

## 수성접착제를 이용한 목조주택 내벽용 황토 마감재의 물성 및 친환경성\*1

안재윤\*2 · 김기욱\*2 · 김수민\*3 · 오진경\*2 · 김현중\*2† · 박문재\*4

### Loess (Yellow Soil) Finishing Materials Using Water-based Adhesive for Wooden Construction Indoor Wall\*1

Jae-Yoon An\*2 · Ki-Wook Kim\*2 · Sumin Kim\*3 ·  
Jin-Kyoung Oh\*2 · Hyun-Joong Kim\*2† · Moon-Jae Park\*4

#### 요 약

현대인들은 실내에서 보내는 시간이 하루 중 90% 달하는 것을 간주할 때 실내의 공기는 현대에게 중요한 요소임을 알 수 있다. 1960년대 이후로 산업이 급격히 발전하면서 건축 재료는 천연재료에서 화학물질을 기본으로 하는 재료로 변하게 되고 에너지 절약의 대책으로 건물의 기밀도를 높임으로써 건축자재에서 발생하는 유해물질이 현대인에게 악영향을 미치기 시작했고 이런 요소들이 근원이 되어 새김증후군을 유발하게 되었다. 생활수준이 높아지면서 사람들은 건강에 대한 관심이 높아지게 되고 보다 유익한 친환경 건축자재를 요구하게 되었다. 본 연구에서는 황토, 물, 수지, 경화제, 무기물 충전제를 이용한 친환경 황토 마감재를 개발하였고 한국형 목조주택 내장벽에 사용할 수 있는 최적의 비율을 연구하였다. 그리고 이런 황토 마감재가 실내벽에 사용 시 요구 물성인 내잔갈림성, 내세척성, 내충격성, 부착강도를 측정하였고 황토마감재의 특성인 원적외선 실험과 포름알데히드, TVOC 방산 농도를 통하여 친환경성에 대한 평가를 하였다.

\* 1 접수 2007년 10월 4일, 채택 2007년 10월 25일

\* 2 서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실, Lab. of Adhesion & Bio-composites, Program in Environmental Materials Science, Dept. Forest Sciences, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

\* 3 Composite Materials and Structures Center, Department of Chemical Engineering and Materials Science, College of Engineering, Michigan State University, 2100 Engineering Building, East Lansing, MI 48824-1226, USA

\* 4 국립산림과학원 목재성능과, Div. Wood Engineering, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김현중(e-mail: hjokim@snu.ac.kr)

## ABSTRACT

People have spent lots of time inside building about 90% of these day. Industry has been developed rapidly after 1960. Construction materials had changed from natural materials to chemical materials and confidentiality of building has been more higher than before by policy of saving energy. These have caused sick-building syndrome (SBS) for us. So people want environmental construction materials for their house. We designed a environmental loess (yellow soil) finishing material which was composed of loess, water, water-soluble resin, hardener and filler. The purposes of this study were that making an environmental loess finishing material with optimum ratio, evaluating the usability of loess finishing material for wall. Furthermore it was suitable for wall to evaluate mechanical properties that are impact test, cracking test, abrasion test and de-bonding test, environmental properties that were emission of VOCs, formaldehyde and far infra-red radiation.

**Keywords:** loess, environmental, finishing materials, indoor air, formaldehyde emission, TVOC, far infra radiation

## 1. 서 론

산업이 급격히 발전하면서 건축재료 또한 천연재료에서 화학물질로 발전하게 되었다. 이렇게 변화된 건축자재에서 방산되는 포름알데히드와 VOCs를 가지고 있으며 이런 물질로 인해 새집증후군(Sick House Syndrome)을 유발하게 되었다. 그러나 건축시공시 재료의 특성에 대해서 고려되지 않은 채 재료가 선정되기 때문에 건축 재료를 비롯하여 접착제, 페인트 등에서 방산되는 유해물질로 인해 실내 거주자들의 건강에 악영향을 미치고 있는 실정이다. 따라서 현대인의 소득이 늘고 생활수준이 높아져 삶의 질에 대한 관심이 높아짐에 따라 건강에 유익한 친환경 재료 선택 및 유해물질 방산이 적게 만들어진 개량 건축 자재 사용과 동시에 실내의 유해물질 농도를 낮추는 것이 요구되고 있다.

