

캘린더링이 TiO₂ 高 充填紙의 特性에 미치는 影響

오 세 중*¹ · 서 영 범*²

Calendering Effects on the Properties of TiO₂ Highly Loaded Paper

Se-Jung Oh*¹ and Yung-Bum Seo*²

ABSTRACT

Papers loaded with 10-40% TiO₂ by dry weight were calendered under the various combinations of calendering conditions such as calender type, linear pressure, and roll temperature. After being calendered, light scattering coefficient, surface roughness, density, and tensile strength of the papers were measured and the results were summarized as follows:

1. To increase the light scattering coefficient of TiO₂-highly-loaded paper further by calendering, the calender roll pressure and temperature should be kept low. Under these conditions, the physical strength of the paper was not significantly affected.
2. At low roll temperature, soft nip calender and machine calender type showed the same relationship between paper density and its roughness. At high roll temperature, soft nip calender type gave much lower roughness than machine calender type at the same density.
3. At high roll temperature of both calenders, the density as well as the tensile strength of the TiO₂-loaded paper was increased significantly.

1. 서 론

캘린더링 처리 후에 원지 특성에 영향을 미치는 주요한 인자로는 물의 재질, 물의 온도, 원지 내 함유물 및 온도, 원지의 물리적 특성, 물의 회전 속도, nip의 갯수 및 압력 그리고 스팀의 적용 유무 등이 있다. 이러한 캘린더링 처리의 가장 큰 목적은 원지의 표면적 특성 즉 평활도, 표면거칠기 및 광택도를 원지의 특성에 맞도록 개선시키는 것으로 인쇄용지의 인쇄적성 및 가공성을 향상시키기 위해 주로 도공지 분야에 적용되어 온 것이

사실이다. 그러나 이러한 표면 특성의 개질에도 불구하고, 일반적으로 종이의 강도적 성질 즉 인장강도, 인열강도, 내절도 및 불투명도를 낮추는 경향을 나타내고 있다.

미도공지나 코팅 원지의 경우에는 표면을 개선시키고, CD 방향의 두께 프로파일을 균일하게 하여 작업성을 향상시키기 위해 주로 머신캘린더를 이용하여 가공을 한다. 근래에는 초지기가 고속화되고 보다 고품질의 제품을 요구하기 때문에 캘린더 롤의 온도를 증가시키거나 물의 재질을 synthetic polymer나 고무 등을 이용하여 원지의 표면특성을 더욱 개선시키기 위해 on-line soft

*1 신호제지주식회사 기술연구소 (Shin-Ho Paper Mfg. Co., Ltd. Technical Research Center, Osan, 447-160, Korea).

*2 충남대학교 농과대학 임산공학과 (Dept of Forest Technology, College of Agriculture, Chung Nam National University, Taejon 305-764, Korea).

nip 캘린더링에 대한 연구가 활발히 진행중이며 산업화되어 일부에서는 사용되고 있다. 또한, 종이의 인쇄적성 및 광학적 특성을 향상시키기 위해 일반적으로 활석, 클레이, 탄산칼슘, TiO_2 를 내첨시켜 사용하고 있다. 이중에서 TiO_2 는 굴절율이 2.75(rutile) 정도로 클레이(1.56-1.58), 활석(1.54-1.59), 탄산칼슘(1.56)보다 우수하여 높은 불투명도를 요구하는 종이 제품에 주로 사용되거나 가격이 고가이기 때문에 원가상승의 원인이 되어 경제적인 측면에서 대량으로 사용하지는 못하고 있는 실정이다. 그러나 decorative paper나 성서용지의 경우에는 높은 불투명도를 유지하기 위해 보통 원지 전체 중에 약10-40%의 TiO_2 를 내첨시켜 사용하고 있다. 약 98.5% 이상의 불투명도가 요구되는 decorative paper는 백색지와 색색지로 나누어지며 특히 백색지의 경우에는 열압 가공 후에도 높은 백색도와 불투명도가 요구된다. 이처럼 TiO_2 를 과량 사용하게되면 보류도, 지합, 불투명도 및 표면 성질 변화 등 여러 가지 문제가 복합되어 제조하기가 상당히 어려운 것으로 알려져 있다. 또 표면에 인쇄하여 사용하기 때문에 인쇄적성을 향상시키기위해 적당한 표면적 특성이 요구되어 캘린더링 가공은 반드시 필요한 공정 중의 하나이다. 원지 내 TiO_2 의 함량이 증가할수록 입자간에 서로 응결이 발생하여 TiO_2 본래의 빛 산란능력이 감소하기 때문에 적절한 후가공이나 보류 시스템을 적용하여 TiO_2 의 효율을 극대화시키는 것이 중요하다.¹⁾ TiO_2 충전제가 과량 투입된 원지 제조 시 적절한 보류 시스템이나 TiO_2 의 분산성을 증가시켜 TiO_2 의 효율을 극대화시키기 위한 연구는 활발히 진행되어 왔으나, 캘린더 종류 및 조건에 따라 캘린더링 처리를 했을 경우 원지의 광학적 성질 및 강도적 특성에 관한 연구 자료는 많지 않은 것이 사실이다.

