

기능성(탈취/축열) 시멘트 모르타르 기초연구

서신석* · 노현승 · 김정환

<한일시멘트 중앙연구소>

1. 서 론

최근 실내공기질관리법과 관련하여, 기능성 건축재료 사용 보편화 및 친환경/유해성분탈취 건축소재가 증가추세에 있으며, 에너지절약 대책사업인 고유가 대책방안의 일환으로 건축시공법과 더불어 에너지절감형 건축소재 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시멘트 모르타르를 베이스로 하여 기능성 세라믹소재를 이용한 흡착 및 음이온 방출성능으로 실내 공기질개선 탈취효과를 부여함과 동시에 원적외선방출 소재 및 축열소재를 적용하여 에너지절감형 기능성 모르타르 개발을 위한 기초연구를 수행함으로써 친환경/에너지절감형 기능성 시멘트 모르타르 개발 가능성을 검토코자 하였다.

2. 실 험

2.1 실험 재료

2.1.1 시멘트

주 바인더로 <표1>에 보이는바와 같이 I종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 무기계 탈취소재

실내공기질 개선(휘발성유기화합물 및 포름알데히드 흡착)을 위한 탈취소재로 국내 J사의 석영/장석/녹니석계의 phyllite(천매암) 및 탈취율 95%이상의 Albite계의 제주산 다공질 화산암을 각각 사용하였으며, 이들 소재의 특성을 <표2> 및 <표3>에 각각 나타내었다.

<표1> 시멘트의 화학성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	SUM	Blaine
21.21	5.17	3.34	62.72	2.41	2.34	1.20	98.39	3,250

<표2> Phyllite의 NH₃ 및 HCHO(포름알데히드) 탈취결과

구 분	암모니아(NH ₃)가스 탈취			
	경과시간(분)	Blank농도(ppm)	시료농도 (ppm)	탈취율(%)
분석결과	120	116	5	95.7
구 분	포름알데히드(HCHO) 탈취			
	경과시간(시간)	Blank농도(ppm)	시료농도 (ppm)	탈취율(%)
분석결과	4	71	3	95.8

<표3> 제주산 화산암 탈취율, 원적외선 방사율 및 방사능 유해지수 평가결과

구 분	암모니아(NH ₃)가스 탈취				
	경과시간(분)	Blank농도(ppm)	시료농도 (ppm)	탈취율(%)	
분석결과	120	116	4	96.6	
분석결과	원적외선 방사율(5~20 μ m)			0.929	
분석결과	방사능유해지수				
	Ra-226	Th-232	K-40	방사능유해지수	관정 (단위:Bq/g)
	14.5	19.1	352.0	0.26	방사능유해지수 1이하 "무해"

2.1.3 음이온방출 소재

음이온 방출소재로는 국내 C사에서 공급되는 음이온 약4,000개/cc 이상을 발생하는 monazite계[(Ce,Ln,Y,Th)PO₄] 광물을 사용하였다.

2.1.4 원적외선방사 골재

<표4>에 나타낸바와 같이, 원적외선 방사 골재로 국내 D사에서 공급되는 원적외선 방사율 0.927의 장석질 편마암계 기능성골재를 사용하였다.

<표4> 장석질 편마암계 기능성골재 원적외선 방사율

원적외선 방사율	분석 결과
방사율(5~20 μ m)	0.927
방사에너지(W/m ² . μ m 40℃)	3.57 × 10 ²

<표5> 제강 슬래그의 화학성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	F-CaO
13.0	9.6	30.2	39.9	8.0	0.1	-0.66	0.15

<표6> 제강 슬래그의 물성

최대 치수 (mm)	절건 비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적 중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	공극율 (%)	잔입자량 (%)	안정성 (%)
5	3.56	0.42	3.10	2,263	63.75	36.25	0.45	2.6

2.1.6 기타

평가 비교대상으로 일반 시멘트 건조모르타르를 사용하였다.

2.2 성능검토 항목

본 연구의 성능검토 항목은 아래 <표7>과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 탈취

일반적 탈취성능 평가방법인 모르타르 자체만으로의 NH₃ 탈취제거 성능을 살펴보기 위해,

일반 모르타르에 무기계 탈취소재(phyllite 및 화산암)를 4% 외할 첨가하여 탈취 시험을 행한 결과, <표8>에 보이는 바와 같이 일반 모르타르에 비해 약20% 우수한 탈취 제거능력을 보이고 있다.

