

소프트 님 캘린더링 변수에 따른 신문용지의 물성

이 사 용 · 이 학 래*

(2001년 10월 20일 접수; 2001년 12월 10일 채택)

The Effect of Soft Nip Calendering Variables on Newsprint Properties

Sayong Lee and Hak Lae Lee[†]

(Received on October 20, 2001; Accepted on December 10, 2001)

ABSTRACT

The effect of soft nip calendering variables including pressure, temperature, nip residence time and moisture on newsprint properties was investigated. The change of bulk, opacity, smoothness, and gloss were determined.

It was found that the influence of calendering pressure and temperature are more significant compare the influence of sheet moisture content and nip residence time on newsprint properties.

Calendering conditions of 160°C of temperature, 78kg/cm of line load and 4ms of nip residence time were considered to be optimum conditions to obtain reasonable gloss and smoothness while minimizing the loss of bulk and opacity for newsprint.

1. 서 론

제지공정상 마지막 단계에 위치한 캘린더링은 종이의 평활성, 광택등의 표면특성을 개선하고, 폭방향의 두께 프로파일의 개선을 통해 균일한 릴 권취가 가능토록 함으로써 종이자체의 상품성을 높이는 기능을 가지고 있다. 이런 캘린더링은 보통 롤과 롤 사이에 종이를 통과시킴으로써 이루어지는 단순한 공정처럼 보이지만 실제로는 님압, 님폭, 가열롤의 표면온도, 함수율 등의 다양한 변수가 영향하는 복잡한 공정이라 할 수 있으며 그 동안 많은 기술발전이 이루어져왔다.

1960년대 후반까지는 머신 캘린더가 주로 사용되었으나 이는 경도가 높은 금속롤만을 사용함으로써 님폭이 좁고, 과도한 압력 집중에 의한 종이의 내부 구조 파괴와 이에 따른 종이 강도 저하를 유발시키는 결점이 있을 뿐 아니라 평량이 높은 부분을 집중적으로 압축함으로써 이 부분의 고밀도화를 촉진하여 블랙크닝 현상을 유발시키는 단점이 있다. 또 머신 캘린더를 사용할 경우에는 부분적 고밀화에 의해 종이의 잉크 수리성이 불균일해져 인쇄적성이 저하되는 등의 문제점도 발생한다. 특히 인쇄문화의 발전과 60년대 이후 지속적인 세계 경제발전에 따른 문화수준의 향상으로 고

• 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Department of Forest Products, College of Agriculture and Life Sciences Seoul National University, Suwon 441-744, Republic of Korea)

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

급 종이에 대한 수요가 늘어나면서 이런 문제점들에 대한 해결방안의 필요성이 더욱 대두되었다.

1970년대부터 사용된 수퍼 캘린더는 경도가 높은 금속 롤과 탄성을 가진 연질의 코튼 또는 고무 롤을 사용하기 때문에 머신캘린더에 비해 님이 넓어지게 되어 가해진 하중이 님 내에서 넓게 분산될 뿐 아니라 종이의 표면 특성을 변화시킬만큼 열전달이 이루어질 수 있는 충분한 님 체류시간(Nip Residence Time: NRT)을 확보함으로써 머신 캘린더와 같이 압력집중에 의한 종이의 강도 저하, 두께 감소, 고밀도화 등의 문제점이 발생하는 것을 해소하면서, 상대적으로 평활도, 광택 등과 같은 종이의 표면특성을 상당한 수준으로 개선했다. 하지만 수퍼캘린더는 경도(84-89 Shore D)가 낮은 롤 피복재로 인한 마모문제로 고속의 온머신(on-machine) 작업이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

따라서 님폭이 넓고 님 체류시간(NRT)이 길며 롤 내구성이 우수하여 초지 속도와 같은 수준으로 온머신 작업이 가능할 뿐만 아니라 수퍼캘린더링에 준하는 캘린더링 품질을 얻을 수 있는 캘린더의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 1980년대 후반, 수퍼캘린더의 연질 롤보다는 상대적으로 경도와 내구성이 높은 연질롤과 금속롤을 사용하여 온머신 캘린더링이 가능한 소프트 님 캘린더(soft nip calender; SNC)가 개발되어 사용되고 있다.

소프트 님 캘린더는 수퍼 캘린더보다 님의 수가 적고 내마모성이 우수하기 때문에 가격 및 유지보수비용이 싸며, 온머신으로 설치되므로 설치면적을 줄여 공간활용도를 높이면서 생산성을 향상시키는 등의 장점을 가지고 있다. 이런 장점으로 인해 최근들어 유럽과 북미 지역에서는 소프트 님 캘린더의 적용이 고급 도공지와 신문용지까지 확대되었으며, 국내에서도 현대도공지의 온머신 캘린더링 작업에 소프트 님 캘린더가 사용되고 있으며, 신문용지의 캘린더링에도 널리 이용되고 있다.

