

골판지의 와프 현상 발생에 대한 원지 특성의 영향

이진호 · 박종문[†] · 이상현

(2005년 10월 29일 접수: 2006년 2월 20일 채택)

Effect of Base Paper Properties on Warp of Corrugated Board

Jin-Ho Lee, Jong-Moon Park[†], and Sang-Hyun Lee

(Received on October 29, 2005: Accepted on February 20, 2006)

ABSTRACT

Basically corrugated board is composed of three layers of different basis weight and stock composition. Warp is well-known for one of the most important problems of corrugated board production. Warp is caused by difference of hygro-expansibility of liners between top and bottom.

This research was performed to evaluate the effect of paper properties on the warp of corrugated board. To evaluate warp, dynamic expansion properties of paper was tested using DPM(dynamic penetration measuring system). The effects of sizing, stock composition and wet-pressing on dynamic expansion properties were also evaluated.

Commercial base papers showed different dynamic expansion property depending on stock composition and papermaking operation. Sizing treatment decreased and wet-pressing increased the amount of dynamic expansion. To reduce warp of corrugated board, management of dynamic expansion of base papers should be controlled by manipulating moisture, heat and tension, using a variety of adjustments available on the corrugator.

Keywords : corrugated board, hygro-expansion, warp, dynamic expansion.

• 이 논문은 2005년도 지역혁신인력양성사업에 의해 지원되었음.
• 충북대학교 농업생명환경대학 산림과학부(School of Forest Resources, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)
[†] 주저자(Corresponding author): e-mail: jmpark@cbu.ac.kr

1. 서론

골판지는 압축 하중에 강하고 완충능력을 겸비한 강유내강(剛柔內剛)의 특성을 가진 포장 재료로서 활용 가치가 높고, 플라스틱이나 비닐 포장 등의 소재와는 달리 회수 및 재활용성이 뛰어난 장점을 가진 포장 소재이다. 2004년도 국내 지류 총생산량 10,511천 M/T 중 골판지 원지 생산이 3,525천 M/T 생산으로 33.5%를 점유하여 여러 지종 중에서 최대 생산량을 차지하고 있으며,¹⁾ 재생성, 가공성이 다른 포장재에 비해 뛰어나기 때문에 산업 전반에 걸쳐 포장재로서 사용범위가 확대되고 있다. 골판지는 골판지 생산용 원지를 코루게이터의 밀롤 스탠드에 걸어주면 성형, 접착, 건조, 재단의 과정을 거쳐 골판지가 쏟아져 나오는 일괄 작업으로서 코루게이터의 어느 한 부분이라도 부적합하면 좋은 골판지를 생산할 수 없어 전체적으로 완벽한 시설과 조작이 필요하다. 더구나 골판지 원지의 비용이 총 매출액의 70% 내외를 차지하는 부가가치가 낮은 제조 공정이므로 생산 불량 발생하면 바로 매출액의 70%를 잃어버리는 공정이다. 골판지 생산 공정에 있어서 발생하고 있는 불량 형태 중 품질과 관련된 불량은 접착 불량과 와프 현상이 가장 큰 문제로 알려져 있는데,²⁾ 이중 와프 현상은 종이의 curl과 유사한 현상이다. 종이는 주변의 온도와 수분 변화에 따라 휘는 현상을 나타내는데 이러한 현상을 컬이라고 한다.³⁾ 컬 현상은 거의 모든 종지와 판지에서 나타나며, 이는 제지 및 골판지 생산 공정에서 장애 요소로 작용하고 있다. 컬이 발생하는 주요 원인은 종이 양면의 치수변화라 할 수 있으며, 종이의 치수 변화는 주로 수분 함량 변화에 따라 발생하게 되는데, 이는 종이가 습윤 팽창성

