

공동주택 바닥용 시멘트 모르타르의 복합강화법 변화에 따른 열전도 특성

Properties of Thermal Conductivity of Cement Mortar for Apartment Housing Floor Using Combined Strengthening Method

윤길봉^{*} 전충근^{**} 정성철^{**} 윤기원^{***} 한천구^{****}
Yin, Ji Feng Jeon, Chung Keun Cheong, Sung Chul Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the thermal conductivity of cement mortar for apartment housing floor using expansive admixture, copper fiber, copper lathe, hollowed aluminum plate. According to test results, temperature at point (a) located above heating pipe does not show significant variation with age, and temperature at (b), which is located at the finishing surface above heating pipe, and temperature at (c), which is located at center surface between heating pipe has remarkable change. Temperature distribution sat (b) are in order for ; structure containing copper fiber>plain structure>structure containing hollowed aluminum plate>structure containing expansive admixture. Temperature distributions shows high tendency in order for ; structure containing copper fiber>structure containing copper lathe>structure containing hollowed aluminum plate>plain structure>structure containing expansive admixture. (a) estimation of temperature distribution is determined with the variation of temperature between (b) point and (c) point during 60 minutes heating.

1. 서론

우리 나라 아파트 등 공동주택의 난방방식은 온수파이프를 이용한 하부 바닥의 복사 난방방식으로 세계적으로도 거의 예가 없는 독특한 형식을 취하고 있다.

이와 같은 난방방식은 열효율이 크고, 건강하고 쾌적한 생활을 영위하게 하는 등 많은 장점을 가지고 있는 반면 마감재인 시멘트 모르타르 부분의 경우는 재료선택 결함 및 시공불량 등의 이유로 침하 균열, 소성수축 및 건조수축균열 문제가 끊임없이 제기되고 있고, 또한 과도적재 하중 및 초기 난방시 열응력에 의한 균열과 함께 열전도가 빠르지 못함에 따라 불균일한 온도분포로 불쾌감을 주는 등 일부 해결해야만 하는 과제도 존재한다.

그러므로, 본 연구는 공동주택 바닥 모르타르의 기본구조에 동섬유, 동메탈라스 및 시판제품인 알루미늄 방열판을 보강함으로써 균열억제 및 열전도율을 높이고, 또한 팽창재를 혼입시켜 줌으로써 건조수축을 보상하여 균열을 방지하는 두가지 복합강화방법에 대하여 비교 검토함으로써 향후 고품질의 공동주택바닥용 시멘트 모르타르 시공에 참고자료로 제시하고자 한다.

- * 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정
- ** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정
- *** 정회원, 주성대학 건설재료공학과 조교수, 공학박사
- **** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 모르타르의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 배합요인으로 배합비는 최근 건축공사현장에서 많이 사용하고 있는 바닥마감용 시멘트 모르타르의 배합조건을 참조하여 1:3에서 W/C를 65%로 하였다. 팽창재의 혼입률은 시멘트 중량에 0 및 9%로 하였고, 동섬유의 혼입량은 0 및 0.63kg/m²를 모형시험체 마무리면에 뿌려주는 것으로 하였으며, 강화재의 종류로서 동섬유, 알루미늄 방열판 및 동메탈라스를 사용하였는데, 알루미늄 방열판은 난방파이프 위에 한겹 깔아주고, 동메탈라스는 난방파이프 위와 마감모르타르의 표면 및 위와 표면을 동시에 깔아주는 등 표 1의 조합과 같이 총 8개의 모형 시험체를 제작하는 것으로 실험 계획하였다.

실험사항으로 굳지않은 모르타르에서는 모형시험체 부어넣기 전에 슬럼프플로우 및 공기량을 측정하도록 하였고, 경화 모르타르에서는 압축 및 인장강도, 길이변화율, 열전도율을 측정하였다. 또한, 모형 시험체에서는 각 위치별 온도를 측정함으로써 열전도 특성을 검토하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 팽창재는 CSA계를 사용하였는데, 그 물리 및 화학적 성질은 표 3 및 4와 같다. 골재는 충북 청원군 현도산 강모래를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 5와 같다. 동섬유는 직경이 0.18mm이고 형상비가 100인 전선제작용 동

