

목재 단판-대나무 제피 복합보드 제조: II. 복합보드의 성능에 미치는 제조조건의 영향*1

노 정 관*2†

Manufacture of Wood Veneer-Bamboo Zephyr Composite Board: II. Effect of Manufacturing Conditions on Properties of Composite Board*1

Jeang Kwan Roh*2†

요 약

생장 기간이 매우 빠르고 섬유방향의 강도적 성질이 우수한 대나무를 합판의 원료로 이용하기 위하여 케루잉 단판-숨대 zephyr 복합 패널(WBCB)의 제조 조건(수지 접착제의 종류, 도포량, 도포방법)이 패널의 성능에 미치는 영향을 검토하였다. 수지의 종류에 따른 5-ply WBCB의 성능은 폴리메릭 이소시아네이트수지(PMDI)가 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 이어 페놀수지(PF), 페놀·멜라민수지, 요소·멜라민수지 및 요소수지의 순이었다. 사용한 수지 중 강도적 측면과 작업성을 고려할 때 PF 수지에 의한 복합 패널 제조가 가장 적절한 것으로 생각된다. PF수지를 사용하여 제조한 12 mm 두께의 5-ply WBCB의 경우, 수지의 도포량이 증가하면 패널의 성능도 향상되는 경향이었다. 또한 박리강도 측정 후의 파괴양상은 도포량이 증가함에 따라 대나무 외층-대나무 내층 경계층의 파괴가 증가한 데 반하여 대나무 제피 내부층의 파괴는 상대적으로 감소하였다. 따라서 WBCB 제조 시 수지가 다소 zephyr 내부까지 침투할 정도의 수지 도포량이 적절할 것으로 생각되며, 표면 단판의 오염 성과 경제성 등을 고려할 때 320 g/m²이 가장 적합한 것으로 판단된다. 동일한 PF수지 도포량에서 수지의 도포 방법을 달리하여 제조한 5-ply 복합 패널의 성능은 양면과 편면 스프레이 도포 간과 스프레이와 롤러에 의한 도포방법 간에 현저한 차이가 나타나지 않아 주어진 환경에서 작업성이 좋은 도포방법을 채택하면 될 것으로 생각된다.

* 1 접수 2007년 10월 1일, 채택 2007년 10월 29일

본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음.

* 2 진주산업대학교 인테리어재료공학과, Department of Interior Materials Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

† 주저자(corresponding author) : 노정관(e-mail: arohjk@jinju.ac.kr)

ABSTRACT

This research was performed to investigate the feasibility of bamboo as a raw material for the manufacture of plywood. Wood veneer-bamboo zephyr composite boards (WBCB) were manufactured using keruing (*Dipterocarpus sp.*) veneers and hachiku bamboo (*Phyllostachys nigra var. benonis* Stapf) using various adhesives, and the effect of the method and amount of resin spread on the mechanical properties of the composites were investigated. The WBCB manufactured using polymeric isocyanate (PMDI) showed the best mechanical properties, followed by phenol-formaldehyde resin (PF), phenol-melamine-formaldehyde resin, urea-melamine-formaldehyde resin, and urea-formaldehyde resin. However, considering the operation feasibility as well as mechanical properties, PF resin proved to be the appropriate adhesive for the practical purpose. As the amount of resin spread increased, the mechanical properties of 5-ply WBCB with 12 mm thicknesses manufactured using PF resin tended to increase, and more failure occurred at the interface between veneer and bamboo zephyr than at the interface among bamboo zephyrs. This result suggests that penetration of resin into bamboo zephyr could be the important factor. In this research, the appropriate amount of resin amount was 320 g/m². 5-ply WBCBs were manufactured using various methods of resin spread but the effect of the methods on the mechanical properties showed no little difference, which meant that the method of resin spread could be chosen considering the manufacturing conditions and operation feasibility.

Keywords: wood veneer, bamboo zephyr, composite board, Hachiku bamboo, manufacturing conditions, mechanical properties

1. 서 론

최근 바이오매스 자원의 효율적 이용에 관해 전세계적으로 관심이 높아지고 있다. 그 중 가장 많이 생산되고 있는 최대의 바이오매스 자원인 목재는 매년 막대한 양이 이용되고 있고 그 중 절반 정도가 각종 건축재료나 가구 등의 제조에 사용되고 있으며, 그 양은 매년 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 양질의 목재는 점점 감소하여 입수하기가 곤란해짐에 따라 각종 목질 패널 업계가 해결해야 할 가장 큰 문제 중의 하나가 원료의 확보이다. 따라서 세계적으로 이들 목재를 대체할 수 있는 원료 및 가공기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있으며, 그 대체 원료로 주목받고 있는 것 중의 하나가 대나무이다.