(hygro-expansivity)을 가지기 때문이다. 종이 컬 발생의 주요 원인으로는 수분, 섬유배향, 고해정도, 건조과정, 섬유 형태, 충전제 함량 등이 있다.⁴⁾ 골판지에서 발생하는 와프의 종류로는 횡방향 와프, S와프, 장력 와프, 트위스트 와프, 포스트 코루게이터 와프 등이 있으며, 횡방향 와프인 상향 또는 하향 와프의 주요 원인은 표리면 라이너의 신축 차이 및 표리면 라이너의 수분차이가 주요 원인이라고 할 수 있다.⁵⁾ 골판지는 기본적으로 표면라이너와 골심지 및 이면라이너로 구성되는데, 대부분의 골판지가 각 층마다 다른 원지 및 평량으로 구성되는데, 한 예로 Table 1에 소포 상자의 규격에 나타내었다. 이는 골판지의 구성에서부터 구조적 이방성을 가지고 있다는 것을 의미한다.

이에 본 연구에서는 시중에서 유통되는 골판지 제조용 원지 및 수초지의 습윤 팽창성 평가를 통해 원지의 특성이 골판지의 와프 현상에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

2.1.1 골판지 원지

현재 골판지 원단 제조에 사용되는 골판지용 표면 라이너(SK-210 g/m²), 골심지(K-180 g/m²), 이면 라이너(K-180 g/m²)를 입수하여 실험에 사용하였다. 또한 K-180, 200, 220 g/m² 원지를 두개의 골판지 원지 제조업체에서 공급받아 실험에 사용하였다.

2.1.2 원지의 사이징

Table 1. Standards of domestic packaging box for post

	1	2	3	4	5
Box type	A-1	A-1	A-1	A-1	A-1
Box dimension(mm)	180×160×70	270×180×150	320×240×200	360×300×240	480×360×300
Base paper formulation	SK180 /K180 /SK180	SK210 /K180 /K180	SK210 /K180 /K180	SK210 /K180 /K180	SK210 /K180 /K180

이면 라이너(K-180)를 해리한 후 100 g/m²으로 수초지시 내침 사이징 한 수초지를 실험에 사용하였다. 내침시 alum은 지료 대비 4.3%로 고정하였고, rosin은 지료대비 0, 0.8, 1.6, 2.4%를 각각 첨가하여 초지 하였다.

2.1.3 고지 배합

AOCC와 KOCC를 제지사에서 분양받아 각각 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100의 비율로 혼합하여 100 g/m²의 수초지를 제조하였다. Table 2는 실험에 사용된 고지의 섬유특성을 섬유장 분석기(morfi)를 이용하여 분석한 결과로 AOCC가 KOCC에 비해 섬유장이 길고, 회분의 양이 적은 것을 알 수 있다.

2.1.4 습부 압착

AOCC와 KOCC를 5:5로 혼합한 지료를 실험실용 roll-press를 이용하여 습부 건조도 28.1, 32.3, 40.8, 46.8%로 각각 조절하여 100 g/m²으로 수초하였다.

2.2 공시 재료의 물성 평가

TAPPI standard T402 om-83에 따라 온도 23±1℃, 상대습도 50±2%로 조습 처리한 상업용 원지 및 수초지를 화학 연구원의 L&W Tensile Tester를 이용하여, 열단장, 변형률, 탄성계수, TSI를 측정하였다.

2.3 골판지 원지의 동적 팽창성 평가

원지 및 수초지의 습윤 팽창성을 평가하기 위해

Table 2. Properties of AOCC and KOCC fibers

	AOCC	KOCC
Length weighted in length (μm)	904.4	825.6
Width (μm)	22.7	20.3
Coarseness (mg/m)	0.225	0.199
Kinked angle (°)	134.24	132.89
Kinked fibers (%)	10.77	17.41
Curl (%)	4.43	5.15
Fines content (%)	56.3	52.3
Ash content (%)	6.5	14.2

Emtec사의 DPM(dynamic penetration measuring system)을 이용하여 원지의 수분 흡수에 따른 동적 팽창성을 평가 하였다. DPM은 시료를 액체에 침지한 후 시간에 따른 흡수성 및 팽창성을 측정하는 장비로, 본 실험에서는 동적 팽창성을 평가 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원지의 종류 및 MD, CD에 따른 동적 팽창성