따라서, 본 연구는 TiO_2 가 전체 평량에 대해 10-40% 정도 과량 포함된 종이를 제조할 경우 원지의 섬유배합과 마무리 공정에서 캘린더링 처리시 캘린더의 종류, 물의 온도 및 선압조건 등을 변화시켜 이러한 인자들이 원지의 산란계수, 인장강도, 밀도 그리고 표면거칠기에 미치는 영향을 파악하고자 하였으며, 이런 결과를 토대로 TiO_2 를 과량 포함하는 미도공지의 캘린더링 전후의 광학적, 물리적 특성을 비교, 검토함으로써 원지의 특성을 저하시키지 않으며 불투명도를 높이는 효과적인 캘린더링 방법을 예측하여 산업에 적용하고

자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 공시펄프

공시펄프는 미국산의 침엽수 표백 크라프트(Sw-BKP)와 브라질산의 활엽수 표백 크라프트 펄프(Hw-BKP)를 사용하였다.

2.1.2 약품

내첨용 충전제는 rutile형 이산화티탄을 사용하였으며 이산화티탄을 과응집없이 보류시키기위해 습윤지력 증강제를 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 수초지

캘린더링을 실시하기 위한 시료 수초지를 제조하기 위해 공시펄프 Hw-BKP, Sw-BKP를 각각 80%, 20%를 혼합한 다음 실험실용 Valley beater를 이용하여 1%의 농도로 혼합고해를 실시하였으며, 고해도는 TAPPI Standard T 227 om-94에 의거하여 425 mL CSF(30°SR)로 조정하였다. 내첨용 충전제인 TiO_2 는 지료 내에서 균일한 분포를 위해 10%의 농도로 분산시켜 사용하였다. 습윤지력 증강제는 정확한 투입을 위해 0.15%의 농도로 희석하여 지료 총 고형분에 대해 0.344%를 투입하였다. 수초지는 펄프 지료에 대해 Table 1의 순서로 첨가하여 제조하였다.

Table 1. Stock preparation (Unit: %)

Pulp	90, 80, 70, 60
TiO_2	10, 20, 30, 40
Wet strength resin	0.344

이상과 같이 준비한 지료를 이용하여 TAPPI Standard T 205 om-88에 의거하여 평량 80

Table 2. Calendering conditions

Item	M. C.	S. C.
Roll type	Steel-Steel	Steel-Synthetic polymer
Roll	25(상부)-25(하부).	25(상부)-25(하부).
temperature, °C	100(상부)-50(하부)	100(상부)-50(하부)
Linear pressure, kg/cm	15, 30, 45,	15, 30, 45,
	60, 75	60, 75
Number of nip	1	1

g/m²을 제조하기 위해 지료와 TiO₂를 취한 다음, Adirondac社의 사각 수초지기를(30cm×30cm) 이용하여 습지를 형성시켜 프레스의 압력을 3.5kg/cm²로 균일하게 압착시키고 drum dryer 온도를 110℃로 유지시켜 일정한 시간동안 건조시켰다.

2.2.2 캘린더링

(가) 캘린더링의 종류

머신 캘린더는 steel-steel 롤을 사용하였고, 소프트 캘린더는 steel-synthetic polymer 롤을 사용하여 실험을 진행하였다.

(나) 캘린더링 실시조건

2.2.1항에서 취한 종이를 KS M 7012에 의거 온도 20±2℃, 상대습도 65±2%의 항온항습 조건에서 24시간 조습처리 한 후 Table 2와 같은 조건으로 top면이 상부 롤과 접촉하도록 캘린더링을 실시하였다.

2.2.3 물성측정

(가) 인장강도

KS M 7014에 의거 종이의 인장강도와 열단장을 측정하였다.

(나) 회분

TAPPI Standard T 413 om-93에 의거 종이 내 회분을 측정하였다.

(다) 표면거칠기 및 밀도

종이의 표면 거칠기는 Messmer사의 PPS-90(Parker Print-Surf)를 이용하여 종이의 top 면을 측정 하였으며, KS M 7021에 의거

밀도를 계산하였다.

(라) 산란계수

종이의 산란계수는 hunter brightness tester로 457nm에서 R₀와 R_∞를 측정하였으며 TAPPI Standard T 425 om-91에 의거 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 롤의 온도 25℃-25℃일 경우

3.1.1 머신 캘린더

(가) 머신 캘린더링 後 산란계수 변화

Steel-steel로 구성된 롤의 온도를 각각 25℃로 조정하여 원지 내에 TiO₂가 10-40% 정도 포함된 종이를 머신 캘린더를 통과시켜 산란계수의 변화를 알아보기 위한 실험을 하였다. 캘린더링 前 원지의 광산란계수는 원지 내에 포함된 TiO₂의 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 원지 내의 TiO₂가 펄프보다 굴절율이 높아 빛을 산란시킬 수 있는 능력이 높기 때문이다. 이 실험에서 머신 캘린더의 압력을 15, 30, 45, 60, 75 kg/cm의 선압으로 실험을 진행하였으나 45, 60 kg/cm의 선압에서는 산란계수가 거의 차이를 보이지 않거나 약간 감소하는 경향을 보였으나 유의성이 없었고, 캘린더의 선압이 15, 30, 75 kg/cm일 때는 산란계수에 영향을 미쳤다. Fig. 1과 2는 캘린더의 선압이 15, 75 kg/cm일 때의 TiO₂의 변화에 따른 산란계수의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 캘린더의 선압이 15 kg/cm일 때는 TiO₂의 함량에 관계없이 캘린더링 처리에 의해 산란계수가 증가하는 경향을 보