미국, 유럽, 일본, 한국을 포함하여 건축자재로부터 발생되는 오염물질에 대한 기술적 자료를 제조업체가 제공함으로써 수요자들이 친환경적인 제품을 선택할 수 있도록 하고 있으며, 친환경자재 라벨링 제도(Eco-Labeling Program)를 제정하여 친환경자재의 생산과 보급을 촉진하고 있다. 한편 국내에서

는 실내 공기질 개선의 일환으로 한국공기청정협회와 환경마크협회 등의 민간단체에서 'HB 건축자재인증등급' 및 '환경마크' 등 건축자재의 인증등급 제도를 도입함으로써, 오염물질 저방산 자재를 건물에 시공할 것을 권고하고 있다(1. 사단 법인 한국생활환경학회, 2006).

이처럼 현대의 주거환경은 편리함을 추구하는 동시에 실내에 존재하는 유해물질이 인간의 건강에 악영향을 끼치고 있어 천연재료를 기초를 한 건축재료에 대한 요구가 늘어나고 있다. 그중 황토는 인류가 오래 전부터 널리 사용해 왔던 재료로서 쉽게 구할 수 있다는 이점이 있으며 건강에 유익할 뿐 아니라 시멘트의 대체 가능성이 있는 재료이다(2. 허윤정, 2005).

황토를 건축적으로 이용하기 위해 입도는 보통 0.002 mm 이하의 미립자인데 여기에 콜로이드(콜로이드 크기 0.1~0.001  $\mu$ )가 포함되어야 하고 점토 입자간에 존재하는 공극용적은 30~90인데 보통 50% 내외이고 기초 시 적은 것은 7~10%, 많은 것은 40~50%이고 색상은 철산화물이 많으면 적색을 띠며, 석회물질이 많으면 황색을 띠며 강도 측면에서 인장강도는 점토의 조직에 관계되고 입자의 크기에 영향을 받으며 인장강도는 3~10 kg/cm<sup>2</sup>, 압축강

Table 1. Chemical compounds for loess

Com-pounds	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	etc.
Portion (%)	53.36	3.25	3.66	0.24	0.27	4.97

Table 2. Ratio of loess finishing materials

Sample	Loess	Resin	Inorganic filler	Water	Hardener
A	1	1	1	0.8	0.1
B	1	1	1	1.0	0.1
C	1	1	1	1.3	0.1
D	1	1	1	1.6	0.1

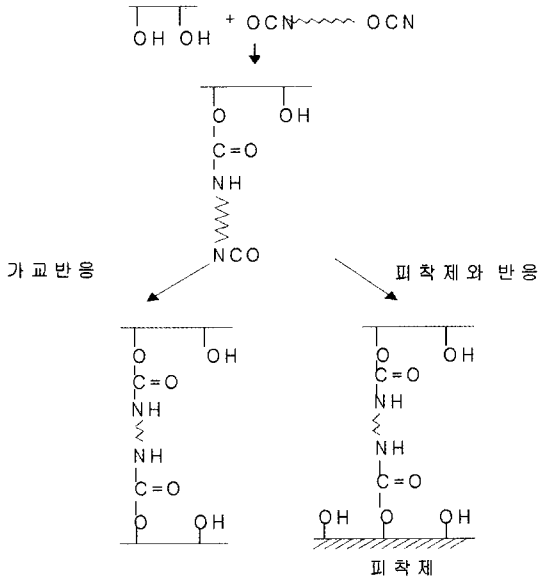


Fig. 1. Reaction resin with hardener for loess finishing materials.

도는 인장강도의 약 5배 정도이다. 황토는 석영, 조면암, 화강암, 안산암 등이 열수작용 및 풍화작용에 의하여 분해되어 생성된 것으로 화학식이  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ 로 표시된다. 황토의 구성성분은 Table 1과 같다. 황토는 건축 재료의 주류를 이루는 시멘트 콘크리트의 알칼리 성분을 중화시키고, 축열효과 및 제습, 단열, 방음효과 뛰어나며(3. 김영경, 2001) 온돌 난방 시 난방열이 황토바닥을 통과하면서 원적외선을 대량 방출하며(4. 이원섭, 1999) 방출되는 원적외선은 인체에 열을 발생시켜 혈액순환과 신진대사가 원활해지고 동시에 체온상승을 통한 발한 작용으로 체내에 축적된 노폐물의 제거가 촉진되는 것으로 알려져 있다(5. 조형찬, 2000). 또한 황토는 시멘트에서 배출되는 유해성분인 라돈이 배출되지 않으며, 통기성이 우수하고 결로 발생이 적어 곰팡이 등의 발생을 줄일 수 있다(6. 리신호 등 2005).

