

A Study of Radon Reduction using Panel-type Activated Carbon

Il-Hong Choi,¹ Sang-Sik Kang,¹ Jae-Hoon Jun,² Seung-Woo Yang,² Ji-Koon Park^{1,*}

¹Institute of Radiation Fusion Technology, International University of Korea

²Department of Radiological Science, International University of Korea

Received: August 10, 2017. Revised: October 17, 2017. Accepted: October 31, 2017

ABSTRACT

Recently, building materials and air purification filters with eco-friendly charcoal are actively studying to reduce the concentration of radon gas in indoor air. In this study, radon reduction performance was assessed by designing and producing new panel-type activated carbon filter that can be handled more efficiently than conventional charcoal filters, which can reduce radon gas.

For the fabrication of our panel-type activated carbon filter, first the pressed molding product after mixing activated carbon powder and polyurethane. Then, through diamond cutting, the activated carbon filter of 2 mm, 4 mm and 6 mm thickness were fabricated. To investigate the physical characteristics of the fabricated activated carbon filter, a surface area and flexural strength measurement was performed. In addition, to evaluate the reduction performance of radon gas in indoor, the radon concentration of before and after the filter passes from a constant amount of air flow using three acrylic chambers was measured, respectively.

As a result, the surface area of the fabricated activated carbon was approximately 1,008 m²/g showing similar value to conventional products. Also, the flexural load was found to have three times higher value than the gypsum board with 435 N. Finally, the radon reduction efficiency from indoor gas improved as the thickness of the activated carbon increases, resulting in an excellent radon removal rate of more than 90 % in the 6 mm thick filter. From the experimental results, the panel-type activated carbon is considered to be available as an eco-friendly building material to reduce radon gas in an enclosed indoor environment.

Keywords: Radon, Panel type Activated Carbon, Indoor Air, Lung Cancer

I. INTRODUCTION

현대인들은 일상생활의 대부분을 실내에서 영위하고 있으며 에너지 절감을 위해 점차 실내 생활공간을 밀폐화 시키고 있다. 그로 인한 결과, 실내 공기 질을 저하시키는 오염원(미세먼지, 석면, HCHO, 톨루엔, 자일렌, 라돈 등)이 실내에 축적되고, 나아가 인체에 유해한 영향을 미치게 된다. 실제 세계보건기구는 해마다 240만 명이 공기오염으로 죽어가고, 그 중 150만 명은 실내공기오염으로 사망한다고 보고한 바 있다.^[1]

실내 공기 질을 저하시키는 오염원은 그 종류가 다양한데, 특히 라돈(²²²Rn)은 모든 실내공간에 존재하는

천연방사성 물질임과 동시에, 비활성기체이기 때문에 인간의 감각으로는 인지할 수 없으며 호흡을 통해 폐로 유입되어 지속적인 α붕괴를 하여 폐암을 유발한다. 국제 암 연구센터(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 라돈을 1급 발암물질로 규정하고 있고, 흡연 다음으로 폐암을 유발하는 주 원인으로 분류하고 있다.^[2] 그리고 미 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)의 보고에 따르면 매해 라돈에 의한 폐암으로 사망하는 사망자의 수가 21,000명에 이른다고 한다.^[3]

이처럼 인체에 유해한 영향을 미친다고 판단되는 실내공기중의 라돈을 저감 및 제거하기 위한 관련규정 및 규제가 국내에서도 강화되고 있지만 보편적인 실내

* Corresponding Author: Ji Koon Park

E-mail: radiopjk@iuk.ac.kr

Tel: +82-55-751-8301

공기 질 개선방법인 환기로는 근본적인 해결이 힘든 실정이다. 이에 최근에는 친환경 숲을 이용한 액상 페인트 및 입상 활성탄을 이용한 라돈 제거용 필터 등의 개발연구가 활발히 진행되고 있다.^[4] 하지만 기존 필터기술에 사용되고 있는 분말 활성탄과 입상 활성탄의 경우 분진에 의한 비산현상, 라돈 흡착능력 부족 등의 한계점이 여전히 존재하고 있는 실정이다.

