

비금속광물 분체의 기능성 건축소재화 특성

김병곤[†] · 최상근 · 박종력 · 전호석
한국지질자원연구원 자원활용소재부
(2003년 5월 21일 접수; 2003년 7월 7일 승인)

A Preparation and Characteristics of Functional Architecture Materials Made from Non-metallic Minerals

Byung-Gon Kim,[†] Sang-Keun Choi, Chong-Lyuck Park, and Ho-Seok Chun

Minerals & Materials Processing Division, KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), Daejeon 305-350, Korea
(Received May 21, 2003; Accepted July 7, 2003)

초 록

최근 들어 비금속광물의 구조적 특성을 이용한 활용분야가 매우 다양해지고 있다. 특히 판상광물은 차폐(은폐)력이 매우 우수하고, 층간특성을 이용한 흡착 및 저장특성이 매우 우수하다. 본 연구에서는 이와 같은 판상광물의 기본 특성 외에 또 다른 기능성 물질을 흡착시킴으로써 부가적인 새로운 기능성을 갖는 친환경성 건축소재를 개발하고자 천연산 인상흑연 및 견운모를 기능성 모소재로 사용하고 미립화 및 ABDM(Alkyl Benzyle Demethyle Ammonium Chloride)으로 흑연입자 표면을 항균처리를 하였다. 항균처리를 위한 흡착은 전위차를 이용한 1차 흡착과 ABDM 상호간의 steric 작용에 의한 2차 흡착으로 완전 이중층이 형성되어 충분한 항균효과를 나타낼 수 있었다. 제조된 기능성 재료를 모르타르로 제조하여 다양한 기능성을 측정된 결과 세균감소율 99.7% 이상과 80% 이상의 암모니아 가스 흡착(탈취) 효과 및 95% 이상의 전자파 차폐율과 5% 정도의 열저장(축열, 잠열) 효과를 갖는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Recently, application fields of non-metallic minerals by utilizing their structure properties are broadening. Especially, layered minerals have not only excellent shielding or covering ability but also absorbing and storing characteristics of chemical elements between a layers. We considered about the above mentioned characteristics and added functional substances onto their surfaces for the preparation of new environmentally friendly functional materials. In this study, natural graphite and sericite were mainly used to produce for the new environmentally friendly functional building materials. Graphite surfaces were modified with a surfactant (Alkyl Benzyle Demethyle Ammonium Chloride) for anti-bacillus and penicillium. Surface modification mechanism are that primary adsorption by differential zeta potential between graphite and ABDM and secondary adsorption by interaction between surfactant chains take place. Surfactant layers were fully formed and it was expected up to 99.7% up the efficiency of anti-bacillus and penicillium. Also the prepared functional samples have a effect to improve a various efficiency such as electromagnetic wave shield(up to 95%), deodorization(up to 80%), heat storage(5%) etc.

Key words : Functional material, Graphite, Sericite, Surface modification

1. 서 론

건축재료에 대한 관심이 과거의 구조적 특성 즉, 견고성, 방음, 단열 및 미려한 외관 등 외적인 요소에서 생활 수준의 향상과 더불어 점차 주거 편리성(내부 구조의 변화) 및 실내의 미적 분위기 등 내적인 요소로 점차 이동하고 있다. 그러나 최근 들어 이러한 단계를 지나 보다 건강한 삶을 영위 할 수 있는 주거 공간에 대하여 관심이

증가하고 있는 추세이며, 이에 따라 건축재료 역시 건강 재료 및 환경 분위기 개선용 신기능성 건축재료의 개발이 요구되고 있다.^{1,2)} 따라서 이러한 건축재료로서 현재까지 개발된 것들로는 점토질 황토, 옥, 숯 등이 있으나 극히 부분적인 소기능성을 갖는 소재로써, 이들은 대부분 원적외선을 이용한 극히 단기능적인 효과라고 볼 수 있다.