따라서 본 연구에서는 친환경 건축자재인 황토마감재를 벽면에 사용하기 위해 충족시켜야 하는 물성 시험 및 황토마감재의 친환경성 및 원적외선 방산량의 측정을 목적으로 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

본 연구에서 사용된 건축마감재로서 사용되는 황토입자는  $270 \mu m$ 이고 약 알칼리성이며 주변의 습도에 따라 황토 자체가 습도를 흡·탈착하여 주변의 습도를 조절할 수 있고 온도 조력을 가지는 황토를 사용하였다. 접착제 주제는 고무라텍스, 에멀전 수지, OH기를 함유한 고분자 수용액, 계면활성제, 소포제로 구성되어 있는 수용성 고무라텍스 접착제, 경화제는 이소시아네이트 화합물을 함유한 것이다. 주제와 경화제는 Fig. 1과 같이 주제의 고분자 수용액에 이소시아네이트 화합물인 경화제를 직접 첨가 혼합하여 주제 중의 직쇄분자가 여러 갈래로 가지를 쳐 거대분자를 형성하게 된다. 무기질 충전제는 마그네슘으로 이루어졌다.

### 2.2. 샘플 배합비 및 제작

황토 마감재의 배합 비는 황토, 접착제, 무기질 충전제, 물, 경화제의 비율을 중량비로 하여 Table 2와 같이 배합하여 샘플을 제작하였다.

Table 3. Test conditions in the 20 ℓ small chamber method

Variables	Condition
Chamber volume	20 ℓ
Sample size	0.0080 m <sup>2</sup> (0.0632 × 0.0632 m) × 2
Air flow rate	0.01 m <sup>3</sup> /h
Ventilation rate	0.5/h
Sample loading factor	0.4 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Temperature	25 ± 1°C
Humidity	50 ± 5%

## 2.3. 실험 방법

### 2.3.1. 점도 측정

샘플의 배합비에 따른 샘플을 Brookfield DV-II + Viscometer를 이용하여 점도를 측정하였다.

### 2.3.2. 부착강도 시험

부착강도 시험은 KS F 4715에 따라 실시하였다. 모르타르 70 × 70 × 20 mm의 모르타르판에 황토마감재를 2 ± 0.5 mm 두께로 흡손으로 바르고 윗면을 평탄하게 마무리하여 샘플을 제작한다. 완전히 경화가 일어난 후에 Instron사의 UTM을 이용하여 부착강도를 측정하였다.

### 2.3.3. 내잔갈림성 시험

내잔갈림성 시험은 KS F 4001의 규정에 적합한 제품으로 표면에 붙은 더러움, 부착물 등을 와이어 브러시·천 등으로 제거하고, 7일 동안 양생실에서 양생한 밀판에 황토 마감재를 2 ± 0.5 mm 두께가 되도록 흡손으로 바르고 풍속 3 m/s ± 10%로 조정된 공기 흐름통 내에 넣어 시험체를 기류에 평행이 되도록 하여 6시간 동안 둔 후 표면의 잔갈림의 발생 여부를 육안으로 판단하였다.

### 2.3.4. 내세척성 시험

KS L 5114에 규정하는 두께 6 mm, 크기 430 × 170 mm 플렉시블판에 황토마감재를 2 mm 두께로

Table 4. Sampling condition in the 20 ℓ small chamber method

	Formaldehyde	VOCs
Sampler	24-DNPH Cartridge (Supelco, USA)	Tenax-TA (Supelco, USA)
Air flow rate	167 mL/min	167 mL/min
Total volume	10 ℓ	3.2 ℓ

바르고 경화시킨 후 세척 시험기인 가드너스트레이트형 워셔빌리티머신을 이용하여 측정하였다.

### 2.3.5. 내충격성 시험

KS F 4001의 규정에 적합한 밀판에 황토마감재를 2 ± 0.5 mm로 발라 경화시킨 후 KS F 2221의 규정하는 모래 위 전면 지지 방법을 따라 수평을 유지한 시편을 표면에 둥근 모양의 추 W2-500을 높이 30 cm에서 떨어뜨려 잔갈림, 변형, 밀판과의 벗겨짐 여부를 육안으로 관찰하고, 1개의 시험체에 대해 5 cm 이상 떨어진 3곳에서 실시하였다.

