

# 캘린더링 영향 인자

원종명<sup>†</sup>

캘린더링하기 전에 반드시 고려되어야 할 사항은 최종 생산된 종이 가 어떤 용도로 사용될 것인가이다. 예를 들면 인쇄용지를 대량 생산하는 제지공장의 경우 인쇄소에서 품질 관리를 담당하는 사람과 주기적으로 정보 교환을 할 것이다. 이 과정에서 발생하는 feedback은 수요자의 요구를 만족시키기 위하여 종이 생산의 최적화에 도움이 될 것이다. 수백의 다양한 지종 중의 어느 것이라도 그에 대한 자세한 정보가 없이 종이를 생산하고자 경우 우선적으로 용도에 부합하는 성질을 만족시키고 최적화하기 위하여 수많은 측정과 시험을 반복해야 하는 복잡하고 시간을 요구하는 과정이 따라야 한다.

종이의 성질은 캘린더링을 통하여 개선되는 것이 있는가 하면 감소되는 것도 있다. 따라서 종이의 표면뿐만 아니라 내부에 이르기까지 구조에 대한 세심한 조사가 요구된다. 예를 들면, 라벨용지, release paper, carbonizing grade 등은 양면에서 전혀 다른 표면 성질을 지닌다. 반면에 인쇄에 주로 사용되는 다른 종이류는 종이의 양면에서 같은 품질의 인쇄적성뿐만 아니라 유사한 광택을 지녀야 한다.

하지만 이미 설치되어 있는 완성 시설을 이용하고자 할 경우 일부 인자들은 주어진 값을 적용해야 한다. 예를 들면 chilled iron roll의 직경, 도달 가능한 최대 하중, 초지기의 속도 등이다. 만약 새로운 초지기가 검토되거나, 또는 캘린더를 새로 설치하고자 할 경우 종이의 성질에 영향을 미칠 수 있는 모든 인자들이 검토되어야 한다.

캘린더링과 관련된 영향 인자들은 다음과 같이 크게 3가지로 분류될 수 있다.

## - 종이와 관련된 인자

섬유 구조, 함수율, 종이 내 함수율 분포, 종이에 적용된 도공의 특성

## - 캘린더와 관련된 인자

닙의 수, 선압, 롤의 직경, 롤의 표면, 롤 커버, 롤의 온도, 속도, 기타 닙 체류 시간에 영향을 미치는 인자

## - 닙 주변의 관련된 다른 인자

증기 샤워, 에어 제트, 지필에 분무되거나 처리된 액체

## 1. 종이 관련 인자

종이 제조 시 사용된 펄프의 종류는 캘린더링 시 결정되는 사항이 아니며, 보통 앞 공정에서 시장성, 가격, 구입 가능성, 최종 생산될 종이의 특성 등에 의하여 결정된다. 그러나 캘린더링에 의하여 특정 강도 또는 stiffness가 감소된다고 해서 이를 보정하기 위하여 앞 공정에서 반영하는 일은 거의 없다. 결국 종이 제조 시 사용된 펄프 또는 기타 원료의 특성을 고려하여 이에 가장 적합한 캘린더링 방법 및 조건을 결정하여 가능한 한 최고의 결과를 얻도록 최선을 다하는 길 밖에 없을 것이다.

### 1.1 함수율

종이의 함수율은 캘린더링 처리 시 매우 중요하다. 일반적으로 종이의 함수율이 증가됨에 따라 종이의 두께가 증가되는 경향을 보여줄 뿐만 아니라

• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, KOREA)

† 주저자(Corresponding author): E-mail : wjm@kangwon.ac.kr

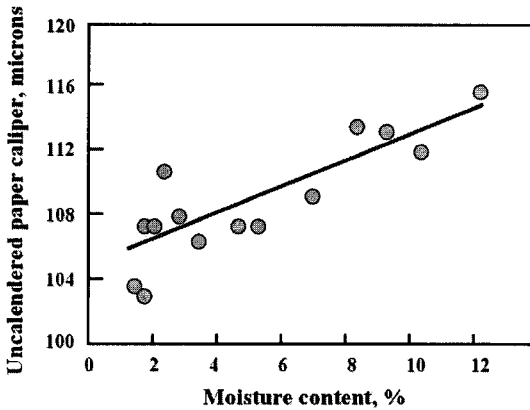


Fig. 1. 함수율과 종이의 두께.

