

캘린더 처리에 의한 다층지의 두께방향 구조 특성 변화

윤혜정[†] · 이학래 · 진성민 · 정현도
(2005년 1월 27일 접수: 2005년 8월 10일 채택)

A Change of Z-directional Structure in Multi-ply Sheet by Calendering

Hye Jung Youn[†], Hak Lae Lee, Seong Min Chin, and Hyun Do Jung

(Received on January 27, 2005: Accepted on August 10, 2005)

ABSTRACT

A change of z-directional structural and surface properties by calendering has a great influence on liquid penetration into a sheet. It could be also important for multi-ply sheet because it contacts liquid dunhg coating or converting process. Therefore, this study was aimed to evaluate of a change of z-directional structure in multi-ply sheet by calendering. To do this, multi-ply sheets were prepared with various raw materials and calendered at the different pressure and temperature conditions. In multi-ply sheet which consisted of one kind of pulp fiber, thickness reductions were higher in top and bottom plies than in middle plies. And in the case of soft nip calender treatment with high temperature, top layer which was in contact with heating roll showed the highest reduction of thickness. Hard nip calender treatment showed U-shaped density profile in z-direction, but compression profile by SNC treatment was dependent on calendering condition. To examine z-directional structure of multi-ply sheet which was composed of different raw material for each layer, CLSM (Confocal Laser Scanning Microscopy) analyses were carried out on cross direction of sheet. It turned out to be a useful tool for investigating z-directional analysis. As a result, variation of thickness reduction in z-direction is dependent on ply structure, compressibility of pulp fiber, and calendering condition.

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부(Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-921, Republic of Korea)

[†] 주저자 (Corresponding author): E-Mail : page94@snu.ac.kr

Keywords : calender, multi-ply sheet, thickness, density, z-direction, compressibility

1. 서론

종이의 두께 방향의 특성에 대해서는 과거 많은 연구가 진행되지 않았으나, 근래 들어 쉘 또는 도공액 및 잉크 등 액체의 종이 내 침투와 관련하여 두께 방향 특성에 대한 연구가 관심을 가지고 이루어지고 있다. 미세분의 분포, 밀도의 변이 및 섬유 배향성 변이 등이 대표적인 두께 방향 특성으로서, 이중 미세분의 분포 및 섬유 배향성은 포밍 단계에서 대부분 결정되는데,¹⁾ 액체의 침투 특성을 좌우할 뿐 아니라, 특히 섬유 배향성의 두께 방향 변이는 쉘 발생의 궁극적 원인으로 꼽히고 있다.²⁾ 액체 침투에 크게 영향하는 밀도 변이는 미세분의 분포에 의해서도 달라지지만, 포밍 이후 단계인 프레스, 캘린더 등에 의해서도 많은 영향을 받는다. 프레스 단계에서 시트에 가해지는 수력학적 압력과 구조적 압력의 크기에 따라 시트는 탈수되는 방향으로 더 높은 밀도를 가지게 된다.³⁾ 캘린더 역시 압력과 열을 종이에 가하는 단계이기 때문에, 표면성을 변화시킬 뿐 아니라 닢 아래에서 종이의 두께 방향 특성에도 영향을 미친다. 닢 아래에서 종이에 가해지는 압력은 z-방향에 거쳐 일정 프로파일을 가지며, 이에 따라 종이의 구조 특성은 달라질 것이다. 특히 온도 경사가 있는 캘린더의 경우 캘린더에서 머무르는 시간이 ms 수준이기 때문에 고온의 열이 종이 두께 전체에 균일하게 분포하는 것이 아니라 표층에만 주로 집중하게 되며,⁴⁾ 따라서 이러한 온도 분포의 차이는 종이의 고밀화의 두께 방향 변이를 야기할 것으로 생각된다. 캘린더의 압력 및 온도 조건에 따른 종이 두께 및 표면 거치름의 감소에 대해서는 많은 연구가 있었지만, 두께 방향 밀도 변이에 대해서는 그다지 많은 연구가 시도되지 않았다. Park⁵⁾이 캘린더에 의한 종이의 밀도화에 관해 단층지에 대해 시도한 적이 있으며, Dickson⁶⁾ 또한 단층지에 대해 SEM을 이용하여 밀도 변이를 평가한 바가 있다. 단층지의 경우 종이 두께 방향에서의 밀도 변이가 주로 포밍 또는 프레스 공정에서 결정

된다고 여겨졌기 때문에 캘린더의 영향이 상대적으로 간과되어 왔다. 그러나 라이너지와 백판지 등은 고평량이기 때문에 종이 두께가 크며 다층으로 제조되고, 원료의 경제적 활용을 도모하기 위해 각 층별 부착량 및 원료 종류를 상이하게 사용하고 있다. 그러므로 이러한 다층지의 경우 캘린더링 시 압력에 의한 두께 방향 밀도 변이는 하나의 원료로 구성된 단층지와는 상이할 것으로 생각된다. 이전 연구에 의하면 단층지의 경우 캘린더 압력에 의한 두께 감소율은 원료별로 차이가 있었으며, BCTMP가 가장 컸고 이어 KOCC, Hw-BKP순이었다.⁷⁾ 또한 캘린더의 재질 및 온도 조건에 의해서도 각 층의 고밀화 현상은 층별로 다를 것으로 여겨진다. 층별 두께 및 밀도 변이의 분석은 캘린더링 과정에서 벌크 또는 밀도를 조절하는 주된 층의 위치 및 원료에 대해 예측하고 종이의 도공 및 인쇄를 비롯한 후가공적성에 미치는 영향을 추측할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 Hw-BKP, BCTMP, KOCC를 이용하여 원료 구성에 따른 다양한 다층지 모델에 관하여 캘린더에 의한 두께 방향의 구조 변화를 평가하고자 하였다. 캘린더의 종류 및 운전 조건의 영향을 살펴보기 위해 soft nip calender와 hard nip calender를 사용하였으며, 온도 및 압력 조건을 달리하여 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