한편 신축건물의 접착 마감재에서 발생하는 휘발성 유기화합물의 실증적 탈취제거 성능평가를 위해, <사진1>과 같이 모르타르 시험편에 접착제로 마루판을 접착한 후 Small Chamber법 및 FLEC 방법에 의해 TVOCs/ HCHO 흡착정도를 측정하였다.

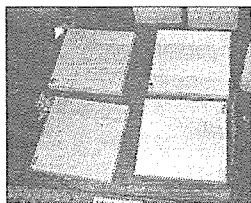
분석결과, <표9>에서 보는바와 같이 분석방법별(small chamber법/FLEC법) 상이한 결과치를 보이고 있으며, 자연방출 농도분석법인 small chamber법에 비해, 인위적 흡입방식인 FLEC법이 대체로 높은 총 유기화합물(TVOCs) 측정치를 보이고 있다.

<표7> 모르타르 성능검토 항목

성능검토 항목	
1)기능성 평가	(1) 탈취/음이온 방출량 TEST (2) 축열/온열TEST
2)기본물성 평가	Flow/단위수량/압축강도 TEST

<표8> 모르타르 NH₃ 탈취 시험결과

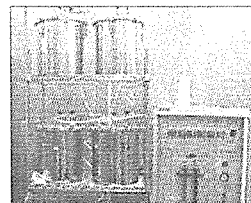
구 분	NH ₃ 탈취율(%)			
	30분 경과	60분 경과	90분 경과	120분 경과
일반 모르타르	49.5	52.6	55.0	55.2
기능성 모르타르	57.7	62.5	64.9	66.4



(a) 시험편(몰탈+접착제+마루판)



(b) 탈취 분석장치



<사진 1> 모르타르 상부 마루판 접착후 휘발성 유기화합물 탈취제거 성능평가 시험

<표9> 탈취 성능결과 (small chamber법 & FLEC법)

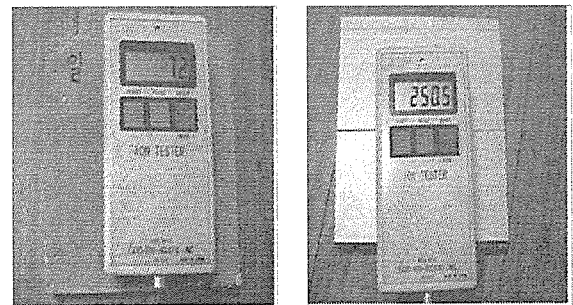
[unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$]

Small chamber Test Results						
구 분	Toluene	Ethyl Benzene	Xylene	Styrene	TVOCs	HCHO
기준시료(접착제+마루판)	91	26	31	45	114	400
기능성 모르타르+접착제+마루판	0	3	10	3	47	28
일반 모르타르+접착제+마루판	7	10	18	9	51	30
FLEC Test Results						
기준시료(접착제+마루판)	-	-	-	-	-	-
기능성 모르타르+접착제+마루판	5	27	95	13	165	12
일반 모르타르+접착제+마루판	10	30	106	14	213	29

실생활 공간에서의 가스노출은 자연방출상태임을 감안할 때 small chamber법에 의한 분석치가 보다 접근성있는 데이터로 판단되며, <표9>의 결과로 살펴볼 때, 기준 마감시료(접착제+마루판)에서 발생하는 총유기화합물(TVOCs) 및 포름알데히드(HCHO)는 전반적으로 각 모르타르에 상관없이 일정량 탈취 감소되는 경향을 나타내고 있으나, <표8>의 모르타르 자체 NH_3 탈취 특성 차이와는 달리, 휘발성유기화합물을 다량 함유한 접착마감재를 도포한 경우에 있어서는 일반모르타르와 기능성 모르타르와의 휘발성분 탈취 성능에 결과론적으로 큰 차이를 보이고 있지 않았다. 이는 <표8>의 저농도 NH_3 가스 농도에 있어서는 모르타르의 탈취성능에 의존될 수 있으나, 실생활 공간에서의 접착마감재에 의한 장시간 높은 농도의 지속적인 가스방출 상태에서는 접착마감재에서 발생하는 다량의 유기화합물 휘발량이 모르타르의 탈취성능 한계농도를 넘어서게 되고, 이로 인해 실내공기질 농도는 모르타르의 탈취성능에 상관없이 접착마감재의 휘발농도에 의존하게 되므로, 실내공기질 개선을 위해선 기능성 모르타르외에 가능한 유기화합물 휘발이 적은 접착마감재의 사용이 권장되며, 휘발량이 높은 접착마감재로 시공되었을 경우에는 기능성 모르타르에 의한 탈취효과 기대보다는 시공후 bake out 및 환기를 통해 접착마감재에서 발생하는 휘발가스를 조기에 감소시키는 것이 매우 효과적이다 할 수 있다.