또, 현재 국내의 경우, 실내공기 질 공정시험기준 (ES 02901. 1a)에 의거한 실내 공기 중 라돈 연속 측정방법은 고시하고 있다. 하지만 라돈 제거 및 흡착 필터의 라돈 제거율 측정에 관한 국내외 표준 시험 기준 및 방법이 존재하지 않으므로 본 연구에서는 종래의 입상 및 분말 활성탄 필터의 한계점을 해결할 수 있고 취급이 용이한 판재형 활성탄 필터를 설계 및 제작한 후, 자체적인 라돈 제거율 측정 시험 프로토콜을 수립하였으며, 이를 통해 제작된 판재형 활성탄 필터의 라돈 저감율을 시험 평가하였다. 또한 본 연구에서 자체적으로 고안한 라돈 제거율 측정 방법이 추후 표준 시험 방법으로 선정되기에 있어 큰 오류가 없음을 입증하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

일반적인 활성탄의 라돈 가스 흡착은 활성탄의 비표면적이 클수록 증가하므로, 활성탄의 라돈 농도 저감율 평가를 위해서는 활성탄 소재의 비표면적 평가가 선행되어야 한다.

이에 본 연구에서 제작된 판재형 활성탄 필터 소재와 기존 활성탄들과의 비표면적 비교를 위해 KS A 0094규격의 BET method를 이용하여 비표면적을 측정하였다.

그리고 판재형 활성탄 필터 제작 과정에서 특정 바인더를 주입 후 압착함으로써 휨 등의 변형우려가 있으므로 KS F 2663:2005 규격의 3점 굴곡 method를 이용하여 판재형 활성탄 필터의 휨 파괴하중을 측정하였다.

실내 라돈 가스 농도는 시간대에 따라 다르게 나타나므로 제작된 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거 성능을 정확히 평가하기 위해서는 실험실내 온도 및 습도를 유지시킨 후, 48 시간 동안 측정하여 비교적 실험실내 백그라운드 라돈 농도가 낮은 시간대에서 측정하는 것이 바람직하다. 이에 실험실 내

의 온도 및 습도를 평형상태로 유지시킨 후, 48 시간 동안 총 5번 자연 라돈 농도를 측정하였으며, 그 결과 백그라운드 라돈 농도가 비교적 안정적인 14~20시 사이의 시간대에 실험을 진행하였다.

라돈 저감율 성능 시험을 위한 판재형 활성탄 필터는 직경 10 cm, 두께 2 mm로 제작되었다. 또한 일정한 초기 라돈 가스 농도를 형성시키고, 형성된 라돈 가스 농도를 제작된 판재형 활성탄 필터를 통과시킨 후의 라돈 가스 농도를 측정하였다. 이를 위해 아크릴 챔버(40 x 40 x 40 cm³) 3개와, 라돈 소스, 필터 챔버, 에어 펌프, 유량계, 그리고 2개의 라돈 검출기(FRD-400)를 이용하였으며, 아래 Fig. 1과 같이 실험 모식도를 배치하였다.

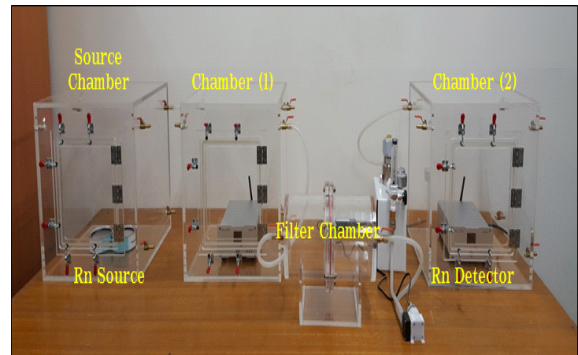


Fig. 1. Radon measurement module for Radon removal rate assessment.