(Fig. 1) 캘린더 nip에 공급되는 종이의 함수율이 높을수록 종이와 섬유는 변형을 증가시키고, 캘린더 nip에서 보다 높은 가소성을 지니도록 하는 반면, 수분이 없을 경우에는 탄성을 나타내며(Fig. 2), nip을 통과한 후에 다시 원래의 상태로 돌아가 벌크의 감소가 적고, 종이의 표면도 거의 원래의 상태를 유지하게 된다.

글라스지의 슈퍼 캘린더링 처리시 약 17~19%의 함수율이 적용된다. 캘린더링하는 동안 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 일부가 섬유 사이의 공극을 메우고, 서로 교차된 섬유는 매우 잘 밀착되어 하나의 덩어리를 이루며, 빛의 반사와 산란에 기여하던 가장자리가 덮여짐으로써 종이는 투명성을 나타내게 된다. 높은 함수율의 효과는 nip에서 높은 압력이

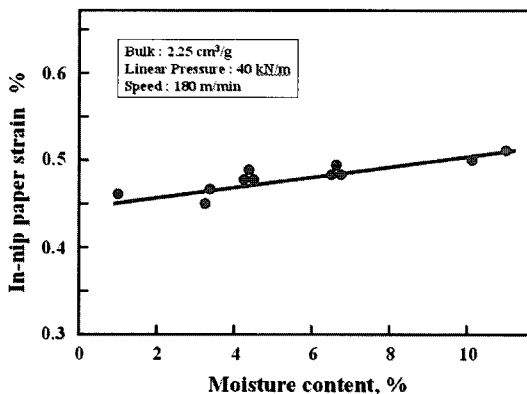


Fig. 2. 종이의 함수율과 nip에서의 종이 변형.

적용됨으로써 얻어질 수 있다. 만약 종이가 캘린더 nip으로 들어갈 때 어느 한 부분이 너무 많은 섬유가 뭉쳐있거나, 함수율이 너무 높을 경우 금속-금속 nip에서 sheet blackening을 초래할 수 있다. 이 부분은 글라스지 모양으로 투명해져 빛을 산란시켜 희게 보이는 다른 부위에 비하여 검게 보이기 때문에 blackening이라는 표현이 사용된다. 이러한 현상이 약하게 일어날 경우 우리는 보통 얼룩(mottle)이라고 부른다.

Wet streak도 캘린더링에서 문제를 일으킨다. streak이 있는 부분의 벌크가 감소되는 두께의 영구적인 감소를 방지하고자 할 경우 롤의 온도와 직경을 감소시키기 위하여 에어 샤워로 캘린더 롤을 부분적으로 냉각시키는 방법이 사용될 수 있다. 그러나 이것은 릴에 감길 때뿐이며, 다음 공정인 와인더에서 더 심각한 문제가 발생될 수 있다.

종이와 양면에 걸친 함수율의 변이는 다른 문제를 야기할 수 있다. 만약 캘린더링이 off-line으로 실시되고, 캘린더링 전에 1~2시간이 경과된다고 할 경우, 대부분의 사람들은 수분이 종이 전체에 걸쳐 고르게 분포될 것이라고 생각하기 쉽다. 그러나 수분은 섬유에 흡착된 형태뿐만 아니라 섬유의 표면과 내부에 자유수 형태로도 존재할 수 있으며, 충전제, 코팅 등에 결합된 물도 있을 수 있다. 비록 수분의 마이그레이션이 늦추어지거나 멈춘다 할지라도 종이의 한쪽 면에서 다른 쪽 면으로의 수분 분포는 매우 다를 수 있다. heat-set web offset 인쇄에 사용될 종이를 제조하고자 할 경우 인쇄소에서 다색 칼라인쇄를 하는 동안 중간에서 적용되는 가열 오븐에서 도공층의 블리스터링이 발생하는 것을 방지하기 위해서 수분이 도공층 뒤쪽에 남아 있지 않도록 극히 주의를 해야 한다.

수분이 캘린더에서 공급될 경우 별도의 인자로 고려될 수 있기도 하지만, 수분 프로파일 문제를 감소시키기 위하여 고도로 건조시키는 것도 불균일한 수분의 분포에 의하여 야기되는 문제를 해결하는 한 방법이라 할 수 있다.

