

환경변화에 강한 골판지 개발을 위한 기초연구(제1보)¹⁾

서영범²⁾ · 오영순²⁾

The preliminary study of developing strong corrugated box board against aggravated service condition(I)¹⁾

Yung-Bum Seo²⁾ and Young-Soon Oh²⁾

ABSTRACT

This study was to investigate the effect of compressive load and cyclic humidity(20°C, 65% and 90% RH) on the physical and mechanical properties of corrugated board. Corrugated boards in the study were under compressive load and under cyclic humidity, and their properties were compared to those without load. Results were summarized as follows:

1. Statistically significant correlation was shown between the ring crush of the boards and the compressive strength of cylinder specimen made from the boards. So we could study the compressive behavior of board with cylinder specimen.
2. The boards under the compressive load increased their moisture content and thickness much more than those without load both in constant and in cyclic RH.
3. The compressive and tensile strength of board samples were inversely and closely proportional to the sheet moisture content regardless of their load and humidity history.
4. The moisture content did not show any significant proportionality to the change of burst strength of boards within this experiment.
5. Board reconditioning in standard condition led to the recovery of the strength loss that had occurred under various load and humidity condition.
6. The handsheets prepared from the boards that had experienced compressive load and cyclic humidity, and those with no-load and 65% RH did not show any significant difference in strength properties. No physical damage or load-carrying properties of the wood fiber were observed by the compressive load and cyclic humidity history.

*1. 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

*2. 충남대학교 임산공학과(Dept. of Forest Products, Chung Nam Nat'l Univ.)

1. 서 론

골판지 상자의 주요 사용 목적은 포장, 저장, 유통하는 동안에 압축하중으로부터 내용물을 보호하는 것이며 이에 필요한 골판지 상자의 주요 물리적 특성으로는 높은 압축강도와 파열강도를 들 수 있다. 최근 들어 골판지 상자의 광고적 기능과 함께 온·습도 차이가 심한 외부 환경 조건에서의 압축강도 유지는 간과할 수 없는 중요한 기능으로 취급되고 있다.

상품이 골판지 상자에 담겨져 창고에 높이 쌓여 보관되어야만 하는 상황에서는 골판지 상자의 창고 안에서의 압축력 보존이 절대적으로 필요하다. 창고 안이라고 하더라도 밤낮의 변화에 따라 온·습도의 변화를 무시할 수 없으며, 이때 최악의 경우 골판지 상자의 기능이 골판지 생산시 초기 강도의 20~30%밖에 기능을 못하는 경우를 볼 수 있게 된다¹⁾. 더구나 수출 포장지의 경우 골판지 상자가 상당한 기간 배에 선적되어 있어야 하며 다시 몇 군데의 창고를 거쳐 최종 소비자에게 도달되는 상황을 설정해 볼 때 압축하중을 받는 상태에서 습도 변화에 따른 골판지 강도의 저하는 간과될 수 없다.

또한 온도와 습도에 대한 영향 정도가 virgin 펄프와 recycled 펄프, 펄프의 리그닌 함량 등에 따라 현저히 다르게 된다. 특히, 농산물 포장에 있어서, 수분의 역할이 큰 문제로 대두되고 있는데 신선도 유지와 포장 상자의 물리적 성질의 유지가 동시에 요구되지만 실제에 있어서는 그러한 효과를 얻기는 매우 힘들다. PE나 왁스 코팅은 액체상태의 물의 침투로부터 골판지를 효과적으로 보호할 수 있지만, 증기 상태의 물의 침투에 대해서는 약한 편이며, 장시간 포장 용기로 사용될 경우 골판지는 함수율의 증가와 주기적 환경변화에 의해 심각한 강도 손실을 입게 된다²⁾.

Byrd(1984)는 90% 습도의 일정한 환경에서보다 순환 습도(90~35%)의 환경에서 라이너지와 골심지의 압축 creep 속도가 2~9배 가량 더 빠르며 순환 습도환경에서 creep는 저수율 침엽수 라이너지보다 고수율의 활엽수 라이너지에서 더 빠

르며 순환 습도에서의 creep 속도의 증가는 이러한 여러 물질들의 수분 흡착비와 관련이 있다고 보고하였다. 고수율 펄프로 만들어진 라이너지보다는 저수율의 침엽수 라이너지보다 수분흡착이 빠르며 크리프 변형이 빠르다고 보고하였다³⁾.

Back(1983) 등은 인장시의 수분이 흡착되는 동안에 판지의 일시적인 기계적 거동을 측정하였으며 그들의 결과를 목재와 다른 천연 섬유들에 관한 다른 연구자들의 연구와 비교하였다. 그들은 수분 흡착의 비가 일시적 거동의 크기를 지배한다고 결론지었다. 일시적 거동의 결과로서 주어진 물질의 stiffness와 강도는 전적으로 함수율의 함수라고 보고하였다⁴⁾.

Soremark(1991) 등은 일정습도와 순환습도의 환경에서 골판지 시편의 휨거동을 실험하였다. 그들은 순환습도의 환경에서 큰 변형을 일으킨다는 추가적인 메카니즘을 제시하였다. 변형에 대해서 설명한 이후에 그들은 hygroexpansion의 크기는 시편이 압축하중에 있는지 인장하중에 있는지 에 좌우되며 압축은 hygroexpansion을 증가시키며 인장은 감소시킨다고 보고하였다⁵⁾.

Boonyasarn(1992) 등은 섬유강화 라이너지의 두 종류 타입으로 제작한 골판지 상자의 압축강도를 일반 라이너지로부터 제작한 상자의 압축강도를 순환온도와 순환상대습도하에 노출시킨 후 비교하였다. 또한 압축강도에 대한 상자물질로의 수분흡착의 효과도 조사하였다⁶⁾.

본 연구에서는 라이너지, 골심지 그리고 지관용지에 대해서 압축하중하에서의 습도 변화에 따른 물리적 성질들을 측정하고 압축하중과 습도 변화에 의한 섬유자체의 손상이 있는지를 확인하기 위해 순환습도하에서 압축하중을 가한 종이들을 섬유로 해리한 후에 수초지를 제작하여 물성을 측정함으로써 판지 및 골판지의 압축력에 의한 섬유의 파괴 여부를 밝히고자 한다. 또 압축하중을 제거하고 표준 조건에서 조습처리를 하는 경우 샘플의 강도 회복 여부도 조사하였다.

압축하중과 습도 변화가 골판지의 강도에 영향을 미치는 기작이 밝혀지면, 우리는 외부 환경 변화에 강한

골판지의 제조가 가능하며, 저급 원료들로서 가능한 최대한으로 주기적 습도변화에 저항성이 큰 골판지 생산의 기초 자료를 제공하고자 한다.

