

캘린더 처리가 펄프별 종이의 압축 및 표면 특성에 미치는 영향

윤혜정[†] · 이학래 · 진성민 · 이상길
(2004년 4월 8일 접수: 2004년 7월 30일 채택)

Effect of Calendering on Compressibility and Surface Properties of Sheets Made of Various Pulps

Hye Jung Youn[†], Hak Lae Lee, Seong Min Chin, and Sang Gil Lee
(Received on April 8, 2004: Accepted on July 30, 2004)

ABSTRACT

Effect of calendering on structural and surface properties of sheets made of various pulp was investigated. BKP, BCTMP and KOCC were used as raw materials for handsheets and sheets were calendered at the different calendering temperature and pressure conditions. Caliper, air permeability, and PPS roughness were reduced by calendering, but their effects were a little different depending on pulp type and calendering condition. Increase of density with increase of calendering pressure was remarkable on sheet made of BCTMP or KOCC, and the effect of temperature was more significant than pressure. PPS roughness of sheet made of BCTMP or KOCC was reduced by calendering, but BKP sheet showed little reduction of roughness at higher calendering pressure. The compressibility of sheet increased logarithmically with calendering pressure and surface compressibility of KOCC sheet was relatively higher than other pulps.

Keywords : calendering, compressibility, surface property, OCC, BCTMP, BKP

◦ 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

1. 서론

종이의 캘린더 처리는 CD 방향 두께를 균일하게 하고, 표면의 거치름도를 감소시키며 광택 등을 향상시킬 목적으로 실시되고 있다. 도공지의 캘린더 처리는 소비자들에게 어필할 수 있도록 제품의 외관특성을 개선시키는 최종 처리에 해당된다. 또한 원지의 캘린더링 처리는 종이의 두께 및 표면을 균일하게 함으로써 도공적성 및 도공지의 물성을 개선시킨다고 알려져 있다.¹⁾ 그러나 원지의 과도한 캘린더링은 두께를 심각하게 감소시켜 최종 도공지의 캘린더링에 제약을 주거나 도공지의 낮은 두께로 인해 불투명도 등이 감소되는 문제를 야기하기도 한다. 따라서 원지의 캘린더링은 가능하면 가장 낮은 조건인 자중에 해당되는 압력 및 초지 온도를 조건으로 수행되는 것이 일반적이다. 소프트 닙 캘린더가 보급되면서 캘린더의 온도 및 압력, 닙체류 시간 등이 신문용지 및 도공지의 물성에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 수행되었으나,²⁻⁴⁾ 원지 처리에 적절한 캘린더 조건 탐색에 대한 연구는 수행된 바가 많지 않다. 원지의 캘린더링은 캘린더 처리 조건에 의해서도 영향을 받지만, 그 외에도 원지 구성 원료 특성 및 캘린더링 처리 시 원지 함수율 등에서도 영향을 받을 것이다. 이 중 종이 함수율의 경우 높을 경우 캘린더 효과가 더욱 잘 나타난다고 알려져 있다.²⁾ 그러나 캘린더링에 관한 연구가 도공지와 신문용지를 대상으로 했기 때문에 표백크라프트 펄프와 신문고지에 대해서는 그 효과가 알려져 있는 편이지만, 그 밖의 원료 펄프 특성에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 최근 모든 제품에 대한 품질 요구도가 높아짐에 따라 캘린더링 처리가 비단 신문용지나 도공지 또는 도공원지에만 행해지는 것은 아니며, 저급의 종이에도 그 요구가 높아지고 있다. 따라서 제품의 물성을 향상시키기 위한 적절한 캘린더링 처리를 위해서는 다양한 원료에 대한 캘린더링 효과 평가가 다양한 온도와 압력 조건에 걸쳐 이루어져야 할 것이다. 특히 원지의 경우 이후 공정을 거쳐 어떤 이력현상을 나타낼지를 알기 위해서는 캘린더링에 의해 변화된 종이 구조 및 표면 특성에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 원료 펄프를 달리하여 제조된 각 종이의 캘린더 특성

을 살펴보았으며, 종이의 구조 압축성 및 표면 압축성에 미치는 영향에 대해 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

원료별 캘린더 처리의 영향 평가를 위한 수초지를 제작하기 위해 활엽수 표백크라프트 펄프(Hw-BKP), 표백화학열기계펄프(BCTMP) 및 국산골판고지(KOCC)를 이용하였다. Hw-BKP는 470±10 mL CSF로 고해하여 사용하였으며, BCTMP와 KOCC는 해리하여 사용하였다. 이때 BCTMP 지료의 여수도는 500±10 mL CSF였으며, KOCC 지료는 370±10 mL CSF였다.

