라돈 저감제를 이용한 건축자재의 라돈 방출 저감 연구

박경북 · 이상혁[†]

호서대학교벤처전문대학원 융합공학과

A Study on Radon Emission Reduction of Construction Materials using Radon Reducing Paint

Kyung-Buk Park and Sang-Houck Lee[†]

Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University

ABSTRACT

Objectives: A radon emission reducing agent was prepared using charcoal and zeolite, and the amount was measured after coating construction materials with the agent. The availability of the radon emission reducing agent was evaluated.

Methods: Construction materials (red brick, cement brick, and gypsum board) coated with reducing agent were placed in a chamber to measure radon emissions. The construction materials were coated one through three times. The spread volume for brick and gypsum board was 50 mL and 75 mL per application, respectively. The amount of radon emitted was measured by RAD-7 after 48 hours.

Results: The reduction ratio increased with the number of coatings, and the reduction ratios for red brick, cement brick, and gypsum board were 63.3, 73.6, and 58%, respectively, in the case of three coatings of RA-1. The reduction ratios for red brick, cement brick, and gypsum board were 42.8, 58.1, and 26.2%, respectively in the case of three coatings with RA-2. RA-1 was slightly better than RA-2 in radon emission reduction.

Conclusions: Radon emissions from construction materials decreased according to the concentration of reducing agent coating, and it was more effective than existing methods.

Keywords: Construction material, Charcoal, Radon, Reducing agent, Zeolite

I. 서 론

최근 각종 건축자재로부터 발생하는 유해물질들은 인체에 매우 유해하지만¹⁾ 거주자의 건강에 심각한 영향을 주고 있다는 것을 대부분 인식하지 못하고 있다. 특히 신축건물에서 여러 가지 유해물질에 의해 두통, 현기증, 메스꺼움, 눈의 자극 등 재실자의 건강을 위협하는 현상이 많이 일어나는데, 이는 환기량이 부족한 상태에서 실내공기오염물질이 지속적으로 순환되면서 나타나는 현상이다.²⁾ 현재 환경

부는 실내라돈 관리를 위해 권고기준을 마련해 운영하고 있는데, 아직 국제적으로 라돈측정 건축자재에 대한 법적 규제기준을 갖춘 나라는 없는 실정이다. 그러나 환경부는 2014년 9월 새집증후군을 유발시키는 건축자재와 폐암유발 물질인 라돈을 체계적으로 관리할 수 있는 실내공기질관리법 정부안을 확정하면서 합리적 제도 기반을 개편하였다.³⁾ 최근 실내공기질 관리항목의 하나인 라돈에 대한 위험성이 실내에 주로 활동하는 현대인들에게 증가되고 있어 라돈의 적절한 관리가 요구되고 있다. 이러한 라

[†]Corresponding author: Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University, Seoul, 1463-10, Korea, Tel : +82-2-2059-2321, Fax : +82-2-2059-2329, E-mail : kna1238@hanmail.net