정확히 평행을 유지하여야 한다. 완성된 원통형 샘플의 모양은 Fig. 1과 같다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에서 사용한 상업용 라이너보드는 평량 180g/m²의 K2, YKA, KA 등 3종과 평량 210g/m²의 W/L, YKA, KA의 3종을 사용했으며 원료구성 및 부착량은 Table 1과 같다. 공시 골심지는 평량 120g/m²로 DY, JS, SDY 제지 회사에서 제조한 골심지를 사용하였으며 지관용지는 평량 220g/m²로 YP, HJ 제지 회사에서 제조한 지관용지를 사용하였다.

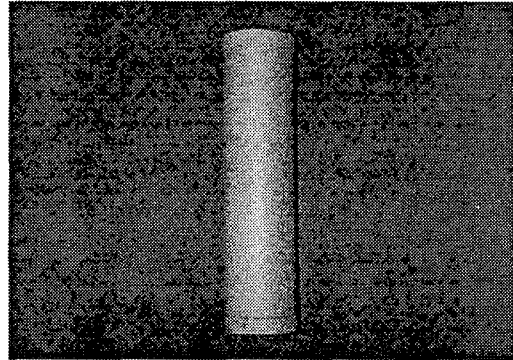


Fig. 1. A cylinder shape sample

2.2 원통형 샘플 제작

압축하중을 가하기 위하여 지름 6cm, 길이 28cm의 원통형 샘플을 실험실에서 제작하였다. 0.8cm 정도가 겹쳐지게 하며 겹쳐지는 부분의 두께를 일정하게 하기 위하여 sandpaper를 이용하여 끝부분을 sanding하였으며 에폭시 수지를 사용하여 접착하였다. 압축하중을 지지하기 위해서 원통의 아래와 윗부분에 1.5cm의 띠를 에폭시 수지를 사용하여 접착하였다. 이때 원통형 샘플의 위, 아래 면이

2.3 압축강도 테스트

각 조건의 습도처리를 하는 동안 원통에 주어질 압축하중의 크기를 정하기 위해서 2.2에서 제작된 원통을 20℃, 65% RH의 조건에서 24시간동안 조습처리를 한 후 원통자체의 압축강도를 측정하였다.

2.4 순환 습도 처리

2.2에서 제작한 원통 샘플과 원지 샘플을 Table 2의 조건으로 humidity chamber에서 처리하였으

Table 1. Raw materials composition and content of linerboards

Basis weight (g/m ²)	Sample	Raw materials composition				Content			
		TOP	U-TOP	MID	BACK	TOP	U-TOP	MID	BACK
180	K2	KOCC	KCOO	KOCC	50	65	75		
	YKA	UKP	KOCC	KOCC	KOCC	25	45	55	55
	KA	UKP	KOCC	KOCC	KOCC	23	45	55	57
210	W/L	BKP	GP	AOCC	AOCC	40	40	60	70
	YKA	UKP	KOCC	AOCC	AOCC	38	47	60	65
	KA	UKP	KOCC	AOCC	AOCC	35	50	60	65

며 이때 2.3에서 측정된 원통 자체의 압축강도의 20%에 해당하는 압축하중을 Fig. 2의 압축하중전달기구를 이용하여 원통형 샘플에 가하였으며 하중에 의해 변형될 때 샘플의 위와 아래가 평행한 상태에서 변형되도록 하였다. 이때 원통을 만들지 않은 원지 샘플도 원통과 함께 humidity chamber에 넣었으며 원통과 같은 습도조건을 겪은 후 그 물성을 원통의 물성과 비교하였다. 모든 조건에서의 온도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 이며 압축하중하에서 일정습도(65% RH, 90% RH)와 순환습도 (65% \leftrightarrow 90%)를 원통에 가하였다. 최후습도가 65% RH인 경우에서 reconditioning은 원통의 하중을 제거한 후에 12시간동안 65% RH에 두었으며, 이러한 실험의 목적은 압축하중후에 다시 조습처리를 하면 얼마만큼 본래의 강도를 회복하게 되는지를 알아보기 위한 것이었다.

2.5 물성 측정

Table 2의 조건으로 처리한 원통과 원지 샘플의 함수율(KS M 7023), 두께(KS M 7021), Ring crush(KS M 7051), 파열강도(KS M 7017), 인장강도(KS M 7014)를 측정하였다. 모든 물성은 humidity chamber에서 나온 후 함수율의 변화가 없는 상태에서 즉각 측정되었다. 2.6 수초지 제조

Con(65%), Cycle-4, Cycle-4R 조건으로 처리한 후의 원통과 원지를 표준해리기에서 1%의 농도로 해리하여 KS M 7030에 의거하여 평량 120g/m²이 되도록 수초지를 제작하였다.

2.7 수초지의 물성측정

2.6에서 제조한 수초지를 KS M 7012에 의거하여 20 $^\circ\text{C}$, 관계습도 65%로 조절된 항온항습실에서 48시간 조습처리를 실시한 다음 두께 및 평량을 측정하였으며, ring crush, 파열강도, 인장강도를 측정하였다.

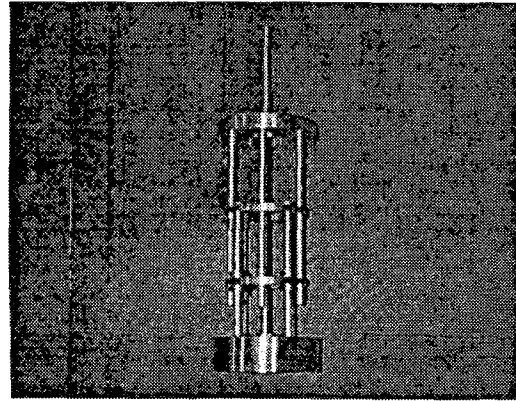


Fig. 2. Compression load transmission apparatus for applying compression load.

Table 2. Condition of constant and cyclic relative humidity

Final RH	Condition	Relative humidity and treatment time
90%	Con(90%)	90%(12hr.)
	Cycle-2	65%(3hr.) \rightarrow 90%(3hr.) \rightarrow 65%(3hr.) \rightarrow 90%(3hr.)
		Cycle-4
65%	Con(65%)	65%(12hr.)
	Cycle-2R	65%(3hr.) \rightarrow 90%(3hr.) \rightarrow 65%(3hr.) \rightarrow 90%(3hr.) \rightarrow 65%(12hr. without load)
		Cycle-4R

3. 결과 및 고찰

3.1 원통자체의 압축강도와 ring crush의 비교

편지의 압축강도를 시험하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 ring crush test를 행하였으며, 원통 샘플에서 시편을 채취하여 ring crush test를 함으로써 원통의 압축강도를 예측할 수 있는 지에 대해서 알아보았다.

Ring crush test 시편은 폭 1.25cm, 길이 15.24cm로 압축테스트를 하는 동안 실제 15.24cm의 길이로 선압을 받는다. 원통에서 압축하중을 받는 실제 원주율은 19.1cm로 ring crush test 시편보다는 이론상으로 약 1.25 배가 높은 압축강도를 나타내어야만 한다.