2.2 수초지 제작 및 캘린더 처리

실험용 수초지를 이용하여 각 펄프별로 평량 100 g/m²이 되도록 수초한 후 압착 및 실린더 건조하여 수초지를 제작하였다.

제작된 수초지는 항온항습(23℃, 50% RH) 조건에서 24시간 이상 조습처리 한 후 캘린더링하였다. 본 연구에서 사용한 캘린더는 실험용 Soft-nip캘린더(동원롤(주))로서 상부에는 hard roll이, 하부에는 연질의 soft roll이 구비되어 있으며, 온도, 압력, 롤 속도를 조절할 수 있는 설비다. 본 실험에서는 캘린더 처리 변수로 온도와 압력을 사용하였으며, 온도의 경우 40, 70, 100℃의 세 조건으로 달리하였으며, 압력은 59, 114, 184, 270 kg/cm의 네 단계로 조절하였다.

2.3 구조 및 표면 특성 분석

캘린더에 의한 압축성과 표면 특성 변화를 평가하기 위해 두께, 투기도, 거치름도를 측정하였다. 두께는 L&W사의 micrometer를, 투기도는 Gurley 타입의 투기도 측정기를 이용하였다. 종이의 거치름도는 PPS(Parker Print Surf, L&W사)를 사용하여 측정하였다. 종이의 압축성은 압력에 의한 표면 압축성과 종이의 구조적 특성이 변화되는 두께 압축성으로 나누어 평가하였다. 두께 압축성은 Eq. 1에서처럼 압력변화에 따른 두께의 변화량으로 평

가하였다.⁵⁾ 여기서 T_i 는 캘린더 처리되지 않은 종이의 두께이며, T_0 은 캘린더링 후의 종이 두께이다. 표면압축성은 PPS 측정기를 이용하였는데, 1 MPa의 조건과 2 MPa의 클램핑 압력 하에서 거치름도를 평가하고 그 비율로서 나타내었다 (Eq. 2).

$$compressibility = \frac{T_i - T_0}{T_i} \quad [1]$$

$$surface\ compressibility = \frac{R_{1MPa}}{R_{2MPa}} \quad [2]$$

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프별 종이의 구조 특성에 대한 캘린더의 영향

캘린더 처리는 종이의 두께를 감소시키며 전폭으로 균일하게 할 뿐 아니라 거치름도 및 광택 개선의 목적으로 실시되고 있는데, 이 효과는 펄프 섬유 특성에 따라 상이하게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 원료별 종이의 캘린더 처리 효과를 평가하기 위해 Hw-BKP, BCTMP 및 KOCC를 이용하여 각각 수조한 후 종이의 물성을 측정하였다. 캘린더 처리를 받기 전 각 종이의 두께를 측정한 결과가 Fig. 1에 나타나 있다. 동일한 평량이었지만, BCTMP로 제조된 종이의 두께가 가장 크고 BKP로 제조된 종이가 가장 작은 두께를 나타내며, 약

40 μ m의 차이를 보여주고 있다. 기계펄프가 화학펄프에 비해 미세섬유의 함량이 높지만, 펄프 제조시의 과정에 의하여 섬유의 유연성이 부족하기 때문에 종이로 제조될 시 더 큰 벌크를 지니는 것으로 생각된다. KOCC의 경우 과도한 재활용 과정을 거쳤지만, 잔존하는 리그닌성분과 재활용을 통한 각질화로 비교적 우수한 벌크특성을 보여주고 있다. 이와 같은 섬유 특성의 차이는 캘린더 처리에 있어서도 그 효과가 상이하게 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 2는 소프트 님 캘린더의 스틸롤 온도를 고정한 채 선압을 달리하여 처리한 종이의 밀도를 보여주고 있다. 이 때 캘린더 스틸롤의 온도는 40°C였으며, 'UC'는 캘린더링 처리되지 않은 종이를 나타낸다. 주지의 사실과 같이 압력이 증가함에 따라 종이의 밀도는 증가하였는데, 캘린더 처리되지 않은 종이에 비해 저압 조건에서 캘린더 처리된 경우 밀도의 증가가 두드러졌으며, 이후 선압을 높인 조건에서는 완만하게 증가하였다. 즉, 캘린더 처리 여부에 의해 종이의 밀도는 상당히 영향받음을 알 수 있다. 이러한 양상은 세 펄프 모두 유사하게 나타났지만, 초기 벌크가 컸던 BCTMP 및 KOCC 종이에서 더 두드러졌다.

