

# 신문용지의 소프트넵 캘린더링 특성 평가

문성호·이학래†

## Evaluation of Soft Nip Calendering Characteristics of Newsprints

Sung Ho Moon and Hak Lae Lee†

### ABSTRACT

The influence of four process parameters of soft nip calendering including calendering pressure, temperature, moisture content and nip residence time on bulk, smoothness and tensile strength of newsprints has been investigated. In addition, the effect of basis weights on calendering responses has been examined.

Bulk of newsprints decreased and smoothness increased with the increase of the calendering pressure, temperature, moisture content of the sheets and nip residence time. Improvement in tensile strength was observed when low calendering pressure and high temperature of heating roll were employed. Tensile strength of the newsprint, however, decreased abruptly when the calendering temperature and pressure increased above certain levels due to the rupture of sheet structure, which has been verified by SEM. SEM micrographs also showed that it would be possible to maintain the inner bulk while densifying the fibers on the outer surface of newsprint by adjusting the soft nip calendering variables properly.

### 1. 서론

캘린더링은 종이의 표면을 평활하게 하고 두께를 균일하게 하기 위해서 건조된 지필을 롤과 롤 사이에서 압축시키는 종이 제조 공정의 최종 단계로 그 효과는 사용되는 롤의 종류나 캘린더링 조건에 따라서 크게 달라진다.

온머신 캘린더는 롤의 재질에 따라서 모든 롤을 금속으로 제작한 하드넵 캘린더와 천연고무 또는 합성 고분자를 활용한 소프트넵 캘린더(soft nip calender : SNC)로 크게 나누어진다. 하드넵

캘린더는 일반적으로 종이의 두께를 일정하게 캘린더링하기 때문에 캘린더링 후 종이의 평활성은 우수하지만 고평량 부분이 집중적으로 압축되어 고밀도화되므로 인쇄모틀의 원인이 되며 캘린더링된 종이의 인장강도, 인열강도, 내절도 등이 감소되는 단점이 있다. 또 하드넵 캘린더는 지필 연결작업이 용이하지 못하다는 단점도 지니고 있다.<sup>2)</sup>

따라서 근래에 들어 고속초지기에서의 조업성 개선과 저급 펄프를 사용한 용지의 강도 개선을 위해서 캘린더 롤의 재질을 고무나 합성 고분자 물질 등을 이용한 소프트넵 캘린더가 신문용지 분

• 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Dept. of Forest Products, Coll. Agri. & Life Sci., SNU, Suwon, 441-744, Rep. of Korea).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: lhakl@plaza.snu.ac.kr

야를 중심으로 널리 활용되고 있다. 이러한 소프트넵 캘린더링은 재생 신문고지의 사용량 증가에 따라 유발되는 종이 강도적 성질과 표면성질의 저하를 방지하고 저평량화에 따라 발생하는 불투명도 저하를 극복하기 위한 방안으로 특히 각광받고 있다.<sup>3,4)</sup>

외국에서는 80년대 후반부터 소프트넵 캘린더가 널리 사용되고 있으나 국내의 경우에는 90년대 초부터 신문용지를 중심으로 소프트넵 캘린더를 사용되기 시작하여, 그 적용 사례가 급속히 확대되고 있는 실정이다. 최근 들어 이처럼 소프트넵 캘린더의 사용이 증가하고 있는 이유는 탈묵고지의 사용 증가에 따른 국산 신문용지의 강도 저하를 최소화할 수 있으며, 물의 재질과 표면온도, 유입지의 함수율과 온도, 닙체류 시간과 닙폭 등과 같은 캘린더링 공정 변수를 광범위하게 확대함으로써 종이 표층 부위만의 밀도를 향상시킬 수 있고, 광택도와 평활도 개선 및 강도 저하 방지에 유리하기 때문이다.<sup>5,6)</sup>

그러나 아직까지 국내에서는 소프트넵 캘린더의 공정 변수에 따른 신문용지의 품질 변화에 대한 기본 연구가 수행되지 못하고 있는 실정이다. 특히 국내 신문용지의 원료 구성을 볼 때, 외국에 비해 고지의 사용량이 높을 뿐 아니라 국산고지의 재활용 횟수 또한 외국에 비해 많기 때문에 국산 신문용지의 캘린더링 특성이 외국의 신문용지와 크게 다를 것이라 예측된다. 따라서 점차 보편화되고 있는 소프트넵 캘린더링의 효율적 활용을 위해서는 국산 신문용지가 갖는 독특한 소프트넵 캘린더링 적성을 종합적으로 분석, 검토하는 것이 시급히 요청되고 있다.

본 연구에서는 탈묵고지 사용 증대와 저평량화에 따른 국산 신문용지의 강도와 불투명도 저하를 최소화하면서 평활성과 인쇄적성을 향상시킬 수 있는 소프트넵 캘린더링의 최적화 방안을 모색하고자 신문용지의 평량, 캘린더링 압력, 물 표면온

도, 닙체류 시간 및 함수율의 다섯 가지 소프트넵 캘린더링 공정인자 변화에 따른 신문용지의 품질 특성 변화를 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

본 연구에서는 여수도 320 mL CSF인 슬러리 상태의 탈묵 펄프를 공시 펄프로 사용하였다. Kajaani 섬유장 분석기를 이용하여 측정된 공시 펄프의 평균 섬유장은 1.54 mm였으며, 리그닌과 충전물의 함유율은 각각 8.2%와 4.4%이었다. 공시 펄프를 실험실용 사각 수초지기를 이용하여 평량이 43±1 g/m<sup>2</sup>, 49±1 g/m<sup>2</sup>, 54±1 g/m<sup>2</sup>가 되도록 수초지하였다. 수초지의 크기는 25×25 cm<sup>2</sup>이었다. 수초지된 종이는 프레스로 압착시키고 표면 온도가 110℃인 드럼 드라이어를 사용하여 건조시켰다. 건조된 종이는 온도 20±2℃, 습도 65±2.5%인 항온 항습실에서 24시간 조습처리하였다. 조습처리 후의 함수율은 8%였다.

