

실내공기질 개선을 위한 자연소재마감재의 오염물질 방출특성 및 저감에 관한 연구

이 지 영^{†*}, 박 진 철^{*}, 이 언 구^{*}

중앙대학교 대학원, *중앙대학교 건축학부

A study on the characteristics and reduction of pollutant emission by finishing with natural materials for improving the IAQ

Ji-Young Lee^{†*}, Jin Chul Park^{*}, Eon Ku Rhee^{*}

Graduate School of Architecture, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

ABSTRACT: This study aims to reduce the pollutant emission for improving the IAQ by finishing with natural materials. To investigate the concentration of pollutants such as Vocs, HCHO, both the chamber experiment and field measurement were conducted. The results of the study can be summarized as flows.

(1) According to the chamber experiment of pollutant-emitting power of diatomite materials showed that VOCs and formaldehyde emission rates were lower and satisfied to the most on the HB Grade. (2) The field measurement of pollutant-emitting concentration of clay materials were lower 35% than other materials.(3) The Vocs and formaldehyde were most emitted from furnitures and the emission rate were found to be proportional to indoor air temperature. To control the emitted pollutants efficiently, the reasonable selection of finishing with natural materials are required.

Key words: VOCs(휘발성유기화합물), Formaldehyde(포름알데히드), Finishing with natural materials(자연소재복합마감재), Diatomite(규조토), Clay(황토), Pollutant emission (오염물질방출)

1. 서론

최근 건축재료에 사용되는 수많은 화학물질은 실내공기의 VOCs와 포름알데히드의 중요한 발생원이 되고 있으며, 고농도로 방출하는 특징이 있어 빌딩증후군(Sick building Syndrome)과 같은 문제를 유발하고 있다. 그러나 많은 경우, 이러한

재료의 특성에 대해서 고려되지 않은 채 건축자재의 선정이 이루어지기 때문에, 실내마감재를 비롯한 각종 건축재료 및 접착제 등으로부터 방산되는 오염물질로 인해 실내거주자들의 건강이 크게 악화되고 있는 상황이다.

따라서 환경친화적 재료의 선택 및 오염원으로 작용할 수 있는 건축자재, 내장재 등을 개량하여 실내의 오염물질 농도를 낮추는 것이 불가피하다.

이에 대해 건축자재 생산업체에서는 환경부하를 최소화하는 다양한 건축재료들을 개발하고 있다.

†Corresponding author

Tel.: +82-2-820-5261; fax: +82-2-816-5261

E-mail address: abigailjy@hanmail.net

특히 환경친화 개념의 도입으로, 황토, 규조토, 옥석분말 등의 자연소재를 혼합한 친환경재료들이 개발되고 있는데,⁽¹⁾ 이러한 재료들의 실내공기질 개선효과에 대한 과학적인 입증 자료는 아직 미흡한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 자연소재를 혼합한 친환경 복합마감재인 규조토벽면마감재와 황토마감재의 VOCs와 포름알데히드의 방출특성 및 저감 성능을 평가함으로써, 각각의 재료에 대한 실내공기질 개선 성능 평가를 위한 기초자료를 도출하고자 하였다.

2. 실내공기오염물질의 특성 및 자연소재복합마감재에 대한 이론적 고찰

2.1 실내공기의 유해물질 및 실내 공기환경기준

실내건축 재료에는 수만의 화학물질이 사용되고 있지만, 그 중 대표적인 유해화학물질로 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds)과 포름알데히드(Formaldehyde)가 있다.

VOCs는 공기 중에 존재하는 수많은 종류의 유기화합물질을 총칭하며, 실내에서의 VOCs 주요 발생원으로는 건축자재와 마감재료, 소모성 재료, 연소과정의 물질, 재실자의 활동 등으로 구분할 수 있다. 한편 실내 포름알데히드의 발생원으로는 건축자재, 가구, 접착제, 흡연, 연소기구 등이 있으며, 특히 건축자재 중에서 파티클보드, 화이버보드 등의 합판류, MDF류, 우레아수지폼 단열재, 페인트, 카페트 등에서 많이 발생된다.⁽²⁾

