

팽창 퍼라이트를 사용한 건축용 보드의 개발에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Development of Building Board with Expanded Perlite

강 승 문* 김 대 회** 지 석 원*** 전 현 규**** 서 치 호*****
Kang Seung Moon Kim, Dae Hoi Ji, Suk Won Jeon, Hyun Kyu Seo, Chee Ho

Abstract

The purpose of this study is to prepare the basic data for the development of building board with expanded perlite. Each paste was mixed with four levels of water cement ratio(30, 40, 50, 60%), and expanded perlite was substituted with four levels of substitutive ratio(20, 40, 60, 80%) for the each paste. The physical property, compressive strength, bending strength and thermal conductivity of each cement composite which is made through previously described method were analyzed and the result was as follow. In the case of 80 percent substitutive ratio, the cement composite had a mechanical defect which was resulted from lack of paste content. In the case of 40 and 60percent substitutive ratio, the cement composite had sufficient strength, light weight and low thermal conductivity for application to fire resisting board.

1. 서 론

일반적으로 습식재료를 사용하는 재래식 공법은 건설생산성 저하, 기능인력 부족, 품질관리의 어려움 및 환경오염 등의 여러 부정적 측면을 가지고 있어 건식 공법으로의 전환이 요구되고 있는 실정이다. 대표적인 건식재료로서 보드류는 단열재, 흡음재, 마감재, 내화피복재, 경량 칸막이벽재 등의 여러 분야에서 그 입지를 넓혀가는 과정에 있으며, 경량성, 단열성 등의 보다 향상된 성능과 경제성 확보를 목표로 새로운 보드 구성재료의 개발을 위한 연구들이 계속되고 있다.

이러한 배경에서 퍼라이트는 경량성, 불연성, 단열성, 흡음성 등 보드 구성재료로 사용되기에 적합한 재료적 특성을 지니고 있음에도 불구하고, 국내 건설부문에서는 경량콘크리트용 골재, 내화뿔철재 등의 현장 사용제품 위주로만 활용되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 팽창 퍼라이트를 사용해 시멘트 복합체를 제조한 후 기초 물성 실험을 수행하여 팽창 퍼라이트의 보드 구성재료로서의 적합성을 검토하고 향후 효과적인 활용을 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

* 정회원, 건국대학교 건축공학과, 석사과정
** 정회원, 건국대학교 건축공학과, 박사과정
*** 정회원, 시립인천전문대학 강사
**** 정회원, 우석대학교 건축공학과 겸임교수
***** 정회원, 건국대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201에 적합한 국내 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 팽창 퍼라이트

퍼라이트는 용암이나 마그마가 급격히 수냉되면서 형성된 암석으로서 크게 흑요석, 진주암, 송지석으로 분류된다. 이러한 퍼라이트를 분쇄하여 급격한 열(1,000℃ 이상)을 가하면 내부에 함유된 휘발성분이 기화하면서 내부기공을 발생시키게 되고, 이로 인해 본래부피의 약 5~20배 정도로 팽창하게 되는데 이를 팽창 퍼라이트라 하며 경량성, 단열성, 흡음성, 불연성 등의 특징을 가지고 있다.

본 실험에 사용한 팽창 퍼라이트는 국내 S사의 제품으로서 그 물리적 성질과 화학적 성분은 다음 표 1과 같다.

표 1 팽창 퍼라이트의 화학적 성분 및 물리적 성질

구분	화학적 성분							물리적 성질				
	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	비중	공극률 (%)	열전도율 (kcal/mh℃)	pH	색상
팽창 퍼라이트	70~75	12~16	1~4	2.5~5	0.15~1.5	0.1~2.0	0.2~0.5	0.15	90 정도	0.03~0.05	6.5~7.5	백색, 회백색

2.2 실험계획 및 배합

본 실험은 프레스 및 압출 등 보드제조 배합을 고려하여, 페이스트의 물-시멘트비를 30%에서부터 60%까지 10%씩 증가시켜 4수준으로 하였고, 각 수준별로 팽창 퍼라이트를 페이스트 용적 대체재로 사용하여 그 대체율을 0%에서 80%까지 20%씩 늘려 5단계로 배합하였다.

