

## 다층지의 내부응력과 물성

원종명<sup>1)</sup>

### Internal Stress and Physical Properties of Multi-layered Paper

Jong Myoung Won<sup>1)</sup>

#### 要 約

본 연구는 제지 원료의 효율적 이용 및 기능의 최적화를 위한 수단으로 사용되고 있는 다층구조화에 따른 종이의 내부응력 및 물성의 변화를 조사하기 위하여 수행되었다. 또한 최근 사용량이 급증되고 있는 재생섬유를 다층구조에 도입할 경우 수반되는 종이의 물성 변화도 조사되었다.

펄프의 고해처리는 단층지의 내부응력을 증가시켜준 반면 충전제의 사용은 내부응력을 감소시켰다. 종이의 다층구조화는 인열지수를 제외한 대부분의 종이물성과 내부응력을 감소시켰으며, 이러한 변화는 사용된 펄프의 종류, 고해수준, 원료의 배합 방법에 따라 다양하게 나타났다. 충전시에는 충전제를 외층 또는 내층에 사용함으로써 단층지보다 우수한 내부응력 및 종이물성을 얻을 수 있었다. 재생섬유를 사용할 때는 다층구조화를 통하여 투기도와 팽창도의 개선이 가능하였으나, 파열지수가 감소되었다.

#### ABSTRACT

The study was carried to investigate the change of internal stress and physical properties of paper by the multiplying of paper structuring that is an useful means to maximize the performance and use of the fiber raw material. The effects of recycled fiber on the physical properties of multiplied paper also were studied.

The beating increased the internal stress of single layered paper, while filler loading decreased the internal stress. Multiplying the structure of paper decreased the internal stress and the most of physical properties except for tear index. It was found that the properties of paper could be changed by the pulp type, beating and the combination of raw materials. The introduction of filler in the middle and/or outer layer could improved the internal stress, tensile index, tear index and burst index. The addition of recycled fiber increased the opacity and stiffness of paper in both single layered and multiplied paper. Multiplying the structure of paper improved the air permeability and stiffness, while decreased burst index.

**Key words :** *multi-layer structuring, filler, internal stress, physical properties*

---

1) 강원대학교 산림과학대학 제지공학과:Dept. of Paper Science and Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University

## 1. 서 론

모든 산업에서와 마찬가지로 제지산업에서도 가능한 한 원료를 효율적으로 활용하고, 제품의 품질 및 생산 원가를 절감하기 위한 노력을 지속적으로 추진하고 있다. 더욱이 국제시장의 개방 압력과 환경보전에 대한 관심 및 압력이 심화됨에 따라 원료의 효율적 이용 및 저에너지형 공정의 도입을 통하여 가격면에서 경쟁력을 지닐 뿐만 아니라 동시에 제품의 품질 향상 및 환경 보전에 기여할 수 있는 기술의 개발에 전력을 기울이고 있다. 특히 우리나라의 경우 종이 제조에 사용되는 원료의 상당 부분을 수입에 의존하고 있을 뿐만 아니라 제지 선진국에 비하여 매우 열등한 원료를 사용하고 있어서 가격 및 품질면에서 경쟁을 하기 어려운 상황이다. 더욱이 높은 인건비와 노우-하우 축적의 빈약성은 이러한 현상을 더욱 악화시키고 있다. 또한 환경 보전을 위하여 ISO 14000 시리즈인 LCA(life cycle assessment)의 규격 제정을 상당히 진척시킨 상황 등을 감안할 때 우리나라에서도 환경 친화적인 공정의 개발 및 제품 생산이 중요한 과제라 할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 주목받고 있는 방법의 하나가 바로 종이구조의 다층화이다. 특히 중간층에 저급 재료를 사용해도 큰 문제가 되지 않을 뿐만 아니라 오히려 판지에서 필요로 하는 벌크와 stiffness를 제공하여 주기 때문에 이미 판지 분야에서는 널리 사용되어 왔다. 판지 분야에서 처음에 다층구조를 도입한 것은 고품질의 판지를 단층으로 제조하기 어려웠기 때문이었으나, 그후 다양한 특성을 지니는 펄프를 적재적소에 사용함으로써 품질 개선 및 원가 절감 효과를 얻을 수 있음이 밝혀졌으며, 여러개의 초지기를 이용하여 초조한

얇은 시이트를 적층 합지하여 제조되었다.<sup>1)</sup> 더욱이 초지기술의 눈부신 발전과 multi-channel 헤드박스의 개발<sup>2)</sup>로 말미암아 판지뿐만 아니라 신문용지, 백상지 및 박엽지와 같은 종이의 다층구조화도 가능하게 해주었고,<sup>3-8)</sup> 다층구조화에 따른 종이의 품질 개선에 관한 연구를 촉진시키는 동기를 제공하여 주었다.<sup>9-16)</sup>

그러나 대부분의 인쇄용지의 경우 치수안정성, 특히 컬과 관련된 문제가 빈번히 발생됨에도 불구하고 이에 대한 연구가 매우 국한된 범위내에서 이루어졌다. Brecht 등<sup>17)</sup>과 Green<sup>18)</sup>은 수축 팽창 특성이 다른 펄프를 사용하여 2층구조의 종이를 만들었을 때 발생하는 컬 현상에 대하여 연구하였으며, Uesaka 등<sup>19-20)</sup>은 Carlsson 등<sup>21-22)</sup>에 의하여 개발된 컬의 적층 이론으로부터 가역적인 컬을 추측하기 위한 식을 유도하였다. 그외에도 컬 현상에 대한 연구가 다수 이루어졌으나, 컬의 조정과 밀접한 관계가 있는 내부응력과 물성에 대한 연구는 극히 미미한 상태이며, 그나마도 단층지에 국한되어 있다.<sup>23-27)</sup>

