

# 폐신문지에 의한 단열보드의 개발

정승수\*<sup>1</sup> · 이원희\*<sup>1</sup> · 장준복\*<sup>2</sup> · 이종윤\*<sup>1</sup>

## Development of heat insulating boards by waste-newspaper

Sung-Soo Jung\*<sup>1</sup> · Weon-Hee Lee\*<sup>1</sup>

Jun-Pok Chang\*<sup>2</sup> · Jong-Yoon Lee\*<sup>1</sup>

### ABSTRACT

---

The objective of this paper was the development of boards made from waste newspapers. The boards were produced from particle ONP(old newspaper) to reduce energy consumption in the board production process. ONP boards bonded with polyurethan adhesives(PU) were produced on a laboratory scale, and their physical and mechanical properties were examined.

The average density of the ONP was 0.48g/cm<sup>3</sup>, and the densities of the boards were 0.50-0.90g/cm<sup>3</sup>. Therefore, the compaction ratios of the boards were in the range of 1.04-1.88. The results obtained were as follows: 1) An increase in board density results in a corresponding improvement in bending properties. 2) An increase in board density results in increased thermal conductivity. 3) In this research, ONP board can be used only for interior applications. To gain exterior applications, the dimensional stability properties(thickness swelling and water absorption) need to be improved.

**Keywords :** waste-newspaper board, modulus of elasticity, thickness swelling, thermal conductivity

---

\*1 경북대학교 임산공학과. Wood Science & Technology, Kyungpook University Taegu Korea

\*2 중부대학교 생명자원학부. Faculty of life resources, Joongbu University 312-940. Kunsan korea

## 1. 서 론

최근, 신문지의 재생은 산림자원의 감소와 환경에 관한 인식의 증가로 인해 매우 중요한 이슈가 되었다. 재생된 폐지로부터 지류의 제조는 잘 알려져 있지만, 불행히도 회수된 폐지를 원료로 사용하는 것은 종이의 질을 저하시킨다. 몇몇 경우에서, 탈묵과 정선공정은 매우 어렵고, 부가적으로 음성적인 환경적 영향을 끼칠 수 있다. 이 문제에 관해서, 초지공정에서 요구되는 Repulping, 탈묵, 정선공정의 필요가 없는 다른 생산물을 찾는 것이 산업과 환경에 양성적인 영향을 가질 것이다.

또한, 1997년도 환경부에서 발표된 자료에 의하면 1일 쓰레기 총 발생량은 46,194톤이며, 이 중 종이류는 12,195톤(약 27%)이 발생하고 있다. 현재 쓰레기를 처리할 경우 쓰레기 톤당 처리비용이 85,000원으로 알려져 있다(97년도 환경부 발표자료 인용).

이러한 통계자료에 의해 분리수거된 종이류를 완전히 이용하게 된다면 1일 10억 3천 6백만원의 소각 비용을 감소시킬 수 있다. 여기에는 소각장 및 매립지의 건설비, 수거 및 물류비용등이 포함되어 있지 않다는 점을 감안한다면 톤당 20만원 이상의 처리비용을 감소할 수 있다고 생각된다.

따라서 폐지류 쓰레기의 구체적인 활용방안으로서 건축물 내장재료로서 섬유상 단열재의 개발이 있으며, 이것이야말로 폐지류 쓰레기의 활용극대화를 위한 최적방안이라고 판단할 수 있다. 왜냐하면, 쓰레기의 재활용화로 인한 사회환경적 기대효과와 경제적 이익은 매우 클 것으로 사료되며, 단열재로서 일반적으로 폭넓게 보급되어 사용되고 있는 석면계(Asbestos series)나 유리섬유계(Glass fiber series)제품은 자원의 유효이용이나 폐기처리 등의 문제가 제기되고 있는 현시점에서 새로운 환경친화형의 제품개발이 시급히 요구되고 있는것이다.

이 연구는 두 가지 목적이 있다. 첫 번째는 보드의 생산을 위한 원료로써 재 회수된 폐지, 특히 신문지의 가능성을 측정하는 것이다. 두 번째 목적은 신문지의 보드의 기본적인 특성을 평가하는 것이다. 신문지 보드 생산이 성공적이기 위해서, 네

가지 주요 사항을 명심해야 한다. 1)기술이 간단 2)에너지 효율적 3) 환경에 무해 4)경제적이어야 한다. 에너지, 시간, 비용, 환경에 대한 음성적 영향 때문에 신문지를 섬유로 만드는 것은 피했다. 실험은 보드/판넬 생산을 위한 섬유원료로써 paper/newspaper를 사용한 몇몇 다른 연구에서 수행되었다. 그러나 이 연구는 cross-cut shredded newspaper를 원료로써 사용했다.