각 펄프로 제조된 종이를 114 kg/cm의 동일한 캘린더 선압 조건에서 스틸롤의 온도를 달리하면서 캘린더 처리한 후 측정된 종이의 밀도가 Fig. 3에 나타나 있다. 상기한 압력의 결과와 유사하게 캘린더 처리 온도가 높을수록 고밀화된 종이가 얻어졌다. 캘린더 온도에 따라 종이의 밀도는 선형적으로

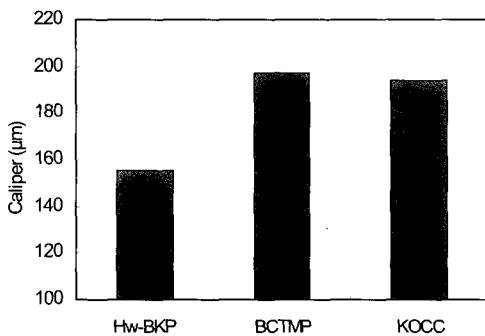


Fig. 1. Caliper of uncalendered sheet.

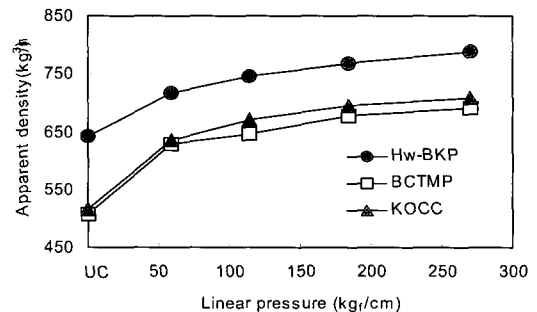


Fig. 2. Effect of calendering pressure on apparent density of sheet at the calendering temperature of 40°C.

증가하였는데, 이는 섬유가 고온에서 캘린더 처리될 경우 유연성의 증대로 인해 더욱 치밀한 구조의 종이 얻어지기 때문이다. 온도에 따른 밀도 증가 효과는 기계펄프인 BCTMP에서 더욱 크게 나타났다. 초기 밀도는 KOCC와 유사했지만, 고온 처리는 BCTMP 섬유를 더욱 유연하게 만든 것으로 판단되었다. Fig 2의 압력의 영향과 비교해 볼 때, 캘린더 선압을 114 kg/cm에서 270 kg/cm로 증가시킨 경우 BKP 시트는 746 kg/m³에서 787 kg/m³으로, BCTMP 시트는 646 kg/m³에서 691 kg/m³으로 약 5.5 ~ 7% 정도 증가했지만, 캘린더 온도를 40℃에서 100℃로 높인 조건에서는 7.8 ~ 14.6%로 고밀화되었다.

Fig. 4는 캘린더 선압을 달리하여 처리된 종이의 투기도를 보여주고 있다. 선압이 높아짐에 따라 투기도는 다소 감소하는 양상을 나타내었다. 즉 높은 선압에서의 캘린더링에 의해 섬유와 섬유사이의 공간이 줄어들기 때문에 동일한 양의 공기가 빠져나가는 데 더 많은 시간이 소요된다. 그러나 펄프 타입에 의한 투기도 영향은 시트의 밀도에 의해 유추할 수 있는 경향과는 다소 차이를 보여주었다. BCTMP 시트의 경우 동일 선압 처리 시에도 타 펄프에 비해 비교적 낮은 밀도를 나타내었기 때문에 투기도가 좋았으나, BKP와 KOCC는 서로 상반된 결과를 보여주었다. Fig. 2의 결과에서 밀도가 높았던 BKP 시트가 KOCC 시트보다 더 높은 투기도를 나타내었다. 다시 말해 천연펄프로 제조된 시트의 투기도