Received: 16 October 2014, Revised: 25 November 2014, Accepted: 3 December 2014

돈은 외부에서는 농도가 매우 낮으나 실내공간에서는 축적에 의해 높은 농도로 증가되며, 라돈이 실내 공간에 축적되더라도 무색, 무미, 무취한 불활성 기체로 사람의 감각으로 느낄 수 없어 문제점이 심각하다.⁴⁾ 또한 라돈 가스는 인체 건강에 지대한 영향을 미치며 미국 환경청(EPA)은 흡연 다음으로 폐암을 유발시키는 두 번째 발암물질로 규정하고 있고,⁵⁾ 세계 각국에서는 라돈이 인간 건강에 미치는 영향에 대해 다각적으로 연구를 활발히 진행하고 있다.⁶⁾ 실내 라돈의 발생원은 토양이나 건축자재(석고보드, 콘크리트 자재 등)에서 나오는 물질로 라돈 농도가 많은 건축자재나 토양으로부터 오래된 건축물의 갈라진 틈으로 실내에 유입되며,⁷⁾ 대부분이 호흡을 통해 폐에 흡입된다. 라돈은 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종(Radon daughter)을 생성하는데 이 낭핵종이 폐에 흡입되면 α 방사선을 방출하는데, 그런 알파 입자들은 인체의 세포를 죽이거나 염색체를 손상시켜 폐암 등 건강상의 많은 문제점을 유발한다.⁸⁾ 따라서 선진국은 라돈에 의한 국민들의 연간 피폭선량을 평가하고, 라돈으로부터 국민건강을 보호하기 위해 다각도의 노력을 하고 있다. 모든 건축자재는 라듐뿐만 아니라 소량의 방사성 물질을 함유한다. 암석과 토양에는 우라늄, 토륨의 붕괴 생성물과 칼륨의 방사성 동위원소를 포함한 천연방사성핵종을 함유한다. 이러한 암석과 토양을 이용한 건축자재를 사용할 경우 방사선 피폭에서 자유로울 수 없다. 이와 같은 라돈의 물리·화학적 특성 및 건강상의 영향을 고려하여 실내공기 중 라돈의 저감 및 관리의 필요성이 증대되었다.⁹⁾ 미국국립과학원(National Academy of Sciences : NAS 1981)의 통계에 따르면 현대인이 하루 중 80% 이상을 실내에서 보내고 있으며 어린이 노약자의 경우에는 더 많은 시간을 실내에서 보내고 있다고 한다.¹⁰⁻¹²⁾ 따라서 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 친환경적인 건축재료 개발봄으로 목재, 석재, 숯, 황토 등 천연재료들이 건축물에 활용되고 있다.¹³⁾

이에 본 연구에서는 숯과 제올라이트가 함유된 바이오세라믹 라돈 저감제를 제조하고, 보편적으로 사용되는 건축자재(적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드)에 이를 도포하여 라돈측정 저감정도를 평가하여 건축자재에서 발생하는 라돈의 측정량 저감 가능성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

저감제의 라돈측정 저감특성을 평가하기 위하여 일반 주거용 건물에 주로 쓰이는 건축자재인 적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드를 실험에 사용하였다. 적벽돌의 경우 4~7%의 철분이 함유된 점토를 900~1,000°C의 온도의 산화소성 방식으로 제조한 벽돌로 경기도 화성시에 소재하는 J사에서 만든 제품으로 주로 주택의 외관 마감재로 사용되고 있다. 개당 평균 1,280 g의 질량을 가지고 있으며 압축강도는 210 kgf/cm² 이상이고 부피는 190×90×57 mm로 1 m² 시공 시 약 75장이 소요된다. 시멘트 벽돌은 강원도 원주시에 소재하는 D사에서 만든 제품으로 모래, 자갈, 시멘트를 이용하여 압축성형 후 제조한 건축자재로써 1,834 g의 평균질량과 압축강도 82 kgf/cm² 이상을 가지고 있으며 190×90×57 mm 크기로 1 m² 시공 시 약 75장이 소요된다. 석고보드는 이수석고를 소성하여 결정수의 일부를 탈수시킨 소석고를 주원료로 하여 표면을 원지로 피폭 성형한 판재로 건축물의 불연 내장재로 사용되고 있다. 1개의 판은 1800×900×9 mm의 크기와 9,450 g의 질량을 갖고 있으며 1 m² 시공 시 약 0.6장이 소요된다. 실험용기의 최대 공간이 50 cm 이므로 각각의 크기를 400×400×9 mm로 절단하여 실험에 사용하였다.

2. 라돈 저감제의 제조

2종류의 라돈 저감제를 제조하여 건축자재(적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드)에 도포하여 라돈 저감 성능테스트를 실시하였다. 숯과 제올라이트가 도포된 바이오세라믹 라돈 저감제의 조성은 Table 1과 같다.

