

캘린더 처리조건이 도공지 품질에 미치는 영향

이용규[†] · 김창근 · 이광섭

Effect of Calendering Variables on the Properties of Coated Paper

Yong Kyu Lee[†], Chang Keun Kim, and Kwang Seob Lee

ABSTRACT

This study was performed to identify the effect of calendering variables on the properties of coated paper such as sheet gloss, surface roughness, opacity, etc. The effect of calendering variables including the number of nips, pressure, machine speed and moisture content on the properties of coated paper was investigated. The calender was installed with two steel rolls and one cotton-made bottom roll. With this calender, the coated sheets were passed through the calender from 1 to 4 times, applying the linear pressure on calender rolls, 5 through 100 kg/cm and operating the machine speed 3 to 12 m/min. Also, the moisture content of coated sheet was varied about 5 and 10%.

It was found that sheet gloss and surface roughness of coated paper was increased with increasing the number of passing nips, linear roll pressure and the moisture content of coated paper. But it was shown that the opacity and brightness of coated paper were decreased under the above conditions due to the blackening.

It was also suggested that the soft nip possibly increased the thermoplasticity of coating layer with the heat of steel roll, resulting in the reinforcement of surface properties positively. The sheet gloss and surface roughness of coated paper could be improved by the longer dwell time over the rolls.

Keywords: calender, coated paper, sheet gloss, surface roughness, blackening, surface property

1. 서론

최근 지식·정보화 사회로의 이동으로 종이의 용도가 정보기록 매체로서의 성장 가능성이 커지면서 인

쇄용지의 수요량이 꾸준히 증가하고 있으며 도공지의 생산량도 꾸준히 증가하고 있다. 특히, 사회적으로 각종 문서들이 고품질의 경향성이 두드러지면서 고품질 인쇄적성에 적합한 도공지의 꾸준한 개발이 요구되고

• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science and Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: yklee@cc.kangwon.ac.kr

있다.

고품질등급의 도공지의 경우, 광학적 특성 및 인쇄 적성을 포함해서 소비자를 충족시켜야 할 보다 많은 요구사항이 존재하며, 여러 부분에서 많은 문제점을 안고 있다. 때문에 기술적인 측면에서 이러한 당면과제를 해결할 목적으로, 안료 및 바인더의 첨가량을 조절하여 품질을 개선하려는 시도가 가장 일반적으로 이루어지고 있고, 건조공정의 경우 IR건조·열풍건조의 특성을 이해하고 이들 방식의 혼합 배열을 통해 건조효율을 극대화시키려는 노력 등이 이루어지고 있다.¹⁾ 그리고 캘린더 공정의 경우, 슈퍼캘린더의 탄성롤이 갖고 있는 기술적 우위성과 머신캘린더의 효율적 조업이 갖는 두 가지 장점을 겸비한 소프트캘린더의 개발로 관심이 집중되고 있다.²⁾ 이와 같이 다양한 캘린더 롤의 개발과 롤의 배치 등으로 인한 지속적인 캘린더의 발전으로 캘린더 내에서 발생하는 여러 가지 현상들을 이해하고 조절할 수 있게 되었다. 또한 현장에서의 실제 경험을 통해 캘린더 장치를 조절함으로써 많은 이득을 얻을 수 있다는 사실을 확인해 주고 있다.

이와 같이, 도공지 제조공정에서 캘린더 처리에 대한 중요성이 커지고 있는 추세이고 수요자의 요구에 부합되는 품질을 얻기 위해 캘린더 처리 과정은 필연적이며 적절히 사용할 경우 그 효과를 극대화시킬 수 있는 이점을 갖고 있다. 하지만 개선된 물성을 얻기 위해서는 도공지의 기계적 물성을 유지하면서 도공지의 광학적 물성을 개선시켜야 하는 어려움이 양립하고 있다.³⁾ 이와 같은 양립성은 캘린더 연구의 기본방향을 제시하고 있다.

따라서 본 연구는 실험실용 소프트캘린더를 이용하여, 캘린더 처리방법 및 그 효과에 대한 구체적인 검토 과정을 통해 도공지의 품질개선을 위한 기초연구를 수행하고자 하였다. 특히 캘린더 롤의 선압, 롤의 경도(hardness), 롤의 회전속도가 도공지 물성에 미치는 영향과 도공층을 포함한 원지의 수분함량이 캘린더 처리 후 나타나는 도공지 물성에 미치는 영향에 대한 고찰을 통해 도공지 품질개선을 위한 효과적인 캘린더 처리방법에 대해 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 도공용 원지

도공 원지로는 A사의 평량 80 g/m²의 중성지를 사용하였으며 원지의 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of base paper

Properties	Average value
Grammage (g/m ²)	80.0
Opacity (%)	85.9
Brightness (%)	93.4
Sheet gloss (%)	5.9
Smoothness (sec.)	10.0

2.1.2 도공안료 및 바인더

도공용 안료로는 No. 1 클레이를 사용하였고, 바인더로는 현재 제지업계에서 일반적으로 사용되고 있는 S/B계 음이온성 라텍스를 사용하였으며 증점제로는 CMC(Carboxyl methyl cellulose)를 사용하였다 (Table 2).

