

## 대학가 주변 원룸의 라돈(radon) 농도 평가

이석용 · 이영무 · 박지현 · 김순신 · 홍가연 · 안호기 · 양원호\*

대구가톨릭대학교 산업보건학과

### Radon Concentration Assessment of Studio Apartments surrounding a University

Seokyoung Lee, Youngmoo Lee, Jihyun Park, Sunshin Kim, Gayeon Hong, Hogi Ahn, and Wonho Yang\*

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

#### ABSTRACT

**Objective:** Building materials can generate radon in indoor environments. This study aims to assess the radon concentrations of studio apartments around a university.

**Methods:** 25 studio apartments around a University in Gyongsan, Korea were measured for concentrations of radon. We evaluated the radon concentrations by using short-term continuous radon monitors at the studio apartments around the university, and analyzed the correlation between indoor radon concentration and factors affecting it, such as year of construction.

**Results:** The average concentration of radon was 2.03 pCi/L(75.11 Bq/m<sup>3</sup>)±1.34 in the studio apartments. This radon level was lower than the radon standard for public use facilities in Korea and US EPA's standard of 4 pCi/L. However the measured radon levels were much higher than those previously reported in conventional dwellings. There was a statistically correlation between year of construction and radon concentrations in studio apartment buildings.

**Conclusion:** It is suggested that recently built studio apartments might be constructed with phosphogypsum board that features higher radon emissions, and occupants are highly exposed to radon.

**Keywords:** Radon, Studio apartment, Gypsum board, Construction year

#### I. 서 론

현대인들은 하루 24시간 대략 88% 이상을 실내에서 생활하기 때문에 실내공기에 대한 관심이 높아지고 있다.<sup>1)</sup> 실내공기 오염으로 인한 건강영향 문제는 이미 세계보건기구(WHO)에서 주요 관심사로 다루어져 왔다. 전세계적으로 공기오염물질 노출에 의한 사망자 수는 최대 600만 명에 이르며, 해마다 280만 명의 사망 원인이 실내공기오염인 것으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup> 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 삶의 질을 높이는 데 중요한 역할을 하고 있으며, 따라서 실내공기 오염물질에 의한 건강영향의 중요성이 대두되고 있다.

환경부는 2003년 다중이용시설 실내공기질 관리법을 제정·공포 하여 현재 시행 중에 있으며, 그 중 권고기준오염물질은 5종으로 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 라돈(Rn), 휘발성 유기화합물(TVOCs), 석면, 오존(O<sub>3</sub>)을 지정하여 관리하고 있다.<sup>3)</sup> 이 중 라돈은 무색, 무미, 무취의 자연방사능 가스로 자연계에 넓게 분포하고 있다. 또한 지각을 구성하는 성분 중의 하나인 우라늄(<sup>238</sup>U)의 여섯 번째 붕괴생성물이며, 라돈은 라듐(<sup>226</sup>Ra)의 딸 핵종이다. 건강 위해 측면에서 라돈 자체로는 방사선 가스지만 불활성이므로 사람이 호흡을 하더라도 폐에서 흡수되지 않고 다시 배출 된다. 그러나 라돈이 반감기를 거쳐 만들어지는 <sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb,

\*Corresponding author: Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, 712-702, Korea, Tel: +82-53-850-3739, Fax: +82-53-850-3736, E-mail: whyang@cu.ac.kr

Received: 13 February 2013, Revised: 7 March 2013, Accepted: 15 April 2013

$^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ 과 같은 라돈 딸핵종(radon daughters and progeny)은 공기 중에서 어떤 물체의 표면에 흡착된 형태로 체내로 흡입되고 폐에 흡착되며 이때 방출되는 알파 방사선의 영향으로 인하여 장기적으로 폐암이 유발 될 수 있다.<sup>4)</sup>

미국 환경청(Environmental Protection Agency: EPA)은 라돈이 담배 흡연에 이어서 두 번째 폐암 발생의 주요 원인이라고 보고 하였다.<sup>5)</sup> 이와 같이 환경과 건강적인 측면에서 라돈은 사회적인 이슈가 되고 있으며, 이미 미국을 비롯한 여러 선진국에서는 라돈을 자연방사선 규제물질로 규정하고 있다. 미국에는 단독 주택 거주자가 많으므로 국가적인 차원에서 라돈 관리시스템이 활성화가 되어있는 반면 국내에서는 최근 들어 라돈에 대한 홍보용 자료를 대중매체를 통하여 전파하고 있지만 아직까지는 라돈에 대한 시민들의 인식이 부족한 실정이다.

