

건설폐목을 이용한 목질계보드의 시멘트응결 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for Cement Setting Property of Wood Chip Board Using Construction Waste Wood

(2007년 4월 10일 원고접수, 2007년 5월15일 심사완료 / Received April 7, 2007, Accepted May 15, 2007)

김세환^{1)*} · 오세출¹⁾

LCM

Sae Hoan, Kim¹⁾ · Sae Chool, Oh¹⁾

¹⁾LCM, 324-1, Yangjae 2dong, Seocho gu, Seoul, Korea

Abstract

In this study we experimented setting time and basic properties as waste wood fiber and sodium silicate substitution rate to reuse waste wood fiber produced in construction field to wood chip board. To do this construction waste woods were crushed with the size less than 10mm, mixed with the rate of 1:2, 2.5, 3, and added sodium silicate with the rate of 0, 5% of cement content. The results are as follows.

As the substitution rate of construction waste wood was increased delay of setting time was also increased, and the batch of adding 5% accelerator had a 13~17 hours faster setting time than non accelerator batch.

The compressive strength was lower as wood substitution rate was higher, and as the specific gravity was higher, the strength was also higher.

As wood substitution rate was higher, heat conductivity was lower, and as specific gravity was higher, heat conductivity also was higher.

키워드 : 건설폐목, 재활용, 목편보드, 고밀도보드

Keywords : construction waste wood, recycling, wood chip board, high density board

1. 서론

목질과 무기재료인 시멘트의 수화반응에 있어서 목재의 추출성분 중 당류 등에 의한 강도저하와 응결지연 등의 다양한 경화장애가 발생한다. 이를 방지하기 위해서는 목재의 추출성분에 의한 장애물질을 제거하기 위해서는 약 품처리나 열처리 등으로 장애물질을 불용화하는 방법이 고려되고 있다.

목모보드 및 목편보드를 비롯하여 시멘트를 바인더로 사용하는 목질계시멘트보드의 생산성은 시멘트의 초기 강도에 많은 영향을 받는다. 대량생산을 위해서는 몰드의 순환 및 1차가공의 문제가 없어야 한다. 이와 같이 목질계시멘트보드의 생산성 및 가공성에 중요한 역할을 하는 초기강도를 향상시키기 위해 일반적으로 염화칼슘(CaCl₂)

및 규산나트륨(Sodium silicate)을 경화촉진제로 사용하고 있다.

본 실험은 건설폐목재를 사용한 목질계시멘트판 제작을 위하여 목질 혼입율에 따라 발생하는 응결특성을 파악하고 이에 따라 발생하는 응결지연 시간을 측정하여 분석하고, 응결지연 현상을 불용화 시키는 응결촉진제(규산나트륨)의 적정 혼입량을 도출하고자 한다. 또한 기본물성을 검토하여 시멘트판 제작에 대한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 목재와 시멘트와의 혼합 응결 특성

목모를 생산하기 위한 원료가 되는 원목은 그 주성분이 셀룰로오스이나, 이들은 목재를 구성하는 세포의 외벽을 이루는 물질로서 이들 세포 간 연결이 전체적인 목재를

*Corresponding author

E-mail : hnest1@dreamwiz.com

형성하며, 이 세포사이의 충전물로 리그닌과 헤미 셀룰로오스, 단백질 등 여러 물질이 존재한다.

이들 중 헤미 셀룰로오스와 같은 당류는 시멘트와 혼합시에 시멘트의 경화를 방해하고, 이로 인하여 시멘트의 강도 발현에 지장을 주고 판상으로 만들기 어렵게 되며, 그에 따른 강도를 유지하지 못하므로, 목재에 이런 당류 종류와 양의 차이는 목모보드를 제조하기에 앞서 우선적으로 고려해야 되는 점이다.

목모 제조 시 사용되는 수종이 경화 불량성 수종일 경우 경화장애요소의 제거를 위해 미리 전처리를 해야 하는데 실용화에 가장 적절한 것으로 약품에 의한 경화불량성분의 중화와 온수에 의한 추출에 의한 것이 있다. 또한 시멘트와 나무의 친화성에 대한 검토는 많은 연구보고가 있으나, 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 시멘트 수화열의 측정을 이용하는 Inhibitory Index(II)를 구하여 비교해 보는 방법이 있다. 여기서 II치는 시멘트 경화 장애성을 나타내는 척도이며, 나무에 처리를 한 뒤 혹은 새로운 첨가제의 사용효과를 알아보기에도 좋은 지표가 될 수 있다.

