

안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 보드의 실내 공기질 중 라돈가스 농도 저감 평가

Evaluation of Decreasing Concentration of Radon Gas for Indoor Air Quality with Magnesium Oxide Board using Anthracite

편수정

임현웅

이상수*

Pyeon, Su-Jeong

Lim, Hyun-Ung

Lee, Sang-Soo*

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

Abstract

Radon gas, which is present on the earth, is a primary carcinogen released from rocks, soil, building materials, etc., and exists as a unique gas phase. In order to solve the risk of radon gas, we evaluated the basic performance which can be used as indoor finishing materials in addition to the radon gas reduction properties of the matrix using anthracite. An anthracite used as a conventional filter material was used to produce a matrix, and a test was conducted to replace the gypsum board, which is one of the building materials used in the existing room. As the anthracite replacement ratio increases, flexural failure load strength increases and thermal conductivity tends to decrease. Depending on the thickness of the board, the reduction performance of radon gas shows a slight difference.

Keywords : indoor air quality, building materials, radon gas, anthracite, board

1. 서론

1.1 연구의 배경

라돈은 인체 총 방사선 피폭량 내의 최대 피폭원으로 여겨지고 있으며, 방사성 붕괴과정에서 1.0Bq 당 34,620MeV의 잠재 알파에너지를 방출한다. 가정이나 실내 공간의 공기질 중 존재하는 라돈으로 인한 피폭은 일반적으로 사람들에게 인식되지 않는 실정이며, 라돈가스의 농도가 평균 수준 이상임에 불구하고 주의 대상으로 보지 않는다. 실내공간의 라돈 피폭상황은 의도적으로 도입된 것이 아니며, 실내 공간의 라돈 피폭은 실내 거주자가 책임지고 있다. 실내 거주자가 거주하는 공간의 라돈 피폭은 흡연 다음으로 높은 폐암 발생

원인으로 조사되었으며, 피부암의 종류인 악성 흑색종 발병에도 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이러한 라돈가스는 지구상 토양이나 암반 내에 천연적으로 존재하는 우라늄과 토륨에 의해서 발생되며, 건물의 미세한 균열이나 노출된 지표에 의해 건물 안으로 유입된다. 대부분의 실내공간에서 검출되는 라돈가스는 토양이나 건축물 내로 유입된 것이며, 건축자재와 지하수 사용 또한 원인이 되고 있다[1,2,3,4,5,6].

지구상 노출되어 있는 라돈가스는 방사성 가스 중 유일한 기체상을 유지하고 있으며, 이동성이 크고 공기에 비해 큰 분자량을 가지고 있다. 라돈가스의 고유한 화학적 특성으로 인해 환기가 어려운 구조물과 계절적 차이에 따라 환기율이 달라지는 실내공간에서 고농도로 검출되고 있다. 이러한 라돈가스에 장기간 노출될 경우 호흡을 통해 인체 내로 유입되며 질병발생 위해성이 높은 자연 방사성 물질로 주목받고 있는 실정이다[1,2,3,4,5,6].

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 1급 발암물질로 분류되는 라돈가스에 의한

Received : November 30, 2017

Revision received : December 29, 2017

Accepted : January 16, 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.

실내 공기질 오염 및 위해성의 문제점을 저감 및 흡착할 수 있는 보드를 제작하기 위한 기초연구로 진행되었다. 기존 여과재로 사용된 안트라사이트를 라돈가스 흡착재로 사용하여 산화마그네슘 경화체를 제작하였으며, 기존 실내에서 사용된 건축자재 중 라돈을 방출하는 석고보드를 대체할 수 있는 성능평가를 진행하였다.

1.3 라돈가스 흡착 메커니즘

라돈(Rn-222)기체는 천연 우라늄(U-238) 붕괴 계열에서 생성되어 토양 내 공극에 의한 확산, 지표면과 대기의 온도 및 압력에 따른 대류이동을 통해 지상으로 방출되는 과정을 거친다. 위와 같은 라돈원자의 기체적 거동은 실내 공간 내에서도 유지되며 공기 중의 미세입자와 흡착과정을 거치게 된다. 라돈 자핵종들은 물리적 위치 변화과정 동안 실내 공간의 벽면 혹은 바닥에 부착되거나 침적된다. 이러한 라돈가스를 흡착 및 제거하기 위해 물리적 흡착 개념을 이용하여 Figure 1과 Figure 2의 메커니즘을 확인할 수 있다.