바이오세라믹 라돈 저감제는 RA1의 경우 참숯을 이용한 라돈 저감제로서 100 kg을 제조하였다. 라돈 저감제를 제조하기 위해 참숯 분말(350±50 mesh) 40 kg에 건축자재에 표면공극 차단과 접착력을 강화하기 위해 첨가제(Jade, Al₂SO₃, 귀양석, CaO, Fe₂O₃, Ge)를 각 5 kg씩 혼합이 잘 될 수 있도록 교반기에 넣고 20 rpm으로 30분 교반 후 물 30 kg을 넣고 0~30°C에서 120분 교반하여 제조하였다. 제올라이트를 이용한 라돈 저감제 RA2의 경우 100 kg 제조시 교반기에 제올라이트(400±50 mesh)에 40 kg과 첨가제(Jade, Al₂SO₃, 귀양석, CaO, Fe₂O₃, Ge) 각 5 kg을

Table 1. Composition of reducing agent with bio-ceramic using charcoal and zeolite

Material	RA1	RA2
charcoal powder (350±50 mesh)	40%	-
zeolite powder (400±50 mesh)	-	40%
additives	Jade	5%
	Al ₂ O ₃	5%
	Kiyosek	5%
	CaO	5%
	Fe ₂ O ₃	5%
	Ge	5%
water	30%	30%
total	100%	100%

넣고 참숯과 동일한 방법으로 제조하였다.

3. 실험 방법

저감제 도포 후 건축자재에서 측정되는 라돈의 농도를 측정하기 위하여 5 mm 두께의 아크릴을 이용하여 500×500×500 mm의 크기로 Fig. 1과 같이 챔버를 제작하였다. 건축자재와 챔버 바닥의 접촉면적을 줄이기 위해 삼각형 모양의 아크릴 막대 위에 건축자재를 거치하였으며, 라돈 측정실험 중 외부 영향을 최소화하고 미세하게 새어 나올 수 있는 라돈의 측정을 방지하기 위해 알루미늄 테이프를 이용하여 이음새 부분을 봉쇄하였다.

실내공기질 공정시험기준 제10항¹⁴⁾ 실내공기 중 라돈 연속측정방법(ES 02901.1의 1.2.2)의 시험기준에 의하면 실내공기 중 라돈농도 측정은 단기측정으로 2일 이상 90일 이하의 측정시간을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 라돈 연속측정방법에 의해 건축자재를 각각 챔버에 넣고 48시간 후의 라돈농도를 측정하였다. 라돈측정 저감제의 성능평가를 위해 건축자재(적벽돌 40장, 시멘트벽돌 40장, 석고보드 24장)를 선택하여 실험하였다. 각 회 측정시에는 적벽돌 5장, 시멘트벽돌 5장, 석고보드 3장을 이용하였다. 각 시료에 라돈 저감제를 도포하지 않은 경우는 48시간 동안의 측정된 평균 농도를 적용하였다. 저감제 도포후의 1, 2, 3회 라돈농도 측정 실험 경우는 도포 후 실험 시료가 건조 될 수 있도록 72시간 동안 통풍이 있는 그늘진 곳에 충분히 말린 후 챔버에 넣어 실험을 실시하였다. 각 건축자재에 도포

Fig. 1. Radon emission experimental design. **Fig. 2.** Radon reducing agent coated Construction materials.

량은 실험에 사용한 자재의 부피 비율에 따라 적벽돌과 시멘트벽돌은 각 시료 1장에 50 mL, 석고보드는 75 mL로 브러시를 이용하여 도포하였으며 도포 횟수는 총 3회로 하였다. Fig. 2는 저감제가 도포된 건축자재의 사진이다.

라돈측정에 사용된 장치는 연속적으로 라돈농도를 측정할 수 있는 DURRIDGE사의 RAD-7 (MODEL-1368)을 사용하였다. RAD-7은 실리콘 검출방식으로 용기 벽과 실리콘 검출기 사이에 걸려진 2,200 V에 이르는 높은 전위차를 이용하여 용기 내부로 유입된 라돈의 붕괴로 생성된 α입자를 실리콘 검출기 표면에서 포집하는 원리로 외부 공기가 튜브를 통해 유입된 후 Lab Drying Unit을 통해 건조되며 건조

된 공기는 Inlet Filter를 통해 유입된다. 들어온 공기는 RAD 7을 거쳐 Outlet을 통해 나가게 된다. 정확한 라돈농도를 측정하기 위하여 챔버 내부의 온도는 25°C, 습도는 45%를 항상 유지시켰으며, 측정 시 습도 유지를 위해 데시칸트를 230°C 이상의 Dry Oven에서 2시간 이상 건조시켜 사용하였다.