Fig. 1 및 Table 3은 골판지 제조용 세 원지의 수분 흡수에 따른 동적 팽창성 및 물성을 측정한 것이다. 세 원지는 택배용 소포장 골판지 생산에 사용되는 표면, 중심 및 이면 라이너이다. 표면 라이너지가 가장 강한 강도적 특성을 가지고 있으며, 골심 및 이면 라이너지가 유사한 강도적 특성을 나타내고 있는 것으로 보여 서로 다른 지료 구성 및 평량 차이의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 동적 팽창성 평가 시 지필의 방향성 및 원지에 따라 차이가 남을 알 수 있다. 방향성의 경우, CD 방향이 MD 방향에 비해 동적 팽창성이 크게 나타났으며, 이는 장망식 초지기에서 나타나는 섬유 배향성 때문으로 판단된다. CD를 기준으로 원지간 동적 팽창성의 경우 표면 라이너가 가장 낮은 팽창성을 나타내며 중심지와 이면 라이너가 높은 팽창성을 나타내고 있다. 표면 라이너로 사용되는 SK원지의 경우 표층에 크라프트 펄프를 소량 사용하며 경우에 따라 사이징 처

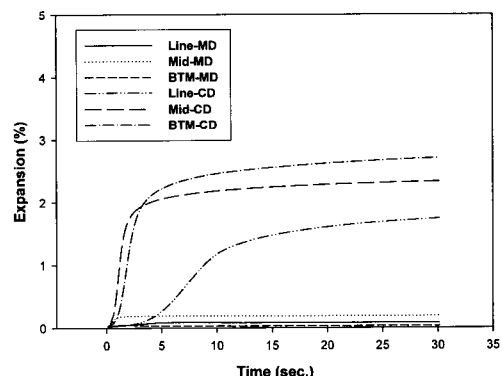


Fig. 1. Dynamic expansion of machine-made base papers.

Table 3. Physical properties of base papers

		Top liner	Middle	Bottom liner
Basis weight (g/m ²)		206.38	173.47	180.03
Bulk (cm ³ /g)		1.39	1.39	1.43
Air-permeability (sec.)		129.7	64.8	57.65
Bendtsen roughness (ml/min)	Top	849.60	509.60	1091.80
	Btm	1969.80	565.40	1029.00
Breaking length (km)	MD	6.82	4.99	3.05
	CD	2.87	2.35	1.61
Elongation (%)	MD	1.60	1.49	0.68
	CD	3.33	2.77	2.76
E-modulus (GPa)	MD	6.01	5.09	4.25
	CD	2.46	2.32	1.54
TSI (kNm/g)	MD	8.33	7.09	6.07
	CD	3.41	3.22	2.21
MD/CD in breaking length ratio		2.38	2.12	1.89