2.1.3 기타 첨가제

무기안료를 분산하기 위해 polyacrylic acid 계통의 WY-117(정원화학(주))을 사용하였으며 윤활제로는 calcium stearate류의 Nopcote C-104(정우정밀화학(주))를 사용하였고, 내수화제로는 urea formaldehyde계의 Insol-A(새한산업(주))를 사용하였다. 도공액의 pH를 조절하기 위해서 10%의 NaOH를 사용하였다.

Table 2. Physical properties of paper coating binders

Sample	Solids Content (%)	pH	Viscosity (cPs, 30 rpm)	Particle size (Å)	Tg (°C)
S/B anionic latex	50.1	7.9	51	1,710	17
CMC	220 ~ 250 DP		4.7 × 10 ⁴ ~ 5.4 × 10 ⁴ MW		

2.2 실험방법

2.2.1 도공액의 제조

실험에 사용된 도공액은 Table 3과 같이 제조하였다. 안료 100 part에 라텍스 10 part, CMC 0.4 part를 배합하여 최종 고형분 농도 50%로 제조하였다.

2.2.2 도공액의 물성 측정

제조된 도공액을 점도, pH와 같은 기본적인 물성을 각각 측정하였다. 도공액의 저전단 점도는 소형 샘플어답터를 부착한 Brookfield형 점도계 (No. 34 spindle, 100 rpm)를 이용하였고, 도공액의 pH는 pH meter(Mettler Delta 340)를 이용하여 측정하였다.

2.2.3 캘린더 구성

실험실용 슈퍼 캘린더(Beloit weeler model 753) —top roll과 middle roll은 지름이 6 inch와 가로길이 12 inch인 크롬으로 가공된 하드롤을 사용하였고, bottom roll은 지름이 9 inch이고 가로길이 12 inch인 cotton filled roll—를 사용하여 제조된 도공지에 캘린더 처리를 하였다.

2.2.4 캘린더 처리조건

(가) 경면처리 롤의 종류에 따른 캘린더 처리

Steel/steel roll로 구성된 하드립을 통과시키거나 steel/cotton filled roll로 구성된 소프트립을 통과시키는 방법으로 캘린더 처리를 하였다. 롤의 선압과 온도는 각각 20 kg/cm, 70℃, 롤 구동속도는 6 m/min으로 일정하게 하였으며 닙수와 롤의 종류를 변화시켰다. 각각의 조건은 다음과 같다.

- 조건 A : Steel/steel roll 사이에서 처리
- 조건 B1: Steel/cotton filled roll 사이에서 처리하되 도공면이 steel roll 쪽으로 향하게 함
- 조건 B2: Steel/cotton filled roll 사이에서 처리하되 도공면이 cotton filled roll쪽으로 향하게 함

(나) 소프트립의 경면 처리순서에 따른 캘린더 처리

롤의 선압과 온도는 각각 20 kg/cm와 70℃, 롤 구동속도는 6 m/min으로 일정하게 하였으며 steel/cotton filled roll로 구성된 소프트 립에서 캘린더 처리순서를 변화시켜 처리하였다. 소프트립(steel/cotton filled roll) 사이에서 캘린더 처리를 하였을 경우, 도공면이 steel roll 쪽으로 향하게 통과시킨 것과 cotton filled roll쪽으로 향하게 통과시켰을 경우, 각각의 캘린더 조건은 다음과 같다(Fig. 1).

- 조건 C1: 도공면이 steel roll쪽으로 향하게 하여 처리 후 cotton filled roll쪽으로 향하게 하여 처리
- 조건 C2: 도공면이 cotton filled roll쪽으로 향하게 하여 처리 후 steel roll쪽으로 향하게 하여 처리

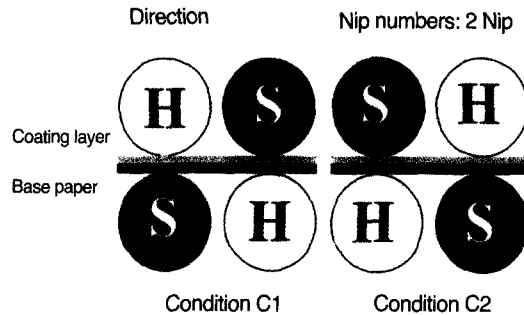


Fig. 1. The model of condition C1 and C2. (H: Hard roll, S: Cotton filled roll)

(다) 롤의 구동속도 변화에 따른 캘린더 처리

롤의 선압과 온도는 각각 20 kg/cm와 70℃로 일정하게 고정하고 롤 속도를 3, 6, 9, 12 m/min으로 각각 조절하면서 닙수와 롤의 종류를 변화시켰다.