III. 결 과

1. RA-1이 도포된 건축자재의 라돈 방출량 저감효과

라돈저감제가 도포된 시료의 라돈 저감 효과를 파악하기 위하여 건축자재가 충전되지 않은 빈공간의 챔버 내의 라돈 농도를 측정하였다. 그 결과 48시간 이후 2.4 Bq/m³의 라돈 농도가 챔버내에서 측정되었다. 이 결과는 공기중이나 챔버에 잔존하는 라돈에 의한 것으로 판단된다. Figs. 3, 4, 5는 라돈 저감제 RA-1을 건축자재인 적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드에 각각 1, 2, 3회 도포했을 때의 저감 효과를 보여준다. 라돈 저감제를 도포하지 않은 적벽돌의 경우 Fig. 3에서와 같이 12시간, 24시간, 36시간, 48시간이 경과하면 라돈농도가 각각 42.2, 39.6, 50, 81.4 Bq/m³으로 나타났다. 따라서 48시간 경과 후에도 라돈측정 농도는 148 Bq/m³(4 pCi/L)로 환경부의 실내공기질 라돈기준치를 초과하지는 않았다. 또한 Fig. 3은 적벽돌 표면에 라돈 저감제를 1, 2, 3회 도포 후 라돈저감 실험을 실시한 결과를 보여준다. 라돈 저감제를 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 측정농도는 각각 34.2, 30, 31.9, 48.4, 51.3 Bq/m³ 나타났다. 2회 도포 후 라돈 측정농도는 각각 21.4, 22, 31.9, 37.9 Bq/m³ 나타났다. 3회 도포 후 측정농도는 각각 18.6, 21.5, 28.9, 29.8 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 경우에 대비하여 48시간 경과 후의 라돈 농도가 최대 63.3% 저감됨을 알 수 있었다.

시멘트 벽돌의 경우 Fig. 4에서 보는 바와 같이 라돈 저감제를 도포하지 않았을 경우 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 경과 후 측정농도는 각각 60.7, 112, 185, 166 Bq/m³로 나타났으며 48시간 이후의 측정농도는 적벽돌 보다 라돈 농도가 2배 이상 높게 나타났다. 환경부의 실내공기질 라돈 기준치(148 Bq/m³)를 초과하는 것으로 나타났다. 시멘트 벽돌도 적벽돌과 마찬가지로 라돈 저감제를 1, 2, 3회 도포하여

Fig. 3. Radon removal efficiency of red brick after RA-1 coating.

Fig. 4. Radon removal efficiency of cement brick after RA-1 coating.

Fig. 5. Radon removal efficiency of gypsum board after RA-1 coating.

라돈저감 실험을 실시하였다. 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 측정농도는 각각 60.7, 88.4, 110.3, 99.6 Bq/m³ 나타났다. 2회 도포 후에는 라돈 측정농도는 각각 60.7, 54.3, 68, 62 Bq/m³ 나타났으며 3회 도포 후 라돈 측정농도는 각각 26, 45, 43.5, 43.7 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 경우에 대비하여 48시간 경과 후의 라돈 농도가 73.6% 저감됨을 알 수 있었다.

석고보드의 경우는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 라돈 저감제를 도포하지 않았을 때 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 측정농도는 각각 50.9, 61.4, 83.3, 96.4 Bq/m³ 로 나타났으며 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 라돈측정농도는 각각 30.3, 32.4, 49.7, 66.4 Bq/m³ 나타났다. 2회 도포 후 라돈측정농도는 각각 28.4, 26.8, 38.4, 56.3 Bq/m³ 나타났으며 3회 도포 후에는 측정농도가 각각 23.4, 22.9, 30.6, 40.4 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 경우에 대비하여 48시간 경과 후의 라돈 농도가 58% 저감됨을 알 수 있었다. 상기와 같이 Figs. 3, 4, 5 모두 라돈 저감제의 도포 횟수가 증가함에 따라 라돈 방출량은 감소함을 알 수 있었다.