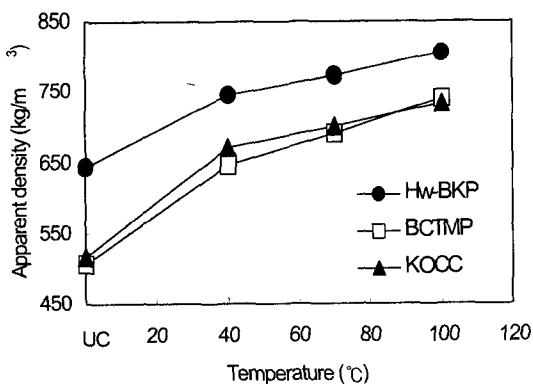


Fig. 3. Effect of calendering temperature on apparent density of sheet at the calendering pressure of 114 kg/cm.

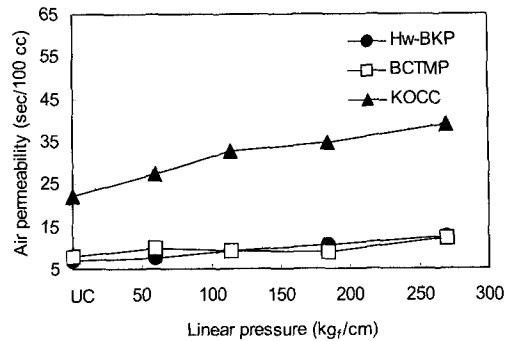


Fig. 4. Effect of calendering pressure on air permeability of sheet at the calendering temperature of 40°C.

가 재생섬유로 제조된 종이에 비해 우수하게 나타났으며, 압력에 의한 투기도 감소도 극히 미약하였다. 이는 KOCC의 경우 각질화된 섬유의 강직성에 의해 collapse된 지층구조를 떠지는 않지만, 함유하고 있는 다량의 미세섬유와 회분 성분이 섬유간 공간을 메움으로써 투기도를 저하시키는 것으로 판단된다.

BCTMP로 제조된 종이의 투기도에 대한 캘린더 온도의 영향이 Fig. 5에 제시되어 있다. 캘린더 온도가 증가함에 따라 투기도가 저하되었으며, 특히 70℃에서 투기도의 변화가 컸다. 밀도의 경우 캘린더 미처리된 종이에 비해 저온으로 처리된 경우 급격하게 밀도가 증가하였으며, 그 후 캘린더 온도에 따라서는 선형적으로 증가한 양상을 보였지

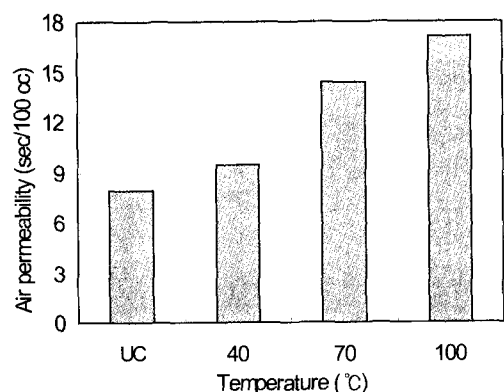


Fig. 5. Effect of calendering temperature on air permeability of BCTMP sheet at the calendering pressure of 114 kg/cm.

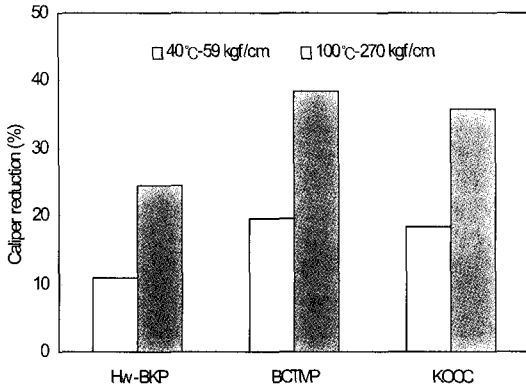


Fig. 6. Comparison of change of thickness at the different calendering condition.