Table 1 IAQ standards

HCHO	0.1ppm(122.81 μ g/m ³)(ASHRAE)
	0.081ppm(약98.24 μ g/m ³)(WHO Europe) 120 μ g/m ³ (Korea)
VOCs	200 ~ 600 μ g/m ³ (FISAQ)
	300 μ g/m ³ (WHO Europe) 500 μ g/m ³ (SCANVAC AQ2) 500 μ g/m ³ (Korea)

Table 2 Chemical composition of diatomite

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO	MgO	etc.
85.8(%)	3.8%	1.2%	1.1%	0.5%	0.6%	7%

2.2 규조토 벽면마감재

규조토는 플랑크톤이 해저나 호수바닥에 800 ~ 1000만년 동안 쌓여 규산 부분만이 화석화된 퇴적암으로서, 규조토를 자연소재로 경화시켜 만든 규조토마감재는 유해물질의 흡수, 분해성능 및 조습성능이 있다고 보고된 바 있어, 활용 시 실내공기오염물질의 방출량을 저감할 수 있을 것으로 예상된다. 규조토는 현재 일본과 미국을 중심으로 여과재, 흡수제, 첨가제, 연마제, 단열재, 살충제 등의 여러 산업 분야에서 활용되고 있다. 자연규조토의 조성비는 Table 2와 같다.⁽⁵⁾

2.3 황토

황토는 과거부터 주로 건축자재로 사용되었던 흙으로, 건축재료의 주류를 이루는 시멘트콘크리트의 알칼리 성분을 중화시키고, 축열효과 및 습도조절기능, 환기성능 등이 탁월하여 쾌적한 실내환경을 제공할 수 있다. 황토는 석영, 조면암, 화강암, 안산암 등이 분해되어 생성된 것으로 화학식이 Al₂O₃, 2SiO₂, 2H₂O로 표시되며, 조성비는 Table 3과 같다.⁽⁶⁾

Table 3 Chemical composition of clay

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	etc.
53.36(%)	32.5	3.66	0.24	0.27	4.97

3. 소형챔버실험을 통한 규조토마감재의 오염물질 저감 효과 분석

3.1 실험 개요

본 연구는 실내공기오염물질 저감 효과가 있다고 보고된 규조토 건축마감재료를 대상으로 실제 실내공기오염물질 제거의 성능을 분석하였다. Table 3과 같이 20ℓ 챔버 6개를 준비하여, 3개의 챔버는 규조토 시편을 설치한 후 오염물질이 혼합된 표준용액에 노출시키고, 나머지 3개의 챔버는 오염물질이 혼합된 표준용액에만 노출시켰고, 그리고 규조토에서의 시간 경과에 따른 VOCs 및 포름알데히드의 농도변화를 비교하여 측정 및 분석하였다.

Table 4 Components of emission test chamber

Diatomite+ pollutant 5ppm		pollutant 5ppm	
No.1	T+0 sampling	No.4	T+0 sampling
No.2	T+30min sampling	No.5	T+30min sampling
No.3	T+8hour sampling	No.6	T+8hour sampling

Table 5 Experimental condition of chamber test

항 목	Specification	
	HCHO	VOCs
Sampling volume(V)	4.5ℓ	4.5ℓ
Sampling time(T)	30min	30min
Flow volume(Q)	150ml/min	150ml/min
Chamber volume(v)	20ℓ	20ℓ
Loading factor(L)	0.4m ³ /m ²	0.4m ³ /m ²
Sample size (A)	1.49m ² ×3ea	1.49m ² ×3ea
Pollutant	5μℓ	5μℓ
Temperature(T)	25±1℃	25±1℃
Relative humidity	50±5%	50±5%



Fig. 1 Emission test chamber and sample.

Table 4와 Table 5는 실험에 사용된 챔버의 구성 및 운전조건을 나타낸 것이며, Fig. 1은 소형챔버 내에 설치된 규조토시료의 모습이다.

3.2 측정 방법

6개의 챔버는 실험 시간 동안 밀폐상태로 유지하며, 포집은 실내공기질 공정시험법에 따라 예정된 채취시간에만 급배기 라인을 연결하여 측정하였으며, 세부 채취방법은 Table 6과 같다.

