

흡착재의 종류에 따른 경화체의 라돈가스흡착 특성

Properties of Radon Gas Absorption of Matrix According to Types of Absorbent

권 오 한

임 현 응

이 상 수*

Gwon, Oh-Han

Lim, Hyun-Ung

Lee, Sang-Soo*

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, 125, Dongseo-daero, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

Abstract

WHO reported that millions of people die every year because of diseases induced from environmental pollution. In 2012, approximately 7 million people were killed due to air pollution. Major cause of such pollution includes toxin, chemical waste, radiation and air pollution. Therefore, the significance and interest to indoor air quality has been continuously increased. Especially, the interest in radon, the ARC group 1 carcinogen, is rapidly increasing, and banning the use of construction materials that release radon, repairing aged buildings, and developing ventilators. To reduce the level of radon gas was inflowed to indoors and outdoors, this study is to research and develop a radon gas absorption board using absorbents. The absorbents utilized to absorb the radon gas were porous diatomite, natural zeolite, 4A zeolite and 13X zeolite and employed bentonite and illite, montmorillonites with the property of exchanging anions. As the main binder, magnesium oxide was used, with a content of 25% magnesium chloride.

Keywords : air pollution, radon gas, diatomite, zeolite, illite, bentonite

1. 서 론

1.1 연구의 배경

2011년 3월 11일 일본 동북부 지방을 관통한 대규모 지진과 쓰나미로 인해 후쿠시마 현에 위치에 있던 원자력발전소의 방사능이 누출되면서 방사능에 의한 우려와 관심이 집중되었다. 이에 따라 방사능에 관한 언론 매체의 집중보도가 이어졌고 많은 사람들이 방사능에 대해 위험성을 지각하고 관심을 기울이게 되었다. 그러나 일상생활 주변에 존재하는 자연방사능에 대한 존재자체도 인지하지 못하고 있으며 자연방사능에 대해 관심을 기울이지 않는 실정이다.

1984년 미국의 한 원자력 발전소 직원이 집에 방사선 경보기를 설치하면서 자연방사능에 대한 위험성이 제기되었다. 이러한 사건으로 인해 일상생활에서도 고농도의 방사선에 노출될 수 있다는 사실에 밝혀졌으며, 이에 따른 연구결과 일상생활에서 발생하는 자연방사선 중 라돈이 가장 위험한 인자라는 사실이 알려졌다.

라돈의 경우 무색, 무미, 무취의 불활성기체로서 사람의 감각으로는 느낄 수 없어 문제가 더 심각하다. 라돈은 지구의 생성부터 존재해 온 우라늄의 붕괴로 생성되는 것으로 인류의 시작부터 현재까지 우리 주변에 존재해 온 방사선 기체이다. 대부분 토양이나 암석으로부터 방출되지만 지하수나 건축자재에서도 방출되어 문제가 더 심화되고 있는 실정이다. 미국 환경보호청에서 국민을 대상으로 라돈문제를 홍보하기 위해 발간한 자료 "라돈에 대한 시민안내서(A Citizen's Guide to Radon)"에 따르면, 미국의 규제치이며, 한국에서는 권고기준치인 4 pCi/L 또는 148 Bq/m³의 라돈농도가 일정하게 지속적으로 유지되는 실내공간에서 평

Received : November 15, 2016

Revision received : December 13, 2016

Accepted : December 23, 2016

* Corresponding author : Lee, Sang-Soo

[Tel: 82-42-821-1635, E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

생 동안 생활하면 흡연자인 경우 1000명 중 약 62명(6.2%) 이 폐암의 위험이 있다고 한다.(비흡연자는 이의 1/10)

즉, 미국 보건당국은 라돈이 미국에서 폐암을 유발시키는 제2의 원인제공자임을 경고하고 있으며 라돈에 의한 폐암 발생확률은 우리가 살아가는 동안 얼마나 많은 라돈을 호흡했느냐에 관계되므로, 우리의 주거환경에서 라돈의 농도를 가능하면 낮추는 노력이 필요한 실정이다[1,2].