Fig. 3에서 11종류의 시편에 대한 ring crush와

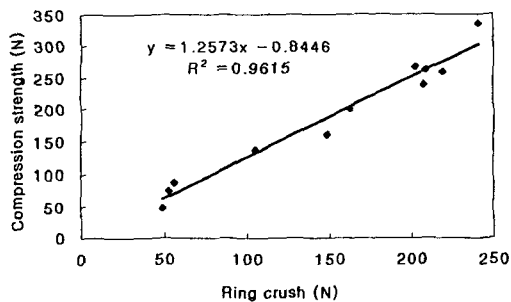


Fig. 3. Plots for compression strength of cylinder vs. ring crush.

원통의 자체압축강도를 plotting하여 결정계수(상관 계수의 자승의 값 (r^2), coefficient of determination)를 구하였다. 결정계수의 값이 0.9615로 높은값을 가지며 따라서 ring crush test로 원통 자체의 압축강도를 예측할 수 있었다.

3.2 순환습도조건에 따른 파괴빈도

각각의 습도처리를 하면서 압축하중을 받고 있는 원통은 하중을 이기지 못하고 대부분 파괴되었으며 대부분 이러한 파괴는 90% 상대습도에서 일어났다. Table 3에 각 조건당 11종류의 샘플 각각 2개 중 최종순환습도처리 하는 동안에 파괴되어진 개수를 나타냈다. 90% 상대습도로 일정하게 유지되는 Con(90%)의 조건에서는 11종류의 모든 원통이 파괴되었으며 반대로 65% 상대습도로 일정하게 유지되는 Con(65%)의 조건에서는 전혀 파괴가 일어나지 않았다. 습도순환을 하게 되는 경우 대부분 첫 번째의 90% RH cycle에서 파괴가 일어났다.

Byrd(1984)나 Feller(1985) 등의 연구결과를 통해 90% 상대습도를 일정하게 유지하는 샘플보다 65% ↔ 90% 습도순환을 하는 샘플이 항상 더 빠르게 파괴된다는 사실은 이미 알려져 있다. 본 실험의 주 목적은 압축하중하에서 원지 물성의 변화를 추적하여 표준조건하에서 재 조습처리시 강도 회복여부와 섬유자체의 물리적 특성변화를 알아보고자 하였으므로 원통의 파괴빈도수 보다는 샘플의 물리적 변화의 추적에 더 주력하였다.

Table 3. Destruction frequency of cylinder by humidity conditioning

Final RH	Condition	Destruction frequency	Final RH	Condition	Destruction frequency
	Con(90%)	22		Con(65%)	0
90% RH	Cycle-2	20	60% RH	Cycle-2R	18
	Cycle-4	22		Cycle-4R	22

3.3 최종습도 90%RH에서의 물성비교

각 조건에서의 같은 처리를 받은 원통과 원지 및 압축하중을 가한 원통과 그렇지 않은 원통간의 물성 차이를 알아보기 위해서 11종류의 샘플에 대해 식(1)을 이용하여 $\Delta\%$ 를 구하였다.

$$\Delta\% = \frac{\text{원통의 물성} - \text{원지의 물성} \times 100}{\text{원지의 물성}} \quad (1)$$

함수율에 있어서 최종습도가 90%RH인 Con(90%), Cycle-2, Cycle-4 조건의 원통과 원지의 함수율은 모든 습도조건과 모든 지종에서 압축하중을 적용한 원통의 경우가 원지보다 높았다. 이것은 압축하중과 함수율 증가는 밀접한 관계가 있음을 증명한다. Con(90%), Cycle-2, Cycle-4 각각의 조건에 따른 함수율 차이는 크지 않았다.

Fig. 4에서 $\Delta\%$ 는 11지종에 대한 함수율의 $\Delta\%$ 의 평균값이며, 오차막대로 95% 신뢰한계를 나타내었다. Con(90%)에서는 원통과 원지의 함수율 차이가 20.18%로 가장 큰 차이를 보였으며 Cycle-2, Cycle-4에서는 각각 16.71%, 9.87%로 그 차이가 감소하였다. 이것은 습도순환을 할수록 원지의 함수율이 조금씩 증가하나 초기 습도순환에서 파괴된 원통은 압축하중을 그 시간부터 받지 못하였으므로 압축하중에 의한 함수율 증가가 없었고 오히려 65% 상대습도에 의해 함수율이 변해갔기 때문일 것으로 사료된다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 각 조건에 따른 시료의 두께도 함수율과 비슷한 경향을 보였으며 원통이 원지보다 더 큰 두께를 보였으며 조건별에 따른 차이점은 보이지 않았다.

각 조건에 따른 원통과 원지의 ring crush는 거의 모든 경우에 원통의 ring crush가 원지의 ring crush 보다 훨씬 작은 값을 나타내었으며 습도조건에 따른 차이는 그리 크지 않았다. Fig. 6에서는 원지의 ring crush가 원통의 ring crush보다 크기 때문에 $\Delta\%$ 가 음(-)의 값으로 표시되며 단지 $\Delta\%$ 가

-라는 것을 제외하고는 함수율과 비슷한 경향을 보였다. Con(90%)가 -23.1%로써 가장 큰 차이를 보였으며 Cycle-2, Cycle-4는 각각 -18.3%, -12.0%를 나타내었다.

비파열강도는 각각의 조건에 따라서 일정한 경향을 보이지 않았으며 Fig. 7에서 $\Delta\%$ 의 평균과 오차한계가 모두 0을 지나므로 원통과 원지간의 비파열강도 차이는 없었다. 종래에는 라이너지나 골심지의 품질을 파열강도로 측정, 표시하였는데 이와 같이 하중에 의해 함수율이 높아진 상황에서 비파열강도의 변화를 확인할 수 없었다. 단지 두께와 압축강도의 큰 변화만을 볼 수 있었다. 따라서 파열강도로 원지를 평가하는 일이 얼마나 불합리한 것인지 짐작할 수 있다.

각 처리조건에 따른 원지와 원통의 열단장은 함수율이나 ring crush와 같이 큰 폭의 차이를 보이지는 않지만 원통의 열단장이 원지의 열단장보다 낮은 수치를 보였다. 또한 습도조건에 따른 열단장 차이는 보이지 않았다. Fig. 8은 역시 Con(90%), Cycle-2 그리고 Cycle-4의 조건에서 각각 -5.81%, -7.88%, -6.84%로 함수율이나 ring crush와 마찬가지로 큰 차이는 없지만 $\Delta\%$ 가 -로 원통이 원지보다 낮은 강도를 보였다.

3.4 최종습도 65% RH에서의 물성비교

습도 순환을 겪은 후 65% RH로 처리하는 경우 원통의 물리적 성질이 얼마나 회복되는지를 알고자 24시간동안 20℃, 65%RH에서 처리한 원통 시편(Con65%)과 습도 순환을 한 후에 압축하중을 제거하고, reconditioning을 한 원통 시편(Cycle-2R, Cycle-4R) 및 같은 조건하에 있었던 원지의 여러 물성들을 비교하였다.