(라) 롤의 선압의 변화에 따른 캘린더 처리

롤의 속도와 온도는 각각 6 m/min과 70℃ 일정하게 고정하고 롤 선압을 5, 40, 80, 100 kg/cm로 변화시켰으며 닙수와 롤의 종류를 변화시켰다.

Table 3. Coating color formulation

(unit: pph)

Clay	Dispersant	Latex	CMC	Total solids content (%)
100	0.15	10	0.4	50 ± 0.5

(마) 수분함량에 따른 캘린더 처리

롤의 압력과 속도는 40 kg/cm와 70℃ 그리고 롤의 속도는 6 m/min으로 일정하게 하고 도공지의 수분함량을 $5\pm 1\%$ 와 $9\pm 1\%$ 로 변화시켰으며 닙수와 롤의 종류를 변화시켰다.

2.2.5 도공용 원지 및 도공지의 물성 측정

도공용 원지와 도공지에 대하여 다음과 같이 물성을 측정하였다. 백색도와 불투명도는 Elrepho 3000 series를 이용하여 측정하였다. 평활도는 Smoothness tester(Bekk Type)를 사용하였고, 백지광택은 Gloss meter($75^\circ \sim 75^\circ$)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 롤의 종류가 도공지의 물성에 미치는 영향

Fig. 2는 steel roll과 steel roll로 구성된 하드닙을 통과한 도공지의 평활도 변화와 steel roll과 cotton filled roll로 구성된 소프트닙을 통과한 도공지의 평활도값의 변화를 보여 주고 있다. 도공지 표면의 균일성 정도를 나타내는 평활도값은 도공지의 닙 통과수가 증가할수록 하드닙과 소프트닙에 상관없이 평활도값은 증가하고 있다. 그러나 도공지의 닙 통과수

가 증가할수록 steel roll과 steel roll로 구성된 하드닙을 통과한 도공지의 평활도값과 steel roll과 cotton filled roll로 구성된 소프트닙을 통과한 도공지의 평활도값의 차이가 커지고 있다. Fig. 2로부터 도공지가 반복해서 닙을 통과할 때, steel roll과 steel roll로 구성된 하드닙이 steel roll과 cotton filled roll로 구성된 소프트닙보다는 도공지 표면을 보다 크게 변형시키고 있음을 알 수 있다. 본 실험결과에서도 나타났듯이, 소프트닙의 cotton filled roll은 과도한 압력을 받게 되면 닙을 통과하는 도공지보다는 cotton roll이 변형이 된다.⁴⁾ 즉, 동일한 압력의 조건하에서, 높은 압력의 조건에서도 roll의 변형이 없이 가압처리과정을 통해 도공지 표면을 개선시키는 steel roll과 steel roll로 구성된 하드닙이 소프트닙보다 도공지에 작용하는 압력이 커 도공지의 불균일한 표면에 더 효과적으로 작용한 것으로 생각된다. 이는, 도공지의 닙 통과수가 증가할수록 명확하게 보여 주고 있다.

Fig. 3은 도공지의 평활도값과 밀접한 상호관계에 있는 캘린더 닙수의 증가에 따른 하드닙과 소프트닙에서의 백지광택값의 변화를 보여 주고 있다. 백지광택값은 종이의 표면이 평활할수록 높은 값을 나타내는데, Fig. 3의 백지광택값의 변화는 Fig. 2에서 캘린더 닙수의 증가와 캘린더 닙의 종류에 따른 도공지의 평활도값과 일치한 결과를 나타내고 있다. 즉, 소프트닙을 통과한 도공지 B1과 B2보다는 하드닙을 통과한 도공지 A가 백지광택이 높고, 닙이 증가할수록 하드닙을 통과한 도공지 A와 소프트닙을 통과한 도공지 B1

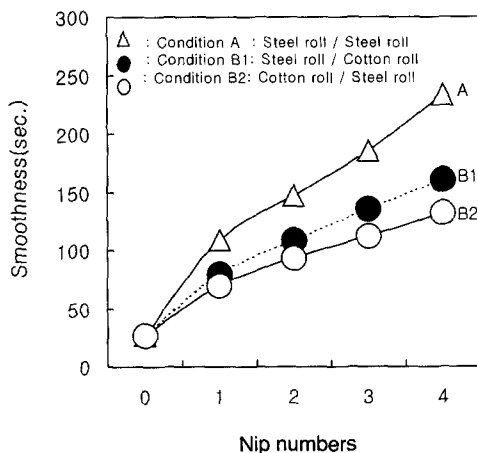


Fig. 2. Influence of calendaring condition on smoothness of coated paper.