최근 국내에서도 라돈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직까지 다양한 실내환경에서 라돈에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다. 특히 다세대 원룸은 대부분 값 싼 자재를 사용하여 건축되고 있는 실정이고, 대학생 혹은 경제적으로 어려운 사람들이 주로 거주하는 등 라돈에 대하여 취약한 주거형태이다. 따라서 본 연구에서는 비교적 최근에 건축되었고, 많은 사람들이 이용하는데 비하여 실내공기질 관리가 적절히 이루어지지 않고 있는 대학가 원룸단지에서 라돈 농도 수준을 평가하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 설문조사

경상북도 G시 대학가 주변에 위치한 원룸의 실내환경에서 라돈 농도를 측정하였다. 측정은 2011년 12월부터 2012년 6월까지 2000년에서 2012년 동안 건축된 총 25개 건물에서 25가구의 원룸실내에서 측정하였다. 연구 전 각각의 재실자로부터 사전 동의를 얻은 후 라돈에 대한 인식도와 그 위해성에 관한 설문을 조사하였으며, 각 원룸에 관한 건축년도, 층수, 체적, 창문의 수, 난방형태 등 건축물의 특성을 조사하였다.

### 2. 시료 채취 방법

라돈 농도 측정에는 단기(short term) 연속식(continuous) 라돈모니터로써 확산식 접합형 검출기

방식의 Radon-1027(Sun Nuclear, USA)을 사용하였다. 확산식 접합형검출(diffused-junction photodiode) 방식은 공기 중의 라돈이 측정기 검출부로 확산되어 들어간 후, 검출부 내부의 라돈에서 방출된 알파선을 광센서가 검출하는 원리이다. 실내에서의 측정은 EPA 추천 매뉴얼을 참고하였으며,<sup>6)</sup> 라돈 농도에 영향을 줄 수 있는 실내 환기량을 제어하여(창문을 닫은 상태) 최악의 상태(worst case)를 설정하였다. 측정기는 햇빛이 비치지 않고 습도가 높지 않은 곳에서 창문으로부터 90 cm 이상 바닥에서 50 cm 이상 다른 실내 대상물체로부터 10 cm 이상 이격하여 설치하였으며, 총 측정시간(12 hr) 중 측정기기의 워밍업(warming up) 시간(4 hr)을 제외한 8시간의 측정 결과를 농도 평가에 이용하였다

### 3. 분석방법

측정된 라돈은 Sun-Nuclear사(USA)에서 제공하는 Radon-1027 프로그램을 사용하여 분석하였다. 자료의 정리 및 도표 작성에는 Excel 2007(Microsoft, USA)을 사용하였다. 수집된 설문과 측정데이터를 바탕으로 층수, 건축년도별 라돈 농도가 정규성 검증, 상관분석, 회귀분석을 하였다. 통계분석에는 SPSS 19.0(IBM Company, USA)을 사용하였다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 설문조사 결과