초지된 종이의 평량, 두께, 평활도, 투기도, 인장강도를 표준 시험법에 의거하여 측정하고 결과 Table 1과 같았다.

### 2.2 소프트넵 캘린더링

소프트넵 캘린더는 하나의 연질 고무롤과 두 개의 금속롤로 구성된 것을 사용하였다(Fig. 1). 캘린더링 시 온도는 실온에서 200℃까지 조절할 수 있었다. 연질 고무롤은 물 표면을 Shore 87D 인 연질 고무로 피복한 롤을 사용하였다. 캘린더링 시에는 중앙의 가열롤과 연질롤 사이를 종이의 앞 뒷면으로 1회씩 총 2회 통과시켰다.

Table 1. Physical properties of uncalendered handsheets

Basis Weight (g/m <sup>2</sup> )	Apparent density (g/cm <sup>3</sup> )	Thickness (μm)	Bulk (cm <sup>3</sup> /g)	Bekk Smoothness (sec)	Tensile Strength (kg <sub>f</sub> )	Air Permeability (sec)
43	0.391	110	2.558	18	1.858	22
49	0.408	120	2.449	25	2.152	29
54	0.450	120	2.222	39	2.440	36

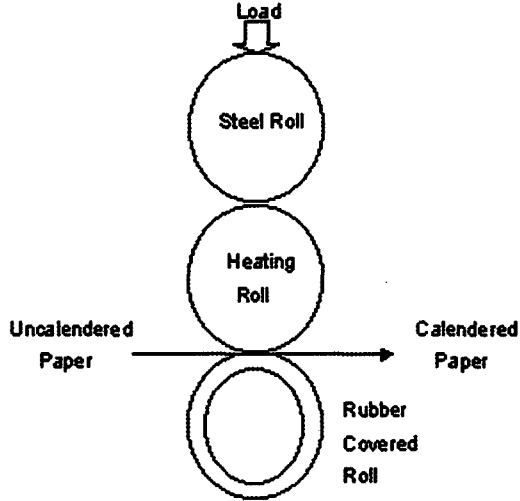


Fig. 1. Soft nip calender.

소프트넵 캘린더에 장착된 두 금속롤의 하중과 외부 하중을 더하여 총하중을 구하고 이를 금속롤의 길이로 나누어 선압으로 환산하였다. 또 압력과 온도 변화에 따른 닙폭을 Prescale film을 이용하여 측정하고 이를 Fig. 2에 나타내었다. 닙체류 시간은 측정된 닙폭에 따라 캘린더링 속도를 변화시켜 2 ms, 6 ms, 10 ms가 되도록 조절하였다. 총하중을 Prescale film으로 측정된 닙폭과 금속롤 길이의 곱으로 구한 면적으로 나누어 소프트넵 캘린더링 시의 면압(kg/cm<sup>2</sup>)으로 환산하였다. 캘린더링 조건은 Table 2와 같았다.

종이의 함수율이 12%와 16%인 조건에서 캘린더링하기 위해서는 항온 항습실의 관계습도를 각각 87±2.5%와 95±2.5%로 조절하고, 24시간 동안 시험편을 전처리하였다.

캘린더링된 종이를 KS M 7012에 의거하여 24시간 조습처리한 후 두께, 평활도(Bekk

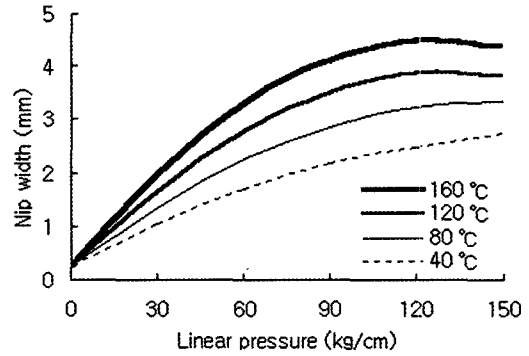


Fig. 2. Effect of linear pressure on nip width.

smoothness), 인장강도를 측정하였다. 또 캘린더링 조건에 따른 원지의 두께 방향 변화를 파악하고자 SEM을 이용하여 종이의 두께 방향 단면을 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

종이 물성에 영향을 미치는 인자에는 캘린더링 시의 압력, 온도, 닙체류 시간과 지필의 함수율 등이 있다. 이러한 캘린더링 공정 변수들이 신문용지의 물성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 이들 변수에 따른 종이의 벌크, 평활도, 인장강도의 변화를 살펴보았다.