그러나 본 연구에서는 전자파 차폐, 원적외선 활용 및 악취 제거, 항균·항곰팡이 및 열저장 기능을 갖는 다기능성 복합재료를 개발하기 위하여 비금속 광물 중 특유의 특성을 지닌 국내산 판상광물인 인상흑연과 견운모 등을 기능성 모소재로 사용하였다. 이는 판상광물의 구조적 특성을 이용한 활용분야가 고기능성 원천소재 분야로 다

[†]Corresponding author : Byung-Gon Kim
E-mail : bgkim@kigam.re.kr
Tel : +82-42-868-3593 Fax : +82-42-861-0850

양하게 넓어지고 있기 때문이다. 또한 전자파 차폐력이 매우 우수하며 층간특성을 이용한 흡착 및 저장특성이 특히 우수하여 이를 건축재료 분야에 응용하면 지금까지와는 전혀 다른 새로운 기능을 가진 신기능성 건축재료의 제조가 가능할 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 기본적인 특성 외에 또 다른 기능성 물질을 흡착시킴으로써 부가적인 새로운 기능성을 갖는 친환경 소재를 개발하고자 하였으며, 각 원료소재의 복합화, 분쇄 및 항균화를 위한 흑연입자의 표면개질 등을 통하여 고기능화 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료

본 연구에서 사용한 원료로는 재료의 기능화를 위한 구조적 특징을 갖고 있는 천연산 인상흑연과 건운모를 모소재로 사용하여 실험을 행하였다. 일반적으로 흑연의 전자파 차폐(은폐)력은 판상형의 다층구조에 기인하는 것으로 알려져 있으며,³⁾ 흡착 및 열저장 현상 역시 이러한 다층구조에 의한 층간 및 격자간의 특성 즉, 구조적 특성 때문으로 추정되고 있다. 따라서 원료를 가공할 때 이와 같은 구조적 특성을 손상시키지 않고 그대로 유지시켜 주어야 한다. 본 연구에서는 Fig. 1(a)에 나타난 SEM(JSM-5410, JEOL, 일본) 사진과 같이 판상구조가 잘 발달된 천연산 인상흑연(고정탄소 99% 이상)을 원료로 하여, 진공 중에서 초미립화 함으로써 평균입도를 약 0.8 μm 전후로 조절하였으며, Fig. 1(b)와 같이 인편상(flaky type)으로 형

상을 제어하여 전자파 차폐력이 우수하도록 하였다.³⁾ Fig. 1(c)는 흡착 및 열저장 현상을 일으킬 수 있는 흑연입자의 구조를 cluster 단위로 팽창시켜 나타낸 것이다.

분쇄된 흑연을 다시 ABDM(Alkyl Benzyl Dimethyl Ammonium Chloride)으로 표면처리를 행하여 항균, 탈취 효과를 갖도록 하였으며, 모르타르 제조시 고분산의 기능성을 갖도록 하였다.

또한 건축용 모르타르 제조를 위하여 층복 단양에서 채광된 규석을 분쇄하여 5, 6, 7호사 및 미분을 원료로 사용하였다. 이때 사용된 규석 원광의 성분은 Table 1에 나타난 바와 같다.

원적외선 방출효과를 높이고 흑연 분체와의 복합화를 통하여 전자파 차폐효과 및 탈취효과 등의 기능성을 갖도록 하기 위하여 Table 2에 나타난 바와 같은 성분을 갖는 정제 건운모를 사용하였다.

이러한 원료들을 이용하여 Table 3과 같이 기능성 모르타르를 배합하였으며, 실험비교를 위한 일반 모르타르는 KSL5220 규정에 준하는 배합비로 제조하여 여러 가지 분석에 사용하였다.

Table 3. Mixing Ratio of Functional Mortar

	Content (g)	Remark
Portland cement	410	
Silica	985	
Sericite	30	2%
Surface modified graphite	75	5%
Total	1500	

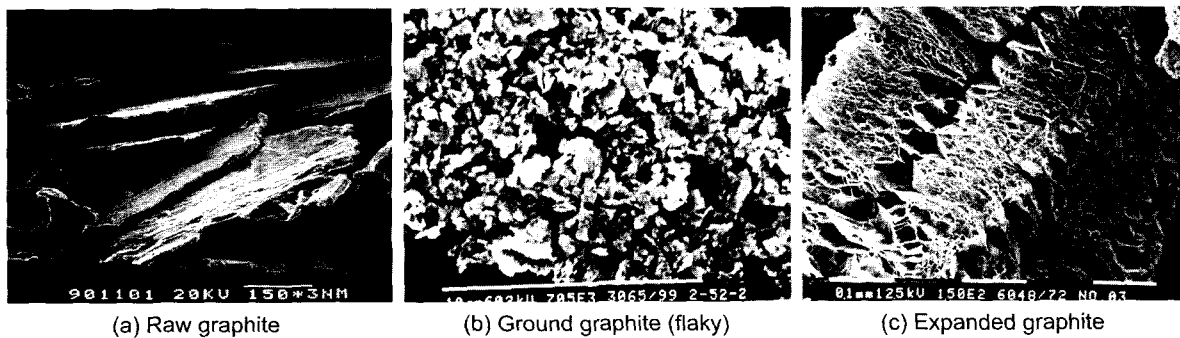


Fig. 1. SEM micrographs of various graphite samples.