특히 인쇄용지는 판지와 달리 평량이 낮기 때문에 컬에 대하여 매우 민감한 반응을 보일 뿐만 아니라 실제 사용할 때 많은 문제를 야기시킨다. 더욱이 인쇄용지의 경량화는 이러한 경향을 더욱 심화시키는 원인으로 작용하고 있다. 즉, 평량이 낮을수록 종이 내부응력의 미소한 차이에도 컬이 발생할 수 있는 점을 감안할 때 내부응력에 대한 연구의 중요성의 더욱 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 펄프의 종류, 고해수준 및 충전제가 다층지의 내부응력 및 주요 물성에 미치는 영향을 조사하고, 최근 그 사용량이 계속 증가되고 있는 재생섬유의 혼용에 따른 변화를 조사하였다. 또한 다층구조화에 따른 내부응력의 변화를 비교하기 위하여 동일한 지료로 제조된 단층지에 대한 내부응력 및 물성도 측정하였다.

## 2. 내부응력의 발생 원리

종이의 주원료로 사용되고 있는 펄프는 수종, 펄프화 방법, 표백 유무 및 방법에 따라 다른 화학적 조성을 지니고 있으나, 그중 친수성이 매우 큰 셀룰로오스(Fig. 1)와 헤미셀룰로오스가 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 Fig. 2에서 보는 바와 같이 목재 섬유는 1차막과 2차막(외층, 중층 및 내층)으로 구성되어 있으며, 그 중 2차막 중층이 섬유막 두께의 70~90%를 차지하고 있기 때문에 섬유의 성질은 2차막 중층의 화학적 성질 및 마이크로 휘브릴 각(microfibril angle)에 의하여 좌우된다. 2차막 중층의 마이크로 휘브릴 각은 수종, 부위, 성장 조건 등에 따라서 다르나 대개 10~30°의 각을 이루고 있다. 마이크로 휘브릴은 셀룰로오스 사슬이 다발을 이루어 형성되며, 마이크로

휘브릴이 다발을 이루어 마크로 휘브릴을 이루고, 마크로 휘브릴은 다시 각 섬유막 층을 이룬다(Fig. 3). 이러한 섬유막의 구조에 있어서 중요한 것은 마이크로 휘브릴 사이에 매트릭스 성분인 헤미셀룰로오스가 채워져 있어서 수분의 흡·탈착에 의한 치수 변화가 마이크로 휘브릴의 직각 방향으로 일어나기 때문에 결국 섬유의 반경 방향으로 주로 치수 변화가 일어난다는 사실이다.

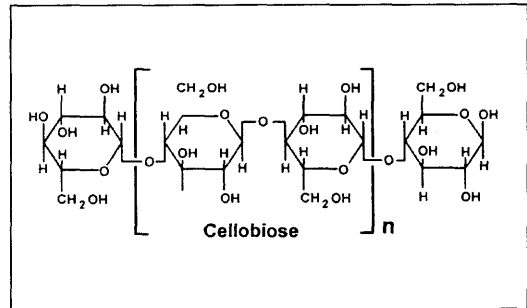


Fig. 1 Cellulose molecule.

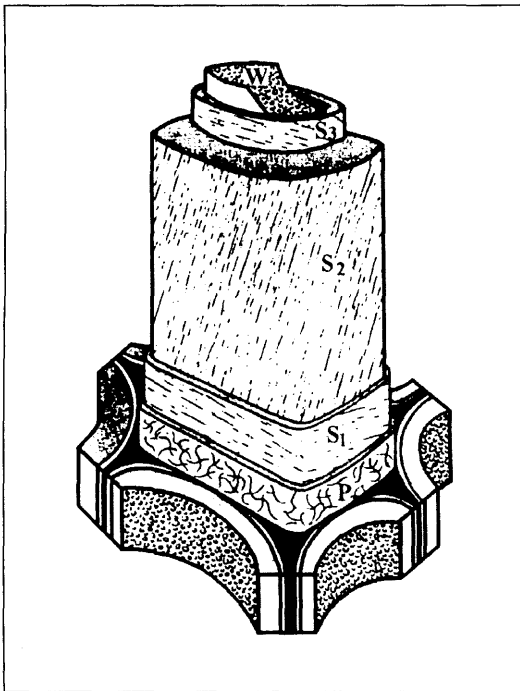


Fig. 2 Cell wall structure.

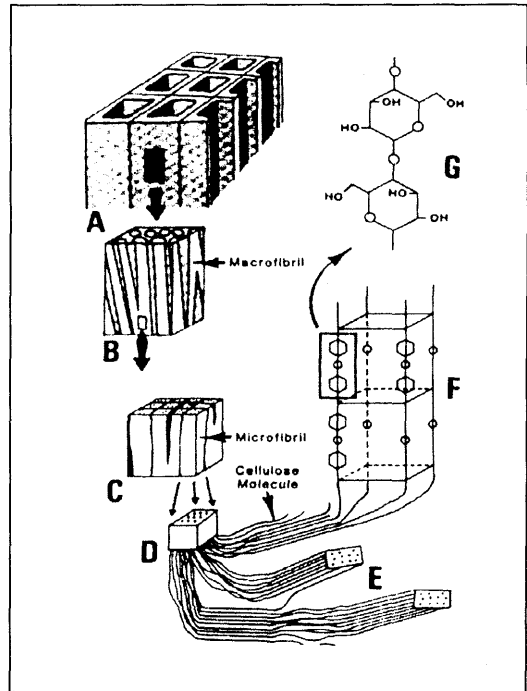


Fig. 3 Cellulose in wood fiber wall.