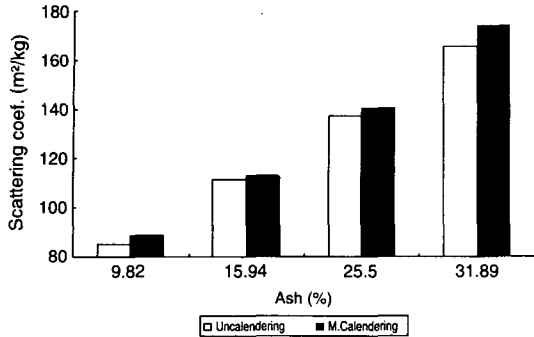


Fig. 1. Effect of machine calendering on scattering coefficient at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 15 kg/cm.

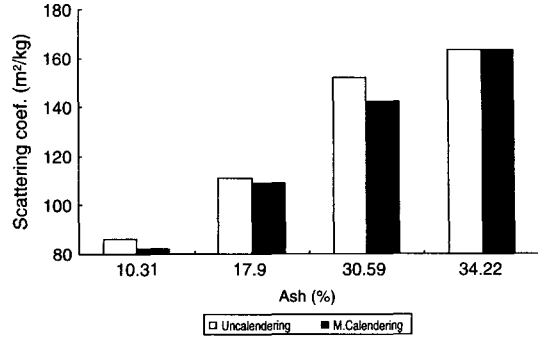


Fig. 2. Effect of machine calendering on scattering coefficient at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 75 kg/cm.

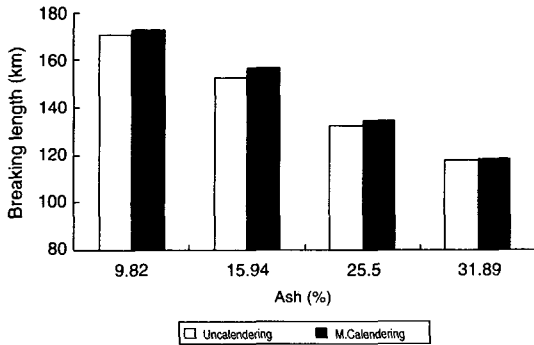


Fig. 3. Effect of machine calendering on breaking length at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 15 kg/cm.

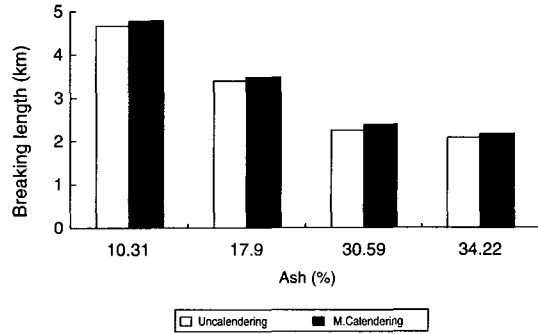


Fig. 4. Effect of machine calendering on breaking length at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 75 kg/cm.

었다. 이는 캘린더의 nip을 종이 통과할 때 원지에 가해지는 압력에 의해 네트워크를 형성하고 있는 종이의 구성 성분인 펄프와 TiO_2 의 분포가 재배치되어서 빛을 산란시킬 수 있는 능력을 강화시킨 것으로 해석된다.²⁾ 그러나 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 캘린더의 선압이 75 kg/cm일 때는 TiO_2 의 함량에 관계 없이 산란계수가 감소하는 경향을 나타낸다. 선압이 15 kg/cm일 때와 반대의 경향을 나타냈는데, 이는 종이 캘린더의 nip을 통과할 때 종이를 구성하는 입자가 재분포를 일으키더라도 입자간의 간격이 밀착되어 종이 과도하게 치밀해진 것으로 사료된다. 일반적으로 빛 산란은 입자간의 간격이 가시광선의 파장인 457 nm의 1/2이상일 때 가장 잘 일어난다. 그러므로 선압이 75 kg/cm일 때는 섬유간 거리가 가깝게 압착됨으로서 빛을 산란시킬 수 있는 능력이 감소하였기 때문에 광산란계수가 저하되었다고 생각된다.

(나) 머신 캘린더링 후 인장강도 변화

(가)항에서 온도가 25°C일 때 머신 캘린더를 통과시킨 종이에 대해서 인장강도의 변화를 알아보기 위해 측정을 실시하였다. 캘린더링 전 원지내에 TiO_2 의 함량이 증가할수록 인장강도가 감소하였다. Fig. 3과 4는 선압을 각각 15, 75 kg/cm로 가했을 때 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 캘린더링 후 인장강도가 약간 증가하는 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의성이 인정되지는 않았다.

