

# 전분 분무기술을 통한 다층지의 물성개선

류정용\*<sup>1</sup> · 이학래<sup>†</sup>

(2007년 7월 1일 접수: 2007년 8월 24일 채택)

## Improvement of Multiply Board Properties with Starch Spraying

Jeong Yong Ryu\*<sup>1</sup> and Hak Lae Lee<sup>†</sup>

(Received July 1, 2007; Accepted August 24, 2007)

### ABSTRACT

Frequently spraying of natural starch slurry onto the formed wet web has been adopted to improve properties of paperboards. This conventional starch spraying technique, however, becomes less effective in strength improvement. In this study the effects of various factors including wet web dryness, quantity of starch slurry sprayed, and drying temperature on paperboard properties were investigated. Migration of starch granules into the webs appeared to cause a reduction in plybond strength when the web dryness was lower than this level. Wet webs should contain enough water to swell the starch granules, and at the same time they should be heated to a temperature high enough for complete cooking of the sprayed starches to occur. This suggested that preheating of the wet web can be employed to improve the plybond strength.

**Keywords** : Starch spray, internal bond strength, ring crush strength, dryness, preheating

### 1. 서론

우리나라의 전체 지류 생산 가운데 라이너지와 백판지는 50% 이상을 점하고 있다. 그럼에도 불구하고 아

직까지 산업용지에 대한 연구는 인쇄 및 필기용지와 신문용지에 비하여 상대적으로 저조한 것이 사실이다. 하지만 근래에 들어 물류의 중요성이 부각되면서 판지의 고강도화, 고품질화를 위한 기술 개발 필요성이 크게

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 (Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Sillim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-921, Korea)

\*1 한국화학연구원 바이오정밀화학연구센터 (Chemical biotechnology research center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon, 305-600 Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: lhaki@snu.ac.kr

높아지고 있다. 특히 판지는 대체로 국산 고지를 원료로 사용하고 있으므로 재활용에 따른 이들 지층의 강도 저하 현상을 방지할 수 있는 연구와 기술개발을 통한 국산 고지의 효과적 활용방안 마련이 시급히 요청되고 있다.

판지는 신문용지나 인쇄필기용지와 비교할 때 상대적으로 저속으로 운전되면서 다층초지된다. 이는 다층초지를 한 경우 고평량지의 생산이 가능하고 저급 원료를 효율적으로 이용하여 생산비용을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 물성 개선 및 새로운 기능의 부여가 가능하기 때문이다.<sup>1,2)</sup> 하지만 다층지는 층간 결합력이 단층지에 비해 약하다는 구조적인 문제점을 지니고 있다.

이러한 다층지의 층간 접착력과 관련된 문제점을 개선하기 위해 생전분을 분무하는 방법이 널리 사용되고 있다. 특히 충분한 내부결합강도를 얻기 힘든 환망초지거나 저속의 장망다층초지기에서는 전분의 층간분무 처리가 층간 결합강도를 향상시키는데 매우 효과가 크다고 인식되고 있다.<sup>3)</sup> 하지만 이러한 효과는 최근 들어 나타나고 있는 다층초지기술 변화에 따라서 크게 감소하고 있어 그 대책이 요청되고 있다.

최근 국내에서 나타나고 있는 다층지의 층간 접착력 저하 현상과 직결된 초지기술 변화 요인은 크게 원료면, 설비면, 그리고 초지공정면의 변화로 나누어 볼 수 있다.

먼저 원료면에서의 변화 내용을 살펴보면 최근 국내의 산업용지 생산업체는 거둬들인 재활용에 의한 섬유 각질화 현상으로 섬유간 결합강도가 약화된 고지의 혼합비를 증가시키고 있으므로 이에 따라 다층지의 층간 접착강도 약화되고 있다.<sup>4)</sup>

초지설비면에서는 초지속도가 고속화됨에 따라 지층 형성부에서 과도한 탈수와 이에 따른 와이어면으로의 미세분 유동이 심하게 발생하고 있으며, 고속 초지를 위해 합치 시 습지필의 건조도를 증가시켜 초지를 운전하고 있기 때문에 이에 따라 층간 접착강도가 약화되고 있다. 특히 압착탈수의 향상을 통한 초지 속도증가는 건조시간 단축과 함께 층간에 분무된 전분의 호화에 필요한 수분과 전분 입자의 팽윤시간 단축을 초래하여 전분에 의한 층간 접착강도 향상 효과를 크게 감소시키고 있다고 판단된다.

초지공정에서의 변화를 살펴보면 현재 각 제지공장에서는 환경규제의 심화 등으로 인해 공정 폐쇄화를 지향하고 있어 백수 내 경도, 전기전도도, 음이온성 트레

쉬 함량이 크게 증가되고 있다.<sup>5)</sup> 공정 폐쇄화에 따른 이러한 초지계의 오염은 지력증강과 보류향상을 위해서 첨가되는 고분자물질의 효율을 떨어뜨리는 것으로 보고되고 있다.<sup>6)</sup> 공정 폐쇄화에 따른 고분자 첨가계의 효능 감소를 해결하기 위해서 전하밀도가 높은 내침용 전분 등의 개발이 시도되고 있지만, 내침을 통한 판지의 층간 접착강도 향상 방법은 앞으로 초지공정이 더욱 폐쇄화되면 그 효율이 크게 저하될 것이라 판단된다.<sup>6,7)</sup>

전분의 층간 분무에 의한 판지의 층간결합력 향상 방안은 분무된 전분이 습지필에 의해 여과, 정착되기 때문에 내침처리 시보다 지필 내 잔류 특성이 높은 이점이 있다. 또한 전분의 분무조건을 달리함으로써 전분의 분포를 용이하게 조절할 수 있는 장점도 있다. 예를 들어 수절선 이전에 전분을 분무하면 진공박스에서 나타나는 흡인력에 의해 전분 입자가 지필 내부로 흡인, 침투되어 두께 방향의 전분분포는 균일해진다. 하지만 과도한 진공 탈수가 행해질 경우 전분의 보류가 저하되는 문제가 발생한다. 이와 달리 수절선 이후에 전분을 분무하면 보류도는 크게 증가하지만 표면에 전분이 집중적으로 분포하게 된다. 따라서 만일 종이의 강도 개선을 위해서는 전분의 분포가 균일하도록 전분 분무 위치를 진공박스 전으로 조정하는 것이 좋으며, 이와 반대로 층간결합력의 개선을 원한다면 진공박스 후로 분무 위치를 설정하는 것이 바람직하다. 지필내 전분의 두께 방향 분포는 분무 위치와 습지필의 농도 등이 중요한 영향을 미치므로 이를 적절히 조절, 응용한다면 과도한 시설 투자나 건조부하의 증가없이 최종 제품의 물성을 개선시키는 방법이 될 수 있다.<sup>8)</sup>

하지만 이처럼 많은 장점을 지닌 분무처리법에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 더욱이 거둬들인 재활용에 따라 심하게 각질화된 국산 고지를 원료로 하여 고속 초지되고 있는 국내 다층지 제조 공정에 효율적으로 활용할 수 있는 전분분무처리법에 대한 연구는 행해진 바 없다.

