고 있습니다. 그래서 자세히 보시면, 위에서 보시면 이 왼쪽 그림과 같이 보이고, 그것을 칼로 딱 잘라서 단면을 보면 오른쪽 그림과 같이 되겠습니다. 그래서 매우 불균일한 물질이라는 것이죠. 언뜻 보기에는 굉장히 균일한 것처럼 보이지만, 실제로 보면 굉장히 불균일한 물질이라는 것이 되겠습니다. 또한 예전에는 2D, 즉 평면으로만 우리가 생각했을 때 보다 두께의 종이의 특성을 여러분들이 더 이해를 하시면 여러분들의 패선작업 또는 접착작업 모든 것들이 더 새로운 지평이 보일 것입니다. 저는 이렇게 강조를 하고 싶습니다. 2D가 아니라 3D라는 마음으로 여러분들이 항상 종이를 볼 때마다, 아 이건 평면이 아니야. 아 이건 3D야. 아 이건 두께방향으로 어떤 특성을 가졌을까? 이러한 마음으로 접근을 하시면 경쟁사보다 더 유리한 기술력을 가질 수 있을 것이라고 생각을 합니다. 특히 이 중에서 넘어가기 전에 이쪽 오른쪽 그림을 보면 섬유 하나가 다 찢부라졌죠? 이렇게 찢부라졌죠? 줌. 원래는 실린더 형태로 이렇게 파이프 형식으로 되어 있는데 그것이 눌리면서 이렇게 됩니다. 그래서 많이 눌러서 많이 찢부라질수록 더 강한 종이 나옵니다. 왜 우리 보통의 경우, 종이의 경우 그래서 나중에는 그 섬유가 어떻게 잘 찢부라져야 하느냐 잘 찢부라지면 결합을 잘 하죠 쉽게 얘기해서 결합 얘기를 그림이 나왔으니깐 한 말씀 좀 하고 넘어가죠. 뭐냐면 이 실린더 형태와 실린더 형태의 섬유가 둘이 만났다고 보죠. 찢부라지질 않고 그림 만난 지점의 면적이라든지 이런 것들은 매우 적습니다. 거의 점에 불과하죠. 그런데 이 매직펜이 완전



히 확 찌부라졌어요 이쪽도 확 찌부라졌고 그래서 확 찌부라진 상태에서 만나면 그 면적이 굉장히 넓
 겠죠 결합된 면적이 그럼 강도가 올라가는 겁니다. 그래야 종이의 강도가 올라가는 거죠 그래서 예를
 들면 신문용지같은 경우는 재생섬유를 썼죠 우리가 자꾸 재생하면은 유연해지지가 않죠 딱딱해 지죠
 푹푹 부러지죠 저도 한 나이가 인제 40조금 넘어서 이렇게 팔 굽혀 펴기를 하면 유연성이 떨어져 가
 지고 부러질랑 말랑 해요. 막 그런데 여러분들은 젊으시기 때문에 막 이렇게 유연성이 훨씬 좋을 것
 같습니다. 그래서 재생섬유는 딱 부러진다 딱딱 부러진다는 얘기는 이 찌부라지질 않는다는 얘기에요.
 또 결합 면적이 좁아진다는 얘기고 강도가 약하다는 얘기도 신문용지같이 재생섬유로 만들면 강도가
 굉장히 떨어진다 뜻이고, 우리가 라이나지라든지 이런 강한 종이는 단면을 딱 잘라보면 저렇게 찌부
 러진 형태로 결합면적이 굉장히 높아져 있어요. 그래서 강도가 무진장 올라가죠 그런 것을 잠깐 말씀
 을 드리고 넘어가겠습니다.