1.2 연구의 목적

본 연구는 흡착재를 활용한 라돈가스 저감형 스마트제어 건축용 내화보드를 제조하기 위한 기초 연구로 산화마그네슘과 염화마그네슘을 사용한 마그네시아 시멘트를 사용하였다. 또한 라돈을 흡착할 수 있는 흡착재로 다공질의 특성을 가지고 있는 제올라이트 및 규조토와 양이온 교환성과 흡착성이 뛰어난 벤토나이트 및 일라이트를 활용하여 실내·외로 유입되는 라돈가스를 흡착하고 저감하는 라돈가스 저감형 스마트제어 건축용 내화보드에 관한 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험 요인 및 수준

본 실험에 사용된 흡착재는 천연 제올라이트, 4A 제올라이트, 13X 제올라이트, 벤토나이트, 일라이트를 사용하였으며 주 결합재로 산화마그네슘을 사용하였고 염화마그네슘 첨가율은 25%로 고정하였다. 천연 제올라이트의 밀도는 2.2g/cm³이며, Fe 37.7%, Al 10.6%, Si 47.2%로 구성되어 있다. 4A 제올라이트는 밀도 0.35g/cm³이며, Al 43.8%, Si 54.9%로 구성되어 있다. 13X 제올라이트의 밀도는 0.3g/cm³이며, Al 40.5%, Si 58.3%로 구성되어 있다. 선행 연구를 통해 제올라이트를 20, 40, 60% 로 첨가하여 실험을 진행하였다.

규조토의 밀도는 2.0g/cm³이며, Si 43.1%, Fe 55.3%, Al 0.92%, P 0.31%로 구성되어 있으며 첨가율은 5, 15%로 고정하였다.

벤토나이트의 경우 국내 D사의 200Mesh 이하 밀도 1.70g/cm³ 제품을 사용하였으며, SiO₂ 44.5%, Al₂O₃ 19.8%로 구성되어 있다. 일라이트는 Y사의 밀도 2.30g/cm³, 입도 200Mesh 이하 제품을 사용하였다. 벤토나이트 및 일라이트의 첨가율은 0, 5, 10, 15, 20%로 고정하였으며 실험 요인 및

수준은 Table 1과 같으며, 각 재료에 따른 실험체의 분류는 다음 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental factor and level

Experimental factor	Experimental level				
Main material	Magnesium oxide				1
Magnesium chloride	25%				1
Adsorbent	Zeolite	Diatomite	Bentonite, illite		
Adsorbent addition ratio	20, 40, 60 (%)	5, 15 (%)	5, 10, 15, 20 (%)		3
W/B	45%				1
Curing conditions	Relative humidity 80±5%, Temperature 20±2°C				1
Test items	Table flow, Density, Water absorption, Flexural strength, Compressive strength, Radon gas concentration				6

Table 2. Test items and factor

Test items	factor
4A-20	
4A-40	Factor with addition of synthetic zeolite 4A
4A-60	
13X-20	
13X-40	Factor with addition of synthetic zeolite 13X
13X-60	
ZI-20	
ZI-40	Factor with addition of natural zeolite
ZI-60	
D-05	
D-10	Factor with addition of diatomite
Bn-05	
Bn-10	Factor with addition of bentonite
Bn-15	
Bn-20	
iL-05	
iL-10	Factor with addition of illite
iL-15	
iL-20	

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 산화마그네슘은 밀도 3.42g/cm³, 분말도 3,539cm²/g로 화학성분은 MgO 95.68%, CaO 2.52%로 가장 많은 구성 비율을 나타내며 화학성분은 Table 3과 같다. 경화체를 제조하기 위해 염화마그네슘을 사용하였으며 그 반응식은 식. 1과 같다.