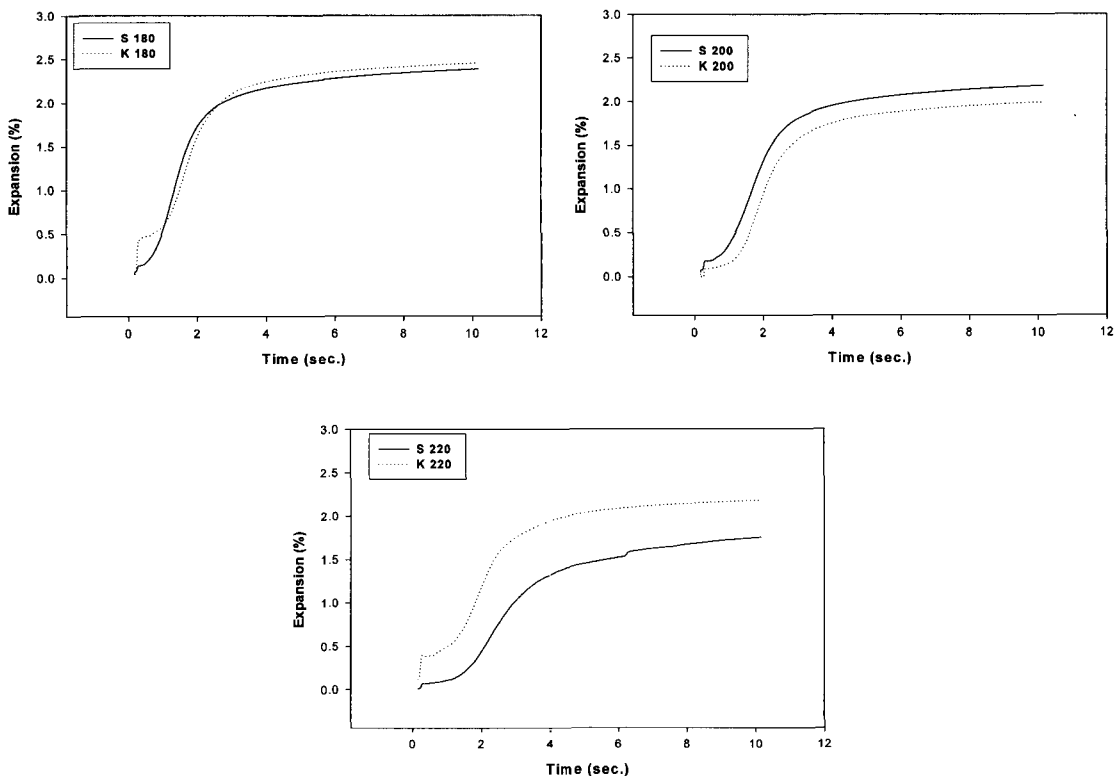


Fig. 2. Comparisons of dynamic expansions of machine made paper at same basis weight.

Table 4. Physical properties of different company made papers

		S			K		
Basis weight (g/m ²)		182.27	198.88	226.44	181.14	202.49	222.36
Bulk (cm ³ /g)		1.40	1.39	1.43	1.37	1.35	1.30
Air-permeability (sec.)		51.83	61.80	61.93	57.8	56	66.23
Ash content (%)		14.94	14.66	13.29	14.10	13.42	14.03
Breaking length (km)	MD	4.28	3.52	2.85	5.05	4.52	4.18
	CD	1.9	2.03	1.8	2.15	2.23	2.22
Elongation (%)	MD	0.88	0.69	0.5	1.5	1.44	1.36
	CD	2.80	2.58	2.37	2.92	3.00	2.91
E-modulus (GPa)	MD	5.046	4.74	4.65	5.11	4.75	4.64
	CD	1.77	1.90	1.82	2.06	2.11	2.23
TSI (kNm/g)	MD	7.1	6.59	6.65	6.97	6.42	6.05
	CD	2.49	2.64	2.61	2.81	2.85	2.91
MD/CD ratio in breaking length		2.25	1.73	1.58	2.35	2.03	1.88

리가 되어 제조되는데 표면 라이너의 초기 팽창성이 완만한 것은 사이징 및 표면 크라프트층의 영향으로 판단된다. 이에 반해 고지로만 이루어진 중심지와 이면 라이너지는 수분과 접촉 후 빠르게 팽창하며 두 지종간의 큰 차이는 나타나지 않았다. 이는 고지로만 이루어진 중심 및 이면 라이너의 약한 섬유간 결합에 기인한 것을 판단된다.

골판지는 제조과정에서 저농도의 전분 슬러리가 도포되어 접착 건조되게 되는데, 접착제 도포시 전분 슬러리내의 수분이 원지로 이동 흡수되면서, 원지의 구성 및 평량이 다른 지종을 사용함에 따라 원지간 팽창 이방성이 발생할 수 있으며 이에 따라 와프 현상이 잠재되어 있다고 할 수 있다.

Fig. 2는 두개의 회사에서 생산되는 동일 평량대의 제품에 대한 동적 팽창성을 비교한 것이며,

Table 4는 그 제품에 대한 물리적 특성을 나타내었다. S 및 K사 모두 평량 증가에 따라 강도적 특성이 감소하는 경향을 나타내었으나, 그 감소 폭은 S사가 더 심하였다. 평량 증가에 따른 bulk 변화의 경우 역시 두 회사간 다른 결과를 나타내었는데, S사의 경우 평량 증가에 따른 bulk 변화가 크지 않은 반면 K사의 경우 평량 증가에 따라 bulk가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 두 제지사의 초기 방식이 다르기 때문으로, bulk 및 강도 변화를 고려할 때, S사의 경우 평량 증가에 따른 압착부의 변화가 크지 않은 반면 K사의 경우 평량 증가에 따라 압착부의 건조도를 증가 시켰을 것으로 판단된다. 물성의 차이가 크지 않은 180과 200 g/m²의 경우에는 두 지종간의 팽창성의 차이를 크게 확인할 수 없으나, 구조 및 강도적 차이가 커지는 220 g/m²에서는

