

삼성분 전분혼합에 의한 이접지의 층간결합강도 개선

류정용*¹ · 이학래[†]

(2007년 7월 14일 접수: 2007년 10월 26일 채택)

The Effects of Blending Starches on the Development of Plybond Strength of Two-ply Linerboard

Jeong Yong Ryu*¹ and Hak Lae Lee[†]

(Received July 14, 2007; Accepted October 26, 2007)

ABSTRACT

The effects of blending starches with different gelatinization temperatures on the development of plybond strength were systematically investigated using a three component mixture design technique. Oxidized corn starches with different gelatinization temperatures were blended with natural corn starch and sprayed for plybonding. Optimum blend ratio for maximizing plybond strength improvement for the starch blends was 40% of natural starch, 27% of oxidized starch with low gelatinization temperature and 33% of oxidized starch with high gelatinization temperature. Starch granules with the lowest gelatinization temperature gelatinizes at the lowest temperature, while the natural corn starch gelatinizes at later stage of drying. The improvement of plybond strength with starch blends were verified on machine trial as well. Plybond strength improvement obtained from the machine trial was lower than that achievable with handsheets, which was attributed to the lower internal bond strength of the linerboards made from recycled fibers.

Keywords : *blending, starch, three component mixture design, plybond, linerboard*

1. 서 론

판지는 주로 고지를 주원료로 이용하여 다접 초지된

다. 이는 다층초지기술을 적용할 경우 고품량지의 생산
이 가능하고 저급 원료를 효율적으로 이용하여 생산비
용을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 물성 개선 및 새로운 기능

• 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: lhakl@snu.ac.kr

의 부여가 가능하기 때문이다.^{1,2)} 하지만 다층지는 층간 결합력이 단층지에 비해 약하다는 구조적인 문제점을 지니고 있다. 이러한 다층지의 층간 접착력과 관련된 문제점을 개선하기 위해 미호화된 생전분을 분무하는 방법이 널리 사용되고 있다.

전분의 층간 분무에 의한 판지의 층간 접착력 향상 방안은 분무된 전분이 습지필에 의해 여과, 정착되기 때문에 내침처리보다 지필 내 잔류 특성이 높은 이점이 있다. 또한 전분의 분무조건을 달리함으로써 전분의 분포를 용이하게 조절할 수 있는 장점도 있다. 하지만 이처럼 많은 장점을 지닌 분무처리법에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

전보에서 층간에 분무된 전분의 효과를 향상시키기 위하여 실제 초지 조건과 유사한 초지 및 전분 분무장치를 고안하고 이를 이용하여 전분분무의 효과발현에 영향을 미치는 인자를 검토하였다. 그 결과 습지필의 건조도가 10-11%인 경우 전분 분무에 의한 강도 향상효과가 최고치를 나타내었다.^{3,4)} 이는 습지필의 건조도가 낮은 경우에는 압착 시 나타나는 수분이동에 따른 전분의 유동에 의해 층간전분농도가 저하되고, 습지필의 건조도가 높거나 전분 분무 수준을 과도하게 증가시키면 전분의 호화가 충분히 이루어지지 못하여 층간결합력이 오히려 감소되기 때문이다.^{3,4)}

이들 연구를 통하여 전분에 의한 층간결합력 향상 효과를 극대화하기 위해서는 압착 및 건조조건 뿐 아니라 겔화온도가 다른 전분의 혼합 사용 방안이 매우 유용한 방법임을 알 수 있었다. 하지만 이러한 결과는 실험실적으로 얻어진 것이며, 대개 2 종류의 전분 혼합물을 사용함으로써 얻어지는 효과를 평가하였다는 한계를 지니고 있었다. 하지만 호화온도가 다른 3 종류의 전분을 이용한다면 더욱 효과적인 층간결합효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 이성분 전분의 분무가 갖는 한계를 극복하기 위해서 생전분과 호화온도가 다른 두 종류의 산화전분의 세 종류의 전분 조합에 따른 층간접착력의 변화 현상을 조사하고 그 결과를 삼성분 디자인에 의해 분석하였다. 또 연구결과의 현장 적용 가능성을 평가하기 위해서 국산 고지를 이용하여 라이너지를 고속 생산하고 있는 초지기에서의 실제 현장시험을 통하여 전분 혼합에 따른 층간접착강도 향상 효과를 검증하였다.