Table 1. Chemical Analysis of Danyang Silica Powder

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	Ig. loss	TiO ₂	P ₂ O ₅
Content (%)	94.6	3.26	0.71	-	0.09	0.72	0.06	-	0.56	-	-

Table 2. Chemical Analysis of Sericite Sample

Comp.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	Ig.loss	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mean size
Content (%)	48.5	32.2	1.28	0.85	1.48	9.48	0.36	0.05	5.42	0.34	0.04	40 μm

2.2. 흑연 미립자의 표면기능화

본 연구에서 기능성 부원료로 사용한 천연 흑연은 단위구조가 탄소육각망평면이 평행하게 배열된 층상으로 전기전도도 및 윤활성이 매우 우수한 특징을 가지고 있다. 그러나 소수성이 매우 강하고 표면화학적 특성이 거의 없기 때문에 다른 물질과의 표면흡착이 매우 어렵다는 단점을 가지고 있다.⁴⁾ 따라서 이러한 흑연의 표면에 항균 및 고분산 능력을 부여하기 위하여 계면활성제의 한 종류인 ABDM을 흡착시키는 표면기능화 실험을 실시하고⁴⁾ 흡착량, CMC, 제타전위 및 흑연 입자의 계면활성제 흡착전후의 표면특성을 조사하였으며 이때 분산성, 항균·항곰팡이 및 탈취효과에 관하여 분석을 실시하였다.

ABDM의 흑연입자에 대한 표면 흡착특성 실험은 현탁액의 pH를 염산과 NaOH 표준용액으로 조절하면서 제타전위와 흑연입자 표면 위에 흡착하는 ABDM에 대한 pH의 영향을 조사하고, 흡착량은 흡착전후의 용액 중에 남아 있는 ABDM의 알킬기를 가진 (+)이온의 양을 HClO₄를 첨가하여 알킬기를 가진 (+)이온과 [ClO₄]⁻의 침전량을 정량하여 구하였다.

2.3. 기능화된 분체의 특성평가

위와 같은 방법으로 기능화된 분체의 특성평가는 원적외선 방사율의 경우 FT-IR(M-series, MIDAC, 미국)을 이용하여 분석하였으며, 항균 성능은 KICM-FIR-1002(Shake flask method)을 적용하여 대장균인 escherichia coli ATCC 25922와 녹농균인 pseudomonas aeruginosa ATCC 15442의 두 종류를 시험 균주로 clean bench(J-CBS, JISCO, Kor.)에서 세균감소율을 측정함으로써 그 효과를 조사하였다.

탈취효과는 KICM-FIR-1085 방법으로 실시하였으며, 암모니아 가스를 사용하여 농도 변화를 FT-IR(M-Series, MIDAC, U.S.A.)을 이용하여 측정하였으며, 측정용기에 암모니아 가스 투입 후 30분부터 120분 경과 후까지 blank와 시편간의 상대 가스농도 변화를 측정 후 탈취율로 환산하였다.

축열효과는 시료를 100°C의 드라이오븐에서 약 24시간 동안 보관하여 온도를 일정하게 한 후, 1l 용량의 단열용기에 증류수 200 ml를 붓고 시료를 담근 후 증류수의 온도변화를 측정함으로써 시료별 온도의 차이를 조사하여 계산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 인편상 흑연 미립자의 표면기능화

제조한 흑연 1차 현탁액의 pH는 거의 흑연의 등전점(isoelectric point)에 가까운 약 4.5이었다. 낮은 pH에서 흑연표면 전하는 (+), 높은 pH에서는 (-)전하를 가지며, 등

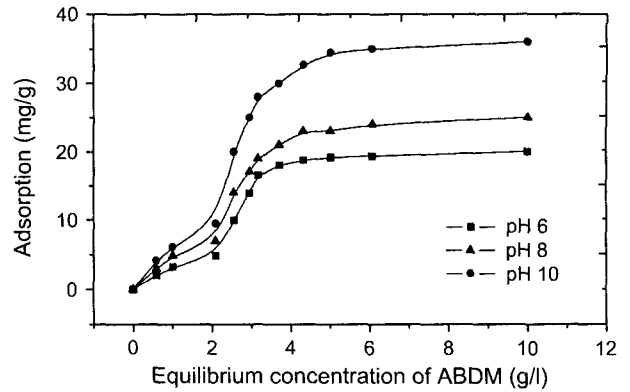


Fig. 2. Relationship of equilibrium concentration of ABDM and adsorption at various pH.

