

활성탄소 입도에 따른 산화마그네슘 경화체의 공극특성과 흡착성능 평가

Pore Characteristics and Adsorption Performance Evaluation of Magnesium Oxide Matrix by Active Carbon Particle Size

편 수 정

이 상 수*

Pyeon, Su-Jeong

Lee, Sang-Soo*

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34158, Korea

Abstract

Radon gas is a colorless, odorless, tasteless gas that occurs when uranium, a natural radioactive material in rocks and soils, collapses. 85% of the annual radiation exposure of the human body is due to natural radiation, of which 50% is radon. According to the US Environmental Protection Agency (EPA) survey, 62 out of 1,000 smokers and 7 out of 1,000 nonsmokers are exposed to lung cancer when exposed to radon gas for a long time. In order to reduce the risk of radon gas, activate carbon was used to fabricate matrix, and the pore properties and radon reduction properties were investigated. When the activate carbon was used, the radon gas concentration was drastically reduced and the graph was changed as the measurement period became longer. The pore distribution and microporous properties, which are one of the material properties of activate carbon, can be grasped.

Keywords : indoor air quality, radon, building materials, active carbon, pore, radon reduction

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 건축물 에너지 효율등급 인증제에 대한 정부와 국민의 관심이 커지며 실내의 열손실 감소를 위한 방안이 주목받고 있다. 하지만 건축물의 기밀화로 인해 실내 공간의 환기 부족과 공기질 오염에 따른 실내 공기질의 악화가 문제선 상에 떠올랐다[1]. 현대 도시인은 하루 중 약 88% 이상을 실내 공간에서 생활하고 있고, 특히 노약자와 연소자의 경우 주택 내에서 생활하는 시간은 60%에 육박한다. 이러한 실내 공기질의 오염원으로 미세먼지(PM10), 이산화질소(NO₂), 아황

산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 석면, 라돈(Rn), 포름알데히드(HCHO), 휘발성유기화합물(VOC), 오존(O₃), 부유 미생물 등으로 다양한 오염원이 존재한다[2].

실내 공기질 오염원 중 자연 방사성 물질인 라돈은 실내 공간에 축적될 경우 높은 농도로 증가하며, 무색, 무미, 무취의 불활성 기체로 인체가 감지할 수 없다. 밀폐된 실내 공간에 축적된 라돈에 지속적으로 노출될 경우, 인체의 기관지 손상 혹은 세포의 변이와 괴사 등이 유발되기도 한다. 미국 환경보호청(EPA)는 흡연에 따른 발암물질로 라돈을 규정하고 있으며 이에 따른 세계 각국에서 라돈의 건강 위해성에 대한 연구를 진행 중이다[3].

라돈은 지구상의 암석이나 토양 및 광물질 내에 자연적으로 존재하며 이들을 재료로 하는 건축자재 등에 우리몸으로 함유되어 있다. 우리몸의 방사성 붕괴에 의해 라돈은 형성되며 계속해서 붕괴과정으로 딸핵종을 생성한다. 라돈의 붕괴 생성물인 딸핵종은 공기 중 미세 연무질 등에 부착되어 호흡을 통한 체내 유입이 이루어진다[1,2].

Received : November 30, 2017

Revision received : December 14, 2017

Accepted : January 17, 2018

* Corresponding author : Lee, Sang-Soo

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

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

인체로 유입된 라돈과 그 딸핵종은 폐로 유입되어 점막에 부착되어 방사성 에너지를 방출함에 따라 인체는 손상을 입게 된다. 라돈은 3.8일의 반감기로 붕괴하면서 Po-218, Bi-214, Pb-214, Po-214와 같은 입자상 방사성 물질의 딸핵종으로 방사능 붕괴과정을 거친다. 이 과정에서 원자들은 질량이 반감하는 대신 반감량만큼의 분열 에너지를 방출하며, 체내에서 분열 에너지가 방출될 경우 방사선 피폭 측면에서 무시할 수 없다[3].