소프트 님 캘린더링을 하면 강도와 불투명도 저하를 상대적으로 감소시키며, 광택도와 평활도의 향상에 따른 인쇄적성의 개선 효과를 얻을 수 있다. Sipi¹⁾는 소프

트 님 캘린더가 저속의 초지기를 고속화하는 과정에서 유용한 수퍼캘린더 대체방안이 될 수 있으며 신문용지에 탈묵 펄프를 사용하였을 때 특히 압력의 집중을 분산할 수 있어 효율적인 설비라고 하였으며 강도개선, 운전성과 인쇄적성의 개선 및 lint의 감소 등의 이점이 있다고 하였다. 그러나, 소프트 님 캘린더의 활용 시 자료내 펄프 중 탈묵 펄프의 비율이 높아지면 캘린더링에 의한 밀도변이가 커지며 이에 따라 표면특성이 불균일해지고 잉크흡수성이 떨어져 잉크의 전이량이 떨어진다는 보고되고 있다.²⁾ 이러한 연구결과는 소프트 님 캘린더의 적용이 가장 널리 행해지고 있는 국산 신문용지의 경우 제지 원료면에서 외국과 달리 고지의 함량이 매우 높은 상태에서 제조되기 때문에 자료조성이 다른 외국의 소프트 님 캘린더링 기술을 단순히 도입하여 사용하는 것은 우리의 사정에 적절하지 않음을 보여주고 있다. 즉 고지의 함량이 높을수록 캘린더링에 따른 두께 감소가 크게 발생하는 경향이 있기 때문에 국산 신문용지 생산 시에는 소프트 님 캘린더의 님압을 최소한으로 낮추더라도 벌크와 불투명도의 감소가 심각하게 발생하는 문제점이 있어 이미 국내에 설치된 소프트 님 캘린더의 활용도 크게 제한을 받고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 연질롤을 이용한 캘린더링에 있어서 대상 용지의 물성변화를 평가함으로써 캘린더링 공정을 최적화하는 것이 요청된다.

본 연구에서는 연질롤(90 Shore D)을 파일럿 머신에 적용하여 님압, 님폭, 가열롤의 표면온도, 운전속도, 유입지의 함수율 등 캘린더링 인자에 따른 신문용지의 광택도, 불투명도 등 광학적 특성과 벌크 등 물성변화를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 신문용지

현재 국내 신문용지 생산업체에서 생산되는 평량 46g/m²과 54g/m²의 캘린더링이 되지 않은 신문용지를 사용하였으며 일반적인 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of uncalendered newsprints

Basis Weight (g/m ²)	Thickness (μ m)	Gloss (%)	PPS (μ m)h	Tensile Strengt (kN/m)	Tear Strength (g)	Opacity (%)
46	95	5.10	3.57	2.14	70	86.15
54	113	4.60	3.80	2.86	86	88.30

Table 2. Specifications of the soft nip calenders used in this study

Maximum speed (m/min)		64
Maximum pressure (kg/cm ²)		301.56 (oil pressure of piston)
Maximum Temperature (°C)		200
Heating roll	Diameter (mm)	180
	Width (mm)	255
	Material	Chrome plated stainless steel
Soft roll	Diameter (mm)	220
	Width (mm)	250
	Material	Epoxy
	Hardness (Shore D)	90
Loading roll	Diameter (mm)	180
	Width (mm)	255
	Material	Chrome plated stainless steel

Table 3. Properties of soft roll cover material

Hardness (Shore D)	TS (Mpa)	TM (GPa)	Elongation (%)	FS (MPa)	FM (GPa)	HDT (°C)	Moisture (%)
90	115	3.55	10.7	166	3.38	130	0.29

2.2 캘린더

소프트 닙 캘린더는 하나의 연질롤과 두 개의 금속롤로 구성된 것을 사용하였다. 상부 금속롤은 표면에 크롬 코팅된 것으로 가열 및 구동 역할을 하며, 적용가능한 최고온도는 200°C, 최고속도는 64m/min이었다. 측정된 닙폭에 따라 닙 체류시간(nip residence time:NRT)에 맞춰 속도를 분당회전속도(rpm)로 환산하여 적용하였다. 중간롤로 연질커버를 가진 롤을 사용하였다. 하부 롤은 상부롤과 같은 크롬 코팅된 압력 롤이었다. 캘린더의 일반사항은 Table 2에, 그리고 연질롤 피복물질의 물리적 성질은 Table 3에 정리하였다.

2.3 캘린더링 조건

2.3.1 닙 체류시간과 운전속도의 결정

소프트 닙 캘린더링 시의 닙 체류시간은 닙폭과 유입지의 속도(운전속도)에 따라 달라지게 된다. 닙폭은 선압과 가열롤의 표면온도가 증가하면 조금씩 증가하는 경향을 보인다. 따라서 닙 체류시간은 각 선압에서

온도별 닙폭을 측정하고 이를 파일럿 머신의 운전속도로 나누어 구하였다. 본 실험에서는 4, 7, 10 ms의 닙 체류시간을 적용하기 위해 각 선압에서 온도별로 닙폭을 측정하여 다음 그 값을 닙 체류시간으로 나누고 이로부터 롤의 분당 회전속도(rpm)를 환산하였다.

Prescale Film을 사용해 측정된 닙폭(w)을 적용하고자하는 닙 체류시간으로 나누면 속도(m/s)를 구할 수 있으며 이를 구동롤인 상부롤의 직경(180mm)과 분당회전속도를 고려하여 식 [1]에 의해 실험에 적용되는 rpm을 계산하였다.

$$\text{rpm} = \frac{w \times 60 \times 1000}{\text{NRT} \times 180 \times \pi} \quad [1]$$

2.3.2 유입지 함수율

유입지 함수율은 9%와 12%가 되도록 향온함습처리하였다. 신문용지의 함수율 9%는 공시재료를 온도 23°C, 상대습도 65%의 향온함습 조건에서 24시간 이상 조습처리하여 얻었다. 또 신문용지 12%의 함수율은 온도 23°C, 상대습도 90%의 향온함습조건에서 24시간 이상 조습처리함으로써 얻었다.