캘린더링 처리할 종이의 함수율의 높고 낮음에 따라 거칠기의 감소 효과가 다르게 나타난다는 연구 보고가 있다. Olli Suontausta는 그의 박사학위 논문에서 낮은 함수율에서는 단파장 쪽의 거칠기를

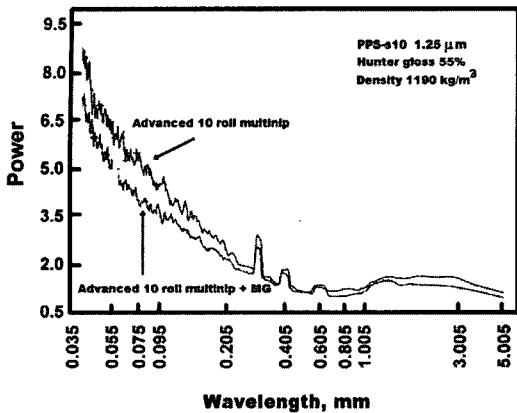


Fig. 3. 수분 경사 캘린더링에 의한 거칠기 감소 효과.

감소시켜주는 반면에, 높은 함수율에서는 장파장 쪽의 거칠기를 감소시켜주는 효과가 얻어진다고 설명하였다.

## 1.2 코팅, 충전제, 사이즈제 및 접착제

도공지를 캘린더링할 경우 미도공지(uncoated)에 비하여 큰 가소성을 나타내며, 다른 방법이 적용되어야 한다. 즉 백토를 주 안료로 사용한 도공지의 경우 도공용 백토(coating clay) 입자는 도공층에 임의로 배열되어 있는데, 광택을 내기 위해서는 이들 입자를 재배열시켜야 한다(Fig. 4). 만약 원지가 양면성을 지니고 있다면 캘린더링 후 얻어지는 최종 표면 특성의 조화를 위하여 양면에 조성비가 다른 도공액을 처리해주어야 할 것이다.

도공층의 건조 온도도 캘린더링에 대한 도공지

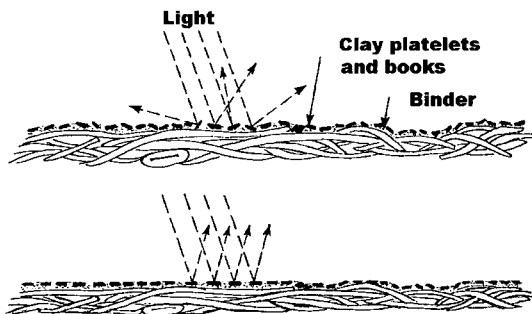


Fig. 4. 캘린더링에 의한 백토 입자의 재배열.

표면의 거동에 영향을 미친다. 즉 만약 도공층이 낮은 온도에서 건조가 이루어졌을 경우, 캘린더링 처리를 통하여 높은 광택을 지니는 종이를 얻을 수 있다. 그러나 높은 온도에서 도공층이 건조될 경우에는 도공층 내의 안료와 라텍스가 보다 강하게 상호 작용을 함으로써 동일한 종이 표면의 평활도를 얻고자 할 경우 더 많은 캘린더링 에너지를 필요로 한다.

도공량의 증가는 중간 정도 및 장파장 쪽에서의 거칠기를 감소시켜줌으로써 광택도의 변이에 비하여 더 많은 광택도의 증가 효과를 얻을 수 있다. 중간 및 장파장 쪽에서 더 높은 거칠기를 나타낼 경우 캘린더링에 의하여 광택의 증가뿐만 아니라 그 변이도 증가되는 결과가 초래된다.

제지기술뿐만 아니라 관련 기술의 발전은 종이에 첨가되는 물질들이 해를 거듭할수록 늘어나고 있다. 그 대표적인 물질들을 살펴보면 전분, 규조토, 이산화티탄, 형광물질, 도공용 백토, 멜라민 수지, 스타이렌-브타디엔 라텍스, 폴리비닐 아세테이트 라텍스, pH 조절용 첨가제, 염료, 안료, 스테아린산, 새틴 화이트, 벤토나이트, 마이크로 실리카, 등 매우 다양하다. 이들 물질에 함유되는 수분은 종이 전체의 함수율 프로파일에 영향을 미친다. 이 함수율은 종이 내 섬유와 공유하며, 종이뿐만 아니라 자기 자신의 유동성에 영향을 미친다.