Figure 1의 경우 라돈원자는 대류의 변화 및 이동 혹은 의도적인 목적에 의해 실내공간을 떠돌게 되며 경화체 표면에 점차 충돌하기 시작한다[7,8].

A의 경우, 입경이 작은 기체 입자는 상대적으로 작은 관성력에 의하여 대류의 유선 및 이동 방향에 따라 경화체에 충돌 및 부착과정을 거친다. B는 A에 비해 입경이 크고 질량이 무거운 입자가 대류의 유선 및 이동에 관계없이 기체 자체만의 관성에 의해 입자가 경화체의 표면에 부착되는 과정이다. 마지막으로 C는 입경 0.1 μm이하인 입자가 브라운 운동을 통해 경화체의 표면까지 이동하여 확산 및 포집과정을 거치게 된다[9,10,11].

Figure 2는 Figure 1의 과정을 거친 라돈 원자가 확산과 이동을 통해 흡착재의 공극으로 이동하게 되며, 세공과 미세공 내로 점차 이동하게 되는 것을 확인할 수 있다. 세공에서 미세공으로 이동하는 라돈원자는 자체적으로 움직이지 않고 단순히 공극의 압력에 의해 분산 이동을 하게 되며, 미세공 내로 유입된 라돈 원자는 그 속에 흡착하게 된다[9,10,11].

또한, 안트라사이트의 흡착이 가능한 표면적은 안트라사이트 입자 외부의 표면적과 더불어 내부 표면적도 포함되므로 실제적으로 공극의 표면적이 입자의 표면적보다 크다. 이러한 흡착 특성을 가진 안트라사이트의 흡착은 공극 표면에서 주로 진행되며, 내부 공극으로 라돈원자가 이동하게 된다[9,10,11].

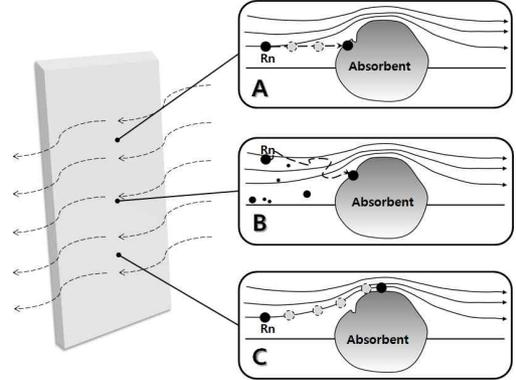


Figure 1. Radon gas adsorption mechanism on the surface

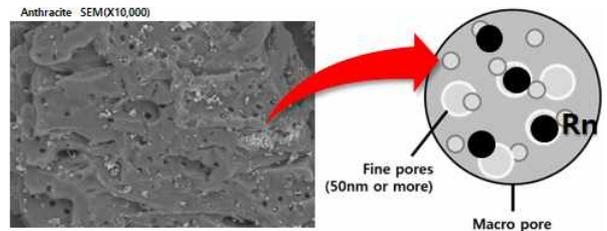


Figure 2. Micropores of anthracite

2. 실험 개요

2.1 실험계획

본 실험의 요인 및 수준은 Table 1에 나타낸 바와 같이 진행하였다. 경화체의 기초 성능 평가기준을 KS F 3504(석고 보드 제품 중 방화 석고 보드)에 의거하여 300×400(mm)의 몰드를 두께 12.5mm, 15.0mm, 25.0mm로 제작하여 양생을 실시한 후 28일 재령에 따라 휨파괴 하중을 측정하였다. 또한 흡착재를 활용한 경화체의 라돈가스 저감 측정 실험을 위해 재령 3, 7, 28일의 시험체를 자체 라돈가스 농도 시험 방법으로 진행하였다.