Fig. 9에서 원통과 원지의 평균 함수율 $\Delta\%$ 가 Con(65%)의 경우 9.35%로 가장 큰 값을 나타냈으며 Cycle-2R, Cycle-4R이 각각 6.90%, 2.62%를 나타내었다. 이는 최종습도가 90% RH로 높은 습도일 때의 원통과 원지의 평균 함수율 $\Delta\%$ 인 20.18%, 16.71%, 9.87%보다 낮은 수치를 나타

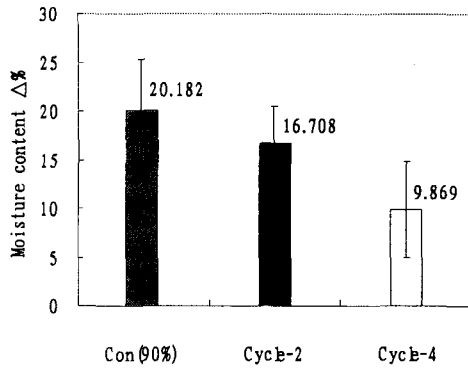


Fig. 4. Moisture content.

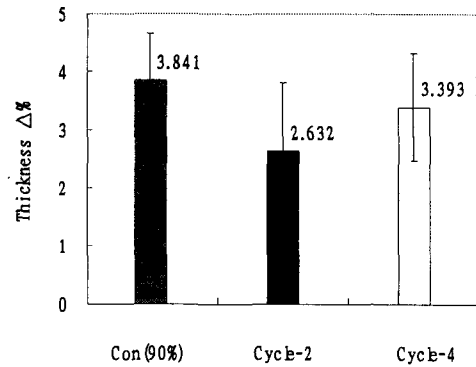


Fig. 5. Thickness.

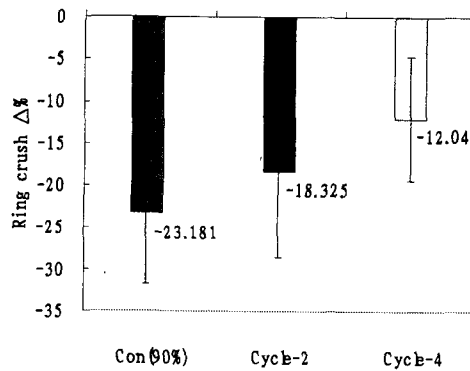


Fig. 6. Ring crush.

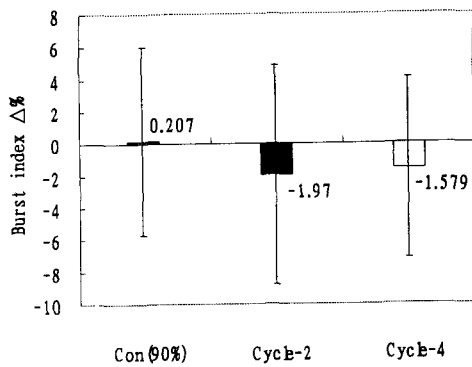


Fig. 7. Burst index.

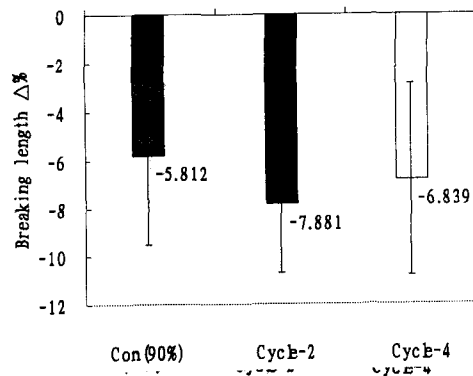


Fig. 8. Breaking length.

Figs. 4~8. Mean physical properties differences ($\Delta\%$) between the boards under compressive load and those without load (90% relative humidity at last stage).

내었다. 따라서 낮은 습도에서의 reconditioning은 원통과 원지의 함수율 차이를 어느 정도 줄일 수 있는 것으로 보여진다.

Con(65%)은 하중 하에서 전혀 파괴되지 않고 충실하게 하중을 견디었으며 이때 가장 높은 함수율을 보였다. 하지만 더 높은 습도를 순환한 Cycle-2R과 Cycle-4R이 더 낮은 함수율을 보이고 있다. 이것은 실험초기에 두 종류의 원통들이 파괴되어 하중에 의한 함수율 증가효과를 보지 못한 때문으로 생각된다. 실제적으로 조습처리후의 Cycle-4R은 65%RH로 처리된 원지와 조금도 다르지 않았다.

두께 비교에 있어서도 일정하지는 않지만 원통의 두께가 원지의 두께보다 크게 측정되었다. Fig. 10에서 보는 것과 같이 각 처리조건에 따른 영향은 보이지 않았다. 원통과 원지의 두께 차이인 $\Delta\%$ 는 Con(65%)의 경우가 1.66%, Cycle-2R, Cycle-4R의 경우 각각 0.95% 0.26%로 최종습도 90%RH에서의 $\Delta\%$ 는 3.84% 2.63%, 3.39%와 같이 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 일정한 낮은 습도에서의 reconditioning에 의해 높은 습도에서 보였던 원통과 원지의 큰 두께 차이를 어느 정도 줄일 수 있었다. 전혀 파괴되지 않았던 Con(65%) 원통은 원지와 큰 차이를 보이고 있으며 이 차이는 오로지 하중에 의한 것이다.

Ring crush와 비파열강도에 있어서도 습도처리에 따른 원통과 원지 사이에 일정한 경향은 없었다. 최종 90%RH에서 원통과 원지 사이의 큰 차이를 보이던 것이 Figs. 11, 12에서 보는 바와 같이 reconditioning을 통해 함수율이 낮아지면 원통과 원지 사이의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있었다.

Fig. 13에서 열단장의 평균 $\Delta\%$ 는 Con(65%)의 조건이 -4.85%, Cycle-2R의 경우 -3.95%, Cycle-4R은 -1.39%로 일정한 65%RH에서 처리한 시편이 순환습도 처리를 한 시편보다 더 큰 원통과 원지의 열단장 차이를 보였다. 그러나 최종습도 90%RH에서 보다는 그 차이가 적었다. 이러한 Con(65%)의 다른 점은 reconditioning 시간을 좀 더 늘리면 원지와 같은 물성으로 회복될 수 있으리

라 판단된다.

3.5 함수율에 따른 물성변화

Figs. 14, 15, 16, 17은 각각의 지중에 대해 최종 90% RH와 최종 65% RH에서 원통과 원지의 함수율에 따른 두께를 plotting 한 그래프이다. 그래프에서 보는바와 같이 0.7~0.9의 높은 결정계수로 원통과 원지의 차이 없이 함수율에 따라 두께가 증가되고 있음을 알 수 있다. 따라서 두께는 압축하중이나 순환습도에 관계없이 최종 함수율에 비례함을 알 수 있었다. 단 골심지의 경우 평량이 낮고 지합이 나빠서 물성측정에 어려움이 있었으며 그 영향이 낮은 상관계수로 나타났다.