매우 복잡한 도공액 조성이 적용되었을 경우 어떻게 도공지의 품질을 조절할 것인가를 숙고해야 하겠지만 한편으로는 서로 정보 교환을 통해서만 해결될 수 있는 많은 문제들이 내포되어 있음을 명심해야 한다. 그 한 예로 도공 부서와는 좀 떨어져 있어서 서로 빈번히 방문하거나 답소를 나눌 수 없는 거리에 있는 off-machine 슈퍼캘린더를 담당하고 있는 직원이 도공지를 슈퍼캘린더링하는 동안 도공지로부터 흰색 스케일이 filled roll에 줄 모양으로 전이되는 문제를 발견하고 이를 해결하고자 stack을 세정해보기도 하고, 하중, 속도, 그리고 온도도 바꾸어 보았지만 아무 소용이 없었다. 어느 날 도공 부서에서 일하고 있는 직원이 우연히 방문했다가 문제를 일으키고 있는 것을 보고는 단지 도공액에 들어가는 스테아린산의 량을 줄이면 간단히 해결할 수 있다고 했고, 실제로 그 후로는 문제가

더 이상 생기지 않았다.

### 1.3 종이의 온도

또 한 가지 중요한 것은 캘린더에 공급되는 종이의 온도이다. 신문지 또는 경량 서적용지나 원지 처리용 in-line 금속 스택 캘린더의 경우는 온도가 중요하지 않을 수 있다. 이때는 종이와 함께 유입된 열은 단지 조업 온도로 스택을 유지하는데 필요한 에너지 요구를 감소시킬 뿐이다. 스택의 첫 번째 nip에서 종이로부터 감지된 온도는 종이가 감싸는 롤에 열을 가해줌으로써 조절될 수 있다. 그러나 특히 food board와 같이 두꺼운 제품의 온도경사 캘린더링(temperature gradient calendering)의 경우 캘린더 롤의 표면 온도가 종이 내부로 전달되는 것을 방지하기 위하여 종이 자체의 thermal mass를 이용한다. 따라서 유입되는 종이의 온도를 낮출수록 종이의 표면과 내부 사이의 온도 차가 더 커지게 되어, 표면은 높은 캘린더 롤의 온도에 의하여 가소성을 지니게 되고, 종이의 내부는 저온을 유지하여 탄성과 반발력을 유지하려는 경향을 나타낸다. 이러한 현상이 높은 선압과 온도 하에서 벌크와 강도의 큰 감소 없이 표면을 평활하고 광택을 지니도록 해주는 온도 경사 캘린더링을 가능하게 해준다. 캘린더로 유입되는 지필의 온도는 또한 지필이 증기 샤워로부터 수분을 흡수하는 능력에 영향을 미친다.

### 1.4 기타 인자

상기한 요인 외에도 다양한 종이 관련 인자들이 영향을 미치게 되며, 그 중 하나가 캘린더로 유입되는 종이의 양면에서 흐르는 공기층이다. 이것이 비록 매우 하찮아 보이기는 하지만 완전히 배제할 수 없는 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 만약 이 공기의 흐름을 막고자 한다면 대기압이 새 공기를 차단 장치 바로 뒤에서 종이의 면에 접촉하도록 압력을 가하게 될 것이다. 그러나 증기의 공급이 고려되면 공기층은 증기가 흐르는 것을 차단해 주는 역할을 하여 증기가 종이 내로 들어가는 것을 방해하는 경향을 보여준다.

## 2. 캘린더관련 인자

어떤 초지기들은 2개의 4롤 또는 2개의 6롤 스택을 장착하고 있으며, 이들 중의 하나 또는 다른 것을 그냥 통과시킨다. 만약 종이를 캘린더링 하고자 할 경우 한 개의 nip을 통과시키는 것으로부터 최고 18개의 nip을 통과시키는 경우도 있다.

종이를 nip으로 통과시키면 벌크 또는 두께가 감소되는데, 일반적으로 첫 번째 nip에서 가장 큰 벌크의 감소를 일으키며, 뒤에 이어지는 nip에서는 같은 하중이 가해진다고 하더라도 감소되는 비율이 낮아져 어느 한계에 이르게 되면 더 이상 벌크의 감소가 일어나지 않게 되며, nip에서 변형된 부분이 nip을 벗어나면서 다시 회복된다. Crotagino는 초기 벌크, nip 하중, 속도, 롤의 직경, 온도 그리고 함수율의 영향을 측정된 실험실적인 상수를 이용하여 각 nip에서의 벌크 감소를 예측하는 캘린더링 방정식을 개발하였다. 이 방정식은 Colley, Peel, Kerekes 및 Pye의 이전 연구를 조합한 것이다.