### 2.3.6. 원적외선 방산시험

원적외선 방산시험은 Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FT-IR, MIDAC사, M2410-C)를 사용하여 40°C에서 5~20 μm 범위를 측정하였다. 시편(40 × 40 × 3 mm, 가로 × 세로 × 두께)은 완전 건조시킨 후 시편가열로에 부착한 후 시행하였다.

### 2.3.7. 20 ℓ 소형 챔버를 이용한 수성접착제의 포름알데히드 및 VOC 방산 실험

챔버를 세척하고 260°C 오븐에서 건조를 하여 내부의 오염 물질을 베이크 아웃 처리하였다. 20 ℓ 챔버에는 순수하고 일정한 습도의 공기와 일정한 환기율을 유지하였다. 20 ℓ 소형 챔버의 조건은 Table 3과 같다. 내부의 온도는 25 ± 1°C 습도는 50 ± 1%를 유지하고 환기율은 0.5회/h로 하였다. 포름알데히드는 2,4-DNPH 카트리지, VOCs는 Tenax-TA 튜브를 이용하여 샘플링하였다. 샘플링 조건은 Table 4와 같다. 포름알데히드는 HPLC, VOCs는 GC/MS를

Table 5. Analysis conditions for formaldehyde

Variables	Condition
HPLC	Agilent HP1100
Detector	UV/Vis 365 (Bw.30), ref. 590 (Bw.10)
Column	Supelco C18. 4.6 × 250 mm
Mobile phases	Acetonitrile : Water = 45 : 55
Analysis time	25 min
Injection volumn	20 $\mu\text{l}$
Column temperature	40°C
Mobile phase flow rate	1.0 ml/min

Table 6. Analysis conditions for VOCs

Variables	Condition
TDS	Perkin Elmer ATD400
GC/MS	HP6890/Agilent5973
Column	RTX-1 (105 m × 0.32 mm × 3 $\mu\text{m}$ )
Carrier gas and flow	He (99.99%)
Temperature program	40°C (5 min) → 70°C (5 min) → 150°C (5 min) → 200°C (5 min) → 220°C (5 min) → 40°C (5 min)
MS condition	Mode: EI (Electron ion) Electron energy: 70 eV Detection mode: TIC (scan), m/z 35/350

이용하여 분석하였고 조건은 Table 5, 6에 나타나었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 황토 마감재의 물리적·기계적 성질

황토 마감재에 있어 물을 0.8, 1.0, 1.3, 1.6 비율로 넣었을 점도는 샘플 A와 B는 10,000 cp, 9,400 cp였고 물의 비율을 1.3과 1.6으로 증가시켰던 C와 D

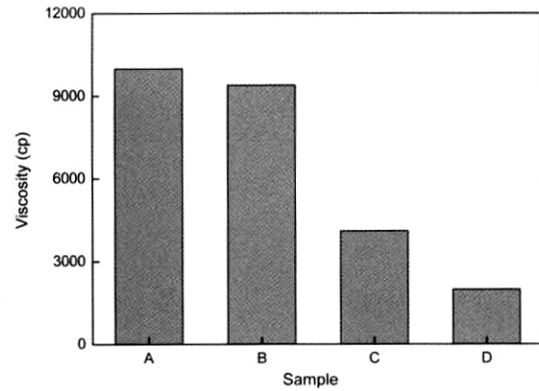


Fig. 2. Viscosity of samples.

의 점도는 4,100 cp, 2,000 cp까지 낮아졌다(Fig. 2). 점도가 낮아질수록 황토 마감재의 시공에 있어 작업성이 좋아졌다. 샘플 A 점도가 너무 높아 황토 마감재 시공에 있어 작업성의 문제로 실제 적용에 어려울 것으로 예상된다. 점도로 작업성을 판단할 때 물의 비율 1.3과 1.6이 우수하였다.