설문조사 결과를 Table 1에 나타내었다. 설문에 응답한 25명 중 라돈에 대하여 인식하고 있는 사람은 64%(16명)이었고 라돈에 대한 위해성을 알고 있는 사람은 72%(18명)으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 이미 라돈에 대한 정보 또는 위해성이 각종 대중매체를 통하여 많이 알려져 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 라돈에 대한 인식도가 높은 이유로는 주로 대학생을 대상으로 설문을 실시한 점과 더불어 방송매체나 인터넷을 이용하여 정보를 접할 수 있는 확률이 높다는 점을 들 수 있다. 원룸의 평균 창문 개수는 1.17개로 2가구를 제외한 나머지 가구에서는 환기를 시킬 수 있는 창문이 모두 한 개 인 것으로 조사되었다. 25명중 9명의 흡연자 이었으며, 측정하는 동안 실내에서 흡연을 하지 않았다. 거주자의 층 별 분포는 1층이 3명(13%), 2층과 4층이 각

**Table 1.** House and demographic characteristics by questionnaire

Parameter	Unit	Subject(n=23)	
Age of participants(year)	M±SD	24.6±2.1	
Gender(male/female)	n(%)	12(52.2)	11(47.8)
Radon perception(Yes/No)	n(%)	19(82.6)	4(17.4)
Awareness of radon hazard(Yes/No)	n(%)	16(69.6)	7(30.4)
Smoke(Yes/No)	n(%)	8(34.8)	15(65.2)
Average volume	m <sup>3</sup>	26.46±6.40	
Average window number	EA	1.17±0.39	

각 6명(26%), 3층이 7명(30%)로 가장 많은 거주자가 살고 있었다. 5층은 1명(5%)으로 가장 적었다. 원룸의 건축년도 분포는 2000년, 2001년 각각 2집(9%), 2002년 2010년 각각 3집(13%), 2004년 1집(4%), 2009, 2011, 2012년 각각 4집(17%)로 나타났다.

**2. 원룸의 라돈 농도**

각 원룸의 라돈 농도수준은 Table 2에 나타내었다. 25곳의 원룸 중 2곳의 결과는 측정기기의 오류로 제외하였다. 환경부고시(2010)의 실내공기질 공정시험 방법에 따르면 연속식 라돈 측정기를 사용하여 측정을 실시하는 경우 48시간 이상 시료를 채취해야 하지만 밀폐된 방 안에서 재실자가 48시간 동안 재실할 수 없기 때문에 본 연구에서는 대상자들의 동의 하에 12시간 측정을 실시하였다.<sup>7)</sup> 측정된 23곳의 라돈 농도는 대수정규분포를 나타내었으며(K-S test, p>0.05), 산술평균은 2.03±1.34 (GM=1.86) pCi/L (75.11 Bq/m<sup>3</sup>) 수준으로 우리나라의 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 기준인 4 pCi/L (148 Bq/m<sup>3</sup>)을 초과하지 않았다. Site 17의 농도 5.73 pCi/L(212.01 Bq/m<sup>3</sup>)를 제외하고는 국내 및 국외 기준을 초과하지 않았다. 그러나 국내에서 기준에 보고된 아파트 및 주택의 라돈 산술평균 농도