3.1.2 소프트 캘린더

(가) 소프트 캘린더링 후 산란계수 변화

Steel-synthetic polymer 롤로 구성된 소프트 캘린더에서 상, 하부 롤의 온도가 25°C~25°C일 경우에 TiO_2 가 포함된 종이를 캘린더링 처리를 하였을 경우 캘린더링이 산란계수에 미치는 영향을

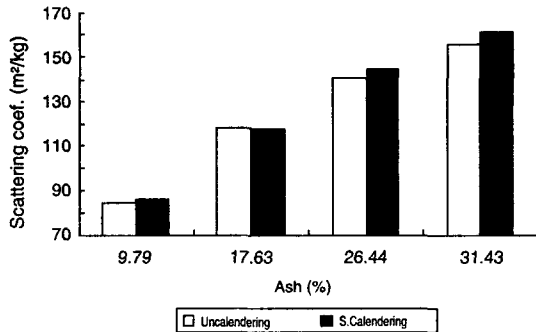


Fig. 5. Effect of soft calendering on scattering coefficient at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 15 kg/cm.

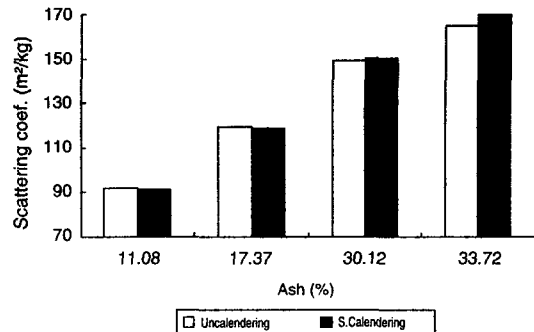


Fig. 6. Effect of soft calendering on scattering coefficient at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 75 kg/cm.

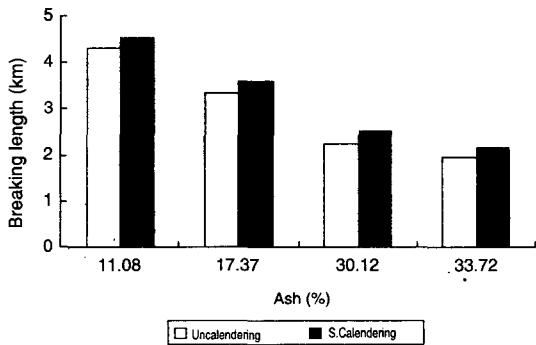


Fig. 7. Effect of soft calendering on breaking length at roll temperature 25°C~25°C, linear pressure 75 kg/cm.

과약하였다. 소프트 캘린더는 머신 캘린더와는 다른 경향을 보여주었다. Fig. 5와 6은 선압이 15, 75 kg/cm일 때의 산란계수 변화를 각각 나타낸다. 선압이 15 kg/cm일 때는 Fig. 1의 머신 캘린더와 같이 소프트 캘린더링 처리도 산란계수에서 큰 차이를 보이지 않고 전체적으로 증가하는 경향을 보였다. 선압이 75 kg/cm일 경우 머신 캘린더는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 산란계수가 감소하였고, 특히 TiO₂의 함량이 약 30% 이상일 경우에는 TiO₂ 함량이 낮을때보다 감소폭이 크게 나타났다. 그러나 소프트 캘린더로 선압 75 kg/cm에서 가공하였을 경우 TiO₂의 함량이 약 30% 정도에서는 감소하지 않았으며 약 30%의 TiO₂ 함량에서는 산란계수가 약간 상승하는 결과를 보였다. 이는 steel-steel로 이루어진 머신 캘린더보다 steel-synthetic polymer 롤로 이루어진 소프트 캘린더가 같은 선압 조건으로 압착을 하여도 실질

적으로 가해지는 선압이 낮기 때문이다. 그 이유는 탄성력을 가진 synthetic polymer 롤이 집중된 선압을 분산시켜 원지와와의 접촉면적을 증가시킨 것으로서, 원지가 과도하게 밀착되는 것을 방지하여 이로 인해 빛이 입자간의 굴절을 방해할 정도로 종이를 압착시키지 못한 것으로 사료된다.

(나) 소프트 캘린더링 後 인장강도 변화

머신 캘린더로 캘린더링 처리를 했을 때와 인장강도의 차이를 파악하기 위해 소프트 캘린더링을 실시하였다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 선압이 75 kg/cm일 때 캘린더링 後에 인장강도가 증가하는 경향을 보였으며 이는 머신 캘린더와 같은 경향을 나타내었다. 롤의 온도가 25℃일 경우에는 롤의 재질, 롤의 온도 및 원지에 포함된 TiO₂의 양에 관계없이 캘린더링 처리에 따라 인장강도는 큰 변화를 보이지 않았다.