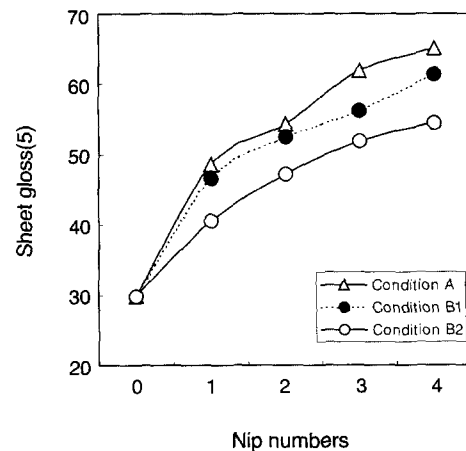


Fig. 3. Influence of calendaring condition on sheet gloss of coated paper.

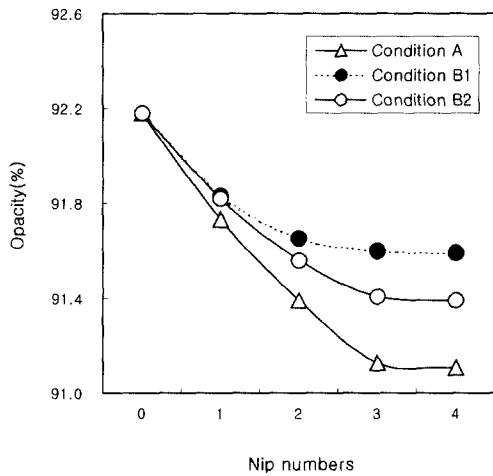


Fig. 4. Influence of calendering conditions on opacity of coated paper.

과 B2의 백지광택의 값은 커지고 있음을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 4의 도공지의 불투명도값은 반대의 현상을 보여 주고 있다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이, 도공지의 닙 통과수가 증가할수록 하드닙과 소프트닙에 상관없이 불투명도값은 감소하고 있다. 그러나 도공지의 닙 통과수가 증가할수록 steel roll과 steel roll로 구성된 하드닙을 통과한 도공지의 불투명도값과 steel roll과 cotton filled roll로 구성된 소프트닙을 통과한 도공지의 불투명도값의 차이는 커지고 있다. 불투명도는 투과된 빛의 양에 의해서 나타나게 되는데, 도공지에 가해지는 압력이 증가할수록 도공지의 두께는 감소하고 불투명도값은 감소된다. 즉, 캘린더 닙수가 증가할수록 도공지가 받는 압력은 증가하게 되고, 동일한 압력의 조건하에서 roll의 변형이 없는 하드닙을 통과한 도공지는 소프트닙을 통과한 도공지보다 실제압력을 많이 받기 때문에 닙을 많이 통과한 도공지와 하드닙을 통과한 도공지는 두께의 감소가 증가하게 되고 두께의 감소에 따른 원지층과 도공층 별크의 감소로 내부공극에 의한 빛의 산란효과를 감소시켜 불투명도 정도가 감소된 것으로 생각된다.

또한 도공면이 steel roll 방향으로 한 후 캘린더 처리된 도공지 B1과 도공층이 cotton filled roll 방향으로 한 후 캘린더 처리된 도공지 B2를 비교하면, 도공지 B1은 가열된 하드롤 표면의 열이 도공층 표면에 직접적으로 영향을 미치는 경우이다. 본 실험에서 원지에 도공액을 도공하여 도공지를 제조할 때, 바인더로 styrene-butadiene 라텍스를 사용하였는데, 이

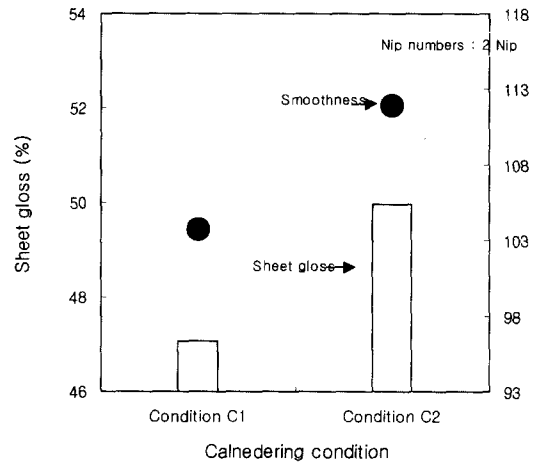


Fig. 5. Influence of calendering conditions on sheet gloss and smoothness of coated paper. (Condition C1: From Steel/Cotton to Cotton/Steel, Condition C2: From Cotton/Steel to Steel/Cotton)