전점이 0이 될 때의 pH는 약 4.22로 제타전위를 측정할 결과 나타났다.

Fig. 2는 다양한 pH 범위에서 ABDM 흡착에 대한 흡착 등온선을 나타낸 것으로 모든 경우에 초기 불균일한 흡착으로 인하여 S-shape 모양을 나타내고 있으며, 흡착량은 현탁액의 pH에 의존하고 있음을 알 수 있다. 즉, pH 6, 8, 10에서의 흡착량은 표면전하량의 크기에 의하여 차례대로 증가하며, 이것은 ABDM 분자가 용액 중에서 양전하(+)를 가지는 것을 나타내기 때문이다. 즉, ABDM의 micelles 표면이 양(+)전하를 띠고, pH 10에서 흑연입자 표면이 음(-) 전하를 가장 크게 띠기 때문에 ABDM의 흡착이 쉽게 일어나는 것으로 생각된다. 흑연입자 표면 위의 ABDM 흡착은 두 단계의 서로 다른 system에서 이루어지는데, 첫 번째 단계는 흡착초기 흑연 입자 표면과 ABDM의 표면전위 특성차이에 의한 1차 흡착이고, 두 번째 단계는 1차 흡착된 ABDM과 용액중의 ABDM chain 상호간의 steric 작용에 의한 2차 흡착이다. ABDM의 흡착 평형(2차 흡착에 의한 이중층 형성)은 약 10~12시간이면 이루어짐을 실험을 통하여 확인하였으며 대부분의 계면활성제 흡착 평형은 약 10~12시간이면 이루어진다는 Grodskii(1983)의 실험결과⁵⁾와도 거의 일치하였다.

Fig. 3은 흡착평형을 이루는 ABDM의 농도 5g/l에서 흡착시간에 따른 흡착량의 변화를 각 pH에서 조사하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 각 pH에서 흡착량 10 mg/g부터 흡착량은 급격히 증가하는데, 이점이 pH 10 경우 흡착시간 5시간, pH 8 경우 약 7시간, pH 6 경우 약 8시간이다. 흡착평형은 pH 10의 경우 흡착시간 9시간 후부터, pH 8의 경우 11시간부터, pH 6의 경우 12시간이후에 도달한다. 흡착량 10 mg/g이 되기 시작하는 지점에서부터 흡착량이 급격히 증가하는 것으로 보아 이 지점에서부터 흑연입자 표면에 ABDM이 hemimicelle을 이루기 시작하는 양 및 시간으로 추정된다. 흡착시간 9시간부터 흑연입자 표면에 흡착된 ABDM이 hemimicelle → micelle을

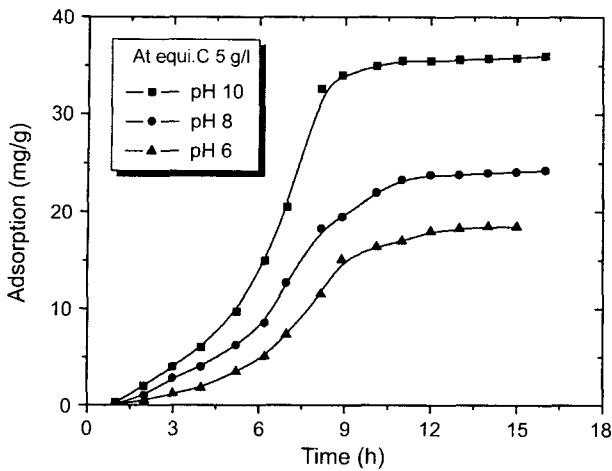


Fig. 3. ABDM adsorption time of graphite particle surface.