만, 투기도의 경우 저온 캘린더 처리에 의해 큰 변화를 보이지 않고 오히려 일정한 온도 이상에서 급격한 변화를 보여주고 있다. 각 실험조건에서 종이의 밀도와 비교할 경우 압력은 투기도에 비해서는 밀도에, 온도는 밀도 증가보다는 투기도 감소에 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. BKP 시트와 KOCC 시트 역시 유사한 경향을 보여주었다.

Fig. 6은 본 연구에서의 가장 저온-저압 조건과 고온-고압 조건에서의 두께변화율을 나타낸 것이다. 가장 큰 변화를 보이는 것은 BCTMP로 제조된 종이로서, 저온-저압 조건에서는 약 20% 정도를 고온-고압조건에서는 38% 정도의 변화를 나타내었다. 그에 비해 표백 화학펄프로 제조된 종이는 세 종류의 펄프 중에서 가장 낮은 변화를 나타내었다. 이는 펄프 특성상 다른 섬유에 비해 캘린더 처리되지 않은 경우에도 비교적 공극이 적고 섬유의 찌그러짐이 크기 때문에 캘린더에 의해 변화되는 정도가 적은 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 동일한 캘린더 처리도 펄프 타입에 따라 다르게 영향할 수 있음을 알 수 있었다.

3.2 펄프별 종이의 표면 특성에 대한 캘린더의 영향

캘린더 처리는 두께, 투기도 등의 구조적 특성 뿐 아니라 종이의 표면 특성에도 지대한 영향을 미친다. Fig. 7은 40°C의 온도 조건에서 선압을 달리

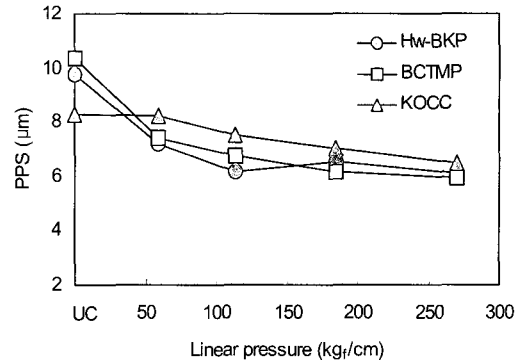


Fig. 7. Effect of calendering pressure on PPS roughness of sheets made of the different pulps.

하여 캘린더 처리한 종이의 거치름도를 PPS 측정기로 평가한 결과를 보여주고 있다. 캘린더 처리를 통해 종이의 거치름도는 개선되며, 더욱이 선압의 증가에 따라 지속적으로 개선되는 것을 볼 수 있었지만, BKP 시트의 경우 어느 선압 이상에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

캘린더 온도의 영향은 Fig. 8에 제시되어 있는데, 고온에서 처리할 경우 압력을 통해 개선할 수 있는 거치름도 수준보다 표면이 더 평활해지는 것을 알 수 있었다. 그러나 그 효과는 펄프 타입에 따라 다소 상이하였는데, BCTMP 시트의 경우 캘린더 온도가 높을수록 표면 평활성이 개선된 반면, BKP 시트는 저온 캘린더링과 고온 캘린더링의 영향을 찾기 어려웠다. Hw-BKP로 제조된 종이의 경우 온도에

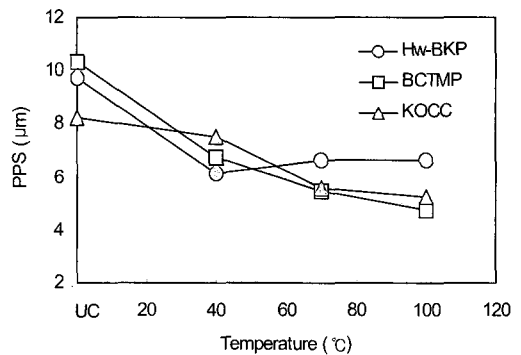


Fig. 8. Effect of calendering temperature on PPS roughness of sheets made of the different pulps.

의한 거치름도 감소 양상은 보이지 않았지만, BCTMP와 KOCC의 경우 온도가 증가함에 따라 크게 감소하였으며, 70℃ 이상으로 가열된 물을 통과시켰을 때 큰 거치름도 감소를 보여주었다. 비교적 고온에서 캘린더 처리를 할 경우 Hw-BKP보다 BCTMP와 KOCC로 제조된 종이의 표면 거치름이 완화되는 것을 볼 수 있었다. 앞서 구조 특성 파악에서 언급한 바와 같이, 펄프 섬유화 특성인 온도에 민감하게 영향을 알 수 있으며, 섬유 조성 분 구성비 등도 표면 특성에 영향을 미침을 알 수 있었다.