Table 6 Pollutants measuring method

Sampling Device	HCHO	2,4-DNPH Silica Cartridge (Supelo, S10, U.S.A) Ozone Screwbler(Waters, U.S.A)
	VOCs	Tenax-TA(60/80mesh, Supelo, U.S.A)
Sampling	HCHO	Digital Pump(Sibata MP-Σ300) 150ml/min× 30min = 4.5ℓ

VOCs	Digital Pump(Sibata MP-Σ300) 150ml/min× 30min = 4.5ℓ
Storage	Store in refrigerator below 4℃

3.3 실험결과 및 분석

규조토시료가 설치된 소형챔버의 VOCs의 농도는 Table 7과 같으며, 여기서 저감 농도는 챔버를 30분 밀폐 후 측정된 농도에서 8시간 경과 후 측정된 농도를 뺀 값을 말한다.

Table 7 Reduction of VOCs concentration(μg/m³)

VOCs	Diatomite + pollutant 5ppm			pollutant 5ppm		
	No.2	No.3	Reduction	No.5	No.6	Redu.
Benzene	0.13	-	0.13	0.29	0.34	-0.05
Toluene	3.44	2.87	0.57	6.09	9.32	-3.23
Ethylbenzene	0.43	0.09	0.34	0.84	0.97	-0.13
o-Xylene	0.45	0.30	0.15	0	0.83	-0.83
m,p-Xylene	0.90	0.28	0.62	2.84	2.23	0.61

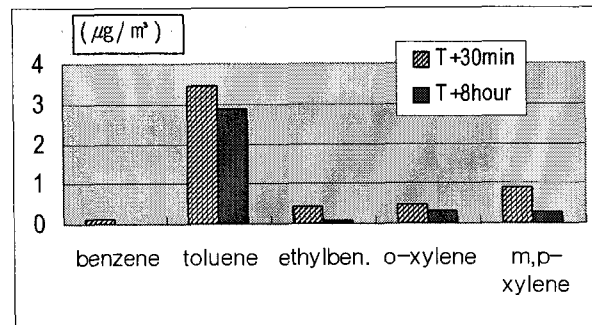


Fig. 2 VOCs concentration of diatomite chamber

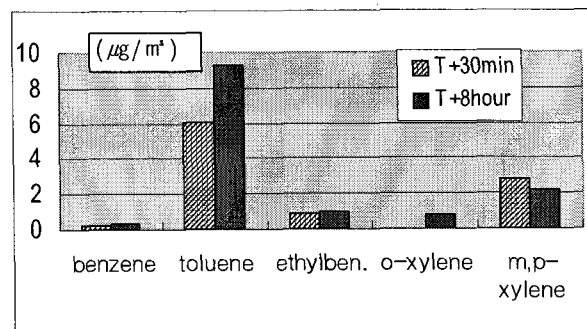


Fig. 3 VOCs concentration of blank chamber

8시간을 밀폐시킨 후 소형챔버 내에 VOCs의 농도 변화를 분석한 결과, 규조토 시편을 설치한 챔버내의 농도는 점차 감소하였으며, 시편을 설치하지 않은 챔버의 농도는 점차 증가 되었다. 규조토시편을 설치한 후 저감농도는 Benzene $0.13\mu\text{g}/\text{m}^3$, Toluene $0.57\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ethylbenzene $0.34\mu\text{g}/\text{m}^3$, o-Xylene $0.15\mu\text{g}/\text{m}^3$, m,p-Xylene $0.62\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 Toluene과m,p-Xylene의 농도가 크게 감소되었다.

Table 8 Variations HCHO concentration($\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)

HCHO	Diatomite + pollutant 5ppm			pollutant 5ppm		
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
emission factor	0.015	0.015	0.011	0.003	0.009	0.012