Table 5. Physical properties of handsheets depending on internal sizing

Rosin addition level (%)	0	0.8	1.6	2.4
Basis weight (g/m ²)	104.04	104.11	104.39	105.52
Bulk (cm ³ /g)	2.05	2.11	2.13	2.07
Sizing degree (sec.)	0	10	29	116
Breaking length (km)	2.78	3.05	2.75	2.78
Elongation (%)	1.40	1.46	1.20	1.33
E-modulus (GPa)	2.17	2.29	2.24	2.28
TSI (KNm/g)	4.47	4.83	4.77	4.73

두 지종간에 팽창성 차이가 커지는 것으로 나타났으며, 밀도가 높은 K사의 지종이 더 높은 동적 팽창성을 나타내었다.

Table 5에 내침 사이징 처리한 수초지의 물리적 특성을 나타내었고, Fig. 3은 사이징 처리 원지의 수분 흡수에 따른 동적 팽창성을 나타낸 것으로, rosin 사이징 처리에 따라 수초지의 강도적 특성에는 별다른 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 동적 팽창성의 경우 rosin을 첨가하지 않거나 소량 처리하는 경우 액체와 접촉 후 팽창이 빠르게 일어나는 반면, rosin 처리량이 증가함에 따라 시간에 따른 동적 팽창 속도가 완만하며 팽창 정도도 감소하는 것으로 나타났다. 사이징은 친수성의 섬유 표면을 소수성을 변환시키기 위해 소수성 물질로 셀룰로오스 표면을 도피하는 공정으로 사이징 처리의 증가는 곧 물과 반응할 수 있는 섬유의 면적 감소를 의미하기 때문에 사이징 처리에 따라 동적 팽창성이 저하되는 것으로 판단된다. 고지를 주로 사용하는 골판지 원지의 경우 원료의 약한 결합성에 의해 다습한 여름 장마철과 같은 기간에 수분 흡수에 따라 원지의 강도가 하락하여 골판지 강도를 떨어뜨리게 된다. 이에 골판지 원지 제조사의 경우 원지에 내외침 사이징 처리를 통해 원지의 강도를 유지하게 되는데, 소수기가 부여된 원지의 경우 외기 조건에 대한 강도는 유지될 수 있으나, 원지의 수분 흡수 및 팽창성에 영향을 미치기 때문에 동일 평량의 원지라 할지라도 제조 시점에 따른 원지의 동적 팽창성의 차이를 나타낼 수 있다.

Table 6에 AOCC와 KOCC 혼합률에 따른 수초

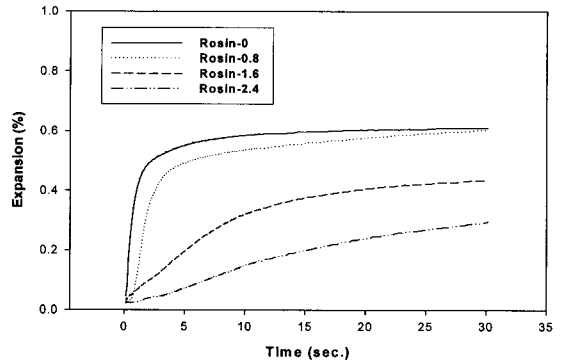


Fig. 3. Effect of internal sizing on dynamic expansion of handsheets.