2.4 물성 측정

캘린더링을 실시한 후에 TAPPI Standard T 402 om-82에 의거 시편을 조습처리하였다. 신문용지는 TAPPI 표준시험법에 의거 벌크(T220 om-88), 광택도(T653 pm-90), 불투명도(T425 om-91)와 PPS를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가열롤의 표면온도

소프트 닥 캘린더의 가열롤 표면온도가 캘린더링 효과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 80, 120, 160℃의 온도를 적용하였다.

캘린더링에 의한 종이의 열변형에 필요한 가열롤의 표면온도(metal roll surface temperature; T_{mst})는 함수열(mc), 유리전이온도(T_g), 유입지의 온도(T_i), 닥 체류시간(NRT) 및 열침투 깊이(x)를 적용하여 다음과 같이 구하였다.

먼저 캘린더 닥에서의 열전달을 반무한판(semi-infinite plate)에서 발생하는 비정상상태의 1차원 열전도로 가정하였다. 이에 의한 온도분포는 식 [2]로 나타낼 수 있다.^{5,6)}

$$T(x,t) = T_i + (T_o - T_i) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}} \right) \quad [2]$$

$T(x, t)$: 시간 t에 일정깊이 x에서의 온도,
 T_o : 판의 표면온도,
 T_i : 판의 초기온도,
 x : 표면으로부터의 깊이,
 t : 판 표면에 온도 T_o 가 적용된 시간,
 α : 판의 열확산계수(thermal diffusivity),
 erfc : 에러보함수(complementary error function).

여기에 적용되는 열확산계수(thermal diffusivity) α 와 에러 보함수(complementary error function)는 식 [3], [4]와 같다

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad [3]$$

$$\operatorname{erf} w = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^w e^{-v^2} dv \quad [4]$$

$$\operatorname{erfc} w = 1 - \operatorname{erf} w \quad [5]$$

식 [3]에서 k는 열전도율(thermal conductivity, $W/m \cdot K$), ρ 는 밀도(density, kg/m^3), C_p 는 비열(specific heat, $J/kg \cdot K$)이다.

식 [2]의 상황을 닥 내 상황으로 생각하고 가열롤과 접촉하는 지필 표면의 온도를 가열롤의 온도와 같다고 가정하여 식 [2]를 다음의 식 [6]로 전환하였다.

$$T(x,t) = T_i + (T_s - T_i) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}} \right) \quad [6]$$

$T(x,t)$: 가열롤 표면으로부터 거리 x에서 종이의 온도 ℃,
 T_i : 유입지의 온도 ℃,
 T_s : 가열롤의 표면온도 ℃,
 x : 가열롤 표면으로부터 거리 mm,
 t : 닥 체류시간 sec.

신문용지의 경우에는 종이의 열전도도($0.06 J/m(s \cdot K)$)와 비열($1,340 J/kg \cdot K$)을 측정된 밀도와 같이 식 [3]에 적용하여 구한 열확산계수를 식 [6]에 대입하여 온도분포를 구하였다. 캘린더링 전 원지의 두께를 측정하고, 열변형이 일어나는 열침투깊이를 이 두께의 1/10로 가정하였다. 함수열에 따른 T_g 를 식 [7]을 이용하여 구하고 열침투깊이의 온도를 유리전이온도까지 가열하기 위해 필요한 가열롤의 표면온도 T_{mst} (Metal roll surface temperature)를 다음의 식 [8]에 의해 구했다.

$$T_g = 234.2 \times e^{-0.131mc} \quad [7]$$

$$T_{mst} = \frac{T_i + (234.2 \times e^{-0.131mc} - T_i)}{\operatorname{erfc} \left(\frac{c/10}{2\sqrt{\alpha \cdot t}} \right)} \quad [8]$$

여기서 mc는 함수열, c는 측정된 종이의 두께이다. 이와 같은 방법으로 유입지의 함수열에 따른 신문용지의 T_{mst} 를 구하고 이를 Fig. 1에 도시하였다. 이로부터 소프트 닥 캘린더링 시 유입지의 함수열과 닥 체류시간에 따른 적절한 가열롤의 온도를 확인할 수 있다. 예를 들어 본 실험에서 적용한 유입지의 함수열 9%와

Table 4. Optimum metal roll temperature for substrata thermal molding of newsprint

Basis Wight (g/m ²)	Moisture Content (%)	Nip Residence Time (ms)	Optimum Metal Roll Temperature(°C)
46	9	4	89.93
		7	84.25
		10	79.90
	12	4	57.98
		7	55.19
		10	53.91
54	9	4	94.54
		7	87.57
		10	84.51
	12	4	60.39
		7	56.75
		10	55.14

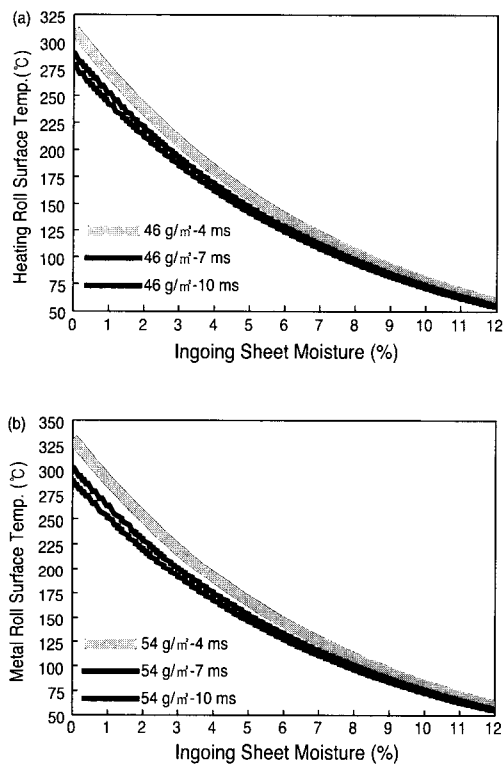


Fig. 1. Optimum condition for substrata thermal molding of newsprint.