2. RA-2가 도포된 건축자재의 라돈 방출량 저감효과

RA-2가 도포된 건축자재의 라돈 측정량 저감 효과를 파악하기 위하여 RA-1 실험에 사용한 같은 종류의 건축자재(적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드)를 라돈 저감제를 도포 후 챔버에 넣고 실험을 실시하였다. Fig. 6에서와 같이 적벽돌의 경우 RA-2 라돈 저감제를 도포하지 않았을 때 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 경과 후 라돈 농도를 측정한 결과 각각 42.1, 40.6, 51, 80.7 Bq/m³으로 나타남을 알 수 있었다. 그러나 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 경과 후 챔버내의 라돈 농도는 각각 33, 31.1, 44.7, 61.1 Bq/m³ 나타났으며, 2회 라돈 저감제를 도포 후 각각 26.5, 25.7, 30, 51.8 Bq/m³ 나타났다. 계속해서 3회 라돈 저감제 도포 후에는 각각 20.9, 18.7, 23.5, 46.1 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 경우에 대비하여 48시간 경과 후의 라돈 농도가 42.8% 저감됨을 알 수 있었다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 시멘트 벽돌의 경우 라돈 저감제를 도포하지 않았을 때 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 라돈측정농도는 각각 63.2, 114,

Fig. 6. Radon removal efficiency of red brick after RA-2 coating.

Fig. 7. Radon removal efficiency of cement brick after RA-2 coating.

Fig. 8. Radon removal efficiency of gypsum board after RA-2 coating.

Fig. 9. Photos of surface of construction materials coated with radon reducing agent.

179, 166.7 Bq/m³ 로 나타났다. 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 이후 측정농도는 각각 65.9, 97.3, 112.1, 124.4 Bq/m³ 나타났다. 2회 도포 후 측정농도는 각각 45.7, 62.2, 74.8, 91.4 Bq/m³ 나타났으며 3회 도포 후 측정농도는 각각 29.7, 44.5, 60.4, 69.7 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 경우의 라돈 측정농도와 대비하여 48시간 경과 후 라돈 측정농도가 58.1% 저감됨을 알 수 있었다.

석고보드의 경우 Fig. 8에서 보는 바와 같이 라돈 저감제를 도포하지 않았을 때 12시간, 4시간, 36시간, 48시간 이후 측정농도는 각각 51.9, 60.5, 84.1, 95.9 Bq/m³ 로 나타났다. 1회 도포 후 12시간, 24시간, 36시간, 48시간 경과 후 라돈농도는 각각 44.1, 56.1, 70.9, 84.3 Bq/m³ 나타났고, 2회 도포 후에는 각각 38.4, 54.4, 66.1, 79.6 Bq/m³ 나타났다. 3회 도포 후 측정농도는 각각 26.7, 40.7, 56.6, 70.7 Bq/m³ 나타나 저감제를 도포하지 않은 라돈 측정농도와 대비하여 48시간 경과 후의 라돈 농도가 26.2% 저감됨을 알 수 있었다. 상기와 같이 3가지 건축자재 모두 라돈 저감제의 도포 횟수가 증가함에 따라 라돈 측정량은 감소하였지만 3회 도포 후 라돈 측정량 저감정도는 적벽돌의 경우 42.8%, 시멘트벽돌 58.1%, 석고보드 26.2%로 나타나 RA-1 보다는 라돈 측정량 저감정도가 다소 낮음을 확인 하였다.

IV. 고 찰

현재 선진국에서 사용하고 있는 라돈농도 저감방법에는 건물과 발생원 사이에 차단막을 차단하거나 실외 공기를 흡인하여 희석하는 저감방법과 라돈의 유입경로인 건물의 바닥이나 균열부분, 벽과 바닥의 교차 부분, 이음새, 배수관이나 오수관 등을 실링 처리하여 차단하는 방법과¹⁵⁾ 지하실 쪽으로 공기를 불어넣어 라돈 유입을 방해하는 방법이 있으며 비교적 낮은 라돈농도에 대한 숲의 흡착, 환기, 공기 청정기를 이용하여 처리하는 방법 등이 주로 사용되고 있다.¹⁶⁾ 선진국에서는 이미 기술적으로 개발이 완료된 공기처리(air treatment) 방법이 있으나 시스템 유지관리나 필터 교체 시기나 처리된 공기속의 미부착 라돈 붕괴 산물의 증가로 인해 오히려 폐에 영향을 줄 수 있다고 알려져 있다.¹⁷⁾ 그러나 이들 방법으로는 근본적인 차단이 힘들고 라돈가스 측정 차단 효과 역시 30~50%를 넘지 않고 있다.