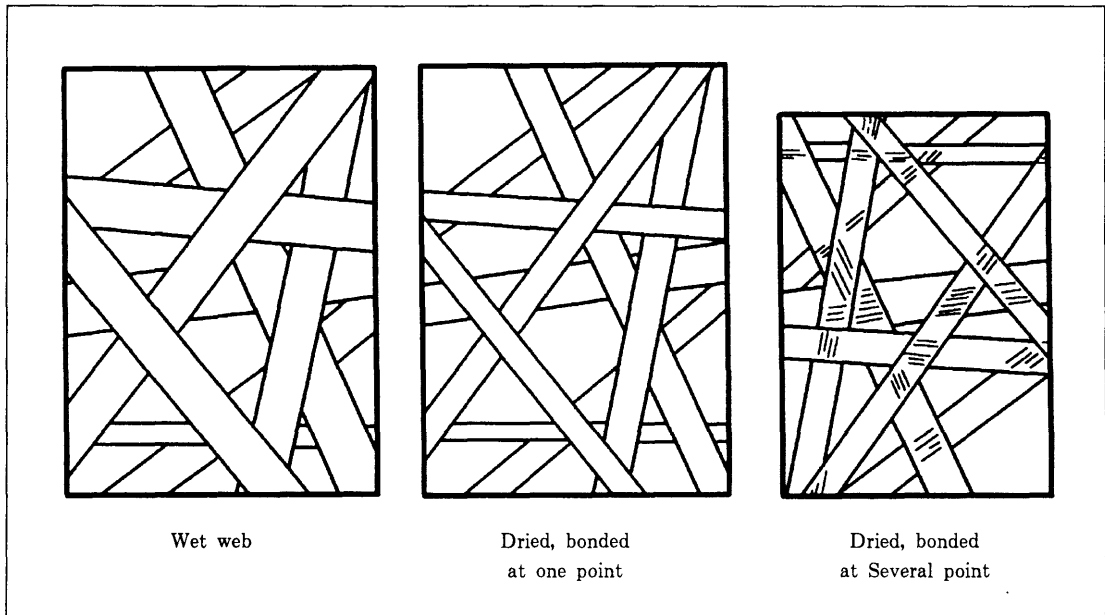


Fig. 4 Shrinkage behavior of web during drying.

Fig. 4는 지필이 건조되는 과정에서 섬유간 결합 상태에 따라 일어나는 수축 거동을 나타낸 것이다. 즉 섬유간 결합이 단지 한 개의 지점에서 일어날 경우 지필을 건조하는 동안 비록 섬유가 수축된다고 할지라도 그 거동이 종이로 전달되지 않기 때문에 종이의 치수 변화가 일어나지 않는다. 그러나 실제로 종이를 제조하는 과정에서는 섬유간 접촉부의 여러지점에서 결합이 일어나기 때문에 섬유의 수축 현상이 종이의 수축으로 나타나게 된다. 만약 종이 건조과정에서 종이의 수축이 그대로 허용된다면 별 문제가 없겠지만, 건조부에서 열전달의 극대화를 위하여 사용되는 캔버스(drying felt)에 의하여 지필이 실린더에 압착되기 때문에 지필의 수축 억제 현상이 수반될 뿐만 아니라, 인접 섬유의 수축에 의하여 종이 내부에 응력이 발생된다. 따라서 온도 또는 함수율의 변화가 일어날 경우 내부응력이 이완되어 종이의 컬 또는 치수변화에 영향을 미치게 된다.

### 3. 재료 및 방법

#### 3.1 공시재료

시판용 침엽수 표백 크라프트펄프, 활엽수 표백 크라프트펄프 및 활엽수 표백 화학열기제펄프를 공시펄프로 사용하였으며, 충전제로는 백토를 사용하였다. 또한 다층지 제조시 재생섬유의 물성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 복사지를 해리하여 사용하였다.

#### 3.2 펄프의 고해

공시펄프의 고해는 펄프 농도를 1%로 조절하고, 실험실용 고해기로 실시하였다. 다층지 제조용 펄프의 경우에는 400ml CSF의 수준으로 고해를 실시하였으며, 단층지 제조용 펄프는 500, 400 및 300ml CSF 수준으로 고해하였다. 활엽수 표백 화학열기제펄프는 다층지 제조용의 경우에는 고해를 실시하지

않았으며, 이때의 여수도가 275ml CSF이었다. 그러나 단층지 제조시에는 고해를 176ml CSF까지 고해를 행하였다. 또한 재생섬유의 경우에는 300, 400 및 600ml CSF로 고해수준을 조절하였다.

### 3.3 충전실험

단층지의 충전은 백토의 첨가량을 달리하여 충전량을 10, 20 및 30%로 조절하였다. 다층지의 충전은 충전량을 20%로 고정하고, Table 1의 조건중 a-b-a 및 b-a-b의 조건을 사용하고, 표층(20%), 내층(20%) 또는 표층과 내층에 각각 10%씩 백토를 첨가하였으며, 비교를 위하여 백토와 펄프를 혼합하여 단층지를 제조하였다.

### 3.4 초 지

단층지는 실험실용 초지기를 이용하여 평량을 60g/m<sup>2</sup>로 초지를 실시하였다. 무충전 다층지는 일본 펄프제지연구소에서 개발한 실험실용 다층지 제조장치<sup>28)</sup>를 모방하여 자체 설계 제작한 보조장치 및 초지기를 사용하여 Table 1의 조건으로 택하여 다층지를 제조하였고, 비교를 위하여 동일 혼합 지료로 단층지로 제조하였다. 또한 재생섬유를 중간층에 사용할 경우 종이의 물성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 재생섬유의 여수도(300, 400 및 600ml CSF) 및 첨가량(20, 40, 60 및 80%)을 달리하여 다층지를 제조하였다.