본 연구에서는 국내 판지의 원료 및 제조기술 변화에 대처할 수 있는 다층지의 전분 분무에 영향을 미치는 인자를 체계적으로 분석, 증명하고 그 개선법을 찾기 위하여 실제 초지 조건과 유사하도록 초지 및 분무가 가능한 실험설비를 고안, 활용하여 전분의 분무량, 지필의 건조도, 건조온도, 감압탈수 처리, 압착 처리 후 예열 처리 등에 따른 층간분무전분의 효과를 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 펄프

본 연구에서는 공시 펄프로 미국 Bowater사의 침엽수 표백 크라프트 펄프(Sw-BKP)를 사용하였다. 먼저 공시 펄프를 실험실용 Valley beater로 여수도 320 mL CSF가 되도록 고해하고, 탈수시킨 후 105°C의 건조기에서 전건시키고 다시 같은 여수도가 되도록 해리, 고해하여 실제 초지 실험에 사용하였다.

초기 고해된 펄프의 보수도(water retention value, WRV)를 TAPPI um 256에 의거 측정된 결과 2.44였으나 건조 후 재고해된 펄프의 보수도는 처리 전에 비해 0.6 감소한 1.84를 나타내었다. 이러한 탈수, 건조, 재해리 및 고해 과정을 통해 공시 펄프를 재활용으로 각질화된 국산 골판지 재생섬유와 유사하도록 변화시킬 수 있었으며, 감압 탈수 효율도 높일 수 있었다.

초지에 사용된 펄프의 수평균 섬유장(numerical average fiber length), 길이가중평균섬유장(length weighted average fiber length) 및 중량가중평균섬유장(weight weighted average fiber length)은 각각 0.75 mm, 1.35 mm, 1.83 mm 었다.

공시 펄프를 처음으로 고해할 때 일부 펄프는 비터에 붉은색 직접염료(Direct Red-5B)를 전건 펄프에 대하여 0.1% 첨가하여 염색시켰다. 염색된 지료 내에 존재하는 미반응 염료는 뒤이은 탈수처리를 통하여 제거하였다.

전분 분무에 의한 층간결합력 변화를 평가하기 위해서 준비된 펄프를 이용하여 이접지를 제조하였다. 이접지는 붉은색 염료로 염색된 펄프를 이용하여 제조된 홍지와 염색하지 않은 백지로 구성하였다. 합지시켜 압착하는 과정 중에 염색 섬유의 붉은색 염료가 염색하지 않은 백지면으로 전이되지 않았다. 아울러 염색 유무에

관계없이 이접지의 층간결합강도는 동일하였다. 이는 펄프 섬유의 염색이 섬유의 결합력에 영향하지 않는다는 것을 보여준다. 이접지의 두 층은 육안으로도 확연히 구별할 수 있었으며 Scott 내부결합강도 측정 후 층간 파괴 정도를 육안으로 식별할 수 있는 이점이 있었다.

Scott 내부결합력 측정 시 분리된 면을 관찰하면 일반적으로 전분을 분무하지 않은 경우에는 두 층간에서 분리되었으나, 전분 분무를 행한 이접지의 경우는 염색된 붉은색의 섬유가 흰색의 이면층에 붙은 상태로 분리되었으며, 층간 접착강도가 증가할수록 흰색의 이면층에 붉은색의 표층 섬유가 많이 부착된 상태로 분리되었다.

#### 2.1.2 전분

층간 분무처리용 전분으로는 천연 옥수수전분과 산화수준이 다른 두 가지 옥수수 산화전분 및 타피오카 전분을 사용하였다. 이들 전분의 물성은 Table 1에 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 천연 옥수수 전분(Natural Corn Starch; NCS)의 입도는 산화 여부와 관계없이 서로 유사하였으며, 타피오카 전분 입자는 옥수수 전분 입자보다 1  $\mu\text{m}$  이상 크게 나타났다.

각 전분을 호화하여 점도를 측정된 결과 천연 옥수수 전분의 점도가 가장 높게 나타났다. 산화전분은 산화정도가 증가함에 따라 그 점도는 저하되었다. 즉 산화전분 중에서도 산화처리 정도가 약한 OCS I (Oxidized Corn Starch I)은 OCS II (Oxidized Corn Starch II)보다 높은 점도를 나타내었다. 타피오카 전분은 천연 옥수수 전분보다 점도가 낮았다.

Fig. 1은 입도분석기를 이용하여 전분 입자의 입경 분포를 측정된 결과이다. 여기에서도 보는 바와 같이 옥수수를 원료로 한 전분은 산화처리에 관계없이 유사한 입도분포를 나타내었으며, 타피오카 전분은 옥수수

**Table 1. Characteristics of starches**

	NCS <sup>1)</sup>	OCS I <sup>2)</sup>	OCS II <sup>3)</sup>	Tapioca Starch
Mean Granule Size ( $\mu\text{m}$ )	13.32	13.26	13.72	14.82
Gelatinization Temperature(°C)	62 ~ 72	55 ~ 65	50 ~ 60	58 ~ 79
Amylose Contents (%)	24.0	24.0	24.0	16.7

<sup>1)</sup> NCS : Natural corn starch    <sup>2)</sup> OCS I : Oxidised corn starch I    <sup>3)</sup> OCS II : Oxidised corn starch II

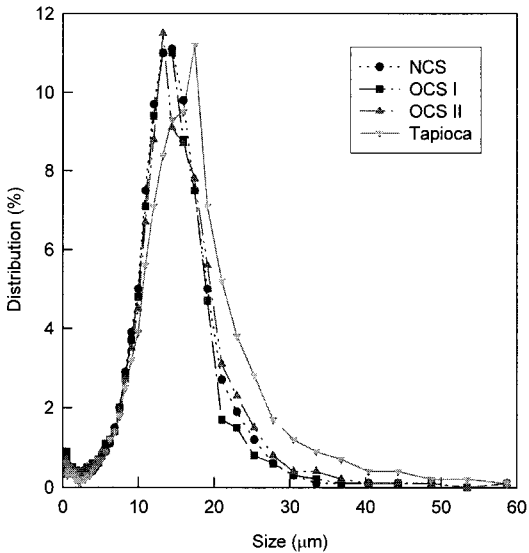


Fig. 1. Particle size distributions of starch granules of NCS, OCS I, OCS II and Tapioca.

전분보다 평균 입경이 1 μm 이상 크게 나타났다.

Table 1에 나타난 전분의 호화개시온도는 전분 슬러리를 교반, 가열할 때 입자 중 5%가 결정영역을 잃어버리는 순간의 온도를 측정된 결과이다. 하지만 본 실험에서는 습지필 내에 분무된 전분이 교반되지 않는 상태로 가열만 되므로 이와 같은 일반적인 호화 개시온도를 적용하기 곤란하다고 판단되었다. 이에 Fig. 2에 나타난 것처럼 농도 0.5%의 전분 슬러리를 항온수조에서 20분 단위로 중탕, 가열시키면서 광학 현미경을 이용하여 입자의 팽윤상태를 관찰하였다. 20°C의 냉수에 분산된 전분 입자들은 슬러리의 온도가 상승되자 점차 팽윤되기 시작했는데 OCS II는 65°C 미만에서 입자가 완전히 호화되었다. 이보다 산화정도가 낮은 OCS I은 78°C 미만에서 전분 입자의 팽윤이 완료되었다. 산화처리를 거치지 않은 천연 옥수수전분은 팽윤이 가장 더딜 뿐 아니라 78°C에 도달하여도 팽윤된 입자가 터지지 않았다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 수초지 및 진공탈수

먼저 준비된 펄프를 Fig. 3에 나타난 수초지기를 이용하여 크기 25×25 cm<sup>2</sup>, 평량 100 g/m<sup>2</sup>이 되도록 초지하였다. 이후 진공탈수하여 습지필의 건조도를 조절하