라돈의 딸핵종은 인체 내 폐 침전과 확산, 폐 기도벽 충들의 요인에 기인된다. 이와 같이 폐 내에 침전된 라돈과 딸핵종은 방사능 붕괴과정과 점액층의 소멸작용, 상피세포로의 확산, 혈액으로 용해 등의 생물학적 소멸 과정을 거친다. 붕괴과정을 거치며 계속해서 방출되는 분열 에너지는 폐세포의 DNA에 영향을 가함으로 세포의 변이나 변사를 초래하게 되고 장기적으로 폐암을 유발한다[3].

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 미국 환경보호청(EPA)이 1급 발암물질로 분류한 라돈에 의한 실내 공기질 오염 및 인체 건강 위해성을 저감 및 제거하고자 하며, 이에 대한 경화체를 제작하고자 한다. 기존 흡착 및 여과재로 사용된 활성탄소를 입도에 따라 분류한 뒤 흡착재로 사용하여 경화체를 제작하였다. 흡착재를 활용한 경화체를 대상으로 실내에서 사용된 건축자재 중 석고보드를 대체할 수 있는 기초연구 및 성능평가를 진행하였다.

1.3 활성탄소의 흡착 메커니즘

활성탄소는 비정질의 탄화수소와 다환방향족 분자의 적층 집합체로 이루어져 있다. 이러한 결정구조가 활성탄소의 세공의 발달을 돕는 구조일 뿐만 아니라 다양한 공극구조를 가지게 한다. 일반적으로 활성탄소의 공극은 Micro 세공과 Macro 세공으로 구분할 수 있으며 통상흡착과 흡착속도를 지배하고 있다[4].

활성탄소의 형태로는 분말, 파쇄, 입상 등 다양한 형태를 가지고 있다. 입도에 따른 활성탄소 표면은 인력과 흡착력에 의해 대기 중의 유기물질을 제거하며, 다양한 유기물질에 대한 제거가 가능하다[5].

Figure 1과 같이 일반적인 흡착과정은 비가역적인 화학 흡착과 가역적인 물리 흡착으로 구분되며, 활성탄소는 Van der waals의 힘에 의해 의한 물리 흡착 과정을 거친다. 활성

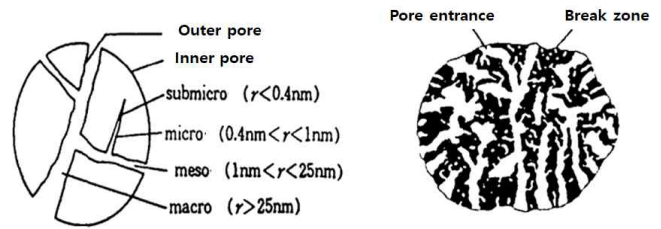


Figure 1. Solid sorbent surface and pore structure[4]

탄소의 흡착과정은 3단계로 구분되며 흡착질 분자의 외부 표면 이동단계, 흡착질이 활성탄소의 Macro pore(50 μ m 이상) 및 Meso pore(50~10(μ m))를 통과하는 확산단계, 확산된 흡착질이 Micro(10 μ m 이하) 내부 표면과 결합하여 채워지는 단계로 구분된다[5,6].

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 실험재료는 산화마그네슘과 입상활성탄소(입상형) 및 분말활성탄소(분말형)이고, 산화마그네슘의 경화를 위해 염화마그네슘을 30%로 첨가하였다. 사용재료의 물리·화학적 성질은 Table 1과 같다[7,8,9].

2.1.1 산화마그네슘(Mgo:Light-burned magnesia)

마그네시아가 주성분인 백색 혹은 연한 황색의 기경성 시멘트로, 1,000 $^{\circ}$ C 이하에서 소성하였을 경우 경소 마그네시아라고 한다. 사용된 산화마그네슘의 밀도는 3.42g/cm³이고, 분말도 3,539cm²/g의 중국산 제품이다. 산화마그네슘은 재료 특성상 흡착 성질을 가지고 있으므로 흡착 경화체의 결합재로 사용하였다.

2.1.2 염화마그네슘(MgCl₂)

염화마그네슘 육수화물은 무색 결정으로 밀도 1.59g/cm³이다. 흡습성이 강하고 물과 알코올에 용해되는 조해성을 띤다.