3.2 음이온 방출량

<사진2>에서 보는바와 같이, 각 시험편(165×165×15mm)을 제작하여, 모르타르 표면 및 마감재 접착후 ION TESTER(Eco-HOLISTIC사 Model EA-13)로 음이온 방출량을 측정하였다. 쾌적한 실내공기 유지를 위한 음이온 방사재로 약4,000개/cc 이상의 음이온을 방사하는 monazite계의 음이온제를 적용한 결과, 음이온 0.1% 첨가당 모르타르의 음이온 발생량은 약250개/cc정도 증가 발생하는 경향을 보였으며, 약 1,000개/cc이상의 음이온 발생시 쾌적한 실내공간을 유지할 수 있다는 보고에 비추어 볼 때, 본 음이온제 약0.5% 첨가시에도 충분히 기능성을 만족할 것으로 판단된다.

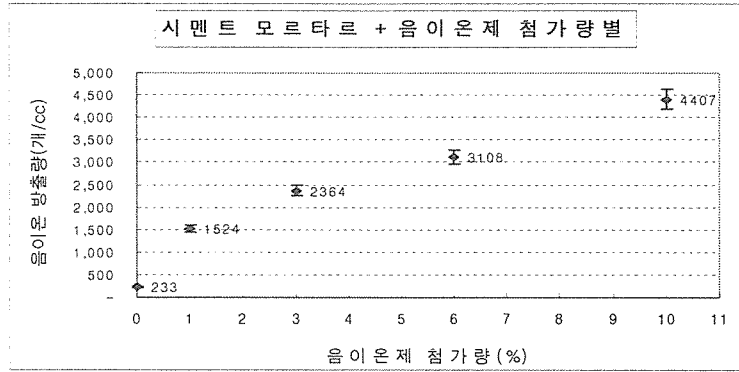


(a) 모르타르 표면측정 (b) 마감재 접착후 측정

<사진 2> 음이온 방출량 시험

<표10> 모르타르 표면 및 마감재 접착후 음이온(개/cc) Test 결과

구 분	일반 모르타르	기능성 모르타르
모르타르 표면	72	2720
마감재 접착후 표면	64	2505



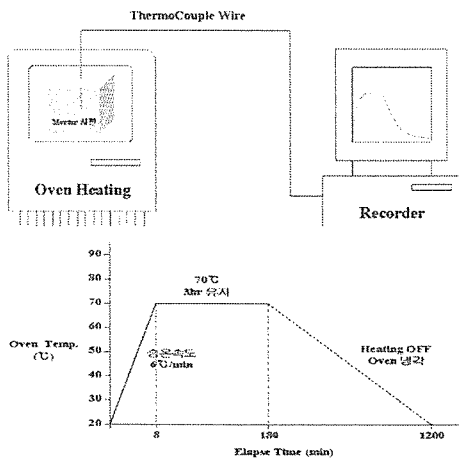
<그림 1> 음이온제 첨가량별 음이온 발생량 변화

3.3 축열 및 온열

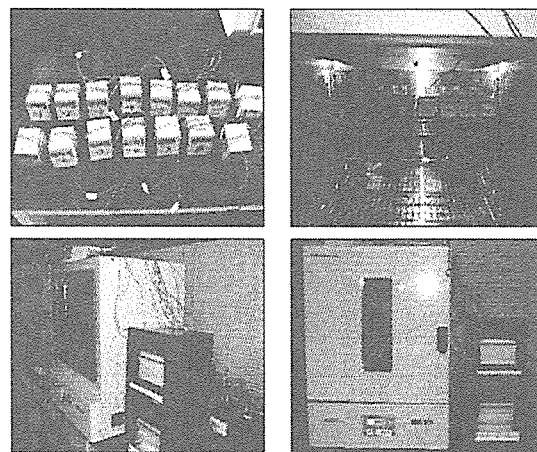
3.3.1 전기오븐에서 가열 및 냉각시의 축열/온열성능 비교

축열 소재로 액상동 첨가량(0, 2, 6, 10, 16%)에 따른 축열/온열 시험결과, <그림3>에서 보는 바와 같이 액상동 첨가에 따라 승온시 2~5℃정도 빠른 승온속도를 보이고 있으며, 이는 액상동에 함유된 동(Cu)이온의 높은 열전도도