표 1 실험계획

실험 요인		실험 수준	
배합 사항	배합비(W/C)	1	1 : 3 (65%)
	팽창재 혼입률(%)	2	0, 9
	섬유 혼입량 (kg/m ²)	2	0, 0.63
	강화재 종류	3	동섬유, 방열판, 동메탈라스
모형 시험체	치수 (mm)	1	800×4800
	시험체 종류	8	<ul style="list-style-type: none"> • 플레인(A) • 동섬유(B) • 팽창재(C) • 팽창재+동섬유(D) • 팽창재+방열판(E) • 팽창재+메탈라스(표면)(F) • 팽창재+메탈라스(파이프위)(G) • 팽창재+메탈라스(파이프위, 표면)(H)
실험 사항	굳지않은 모르타르	2	슬럼프플로우, 공기량
	경화 모르타르	5	<ul style="list-style-type: none"> • 압축 및 인장강도(7, 28일) • 열전도율 및 건조수축 길이변화 • 위치별 온도

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,328	0.07	260	420	214	308	384

표 4 팽창재의 화학적 성질

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SiO ₂	lg.loss	Total	f-CaO
52.28	13.46	28.26	0.21	0.73	0.12	3.82	1.03	99.91	15.90

표 5 골재의 물리적 성질

비 중	흡수율 (%)	단위용적 증량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
2.60	1.46	1,598	61.0	2.06

표 2 시멘트 모르타르의 배합표 및 물리적 특성 실험결과

배합 사항		실험 결과															
배합비	W/C (%)	팽창재량 (%)	단위수량 (kg/m ³)	용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)			슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		인장강도 (kgf/cm ²)		열전도율 (kcal/mh °C)	길이변화율(×10 ⁻⁴)
				C	S	E.A	C	S	E.A			7일	28일	7일	28일		
1:3	65	0	301	147	542	0	463	1,388	0	49	7.8	142	185	28	43	1.2	-5.3
		9	299	133	539	19	460	1,379	41	48	8.9	125	205	27	40	1.1	-2.2

소선을 절단하여 사용하였고, 동메탈라스(열전도율 : 332kcal/mh℃) 는 주문 제작한 #300인 마름모형의 그물눈을 가진 것을 사용하였으며, 방열판은 시판되고 있는 L사의 바닥마감 모르타르용 알루미늄 방열판(열전도율 : 191kcal/mh℃)을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로써 굳지않은 모르타르의 혼합은 팬믹서를 사용하여 KS L 5109의 규정에 따라 실시하였고, 굳지않은 모르타르의 특성 및 경화모르타르의 제반특성시험은 KS규격의 표준적인 방법에 의거 실시하였다. 모형 시험체는 최근 건설현장에서 많이 사용하고 있는 바닥마감용 모르타르의 구조를 참조하여 제작하였다. 즉, 그림 1의 단면도와 같이 20mm의 단열용 스티로폼 및 비닐을 두겹 깔고, 그 위에 기포콘크리트를 부어넣어 약 일주간 양생시킨 후 기포콘크리트 위에 합성수지계 난방파이프를 설치하고 바닥마감용 모르타르를 40mm높이로 부어넣는 것으로 하였다.(사진 1~3 참고)

온도 측정은 그림 1과 같이 각 시험체의 난방파이프 위(a), 난방파이프 상단 마감모르타르 마무리면(b) 및 난방파이프사이 중심표면 위치(c)에 열전대(T-type)를 매입하고, Data-logger(사진 4 참고)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 시멘트 모르타르의 특성