Table 3. Chemical components of magnesium oxide (%)

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Content	1.07	0.06	0.34	2.52	95.68

제올라이트는 장석과 같이 (Si,Al)O₄의 사면체가 정점 산소(Apical oxygen)에 의하여 3차원의 골격구조를 만들고 있지만 공극이 있고 여기에 물 분자와 교환성 양이온이 포함되어 있다. 천연제올라이트는 규칙적인 구조로 구성된 미세한 구멍을 지닌 모공 광석으로 분자체로 사용될 수 있으며, 전체 부피의 최대 50% 정도가 공극으로 구성되어 있다. 합성제올라이트(13X, 4A)는 알칼리, 물, 유기질의 혼합물로 구성된 실리카와 알루미늄을 느리게 결정화시켜 만든 것으로 결정구조 내에 있는 양이온의 작용에 의해 강하게 흡착하는 성질을 갖고 있다. 본 연구에서 사용된 제올라이트는 천연제올라이트, 합성제올라이트 (13X, 4A)를 사용하였으며, 화학성분은 Table 4와 같고, Figure 1은 천연제올라이트 SEM 사진이다[3,4].

Table 4. Chemical components of zeolite (%)

Element	Al	Si	Fe	P	K	Ca
Zeolite (natural)	10.60	47.02	37.70	0.41	0.94	1.21
Zeolite (13X)	40.05	58.30	0.007	1.05	0.01	0.14
Zeolite (4A)	43.50	54.9	0.009	1.13	0.01	0.11

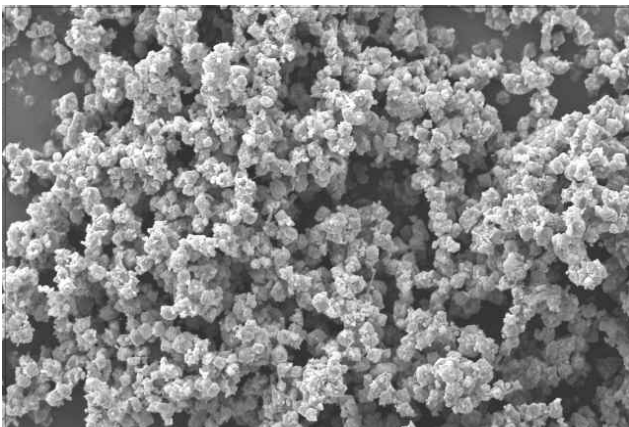


Figure 1. SEM image of zeolite

규조토는 평균 크기 50~100 마이크로미터크기의 규조류(Diatom)라고 불리는 부유성 조류껍데기로 이루어진 퇴적

물의 집합체이다. 이들 규조토는 물에서 실리카를 흡수해 세포벽을 만든다. 규조토는 대부분이 비정질 실리카로 구성되며, 여기에 약간의 결정질 실리카가 존재한다. 규조 자체의 복잡한 구조와 그 껍데기의 일차 및 이차 공극 때문에 규조토는 매우 낮은 밀도를 갖는다. 본 실험에서 사용한 규조토의 화학성분 및 SEM은 Table 5, Figure 2와 같다[5].

Table 5. Chemical components of diatomite (%)

Fe	Si	Al	P	Cu	Sr
55.30	43.10	0.92	0.31	0.03	0.03

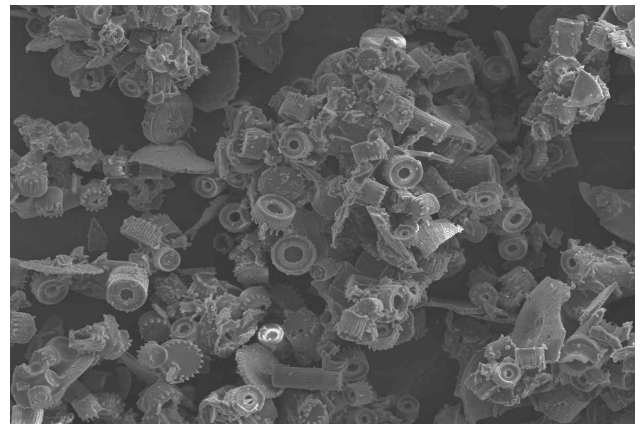


Figure 2. SEM image of diatomite

벤토나이트는 운모와 같은 결정구조를 가지고 있는 몬모릴로나이트를 주성분으로 하는 점토광물이다. 화산이 폭발하면서 생긴 미세 화산재가 바다로 떨어져 염수와 작용하여 점토질 광물로 변성된 일종의 변질암으로 쓰레기 매립지나 오염물질을 흡착하는 흡착제로 사용되고 있으며, 64가지의 미네랄을 가지고 있고 양이온교환성, 흡착성, 팽윤성의 특징이 있다. 일라이트는 상온에서 높은 원적외선을 방출하며 음이온 발생, 항균성과 항바이러스 효능 등이 있다. 본 연구에서 사용한 벤토나이트와 일라이트의 화학성분은 Table 6과 같다.