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. 공시 펄프를 실험실용 Valley beater로 여수도 320 mL CSF가 되도록 고해하고, 탈수시킨 후 105°C의 건조기에서 건조하고 다시 같은 여수도가 되도록 해리, 고해하여 실제 초지 실험에 사용하였다.

2.1.2 전분

층간 분무처리용 전분으로는 천연 옥수수전분과 산화수준이 다른 두 가지 옥수수 산화전분 및 타피오카 전분을 사용하였다. 이들 전분의 물성은 전보에 상세히 기술되었다.⁴⁾

2.2 실험방법

2.2.1 수초지를 이용한 실험실적 연구

준비된 펄프를 전보⁴⁾에 기술한 수초지기를 이용하여 크기 25×25 cm², 평량 100 g/m²이 되도록 초지하였다. 이후 진공탈수하여 습지필의 건조도를 조절하였다. 사각 수초지기 위에 형성된 습지필 상에 전분 슬러리를 분무하였다. 초지된 평량 100 g/m²의 습지필 두 장을 와이어가 이면에 있는 상태에서 표면이 서로 마주하도록 겹친 다음 실험실용 평판압착기를 이용하여 6.3 kg/cm²의 압력에서 5분간 압착하였다. 압착된 습지필의 건조도는 압착전 건조도와 관계없이 42.5%로 항상 일정하게 유지되었다. 압착이 끝난 지필은 실린더 건조기를 이용하여 건조하였다.

2.2.2 삼성분 디자인을 통한 전분 혼합비 결정

습지필 내 전분의 단계적 호화를 유도하고 이에 따른 층간결합력 증가 효과를 파악하기 위해서 생전분과 산화 정도가 다른 두 가지 산화 전분을 혼합하여 시험하였다. 세 종류 전분 혼합에 따른 종이의 물성변화는 공식 [1]에 나타난 Scheffe의 분석법을 이용하여 평가하였다.^{5,6)} 이를 위해서 먼저 Table 1에 나타난 10종류 전분 혼합 슬러리의 분무에 따른 이겹지의 층간결합강도를

Table 1. Composition of blends for three-component simplex design

Blend No	Fraction of component, X_i			Response Y
	X_1	X_2	X_3	
	NCS	OCS I	OCS II	
1	1	0	0	Y_1
2	0	1	0	Y_2
3	0	0	1	Y_3
4	1/2	1/2	0	Y_{12}
5	1/2	0	1/2	Y_{13}
6	0	1/2	1/2	Y_{23}
7	1/3	1/3	1/3	Y_{123}
8	2/3	1/6	1/6	Y_{1123}
9	1/6	2/3	1/6	Y_{1223}
10	1/6	1/6	2/3	Y_{1233}

측정하고, 이 가운데 7가지, 즉 No. 1-7의 측정치를 식 [1]에 대입하여 세 가지 전분의 분율에 따른 층간 결합 강도 계산에 필요한 계수 b_1 - b_7 을 구하였다. 이러한 방법으로 얻어진 공식 [1]의 계수를 이용하여 임의 혼합 상태에서의 층간결합강도를 계산하고 그 결과를 삼각 좌표상에 등고선으로 도시하였다. 또 직접 측정한 3가지 전분 혼합물의 조성에 따른 층간접착강도치인 No. 8-10의 측정치와 계산치를 비교하여 본 분석법의 신뢰성을 평가하였다. Fig. 1에는 실험에 사용된 10 종류 전분 혼합물의 삼각선도 내 위치를 나타내었다.

