

## 건축재료로부터 방출되는 라돈방사능 감소를 위한 흑탄과 활성탄 효과

조 윤 민, 이 화 형<sup>†</sup>

충남대학교 환경소재공학과

### Effect of Black Charcoal and Activated Carbon for Reduction of Radon Radioactivity that Emitted from Building Materials

Cho, Yun Min, Hwa Hyung Lee<sup>†</sup>

Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**Abstract:** Recently, interest in indoor air quality is increasing. Especially, radon radioactivity among the indoor air is a well-known risk factor for lung cancer because of ionizing radiation in the form of  $\alpha$ -particles. This study was carried out to investigate effect of black charcoal and activated carbon for reduction of radon radiation that emitted from building materials. Black charcoal and activated carbon were used as a barrier which was against the infiltration of radon. The source of radon was gypsum board. Two types of charcoal barrier were powder- and board-type with 5 mm, 10 mm thickness respectively. The method for this determination is evaluated radon concentration in chamber. The measurements were performed with radon detector, SARAD3120. Results of this study are as following: Black charcoal and activated carbon confirmed the highly efficient barrier. Radon concentration was reduced from 72% to 85% as compared the control chamber. Radon reduction capability, however, was no difference as barrier's types. Results obtained in ventilation condition, radon concentration shows 5.93 pCi/L on average in the closed condition and shows 2.69 pCi/L in the opened condition.

**Keywords:** radon radioactivity, black charcoal, activated carbon, barrier, indoor air quality

## 1. 서 론

세계보건기구(WHO, 2002)는 해마다 240만 명이 공기오염으로 죽어가며 이중에서 150만 명은 실내공기오염으로 죽는다고 보고하였다. 이러한 통계는 하루 24시간 중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있는 현대인에게 건물 외부의 공기질도 중요하지만 실내공기질이 더욱 중요하다는 것을 나타낸다. 따라서 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보

는 삶의 질을 높이는 데 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 건축물 부분에서는 그 동안 에너지절약 설계 및 시공에 따른 건물 기밀화와 단열 강화에 따른 환기부족 등으로 실내 공기관리여건은 점점 더 악화되고 있다. 더욱이 최근 각종 건축자재로부터 발생하는 가스 및 유해물질들은 인체에 매우 유해하지만 거주자의 쾌적성과 건강에 심각한 영향을 주고 있다는 것을 대부분 인식하지 못하고 있다. 특히 신축건물에서 원인을 알지 못하는 건물병 증후군이 많이 발생하는데, 이는 상대적으로 환기량이 부족한 한정된 실내공간에서 각종 건축자재 등에서 발생하는 오염물질이 계속적으로 순환되면

2010년 10월 20일 접수; 2010년 11월 1일 수정; 2011년 1월 13일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 이 화 형 (hhlee@cnu.ac.kr)

서 그 농도가 증가될 때 나타나는 현상이다. 많은 사람들이 밀폐된 건물 내에서 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome) 현상은 재실자의 건강을 크게 위협하고, 생산성과 능률의 저하를 초래하고 있는 실정이다(Takeshi I. 외, 2005). 따라서 건축자재로부터 방출되는 오염물질의 특성과 실내공간에 미치는 영향을 조사·분석하고, 이에 대한 합리적인 대책마련이 시급히 요구된다.

특히 실내공기 속에 잠재적으로 존재하며 폐암을 발생시키는 라돈 및 라돈 딸핵종(이하 라돈방사능으로 표시)에 대한 대비는 시급하다고 할 수 있다. 미국의 우라늄 광부들에 대한 역학조사에서 광부들의 폐암 발생률 및 그 사망률이 통계적으로 일반인 보다 훨씬 높다는 연구 결과가 보고되고 있다(Porstendofer, 1984). 우라늄 광산에는 일반 주거환경보다 매우 높은 농도의 라돈 및 라돈 딸핵종이 존재하는데 이들을 장기간에 걸쳐 흡입한 결과 폐 내에 침적된 고농도의 라돈 및 라돈 딸핵종에 의한 방사선 피폭이 폐암 발생의 주요 인자의 하나가 되기 때문이다. 라돈방사능의 인체 내 피폭의 대부분은 반감기에 방출되는 알파입자( $\alpha$ -particles)에 의한 것으로 라돈(Rn222) 및 라돈 딸핵종(Po218 등)은 반감기가 각각 3.82일, 3분으로 알려져 있다(Fig. 1) (Porstendofer, 1984).