**Table 2.** Variation of hourly radon concentration (pCi/L) in studio apartments (n=23)

	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr	6 Hr	7 Hr	8 Hr	AM±SD	GM(GSD)
Site1	5.6	4.0	1.5	5.2	2.0	4.0	3.2	4.0	3.69±1.42	3.40(1.58)
Site2	4.0	4.0	2.4	3.6	4.0	2.0	2.4	1.1	2.94±1.11	2.71(1.58)
Site3	0.3	2.4	1.5	2.4	0.7	1.5	0.7	1.5	1.38±0.78	1.14(2.05)
Site4	0.0	0.7	1.1	1.5	0.7	1.5	0.3	N/D	0.83±0.57	0.84(1.84)
Site5	0.0	1.1	0.7	0.3	0.7	2.0	1.1	0.7	0.83±0.60	0.82(1.80)
Site6	2.0	2.0	2.0	0.3	2.0	2.8	2.0	4.8	2.24±1.25	1.84(2.21)
Site7	4.0	1.1	3.2	4.4	3.6	5.2	2.8	2.4	3.34±1.27	3.07(1.62)
Site8	0.7	1.1	1.1	2.0	2.0	0.7	0.3	0.3	1.03±0.67	0.82(2.10)
Site9	0.3	1.5	0.7	0.0	1.1	0.3	1.5	1.1	0.81±0.57	0.78(2.01)
Site10	2.4	0.7	0.7	2.4	2.8	3.2	1.5	N/D	1.96±1.00	1.68(1.90)
Site11	1.5	3.6	2.5	1.5	4.4	2.0	2.4	4.8	2.84±1.28	2.59(1.57)
Site12	1.5	3.6	4.6	3.2	4.4	4.5	3.6	3.6	3.63±1.00	3.46(1.44)
Site13	3.5	3.2	1.5	2.4	2.8	2.4	2.0	3.2	2.63±0.68	2.54(1.33)
Site14	3.6	2.0	2.0	3.2	2.8	2.4	4.4	3.2	2.95±0.83	2.85(1.32)
Site15	2.3	4.7	0.0	1.5	2.0	2.7	1.1	4.0	2.29±1.52	2.34(1.67)
Site16	1.5	1.1	0.3	2.0	2.8	0.0	0.7	1.1	1.19±0.91	1.11(2.08)
Site17	6.0	4.3	4.8	6.4	6.8	5.1	8.8	3.6	5.73±1.64	5.53(1.33)
Site18	0.7	0.3	0.3	0.7	0.0	1.1	1.1	1.5	0.71±0.50	0.70(1.89)
Site19	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.08±0.14	0.30(1.00)
Site20	2.0	0.3	1.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.7	0.71±0.60	0.55(2.08)
Site21	0.0	0.3	1.1	1.1	0.3	1.5	1.1	0.3	0.71±0.55	0.66(2.10)
Site22	1.1	4.8	6.0	2.0	1.1	1.1	0.7	3.6	2.55±2.00	1.93(2.23)
Site23	0.3	1.5	0.3	0.5	2.0	1.1	3.2	3.2	1.51±1.20	1.05(2.66)

(22.1±9.9 Bq/m<sup>3</sup>)에 비해 약 3.4배 높은 값 이었다.<sup>8)</sup> 그리고 UNSCEAR(2000)은 전 세계에 대한 주거공간의 산술평균 라돈 농도는 39 Bq/m<sup>3</sup>, 기하평균은 30 Bq/m<sup>3</sup>으로 보고하고 있다.<sup>9)</sup>

미국 EPA(2009)에 따르면 미국 주택의 평균 라돈 농도는 약 1.3 pCi/L로 보고하고 있으며, 비흡연자가 2 pCi/L의 라돈에 일생 동안 노출 된 경우 1000명 중 4명이 폐암에 걸릴 가능성이 있다고 제시하고 있으며 주택 구조 변경을 제안하고 있다. 또한 흡연자의 경우에는 동일한 조건에서 32명이 폐암에 걸릴 수 있다고 제시하고 있다.<sup>10)</sup>

미국의 경우 우리나라와 같은 4 pCi/L(148 Bq/m<sup>3</sup>)이며 그 외 영국(22 pCi/L), 스웨덴(10.8 pCi/L), 캐나다(22 pCi/L)와 핀란드(9.7 pCi/L) 모두 우리나라보다 높은 기준치를 설정해두었으며 이것은 국가마다 건물 또는 주택 구조, 사람들의 생활 습관 및 환경적인 조건, 건장력, 개인의 감수성 등에 의한 차이로 생각된다.<sup>11)</sup> 한 시간당 평균 농도는 권고기준인 4 pCi/L(148 Bq/m<sup>3</sup>)를 초과하는 원룸의 수는 23 곳 중 10곳이었으며 최고 8.8 pCi/L(325.6 Bq/m<sup>3</sup>)로 기준치의 2배를 넘는 수치의 가구도 있었다.