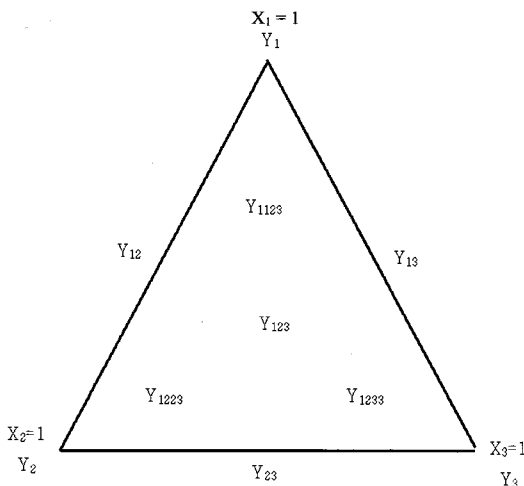


Fig. 1. Position of components blends of three-component mixture design.

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3 \dots\dots\dots [1]$$

$$b_1 = Y_1$$

$$b_2 = Y_2$$

$$b_3 = Y_3$$

$$b_4 = 4Y_{12} - 2(Y_1+Y_2)$$

$$b_5 = 4Y_{13} - 2(Y_1+Y_3)$$

$$b_6 = 4Y_{23} - 2(Y_2+Y_3)$$

$$b_7 = 27Y_{123} - 12(Y_{12}+Y_{13}+Y_{23}) + 3(Y_1+Y_2+Y_3)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

2.2.3 현장 평가 시의 초지조건

수초지 제조 시에는 압착탈수 압력이 6 kg/cm²에 불과하지만 고속으로 운전되는 초지기에서 지필은 순간적으로 350 kg/cm 정도의 선압에 의해 압착 탈수되며, 건조부에서도 급속 건조되는 등 매우 가혹한 초지조건을 거친다. 이와 같은 급속 압착탈수에 의해 실제 공정에서는 지필 내 수분이 급격히 이동하게 되며, 이에 따라 층간에 분무된 전분 입자의 종이 두께 방향 유동이 발생한다. 또 건조부에서의 급속 건조에 의한 건조시간 단축은 분무된 전분이 충분히 호화되지 못하는 조건이 될 수 있다.^{3,4)} 실제 초지조건에서 발생하는 층간분무 전분의 유동과 건조과정에서의 수분과 팽윤시간 부족 등에 따라서 실제 전분 혼합물의 층간접착강도 개선 효과가 어떻게 변화하는지를 검증하기 위하여 실제 초지기에서 시험 생산을 실시하였다.

시험생산은 라이너지 제조업체인 동일제지(주)에

Table 2. Running conditions of linerboard machine

Operating parameters		Conditions
Machine type		Two -ply top former
Machine speed		500 m/min
Machine width		4000 mm
Basis weight	Top ply	40 g/m ²
	Bottom ply	150 g/m ²
Raw material		KOCC 100%
Freeness	Top	150 mL CSF
	Bottom	250 mL CSF
Wet web dryness	Top	8.5 %
	Bottom	10 %
Press configuration		3P + LNP
Wet web dryness after press		50 %

서 실시되었으며 초지조건은 Table 2와 같았다. 시험 생산에 사용된 초지기는 두 층의 습지를 초지한 후 합지시키는 탑 포머(top former)였다. 시산 지중은 국산 고지를 주원료로한 총평량 190 g/m²의 라이너지로서 평량 40 g/m²인 표면층과 평량 150 g/m²인 이면층의 두 층으로 구성되었다. 초지속도는 500 m/min였으며, 헤드박스 지료의 여수도는 표면과 이면이 각각 150 mL CSF와 250 mL CSF로 수초지 조건보다 낮았다. 합지되는 표면층과 이면층 습지필 농도는 각각 8.5%와 10.0%였다. 표면은 갈색염료로 염색되어 층간결합강도 측정 시 층간파괴 유무를 관찰할 수 있었다.

합지된 습지필은 프레스 nip을 3회 통과한 후 롱립 프레스를 통과하여 습지필 농도가 50%인 상태로 건조부으로 도입되었다.