실내 건축물의 대부분이 라돈방사능을 방출하는 콘크리트나 석고보드를 많이 사용하고 있다. 미국 환경보호청(EPA)과 우리나라 환경부에서는 실내 라돈농도를 4pCi/L로 권고하고 있으며, EPA의 자료(관상 건축 재료의 데시게이터법에 의한 라돈방출량 실험)에 따르면, 석고보드 15~17 pCi/L, 석면슬레이트판 30~34 pCi/L, 목편시멘트판 8~10 pCi/L, 비산회 시멘트판 15~18 pCi/L로 보고한 바 있다(미국 EPA, 1986). 따라서 본 연구는 이처럼 실내건축물 자재로부터 권고치의 4배를 뛰어넘는 많은 양의 라돈방사능을 방출하고 있으므로 이들 재료로부터 인체를 보호하기 위하여 활성탄(Activated Charcoal) 및 흑탄(charcoal)을 그 차단 재료 이용하여 인체가 피해를 받는 라돈방사능의 반감기(3분~3.82일) 동안만 활성탄과 목탄이 라돈 가스를 잡아주어 고체로 변화하도록 함으로써 소

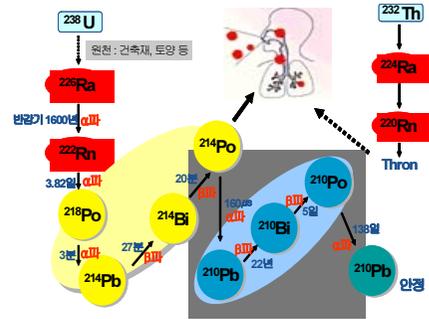


Fig. 1. Decay process of Radium-226 (Porstendofer, 1984).

형챔버법을 통한 라돈방사능의 흡착·제거 정도를 조사하여 인체에 유해한 라돈방사능을 희석시키고 제거할 수 있는 방법을 구명하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시 재료

#### 2.1.1. 라돈방사능 발생원

라돈방사능 발생원으로 K사의 9.5 mm 석고보드(gypsum board)를 사용하였다. EPA (미국환경보호청)에 자료에 따르면 석고보드의 라돈방출농도는 15~17 pCi/L이다(미국 EPA, A citizen's guide to radon, 1986). 실험에 사용한 석고보드양은 실제로 우리나라에서 건설되고 있는 주거시설인 아파트의 설계 자료를 토대로 하여 2 kg으로 결정하였다(장미 외, 2003).

#### 2.1.2. 라돈방사능 흡착 저감재

라돈방사능 흡착재료는 흑탄가루 및 활성탄 가루와 활성탄보드를 이용하였다. 활성탄은 야자각 원료로 만든 8~30 메쉬 사이즈로 건조감량 3.5%, 요오드흡착량은 1053 mg/g의 H 회사 제품을 사용하였으며 활성탄보드는 이화형 등(2004, 2005)의 제조방법을 사용하였다. 흑탄은 S사의 제품으로 고정탄소함유량이 62%, 무기질함량이 15.5%인 6~40메쉬 사이즈가 81%이고 나머지는 이보다 적은 사이즈의 흑탄가루로 만들어 사용하였다.