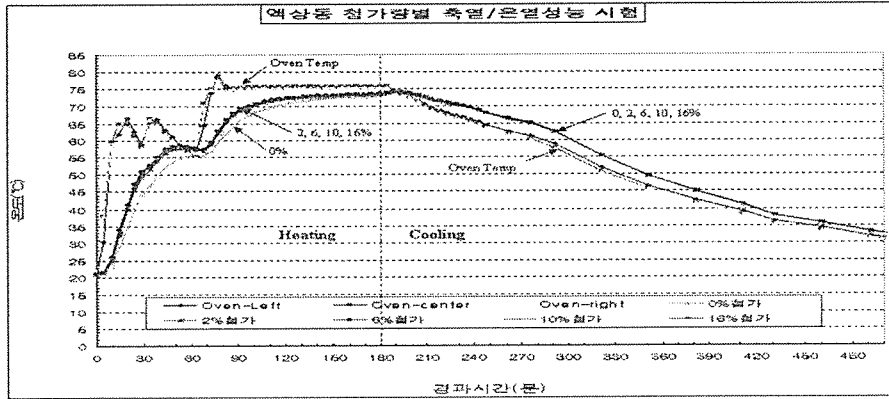
(0.923cal/cm·sec·dec(20℃))에 의한 영향으로 판단되며, 액상동 첨가량 증가에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 한편, 냉각시에는 액상동 첨가에 의해 빠른 냉각속도를 보일것으로 예상되었으나, 액상동 첨가 유무에 상관없이 유사한 냉각속도를 보이고 있다. 이는 액상동 첨가에 의해 열을 쉽게 받아들이고, 받아들인 열은 모르타르 매트릭스내 전체에 열전달됨으로써, 모르타르 매트릭스에 의한 온열효과에 의존하게 되는것으로 판단된다.



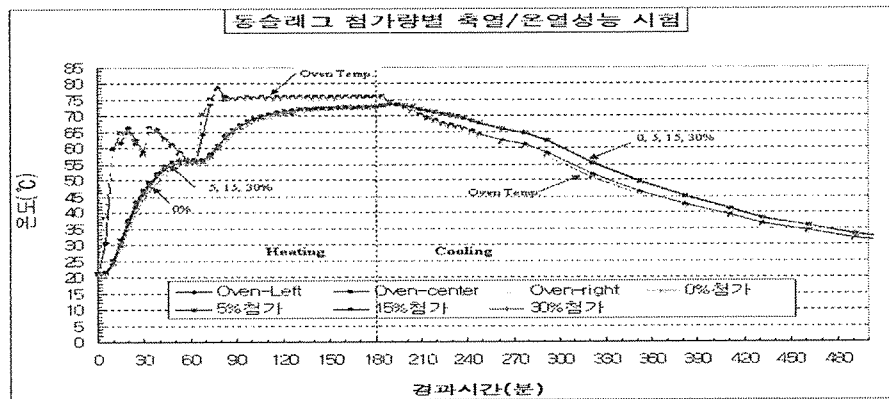
<그림 2> 전기오븐에 의한 축열/온열시험 모식도 및 가열/냉각 조건



<사진 3> 전기오븐에 의한 축열/온열 시험 이미지



<그림 3> 액상동 첨가량별 축열/온열시험 결과 (전기오븐 test)



<그림 4> 동슬래그 첨가량별 축열/온열시험 결과(전기오븐 test)

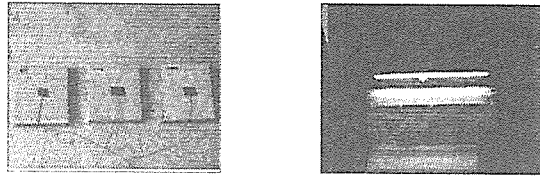
상기 축열/온열효과를 극대화하기 위해서는 열전도도가 높은 소재(Ag, Cu, Fe 등)를 적용하는 것이 바람직하며, 받아들인 열의 보열효과는 모르타르 내 무기질 세라믹에 의존하기 때문에 이에 맞는 적절한 무기질 소재의 선택의 필요하다.

따라서, 이에 대한 무기질소재로 열전도도가 높은 산화철(Fe2O3)함량이 30%이상 되고, 무기질 세라믹 성분(SiO₂, Al₂O₃ 등)을 동시에 함유하고 있는 동슬래그 및 제강슬래그를 축열 무기질소재로 하여 검토 하였다. <그림4>는 축열 무기질소재로 동슬래그 첨가량별(0, 5, 15, 30% ; 세골재 대체) 축열/온열 성능을 테스트한 결과로, 승온 시 <그림3>의 액상동에 의한 효과보다는 낮게 나타나지만, 무첨가보다 1~3°C 정도 높게 나타나고 있으며, 액상동과 마찬가지로 첨가량별 축열성능은 큰 차이를 보이고 있지 않았다. 한편, 냉각속도에 의한 온열 성능을 검토한 결과,