표 2 실험 인자 및 수준

요 인	물-시멘트비(%)	페이스트에 대한 팽창 퍼라이트 대체율(%)
인 자	30, 40, 50, 60	0, 20, 40, 60, 80
수 준	4	5
기 호	A, B, C, D	1, 2, 3, 4, 5

2.3 시험항목 및 방법

시험체의 제작은 배합계획에 따라 시멘트와 물을 투입하여 1차 비빔을 한 후, 계획된 양의 퍼라이트를 투입하여 손비빔으로 2차 비빔을 실시하였다. 압축강도용 시험체는 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 의해 제작하였고, 휨강도용 시험체는 KS F 2407(단순보의 중앙점 하중법에 의한 휨강도 시험방법)에 의거하여 제작하였다. 열전도율 측정은 KS F 2460(가열판에 의한 재료의 열전도율 시험방법)에 의해 30×30×5cm의 시편을 제작하여 일본 K사의 쾌속열전도율계를 이용하여 측정하였고, 건축용 보드류에 요구되는 건습에 의한 길이변화율 시험은 KS F 4735(압출성형 콘크리트 패널)에 근거 4×4×16cm의 시편을 제작한 후, 습윤과 절건에 따른 길이변화를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

팽창 퍼라이트를 활용한 건축용 보드 개발을 위해 상기 방법으로 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었으며, 각 항목별로 분석하면 다음과 같다.

표 3 실험결과표

시험체 번호	W/C (%)	팽창 퍼라이트 대체율 (%)	단위용적중량 (t/m ³)	압축강도 (kgf/cm ²)			휨강도 (kgf/cm ²)	열전도율 (kcal/mh°C)	길이변화율 (%)
				3일	7일	28일			
A-1	30	0	1.886	615	726	765	52	0.740	0.139
A-2		20	1.739	443	489	510	43	0.623	0.133
A-3		40	1.515	142	148	168	37	0.440	0.153
A-4		60	1.305	83	98	117	25	0.262	0.112
A-5		80	0.920	50	51	58	20	0.124	0.148
B-1	40	0	1.696	467	531	594	44	0.953	0.207
B-2		20	1.609	324	386	440	31	0.716	0.102
B-3		40	1.461	225	280	315	28	0.499	0.095
B-4		60	1.298	130	155	178	25	0.271	0.103
B-5		80	0.903	63	70	87	14	0.163	0.112
C-1	50	0	1.608	256	313	408	27	0.601	0.149
C-2		20	1.422	189	216	261	26	0.439	0.132
C-3		40	1.341	169	199	229	26	0.396	0.109
C-4		60	1.220	140	168	203	20	0.258	0.090
C-5		80	0.749	35	36	40	13	0.156	0.105
D-1	60	0	1.425	202	234	332	25	0.529	0.185
D-2		20	1.334	146	193	243	25	0.454	0.180
D-3		40	1.185	142	169	196	23	0.344	0.107
D-4		60	1.037	87	100	111	18	0.240	0.094
D-5		80	0.725	45	48	57	12	0.101	0.085

3.1 단위용적중량

본 실험의 결과, 팽창 퍼라이트를 혼입하지 않은 순수 페이스트는 1.89~1.43t/m³의 단위용적중량을 나타내고 있으나, 팽창 퍼라이트를 단계적으로 20%씩 페이스트에 대체하였을 경우 각 단계별로 이전 단계를 기준으로 하여 평균 8, 10, 12, 32%의 감소율을 보였다. 이는 비중이 낮은 팽창 퍼라이트 사용에 의해 단위용적중량이 급격히 감소한 것으로 판단되며, 대체율이 증가함에 따라 단위용적중량 감소율이 커지는 것은 퍼라이트의 흡수와 페이스트량의 부족으로 인한 충전성 저하에 기인한 것으로 판단된다.

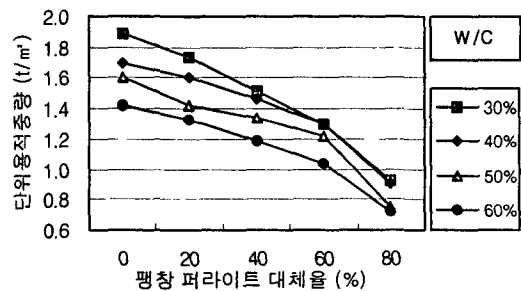


그림 1 팽창 퍼라이트 대체율에 따른 단위용적중량

팽창 퍼라이트가 40% 이상 대체된 배합은 W/C가

30%인 경우를 제외하고는 모두가 1.5t/m³ 이하의 값을 나타내고 있어 시공성 확보를 위한 경량화 측면에서는 팽창 퍼라이트가 매우 우수한 재료임을 알 수 있었다.