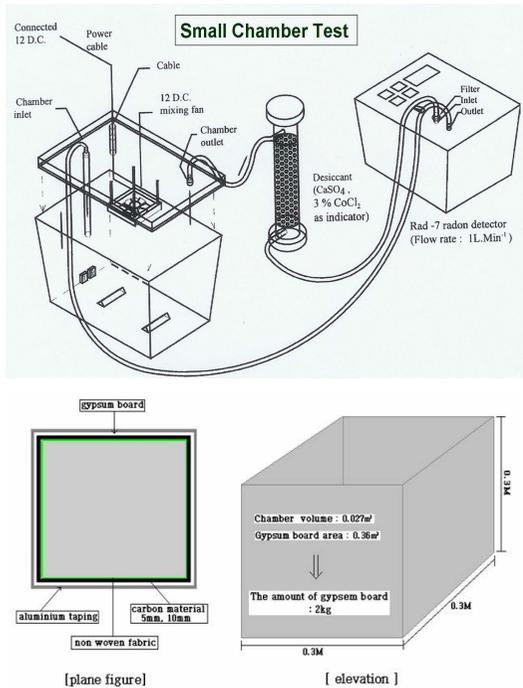


Fig. 2. Experimental set up and Design of Chamber as the application amount.

2.1.3. 부직포(Non Woven Fabrics)

흑탄가루 및 활성탄 가루를 챔버 내에 두께 5 mm, 10 mm로 장치하기 위해 공극율 39%의 부직포를 마감재로 사용하였다. 부직포는 알루미늄 tape으로 제작한 틀에 부착하여 사용하였다.

2.1.4. 라돈방사능 측정장치

사용한 연속 라돈 모니터는 SARAD 사의 라돈 측정기(SARAD EQF 3120)로서 이 장치에는 3개의 Si 반도체 검출기가 부착되어 라돈농도, 라돈 딸핵종 농도를 2시간 간격으로 측정할 수 있다(Fig. 2좌).

2.2. 실험 방법

2.2.1. 라돈방사능 측정 챔버 제작

가로, 세로, 높이를 각각 0.3 m × 0.3 m × 0.3 m (0.027 m³)의 챔버를 제작하였다(Fig. 2 우). 이 등(2000)은, 플라스틱 용기는 대기 중 라돈방사능의

Table 1. Treatment method of Radon adsorption material

	Powder size	Input amounts	
		Mesh	mm
Black charcoal powder	6~60	5	1.2
		10	2.4
Activated carbon powder	6~40	5	1.1
		10	2.2
Activated carbon board	6~40	5	1.5
		10	3.0

흡착에 의해 백그라운드가 증가할 뿐만 아니라 방사평형 과정에서 생성된 기체상의 라돈의 손실에 의하여 완전한 방사 평형에 도달하지 않는다고 보고하였다(이길용 외, 2000). 이에 따라 용기는 제작이 용이하게 플라스틱으로 6면을 제작한 뒤 모든 면에 알루미늄 tape로 완전 밀폐 처리하였다.

2.2.2. 흡착 저감재 처리

활성탄과 흑탄 처리는 Table 1에 따라 처리하였다. 가루 및 보드 모두 각각 두께 5 mm, 10 mm로 하여 흡착성을 측정하였고, 활성탄보드는 이 등이(2004) 보고한 방법에 따라 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 활성탄 충전상자 내의 라돈방사능농도

석고보드만 넣은 챔버와 활성탄을 완전히 둘러싼 챔버 내의 라돈방사능 농도를 측정한 결과, 100 시간 직후에 측정한 석고보드만의 챔버는 환경부 권고기준(4 pCi/L)보다 3배 이상의 농도인 14.40 pCi/L를 나타냈고 활성탄으로 완전히 둘러싼 챔버 내의 라돈농도는 0으로 측정되었으며 석고보드 처리량이 비교적 적었기 때문에 매우 낮게 측정되었으며 활성탄은 라돈방사능 감소효과가 확실한 것으로 나타났다. Table 2처럼 100시간에서 300시간으로 시간이 경과함에 따라 라돈농도는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 석고보드에서 지속적으로 라돈방사능이 방출되고 있는 것으로 판단된다.