상기 모식도와 같이 라돈 소스 챔버에 토양기반의 라돈 소스를 위치시키고, 라돈 측정챔버(1)과 라돈 측정챔버(2)에 라돈 검출기를 위치시켜 백그라운드 농도를 측정하였다. 소스 챔버 내에 라돈 소스를 위치시켜 라돈 가스 농도를 약 48 시간 정도 집적시킨 후, 펌프를 이용하여 챔버(1)로 라돈 가스를 유입시켜 초기 라돈 농도를 약 20 pCi/L로 설정 및 유지시켰다.

이 후, 에어펌프와 유량계(0.5 L/min 유지)를 이용하여 설정된 챔버(1)의 초기 라돈 가스(약 20 pCi/L)를 판재형 활성탄 필터가 위치한 필터 챔버를 통과시키면서 챔버(2)로 유입시키면서 각 챔버의 라돈 농도를 측정하였다. 측정된 챔버(1)과 챔버(2)의 라돈 농도를 결과치를 이용하여 아래 라돈 제거율 공식으로 두께별 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거효율을 산출하였다.

$$\eta = C_1 - C_2 / C_1 \times 100 [\%] \quad (1)$$

η : 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거율

C_1 : 챔버(1)에서 감소한 라돈 농도 (pCi/L)

C_2 : 챔버(2)에서 증가한 라돈 농도 (pCi/L)

상기 라돈 제거율 측정 실험의 객관성을 검증하기 위한 방법으로 공인 시험기관인 한국건설생활환경시험연구원(이하 KCL)에 시험 의뢰하였으며, 측정된 챔버 (1)과 챔버(2)의 라돈 가스 농도 결과치를 이용하여 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거 효율을 자체실험 결과와 비교 검증하였다.

III. RESULT

1. 판재형 활성탄 필터의 비표면적

본 연구에서 제작된 판재형 활성탄 필터를 무작위로 5개 선정하여 비표면적을 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The surface area of the fabricated activated carbon filter.

Test specimen	Specific Surface Area (m ² /g)	
	Single-Point BET	Muti-Point BET
1st test specimen	1,088.4852(p/p ₀ =0.30)	1,049.4995
2nd test specimen	1,004.1785(p/p ₀ =0.30)	992.3016
3rd test specimen	944.0686(p/p ₀ =0.30)	932.5272
4th test specimen	1,024.8708(p/p ₀ =0.30)	1,023.4612
5th test specimen	1,026.4049(p/p ₀ =0.30)	1,003.6743

임의의 판재형 활성탄 필터 5개 시료의 비표면적 측정 결과, 평균 1,008.5 m²/g 으로 나타났다.

2. 판재형 활성탄 필터의 휨 강도

KS F 2663:2005 규격에 따른 3점 굴곡 시험방법을 통해 시편 표면에 집중하중을 가하여 최대 하중을 측정된 결과는 435 N으로 나타났다.

Table 2. The flexural load of the fabricated activated carbon filter.

Test item	Test method	Test result
Flexural load (N)	KS F 2264:2005	435N

3. 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거율

본 연구에서 제작된 2, 4, 6 mm 두께의 판재형 활성탄 필터의 라돈 가스 제거율 측정 실험 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

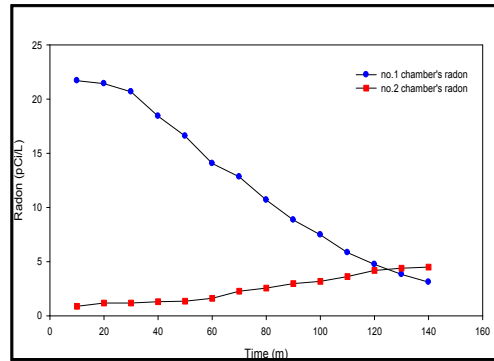


Fig. 1. The radon reduction efficiency of the 2mm thick activated carbon filter.

Table 3. The radon concentration of before and after the 2mm thick activated carbon filter passes.