#### 3.1 벌크의 변화

Fig. 3에는 소프트넵 캘린더링 시의 압력과 가열롤의 온도에 따른 벌크 변화를 도시하였다. 캘린더링 시 시편의 함수율은 8%, 닙체류 시간은

Table 2. Calendering conditions

Ingoing sheet temperature (°C)	20
Surface temperature of the heating (°C)	40±3, 80±3, 120±3, 160±3
Nip residence time (ms)	2, 6, 10
Moisture content of handsheet (%)	8±0.5, 12±0.5, 16±0.5
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0, 143, 164, 187, 207, 227, 246, 267, 291, 315

10 ms로 일정하게 유지하였다. 여기에서 보는 바와 같이 캘린더링 시의 압력 증가에 따라 벌크가 감소되었다. 특히 캘린더링 시 압력이 220 kg/cm<sup>2</sup>보다 낮은 경우에는 압력 증가에 따라서 벌크 감소가 크게 나타나 신문용지의 벌크를 유지하기 위해서는 캘린더의 압력을 220 kg/cm<sup>2</sup> 이하로 유지하는 것이 필요함을 보여 주었다. 반면에 캘린더의 압력을 220 kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 유지하면 벌크 변화가 크게 발생되지 않으나 캘린더의 구동 에너지 소비를 증대시키고 연질롤의 피로에 의한 조기 손상을 발생시킬 가능성이 높다고 예상된다.

가열롤의 표면온도가 증가하게 되면 벌크의 감소는 더욱 크게 발생하였다. 온도 증가에 따른 벌크 감소는 특히 가열롤의 온도가 120℃까지 증가할 경우 크게 발생하였으며, 그 이상으로 온도가 증가할 경우에는 벌크 감소가 거의 발생하지 않거나 경우에 따라서는 다시 벌크가 증가하는 경향을 보였다. 이는 본 실험에 사용된 섬유의 유연성이 80℃와 120℃ 범위에서는 지속적으로 변화하지만 120℃보다 온도가 높아질 경우에는 섬유의 열변형 특성이 크게 달라지지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 국산 신문용지의 경우에는 벌크 변화를 유도하기 위해서는 가열롤의 온도를 120℃ 이상으로 높이는 것은 효과적이지 못하다고 할 수 있다.

평량에 따른 벌크 변화는 가장 평량이 높은 신문용지에서 가장 크게 나타났으며 평량이 낮아질수록 변화가 감소하였다. 특히 Table 2에서 본 바와 같이 평량이 낮은 용지는 캘린더링 전의 벌크가 컸기 때문에 저압, 저온하에서 캘린더링을 행할지라도 내부에 존재하는 모든 섬유가 압축 변형되는 경향을 보였다. 하지만 평량이 높은 종이는 캘린더링 시의 온도와 압력이 낮을 경우 표층에 존재하는 섬유는 압축 변형되지만 내부에 존재하는 섬유는 본래의 성상을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 저평량 신문용지의 경우 벌크 및 불투명도의 유지를 위해서는 소프트넵 캘린더링 시 활용 가능한 압력과 온도 범위가 더욱 좁아질 수밖에 없다는 것을 의미한다.

캘린더링 시 시편의 함수율을 16%, 닥체류 시간은 2 ms로 일정하게 유지한 경우에도 압력 증가에 따라 벌크가 감소되는 경향은 Fig. 3과 거의 같았으나, 압력이 낮은 경우 벌크 감소가 더 크게 발생하는 경향을 보였다. 즉 닥체류 시간이 짧을지라도 캘린더링 시 지필의 함수율이 높게 유

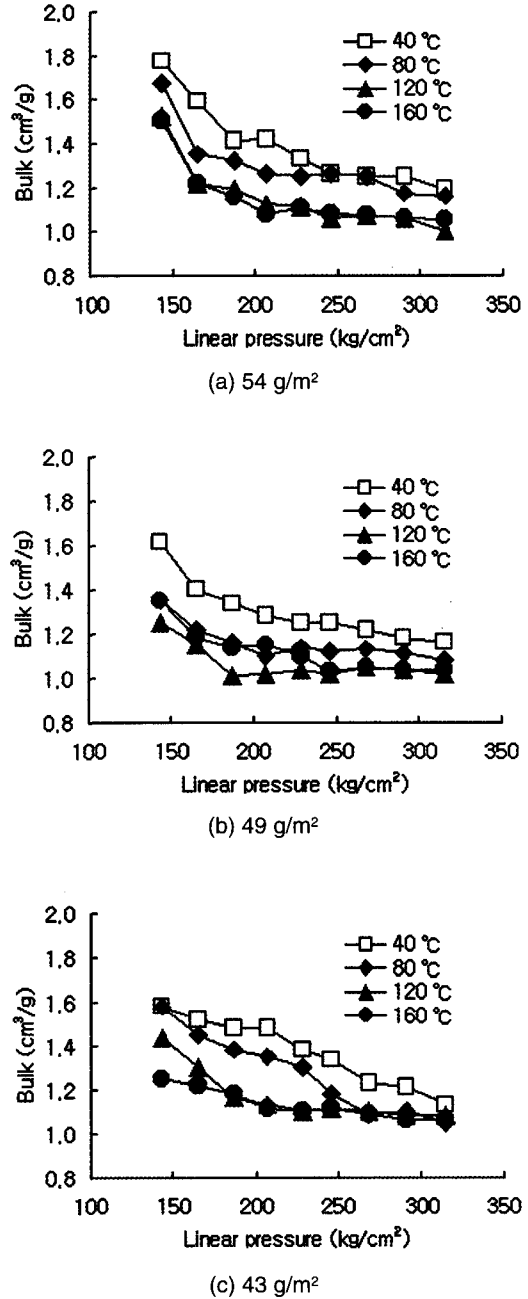


Fig. 3. Effect of calendering pressure on bulk.