2.2.4 시산 분무처리 조건

실제 초지기에서의 전분 분무실험은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 탱크에 저장된 전분 슬러리를 압축공기를 이용하여 노즐로 이송하고, 표층과 이면층이 합지되기 직전에 분무하여 실시하였다. 진공탈수에 따른 전분 입

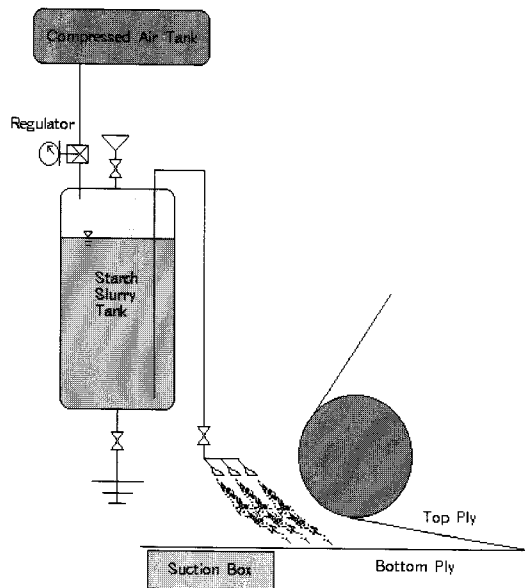


Fig. 2. A schematic drawing of the starch spraying for linerboard machine.

자의 유동을 최소화하기 위해 분무위치로 진공탈수가 행해진 이후 위치를 선정하였다. 분무처리는 노즐 3개가 설치된 소형 분무기를 이용하였으며 노즐에서 분무되는 슬러리가 서로 겹치도록 노즐 간격을 조절하였다. 시산 시의 분무처리 조건은 Fig. 3과 Table 3에 나타내었다.

실제 초지기에서의 분무처리 조건은 수초지 시와 노즐의 종류, 분무 방법, 분무 농도 등이 달랐다. 본 시산 평가가 실시된 초지기는 운전 속도가 빨랐기 때문에 전분 슬러리의 분무 위치로 선정된 두 와이어의 합지점 직전 부분에서는 와이어 구동에 따른 공기 유동이 강하게 발생되었다. 따라서 수초지 시 분무조건과 같은 air mist형의 분무노즐을 적용하는 것은 부적합하였다. 또 고속초지 시에는 결로현상이나 비산작용에 의해 초지기의 오염이 발생할 수 있으므로 분무액의 입자 크기를 조절해야만 한다.⁷⁾ 이러한 점들을 고려하여 시산 시에는 Everloy사의 cat's eye형 노즐인 KSH 0465를 이용

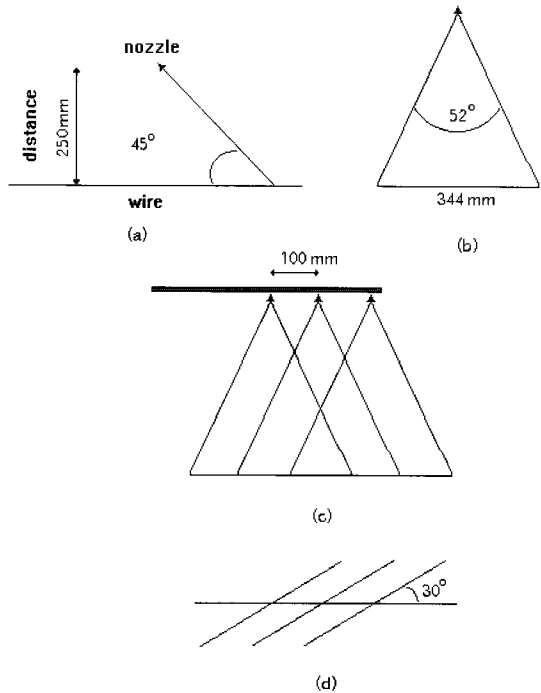


Fig. 3. A schematic drawing for spray condition and pattern applied to the paper machine.
 (a) : Spray angle (b) : Spray width
 (c) : Nozzle pitch (d) : Spray overlapping

Table 3. Spray conditions of linerboard machine

Item	Condition
Nozzle type	Everloy cat's eye KSH 0465
Nozzle number	3
Nozzle pitch	100 mm
Nozzle orifice diameter	1.3 mm
Nozzle height from the wire	250 mm
Nozzle angle to the wire	45°
Spraying pressure	1.5 kgf/cm ²
Spray angle	52°
Spray width	500 mm
Spraying starch consistency	4.2 %
Spray starch amount	2 g/m ² , 7 kg/min.

