

木質 · 시멘트보드의 物理 · 機械的 性質,
熱傳導性 및 耐火性

Physical and Mechanical Properties, Thermal Conductivity
and Fire-Proof Performance of Wood-Cement Board

徐珍錫 · 朴鍾瑩

木質 · 시멘트보드의 物理 · 機械的 性質, 熱傳導性 및 耐火性

徐珍錫, 朴鍾瑩*¹

Physical and Mechanical Properties, Thermal Conductivity and Fire-Proof Performance of Wood-Cement Board

Jin-Suk Suh, Jong-Young Park*¹

목 차

- | | |
|------------|---------------------------|
| 1. 서론 | 3-1. 목질 · 시멘트보드의 물리 · 기계적 |
| 2. 재료 및 방법 | 성질 및 열전도성 |
| 2-1. 실험재료 | 3-2. 목질 · 시멘트보드의 내화성 |
| 2-2. 실험방법 | 4. 결론 |
| 3. 결과 및 고찰 | 5. 참고문헌 |

ABSTRACT

This study was carried out to investigate characteristics of wood-based panels and wood-cement board for the possible uses as flooring and wall materials.

The optimum cement/wood ratio(C/W ratio) of wood-cement board manufactured by clamp-pressing was from 2.7 to 3.2. The dimensional stability was superior in the C/W ratio of 3.2. Particularly, the dimensional stability of cement board using fine particle for particleboard face layer was favorable through three levels of C/W ratio. According to types of wooden material, bending strength of cement board using coarse particle for particleboard core layer or old newspaper(ONP) fiber was relatively higher than others.

Thermal conductivities of wood-cement boards were no lower than that of gypsum board, and higher than those of plywood and boards.

In case of wood-cement board of the C/W ratio of 2.7, the fire-proof performances of cement composite boards were greater than that of gypsum board, and weight loss reached to about a half of gypsum board. Then, wood-cement boards showed superior fire-proof performance compared to wood-based panels.

Key words : wood-cement board, cement/wood ratio, thermal conductivities, fire-proof performances, weight loss

*1 : 임업연구원, The Korea Forest research Institute, Seoul 130-712, Korea

1. 서론

목질·무기질계 복합보드에 관한 연구는 근년에 주요 연구테마로 대두되어온 「목질계 폐기물의 재활용」과 「친환경적 건축소재 개발」이라는 두가지 과제에 대한 대안으로서 그 필요성이 새삼 인식되고 있다. 목재는 뛰어난 장점을 지닌 소재이면서도 썩거나 불에 타는 결점을 지닌 반면, 무기질 소재는 탁월한 내화성, 내구성을 지니고 있지만 생물학적인 逆機能性을 지니고 있다. 따라서 목질과 무기질을 결합시킨 복합재는 양자의 결합이 상호보완되어, 환경적으로 안정되고, 자원확보 면에서도 유리한 건축자재가 될 수 있다. 즉 목질·무기질보드는 환경·안전·건강을 지향하는 다양한 특성을 지닌 복합재료라고 할 수 있다. 그 중에서도 목재파티클·시멘트보드는 세계적으로 1970년대에 실용화 되어 siding, roofing재 등의 건축재료로 활용되기에 이르렀다.

永富 辨(1996, 1997)은 주택외벽의 50% 이상을 점유하는 목질시멘트보드의 신속경화를 위하여 업체와 공동연구를 하여 jet cement를 적용, $FeCl_3$ 첨가 경우 $80^\circ C$ 가열온도에 의한 압체시간을 10-30분 정도까지 단축하고, 보통 포틀랜드시멘트에 속경화성 알루미늄시멘트와 β -반수석고를 혼합함으로써 약 10분 가열압체로 보드 응결성형이 가능함을 발표하였다. 또한, 각종 탄산염을 첨가하고 $80-86^\circ C$ 로 가열, 5~18분 압체하여 보드의 초기강도를 유지하여 다룰 수 있는 수준까지 높일 수 있음을 구명하였다.