3.3 종이의 구조 및 표면 압축성

섬유와 공극으로 이루어진 종이는 높은 압력 하에서 그 구조특성에 변화를 겪게 된다. Osaki 등의 의하면 종이의 압축은 저압력 영역과 고압력 영역 두 부분으로 나누어 생각할 수 있다고 보고하였다.⁵⁾ 즉, 저압 하에서는 섬유간 공극이 줄어들고 고압 하에서 섬유의 찌그러짐이 발생한다고 하였다. 이들에 의해 정의된 종이의 압축성은 캘린더의 일정 압력 하에서의 두께와 초기 두께의 비로서 나타내어진다. 그러나 본 연구에서는 캘린더 닙 내에서의 종이의 두께 감소 즉, 압력 하에서의 압축성보다는 일정 압력 처리를 받은 후 종이의 두께 변화로서 캘린더에 의해 종이가 어느 정도 압축되는지를 본 연구의 압축성으로 평가하였다. 캘린더 닙 내에서는 압축되었다가 다시 닙 밖으로 나올 때 종이의 일부 구조가 복원될 수 있기 때문에 Osaki 등이 정의한 압축성과는 다소 의미가 다를 수는 있지만, 종이의 캘린더 적성을 나타내고, 그에 따른 캘린더의 적절한 운용 측면에서는 더 유리한 개념이라고 생각된다.

초기 두께에 대한 캘린더에 의한 두께 변화량으로 계산된 종이의 구조 압축성과 캘린더 압력간의 관계가 Fig. 9에 제시되어 있다. 이 때 캘린더 온도는 40℃였다. 캘린더 선압이 증가함에 따라 종이의 구조 압축성은 로그함수적으로 증가하였다. 따라서 선압을 로그값으로 표현할 경우 R^2 값이 0.96 이상을 만족하는 직선적인 관계식으로 표현된다. Eq. 3 ~ 5은 BKP, BCTMP, KOCC로 제조된 각 종이의 선압과 압축성과의 관계식이다. 이러한 로그함

수적 관계는 Baumgarten 등 및 Crotagino 등이 하드넵 캘린더로부터 얻은 결과와 유사하였다.⁵⁾

$$k = 0.0562 \ln P - 0.1221 \quad [3]$$

$$k = 0.0485 \ln P - 0.0056 \quad [4]$$

$$k = 0.0526 \ln P - 0.0260 \quad [5]$$

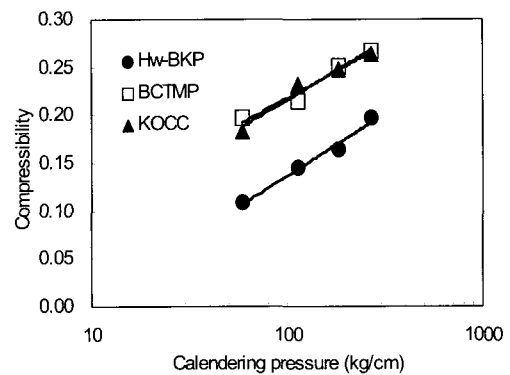


Fig. 9. Relationship between structural compressibility and calendaring pressure.

100℃의 조건에서 캘린더링 되었을 때, 구조압축성과 압력간의 관계는 Fig. 9와 유사한 양상을 나타내지만, 압력에 따른 압축성의 변화기울기는 증가하며, 특히 BCTMP에서 증가하고 있음을 알 수 있었다.