지되면 섬유의 유연성이 증가하므로 압력 효과가 더욱 크게 발생하였다. 하지만 캘린더링 온도를 120℃에서 160℃로 증가시킬 경우 벌크 감소는

지속적으로 나타났다. 이는 지필의 함수율이 높은 경우 종이의 열확산계수가 증가하기 때문에 가열롤의 열 에너지가 효과적으로 지필로 전달되어 종이 압축변형이 더욱 커진다는 것을 의미한다.<sup>2,3)</sup>

Fig. 4는 캘린더링 시 가열롤의 표면온도에 따른 신문용지의 벌크 변화를 보여 주고 있다. 시험편의 평량은  $54 \text{ g/m}^2$ , 함수율은 8%로 일정하게 유지하였다. 여기에서 보는 바와 같이 가열롤의 표면온도가 증가하면 벌크가 감소되었다. 이는 롤 표면온도가 높아지면 섬유 변형이 용이하게 발생하며 이때 발생한 섬유의 변형은 캘린더를 통과하여도 다시 원상으로 회복되는 경향이 적다는 사실을 보여 준다.

평량이  $43 \text{ g/m}^2$ 로 낮은 종이는 온도가  $120^\circ\text{C}$  이상인 경우 벌크 변화는 거의 발생하지 않았다. 다시 말하면 저평량지의 경우 벌크 변화는 온도 증가에 따라서 지속적으로 발생하지는 않았다. 이는 평량이 낮은 경우 가열롤의 온도가 낮을지라도 가열롤의 열 에너지가 종이의 내부까지 침투할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 평량이 낮은 용지의 벌크를 유지하기 위해서는 가열롤의 온도가 상승될 경우 닦체류 시간을 감소시키거나 압력을 낮게 유지하는 것이 필요하다고 판단되었다.

Fig. 5에는 캘린더링 시 닦체류 시간에 따른 신문용지의 벌크 변화를 도시하였다. 캘린더링 시 시험편의 함수율은 16%, 압력은  $207 \text{ kg/cm}^2$ 로 일정하게 유지하였다. 여기에서 보는 바와 같이 닦체류 시간 증가에 따라 벌크는 약간 감소하거나 거의 변화되지 않았다. 이는 본 연구에 사용된 닦체류 시간이 실제 신문용지의 생산 시에 적용되는 닦체류 시간보다 상당히 컸기 때문이다. 일반적으로 소프트넵 캘린더의 경우 실제 닦체류 시간은 고속 초지기의 경우  $1 \text{ ms}$  이하이다. 따라서 이보다 닦체류 시간이 큰 경우에 벌크가 거의 일정하게 유지되었다는 사실은 소프트넵 캘린더링 시 벌크의 변화는 초기에 순간적으로 발생함을 보여 주고 있다.

Fig. 6에는 함수율 증가에 따른 벌크의 변화를 온도별로 나타내었다. 캘린더링 압력은 일정하게  $207 \text{ kg/cm}^2$ 을 유지하였으며, 닦체류 시간은  $10 \text{ ms}$ 였다. 여기에서 보는 바와 같이 종이의 함수율이 8%에서 16%로 증가됨에 따라 벌크는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 함수율 증가에 따라서 종이의 열확산계수와 섬유의 열 변형이 증가하였기 때문이다.

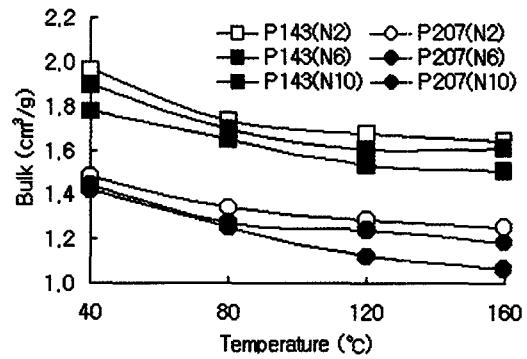
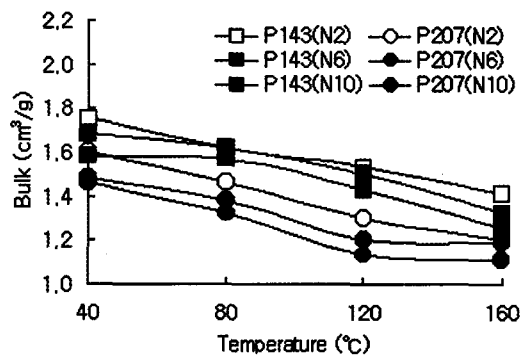
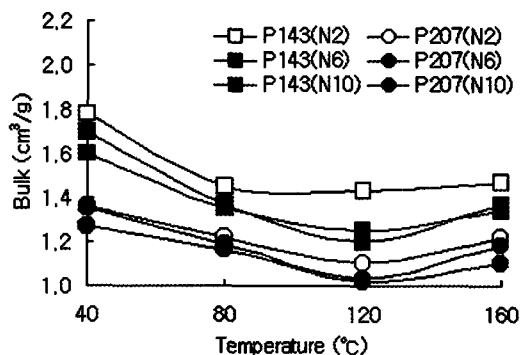
(a)  $54 \text{ g/m}^2$ (b)  $49 \text{ g/m}^2$ (c)  $43 \text{ g/m}^2$ 

Fig. 4. Effect of calendering temperature on bulk. (P : pressure ( $\text{kg/cm}^2$ ), N : nip residence time (ms))

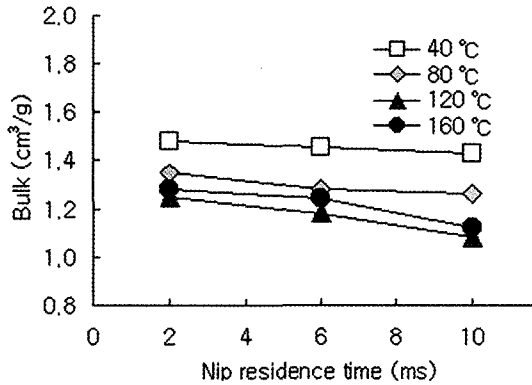


Fig. 5. Effect of nip residence time on bulk. Basis weight: 54 g/m².