형성 변화하는 지점으로 Rosen(1978)의 결과⁶⁾와도 일치한다. 본 연구에서도 충분한 흡착평형에 도달하도록 12시간 흡착시켰다. 농도가 CMC(2.34 g/l)에 접근하면서 등온 흡착선은 급격히 증가한다. 그리고 다시 2차적으로 평평해진다. 이는 본 연구에서 예측한 흑연 표면의 초기 흡착은 ABDM 분자들이 소수성부분에 흡착하여 흑연입자의 표면에너지를 낮추고, 점차적으로 포화된 ABDM 단분자층을 형성하게 되고, 점차 micellar 용액에서 흡착이 일어나면서 이중층(multilayer)이 형성되기 때문이다. Micellar 용액으로부터 ABDM들은 표면의 친수화 된 부분에 흡착되어 이중층을 형성하고 결과적으로 micelle들의 재구조화가 일어난다는 것이 문헌에 보고된바 있다.^{7,8)} 낮은 농도에서 다른 분자들의 흡착을 유발하는 ABDM 내의 alkyl chain의 소수화 상호 작용에 따라 고체표면위에 hemimicelle과 같은 2차원적인 patch들이 결합하기 시작하는 것을 의미한다.^{9,10)}

3.2. ABDM 흡착에 의한 흑연입자의 Zeta 전위 변화

DLVO 이론을 이용하여 흡착에 의한 전위 변화 모델을 설명하면 Fig. 4와 같이 나타나낼 수 있다. 마이너스 전위를 가진 흑연입자가 들어있는 현탁액에 양이온인 ABDM을 첨가하면 해리된 양이온은 본래의 흡착성과 약한 전기력에 의하여 Fig. 4(b)와 같은 흡착을 한다.

이때 흡착한 ABDM이 만든 층을 합친 바깥쪽 전위는 흡착전의 ζ 로부터 직선적으로 ζ' 까지 감소한다. Fig. 4(c)에 ABDM 농도를 증가시키면 흡착도 증가되면서 ζ 는 더욱 감소되어 끝내는 $\zeta=0$ 이 된다. 더욱더 농도를 증가시키면, 이중흡착이 일어나 ζ 의 부호는 역전되어 Fig. 4(d)와 같이 (+)가 되고, Fig. 4(d)의 ζ 는 그림과 같이 (+)측으로 부터 x축에 접근한다. 이와 같이 ABDM은 자기와 반대 부호인 흑연입자 표면에 흡착되어 그의 제타(ζ)전위의 절대값을 작게 해 갈 뿐만 아니라, 제로를 지

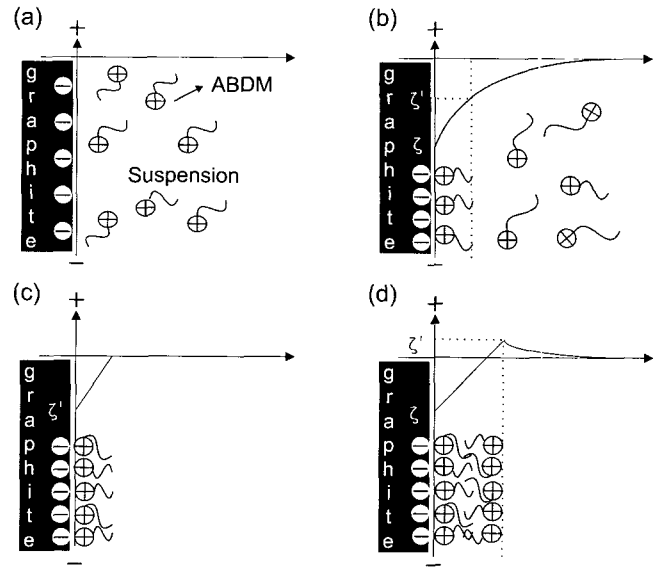


Fig. 4. Zeta potential change of graphite surface by adsorption.

나 부호를 (+)로 역전시킨다. 즉 ABDM 분자들이 흡착함으로써 흑연입자 표면이 상대 이온으로 점차적인 교체가 일어나 흑연입자의 표면 특성이 변화하였음을 알 수 있었다.

흑연 입자 표면 위의 ABDM 흡착은 두 단계의 서로 다른 계에서 이루어졌다. 첫 번째 단계는 흡착 초기 흑연입자와 ABDM의 표면전위 특성차이에 의한 1차 흡착으로 흑연표면 소수성이 더욱 증가하는 상태이고, 두 번째 단계는 1차 흡착된 ABDM과 용액중의 ABDM chain 상호간의 steric 작용에 의한 2차 흡착이었다. 2차 흡착이 완료된 흑연입자 표면은 ABDM 이중층을 형성하게 되고 이에 따라 흑연의 표면은 항균능력 및 고분산 능력을 보유하게 된다.