국내의 연구에 따르면 한국의 주거용 건물에 사용되는 각종 건축재료와 마감재 중 인산부산 석고보드에서 다량의 라돈이 방출되고 있다고 보고 하였다.<sup>12)</sup> 석고보드는 인산부산 석고보드와 배연탈황 석고보드로 나눌 수 있다. 특히 국내의 인산부산 석고보드는 인광석을 화학처리 한 후 인을 제거한 석고를 추출하여 만든 것으로, 공동주택의 신축과 개보수시에 내부마감재로 많이 사용하고 있어 재실자들이 라돈에 쉽게 노출될 수 있는 가능성이 있다.<sup>13)</sup>

**3. 층수별 라돈 농도**

층수별 라돈 농도를 Table 3에 나타내었다. Table 3의 1층은 실제 1층에 거주하고 있음을 의미하며 2층은 1층을 주차장으로 사용하는 경우를 의미한다. 따라서 토양에서 나오는 라돈의 영향을 적게 받는 이유로 저층에서 고층으로 갈수록 라돈 농도가 낮아질 것이라는 가정은 상관성분석 결과 통계적으로 유의하지 않는 결과(p=0.586)를 나타내었다. 이탈리아의 한 연구결과에서 시청과 학교건물에서 1층과 2층에서 라돈 농도를 비교한 결과 두 건물 모두 1층의 라돈 농도가 2층보다 높았다.<sup>14)</sup> 또한 나이지리아

**Table 3.** Radon concentration (pCi/L) according to floors of building

	N (%)	Radon concentration AM±SD (GM, GSD)	Note
First floor	3(13)	1.32±1.06 (1.06, 0.76)	1 <sup>st</sup> floor Residents
Second floor	6(26)	1.98±1.05 (1.80, 1.01)	Use 1 <sup>st</sup> floor made by parking area
Third floor	7(30)	2.64±1.77 (2.43, 1.71)	
Fourth floor	6(26)	1.60±1.22 (1.75, 1.16)	
Fifth floor	1(5)	2.63 (2.54)	

의 연구결과 역시 지상 1층에서의 라돈 농도가 지상 2층의 라돈 농도보다 높다는 결과(p=0.022)가 있었다.<sup>15)</sup>

기존 결과를 바탕으로 지하공간과 지상공간이 함께 있는 건물에서는 건물 층별 라돈 농도와 유의한 상관성을 나타내었지만, 지하공간과 1층이 붙어있지 않는 장소에서의 연구에서는 토양에서 발생하는 라돈의 영향보다 원룸 내부의 건축자재에서 라돈이 발생하는 것을 알 수 있다.

**4. 건축년도별 라돈 농도**

건축년도별 라돈 농도를 Table4에 나타내었다. 건축년도에 따른 원룸의 라돈 농도는 2004년 완공된 원룸(0.71 pCi/L(26.27 Bq/m<sup>3</sup>))을 제외하고는 구축원룸 보다 신축원룸에서 높게 나타났다. 또한 2000년에 건축된 원룸에서부터 2012년 완공된 원룸까지 그 농도가 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 원룸의 건축년도와 라돈 농도는 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다(p=0.013). 토양에서 발생하는 라돈을 제외한 실내 라돈 가스의 주요 원인은 석고보드, 시멘트, 대리석, 벽돌 등의 건축자재에서 방출 되고 있으며 특히 산업폐기물로 제조되는 건축자재인 석고보드에서 라돈이 다량으로 방출되고 있다.<sup>16)</sup> 본 연구 조사대상의 건축물은 2013년 현재를 기준으로 준공된 지 13년 이내의 건축물로 실내는 벽면이 석고보드, 콘크리트, 나무판 이었으며, 천장은 대부분의 가구가 석고보드로 마감 처리된 원룸이었다. 따라서 건물이 조밀하게 밀집되어 있는 원룸은 일반 단독주