styrene-butadiene 라텍스는 고온의 상태에서 열에 의해서 쉽게 변형이 되는 바인더이다.⁵⁾ 즉, 도공지 B1은 고온의 하드롤 표면의 열이 온도에 민감한 도공층에 영향을 미쳐 도공층 구조가 쉽게 변형이 되어 도공지 B2보다 평활한 표면특성을 가지게 된 것으로 생각한다.

3.2 소프트닙의 경면 처리순서가 도공지의 물성에 미치는 영향

Fig. 5는 백지광택과 평활도의 결과를 나타내고 있는데, 모두 C2의 처리방법이 우수한 결과를 보여 주고 있다. 일차적으로 steel roll에 의한 변형 후, cotton filled roll에 의한 2차 변형이 적용되는 조건 C1은 C2의 경우보다 상대적으로 도공지에 미치는 영향이 적기 때문에 조건 C2의 경우 평활성의 개선과 함께 백지광택의 개선을 수반하고 있는 것으로 생각된다. 이와 같이, 소프트닙에서의 경면(鏡面) 처리순서는 도공지의 표면특성에 밀접한 영향을 미치는 것으로 생각된다.

3.3 롤의 구동속도가 도공지의 물성에 미치는 영향

Fig. 6과 Fig. 7은 롤 구동속도가 증가할수록 백지

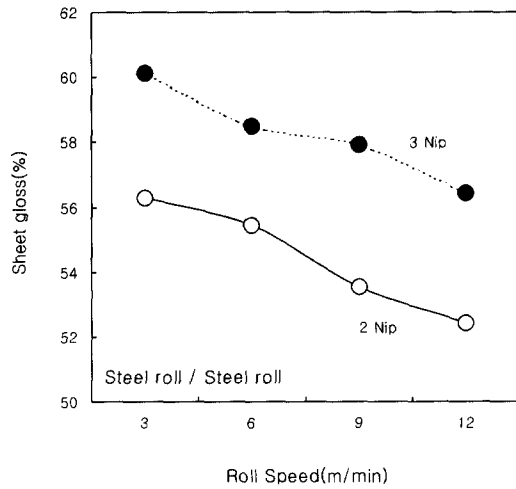


Fig. 6. Influence of roll speed on sheet gloss of coated paper.

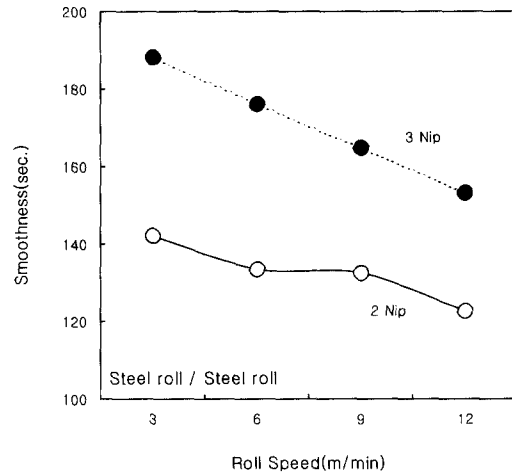


Fig. 7. Influence of roll speed on smoothness of coated paper.

광택과 평활도값이 감소하고 있음을 보여 주고 있다. 롤 구동속도를 매개변수로 하여 도공지가 nip에서 체류하는 시간의 변화에 따른 도공지의 백지광택과 평활도값의 변화를 보여 주고 있는 것이다. 그리고 Fig. 6과 Fig. 7에서 보여 주고 있는 도공지의 평활성과 체류시간과 관계를 Maume 등은 다음과 같은 식으로 설명하기도 했다.⁶⁾

$$Smoothness = K \cdot P^a \cdot t^b$$

여기서,

P: Pressure (N/mm²)

t: Dwell time (ms)

K, a, b: Constants

이다. 즉, 롤 구동속도의 증가는 도공지가 nip에서 체류할 수 있는 시간을 감소시킨다. 결과적으로 도공지의 변형에 크게 영향을 미치는 인자, 롤 표면온도와 롤 실제하중이 도공지의 변형에 미치는 시간을 감소시켜 도공지의 백지광택과 평활도값이 감소한 것으로 생각한다.