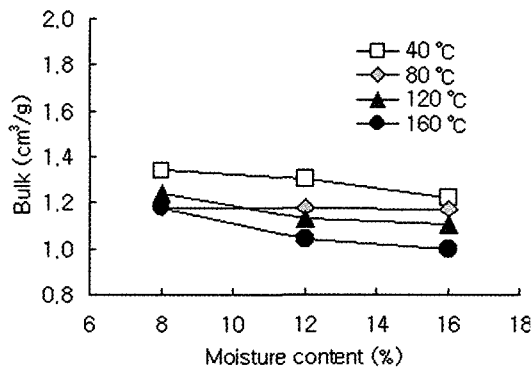


Fig. 6. Effect of moisture content on bulk. Basis weight: 43 g/m².

이상에서 살펴본 바와 같이 캘린더링 시의 공정 변수에 따른 신문용지의 벌크는 압력과 온도가 증가할 경우 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 닙체류 시간과 함수율의 증가에 따라서도 감소하였지만 그 정도는 압력과 온도에 의한 영향보다 훨씬 적게 나타났다.

따라서 소프트넵 캘린더링 시의 벌크 변화를 조절하기 위해서는 비교적 조절이 용이한 공정 변수인 압력과 온도를 변화시키는 것이 좋을 것이다. 만약 폭방향 압력 및 온도 프로파일을 부분적으로 제어할 수 있는 캘린더를 사용한다면 습부에서 발생한 지필의 불균일성을 시정할 수 있는 가능성도 있다고 판단된다.

지필의 함수율이 폭방향 수분 프로파일의 개선

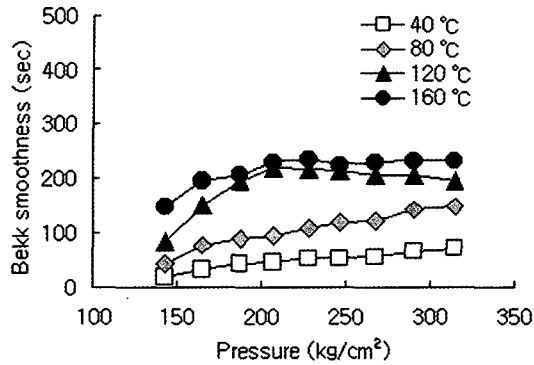
을 위하여 매우 낮게 유지된 상태로 캘린더링 작업이 행해진다면 섬유의 열변형 특성이 감소하여 소프트넵 캘린더의 효과적 적용이 어려울 것으로 보인다. 또 저평량 신문용지의 생산 시에는 두께 방향으로의 열 에너지 침투가 신속히 일어나 전체 두께방향 압밀현상이 발생하여 불투명도를 크게 저하시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 3.2 평활도의 변화

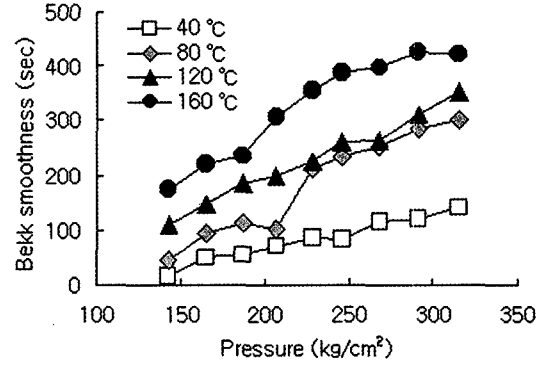
Fig. 7(a)에는 함수율과 닙체류 시간을 각각 8%와 10 ms로 일정하게 유지한 상태에서의 압력과 가열물의 온도에 따른 평활도 변화를 도시하였다. 여기에서 보는 것과 같이 캘린더링 압력이 200 kg/cm²까지 증가됨에 따라 평활도는 급격히 증가하였으나 그 이상의 압력에서는 평활도 변화가 크게 나타나지 않았다. 또 가열물의 온도가 높아짐에 따라 평활도는 더욱 증가하였다. 이는 가열 물의 온도가 높은 경우 열로 인한 종이의 변형이 증가하였기 때문이다. 특히 가열물의 온도가 40 °C로 낮은 경우에는 캘린더링 압력의 증가에도 불구하고 평활도 변화가 크게 나타나지 않았다. 이는 온도가 낮은 경우에도 캘린더링 압력 증가에 따라 벌크는 크게 감소하였다는 사실과 상당히 다른 결과이다. 이는 표면 평활성이란 종이의 압축 현상뿐 아니라 표면에 존재하는 섬유의 형태 변화에 의해서 발생하는 마이크로러프니스(micro roughness)의 감소가 매우 중요하다는 사실을 보여 주고 있다. 즉 가열물의 온도가 섬유의 열변형이 가능한 온도보다 낮은 경우에는 섬유 자체의 영구변형이 효과적으로 발생하지 못한다는 것을 보여 주고 있다.

캘린더링 시 평량에 따른 평활도의 변화는 평량이 가장 높은 신문용지에서 가장 크게 나타났으며 평량이 낮아질수록 감소하였다.