단층지 및 다층지를 구성하는 원료로서, 활엽수 표백크라프트 펄프(Hw-BKP), 표백화학열기계펄프(BCTMP) 및 국산골판고지(KOCC)를 이용하였다. Hw-BKP는 실험용 비터를 이용하여 고해하여 사용하였으며, BCTMP와 KOCC는 해리만 하여 이용하였다. 지료 조성 후 각 펄프의 여수도와 미세섬유 함량은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of pulp stock

	Freeness (mL CSF)	Fines content (%)
Hw-BKP	460 ± 10	16.5
BCTMP	495 ± 10	23.3
KOCC	300 ± 10	31.5

2.2 동일 원료로 구성된 다겹지의 구조 특성 평가

종이의 z-방향 구조를 면밀히 분석하기 위해 우선 동일 원료로 다층지를 모사하여 캘린더 처리에 의해 어떻게 영향받는지 평가하였다. 준비된 펄프의 지료로부터 평량 50 g/m²의 종이를 수초하였으며, 제조 후 TAPPI Test Method에 의거한 항온 항습조건에서 조습처리하였다. 조습처리된 종이의 함수율은 7.9%였다. 각 종이의 두께를 측정하고, 이를 5장 겹쳐 다겹지의 형태로 만든 후 soft nip calender를 이용하여 캘린더 처리하였다. 캘린더 조건은 압력은 42, 114, 184 kg/cm로 달리하였으며, 온도는 40, 80, 120°C로 조절하였다. 캘린더 처리 후 다겹지 각 층의 두께를 마이크로미터로 측정함으로써 캘린더 내에서 다층지의 z-방향 구성 요소가 받는 압력의 크기와 변형의 정도를 평가하였다.

펄프는 Hw-BKP, BCTMP, KOCC 각각을 이용하였다. 편의상 히팅롤(스틸롤)과 닿는 면을 top

side로 하였으며, 연질롤과 닿는 면을 bottom side로 하였다 (Fig. 1).

캘린더 타입에 의한 영향을 살펴보기 위해 hard nip calender를 이용하여 동일한 다층지를 처리하여 비교하였다.

2.3 상이한 원료로 구성된 다층지의 제조 및 구조 특성 평가

각 층의 원료 구성을 달리하는 다층지를 제조하여 캘린더에 의한 구조 특성 변화를 z-방향에 대해 평가하였다. 상기한 2.2항과 같은 방법으로 다층지를 구성하여 평가하는 방법도 있지만, 원료가 상이해질 경우 각 종이의 거치름도 특성이 다르게 되고 이에 따라 마이크로미터로 측정하는 두께에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이러한 영향을 배제하고 실제 제지공장에서 생산하는 다층지와 유사한 방법으로 제조하기 위하여 3층으로 합지된 다층지를 제조하여 평가하였다. 이러한 방식으로 제조된 다층지는 마이크로미터를 이용하여 두께를 측정할 수가 없기 때문에 CLSM 이미지 분석을 통해 각 층의 두께 변화를 평가하였다.

2.3.1 지료 조성

2.1항에서 조성된 펄프 섬유를 이용하였다. 다만 CLSM을 이용하여 다층지의 z-방향 구조를 파악하기 위해서 acridine orange 형광 염료를 이용하여 펄프 섬유를 염색시켰다. 단, KOCC의 경우는 자체형광물질이 존재하기 때문에 별도의 염색 처리는 실시하지 않았다.

2.3.2 수초지 제작

준비된 지료를 이용하여 3층지를 제작하였는데, 각 층의 평량은 표리층을 각각 50 g/m²으로, filler 층을 50 g/m² 및 100 g/m²로 조절하여 전체 평량이 150 g/m² 및 200 g/m²이 되도록 하였다. Fig. 2와 같이 Hw-BKP, KOCC, BCTMP를 이용하여 각 층의 원료를 다르게 구성하였다. 편의상 Hw-BKP를 'B'로, BCTMP를 'T'로, KOCC로 제조된 층을 'O'로 표시하였다.

합지 시 각 층이 분리되지 않도록 하기 위해 쿠치

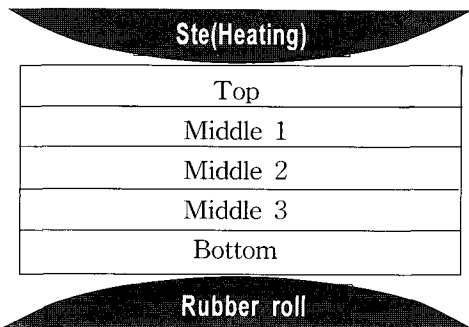


Fig. 1. Calendaring of multi-ply sheet model.