본 실험에 사용한 시멘트 모르타르

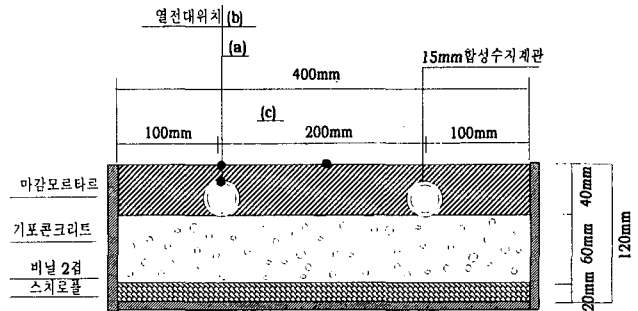


그림 1 모형실험 바닥마감용 모르타르의 단면도

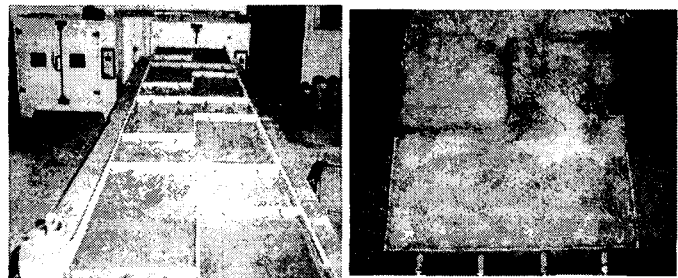


사진 1 기포콘크리트 타설

사진 2 단위 모형 시험체

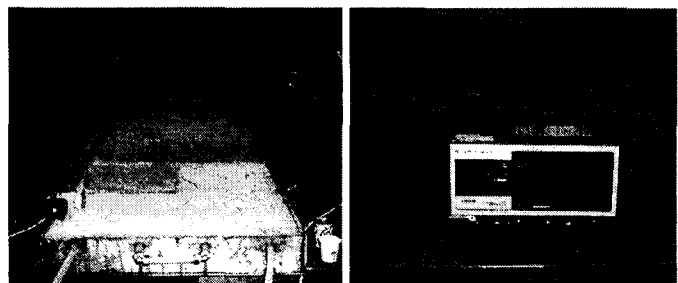


사진 3 모형 시험체의 전경

사진 4 온도 측정

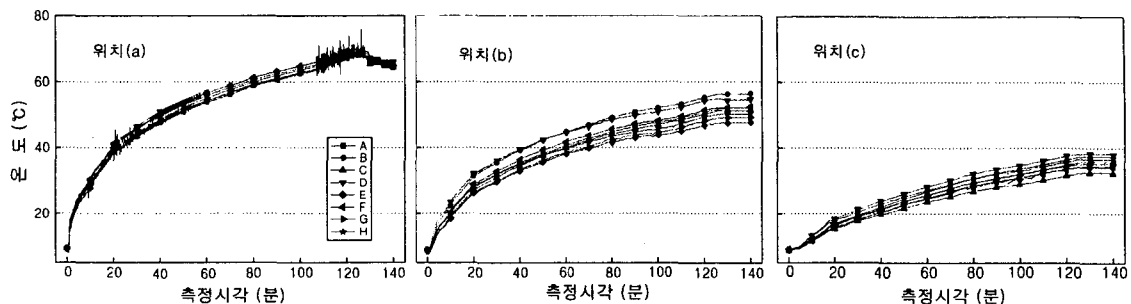


그림 2 측정위치 및 시험체 종류별 시각변화에 따른 온도

의 균지않은 특성 및 경화모르타르의 제반특성의 실험결과는 표 2와 같다.

팽창재를 9% 혼입한 시멘트 모르타르의 제반특성은 팽창재를 혼입하지 않은 플레인과 유사한 경향을 나타내었지만, 건조수축의 경우는 절반이하로 작아 균열저감효과에 유리함을 알 수 있었다.

3.2 온도분포 특성

그림 2는 난방시작 후 약 140분간에 걸쳐 각 시험체종류별 위치(a), (b) 및 (c)의 시각경과에 따른 온도를 나타낸 것이고, 그림 3은 측정위치별 시험체 종류에 있어 시각경과에 따른 온도를 나타낸 것이다.

먼저, 모형 시험체는 최초 온도 8.5℃에서 70℃의 온수를 순환시켰는데, 전반적으로 모든 모형 시험체에서 측정위치의 시간경과에 따른 온도구배는 측정위치에 관계없이 초기에는 급격한 온도상승을 나타내다가 약 20분 경과 후에는 차츰 완만한 온도상승곡선을 보였으며, 약 120분 경에는 일정온도에서 거의 변화 없는 경향을 나타내고 있다. 이는 온수의 순환에 의한 열손실과 히터에 의한 열공급이 서로 평형을 유지하기 때문인 것으로 사료된다.