Inhibitory Index (II)의 값은 식1에 의해 구하게 된다.

$$I.I = \left(\frac{TE - TE'}{TE} \right) \left(\frac{T'^2 - T^2}{T^2} \right) \left(\frac{S - S'}{S} \right) \times 100$$

- TE : 시멘트-물 혼합물의 도달 최고온도
- TE' : 시멘트-물-목분의 도달 최고온도.
- T² : 시멘트-물-혼합물의 최고온도 도달시간
- T'² : 시멘트-물-목분의 최고온도 도달시간
- S : 시멘트-물-혼합물의 온도곡선의 최대기울기
- S' : 시멘트-물-나무혼합물의 온도곡선의 최대기울기

이에 따른 여러수종의 II치와 첨가제의 혼합에 따른 II치를 알아보면 Table 1과 같다. 여기서 첨가제 혼합 효과가 가장 두드러진 예로 Malas를 들 수 있는데 경화불량수종인 Malas는 첨가제에 의한 뚜렷한 경화향상 증거인 T2의 감소와 TE의 증가를 보여준다.

일반적으로 II치 50 이상은 극히 불량한 경화성을 나타내며 10 미만은 양호한 편이고 10~20 정도는 보통, 그 이상은 불량하다 볼 수 있다. 대략 소나무 같은 침엽 수종은 경화가 양호한 편이며, 활엽수 보다 경화장애성이 적다.

Table 1 여러수종의 II치와 첨가제 혼합에 따른 II치

수 종	첨가제와 양	II Value
PineSlash	-	6.3
Slash Pine	고즙 1%	3.3
Radiata Pine	-	5.5
Taun	-	0.78
Malas	-	98.8
Malas	고즙 3%	3.3
Malas	Na-Silicate 3%	1.1
Amberoi	-	26.94
Amberoi	고즙 3%	1.23
Celtis	-	8.4
Calophyllum	-	0.22
육 송	-	0.22
미 송	-	0.25

3. 실험

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정을 만족하는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질과 화학적 성분은 각각 Table 2, 3와 같다.

Table 2 Physical properties of cement

Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Setting (min)		Soundness (%)	Compressive strength (kgf/cm ²)		
		Initial	Final		3 days	7 days	28 days
3.15	3,400	230	390	0.1	230	300	410

Table 4 Chemical compositions of cement

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Free CaO (%)	Loss on Ignition (%)
61.3	21.1	5.2	2.8	4.0	2.4	0.6	2.0

3.1.2 폐목재

본 실험에 사용한 폐목재는 A사의 아파트 신축현장에서 배출된 폐목재를 폐쇄기에서 분쇄하여 10mm체로 선별하여 사용하였으며, 목재의 물리적·기계적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 폐목질의 성질

건설폐목		길이 (mm)	함수율 (%)
기건비중	I.I치		
약 0.48	5.5	10이하	25



Fig. 1 폐목재 칩 생산 과정

3.1.3 응결경화 촉진제

경화 촉진제본 실험에서는 시멘트의 경화를 촉진시키기 위하여 무기염계 혼화제로써 CaCl₂(염화칼슘, 고상)과 Na₂SiO₃(규산나트륨, 액상)을 경화촉진제로 사용하였다.

Table 6 경화촉진제의 특성 및 성분

비중	상태	성분	
1.402	액상	Na ₂ O(산화나트륨)	9.15%
		SiO ₂ (이산화규소)	29.35%
		Fe ₂ O ₃ (산화철)	0.01%
		수분용분	0.03%

3.1.4 비빔 용수

본 연구에서는 KASS 05010.2.1.3의 규정에 따른 상수도를 비빔용수로 사용하였다.

3.2 배합계획

본 실험에서는 폐목질의 혼입율에 따른 모르터의 초기 경화특성을 측정하고, 경화촉진제 혼입에 따른 초기경화 특성 및 기초적 물성을 검토위하여 12수준의 배합계획을 하였다.