B : Hw-BKP	B : Hw-BKP	B : Hw-BKP	O : KOCC
B : Hw-BKP	O : KOCC	T : BCTMP	B : Hw-BKP
B : Hw-BKP	B : Hw-BKP	B : Hw-BKP	O : KOCC

Fig. 2. Structure of 3-ply sheet made using laboratory handsheet former.

는 1회만 실시하고, 성형된 세 장의 종이를 Fig. 2에 제시된 바와 같이 겹친 후 다시 한번 쿠치를 실시하였다. 이후 3.5 kg/cm²에서 5분간 압착한 후 실린더 드라이어를 이용하여 건조하였다.

2.3.3 원지 캘린더링

원지의 캘린더링은 실험용 SNC(soft nip calender)와 HNC(hard nip calender)를 이용하여 실시하였으며, 온도 및 압력 조건은 Table 2와 같이 고온 및 저온, 그리고 고압 및 저압 조건을 대표적으로 선정하여 캘린더링 하였다.

Table 2. Variables of calendaring operation

	Temperature (°C)	Linear pressure (kg/cm)
SNC (soft nip calender)	40, 120	42, 184
HNC (hard nip calender)	40	42, 184

2.3.4 CLSM을 이용한 종이의 구조 분석

캘린더 처리 전, 후 항온항습 조건에서 조습처리 후 종이의 전체 두께를 측정하였고, 각 층의 두께 변화 측정을 위해 CLSM(Carl Zeiss-LSM 510, 서울대 기초과학 공동기기원 보유)을 이용하여 종이의 단면을 촬영하고 화상분석을 하였다. 측정 샘플의 길이는 500 μm로 하였다. 화상분석은 Image-Pro Plus라는 프로그램을 이용하여 수행하였다. 종이 단면의 이미지를 CLSM으로 얻은 후 화상분석 프로그램에 의거하여 일차적으로 이미지를 선명하게 하였다. 이어 형광염료에 의해 녹색으로 염색된 부분과 자체형광에 의해 붉게 나타난 부분을 구분하여 polygon area를 구하고 측정 시편 길이로 나

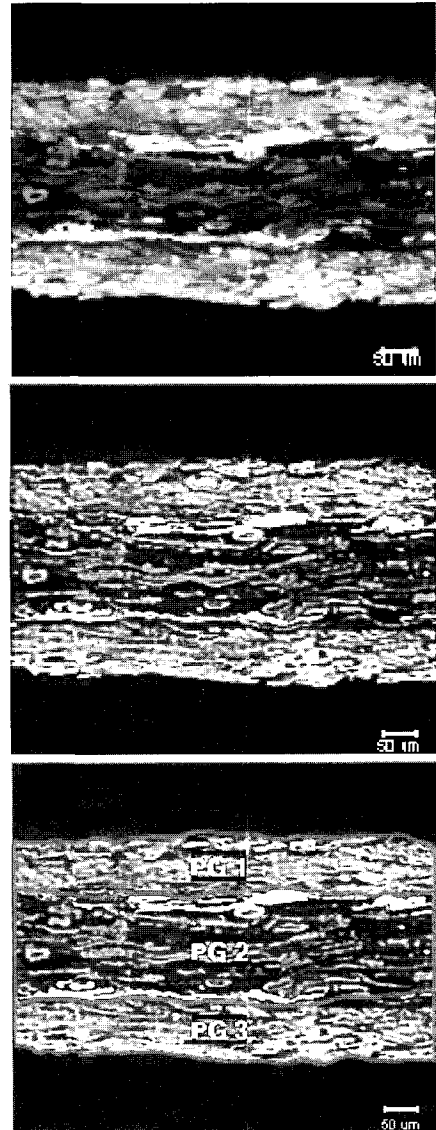


Fig. 3. Measurement of thickness for each ply using CLSM image and image processing. Top ; original CLSM image of paper, middle ; image after sharpening, bottom ; measurement of polygon area.

뉘줌으로써 각 층의 두께를 구하였다. 일련의 과정이 Fig. 3에 나타나 있다. 정확성과 재현성을 위해 한 시편당 30회 이상의 샘플의 이미지를 얻어 이로부터 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 동일 원료로 구성된 다겹지의 구조 특성 평가

동일한 원료로 만든 50 g/m²의 종이를 5겹으로 겹쳐 캘린더링 한 후 각 층의 두께를 측정함으로써 캘린더 처리에 의해 z-방향 구조 특성이 어떻게 변화되었는지를 평가하였다. 이 때 두께는 마이크로미터를 이용하여 측정하였다.