2.1.3 활성탄소(AC:Active carbon)

활성탄은 아자열매껍질(Coconut shell)계, 석탄(Coal)계의 원료로 제조되며 미세한 세공이 발달된 분자의 적층구조를 가지고 있으며 다양한 공극구조가 형성되어 큰 내부표면적을 가지는 흡착재이다. 활성탄은 1g당 1,100m²/g 이상의

비표면적을 가지며 내부 표면에 존재하는 탄소원소의 관능기가 액체나 기체 상태의 물질을 인력에 의해 미세공으로 끌어당긴다. 인력에 의한 부착 및 흡착은 물리적으로 미세공과 피흡착질 사이에 존재하게 된다[5]. Table 2는 입상활성탄소와 분말활성탄소의 물성을 비교한 것이다[5,9].

Table 1. Chemical composition of used materials(%)

	MgO	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgCl ₂	H ₂ O
MgO	88.25	1.71	5.61	0.30	0.10	-	-
MgCl ₂	-	-	-	-	-	47.20	51.20
AC	0.30	89.50	0.60	1.50	4.10	-	-

Table 2. Comparison according to particle size of activated carbon

Property	GAC (Granular active carbon)	PAC (Powdered active carbon)
Particle density	0.60~1.00	-
Filling density	0.35~0.60	0.15~0.60
Space rate	0.33~0.45	0.45~0.75
Pore volume	0.50~1.10	0.50~1.40
Specific surface	700~1,500	700~1,600

Table 3. Experimental factor and level

Experimental factor	Experimental level	Remark
Binder	MgO, AC(GAC/PAC)	2
Activator	MgCl ₂ 30%	1
W/B	GAC : 36 wt.(%) PAC : 41 wt.(%)	2
Replacement ratio of AC	0, 10, 20, 30, 40, 50 (%)	6
Curing condition	Constant temperature and humidity, (Humidity 80±5%, Temperature 20±2°C)	2
Assessment items	Table flow, Air content, Thermal conductivity Radon gas concentration	4

2.2 실험계획

본 실험은 실내환경의 라돈가스 농도 저감을 위한 기능성 경화체 제작을 위해 흡착성능을 가진 활성탄소를 활용하여 흡착 경화체 제작의 기초실험이다. 실험요인 및 수준은 Table 3에 나타낸 바와 같이 진행하였으며, 경화체의 라돈가스 농도 측정에 따른 평가 기준은 국립환경과학원(2010) ‘석고보드에서 방출되는 라돈 시험방법(안)’에 의거하여 실시하였다. 라돈가스 농도 측정 경화체는 160×160×40(mm)로 제작하였으

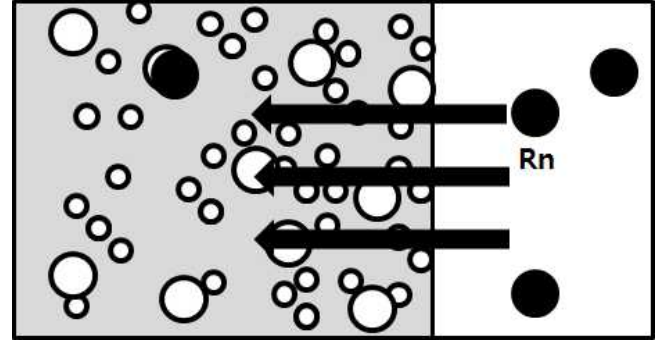


Figure 2. Expected mechanism of adsorption of radon gas

며 상대습도 80±5%, 온도 20±2°C의 조건으로 항온항습 양생을 실시하였다[10]. 유동성 시험방법은 KS L 5111에 의해 진행하였으며, 공기량 측정방법은 KS L 3136에 따라 측정하였다. 실험항목으로는 유동성, 공기량, 열전도율 및 라돈가스 농도를 측정하였다.