3.3. 기능화된 분체의 특성

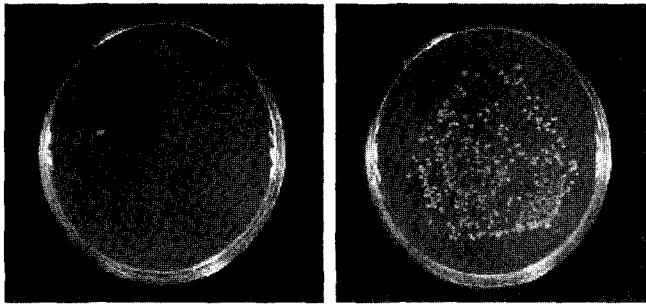
3.3.1. 항균 및 항곰팡이 기능

본 연구에서 제조한 일반 모르타르 및 기능성 모르타르를 시료로 하여 항균 및 항곰팡이 효과를 세균감소율을 측정하여 그 효과를 조사하였다.

Fig. 5(a)는 본 연구에서 제조한 기능성 모르타르 위에 대장균인 Escherichia coli ATCC 25922를 항온정치배양기에서 24시간 배양시킨 결과로 시험균이 거의 살균되어 없어졌으나, 일반 모르타르에서 배양한 (b)의 경우는 매우 증가한 것을 알 수 있다. 또한 항균실험 결과를 나타낸 Table 4에서 보는 바와 같이 대장균과 녹농균 모두 일반 모르타르의 경우 24시간 후의 균수가 모두 정상적으로 증가하였으나, 기능성 모르타르는 24시간 후 세균감소율이 대장균의 경우 99.8%, 녹농균의 경우 99.7% 나타나 항균 효과가 매우 우수함을 알 수 있었다.

Table 4. Result of Antibiosis Test for Noraml and Functional Mortar by KICM-FIR-1002

Germ	Samples	Initial conc. (CFU/40p)	Conc. after 24 h (CFU/40p)	Reduce rate (%)
Escherichia coli ATCC 25922	Normal	457	1148	-
	Functional	458	1	99.8
Pseudomonas aeruginosa ATCC 15442	Normal	300	814	-
	Functional	300	1	99.7



(a) Functional mortar (b) Normal mortar

Fig. 5. Results of antibiosis test of functional material and normal mortar specimens.

Table 5. Result of Antimold Test for Functional Mortar by ASTM G-21

Sample	Cultivation (composite mold fungi)				
	Time (week)	1	2	3	4
Functional mortar	Increase rate (%)	0	0	0	0

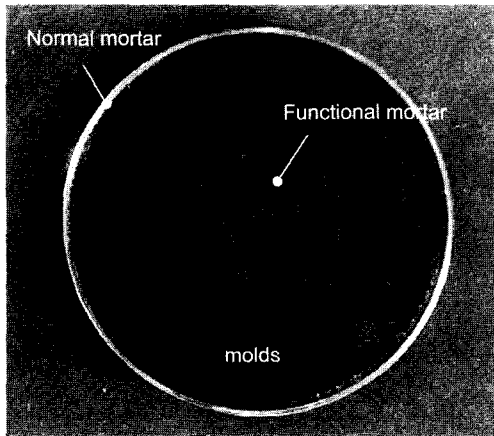


Fig. 6. Results of antimold test of functional material and normal mortar specimens.

Table 5는 ASTM G-21의 방법에 준하여 water bath에서 기능성 모르타르의 항곰팡이 효과를 실험한 결과로써 4주가 경과한 후에도 곰팡이 균주의 성장은 일어나지 않은 것을 알 수 있었으며, Fig. 6에 나타낸 바와 같이 일반 모르타르와 기능성 모르타르의 항곰팡이 효과의 차이를 육안으로도 확연하게 구별할 수가 있었다.

Table 6. Deodorization Effect of Functional Mortar by FID-114

Content	Time (min.)	Normal mortar (ppm)	Functional mortar (ppm)	Deodorization rate (%)
Gas concentration	30	260	101	61.2
	60	251	60	76.1
	90	213	44	79.3
	120	186	31	83.8

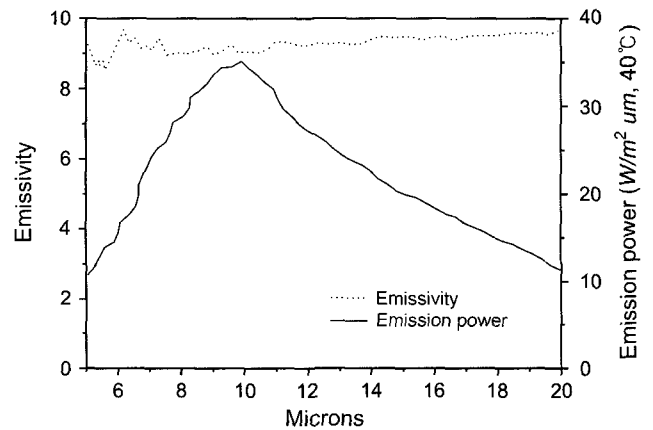


Fig. 7. Far-infrared ray emissivity and emission power of functional mortar.