**Table 4.** Radon concentration (pCi/L) according to construction years

Construction year	N(%)	Radon concentration(GM, GSD)
2000	2(9)	0.40±0.45 (0.50, 0.63)
2001	2(9)	1.68±1.23 (1.36, 0.81)
2002	3(13)	1.33±0.81 (1.07, 0.68)
2004	1(4)	0.71 (0.66)
2009	4(17)	2.46±0.84 (2.29, 0.82)
2010	3(13)	2.23±2.83 (2.40, 2.71)
2011	4(17)	2.44±1.10 (2.26, 1.05)
2012	4(17)	2.68±0.88 (2.44, 1.01)

택이나 아파트에 비해 방범 등을 위한 창문을 통한 기본적인 환기가 어려운 점 등을 고려할 때 건축자재가 실내 라돈의 주요한 발생원일 것으로 판단된다.<sup>17)</sup> 특히 층수별, 연도별 라돈농도, 체적, 창문 수 등 여러 인자를 가지고 다중회귀분석을 실시하였을 때, 건축년도( $r=0.585$ ,  $p=0.003$ )를 제외한 다른 요인들에서는 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

국립환경과학원 생활환경연구과 연구에 의하면 건축자재로 쓰이는 두 가지 석고 중 인산부산석고에서 배연탈황석고의 약 16배에 해당하는 높은 라듐 농도를 나타내었다.<sup>18)</sup> 라듐의 농도와 라돈 방출량은 높은 상관을 보였으며, 라듐은 라돈의 모핵종으로 라돈 방출에 직접적인 영향을 미치는 물질이다. 그러나 본 연구에서 각 원룸들의 석고보드의 종류까지는 파악하지 못하였다. 라듐에서 1622년의 반감기를 거쳐 라돈이 방출되기 때문에 석고보드 역시 약 1600년간 라돈이 지속적으로 방출이 된다.<sup>19)</sup> 국외논문을 참고하면 석고보드를 제외한 건축자재 중 적벽돌, 세라믹 타일, 대리석, 화강암 재질의 제품, 마감재, 콘크리트, 발포 콘크리트와 같은 자재에서도 라돈이 검출되는 것으로 알려졌다.<sup>20-22)</sup> 따라서 라돈 농도와 건축년도의 유의한 상관관계는 최근에 지어진 원룸일수록 라돈 방출량이 적은 배연탈황 석고보드보다 라돈 방출량이 많은 인산부산 석고보드를 더 많이 사용하여 건축되었다고 추정할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 경상북도 G시 지역에 위치한 대학가 주변 원룸주택 25곳을 대상으로 환기를 하지 않는 최

악의 상태에서 12시간 동안 실내 라돈 농도를 측정하였다. 23개의 원룸 중 실내 라돈 농도 산술평균은 2.03 pCi/L(75.11 Bq/m<sup>3</sup>)로 국내기준인 4 pCi/L(148 Bq/m<sup>3</sup>)보다 낮았지만 시간별 농도로 비교해 보았을 때 최고값이 8.8 pCi/L(325.6 Bq/m<sup>3</sup>)로 매우 높게 나타났다. 기존 아파트에서 보고된 값보다 2배 이상 높은 값이었다. 원룸에서 사용된 석고보드의 종류와 국내 유통과정은 파악하지 못하였지만 라돈 농도는 건축년도와 유의한 상관관계를 나타내었다. 라돈의 농도가 높게 나온 곳은 인산부산 석고보드, 그리고 농도가 낮게 나온 곳은 배연탈황 석고보드를 사용하였다고 추정할 수 있다.

특히 층수별, 연도별 라돈농도, 체적, 창문 수 등 여러 인자를 가지고 선형회귀분석을 실시하였을 때, 건축년도( $r=0.585$ ,  $p=0.003$ )를 제외한 다른 요인들에서는 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 국내외 보고를 통하여 건축자재 중 석고보드에서 많은 영향을 미치는 것을 확인하였지만 라듐의 반감기가 1622년인 것을 감안하였을 때, 추후 연구에서는 동일한 건물에서의 측정 수, 온·습도 조건, 석고보드의 종류를 추가한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그리고 오랜 시간 라돈에 노출될 경우 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있는 가능성이 존재하므로 향후 다중이용시설 및 학교뿐 아니라 현재 규제대상에 포함되지 않는 원룸과 같은 시설에서의 지속적인 라돈 평가 및 관리가 필요하다.