**Table 2.** Radon concentration for 300 hrs

Elapsed Time	only Gypsumboard	Activated Carbon powder
hours	pCi/L	pCi/L
100	14.40	0.00
200	15.81	0.33
300	15.46	0.35

3.2. 환기조건에 따른 건물 내 라돈방사능 농도  
 환기조건에 따른 건물 내 라돈방사능의 농도를 Table 3에 나타내었다. 학과 내 실험실 2곳과 학과 사무실, 강의실의 라돈 및 라돈 딸핵종의 농도를 측정된 결과, 실험실1의 라돈 농도 범위는 평균 6 pCi/L (1~20 pCi/L)로 나타났다. 이것은 건축된 지 20년 지난 건물에서도 권고기준 이상의 라돈방사능이 방출되고 있음을 보여준다. 실험실의 경우 최대농도를 나타낸 곳은 실험실 1로 실험실 2의 라돈농도보다 약 2배 높은 값을 나타냈다. 이러한 차이는 닫혀진 상태의 실험실 1보다 후드 및 환기 공조시설이 지속적으로 가동하는 실험실 2의 공기 중 에어로졸 농도가 낮기 때문으로 판단된다.

강의실의 라돈방사능 농도가 학과사무실보다 높게 나타난 것도 에어로졸의 농도 차이 때문으로 판단된다. Knutson은 라돈방사능은 공기 중에서 불규칙한 운동을 하게 되는데 이 과정에서 그것들은 공기 중에 분포되어 있는 에어로졸 또는 미세입자들과 부딪치거나 부착하게 된다. 이러한 흡착이 임의의 시간 내에 일어날 확률은 에어로졸의 입자 개수에 비례하고 입자의 크기 분포에 크게 의존한다고 다음과 같은 식으로 정리하여 보고하였다(Kutson, 1988).

**Table 4.** Radon and radon daughters concentration according to treatment conditions

	Gypsum Board (2 kg)	BCP		ACP		ACB	
		5 mm	10 mm	5 mm	10 mm		
pCi/L							
Radon222	13.97	3.86	2.59	2.32	2.08	2.43	2.46
Po 218	0.30	0.19	0.18	0.11	0.14	0.12	0.11

\* BCP : black charcoal powder with gypsum board in chamber  
 \* ACP : activated carbon powder with gypsum board in chamber  
 \* ACB : activated carbon board with gypsum board in chamber

$$\lambda_a = \beta N$$

$\lambda_a$  : 라돈 딸핵종의 에어로졸 흡착률  
 $\beta$  : 평균 입자 크기  
 $N$  : 총 에어로졸의 수 농도

3.3. 처리조건에 따른 챔버 내 라돈 및 라돈 딸핵종 농도

라돈 챔버 내에서 약 2 kg의 석고보드만을 장치하고 측정한 값은 실험실내 측정치보다 약 20% 증가한 결과를 나타냈다. 흑탄과 활성탄을 처리한 결과 석고보드의 대조구의 13.97 pCi/L보다 72~85% 감소한 값들을 나타내어 뛰어난 라돈방사능 차단 효과를 나타냈다. 라돈의 농도는 화학적 방법으로 농도를 측정할 수 없는 매우 낮은 농도인데 0.17 picogram/m<sup>3</sup>이 1000 Bq/m<sup>3</sup>이다. 1 pCi/L이 37 Bq/m<sup>3</sup>이므로 권고기준 4 pCi/L는 148 Bq/m<sup>3</sup>, 즉 0.025 picogram/m<sup>3</sup>이다. 따라서 활성탄보드나 숯보드의 장기간 라돈흡착효과는 현재 별도로 진

**Table 3.** Radon and radon daughters concentration based on location and ventilation

Location	Ventilation condition	Elapsed time	Radon 222	Po 218	Pb 214	Bi 214
			Radon daughters			
			pCi/L			
Lab. 1	close	48 hrs	5.93 ± 0.96	0.32 ± 0.08	0.15 ± 0.09	0.03 ± 0.03
Lab. 2	open		2.69 ± 0.34	0.20 ± 0.08	0.09 ± 0.05	0.13 ± 0.06
Dept. office	open		2.66 ± 0.64	0.13 ± 0.16	0.16 ± 0.06	0.04 ± 0.02
Lecture Room	close		3.06 ± 0.85	0.28 ± 0.23	0.08 ± 0.08	0.02 ± 0.01