대나무는 목재에 비해 생장이 매우 빠르며, 섬유 방향의 강도가 강하기 때문에 동남아시아나 미국 등

지에서는 대나무를 각종 목질재료의 대체 원료로 이용하려는 연구가 활발히 수행되고 있다. 대나무를 이용한 재료로는 파이버보드(Chen *et al.*, 1989), 스트랜드보드(Lee *et al.*, 1996; 이 등, 2000; Nugroho *et al.*, 2000, 2001; 정 등, 2003; 김 등, 2003), 합판(Zhang, 1992) 및 대나무재와 목재 또는 각종 무기물의 복합판상재(Ma *et al.*, 1997; Lu, 1992)와 같은 패널의 개발이 시도되고 있다.

대나무를 목질 패널 원료로 이용하기 위해서는 우선 원통형의 대나무를 패널 제조에 적합한 형상으로 전환하는 것이 필요하며, 그 중 주목받고 있는 것이 대나무의 제퍼화 기술이다. 제퍼는 섬유질 재료를 시트상의 얇은 그물과 같은 구조로 만드는 것으로 여러 개의 물러장치 사이로 재료를 통과시켜 그물상의 섬유속이 얻어질 때까지 분쇄한 형상의 재료이다(Hutchings *et al.*, 1998; 木方 등, 1989). 그러나, 제퍼화 시 목재는 활렬성이 낮고 섬유가 잘 끊어져

떨어지기 때문에 그물상의 섬유속 시트를 형성시키는 것이 어렵다. 이에 반하여, 죽재는 축방향으로 섬유속이 길게 연결되어 있어 섬유방향의 강도가 높고 섬유간의 할렬이 쉽게 이루어져 목재보다 제퍼화에 유리하다고 하였다(Nugroho *et al.*, 2000).

그러나, 대나무 제퍼만에 의해 패널을 제조할 경우 표면의 성상이 양호하지 못하여 본 연구에서는 목질단판-대나무 제퍼 복합 패널(WBCB)을 제조하였다. 전보에서 죽종과 죽령별 제퍼화 특성과 복합보드의 성능에 대하여 검토한 결과 죽종에 따른 기계적 성능에는 크게 차이가 없었으며, 죽령이 높아질수록 성능은 다소 우수하였다(Roh *et al.*, 2004). 또한 페놀수지로 제조한 복합보드의 성능에 영향을 주는 함수율과 밀도에 대하여 검토한 결과 함수율이 낮아지고 밀도가 높아질수록 성능은 우수하였다. 본보에서는 단판-대나무 제퍼 복합 패널의 제조에 영향을 주는 접착조건(접착제의 종류, 도포방법, 도포량)에 관하여 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

공시재료는 직경 약 6~10 cm급 숲대(*Phyllostachys nigra* var. *henosos* Stapf)를 벌죽하여 사용하였다. 대나무는 벌죽 직후 길이 1 m 간격으로 절단하였으며, 생체 상태로 제퍼화하기 위하여 절단 직

후 비닐로 sealing하였다. 제퍼화 시 죽재의 생체 함수율은 80~100%였다. 분할된 각 시편들은 최종물리 간격 1.5 mm에 통과할 때까지 제퍼화하여 건조하였다. 대나무 제퍼의 최종 함수율은 7.8%였다. WBCB의 표판과 이판에 사용된 케루잉(*Dipterocarpus sp.*) 단판은 두께 1.6 mm, 함수율은 5.7%였다.

2.2. 공시 수지 접착제

복합 패널 제조에 적합한 접착제 선정을 위하여 주요 목재용 수지 접착제를 사용하여 패널을 제조하였으며, 수지의 종류 및 특성은 Table 1과 같다.

요소수지(UF), 요소·멜라민 수지(UMF), 페놀수지(PF) 및 페놀·멜라민수지(PMF)는 실험실에서 합성하였으며, 2액형의 API 및 PMDI는 분양반아 사용하였다. UF수지는 요소에 대한 포름알데히드의 초기 몰비 2.0, 최종 몰비 1.2의 조성으로 85°C에서 2시간에 걸쳐 합성하였다. UMF는 요소 : 멜라민 : 포름알데히드의 몰비를 1 : 1 : 3.4로 하여, pH를 8.5로 조정 후, 85°C에서 1시간 30분간 반응시켜 제조하였다. PF수지는 페놀 : 포름알데히드 : 수산화 나트륨의 몰비 1 : 2.2 : 0.4의 조성으로 95°C에서 약 2시간 반응시켜 제조하였다. PMF수지는 페놀 : 포름알데히드의 몰비 1 : 2.2의 페놀수지와 멜라민 : 포름알데히드의 몰비 1 : 2.5의 멜라민수지를 각각 별도로 제조한 후 혼합하여 제조하였다.