지의 물리적 특성을 나타내었으며, Fig. 4는 AOCC와 KOCC를 혼합한 수초지의 액체 침투에 따른 수초지의 팽창성을 나타낸 것이다. 고지 배합에 따른 물성 평가시 KOCC의 함량이 증가함에 따라 열단장, 변형률 및 ZDT가 모두 감소하는 결과를 나타내었는데, 이는 KOCC가 AOCC에 비해 지료가 열악한 특성을 가지고 있기 때문이다. 최종 팽창정도는 지료간 차이가 없으나, 초기 팽창성의 경우 지료의 혼합에 따라 차이가 나타남을 알 수 있다. 종이의 수분 흡수에 따른 팽창성은 종이와 수분과의 접촉함에 따른 섬유 자체의 흡수 및 섬유 사이의 공극으로의 흡수 그리고 수분 흡수에 따른 섬유간 수소결합의 해체 정도에 영향을 받게 된다. 고지의 지료 구성에 따른 팽창성의 경우 최종 팽창성은 유사함에 비해 초기 팽창성이 AOCC의 양이 증가함에 따라 약간 느려지는 결과를 나타내었는데 이는

Table 6. Physical properties of handsheets depending on the mixing ratio

Mixing ratio	AOCC (%)	100	75	50	25	0
	KOCC (%)	0	25	50	75	100
Bulk (cm ³ /g)		1.96	1.94	2.05	2.06	2.12
Air-permeability (sec.)		11.27	11.40	12.97	13.27	16.40
Breaking length (km)		5.03	4.56	4.19	3.86	3.24
Elongation (%)		2.11	2.13	2.05	1.95	1.67
E-modulus (GPa)		2.87	2.72	2.46	2.38	2.16
TSI (kNm/g)		5.62	5.29	5.05	4.91	4.58
ZDT (kPa)		438.97	434.83	418.57	399.50	382.63

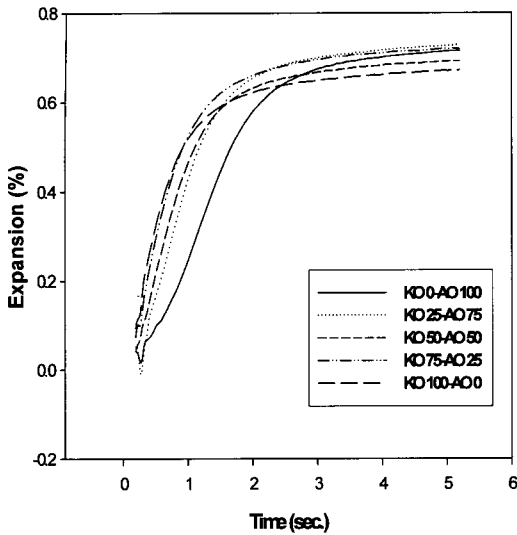


Fig. 4. Changes of dynamic expansion properties of handsheets depending on KOCC and AOCC mixing ratio.

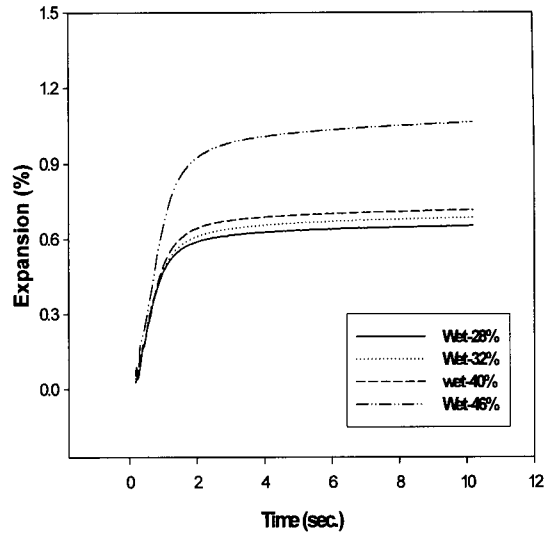


Fig. 5. Effect of wet-pressing on dynamic expansion of handsheets.