Table 1. Multilayer structuring condition

Triple layered sheet				Single layered sheet	
Symbol	Surface	Middle	Back	Symbol	Mixing ratio
a-b-a	a(20)	b(60)	a(20)	ab	a(40) + b(60)
a-c-a		c(60)		ac	a(40) + c(60)
b-a-b	b(20)	a(60)	b(20)	ba	b(40) + a(60)
b-c-b		c(60)		bc	b(40) + c(60)
c-a-c	c(20)	a(60)	c(20)	ca	c(40) + a(60)
c-b-c		b(60)		cb	c(40) + b(60)

a : Softwood bleached kraft pulp,

b: Hardwood bleached kraft pulp

c : Hardwood bleached chemithermo-mechanical pulp

### 3.5 종이의 내부응력 및 물성 측정

종이는 일정한 하중이 가해지면 Fig. 5와 같이 시간이 경과됨에 따라 계속 변형을 일으키기 때문에 일정한 변형량을 유지하는데 필요한 응력이 일정 수준까지 감소되는 특성을 지니고 있으며, 이러한 현상을 응력이완이라고 한다. 종이의 응력이완 특성은 실

용적인 측면에서도 매우 중요하며, 이 특성의 조절을 통하여 다양한 지종을 생산하는 것이 가능하다. 본 연구에서 내부응력을 측정하기 위하여 이러한 특성을 이용한 응력이완 방법<sup>27, 29, 30)</sup>이 사용되었다. 내부응력은 Fig. 6과 같이 탄성한계 이상에서 여러 수준으로 변형을 시킨 후 응력이완 곡선을 얻어, 각 초기 응력별 이완 곡선에서 최대 기

을기 값을 구한 다음 Fig. 7과 같이 초기 응력에 대하여 최대 기울기 값을 플롯하고 외삽하여 x축에서의 절편 값을 구하여 얻어졌다.

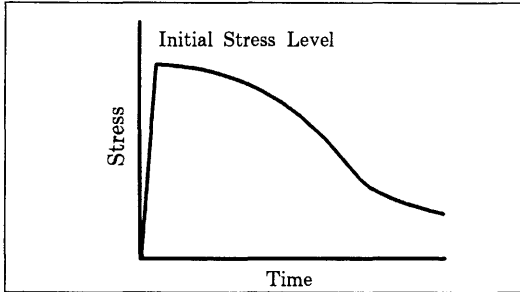


Fig. 5 Stress relaxation of paper.

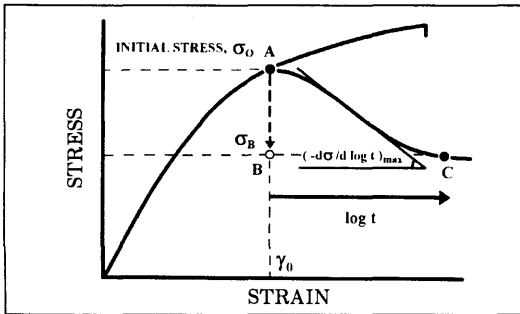


Fig. 6 Stress-strain and stress relaxation curve as a function of log time.

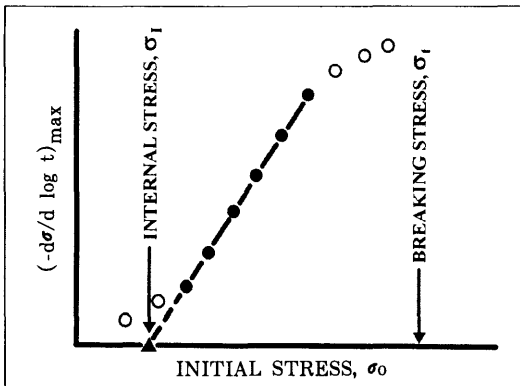


Fig. 7 Relationship between the maximum slope of stress relaxation and initial stress (Intercept at the x-axis is the internal stress of paper).

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 고해가 단층지의 내부응력과 물성에 미치는 영향

단층지의 내부응력은 종이의 강도적성질과 매우 밀접한 관계를 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 침엽수 표백 크라프트 펄프로 만든 단층지의 내부응력이 활엽수 표백 크라프트 펄프로 만든 단층지보다 2배 이상의 현저히 높은 값을 나타내었으며, 모두 고해가 진행됨에 따라 내부응력이 증가되는 경향을 보여주었다.

이와 같은 결과는 Page가 제안한 내부응력 발생 원리<sup>24)</sup>에 의하여 설명될 수 있다 (Fig. 8). 즉 일정한 길이를 갖는 종이를 구성하는 일정한 길이의 섬유 A와 B가 직교한 상태로 결합되었다고 가정할 때 건조를 하게 되면 섬유 B가 폭 방향으로 수축을 하게 되어, 섬유 B와 결합되어 있는 섬유 A의 결합부위에 압축력이 걸리며, 결합되지 않은 부위에서 인장력이 걸리게 된다. 이때 섬유 매트릭스는 팽윤되어 있는 상태이기 때문에 응력이 걸리지 않고 휘브릴에 응력이 걸리게 된다. 건조가 진행되는 동안 종이의 수축을 조절하기 위하여 외부 인장력이 계속 유지되며, 건조가 완료되면 더 이상 외부 인장력을 걸어주지 않는다. 따라서 휘브릴이 지

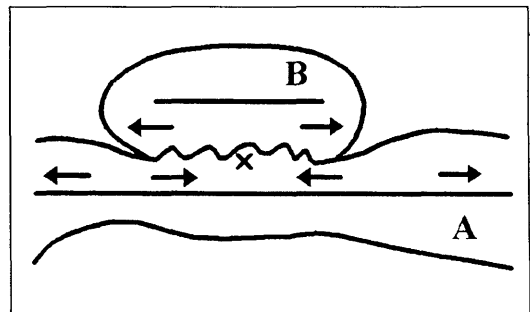


Fig. 8 Origin of internal stress.