Elapsed time [m]	Radon concentration of Chamber(1) [pCi/L]	Radon concentration of Chamber(2) [pCi/L]
10	21.7	0.88
20	21.4	1.18
30	20.7	1.18
40	18.4	1.31
50	16.6	1.35
60	14.1	1.61
70	12.8	2.27
80	10.7	2.56
90	8.84	2.97
100	7.47	3.18
110	5.84	3.62
120	4.74	4.19
130	3.82	4.39
140	3.11	4.50

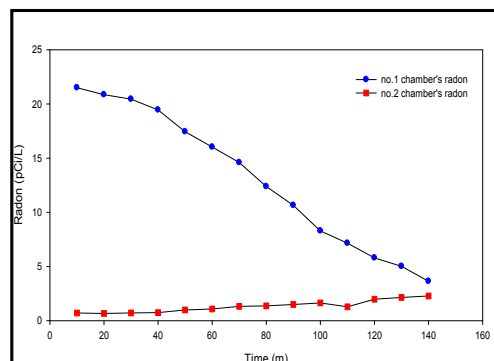


Fig. 2. The radon reduction efficiency of the 4mm thick activated carbon filter.

Table 4. The radon concentration of before and after the 4mm thick activated carbon filter passes.

Elapsed time [m]	Radon concentration of Chamber(1) [pCi/L]	Radon concentration of Chamber(2) [pCi/L]
10	20.9	0.85
20	20.6	0.85
30	21.2	0.75
40	20.7	0.89
50	18.6	1.17
60	16.5	1.86
70	15.0	2.18
80	13.6	2.76
90	10.2	2.57
100	8.80	2.93
110	6.55	3.00
120	5.65	3.19
130	5.00	3.17
140	3.45	3.56

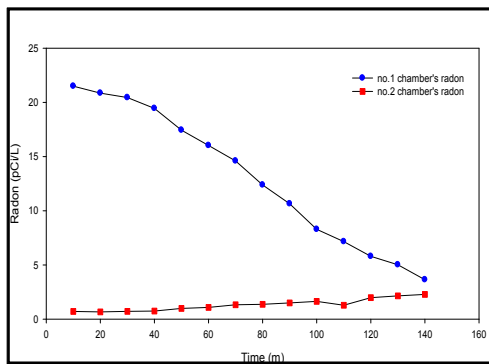


Fig. 3. The radon reduction efficiency of the 6mm thick activated carbon filter.

Table 5. The radon concentration of before and after the 6mm thick activated carbon filter passes.

Elapsed time [m]	Radon concentration of Chamber(1) [pCi/L]	Radon concentration of Chamber(2) [pCi/L]
10	21.5	0.71
20	20.8	0.67
30	20.4	0.72
40	19.4	0.75
50	17.4	0.99
60	16.0	1.08
70	14.6	1.32
80	12.4	1.36
90	10.6	1.49
100	8.29	1.64
110	7.15	1.28
120	5.80	1.98
130	5.02	2.14
140	3.64	2.28

활성탄 필터 두께에 따른 라돈 가스 농도 측정결과, 라돈 측정 챔버(1)의 라돈 가스 농도 감소 비율은 다양한 두께에 대해 유사하게 나타났다. 또한 제작된 판재형 활성탄 필터 두께가 증가할수록 라돈 측정 챔버(2)에서의 라돈 농도 증가 비율은 낮은 것으로 나타나, 활성탄 필터에서의 라돈 가스 제거효과가 큰 것으로 나타났다. Table 6. 은 판재형 활성탄 필터 두께에 따른 초기 농도, 최종 농도 및 저감율 산출 결과를 나타내고 있다.

Table 6. The radon reduction efficiencies

필터 두께 [mm]	Radon concentration of Chamber(1) [pCi/L]			Radon concentration of Chamber(2) [pCi/L]			Radon removal rate [%]
	초기 농도	최종 농도	감소 농도	초기 농도	최종 농도	감소 농도	
2mm	21.7	3.11	18.6	0.88	4.5	3.62	80.5
4mm	20.9	3.45	1.75	0.85	3.56	2.71	84.4
6mm	21.5	3.64	17.4	0.71	2.28	1.51	91.3

Table 6 에서 나타나듯이 자체평가를 통한 2 mm, 4 mm, 6 mm 판재형 활성탄 필터에서의 라돈 가스 제거율은 각각 80.5 %, 84.4 %, 91.3 %로 나타났다.