- (a) when newsprint with basis weight of 46 g/m² is calendered at 23°C.
- (b) when newsprint with basis weight of 54 g/m² is calendered at 23°C.

12%의 경우, 종이의 표면 부분을 열변형 시키기 위해 요구되는 가열롤의 온도는 닙 체류시간과 평량에 따라 Table 4와 같이 변화된다.

3.2 신문용지 캘린더링

3.2.1 벌크(Bulk)의 변화

Fig. 2에는 압력과 가열롤의 온도에 따른 벌크의 변화를 도시하였다. Fig. 2에서 보는 것과 같이 캘린더링 시 압력의 증가에 따라 벌크는 감소되었다. 특히 선압 146kg_f/cm 까지 급격한 감소를 보이고 146kg_f/cm에서 222kg_f/cm까지는 완만하게 감소하였다. 이는 선압 146kg_f/cm까지 캘린더링에 의한 종이의 압축변형이 많이 일어나는 것을 보여준다. 따라서 신문용지의 캘린더링 시 벌크 감소를 줄이기 위해서 146kg_f/cm이하의 선압을 주는 것이 적절한 것으로 보인다.

가열롤의 표면온도가 증가할수록 벌크의 감소도 더욱 크게 발생하였다. 함수율이 9%일 때는 온도가 80°C에서 120°C로 증가할 때보다 120°C에서 160°C로 증가할 때 더 크게 벌크가 감소하였다. 함수율이 12%인 경우 그 반대의 경향을 보였다. 이는 함수율 9%보다는 12%인 경우가 유리전이온도가 더 낮기 때문에 섬유가 훨씬 유연하여 낮은 온도에서도 더 민감하게 벌크의 감소가 발생하였기 때문이다. 다시 말하면 함수율 12%의 경우에는 80°C에서 120°C로 증가한 경우 섬유의 유연성이 크게 변화하지만 120°C 이상의 온도

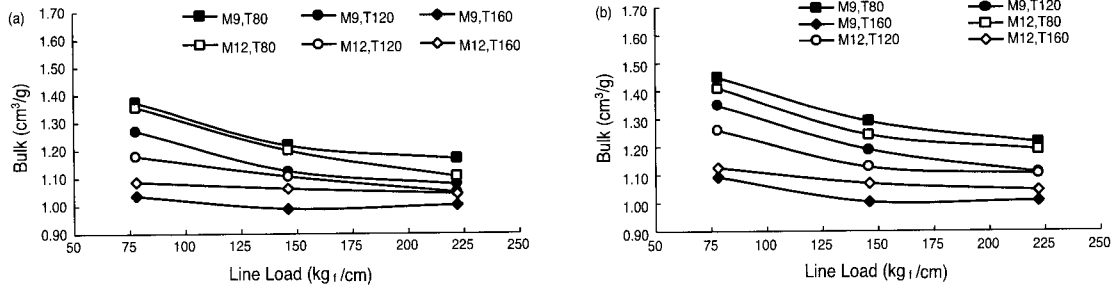


Fig. 2. Effect of line load on bulk of newsprint.
 (a) Basis weight 46 g/m², Nip residence time 7 ms, (b) Basis weight 54 g/m², Nip residence time 7 ms
 M : Moisture content(%), T : Heated roll surface temperature (°C)

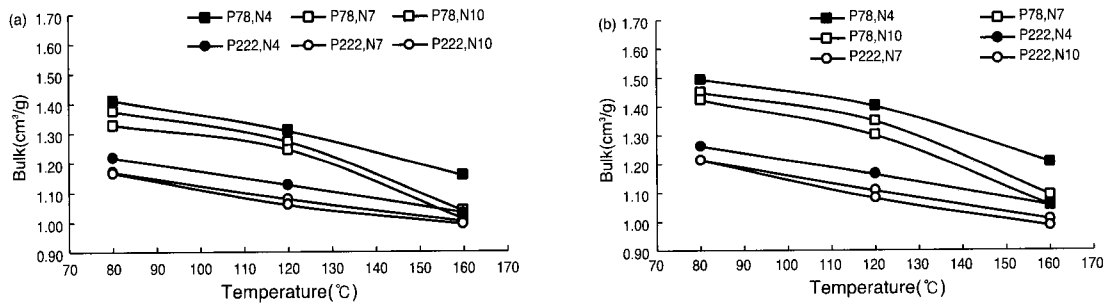


Fig. 3. Effect of temperature on bulk of newsprint.
 (a) Moisture content 9%, Basis weight 46 g/m², (b) Moisture content 9%, Basis weight 54g/m²
 P : Line load (kg/cm), N : Nip residence time (ms)