SPEECH 8 그래서 이제 종이의 특성과 접착성, 아까도 말씀 드렸지만, 코루게이터의 스피드가 속도
 가 점점 빨라짐으로써 한계를 느끼는 부분은 이 접착작업이라는 그런 얘기가 많은데, 접착성과 종이의
 특성을 한번 살펴보죠. 그래서 접착성이 직접적인 영향을 미치는 것은 기공성, 종이의 표면에 얼마나
 구멍이 숭숭 숭숭 뚫려 있느냐? 방금 전에 봤죠? 그림의 표면에 구멍이 어느 정도 뚫려 있어야 접착제
 가 침투를 하게 되고, 효율적인 작업이 될 수가 있습니다. 그 다음에 흡수성인데 종이의 흡수율의 분포
 들, 이러한 것들이 직접적인 영향을 미치는데 간접적인 영향은 종이의 특성이 얼마나 균일하게 잘 되
 어 있느냐? 이런 것들이 상당히 간접적인 영향을 미치겠습니다. 그 다음에 접착제가 접착표면을 올바
 로 적셔주어야 되겠다. 예를 들면 골정에 효율적인 접착이 되어야 조금만 사용하더라도 접착력이 강해
 지는 그런 게 되겠죠? 그러한 것들이 전부 종이의 특성과 상당히 밀접한 관계가 되겠습니다. 그 다음
 에 종이의 표면을 충분히 침투를 시켜주어서 해주되, 너무 깊게 침투되어서는 또 안됩니다. 왜냐하면
 표면에 어느 정도 남아 있어야 되거든요. 상당히 기술적인 얘기지만, 그렇지만 표면으로는 충분히 침투
 가 되어야 합니다. 왜냐, 꼭 닦을 내린 것처럼 탁 그 종이에 묻고 있어야 되겠죠. 그러한 특성을 위해
 서 표면에서 충분히 침투는 하지만 너무 많이 침투가 되어서 표면에 너무 적게 남는 것은 또 문제가
 되겠습니다. 그 다음에 작업속도와 설비온도 이러한 것들이 적절한 비율로 잘 맞춰져서 속도에 따른
 변화를 우리가 충분히 온도로 조절을 잘 해줘야 적합한 그러한 접착이 되겠습니다. 다음에 흡수율, 기
 공성, 종이표면의 흡수성 이러한 것들이 잘 조화가 되고 접착제 점도라든지 겔화, 젤화 온도가 운동 조
 건에 잘 맞아 떨어져야 되겠습니다. 그 다음에 지급하는 원료가 일단 동일하다면 적합한 접착제 결합



을 제공하는 온도 범위와 접착제 조정을 찾기가 쉬운데 저도 옛날에 제지회사에서 5~6년 근무했거든요 그런데 이제 보면 똑같은 제품을 365일만 만들면 작업자들은 좋죠? 그죠? 그런데 그렇지 않잖아요 항상 라이나지나 골심지의 평량이라든지 지중이라든지 뭐 매번 바뀌잖아요 맨날 뭐 와인더에 갔다 뺐다가 또 다시 넣어야 되고 그런데 지난번에 가보니까 그 고생을 또 더 많이 하시는 것 같아요 제지회사보다 사실은. 왜냐하면 그 평량이라든지 지중이 너무 많아 가지고 그런 고생을 많이 하시는데, 요즘에 골판지포장 조합에서도 많이 노력하시는 게 이제 그런 것들을 어떻게 하면 표준화하고 재고를 줄이고 이런 쪽으로도 많이 연구를 하시더라고요. 그래서 여러 조합원들의 더 좋은 생산성을 위해서 그런 것들을 같이 노력을 했으면 좋겠어요 그런데 사실상 맨날 똑같은 것만 할 순 없고 우리나라 현실상 약간 그런 애로사항은 있습니다.