Table 6. Chemical components of bentonite and illite (%)

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
Bentonite	44.50	19.80	16.60	2.71	3.55	1.70
illite	58.74	26.09	3.19	0.04	0.18	0.35

2.3 실험방법

시험 항목으로 유동성은 KS L 5111로 실시하였고 밀도

및 흡수율은 KS F 2459, 휨강도 및 압축강도는 시멘트의 강도 시험 방법(KS L ISO 679)에 의거하여 실시하였다.

라돈가스 농도 측정은 국내·외 표준시험방법이 아직 정립되어 있지 않기 때문에 자체 시험을 실시하였다. 라돈의 측정 단위는 Bq/m³을 사용 하였으며, Bq/m³은 국제적인 표준단위로, 1m³안에 라돈의 붕괴율을 의미하는데, 이는 공기 중에 존재하는 라돈 수에 비례한다. 라돈측정의 경우 단기 측정과 장기측정으로 나누게 되는데 본 실험에서는 단기 측정을 실시하였으며, 연속 모니터 측정기를 활용하여, 3일 측정을 기준으로 하였다. 라돈가스의 측정 신뢰도를 높이기 위해 방출원을 밀폐된 아크릴 챔버 (500×500×500mm)에 넣은 후 3일 동안 안정화한 후 라돈 가스 방출량(Plain)을 측정 하였다. Plain 측정 후 라돈흡착 경화체를 챔버 내에 방출원과 고정한 뒤 재측정 하였다. 측정시간은 72시간 동안 1시간 간격으로 연속모니터링방법으로 시험을 실시하였으며, 라돈 측정 시 외부 환경에 대한 영향을 줄이기 위해 개구부에서 3m 이상 떨어진 곳에 챔버를 설치하였고 진동 및 미동이 없는 곳에 설치하였다. 라돈가스의 대류를 막기 위해 습도 40±2%, 온도 20±2℃로 균일하게 설정하였으며, 라돈측정기는 미국 환경보호청(EPA)의 특허기술을 채용한 연속 측정 방식으로 미국 S사의 능동형 라돈 측정 장치를 사용하였다. 라돈 방출원의 경우 동일 크기의 석고보드를 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

Figure 3은 흡착재 첨가량에 따른 유동성을 검토하기 위

하여 실시한 유동성 실험으로 제올라이트 종류별 첨가율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 보였다. 천연 제올라이트 첨가량 60%와 구조토의 경우 유동성의 저하로 측정이 불가능 하였다. 벤토나이트 또한 첨가량이 증가할수록 유동성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 벤토나이트 첨가량이 증가함에 따라 W/B의 감소로 유동성이 저하되는 것으로 판단되고, 벤토나이트는 벤토나이트의 중간층에서 발생하는 전하의 불균형으로 각층 모서리는 양성, 표면은 음성이 존재하는 양극성을 띄게 되며, 이러한 양극성으로 물 분자를 끌어당겨 흡착하게 된다. 이때 물 분자는 더욱 더 많은 물 분자를 끌어당겨 벤토나이트 층간 공간에 물이 흡착하게 된다.