위의 특징들에 근거를 두고, 우리는 첫 번째로 아무런 처리도 하지 않은 sheet상태의 신문지를 사용하여 신문지 보드를 개발하려고 시도했다. 이 실험 동안, 우리는 보통 합판생산 기술과 몇 가지 변형된 기술을 사용했다. 그러나, 결과는 어떠한 성공의 정도도 보여주지 못했다. 보드 제조는 접착제 분산과 접착제 침투성의 난이성 때문에 실패했다. 이 기술들을 사용하여 실패한 후, 우리는 기계적인 처리를 시도했고, 이것은 신문지를 shredding하여 신문지 파티클을 생산하는 것이다. 네 가지 주요사항을 명심하여, 파티클에 의한 신문지 보드제조는 다른 방법들과 비교했을 때 훨씬 더 우수했다.

## 2. 실험 및 방법

본 연구에서는 다양한 밀도로 폐신문지 보드를 제조하였다. 이러한 처리는 파티클보드의 밀도가 제품의 물리적, 기계적, 산업적 특성에 있어서의 미치는 영향이 매우 중요하기 때문에 선택되었으며, 본 연구에서 제조된 폐신문지 보드의 밀도는 0.50~0.90 g/cm<sup>3</sup>로 범위로 정하였다. 신문지의 평균밀도는 0.48g/cm<sup>3</sup>이기 때문에 폐 신문지 보드의 압축율의 범위는 1.04~1.88이었다.

### 2.1. 공시재료

본 실험에 사용한 폐신문지 파티클은 일반적인 폐신문지로서 최근 30일 이내에 발행한 대구 매일신문 고지를 문서 세단기를 통과시켜 0.1×25×2mm(두께(신문지 두께와 같음)×신장×폭) 크기로 절단하여 제조하였다. 신문지의 평균 함수율은 전건법에 의해 7.2%였고, 평균밀도는 0.48g/cm<sup>3</sup>이

었다.

본 실험에 사용한 접착제로는 Polyurethan(PU) 수지를 사용하였으며, 폴리우레탄 수지의 고형분 함량은 90%였다.

## 2.2. 폐신문지 보드 제조

한 개의 보드에 필요한 파티클의 양은 건조와 스크리닝 없이 중량을 달았다. 이것을 회전 blender에 넣고 스프레이건에 의해 접착제와 혼합시켰다. 접착제, 희석용제는 전건 파티클 중량에 대해 10%였으며, 경화제로써는 일반 폴리우레탄 수지 경화제를 사용하였으며 폴리우레탄 수지 고형분에 대해 5%를 첨가하여 폐신문지 파티클과 접착제를 혼합하였다.

혼합공정 후, 파티클을 매트에 옮겼다. 파티클 매트의 상부와 하부는 열판 프레스기에 늘어 붙는 것을 방지하기 위하여 상부와 하부에 테프론 시트를 사용하였다.

이때 폐신문지 보드제조를 위한 열판 프레스기의 성형조건은 다음과 같다.

먼저 성형 온도는 120, 140, 160, 180℃이며, 각각의 온도에 대해서 3단 성형과 1단 성형으로 나누어 보드를 제조하였다. 이때, 3단 성형시 180℃에서 성형은 불안정하여 실행하지 않았다.

먼저 3단 프레스 조건은 프레스 압 45-35-25kgf/cm<sup>2</sup>에 대해서 각각 10-3-3분으로 가압하였다. 그리고 1단 프레스 조건에서는 프레스압을 45kgf/cm<sup>2</sup>에 대해서 가압시간을 16분으로 하였으며, 보드의 가압동안 보드의 목표두께에 일치되게 하기 위해 10mm Stop-bar를 사용하였으며, 직사각형의 동철을 사용하였다.

열압 후, 폐신문지 보드 시편은 24℃, 상대습도 65%의 항온항습실에서 2주동안 콘디셔닝 처리를 하였다. 이렇게 제조된 보드 사이즈는 길이 200mm, 폭200mm, 두께 10mm였다.

## 2.3. 보드 시험

보드 시편은 각 조건별로 2개를 제조하여, 파티클보드에 대한 KS F 3014(1997)<sup>2)</sup>규정에 의거하여 측정하였다. 휨시험용 시편 사이즈는 스펜길이 15cm와 20×5cm(길이×폭)였다.