$$e = A + \mu Bi$$

e : 캘린더링 하기 전의 종이의 벌크 또는 두께로 벌크 또는 두께의 변화를 나눈 종이의 상대 압축

$\mu$  : 압축 인자

A : 상수(지중에 따라 다름)

Bi : 캘린더링 하기 전의 종이의 벌크

상대적인 압축 변형은 두께의 변화가 평량에 영향을 미치지 않기 때문에 초기 및 최종 벌크의 항으로 정의될 수 있다.

$$e = (Bi - Bf)/Bi$$

여기에서 Bi와 Bf는 초기 및 최종 벌크를 나타낸다.

압축 인자  $\mu$ 는 다음 식으로 나타내어진다.

$$\mu = a_1 + a_2 \log L + a_3 \log S + a_4 \log R + a_5 \theta + a_6 M$$

- $a_1$  : 초기 상수(실험적으로 결정)  
 $a_L$  : nip 하중 L에 대한 상수, kN/m  
 $a_S$  : 속도 S에 대한 상수, m/min  
 $a_R$  : 롤의 직경 R에 대한 상수, m  
 $a_\theta$  : 온도  $\theta$ 에 대한 상수,  $^\circ\text{C}$   
 $a_M$  : 함수율 M에 대한 상수, %

종이에 대한 이들 상수가 구해지면 방정식에 상대적인 압축 비율, 각 nip에 들어가기 전의 종이의 벌크를 적용하여 벌크의 감소 정도를 계산할 수 있다.

총 벌크의 감소는 최종적으로 얻어진 평활도 개선 정도를 결정해주는 경향이 있기 때문에 중요하다. 예를 들면 Parker Print-Surf 거칠기( $\mu\text{m}$ )는 보통 벌크와 직선적인 상관관계를 지니고 있다. 문제는 특정 벌크의 감소를 얻는데 몇 개의 nip이 필요한가이다. 어떤 경우에는 단지 한 개의 가열 nip 만으로도 원하는 수준의 인쇄 품질을 만족시켜줄 수 있다. 그러나 모든 조건에서 광택과 평활도를 만족시키기란 쉽지 않다. 최상으로 평활한 표면, 가장 높은 광택, 그리고 가장 높은 명도(brightness)를 지니는 종이를 얻으려면 느린 속도로 많은 nip을 통과시켜야 하며, nip은 가능한 한 nip 체류 시간을 길게 하기 위하여 넓어야 한다. 그러나 이러한 조건의 적용은 경제성 때문에 현실적으로 불가능하다.

일반적으로 롤의 직경이 증가되면 적용된 동일한 하중에 의한 벌크의 감소가 줄어들며, 반대로 롤의 직경이 작아지면 벌크의 감소가 더 커진다. 속도는 그리 큰 영향을 미치지 않지만 종이의 nip 체류 시간에 영향을 미치기 때문에 속도가 높을수록 벌크의 감소는 감소하게 된다.

## 2.1 선압

벌크에 가장 큰 영향을 미치는 캘린더 관련 가변 인자는 롤에서 가해지는 선압이다. 선압은 kN/m 또는 psi로 표시되는데, nip의 중심선에서 발생하는 최대 압력뿐만 아니라 체류 시간에 영향을 미치는 nip의 폭에도 영향을 미친다. 최대 압력과 nip의 폭은 다음과 같이 두 개의 실린더 사이의 Hertzian 접촉 응력을 나타내는 식으로 표시될 수 있다.

nip의 폭  $2b$  :

$$b = \sqrt{\frac{2Fd_1d_2}{\pi} \frac{(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2}{d_1 + d_2}}$$

여기에서

- $b$  : nip 폭의 1/2, m  
 $F$  : 단위 폭당 선압, N/m  
 $d$  : 각 롤의 직경, m  
 $\nu$  : 각 롤에 사용된 재료의 포아손비  
 $E$  : 각 롤의 탄성계수, Pa

최대 압력은

$$P = \frac{2F}{\pi b}$$

nip에서 얻어지는 압력 곡선의 모양은 타원형을 이룬다. 즉 타원의 작은 축이 총 nip의 폭인  $2b$ 로 대체될 때 주축의 한계는 최대 압력을 나타낸다. 이 최대 압력은 의심할 바 없이 캘린더에 의한 표면 성질 개선에 결정적인 역할을 한다. nip에서의 평균 압력은 선압을 nip의 폭으로 나누어 구해진다 ( $F/2b$ ). 최대 압력과 비교할 때 평균 압력은 최대 압력의  $\pi/4$ 에 해당된다.