Table 2. Effect of pulp type and beating on the physical properties of paper

pulp	Freeness (ml, CSF)	Internal stress (N · m/g)	Opacity (%)	Stiffness (gf · cm)	Tensile index (N · m/g)	Tear index (mN · m <sup>2</sup> /g)	Burst index (kPa · m <sup>2</sup> /g)
SwBKP	500	7.094	82.0	17.3	71.7	28.3	6.21
	400	10.530	81.8	17.3	86.1	20.4	7.78
	300	11.250	81.6	17.3	87.0	18.8	7.49
HwBKP	500	2.490	85.5	14.0	49.3	13.0	3.24
	400	3.918	85.4	13.6	56.9	12.9	4.10
	300	5.044	82.8	13.4	64.9	15.7	5.14
HwBCTMP	275	4.173	85.4	15.4	45.2	8.74	2.25
	176	8.309	73.1	10.4	60.5	7.14	3.81

니고 있는 응력은 종이 매트릭스와 공유되어 휘브릴이 인장응력을 지니는 반면 종이 매트릭스는 압축응력을 지니게 된다. 이 과정에서 응력의 일부는 이완되나 대부분이 그대로 남아있게 된다.

결국 섬유간 결합이 존재하지 않으면 내부응력도 존재하지 않으며, 섬유간 결합이 많이 일어날수록 내부응력도 증가될 것이라는 것을 Table 2의 결과로부터 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구 결과는 Sawatari 등<sup>23)</sup>과 Htun 등<sup>25)</sup>의 섬유간 결합과 밀접한 관계가 있는 종이의 탄성계수가 내부응력과

비례관계가 성립된다는 보고와 같은 경향을 보여주었다.

#### 4.2 충전이 단층지의 내부응력과 물성에 미치는 영향

충전은 Table 3과 같이 펄프의 종류에 관계없이 회분 함량이 증가됨에 따라 종이의 내부응력을 감소시켰으며, 종이 물성의 경우에는 뾰뾰이에 별로 영향을 미치지 않았고, 불투명도를 개선시킨 것 외에는 모두 감소시켰다. 이와 같은 결과가 나온 것은 전술한

Table 3. Effect of ash content on the physical properties of paper

Pulp	Ash (%)	Internal stress (N · m/g)	Opacity (%)	Stiffness (gf · cm)	Tensile index (N · m/g)	Tear index (mN · m <sup>2</sup> /g)	Burst index (kPa · m <sup>2</sup> /g)
SwBKP	10.12	8.309	84.37	16.00	73.75	20.37	6.29
	19.65	6.541	85.67	16.75	69.87	20.35	5.43
	28.01	4.093	87.12	16.75	58.67	19.93	4.65
HwBKP	11.17	2.218	86.75	16.00	44.58	11.12	2.40
	18.83	1.953	87.83	16.25	35.19	8.69	1.77
	29.46	1.363	88.34	16.25	25.25	7.84	1.26
HwBCTMP	10.61	1.517	88.23	15.40	28.25	5.37	1.10
	21.07	1.061	88.50	15.10	23.79	4.71	0.81
	31.09	0.998	89.23	-	18.11	4.37	0.68

바와 같이 내부응력을 포함한 모든 종이의 물성이 섬유간 결합과 매우 밀접한 관계를 지니고 있으며, 충전제 함량의 증가는 섬유간 결합을 감소시켜 주었기 때문인 것으로 사료된다.

### 4.3 다층지의 내부응력과 물성

일부 예외는 있으나 동일 자료에 대한 종이의 내부응력은 Table 4에서 보는 바와 같이 다층지보다 단층지에서 더 높았다. 이와 같은 결과는 2종의 다른 펄프를 혼합하여 초지함으로써 보다 양호한 섬유간 결합이 얻어질 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 다층지의 불투명도는 a-c-a 및 b-c-b의 경우를 제외하고는 모두 단층지보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 뺏뺏이는 활엽수 표백 화학열기계펄프가 중간층에 사용된 다층지의 경우 가장 높은 값이 얻어졌다. 특히 가운데 층에 활엽수 표백 화학열기계펄프를 사용했을 때 가장 높은 뺏뺏이가 얻어진 것은 뺏뺏이에 대한 기여도를 나타내는 관계식<sup>31, 32)</sup>

( $\text{Stiffness} \propto ET^3/\{12W/L^2\}$ )으로 쉽게 설명될 수 있다. 다소 흥미로운 결과는 인열지수의 경우 활엽수 표백 크라프트펄프를 표층과 이층에 배치하고, 침엽수 표백 크라프트펄프를 중간층에 사용했을 때 가장 높은 값이 얻어진 점이다. 다층지의 인장지수와 파열지수는 단층지보다 낮은 값이 얻어졌으며, 침엽수 표백 크라프트펄프가 60% 사용된 단층지에서 가장 높은 값을 나타내었다. 다층지의 경우에는 a-b-a일 때 각각  $70.39\text{N} \cdot \text{m/g}$  및  $5.1937\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 으로 가장 높은 값이 얻어졌다.