3.3.2. 탈취기능

탈취시험은 현재 일반 건축물에 사용되고 있는 일반 모르타르 시편과 본 연구에서 제조한 기능성 모르타르 시편을 대상으로 비교분석을 행하였으며, Table 6에 나타낸 바와 같이 초기 30분이 경과하였을 때 61.2%, 120분이 경과하였을 때 83.8%인 것으로 나타나 기능성 모르타르의 탈취효과가 매우 우수함을 알 수 있었다.

3.3.3. 원적외선 기능

기능성 모르타르의 원적외선 방사율과 방사에너지를 측정된 결과 일반 모르타르 보다 높은 원적외선 방사율 0.93 (5~20 μm), 원적외선 방사에너지 3.76×10²(W/m²)를 나타내는 것으로 조사되었으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 일반적으로 40°C에서 FT-IR에 의한 원적외선 방사율은 0.60~0.95 범위이며 본 실험에 사용한 기능성 모르타르의 방사율은 일반적으로 원적외선이 많이 방출된다고 알려져 있는 옥과 비슷한 수준의 높은 원적외선 방사율을 나타내는 것으로 측정되었다.

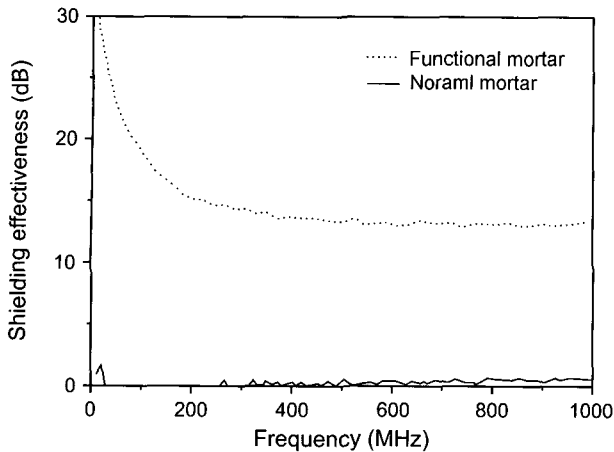


Fig. 8. Electromagnetic waves shielding effect of functional and normal mortar by ASTM D4935-89.

3.3.4. 전자파 차폐 효과

전자파 측정은 전자파측정 관련 시험방법인 ASTM D4935-89(Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials)에 준하여 시편을 제작하여 측정하였으며 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8의 결과로부터 일반 모르타르의 경우 전자파 차폐효과가 매우 미미한 것에 비하여 기능성 모르타르의 경우 매우 높은 수준의 차폐율이 있음을 알 수 있다.

상기 실험결과를 『전자파차폐효과(%)=(1-10^{-dB/10})×100』의 식(ASTM D4935-89)에 대입하여 계산하면 기능성 모르타르의 경우 전자파 차폐효과가 15 dB로 95% 이상의 전자파 차폐효과가 있는 것으로 나타났다.

3.3.5. 축열(잠열)효과 실험

불 속에 축열된 시편을 침적시키면 물의 온도가 급격히 올라가기 시작하여 약 20분 후에 최고 온도에 각각 도달하게 된다. 이때 기능성을 부여한 시편과 그렇지 않은 시편간의 온도차이가 약 2.3°C 정도 차이가 나는데 이는 기능성을 부여한 시편이 보다 많은 열을 흡수 축열하고 있다기 방출했기 때문이다. 즉, 기능성을 부여한 모르타르가 약 5% 정도 우수한 축열효과가 있음을 Fig. 9의 결과를 통하여 알 수 있다.