또한, 난방파이프 위, 즉 측정위치가 (a)지점의 온도는 시험체 종류에 관계없이 측정시각의 변화에 따라 모두 유사하게 나타난 반면 측정위치 (b) 및 (c) 즉 마감모르타르 표면에서는 시험체별 큰 온도차이를 보이고 있으며, 위치 (a)에서 (b) 및

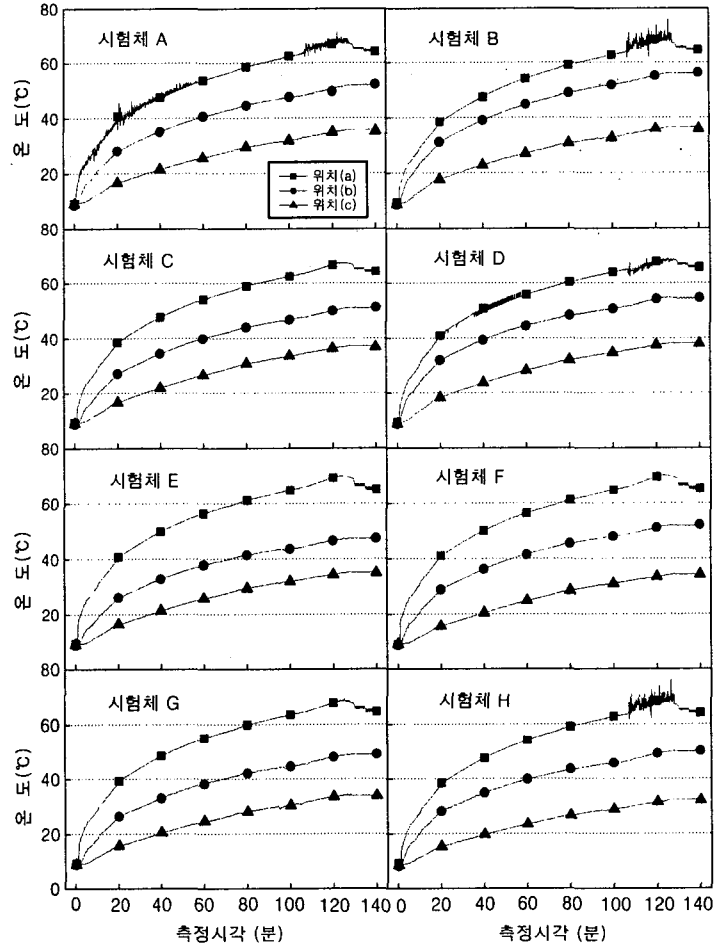


그림 3 각 시험체의 위치별 시각변화에 따른 온도

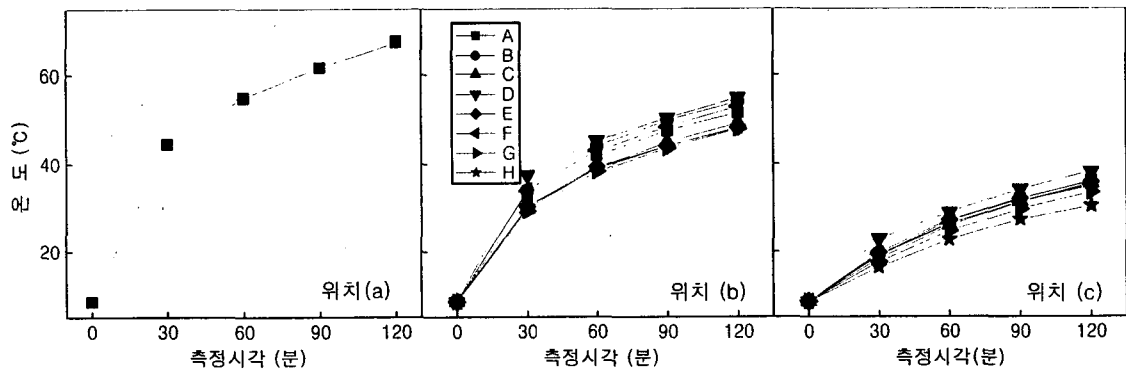


그림 4 보정후 위치별 측정시각 변화에 따른 온도비

(c)로 갈수록 전반적인 온도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 난방파이프부터 전달거리가 길수록 열손실이 크기 때문에 나타난 것으로 분석된다.

3.3 상하{(a-b) 및 (a-c)}간 온도전도

그림 4는 표면부 즉 위치(b) 및 (c)를 동일한 온도조건으로 비교하기 위하여 그림 2의 데이터에서 위치(a)의 평균값으로 오차보정을 실시한 다음, 그 결과를 30분 단위로 나타낸 것이고, 그림 5는 측정위치(a)를 100%로 하였을 경우 위치(b) 및 (c)지점의 시각변화에 따른 온도비를 나타낸 것이다.