3.4 캘린더 압력이 도공지 물성에 미치는 영향

넙압의 증가는 매끄러운 롤 표면이 도공지의 표면에 효율적으로 작용하게 된다. 그리고 백지광택은 도공지

표면의 평활도와 밀접한 관계가 있다고 3.1항에서 밝힌 바 있다. 더욱이, Fig. 8과 Fig. 9는 직접적인 롤 선압의 증가로 백지광택과 평활도 값의 증가가 큰 폭으로 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 불투명도는 도공지에 투과된 빛의 양에 따르게 되는데, nip에서의 하중의 증가는 inter-fiber의 공극이 수축이 되고 섬유와의 접근을 더욱더 밀착하게 허용하여 종이 내에서 빛을 반사·산란시키는 공간의 감소로 종이는 불투명한 특성에서 투명한 특성으로 변하게 된다.⁷⁾ 결국, 롤 하

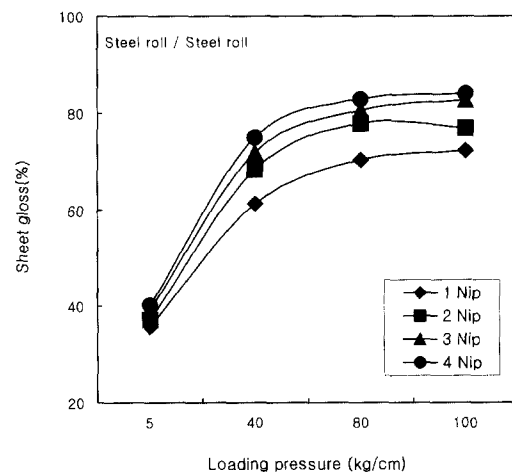


Fig. 8. Influence of loading pressure on sheet gloss of coated paper.

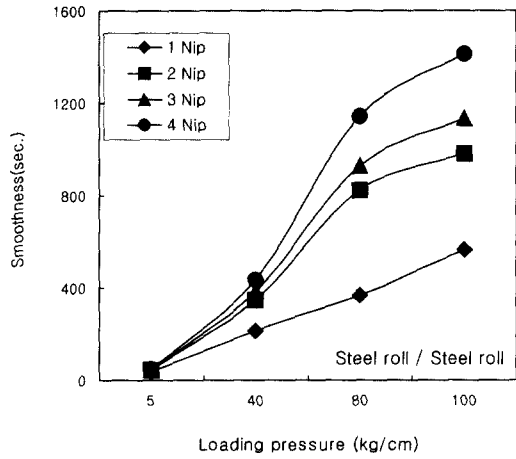


Fig. 9. Influence of loading pressure on smoothness of coated paper.

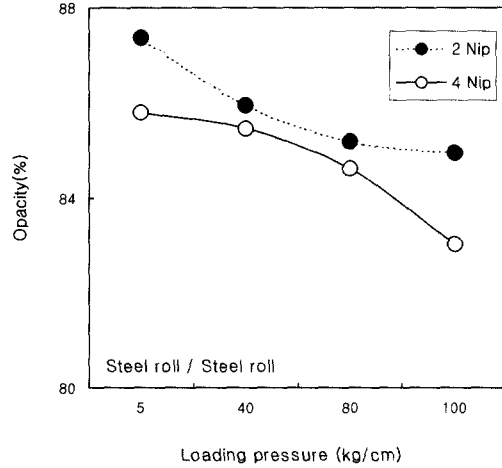


Fig. 10. Influence of loading pressure on opacity of coated paper.

중의 증가에 따라 두께의 감소로 투명해지는 종이는 빛의 투과량을 증가시켜 불투명도 정도가 감소가 하는 것을 Fig. 10에서 볼 수 있다. 그리고 Fig. 11에서 선압이 증가할수록 백색도값이 감소하는 것을 볼 수 있는데, 과도한 닙 선압에 의해 국부적으로 섬유가 밀집되어 있는 부분과 불균형한 수분함량을 가진 섬유가 검고 투명하게 보이는 검화현상(blackening)이 도공지에 나타나, 빛의 투과율을 증가시켜 백색도가 감소하는 것으로 생각된다.

3.5 도공지 수분함량이 도공지의 물성에 미치는 영향

Figs. 12~15는 10%의 수분함량을 가진 도공지와 5%의 수분함량을 가진 도공지를 비교한 결과를 보여주고 있다.