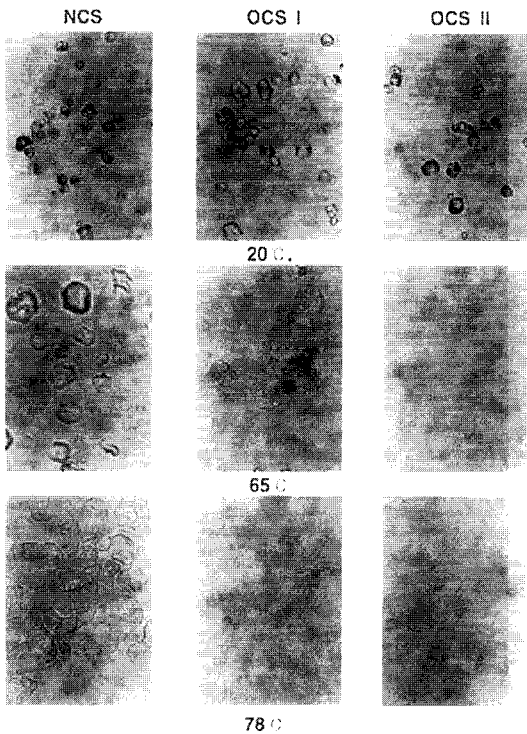


Fig. 2. Photographs of NCS, OCS I and OCS II granules dipped in hot water of three temperature levels.

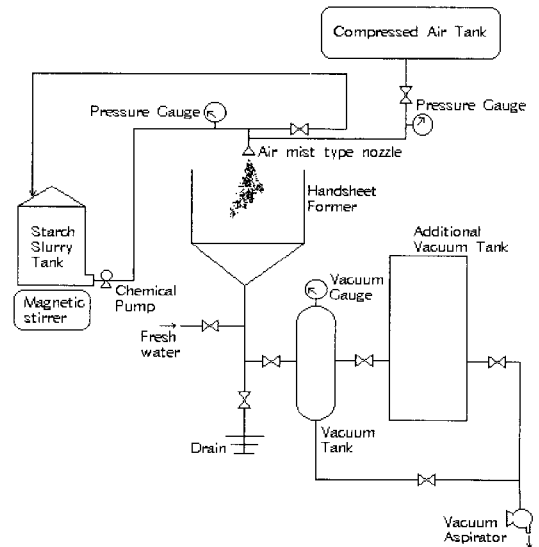


Fig. 3. A Schematic drawing of handsheet former with spraying apparatus.

였다. 수초지기는 다양한 방법의 진공탈수가 가능하도록 Fig. 3에서 보는 것과 같이 수초지기의 drop leg에 용량 2.4 L인 진공탱크 1과 용량 16.5 L인 진공탱크 2를 직렬로 연결하고, 이들 진공탱크에 아스피레이터를 부착시켜 진공도를 조절하였다. 진공도는 수초지기에 가깝게 위치한 진공탱크 1에 부착된 진공 압력계를 이용하여 측정하였다.

진공 탈수 방식은 순간적인 고진공 탈수를 행하는 방법과 낮은 진공도에서 연속적으로 흡인 탈수하는 방법의 두 가지 방법을 사용하였다.

순간적인 고진공 탈수를 위해서는 아스피레이터로 진공탱크 1과 진공탱크 2에 모두 일정 수준의 진공도가 걸리도록 한 다음, 밸브 3과 4를 닫고 수초지기의 drop leg에 연결된 밸브 1을 열어 순간적으로 초지기 drop leg에 진공이 가해지도록 하였다. 수초지기와 연결된 밸브 1을 열면 수초지기의 drop leg에 있던 공기에 의해 진공도가 진공탱크 진공계의 2/3 수준으로 저하되었으며, 이후 지필을 통한 공기 유입에 의해 진공도는 5 cm Hg 이하로 낮아졌다. 수초지기와 연결된 밸브 1을 연 순간부터 진공도가 5 cm Hg 이하로 저하될 때까지는 1초 미만의 시간이 요구되었다.

낮은 진공도에서 연속적으로 흡인 탈수하기 위해서는 진공탱크 1만을 통하여 수초지된 지필에 진공이 걸리도록 밸브 1과 4를 열고 밸브 2와 3은 잠근 상태로 아스피레이터를 계속 가동시키면서 진공 탈수를 행하였다. 지속적인 진공 탈수가 행해지는 동안 수초지기 물드 위에는 열풍발생기를 위치시켜 열풍이 습지필을 통과하면서 가열 건조가 일어나도록 하였다. 이 때 열풍의 온도는 100°C였으며, 적외선 온도계로 측정한 습지필의 온도는 45°C였다.

펄프의 고진공 탈수에 따른 습지필의 건조도 변화를 조사하기 위해서 여수도가 320 mL CSF로 동일한 국산 골판지 고지(Korean Old Corrugated Container; KOCC), 침엽수 표백 크라프트 펄프 및 각질화된 침엽수 표백 크라프트 펄프로 제조된 수초지의 감압탈수처리 특성을 Fig. 4에 나타내었다. 고진공 탈수 시 수초지기 drop leg 내의 진공이 완전히 소실될 때까지는 3-5초가 소요되었다. 세 가지 펄프의 여수도는 모두 같았으나 고진공 탈수 후 습지필의 건조도는 펄프의 종류에 따라 다르게 나타났다.

보수도가 낮은 KOCC 습지필의 고진공 탈수 후 건조

도는 진공 탈수 전에 비하여 약 2.5% 증가하였으나, 보수도가 높은 Sw-BKP는 진공탈수 조건을 강화시키더라도 습지필의 농도 증가가 1% 미만에 불과하였다. Sw-BKP를 1회 리사이클링하여 각질화시킨 경우에는 진술한 바와 같이 보수도가 0.6 만큼 저하되었으며, 이에 따라 각질화되지 않은 Sw-BKP에 비하여 고진공탈수에 따른 습지필의 건조도 증가가 KOCC의 경우와 거의 같게 나타났다. 하지만 고진공 탈수 시의 진공도를 높이는 방법만으로는 습지필의 건조도를 11% 이상으로 높이는 것은 불가능하였다.

습지필의 농도를 더욱 증가시키기 위해서 먼저 100°C의 열풍으로 습지필을 가열한 다음, 순간적인 고진공 탈수를 적용하고, 낮은 진공도에서 연속적으로 흡인 탈수하면서 지필 내로 열풍을 통과시키는 방법을 사용하였다. 특히 습지필의 건조도가 12% 이상인 경우 낮은 진공도에서 104초간 연속적으로 열풍을 가하면서 흡인 탈수 할 경우 습지필의 건조도가 1%씩 상승하였다. 따라서 흡인 탈수 시간을 변화시킴에 따라서 목표표하는 건조도의 습지필을 얻을 수 있었다.

이러한 실험 결과를 바탕으로 수초지기에 장착된 진공탱크의 진공도, 고진공 탈수 횟수 및 연속적 흡인탈수 시간을 달리하여 목표표하는 건조도를 갖는 습지필을 제조하였다.