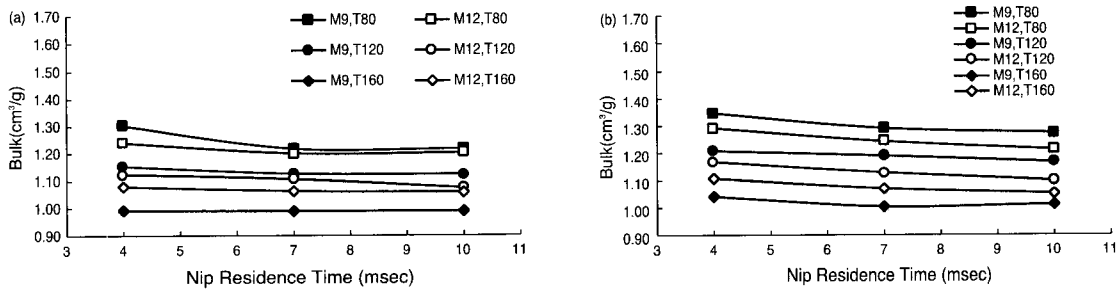


Fig. 4. Effect of nip residence time on bulk of newsprint.
 (a) Line load 146 kg/cm, Basis weight 46 g/m², (b) Line load 146 kg/cm, Basis weight 54g/m²
 M : Moisture content (%), T : Heated roll surface temperature (°C)

에서는 섬유 열변형이 크게 나타나지 않는다고 할 수 있다. 반면 함수율 9%의 경우 120°C 이상까지도 섬유의 유연성이 계속해서 변화하는 것으로 볼 수 있다. 하지만 식 [7]에 의하면 함수율 9%의 유리전이온도도 충분히 낮기 때문에 국산 신문용지의 캘린더링

시 벌크의 감소를 최소화 하기 위해서는 함수율은 9% 이하로 가열롤의 표면온도는 120°C이하로 조절하는 것이 적당할 것으로 보인다.

Table 4를 참조하면 9%의 함수율을 적용할 때 님 체류시간에 따라 평량 46 g/m²의 경우는 가열롤의 표

면온도가 75~100℃ 사이가 적당하며 평량 54 g/m²의 경우에는 75~125℃ 사이가 적당하다.

Fig. 3에는 캘린더링 시 시험편의 함수율이 9%로 일정하게 유지될 때 가열롤의 표면온도 변화에 따른 벌크의 변화를 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 온도 증가에 따라 벌크가 감소되었다. 이는 가열롤의 표면온도가 높아지면 지필로의 열전달 양이 많아져 섬유 변형이 용이한 상태로 변화되고, 이 경우 닢 내에서의 압력변형에 의해 지필이 더욱 압축되며 캘린더링 후 원상으로 회복되지 않는 것으로 보였다.

닙 체류시간 증가에 따른 벌크의 감소를 다소 확인할 수 있으며 선압을 낮게 적용하였을 때가 선압을 높게 적용했을 때 보다 높은 벌크를 얻을 수 있었다. 따라서 국산 신문용지의 캘린더링 시 벌크를 유지하기 위해서는 압력과 온도를 낮게 하는 것이 필요하다.

Fig. 4에는 캘린더링 시 닢 체류시간에 따른 신문용지의 벌크 변화를 도시하였다. Table 4에서 본 바와 같이 함수율 9%일 때 T_{mst}는 79.9~94.5℃였다. 즉 가

열롤의 표면온도가 80℃면 T_{mst}보다 낮으며, 120, 160℃는 T_{mst}보다 크게 높은 온도이다. 따라서 온도가 올라가거나 압력이 증가함에 따라 열변형 깊이가 깊어짐으로 벌크는 닢 체류시간보다는 온도나 압력에 더 많은 영향을 받는다. 이것이 120, 160℃의 온도가 적용된 경우에 닢 체류시간의 변화에 따른 벌크의 변화가 잘 나타나지 않은 이유라 판단된다. 이상에서 캘린더링 시 신문용지의 벌크 감소 주원인은 선압과 온도로 볼 수 있으며 닢 체류시간과 함수율의 영향은 크지 않다고 할 수 있다.

3.2.2 불투명도(Opacity)의 변화

신문용지의 캘린더링 시 선압에 따른 불투명도의 변화를 Fig. 5에 도시하였다. 가열롤의 표면온도를 80℃로 하였을 때 선압이 증가해도 불투명도는 거의 감소되지 않았다. 특히 닢 체류시간을 10ms로 길게하여도 불투명도가 크게 저하되지 않았다. 선압 증가에 따

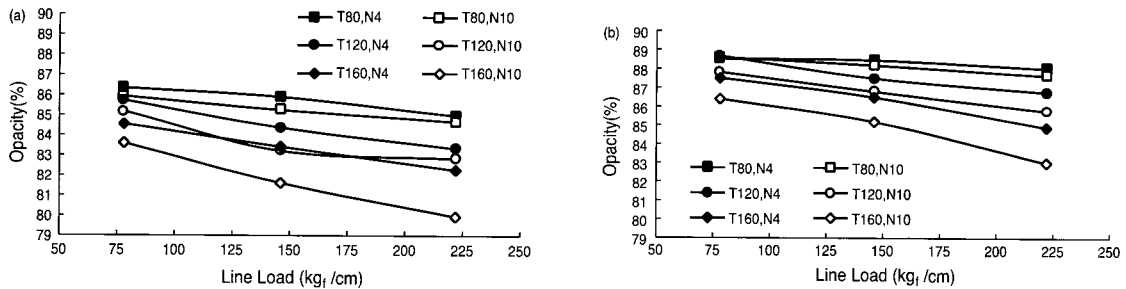


Fig. 5. Effect of line load on opacity of newsprint.