2.3 실험방법

국내·외의 규정 농도 측정 방법 중 실내 라돈가스 농도 측정에 대한 명확한 측정법이 존재하지 않는다. Figure 2는 라돈가스 농도 측정 방법의 원리를 나타낸 것으로 국립 한밭대학교에서 제안한 실내 라돈가스 농도 측정 방법에 기인하여 실험을 진행하였다. 이 실험방법은 밀폐된 SUS 재질의 챔버 내에 라돈 방출원과 라돈 측정기, 흡착재를 넣은 후 일정기간 동안 챔버 내의 라돈가스 농도를 측정한다. 라돈 측정은 장기측정과 단기측정으로 나뉘며 본 시험에서는 단기측정을 사용하였으며, 1일 3시간 간격으로 연속 모니터 측정법을 사용하여 측정값을 일평균으로 계산하였다. 또한 밀폐된 챔버 내의 라돈 방출원에서 방출되는 라돈가스는 팬의 바람에 의해 대류이동을 하게 된다. 대류이동은 라돈 원자를 라돈 방출원으로부터 흡착 경화체의 표면까지 이동할 수 있게 한다[11, 12, 13, 14].

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

Figure 3은 입상활성탄소의 치환율에 따른 페이스트의 테이블 플로우를 나타낸 것으로, KS L 5111에 의거하여 25회 타격 전(Before)과 후(After)를 그래프로 비교하였다. 입상활성탄소 혼입 페이스트는 치환율이 증가함에 따라 유동성이 저하하는 경향을 보인다. 활성탄소는 표면이 비극성

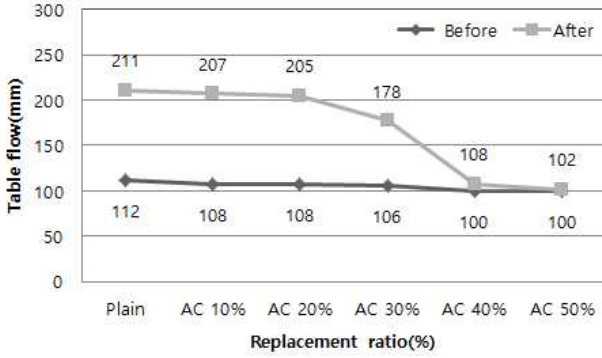


Figure 3. Table flow of granular activate carbon

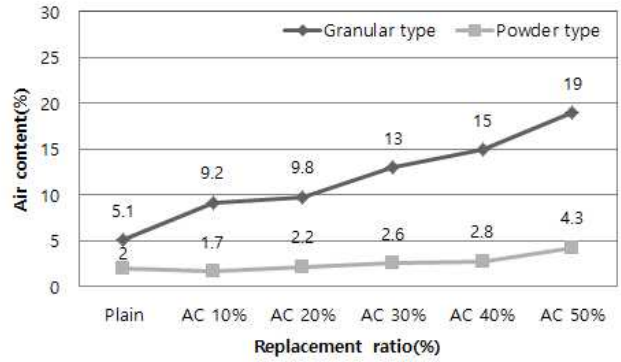


Figure 5. Air content of activate carbon

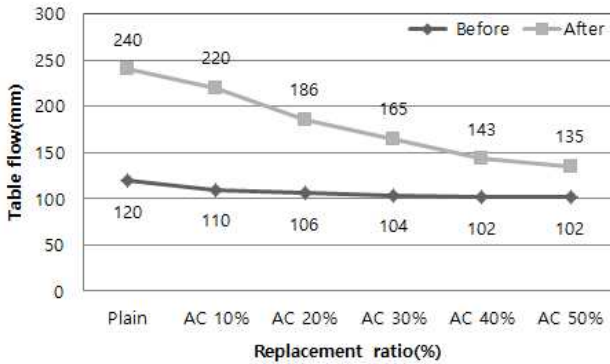


Figure 4. Table flow of powdered activate carbon

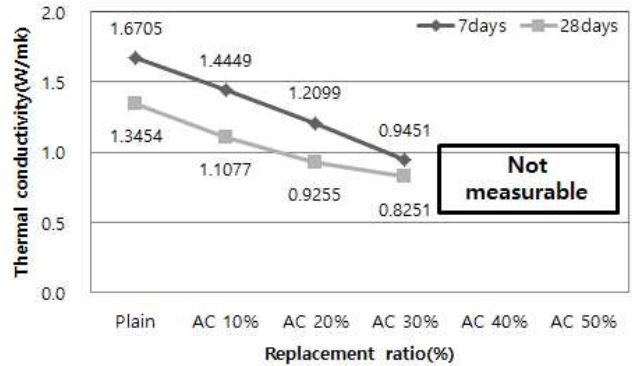


Figure 6. Thermal conductivity of granular activate carbon

물질로 배합과정에서 원심력에 의해 수분을 흡수하지만 경화과정에서 수분을 배출한다. 이에 따라 활성탄소의 치환율이 증가할 경우 수분을 흡수하여 유동성은 저하하는 경향을 확인할 수 있다.