Table 1. Properties of various resin adhesives

Properties \ Adhesives	UF	UMF	PF	PMF	API	PMDI
Viscosity (cp)	131	28	80.4	54	5,800	51
Solid content (%)	49.9	52.4	45.7	51.8	-	90.7
pH	8.6	8.9	12.4	11.2	7.4	-

UF: Urea formaldehyde resin adhesive
 UMF: Urea-melamine formaldehyde resin adhesive
 PF: Phenol formaldehyde resin adhesive
 PMF: Phenol-melamine formaldehyde resin adhesive
 API: Aqueous polymer-isocyanate resin adhesive for wood
 PMDI: Polymeric diphenyl methane diisocyanate

2.3. 복합 패널 제조

접착제의 성능을 비교하기 위한 WBCB는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 표리판에는 1.6 mm의 케루잉 단판을 core에는 두께 2.2 mm의 대나무 제퍼를 서로 섬유방향이 직교하도록 5-ply로 적층하여 두께 9.7 mm, 목표 밀도 0.74 g/cm³로 각 4매를 제조하였다. 접착제 도포면은 각층의 섬유방향이 서로 직교하게 하고, 제퍼의 대나무 외피면이 모두 한 방향을 향하도록 배치하였다.

패널의 제조에 사용된 접착제의 조합 및 패널 제조 조건은 Table 2와 같다. 최적의 수지 도포량은 비교적 성능이 우수한 PF수지와 단시간에 도포가 가능하고, 작업성이 용이한 spray 도포법에 의해 280, 300, 320 및 340 g/m²의 도포량으로 검토하였다. 도포량의 변이를 제외한 접착 및 제조 조건은 Table 2와 동일하며, 목표 밀도는 0.74 g/cm³였다.

복합 패널의 제조 시, 수지 도포방법에 따른 작업

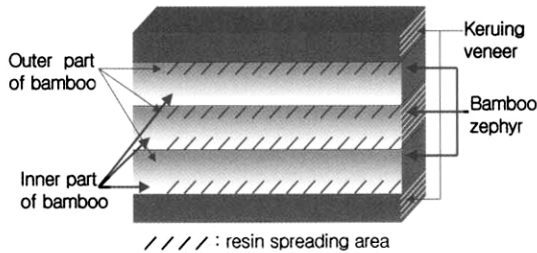


Fig. 1. Construction of 5-ply WBCB.

성과 성능의 차이를 검토하기 위해 roller, hand-brush, spray, soaking에 의한 4가지 방법으로 도포한 복합 패널을 제조하였다. 수지 접착제는 PF를 사용하였다. 또한 도포방법에 따른 패널의 제조와 함께 spray도포를 이용하여 양면 도포와 편면 도포에 따른 복합 패널의 성능도 비교하였다.

각 도포법에 있어서 수지의 도포량은 300 g/m²으로 조절하였으며, soaking 처리의 경우만 도포량 조절이 곤란하여 1180 g/m²으로 하였다. 또한, soaking 처리 후 즉시 가압하면 zephyr 내에 함유된 수지가 밖으로 유출되기 때문에 패널 제조가 불가능하였다. 따라서 soaking 처리된 zephyr는 48시간 동안 상온상태에서 건조를 실시한 후 패널을 제조하였다. 목표 밀도는 0.74 g/cm³로 조정하였으며, 그 외의 제조조건은 Table 2와 동일하게 하였다.

2.4. 복합 패널의 성능 평가

제조한 복합 패널의 성능평가는 파티클 보드(KS F 3104, 2002)와 구조용 합판(KS F 3113, 1999)에 준하여 실시하였다. 패널의 강도성능 평가는 만능강도 시험기(UTM)를 이용하여 수평방향(0°)과 수직방향(90°)의 상태 휨(modulus of rupture, MOR; modulus of elasticity, MOE) 및 습윤 휨(MOR, MOE: 25°C의 상온수에 24시간 침지) 시험을 실시하였다. 또한, 20°C의 상온수에 24시간 침지시킨 후 흡수 두께 팽창율(TS)을 측정하였다.