Ring crush의 경우도 원지와 원통에 상관없이 일정 비율로 함수율이 증가할수록 감소되어진다. 라이너보드의 경우 0.75에서 0.86으로 높은 결정계수를 가지며 평량이 낮은 골심지의 경우 0.73에서 0.90으로 두께에 비해 높은 결정계수를 갖는다. 따라서 ring crush는 압축하중, 습도순환 등에 큰 상관없이 함수율에 의해 영향받는 것으로 나타났다.

함수율에 따른 비파열강도는 두께나 ring crush와 같이 높은 결정계수를 갖지는 않았다. 라이너보드 180g/m²의 경우 0.53에서 0.66의 결정계수 값을 가지며, 라이너보드 210g/m²의 경우 0.38에서 0.63으로 분포가 상당히 넓고 평량이 낮은 골심지의 경우는 함수율 증가와는 상관없이 불규칙적인 분포를 보였으며, 지관용지인 YP의 경우는 0.83으로 높은 결정계수를 보였으나 전체적으로 함수율로는 비파열강도를 예측하기 힘들음을 보였다.

함수율에 따른 열단장의 변화에 있어서도 압축하중이나 습도조건과는 상관없이 단지 함수율에 의해서 영향을 받고 있었다. 모든 지중에 있어서 0.71에서 0.89로 상당히 높은 결정계수를 보이고 있다.

3.6 수초지의 물성 비교

골판지 상자가 압축하중을 받으면서 습도변화가 일어날 때, 쉽게 파괴되어지는 이유는 섬유 자체가 압축하중이나 습도변화에 의해서 구조적 손상을 입

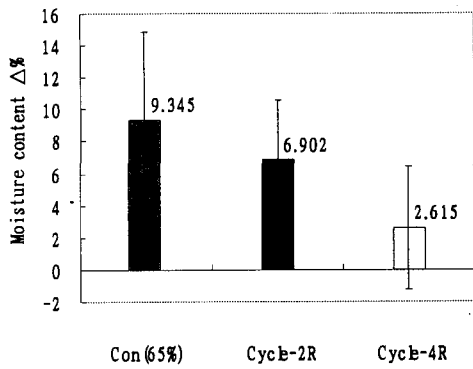


Fig. 9. Moisture content.

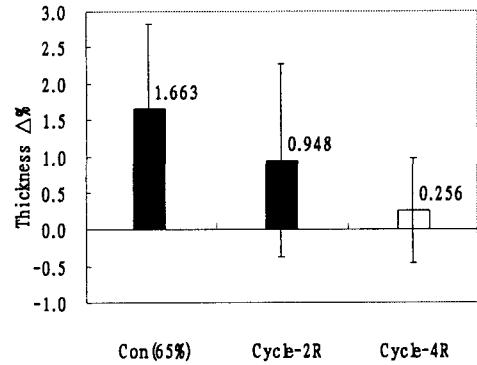


Fig. 10. Thickness.

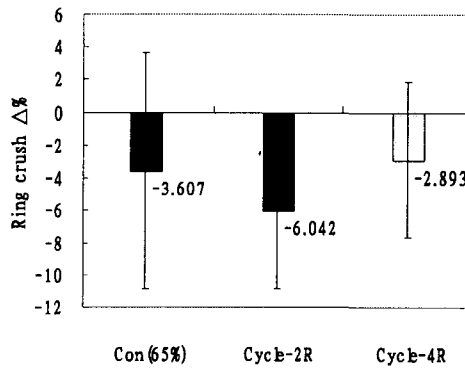


Fig. 11. Ring crush.

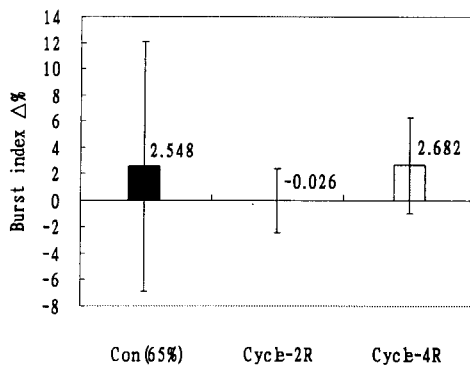


Fig. 12. Burst index.

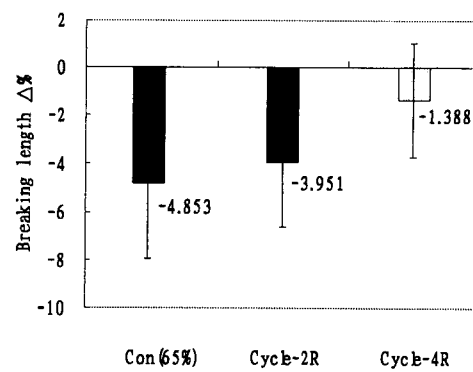


Fig. 13. Breaking length.

Figs. 9~13. Mean physical property differences ($\Delta\%$) between the boards under compressive load and those without load (65% relative humidity for reconditioning at last stage).

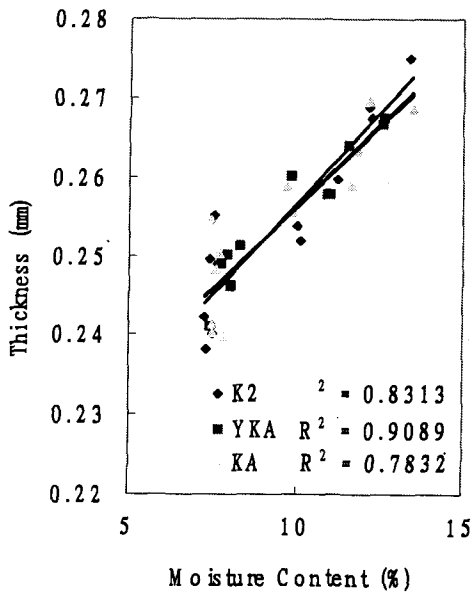


Fig. 14. Linerboards (180g/m²).

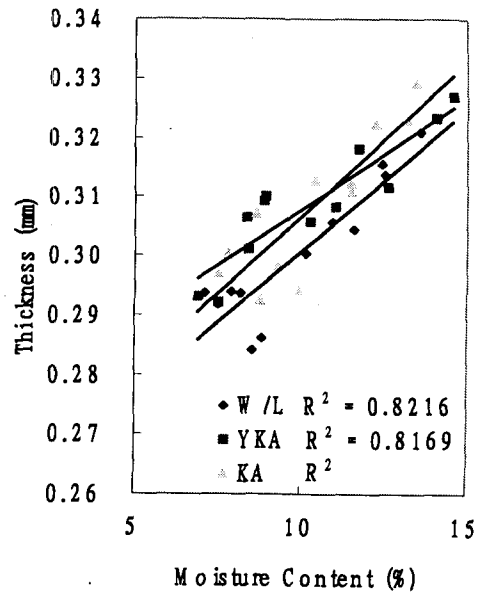


Fig. 15. Linerboards (210g/m²).