먼저, 난방파이프상부 마감 모르타르 표면 즉 (b)지점의 온도는 동섬유 보강구조가 가장 높게 나타났고, 다음으로 플레인, 동메탈라스, 방열판, 팽창재구조 순이었다. 이는 방열판 혹은 동메탈라스와 같이 합성수지계 파이프 위에 놓이는 경우 방열판 및 동메탈라스를 통하여 열이 수평이동하기 때문에 합성수지계 파이프 상단으로의 열전달은 다소 저하되어 보강되지 않은 플레인보다 다소 작게 나타난 것으로 분석되며, 또한 방열판이 메탈라스보다 작은 이유는 열전달되는 접촉면적이 방열판이 크기 때문인 것으로 분석된다.

측정위치가 (c)지점인 경우는 동섬유, 동메탈라스, 방열판, 플레인 및 팽창재구조의 순으로 온도가 높게 나타났다. 동섬유구조와 같은 경우, 플레인 상부로 열이 이동한 다음 표면에서 수평이동하기 때문에 (c)지점 온도가 제일 큰 것으로 분석되고, 방열판이나 메탈라스는 열이 수평이동한 후 열전달율이 작은 모르타르를 통하여 열손실이 다소 증가되므로 (c)지점 온도가 저하하는 것으로 분석된다. 특히, 팽창재구조가 제일 작게 나타났는데 이는 표 2에서와 같이 팽창재의 특성상 공기량이 증대되고 팽창력으로 내부조직이 이완되어 열전도율이 저하되었기 때문인 것으로 분석된다.

이상의 각 시험체별 측정위치(b) 및 (c)에서 온도측정을 통한 열전도 효과는 그림 6과 같이 30℃ 도달시간으로 평가할 경우 동섬유구조<동메탈라스구조<방열판구조<플레인구조<팽창재혼입구조의 순으로 짧게 나타남을 확인할 수 있었다. 즉, 동금속의 뛰어난 열전도율로 인하여 동섬유를 일반 플레인구

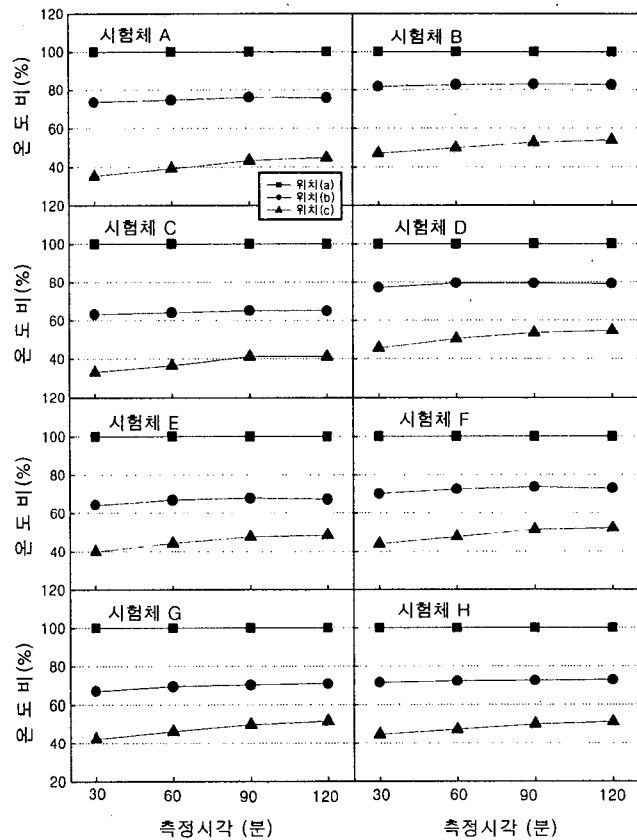


그림 5 각 시험체의 위치별 측정시간 변화에 따른 온도비

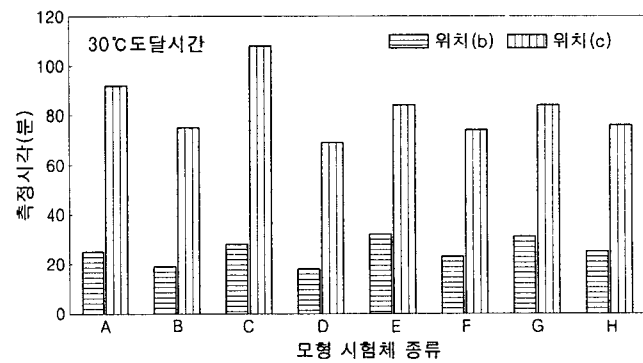


그림 6 각 시험체가 온도 30℃에 도달시간

조의 표면에 뿌려주거나 동메탈라스를 강화해주면 바닥마감 모르타르의 열전달이 커짐에 따라 초기난방에서 열효율의 극대화뿐만 아니라 난방비용도 어느 정도 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2 수평(b-c)간 온도전도

그림 7은 각 시험체별 측정위치(b)와 (c)지점의 60분 경과후의 전도온도 및 변화폭을 나타낸 것이다.