Table 2. Resin formulations and manufacturing conditions of WBCB

Item	Conditions	
Resin formulations	UF, UMF, PMF	Resin 100 parts 20% NH ₄ Cl 5 parts
	API	Aqueous polymer 100 parts Hardener 15 parts
	PF · PMDI	Resin 100 parts
Manufacturing conditions	Spread method	Roller spread
	Amount of spread	300 g/m ² (PMDI: 220 g/m ²)
	Hot press temperature	125°C (PF: 140°C)
	Pressure and time	Cold Hot

복합 패널의 접착성능은 박리강도(IB)에 의해 평가하였다. 이때 강도측정 후 각 패널의 파괴부위를 조사하여 단판-대나무, 대나무-대나무(외층-내층)와 같은 구성층간의 접착성능도 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 접착제의 종류와 패널의 성능

Fig. 2에 각종 목질용 수지 접착제를 사용하여 제조한 WBCB의 상태 휨(MOR, MOE)성능과 습윤 휨성능을 나타내었다. 상태 및 습윤 휨성능은 PMDI 수지가 가장 높게 나타났으며, PF, PMF, UMF, UF, API의 순이었다. 하지만, PMDI수지의 경우 열판 프레스와의 이형성 및 작업성이 좋지 않은 문제점을 나타내었으며, PMF수지의 경우 경화제 첨가 후 점도가 급격히 높아지는 현상을 나타내었다. 특히, API 수지의 경우 높은 점도로 인해 균일한 수지의 도포가 불가능하였으며, 또한 수지가 zephyr 내부로 침투를 하지 못하고 열압 시 외부로 유출되는 현상이 나타나, 시험한 접착제 중 가장 낮은 강도를 나타내었다.

Fig. 3에 각 목질용 수지로 제조된 복합 패널의 흡수 두께 팽창률 및 박리강도를 나타내었다. 페놀계 수지보다 내수성에서 취약한 아미노계 수지인 UF 및 UMF수지도 KS규격은 상회하였으나, 다른 수지에 비해 높은 흡수 두께 팽창률을 보이고 있다. PF 및 PMF 수지는 거의 유사한 흡수 두께 팽창률 및 박리강도를 나타내고 있으며, PMDI수지의 경우 다른 수지보다 적은 도포량(220 g/m²)을 사용하였음에도 불구하고 박리강도가 가장 높았으며, 흡수 두께 팽창률은 가장 낮았다.

접착제의 종류에 따른 박리강도 측정 시험편에 있어서 WBCB의 목질-대나무, 목질-대나무 외층부, 목질-대나무 내층부, 대나무 내외층간의 접착성능을 파괴부위로 평가한 결과는 Table 3과 같다. 접착제의 종류에 따라 파괴부위에 상당한 차이가 있었다. 포름알데히드계 수지 접착제로 제조한 복합 패널의 경우, 가장 파괴가 많이 일어나는 부위는 C층

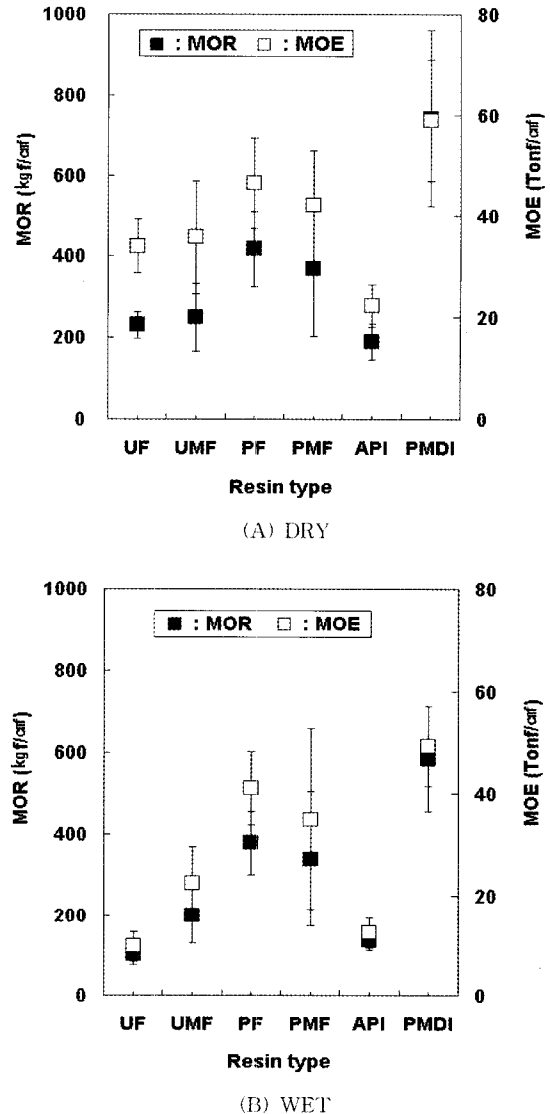


Fig. 2. MOR and MOE (90°) of WBCB according to the resin type.