3.1.3 머신 캘린더와 소프트 캘린더의 밀도와 표면 거칠기 비교

캘린더링에서 밀도와 표면거칠기는 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 밀도가 증가하게 되면 표면 거칠기는 감소하게 된다. 즉 표면이 평활해지기 위해서는 밀도를 증가시킴으로서 가능하게 된다. 캘린더의 선압에 따른 밀도와 표면거칠기의 변화를 알아보기 위해 머신 캘린더와 소프트 캘린더를 이용해 롤의 온도 25℃에서 캘린더링을 실시하였다. Fig. 8은 TiO₂가 10%일 때 선압에 따른 결과로 선압이 증가함에 따라 밀도가 증가하고 표면 거칠기가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는

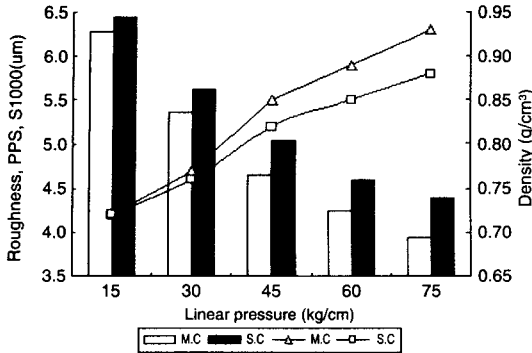


Fig. 8. Effect of linear pressure on roughness and density of calendered paper containing 10% TiO₂ filler at the calendering condition, 25°C roll temperature.

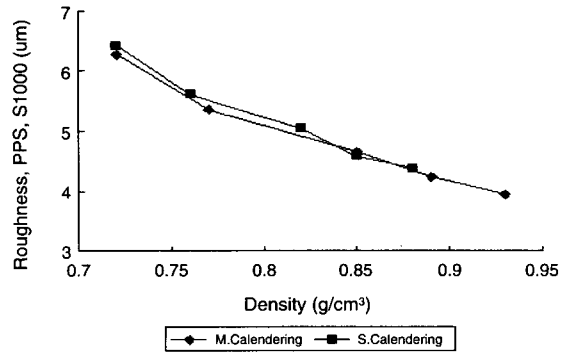


Fig. 9. Roughness of calendered paper vs. density of calendered paper of the 10% TiO₂ loaded paper at roll temperature 25°C~25°C.

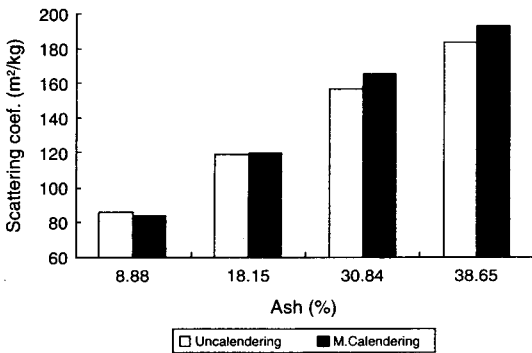


Fig. 10. Effect of machine calendering on scattering coefficient at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 15 kg/cm.

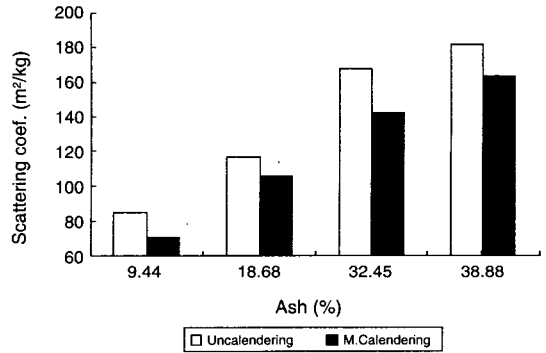


Fig. 11. Effect of machine calendering on scattering coefficient at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 75 kg/cm.

Crotogino 등^{2,3,4)}이 캘린더링 後 밀도와 표면거칠기는 반비례한다고 보고한 결과와 같은 경향을 나타내고 있다. 머신 캘린더의 경우는 소프트 캘린더에 비해 선압이 증가할수록 밀도 증가 폭이 크고 표면거칠기도 더 감소하는 경향을 나타내지만 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 밀도와 표면거칠기와의 관계에서 밀도가 증가할수록 표면거칠기가 감소하는 경향이 비슷하게 나타났다. 이는 두 방법 모두 같은 밀도가 되도록 선압을 주어 캘린더링을 하게 되면 표면거칠기는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉 롤의 온도가 25°C일 때는 캘린더링 방법에 따라 큰 차이없이 밀도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

3.2 롤의 온도가 100°C~50°C일 경우

3.2.1 머신 캘린더

(가) 머신 캘린더링 後 산란계수 변화

Steel-steel의 온도가 100°C~50°C일 경우 원지에 TiO₂ 투입량에 따라 선압에 의한 산란계수의 변화를 알아보았다. 캘린더의 nip에 가해진 선압이 증가함에 따라 산란계수가 차이를 보였다. Fig. 10은 캘린더링 처리에 따라 회분량이 8.88%이하일 때는 광산란계수가 감소하고 그 이상에서는 증가하는 경향을 보여주지만 신뢰성은 떨어지는 것으로 나타났다. Fig. 11은 선압이 75 kg/cm일 때의 산란계수 변화를 나타낸 것으로

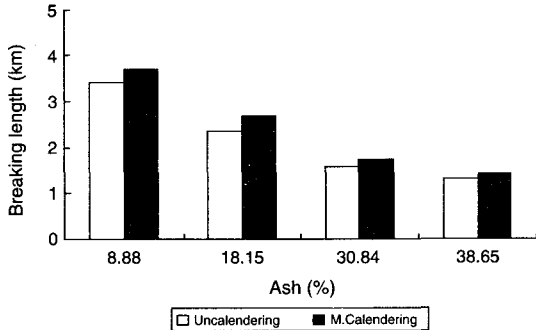


Fig. 12. Effect of machine calendering on breaking length at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 15 kg/cm.

