

맥반석을 활용한 시멘트 모르타르의 개발

추용식* · 이종규 · 김병익

〈요업기술원 세라믹·전재부〉

I. 서론

건조 모르타르는 1970년대 초반 독일의 석회산업에서 시작하여 현재는 유럽 전역에 보편화, 대중화되어 사용되고 있다. 미국에서도 1982년 도입된 이래 세계 각국으로의 사용이 확산되고 있는 실정이며, 유럽의 경우는 시멘트계보다는 석고나 석회계의 모르타르가 많이 사용되고 있다.¹⁾ 건조 모르타르를 제조하기 위해서는 시멘트, 잔골재, 혼합재 및 화학혼화제를 용도에 따라 적절히 배합하여야 하며, 국내에서의 시멘트와 잔골재는 KS L 5201 및 KS F 2527의 규격에 적합하여야 한다.

국내에서는 90년대 들어서 건조 모르타르 시공이 일반화되기 시작하였으며, 최근에는 고성능 혼화재의 사용에 따라 사용량은 증가하고 있는 추세이다. 건조 모르타르 사용시의 장점은 현장 배합시의 모래를 채로 치고 시멘트와 손비빔 하는 조공이 필요없어 인건비가 절감되며, 공기가 단축될 수 있으며, 도심지 공사인 경우 협소한 작업공간에서도 손쉽게 작업할 수 있다는 장점이 있다. 최근에는 이와 같은 장점과 더불어 원적외선을 방사하는 기능성 건조 모르타르를 개발하고자 하는 시도가 다수 이루어지고 있다.

원적외선은 열 효과가 큰 적외선 영역(0.76~1,000 μm) 내에서 파장이 긴 4.0 μm 부터 1,000 μm 까지로 정의하고 있고, 경계파장은 관련분야에 따라 약간의 차이가 있다. 대부분의 물질은 원적외선 복사에너지를 조사하면 일부가 흡수되고, 이것은 분자와 격자의 진동을 여기시켜 물질내의 진동을 더욱 활발하게 한다.

따라서 가열인 경우에는 효율 좋게 물체의 온도

를 상승시키는 효과와 열매체 없이 바로 피가열 물체에 원적외선 복사에너지가 전달되는 장점이 있다.²⁾ 원적외선이 방사되는 대표적인 물질은 세라믹 원료 중 맥반석이 있으며, 맥반석은 Al_2O_3 와 SiO_2 가 주성분이다. 맥반석은 원적외선 방사율이 높고 탈취율이 우수하며 축열기능이 뛰어난 것으로 알려져 있고, 이러한 장점들 때문에 많은 건축자재 및 2차 제품들이 맥반석을 활용하고 있다.³⁾ 이러한 제품들 중의 하나가 맥반석을 활용한 미장 모르타르이다.

그러므로 본 실험에서는 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 시멘트와 원적외선 방사율이 높고 탈취율이 우수하며 축열기능이 뛰어난 맥반석을 혼합한 기능성 모르타르를 제조하고자 하였다.

II. 실험 방법

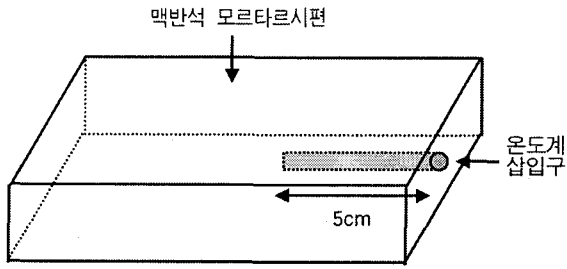
본 실험은 <그림 2>의 실험 공정도와 같이 맥반석 자체의 골재 특성을 분석하여 콘크리트용 부순골재(KS F 2527)로 사용이 가능한지를 검토하였으며, 골재로서의 사용이 가능한 경우 건조 모르타르를 제조하여 최적의 물성을 갖는 모르타르를 제조하고자 하였다. 또한 제조된 모르타르의 열적 특성 및 원적외선 특성 등을 검토해 보았다.

