

# 저농도 페놀수지 주입처리에 의한 평죽판 개발(1)<sup>\*1</sup>

이화형<sup>\*2</sup>, 김관의<sup>\*2</sup>

## Development of Compressed-flattened Bamboo Impregnated with Low Molecular Weight PF Resin(1)<sup>\*1</sup>

Hwa Hyoung Lee<sup>\*2</sup>, Gwan Eui Kim<sup>\*2</sup>

### 목 차

1. 서론	3. 결과 및 고찰
2. 재료 및 방법	3-1 압축평죽화 대나무 처리공정
2-1 공시재료	3-2 압축평죽화대나무의 물리적성질
2-2 실험방법	3-3 압축평죽화대나무의 기계적성질
	4. 결론
	5. 참고 문헌

### ABSTRACT

This study was carried out to develop a new process of flattening bamboo pieces(3 months old) by two steps of utilizing microwave oven and hot press. Internode bamboo pieces were impregnated with low molecular weight phenol formaldehyde resin (PF) under vacuum of 76 cmHg, heated in a household microwave oven in 1 minute, pressed on the temperature of 145°C by the hot press for 10 minute, and then cooled by the cold press in their flattened form. The physical and mechanical properties of compressed flattened bamboo were as follows:

- 1) PF1(Mw:427) and PF2(Mw:246) sol. met the success of flattening of internode bamboo pieces in both of *P. bambusoides* and *P. nigra var.* PF2 showed the more plasticity to flatten the bamboo than PF1. The PF2 sol. with low molecular weight(Mw:246) gave the more weight gain than that of PF1 in the equal concentration. PF1 of 5% (NVC) and PF2 of 10% (NVC) sol. gave the best result for physical and mechanical properties and from a economical view point.
- 2) The PF1 of 5% (NVC) sol. with low molecular weight decreased the water absorption of 62~63% and increased the bending strength (MOR) of 80~90%, compression strength of 43~54%.
- 3) The PF2 of 10% (NVC) sol. with low molecular weight decreased the water absorption of 56~57% and increased the bending strength (MOR) of 64~86%, compression strength of 39~63%.

\*1 본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음

\*2 충남대학교 임산공학과, Department of Forest Products, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

## 1. 서 론

90년대 들어서면서 전통적인 목질판상재인 합판, PB, 집성재등은 고유한 제조방법의 주류를 넘어 서로가 복합화되면서 구조용으로 계속 확장되어 가고 있는바 이러한 현상은 원목원료의 질 저하, 대구경 원목의 감소, 인구증가, 환경론자들의 입지성장등으로 구조복합체의 제조를 위한 원료의 대안으로 환경제품에 속하는 목질복합체와 비목질재료와 같은 새로운 재료의 이용 등에서 기인된다고 하겠다. 특히 우리나라는 목질 폐잔재의 원료확보율이 점차 감소되어 MDF의 경우는 원료를 수입에 의존하고 있으며 국내 목재 시장은 목재 및 목질재료수요의 95%를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 국내 목질판상재 산업은 새로운 과도기적 시점에 있으며 새로운 생산기술개발, 대체목질재료의 수급 등이 절실히 필요할 때이다

대나무는 전세계적으로 50속 1천2백여종이 자라는데 주로 동남아등지에서 많이 자생하며 인도, 미얀마, 대만, 일본, 중남미의 에쿠아도르, 콜롬비아등지에서 많이 자생하고 있다. 우리나라의 경우 3속 20여종을 가꾸고 있으나 대표적인 수종은 맹종죽, 왕대, 분죽을 들 수 있다. 전통적으로 대나무는 종류와 양이 풍부하고 재료를 구하기 쉽고, 가공이 용이하고 할렬성과 뛰어난 탄력성, 그리고 외적인 미관으로 아시아에서 주택, 다리(light bridge), 가구 및 공예품, 펄프등에 광범위하게 사용되어져 왔는데, Hodge(1961)의 연구에 의하면 대나무의 단위 면적당 생산량은 southern pine의 6배에 달하는 것으로 보고하고 있다. 또한 최근에 대나무의 사용은 플라스틱(Jindal,U.C. 1986), 폴리머, 시멘트(Lingfei Ma,1997), 목재등과 복합체를 이루어 복합판상재인 고밀도보드, 대나무 집성재, PB, 합판, 파이버보드와 같은 다양한