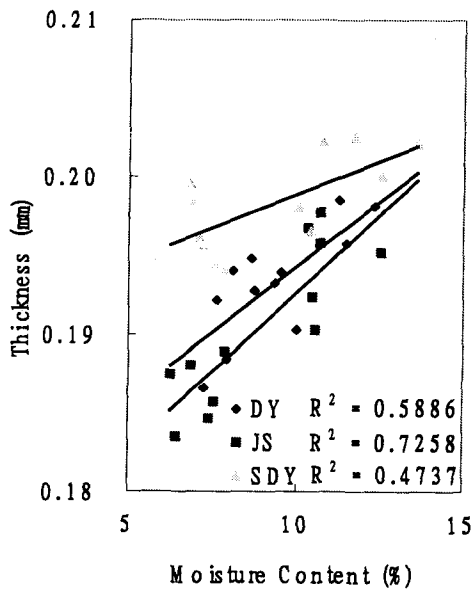


Fig. 16. Corrugating media.

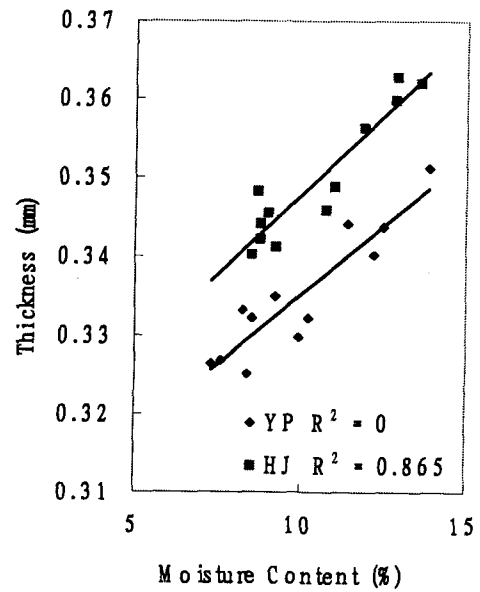


Fig. 17. Core boards.

Figs. 14~17. Plots of thickness vs. moisture content (cylinder samples and boards with and without load).

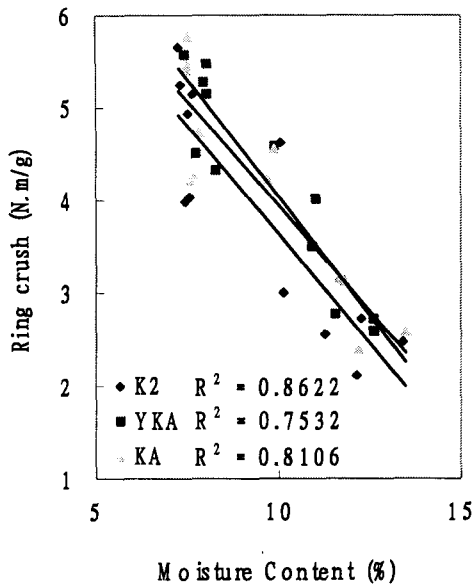


Fig. 18. Linerboards (180g/m²).

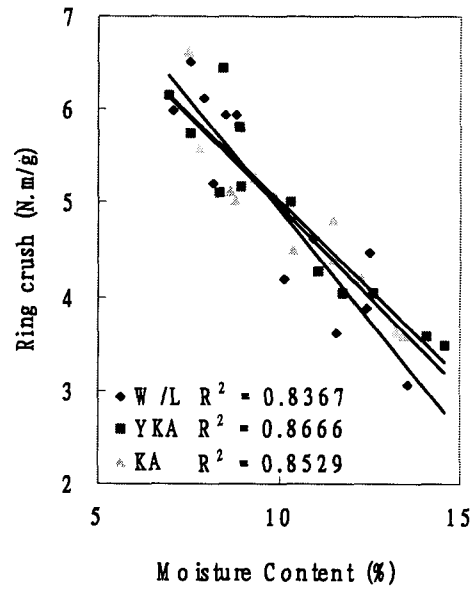


Fig. 19. Linerboards (210g/m²).

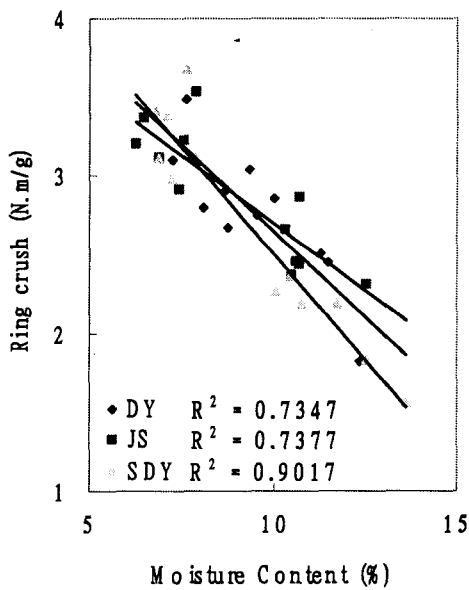


Fig. 20. Corrugating media.

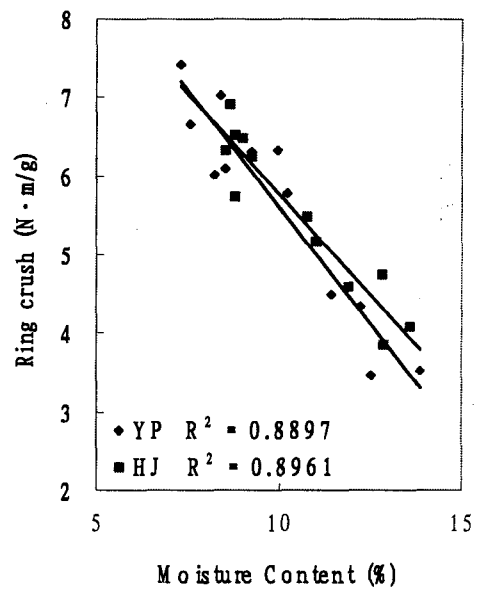


Fig. 21. Core boards.

Figs. 18~21. Plots of ring crush vs. moisture content (cylinder samples and boards with and without load).