Figure 4는 분말활성탄소 치환율에 따른 페이스트의 유동성상을 확인한 그래프로, 입상활성탄소와 같이 분말활성탄소의 치환율이 증가함에 따라 유동성을 저하하는 것을 확인할 수 있다.

3.2 공기량

Figure 5는 활성탄소를 활용한 산화마그네슘 경화체의 공기량 특성을 나타낸 것으로 치환율에 따라 공기량은 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 활성탄소는 배합과정에서 수분을 흡수하지만 활성탄소 입자의 공극이 가지는 자체 압력에 의해 수분을 배출하는 성질을 가진다. 이는 실험과정에서 다량의 수분을 흡수하여도 무수한 미세공에 의한 공극 압력이 유지되므로 활성탄소의 치환율이 증가함에 따라 페이스트 내 공기량은 증가하는 것을 확인할 수 있다.

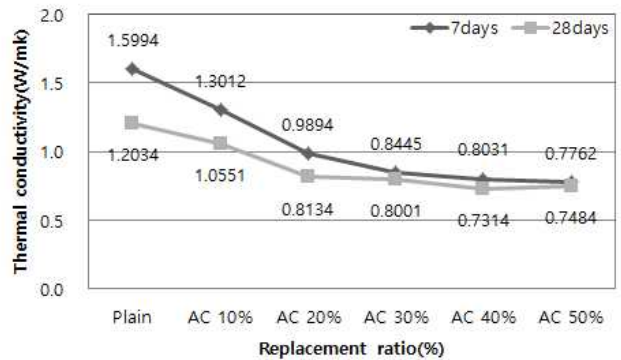


Figure 7. Thermal conductivity of powdered activate carbon

3.3 열전도율

Figure 6, Figure 7은 활성탄소를 흡착재로 활용한 산화마그네슘 경화체의 열전도율 특성을 나타낸 것으로 시험방법은 KS L 9016에 의거하여 시험을 진행하였다[15]. 활성탄소의 입도와 관계없이 치환율과 재령일에 따라 열전도율은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 활성탄소는 입자가 가지고 있는 공극이 공기층 역할을 하므로 경화체 내에 세분화된 공기층으로 나뉘게 된다. 각 공극은 하나의 공기층으로 볼

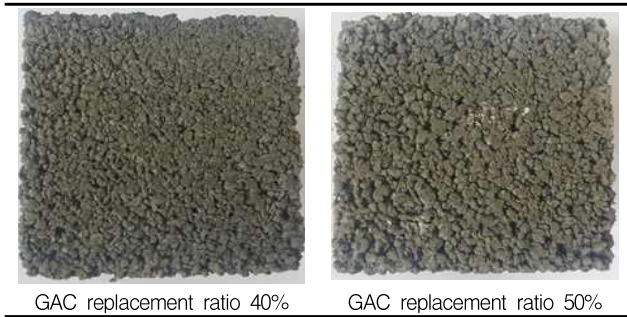


Figure 8. Surface shape of matrix

수 있으며 열이 대류를 통해 전달 혹은 전도되는 것을 방지할 수 있는 것으로 확인할 수 있다. 또한, 미세공의 입력에 의해 입자 내부는 미약한 진공상태가 되기 때문에 열전도율에 영향을 미치는 것으로 확인할 수 있다. 경화체 내의 열전도율이 감소함에 따라 경화체에 다수의 공극이 생성된 것으로 보이며, 발생한 공극은 라돈 흡착 성능에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 입상활성탄소의 경우, 활성탄소 치환율 40%와 50%는 Figure 8에서 보이는 표면 공극 및 요철은 열전도율 시험기기의 측정과정에서 열손실을 발생시켜 측정이 불가능하였다.