인 대나무 외층-대나무 내층의 접착부위였다. 이것은 외층에 왁스나 실리카가 함유되어 있어 수지의 습윤성이 좋지 않았기 때문이라고 생각된다. 다음으로 많은 파괴가 일어난 B층은 대나무 zephyr 내부층으로 이것은 zephyr 내부로 접착제의 침투가 많이 이루어지지 않았고, 재피 자체의 응집력이 강하지 못하기 때문이라 생각된다. 다음이 대나무 외부층-

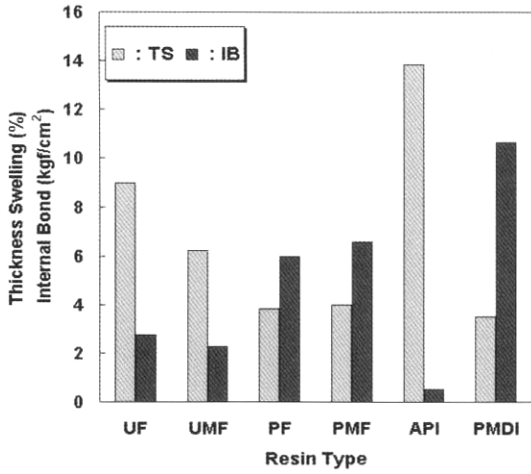


Fig. 3. IB and TS of WBCB according to the resin type.

단판과의 접착층(D층)이, 대나무 내부층-단판과의 접착면(E층)보다 파괴비율이 높았다. 이것은 외부층의 왁스나 실리카가 접착제의 침투나 흡윤성에 영향을 미쳤기 때문이라고 생각된다. 가장 파괴가 적게 일어난 곳은 단판 내부층(A층)이었으며, 특히 PMDI수지의 경우 약간 나타났다. 또한 PMDI의 경우에는 패널의 내부에서 파괴되지 않은 시험편이 나타날 정도로 박리강도가 우수하였으며, 파괴 시험의 경우는 접착계면층보다는 단판이나 zephyr의 응집 파괴가 상대적으로 높았다. WBCB의 박리강도 파괴양상을 종합해 볼 때 대나무 외피와 대나무 내피간

의 층에서 가장 접착성능이 불량하며, 다음은 대나무 zephyr 내부층이 좋지 않았다.

이상의 결과에서 강도면에서는 PMDI 수지가 가장 우수하였으나, 대나무 복합 패널 제조 시 작업성이 불량하고, 열판 프레스와의 이형대책이 필요하였다. 따라서, 본 연구에서는 PMDI에 비해 강도면에서는 다소 떨어지나 작업성이 용이한 PF수지를 사용하여 도포방법 및 도포량에 따른 패널의 성능을 검토하였다.

3.2. 도포량과 패널의 성능

도포량에 따른 패널의 성능을 조사하기 위하여 280부터 340 g/m²까지 도포량을 변화시켜 복합 패널을 제조하였다. 제조된 복합 패널의 밀도는 0.73 ~ 0.76 g/cm³이었으며, 도포량과 상대 휨성능과의 관계는 Fig. 4에 나타내었다. 280에서 340 g/m²까지의 도포량으로 제조한 패널의 휨성능은 모두 KS기준치(90°, 9 mm)를 상회하였으며, 특히 320 g/m²에서 가장 우수하였다. 흡윤 휨성능에서는 도포량이 증가하면 패널의 성능도 증가하였다. 그러나, 320과 340 g/m²의 도포량을 적용한 패널의 흡윤 휨성능은 거의 차이가 나타나지 않았다.

Fig. 5에 도포량을 달리하여 제조한 단판-대나무 복합 패널의 세 방향별 압축강도를 나타내었다. 도포량에 따른 압축강도에는 도포량이 증가하면 다소

Table 3. Fractured areas of WBCB made from various resin on determining IB strength

Type of resin	Layers	Percentage of fractured areas					nonfracture
		A	B	C	D	E	
UF		0	25	65	8	2	
UMF		0	11	75	14	0	
PF		0	36	61	3	0	
PMF		1	10	43	46	0	
API		0	89	2	3	6	
PMDI		8	5	0	0	25	62
Total average		15	33.3	41.0	12.3	5.5	

- A: Veneer layer
- B: Bamboo zephyr layer
- C: Interface layer of outer and inner part of bamboo zephyr
- D: Interface layer of outer part of bamboo zephyr and veneer
- E: Interface layers of inner part of bamboo zephyr and veneer

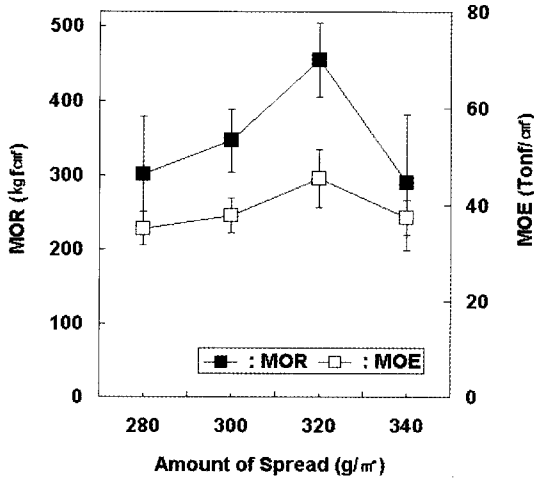


Fig. 4. Effect of amount of resin spread on dry MOR and MOE (90°) of WBCB.