한편, 菊地伸一 등(2002)은 $0.06\sim 0.24g/cm^3$ 의 저밀도 섬유판을 제조하여 단열성, 흡음성 및 난연성을 살펴본 바 있다. 또한, 지붕덮개 (roof sheathing)재로서 낙엽송 경질복편·시멘트판을 제조하여 내화성능을 살펴본 바, 두께 18mm 판에 30분 가열후 이면온도가 $260^\circ C$ 이하였고, 잔염시간은 10분을 초과했다는 연

구결과를 보고하였다.

Wegner, T. H. 등(1992)은 미국내에서 목질·시멘트 복합재의 일종으로 燒成점토, 輕石, 고로슬랙 및 운모를 이용하여 구조용 경량 콘크리트를 제조하고, 자갈과 돌을 대체코자 목재조각, 파티클과 섬유를 이용한 'chunkrete'를 개발한 사례가 있음을 보고하였다.

山岸宏一 등(1985)은 경화불량수종으로 알려진 낙엽송 파티클에 의한 목질시멘트판 제조연구에서 물/시멘트비와 목재파티클의 함수율, 處理油가 보드의 휨강도에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 처리유 종류에 관계없이 물/시멘트비가 0.30에서 0.45로 되면서 강도가 상승하는 사실을 발표하였다. 그러나 유처리 는 발열량 및 발연계수를 높이고, 발수제 겸 내화제인 인산에스테르처리에 의하여 내화성을 높일 수 있음을 보고하였다.

堀江秀夫 등(1998)은 목질계폐기물과 경화저해수종인 낙엽송재를 혼입하여 목질·시멘트보드를 제조하였는데, 혼입율이 15%까지는 재질에 영향을 미치지 않고 20%수준에서 내수성이 저하된다는 사실을 보고하였다. 이때 적용한 조건은 물/시멘트비가 0.64, 시멘트/목질비가 2.7, 경화촉진제($MgCl_2$) 첨가율이 2%, 보드 예정밀도는 $1.2g/cm^3$ 였다. 또한 경량혼화재(pozzolana)를 첨가하여 경량시멘트보드를 제조하고 諸물성 및 준불연재료에의 적합성을 구명해 본 바, 혼화재 첨가는 보드의 치수안정성과 난연성을 향상시키고, 강도성능을 증시하는 경우 거친 파티클에 혼화재를 10% 첨가한 고비중(1.20)의 단층구성보드가 적합하며, 준불연재료에 합격하는 것을 기본으로 할 때는 표층에 혼화재 10% 첨가하고 중층에 40% 첨가한 고비중의 3층보드가 적합하는데 이 경우 강도성능을 증시할 때는 표층에 거친 파티클, 중층에 가는 파티클을 사용하는 것이 적합하다고 하였다. 한편, 치수안정성과 난연성을 증시할 경우, 표층에 가는 파티클, 중층

에 굵은 파티클을 사용하고, 시멘트/목질 비를 높일 때 가능성을 보고하였다.

Simatupang, M. H. 등(1990)은 경화시멘트의 공극성(porosity)에 물/시멘트비가 영향을 미치는 바, 0.4의 비가 적정하다고 하였으며, 이 적정 물/시멘트비는 시멘트/목재비(C/W ratio)에 의존적이어서 C/W ratio가 3.5에서 1.5로 감소하면 적정 물/시멘트비는 0.35에서 0.55로 증가한다는 사실을 보고하였다.

일본 북해도립업산시험장(2000)에서는 목질계 건축해체재를 이용하여 보도용 포장자재를 제조하는 연구를 실시하였으며, 이를 위해 결합제와 혼합한 목재칩을 路盤에 깔고 눌러 압제하는 형태와 블럭(interlocking型)으로 공장에서 성형제조하는 연구를 하였다.