Table 7 실험 배합표

배합기호	폐목재 혼입율	W/C	경화 촉진제 혼입율 (C×%)	단위 중량 배합(kg/m ³)		
				W	C	S
I-A-0	1:2	60%	-	313.3	482	241
I-A-5			0.5			
I-B-0		65%	-	296.4	494	247
I-B-5			0.5			
II-A-0	1:2.5	60%	-	331.5	552.5	221
II-A-5			0.5			
II-B-0		65%	-	347.7	535	214
II-B-5			0.5			
III-A-0	1:3	60%	-	358.2	597	199
III-A-5			0.5			
III-B-0		65%	-	376.3	579	193
III-B-5			0.5			

폐목질 사용에 따른 응결지연 특성 및 강도 특성을 검토하기 위해, 시멘트혼입비율을 1:2, 1:2.5, 1:3으로 하였으며, 폐목질 혼입율에 따른 물시멘트비를 60, 65%로 변화시켰다. 또한 경화촉진제 첨가에 따른 초기 경화특성 및 강도특성을 검토하기 위해 0, 0.5% 혼입하여 Table 7과 같이 배합계획을 하였다.

3.3 실험방법

3.3.1 응결시간

폐목질을 혼입한 모르터의 응결성상을 평가하기 위하여 배합별로 혼합된 모르터에서 시료를 채취하여 모르터의 응결시간을 측정하였다. 모르터의 관입저항 시험은 Fig. 2과 같이 KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험 방법)에 의해 측정하였다. 이때 온도조건은 실험실 조건에서 시험을 진행하고자 시험편을 20~25°C로 유지하였고, 시험기간 중 기료 위에 젖은 천을 덮어 수분 증발을 억제한 상태에서 실험을 실시하였다.



Fig. 2 관입저항측정

3.3.2 밀도 및 함수율

시험편을 채취하고 질량을 측정하여 건조전 질량(W1)으로 하고, 체적은(V) 두께, 나비, 길이를 측정하여 산출하며, 105±5°C로 향량이 될 때 까지 건조기에서 건조하여 이것을 건조 후 질량(W0)로 측정하여 함수율 및 밀도는 다음식에 따라 산출한다.

$$\text{절건밀도} = \frac{W_0}{V}, \quad \text{함수율} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

여기에서 W1 : 건조 전 질량(g)

W0 : 건조 후 질량(g)

V : 시료의 체적(mm³)재생

3.3.3 압축강도

굳은 모르타의 기본적인 물리적 특성을 분석하기 위하여 압축강도 시험과 휨강도 시험을 실시하였다.

압축강도는 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 따라 1, 3, 7, 28일의 강도를 측정하였다.

3.3.4 열전도율

JIS A 1412-2:1999에 따라 시험편을 채취하여 Fig. 3의 열전도 측정기를 사용하여 재령28일에 측정하였다.



Fig. 3 열전도율 측정기

4. 실험 결과 및 분석

건설현장에서 발생된 폐목재를 시멘트와 혼합하여 응결 촉진제를 혼합하여 제작한 공시체의 실험결과는 Table 8

Table 8 실험 결과

시험체 번호	응결시간 (min)		단위 질량 (g/cm ³)	노건조질량 (g/cm ³)	함수율 (%)	압축강도(Mpa)				열전도율 (W/mk)
	초기 응결 시간	최종 응결 시간				1일	3일	7일	28일	
I-A-0	892	1764	220.4	168.8	23.92	6.69	15.27	18.75	28.10	0.382
I-A-5	332	1398	306.4	229.5	25.36	32.44	46.14	53.93	69.06	0.535
I-B-0	1554	-	192.7	145.2	24.64	3.86	8.28	11.84	17.08	0.315
I-B-5	1180	-	228.1	173.9	23.76	9.18	17.36	20.04	25.99	0.374
II-A-0	901	1681	236.6	176.8	25.44	8.56	23.81	23.86	34.26	0.453
II-A-5	364	1348	263.1	202.2	23.55	22.99	36.70	44.23	53.85	0.481
II-B-0	1002	1905	258.1	204.1	22.85	10.18	24.54	27.15	41.13	0.478
II-B-5	529	1430	277.8	215.6	23.72	18.62	30.42	35.84	48.57	0.496
III-A-0	830	1796	280.7	223	20.03	14.51	30.47	36.67	46.41	0.547
III-A-5	400	1321	313.8	245.1	23.39	27.65	44.90	52.52	67.20	0.561
III-B-0	595	1435	268.4	224.5	16.35	15.14	31.28	37.92	50.73	0.490
III-B-5	415	1392	266.6	216.9	18.64	27.65	46.85	53.48	68.65	0.463

* I-A-0, I-A-5 관입저항측정 부족으로 측정 불가

과 같다.