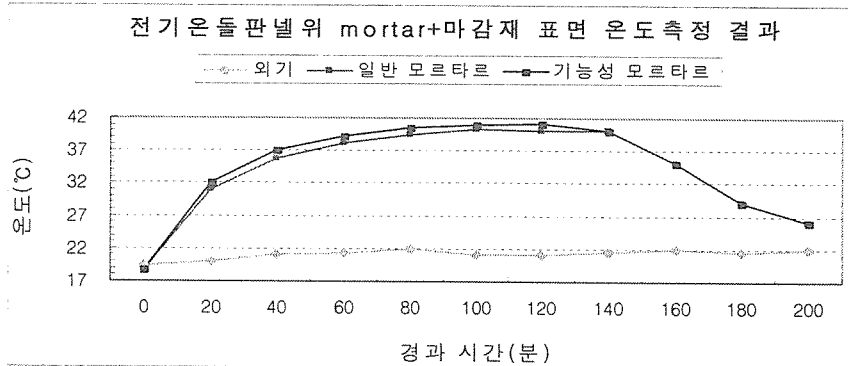
무첨가시와 큰 차이를 보이고 있지 않아 이에 대한 효과는 매우 미미한 것으로 나타났다.

3.3.2 전기온돌 판넬위에서의 가열 및 냉각시의 축열/온열성능 비교

<사진4> 및 <그림5>에서 보는 바와 같이 전기온돌판넬 위에 모르타르+마감재 표면온도 측정결과에서도 앞항의 전기오븐 Test방법 결과와 마찬가지로 축열소재(동슬래그)를 함유한 모르타르가 축열성능에 있어 일반 모르타르에 비해 우수한 것으로 나타났다. 특히, 일반 모르타르에 비해서 약1~2°C 높게 빨리 도달하는 것으로 나타났으며, 냉각시에 있어서는 앞항의 결과와 동일하게 차이를 보이고 있지 않았다. 따라서 이에 대한 보다 정확하고 실증적인 측정을 위해 단열상태 조건하에서의 축열성능 및 온열 특성(복사대류온도)을 비교 하였다.



<사진 4> 전기온돌 판넬에 의한 축열/온열성능 TEST (마감재 표면)

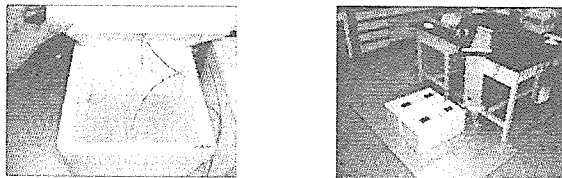


<그림 5> 전기온돌판넬위 mortar+마감재 표면 온도측정 결과

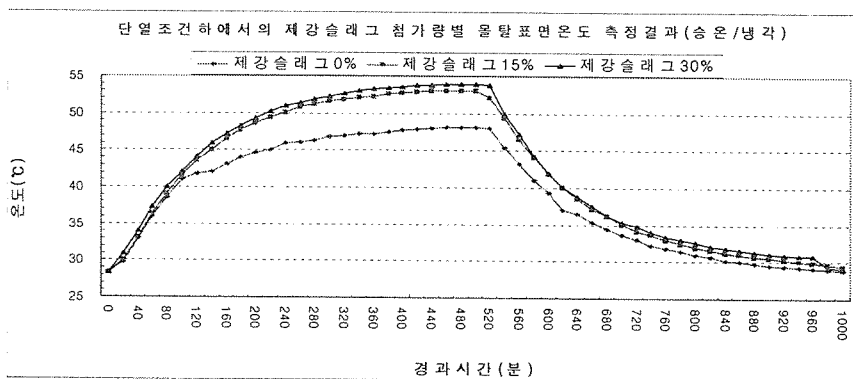
3.3.3 단열상태 조건에서의 가열 및 냉각시 축열/온열성능 비교

<사진5>와 같이 외부로의 열이동을 가능한 차단한 단열상태에서, 각 모르타르의 축열/온열성능을 살펴본 결과, <그림6>에서 보는바와 같이 축열소재(제강슬래그) 첨가량이 증가할수록