구조복합체 제조 쪽으로 전개되고 있다. 우리나라의 경우 근래 중국의 값싼 죽제품과 플라스틱 제품에 밀려 국내 죽림생산은 경쟁력을 상실하여 국내 죽제품에는 사양화되고 국내 죽림은 방치되고 있는 실정이다. 따라서 지금까지의 생산방법에서 탈피하여 단위 생산력이 가장 높은 죽림생산을 3개월이면 신장생장이 완료되는 당년생 위주로 생산을 전환할 때 이를 활용할 수 있는 방법으로 Lee(2000)등은 3개월산 대나무와 2, 3년생의 대나무로 만든 스트랜드보드와 PB의 물리·기계적 성질을 비교한 결과 3개월산 대나무가 곡강도 및 박리강도가 더 높았음을 보고한 바 있다.

그러나 대나무는 자외선, 빗물, 기상변화에 따른 균충류에 의한 생물열화를 받아 습한 조건이나 옥외에서 사용하는 경우 사용연한은 3-5년으로 극히 짧다. 또한 대를 집성가공하여 마루판 또는 기타 용도로 사용시 짧게 켜 집성하는 것이 지금까지 상례이다. 森(1986,1987)는 마이크로파가열에 의한 죽의 평판가공법을 발표하였으나 아직 상업화되지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 국내산 대나무(왕대, 분죽)를 이용하여 저분자량 페놀수지를 제조 대나무에 쉽게 침투할 수 있도록 하고 가정용전자레인지용 예비처리하여 바로 열압시켜 평죽화하는 공정을 개발하고자 실시하였으며 우선 그처리에 따른 그 물리·기계적 성질을 구명하여 1보를 발표하고자 한다.

## 2. 재 료 및 방 법

### 2-1 공 시 재 료

#### 2-1-1 대 나 무

본 연구에 사용한 대나무는 전남 담양군 금성면 봉서리, 외추리 일대에서 생육되고 있는 왕대(*Phyllostachys bambusoides* S.et

Z), 분죽(*Phyllostachys nigra* var. *henonis* Stapf.) 2종의 3개월생으로 죽간이 통직하고 외관이 건전한 원죽을 수종별로 지면 기부에서 1999년 9월에 벌채하여 실험용 재료로 사용하였으며 운반을 용이하게 하기 위해 전장을 3등분하였다. 시험시 마디부분을 제거하고 절간부분(길이 20cm)을 사용하였다.

#### 2-1-2 처리약제

본 연구의 압축평축화 대나무 제조를 위한 주입처리약제는 일반 페놀수지 PF1(5%, 20%, 40%, NVC-Non volatile content)용액, 저분자 페놀수지 PF2(10%, 20%, 30%, 40%, 50%, NVC)용액 등을 사용하였다.

### 2-2 실험 방법

#### 2-2-1 처리약제 제조

먼저 저분자페놀수지인 PF2는 석탄산 94g, 포르말린(37%수용액)138g, NaOH 14.5g, H<sub>2</sub>O 14.5g의 비율로 상온에서 1주일간 반응시켜 제조한 수지를 사용하였다. 일반페놀수지인 PF1의 물비는 저분자페놀수지와 같으며 혼합후 1시간동안 90℃에서 반응시킨 후 냉각한 수지를 사용하였다. 이때 제조된 페놀수지의 NVC는 PF1과 PF2수지 모두 50%를 나타냈다. 제조된 수지를 각각 실험하고자 하는 NVC로 희석하여 주입실험을 실시하였다. 제조된 PF의 성질은 <Table 1> 과 같다.

<Table 1> Molecular weight of PF resin

	Common PF 1	Low-molecular weight PF 2
Mn	231	177
Mw	427	246
Mw/Mn	1.844	1.393

\* Mn: Number-average molecular weight

Mw: Weight-average molecular weight

Mw/Mn : Polydispersity

#### 2-2-2 처리약제 주입

절삭된 대나무 시편을 각각의 NVC로 희석된 PF1과 PF2에 함침시킨후 Vacuum oven dry 에 넣고 aspirator를 연결하여 진공압 76cmHg로 24시간 동안 감압 주입처리하였다. 희석된 주입처리용 PF의 성질은 <Table 2> 에서 보여 진다.