(1) 응결시간

목질혼입율 및 경화촉진제 혼입에 따른 응결시간 측정 결과를 Fig. 4, Fig. 5와 같이 나타냈다. Fig. 4는 경화촉진제를 혼입하지 않고 목질혼입율에 따른 응결실험 결과로, 초결은 6.9시간 ~ 25.9시간에 일어났으며, 종결은 23 ~ 31.7시간에 나타났다. 배합에 사용된 시멘트의 초결과 응결 시간은 3.8, 6.5시간으로 폐목질이 혼입된 배합에서 많은 응결 지연현상이 발생하였다.

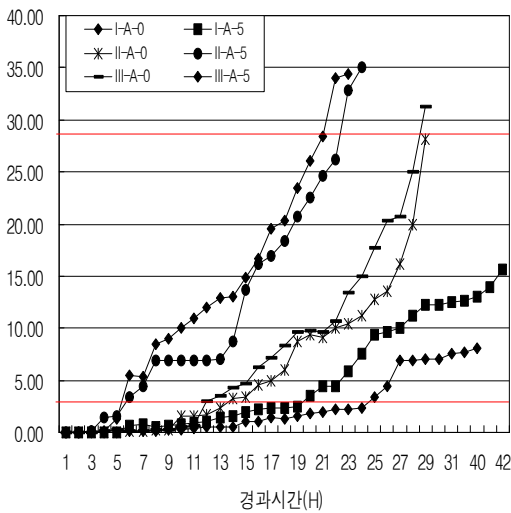


Fig. 4 W/C 60%배합의 응결시간

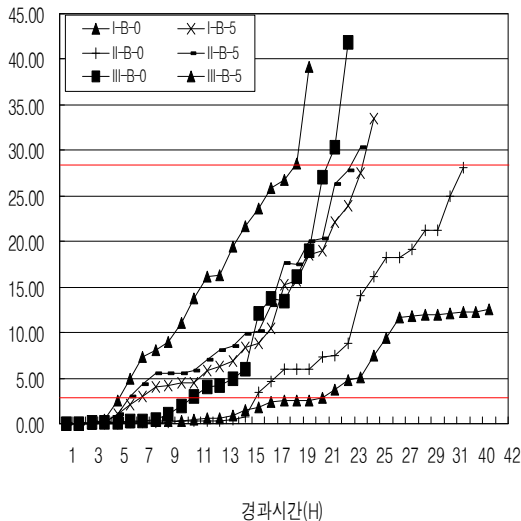


Fig. 5 W/C 65%배합의 응결시간

이는 실험에 사용된 폐목질에 시멘트와의 수화 장애를 일으키는 성분인 당류, 타닌, 페놀 등의 성분과 건설폐목으로 활용되면서 부착되었던 이물질 성분이 경화 장애를 일으키기 때문으로 판단된다.

Fig. 4는 경화촉진제 5% 혼입에 따른 응결실험 결과로 초결은 5.5~8.8시간에 일어났으며, 종결은 22~23.8시간에 나타났다. 경화촉진제를 5%혼입한 배합에서는 혼입하지 않은 배합보다 13~17시간 까지 종결이 빠른 것으로 나타나 시멘트를 바인더로 활용하여 목질계보드류를 제작하기 위해서는 적정 혼입율을 산정하여야 할 것으로 판단된다.

(2) 압축강도

목질혼입율 및 경화촉진제 혼입에 따른 압축강도 측정 결과를 Fig. 6, Fig. 7과 같이 나타냈다. Fig. 7은 물시멘트비 60%의 압축강도 결과로 경화촉진제를 5% 혼입한 목질계보드는 경화촉진제를 혼입하지 않은 목질계보드보다 1일은 20~52%, 3일 33~67%, 7일 34~53%, 28일 40~69%의 강도 증진 효과를 나타내었다. 또한 목질의 혼입이 증가할수록 압축강도는 저하 됐으며 초기 강도 및 장기 강도에서도 강도 발현이 안되는 것으로 나타났다. 이는 경화촉진제로 혼합되는 규산나트륨이 목질의 당류 발생을 억제하기보다는 시멘트와의 반응에 의한 경화 촉진 작용으로 시멘트량이 증가 할수록 강도가 증진하는 것으로 나타났다. Fig. 8은 65%의 압축강도 결과로 경화촉진제를 5% 혼입한 목질계보드는 경화촉진제를 혼입하지 않은 목질계보드보다 1일은 42~54%, 3일 47~80%, 7일 59~75%, 28일 65~84%의 강도 증진 효과를 나타내었다. 물시멘트 60%와 같은 경향으로 목질혼입율이 적을수록 강도발현은 증진 되었으나 그 증진의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