SPEECH 9 압축강도 측면에서 한번 살펴보겠습니다. 여러분들이 다 아시다시피 옛날에는 파열강도 이런 것들을 중시 여겼었지만 이제 최근 들어서는 아 그게 아니다 압축강도가 더 중요하다. 이러한 얘기를 상당히 많이 하게 되는데, 그 원지의 압축강도를 한번 살펴보죠 그 라이나지와 골심지의 압축강도가 매우 중요한 특성이 되겠습니다. 그래서 평면내에 압축강도가 골판지의 중요한 특성이 되었는데, 평면내라는 말은 뭐 어려운 말은 아니고, 라이나지나 골심지라면 이 면이 바로 평면이죠 이 면이... 그래서 이 면으로 압축을 시켰을 때에 저항이 어떻게 되느냐 그것이 바로 압축응력 여기서 얘기하는 평면내 압축강도가 되겠습니다. 그 다음에 골판지에 있어서 라이나지와 골심지의 압축강도는 당연히 그것을 원료로 해서 만든 골판지상자의 압축강도를 좌우하게 되겠죠 그래서 골판지 상자의 압축강도는 골판지 원지의 edgewise compression strength 그 강도가 절반 정도를 좌우하고 나머지는 그 휨강성(bending stiffness), 얼마나 뻣뻣하냐 스티프니스(stiffness), 얼마나 뻣뻣하냐 이것이 절반 정도를 차지한다고 이렇게 알려져 있습니다. 그 다음에 압축강도는 인장강도의 한 1/3이다. 이거는요 말씀을 하나 드리면 인장강도라는 건 뭐 별거 아니에요 종이 있으면 양쪽에서 잡고 잡아당기면 얼마만큼 견디느냐. 그것이 예를 들면 100이라면, 이렇게 압축했을 때 견디는 정도는 1/3정도밖에 안된다는 뜻이죠 그래서 잡아당길 때에 더 강도가 더 높죠 그래서 1/3정도입니다. 조금 있다가 그래프가 나오는데 거기서 과연 1/3이 되는지 조금 있다 한번 확인을 해보죠 그 다음에 압축강도와 인장강도의 차이점은 심하게 휘면 그러한 차이점이 많이 나게 됩니다. 무슨 얘기냐면, 휨이라는 건 아까도 얘기했지만 buckling(버클링)이라는 얘기를 하는데 이러한 물질이 있으면 위와 아래에서 압축을 해주면 이렇게 휘죠? 그렇죠? 이렇게 휘죠? 이게 좌굴, 즉 buckling(버클링)이에요. 이게.. 그러니까 어떤 물체가 이런



게 있으면 압축을 주었을 때 여러분들이 원하는 것은 뽐뽐하게 그냥 찰는 거예요? 그죠? 그러면 압축 강도가 되게 세지 않아요? 그죠? 그걸 원하지만 이 단면의 크기와 길이의 비율 이것에 의해서 예를 들 면 길이가 비교적 단면에 비해서 짧으면 이때는 압축만 일어나는데 압축만 일어나는데 이렇게 길어지면, 이 비율, 레이셔가 길어지면 좌굴이 된다는 얘기죠 이렇게 환다는 얘기죠 당연하죠? 그죠? 이런 것을 바로 buckling 또는 휨이란 얘기를 합니다. 그래서 저런 휨 현상이 일어나면 압축강도와 인장강 도에 차이가 커지게 되겠습니다. 그래서 그것들을 안 일어나게 원지를 만들 때 만들어 줄 수 있다면 그러면 동일한 평량에서 상자의 압축강도를 무진장 올려 줄 수 있다 이런 얘기죠 그래서 그런 쪽으로 우리가 연구를 할 수 있겠습니다. 그 다음 종지와 판지는 압축되는 면에서 먼저 항복이 일어나는데, 그 러니깐 인제 막 눌러주거나 잡아당기니깐 그 부분에서 먼저 변형이 일어난다는 뜻입니다. 변형, 즉 찌~익 늘어난다는 뜻이죠? 또는 줄어들든지 그런 변형이 항복이 일어나고 이것은 인장으로 인해서 다 른 측면이 파괴되는 것을 방지해준다는 점에서 오히려 항복이 유리할 때가 있습니다. 이것은 무슨 얘 기냐면, 어느 물체가 있을 때 라이나지를 한번 생각을 해봤을 때 그것이 외부에서 어떤 힘을 가해 줬 을 때 적절하게 약간 변형이 되면서 밖에서 준 힘을, 에너지를 흡수를 해 버리면서 약간 변형이 일어 나면 완전히 파괴가 되기 전에 에너지를 충분히 소화해 낼 수 있다는 얘기죠? 그런 것은 오히려 필요 한 항복이 될 수가 있습니다. 그런 것들을 잘 우리가 유도를 해주고 조절을 해 줘야 되겠죠? 다음에 압축강도는 책과 잡지를 많이 접거나 판지에 패션(creasing)을 긁는 등에 가공공정에서 상당히 중요하 게 영향하는 그런 강도가 되겠습니다.