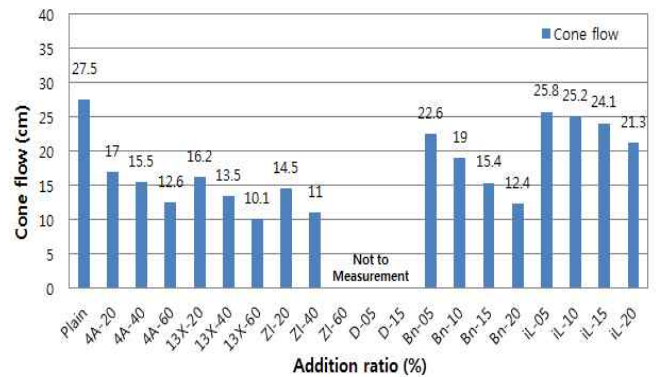


Figure 3. Cone flow of paste with addition of adsorbents

이에 따라 첨가량이 증가할수록 유동성의 급격히 저하되는 것으로 판단된다. 반면 일라이트는 첨가량이 증가함에 따라 첨가율 15%까지 유동성이 조금씩 감소하지만 20% 이상 첨가 시 유동성이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 일라이트의 자체내부마찰저항이 작아 첨가량 15%까지 유동

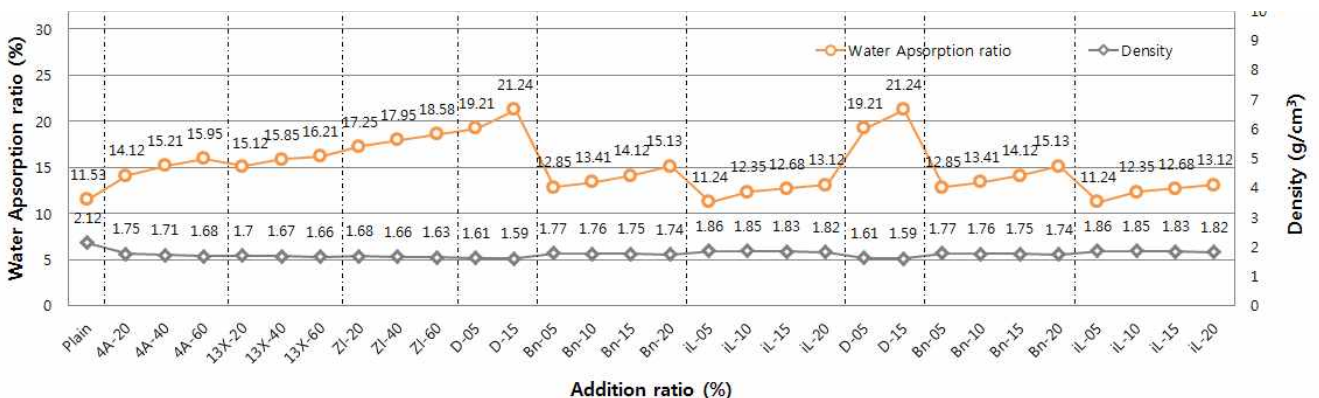


Figure 4. Density and water adsorption ratio of matrix with addition of adsorbents

성이 높지만 일라이트가 구성하고 있는 몬모릴로나이트는 150~500%의 흡수량에서 잠착력(접착력)이 생겨 유동성이 저하되는 것으로 판단된다.

3.2 Water adsorption ratio and density

Figure 4는 흡착재료를 이용한 친환경 모르타르의 밀도 및 흡수율을 나타낸 그래프이다.

밀도는 Plain이 2.12g/cm³으로 가장 높았으며, 일라이트 > 벤토나이트 > 4A 제올라이트 > 13X제올라이트 > 천연 제올라이트 > 규조토 순으로 나타났다. 이는 흡수율과 비교했을 때 상반되는 결과 값으로 이는 흡착재료가 다공질로서 내부에 무수히 많은 기공들로 인해 첨가량이 증가할수록 밀도가 감소할 뿐만 아니라 미세기공에 의한 수분 흡수로 인해 첨가량이 증가할수록 흡수율 또한 증가하는 경향을 보인다고 판단된다.