휨 시험은 만능강도시험기(TEST EQUIPMENT LTD, HOUNSFIELD. H50K-S)를 사용하였으며, 이때 만능강도시험기의 하중 속도 3mm/min로 하였다.

두께 팽창율과 흡수율 시편사이즈는 5cm×5cm였으며, 시험편을 25℃항온 수조에서 24시간 침지하여, 이때 각 시간별 두께 변화량과 시편의 무게를 측정하였다. 이때, 시험편의 치수는 중앙부, 양 끝단면을 측정하였으며, 측정은 버니어캘리퍼스(0.05mm)를 사용하였다<sup>3)</sup>.

열 전도율 시험편의 사이즈는 100mm×100mm로 제조하였으며, 열 전도율 측정은 열전도도 측정기(QTM-500, Kyoto Electronics)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 보드의 목표 밀도와 밀도 분포

표1과 표2는 열압프레스 성형 조건에 따라서 각각 1단프레스와 3단 프레스에 있어서 파티클 투입량에 따른 실제 보드의 밀도와 열전도율, 휨강도의 평균 및 표준편차를 보여준다.

표1과 2에서 보드의 실제밀도가 목표 밀도보다 낮다는 것을 확실히 볼 수 있다. 이것은 목표두께(10mm)보다 보드의 실제 두께가 다소 두껍기 때문에 나타나는 결과였다.

표준편차에 의해 명시된 두께의 편차는 다소 넓었다. 이러한 현상은 접착제의 분산과 매트 형성 공정에서의 불균일함에 의한 것이다. 특히 파티클의 양이 많아 성형 매트 형성시 Stop-bar상에 파티클이 쌓이면서 두께의 변화가 크게 나타났다.

또한, 혼합공정에서, 폐신문지 파티클은 얇힌 상태에서 덩어리하려는 경향이 있었다. 이러한 결과는 접착제의 불균일한 분산을 가져오게 하고 결과적으로 그 후에 성형된 보드 특성의 변화 폭이 넓게 가지게 된것이다. 목재 파티클 혼합 공정에서, 이러한 현상은 거의 발생하지 않는다. 그러나 폐신문지 보드에서는 매트성형공정에서 파티클은 서로 뭉쳐서 각각으로 분리하기가 매우 어려웠다. 이것은 균질한 파티클 매트 두께로 제조를 어렵게 한다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 접착제는 물과

Table 1. Physical and mechanical properties for the variation of press temperature on the ONP boards. (One-step pressing)

Waste-Newspaper Boards										
(Press condition : 45 kgf/cm <sup>2</sup> , 16min)										
Temp (°C)	Raw material(g)	Thick (mm)	SD (×10 <sup>2</sup> )	Density (g/cm <sup>3</sup> )	SD (×10 <sup>2</sup> )	Heat conductivity			MOR	
						Tm(°C)	W/mK	SD (×10 <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	SD
120°C	250	11.5	13.23	0.52	1.65	42	0.1681	0.62	15.24	0.021
	300	12.7	5	0.57	0.7	44	0.1796	0.21	22.05	0.531
	350	13.6	5.77	0.65	0.7506	47	0.2215	1.40	48.10	6.509
	400	14.0	2.89	0.70	0.1528	49	0.2225	0.0424	50.78	9.24
	450	14.6	76.4	0.75	0.6557	46	0.2399	0.0283	62.91	6.0245
	500	17.8	10.41	0.83	2.2517	46	0.2431	0.7071	65.45	6.512
140°C	250	11.4	5	0.55	0.7	43	0.1697	0.21	13.27	1.28
	300	12.5	10.41	0.58	0.1528	44	0.1847	0.0424	24.42	0.531
	350	13.8	15.28	0.62	0.655	45	0.2249	0.283	62.30	16.509
	400	14.1	15.28	0.70	2.25	47	0.2310	10.2	69.72	19.13
	450	15.5	2.89	0.72	2.25	47	0.2422	1.12	80.77	6.0245
	500	18.2	5.77	0.81	1.65	46	0.2583	0.028	91.05	6.925
160°C	250	11.9	13.2	0.52	0.656	44	0.1699	0.0424	17.04	6.512
	300	12.2	5.8	0.60	2.2517	40	0.1774	0.028	25.72	12.45
	350	13.1	5	0.66	2.3	49	0.1772	0.451	39.40	9.24
	400	13.9	15.3	0.70	0.7	47	0.2204	0.321	60.17	8.15
	450	14.0	16.4	0.77	0.71	42	0.2431	0.7071	68.24	2.321
	500	17.8	14.8	0.81	0.153	46	0.2400	0.62	72.42	4.92
180°C	250	11.8	13.23	0.53	2.25	47	0.1704	0.72	16.45	2.45
	300	12.1	5.2	0.61	0.62	47	0.1836	1.02	28.02	3.48
	350	13.2	16.2	0.66	0.751	46	0.1904	0.04	40.72	4.33
	400	13.9	10.4	0.71	0.7	42	0.2007	1.12	58.24	8.73
	450	14.4	64.7	0.77	1.65	48	0.2240	0.21	68.08	9.321
	500	18.1	9.82	0.82	0.656	48	0.2339	0.62	70.44	6.024