Hw-BKP 5겹지의 결과가 Fig. 4에 제시되어 있다. 이 때 캘린더 조건은 40°C - 42 kg/cm 였다. 'B.C'는 캘린더 전의 두께를 뜻하며, 'A.C'는 캘린더 후의 두께이다. 또한 'T.R'은 두께감소율(thickness reduction)로서 초기 두께에 대해 캘린더링에 의한 두께 변화를 구한 것이다. 캘린더 남아래서 종이 전체에 압력이 가해지지만, 실제로 종이 두께에 걸쳐 받는 압력은 위치마다 다른 것을 알 수 있었다. 대체로 표리층의 두께 변화율이 큰 것로부터 내부보다는 롤 표면에 가깝게 위치할수록 더 큰 압력을 받음을 알 수 있었다. 특히 딱딱한

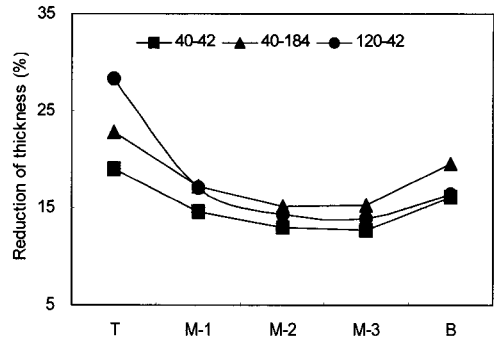


Fig. 5. Reduction of thickness of multi-ply sheet composed of Hw-BKP at different calendaring condition.

스틸롤에 닿는 부분이 연질롤과 접촉하는 부분에 비해 두께 변화율이 더 컸다.

Fig. 5는 Hw-BKP로만 구성된 다겹지를 캘린더 조건을 달리하여 처리한 후 각 층의 두께 변화율을 측정하여 결과를 보여주고 있다. 가장 약한 조건에 비해 압력이 증가할 경우 표층의 두께 감소는 더욱 증가했지만 이면층은 거의 변하지 않았다. 그러나 높은 온도 조건에서 캘린더 처리를 하게 되면 히팅롤과 닿은 부분은 그렇지 않은 부분보다 상대적으로 온도가 높기 때문에 훨씬 변형이 용이해진다. 따라서 그림에서 보는 바와 같이 표층에서 급격한 두께 감소를 나타내게 되었다. 표층 이외에서는 다른 캘린더 조건에 비해 두께 감소율이 약간 증가했지만 두드러질 정도는 아니었다. 이로부터 고온의 캘린더 처리를 받는 다하여도 그 온도가 전달되는 부분은 표층에 국한된다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6은 KOCC 지료로 5겹지를 만든 후 캘린더 처리하였을 때 두께 변화율을 보여주고 있다. 이 때 캘린더 조건은 40°C - 184 kg/cm 였다. Hw-BKP 종지와 유사한 결과로서 표리층에서 큰 두께 변화를 나타내며, 다소 표층이 이면층보다 두께가 더 감소했음을 알 수 있다. Fig. 7는 캘린더 조건을 달리하여 처리하였을 때 KOCC 종지의 두께 변화율을 보여주고 있다. 저온-저압 조건은 비교적 대칭적이지만 온도가 높은 조건에서 처리할 경우 표층에서의 두께 감소가 두드러지는 것을 알 수 있었다. Hw-BKP 종지와 다른 점은 표층 아래인 middle

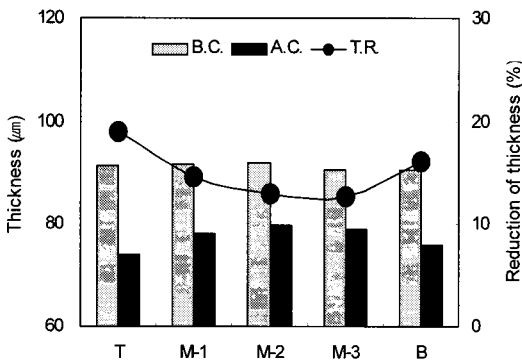


Fig. 4. Thickness change of multi-ply sheet composed of Hw-BKP (calendaring condition ; 40°C - 42 kg/cm).

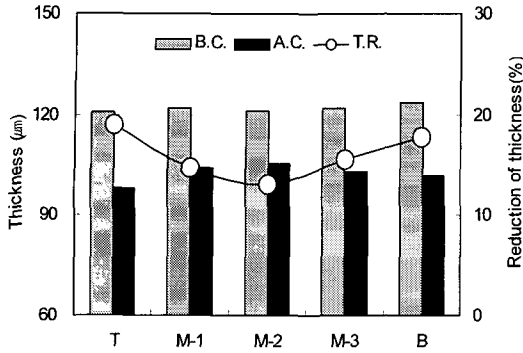


Fig. 6. Thickness change of multi-ply sheet composed of KOCC (calendering condition ; 40°C - 184 kg/cm).

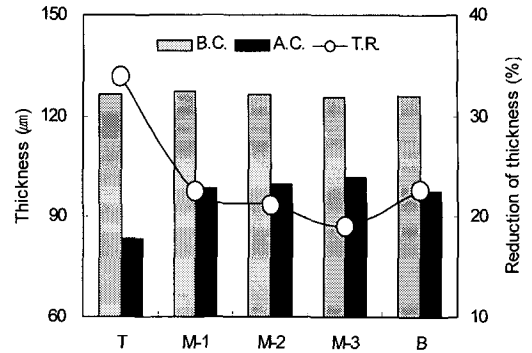


Fig. 8. Thickness change of multi-ply sheet composed of BCTMP (calendering condition ; 120°C - 42 kg/cm).