#### 2-2-3 대나무 압축 평축화 처리과정

페놀수지용액이 주입된 시편을 가정용 Microwave oven으로 1분간 처리하고 바로 열압기로 열압(145℃, 2.5kgf/cm<sup>2</sup>, 10분)하여 평판 가공하였다. 해압 후 냉각될 때까지 냉압을 유지하였다. 이때 예비실험을 통하여 Microwave oven 가열시간은 0.5분, 1분, 1.5분, 2분중에서 가소성 유지와 열압 작업에 1분이 가장 좋았으며 열압시간도 3분, 5분, 10분중에서 10분이 가장 좋았다.

#### 2-2-4 제품의 물리·기계적 성질 측정

평축 압축화 대나무는 KS F 2201, 2202, 2208에 의하여 물리·기계적 성질을 측정하였다.

#### 2-2-5 통계 처리

각 조건별로 제조한 제품의 물리·기계적 성질에 대하여 처리간 통계적인 유의성을 알아보기 위하여 던컨의 신다중검정법(Duncan's new multiple range test)으로 통계 분석하였다.

〈Table 2〉 Properties of PF resins for impregnation process

	NVC(%)	pH	Viscosity(cps)
PF 1	5	10.2	11.5
	20	11.1	25.8
	40	11.8	38.8
	undiluted(50)	12.2	237.5
PF 2	10	10.3	20.0
	20	10.7	24.3
	30	11.0	28.5
	40	11.3	33.9
	undiluted(50)	11.7	120.4

### 3. 실험결과 및 고찰

낮은 불휘발분용액 처리가 좋았다.

#### 3-1 압축 평축화 대나무 처리공정

PF1과 PF2 수지 주입처리를 통한 평축화 공화는 마디가 없는 부분은 분축과 왕대 3개월생 모두 성공하였으나 PF1의 20%, 40%와 PF2의 20%, 30%, 40%경우는 표면에 수지색깔이 강하게 남아 미관상 보기가 좋지 않았으며 PF1과 PF2의 원액(50% NVC)주입처리의 경우 평판가공시 할렬이 발생하여 실패 하였다. 같은 농도 PF수지조건(20%, 40%)에서 PF수지의 주입율은 PF2가 PF1보다 약간 높았고 평축화공시 작업이 PF2가 PF1보다 손쉽게 진행되었다. PF1의 경우 5%, PF2의 경우 10%가 적당하였으나 물리 기계적 성질은 동일하므로 경제적 면을 고려한다면 PF2의 10%가 적당하였다. 예비실험 결과 PF1과 PF2모두 마디가 있는 시편의 평축화공은 마디부터 할렬이 발생하여 실패하였다. PF1이나 PF2가 모두 저분자량에 속하나 PF2가 Mn이나 Mw가 PF1보다 적다. PF2는 실험시 열압기에 의하여 아주 부드럽게 내려가며 조심할 시점에서만 주의를 기울이면 PF1보다 쉽게 평축을 제조할수 있었다. 따라서 가공성에 있어서 PF2가 훨씬 좋았으며 물성의 경우는 PF1과 PF2간에 큰 차이를 보이지 않고 불휘발분에 따라 차이가 약간 나는데 경제적인면을 고려한다면