(a) Moisture content 12%, Basis weight 46 g/m², (b) Moisture content 12%, Basis weight 54g/m²
T : Heated roll surface temperature (℃), N : Nip residence time (ms)

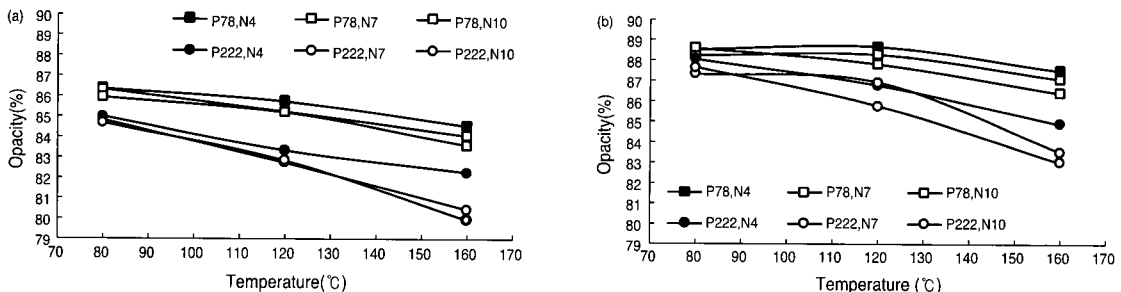


Fig. 6. Effect of temperature on opacity of newsprint.

(a) Moisture content 12%, Basis weight 46g/m², (b) Moisture content 12%, Basis weight 54g/m²
P : Line load (kg/cm), N : Nip residence time (ms)

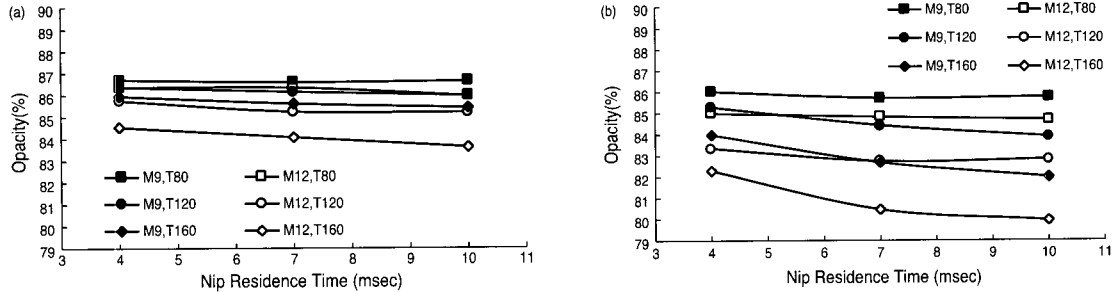


Fig. 7. Effect of nip residence time on opacity of newsprint.
(a) Basis weight 46 g/m², Line load 78 kg/cm, (b) Basis weight 46g/m², Line load 222 kg/cm
M : Moisture content (%), T : Heated roll temperature (°C)

른 불투명도 저하는 가열롤의 표면온도와 님 체류시간이 증가함에 따라 서서히 커졌다. 특히 120°C 이상의 온도에서는 저하되는 폭이 커졌다. 이는 가열롤의 표면에서 지필로의 열전달에 의해 섬유가 열변형을 쉽게 일으킬 수 있는 상태가 되어 캘린더링 시 압력에 의해 지필이 고밀화되었기 때문이다. 따라서 국산 신문용지의 캘린더링 시 불투명도의 저하를 막기 위해서 캘린더링시 가열롤 표면온도는 120°C 이하로 하고 님 체류시간은 짧게 하는 것이 유리하다.

불투명도에 미치는 온도의 영향을 Fig. 6에 도시하였다. 일반적으로 종이의 캘린더링 시 불투명도는 종이의 두께 및 벌크와 밀접한 관계를 가진다. 종이의 벌크가 높을 경우 일반적으로 불투명도는 높다. 반면 과도한 캘린더링에 의해 종이의 열적, 기계적 변형이 크게 발생하여 지필이 고밀화 되면 불투명도는 저하된다.

Fig. 6(a)에서 보는 것과 같이 평량이 낮은 46g/m²의 신문용지는 온도의 상승에 따라 불투명도가 다소 감소하였다. 선압이 78kg/cm로 낮은 경우 님 체류시간의 변화하여도 불투명도는 크게 감소하지 않았으며, 온도 증가에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보여주었다. 감소의 기울기는 120°C를 넘어서면서 다소 급하게 떨어졌다.

Fig. 7에는 님 체류시간에 따른 불투명도의 변화를 도시하였다. 유입지 함수율과 가열롤의 표면온도를 낮게 적용한 경우 님 체류시간의 증가에 따라 불투명도는 크게 감소하지 않았으나, 함수율과 온도를 높게 적용한 경우에는 상당히 감소하였다. 전체 실험에서 선압이 낮게 적용된 경우에는 님 체류시간의 영향은 그렇게 크게 나타나지 않았으며 선압이 높게 적용된 조건에서 님 체류시간에 의한 불투명도의 감소가 나타났다.