3.3 Flexural strength

Figure 5는 흡착재를 이용한 라돈가스 흡착형 경화체의 휨강도 결과를 나타낸 그래프이며, 재령일인 3일, 7일, 28일의 휨강도를 측정된 값이다. 흡착재의 첨가량이 증가함에 따라 모두 휨 강도가 감소하는 경향을 보였으며, 천연 제올라이트 첨가율 60%의 경우 4.04MPa로 Plain의 50% 이상 강도가 저하되었다. 이는 흡착재 자체가 다공질로 이로 인한 강도저하와 산화마그네슘과 염화마그네슘의 결합력이 떨어진 것으로 판단되며, 몬모릴로나이트 계열의 경우 수분을 흡착하여 팽창한 뒤 다시 수분이 증발한 후 원 형태로 돌아가는 팽윤성을 가지고 있어 이에 따른 강도 저하가 나타났다고 판단된다.

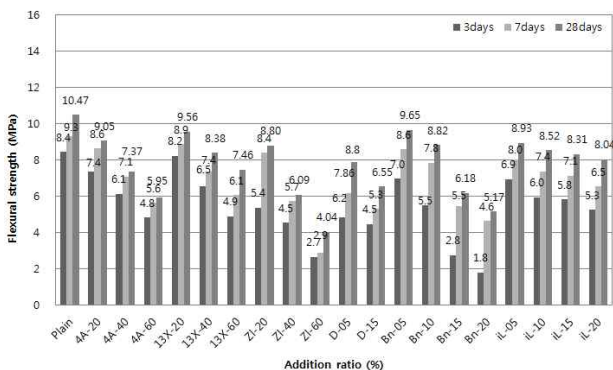


Figure 5. Flexural strength of matrix with addition of adsorbents

일라이트는 외형상 장미꽃과 같은 엽편상을 보이며 결정이 비교적 크고 길쭉한 형태나 육각형태의 판상으로 이루어져 있으며, 잠착력에 의한 부착력이 크고 극미립자로 이루어져 있어 첨가량이 증가함에 따라 Plain에 비해 강도가 감소하는 폭이 미비한 것으로 판단된다.

3.4 Compressive strength

Figure 6은 흡착재를 이용한 라돈가스 흡착형 경화체의 압축강도 결과를 나타낸 그래프이며, 재령일인 3일, 7일, 28일의 압축강도를 측정된 값이다. 흡착재의 첨가량이 증가할수록 강도가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이는 휨강도와 마찬가지로 흡착재의 다공성 성질과 몬모릴로나이트의 팽윤성에 의한 것으로 판단된다.

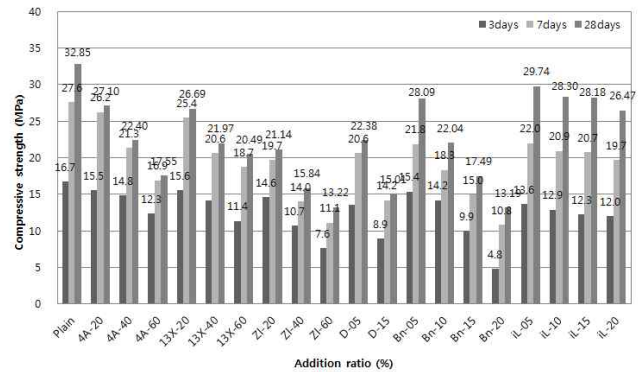


Figure 6. Compressive strength of matrix with addition of adsorbents

또한, 벤토나이트를 첨가한 경화체의 경우 재령 10일 이후부터 경화체의 팽창 및 휨 현상이 현저히 발생하였으며, 재령 28일에는 경화체의 갈라짐 현상 까지 발생하였다. 이에 따른 강도저하가 심각하게 일어났으며, 벤토나이트 및 몬모릴로나이트 계열의 흡착재 사용 시 팽창에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 Radon gas concentration of matrix

Figure 7~9는 흡착재의 첨가량에 따른 라돈 농도를 측정된 것으로 흡착재 첨가 및 증가에 따라 라돈가스농도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

제올라이트는 규칙적인 공극구조를 가지고 있으며 전체 부피의 최대 50% 정도가 공극으로 구성되어 있고, 양이온을 흡착 보전하는 능력인 CEC(양이온치환용량)가 매우 높음