일부 보고된 다층구조화에 대한 연구에서 비록 본 연구와 실험 조건이 다르기는 하지만 Erickson<sup>10)</sup> 및 Collins 등<sup>13)</sup>은 다층지의 경우 동일 조성의 단층지에 비하여 불투명도, 인장강도 및 파열강도가 낮게 나오고, 침엽수 표백 화학펄프가 사용된 층 및 양에 의하여 다양한 결과가 나온다고 보고하였으며, Erickson<sup>10)</sup>은 다층지의 뺏뺏이가 단층지의 것보다 높게 나온다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 그

Table 4. Effect of multilayer structuring on the physical properties of paper

Structure	Internal stress ( $\text{N} \cdot \text{m/g}$ )	Opacity (%)	Stiffness ( $\text{gf} \cdot \text{cm}$ )	Tensile index ( $\text{N} \cdot \text{m/g}$ )	Tear index ( $\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ )	Burst index ( $\text{kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ )
a-b-a	6.697	54.85	18.33	70.39	19.78	5.19
a-c-a	3.995	58.03	28.83	57.23	19.70	3.86
ab	7.981	57.32	13.50	74.66	18.79	5.59
ac	4.105	57.97	12.83	59.48	18.51	3.85
b-a-b	4.608	54.70	12.17	68.99	24.35	4.71
b-c-b	3.029	61.75	13.00	51.82	9.65	2.82
ba	8.910	56.32	13.83	77.75	23.10	5.96
bc	2.850	61.17	10.33	51.37	9.01	2.92
c-a-c	4.235	55.44	12.50	61.42	21.06	4.32
c-b-c	3.421	58.71	7.17	52.44	10.54	3.02
ca	5.750	56.75	14.00	67.24	21.18	5.04
cb	4.013	60.62	11.00	57.71	10.28	3.37



Table 5. Effect of clay on the physical properties of multilayer structured sheet

Sturcutre	Ash (%)	Internal stress (N · m/g)	Opacity (%)	Stiffness (gf · cm)	Tensile index (N · m/g)	Tear index (mN · m <sup>2</sup> /g)	Burst index (kPa · m <sup>2</sup> /g)
a(20)-b-a	21.14	6.688	83.18	13.0	70.36	18.35	5.42
a-b(20)-a	19.11	6.842	81.85	13.4	70.87	16.74	4.92
a(10)-b(10)-a	20.35	5.558	82.17	15.5	66.60	15.93	4.76
ab(20)	19.82	3.185	86.75	17.75	51.90	15.40	2.85
b(20)-a-b	20.46	8.456	82.11	13.75	76.24	17.70	5.02
b-a(20)-b	21.02	8.675	78.19	13.10	76.95	16.51	5.57
b(10)-a(10)-b	22.00	7.320	78.98	11.90	72.46	17.31	5.71
ba(20)	19.22	5.606	86.28	17.50	66.76	18.73	4.47

는 본 연구 결과와는 달리 단층지의 인열강도가 다층지보다 높았다고 보고하였는데, 이는 Harwood<sup>8)</sup>의 보고에서 나타난 바와 같이 사용된 펄프의 고해도, 혼합비율 및 방법에 따라 다른 결과가 나올 수 있다는 사실을 검토해볼 때 다층구조화시 펄프의 처리수준 및 배합 방법에 의하여 다양한 물성이 얻어질 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다.

다층지의 충전시 내부응력 및 물성은 Table 5와 같이 외층에 활엽수 표백 크라프트펄프를, 내층에 침엽수 표백 크라프트펄프를 사용하고, 내층에 백토 20%를 모두 첨가했을 때 8.675 N · m/g으로 가장 높은 내부응력이 얻어졌으며, 동일 조성의 단층지보다 높은 값을 나타내었다. 인장지수는 b-a(20)-b일 때 76.95 N · m/g, 파열지수는 b(10)-a(10)-b일 때 5.71 kPa · m<sup>2</sup>/g으로 가장 높은 값을 나타내었다. 인열지수는 a(20)-b-a일 때 18.35 mN · m<sup>2</sup>/g으로 최고값이 얻어졌으며, 동일 조성의 단층지보다 높은 값을 나타내었다. 찢뺏이는 a(10)-b(10)-a일 때 15.5 gf · cm의 최고값을 나타내었으나, 단층지보다 낮은값을 나타내었다. 충전 다층지의 불투명도는 단층지의 경우에 비하여 약 3%

정도 낮은 값이 얻어졌으며, 연구된 범위내의 다층지 중에서는 a(20)-b-a일 때 83.18%의 가장 높은 값이 얻어졌다.

Bristow 등<sup>14)</sup>은 본 연구와는 달리 침엽수 표백 크라프트펄프만을 사용하고, 충전제를 외층 및 내층에 첨가하여 이를 혼합한 단층지의 경우와 비교한 결과 인장강도는 충전제를 외층에 첨가했을 때 가장 높은 값이 얻어졌으며, 인열강도는 내층에 첨가했을 때 가장 높은 값이 얻어졌으나, 불투명도에서는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다고 하였다. 따라서 본 연구 결과와 Bristow 등의 결과를 검토하여 볼 때 사용된 펄프의 종류에 따라 충전 효과도 달라질 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4.4 재생섬유가 다층지의 물성에 미치는 영향

재생섬유의 사용에 있어서 가장 큰 걸림돌은 섬유의 각질화에 의한 섬유 수화(hydration), 유연성 및 섬유간 결합 특성의 감소이다. 이러한 영향의 한 예로 재생지의 경우 강도적성질도 다소 떨어지지만 인쇄적성이 불량하게 나오는 것이 가장 큰 문제로