#### 3-2 압축 평축화 대나무의 물리적 성질

PF1 5%, 20%, 40%와 저분자 PF2 10%, 20%, 30%, 40%로 주입된 압축 평축화 대나무의 물리적성질은 〈Table 4〉와 〈Table 5〉에서 보여진다. PF1과 PF2의 원액주입처리의 경우는 평판가공시 할렬이 발생하여 기술하지 아니하였다. 주입처리하여 압축평축화한 결과 왕대의 경우 비중은 0.07~0.26 정도 증가하였으며 기건함수율은 1.8~4.8% 정도 감소하는 경향을 보였다. 분축의 경우도 비중은 원축에 비하여 0.03~0.36정도 증가했으며 기건함수율은 2.5~4.4%정도 감소한 경향을 보였다. 원축에 대한 압축평축 대나무의 흡수율 및 흡수량은 왕대의 경우 원축에 비하여 흡수율 35~62%, 흡수량 54~68%의 감소현상을 보였고 분축의 경우도 흡수율 29~63%, 흡수량 43~58%의 감소현상을 보였다. 조건별로 물리적 성질이 큰 차이를 보이지 않으므로 PF1 5%와 PF2 10%가 표면색깔과 경제적인면을 고려한다면 두 조건이 가장 적절한 처리 조건이라 할 수 있겠다.

#### 3-3 압축 평축화 대나무의 기계적 성질

각 조건의 압축평축화 대나무의 기계적 성질은 〈Table 6〉에서 보여진다. 압축평축화 대나무의 기계적성질은 원축에 비하여 상당히 개선된 면을 보여주는데 왕대의 경

우 원죽에 비하여 휨강도 57~79%, 압축강도 39~110%의 증가를 보였고 분죽의 경우 휨강도 45~90%, 압축강도 54~94%의 증가를 보였으며 특히 PF1의 5%와 PF2의 10%가 다른 조건보다도 좋은 기계적 성질을 보여주었다.

<Table 3> Weight percent gains of PF resin based on the oven - dry weight

	NVC(%)	<i>P. bambusoides</i>		<i>P. nigra var</i>	
		Weight gains(%) F=49.87**	Duncan test	Weight gains(%) F=97.12**	Duncan test
PF1	5	3.34±0.45	A	2.16±0.11	A
	20	5.38±1.41	B	4.18±0.18	B
	40	7.26±0.26	C	6.64±0.49	DE
PF2	10	4.17±0.28	AB	2.87±0.13	A
	20	5.58±0.21	B	4.94±0.61	BC
	30	8.93±0.54	D	5.64±0.36	CD
	40	8.98±0.58	D	6.97±0.39	E
	50	11.08±0.66	E	9.68±0.71	F

<Table 4> Physical properties of compressed-flattened bamboo board according to impregnation of PF resin

		<i>P. bambusoides</i>				<i>P. nigra var</i>			
		Density F=53.10**	Duncan	M.C.(%) F=16.77**	Duncan	Density F=43.73**	Duncan	M.C.(%) F=4.07**	Duncan
Control		0.78±0.03	A	10.19±0.46	C	0.76±0.05	A	10.01±0.31	C
PF 1	5	0.85±0.03	B	8.37±0.70	B	0.79±0.01	B	7.47±0.29	A
	20	1.01±0.03	C	5.58±0.14	A	1.00±0.08	C	6.68±0.85	A
	40	1.03±0.02	C	5.43±0.35	A	1.03±0.06	C	5.65±0.92	A
PF 2	10	1.00±0.04	C	6.70±1.10	AB	1.01±0.01	C	7.20±2.41	AB
	20	1.07±0.02	C	5.63±1.00	A	1.04±0.07	C	7.17±0.21	AB
	30	1.05±0.06	C	5.62±1.10	A	1.05±0.01	C	6.72±1.47	A
	40	1.04±0.03	C	5.46±0.43	A	1.12±0.05	C	6.22±0.37	A

<Table 5> Water absorption of compressed-flattened bamboo board according to impregnation of PF resin