Table 1. Experimental factor and level

| Experimental factor | Experimental level | Remark |
|--------------------------|---|--------|
| Binder | MgO, ATC | 2 |
| Activator | MgCl ₂ | 1 |
| W/B | 40 | 1 |
| Replacement ratio of ATC | 0, 10, 20, 30, 40, 50 (%) | 6 |
| Curing condition | Constant temperature and humidity, (Humidity 80±5%, Temperature 20±2°C) | 2 |
| Assessment items | Flexural failure load, Thermal conductivity, Radon gas concentration | 3 |

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 결합재는 산화마그네슘이며, 산화마그네슘의 경화를 돕기 위해 $MgCl_2$ 를 30% 첨가하였다. 사용재료의 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다[4,5].

2.2.1 산화마그네슘(MgO : Magnesium oxide)

마그네시아 시멘트라고도 하며, 보통 포틀랜드 시멘트보다 우수한 성능을 가지고 있다. 소성온도는 $800\sim 900(^{\circ}C)$ 로 소성된 경소 마그네시아를 사용하였으며, 밀도 $3.42g/cm^3$ 이고 분말도 $3,539cm^2/g$ 의 중국 제품을 사용하였다. 산화마그네슘은 재료 특성 중 하나로 이온 흡착 성질을 가지고 있으므로 경화체의 흡착을 증진시킬 수 있다.

2.2.2 염화마그네슘($MgCl_2$)

염화마그네슘은 화학식 $MgCl_2$ 로 일반적으로 육수화물 형태의 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 로 존재한다. 밀도는 $1.59g/cm^3$, 플레이트 형상을 사용하였다.

2.2.3 안트라사이트(ATC : Anthracite)

미국 펜실베이니아 주립대학의 상수도 관련 연구 중 개발된 것으로 무연탄을 입상형 혹은 분말형으로 파쇄하여 제조한 여과재의 일종이다. 밀도는 $0.73g/cm^3$, 분말도 200 mesh 이하, 염산 용해도 1.5% 이하인 것을 사용하였다[11].

본 연구에서 흡착재로 사용된 안트라사이트는 기존 급속 및 다층 여과 공정에서 여과사 대신 사용된 여과재로 입상형, 분말형이 있다. 여과 공정에서 일반 모래에 비해 비표면적과 기공율이 높아 여과속도와 처리량을 약 2배 이상 증가시킬 수 있다. 안트라사이트는 비중에 비해 유효경이 약 2배 이상으로 기존 여과 및 흡착재에 비해 우수한 흡착 및 탈취성능, 탁질 포집능력을 가지고 있다[9,10].

Table 2. 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 |
| ATC | 1.09 | 22.90 | 10.30 | 24.50 | 7.40 | - | - |

2.3 실험방법

Figure 3은 라돈가스 농도 측정 방법에 대한 과정을 나타낸 것으로, 국내·외에는 명확한 라돈가스 농도 측정법이 존재하지 않으므로 한밭대학교에서 제안한 실내 라돈가스

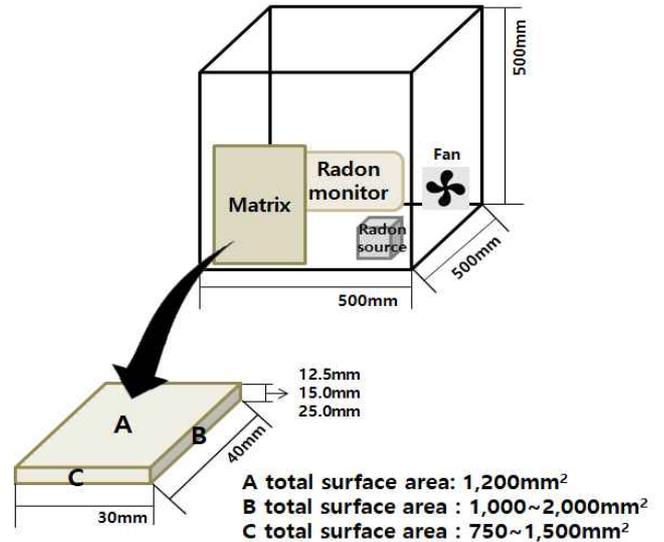


Figure 3. Measuring method of radon gas concentration

농도 측정 방법을 토대로 연속 모니터 측정 방법을 활용하였다. 밀폐된 챔버 내에 라돈 방출원, 흡착재를 활용한 경화체, 팬 및 라돈가스 측정기를 넣은 후 약 3일 간의 안정화 기간을 거친 뒤 측정을 시작한다. 챔버 내에서 라돈 원자가 팬의 바람에 의해 자가 대류 이동을 하며 내부 곳곳으로 이동해 최종적으로 경화체의 표면까지 이동하게 된다[12].