#### 감사의 글

본 논문은 2012년 대구가톨릭대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

#### 참고문헌

1. Yang WH, Lee KY, Yoon CS, Yu SD, Park KW, Choi WH. Determinants of residential indoor and transportation activity times in Korea. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2011; 21: 310-316.
2. Lee WH, Cho YM. Effect of Black Charcoal and Activated Carbon for Reduction of Radon Radioactivity that Emitted from Building Materials. *Journal of the Korea Furniture Society*. 2011; 22(1): 13-17.

3. Ministry of Environment. Indoor Air Quality Control Act in Public Use Facilities. 2011.
4. Kim SA, Paik NW. A study on indoor radon concentrations in urban area. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2002; 28(2): 89-98.
5. U.S EPA(Environmental Protection Agency). A Citizen's Guide to Radon EPA; 2009
6. U.S EPA(Environmental Protection Agency). Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols. Available: <http://www.epa.gov/radon/pubs/devprot1.html>[Accessed 16 November 2012].
7. Ministry of Environment. Official testing method with indoor air quality; 2010.
8. Jeon J, Lee J, Eom S, Chae Y. The variation characteristics of indoor radon concentration from buildings with different environment, Seoul. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2011; 27: 692-702.
9. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Atomic Radiation). Sources and effects of ionizing radiation, Report to the general assembly with scientific annexes; 2000.
10. U.S EPA(Environmental Protection Agency). Why is radon the public health risk that it is?. Available: <http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html><http://www.epa.gov/radon/pubs/devprot1.html>[Accessed 16 November 2012].
11. Park JC, Lee SH, Rhee EK. A mock-up measurement on the emission rate of radon gas (from the construction materials in housing buildings). *Journal of Architectural Institute of Korea*. 1997; 17(2): 679-686.
12. Jang M, Go HS, Lee YU, Moon JH, Kang CS. Assessment on radiological impact of radium and radon in phosphogypsum board on residential environment. *Korean Nuclear Society*. 2002: 361.
13. Park JC, Lee SH, Rhee EK. A mock-up measurement on the emission rate of radon gas (from the construction materials in housing buildings). *Journal of Architectural Institute of Korea*. 1997; 17(2): 679-686.
14. Francesco SD, Tommasone FP, Cuoco E, Tedesco D. Indoor radon seasonal variability at different floors of buildings. *Radiation Measurements*. 2010; 45(8): 928-934.
15. Obed RI, Ademola AK, Vascotto M, Giannini G. Radon measurements by nuclear track detectors in secondary schools in Oke-Ogun region. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2011; 102(11): 1012-1017.
16. Park JC, Rhee EK. A study on the characteristic of the radon gas in buildings. *Journal of Architectural Institute of Korea*. 2004; 20(1): 525-528.
17. NCRP(National Council on Radiation Protection and Measurements). Exposure of the population of the United States and Canada from natural background radiation. 1987: NCRP No.94.
18. Seo SY, Park JY, Yoo JH, Kim HD, Lee KS, Jang SK, Seo CG, Kwon MH, Choi KH. A study on management of non-regulated indoor air pollutant in Korea(ii) - Contaminant of gypsum board used in domestic. Indoor environment and noise research division, Environmental infrastructure research department, National institute of environmental research. 2010: 1-37.
19. Lee JY. A review on occurrence, health risk and mitigation measure of uranium, radium and radon in groundwater. *Journal of the Geological Society of Korea*. 2008; 44(3): 341-352.
20. Keller G, Hoffmann B, Feigenspan T. Radon permeability and radon exhalation of building materials. *The Science of the Total Environment*. 2001; 272: 85-89.
21. Righi S, Luigi B. Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006; 88(2): 158-170.
22. Chen J, Rahman NM, Atiya IA. Radon exhalation from building materials for decorative use. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010; 101(4): 317-322.