3.2 압축강도

물-시멘트비별로 팽창 퍼라이트 대체율에 따른 28일 압축강도의 변화 추이를 살펴보면, 모든 배합에 있어 공통적으로 팽창 퍼라이트 대체율이 높아질수록 압축강도가 저하된다는 것을 알 수 있었다.

팽창 퍼라이트 무혼입에서 80% 대체까지의 강도 저하폭은 물-시멘트비 30%에서 707 kgf/cm²로 가장 크고, 물-시멘트비가 높아지면서 점점 변화폭이 줄어들어 물-시멘트비 60%에서 275 kgf/cm²로 가장 낮은 변화폭을 보였다. 이는 팽창 퍼라이트 무혼입에 가까울수록 Abrams의 물-시멘트비설에 의해 물-시멘트비에 따른 큰 강도차를 보이는 반면, 대체율이 80%에 가까워 갈수록 페이스트량 부족으로 인한 구조적 취약점이 강도에 지배적 영향을 미쳐 모든 배합이 물-시멘트비에 관계없이 유사한 범위의 낮은 강도를 나타내기 때문으로 분석된다.

팽창 퍼라이트 대체율별 28일 압축강도는 전체적으로 팽창 퍼라이트의 대체율이 증가함에 따라 적정 물-시멘트비도 비례적으로 증가하는 경향을 나타내어, 대체율 0, 20, 40, 60%에서는 각각 적정 물-시멘트비가 30, 30, 40, 50%인 것으로 나타났으며, 대체율 80%에서는 물-시멘트비에 관계없이 비슷한 정도의 낮은 강도를 나타내었다. 80%의 경우 페이스트량의 부족으로 인한 구조적 취약점이 강도에 지배적 영향을 미치기 때문으로 적정 수량이 확보된다고 하여도 강도의 증진을 얻기 힘들게 되어 작은 충격이나 마찰에도 퍼라이트 입자의 박락으로 단면손실이 발생할 위험이 크기 때문에 건축용 보드에 적용하기에는 부적절한 것으로 나타났다.

재령 28일에 대한 재령 7일의 초기 강도발현율은 0%, 20% 대체의 경우 물-시멘트비에 반비례하는 경향을 나타냈고, 그 이상의 대체율에서는 특별한 경향을 나타내지 않았으나, 전체적으로 보았을 때 대부분의 배합이 80% 이상의 높은 초기강도 발현율을 보였다.

3.3 휨강도

보드는 두께에 비해 그 면적이 넓기 때문에 운반 및 시공시 자중을 견디기 위한 휨강도가 매우 중요한 역학적 성능으로 요구되고 있고, 일반적으로 건축용으로 사용되는 보드의 경우 휨강도가 15.4 kgf/cm² 이상이 되어야 한다고 제안되고 있다.

팽창 퍼라이트 대체율에 따른 물-시멘트비별 휨강도를 살펴보면 압축강도와 마찬가지로 대체율이 높아질수록 휨강도가 저하하는 경향을 볼 수 있고, 이때 80% 대체를 제외한 모든 배합에서 15.4 kgf/cm² 이상의 휨강도를 나타내어 건축용 보드에 적용되기에는 충분하나, 보드를 박판화 할 경우에는 휨강도 증진을 위한 적정량의 섬유 혼입 등 휨강도 보강대책이 필요할 것으로 판단된다.