SPEECH 10 압축강도, 압축지수 즉 압축강도를 평량으로 나누어서 동일한 평량일때 어느 정도의 압 축강도를 갖느냐를 계산해 준 것이 압축지수가 되겠습니다. 압축강도는 얼마나 압축 힘을 견딜 수 있느냐의 정도인데, 그것을 지수로 표현하는 이유는 평량이 다를 때마다 다 다르니깐 분모에 평량으로 나눠줘 버리면, 전부다 평량으로 나눠주면 동일한 평량 조건하에서 압축강도가 얼마냐를 생각할 수 있 겠죠? 그래서 그런 것을 우리가 압축지수라고 얘기를 하게 되겠습니다. 그래서 압축강도란 파괴없이 최대로 견딜 수 있는 압축용어로 정의가 되고요. 종지와 판지에서 압축강도는 보통 힘을 폭으로 나누 어서 N/m(힘/폭)로 표시하게 되겠습니다. 그래서 이러한 특성은 평량에 의해서 좌우가 되니깐 물질 자 체의 특성은 아니죠? 그래서 평량으로 나누어서 Nm^2/g 으로 표시함으로써 물질의 특성이 됩니다. 인제 평량의 영향을 더 이상 안 받죠 분모를 다 똑같이 나누어져 버렸으니깐 평량으로...



SPEECH 11 압축강도를 측정하는 방법은 얇은 시료에 좌굴(buckling), 이런 것들을 방지해야 순수한 압축강도가 나옵니다. 이것은 좌굴강도라고 얘길 하죠. 좌굴강도, 그래서 좌굴이 일어나지 않게 방지해주면서 측정하면 압축강도 순수한 압축강도만을 측정할 수 있겠습니다. 그래서 압축강도보다 좌굴에 필요한 하중이 높도록 시료를 잘 배치하기 위해서 형태를 조절해주고 배치해주고 그 다음에 평면 밖으로의 변형을 방지하면서 측정을 하게 되면 압축강도를 잘 측정할 수가 있습니다. 그런데 얇은 물질이기 때문에, 라이나지나 골삼지나 얇은 물질이기 때문에 순수한 의미의 압축강도를 측정하기는 사실은 어렵다고 생각할 수도 있는데 그러한 것들을 방지하기 위한 이런 여러가지 노력들로 그런 기계들이 있습니다.

SPEECH 12 예를 들면 압축강도에 뭐 여러가지가 있는데 이러한 그림들은 여러분들이 많이 보셨을 겁니다. 그 다음에 책자에도 나왔을 텐데 그림이 조금 작거나 그러면 저한테 좀 이메일 주소를 주시면 확대된 그림을 보내드리도록 하겠습니다. 그림을 여러가지를 넣다 보니까 좀 작아진 게 있는데... 맨 위에 BCT(box compression test) 뭐... 상자압축강도를 측정하는 게 되겠고, 두 번째 그림이 ECT(edge crush test), 그 다음 세 번째 FCT(flat crush test) 뭐... 여러가지 CMT(concora medium test)와 CLT(concora liner test) 이런 여러가지가 있겠죠. 맨 밑에서 두 번째 같은 건 RCT(ring crush test) 이런 것들이 있고요. 그래서 ECT를 수직압축강도의 하나로 상당히 중요한 특성이 되겠고 평면 압축강도로 FCT를 측정하고 그 다음에 접착강도를 측정하기 위해서 PAT(pin adhesive test) 측정 같은 것도 하고 이런 것들을 많이 볼 수 있죠?