경화체의 표면에 흡착된 라돈 원자는 이후 흡착 및 저감 과정을 계속해서 진행하게 된다. 라돈가스 예상 흡착 경화체의 흡착 표면적은 $30 \times 40(mm)$ 로 설정하였으며, 라돈 방출원은 석고보드를 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 휨파괴 하중

Figure 4는 안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화체의 길이방향 휨파괴 하중을 나타낸 것으로 치환율에 따라 경화체의 두께별로 나타내었다. 12.5T의 경우, 안트라사이트 치환율 40%일 때 18.1MPa를 나타내었으며, Plain에 비해 약 16%의 휨파괴 하중 강도의 증진을 확인할 수 있었다. 15.0T의 경우, Plain 25.5MPa에서 안트라사이트 치환율 40%는 28.4MPa까지 휨파괴 하중 강도 증진을 볼 수 있었다. 25.0T는 안트라사이트 치환율 50%일 때 39.41 MPa로 Plain 대비 약 17%의 휨파괴 하중 변화를 기록했다.

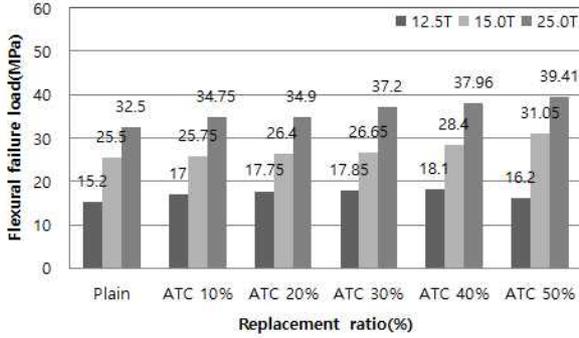


Figure 4. Flexural failure load of magnesium oxide matrix utilizing anthracite(Length)

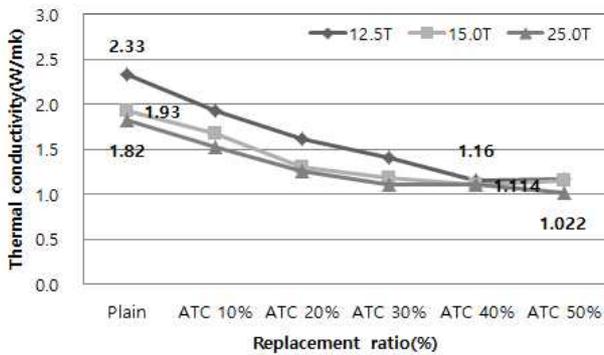


Figure 5. Thermal conductivity of magnesium oxide matrix utilizing anthracite(KS L 9016)

3.2 열전도율

Figure 5는 안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화체의 열전도율을 측정하는 것으로 치환율에 따라 경화체의 두께별로 구분하였다. 열전도율 측정은 KS L 9016(보온재의 열전도율 측정방법)에 의거하여 시험을 진행하였으며, 28일 재령 경화체를 측정하였다. 각 시험체는 치환율 40%에서 유사한 열전도율 측정값을 보이며, 이후 12.5T의 경우 치환율 50%에서 1.02W/mk로 낮은 값을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 안트라사이트 입자 공극이 가지고 있는 자체 압력으로 인해 입자 내 미반응 수분 등이 배출되어 차 실험체에 비해 얇은 두께의 경화체에 공극이 다수 발생하여 열전도율이 감소한 것으로 보인다.