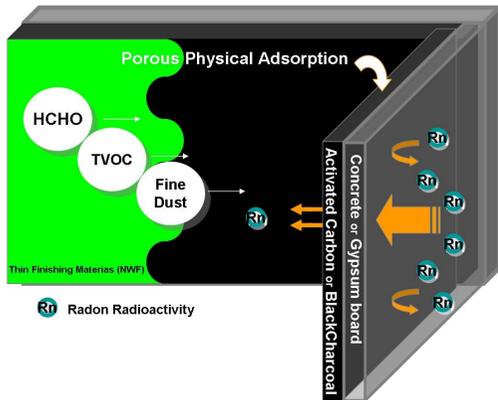


Fig. 3. Barrier mechanism to protect radon radioactivity.

행 중에 있으나 강 등(2010)의 보고에 의하면 15 ~17 ppm의 고농도로 가스를 처리한 조건에서도 6년간의 숯보드의 가스흡착율이 10 ppm을 유지하고 있으므로 라돈처럼 펨토에 가까운 양은 반영구적으로 흡착할 수 있을 것으로 추정된다. 활성탄가루가 흑탄가루보다 효과가 좋았으며, 활성탄보드보다 활성탄가루가 차단 효과가 더 좋았다. 단, 두께에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 활성탄가루를 5 mm 처리하는 방법이 경제적으로 기능적으로 가장 적절한 조건으로 판단된다.

#### 4. 결 론

건축재 및 토양에서 주로 발생하며 인체에 유해한 라돈 및 라돈 딸핵종(라돈방사능)을 희석시키고 제거할 수 있는 방법을 규명하기 위하여 활성탄(activated carbon), 흑탄(charcoal)을 이용하여 소형챔버법으로 라돈 및 라돈 딸핵종의 흡착·제거 정도를 조사해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

건축된 지 20년 지난 건물에서도 권고기준 이상의 라돈방사능이 방출되고 있었으며 이 방사능에 무방비, 무의식적으로 노출된 우리 몸을 보호하기 위한 재료로 흑탄과 활성탄을 차단재료로 사용할 때 석고보드 대조구의 방출량이 무려 72~85% 감

소되어 뛰어난 라돈방사능 감소효과를 보여 이들 제품이 기능성 라돈방사능 저감재료 사용해도 충분하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

이길용, 윤운열, 서범경. 2000. 라듐 및 라돈의 감마선 분광 분석을 위한 알루미늄 용기의 제작 및 특성 조사. *Analytical Science & Technology* 13(6): 743-750.

이화형, 조운민, 박한상. 2004. 습식열압공정에 의한 활성탄보드의 제조와 성능. *한국목재공학회, 추계학술발표논문집*, 311-316쪽.

이화형, 조운민, 박한상. 2005. 백탄파티클 크기와 최종 매트함수율에 따른 백탄보드의 제조와 성능. *목재공학* 33(3): 22-29.

장 미, 김용민, 이영옥, 강창순. 2003. 후방 확산 영향을 고려한 건축자재에 의한 실내 라돈 농도 평가. *한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집*.

EPA. 1986. A citizens guide to radon : what it is and what to do about it, EPA-86-004.

FAO. 2002. Estimated deaths & DALYs attributable to selected environmental risk factors, Department of Public Health & Environment.

Kang, S. G., I. S. Seo, and H. H. Lee. (2010). FPS 64th International Convention. June 20-22, 2010. Monona Terrace Community & Convention Center, Madison, Wisconsin, USA. Long-time Cyclic Gas Adsorption Properties of Charcoal board and Overlaid Charcoal board: 102, 35p.

Knutson, E. O. 1988. Modeling indoor concentration of radon's decay products. In *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. W. Nazaroff and A. Nero eds, 161-256.

Porstendofer, J. 1984. Behaviour of radon daughter products in indoor air. *Radiat. Prot. Dosim.* 7(1-4): 107-113.

Takeshi, I., S. Tokonami, Y. Morishita, and T. Kosako. 2005. Application of activated charcoal radon collectors in high humidity environments. *Journal of Environmental Radioactivity* 78: 69-76.