시험체 종류변화에서 동섬유 구조

가 측정위치(b) 및 (c)지점에서 가장 높게 나타났으며 동메탈라스 구조가 다음으로 높게 나타났다. 반면, 온도변화폭은 동메탈라스를 표면에 보강한 구조 그리고 방열판구조가 각각 11 및 13℃로 가장 작게 나타났다. 이는 역시 동메탈라스와 방열판에 의한 열확산작용에 기인하여 나타난 결과로 사료된다.

따라서 표면에서의 측정온도차이는 시험체 G 즉, 동메탈라스를 바닥마감 모르타르의 표면에 시공한 구조가 가장 작게 나타나 불균일한 온도분포를 방지하기 위하여 가장 효과적인 보강구조임을 알 수 있었다.

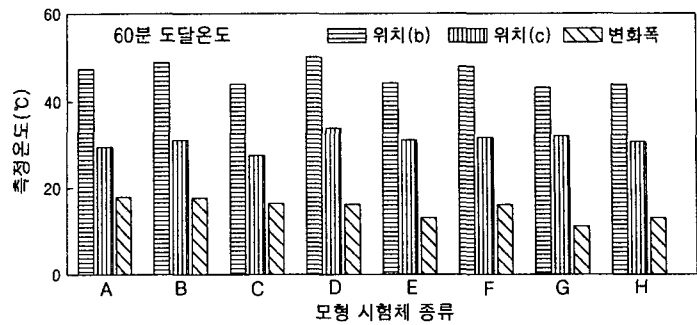


그림 7 각 시험체의 위치별 종류변화에 따른 온도차

4. 결론

팽창재와 동섬유, 동메탈라스 및 알루미늄 방열판을 이용하여 복합강화한 바닥마감 시멘트 모르타르의 열전도 특성을 비교 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 팽창재를 9% 혼입한 시멘트 모르타르는 팽창재를 혼입하지 않은 플레인과 유사한 경향을 나타내었지만, 건조수축의 경우는 절반이하로 작게 나타났다.

2) 바닥마감 모르타르의 열전도 특성으로 난방파이프위인 (a)지점의 온도는 시각경과에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타났고, 난방파이프 상단 마감모르타르 상부면인 (b)지점에는 동섬유구조>플레인구조>동메탈라스구조>방열판구조>팽창재구조 순으로 높게 나타났고, 난방파이프사이 중심표면인 (c)지점에서는 동섬유구조>동메탈라스구조>방열판구조>플레인구조>팽창재구조 순으로 높게 나타났다.

3) 바닥마감 모르타르의 열분포 특성을 주로 바닥마감 모르타르 표면의 (b), (c) 두지점간의 60분 난방시 온도 변화폭으로 평가하였는데 동메탈라스구조가 11℃, 방열판구조가 13℃로 가장 작게 나타났다.

이상을 종합하면, 공동주택 바닥마감 모르타르에 팽창재와 열전도가 우수한 동메탈라스를 표면에 깔아준다면 균열저감, 초기난방시 높은 열효율에 의한 난방비 절감뿐만 아니라 불균일한 온도분포에 의한 불쾌감을 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 윤길봉, 박은배, 정성철, 홍상희, 한천구 ; 화이버의 종류 및 혼입을 변화에 따른 바닥마감용 시멘트 모르타르의 기초적 특성, 대한건축학회학술발표논문집, 제20권 제1호, pp.283~286, 2000. 4
- 박은배, 윤길봉, 정성철, 홍상희, 한천구 ; 동섬유를 이용한 바닥마감용 모르타르의 강도 및 열전도 특성, 한국콘크리트학회학술발표논문집, 제12권 1호, pp.173~176, 2000. 5
- 남중우, Steel Fiber Mortar의 역학적 특성에 관한 실험 연구, 청주대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1984. 6
- 日本建築學會 ; スチールファイバーコンクリート技術の現況, 日本建築學會, 1984. 3