캘린더링 시 시편의 함수율을 16%, 닙체류 시간은 2 ms로 일정하게 유지한 경우 캘린더링 시 압력 증가에 따라 평활도가 Fig. 7(b)에서 보는 것과 같이 압력이 200 kg/cm² 이상으로 증가해도 평활도는 계속적으로 증가하였다. 이러한 사실은 캘린더링 시 닙체류 시간이 짧아도 지필의 함수율이 높게 유지된다면 섬유의 유연성이 증가하여 압력이 증가함에 따라 종이의 압축과 표면층의 섬유 형태 변화가 지속적으로 발생됨을 보여 준



(a) moisture content: 8%, NRT: 10 ms.



(b) moisture content: 16%, NRT: 2 ms.

Fig. 7. Effect of pressure on Bekk smoothness for handsheets with basis weight of 49 g/m<sup>2</sup>.

다.

Fig. 8에는 가열롤의 표면온도에 따른 신문용지의 평활도 변화를 도시하였다. 캘린더링 시 시험편의 함수율은 8%로 일정하게 유지하였다. 여기서 보는 바와 같이 가열롤의 표면온도가 증가하면 표면에 존재하는 섬유 유연성의 커지고 열 변형이 증가되어 평활도가 증가하였다.

넙체류 시간 증가 시에도 평활도가 증가하였다. 특히, 넙체류 시간이 10 ms이고, 가열롤의 표면온도가 160°C일 때 가장 큰 평활도를 보였다. 이러한 결과는 넙체류 시간의 증가는 가열롤의 표면온도가 전달되는 시간을 증가시킴으로써 신문용지

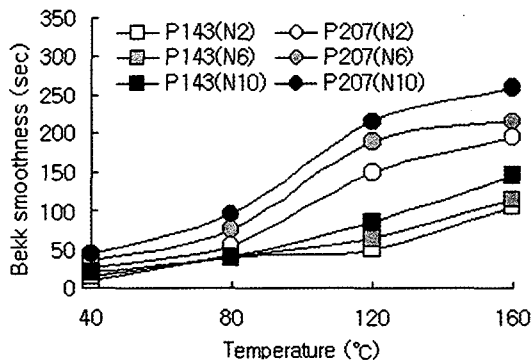


Fig. 8. Effect of temperature on Bekk smoothness for handsheets with basis weight of 49 g/m<sup>2</sup>. (P : pressure (kg/cm<sup>2</sup>), N : nip residence time (ms))

의 열변형을 증가시킴을 보여 준다. 유입지의 함수율의 증가에 따라 평활도가 증가하였다. 이는 유입지 내부에 존재하는 수분이 표면층의 섬유를 유연하게 하고, 종이의 열확산계수와 열 변형성을 증대시킴을 보여 준다.

신문용지의 평활도는 압력, 가열롤의 표면온도가 증가할 경우 크게 증가하였고, 넙체류 시간과 유입지의 함수율의 증가에 따라서도 증가하였지만 그 증가 정도는 압력과 온도에 의한 영향보다는 훨씬 적었다. 따라서 소프트넙 캘린더링 시의 평활도 변화를 조절하기 위해서는 벌크와 마찬가지로 비교적 영향 정도가 큰 압력과 온도를 변화시키는 것이 좋을 것이라고 판단된다. 캘린더링 압력과 가열롤의 표면온도 상승 시 벌크는 감소하나 평활도는 증가하는 반비례적인 관계에 있었다. 그러므로, 캘린더링 시에 압력과 온도는 벌크와 평활도 관계를 고려하여 적용할 필요가 있다.

### 3.3 인장강도의 변화

Fig. 9에는 평량 49 g/m<sup>2</sup>인 신문용지의 소프트넙 캘린더링 시의 압력과 가열롤의 표면 온도에 따른 인장강도 변화를 도시하였다. Fig. 9(a)는 캘린더링 시 시험편의 함수율은 8%, 넙체류 시간은 10 ms으로 일정하게 유지하여 캘린더링한 결과를 보여 주고 있다. 캘린더링 시의 압력 증가에 따라 인장강도는 서서히 감소하였다. 이는 캘린더링 시 내부에 존재하는 섬유 또는 섬유간 결합이 파괴되

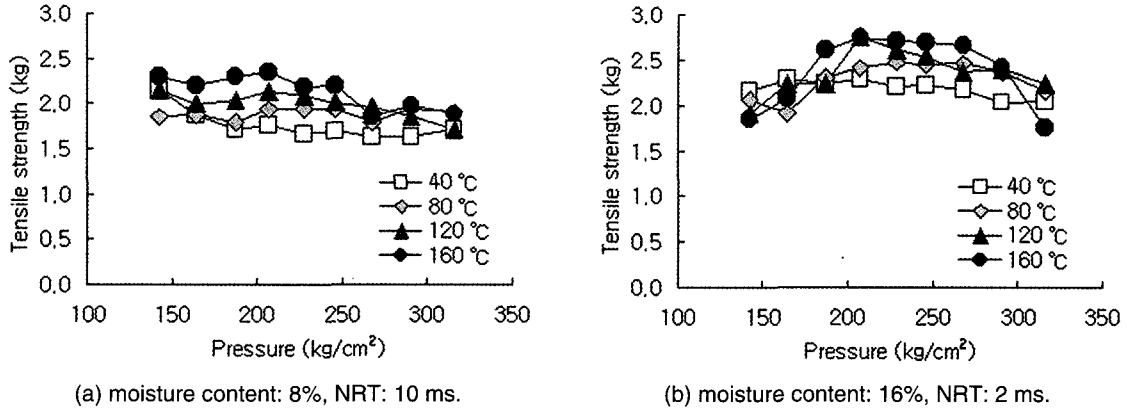


Fig. 9. Effect of pressure on tensile strength for handsheets with basis weight of 49 g/m<sup>2</sup>.