3.4 라돈가스 농도

활성탄소를 이용한 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 농도 측정에 대한 그래프를 나타낸 것으로 치환율에 따라 측정기간은 30일과 90일이다. 활성탄소의 치환율이 증가할수록 챔버 내의 라돈가스는 저감하는 경향을 보이고 있으며, 이는 활성탄소 자체가 라돈가스 흡착 및 저감 성능을 가지고 있는 것으로 확인된다[16].

3.4.1 입상활성탄소

Figure 9는 입상활성탄소 치환율에 따른 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 농도 그래프로 측정기간은 30일이다. 입상활성탄소 치환율이 증가할수록 챔버 내 라돈가스 농도는 저감되는 경향을 보이며, 라돈 방출원 측정값과 치환율 50% 경화체의 측정값은 약 1/3 정도의 라돈가스 농도 저감을 보인다. 이는 활성탄소 공극 내의 세공과 미세공에 의해 라돈 원자가 흡착 및 저감되는 것으로 사료된다.

Figure 10은 측정기간 90일 동안의 챔버 내 라돈가스 농도를 나타낸 그래프로 챔버 내 라돈가스 농도는 저감 혹은 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

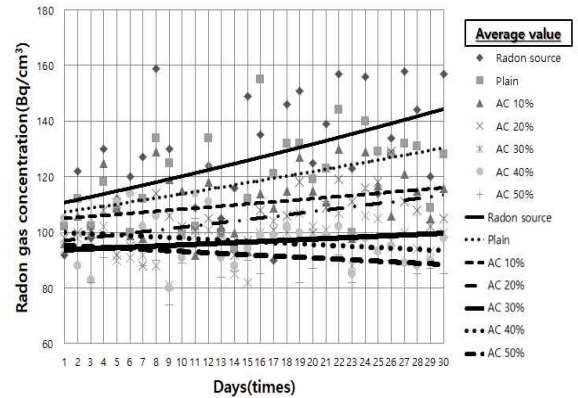


Figure 9. Radon gas concentration of GAC to 30days

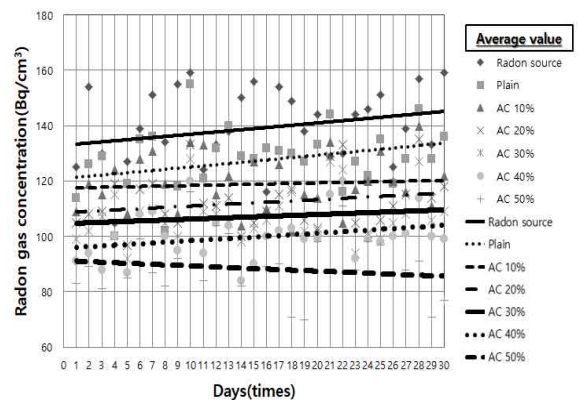


Figure 10. Radon gas concentration of GAC to 90days

Figure 10은 측정기간 90일 동안의 챔버 내 라돈가스 농도를 나타낸 그래프로 챔버 내 라돈가스 농도는 저감 혹은 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

3.4.2 분말활성탄소

Figure 11은 분말활성탄소 치환율에 따른 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 농도 그래프이다. 각 실험요인에 대한 그래프의 기울기를 확인하자면, 30일 동안의 측정기간 내에 라돈가스 농도는 입상활성탄소에 비해 급격한 저감을 보이고 있다. Plain은 챔버 내 평균 라돈가스 농도가 약 141.4 Bq/cm³, 입상활성탄소 치환율 50%는 평균 라돈가스 농도 약 87Bq/cm³을 나타냈다. 30일의 측정 기간 동안 챔버 내 라돈가스 농도는 약 20% 저감된 것으로 보인다. 이는 입상활성탄소에 비해 분말활성탄소의 높은 비표면적에 의한 것으로 판단되며 분말활성탄소 입자의 표면과 공극, 내부 미세공에 의해 흡착 및 저감하는 것으로 판단된다.