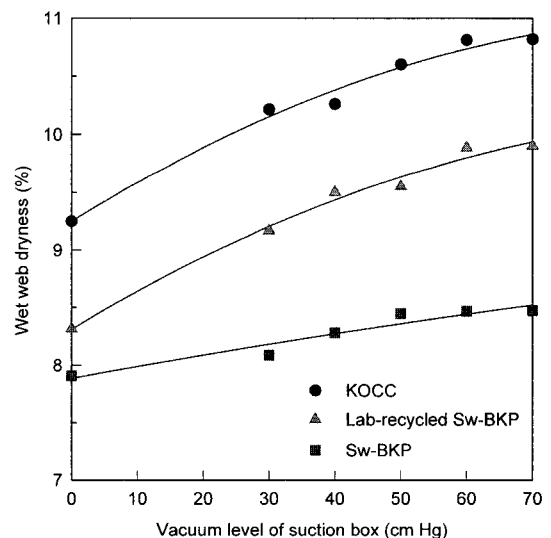


Fig. 4. Wet web dryness of three stocks after suction dewatering.

### 2.2.2 전분 분무처리

사각 수초지기 위에 형성된 습지필 상에 전분 슬러리를 분무하기 위해 분무처리 장치를 제작하여 설치하였다. 전분은 먼저 농도 2.0%에서 1500 rpm의 교반기로 15분간 분산시킨 다음 자석식 교반기 상에 위치한 슬러리 탱크에 넣고 계속 교반하였다. 교반 탱크에는 정량 펌프를 연결시켜 일정한 유량의 전분 슬러리를 분무기로 이송하였으며, 순환 루프 상에 설치된 밸브를 조절하여 노즐로 공급되는 전분 슬러리의 압력을 1.0 kg/cm<sup>2</sup>로 일정하게 유지시켰다. 일정한 압력으로 분무 노즐로 공급되는 전분 슬러리는 에어 폼프레서로부터 공급되는 압력 0.9 kg/cm<sup>2</sup>의 압축공기와 혼합되고 미분화되어 균일한 분무가 가능하도록 하였다.

분무노즐로는 (주)한미노즐의 Fluid cap FC7과 Air cap AC1003을 조합하여 구성된 외부 공기 혼합 방식의 미분화 노즐 AA-EF100을 사용하였다. 이 노즐은 부채꼴형태의 분사 상태를 나타내는 것으로서 기체와 액체의 유량을 서로 독립적으로 혼합, 분사시키므로 넓은 분무 압력 범위에서 유량을 정확히 조정할 수 있는 장점이 있었다.

노즐은 사각 수초지기 상단에 설치하여 초지 및 진공 탈수 과정을 거쳐 일정한 건조도를 갖는 습지필 상에 전분을 분무할 수 있도록 하였다. 노즐의 이동 속도는 일회 왕복 운동 시 전분의 분무량이 0.5 g/m<sup>2</sup>/stroke가 되도록 24 strokes/min.로 고정하였으며 분무량은 stroke 수를 달리하여 조절하였다.

노즐의 분사 형태는 부채꼴이었으므로 노즐을 통해 분무되는 전분 슬러리의 양은 분무 폭 방향으로 완전히 균일하지는 않았다. 따라서 실제 습지필 위에 분무된 전분 슬러리의 양을 측정하기 위해서 칭량접시를 와이어 위에 놓고 이곳에 실제 분무 시와 같은 방법으로 전분 슬러리를 분무한 다음 칭량 접시에 분무된 전분 슬러리의 양을 계량하여 분무 위치에 따른 전분 슬러리의 실제 분무량을 측정하였다. 칭량 접시는 45×25 mm<sup>2</sup>의 격자 홈이 9개씩 2줄로 늘어선 형태의 것을 사용하였다.

분무 처리 후 각 격자 내에 담겨진 분무액을 습지로 닦아낸 뒤 그 무게를 측정하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 본 연구에 사용된 분무 노즐은 부채꼴 형태의 분무 상태를 나타내었기 때문에 Fig. 5에서 보는 것과 같이 중앙부인 5번 격자 홈에 모인 분무액이 가장 많았으며 가장자리로 갈수록 분무액의 양은 감소하였다. 이

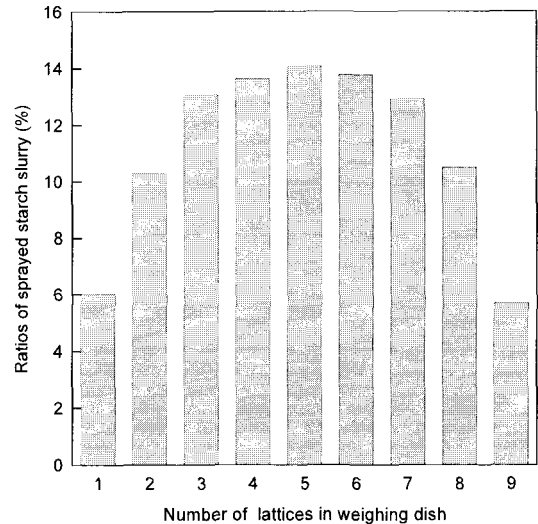


Fig. 5. Ratios of sprayed starch slurry versus number of lattices in weighing dish.

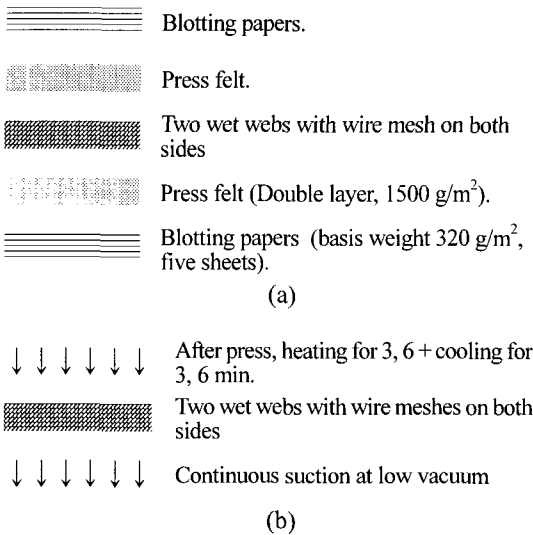
처럼 전분 슬러리 분무량이 폭방향으로 완전히 균일하지는 않았기 때문에 비교적 분무량이 균일하다고 판단되는 중앙부만에서 10×20 cm<sup>2</sup> 크기의 시편을 떼어내어 강도 측정용 시편으로 이용하였다.

### 2.2.3 압착 및 건조

초지된 평량 100 g/m<sup>2</sup>의 습지필 두 장을 와이어가 이면에 있는 상태에서 표면이 서로 마주하도록 겹친 다음 실험실용 평판압착기를 이용하여 6.3 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 5분간 압착하였다. 압착 시에는 Fig. 6(a)에 도시한 바와 같이 초지기용 펠트를 초지 시 사용된 와이어가 부착된 습지필의 양면에 걸쳐대고 그 뒤에 흡습지를 놓았다. 이러한 이유는 습지필을 압착시키는데 일반적으로 사용되는 흡습지를 습지필에 바로 겹쳐줄 경우 모세관 현상으로 인해 습지필의 수분이 실제 압착이 행해지기 전에 지나치게 급속히 탈수되어 종이의 층간결합강도가 저하되는 문제점이 발생하기 때문이었다.

또 이처럼 펠트를 겹쳐 압착할 때에는 압착되는 습지필의 건조도가 다른 경우에도 일정한 건조도로 압착할 수 있는 장점이 있었다. Fig. 6(a)에 나타낸 것과 같은 적층조건 하에서 습지필을 압착하면 압착 전 습지필의 건조도와 관계없이 압착 후의 농도는 42.5%로 항상 일정하게 유지되었다.