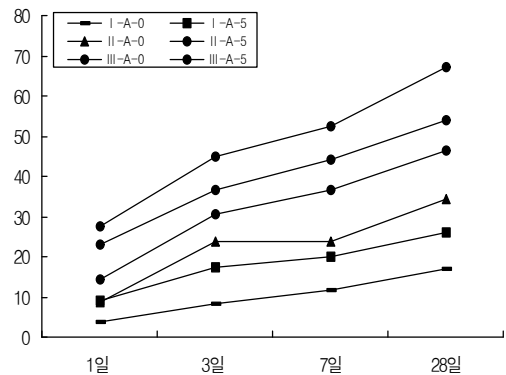


Fig. 6 W/C 60% 압축강도

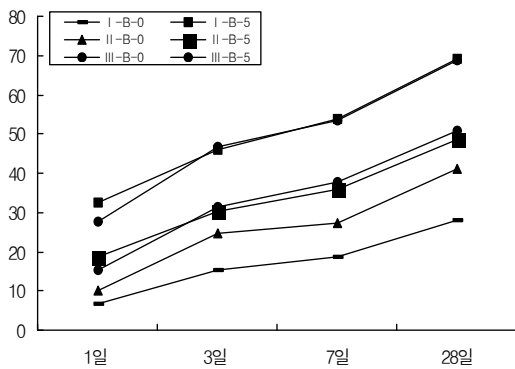


Fig. 7 W/C 65% 압축강도

(3) 밀도 및 함수율

목질혼입물 및 경화촉진제 혼입에 따른 비중 및 함수율 측정결과를 Fig.9와 같이 나타냈다. 함수율의 16.35~25.44%의 범위를 나타냈으며 목질의 혼입물 및 경화촉진제 혼입율에 따라 전반적으로 큰 차이는 없었다. 밀도는 0.79~1.23의 범위를 나타냈으며 경화촉진제 첨가에 따른 차이는 크게 없었으나, 목질의 혼입율이 적을수록 높게 나타났다.

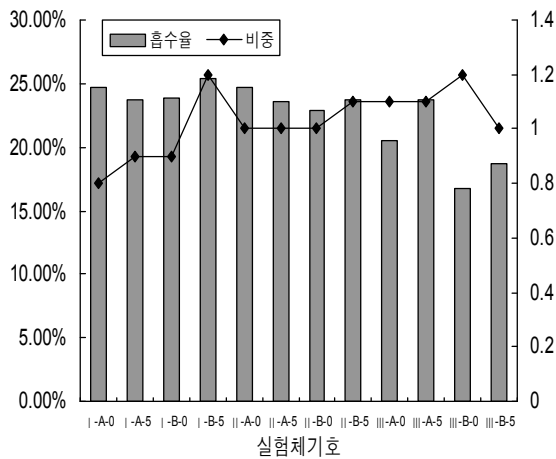


Fig. 8 함수율 및 비중

(4) 열전도율

목질혼입물 및 경화촉진제 혼입에 따른 열전도율 측정결과를 Fig. 9, Fig. 10과 같이 나타냈다. 열전도율은 비중과 밀접한 관계를 가진 것으로 비중이 높을수록 열전도율도 높아지게 된다. 본 실험에서도 비중이 높아 질수록 열전도율은 높아지는 것으로 나타났으며 0.315~0.561W/mk의 범위를 나타냈었다.

열전도율은 재료의 고유성질, 밀도 및 목질 배치상태에 따라 달라지는 것으로 본 실험에서는 목질의 혼입물 및 경화촉진제 혼입에 따른 뚜렷한 열전도의 경향은 찾을 수 없었으나, 석고보드와 비슷하거나 다소 높은 전도율을 지니고 있었다. 따라서 재활용된 목질계보드를 단열이 필요한 벽체 및 천장 등의 마감재로 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