Fig. 12에서 닙수의 증가에 따라서 증가하는 닙 하중에 상관없이 10% 수분함량의 도공지가 5% 수분함량의 도공지보다 불투명도값이 작은 것을 볼 수 있다. 이는 도공지의 수분함량이 높을수록 도공지의 내부구

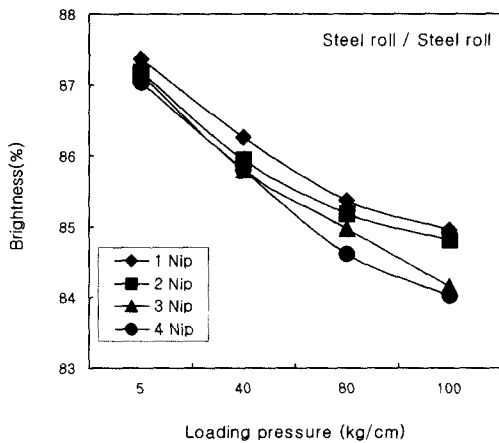


Fig. 11. Influence of loading pressure on brightness of coated paper.

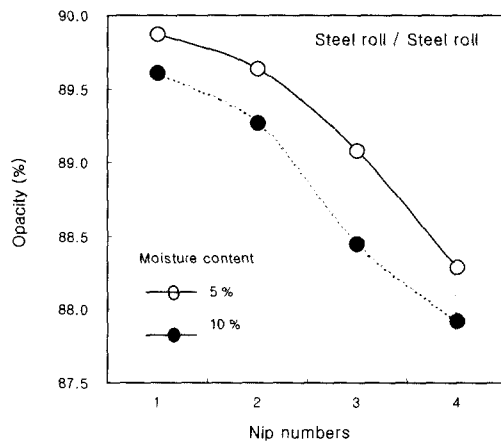


Fig. 12. Influence of moisture content on opacity of coated paper.

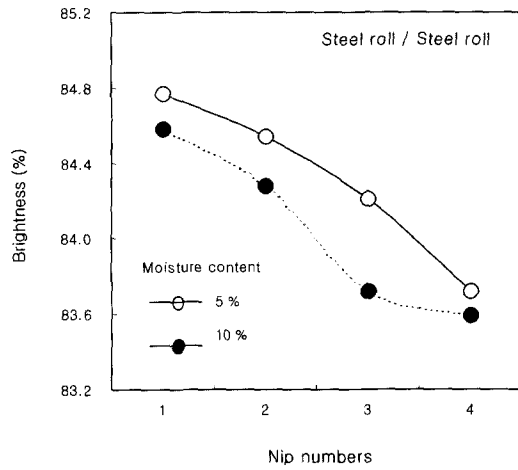


Fig. 13. Influence of moisture content on brightness of coated paper.

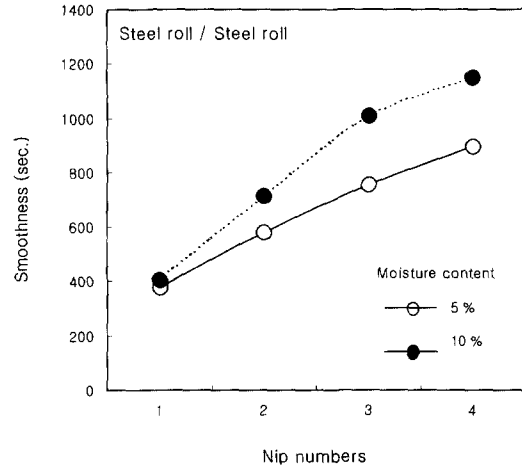


Fig. 14. Influence of moisture content on smoothness of coated paper.

조에 있어서 치밀한 구조를 형성하고 있다라는 것을 알 수 있다. 수분함량이 많을 때, 치밀한 도공지구조의 형성은 섬유 탄성적인 성질에 의해서 강하게 영향을 받는다고 생각한다. 수분함량이 많으면 섬유는 가소성(plastic)을, 수분함량이 적으면 탄성(elastic)에 가깝다.⁸⁾ 이러한 섬유의 특성은 캘린더 처리시, 수분함량이 많으면 압축에 의한 변형이 크게 되고 대신에 닙에서의 하중이 제거될 때, 일부 회복되는 탄성적인 회복률은 적게 되기 때문에,⁹⁾ 10%의 수분함량을 가진 도공지는 5%의 수분함량을 가진 도공지보다 수분함량이

많아 탄성적인 회복성의 감소와 압축에 의한 변형률의 증가로 도공지의 밀도를 증가시켜 도공지 내 공극의 감소로 빛의 산란효과를 감소시켜 불투명도값이 작게 나타낸 것으로 판단된다.

Fig. 13은 10%의 수분함량을 가진 도공지가 5%의 수분함량을 가진 도공지보다 백색도값이 떨어지는 것을 보여 주고 있다. 수분함량의 증가는 종이에서 얼룩 현상이 쉽게 발생한다고 하였는데,⁸⁾ 10%의 수분함량을 가진 도공지는 압축에 의한 변형률의 증가로 5%의 수분함량을 가진 도공지보다 많이 압축되어 검고 어둡게 보이는 얼룩현상이 도공지의 백색도에 영향을 미친 것으로 생각된다.