건조기로 투입되는 습지필의 건조도를 42.5% 이상



**Fig. 6. Arrangement for web dryness control in pressing and hot air drying**  
(a) : pressing (b) : hot air drying.

으로 조절하기 위해서는 압착된 습지필을 Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 열풍 가열 및 기건 처리하는 방법을 사용하였다. 열풍 가열처리는 전분 슬러리의 분무 전 습지필의 농도를 조절하는 경우와 마찬가지로 수초지기를 이용하여 지속적인 감압, 가열하는 방법을 이용하였으며, 기건처리 시에는 열풍을 적용치 않고 감압처리만을 실시하였다. 이러한 방법을 병용하여 습지필의 건조도를 42.5-63.4%까지 높힐 수 있었다.

압착이 끝난 지필은 실린더 건조기를 이용하여 건조하였다. 건조 시에는 실린더의 온도를 50, 60, 70, 80, 90, 100 및 110°C로 달리하여 수분 증발 속도를 조절하였으며, 이를 통하여 건조 속도 변화에 따른 종이의 강도변이를 파악하고자 하였다.

**2.2.4 강도 측정**

TAPPI Standard T 402 om-83에 의거 시편을 조습처리한 후 TAPPI Standard 시험법에 의거하여 측정하였다.

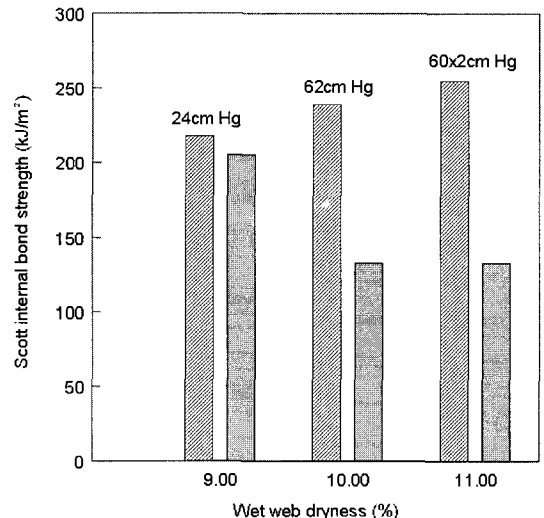
**3. 결과 및 고찰**

**3.1 감압 탈수처리에 의한 층간 전분의 이동**

다층지의 층간접착력 개선을 위해서는 상용되는 전

분 분무 처리는 진공 탈수과정을 거친 습지에 행하는 것이 진공 탈수 전에 행하는 것보다 진공 탈수 시 발생할 수 있는 전분 입자의 유동을 방지할 수 있어 효과적이라고 인식되고 있다.<sup>3)</sup> 이러한 가정을 증명하기 위해 습지 필 농도를 조절하기 전에 전분을 분무하고 (1g/m<sup>2</sup>), 감압탈수를 실시한 다음 합지시킨 종이의 층간결합강도를 측정하고, 그 결과를 전분을 감압탈수 처리 후에 분무한 경우와 비교하였다 (Fig. 7). 이 때 합지된 습지필은 6.3 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 압착하여 건조도 42.5%가 되도록 조절한 후 100°C의 건조기로 건조하였다.

전분 분무처리를 선행한 습지필의 건조도를 8%부터 9, 10, 11%로 증가시키기 위해 각각 24, 60 및 60x2 cm Hg의 감압탈수처리를 실시하여 실험한 결과 합지의 층간결합강도가 감압탈수가 증가할수록 크게 저하되었다. 특히 60 cm Hg 수준의 감압탈수처리를 실시하여 습지필 농도를 10% 이상으로 증가시켰을 때에는 층간 접착력이 126 kJ/m<sup>2</sup>까지 저하되어 전분 분무처리에 따른 층간결합강도 향상을 기대할 수 없었다. 이는 층간접착면에 전분이 존재하지 않을 경우 얻어지는 강도와 같은 수준이었다. 일반적으로 초지기의 수절선을 지난 후에 전분이 분무되면 진공박스 등의 탈수소자를 통



**Fig. 7. The effect of vacuum dewatering treatment applied to starch sprayed wet web on the Scott internal bond strength of two-ply handsheets. Vacuum dewatering caused significant reduction of Scott internal bond strength for all webs.**

과하더라도 전분의 유동이 심하게 일어나지 않는다고 보고되어 있으나<sup>3)</sup>, 본 실험에서는 강한 정적 감압처리를 적용하였기에 수절선 이후에도 전분의 유동이 발생하여 이러한 결과가 얻어졌다고 판단된다. 이는 층간분무전분이 그 효과 발현을 위해서는 습지필의 농도가 과도하게 낮은 것은 바람직하지 않음을 보여준다.

### 3.2 습지필 농도와 전분 분무량이 링크러쉬 강도에 미치는 영향

층간에 분무된 전분은 진공탈수과정에서 뿐 아니라 압착과정에서도 지필의 두께 방향으로 유동할 수 있기 때문에 프레스로 유입되는 습지의 건조도나 전분분무량에 따라서 링크러쉬 강도나 층간접착력의 개선효과가 달라질 것으로 예상된다. 이들 공정변수는 기존의 초지기의 조업 조건을 부분적으로 조절함으로써 변화시킬 수 있기 때문에 이들 두 변수의 영향을 파악하는 것은 층간분무의 효과적 적용에 매우 중요하다.

일반적으로 전분 분무처리를 하지 않고 합지한 이겹지의 층간 결합강도는 압착 전 습지필의 함유율이 높을수록, 즉 습지필의 건조도가 낮을수록 우수하다.<sup>9)</sup> 이것은 습지필의 농도가 낮을수록 습지필을 구성하는 섬유유연성이 향상되어 밀접하게 접촉할 수 있으므로 섬유간 수소결합 형성이 촉진되기 때문이다. 또한 건조도가 낮은 습지필일수록 섬유간 자유수가 충분하므로 미세섬유와 피브릴이 활발히 유동하여 두 지필 사이의 결합이 촉진되어 층간 결합강도가 향상되는 효과도 있다.<sup>10)</sup> 이와는 달리 진공 탈수를 강하게 실시하여 습지필의 농도를 증가시키면 진공에 의해 와이어면 쪽으로 미세섬유가 이동하여 층간의 접착 강도가 저하되기도 한다.<sup>11)</sup>

하지만 층간접착용 전분을 분무한 경우에는 단순한 섬유간결합 이외에 분무된 전분에 의한 강도 증강 효과의 발현 정도에 따라서 그 결과가 크게 달라질 수 있다. Fig. 8에는 천연옥수수전분의 분무량에 따른 링크러쉬 강도 변화를 도시하였다. 전분이 분무되지 않은 경우에는 습지필의 건조도가 증가할수록 링크러쉬 강도가 저하되었다. 전분을 분무처리한 이겹지는 미분무한 경우보다 링크러쉬 강도가 크게 향상되었으며, 일반적으로 분무량이 증가됨에 따라 강도 향상효과가 크게 나타났

다. 무한 경우보다 링크러쉬 강도가 높게 나타나지 않았다. 특징적인 점은 2.0 g/m<sup>2</sup> 분무 처리한 경우에는 1.5 g/m<sup>2</sup> 분무한 경우와 비교하여 습지필의 건조도가 낮은 경우에는 링크러쉬 강도 향상효과가 더 높게 나타났으나, 습지필의 건조도가 10% 이상일 경우에는 상대적으로 낮은 강도향상 효과를 보였다

는 점이다. 분무된 전분은 압착처리 시 습지필 내에서 유동하는 수분과 함께 결합 면으로부터 와이어 쪽으로 이동한다. 습지필 건조도가 낮을 때에는 유동 수분이 많기 때문에 이러한 전분의 이동이 더욱 크게 발생한다. 이러한 이유로 습지필의 건조도가 10% 이하일 때, 즉 함유율이 90% 이상일 때는 수분 유동에 의해 수분과 함께 전분이 와이어면으로 이동하여 결합 면에서의 전분 농도가 저하된다. 이것이 습지필의 건조도가 낮은 경우 섬유간결합이 향상됨에도 불구하고 낮은 링크러쉬 강도를 나타낸 이유라 판단된다.