현재 일본, 독일, 미국 등에서는 목질·시멘트보드의 제조기술에 관한 많은 연구개발 및 산업화가 진전되어 왔으며, 건축 외장재로서 수요가 확대되고 있다. 국내에서는 일부 기초적인 연구가 수행되었으나, 국내의 건축재료 수요패턴에 적합한 제품 및 공정개발은 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 국내에서 발생이 증가하고 있는 폐목재, 간벌재 등 가용자원에 구애를 그다지 받지 않고, 건식공법으로 건축자재가 변화하는 추이를 감안하여, 향후 건축용 목질복합소재의 수요에 대처코자 목질·시멘트 복합보드를 제조하여 그 물리·기계적 성질과 열전도성 및 내화성을 평가해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 실험재료

파티클보드(PB) 표층용 및 중층용 파티클, 폐목질 원료를 파쇄하여 플레이트 제조시 사용되고 있는 파티클(R-파티클; recycled particle)을 업체로부터 분양받고, 실험실에서 폐신문지섬유를 조제하여, 선별하지 않은 채

목질계 원료로 사용하였다. 한편, 무기질 원료로서, 시판 포틀랜드시멘트(type I), 경화촉진제(염화마그네슘수화물; $MgCl_2 \cdot 6H_2O$)을 사용하였으며, 염화마그네슘의 비수화물 상태를 기준으로 시멘트 중량 대비 3%를 첨가하였다.

2-2. 실험방법

본 실험에서는 반건식 목질·시멘트보드의 제조시스템을 적용코자 보다 경제적이면서 요구성능을 갖출 수 있으며, 작업이 용이한 클램핑 압제기구를 제작·사용하였다. 그리고, 목질원료와 시멘트의 혼합성을 더욱 균일하게 하기 위하여, 무기질원료 혼합기(Blade-lift type blender)를 자체 제작·활용하였으며, 또한 종전의 압제방식을 개선한 클램핑압제방식을 새롭게 적용하였다.

보드제조조건은 Table 1과 같다. 성형틀내에서 1 batch로 제조되는 보드는 두께 12mm의 스톱퍼를 이용하여 두께 조정을 하였으며, 일반 파티클보드나 MDF(중밀도섬유판) 등의 실험적인 제조방법과 유사한 성형·압제·클램핑과정을 거쳐 목표밀도 $1.2g/cm^3$ 로 하여, $12mm \times 25cm \times 25cm$ 의 보드를 제조하였다. 클램핑 압제후 성형틀의 4면을 taping하여 $50^\circ C$ 의 송풍형 건조기내에 투입하여 24시간 1차양생을 시켰으며, 양생후 비닐백에 넣어 밀폐된 상태로 1주일 정도 습윤양생을 시킨 다음, 비닐백에서 꺼내어 기건상태로 퇴적하였다. 그 후 다시 $80^\circ C$ 건조기내에서 6.5시간 건조한 다음, 실내의 대기조건에서 평형습수율 상태가 되도록 하였다.

제조된 보드는 KS F 3104에 의하여 물리·기계적 성질을 시험하였다. 또한, 열전도성은 $25cm \times 25cm$ 상태로 KS L 9101의 시험방법으로 측정하였으며, 내화성능은 KS F 2271에 의하여 표면연소시험기(Toyoseiki Co.)를 사용하여 측정·평가하였다.

Table 1. Manufacturing condition of wood-cement boards by clamp-pressing method

Target density	Types of woody material	Cement/wood ratio	Water/cement ratio	Hardener/cement ratio
1.2g/cm ³	Particle for PB	2.2, 2.7, 3.2	0.5	0.03
	Particle for pallet			
	Waste newspaper fiber			

3. 결과 및 고찰

3-1. 목질·시멘트보드의 물리·기계적

성질 및 열전도성

목질원료(4種)×C/W比(3형태)로 제조한 목질·시멘트보드의 휨강도 및 휨탄성계수는 C/W비가 2.2→2.7→3.2로 됨에 따라 대체로 증가하는 경향을 보였다. 단, 폐신문지섬유 혼입의 경우는 C/W比와 비례적인 강도증가 현상을 나타내지 않았다(Table 2).