3.3 라돈가스 농도

안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 농도를 측정하는 것으로 치환율에 따라 경화체의 두께별로 나타내었으며, 측정기간은 3, 7, 28(일)이다. 안트라사이트의

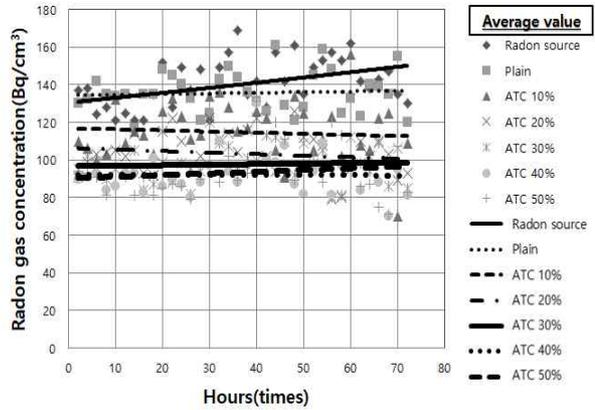


Figure 6. Radon gas concentration of 12.5T matrix to 3days

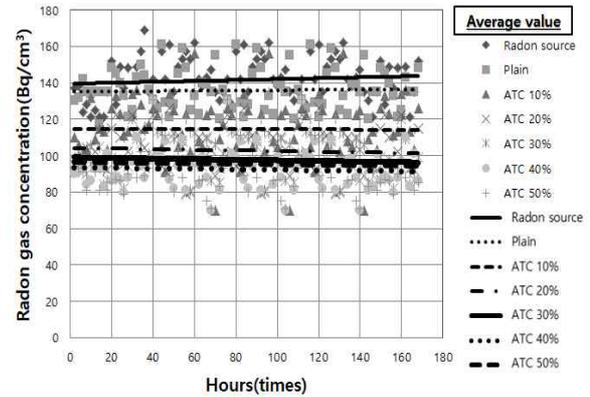


Figure 7. Radon gas concentration of 12.5T matrix to 7days

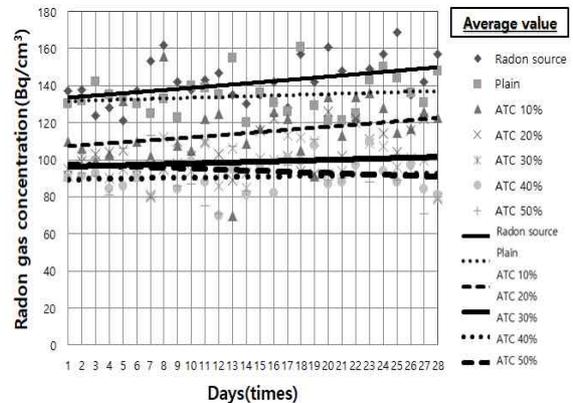


Figure 8. Radon gas concentration of 12.5T matrix to 28days

치환율이 증가할수록 챔버 내의 라돈가스 농도는 저감하는 경향을 볼 수 있으며, 이를 확인하기 위해 측정값에 대한 기울기를 나타내었다. 밀폐된 챔버 내에는 반감기(Rn 3.8 일)에 따라서 라돈 원자를 방출하는 라돈 방출원이 놓여있

고, 계속되는 방사성 원자 방출에 따라 라돈가스의 농도는 증가하게 된다. 하지만 안트라사이트의 치환율에 따라 라돈 가스 농도 기울기는 평행상태를 이루게 되고 이는 챔버 내의 라돈가스 농도가 일정하게 유지되는 것으로 판단되므로, 경화체 표면 혹은 내부로 흡착이 가능한 것으로 보인다. 또한 경화체의 재령이 증가할수록 챔버 내의 라돈가스는 고농도로 유지되지만 라돈 방출원에 비해 안트라사이트 치환 경화체의 라돈가스 농도 기울기가 음(-)의 값을 가지는 것을 확인할 수 있으므로, 이에 대한 경화체의 흡착 및 저감률을 확인할 수 있다.

3.3.1 경화체 두께 12.5T

Figure 6은 안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 측정결과이다. 안트라사이트 치환율 20% 경화체가 측정기간 3일 동안 낮은 기울기 그래프를 나타내었으며 안트라사이트 치환율 40% 경화체는 챔버 내 낮은 라돈가스 농도를 나타내었다.

Figure 7은 측정기간 7일의 라돈가스 농도를 나타낸 그래프이다. 안트라사이트 치환율 40% 경화체가 낮은 기울기 그래프와 라돈가스 농도를 보였으며, 28일의 측정기간 내에서는 안트라사이트 치환율 50% 경화체의 라돈가스 저감율이 증가한 것으로 확인할 수 있다.