습지필의 건조도가 10-12% 이상으로 건조도가 높은 경우에도 건조도가 증가함에 따라 링크러쉬 강도가 저하되었다. 이 경우에는 압착처리 시 수분의 유동이 적어 분무된 전분이 결합면에 많이 잔류할 수 있으나 습지필의 건조도가 높은 관계로 전분의 호화가 충분히 발생되지 않아 링크러쉬 강도가 저하된 것으로 판단된다. 건조도가 높은 지필의 링크러쉬 강도의 저하 현상은 전분의 분무량이 적을수록 적게 감소되었는데 이 역시 잔

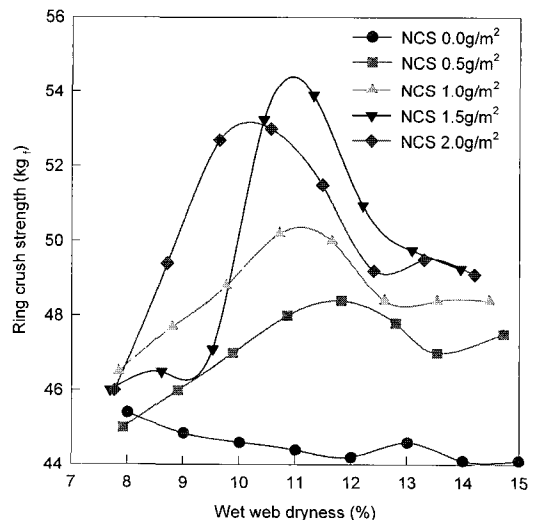


Fig. 8. The effect of wet web dryness on the ring crush strength of two-ply handsheets.



**Table 2. Ratio of starch covered area of paper surface versus amount of starch spraying**

Amount of starch sprayed (g/m <sup>2</sup> )	Coverage (%)
0.5	3.44
1.0	6.88
1.5	10.32
2.0	13.76

류 수분의 중요성을 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 최대 링크러쉬 강도를 나타내는 지필의 건조도는 전분의 분무량이 많을수록 더욱 낮아졌으며, 이 역시 전분의 접합력 발현에는 일정 비율 이상의 수분이 필요하다는 것을 반증하고 있다.

분무된 전분이 이접지의 층간에 한층으로 균일하게 존재한다고 가정하면 이접지 층간 결합면 중에서 전분으로 덮인 부분의 비를 계산할 수 있다. 이 실험에 사용된 천연 옥수수 전분의 입경은 Table 1에 나타난 바와 같이 13.32  $\mu\text{m}$ 였으며, 전분 입자의 밀도는 1.637 g/cm<sup>3</sup>였으므로, 전분입자를 완전한 구형이라고 가정한다면, 단위 면적당 전분 분무량으로부터 습지필 접합면 가운데 전분 입자로 덮여진 부분의 면적비를 계산할 수 있다. Table 2에는 이러한 가정을 기본으로 하여 계산한 습지필의 접합면 중 전분 입자로 덮인 부분의 비를 나타내었다.

Table 2에 나타난 커버리지는 전분이 전혀 팽윤되지 않은 상태를 가정하여 계산된 결과지만 실제적으로는 분무된 전분 입자는 건조부에서 가열됨에 따라 팽윤, 호화되므로 전분에 의한 커버리지는 급속히 증가하게 된다. 만약 층간에 분무된 전분이 건조부에서 5배의 크기로 팽윤된다면 전분으로 덮이게 되는 면적은 25배로 증가하게 되며, 따라서 분무수준 0.58 g/m<sup>2</sup>일 경우에도 전체 접합면이 전분으로 도포된다.

그러나 전분을 완전히 균일하게 분무할 수 없으며, 압착처리 시 전분의 유동으로 접합면에 전분이 한 층으로 분포하지 못할 뿐만 아니라, 접합면 자체도 평활하지 않은 필프 섬유로 구성된 요철을 지닌 표면이므로 전분으로 접합면 전체를 도포하기 위해서는 전분의 분무수준이 이론적인 요구량보다 높아야 한다.

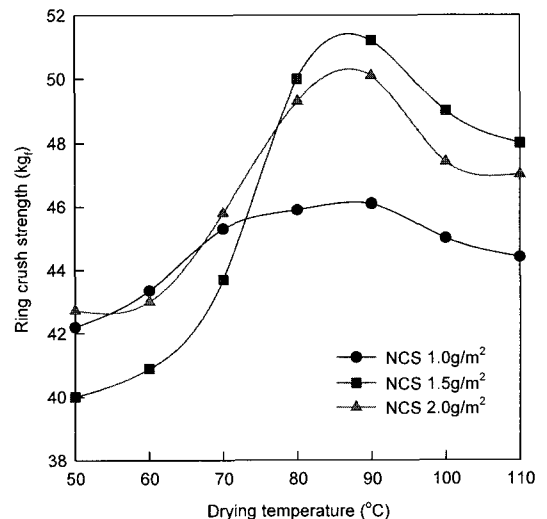
이러한 측면에서 전분 분무수준이 1.5 g/m<sup>2</sup>이면 습지필의 건조도가 8-10%로 낮은 경우 발생하는 전분의

유동에 의한 접합면에서의 전분량 감소가 완화될 수 있을 것으로 해석된다. 하지만 접합면에서의 전분량 증가가 곧 강도향상으로 연결되는 것은 아니다. 분무된 전분이 층간결합이나 링크러쉬 강도를 증가시키기 위해서는 전분의 호화가 충분히 발생할 수 있는 수분, 온도, 시간 등의 조건이 충족되어야만 한다.

### 3.3 건조온도가 링크러쉬 강도에 미치는 영향

지필 건조도 상승에 따른 층간 분무전분의 호화 불충분 현상을 파악하기 위해 건조온도에 따른 링크러쉬 강도 변이를 평가하였다 (Fig. 9).

건조도 10% 습지필에 전분을 1.0, 1.5 및 2.0 g/m<sup>2</sup>만큼 분무하고, 압착하여 습지필 건조도를 42.5% 수준으로 맞춘 다음 건조온도를 달리하여 조지한 합지의 링크러쉬 강도는 전분 분무수준에 관계없이 건조온도가 약 80°C까지 올라감에 따라 증가하다가 그 이상의 온도에서 감소하는 양상을 나타내었다. 특히 80°C 미만의 건조온도 조건에서 전분이 1.5-2.0 g/m<sup>2</sup> 분무된 합지의 강도는 건조온도가 증감함에 따라 급격히 상승하였는데 이는 전분이 완전히 호화되지는 못하였지만 충분한 시간 동안 팽윤되면서 접착효과를 발현시켰기 때문이라고 판단된다. 각 분무수준에서 최고 결합강도를 나타내는 80°C 이상 부근을 보면 전분 분무수준 1.5 g/m<sup>2</sup>의 링크러쉬 강도가 2.0 g/m<sup>2</sup>의 경우보다 높게 나타났다.