1) 맥반석 골재실험

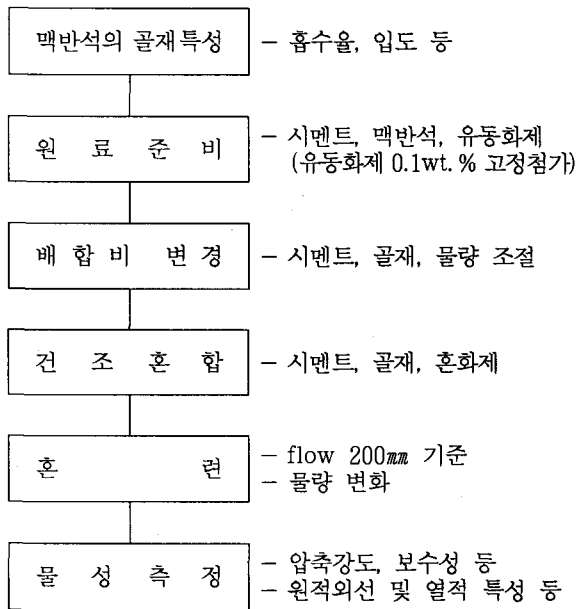
KS F 2527에 따른 골재실험으로 점토 덩어리 함량, 안정성, 흡수율 등을 실험하였다. 또한 맥반석 자체의 화학성분, 비표면적, 기공율 및 광물상 등을 분석하였다.

2) 맥반석의 모르타르 적용실험

맥반석 모르타르를 제조하기 위해 시멘트/맥반



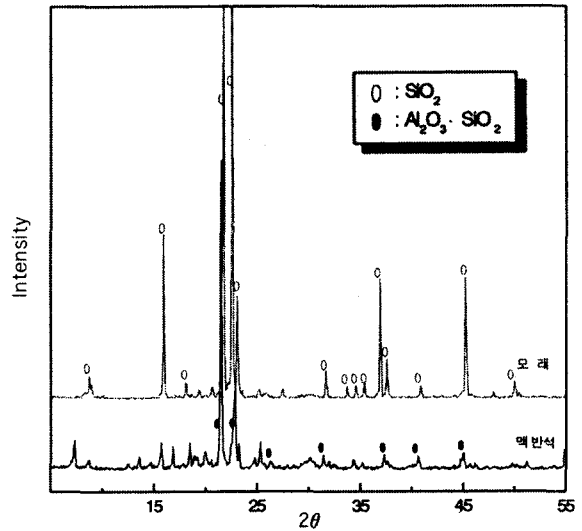
<그림 1> 온도측정용 모르타르 시편 준비



<그림 2> 실험 공정도

석 잔골재의 비율을 1 : 2.0, 1 : 2.5, 1 : 3.0으로 제조하여 물리실험을 진행하였다. 건조 모르타르에는 국내 S사의 분말 유동화제 (상품명 : SNS) 를 0.1% (유동화제/시멘트+골재) 첨가하였다.

제조된 맥반석 모르타르를 사용하여 압축강도, 보수성 등을 실험하였으며, 맥반석 모르타르의 열전도도 등의 열적 특성도 검토해 보았다. 열전도도는 시편의 크기를 8×16×4cm³으로 제조하고 28일 동안 양생시킨 후 50℃에서 함량이 될 때까지 충분히 건조시킨 후 측정하였다.