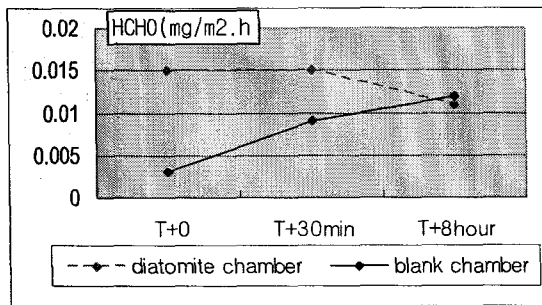


Fig. 4 Comparison of HCHO concentration

Table 8과 Fig. 4는 시간경과에 따른 포름알데히드의 방출강도를 나타낸 것이다. 규조토 시편을 설치한 챔버 내의 초기 농도인 No.1은 규조토재료로 인해 No.4 보다 높은 방출강도를 나타냈으나, 시간이 경과되면서 규조토 시편을 설치한 챔버 내의 농도는 점차 감소하였으며, 시편을 설치하지 않은 챔버의 농도는 서서히 증가 되었다. 따라서 규조토마감재가 포름알데히드의 제거에 효과가 있는 것으로 판단되며, 또한 HB 건축자재의 인증등급 최우수조건($0.03\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ 미만)을 만족하는 것으로 나타났다.

4. 황토마감재의 현장 실험

4.1 측정 개요

황토마감재의 시공에 따른 실내공기질 개선효과를 평가하기 위하여 선정된 건물은 경기도에

위치한 K대학 내에 위치한 연수원이다. 2005년 12월에 완공된 지하2층, 지상7층의 RC구조의 건물로, 황토체험실과 숙소를 포함하여 일부 실이 대마황토로 마감되었다. 본 연구의 측정은 4월에 실시되었으며, 황토점질체험실, 황토로 마감된 일반실, 그리고 일반실을 측정 대상으로 하였다.

4.2 측정 방법

측정은 실내공기질 공정시험방법에 따라 측정 전 최소 30분간 자연환기를 실시하고, 5시간 밀폐 후 30분간 오염물질농도를 측정 하였다. Fig. 5와 같이 측정실의 중앙에 스탠드를 설치하고 1.2m 높이에 펌프를 고정한 후 시료를 채취하였다.

포름알데하이드 채취는 2,4-DNPH Cartridge를 이용하는 DNPH 유도체화 방법으로, $700\text{ml}/\text{min}$ 으로 30분간 측정하여 21 ℓ 의 공기를 포집하였으며, 포집된 시료는 용매 추출 전까지 4°C 이하에서 냉장 보관하였다. VOCs의 측정은 고체흡착에 의한 열탈착법으로, $150\text{ml}/\text{min}$ 으로 30분간 측정하여 4.5 ℓ 의 공기를 포집하였다. 측정이 끝난 시료에 대해서는 흡착튜브의 양끝을 Storage Cap으로 막고 4°C 의 냉장고에서 분석 전까지 보관하였으며, HPLC와 GC/MSD, TDS 장비를 이용하여 분석하였다.

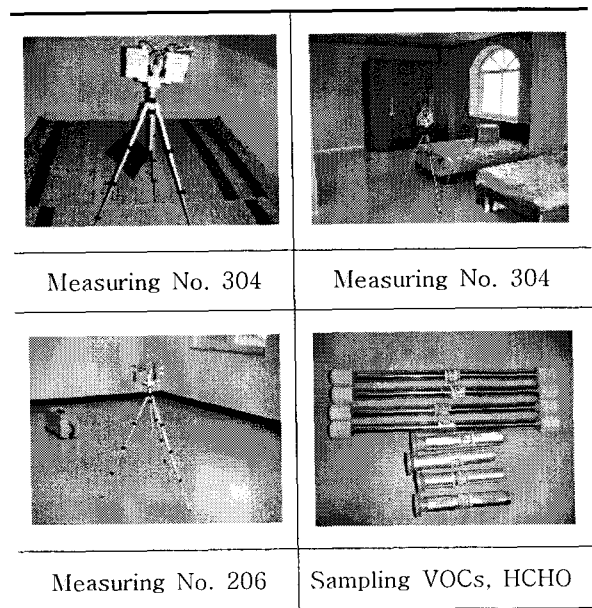


Fig. 5 Sampling VOCs , HCHO

4.3 분석 결과

측정 대상실의 내부 상태는 Table 9와 같으며, 5시간 밀폐 후 측정된 값은 Table 10과 같다. Fig. 6은 각 실의 시간경과에 따른 온, 습도분포도를 나타내 것이며, Fig. 7, Fig. 8은 각 실의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물(TVOC)의 분석결과를 나타낸 것이다.