Note) SD; Standard Deviation

혼합하여 점성을 감소시켰다. 혼합전에 폐신문지 파티클을 건조시켜 혼합특성을 향상시켰다.

이 결과, 표1과 2에서 1단 프레스 성형과 3단 프레스 성형에 있어 파티클 투입량에 대한 두께의 변화와 밀도의 변화는 차이가 없으며, 또한 성형 온도에 있어서도 큰 차이가 보이지 않았다.

이렇게 성형 온도에서 차이가 나타나지 않는 것은 본 실험에서 온도 범위 120°C이상에서 보드내 함수율이 증발되어 크게 영향을 미치지 않은 것이다. 따라서 보드 제조에 있어 밀도에 영향을 미치는 가장 큰 변이는 파티클의 양과 매트 성형시 파티클의 분산 정도임을 알수 있다.

Table 2. Physical and mechanical properties for the variation of press temperature on the ONP boards. (Multi-step pressing)

Waste-Newspaper Boards										
(Press condition : 45-35-25 kgf/cm <sup>2</sup> , 10-3-3 min)										
Temp (°C)	Raw	Thick	SD	Density	SD	Heat conductivity		SD	MOR	SD
	material(g)	(mm)	(×10 <sup>-2</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(×10 <sup>-2</sup> )	Tm(°C)	W/mK	(×10 <sup>-2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	
120°C	250	11.9	4.42	0.51	0.67	44	0.1680	0.51	7.08	0.54
	300	12.2	5.77	0.60	0.16	44	0.1824	0.48	22.4	2.41
	350	13.8	5	0.61	1.65	49	0.2215	0.04	47.3	3.33
	400	13.9	3	0.71	0.75	44	0.2522	0.64	48.62	4.48
	450	15.7	10.1	0.69	0.71	46	0.2393	0.07	56.78	4.12
	500	17.9	10.3	0.79	0.66	44	0.2555	0.4	62.84	9.35
140°C	250	11.6	2.81	0.53	0.67	46	0.1650	1.1	7.80	0.54
	300	12.8	5.7	0.59	0.77	48	0.1796	0.21	20.17	2.35
	350	13.6	3.2	0.63	0.66	46	0.2115	0.042	46.71	4.7
	400	14.1	13.2	0.67	0.18	47	0.2627	0.84	49.72	11.32
	450	15.5	15.2	0.7	0.71	47	0.2660	0.24	65.43	10.78
	500	17.8	5	0.79	0.7	42	0.2750	0.34	80.79	8.12
160°C	250	11.3	13	0.59	0.5	48	0.1670	0.68	9.46	1.24
	300	12.9	10.4	0.63	0.153	48	0.1920	0.49	12.77	3.18
	350	14.2	2.89	0.66	0.62	44	0.2084	0.81	42.04	2.45
	400	14.5	5.7	0.73	2.25	45	0.2248	1.11	40.60	6.4
	450	15.6	5	0.76	0.631	45	0.2332	1.32	68.59	10.32
	500	17.7	7.04	0.75	1.65	45	0.2700	0.09	80.77	4.38

Note) SD; Standard Deviation

### 3.3. 제조된 보드의 열전도율 측정

열전도는 하나의 물체에서 이웃한 부분 사이에 있는 온도차 때문에 생기는 에너지 전이를 열전도라 하며, 다음에 의해 계산되어진다:

$$\Delta Q / \Delta t = k \cdot A(T_2 - T_1) / l$$

여기에서  $\Delta t$ ; 시간 간격,  $\Delta Q$ ;  $\Delta t$  동안 흐르는 열,  $A$ ; 물체의 면적,  $l$ ; 물체의 길이,  $k$ ; 열전도도를 나타낸다.