어 인장강도가 낮아짐을 나타낸다. 가열롤의 표면 온도 증가에 따라 인장강도가 상승하였는데 이는 종이 표면층의 섬유 변형이 증가하여 섬유간 결합이 증가되었기 때문이다. Fig. 9(b)는 캘린더링 시 시편의 함수율은 16%, 닙체류 시간은 2 ms로 일정하게 유지한 경우로, 캘린더링 압력을 220 kg/cm<sup>2</sup> 이하로 유지할 때에는 압력 증가에 따라 인장강도가 증가되었으나 압력을 220 kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 유지할 경우에는 압력 증가에 따라서 인장강도가 감소하였음을 알 수 있다. 특히 가열롤의 표면온도가 높을수록 압력 상승에 따른 인장강도 증가가 더욱 크게 나타났다. 이는 닙체류 시간이 짧아도 유입지의 함수율과 가열롤의 표면온도를 높게 유지한다면 섬유의 유연성과 열변형이 증가되어 섬유간 결합이 증가함을 보여 준다. 하지만 압력이 220 kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 유지할 경우에는 가열롤의 표면온도가 높을수록 인장강도가 큰 폭으로 감소되었다. 특히 압력이 300 kg/cm<sup>2</sup> 이상, 온도가 160 °C인 경우 인장강도가 급격히 감소하였다. 이는 가열롤의 표면온도가 과도하게 높은 경우 종이의 내부에 존재하던 수분이 급격히 기화되어 지층을 구성하고 있는 섬유가 수증기압을 견디지 못하고 파열되었음을 시사한다.

가열롤의 표면온도가 낮게 유지될 경우에는 닙체류 시간 증가에 따라 인장강도가 저하 또는 정체되는 경향을 보였고, 가열롤의 표면온도가 높은 경우는 닙체류 시간 증가에 따라 인장강도가 증가되는 경향을 보였다. 이는 유입지의 함수율이 높고 가열롤의 표면온도가 낮은 경우에는 닙체류 시

간증가로 인해 섬유간 결합이 거의 변화되지 않거나 오히려 감소할 수 있음을 보여 준다. 하지만, 가열롤의 표면온도가 높은 경우는 표면층 섬유의 열변형이 증대되어 섬유간 결합을 증가시킬 수 있음을 의미한다.

### 3.4 SEM 분석

소프트넵 캘린더링에 따른 종이의 지층구조 변화를 파악하기 위해 SEM을 이용하여 종이의 단면을 촬영하였다.

Fig. 10에서 (a)를 제외한 모든 사진은 함수율 16%, 닙체류 시간 10 ms의 조건에서 캘린더링한 신문용지의 단면이며, Fig. 10(a)는 캘린더링 전의 단면이다. Fig. 10(b)는 압력 315 kg/cm<sup>2</sup>, 온도 40 °C에서 소프트넵 캘린더링한 것이다. 따라서 이를 Fig. 10(a)와 비교하면 압력에 의한 종이의 변형현상을 알 수 있다. 여기에서 볼 수 있는 것과 같이 섬유가 압력을 받으면 섬유가 압착 변형되는 것을 확인할 수 있으며, 특히 이러한 변화는 전체 두께 방향에서 모두 발생한다는 것을 알 수 있다. Fig. 10(c)와 Fig. 10(d)는 압력이 207 kg/cm<sup>2</sup>이고, 가열롤의 온도가 각각 120 °C와 160 °C인 조건에서 캘린더링한 종이의 단면을 보여 주고 있다. 여기에서 보는 것과 같이 이 조건하에서는 종이의 표면에 위치한 섬유만이 열압에 의해 변형되었다. 또한 Fig. 10(c)에서는 내부 벌크가 유지되고 있으나, Fig. 10(d)에서는





Fig. 10(a). SEM photograph of uncalendered sheet.

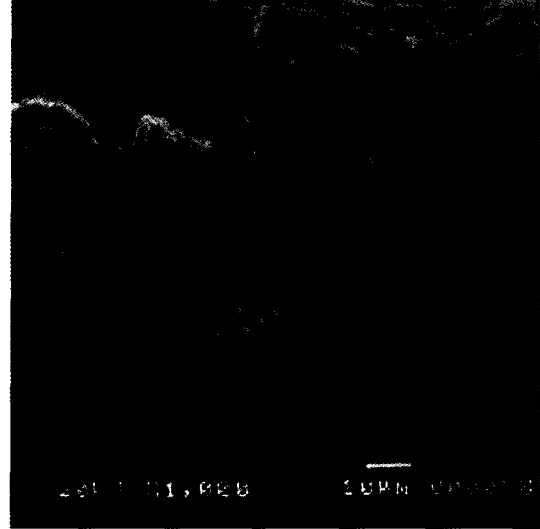


Fig. 10(b). SEM photograph after soft nip calendering. Heating roll temperature: 40°C, Pressure: 315 kg/cm<sup>2</sup>.

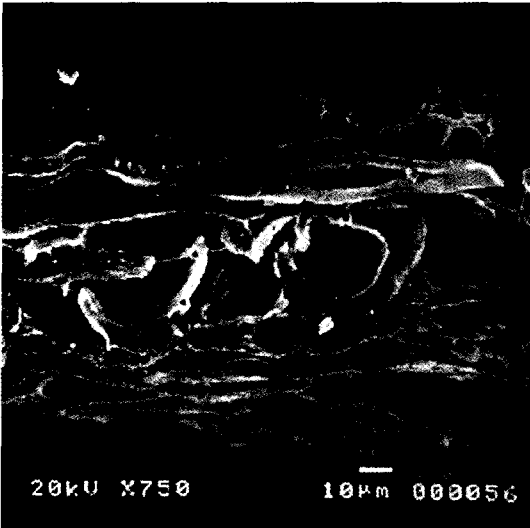


Fig. 10(c). SEM photograph after soft nip calendering. Heating roll temperature: 120°C, Pressure: 207 kg/cm<sup>2</sup>.