이상에서 살펴본 바와 같이 캘린더링 시의 공정 변수에 따른 신문용지의 불투명도 변화는 선압과 가열롤의 표면온도가 증가함에 따라 감소하였고, 님 체류시

간과 유입지의 함수율의 증가에 따라서도 감소하였으나 그 감소 정도가 크진 않았다. 불투명도의 경우 전반적으로 운전요인에 의한 감소가 크게 나타나진 않았다. 하지만 12%로 함수율이 높게 적용된 상황에서 가열롤의 표면온도와 압력이 같이 높게 적용될 경우 상당히 감소하였다.

따라서 신문용지의 캘린더링에서 불투명도의 감소를 적게하기 위해서 선압과 함수율 그리고 가열롤의 표면온도를 모두 낮게 적용할 필요는 없지만 세 가지의 공정요인을 모두 높게 적용할 경우 불투명도의 저하가 크게 일어나게 된다.

3.2.3 평활도의 변화

캘린더링 후 종이의 평활도는 TMI Monito사의 Print-Surf. Meter (Model No. 58-01)를 사용하여 측정하였다. 측정 시에는 고무제 backing disk를 사용하여 측정하였다.

캘린더링 시 압력과 온도에 따른 신문용지의 평활도 변화를 측정한 결과 거의 변화가 없이 2-2.3 μm 범위에서 일정하게 유지되었다.

함수율 9%와 12%에서 님 체류시간의 증가에 따른 평활도의 변화를 Fig. 8에 도시하였다. 보는 바와 같이 님 체류시간이 변화해도 평활도는 거의 변화하지 않았다. 함수율이 9%인 경우와는 달리 함수율이 12%인 경우 선압의 증가에 따라 평활도가 개선되었다. 이는 함수율의 증가에 따라 같은 유리전이온도까지 가열된 위치가 종이의 내부로 더 깊어짐으로 인해 주어지는 압력에 대해 변형될 수 있는 범위가 더 넓어지기 때문이다. 하지만 그만큼 내부까지 캘린더링에 의한 변형이 진행되어 종이의 과밀화 현상과 그에 따른 블랙크닝 현상이 일어났다.

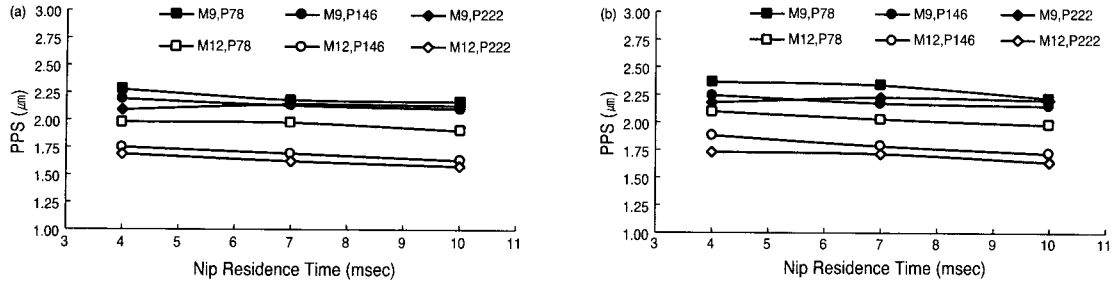


Fig. 8. Effect of nip residence time & moisture content on PPS of newsprint. (a) Basis weight 46g/m², Temperature 80 °C, (b) Basis weight 54g/m², Temperature 80 °C

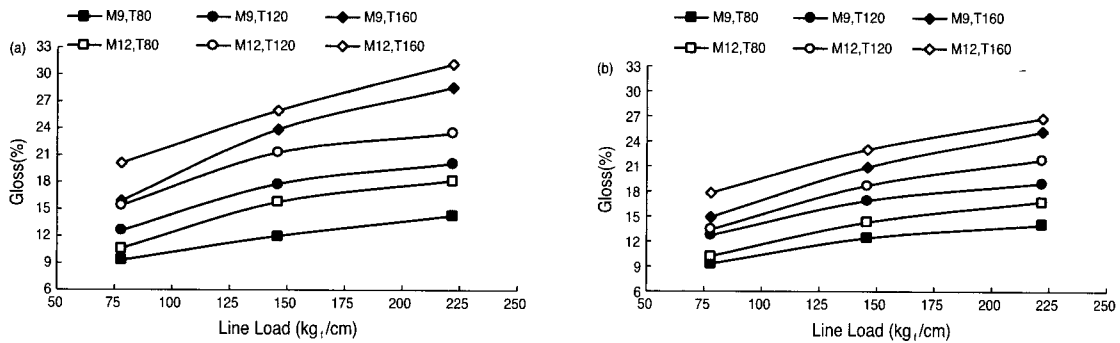


Fig. 9. Effect of pressure on gloss of newsprint. (a) Basis weight 46g/m², Nip residence time 4 ms, (b) Basis weight 54g/m², Nip residence time 7ms
M :