하여 압축공기가 노즐로 공급되지 않은 상태에서 전분 슬러리를 분무하였다. KSH 0465는 노즐은 오리피스 직경이 1.3 mm인 것으로 분무압 1.5 kgf/cm²로 분무될 때 Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같이 분무각도가 52°를 나타내었다. 지필과 노즐 사이의 거리는 250 mm로 유지하였으며 Fig. 3(a)에 나타낸 것과 같이 지필에 대해 45°를 유지하면서 전분 슬러리를 분무하였다. 세 개의 노즐 사이의 간격은 100 mm이 되도록 하였으며, 3개의 노즐에 의한 분무 폭은 50 cm이었다 (Fig. 3(c)). 하지만 전체 분무 폭 50 cm 가운데 양단의 10 cm 범위에서는 분무된 전분이 서로 겹쳐지지 않았기 때문에 분무 전분의 양이 적게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 분무된 부분의 지필 양단의 10 cm를 제외하고 가운데 부분의 폭 30 cm를 취하여 강도시험을 실시하였다. Fig. 3(d)는 지필의 수직방향에서 본 분무 파이프의 방향과 분무 전분의 각도를 나타내었다. 여기서 보는 것과 같이 분무된 전분 슬러리는 지필의 폭방향에 대해 30°의 각도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 삼성분 전분 혼합에 의한 수초지의 층간 결합강도 변화

두 가지 전분의 혼합 분무처리 결과 호화온도가 다른 두 종류의 전분을 활용할 경우 층간 결합강도를 크게 향상시킬 수 있음이 밝혀졌다.^{3,4)} 하지만 이러한 층간접

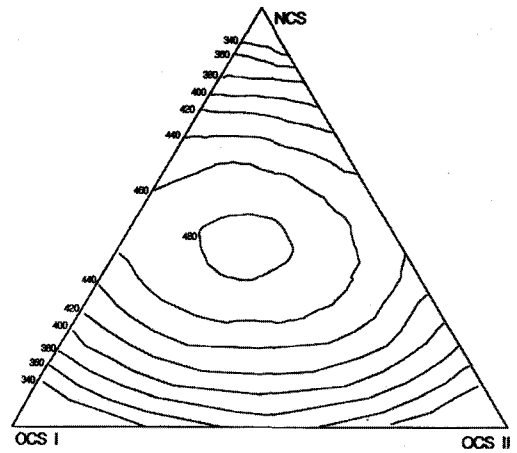


Fig. 4. Contour plot for the Scott internal bond strength of two-ply handsheets sprayed 2.0 g/m² of starch blends.

착력 개선 효과는 호화온도가 다른 세 종류의 전분을 혼합하면 더욱 호화온도 범위를 확대할 수 있기 때문에 더욱 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

두 가지 전분을 혼합하여 층간 접착 강도를 높이고자 할 때 최적 혼합비를 구하는 것은 평면좌표를 이용하여 분석, 추정할 수 있으나 세 가지 이상의 전분이 혼합될 때에는 너무 많은 경우의 수를 고려해야 하는 문제점이 있으므로 본 실험에서는 Scheffe의 종속변수 변화 분석법을 이용하였다.

먼저 건조도 10%의 습지필에 분무 수준 2.0 g/m²로 세 가지 전분을 혼합분무하고 농도 42.5%로 압착 합지한 후 100°C로 건조한 종이의 층간 결합강도를 등고선으로 도시한 삼각선도를 Fig. 4에 나타내었다.

여기에서 볼 수 있듯이 삼각형의 중심으로 갈수록 층간 결합강도가 증가하였는데 특히 혼합비 NCS : OCS I : OCS II = 6 : 5 : 4에서 최고 결합강도인 484.8 kJ/m²였다. 이때 종이 지파율은 100%였다. 종이 자체의 내부결합강도가 472.8 kJ/m²임을 감안할 때 본 삼각선도에도 시된 결과보다 실제 전분에 의한 층간 접착력은 더 높은 값일 것이라고 판단되었다.

전분 분무수준 1.5 g/m²의 합지 결합강도를 도시한 Fig. 5를 보면 2 g/m²를 분무한 경우보다 낮은 강도를 나타내었다.