이상의 결과에서 보는 여러 가지 다기능성들은 본 연구에서 사용한 인상흑연과 견운모의 판상광물이 가지는 고유의 기능 즉, 판상형의 flaky type이기 때문에 차폐 혹은 은폐력이(covering area) 높아 전자파 차폐 효율이 좋고, 또한 격자형의 여러 겹의 층상형을 이루고 있어 흡수 혹은 흡착력 및 저장능력이 좋아 전자파차폐, 흡수, 약취 제거, 열저장능력 등이 우수하며, 또한 새로운 기능성 부여함으로써 항균 및 항곰팡이 효과 등을 얻을 수 있었다. 이상의 기능성을 건축재료에 적용하고자 모르타르 및 인조석판을 제조하여 본 결과 친환경 소재용 신기능성 건축재료화가 가능함을 알 수 있었다.

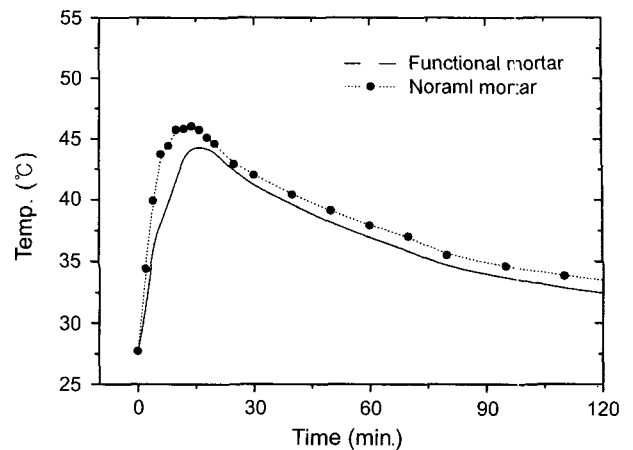


Fig. 9. Regenerative effects of functional mortar and normal mortar specimens.

4. 결 론

비금속 판상광물 고유의 특성에 또 다른 기능성 물질을 흡착시켜 부가적인 새로운 기능성을 갖는 친환경 소재를 개발하고자 천연산 인상흑연 및 견운모를 기능성 모소재로 사용하고 미립화와 ABDM으로 흑연입자 표면을 항균, 항곰팡이 및 고분산화 처리를 하였다. 제조된 기능성 재료를 모르타르 및 석판으로 제조하여 기능성을 측정 한 결과 99.7% 이상의 세균감소율, 80% 이상의 암모니아 가스 흡착(탈취)효과, 80% 이상의 전자파 차폐율, 0.92 이상의 원적외선 방사율, 및 5% 정도의 축열효과 등 다양한 효과를 나타냄으로써 다기능성 건축재료화가 가능함을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. S. H. Lee and E. K. Kim, "A Review of Environment Conscious Concrete," *J. Kor. Conc. Inst.*, **12** [6] 17-20 (2000).
2. S. H. Lee and H. S. Lim, "Synthesis and Functional Technology of Clay Minerals," *Ceramist*, **2** [4] 70-81 (1999).
3. B. G. Kim, S. K. Choi, H. S. Chung, and J. J. Lee, "Grinding Characteristics of Crystalline Graphite in a Low Pressure Attrition System(in Eng.)," *Powder Tech.*, **126** [1] 22-7 (2002).
4. B. G. Kim, S. K. Choi, H. S. Chung, S. K. Han, and J. J. Lee, "Adsorption Characteristics of Surfactant on Crystalline Graphite for Surface Modification," *J. Kor. Res. Eng.*, **38** [5] 373-78 (2001).
5. A. S. Grodskii, I. A. Titova, and Yu. G. Frolov, "Effect of Adsorbed Layers of Nonionic Surfactants on Sedimentation Stability of Graphite Suspension(in Russian)," *Kolloidnyi Zhurnal*, **46** [5] 886-91 (1983).
6. M. J. Rosen, "Surfactant and Interfacial Phenomena," John Wiley & Sons, New York (1978).
7. N. A. Klimenko, A. A. Tryasorukova, and A. A. Permilovskaya, *Kolloidn. Zh.*, **36** [4] 678-80 (1974).

8. V. I. Baranev, S. I. Pol'kina, M. V. Volkova, I. S. Lavrov, and A. A. Muravleva, *Kolloidn. Zh.*, **41** [6] 1050-55 (1979).
9. P. Somasandean, T. W. Healy, and D. W. Fuerstenau, "Surfactant Adsorption at the Solid-liquid Interface-dependence of Mechanism on Chain Length(*in Eng.*)," *J. Phys. Chem.*, **1** 3562-66 (1964).
10. T. Sato and R. Ruch, "Stabilization of Colloidal Dispersions by Polymer Adsorption, Surfactant Science Series 9," Marcel Dekker Inc., pp. 41-4 (1982).