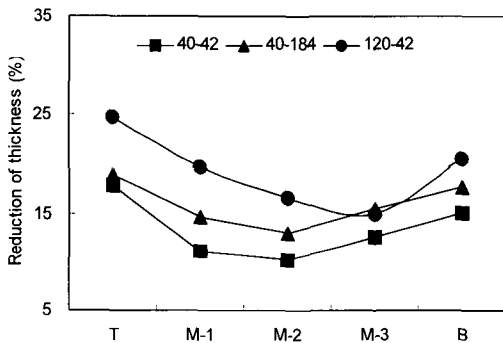


Fig. 7. Reduction of thickness of multi-ply sheet composed of KOCC at different calendering condition.

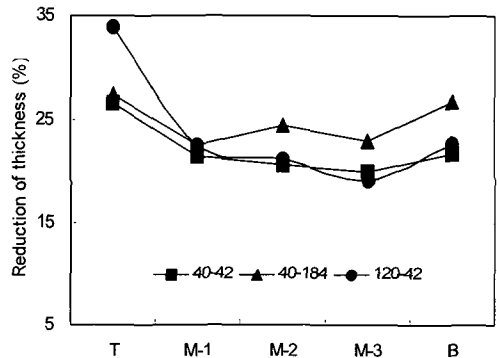


Fig. 9. Reduction of thickness of multi-ply sheet composed of BCTMP at different calendering condition.

1-층에서도 두께 감소가 다소 증가했음을 알 수 있다.

Fig. 8은 BCTMP 종이의 결과로서, 120°C - 42 kg/cm 조건에서 캘린더링 되었다. 고온 캘린더 처리를 실시하였기 때문에 표층의 압축이 두드러졌으며 나머지 층에서는 거의 유사한 두께 변화를 보여주었다. 즉 캘린더 처리를 통한 전체 벌크의 감소에 표층이 기여하는 바가 가장 크다고 할 수 있다. Fig. 9는 세 조건에서 캘린더 처리를 실시하였을 때 BCTMP 다겹지의 층별 두께 변화이다. 이 펄프 역시 캘린더 압력을 높일 경우 전체적으로 모든 층에서 두께 감소가 더 발생한 반면 온도를 높일 경우는 표층에 두께 변화가 집중되었다.

동일한 조건에서의 캘린더링 후 원료별 다겹지

의 두께 변화율을 비교하였을 때 이전 연구에서와 같은 결과⁷⁾로서 BCTMP가 Hw-BKP 및 KOCC 종이보다 더 큰 두께 변화율을 보임을 알 수 있었다. 상기한 결과로부터 다층지에 있어서 z-방향 두께 변화는 원료 특성 및 캘린더 운전 조건에 의해 다소 상이하게 나타남을 알 수 있었다.

캘린더 타입에 의한 층별 두께 변화를 평가하기 위해 HNC를 이용하여 캘린더 처리한 후 SNC 결과와 비교하였다. BCTMP로 제조된 다겹지를 hard nip calender로 처리한 후 두께 변화율을 측정 한 결과가 Fig. 10에 제시되어 있다. 저압 조건에 비해 고압 조건에서 캘린더 처리하였을 때 전체적으로 더 큰 두께 변화율을 보여주었지만, 표리층과 가운데층의 변화 경향은 바뀌지 않았다. 다만 압력

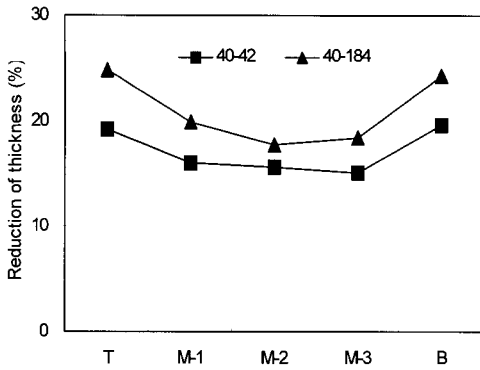


Fig. 10. Reduction of thickness of BCTMP multi-ply sheet after HNC treatment.

이 높을 때 표층과 이면층에서의 두께가 내부층보다 더 크게 변화됨을 알 수 있었다. 이는 soft nip calender로 처리하였을 경우와 유사한 결과이지만, hard nip calender로 처리하면 거의 대칭적인 두께 감소가 일어남을 알 수 있었다.

Fig. 11은 동일한 조건에서 캘린더 처리를 실시하였을 때 soft nip calender (SNC)와 hard nip calender (HNC)를 비교하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 SNC 처리는 표층의 압축이 더 많이 발생하도록 한다. 즉 물 재질의 차이에 따라 딱딱한 스틸롤과 닿는 부분이 더 큰 압력이 걸리는 것으로 생각된다. 반면 HNC의 경우 물 재질이 상, 하부 동일하기 때문에 대체로 대칭적인 변화율 곡선을 보여주었

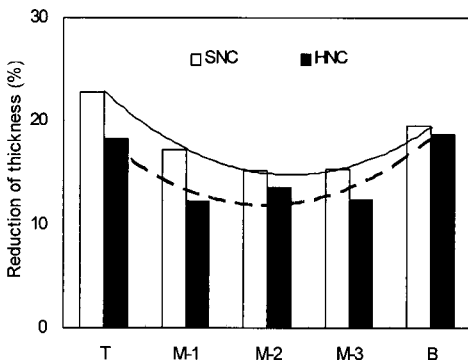


Fig. 11. Comparison between SNC and HNC for reduction of thickness of Hw-BKP sheet (calendering condition ; 40°C - 184 kg/cm).