<그림 3> 출발원료의 XRD patterns

축열기능을 확인하기 위하여 열전도도와 동일하게 시편을 제작한 후 <그림 1>에서와 같이 시편의 옆면 중앙에 온도계를 넣을 수 있는 온도계 삽입구를 만든 후 온도변화를 측정하였다. 삽입구의 깊이는 5cm로 하였으며 온도는 55℃부터 25℃까지의 온도변화 시간을 측정하였다. 기타 맥반석의 특성인 원적외선 방사율, 탈취기능 등도 실험하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 맥반석

가. 맥반석의 화학·물리적 특성

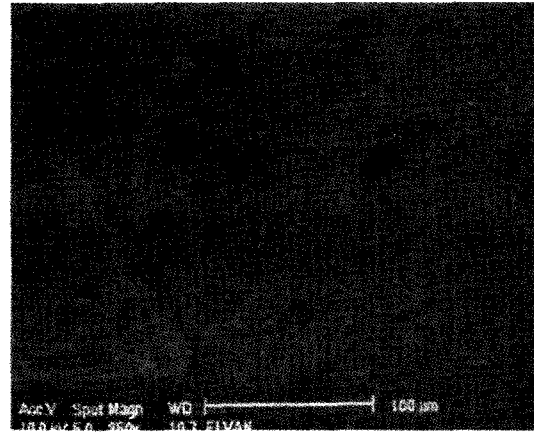
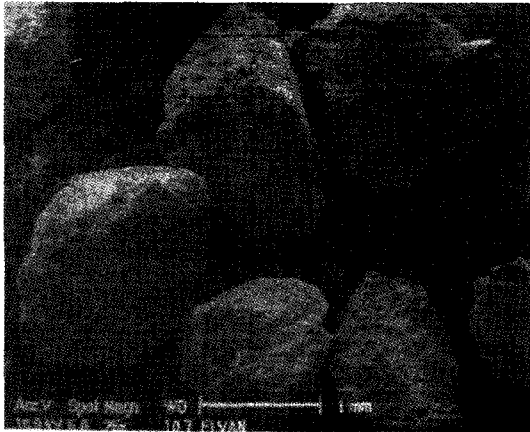
1) 화학성분 및 광물상 분석

맥반석의 화학성분은 <표 1>에서와 같이 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 구성되어 있으며 주성분은 SiO₂와 Al₂O₃로 각각 65.7%, 14.9%이었다. 이외 미량의 CaO, MgO 및 알카리 성분을 함유하고 있었다.

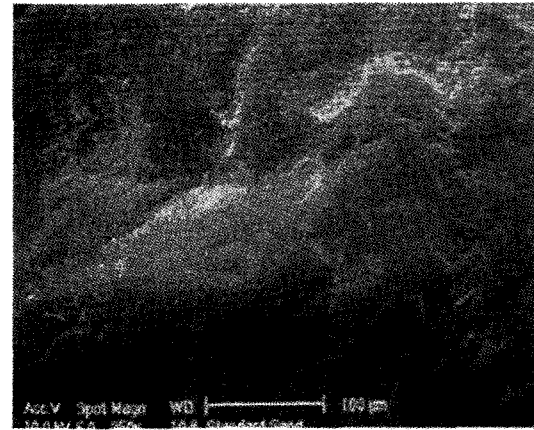
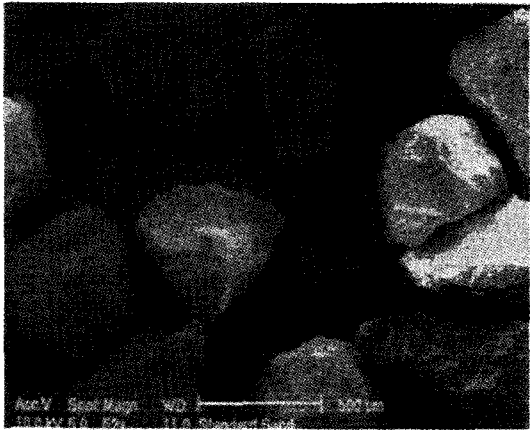
맥반석의 광물상은 <그림 3>의 XRD patterns에서와 같이 quartz (SiO₂)와 silimanite (Al₂O₃·

<표 1> 맥반석의 화학성분

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
함량 (%)	65.7	14.9	4.48	1.61	2.04	2.36	3.80	0.47



(a) 맥 반석



(b) 모래

〈사진 1〉 맥 반석 및 모래의 미세구조

SiO₂)로 구성되어 있음을 확인하였으며, 모래(주 문진표준사)는 SiO₂ peak가 주로 관찰되었다.