AOCC가 KOCC에 비해 낮은 회분 함량 및 긴 섬유장 특성을 나타내는 바와 같이 지료 성분이 KOCC보다 우수하기 때문에 보다 강한 섬유 네트워크를 형성하여 수분과의 접촉시 해체되는 섬유 네트워크 내 수소결합의 양이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 7은 압착 조건 변화에 따른 수초지의 물리적 특성을 나타내었다. Fig. 5는 압착부의 조건을 달리하여 습지의 건조도를 조절함에 따른 수초지의 동적 팽창성 변화를 나타낸 것이다. 수초지의 강도적 특성은 압착부의 건조도가 증가함에 따라 압착부의 건조도가 증가함에 따라 향상되는 특성을 나

타내는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 초지공정 중 압착부의 건조도가 증가함에 따라 섬유간 수소결합이 증가하여 지필이 고밀화되어 강도적 특성이 향상되기 때문이다. 동적 팽창성의 경우 초기 팽창성은 유사하지만 수초지의 최종 동적 팽창성이 증가하는 경향을 나타내었다. 초기 흡수성의 경우 동일한 지료를 사용하였기 때문에 별다른 차이를 나타내지 않은 것으로 판단된다. 최종 팽창성이 압착부 건조도 증가에 따라 증가하는 것은 고밀화된 수초지는 수분과 접촉시 증가된 섬유간 결합만큼 팽창할 수 있는 여력을 갖게 되기 때문에 압착부 건조도 증가에 따라 최종 동적 팽창성이 증가되는 것으로 판단된다.

Table 7. Physical properties of handsheets depending on wet-pressing

Wet-web dryness (%)	28.1	32.4	40.8	46.8
Bulk (cm ³ /g)	2.35	2.13	2.03	1.95
Air-permeability (sec.)	6.4	10.94	14.66	19.6
Breaking length (km)	3.57	4.09	4.28	4.52
Elongation (%)	1.84	1.87	1.94	2.12
E-modulus (GPa)	449.95	520.64	568.21	654.91
TSI (kNm/g)	1.95	2.39	2.57	2.75
ZDT (kPa)	4.58	5.09	5.21	5.35

4. 결론

골판지 제조시 발생하는 품질 문제 중 하나인 와프 현상은 종이 가지는 습윤 팽창성 차이에 의해서 나타나게 되는데, 골판지 생산에 사용되는 원지 및 사이징 처리, 원지 배합, 압착조건을 조절한 수초지의 물성 및 동적 팽창성을 DPM을 이용하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 골판지용 표면 라이너는 골심이나 이면 라이너와는 다른 원지 배합 및 평량을 가지며 이에 따른 동적 팽창성 차이를 나타내었으며, 이는 골판지가 원지 구성에서부터 이방적 구조를 가지고 있음을 의미한다.

2. 사이징 처리는 강도적 특성에는 크게 영향을 미치지 않으나, 섬유 표면의 소수화로 섬유와 물간의 반응을 저해하여 원지의 동적 팽창성을 낮추는 것으로 나타났다.

3. 압착부 조절에 따른 동적 팽창성 평가시 원지가 고밀화될수록 동적 팽창성이 커지는 결과를 나타내었는데, 이는 압착부 건조도 증가에 의해 섬유간 결합이 증가되어 고밀화된 정도만큼 수분과의 접촉에 의해 팽창 여력을 가지기 때문으로 판단된다.

골판지 제조시 발생하는 와프 현상은 원지가 가

지는 물리적 이방적 구조에 기인하기 때문에 와프 현상을 줄이기 위해서는 골판지 제조시 라이너지간의 동적 팽창성의 차이를 최소로 관리하며 와프 발생시 생산 공정상의 조습 및 preheater 등과 같은 장비를 통해 원지의 수축/팽창 정도의 조절이 중요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

인용문헌

1. 한국제지공업연합회, 제지산업 통계연보 2005.
2. Carbone, J. T., *Corrugating Defect/Remedy Manual*, Sixth Edition, TAPPI PRSS, Atlanta, (1999).
3. Niskanen, K., *Paper Physics*, Book 16 in series of *Papermaking Science and Technology*, Fapet Oy, pp. 222-259 (1998).
4. Green, C., *Fundamentals of Paper Curl*, Paper Science Notes, (1998).
5. Bessen, A. H., *The Corrugator*, Jelmar Publishing co., Inc., pp. 183-186 (1999).