종이의 표면 압축성은 인쇄와 관련된 성질로서, 원지에 대한 평가보다는 도공지에 대한 평가가 더 바람직하다. 그러나 본 논문에서는 캘린더에 의해 변화된 표면 특성이 인쇄압 하에서 어떻게 영향받을지를 알아보기 위해 표면 압축성을 평가하였다. 표면 압축성은 PPS 측정기를 이용하여 1 MPa와 2 MPa 각각의 압력조건에서 거치름도를 평가한 후 이들의 비로서 구해졌다. Fig. 10은 세 펄프로 만든 종이의 표면압축성을 보여주고 있다. 표면 압축성의 숫자가 크다는 것은 인쇄압력 등에 의해 종이의 표면이 변화될 여지가 더 많다는 것을 의미한다. 높은 캘린더 압력에서 처리될 경우 BCTMP 시트를 제외하고 종이의 표면 압축성은 대체로 증가하며, 다른 펄프에 비해 KOCC로 만든 종이의 경우 클램핑 압력에 의한 표면성의 차이가 더욱 크게 나타났다. Mangin 등은 표면압축성을 클램핑 압력 차이

에 대한 표면 거치름의 변화로 평가하였는데,⁶⁾ 이 경우 클램핑 압력에 따라 표면압축성은 구조압축성과 유사하게 로그함수적으로 증가하는 양상을 보여

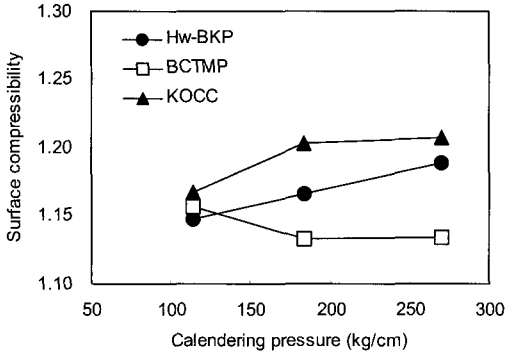


Fig. 10. Relationship between surface compressibility and calendaring pressure.

주었다. 이는 도공지를 대상으로 수행되었기에 본 연구의 결과와 상이하게 나타난 것으로 생각된다.

4. 결론

캘린더 처리에 의해 종이의 두께와 투기성 및 거치름도가 감소하였는데, 이러한 경향은 펄프 종류와 캘린더 처리 시 온도 및 압력 조건 등에 따라 다소 상이하게 나타났다. 캘린더링 온도 및 압력이 증가할수록 밀도는 증가하였는데, 그 변화폭은 초기 벌크가 높았던 BCTMP와 KOCC 펄프로 제조된 종이에서 더 컸다. 특히 온도의 영향이 더욱 두드러졌다. 캘린더 미처리에 비한 캘린더 조건이 가장 과도할 때의 종이의 두께 변화량은 BCTMP 시트의 경우 거의 40%에 달했다. 투기도 측정 결과에서는 KOCC 펄프로 제조된 종이에서 높은 투기성을 보여주었으며, 특히 70°C와 100°C사이에서 투기도

의 변화가 심화되었다. 거치름도 역시 온도의 영향은 투기도와 유사하게 나타났으며, 캘린더 압력의 경우 일정 수준이상에서는 표면 거치름도의 변화가 적었다. 캘린더 압력에 따른 종이의 구조 압축성은 로그함수적인 관계를 지녔으며, 표면압축성은 KOCC 시트에서 가장 큰 변화를 보여주었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R04-2002-000-20133-0)지원으로 수행되었습니다. 또한 이 연구의 일부는 2004 Brain Korea 21 핵심사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

인용문헌

1. Steffner, O., Nylund, T., and Rigdahl, M., Influence of precalendering on the properties of a coated woodfree paper and the covering ability of the coating, Proc. of 1995 Coating Conference, TAPPI Press, pp.335-343.
2. 문성호, 이학래, 신문용지의 소프트 닙 캘린더링 특성 평가, 펄프·종이기술 32(2):16-25 (2000).
3. 이사용, 이학래, 소프트 닙 캘린더링 변수에 따른 신문 용지의 물성, 펄프·종이기술 34(1):12-21 (2002).
4. 이사용, 이학래, 소프트 닙 캘린더링 변수에 따른 도공지의 물성, 펄프·종이기술 34(1):37-45 (2002).
5. Peel, J. D., Recent development in the technology and understanding of the calendaring processes, in "Fundamentals of Papermaking", Ed. by Baker, C. F. and Punton, V. W., vol.2, pp.979-1025 (1989).
6. Mangin, P. J. and Geoffroy, P., Printing roughness and compressibility : a novel approach based on ink transfer, in "Fundamentals of Papermaking", Ed. by Baker, C. F. and Punton, V. W., vol.2, pp.951-975 (1989).