2) 미세구조 관찰

맥반석 골재 및 모래의 미세구조 관찰 결과를 〈사진 1〉에 나타내었다. 맥반석 골재의 표면은 주 문진 모래에 비교하여 매우 거친 형태이며 입자 크기도 1mm 전후로 모래(500μm 전후)보다 큰 편이었다. 모래에는 존재치 않는 기공이 맥반석의 입자표면에서 다량 관찰되었으며, 이는 수분 및 가스의 흡착에 큰 작용을 할 것으로 판단된다.

3) 비표면적 및 기공율 측정

BET법(Micromeritics사의 ASAP 2010)에 의한 비표면적 및 기공율 측정 결과, 맥반석의 비표면적은 3.0048m²/g, 기공은 1.179×10⁻³cm³/g이었다. 맥반석의 비표면적과 기공율의 결과치는

각각 모래의 7.75배 및 6.89배이었다. 이는 주사 전자현미경을 이용한 미세구조 관찰 사진과 잘 일치하는 결과이다.

4) 흡수율, 점토 덩어리 및 안정성

흡수율은 골재 재질의 밀실 정도를 나타내는 척도일 뿐만 아니라 콘크리트의 배합설계에 있어서도 매우 중요한 성질이다. 비중은 골재를 구성하는 조성광물의 종류 및 조직의 치밀정도에 따라 결정되는 물성이다. 골재는 암석의 종류에 따라 차이가 있으며 현무암 골재는 비중 2.8, 흡수율 1.8% 수준, 편마암 골재는 비중 2.6~2.7, 흡수율 1.8%를 나타낸다는 보고도 있다.⁴⁾

맥반석 골재의 흡수율은 2.09%로 일반 부순 잔골재의 흡수율(1% 전후의 값을 갖음)에 비교하여 약간 높은 수치를 나타내었다. 이는 “맥반석

〈표 2〉 흡수율, 안정성 및 점토 덩어리 함량

구 분	흡수율	안정성(%)	점토덩어리(%)
맥 반 석	2.09	2.6	-
KS F 2527	3.0% 이하	10% 이하	1.0% 이하

의 주사전자현미경 사진” 및 “맥반석의 비표면적 및 기공을 측정 결과”에서와 같이 맥반석 골재에는 기공이 존재하여, 이들 기공 내부로 수분이 흡수되기 때문이다.

콘크리트는 장기간이 경과하면 동결융해 작용을 받아 콘크리트의 내구성 저하현상을 가져오기도 한다. 이를 판단하기 위한 실험으로 황산나트륨 용액에 골재를 첨가·결정압을 주어 조기에 내구성을 평가하기도 한다.⁵⁾

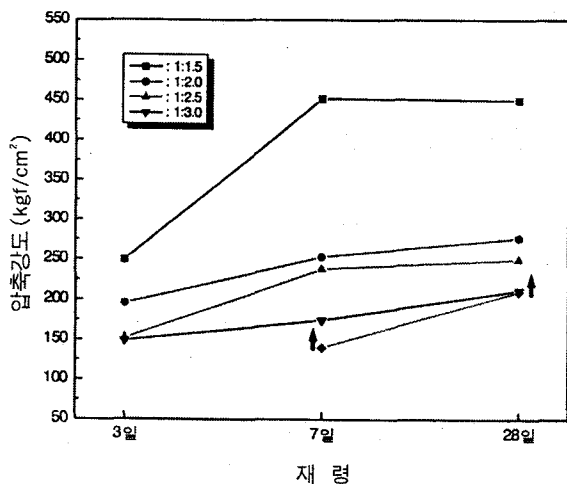
본 실험에 사용한 골재의 안정성은 2.6%로 KS F 2527의 10% 이내를 충분히 만족시켰으며, 맥반석을 분쇄하여 제조된 골재이어서 점토 덩어리는 존재치 않았다.