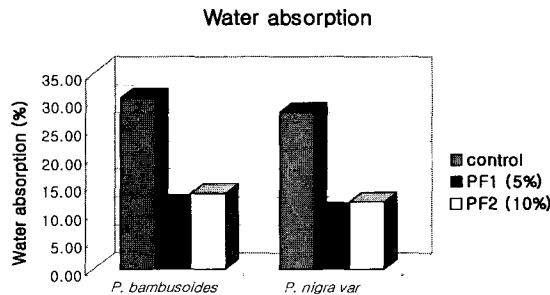
	<i>P. bambusoides</i>				<i>P. nigra var</i>				
	W.A.(%)	Dun	W.W.A.(g/cm <sup>2</sup> )	Dun	W.A.(%)	Dun	W.W.A.(g/cm <sup>2</sup> )	Dun	
	F=33.37**		F=30.92**		F=129.4**		F=24.32**		
Control	30.56±3.25	C	0.068±0.01	B	28.13±0.99	D	0.055±0.01	B	
PF 1	5	11.57±1.04	A	0.022±0.0017	A	10.32±0.90	A	0.022±0.0007	A
	20	15.06±0.93	A	0.027±0.001	A	11.53±0.69	AB	0.024±0.001	A
	40	19.85±1.99	B	0.031±0.0046	A	19.95±0.79	C	0.031±0.0074	A
PF 2	10	13.51±2.09	A	0.024±0.0018	A	12.01±0.97	AB	0.023±0.0014	A
	20	12.12±0.85	A	0.025±0.0034	A	12.07±1.07	AB	0.023±0.0016	A
	30	15.01±1.61	A	0.029±0.0042	A	12.80±0.65	B	0.027±0.001	A
	40	15.54±1.80	AB	0.028±0.001	A	13.84±1.15	B	0.027±0.0024	A

\* W.W.A : Weight of water absorption per unit area

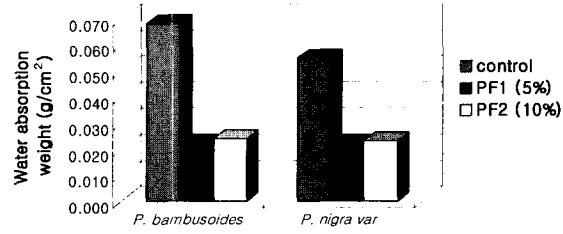
<Table 6> Mechanical properties of compressed-flattened bamboo board according to impregnation of PF resin

	<i>P. bambusoides</i>				<i>P. nigra var</i>				
	B.S.(kgf/cm <sup>2</sup> )	Dun	C.S.(kgf/cm <sup>2</sup> )	Dun	B.S.(kgf/cm <sup>2</sup> )	Dun	C.S.(kgf/cm <sup>2</sup> )	Dun	
	F=15.15**		F=26.48**		F=10.10**		F=9.49**		
Control	1559.57±87.46	A	744.68±3.87	A	1473.33±184.60	A	727.83±27.69	A	
PF 1	5	2819.34±147.82	B	1067.66±48.12	BC	2801.02±78.19	C	1120.48±28.43	B
	20	2670.83±184.31	B	1123.13±64.36	BCD	2284.21±141.02	BC	1139.49±161.49	B
	40	2459.35±242.97	B	1293.33±79.14	DE	2206.35±264.53	B	1153.51±105.50	B
PF 2	10	2558.75±143.71	B	1032.66±160.42	B	2749.37±127.39	C	1187.26±234.93	B
	20	2493.27±220.94	B	1267.69±75.53	CDE	2451.35±229.09	BC	1274.21±8.73	B
	30	2448.81±178.49	B	1372.36±79.32	E	2307.41±265.93	BC	1304.71±77.45	B
	40	2488.62±26.30	B	1574.81±80.89	F	2142.26±367.99	B	1413.34±62.09	B