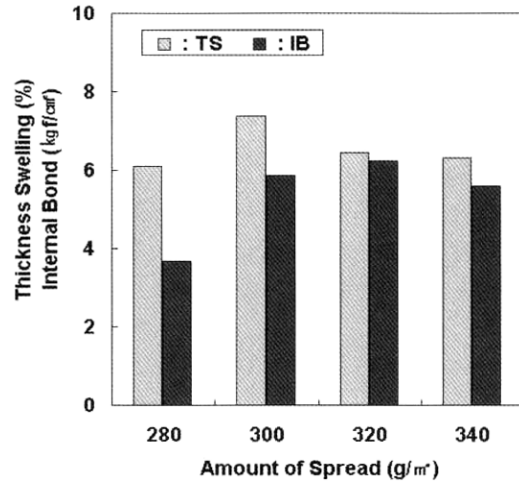


Fig. 6. IB and TS of WBCB according to the amount of resin spread.

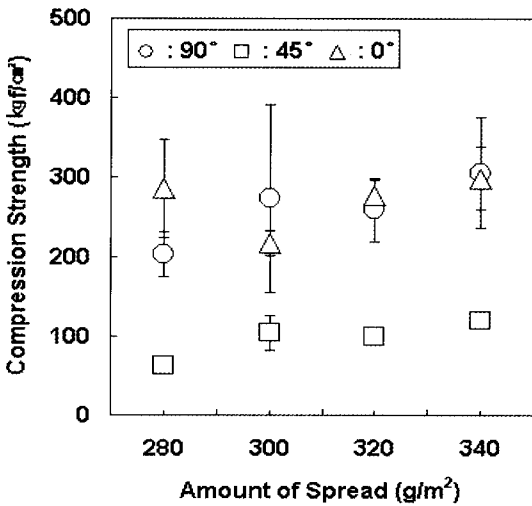


Fig. 5. Compression strength of WBCB at different amount of resin spread.

증가하나 거의 차이가 없었다. 그러나, 일반적으로 0° 방향의 압축강도가 90° 방향보다 높았으나, 도포량이 증가함에 따라 90°와 0° 방향간의 압축강도 차이가 줄어들어, 도포량 340 g/m²에서는 오히려 90° 방향이 0° 방향보다 높았다. 세 방향 모두 KS의 0°와 90°의 1등급 122.5 kgf/cm², 45°의 81.6 kgf/cm²보다 우수하였다.

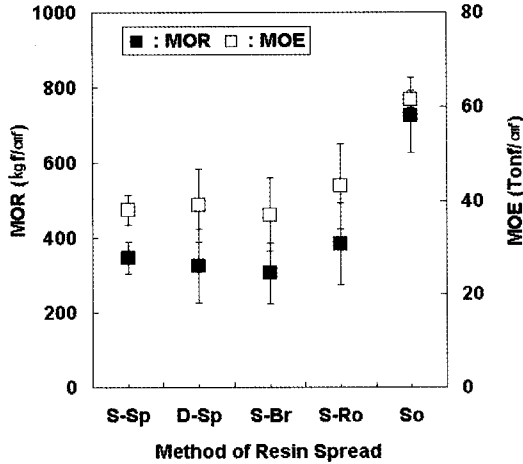
Fig. 6은 복합 패널의 도포량과 흡수 두께 팽창률

및 박리강도와의 관계를 나타낸 것이다. 흡수 두께 팽창률에서는 모두 KS 규격을 상회하였으며, 320과 340 g/m²의 팽창률은 각각 6.3과 6.4%로 거의 차이가 없었다. 박리강도는 280 g/m²의 도포량에서 약간 낮았으나 모두 KS규격을 상회하였으며, 300~340 g/m²의 범위에서는 거의 차이가 나타나지 않고, 접착성능이 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서, 수지의 단판표면으로의 전이에 의한 오염이나, 경제성을 고려하여 볼 때, 도포량은 320 g/m²이 가장 적합한 것으로 생각되며, 기존의 합판 제조 시보다 다소 높은 도포량이 요구되었다.