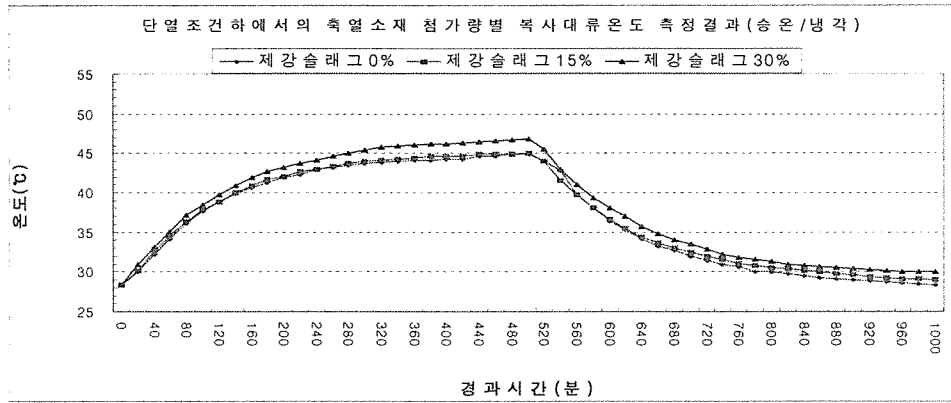
보다 빠른 몰탈 표면온도 상승경향을 보이고 있으며, 제강슬래그 15% 첨가시, 무첨가시 보다 약5°C정도 높은 최고온도치를 보이고 있으며, 그 이상 첨가시에는 첨가량에 비해 상승폭이 적음을 알 수 있었다. 한편 냉각시에는 동일 경과시간을 기준으로 하여 무첨가시 보다 약 2~4°C정도 높은 온도를 유지하는 경향을 나타내었다



<사진 5> 단열상태 조건에서의 축열/온열성능 TEST (몰탈표면/복사대류)



<그림 6> 단열상태조건에서의 제강슬래그 첨가량별 몰탈표면온도 변화

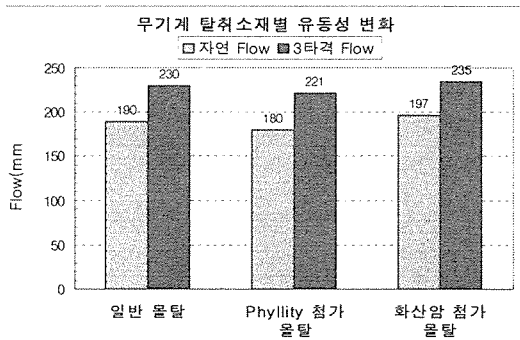


<그림 7> 단열상태조건에서의 제강슬래그 첨가량별 복사대류온도 변화

<그림7>은 단열조건하에서의 제강슬래그 첨가량별 복사대류온도 결과치로, 첨가량이 증가할수록 무첨가시 보다 빠른 대류온도 상승 경향을 보이고 있으며, <그림6>의 모르타르 표면온도 경향과는 다소 차이를 보이고 있다. 즉, 대류 최고온도 치를 살펴볼 때 0%→15%첨가시 보다 15%→30%첨가시 약2℃높은 최고온도치를 보이고 있으며, 이는 제강슬래그 첨가량이 증가할수록 모르타르의 열전도도가 높아져 나타나는 결과로 판단되며, 최고온도 상승치 만큼 냉각시에도 동일 경과시간대에서 약1℃정도 높은 온도를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

3.4 기본 물성

바닥용 모르타르로서의 기본물성을 만족하는지 여부를 판단키 위해 Flow/단위수량/압축강도를 KS L 5220 시험방법의 의거 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



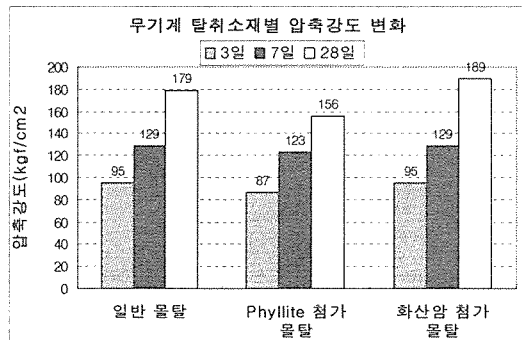
<그림8> 탈취소재 첨가 유동성 변화

3.4.1 탈취소재 적용별 기본물성 변화

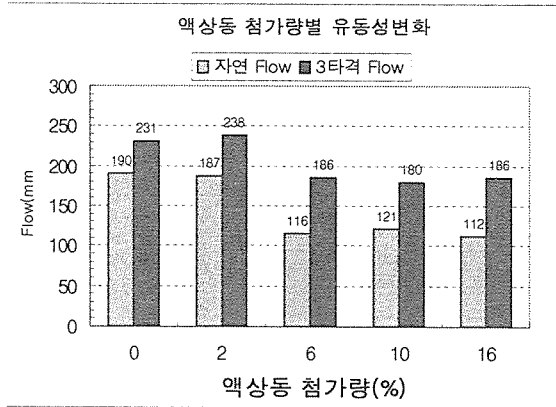
<그림8>은 일반모르타르의 골재대체로 탈취소재인 Phyllite 및 제주산 화산암을 각각 4% 대체 치환하여 Flow변화를 살펴본 결과로, 화산암 적용시 가장 우수한 유동특성을 보였으며, <그림9>의 압축강도 비교 결과에 있어서도 화산암 적용시 가장 우수한 물성을 나타내었다.