다. 이러한 양상은 온도와 압력이 모두 약한 조건에서도 동일하게 나타났다.

3.2 상이한 원료로 구성된 다층지의 구조 특성 평가

앞선 항에서 캘린더 내에서 두께 방향에 따라 받는 힘의 크기가 다르고 그에 따라 두께가 변화되는 정도도 다르다는 것을 알았다. 따라서 어떤 원료가 어느 위치에 있느냐에 따라 전체 종이의 벌크가 달라지며, 캘린더 후 최종 두께 역시 영향을 받게 됨을 추측할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 다층지 모델을 수초지로 제작하여 캘린더 조건에 따른 구조 특성 변화를 z-방향에 초점을 맞추어 살펴보았다.

Fig. 12는 세 모델 즉, BBB, BOB 및 BTB로 구성된 다층지(평균 200 g/m²)의 전체 두께를 CLSM 이미지를 이용하여 측정한 결과이다. 여기서 'B'는 Hw-BKP를, 'O'는 KOCC를, 그리고 'T'는 BCTMP를 나타낸다. 즉 BOB라 하면 표층과 이면층은 Hw-BKP로 제조하였고, 가운데 filler 층은 KOCC로 제조된 다층지를 뜻한다. 전체 종이의 두께는 BTB가 가장 높았으며, 이어 BOB, BBB 순으로 나타났다. 즉, 다층지의 양면은 모두 Hw-BKP로 동일하지만 내층에 어떤 섬유가 사용되느냐에 따라 종이의 두께는 영향을 크게 받는다. 벌크 특성이 좋은 BCTMP가 내층에 사용되었을 때 종이의 두께가 가장 컸으며, 이는 판지의 요구특성인 스티프니스에 도움이 될 것이라 생각된다. 캘

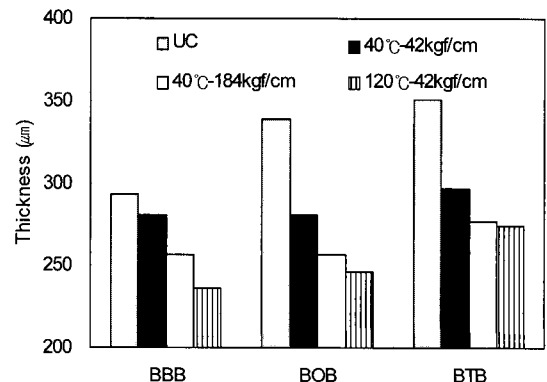


Fig. 12. Total thickness of multi-ply sheets.

린더 처리를 실시할 경우 마일드한 조건에서도 두께 감소가 컸다. 특히 압축지수가 높았던 BCTMP가 사용된 종이에서 초기 두께 변화율이 컸다. 그러나 대체적으로 어떤 조건에서도 BTB가 다소 높은 두께를 지님을 알 수 있었다.

Fig. 13은 SNC를 이용하여 평량 150 g/m²의 BOB 종이를 처리한 후 각 층별 두께 변화율과 전체 변화율을 나타낸 그래프이다. 저온저압 조건에서는 전체 벌크가 약 6.7% 감소하였으며 저온 고압 캘린더 조건에서는 13.6%가 감소하였다. 압력이 낮은 경우에는 표층의 두께 감소가 다른 층에 비해 다소 높은 것으로 나타났지만, 압력을 높인 경우 내부에 상대적으로 압축지수가 높은 KOCC가 존재하여 결국 전체적으로 모든 층에서 비슷한 변화율을 보여주었다. 동일한 섬유 조성분으로 되어 있는 경우 압력을 높이면 전체적으로 두께 변화율이 상승하는 가운데 표리층의 변화가 내부층보다 더 크게 나타났지만, Fig. 13과 같이 내부에 다른 특성이 지닌 원료가 사용된 경우에는 압력이 표리층에 이어 찌그러지기 쉬운 원료 층으로 전달되는 것으로 생각된다. Fig. 14는 동일한 압력 하에서 온도를 달리한 경우를 보여주고 있다. 고온의 열이 표층에 우선적으로 전달되기 때문에 표층의 변화가 가장 심하며, KOCC의 경우에는 middle 층까지도 온도의 효과가 다소 전달되어 filler 층도 두께가 감소하는 것으로 보인다. 그러나 bottom 층은 온도에 의한 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 즉, 압력을 높여

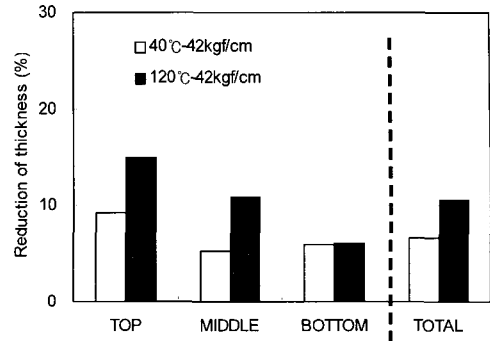


Fig. 14. Reduction of thickness for BOB sheet after SNC treatment at the different temperature condition (basis weight 150 g/m²).