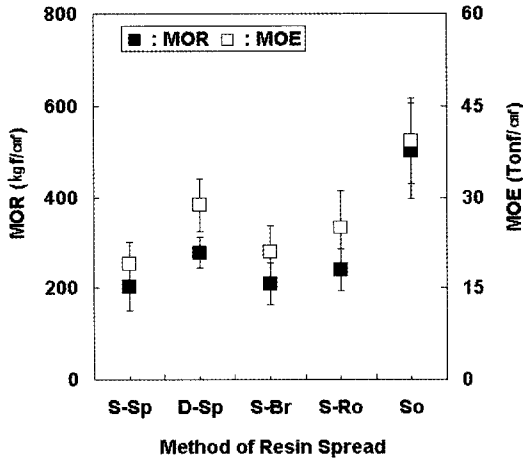
3.3. 수지 접착제의 도포방법과 복합 패널의 성능

수지 접착제의 도포방법이 복합 패널의 성능에 미치는 영향을 검토하기 위해 PF를 사용하여 도포량 320 g/m²에서 5-ply WBCB를 제조하였다. 동일 도포량에서 spray에 의한 편면과 양면도포 간의 차이와 spray, hand-brush, roller, soaking 처리 등의 도포방법 간에 대하여 검토하였다. 제조된 복합 패널의 밀도는 0.74 g/cm³였으며, soaking 처리 패널은 0.93 g/cm³이었다. 도포방법과 상태 휨성능과의 관

계는 Fig. 7에 나타내었다. 상태의 수직방향의 MOR 및 MOE는 편면도포나 양면도포 간에 큰 차이가 없으나, 습윤 휨성능에서는 양면도포가 더 우수하였다. 이 결과를 토대로 양면도포보다 작업성이 용이한 편면도포를 이용하여 복합 패널의 도포방법 및 도포량을 검토하였다.



(A) DRY



(B) WET

* S-Sp: Single spread by spray
 D-Sp: Double spread by spray
 S-Br: Single spread by brush
 S-Ro: Single spread by roller
 So: Soaking treatment

Fig. 7. Effect of method of resin spread on MOR and MOE (90°) of WBCB.

도포방법에 따른 휨성능 조사 결과, soaking 처리한 복합 패널의 강도는 타 도포법에 비해 월등히 우수하였다. 이것은 수지의 도포량이 타 도포법에 비해 약 4배 정도 많고, 밀도가 매우 높기 때문이라고 생각되며, 기존의 합판대체 재료로서의 이용 시에는 침지에 의한 도포법의 적용이 곤란하다. 그러나, 고강도의 특수한 용도의 패널 제조 시에는 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 3종류의 도포방법에 의해 제조된 패널의 휨성능은 roller, spray, hand-brush의 순이었으나, 큰 차이는 나타나지 않았다.

Fig. 8은 각각의 도포방법에 따라 제조된 복합 패널의 흡수 두께 팽창률 및 박리강도를 나타낸 것이다. soaking 처리가 가장 우수한 성능을 나타내었으며, roller, spray, hand-brush의 순이었다. hand-brush의 경우 작업성은 매우 우수하나 흡수 두께 팽창률에서 KS 기준인 12%를 만족하지 못하였다. spray 도포는 KS 규격을 상회하지만, 흡수 두께 팽창률이 10%를 상회하고 있어 치수안정성이 좋지 않았다. soaking 처리가 다른 도포방법에 비하여 월등하게 우수한 성능을 나타내지만, 복합 패널의 제조 시 수지의 외부 유출 및 장기간의 건조 시간을 필요로 하여 복합 패널 제조에는 부적합하였다. roller 도포의 경우 KS 기준치를 거의 두 배 정도 상회하는 우수한 강도를 나타내었다. 그러나, 수지의 도포방

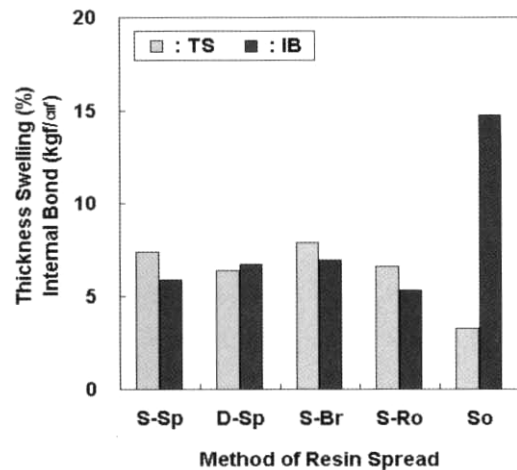


Fig. 8. IS and TS of WBCB according to the method of resin spread.