2. 맥반석 모르타르

가. 모르타르의 물리적 특성

1) 압축강도

맥반석 골재 함량별 압축강도 그래프를 〈그림 4〉에 나타내었다. 맥반석의 함량이 증가할수록 압축강도는 감소하였으며, 이는 결합재의 역할을 하는 시멘트의 함량이 줄어들기 때문이며 또한 혼합수의 증가에 기인한 것으로 판단된다.



〈그림 4〉 골재 함량별 압축강도 변화

〈표 3〉 맥반석 골재의 함량별 보수성

구 분	보수성 (%)
1 : 2.0	70
1 : 2.5	74
1 : 3.0	81
KS 규격	65 이상

1 : 3.0 이하의 배합비에서는 KS 기준에 만족하는 수준이나, 1 : 3.0에서는 KS 기준과 비슷한 결과치를 나타내었다.

이는 실험자의 실험오차 및 기기의 편차 등에 따라 KS 기준을 만족 혹은 만족시키지 못할 수 있으므로 1 : 3.0 미만의 맥반석 골재 배합비 사용이 요구될 것으로 판단된다.

2) 보수성 및 맥반석 잔골재 함량

맥반석 골재의 함량별 보수성 실험 결과를 〈표 3〉에 나타내었다. 보수성은 현장 작업시 1차 미장 작업후 모르타르가 수분을 유지하고 있어야 하며, 수분이 작업후 바로 증발될 경우 모르타르에 건조 수축현상이 발생한다.

이러한 건조 수축현상에 의한 크랙 발생을 방지하기 위한 모르타르의 보수성 한계를 KS L 5220으로 지정하고 있다. 보수성은 맥반석의 함량이 증가함에 따라 높아지는 경향을 나타내었다. 맥반석의 함량이 증가함에 따라 혼합수량도 증가하나 맥반석의 혼합수 흡수능이 우수하여 보수성이 양호한 것으로 판단된다.

맥반석 모르타르의 잔골재 함량을 〈표 4〉에 나타내었다. 모래의 함량은 150 μ m 체의 잔분으로 평가하며 150 μ m 통과분은 시멘트 및 미분말 혼화재로 평가한다. 이는 대부분의 시멘트가 150 μ m 통과분으로 구성되어 있기 때문이다.

맥반석 골재의 혼합비가 증가함에 따라 150 μ m

〈표 4〉 맥반석 잔골재의 함량

구 분	맥반석 잔골재 함량(wt.%) (0.15mm 체 잔분)
1 : 2.0	64
1 : 2.5	69
1 : 3.0	73
KS 규격	78 이하

잔분도 증가하지만 이론적인 계산치보다 2~3% 낮은 수준이다. 이는 맥반석 골재 자체에도 150 μm 통과분이 존재하기 때문이다.

나. 모르타르의 열적 특성

1) 열전도도

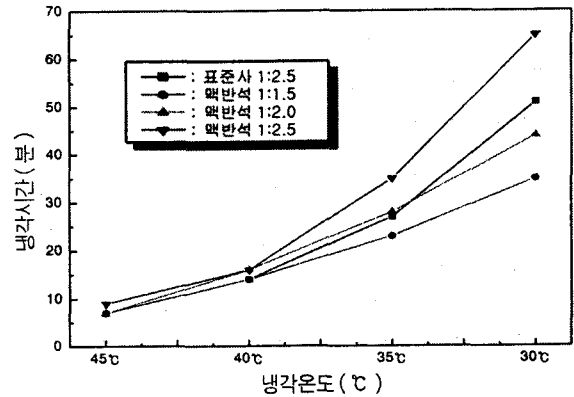
골재의 종류 및 함량에 따른 열전도도의 변화를 <표 5>에 나타내었다. 모르타르 수화물을 8×16×4cm로 제조하고 28일 동안 양생시킨 후 열전도도를 측정하였다. 모래를 사용한 모르타르의 경우, 모래의 함량이 증가함에 따라 열전도율은 감소하였으며, 맥반석의 사용시에도 동일한 경향으로 맥반석의 증가에 따라 열전도도가 감소하였다.