두 롤의 재료가 같고, 직경도 거의 같다면, 이들 롤은 nip의 폭  $2b$ 를 따라 2개의 거의 편평한 표면으로 탄성을 나타내며 변형된다. 만약 재료가 금속이거나 주철이며, 지필이 nip에 존재하지 않는 경우  $z$  방향의 응력(압력)과  $y$  방향의 응력은 nip의 중심에서 서로 같아지게 된다. 그러나 CD 방향의 응력은 최대 압력의 약 0.6, 전단 응력은 0.2에 해당된다.

만약 nip에 지필이 끼어있을 경우 nip의 폭과 3차원적인 응력의 계산은 더욱 복잡해진다. 탄소지 또는 다른 수단을 이용하여 nip의 자국을 측정하면 측정에 사용된 재료가 두 롤 사이의 공간에서 다리 역할을 하기 때문에 식에 의하여 예측된 것보다 nip의 폭이 넓게 나온다.

탄성 백업 롤(resilient backup roll)은 금속 롤보다 500~50배 더 연한 탄성계수를 지닌다. 탄성 롤

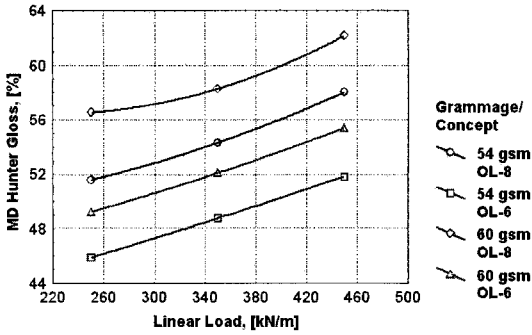


Fig. 5. 선압과 평량이 캘린더링 처리된 종이의 광택 개선 효과에 미치는 영향.

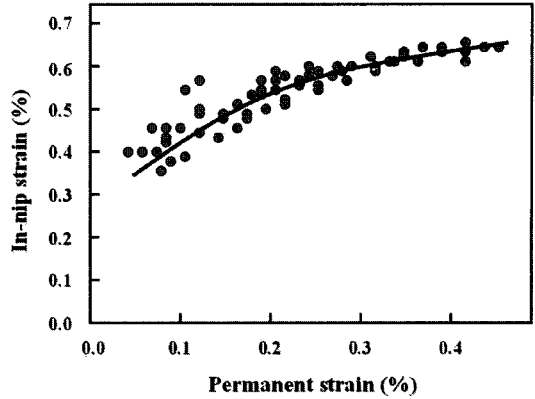


Fig. 6. nip에서의 변형과 영구 변형과의 관계.

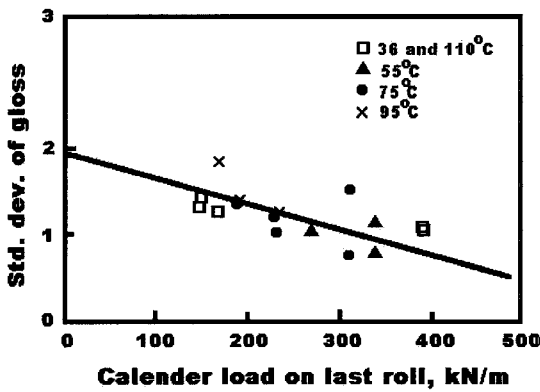


Fig. 7. 마지막 롤에서의 선압이 광택도 변이에 미치는 영향.

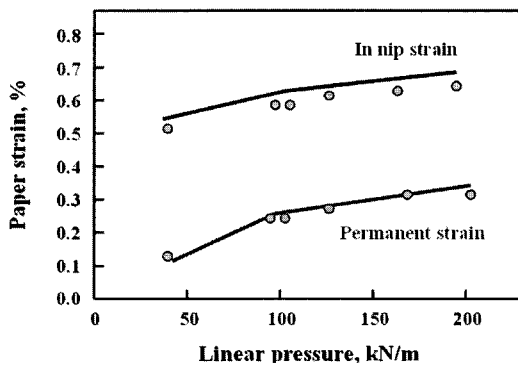


Fig. 8. 선압이 nip에서의 변형과 영구 변형에 미치는 영향.