Fig. 10(d). SEM photograph after soft nip calendering. Heating roll temperature: 160°C, Pressure: 207 kg/cm<sup>2</sup>.

종이 내부의 섬유가 찢겨진 형태를 보이고 있다. 이는 가열롤의 온도가 과도하게 높은 경우 종이 내부에서 수증기가 외부로 빠르게 이동하는 압력

을 이기지 못하고 섬유가 터져 버린 때문으로 판단된다.

Fig. 10(e)와 Fig. 10(f)은 압력을 315

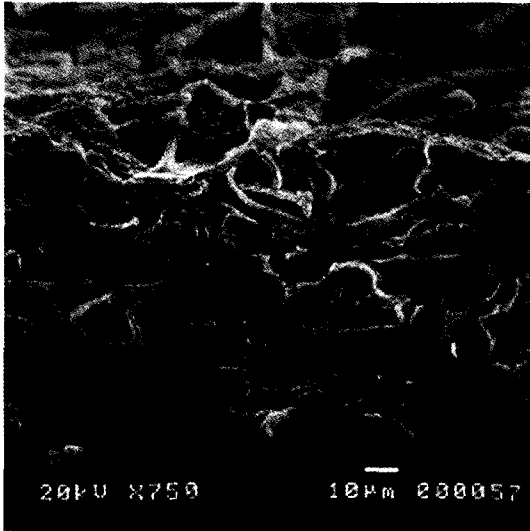


Fig. 10(e). SEM photograph after soft nip calendering. Heating roll temperature: 120 °C, Pressure: 315 kg/cm<sup>2</sup>.

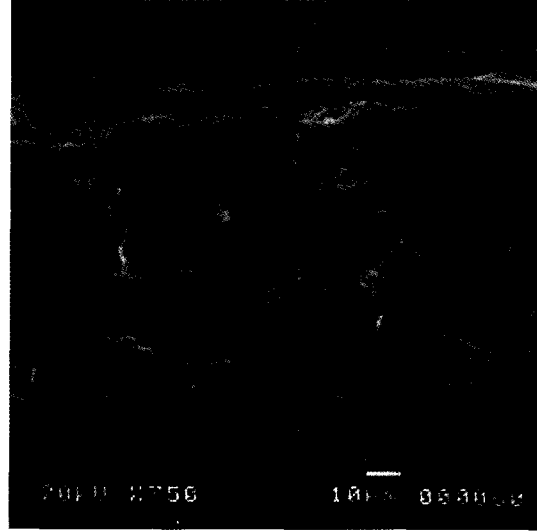


Fig. 10(f). SEM photograph after soft nip calendering. Heating roll temperature: 160 °C, Pressure: 315 kg/cm<sup>2</sup>.

kg/cm<sup>2</sup>로 올려 캘린더링한 사진이다. 이때 가열롤의 온도는 각각 120°C와 160°C였다. 종이표면은 열압되어 고밀화되었고, 내부는 다소 표면보다는 벌키한 구조를 가지고 있으나, 압력 207 kg/cm<sup>2</sup>보다는 벌키하지 못하였다. 또한 롤 표면온도가 120°C에서 160°C로 상승 시 종이 내부에서 섬유들의 터짐 현상이 나타나고 있다.

#### 4. 결론

소프트넵 캘린더링의 네 가지 공정변수에 따른 신문용지의 벌크, 평활도 및 인장강도 변화를 연구한 결과는 다음과 같다.

캘린더링 시 압력과 온도 증가에 따라 신문용지의 벌크가 감소하였다. 또 함수율과 닙체류 시간 증가에 따라 벌크가 감소하지만, 압력과 온도에 따른 벌크 감소보다는 적었다. 평활도는 압력 220 kg/cm<sup>2</sup>, 온도 120°C~160°C 범위에서 가장 효과적으로 상승되었다. 또한, 닙체류 시간과 함수율이 증가할수록 평활도는 증가하였다. 인장강도는 압력 220 kg/cm<sup>2</sup>, 롤 표면온도 120°C와 160°C, 닙체류 시간 10 ms, 함수율 16%의 조건에서 가장 크게 향상되었다.

캘린더링된 종이의 단면을 SEM으로 관찰한 결

과 캘린더링 시의 압력과 온도를 적절히 선정함으로써 표층의 섬유를 평활하게 변화시키고 내부의 벌크를 유지할 수 있음이 확인되었다.

#### 인용 문헌

1. Lyne, B., The effect of moisture and moisture gradients on the calendering of paper Water effects on Young's modulus, pp. 641-667 (1982).
2. Vreeland, H., Ellis, R., and Jewett, B., Tappi J. 72(10):139-145 (1989).
3. Vreeland, H., Ellis, R., and Kenneth, B. Jewett, Tappi J. 72(12):201-206 (1989).
4. Drier, T. and Schuelke, T., TAPPI Finishing Converting Conf. Proc. TAPPI Press, Atlanta, GA. pp. 253-260 (1992).
5. Bartram, E., TAPPI Calendering Winding Short Course Notes, TAPPI Press, Atlanta, GA. pp. 57-69 (1992).
6. Bresser, H. and Schmitz, C. W., TAPPI Finishing Converting Conf. Proc., TAPPI Press, Atlanta, GA. pp. 1-11 (1992).