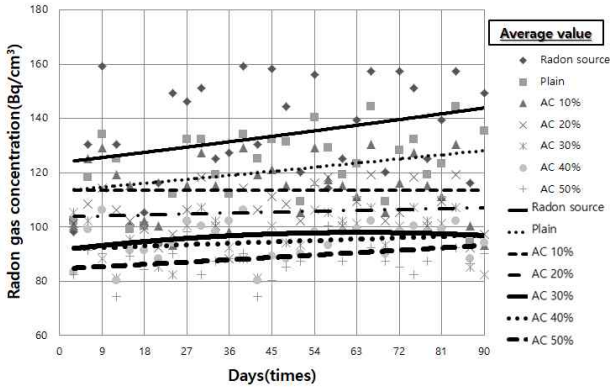


Figure 11. Radon gas concentration of PAC to 30days

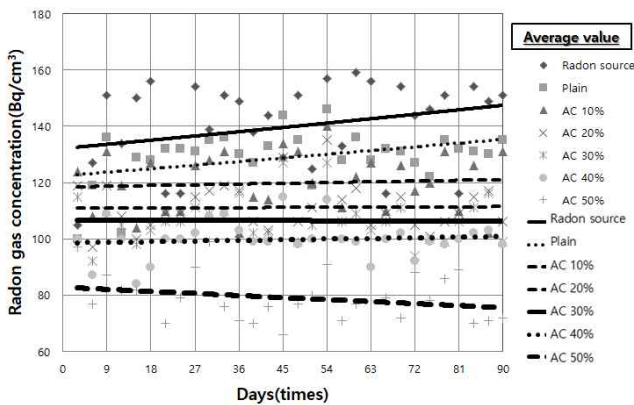


Figure 12. Radon gas concentration of PAC to 90days

Figure 12는 측정기간 90일 동안의 라돈가스 농도 그래프로 분말활성탄소를 활용한 경화체의 흡착 및 저감 성능을 그래프의 기울기로 확인할 수 있다. Figure 11에 비해 그래프의 변화는 명확한 라돈가스 농도 저감을 보이며 이는 분말활성탄소의 높은 흡착력을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 도출된 결과로 활성탄소의 입도에 따른 경화체의 성능평가를 확인하였다. 활성탄소의 치환율이 증가할수록 경화체 내의 기공 및 공극률이 높아지며 이에 따라 흡착성능은 증가할 것으로 보인다.

- 1) 입상활성탄소의 치환율이 높아질수록 유동성은 감소하는 경향을 보였으며, 공기량은 증가하는 경향을 보였다.
- 2) 열전도율은 치환율에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 입상활성탄소의 경우 치환율이 높을수록 표면

에 생기는 요철과 공극으로 인해 측정이 불가능하였다. 또한 재령에 따른 열전도율 감소는 공극 내부에 잔존하는 미반응 수분 등이 배출되어 열전도율은 감소한 것으로 판단된다.

- 3) 라돈가스 농도 측정의 경우 측정기간 30일의 경우, 입상활성탄소에 비해 분말활성탄소를 활용한 경화체의 라돈가스 농도 저감이 명확하게 나타났다. 측정기간 90일의 경우 역시 분말활성탄소를 활용한 신화마그네슘 경화체의 라돈가스 저감 성능이 뛰어난 것으로 확인할 수 있다.

요 약

라돈가스는 암석이나 토양 등에 존재하는 자연 방사성 물질인 우라늄이 붕괴할 때 발생하는 무색, 무취, 무미의 가스이다. 인체가 연간 노출되는 방사선의 85%는 자연 방사선에 의한 것이고, 그 중 50%가 라돈가스이다. 미국 환경보호청(EPA)의 조사결과에 의하면, 라돈가스에 장시간 노출될 경우 흡연자는 1,000명 중 62명, 비흡연자는 1,000명 중 7명이 폐암 발병률에 노출된다. 이러한 라돈가스의 위해성을 저감하고자 활성탄소를 사용하여 경화체를 제작하여 그에 대한 공극 특성과 라돈가스 저감 특성에 대한 실험을 진행하였다. 활성탄소를 활용하였을 경우, 측정기간이 길어질수록 라돈가스 농도는 급격한 저감과 그래프 상의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 활성탄소의 재료적 특성 중 하나인 공극 분포와 미세공 특성을 파악할 수 있다.