샘플 A는 황토 마감재의 점도가 너무 높아 피착재에 퍼짐이 잘 일어나지 않는 게 샘플 A가 B, C, D보다 낮은 접착력을 보이는 것으로 간주되었다. 반면 샘플 D는 물의 비율이 높아져 점도가 낮고 피착재에 황토마감재의 퍼짐성도 우수하여 피착재 표면과 접촉에 있어 우수한 성능을 발휘하였다. 샘플 A는 KS F 4715에서의 제시하는 외장 얇은 바름재, 내장 얇은 바름재의 부착강도 기준인 0.6 N/mm<sup>2</sup>, 0.4 N/mm<sup>2</sup>를 만족시키지 못하여 내·외장 바름재로 부적절한(Fig. 3) 반면 샘플 B, C, D는 KS F 4715에서 제시하는 외·내 부착강도를 만족시켰다. 점도가 낮아질수록 황토 마감재의 피착재에 대해 퍼짐성도 좋아지고 부착강도도 증가하다 일정해졌다.

2 mm 두께로 일정한 크기로 발라 3 m/s ± 10% 공기 흐름통 속에 넣었을 때 내간갈림성은 샘플 A는 큰 크랙이 많이 발생하였고, B는 잔 크랙이 나타났고, C와 D는 크랙 발생이 전혀 없었다. 크랙 발생 또한 점도가 높아 퍼짐이 좋지 않은 A, B는 피착재에 퍼짐성이 좋지 않아 황토마감재와 피착재 간에 충분한 접착이 일어나지 않아 경화가 되면서 피착재에 발리지 않은 부분이 크랙 발생 부분이 되었다. 반면

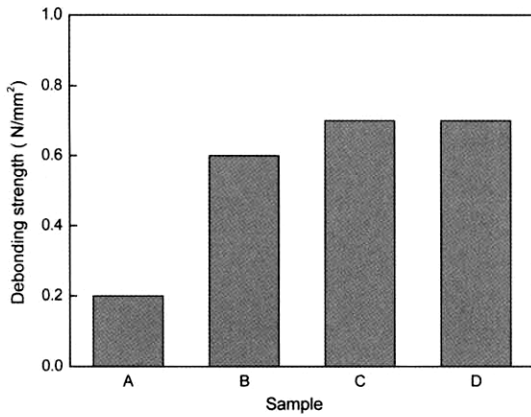


Fig. 3. Debonding strength of samples.

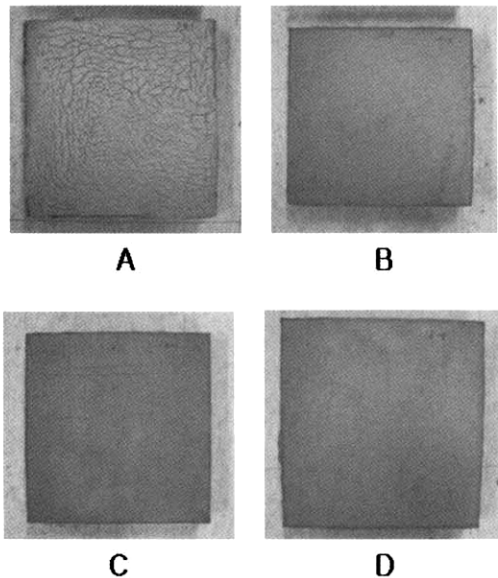


Fig. 4. Crack test of samples.

C, D는 퍼짐성이 좋아 피착재 전체에 대해 균일하게 퍼져 전체적으로 균일한 집착이 일어나서 균일한 표면을 보였다(Fig. 4). Table 7에 황토마감재의 물성을 나타내었다.

내세척성과 내충격성에 있어 샘플 A, B, C, D 모두 좋은 성능을 발휘하였다. 내세척성을 통해 실내바림재로 사용 시 소비자의 세척 시에도 아무런 이상이 없을 것으로 간주된다. Fig. 5는 충격 강도 테

Table 7. Properties of loess finishing materials

Samples	Cracking test	abrasion test	Impact test	Debonding test (N/mm <sup>2</sup> )
A	No	Yes	Yes	0.2 (No)
B	No	Yes	Yes	0.6 (Yes)
C	Yes	Yes	Yes	0.7 (Yes)
D	Yes	Yes	Yes	0.7 (Yes)