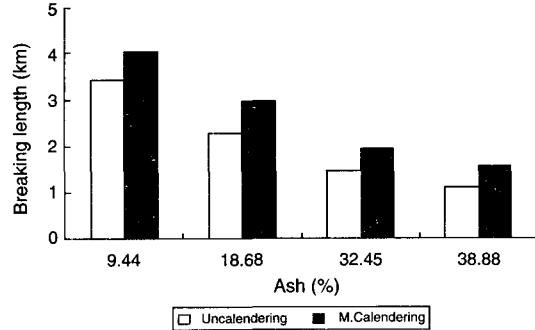


Fig. 13. Effect of machine calendering on breaking length at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 75 kg/cm.

같은 압력에서 롤의 온도가 높을 수록 온도가 낮은 Fig. 2에 비해 감소하는 양이 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 종이내 구성물 중에서 빛을 산란시킬 수 있는 능력을 가진 입자들이 온도와 가해진 선압에 의해 압착이 되면서 입자간의 굴절이 이루어지지 않아 빛을 산란시키지 못하고 그대로 투과되면서 산란 능력을 크게 저하시킨 것으로 생각된다. 특히 롤의 온도가 100°C~50°C일 경우 높은 선압에서는 온도가 높을수록 원지의 산란계수가 크게 감소하여, 선압이 증가함에 따라 온도가 종이를 더욱 치밀하게 변화시켜 종이의 산란계수에 매우 민감한 변화요인으로 작용함을 알 수 있다. 이는 도공지에서 도공량이 같을 경우 온도가 높고 압력이 낮은 것이 온도가 낮고 압력이 높은 것보다 불투명도 감소량이 많았다고 주장한 것과 같은 결과를 나타낸다.⁵⁾ 따라서 롤의 온도가 높을 때 선압을 높이는 것은 불투명도를 크게 저하시키는 원인이 될 것으로 사료된다.

(나) 머신 캘린더링 後 인장강도 변화

(가) 항에서 캘린더링 처리를 한 샘플에 대해 롤의 온도가 100°C~50°C 일 때 인장강도의 변화를 파악하기 위해 측정을 하였다. Fig. 12는 선압이 15 kg/cm일 때의 캘린더링 前, 後 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 원지내 TiO₂의 함량에 관계없이 인장강도가 소폭 상승하는 경향을 나타내었다. Fig. 13은 캘린더링 선압이 75 kg/cm일 때의 인장강도 변화이다. 이 결과도 마찬가지로 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 선압이 15 kg/cm일 때보다 증가되는 양이 많았다. 캘린더링 後 인장강도가 증가한 연구 보고 중

Mackin 등⁶⁾이 클레이를 10% 포함한 미도공지를 상대습도 65%, 21°C에서 방치시킨 후 캘린더링을 한 결과 약 20%의 인장강도를 개선시킬 수 있었고, Montmorency⁷⁾가 롤의 온도를 80°C 정도까지 증가시켜 신문지를 실험실과 공장에서 캘린더링하여 인장강도가 증가함을 확인 하였다. Back 등²⁾은 롤의 온도를 증가시킬수록 두께 감소량이 크고 탄성계수를 증가시킨다고 하였으며, 종이와 롤의 접촉시간이 길수록 두께의 감소량이 크고 탄성계수를 더욱 증가시킬 수 있다고 보고 했듯이, 미도공지나 사이징 처리 안된 종이를 캘린더링 처리를 할 경우 롤의 온도를 증가시키면 인장강도를 향상시킬 수 있을 것이다. 특이한 점은 원지에 투입된 TiO₂가 접촉면적을 감소시킴에도 불구하고 회분량에 관계없이 비슷한 수준으로 증가하였다. 그러나 이에 대한 연구 결과는 미흡하며 캘린더링 後 인장강도가 증가하는 정확한 메커니즘을 밝혀내기 위한 연구가 앞으로 더욱 더 진행 되어야 할 것으로 사료된다.

3.2.2 소프트 캘린더

(가) 소프트 캘린더링 後 산란계수 변화

소프트 캘린더에서 롤의 온도를 각각 100°C~50°C로 조정하였다. Fig. 14와 15는 캘린더의 선압이 각각 15, 75 kg/cm일 때의 산란계수 변화를 나타낸 그림이다. 선압이 15 kg/cm일 때 머신 캘린더는 산란계수가 감소하는 경향을 보인 반면, 소프트 캘린더는 TiO₂의 함량이 증가함에 따라 광산란계수가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 롤의 온도가 높더라도 종이에 가해지는 선압이 낮

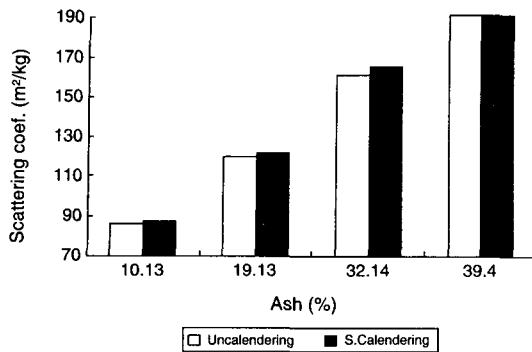


Fig. 14. Effect of soft calendering on scattering coefficient at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 15 kg/cm.