캘린더 처리를 하면 층간의 차이는 있지만 종이 전체에 압력이 가해지는 형태로 나타나고, 온도를 높이는 경우는 히팅롤과 접촉하는 부분에 집중적으로 영향함을 알 수 있었다.

Fig. 15는 평량 200 g/m²의 BOB 종이를 캘린더 조건을 달리하여 처리한 결과를 보여주고 있다. 압력이 높아지면 filler 층의 두께 변화가 커지는 것을 볼 수 있으며, 이는 Hw-BKP에 비해 KOCC가 상대적으로 압축지수가 높기 때문에 어느 수준 이상으로 가해지는 압력에 먼저 반응하는 것으로 생각된다. 즉, 표리층의 섬유간 공극이 줄어든 다음에는 내층의 공극이 감소되는 방향으로 캘린더 효과가 나타난다. 온도가 높은 조건의 경우는 Fig. 14와 유

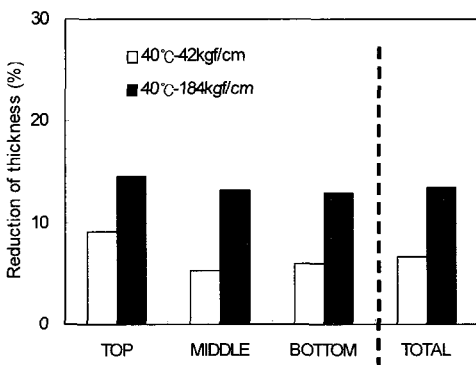


Fig. 13. Reduction of thickness for BOB sheet after SNC treatment (basis weight 150 g/m²).

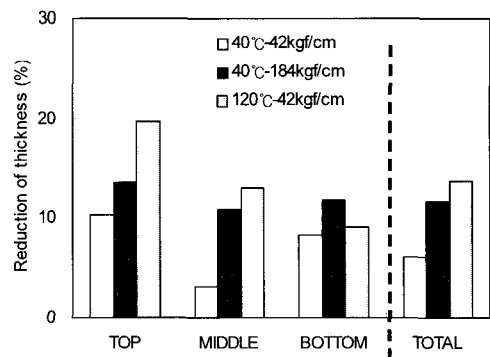


Fig. 15. Reduction of thickness for BOB sheet calendered at the different condition (basis weight 200 g/m²).

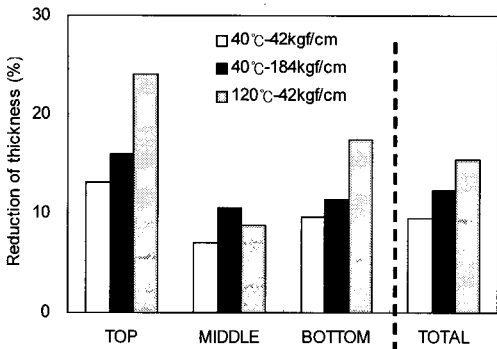


Fig. 16. Reduction of thickness for OBO sheet calendered at the different condition (basis weight 200 g/m²).

사한 경향으로 나타났다. 이면층의 변화는 거의 없고 표층과 filler 층의 두께가 대부분 변화되며 특히 표층의 변화가 심하였다. Figs. 13 - 14와 비교해볼 때 부착량의 차이에 따른 영향은 발견할 수 없었다.

Fig. 16은 OBO 종이를 SNC 캘린더를 이용하여 처리한 경우이다. 압력 및 온도가 모두 낮은 조건에서는 BOB와 유사한 형태의 두께 변화를 보이고 있다. 그러나 압력이 높은 경우는 BOB와 달리 표층의 감소가 현저하게 크게 나타났다. 이는 표층에 압축지수가 높은 섬유가 사용되었기 때문에 가해지는 압력에 용이하게 반응하여 filler 층까지 압력이 크게 전달되지 않은 것으로 생각된다. 고온 캘린더의 경우 표층의 변화는 상기한 바처럼 매우 컸으며,

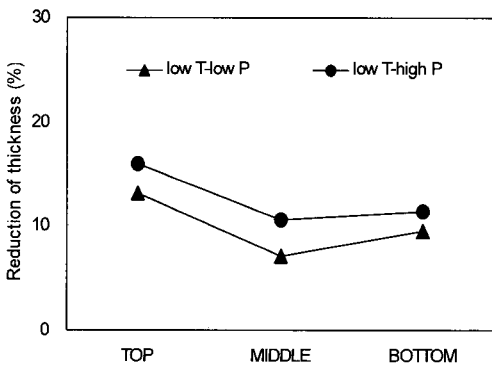
또한 이 경우에는 이면층의 변화 역시 컸음을 알 수 있었다.