Table 9 Summary of room

	Finishing	Pollutant	Heat-ing	Temp. (°C)	RH(%)
No.304	clay	N	Y	36 ~ 41	14 ~ 22
No.306	clay	furniture	N	20 ~ 22	41 ~ 44
No.206	general	N	N	19 ~ 22	38 ~ 44

Table 10 Summary of measurement rooms
Date: April 21, 2006 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Temp.(°C)	R.H(%)	HCHO	TVOC
	No.304	40.8	17	97.62
No.306	21.1	44.5	150.24	248.04
No.206	20.1	43.9	9.52	331.95

	VOC's				
	Benzene	Toluene	Ethyl-Benzene	Xylene	Styrene
No.304	0.260	174.984	30.695	191.437	20.514
No.306	0.487	37.758	6.294	32.650	3.560
No.206	0.825	55.609	7.477	32.895	2.540

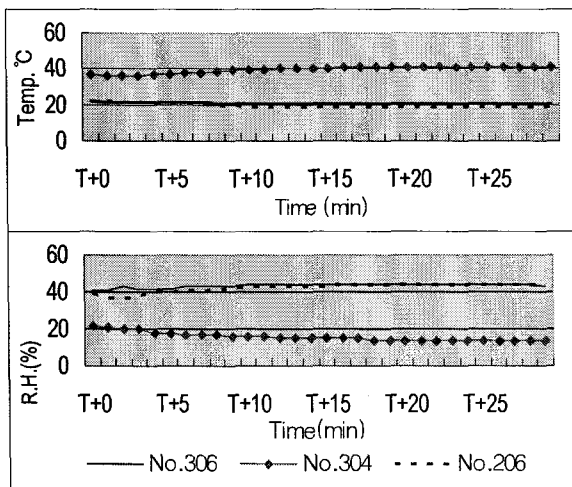


Fig. 6 Comparison of temperature & humidity in each rooms.

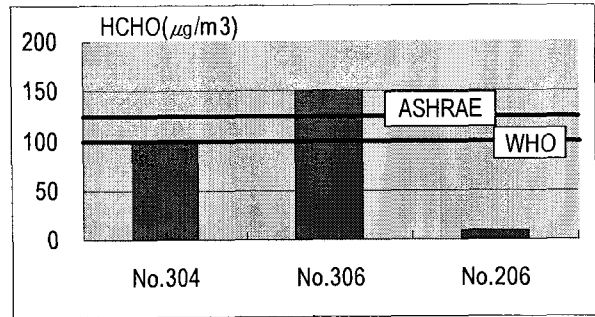


Fig. 7 Result of HCHO measurement

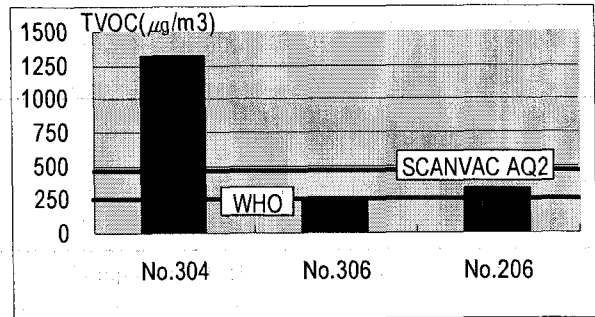


Fig. 8 Result of TVOCs measurement.

Fig. 6에서와 같이, 측정 시간동안 실내 평균 온·습도는 No.304(황토찜질체험실)가 온도40.8°C, 습도 17%이며, 나머지 실들은 평균 온도20~21°C, 습도 43~44%로 나타났다. 포름알데히드의 오염농도는 No.306(황토일반실)에서 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 ASHRAE 실내환경기준($122.81\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였는데, 이는 측정실안에 있던 침대와 장 등 가구에서 방출되는 포름알데히드 오염농도로 판단된다. 또한 황토체험실의 포름알데히드 농도는 ASHRAE의 기준치에는 만족하고 있었지만, Fig.6에서와 같이 온도상승에 따라 일반실 보다 높은 농도분포를 보이고 있었다.