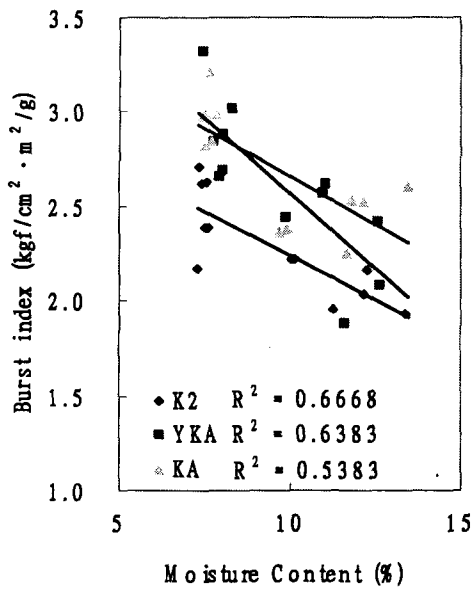


Fig. 22. Linerboards (180g/m²).

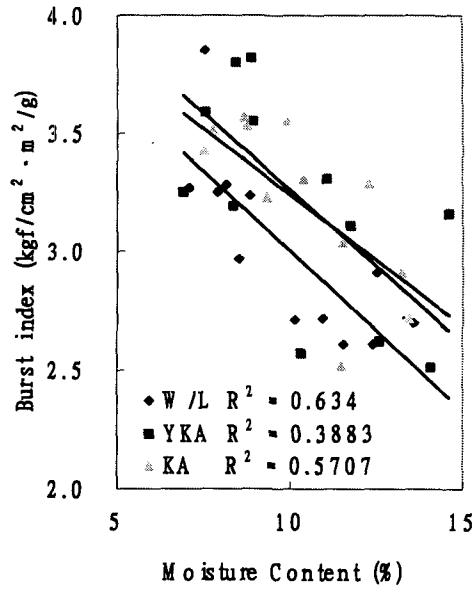


Fig. 23. Linerboards (210g/m²).

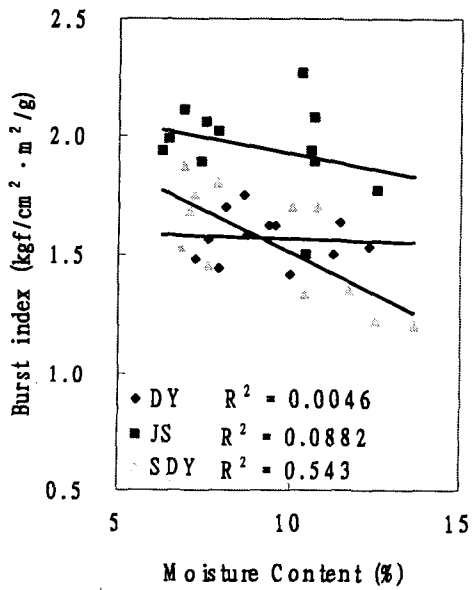


Fig. 24. Corrugation media.

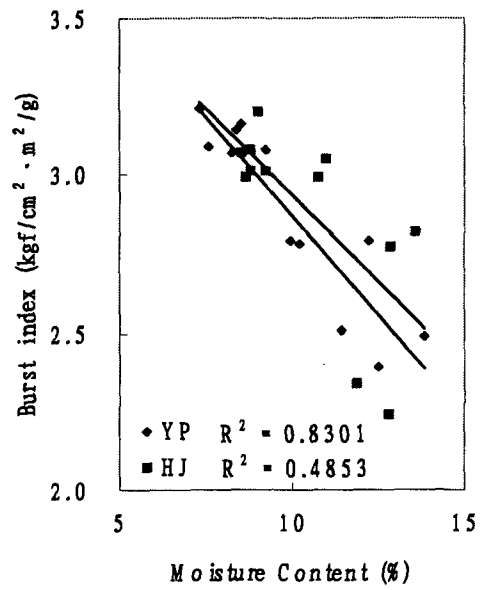


Fig. 25. Core boards.

Figs. 22~25. Plots of burst index vs. moisture content (cylinder samples and boards with and without load).

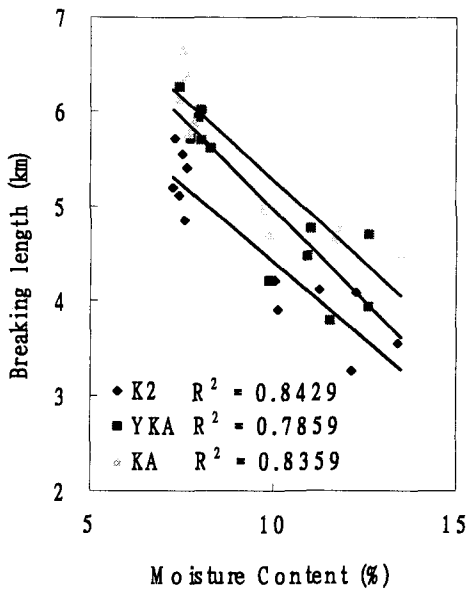


Fig. 26. Linerboards (180g/m²).

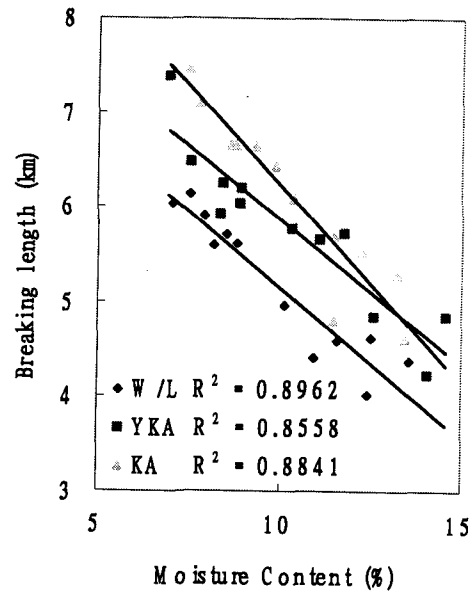


Fig. 27. Linerboards (210g/m²).

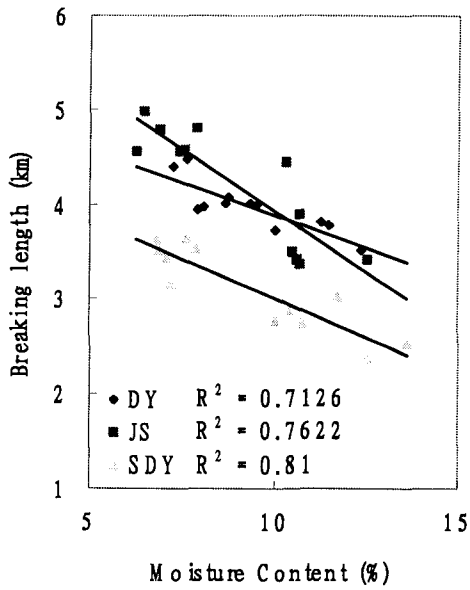


Fig. 28. Corrugation media.