Figure 8의 경우, 라돈가스 농도 측정기간은 28일로 안트라사이트 치환율 50% 경화체의 챔버 내 평균 라돈가스 농도가 다른 시험체에 비해 낮은 것을 확인할 수 있다.

3.3.2 경화체 두께 15.0T

Figure 9는 안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화체의 라돈가스 농도 측정결과이다. 안트라사이트 치환율 10% 경화체가 급격한 기울기 변화를 보이고 있고 안트라사이트 치환율 40% 경화체가 챔버 내 낮은 라돈가스 농도를 유지하고 있는 것으로 확인된다.

Figure 10은 측정기간 7일 동안의 라돈가스 농도 그래프로 안트라사이트 치환율이 증가함에 따라 챔버 내 라돈가스 농도는 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 하지만, 안트라사이트 치환율 40% 경화체의 경우 라돈가스 농도 기울기가 음(-)의 값을 보이며, 이는 챔버 내 라돈가스 농도에 변화가 생긴 것으로 판단된다.

Figure 11은 안트라사이트 경화체의 라돈가스 농도 측정 결과 그래프로 측정기간은 28일이다. 안트라사이트

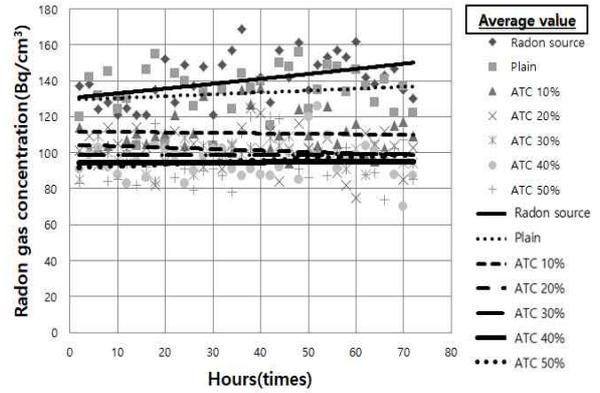


Figure 9. Radon gas concentration of 15.0T matrix to 3days

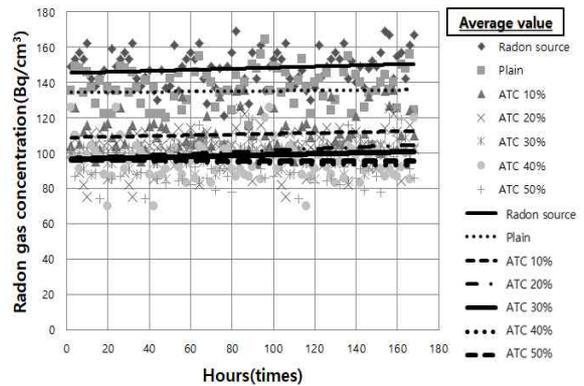


Figure 10. Radon gas concentration of 15.0T matrix to 7days

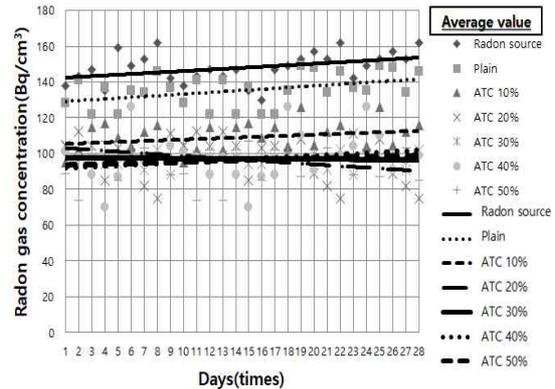


Figure 11. Radon gas concentration of 15.0T matrix to 28days

치환율 20% 경화체의 경우, 다른 경화체에 비해 기울기 절댓값이 높다. 챔버 내 일정 라돈가스 농도를 유지하는 경화체는 안트라사이트 치환율 30%경화체로 확인할 수 있다.