법은 수지의 점도 등과 같은 성질에 따라 적용 여부가 결정되며 롤러 도포기에 의한 대량생산 체제에서는 보다 효율적인 도포법의 검토가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

생장 기간이 매우 빠르고 섬유방향의 강도적 성질이 우수한 대나무를 합판 대체재료의 원료로 이용한 복합 패널의 제조기술을 확립하였다. 케루잉 단판-대나무 zephyr에 의한 복합 패널 제조조건(수지 점착제의 종류, 도포량, 도포방법)의 영향을 KS F 3104와 F 3113에 준하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

수지의 종류에 따른 두께 9.7 mm, 5-ply 복합 패널의 성능은 PMDI수지가 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 이어 PF, PMF, UMF, UF의 순이었다. 그러나 PMDI의 경우 열판과의 이형성 및 작업성이 좋지 않았다. 따라서 강도적 측면과 작업성을 고려할 때 PF수지에 의한 복합 패널 제조가 가장 적절한 것으로 생각된다.

PF수지를 사용하여 단판-대나무 제퍼 복합 패널의 제조 시 수지의 도포량이 증가하면 패널의 성능도 향상되는 경향이었다. 또한 박리강도 측정 후의 파괴양상은 도포량이 증가함에 따라 대나무 외층-대나무 내층 경계층의 파괴 정도가 증가한 데 반하여 대나무 제퍼 내부의 파괴는 상대적으로 감소하였다. 따라서 단판-대나무 zephyr 복합보드 제조 시 수지가 다소 zephyr 내부까지 침투할 정도의 수지 도포량이 적절할 것으로 생각되며, 표면 단판의 오염성, 경제성 등을 고려할 때 320 g/m²이 가장 적합한 것으로 판단된다.

동일한 PF수지 도포량에서 수지의 도포방법을 달리하여 제조한 5-ply 복합 패널의 성능은 양면과 편면 스프레이 도포 간에는 현저한 차이가 나타나지 않았다. 또한, 동일 도포량에서 roller 도포가 다소 우수한 성능을 나타내었으나, spray 및 hand-brush 도포법 간에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

1. 김유정, 노정관, 박상진. 2003. 대나무 Zephyr의 제조 조건에 따른 보드의 물성비교. 목재공학. 31(4): 24~30.
2. 이화형, 강석구, 김관의. 2000. 3개월생 국산 대나무를 이용한 대나무 스트랜드보드 개발. 한국가구학회지. 11(2): 45~53.
3. 정기호, 김유정, 노정관, 박상진. 2003. 대나무 Zephyr 보드의 제조에 있어서 열압시간과 열압온도가 보드 성능에 미치는 영향. 목재공학. 31(2): 77~83.
4. 한국공업규격. 2002. 파티클보드. KS F 3104.
5. 한국공업규격. 1999. 구조용 합판. KS F 3113.
6. Chen, T. Y., Y. Sawada, S. Kawakai, M. Tanahashi, and H. Sasaki. 1989. Studies on bamboo fiber-board. Forest Products Industries. 8(4): 11~18 (In chinese).
7. Hutchings, B. F. and R. H. Leicester. 1988. Scrimber. In: Proceedings of the 1988 international conference on timber engineering. 2: 525~533.
8. Lee, A. W. C., B. Xuesong, and N. P. Perry. 1996. Physical and mechanical properties of strand board made from moso bamboo. *Forest Products J.* 46(11/12): 84~88.
9. Ma, L., Y. Kupoki, W. Magadomi, S. Bambang, S. Kawai, and H. Sasaki. 1997. Manufacture of bamboo cement composites effects of additives hydration characteristics of bamboo cement mixtures. *JWRS.* 43(9): 754~761.
10. Lu, W. R. 1992. The development and utilization of bamboo concrete form. International symposium on industrial use of bamboo-Beijing, China. 255~259.
11. Nugroho, N. and N. Ando. 2000. Development of structural composite products made from bamboo, I: Fundamental properties of bamboo zephyr board. *Journal of Wood Science.* 46: 68~74.
12. Nugroho, N. and N. Ando. 2001. Development of structural composite products made from bamboo. II fundamental properties of laminated bamboo lumber. *Journal of Wood Science.* 47: 237~242.
13. Roh, J. K., J. K. Kim, S. I. Kim, J. B. Ra, Y. J. Kim, and S. J. Park. 2004. Manufacture of wood veneer-bamboo zephyr composite board. I. I. Properties of Bamboo Zephyr and Composite

- Board Made from Moso, Giant Timber and Hachiku Bamboo. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 32(3): 42~51.
14. Zhang, Q. S. 1992. Development and application of bamboo plywood in China. Bamboo and its use. -*International symposium on industrial use of bamboo*-. December 7-11, 1992. Beijing, China. pp. 171~174.
15. 木方洋二, 長坂 洋, 町屋敷俊行. 1989. เซฟา어ウッド (第1報). ローラー壓縮による木材のセファ어化と再構築. 木材學會誌. 35(10): 912~917.