한편, TVOC 오염농도는 304호(황토찜질체험실)가 $1580.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 SCANVAC AQ2의 기준($500\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 3배를 초과하는 것으로 나타났는데, 이 결과 역시 Fig.6에서와 같이 높은 온도조건으로 인해 다량의 TVOC가 방출된 것으로 보여진다. 그리고 No.206(일반실) $397.40\mu\text{g}/\text{m}^3$, No.306(황토일반실) $296.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 황토일반실이 일반실에 비해 $100.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮은 농도를 나타냈다.

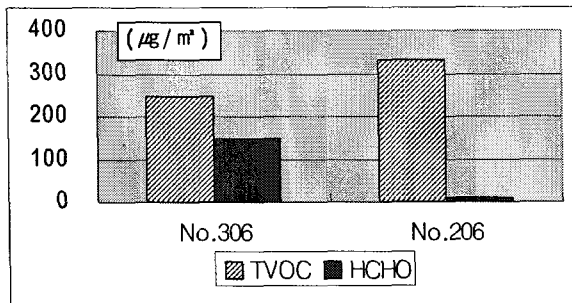


Fig. 9 Comparison of No.306, No.206

Fig.9는 온, 습도 조건이 동일한 No.306(황토일반실)와 No.206(일반실)의 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 방출강도 비교한 것으로, 특히, No.206 황토일반실의 경우 포름알데히드의 오염농도가 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 ASHRAE의 실내환경기준 ($122.81\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하고 있으며, 가구가 없는 일반실과 비교하여 매우 높은 농도분포도를 보이고 있음으로써 포름알데히드 오염물질은 가구 등에 의해 많은 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, TVOC 오염농도는 황토로 마감된 실이 일반실보다 약 35%정도 낮은 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 자연소재를 혼합한 복합마감재인 규조토벽면마감재를 대상으로 소형챔버실험을 통한 오염물질저감성능 분석과 황토마감재의 현장실험을 통한 VOCs와 포름알데히드의 방출특성을 분석한 것으로 연구결과는 다음과 같다.

(1) 규조토 시편을 설치한 소형챔버 실험을 통해 규조토 시료가 VOCs 및 포름알데히드의 저감에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 특히 VOCs의 개별물질 중, Toluene과 m,p-Xylene이 크게 저감되었다. 또한, 포름알데히드는 HB 건축자재의 인증등급 (최우수 $0.03\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 미만)을 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 현장 실험을 통해 황토재료와 일반재료로 마감된 내부 공기환경을 비교 측정된 결과, 황토재료로 내부마감된 실의 TVOC 오염농도는 일반실의 오염농도보다 약 35%정도 낮은 분포를 보이는 것으로 나타났다.

(3) 황토실인 경우라도 가구가 내재되어 있다면 포름알데히드의 오염농도는 높은 분포를 보임으로써, 포름알데히드 오염물질은 주로 가구에서 발생되고 있음을 확인하였다.

(4) 온도 40.8°C , 습도 17% 조건의 황토점질체험실 실험결과, 온도상승에 따라 오염농도 발생이 한층 상승하고 있음을 확인하였다.

본 연구는 최근 시판되고 있는 자연소재를 혼합한 건축마감재료 중 일부를 대상으로 실험한 결과로서, 향후 보다 다양한 재료들에 대한 연구를 통하여 친환경건축자재가 제시되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Kim, K. M. 2003, An experimental study on the physical characteristics of cement mortar with cellulose fiber and diatomite, Journal of construction institute of korea, pp103
2. Yu, H. K, etc. 2005, A study on the emission characteristics of Formaldehyde and TVOC from indoor finishing materials, Journal of architecture institute of korea, v.21 n.7
3. Park, J. C. 2003, A study on the improvement of indoor air quality in Residential Buildings, Journal of architecture institute of korea, v.19
4. A study on the improvement of IAQ for apartment houses, The society of living environment system of Korea, 2006
5. Yu, J. Y. 2000, Application of Diatomite, Mineral & Industry. 13. 1. 39-50
6. Hyung, C. C. A. 2000, study on the thermal environment of the apartment house with HWANGTOH, Suwon University.