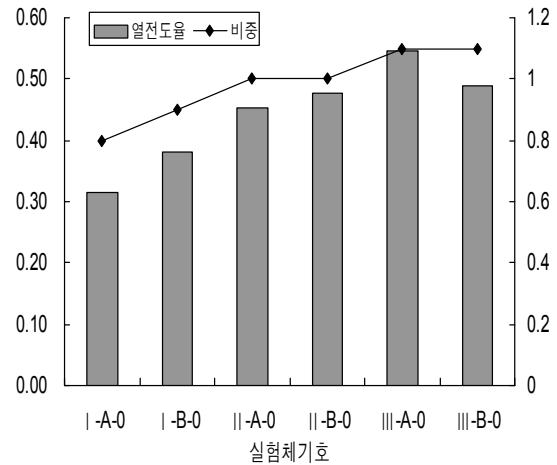


Fig. 9 응결촉진제 5%혼입된 시험체의 열전도율

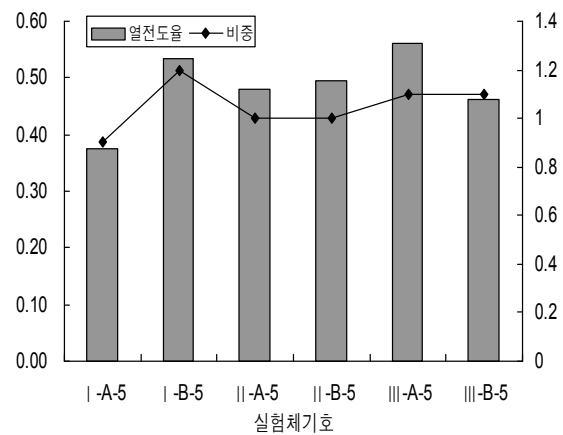


Fig. 10 응결촉진제 무 혼입된 시험체의 열전도율

6. 결론

건설폐목재를 목질계시멘트보드로 활용하기 위하여 폐 목질 혼입물 및 경화 촉진제 혼입에 따라 발생하는 응결 특성을 측정하고 그에 따른 강도 및 열전도율 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 건설폐목의 혼입율이 증가함에 따라 응결지연현상은 더 크게 나타났으며, 경화촉진제를 5%혼입한 배합에서는 13~17시간 까지 종결이 빠른 것으로 나타나 시멘트를 바인더로 활용하여 목질계보드류를 제작하기 위해서는 적정 혼입율을 산정하여야 할 것으로 판단된다.

2) 압축강도 시험결과 목질 혼입율이 높을수록 낮게 나타났으며, 비중이 높을수록 강도는 높게 나타났다. 또한 경화 촉진제 5%의 혼입된 배합에서 초기 및 장기 강도에 유리한 것으로 나타나 경화 촉진제의 적정 혼입은 경화 촉진 뿐만 아니라 초기 및 장기 강도에 유리한 것으로 판단된다.

3) 열전도율 측정결과 목질의 혼입율이 증가할수록 열전도율은 저감하는 것으로 나타났으며 또한 비중이 높아짐에 따라 열전도율도 증가하는 것으로 나타나 재활용된 목질계보드를 단열이 필요한 벽체 및 천장 등의 마감재로 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

究 (第11號 木粉ホートの研究). 日本建築學會大會 學術講演 梗概集,1997. 9, page. 449-450

9) 重倉 祐光 外 2 人, 木毛ヒメント板の改良に關する研究 (第12號 木粉ホートの研究). 日本建築學會大會 學術講演 梗概集,1997. 9, page. 451-452

참고문헌

- 1) 임업 연구원, 목질계 생활 폐기물을 이용한 건축자재 개발, 2001.
- 2) 김외정 외, 생활폐목재의 발생실태 및 재활용 확대 방안에 관한 연구, 1999.
- 3) 김형중, 목모-시멘트판의 제조와 응용연구 (I)(II), 공주대학교 생산기술 연구소 논문집 제6권 1998, page.140-169.
- 4) 국립환경연구원, 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부, 2002.
- 5) 박종영, 이화형. 1982. 한국 낙엽송재의 목질세멘트판 재질에 미치는 전처리 및 첨가제 효과. 충남대학교 농업기술연구보고. 9(1): 250 ~ 259.
- 6) A. A. Moslemi. and Y. T. Lim., Compatibility of southern hardwoods with Potland cement. Forest Prod. J. 34(7/8). 1984. pp. 22-26.
- 7) J. A., B. W. English, and R. M. Rowell. 1993. Alternative uses for wastepaper in wood-based composite products. In: Proc. of 1993 Recycling Symposium, New Orleans, L. A. Atlanta, GA. TAPPI Press. pp. 359-365.
- 8) 高矯和雄 外 2 人, 木毛セメント板の改良に關する研