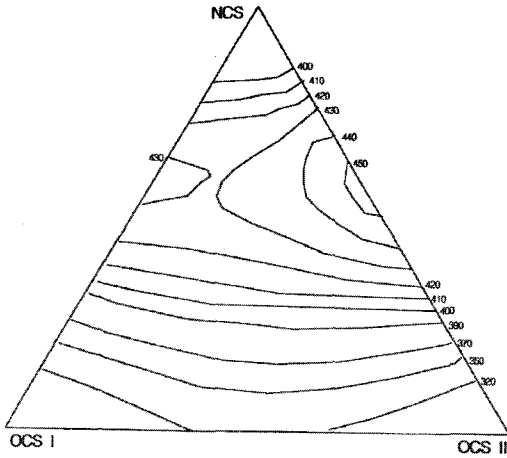


Fig. 5. Contour plot for the Scott internal bond strength of two-ply handsheets sprayed 1.5g/m² of starch blends.

3.2 현장 시험생산 결과

Fig. 6은 500 m/min의 속도로 라이너지(190 g/m²)를 생산하는 Top former에 전술한 세 가지 전분을 혼합분무하고 그 층간 결합강도를 분석한 삼각선도이다.

층간 결합강도는 삼각형의 안쪽에서 최고치를 나타내었으며 NCS : OCS I : OCS II의 비가 17 : 6 : 7일 때 가장 높은 층간 결합강도를 나타내었다.

현장 시험생산에서는 전분을 분무하지 않은 합지의 층간결합강도가 231.17 kJ/m²로 높고 Scott 내부결합강도 측정기로 떼어낸 면의 지파율이 90% 이상일 만큼 Bottom면의 종이 자체 내부결합강도가 약하였기 때문에 수초지 결과에서와 같은 강도 향상 효과를 보기 어려웠다.

전술한 바와 같이 시산된 라이너지는 주원료로 KOCC를 100% 사용한 지종이었다. KOCC는 여러 차례 재활용된 이유로 보수도가 낮고 섬유간 결합력이 약한 특징이 있다. 따라서 종이 자체의 내부결합강도는 저하된다.

현장의 합지조건은 습지필 농도 10%의 Bottom면에 분무처리를 실시하고 8.5% 농도의 Top면을 겹치는 것이었다. 이처럼 Top면의 습지필 농도가 수초지 조건보다 낮은 것은 층간 접착력을 향상시킨 요인이라고 판단된다. 또한 3 닢을 거친 뒤 long nip press를 통과하는 현

장의 압착 처리는 수초지 조건보다 층간 접착력 개선에 유리했다고 판단된다. 헤드박스 지료의 여수도는 톱과 바팀이 각각 150, 250 mL CSF로 수초지 조건보다 낮았다. 이는 층간 접착력의 주요소인 헤드박스의 미세분 함량이 수초지 지료의 경우보다 15% 이상 많은 것이다. 이상의 사항들을 감안할 때 각질화된 섬유로 구성된 라이너지의 내부결합강도는 약하지만 두 층간의 결합강도는 상대적으로 높다고 판단된다. 이와 아울러 Willner가 보고한 바와 같이 압착부의 LNP(long nip press)가 습지의 건조도 조절은 물론 층간접착 강도 등의 강도적 성질도 개선시켰다고 판단된다.⁸⁾

따라서 본 시험 생산에서는 종이 자체 결합강도가 낮고 층간 결합강도가 강한 이유로 수초지와 달리 전분 혼합분무 처리에 따른 층간 결합강도 향상 효과를 거둘 수 없었다고 판단된다.