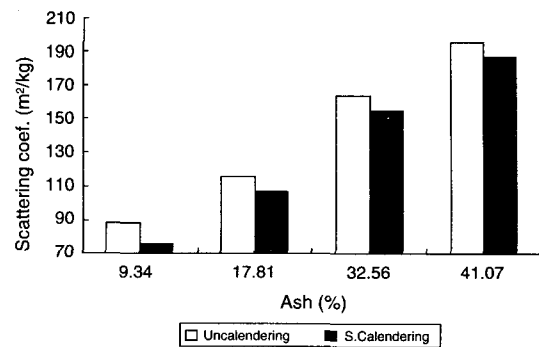


Fig. 15. Effect of soft calendering on scattering coefficient at roll temperature 100°C~50°C, linear pressure 75 kg/cm.

으면 광산관계수에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 그러나 Fig. 15에서 볼 수 있듯이 캘린더의 선압이 75 kg/cm일 경우에는 머신 캘린더와 마찬가지로 TiO₂의 함량에 관계없이 산관계수가 감소하였으나 감소폭이 머신 캘린더에 비해 상당히 작게 나타났다. 산관계수가 감소하는 원인은 물의 높은 온도와 캘린더의 선압이 종이를 더욱 치밀하게 만들어 섬유간 optical contact를 형성하여 빛이 굴절되어 산란될 수 있는 능력을 상실하였기 때문에 투과되는 빛의 양이 증가하여 산관계수는 감소한 것으로 해석된다.

(나) 소프트 캘린더링 後 인장강도 변화

물의 온도를 올리고 캘린더링 했을 경우 머신 캘린더와 유사하게 소프트 캘린더도 원지내의 TiO₂ 함량에 유사하게 인장강도가 증가하였고, 특히 선압이 높은 경우에는 증가되는 양이 많았다. Hudspeth⁸⁾은 on-machine 캘린더에서 물의 온도를 올리면 인장강도를 증가시킬 수 있다고 보고한 것처럼 캘린더 물의 온도가 인장강도를 증가시킬 수 있는 중요한 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

3.2.3 선압에 따른 인장강도 변화

Fig. 16의 a와 b는 원지의 회분 함량이 각각 10, 20%일 때 선압이 증가함에 따라 머신 캘린더링과 소프트 캘린더링 前後의 열단장 변화를 나타낸 그래프이다. 회분이 10%일 때 두가지 캘린더링 방법 모두 캘린더링 후에 열단장이 증가하였

고 선압이 60, 75 kg/cm일 때 증가하는 폭이 크게 나타났다. 이는 압착이 이루어지면서 밀도가 증가하여 섬유간의 접촉면적이 증대되어 인장강도가 증가한 것으로 사료되며, 회분이 20%일 때도 10%일 때와 비슷한 경향으로 강도가 증가하였다.

3.2.4 머신 캘린더와 소프트 캘린더의 밀도와 표면거칠기 비교

물의 온도가 100°C~50°C일 때 캘린더 종류에 따른 밀도와 표면거칠기를 비교하였다. Fig. 17에서 볼 수 있듯이 물의 온도가 25°C일 때와는 아주 다른 경향을 나타내고 있다. 압력이 증가함에 따라 표면거칠기는 거의 비슷한 수준으로 감소하지만 밀도 증가는 큰 차이를 나타내고 있다. 머신 캘린더의 경우에는 선압이 증가하면 밀도는 꾸준히 증가하는 반면 소프트 캘린더링은 선압 약 30 kg/cm 부근에서부터 밀도 증가가 거의 일어나지 않고 표면거칠기만 꾸준히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 물의 온도가 25°C일 때와는 달리 소프트 캘린더가 물의 탄성력에 의해 높은 온도에서 표면 쪽에만 압착되어 낮은 표면 거칠기를 나타내고 상대적으로 머신 캘린더 보다는 낮은 밀도를 나타내는 것으로 사료된다. Fig. 18은 같은 밀도에서 표면거칠기를 비교하기 위한 그래프이다. 표면거칠기 3 μm를 얻기 위해서는 소프트 캘린더링의 경우는 밀도가 1.02 g/cm³인 반면에, 머신 캘린더의 경우는 1.13 g/cm³ 정도로 같은 표면거칠기를 얻기 위해서는 머신 캘린더가 소프트 캘린더보다 밀도를 더욱 증가시켜야만 얻을 수 있다.