3.3.3 경화체 두께 25.0T

Figure 12는 안트라사이트를 활용한 산화마그네슘 경화

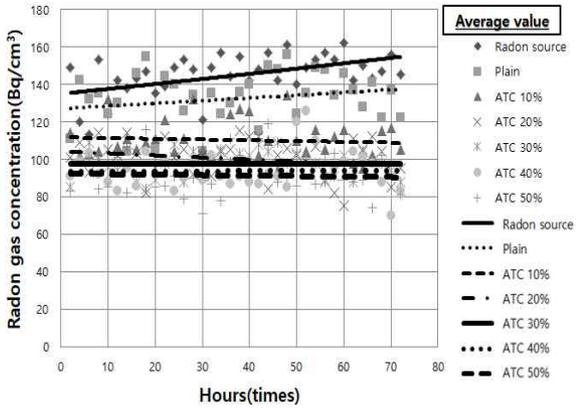


Figure 12. Radon gas concentration of 25.0T matrix to 3days

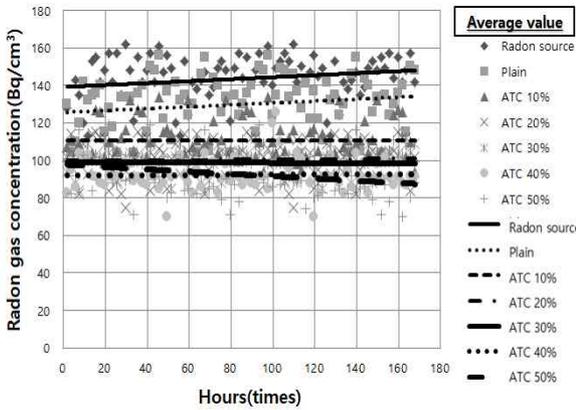


Figure 13. Radon gas concentration of 25.0T matrix to 7days

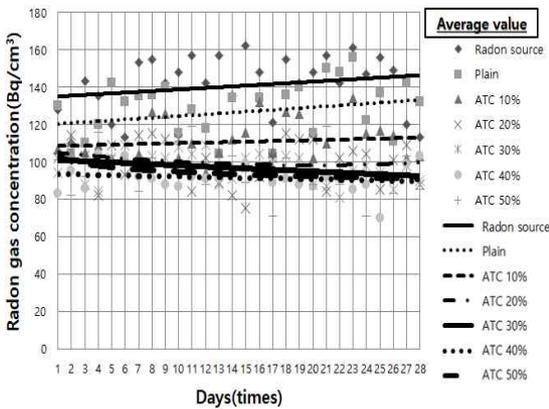


Figure 14. Radon gas concentration of 25.0T matrix to 28days

체의 라돈가스 농도 측정 그래프로 측정기간은 3일이다. 안트라사이트를 혼입한 각 시험체에 대한 챔버 내 라돈가스

농도는 일정한 경향을 보이며, 이는 측정기간이 지남에 따라 라돈 원자의 경화체 표면 흡착여부를 확인할 수 있다.

Figure 13의 경우, 측정기간 7일 동안의 라돈가스 농도 그래프로 안트라사이트 치환율이 증가함에 따라 챔버 내 라돈가스 농도 기울기 변화는 미비하다. 이는 챔버 내에서 라돈가스가 일정량 반복해서 흡착 및 저감현상을 거치는 것으로 보인다.

Figure 14는 측정기간 28일의 라돈가스 농도를 나타낸 그래프로 안트라사이트 치환율에 따라 결과값을 나타내었다. 안트라사이트 치환율 50%의 경우, 다른 시험체에 비해 급격한 기울기 변화를 보인다. 라돈가스 농도 측정 1일의 101Bq/cm³에서 28일의 85Bq/cm³까지 약 15%의 라돈가스 농도 저감율을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 도출된 결과를 통해 안트라사이트를 활용한 경화체의 성능평가를 확인하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 안트라사이트의 치환율이 높아질수록 휘파괴 하중 강도는 증진되는 경향을 볼 수 있다. 공극이 많은 안트라사이트는 표면이 거치며, 공극을 막지 않는 수준에서 결합재와 안트라사이트의 경화가 진행된 것으로 보인다.
- 2) 열전도율은 안트라사이트 치환율에 따라 낮아지는 것을 확인할 수 있지만, 12.5T와 15.0T의 경우는 안트라사이트 치환율 40%에서 낮은 열전도율이 측정되었으며, 25.0T는 안트라사이트 치환율 50%에서 낮은 열전도율을 확인할 수 있었다.
- 3) 라돈가스 농도는 12.5T 시험체에서 안트라사이트 치환율 40% 경화체가 대체적으로 챔버 내 낮은 라돈가스 농도를 보이며, 15.0T 시험체는 안트라사이트 치환율 30% 경화체가 챔버 내 일정한 라돈가스 농도를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 25.0T 시험체 중 안트라사이트 치환율 40%가 챔버 내 일정한 라돈가스 농도를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