3.4.2 축열소재로서 액상동 첨가량별 기본물성 변화

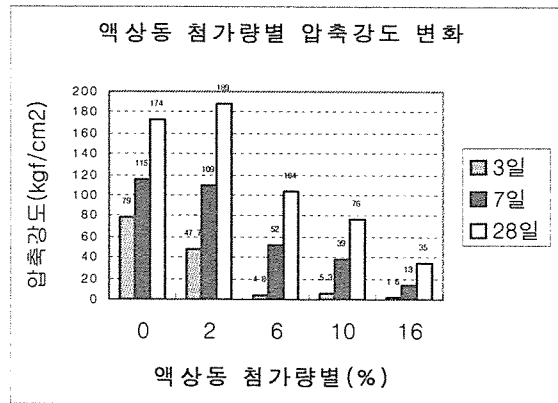
축열소재로서 적용한 액상동 첨가량별 유동성 변화를 <그림10>에 나타내었다. 액상동 첨가량이 증가할수록 유동성이 저하되는 경향을 보이고 있으며, 2%이상 첨가시 급격한 유동성 저하를 보이고 있다. 이는 황산침식방법에 의해 추출 제조되는 액상동의 낮은 pH(3~4)로 인한 다량의 황산염 생성이 그 원인으로 판단되며,



<그림9> 탈취소재 첨가 압축강도 변화



<그림10> 액상동 첨가량별 유동성 변화

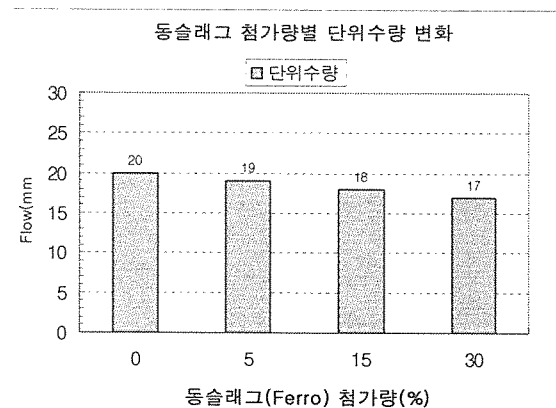


<그림11> 액상동 첨가량별 압축강도 변화

<그림11>의 압축강도 결과에 있어서도 2%이상 첨가시 급격 한 강도하락 경향을 보이고 있어, 축열소재로서 액상동을 적용시킬 경우, 2%이하 첨가 제한이 요망된다.

3.4.3 축열소재로서 동슬래그 첨가량별 기본물성 변화

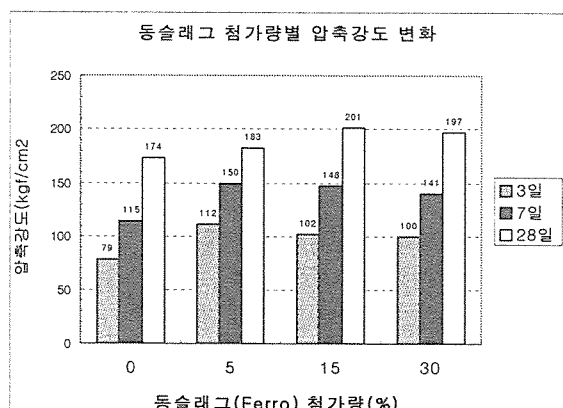
<그림12>는 축열소재로서 동슬래그 첨가량별 유동성 변화를 살펴보기 위해 Flow 180mm 를 기준으로 한 단위수량 변화량을 나타낸 결과로, 골재 대체로 동슬래그 첨가량이 증가할수록 동일 작업성에 필요한 단위수량이 적게 요구됨을 알 수 있다. 이는 동슬래그 입형이 구형이며, 골재 흡수율이 일반골재에 비해 작기 때문으로 판단되며, <그림13>의 압축강도 결과에서도 단위수량이 적게 소요되는 만큼 강도증진 효과를 보이는 것으로 나타났다.