**Fig. 9. Ring crush strength of two-ply handsheets of various drying temperature.**

건조시간에 따른 습지필 농도 변이를 평가하기 위해 건조도 10%의 습지필에 전분을 2 g/m<sup>2</sup> 분무하고 압착하여 건조도를 42.5%가 되도록 한 다음 건조기로 도입된 합지의 건조도 증가 경향을 건조온도에 따라 조사한 결과 건조온도가 증가할수록 건조도 증가율이 커졌으며, 모든 건조온도에서 건조도 90%까지는 건조시간 증가에 따라 건조도가 직선적으로 증가하였다.<sup>9)</sup>

이러한 건조시간에 따른 습지필 농도 변화 추이는 습지필 내 잔존 수분의 변화 추이로 변환하여 나타낼 수 있다. 또한 이를 2차 회귀곡선으로 분석하여 습지필 내 수분 증발량에 대한 소요 건조시간을 나타내면 Fig. 10 과 같다. 여기에서 보는 것과 같이 건조온도가 80°C 이상으로 상승되면 전분 팽윤에 필요한 수분이 존재하는 시간이 크게 단축되므로 전분이 충분히 호화되지 못하여 링크러쉬 강도가 저하되었다고 판단된다.

분무된 전분의 호화에 영향을 주는 인자로서 수분 함량, 온도, 가열시간을 고려한다고 할 때 천연 옥수수 전분의 호화 개시온도 구간인 70°C 이상의 온도조건에서 충분한 수분을 가지고 오랜 시간 동안 습지필을 가열, 건조시킬 수만 있다면 전분의 완전한 팽윤, 호화를 위해 가장 바람직할 것이라고 판단된다. 그러나 건조온도가 높을 때에는 습지필에 포함된 수분이 가열되어 증발되는데 소요되는 시간이 짧기에, 분무된 전분이 팽윤에 필요한 수분을 공급받을 수 있는 시간이 감소하여 증

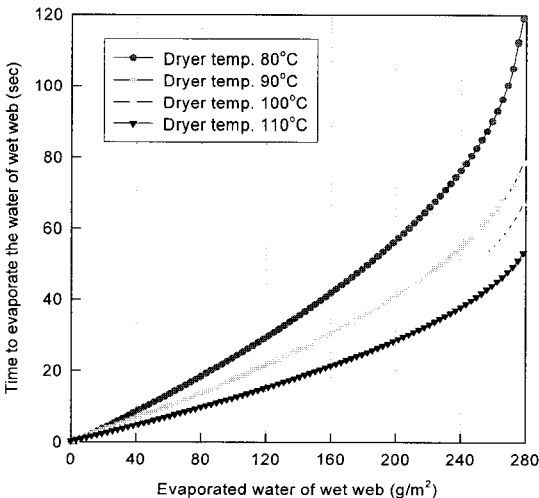


Fig. 10. The required drying time to evaporate the water of two-ply handsheets of various drying temperature.

분한 호화가 불가능하게 된다. 더욱이 이러한 경향은 전분 분무 수준이 높을수록 두드러지는데 전분 2.0 g/m<sup>2</sup>을 분무한 경우 1.0 g/m<sup>2</sup>을 분무한 경우보다 건조 온도 증가에 따른 링크러쉬 강도 저하가 2배 정도로 높아지는 결과를 초래하였다.

이처럼 전분 분무수준이 증가할수록 전분의 호화가 충분히 이루어지지 못한 이유는 호화에 필요한 수분의 공급이 뒷받침되지 못하기 때문이다. 따라서 전분 분무 수준을 증가시켜 높은 강도향상 효과를 얻고자 할 때에는 건조시간을 늘이거나 전분의 호화개시 온도를 낮추어서 호화에 소요되는 수분을 확보해야 할 것이라고 판단된다.

### 3.4 예열처리가 층간결합에 미치는 영향

Fig. 11은 건조도 11%의 습지필에 세 가지 종류의 전분을 1 g/m<sup>2</sup> 수준으로 분무하고 압착한 다음 건조부로 도입되기 전에 예열을 실시하고 이에 따른 합지의 층간 결합강도 변이를 나타낸 것이다. 압착, 예열 처리된 합지는 온도 100°C의 건조기에서 최종 건조되었다. 예열 처리는 100°C의 열풍을 합지 위에 가하면서 동시에 합지 아래면에 5 cm Hg의 감압처리를 실시하여 열풍이 합지를 통과하도록 유도하여 실시하였다.

예열처리를 3분씩 2회 처리한 결과 분무된 전분의

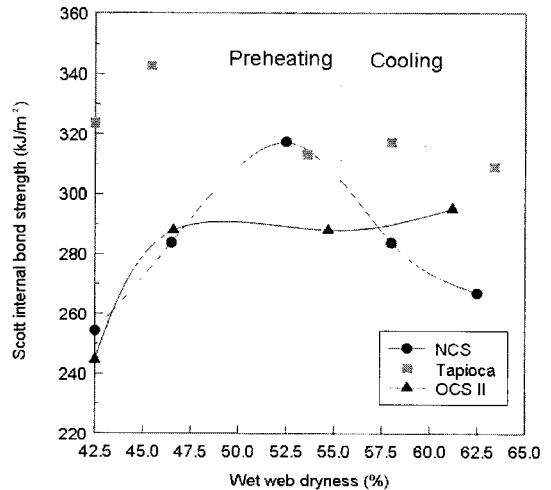


Fig. 11. The effects of wet web dryness by preheating and cooling on the Scott internal bond strength of three kinds of starches sprayed two-ply handsheets.

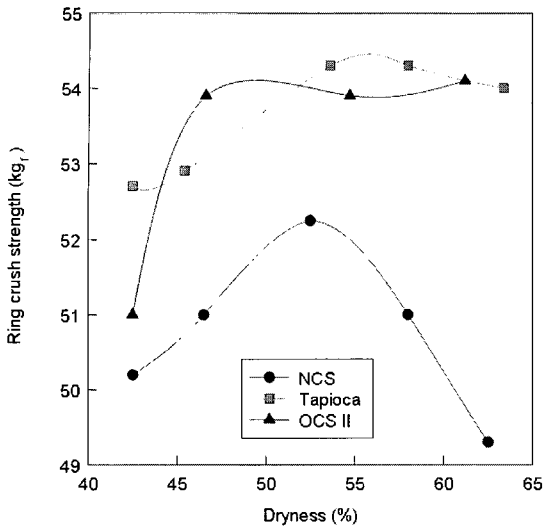


Fig. 12. The effects of wet web dryness by preheating and cooling on the ring crush strength of three kinds of starches sprayed two-ply handsheets.

종류에 따라 층간 결합강도 변이가 다르게 나타났다. 예열처리 전 층간 결합강도는 타피오카 전분을 분무한 종이가가장 강하였다. 이는 타피오카 전분이 호화개시 온도가 낮고 접착력이 우수하기 때문이다. 이에 비하여 호화개시온도가 높은 일반 옥수수 전분과 호화 온도는 낮으나 접착력이 약한 옥수수 산화 전분은 타피오카 전분을 분무한 경우보다  $78 \text{ kJ/m}^2$  이상 낮은 층간 결합강도를 나타내었다.