요 약

지구상에 존재하는 라돈가스는 바위, 토양, 건축자재 등

에서 방출되는 1급 발암물질로 유일한 기체상으로 존재하고 있다. 공기에 비해 무겁고 분자량이 커 하부에 가라앉아 있지만 이동성이 크다. 라돈가스는 특성상 실외에서 대기에 확산되지만 밀폐되고 환기가 어려운 실내공간의 농도는 수 천 배까지 증가할 수 있다. 이러한 라돈가스의 위해성을 해결하기 위해 안트라사이트를 활용한 경화체의 라돈가스 저감 특성과 더불어 실내 마감재로 사용할 수 있는 기초 성능 평가를 진행하였다. 기존 여과재로 사용된 안트라사이트를 사용하여 경화체를 제작하였으며, 기존 실내에서 사용된 건축자재 중 라돈을 방출하는 석고보드를 대체할 수 있는 시험을 진행하였다. 결합재로는 경소 마그네시아를 사용하였고, 경소마그네시아의 경화를 위해 염화마그네슘을 사용하였다. 흡착재로 사용된 안트라사이트의 치환율은 0, 10, 20, 30, 40, 50 (%)로 총 6수준으로 진행하였으며, W/B는 40%로 고정하였다. 시험항목은 휘파괴 하중, 열전도율, 라돈가스 농도를 진행하였으며, 양생조건은 항온항습 양생(습도 $80 \pm 5\%$, 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$)으로 진행하였다.

키워드 : 실내공기질, 건축자재, 라돈가스, 안트라사이트, 보드

Acknowledgement

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

References

- Ju YJ, The measurement of radon-222 concentration for release gas into the atmosphere from the building material [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Chosun university; 2012, 67 p.
- Indoor radon reduction guidelines [Internet]. Korea: The Association; c1980-2018, Ministry of Environment, Available from: https://www.keco.or.kr/cmm/fms/FileDown.do?fileid=FILE_000000001000013&fileSn=0
- Indoor airborne radon measurement instructions [Internet]. Korea: The Association; c1980-2018, Ministry of Environment, Available from: <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/096/012/5622317.pdf>. 2000, 5.No.202
- 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.
- 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.
- Pyeon SJ, Kim WJ, Lee SS, Density and water adsorption properties of matrix mixing with powdered active carbon according to binder type. Preceeding of Korea institute of building construction; 2017 Nov 9-10; Korea Maritime University, Busan, Korea, Seoul(Korea); Korea institute of building construction; 2017, p. 111-2.
- Jang M, A study on the evaluation of the concentration of indoor radon due to building materials [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Seoul university; 2003, 47 p.
- Jung JH, Time and spatial distribution characteristics between 222-Radon and its daughters Concentrations and Correlations Analysis [master`s thesis]. [Seoul (Korea)]: Seoul national university of technology; 2009, 78 p.
- Park BY, A study on cadmium adsorption using natural filtering matters, A Publication of the Korean institute of environmental and hygienic science hayang Korea, 1992 Dec;01(2):85-95.
- Lim JS, Heupchak gwahak gonghakgwa heupchakje, [Adsorption science for engineering and adsorbents]. Seoul(Korea): Naeha; 2012, 633 p. Korea.
- Bae SD, Son HJ, Jung CW, Removal characteristics of chloral hydrate by activated carbons and biofiltration, Korean society of environmental engineers, 2008 Feb;30(2)218-24.
- Gwon OH, Lim HY, Lee SS, Experiments on radon gas emissions of natural mineral and plaster. Preceeding of Architectural Institute of Korea, 2016 Oct 4-6; BEXCO Busan, Korea, Seoul(Korea): Architectural Institute of Korea; 2016, p. 1566-7.