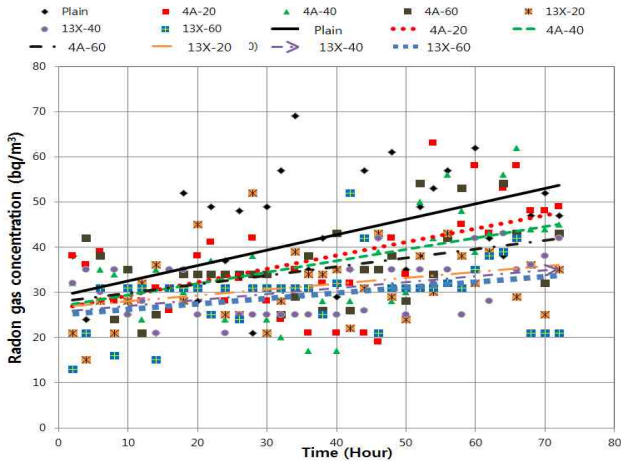


Figure 7. Radon gas concentration (zeolites 4A and 13X) by addition of absorbent

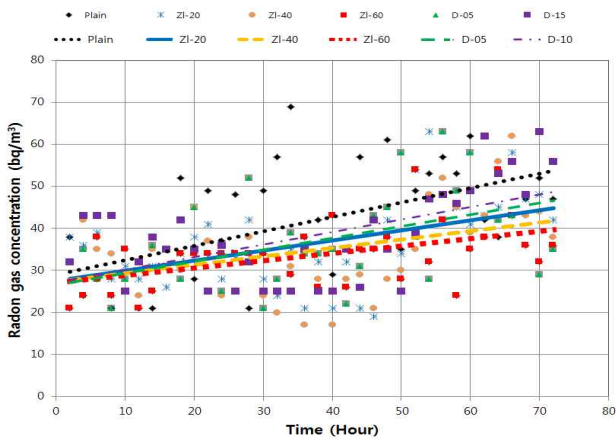


Figure 8. Radon gas concentration (natural zeolite and diatomite) by addition of absorbent

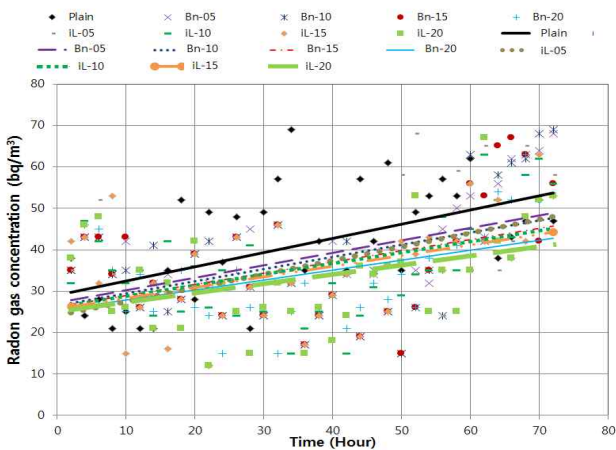


Figure 9. Radon gas concentration (bentonite and illite) by addition of absorbent

며, 구조토도 마찬가지로 숯보다 5000배 이상 초미세 다공질로 구성되어 있으며, 유해가스 및 기체 내의 화학물질과 냄새를 제거하는 능력이 뛰어나다. 이로 인해 라돈이 흡착되어 저장된 것으로 판단된다.

벤토나이트의 경우 제올라이트 다음으로 높은 이온교환성을 지니고 있는 몬모릴로나이트를 주성분으로 하며, 칼슘벤토나이트의 경우 흡수와 흡착이 탁월하며 천연 미네랄이 다량 함유되어 있어 각종 독소와 불순물을 흡착, 분해하는 성질이 있어, 라돈의 흡착이 이루어진 것으로 판단된다.

일라이트의 경우 음이온을 발산하는 광물로서 양이온의 입자들과 전기적인 중화로 응집되는 특성을 가지고 있으며, 방사성물질에 대한 흡착, 분해능력이 있다고 보고되고 있다.

이에 따라 양전하를 띠고 있는 라돈을 흡착한 것으로 판단되며, 13X 제올라이트가 가장 많은 라돈 저감이 이루어졌다.