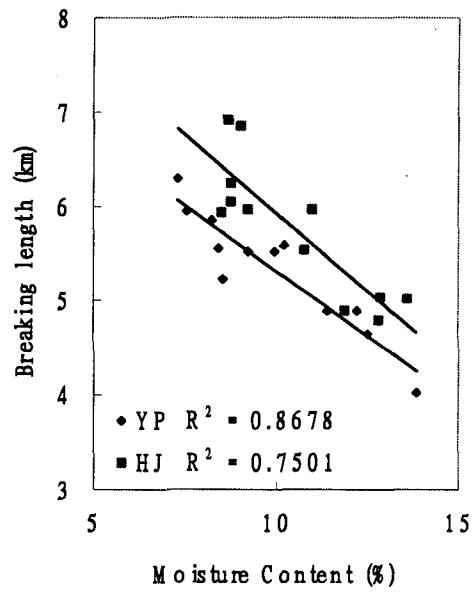


Fig. 29. Core boards.

Figs. 26~29. Plots of breaking length vs. moisture content (cylinder samples and boards with and without load).

는 것인가를 알아보기 위하여 섬유상태로 해리한 후 다시 수초지를 제조하여 ring crush, 비파열강도, 열단장 등을 측정하였다.

각 조건에서의 같은 처리를 받은 원통과 원지로 부터 초지한 수초지간의 물성차이를 알아보기 위해서 11종류의 샘플에 대해 식(2)를 이용하여 $\Delta\%$ 를 구하였다.

$$\Delta\% = \frac{\text{원통의 수초지의 물성} - \text{원지의 수초지의 물성} \times 100}{\text{원지의 수초지의 물성}} \quad (2)$$

Con(65%), Cycle-4, Cycle-4R의 조건으로 처리한 원통과 원지로 제조한 수초지의 ring crush는 Fig. 30에서 보는 바와 같이 차이없음을 뚜렷이 알 수 있었다.

Fig. 31와 Fig. 32에서 보는 것과 같이 각 조습 조건에 따른 원통과 원지로부터 제작한 수초지에 대한 비파열강도와 인장강도의 변화는 없었다.

수초지를 제작함으로써 섬유간 결합정도, 섬유 결합간 스펠의 물리적 지지정도, 섬유의 방향성 등은 달라질 수 있으나 섬유 자체의 강도는 변화되지 않으므로 수초지의 ring crush에 아무런 변화가 없다는 것은 이러한 조습조건이나 압축하중에 의해 섬유 자체의 강도가 변화되지 않았기 때문이라고 사료된다. 만일 섬유의 해부학적인 구조가 달라졌더라도 판지의 강도를 형성하는 기본 구조에는 변화가 없었다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 골판지의 압축하중과 습도 변화에 의한 파괴와 이에 따른 물리적 성질들을 추적하고 압축하중과 습도 변화에 의한 섬유자체의 손상이 있는지를 확인하기 위하여 섬유상태로 해리한 후에 수초지를 제조하여 물성을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 원지의 ring crush test와 원지로부터 제조한 원통의 압축강도 사이에 높은 선형 상관관계가 있었다. 따라서 원통으로 원지의 압축하중에 의한 변

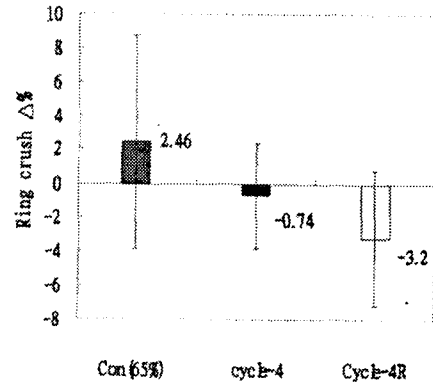


Fig. 30. Ring crush.

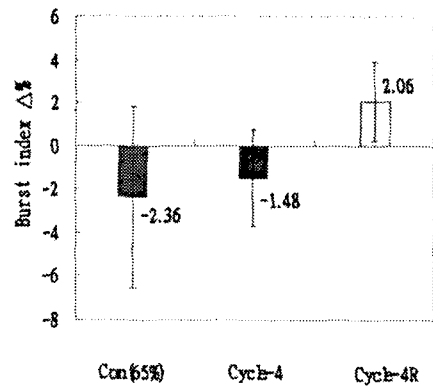


Fig. 31. Burst index.

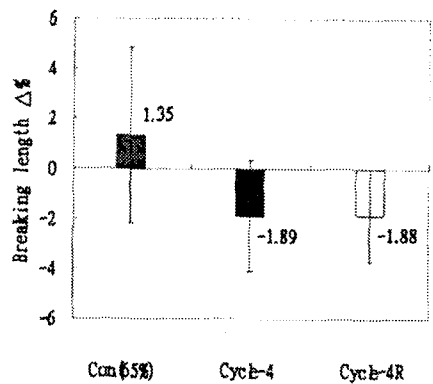


Fig. 32. Breaking length.

Figs. 30~32. Mean physical properties differences ($\Delta\%$) between the sheet made from the boards under compressive load and the ones without load.

화를 추적할 수 있었다.

- 압축하중하의 원통 샘플은 일정한 상대습도와 순환 상대습도나 모두 하중을 주지 않은 원지보다 더 빠르게 함수율과 두께가 증가하였다.

- 원지 샘플의 압축강도, 인장강도 등의 물성들은 압축하중과 상대습도조건에 의해서 크게 영향받는 함수율과 높은 상관관계를 가지고 있었으며 함수율의 변화로 물성변화를 예측할 수 있었다.

- 샘플의 함수율은 파열강도의 변화에 높은 상관관계가 없음을 보였으며 이 결과들은 파열강도가 여러조건의 하중과 상대습도 이력하에서 판지 성질을 정확히 예측하는데 불리하다는 것을 나타낸다.

- Reconditioning을 통한 판지의 함수율 감소는 압축강도, 파열강도, 인장강도 등의 하중과 습도조건에 의해 손실되었던 강도값을 회복시켰다.

- 압축하중과 순환습도하의 원지와 하중을 주어 지지 않은 원지로부터 제조한 수초지의 압축강도, 파열강도, 인장강도의 차이는 없었다. 따라서 압축하중과 순환습도조건에 의한 섬유 변화나 물리적 손실은 없었다.

6. Antika, B., Bruce, R. H., Diana T., and Julian L. L., the effect of cyclic environments on the compression strength of boxes made from high-performance corrugated fiberboard, TAPPI J, 75(10):79-85(1992)

참고 문헌

1. Considine, H.M., Stoker, D. L., Laufenberg, T. L. and Evans, J. W., Compressive creep behavior of corrugating components affected by humid environment, TAPPI J. 77(1):87-95(1994)
2. 서영범, 골판지포장 및 골판지 원지 개설, 골판지포장·물류, (12):76-81(1996)
3. Byrd, V. L., Edgewise compression creep of fiberboard components in a cyclic relative humidity environment, TAPPI J. 76(7):(1984)
4. Back, E. L., Salmen, L., and Richardson, G., Svenna. Paperstid. 86(6):R61(1983)
5. Soremark, C., and Fellers, C., TAPPI 1991 International Paper Physics Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p549