동일한 배합비 조건에서 모래 사용시보다 맥반석을 사용했을 경우 열전도도가 낮아짐을 알 수 있었으며, 이는 맥반석 모르타르 제조시 혼합수의 증가에 따라 발생하는 수화물의 기공 증가 및 맥반석 자체의 기공이 열전도도에 좋지 못한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 일반적으로 동일한 재료에서 기공이 많아지면 단열 특성이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 이는 맥반석 골재에서도 동일한 결과를 나타내고 있다.⁶⁾

2) 축열기능

골재의 종류 및 함량에 따른 냉각시간의 변화를 <그림 5>에 나타내었다. 이는 28일 양생된 제조 모르타르 시편을 건조기에서 55°C로 유지시킨 후, 22±1°C 실내에서 냉각시킬 때의 온도변화 시간을 측정한 결과이다.

<그림 5>에서와 같이 맥반석의 함량이 1:1.5에서 1:2.5로 증가할수록 45°C에서 30°C로 냉각되는 시간이 길어짐을 확인할 수 있었다. 1:1.5와 1:2.5가 30°C로 냉각되는 시간의 차이는 30



<그림 5> 골재의 종류 및 함량에 따른 냉각시간 변화

분으로 매우 큰 차이가 발생함을 알 수 있었다. 또한 골재비율이 1:2.5인 모래와 비교시, 30°C로 냉각되는 동안의 시간 차이는 14분으로 축열기능은 맥반석을 사용한 모르타르가 매우 뛰어난 것을 확인할 수 있었으며, 맥반석의 함량이 증가할수록 축열기능이 우수함을 알 수 있었다.

다. 맥반석 모르타르의 원적외선 및 기타 특성

1) 원적외선 방사율

제조된 건조 모르타르를 사용하여 원적외선 방사율을 측정하였다.

모래를 1:2.5로 배합하였을 경우, 방사율은 90.2%이었으며 방사에너지는 348W/m²· μm 이었다. 맥반석을 1:2.5로 배합한 시료의 방사율은 91.0%, 방사에너지는 351W/m²· μm 이었다. 즉 모래보다는 맥반석 활용시 방사율 및 방사에너지가 크게 얻어짐을 알 수 있었다. 또한 맥반석의 함량이 증가함에 따라 방사율과 방사에너지는 증가하는 경향을 나타내었으며 1:3.0 배합비에서는 방사율이 91.6%, 방사에너지는 353W/m²· μm 로 높은 값을 나타내었다.

2) 탈취율

Blank 상태와 시료를 넣은 후 시간별 탈취율의 변화를 <그림 6>에 나타내었다. 사용한 가스는 암모니아 가스로 초기 500ppm에서 120분까지 시간이 지남에 따라 각각의 시료에 대한 탈취율을 측정하였다.

모래가 1:2.5로 배합된 모르타르는 120분이 지난 후 63%의 탈취효과를 나타내는 반면 맥반석은 동일한 배합비에서 77%의 탈취효과를 나타내,

<표 5> 골재의 종류 및 함량에 따른 열전도도의 변화

구	분	열전도도(W/m·K)
시멘트 : 모래	1 : 2.5	1.380
	1 : 3.0	1.334
시멘트 : 맥반석	1 : 2.0	1.132
	1 : 2.5	1.071
	1 : 3.0	1.030

〈표 6〉 골재의 종류 및 함량별 원적외선 방사율과 방사에너지의 변화

구 분		방사율	방사에너지 ($W/m^2 \cdot \mu m, 37^\circ C$)
시멘트 : 모래	1 : 2.5	90.2	348
시멘트 : 맥반석	1 : 2.0	90.5	349
	1 : 2.5	91.0	351
	1 : 3.0	91.6	353

탈취효과는 맥반석이 매우 우수한 특성을 보여주었다. 이는 앞의 맥반석의 기공율 측정 결과에 나타난 바와 같이 높은 기공율로 인한 가스흡착으로 판단되어진다.