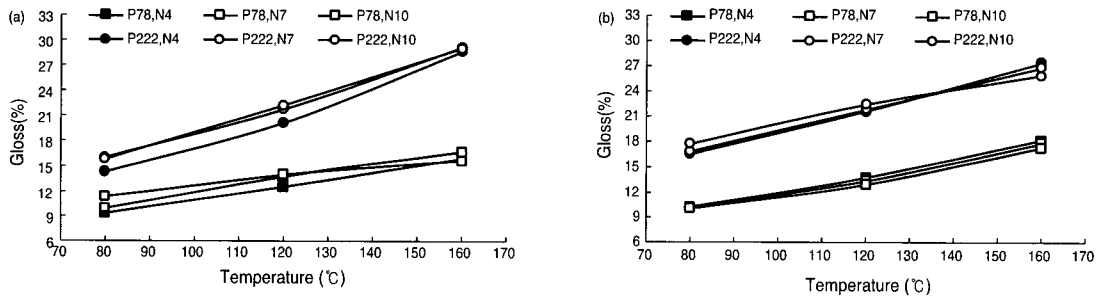


Fig. 10. Effect of temperature on gloss of newsprint. (a) Basis weight 46g/m², Moisture content 9%, (b) Basis weight 54g/m², Moisture content 9%
P: Line load (kg./cm), N : Nip residence time (ms)

3.2.4 광택도의 변화

Figs. 9-10에서 보는 바와 같이 광택도는 압력과 온도의 증가에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타

내었다. 종이의 표면에서 광택도가 발현되는 기작은 열침투에 의한 열변형, 닙 내에서의 마찰에 의한 표면 변형, 닙 내에서의 복제 현상 등이 있다.⁴⁾ 캘린더링 시 압력이 증가하면 소프트 닙에서 소프트 커버 물질의

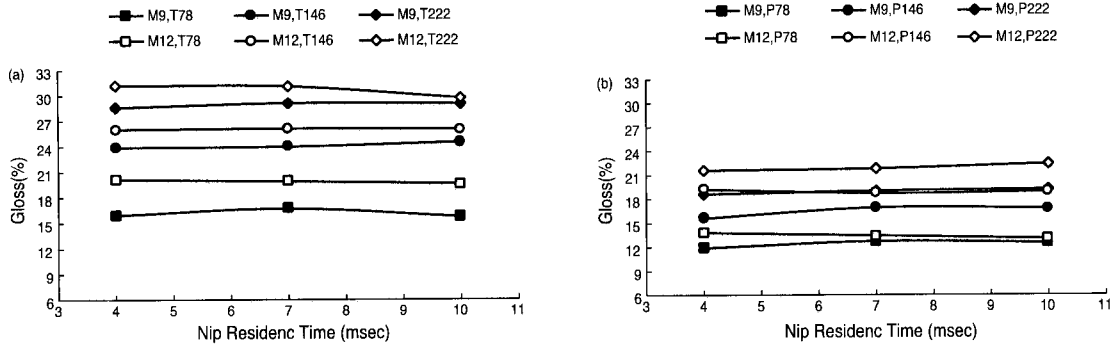


Fig. 11. Effect of nip resident time and moisture content on gloss of newsprint.
(a) Basis weight 46g/m², Temperature 160°C, (b) Basis weight 54g/m², Temperature 120°C
P: Line load (kg/cm), M : Moisture content (%)

탄성 변형이 커지게 되어 그에 따라 마찰력도 증가하게 된다. 또 매끄러운 메탈 롤의 표면이 종이의 표면을 누르는 힘도 커져 종이 표면으로 복제현상이 일어날 가능성도 커진다. 또 온도가 증가하면 종이 표면으로 열 전달량도 많아져 종이가 외부의 압력에 쉽게 변형될 수 있는 상태가 된다.

Fig. 11을 보면 님 체류시간과 함수율 변화에 따른 광택도 변화를 나타내었다. 함수율 증가에 따라 유리전이 온도가 낮아져 종이는 캘린더링 시 주어지는 열에 의해 쉽게 변형될 수 있게 된다.

열전도 시 종이의 표면의 온도는 빨리 올라가게 된다. 따라서 님 체류시간을 짧아도 가열롤의 온도와 님 압이 충분하면 표면은 쉽게 변형된다. 따라서 캘린더링 시 님체류시간이 종이의 표면을 유리전이온도까지 가열하기에 충분하게 주어진다 해도 광택도는 크게 개선되지 않았다. 캘린더링에 의한 광택도의 변화는 가열롤의 표면온도와 압력에 의해 크게 좌우되었다. 함수율은 가열롤의 표면온도와 압력에 의한 광택도의 개선에 있어 약간의 작용을 하였다. 님 체류 시간 변화에 의한 광택도 변화는 크게 나타나지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 소프트 님 캘린더링의 공정변수인 님

압, 님폭, 가열롤의 표면온도, 운전속도, 유입지의 함수율에 따른 신문용지의 광택도, 불투명도 등 광학적 특성과 벌크와 평활도 변화를 평가하였다.

그 결과 가열롤의 표면온도와 캘린더링 압력이 물성에 큰 영향을 미치는 변수로 나타났으며, 기타 변수는 이들 두 요인에 비해 그 영향이 적었다. 일반적으로 캘린더링 압력과 온도가 증가함에 따라 벌크와 불투명도는 감소하였으며, 평활도와 광택도는 증가하였다.

인용 문헌

1. Sipi, K. and Kosa, H., Calendering newsprint made with deinked fibers, Paper Technology 37*8):47-50 (1996).
2. Bresser, H. and Schmitz, C.W., Responding to the challenge to recycle paper-Calendering recycled paper grades, TAPPI Finishing Converting Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, GA., 1-11 (1992).
3. Vreeland, H., Ellis, R., and Jewett, B., Substrata thermal molding (1), Tappi J., 72(11):139-145 (1989).
4. Vreeland, H., Ellis, R., and Jewett, B., Substrata thermal molding (2), Tappi J., 72(12): 201-206 (1989).