실내오염을 줄이기 위한 방법으로 우리 주위에서 전통적으로 많이 사용하고 있는 숲은 향균, 악취제거, 제습 등의 기능을 가지고 있어서 최근 문제가 되고 있는 새집증후군과 환경성질환 예방 및 치유에도 사용되고 있다.¹⁸⁾ 본 연구의 결과를 보면 숲이 첨가된 바이오세라믹 라돈 저감제 RA-1의 경우 시멘트벽돌, 적벽돌, 석고보드 순으로 저감 효과가 우수한 것으로 나타났다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 라돈 저감제가 도포됨에 따라 건축자재에 있는 표면 공극이 막히고 이로 인해 라돈이 측정되는 표면적이 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 시멘트벽돌의 경우 라돈 농도가 가장 많은데 이 또한 시멘트벽돌의 표면 공극률이 적벽돌이나 석고보드에 비해 크기 때문인 것으로 판단되며, 저감제에 첨가된 숲 역시 많은 공극들을 가지고 있어 건축자재에서 측정된 라돈이 숲의 기공에 흡착되어 저감효과가 크게 나타난 것으로 사료된다. 이는 김 등의¹⁹⁾ 연구 결과와도 일치하는 경향을 나타내고 있다. 김 등은 숲을 첨가하여 콘크리트 벽돌을 제조하고 여기서 측정되는 라돈의 양을 측정하였는데 숲이 첨가되지 않은 콘크리트 벽돌에 비해 숲이 40% 첨가된 콘크리트 벽돌에서 라돈 농도가 70% 감소한다고 발표한 바 있고, 김 등은 실내 라돈 오염을 줄이기 위한 방법으로 방에 모든 창문을 닫아 놓고 활성탄을 21 Kg 놓았을 때

활성탄이 없을 때에 비하여 14% 라돈 오염량을 줄일 수 있었고 활성탄량을 42 Kg 놓았을 때 31% 라돈 오염을 감소시킨다고 발표 한 바 있다.²⁰⁾ 제올라이트가 첨가된 바이오세라믹 라돈 저감제 RA-2의 경우 RA-1과 마찬가지로 시멘트벽돌, 적벽돌, 석고보드 순으로 저감 효과가 우수한 것으로 나타났다. RA-1과 마찬가지로 저감제가 도포됨으로써 건축자재의 기공이 막혀 라돈이 측정될 수 있는 표면적이 감소하고 제올라이트가 측정되는 라돈을 흡착하기 때문인 것으로 사료된다. RA-1에 비해서는 다소 라돈 측정량 저감 정도가 낮음을 확인하였으며 이로써 제올라이트보다는 숯에 의한 라돈 저감정도가 다소 우수한 것으로 판단된다.

본 연구에서 처럼 라돈 저감제를 직접 건축자재에 도포함으로써 적벽돌이나 시멘트벽돌의 경우 50% 이상의 저감성능을 보여 기존의 방법에 비해서는 라돈저감에 있어 효과적인 것으로 나타났다. 이는 건축자재에 저감제를 도포함으로써 라돈 측정량만 감소시키는 것이 아니라 기타 실내 공기질에 영향을 줄 수 있는 유해가스도 흡착할 수 있어 실내 공기질을 개선할 수 있는 대안으로 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

숯과 제올라이트가 함유된 바이오세라믹 라돈 저감제를 제조하고, 건축자재(적벽돌, 시멘트벽돌, 석고보드)에 이를 도포하여 라돈측정 저감정도를 평가하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

숯이 함유된 라돈 저감제 RA-1을 도포하였을 경우 라돈 저감제의 도포 횟수가 증가함에 따라 라돈 측정량은 감소하였으며, 3회 도포시 라돈측정량 저감정도는 적벽돌의 경우 63.3%, 시멘트 벽돌 73.6%, 석고보드 58%로 나타났다. 또한 제올라이트가 함유된 라돈 저감제 RA-2를 도포하였을 경우 RA-1이 도포되었을 때와 마찬가지로 도포 횟수가 증가함에 따라 라돈 측정량은 감소하였으며, 라돈 측정량 저감정도는 적벽돌의 경우 42.8%, 시멘트 벽돌 58.1%, 석고보드 26.2%로 나타나 RA-1보다는 라돈 측정량 저감정도가 다소 낮음을 확인하였다.