이 단단한 금속 롤이나 주철 롤에 대하여 일정한 선압으로 눌러질 경우 nip의 폭은 금속-금속 롤을 접촉시킬 때보다 훨씬 넓어진다. 그러나 최대 압력은 nip의 폭이 늘어나는 만큼 감소되며, 접촉 표면이 더 이상 편평한 상태를 이루지 않는다. 이때 일어나는 금속 롤의 변형은 0.2~2%로 거의 무시될 정도로 적다. 따라서 최대 압력에 도달하기 위해서는 연한 롤 쪽으로 더 많은 변형이 일어나야 하며, 두 롤 사이에 있는 종이의 국부적인 두께가 ±50%의 차이를 나타낸다 할지라도 최종적으로 얻어지는 최대 압력에 별 영향을 미치지 않는다. 이러한 현상은 금속 롤/금속 롤에 의한 캘린더링과 탄성 롤/경질 롤에 의한 캘린더링의 근본적인 차이점을 설명해 준다.

금속 롤/금속 롤 캘린더링의 경우 종이에 국부적으로 높고 낮은 부분이 존재할 경우 압력이 균일하지 않다. 만약 높은 부분이 있을 경우 그 부분에서 최대 압력이 가해지고, 그 주위의 압력이 낮아지게 된다. 따라서 캘린더링에 의하여 종이의 두께는 같게 나올 수 있으나 부위 별로 밀도가 불균일하게 된다.

그러나 탄성 롤로 캘린더링을 할 경우 종이가 금속 롤에 의하여 탄성 롤쪽으로 밀려가기 때문에 종이 두께의 변화가 최대 압력에 영향을 미칠 정도로 크지 못하다. 따라서 종이의 모든 부분이 거의 비슷한 압력을 받기 때문에 섬유 분포량에 비례하여 두께가 변하게 된다. 따라서 머신 캘린더링을 사용할

경우 종이의 두께는 균일하나 밀도가 불균일하게 되며, 슈퍼 캘린더의 경우에는 두께는 평량에 따라 비례하여 나타나지만 균일한 밀도 또는 벌크가 얻어진다.

### 2.2 롤 표면과 롤 커버의 경도

롤과 롤 커버의 경도에 따라 형성되는 닢의 폭과 이때 가해질 수 있는 최대 하중이 결정되기 때문에 종이의 벌크뿐만 아니라 밀도의 변이, 광택에 중대한 영향을 미친다. 또한 경도가 높은 금속 롤을 사용할 경우 롤 표면의 모사 현상 때문에 금속 롤의 스크래치가 종이 표면에 그대로 나타난다.

### 2.3 롤의 온도

롤 표면의 온도는 수분, 압력과 더불어 종이의 변형에 직접적인 영향을 미치므로 일정하게 유지해 주는 것이 매우 중요하다.

### 2.4 롤의 속도

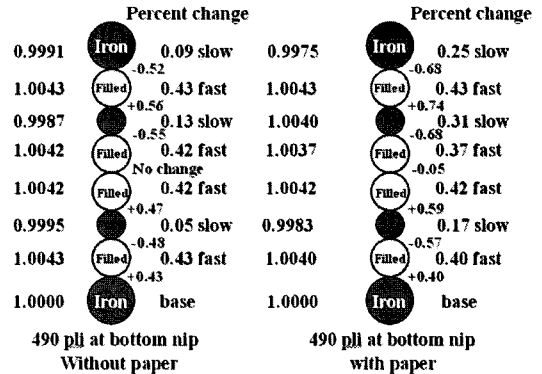


Fig. 11. 슈퍼캘린더의 상대적인 표면 속도.



Fig. 9. 온도 경사 캘린더링한 신문용지 표면에 나타난 금속 롤의 스크래치 자국.

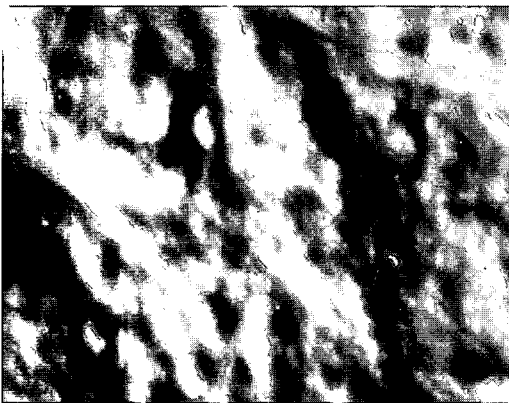


Fig. 10. 193 kN/m의 선압으로 슈퍼캘린더링한 종이 표면에 나타난 스크래치 자국.