대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법의 하나로 다층구조화가 고려될 수 있다. 즉 재생섬유를 가운데 층에 넣고, 버진펄프를 외층에 사용함으로써 종이 표면 특성에 관련된 문제를 해결하는 것이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 재생섬유를 가운데 층에 여러 수준으로 사용하여 이로부터 얻어지는 주요 물성을 조사한 바 Fig. 9 ~ Fig. 12와 같다. 비록 제지 현장 조건과는 차이가 있으나 여기에서는 고해를 통하여 재생섬유의 여수도를 변화시켜 그 영향도 조사하였다. 재생섬유를 가운데 층에 사용한 다층지의 불투명도(Fig. 9)는 여수도를 600 ml CSF로 조절하여 60% 사용한 경우를 제외하고는 재생섬유를 60% 사용할 때까지 동일한 지료로 제조한 단층지보다 다소 낮은 값을 나타내어 버진펄프만을 사용하여 얻은 Table 4의 결과와 유사한 결향을 보여주었다. 그러나 재생섬유를 80% 사용했을 때는 다층지의 불투명도가 높게 나왔다. 일반 종이에서도 관찰될 수 있는 바와 같이 본 연구 결과에서도 단층지 및 다층지에서 모두 고해수준이 낮을수록 높은 불투명도를 나타내었다.

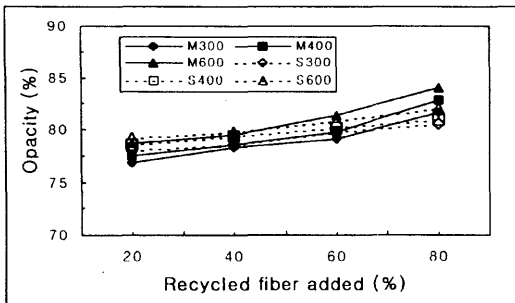


Fig. 9 Effect of recycled fiber on the opacity of multilayered paper.

단층지 및 다층지의 투기도를 측정된 결과 Fig. 10과 같이 재생섬유의 함량이 많아

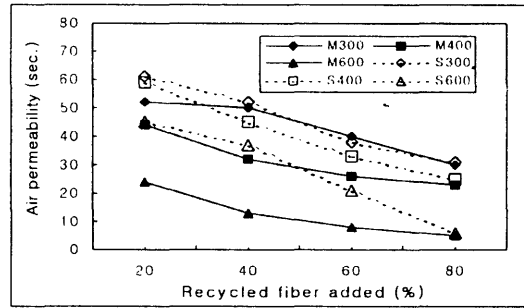


Fig. 10 Effect of recycled fiber on the air permeability of multilayered paper.

질수록 투기성이 보다 우수한 특성을 나타내었다. 본 결과에서 매우 흥미로운 사실은 다층구조화를 통하여 종이의 투기성이 현저히 개선되었으며, 재생섬유의 함유량이 80%까지 증가됨에 따라 단층지와 다층지 사이의 투기도에서 거의 차이를 나타내지 않은 점이다. 고해도별로 보면 300ml CSF의 여수도가 낮은 재생섬유를 사용할 경우 재생섬유가 소량(20%)일 때는 다층지의 투기성이 좋았으나, 그 이상에서는 단층지와 다층지 사이에 차이가 나타나지 않았다. 그러나 여수도가 높을 경우에는(400ml, 600ml CSF) 다층지의 투기성이 우수했다. 이와 같은 결과가 얻어진 것은 여수도가 낮을 경우에는 단층지 및 다층지에서 유사한 지필구조가 얻어지나, 여수도가 높을 경우에는 다층지의 중간층이 비교적 벌키한 구조를 이루는 반면 버진펄프와 혼합된 단층지는 보다 치밀한 구조를 지니기 때문인 것으로 사료된다.

다층지의 파열지수는 Fig. 11과 같이 초지에 사용된 펄프의 여수도에 관계없이 모두 다층지보다 단층지에서 더 높은 값을 얻어졌으며, 여수도가 600ml CSF인 경우에는 단층지와 다층지 사이의 차이가 크지 않았다. 또한 재생섬유 사용량의 증가는 다층구조화에 관계없이 모두 파열지수를 감소시켰다. 이러한 결과는 투기도에서 설명된 바와 같이 단층지의 경우 버진펄프와 재생섬유를

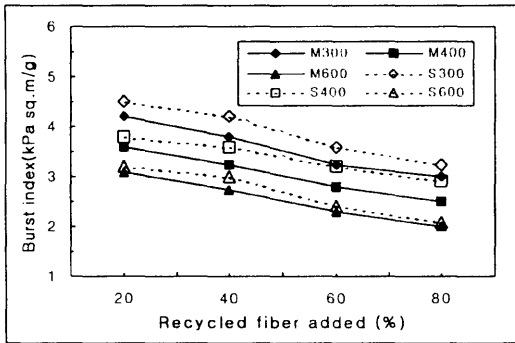


Fig. 11 Effect of recycled fiber on the burst index of multilayered paper.

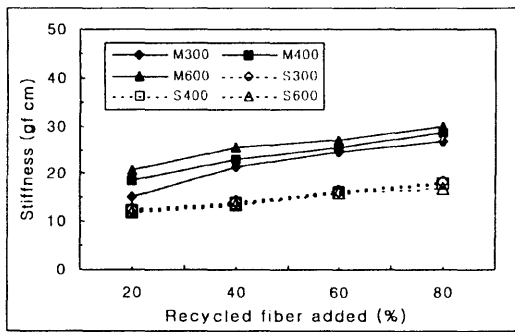


Fig. 12 Effect of recycled fiber on the stiffness of multilayered paper.