\*\*Yes : Pass for the KS, No : Not to pass for the KS

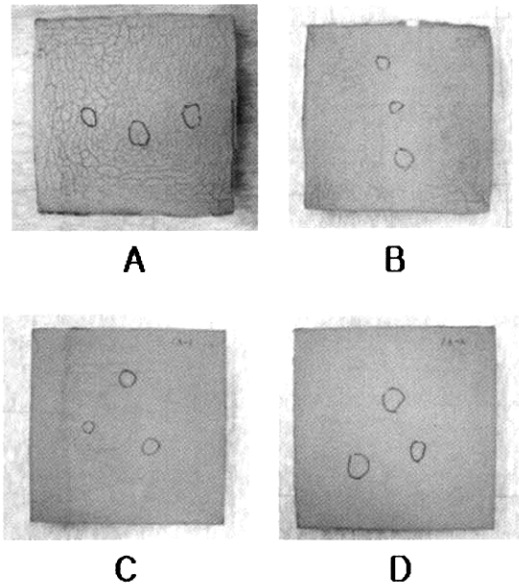


Fig. 5. Impact test of samples.

스트 후 샘플 모습이다. 구슬의 충격에 의해 손상이 생긴 것은 하나도 없었다. Table 7에 황토마감재의 물성을 표로 나타내었다.

### 3.2. 황토마감재의 원적외선 특성

샘플 A, B, C, D에서 크랙 발생과 내세척성, 내마모성에 이상이 없으며 KS의 부착강도를 만족하는 동시에 작업성이 가장 우수한 샘플 D에 대해 40°C, 5~20 μm 범위에서 방사율, 방사에너지를 측정하였다. D의 방사율은 0.922였으며, 방사에너지( $\times 10^2$  W/m<sup>2</sup>)는 3.72로 나왔다. D의 원적외선 방사는 Table

Table 8. Far infra radiation emissivity and emission power of sample D

Far Infra Radiation (40°C)	Emissivity (5~20 μm)	0.922
	Emission power (W/m <sup>2</sup> )	3.72 × 10 <sup>2</sup>

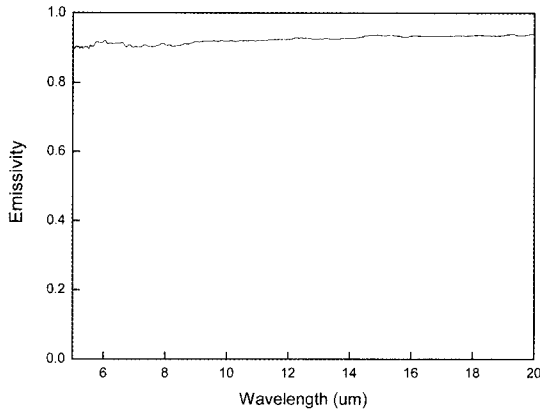


Fig. 6. Emissivity of sample D.

8에 특성을 나타내었다. Fig. 6은 파장에 따른 원적외선 방사율 그래프로 나타내었고 Fig. 7은 방사 에너지를 나타내었다. Table 8에 황토마감재의 원적외선 특성을 나타내었다.

### 3.3. 황토마감재 접착제의 VOCs, 포름알데히드 방산

수성접착제를 사용하였기 때문에 접착제의 포름알데히드 방산은 0.0013 mg/m<sup>2</sup>h였고 TVOC는 0.0548 mg/m<sup>2</sup>h 나왔고 친환경 건축자재 단체 품질인증에서 포름알데히드와 TVOC 등급은 최우수 등급이었다. 개별 VOCs는 주로 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타일렌 등이 방산되었고 그 중에서도 톨루엔이 가장 많이 방산되었으며 Known VOCs보다 Unknown VOCs가 대량으로 방산되었다(Table 9).

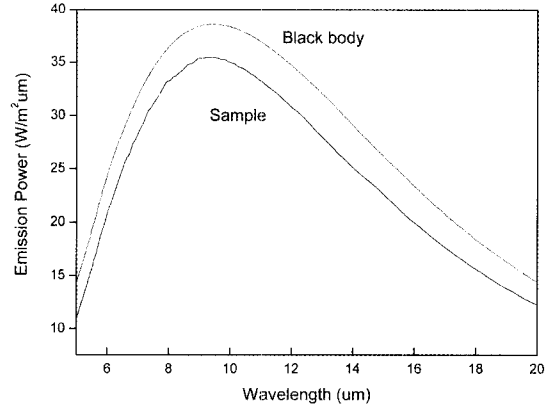


Fig. 7. Emission power of sample D.