SPEECH 13 그래서 압축강도를 측정하는 그런 기계들을 보면 오른쪽 맨 위에 보면 RCT로 골삼지나 라이나지 같은 것을 만들어서 홈에다 끼워놓고 위에서 누르면서 측정하는 그러한 방법이 되고 그 다음에 여기에서 SCT(short-span crush test)방법이 가장 신뢰성이 좋다고 알려져 있습니다. SCT라는 것은 스펠을 짧게 해 가지고 더 이상 바깥으로 변형이 안 일어나게끔 측정을 하는 게 되겠죠. 그래서 좌굴방지를 잘 해주면 그런 압축 강도가 순수한 압축 강도가 나오게 되겠습니다. 그래서 좌굴방지가 약간씩 달라지면 그 방법에 따라서 결과가 약간씩 다른 그러한 압축강도의 값을 갖습니다.

SPEECH 14 자 그러면 압축강도와 탄성률의 이야기를 좀 드리겠습니다. 탄성률하면 조금 어렵게 여러분들이 생각하실 수도 있겠지만 아주 쉬운 방법으로 스프링이 있다고 생각하세요. 옛날 볼펜을 보면



스프링 있죠. 얇은 스프링 그러한 것들은 조금만 힘을 주어도 확 들어갔다가 조금만 잡아 당겨도 확 늘어났다 이렇게 하겠죠? 그렇지만 여러분들 자동차와 같이 중장비나 이런데 쓰는 코일 그것도 하나의 스프링이잖아요. 그런 것들을 누르면 무진장 눌러도 안 눌러 지겠죠. 잘... 그렇지만 힘을 무진장 받아도 조금 밖에 변형이 안되겠죠? 그러니깐 얼마나 힘을 많이 주었을 때 얼마나 잘 변형이 되느냐 그 정도가 바로 탄성률이죠. 그래서 탄성률이면 탄성률이 굉장히 높다라는 말은 중장비에 사용하는 용수철이라고 생각하면 되고, 그 다음에 탄성률이 낮다 그러면 볼펜과 같이 약한데 쓰는 용수철 같이 쉽게 탄성이 좋은 이러한 것들은 탄성률이 아주 낮은 그러한 것들이 되겠죠. 그래서 탄성률이 낮은 그러한 볼펜에 쓰는 용수철같은 경우는 조금만 힘을 주어도 많이 늘어나고 많이 줄어들고 이러한 쉽게 변형이 되는 것이 탄성률이 낮은 것이고 그 다음에 중장비라든지 이런 것으로 쓸 때 용수철 그런 큰 것을 쓰는 것은 탄성률이 높다는 얘기죠. 아 그런데 왜 갑자기 탄성률을 얘기합니까. 그것은 이제 좀 원지와의 관계를 한번 생각을 해보시죠. 탄성률로 압축강도를 대략적으로 추정을 할 수가 있습니다. 압축강도를. 여러분들이 미리 압축강도를 예측할 수 있으면 되게 좋겠죠? 그래서 그런 것들을 탄성률로 추정을 할 수 있는데, 탄성률은 또 되게 쉽게 측정할 수가 있어요. 어떻게 측정할 수 있느냐 여기서 물질이 있으면 물질이 있으면 이쪽에서 탕 때리고 이쪽에 가서 얼마나 빨리 그 소리가 오느냐 그 속도를 측정해보면 탄성률을 쉽게 알 수 있습니다. 비파괴적으로 그래서 탄성률을 상당히 쉽게 우리가 측정할 수가 있는 건데 압축강도를 추정하는 그러한 성질로 탄성률을 사용할 수가 있다. 그 다음에 고해를 달리 할 때 두 특성이 서로 직선적인 관계를 가집니다. 즉 고해를 달리 해주면 이러한 탄성률과 압축강도의 관계가 서로 직선적으로 변한다는 얘기죠. 그렇지만 극단적인 범위 외에서는 적용이 되지 않기 때문에 그런 것들은 주의하고 사용을 해야 합니다. 그 다음에 세로방향(기계방향, MD), 가로방향(CD방향)으로 탄성률과 압축강도의 관련성은 각기 다른 그러한 관계를 갖겠습니다.