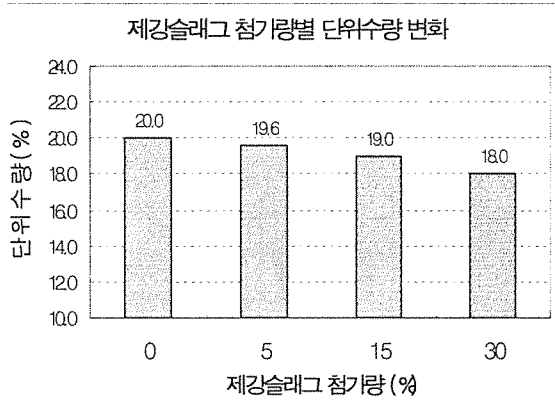
<그림12> 동슬래그 첨가량별 유동성 변화

3.4.4 축열소재로서 제강슬래그 첨가량별 기본물성 변화

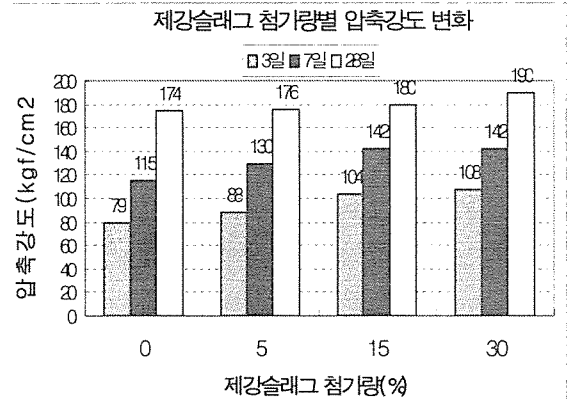
축열소재로서 제강슬래그 역시 동슬래그와 유사한 입형 및 물성구조를 지니고 있어, <그림14> 및 <그림15>에서 보는바와 같이 동슬래그와 유사한 기본물성(유동성 및 압축강도 향상)을 나타내고 있다.



<그림13> 동슬래그 첨가량별 압축강도 변화



<그림 14> 제강슬래그 첨가량별 유동성 변화



<그림 15> 제강슬래그 첨가량별 압축강도 변화

4. 결론

일반 시멘트 모르타르에 다양한 기능성 세라믹소재를 적용하여 흡착 및 음이온 방출성능에 의한 실내공기질 개선효과를 부여함과 동시에, 원적외선 및 축열소재를 이용하여 친환경/에너지절감형 기능성 모르타르를 개발코자, 이에대한 기초연구를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 탈취소재를 적용한 기능성 모르타르 자체 시험편의 탈취율은, 일반 모르타르에 비해 약20% 우수한 특성을 보이고 있으나, 모르타르가 갖는 탈취능력 이상의 다량의 휘발성분 방출조건인 경우(모르타르에 유기접착제로 마루판을 접착한 시험편)에 있어서는 탈취소재의 탈취능력 한계능도를 벗어나 휘발성분이 지속적으로 방출됨으로써 일반 모르타르와 큰 차이를 보이지 않았다.

2) 음이온 방사재로 약4,000개/cc 이상의 음이온을 방사하는 monazite계의 음이온재를 3%적용한 결과, 온돌마루 시공 후에도 1,500~2,500/cc 개의 음이온이 방사 되며, 약1,000개/cc이상의 음이온 발생시 쾌적한 실내공간을 유지할 수 있음을 볼 때, 음이온재 0.5% 첨가시에도 음이온 기능이 발현될 수 있음을 알수 있었다.

3) 최근 고유가 시대에 발맞추어 에너지절감 건축소재 개발을 목적으로 본 몰탈에 축열성을 부여코자 축열 소재로 제강슬래그를 적용한 결과,

모르타르의 골재대체로 약15% 대체시 일반 모르타르에 비해 약1~2℃높은 온도를 유지하는 것으로 나타나 에너지 절감효과가 기대되며, 이론상 Stefan-Boltzmann식($EB=\sigma T^4p$)의 온도변화에 따른 열방사량 계산에 의한 열효율로 추산하면 약3~6%정도 열효율이 증가됨을 예측할 수 있었다. 향후 이에대한 실증적 검증을 위해 모의 주택동 Mock-up 시험을 통한 실증적 에너지소비량 산출 및 실내공기질 개선효과(탈취율) 비교 검증이 요구된다.

<참 고 문 헌>

- 음이온 특성과 산업동향, 한국건자재시험연구원, 격월간 건자재 2005
- 원적외선과 음이온이 인체에 미치는 영향, 월간세라믹스 Vol 18, 2005