<Fig 1> Water absorption of compressed-flattened bamboo impregnated with PF

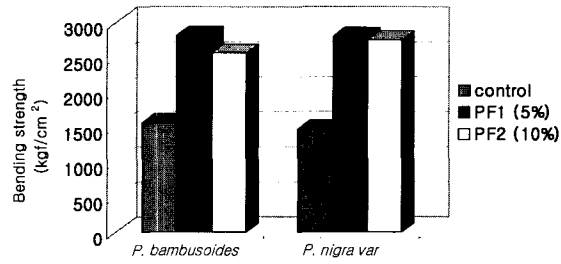


Weight of water absorption per unit area

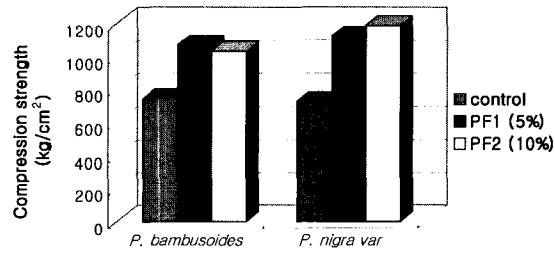


<Fig 2> Mechanical properties of compressed-flattened bamboo impregnated with PF

Bending strength



Compression strength



#### 4. 결 론

본 연구는 국내산 대나무(왕대, 분죽) 3개 월생종을 이용하여 저분자량페놀수지를 제조 대나무에 쉽게 침투할 수 있도록 하고 가정용 전자레인지용 예비처리하여 바로 열압시켜 평죽화하는 공정을 개발하고자 실시하였으며 우선 처리에 따른 그 물리·기계적 성질을 1차적으로 구명한 결과는 다음과 같다.

1) PF1(중량평균분자량 427)과 PF2(중량평균분자량 246) 주입처리에 의한 평죽가공은 성공하였으며 PF1과 PF2는 같은 농도조건에서 비슷한 수지주입율을 보이나 PF2의 경우가 PF1보다 평죽가공이 쉽게 진행되며 농도가 낮을수록 (PF1:5%, PF2:10%) 표면색깔, 물리·기계적 성질 및 경제성 등으로 보아 평죽가공화에 가장 적정하였다.

2) PF1은 5%용액에서 왕대, 분죽 모두 평죽가능 하였으며 원죽대비 흡수율 62~63%, 흡수량 59~66% 감소효과와 휨강도 80~90%, 압축강도 43~54% 증가효과를 나타냈다.

3) PF2는 10%용액에서 왕대, 분죽 모두 평죽가능 하였으며 원죽대비 흡수율 56~57%, 흡수량 58~63% 감소효과와 휨강도 64~86%, 압축강도 39~63% 증가효과를 나타냈다.

#### 5. 참 고 문 헌

1. Andy W.C. Lee, Xuesong Bai, Audimar P. Bangi.1997. Flexural properties of Bamboo-reinforced southern pine OSB beams, Forest Prod. J.,Vol, 47(6);74~78
2. Hodge, W. H.1961.Bamboo in the united States. USDA Handbook.No 193. US Gov't. Print. Off., Washington, D.C.
3. Lee, H. H., S. K. Kang, G. E. Kim 2000. Development of Bamboo Strand Board made from 3months old domestic bamboo species. J. of Kor. Society of Furniture Tech. 11(2):45-53
4. Jindal, U.C. 1986. Development and testing of bamboo-fiber reforced plastic composites. J. of Composite Material (20):19-29
5. Korean Standard Association.1997. KS F 2102, 2202, 2208
6. Lingfei MA, Yasuo Kupoki, Wakatsu Nagadomi, Bambang Subiyanto, Shuichi Kawai, Hikaru Sasaki.1997. Manufacture of Bamboo - Cement Composites - Effects of additives on hydration characteristics of bamboo-cement mixtures: JWRS Vol. 43, No. 9, p.754-761.
7. Lingfei MA, Orlando R. Pulido, Hidefumi Yamauchi, Shuichi Kawai, Hiraru Sasaki. 1998. Manufacture of Bamboo-Cement Composites V -Effects of sodium silicate on bamboo - cement composite by hot pressing : JWRS Vol. 44, No. 6, p.425-432.
8. Lingfei MA, Shuichi Kawai, Hiraru Sasaki.1999. Manufacture of Bamboo - Cement Composites VI- Effects of silicate fume addition and



- heat-treatment on properties of hot-pressed boards : JWRS Vol. 45, No. 1, p.25-33.
9. Mori, M. 1987. Process of flattening bamboo pieces utilizing microwave heating. Mokuzai Gakkaishi Vol.33(8):630-636
  10. Mori, M. 1987. The effect of sealing polymers painted on cross-sections of bamboo pieces on internal temperatures during microwave irradiation. Mokuzai Gakkaishi Vol.32(10):777-781
  11. So Won-Tek , Yoon-Soo Kim, Woo-Yang Chung and Hyoung-Woo Lee.1999.Wood characteristics of *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys nigra* var.henoinis, and *Phyllostachys pubescens* Grown in Damyang District. Mokchaekonghak 27(2):7~14.