4. 결 론

본 연구는 실·내외로 유입되는 라돈가스의 흡착저감을 위하여 다공질과 양이온 교환성 및 흡착성이 뛰어난 제올라이트, 구조토, 벤토나이트와 일라이트의 첨가량에 따른 역학적 특성 및 라돈 흡착성능을 확인하고 이에 대한 가능성을 검토하고자 실시하였다. 이에 제올라이트, 구조토, 벤토나이트와 일라이트의 첨가량에 따른 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- 1) 유동성 시험결과 흡착재의 첨가율에 따라 유동성이 저하되었으며, 천연제올라이트 60%, 구조토의 경우 유동성 측정을 할 수 없었다.
- 2) 밀도, 흡수율 측정결과, 구조토를 15% 첨가할 경우 가장 높은 흡수율과 가장 낮은 밀도로 흡착재 첨가 시 Plain 보다 낮은 밀도와 높은 흡수율이 측정되었다.
- 3) 힘강도 압축강도의 측정결과, 흡착재 첨가율이 증가할수록 다공성과 팽창성으로 인한 강도저하가 나타났다. 몬모릴로나이트 계열의 경우 수분 흡착 시 팽창에 의한 갈라짐과 힘에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 라돈가스 농도 측정결과, 모든 흡착재에서 첨가량이 증가할수록 라돈가스가 저장되는 것을 확인할 수 있었으며, 13X제올라이트가 가장 높은 라돈 저감량을 보

였다. 따라서 라돈가스 흡착형 마감재에 활용 시 13X 제올라이트 가장 적합할 것으로 판단된다.

요 약

라돈은 토양이나 암석, 지하수 안에서 우라늄(U-238)이 핵분열 할 때 발생하는 무색, 무취, 무미의 반응성이 거의 없는 비활성 단원자 분자 기체로 반감기 동안 연쇄적으로 붕괴하는데 이때 방사성 핵종(Bi, Po, Pb)이 만들어지며 이를 자손핵종이라 한다. 이는 공기 중의 먼지 등에 흡착하여 사람이 호흡할시 폐에 흡착하여 붕괴하는데 여기서 발생하는 알파선에 장기간 피폭하면 폐암을 유발하는 것으로 밝혀졌다. 이에 따라 실내공기질에 관한 기준과 연구가 지속적으로 시행되고 있는 실정이다. 본 연구는 실내 라돈가스를 최소화 하고 저감하기 위한 무시멘트계 흡착재를 연구개발하기위한 기초실험으로 흡착재의 첨가량에 따라 유동성 및 강도는 저하되는 경향을 보였지만, 이는 흡착재의 밀도 및 공극에 의한 것으로 판단되며, 라돈가스 농도의 경우 첨가량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 향후 가장 적합한 흡착재를 활용하여 보다 세밀하고 다양한 실험이 이루어져야 할 것으로 판단되며, 경화체상의 기초실험을 통해 추후 건축 마감재에 관한 실험도 이루어져야 할 것이다.

키워드 : 라돈가스, 알파선, 폐암, 무시멘트계 흡착재

Acknowledgement

This article was performed by the research grant of 2015 Korea Scientific Research Foundation, [Project No. 2015R1A2A2A01006276].

References

1. Min TU, Chung KS, Kim YI, A Study on the Variation of Indoor Radon Concentration due to the Ventilation Rate in Apartment Housing. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. 2015. Aug 2015(6):431-3.
2. Yonsei University, Establishment of Radon Exposure Route Management System, Ministry of Environment(KR); 2010 Jan, 172 p.
3. Yeom DG, Synthesis of silicalite zeolite using microwave[master,s

thesis]. [Seoul(Korea)]: Seoul National University of Science and Technology; 2016 47 p.

4. Jack Challoner, 1001 inventions that changed the world [internet]. Seoul(Korea): Maroniebooks;2010,01,20. availablefrom: <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=799010&cid=43121&categoryId=43121>.
5. Diatomit. [internet]. Uijeongbu-si, Gyeonggi-do(Korea): Sinwoindustry Inc. available from: http://www.water.sinwoo.com/contents/sub0204_03.php.