또한, 두께·길이 팽창률 및 흡수율은 C/W 비 2.2에서는 양호하지 않은 편이었으나, 2.7→3.2로 됨에 따라 점차 개선되었으며, 특히 R-파티클의 경우 개선의 폭이 컸다. 이는 R-파티클이 목섬유와 유사한 性狀을 지닌 데 기인한 것으로 보여졌으며, 낮은 C/W비에서는 충분한

시멘트 도포가 이루어지지 않아 물리적인 결합이 약하기 때문이라고 여겨진다. 그러나, 표층용 파티클(小파티클 입자)의 경우는 C/W비 2.2에서 다른 목질원료보다도 치수안정성이 유리한 결과를 보여주었다. 이와 같은 실험을 통하여 PB 중층용 파티클 혼입의 경우, C/W비 3.2에서 최대강도를 나타냈으며, 물리적 성질은 같은 C/W비에서 PB 표층용 파티클 혼입의 경우 가장 치수가 안정되어 나타났다.

한편, 열전도율은 재료의 고유성질, 밀도 및 섬유 배치상태에 따라 달라지는 것으로 알려진 바, 본 실험에서는 목질·시멘트 복합보드의 목질원료 형태, 시멘트/목질比 및 밀도에 따른 뚜렷한 열전도의 경향은 찾을 수 없었으나, 0.103~0.153kcal/m·hr·℃로서 합판과 목질보드류의 열전도율(0.069~0.100kcal/m·

Table 2. Mechanical and physical properties of wood·cement boards

C/W ratio	Types of woody materials	Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (10 ³ kgf/cm ²)	Thickness swelling (%)	Linear expansion (%)	Water absorption (%)
2.2	Face particle	1.28	51.3	21.3	1.02	0.26	19.5
	Core particle	1.18	55.0	15.6	1.25	0.18	27.6
	R-particle	1.09	41.4	12.0	2.20	0.16	32.6
	ONP fiber	1.21	65.3	19.3	1.24	0.25	26.9
2.7	Face particle	1.29	53.2	27.9	0.34	0.13	18.2
	Core particle	1.27	62.3	20.6	0.89	0.21	18.7
	R-particle	1.21	64.2	21.7	0.76	0.20	22.5
	ONP fiber	1.23	57.8	19.2	0.43	0.18	24.4
3.2	Face particle	1.35	55.3	30.1	0.19	0.15	15.2
	Core particle	1.29	68.6	31.9	0.47	0.15	16.6
	R-particle	1.26	54.0	24.2	0.38	0.13	18.9
	ONP fiber	1.29	64.9	28.5	0.22	0.15	20.2

Table 3. Density and thermal conductivity of wood-based panels and wood · cement boards tested by KS L 9016-95

Types of board	Types of woody material	C/W ratio	Density (g/cm ³)	Thermal conductivity (kcal/m · hr · °C)
Wood-cement board	Face particle	2.2	1.25	0.144
		2.7	1.37	0.151
		3.2	1.33	0.128
	Core particle	2.2	1.25	0.132
		2.7	1.27	0.124
		3.2	1.23	0.127
	R-particle	2.2	1.06	0.103
		2.7	1.23	0.127
		3.2	1.24	0.153
	ONP fiber	2.2	1.16	0.129
		2.7	1.27	0.141
		3.2	1.30	0.120
Plywood	-	-	0.59	0.100
Particleboard	-	-	0.75	0.089
MDF	-	-	0.59	0.069
Gypsum board	-	-	0.67	0.116

* Dimension of specimen : 12mm(thick.) × 22cm(width) × 22cm(length)

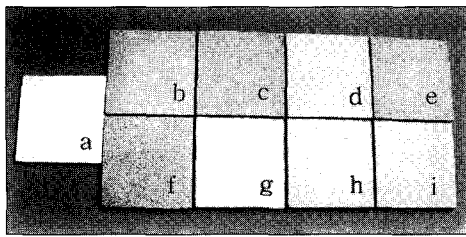
* Average temperature : 20°C(upper platen 33°C - lower platen 7°C)

hr · °C)을 상회하였다. 한편 목질 · 시멘트 복합보드는 석고보드와 비슷하거나 다소 높은 전도율을 지니고 있었다(Table 3).