또한, 압축에 의한 변형률의 증가로 도공지는 보다 표면이 평활하게 되어 평활도의 개선과 함께 양호한 백지광택을 부여해 주는 것으로 생각된다. 이것은 Fig. 14와 Fig. 15에서 볼 수 있다.

이상에서, 섬유의 탄성적인 성질로 인한 원지의 특성은 수분함량에 따른 도공지의 물성에 크게 영향을 미치기 때문에, 수분함량의 증가에 따른 도공지의 물성의 변화는 도공층보다는 원지의 의한 영향이 대부분이라고 생각한다.

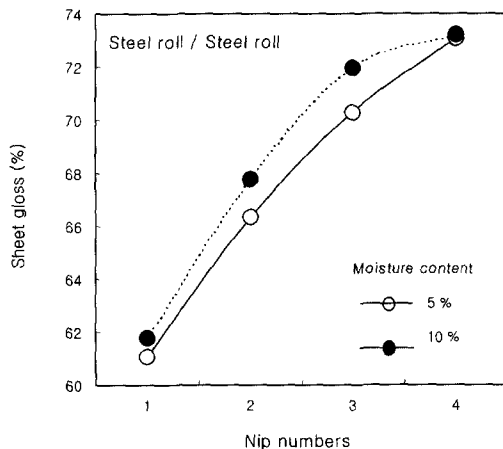


Fig. 15. Influence of moisture content on sheet gloss of coated paper.

4. 결론

본 실험은 실험실용 소프트캘린더를 이용하여, 캘린더 처리조건 및 도공지의 수분함유량 등 여러 가지 때

개변수를 달리하여, 이러한 인자들이 도공지의 물성에 미치는 영향에 대하여 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

캘린더 처리시 닙수, 롤의 선압 그리고 도공지의 수분함량이 증가함에 따라 도공지의 백지광택, 평활성과 같은 표면특성이 개선되었다. 그러나 캘린더 처리가 지필에 있어서 대부분 두께 방향으로의 변형이기 때문에 불투명도는 감소하였다. 그리고 닙압과 수분함량의 증가는 지필 내에서 검화현상(blackening)을 보다 쉽게 발생시켜 백색도가 감소하였다.

소프트닙에서 도공층의 소프트롤 방향과 하드롤 방향을 비교했을 때, 가열된 하드롤의 경우가 도공층의 바인더의 변형에 쉽게 영향을 미쳐 표면특성이 좋아져 백지광택과 평활도가 개선이 되었다.

도공지 닙 체류시간의 증가에 따른 압력하중의 증가로 백지광택과 평활도가 증가하였지만 롤의 직접적인 압력에 따른 영향보다는 그 변화의 폭이 적었다. 이와 같이, 캘린더 공정에서의 닙수, 롤의 압력, 롤 재질과 같은 압력하중을 변화시키는 변수가 도공지의 광학적 물성에 크게 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

인 용 문 헌

1. Lawton, D. W., "Coating, Converting, and Specialty Process", TAPPI Press, Vol. 8, pp. 109-122 (1990).
 2. 완정가공기기의 최신 기술 동향에 대하여(상)-캘린더, 와인더를 중심으로, 제지계, 295(4): 76 (1997).
 3. Setffner, O., Nylund, T., and Rigdahl, M., Influence of the calendering conditions on the structure and the properties of wood free paper-A comparison between soft nip calendering and hard nip calendering, Nordic Pulp and Paper Research J. Vol. 13(1) (1998).
 4. 원종명, 캘린더링에 의한 종이의 평활도 개선, 제지계, 265(10):42 (1994).
 5. Hiorns, A., and Julin, M., Optimum paper performance through new calendering technology, Tappi Coating Conference and Trade Fair, p. 232 (2000).
 6. Maume, J., Chaussy, D., Moreau-tabiche, S., Guerin, D., Piette, P., and Morin, V., Single nip pilot calendering using three different soft covers, Tappi Coating Conference and Trade Fair, p. 251 (2000).
 7. David J. P., Paper machine operations, TAPPI Press Vol. 7, pp. 436-461 (1991).
 8. Rounsley, R., How paper properties can be developed using different methods of calendering", Tappi J. 74(1):105 (1991).
 9. 市川家康: "わかりやすい紙・インキ・印刷の科學" p. 41. 印刷朝陽會(1981).
- 접수 2001년 3월 19일
 - 채택 2001년 6월 11일
 - Received on March 19, 2001
 - Accepted on June 11, 2001