### 2.5 모사(replication)

탄성 롤을 이용하여 캘린더링을 할 경우 연질 롤 내에서 작용하는 응력의 성질은 포아손비에 의하여 크게 좌우된다. 만약 포아손비가 0.2이거나 그 보다 낮으면(전형적인 filled roll), 연질 롤 재료는 MD 방향의 응력 형성 없이 반경 방향으로 압축 변형을 일으키며, 닢 중심선의 양쪽에서의 전단량은 같다. 소량의 충전 물질을 혼합하여 만든 탄성재료로 만들어진 롤 커버는 포아손비가 0.5까지 올라가며, 비압축성을 나타내며, 전단 방향이 압축성 탄성 롤과 반대로 나타난다. 전단은 지필 내 섬유를 유동시키고, 도공 층 내 접착제를 변형시켜 지필 표면이 캘린더 롤의 표면을 모사하게 한다.

캘린더링 하기 전의 도공지는 편평한 회벽과 유사한 표면을 지닌다. 그것은 입자 크기가 2~15 μm에 달하는 delaminated clay 입자가 섬유 표면 위에 잘 배열되지 않은 상태로 접착제에 쌓여 퇴적되어 있기 때문이며, 페인트에서와 같이 그저 종이 표면의 윤곽을 따라 놓여진다. 따라서 광택을 개선하기 위해서는 백토 입자가 눅혀져야 하며, 이러한 결과를 가져오기 위해서는 접착제가 유동되어야 한다.

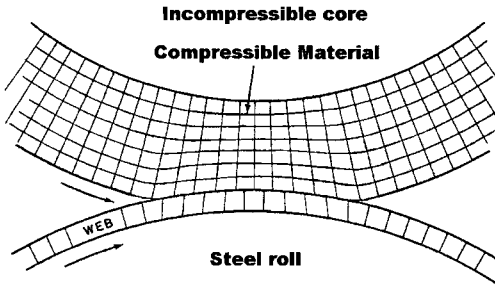


Fig. 12. 압축성 롤 커버 재료, 지필 및 금속 롤 사이에서 형성된 nip에서의 전단에 의한 변형.

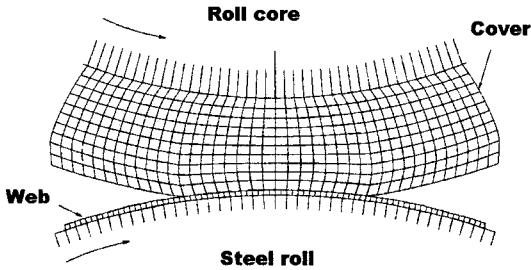


Fig. 13. 포아손비가 0.5에 가까운 비압축성 롤 커버와 형성된 nip에서의 전단에 의한 변형.

### 2.5 Fly roll(blow roll)

Fly roll은 종이가 캘린더 롤을 계속 감싸고 돌아가는 것을 방지하기 위하여 사용된다. 즉 종이는 캘린더 nip을 빠져 나온 후 fly roll을 감싸고 돌다가 다시 다음 캘린더 nip으로 들어간다. 슈퍼 캘린더의 경우 최소한 제일 상부 nip에서 fly roll이 사용되며, 경우에 따라서는 각 nip마다 사용하기도 한다.

### 2.6 증기 샤워

증기 샤워는 지필에 수분을 저압 증기 상태로 공급하기 위하여 지필 이동 통로의 한 면 또는 양면에 설치된다. 증기 샤워가 적절히 설치됨으로써 응축수가 형성되어 지필에 떨어지지 않도록 하면서 저압 포화 증기를 공급하는 것이 가능하다. 만약 응축수 방울이 지필에 떨어지는 문제가 생겨 이를 해결하기 위하여 초 가열 증기를 사용할 경우 추가적인 열이 지필에 공급되어 여분의 열이 종이 내 수분을 밀어내어 증기의 효과를 감소시키는 결과를 가져올 수 있다. 지필이 이동할 때 발생하는 공기층이 증기의 지필로의 이동을 방해하는 경향이 있는데, 이는 증기 노즐의 설계를 적절히 하여 공기층에 난류를 발생시켜 증기와 혼합되면서 증기가 공기층의 일부를 대체하도록 하는 방법으로 해결할 수 있다.