휨강도와 28일 압축강도를 비교하여 보면, 팽창 퍼라이트 대체율 증가에 따른 휨강도의 저하율이

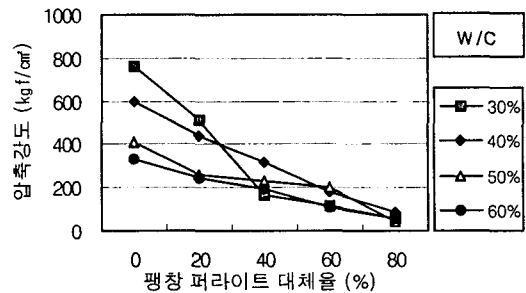


그림 2 팽창 퍼라이트 대체율에 따른 28일 압축강도

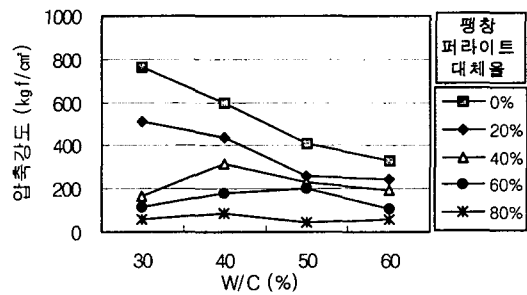


그림 3 물-시멘트비에 따른 28일 압축강도

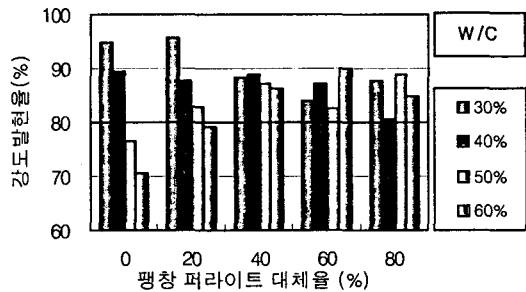


그림 4 재령 28일에 대한 7일의 압축강도 발현율

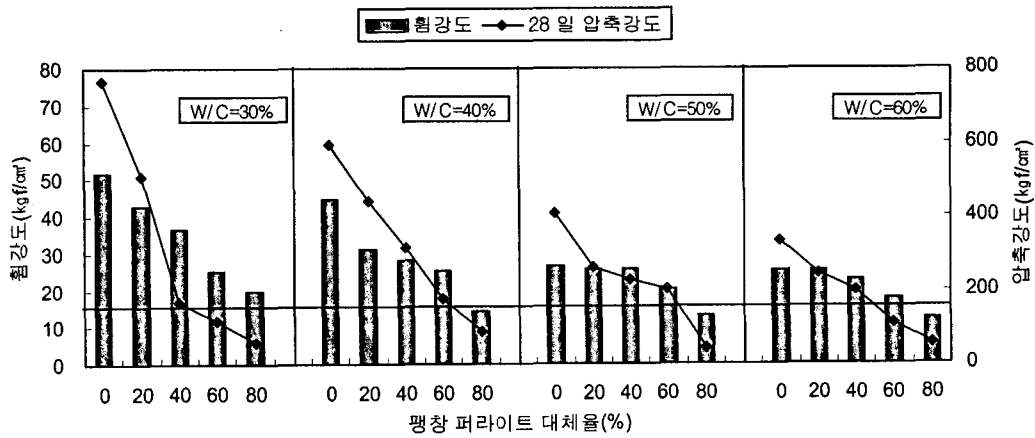


그림 5 휨강도와 28일 압축강도의 비교

압축강도 저하율에 비해 훨씬 낮게 나타나는데, 이는 휨하중을 받는 경우 팽창 퍼라이트가 페이스트의 취성을 완화시켜주는 작용을 하기 때문으로 판단된다.

3.4 열전도율

피복재나 단열재료의 활용가능성을 검토하기 위하여 열적특성을 측정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

열전도율은 팽창 퍼라이트 대체율이 증가함에 따라 0.95~0.1kcal/mh°C 범위 내에서 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

팽창 퍼라이트 대체율에 따른 물-시멘트비별 열전도율 추이를 살펴보면 0, 20, 40%의 낮은 팽창 퍼라이트 대체율에서는 물-시멘트비에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 60, 80%로 팽창 퍼라이트 대체율이 높아질수록 물-시멘트비의 영향은 미

미하게 나타났는데, 이러한 현상의 원인은 전체 용적을 기준하여 상대적으로 높은 점유비를 갖는 재료에 의해 전체적인 열특성이 지배받는다라는 이론하에, 60% 이상의 용적 점유율을 갖는 팽창 퍼라이트의 낮은 열전도율이 페이스트에 비해 전체 열특성에 미치는 영향이 크기 때문으로 판단된다.

그러나 이러한 경향 속에서 특히 물-시멘트비 40%이면서 팽창 퍼라이트 대체율이 낮은 경우에는 앞의 경향과 상이한 특성을 보이는 것을 알 수 있는데, 이는 페이스트 내부의 모세관 공극을 최소화하면서 최적의 충전성을 위한 적정 수량의 확보가 가능했기 때문에 다소 높은 열전도율을 보이는 것으로 분석된다.