두 차례에 걸친 예열 처리에 의한 층간 결합강도 증가는 일반 옥수수 전분을 분무한 경우에 가장 두드러지게 나타났다. 이 경우 습지필 건조도는 압착처리 후의 42.5%였으나 6분간의 예열처리를 실시하면 52.5%로 10% 증가되었으며, 이에 따라  $63 \text{ kJ/m}^2$ 의 층간 결합강도 향상 효과가 나타났다. 천연 옥수수 전분은 건조부에서 산화 전분이나 타피오카 전분보다 입자의 팽윤이 저조하다. 습지필이 건조실린더에 접촉되어 건조될 경우 열전도가 급격히 일어나기 때문에 습지필 내의 전분 입자가 팽윤되는데 필요한 시간과 수분이 부족하게 된다. 만약 예열처리를 통해서 건조기로 도입되기 전에 습지필을 미리 가열한다면 습지필 건조도가 크게 높아지지 않은 상태에서 지필의 온도가 상승된 다음 건조가 시작되기 때문에 지필 내 수분이 충분한 상태에서 전분

의 팽윤, 호화가 촉진될 수 있을 것으로 판단된다. 한편 예열처리에 이어 합지 아래면에 감압처리만을 실시하는 냉각처리를 추가하여 습지필의 건조도를 10% 정도 증가시킨 후 건조한 결과 층간 결합강도가 감소하였다. 이는 건조부에서 습지필의 수분 함량이 저하되어 전분의 호화가 충분히 이루어지지 못했기 때문이라고 판단된다.

산화 전분은 천연 전분에 비하여 예열에 의한 강도향상 효과가 적었다. 예열 1단계에서는  $42 \text{ kJ/m}^2$ 의 층간 결합강도 증가를 보인 반면 2단계에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 예열처리 시 습지필 온도는  $57^\circ\text{C}$ 까지 상승되었다. 전술한 바와 같이 OCS II는  $50^\circ\text{C}$  이상으로 가열되면 입자의 팽윤과 호화가 일어나기 때문에 3분간의 예열만으로도 충분한 팽윤이 이루어졌다고 생각된다. 이러한 이유로 천연 옥수수 전분과 달리 산화 전분인 OCS II는 추후 예열 및 냉각처리로 인해 습지필의 건조도가 증가하여도 층간접착력에 별다른 영향을 받지 않았다.

타피오카는 전술한 두 가지 전분과 상이한 양상을 나타내었다. 타피오카 전분은 1단계 예열처리에 의해서 층간 결합강도가 약간 향상되었지만, 2단계 예열 처리로 인해 습지필 농도가 증가하여도 층간 결합강도는 감소되었다. 또 이후 냉각처리에 의해서도 큰 영향을 받지 않았다. 이는 타피오카 전분을 분무한 종이는 1차 예열처리 이후 2차 예열처리를 거친다 해도 더 이상의 전분 팽윤으로 인한 층간 결합강도 향상이 이루어지지 못하고 오히려 습지필 건조도 상승으로 인한 결합강도 저하가 일어남을 보여준다. 이는 산화전분의 경우 예열 1단계의 팽윤으로 호화가 상당 부분 진행되지만 타피오카 전분은 천연 옥수수 전분과 같이  $57^\circ\text{C}$  보다 높은 온도 구간에서 팽윤이 일어나기 때문이라고 생각된다.

Ring crush 강도를 나타낸 Fig. 12는 Fig. 11의 층간 결합강도와 유사한 경향을 나타내었다.

## 4. 결론

다겹지의 층간 접착강도를 개선하기 위해 이용되어 온 기존의 층간 전분 분무처리는 초기 속도가 증가함에 따라 층간접착력 증가 효과를 충분히 발휘하지 못하는 문제점이 나타나고 있다.

본 실험에서는 층간에 분무된 전분의 효과가 저하되는 원인을 분석하고 그 개선안을 찾기 위하여 실제 초지 조건과 유사한 초지 및 전분 분무장치를 고안하고 이를 이용하여 전분분무의 효과발현에 영향을 미치는 인자를 검토하였다. 침엽수 표백 크라프트 펄프를 공시 펄프로 하여 이접지를 구성하고 그 층간에 전분을 분무처리한 후, 분무 전분의 종류, 분무량, 습지필의 농도, 압착 및 건조 조건에 따른 층간접착력과 링크러쉬 강도의 변화양상을 검토하였다.

다층지의 층간접착력 개선을 위해서는 상용되는 전분 분무 처리를 진공 탈수 전에 실시할 경우 진공탈수 및 압착과정에서 전분의 유동현상이 발생하여 분무 효과를 감소시킬 수 있음이 밝혀졌다.

전분분무 시 습지필의 건조도와 전분 분무량에 따른 이접지의 링크러쉬 강도를 평가한 결과 습지필의 건조도가 10-11%인 경우 링크러쉬 강도가 최고치를 나타내었다. 습지필의 건조도가 낮은 경우에는 압착 시 나타나는 수분이동에 따른 전분의 유동에 의해 층간전분 농도가 저하되기 때문에 링크러쉬 강도가 감소되었다고 판단되었다. 전분 분무 수준을 증가시키면 이접지의 층간 결합강도는 지속적으로 증가되었으나 분무량이  $2.0 \text{ g/m}^2$  이상으로 높아진 경우에는 전분의 호화가 충분히 이루어지지 못하여 층간결합력이 오히려 감소되었다.

압착 후 열기에 의한 예열 처리를 실시한 경우 호화 개시온도가 높은 천연 옥수수 전분을 층간에 분무한 이접지가 호화개시온도가 낮은 산화전분과 타피오카 전분을 분무한 이접지보다 링크러쉬 강도가 크게 향상되었다.

## 인용문헌

1. Attwood, B. and Moore, G., An Introduction to the Theory and Practice of Multiply Forming : 1, Pira International (1995).
2. Müller, H., Advanced multi-layer and multi-ply sheet forming technology for paper, tissue and board grades, The 21st International Conference on Pulp and Papermaking Technology Proceedings, p. 41, Korea TAPPI, Seoul (1994).
3. Kershaw, T. N., "Sheet Formation and Drying," in Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology Vol. 2, Ed. Casey, J. P. : John Wiley & Sons, New York (1980).
4. Unkila, K., Valmet multiply board machine concepts, Journal of Korea TAPPI 28(3) : 74 (1996).
5. Barton, D.A., Stuart, P.R., Lagace, P. and Miner, R., Experience with water system closure at recycled paperboard mills, Tappi Journal 79(3) : 191 (1996).
6. Linhart, F., Auhorn, W. J., Degen, H. J. and Lorz, R., Anionic trash "Controlling detrimental substances", Tappi Journal 70(10): 79 (1987).
7. Glittenberg, D., Cationic starches in systems with high levels of anionic trash, Paper Technology 35 (9) :18 (1994).
8. Davies, B., Starch spraying, Paper Technology and Industry 18 (7) : 186 (1977).
9. Ryu, J. Y., and Lee, H. L., Improvement of plybond strength of two-ply sheets by spraying of starch blends, Tappi J. 6(5):1 (2007).
10. Smook, G A, Handbook for Pulp & Paper Technologist : Angus Wilde Publication, Vancouver (1992).
11. Biliaderis, C. G., Structures and phase transitions of starch in food systems, Food Technology (6) : 98 (1992).