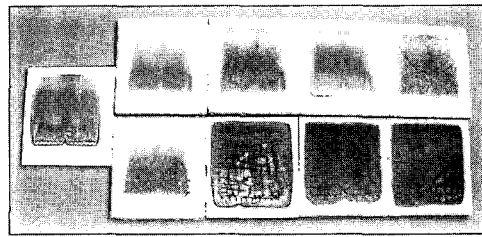
3-2. 목질·시멘트보드의 내화성

목질 · 시멘트보드의 내화시험 전후의 모습은 Fig. 1과 같다. 목질 · 시멘트보드와 市販 석고보드는 내화시험결과, 착화가 되지 않았으나, 합판과 목질보드의 경우 60~95초에서 착화가 되었으며, 6분간 가열완료후의 殘炎시간도 85초~105초에 달했다. 중량감소율은 목재파티클 · 시멘트 보드의 경우 2.9~3.6%로 최저였으며, 석고보드는 이들 복합보드의 2배인 7.7%, 그리고, 목질판재료 경우는 18.6~25.1%로 높았다(Table 4).

한편, 발열지수(탄화 온도 · 시간면적(tdθ)) 및 발연계수(CA)를 Fig. 2의 연소곡선으로 살펴본 바, 목질 · 시멘트보드와 석고보드의 경우 tdθ와 CA를 산출할 수 없었으며, 합판은 tdθ가 145, CA가 30, 파티클보드는 tdθ가 155, CA가 195, MDF는 tdθ가 302.5, CA가 168로써 목질보드중에서도 tdθ는 MDF가, CA는 파티클보드가 가장 높은 경향을 나타냈다. 따라서, 본 연구에서 적용한 시멘트/목질 比 2.7(시멘트 대비 목질혼합을 37%에 해당)의 목질 · 시멘트의 복합화에 의해 석고보드보다도 내화성능이 우수한 보드를 제조할 수 있는 것으로 나타났다.



<Before testing>



<After testing>

* g : plywood, h : particleboard, i : MDF

Fig. 1. Gypsum board(a), Wood · cement boards(b~f), Wood-based panels(g~i) before and after fire combustion test

Table 4. Fire-retardant properties of wood-based panels and wood · cement boards

Types of board	Types of woody materials	C/W ratio	Weight before combustion(g)	Weight after combustion(g)	Weight loss (%)	Ignition time	Lingering flame time
Wood · cement board	Face particle	2.7	821.69	795.71	3.2	×	×
	Core particle	2.7	783.81	760.75	2.9	×	×
	R-particle	2.7	770.65	746.41	3.1	×	×
	ONP fiber	2.7	750.25	723.18	3.6	×	×
Plywood	-	-	321.19	252.88	21.3	85sec.	105sec.
Particleboard	-	-	432.10	351.60	18.6	95sec.	85sec.
MDF	-	-	331.30	248.27	25.1	60sec.	90sec.
Gypsum board	-	-	303.69	280.34	7.7	×	×

* Weight after combustion means the weight measured at 15min. stacking after combustion

* '×' : No ignition & No residual flame

* Paper-overlaid layer for gypsum board was burnt

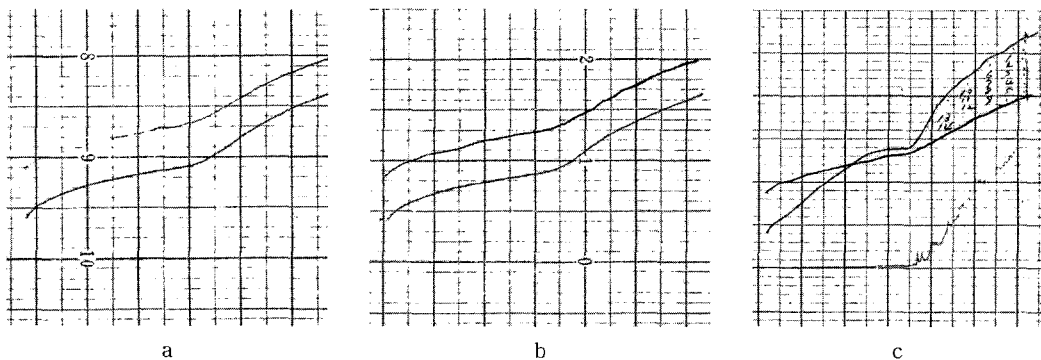


Fig. 2. Heat generation index($td\theta$) and smoke density index curves

* a : face particle · cement board, b : core particle · cement board, c : plywood

4. 결 론

본 연구는 바닥 및 벽체 등 건축재료로서의 목질재료와 목질·시멘트 복합보드의 특성을 살펴보고자 실시되었으며, 얻어진 주요결론은 다음과 같다.