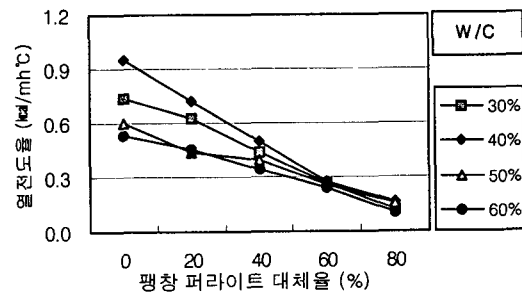


그림 6 팽창 퍼라이트 대체율에 따른 열전도율

3.5 건습에 의한 길이변화율

보드류와 같은 건자재에 있어서 건습에 의한 길이변화율은 시공 후 공기 중 습도에 의한 변형과 관련하여 매우 중요한 의미를 지닌다. 따라서 보드류 제작을 위한 기초적 자료 제공을 위하여 건습에 의한 배합별 길이변화율 시험을 실시하였고, 그 결과는 그림 7과 같다. 습윤상태에 대한 절건상태의 길

이 변화율을 살펴보면 물-시멘트비의 영향에 의한 경향은 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 단지 개괄적으로 팽창 퍼라이트의 혼입률이 증가함에 따라 길이변화율이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이는 시멘트 페이스트 보다는 팽창 퍼라이트의 함수상태에 따른 체적변화율이 적기 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 건축용으로 사용되는 보드류의 건설에 의한 길이변화율은 0.12% 이하로 제한되고 있는데, 본 실험 결과 팽창 퍼라이트 대체율이 40% 이상이 되면 물-시멘트비 30%를 제외한 모든 배합이 이 규정을 만족하여 팽창 퍼라이트를 다량 함유한 배합에 있어 건설에 의한 길이변화로 기인한 문제점은 없을 것으로 판단된다.

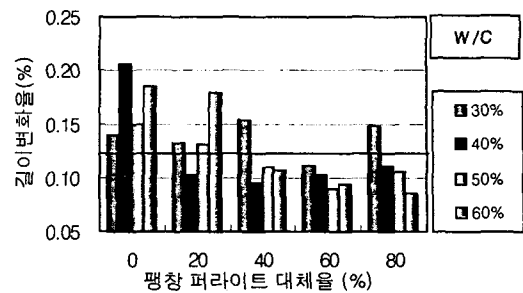


그림 7 건설에 의한 길이변화율

4. 결 론

건축용 보드 재료로서 팽창 퍼라이트의 적용성 평가 및 향후 효과적 활용의 기초자료를 제시하기 위해 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시멘트 페이스트에 대한 팽창 퍼라이트의 대체율이 높아질수록 단위용적중량이 직선적 저감경향을 보여 경량화 측면에서 매우 유리한 것으로 나타났다.
2. 팽창 퍼라이트의 대체율이 높아질수록 압축강도는 급격히 저하하였으며 적정 물-시멘트비는 높아지는 경향을 나타내었다.
3. 휨강도에 있어 팽창 퍼라이트 대체율 80%를 제외한 나머지 배합은 적용이 가능할 것으로 판단되지만, 보드의 박판화를 위해서는 섬유 혼입 등 휨강도 보강대책이 필요할 것으로 판단된다.
4. 열전도율은 팽창 퍼라이트의 대체율이 낮은 배합에서는 물-시멘트비에 따라 큰 차이를 보였지만, 퍼라이트 대체율이 높아짐에 따라 물-시멘트비에 따른 차이 없이 유사한 값을 나타내게 되어 대체율 60, 80%에서 각각 0.2, 0.1kcal/mh²℃대의 값을 나타내었다.
5. 건설에 의한 길이변화율은 팽창 퍼라이트 대체율이 높아질수록 저감되면서 대체율 40% 이상의 경우에는 대부분 0.12%이하의 길이변화율을 보여 건자재 적용가능성을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로 건축용 보드 구성재료로서 팽창 퍼라이트의 적용성을 파악할 수 있었으며, 향후에는 휨강도 보강 대책, 박판화를 위한 적절한 성형방식 모색 등의 추가적인 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정동학, 퍼라이트를 이용한 경량물탈의 강도에 관한 실험적 연구, 건국대학교 대학원, 1989.2.
2. 건축기술정보(편), 압출성형에 의한 시멘트계 건축재료의 제조와 이용, 건축기술정보, 1995.2.
3. 김봉주 외, 고온수열된 무기질단열재의 물성변화에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제10권 제2호, 1990.10.
4. 김진근 외, 콘크리트의 열전도율에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집 제13권 4호, 2001.8.