라돈 저감제 비교에서는 RA-2가 RA-1에 비해서 라돈 측정량 저감 정도가 다소낮음을 확인하였으며

이로써 제올라이트보다는 숯에 의한 라돈 저감정도가 다소 우수한 것으로 판단된다. 라돈 저감제를 직접 건축자재에 도포함으로써 건축자재에서 측정되는 라돈 측정량을 감소할 수 있었으며 제올라이트를 이용한 RA-2 라돈 저감제 보다 숯을 이용한 RA-1이 라돈저감에 높다는 결론을 얻었으나 어느 정도의 숯의 첨가량이 라돈저감에 효과적인가 앞으로 더욱더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

1. Kim JH, Kim HJ, Yoon DW. Evaluation studies on the adsorption VOCs performance of the natural porous materials for the development of absorptive building material. *Journal of KIAEBS*. 2011; 5(3): 115-121.
2. Iimoto T, Tokonami S, Morishita Y, Kosako T. Application of activated charcoal radon collectors in high humidity environments. *J Environ Radioact*. 2005; 78(1): 69-76.
3. Ministry of Environment. Indoor Air Quality Act for Multi-use Facilities. Sejong: Ministry of Environment Press; 2014.
4. Lee KH. A Study Radon Removal Efficiency using nano-size carbon colloid [dissertation]. [WonJu]: Yonsei University; 2012.
5. US Environmental Protection Agency. A Cityzen's Guide to Radon. Washington: EPA Press; 1992.
6. Im IC. Radon concentration measurement at general house in Pusan area. *J Radiological Sci Technol*. 2004; 27(2): 29-33.
7. Yoon TH. The Interrelation between Radon and ETS in Indoor Environment [dissertation]. [WonJu]: Yonsei University; 2007.
8. Philip K. Radon and its decay Products, Acs Symposium Series. Washington DC: American Chemical Society Press; 1987. p.1987
9. Kim YS, Yoon SW, Lee JI, Shin HW, Lee JH, Lee CM, et al. Evaluation of correlation indoor radon concentration and the attribution of gypsum board content in building materials. *J Korean Soc Indoor Environ*. 2013; 10(3): 217-226.
10. Spengler JD, Docetery DW. Personal exposure to respirable particulates and sulfates. *J Air Pollut Control Assoc*. 1981; 31: 153-159.
11. Out WR. Modeles of Human Exposure to air Poo. Technical [dissertation]. [California]: Stanford University; 1982.
12. National Research Council. Indoor Pollutant,

- National Academy of Sciences. Washington DC: National Research Council Press; 1981.
13. Kim YM, Chung YG, Ryu HK. A study on the properties of concrete bricks and radon releases using charcoal. *Proceedings of Fall Conference on the Architectural Institute of Korea*. 2005; 1(1): 443-446.
 14. Ministry of Environment. Standard Method Indoor Air Quality. Gwacheon: Ministry of Environment Press; 2010.
 15. Choi IJ. Concentration Distribution and Characteristic of Radon for Public Facilities in Daegu Area [dissertation]. [Daegu]: Kyungpook National University; 2008.
 16. Yonsei University Environmental Health Center. How to Reduce the Radon. Available: [http://](http://www.radonkorea.com/common/info/info04.asp)
 - www.radonkorea.com/common/info/info04.asp [accessed 15 October 2014].
 17. Cha D. A Study on Construction Technique to Mitigate Indoor Radon Concentration(I). *J Kor Soc Environ Adm*. 2001; 7(2): 251-259.
 18. The Chosun Ilbo. Health Keeper. Seoul: The Chosun Ilbo Press; 2004.
 19. Kim YM, Choi HY, Chung YG, Ryu HK. A study on the properties and friendly environment efficiency charcoal concrete bricks. *J Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2006; 6(1): 123-130.
 20. Kim C, Choi J, Kang J. A study on the reduction of indoor radon contamination. *J Radiological Science and Technology*. 2006; 29(2): 53-56.