최근 포장의 경량화 추세에 따라 기존의 제품 포장에 이용되던 이중양면골판지(double wall corrugated board)가 양면골판지(double faced corrugated board)로 대체되고 있다. 양면 골판지의 주원료는 압축강도를 향상시킨 강화 골심지로서 앞으로 수요가 증대될 것으로 기대되므로 그 국산화가 시급하다고 판단된다.⁷⁾

이를 지력증강제의 내침으로 얻으려 하면 골심지의 흡습성 저하로 골판지의 접합이 어렵고 작업 속도가 저하되는 문제점이 있다.⁹⁾ 그러나 원지의 주원료를 개선

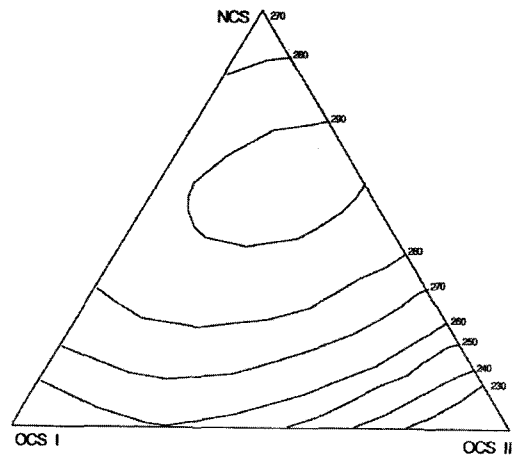


Fig. 6. Contour plot for the Scott internal bond strength of two-ply linerboards sprayed 2.0 g/m² of starch blends.

하여 기존에 생산하고 있는 제품과 다른 강화 지종을 생산한다면 전분 혼합 분무처리를 효과적으로 적용할 수 있다고 판단되었다.

4. 결 론

다겹지의 층간 접착강도를 개선하기 위해 이용되어 온 기존의 층간 전분 분무처리는 초지 속도가 증가함에 따라 층간접착력 증가 효과를 충분히 발휘하지 못하는 문제점이 나타나고 있으며, 이를 극복하기 위해서는 호화온도가 다른 전분을 혼합 사용하는 것이 좋은 대안으로 제시된 바 있다.

본 실험에서는 분무 전분의 층간접착력 향상에는 지필 내의 수분을 유지시키면서 지필을 가열시키는 것이 필수적이므로, 건조과정에서 지필이 가열됨에 따라 발생하는 습지필의 온도 상승에 의해 순차적으로 전분이 호화될 수 있도록 호화개시온도가 다른 천연 옥수수 전분과 두 종류의 산화전분의 세 종류 전분 혼합물을 분무하는 방안을 검토하였다. 이러한 삼성분 전분 혼합물의 사용에 의해 이겹지의 층간접착력을 크게 증가시킬 수 있었으며, 최대 효과는 천연옥수수 전분을 40%, 호화개시온도가 낮은 산화전분을 27%, 또 다른 산화전분을 33% 혼합 분무한 경우 얻을 수 있었다.

수초지 실험을 통하여 얻어진 결과를 라이너지를 생산하는 초지기 상에서 재평가한 결과 삼성분 전분 혼합에 따른 종이의 내부결합력 증가 효과가 같게 나타남을 확인하여 전분 혼합분무 처리 방법이 고속 초지 시에도 활용될 수 있음을 보였다. 하지만 국산 고지만을 원료로 하여 생산된 라이너지 자체의 내부결합강도가 너무 낮았기 때문에 침엽수 화학 크라프트 펄프를 사용하여

얻어진 이겹지의 내부결합력과 같은 효과를 보지는 못하였다.

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 Pulping and Papermaking Technology Proceedings, p. 41, Korea TAPPI, Seoul (1994).
3. 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).
4. 류정용, 이학래, 전분분무를 통한 다층지의 물성개선, 펄프종이기술
5. Cutrone, L. Computer Techniques in "Principles of Paint Formulation," Ed. Woodbridge, R., p. 110, Blackie & Son Ltd., London (1991).
6. 이학래, 강희철, 남춘래, 윤재한, 김영하, 도공액의 최적화와 고속 도공용 라텍스, 펄프종이기술 25(4) : 73 (1993).
7. 佐藤潔, 新規層間スプレ-用紙力劑について, 紙パルプ技術協會 1996 年次大會 Proceeding B-14 : 331 (1996).
8. Willner, T., Multi-fourdrinier machines for manufacturing containerboard, The 12th International Seminar on Pulping and Papermaking Technology Proceedings, p. 13, Korea TAPPI, Seoul (1989).
9. 김순철, 골판紙製造 新技術-접착제-, 골판지포장·물류 2(12) : 83 (1996).