## 4. 결 론

본 연구에서 각각 다른 비율로 제작된 황토마감재의 물성 및 원적외선 방산 실험, VOCs, 포름알데히드 방산 실험을 실시하였다. 비율에 따라 물성의 차이가 조금씩 있었는데 샘플 A, B의 경우에는 내 잔갈림성 실험에서 크랙 발생하였고, 부착강도 실험에서는 KS 4715에서 규정하는 부착강도 4 N/mm<sup>2</sup>의 기준을 만족시키지 못하여 황토 마감재로 사용하기에 부적절하였다. 반면 샘플 C, D의 경우는 내잔갈림 테스트에서 크랙 발생도 없었고 부착강도 테스트에서 내외장 바름재의 기준을 넘는 강도를 보였고, 또한 점도가 낮은 샘플 A, B에 비해 작업성이 우수하였다. 내장용 황토 바름재로 적절한 샘플 D의 원적외선 방산 실험 결과 원적외선 방사율은 0.922로 한국건축자재시험연구원의 기준에 의한 최우수등급이었고 방사에너지(× 10<sup>2</sup> W/m<sup>2</sup>) D는 3.72이었다. D의 VOCs와 포름알데히드 방산량은 친환경 건축자재 단체 품질인증에서 최우수등급으로 측정되었다. Known VOCs에서 주로 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등이 방산되었고 Known VOCs보다 Unknown VOCs가 훨씬 많이 방산하는 것을 알 수 있었다. 샘플 D는 KS에서 제시하는 품질 기준을 만족할 뿐만 아니라 친환경적인 측면에서 유해 물질이 거의 없는 수준이고 우리 몸에 이로운 원적외선과 방사에너지 부분도 우수하여 황토마감재로 적합하다고 사료되었다.

Table 9. TVOC, VOCs and formaldehyde emission concentration of water-based adhesive  
(unit: mg/m<sup>2</sup>h)

Sample	HCHO	TVOC	5 VOCs				
			Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene	styrene
	0.0013	0.0548	0.0001	0.0019	0.0002	0.0008	0.0002
VOCs			Emission concentration (µg/m <sup>2</sup> h)				
1		Chloroform					0.000
2		Ethane, 1,2-dichloro-					0.000
3		Ethane, 1,1,1-trichloro-					0.000
4		Benzene					0.053
5		Carbon Tetrachloride					0.000
6		Propane, 1,2-dichloro-					0.000
7		Trichloroethylene					0.000
8		1-Propene, 1,3-dichloro, cis					0.000
9		1-Propene, 1,3-dichloro, trans					0.000
10		Ethane, 1,1,2-trichloro-					0.000
11		Toluene					1.896
12		Ethane, 1,2-dibromo-					0.000
13		Tetra chloroethylene					0.000
14		Benzene, chloro-					0.000
15		Ethylbenzene					0.196
16		m,p-Xylene					0.577
17		Styrene					0.219
18		o-Xylene					0.187
19		1,1,2,3-tetrachloroethane					0.000
20		Benzene, 1,3,5-trimethyl-					0.000
21		Benzene, 1,2,4-trimethyl-					0.000
22		Benzene, 1,2-dichloro-					0.000
23		Benzene, 1,3-dichloro-					0.000
24		Benzene, 1,4-dichloro-					0.000
25		Benzene, 1,2,4-trichloro-					0.000
26		1,3-Butadiene,1,1,2,3,4,4-hexachloro					0.000
Known Total						3.126	
Unknown Total						51.699	
Total Concentration						54.825	

## 참 고 문 헌

1. (사)한국생활환경학회. 2006. 공동 주택의 실내공기질 개선 방안에 관한 연구.
2. 허윤경. 2005. 실내마감재로서의 황토의 사용현황과 공급방안에 관한 연구. 석사학위논문(경북대).
3. 김영경. 2001. 황토방요법의효과에 관한 내용분석. 여성 건강. 2(2): 25~50.
4. 이원섭. 1999. 황토건강법. 동방미디어.
5. 조형찬. 2000. 황토를 이용한 공동주택의 온열환경에 관한 연구. 석사학위논문(수원대).
6. 리신호 외. 2005. 황토 마감재의 배합비에 따른 압축강도 특성과 사용서 평가. 농촌계획. 11(3): 53~57.
7. 한국산업규격. 2001. KS F 4715 얇은 마무리용 벽 바름재.