SPEECH 15 골판지상자의 압축강도 이걸 여러분들이 더 잘 알죠? 골판지 상자 압축강도를 F라고 얘기했을 때, 그 ECT값이라든지 그 다음에 S값, 그 다음에 휨강성을 S값이라고 표시를 했는데 이러한 것들을 전부 주변장 이런 것들을 가지고 계산할 수가 있습니다. 이걸 여러분들이 더 전문가로 저는 알고 있습니다. 그래서 골판지 상자의 압축강도에서는 압축강도의 3/4승, 휨강성의 1/4승이 됩니다. 즉 원지의 압축강도가 얼마나, 휨강도가 얼마나에 따라서 골판지 상자의 압축강도가 결정이 되는데 그래서 압축강도, 즉 원지의 압축강도가 매우 중요한 특성으로 알려져 있습니다.



SPEECH 16 골판지의 압축강도는 우리가 높여 주기 위해서 라이나지나 골심지를 만드는 회사에서 노력을 많이 하고 계시는데 그것은 어떤 방향으로 가야 되느냐면 원지의 밀도를 높게 해줘야 되고 두께를 얇게 생산해주면서 해야 압축강도가 향상이 되고요 그래도 골심지가 골판지의 두께를 형상적으로 유지해주기 때문에 휨강성을 감소시키지 않습니다. 그래서 그런 방향으로 우리가 노력을 해주어야 압축강도가 올라가죠 그 다음에 골판지의 두께를 형상적으로 유지시켜줄 수 없고 그리고 코루게이터에서 전분의 습윤흡수가 어려워져서 접착강도를 해주기 어렵게 되면서 어렵게 해주게 되기 때문에 골심지의 밀도를 무조건 높일 수는 없습니다. 그래서 골심지와 전분의 습윤흡수, 접착강도 이런 것들 때문에 무조건 골심지의 밀도를 올리는 쪽으로만 해주면 상당히 나중에 작업상에 문제가 생길 수 있습니다. 그래서 그런 것들을 잘 균형을 잡아 주어야 되겠죠.

SPEECH 17 종이는 섬유로 만들어진 네트워크입니다. 그래서 섬유가 아까 그림으로 봤죠 열키설키 뭐 이렇게 결합이 된 네트워크인데, 그 네트워크를 압축을 할 때 어떤 현상이 일어나느냐 이것들을 좀 살펴보시죠. 그래서 인장과 압축의 탄성률은 동일합니다. 아까 탄성률은 뭐라고 했죠? 스프링 말씀 드렸죠? 그러니까 얼마만큼 힘을 줬을 때 얼마만큼 늘어나느냐 그 기울기를 가지고 우리가 탄성률이라고 하는데 여기에서 스트레스 Y축으로 스트레스(stress), 즉 응력이죠? 그 다음에 X축으로 스트레인(strain), 즉 변형률이죠? 그래서 얼마나 늘어났느냐? Y축으로는 힘을 점점 주는 것이고 X축으로는 점점 늘어나는 게 되겠습니다. 그래서 그 비율이 어떻게 되느냐 그래서 MD방향으로는 인장했을 때 압축보다 약 1/3수준이다. 아까 그랬죠 이 높이가 한 1/3정도 되죠? 대략... 대략... 그래서 잡아당길 때 더 큰 힘을 견딜 수 있고요 압축했을 때는 상당히 얇은 그런 매체에서 파괴가 됩니다. 그렇지만 여기서 탄성률이 동일하다는 얘기는 이 기울기가 똑같다는 얘기죠. 기울기가... 기울기가 똑같다는 얘깁니다. 그래서 MD방향으로 측정하면 위로 가고 CD방향으로 측정하면 이렇게요. 그래서 MD방향의 인장강도... 압축강도... CD방향으로 인장강도... CD방향으로 압축강도... 그래서 기울기는 동일하다는 거죠. 기울기는 동일하다. 그 인장과 압축에서 그 다음에 인장강도에 1/3수준이다. 그 말씀을 드렸고 또 아까 그 기울기가 작은 탄성률이 낮은 것은 볼펜에 들어가는 용수철 같은 것... 그 다음에 중장비에 사용하는 아주 단단한 것은 이 위에 것을 얘기합니다. 즉 MD방향으로가 더 큰 힘을 견딘다는 거죠. CD방향으로... 그것은 섬유들이 주로 MD방향으로 배열해 있기 때문에 그렇습니다. 그 다음에 압축에서는 비선형 부분이 굉장히 짧다 이거죠. 그래서 예를 들면 이런 비선형 부분이 굉장히 짧아요. 처음에는 다 직선적으로 시작했기 때문에 이 때에 기울기가 낮고 높고 그걸 가지고 우리가 탄성률이라고 얘길 하는데 이 압