열전도  $k$ 가 큰 물질은 좋은 열전도체이며, 열전도  $k$ 가 작은 물질은 열전열체인 것이다.

따라서 열전도율이 낮을수록 단열의 효과가 크다.

그림1과 2에서는 밀도의 분포가 증가 할수록 열전도율이 높은 것을 알 수 있다. 그러나 열전도성에 있어 프레스 성형 조건인 온도와 프레스 1단, 3단 성형 방식에는 큰 차이가 없었다. 이것은 폐신문 보드에서 밀도가 낮을수록 단열성이 크다는 것이다.

이러한 이유는 밀도가 낮을수록 폐신문 보드사이의 결합에서 공극이 많아 내부의 공기층으로 인해 열전도가 낮은 것이다. 따라서 벽체 단열재로써 사용시는 밀도가 낮은 보드의 사용이 보다 효율적이라 하겠다.

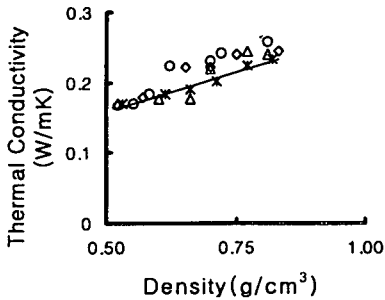


Fig. 1 Relationship between density and thermal conductivity (one-step board).  
◇;120℃, △;140℃, ○;160℃, \* :180℃.

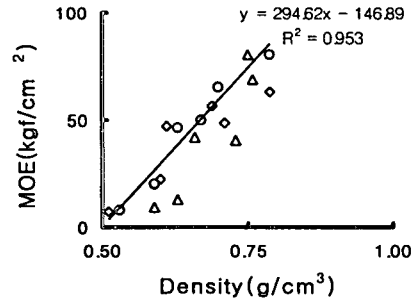


Fig. 4 Relationship between density and MOE (multi-step board).  
◇;120℃, △;140℃, ○;160℃.

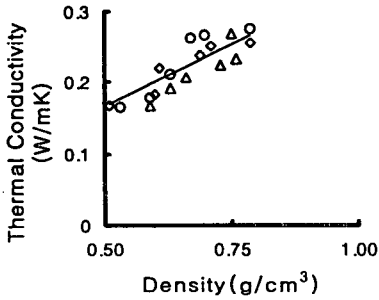


Fig. 2 Relationship between density and thermal conductivity (multi-step board).  
◇;120℃, △;140℃, ○;160℃.

### 3. 4. 강도적 성질

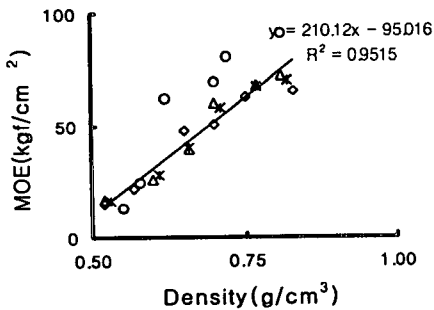


Fig. 3 Relationship between density and MOE (one-step board).  
◇;120℃, △;140℃, ○;160℃, \* :180℃.

그림 3과 4는 각각 프레스 성형 조건에서 1단 성형과 3단 성형을 나타내며, 그래프는 밀도와 휨강도사이의 관계를 보여주고 있다. 휨강도는 보드 밀도가 증가함에 따라 비례적으로 증가한다. 보드 밀도와 휨강도와의 관계는 측정 계수의 매우 높은 수준에 대해 나타난 것처럼 매우 크다. ( $R^2=0.95$ 또는 그 이상)

열압 성형프레스에서 1단과 3단 프레스에서 휨강도의 차이는 확실히 드러나지 않았다. 하지만, 밀도가 낮을수록 1단 프레스 성형이 3단 프레스 성형 보다 강도는 높으나 고 밀도로 갈수록 낮았다

이러한 현상은 (1)더 높은 매트 수분함량 (2) 성형공정에 있어서 균질성의 저하 (3) 접착제 분산의 차이에 의해서 야기되었다. 하지만 접착제 첨가량을 증가하면 강도의 증가를 나타 낼 수 있을 것이다

### 3. 4. 치수안정성

Fig. 5은 상온(25℃)에서 24시간 물에 함침한 후 밀도와 수분흡수와의 관계를 보여준다. Fig. 7은 밀도가 증가함에 따라 비례적으로 흡수성이 감소하는 경향을 나타낸다.