실험 결과의 검증을 위한 실시한 한국건설생활환경시험연구원의 2 mm 두께 판재형 활성탄 필터에서의 라돈 제거율은 93.4 %로 나타났다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 기존 분말 또는 입상 활성탄의 문제점을 보완하기 위한 목적으로 판재형 활성탄 필터를 제작하여, 라돈 가스 제거율에 대한 시험 연구를 수행하였다. 활성탄의 라돈 제거효율은 활성탄의 미세기공에 의한 비표면적의 크기에 의존한다. 일반적으로 활성탄의 비표면적은 원료와 제조과정에 따라 다소 차이를 보이지만 평균적으로 800~1,500 m²/g 정도의 비표면적을 가지고 있다.^[5] 본 연구에서 제작한 판재형 활성탄 필터를 무작위로 5개 선정하여 측정한 비표면적은 활성탄 중 비표면적이 상대적으로 우수한 대나무 활성탄의 비표면적(약 1325 m²/g)^[6]과 큰 차이가 나지 않으므로, 본 연구에서 제작한 판재형 활성탄 필터의 유해물질 제거 능력 및 라돈 제거 능력이 상대적으로 우수할 것으로 판단되었으며, 그 결과 우수한 라돈 가스 제거율을 나타

내었다.

휨 파괴 하중 측정 결과, 본 연구에서 제작한 판재형 활성탄의 휨 파괴 하중은 435 N으로 나타났다. 이는 시중에 판매되고 있는 건축용 석고보드의 휨 파괴 하중(약 140 N)의 3배 정도에 해당하는 것을 확인하였으며 이는 판재형 활성탄 필터의 사용에 따른 변형에 대한 우려가 적을 것이라 사료된다.

판재형 활성탄 필터의 두께별 라돈 제거율 측정을 통하여 라돈 가스 농도가 판재형 활성탄 필터를 통과하면서 급격히 감소하는 결과를 얻을 수 있었으며, 또한 판재형 활성탄 필터의 두께가 두꺼워질수록 라돈 제거율 또한 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 라돈 기체가 판재형 활성탄 필터의 두께가 두꺼워질수록 필터 내에서 체류하는 시간이 증가한 영향으로 판단되며, 아울러 필터내 활성탄 질량비가 높아 미세기공 면적이 크기 때문인 것으로 판단된다. 라돈 가스는 활성탄 내부에 존재하는 수많은 기공에 의해 흡착이 되는데, 활성탄 필터의 두께가 두꺼울수록 미세 기공의 수가 증가하여 라돈 제거율이 증가하는 것으로 사료된다.

한국건설생활환경시험연구원에 의뢰하여 상기 실험을 반복한 결과, 2 mm 두께 판재형 활성탄 필터의 라돈 제거율이 93 %가 넘는 것을 확인할 수 있었다. 이는 자체 실험 결과치보다 10 % 이상 높은 값으로, 측정치의 차이는 자체 실험에서 사용한 라돈 검출기인 FRD-400의 라돈 가스 측정은 1 시간 측정의 적산치의 평균값으로 표시하기 때문에 측정 딜레이 시간에 기인한 것으로 판단된다. 이에 비해서 한국건설생활환경시험연구원에서 사용한 RAD-7의 경우, 딜레이 시간이 짧고, 측정치의 정확도가 높은 장비의 성능에 기인한 결과로 판단된다.

V. CONCLUSION

현재 국내에 라돈 흡착 및 제거 필터를 이용한 실내 공기 중의 라돈 제거율 측정에 관한 표준 시험 방법이나 기준이 존재하지 않는 실정이다. 그리하여 본 연구에서는 자체적인 시험 방법과 기준을 고안하였고, 한국건설생활환경시험연구원의 공인시험성적서를 통해 본 연구의 자체적 시험방법의 객관성을 검증받았다. 또, 본 연구를 통하여 라돈 기체를 효

과적으로 흡착 및 제거 가능함과 동시에 기존 분말탄과 입상탄의 단점 및 한계점을 극복할 수 있는 판재형 활성탄을 다양한 모형, 크기로 제작할 수 있는 기술을 확보하였기에 건축자재, 필터 등 다양한 분야에서 적용 가능할 것으로 판단된다.