HNC 처리와 SNC 처리의 비교가 Fig. 17에 제시되어 있다. Fig. 17은 OBO 종이에 대한 결과로서, SNC 처리를 받은 종이는 대체로 표층의 두께 감소가 컸지만, HNC의 경우에는 비교적 대칭적인 변화율을 보여주었다. 특히 이 다층지의 경우 표층과 이면층에 압축지수가 높은 KOCC가 사용됨으로써 더욱 표리층의 변화가 큼을 알 수 있었다. 압력의 증가에 따른 영향은 z-방향 위치에 관계없이 전체적으로 두께를 유사한 크기로 감소시키는 방향으로 나타났다.

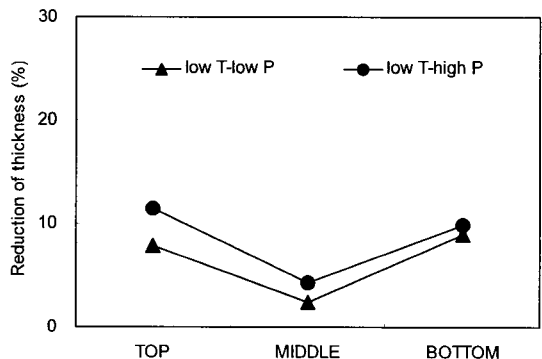
이상 다층지의 결과를 종합할 때 압력이 내부층에 비해 표리층에 높게 걸리기 때문에 표층에 압축지수가 높은 펄프를 사용하게 되면 두께 감소가 더욱 커질 수 있다. 따라서 압축지수가 높은 섬유의 경우 내층에 존재하는 것이 좋으며, 이럴 경우 고압 조건에서 캘린더하기보다는 온도를 적절히 조절하는 것이 표층에만 변화를 부여하는 방법일 것이다.

4. 결론

다겹지를 구성하여 soft nip calender와 hard nip calender를 이용하여 캘린더 처리를 한 경우 캘린더 롤 표면에 가까이 위치하는 표리층에서의 두께 변화가 가장 심했다. 캘린더의 압력이 종이 두께 방향에서는 표리층의 변형에 집중되고, 가운데



(a)



(b)

Fig. 17. Comparison between SNC (a) and HNC (b) treatment for OBO sheet of 200 g/m².

층은 상대적으로 덜 영향받는 것으로 보인다. Hard nip calender의 경우 두께 방향에 있어서 대칭적인 U자형의 두께 감소율을 나타내었지만, soft nip calender는 조건에 따라 달랐다. 대체로 표층이 이면층보다 압력을 더 받는 것으로 보였으며, 특히 온도 구배가 심할 경우 히팅롤과 접촉하는 표층에서의 변형이 두드러졌다.

다층지의 두께 분석 및 z-방향 변형 평가를 위해 형광염료로 지료를 염색하고 CLSM 분석을 실시한 결과, z-방향 변형 평가에 매우 우수한 방법임을 확인하였다. CLSM 분석은 각 층의 두께 및 두께 변화율을 쉽게 평가할 수 있었으며 유의한 데이터를 보여주었다. 이를 이용하여 다양한 다층지 모델에 대한 z-방향 변형을 검토한 결과 top층에 벌키하고 압축성이 큰 섬유가 위치할 경우 캘린더 압력 또는 온도 조건에 의한 변형이 매우 컸다. 반면 가운데층에 벌키한 섬유가 구성되어 있는 경우에는 전체적으로 두께 변화가 크지 않았음을 알 수 있었다. 압력이 높은 조건에서 캘린더링 될 경우 벌키한 섬유가 내층에 존재하면 z-방향의 위치에 관계없이 전체적으로 유사한 변형률을 보였지만, 표층에 존재할 경우 표층의 변화율이 현저하게 컸다. 캘린더 온도의 경우 히팅롤과 닿는 부분은 열에 의해 섬유가 변형되어 두께 감소가 매우 컸었다. 또한 롤 재질에 따라서도 두께 변형률은 상이한 결과를 나타내었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R04-2002-000-20133-0)지원으로 수행되었습니다. 또한 이 연구의 일부는 2005 Brain Korea 21

핵심사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

인용문헌

1. Kajanto, I., Laamanen, J., and Kainulainen, M., Paper bulk and surface, in "Paper Physics", Ed. by Niskanen, K., Papermaking Science and Technology series vol. 16, p. 98, Fapet Oy. (1998).
2. Kajanto, I. and Niskanen, K., Dimensional stability, in "Paper Physics", Ed. by Niskanen, K., pp. 246-247, Fapet Oy. (1998).
3. Szikla, Z. and Paulapuro, H., Change in z-direction density distribution of paper in wet pressing, JPPS 15(1):J11 (1989).
4. Jokio, M.(Ed.), Calendering, in "Papermaking part 3, Finishing", Papermaking Science and Technology series vol. 10, pp. 46-47, Fapet Oy. (1990).
5. Park, S. K., Quantitative evaluation of the z-directional density variation of paper and theoretical interpretation of its influence of opacity, A thesis for Master of Science (2001).
6. Dickson, A. R., Quantitative analysis of paper cross-sections, Appita 53(4):292-295 (2000).
7. Youn, H. J., Lee, H. L., Chin, S. M., and Lee, S. G., The effect of calendering on compressibility and surface properties of sheets made of various pulps, J. of Korea TAPPI 36(3):63-73 (2004).