혼합하여 단층지를 제조할 경우 재생섬유만을 사용할 경우에 비하여 훨씬 치밀한 구조와 섬유간 결합이 얻어질 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

종이의 뽀뽀이는 비록 섬유간 결합에 의하여도 영향을 받지만 다른 물성과는 달리 두께에 의하여 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 Fig. 12에서 보는 바와 같이 가운데 층에 재생섬유를 사용할 경우 보다 큰 벌크를 제공해주기 때문에 다층지의 뽀뽀이가 단층지의 것보다 더 높았으며, 재생섬유 사용량이 증가됨에 따라 더불어 증가되었다. 한편 단층지의 경우 펄프의 여수도가 미치는 영향이 그다지 크게 나타나지 않은 반면에 다층지의 경우에는 여수도가 높을수록 높은 값을 나타내었다.

## 5. 결 론

섬유자원의 효율적 이용 및 재생섬유의 활용을 위한 중요한 수단으로 사용될 수 있는 종이의 다층구조화시 종이의 치수안정성에 중대한 영향을 미치는 내부응력과 종이의 물성에 어떤 변화를 나타내는 가를 조사하고, 재생섬유를 다층지 제조 원료로 사용할 경우 일어날 수 있는 종이의 물성 변화를 조사하였다.

단층지의 내부응력은 고해에 의하여 섬유간 결합이 많이 일어날수록 높아지는 경향을 나타내었으며, 충전제 함량의 증가는 내부응력을 감소시켰다. 다층구조화는 인열지수를 제외한 대부분의 종이 물성과 내부응력을 단층지 제조시보다 감소시켰으며, 이때 사용된 펄프의 종류, 고해수준 및 배합 방법에 따라 다양한 결과가 얻어질 수 있음이 확인되었다. 그러나 충전제를 다층지의 중간층 또는 외층에 사용함으로써 동일 회분 함량의 단층지보다 높은 내부응력, 인장지수, 인열지수 및 파열지수를 얻을 수 있었다. 재생섬유의 사용은 다층구조화에 관계없이 불투명도와 뽀뽀이를 개선시켜 주었다. 다층구조화는 종이의 투기도와 뽀뽀이를 개선시켜 주었으나, 파열지수를 감소시켰다.

## 인 용 문 헌

1. Blechschmitt, J. and H. Fritzching. 1979. Zellstoff und Papier 28(4):175.
2. Bergstrom, J.I. 1977. Norsk Skogind. 31(5):133.
3. Johnson, R. 1984. TAPPI Engineering Conference Proceedings. p. 95.
4. Andersson, I. 1984. Multilayering on a roll former. 1984 SPCI Proceedings

- "New Available Techniques". pp. 157-163.
5. Andersson, I. 1985. Paper Trade Journal 169(Feb.):44.
  6. Kitamura, M. 1987. Japan Tappi 41(12):19.
  7. Page, R.E. and R.E. Hergert. 1989. 42(1):33.
  8. Harwood, J.W. 1990. Tappi Journal 73(5):115.
  9. Stökmann, V.E. 1974. Tappi 57(10):108.
  10. Erickson, L.D. 1977. Tappi 60(10):113.
  11. Meinecke, A. 1979. The influence of the sheet formation method on the properties of multi-ply paper and board. Web Formation & Consolidation. EUC EPA-79 XVIII International Conference. pp. 131-143.
  12. Bergstrom, J.I. and J.D. Peel. 1979. Fundamentals of structured web forming. Web Formation & Consolidation. EUCEPA-79 XVIII International Conference. pp. 119-130.
  13. Collins, N.J. and J. Colley. 1979. Appita 33(2):119.
  14. Bristow, J.A. and N. Pauler. 1982. Svensk Papperstidning 86(15):R164.
  15. Nanko, H., S. Mukoyoshi and J. Ohsawa. 1987. Japan Tappi 41(9):59.
  16. Hasuike, M. 1992. Japan Tappi 46 (1):47.
  17. Brecht, W. and P. Räderer. 1965. Das Papier 19:271.
  18. Green, C. 1981. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev. 20:147.
  19. Uesaka, T., I. Kodaka, S. Okushima and R. Fukuchi. 1985. Japan Tappi 39(10):953.
  20. Uesaka, T., T. Ishizawa, I. Kodaka, S. Okushima and R. Fukuchi. 1987. Japan Tappi 41(4):335.
  21. Carlsson, L., C. Fellers and M. Htun. 1980. Svensk Papperstidning 83(7):194.
  22. Carlsson, L. 1981. Fiber Science & Technology 14:201.
  23. Sawatari, A. and T. Takashima. 1972. Mokuzai Gakkaishi 18(2):91.
  24. Page, D.H. 1977. Fibre-Water Interactions in Paper-Making. Transactions of the Symposium. BPBIF. pp. 489-490.
  25. Htun, M. and A. de Ruvo. 1978. Tappi 61(6):75.
  26. Waterhouse, J., S. Stera and D. Brennan. 1987. JPPS 13(1):J33.
  27. Skowronski, J. 1987. Internal stresses in paper. Part I. Measurement and its interpretation. PPR 640. Pulp and Paper Research Institute of Canada.
  28. Nanko, H., S.I. Mukoyoshi and J. Oshawa. 1987. Japan Tappi 41(3):49.
  29. Johansson, F. and J. Kubát. 1964. Svensk Papperstidning 67(20):822.
  30. Johansson, F., J. Kubát. and C. Pattyanie. 1967. Svensk Papperstidning 70(10):333.
  31. Heritage, C.C., E.R. Schafer and L. Carpenter. 1929. Paper Trade Journal 89(17):182.
  32. Institute of Paper Chemistry. 1937. Paper Trade Journal 104(21):287.