IV. 결 론

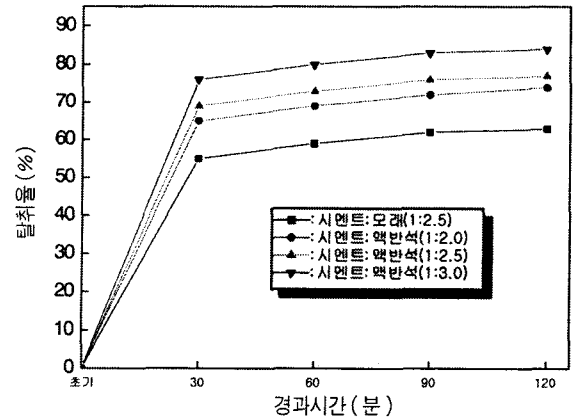
본 실험에서는 맥반석의 특성을 분석하였으며, 맥반석 골재를 사용한 모르타르의 최적 물성에 대한 실험을 행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 맥반석 골재

맥반석의 주요 화학성분은 SiO_2 와 Al_2O_3 이었으며, 주요 광물상은 quartz와 silimanite이었다. 맥반석 골재의 미세구조 관찰 결과, 골재의 표면은 매우 거친 형태이며 입자 표면에 다수의 기공이 관찰되었다. 맥반석 골재의 흡수율은 2.09%이었고, 골재내에는 점토 덩어리가 존재치 않았으며 안정성은 2.6%를 나타내어 콘크리트용 부순 골재 규격을 만족시키는 수준이었다.

2. 맥반석 모르타르

맥반석의 함량이 증가할수록 압축강도는 감소하였으며, 맥반석 배합비가 1 : 3.0 미만에서는 KS규격을 충분히 만족시키는 결과를 얻었다. 보수성은 맥반석의 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 맥반석의 함량이 증가함에 따라 열전도도는 낮아지는 경향을 나타내었으나, 맥반석의 함량이 증가할수록 축열기능은 우수하여 냉각시간이 길어지는 경향을 나타내었다. 골재비율이 1 : 2.5인 모래와 비교시, 30°C로 냉각되는



〈그림 6〉 암모니아 가스 탈취율의 변화

시간은 14분이 증가하는 차이를 나타내었다.

맥반석을 활용하였을 경우 모래보다 방사율 및 방사에너지가 크게 얻어짐을 확인하였으며, 특히 맥반석 배합비가 1 : 3.0인 모르타르에서는 방사율이 91.6%, 방사에너지는 $353W/m^2 \cdot \mu m$ 로 매우 높은 값을 나타내어, 맥반석의 함량이 증가함에 따라 원적외선 방사율과 방사에너지는 증가함을 알 수 있었다.

모래가 1 : 2.5로 배합된 모르타르는 120분이 지난 후 63%의 탈취효과를 보였으나, 맥반석은 동일한 배합비에서 77%의 탈취효과를 나타내어 맥반석 모르타르의 탈취효과가 매우 뛰어남을 알 수 있었다. 또한 맥반석의 함량이 증가함에 따라 탈취율은 큰폭으로 증가하였다.

〈참 고 문 헌〉

1. KS L 5220, 건조시멘트 모르타르, pp. 1~6 (1998).
2. 월간 세라믹스, 2000 한국 세라믹스 연감, pp. 179~181 (2000).
3. 요업기술원, "신기능성 모르타르 개발", 최종 보고서, pp. 34~42 (2001).
4. 대한주택공사, "콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구", pp. 76~85 (1996년).
5. KS F 2507, 골재의 안정성 시험방법, pp. 1~6 (1997).
6. David W. Richerson, Modern Ceramic Engineering, 2nd Edition, pp. 136~146 (1992).