1. 클램핑압체방식으로 제조한 목질·시멘트 복합보드의 적정 시멘트/목질원료 혼합비(C/W비)는 2.7~3.2로서 보드의 물성이 양호하였으며, C/W비 3.2에서 치수안정성이 우수하였다. 특히, 파티클보드 표층용 파티클은 모든 C/W비에 걸쳐 치수안정성이 양호하였으며, 휨강도는 파티클보드 중층용 파티클 또는 폐신문지섬유를 사용한 보드가 높았다.

2. 목질·시멘트 복합보드의 열전도율은 석고보드와 유사하거나 높았으며, 합판 및 목질보드의 열전도율을 상회하였다.

3. 목질·시멘트 복합보드(C/W비 2.7)의 내화성능은 석고보드보다 커 중량감소율이 약 1/2이었으며, 목질판재료와 비교하여 월등한 내화성능을 지녔다.

5. 참고문헌

1. KS F 2271. 1998. 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법
2. Simapupang, M. H. and R. L. Geimer. 1991. Inorganic binder for wood composites: feasibility and limitations. Wood adhesives 1990, Proceedings of a symposium sponsored by USDA Forest Service FPL and FPRS: 169-176
3. Wegner, T. H., J. A. Youngquist, and R. M. Rowell. 1992. Opportunities for composites from recycled wood based resources. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 266: 3-15
4. 菊地伸一, 山岸宏一, 澤田哲則, 平間昭光, 山田 誠. 1990. 카라마쯔硬質木片시멘트

板의耐火性能-耐火野地板としての利用. 林産試験情報 4(3): 23-28

5. 菊地伸一, 駒澤克己, 小橋一哉. 2002. 低密度ファイバーボードの斷熱性・吸音性と難燃處理方法. 林産試験場報 第16券 第3号: 1-6
6. 堀江秀夫, 阿部龍雄, 小川尚久, 角田重夫. 1998. セメントボードの製造に關する研究(第1報)-カラマツ材の混入限度の検討. 林産試験場報 12(1): 1-6
7. 堀江秀夫, 阿部龍雄, 小川尚久, 角田重夫. 1998. セメントボードの製造に關する研究(第2報)-混和材を添加した輕量セメントボード. 林産試験場報 12(2): 1-12
8. 山岸宏一, 北澤政幸, 波岡保夫, 穴澤 忠, 江畑 進, 葛西 章, 駒澤克己, 高橋利男, 飯田信男, 小田島 輝一, 布村昭夫, 佐野嘉拓, 榊原 彰. 1985. 硬化不良樹種による木質セメント板の製造に 關する研究. 林産試験場研究報告 No. 74: 1-48
9. 成形科, 荏原商事(株). 2000. 木質資材のリサイクル技術の開発- 建築解體材を利用した木質系鋪裝資材の開発(共同研究). 林産試験場報 14(4): 7-9
10. 成形科, 荏原商事(株). 2001. 木質資材のリサイクル技術の開発- 建築解體材を利用した木質系鋪裝資材の實用化の研究(共同研究). 林産試験場報 15(4): 14-16
11. 永富 辨, 黒木康雄, ドウワイト A. エユセビオ, 馬靈 飛, 川井秀一, 佐々木光. 1996. 木質セメント板の迅速硬化(第2報). 日本木材學會誌. 42(7): 659-667.
12. 永富 辨, 黒木康雄, ドウワイト A. エユセビオ, 馬靈 飛, 川井秀一, 佐々木光. 1996. 木質セメント板の迅速硬化(第5報). 日本木材學會誌. 42(10): 977-984.
13. 永富 辨. 1997. 木質セメントボードの迅速硬化技術の開発研究. pp. 139.