키워드 : 실내공기질, 라돈, 건축자재, 활성탄소, 공극, 라돈 저감

Acknowledgement

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

References

1. Kang JS, Pyeon SJ, Lee SS. Density and water adsorption properties of magnesium matrix utilizing powdered active carbon

-
- according to W/B, Proceeding of Korea concrete institute; 2017 Nov 1-3; Andong Grand Hotel in Gyeongbuk, Korea, Seoul(Korea); Korea concrete institute; 2017, p. 653-4.
2. Choi YJ. A study on improvement of indoor air quality in homes, Seoul(Korea); The seoul institute(Korea); 2012, Report No. :PR-59, ISBN 978-89-8052-942-1
 3. Park KB. Radon mitigation of building materials using radon reducing paint [Dissertation], [Asan (Korea)]: Hoseo university; 2014, 135 p.
 4. Kyoung IS. Improvement evaluation of indoor air quality on eco-friendly mortar using natural adsorbent [master`s thesis], [Daejeon (Korea)]: Hanbat national university; 2017, 58 p.
 5. Heupchak gwahak gonghagwa Heupchakje [Adsorption science for engineering and adsorbents], Seoul(Korea): Naeha, 2012, Korea.
 6. Active carbon[Internet]. Korea: The Association; c2009-2018, Helsa tech, Avaliable from:www.helsatech.co.kr/tt/site/db/board/n3/upload/1_10000/43/activecarbon.pdf
 7. Pyeon SJ, Gwon OH, Kim WJ, Lee DH, Lee SS. Strength properties of light-burned magnesia matrix mixing anthracite, Preceeding of Architectural institute of korea; 2017 Apr 26-29; Haevichi Jeju, Korea, Seoul (Korea); Korea concrete institute; 2017, p. 961-2.
 8. Pyeon SJ, Gwon OH, Kyoung IS, Lee DH, Lee SS. Heat insulation properties of lightweight magnesia matrix according to mixing ratio of anthracite, Preceeding of Korea institute of building construction; 2017 May 17-19; The-K Gyeongju Hotel, Korea, Seoul(Korea); Korea institute of building construction; 2017, p. 113-4.
 9. Heo JH. Experimental Study on Practical Method of Activated Carbon As a building Covering Material [master`s thesis], [Busan (Korea)]: Dong-eui university; 2003,8, 73 p.
 10. Siheom bunseok upmue annae [Guidance of test analysis], Seoul(Korea) : KCL ; Korea Conformity Laboratories, 2016,10, Korea.
 11. Kang SJ, Kim KJ, Choi DY, Lee MS, Chung MC, Ahn HG, Preparation of Well-being Typed Sheet Using Powdered Activated Carbon and Its Adsorption Characteristics, Journal of the Korean Society for Environmental Technology, 2009 Jun;10(2):77-84.
 12. Gwon OH, LIm HY, Lee SS. Experiments on radon gas emissions of natural mineral and plaster, Proceeding of Architectural Institute of Korea; 2016 Oct 4-6; BEXCO Busan, Korea, Seoul(Korea): Architectural Institute of Korea; 2016, p.1566-7.
 13. Gwon OH, LIm HY, Lee SS. Properties of radon gas absorption of matrix according to types of absorbent, Korea Institute of Building Construction, 2017 Feb;17(1):15-21.
 14. Lim HY, Kim HT, Gwon OH, Lee SS. Properties adsorption according to test condition of radon adsorption-type matrix, Proceeding of Korea Institute of Building Construction; 2016 Oct 21-22; Hanseo University, Korea, Seoul(Korea): Korea Institute of Building Construction; 2016, p.109-10.
 15. Gwon OH, Pyeon SJ, Lim HY, Lee SS. Thermal conductivity properties of magnesium oxide matrix according to types of radon adsorption materials, Proceeding of Korea concrete institute; 2017 May 10-12; Phoenix Jeju, Korea, Seoul(Korea): Korea concrete institute; 2017, p.611-2.
 16. Cho YM, Effect of black charcoal and activated carbon on reduction of indoor radon from building materials [master`s thesis], [Daejeon (Korea)]: Chungnam national university; 2006, 60 p.