축에서는 비선형 부분... linear하지 않은 커브가 일어나는 부분에 길이가 짧다는 얘기죠 빨리 파괴가 된다는 얘깁니다. 파괴가... 다시 한번 요약할게요. 비선형 부분이 짧다는 얘기는 탄성적으로 변하다가 소성적으로 변하는데 그 소성적으로 변할 수 있는 변형이 짧다는 얘기죠 그래서 소성... 그 압축에서는 비선형 부분이 매우 짧은 특성을 가지고 있습니다. 인장으로는 굉장히 긴 그러한 특성을 갖고 있는데, 압축에서는 그러한 비선형 부분이 매우 짧습니다. 그래서 인장강도에 비해서 압축강도는 MD쪽으로는 약 1/3 수준이고 CD로는 한 절반 수준정도 됩니다. 그래서 여기도 보면 요 힘을 견딜 수가 있는 게 이제 인장에서는 이 정도 견디는데 CD방향으로는 요정도 되면 그 다음엔 찢어진다는 얘기죠 그 요 그림을 제가 하나 밑줄을 그리고 넘어가면, 이게 그림, 이 그래프를 어떻게 만든 거냐면 이렇게 종이 가 있으면 이렇게 잡아당기죠. 잡아당겼을 때 Y축으로는 점점... 힘이 많이 들어가는 1, 2, 뉴톤 이렇게 힘을 점점 많이 작용을 하고 이 X축으로는 인제 늘어나는 길이가 몇 %나 이거예요. 원래 길이에. 그것은 인제 수치적으로 만들어 놓은 겁니다. 즉 CD방향에 인장으로 잡아당기면 굉장히 많이 늘어나죠 한 4%까지. 그래서 원래 길이가 100mm이었으면 104mm까지 늘어나다가 저기 커브가 끝난 데가 이제 찢어진 거예요. 그 다음에 파괴가 일어난 거예요. 아까도 먼저 이번 시간에도 그 압축파괴에 대해서 얘기도 하고 그러는데 그 변형이 영구히 일어나서 찢어지거나 파괴되는 그런 것을 얘기하는 게 되겠습니다. 저 그래프의 맨 끝이 그래서 되도록이면 여러분들이 원지를 사실 때에는 이러한 강도 이런 것들이 강한 것을 원하는 경우가 상당히 많이 있습니다. 그래서 어느 정도에 선형부분 어느 정도까지 선형이고 그 다음에 소성적인 부분 어느 정도냐 이런 것까지도 우리가 다 생각을 해서 압축강도 또는 상자에 어떤 제반 강도, 골정이라든지 또는 궤선이라든지 이런 것들을 다 관련지어서 우리가 생각을 해 볼 수가 있겠습니다. 그 다음에 변형률, 압축파괴 변형률, 맨 아래 줄이요. 그거는 원래 길이가 100이었는데 104로 늘어났다. 이렇게 얼마나 많이 늘어나느냐 이런 것으로 봤을 때 인장보다는 압축할 때 MD방향으로는 한 1/4수준 그러니깐 굉장히 조금만 변화하다가 딱 짜부러진다는 얘기죠 변형이 된다는 얘기죠 파괴가 된다는 얘기죠. CD방향으로는 1/5 수준밖에 참지를 못하는 거예요. 그러고 파괴가 되죠?

< 계속 >