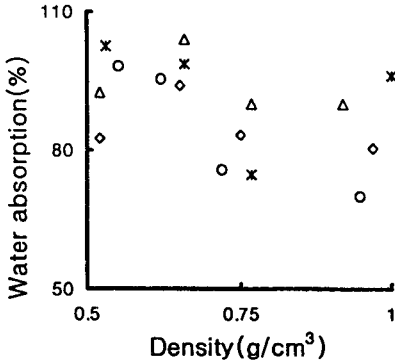


Fig. 5 Relationship between density and water absorption(one-step board).

◇;120℃, △;140℃, ○;160℃, \* :180℃.

이러한 현상은, 더 작은 밀도의 신문지보드에서 내부공극이 높은 밀도보다 더 많이 존재한다는 것으로 설명될 수 있다.

이것은 신문지보드의 밀도가 다를 때의 공극의 존재와 차이를 보여준다. 일반적으로 공극의 크기와 개수는 밀도가 증가함에 따라 감소한다.

본 연구에서, 보드밀도가 0.90 g/cm³(압축율 1.88)까지 증가하더라도 흡수율은 여전히 매우 높다. 이것은 목질계 보드와 비교해 볼 때, 신문지 보드는 매우 단시간에 많은 양의 수분을 흡수하는 경향이 있는 신문지 고유의 특성에 기인하는 것이다. 밀도 0.70 g/cm³ 이하에서 폐신문지 보드의 흡수율은 약 90% 이상이였다.

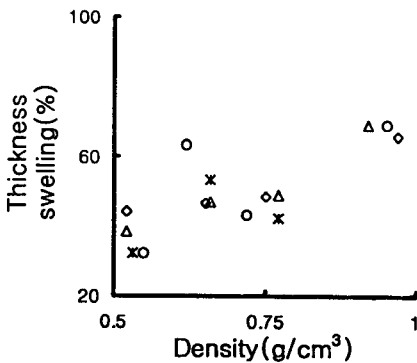


Fig. 6 Relationship between density and thickness swelling (one-step board).

◇;120℃, △;140℃, ○;160℃, \* :180℃.

Fig. 6은 상온(25℃)에서 24시간 물에 함침한 후의 밀도와 두께팽창율의 관계를 보여준다. 이 그림은 보드의 밀도가 두께 팽창율에 대한 영향을 거의 끼치지 않는다는 것을 보여준다.

폐신문지 보드의 두께 팽창율 특성은 KS F 3014(1997)<sup>2)</sup> 표준(최고12%)에 의거한 최소치를 초과하였다.

이러한 현상들은 보드의 접착제 분산에 대한 균질성의 부족 때문이다.

폐신문지 보드가 외장용 재료로 사용하기 위해서는 흡수율과 두께 팽창율의 특성의 개선이 요구된다. 신문지 파티클과 플라스틱과 혼합하거나 오버레이 가공을 하면 신문지 보드의 치수 안정성은 개선될 것이라고 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구로부터 우리는 신문지 파티클로 보드생산이 가능하다는 결론을 내릴 수 있다. 보드 밀도의 증가는 휨특성에 있어서 개선에 상응하는 결과를 가져왔다. 그러나 더 큰 보드밀도는 치수적 안정성에서 부정적 영향을 미쳤다.

제조된 보드의 밀도에서 MOE 특성은 KS F 3014(1997)<sup>2)</sup>에 의해 제조된 8타입의 파티클보에 대한 최소값 미만이었다.

보드 밀도가 증가함에 따라 열전도율은 증가하였다. 그러나 단열재료의 사용시 밀도가 낮은 보드의 사용이 적합하다. 본 연구에서 보드의 치수 안정적 특성은 흡수량과 두께 팽창에 있어 KS F 3014(1997)<sup>2)</sup>규정 보다 낮았다

신문지 보드는 내장용으로 사용될 수 있다. 외장용으로 사용하기 위해서는 치수 안정성(두께팽창율, 흡수율)의 개선이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. Massijaya M.Y and Okuma M. 1996 Mokuzai Gskkaishi Vol.42, No.12, p. 1243-1249
2. Korea stand association.: 1997 KS for particleboards: KS F 3014
3. 박상진, 이종윤 외2 1993. 목재 과학 실험서; 휨 시험 p.202-205
4. Moslemi, A.A. : Particleboard, Southern Illinois University press, 1974, p.125