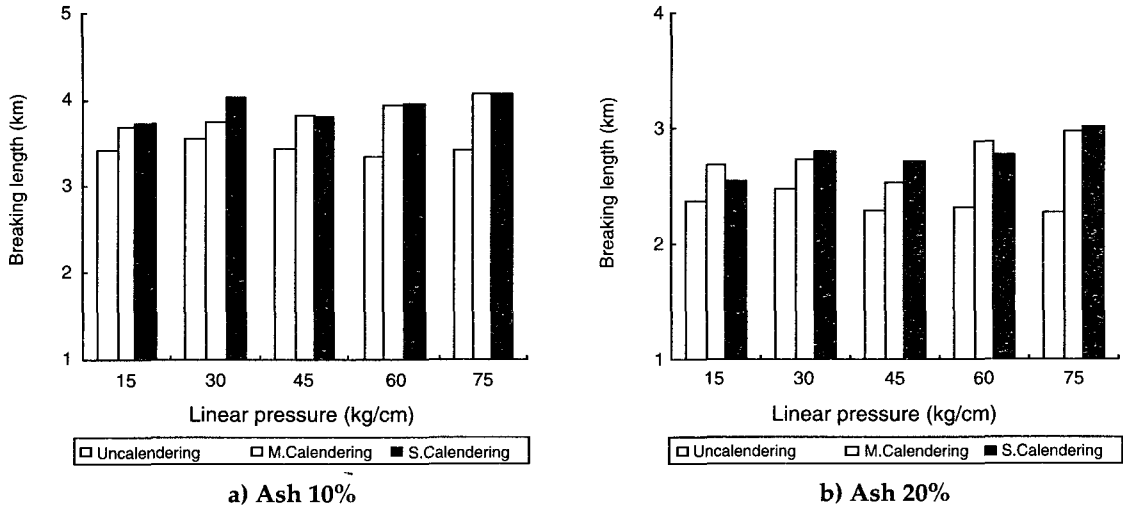


Fig. 16. Effect of linear pressure on breaking length at roll temperature 100°C-50°C.

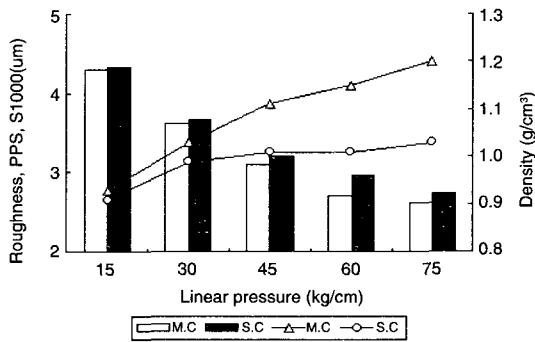


Fig. 17. Effect of linear pressure on roughness and density as calendering method of the 10% TiO₂ loaded paper at roll temperature 100°C-50°C.

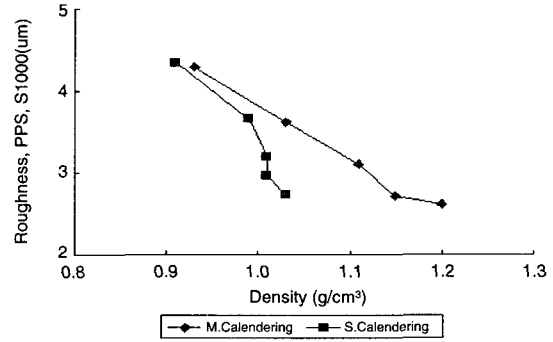


Fig. 18. Roughness of calendered paper vs. density of calendered paper of the 10% TiO₂ loaded paper at roll temperature 100°C-50°C.

Anon⁹⁾이 밀도가 지나치게 증가하면 종이의 물리적 특성이나 인쇄시에 중요한 압축성이나 흡수성에 역효과를 나타낸다고 보고했듯이 밀도 증가는 종이의 품질을 저하시키는 원인이 될 것이다. 따라서 밀도 증가를 억제시키고 균일하고 평활한 표면을 얻기 위해서는 소프트 캘린더링 방법이 머신 캘린더링 방법보다 유리한 방법이라고 사료된다.

4. 결론

TiO₂가 과량 포함된 원지를 캘린더의 종류, 선압, 롤의 온도 등을 변화시켜 캘린더링을 실시한

後 산란계수, 표면거칠기, 밀도, 인장강도 및 표면 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TiO₂가 과량 포함된 원지의 산란계수를 캘린더링을 통해 좀더 높이려면 롤의 압력과 온도가 낮을수록 효과적이었다. 이때 물리적 강도의 변화는 거의 없었다.
2. 저온에서의 소프트 캘린더링은 원지밀도 대 표면거칠름도의 관계가 머신 캘린더와 같았으나 고온에서는 같은 밀도에서 표면거칠름도의 감소가 머신 캘린더보다 훨씬 컸다.
3. 롤의 온도를 높이면 TiO₂가 과량 포함된 원지의 밀도가 급격히 증가하였으며 인장강도의 증대도 이루어졌다.

인용문헌

1. Rounsley, R., Tappi J., 74(1):105 (1991).
2. Back, E. L., Olson, A. M. Svensk Papperstid, 86(3):R31 (1983).
3. Crotogino, R. H., Pulp Paper Canada, 82(12):75 (1981).
4. Crotogino, R. H., Tappi J., 63(11):101 (1980).
5. Barbara, J. S., Tappi J., 79(2): (1996).
6. Mackin, G. E., Keller, E. L., and Baird, P. K., Tappi J., 31(6):53 (1941).
7. DeMontmorency, W. H., Pulp Paper Mag. Canada, T326 (1967).
8. Hudspeth, D., Calendering and Supercalendering, p. 321 (1995).
9. Anon., Pira P. I. T Division Teach-in TRI, Paper requirement for printing, Sept. p. 85 (1985).