향후, 라돈기체의 필터 내 체류시간 증가 정도에 따른 라돈 농도 감소에 대한 정량적인 평가 및 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 한국국제대학교 연구기금(2017)과 중소기업청 기술개발사업(C0395480)의 지원을 받아 수행되었다.

Reference

- [1] C. Y. Min, H. H. Lee, "Effect of Black Charcoal and Activated Carbon for Reduction of Radon Radioactivity that Emitted from Building Materials", *Journal of the Korea Furniture Society*, Vol. 22, No. 1, pp. 13-17, 2011.
- [2] H. C. Park, H. S. Choi, S. Y. Cho, S. H. Kim, "Numerical Study on Indoor Dispersion of Radon Emitted from Building Materials", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 36, No. 5, pp. 325-332, 2014.
- [3] <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon>
- [4] J. H. Kim, S. H. Hyun, C. W. Lee, Y. M. Hahm, "A study on the Explosion Riskiness with Flying of Activated Carbon", *Fire Science and Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 3-9, 1998.
- [5] S. W. Lee, S. K. Bae, J. H. Kwon, Y. S. Na, C. D. An, Y. S. Yoon, S. K. Song, "Correlations Between Pore Structure of Activated Carbon and Adsorption Characteristics of Acetone Vapor", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 27, No. 6, pp. 620-625, 2005.
- [6] D. C. Park, S. H. Kwon, "An Experimental Study for the Development of Eco-Interior Finish Building Materials Using the Bamboo Activated Carbon" *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 27, No. 3, pp. 99-106, 2011.

판재형 활성탄을 이용한 라돈 저감 연구

최일홍,¹ 강상식,¹ 전제훈,² 양승우,² 박지근^{1,*}

¹한국국제대학교 방사선융합기술연구소

²한국국제대학교 방사선학과

요 약

최근 실내공기 중의 라돈기체의 농도를 저감하기 위하여 친환경 숲을 이용한 공기정화 필터 및 건축자재를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 종래의 입상 활성탄 필터에 비해 취급이 용이하고, 효율적으로 라돈을 흡착 및 제거할 수 있는 새로운 판재형 활성탄을 설계 및 제작하여 라돈 저감 성능을 평가하였다.

판재형 활성탄은 분말 활성탄과 폴리우레탄 폼을 일정한 비율로 혼합하고 믹싱 및 압착 공정을 통해 성형제품으로 제작하였으며, 다이아몬드 절삭을 통해 2 mm, 4 mm, 6 mm 두께로 각각 제작하였다. 제작된 활성탄 필터에 대한 물리적 특성을 분석하기 위해 비표면적과 휨 강도를 측정을 하였다. 또한, 실내 라돈기체의 저감성능을 평가하기 위해 3개의 아크릴 챔버를 이용하였으며, 일정한 공기유량에 대해 필터 통과 전과 후의 라돈 농도를 연속 측정하여 저감율을 평가하였다.

측정결과, 제작된 판재형 활성탄의 비표면적은 약 1,008 m²/g으로 종래의 활성탄과 유사한 값을 보였으며, 휨 파괴 하중은 435 N으로 석고보드보다 3배 이상 높은 강도를 가지는 것을 알 수 있었다. 끝으로, 실내 라돈기체의 저감은 활성탄의 두께가 증가함에 따라 저감효율이 증가하였으며, 6 mm 두께의 활성탄 필터에서 90 % 이상의 우수한 라돈제거율을 보였다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 제작된 판재형 활성탄은 밀폐된 실내에서 라돈 기체의 농도를 감소시키기 위한 친환경 건축 재료 및 공기 정화 필터로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

중심단어: 라돈, 판재형 활성탄, 실내공기, 폐암