

실내 체적과 라돈 농도와의 상관관계 연구

강성아, 한동현, 김종일

전북대학교 공학연구원 첨단 방사선 응용연구센터

2007년 3월 15일 접수 / 2007년 7월 31일 채택

전주시에 소재한 아파트의 큰 방과 작은 방을 대상으로 실내 체적과 측정되는 라돈 농도와의 상관 관계를 분석하였다. 또한 실내의 라돈 농도를 측정하여 실내의 시간별 라돈 농도의 변화를 파악하고 이를 토대로 실내 라돈의 연간 피폭선량을 계산하였다. 본 연구를 위하여 각각 8개의 아파트 큰 방과 작은 방을 대상으로 라돈 농도를 측정하였으며, 큰 방의 평균 체적은 31.59 m³ 그리고 작은 방의 평균 체적은 16.82 m³이었다. 큰 방의 평균 라돈 농도는 71.73 Bq/m³, 작은 방의 평균 라돈 농도는 108.51 Bq/m³로 측정되어 실내 체적과 실내 라돈 농도는 반비례 관계로 나타났다. 밀폐된 실내 라돈 농도의 주 발생원이 건축자재임을 감안하여 건물 벽의 표면적을 체적으로 나누어 계측해 본 결과 표면적/체적의 비가 클수록 측정되는 실내 라돈 농도가 크게 나타났다. 실내 라돈 농도의 하루 중 시간에 따른 변화를 조사한 결과 오전 8~10시에 일 최고 농도(114.5 Bq/m³)를 보였고, 오후 2~4시에 일 최저농도(67.7 Bq/m³)를 나타냈으며, 하루 중 라돈 농도의 변화는 약 46.8 Bq/m³이었다. 8개 지점의 실내 라돈의 연간 피폭선량을 계산해 본 결과 0.3에서 2.16 mSv/yr 사이로 나타나, 일부 아파트의 피폭선량이 국제방사선영향과학위원회(UNSCEAR)가 제시한 수치인 1.3 mSv/yr 를 초과했다.

중심어 : 아파트 실내 라돈 농도, 체적과 라돈농도와의 상관관계, 테스트 셀, 연간 피폭선량

1. 서론

국제방사선영향과학위원회(United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR)보고서는 일반인이 자연 환경에서 받는 연간 피폭선량이 2.4 mSv/yr 이며, 이 중 우주선과 지각에 존재하는 천연 방사성 핵종으로부터 나오는 베타선, 감마선등에 의한 피폭선량이 1.1 mSv/yr 이며, 라돈과 그 딸핵종에 기인한 피폭선량은 자연 방사선의 50%에 해당하는 1.3 mSv/yr 정도라고 보고하고 있으며, 라돈과 그 딸핵종에 의한 피폭선량 중 79%가 가옥 내에서의 흡입에 의해 비롯된다고 보고하고 있다[1]. 라돈 가스는 인체 건강에 지대한 영향을 미치며 미국환경보호청(Environmental Protection Agency : EPA)은 라돈이 두 번째 폐암 발생 원인이라고 발표하였다[2]. 폐암 발생의 원인은 불활성 기체인 라돈과 그 동위원소 및 딸핵종 들의 장기간 피폭에 의한 것이라는 과학적 연구 결과가 밝혀진 이래, 우리나라 이외의 일반 주거 환경에서도 실내 라돈 및 그 딸핵종의 호흡으로 인한 방사선 피폭에 따른 영향과 유해함을 평가하는 연구가 전 세계적으로 활발히 수행되고 있다. 라돈을 호흡했을 때 폐 내에 침적되어 있는 라돈과 그 붕괴 생성물은 방사선 가중인자가 큰 알파 입자를 방출함으로 특히 흡착, 미흡착 특

성이 새로운 관심의 대상이 되고 있다[3].

외국에서의 라돈 및 방사능 물질에 대한 연구를 살펴보면 1975년 Friedrich Steinhuller는 일정한 환기 조건을 유지함에도 불구하고 일별, 계절별 변동이 발생하므로 실내 방사능 측정은 적어도 계절별로 몇 주일씩을 측정해야만 연간 평균의 의미가 있다고 보고 하였고, 1988년 Nazaroff와 Nero는 Rn-222의 농도가 평균적으로 옥외에 비해 실내가 높게 나타나며, 단독 주택의 실내 농도는 때때로 평균치보다 높게 나타나는 경우가 있다고 보고하였다[4].

국내의 경우 2001년에 한국 원자력안전기술원 주관으로 실시한 국민 방사선 위해도 평가 및 전국 실내 라돈 방사능 조사라는 주제로 전국 실내 라돈 농도 준위 조사를 1년간 지속적으로 실시하였다[5]. 우리나라 주택 내 연평균 라돈 농도의 결과를 보면 강원도와 충북, 충남지역에 이어 전북 지역이 높은 평균값(68.8 Bq/m³)을 나타내었다.

이에 본 연구에서는 전북에서 인구 밀도가 가장 큰 전주 시 소재 아파트의 실내 라돈 농도를 측정하고, 실내 라돈 농도와 실내 체적과의 상관 관계를 알아보기 위해 스테인리스로 제작된 48L 크기의 임의 공간의 라돈 농도를 각각 측정하여 그 상관 관계를 알아보았다.

참고로 전라북도 소재 아파트 실내 라돈농도에 관한 연구는 아직까지 학계에 보고된 적이 없다.

2. 이론적 배경

책임저자 : 강성아, kangssi@chonbuk.ac.kr, 전북대학교
전북 전주시 덕진구 1가 664-14

Table 1. 세계의 주택 실내 라돈 농도 (UNSEAR; 1999)

지역	국가	1996인구 (10 ⁶ 명)	실내라돈농도(Bq/m ³)			표준편차	출처
			산술평균	기하평균	최고치		
아프리카	알테리	28.78	30	-	140	-	Che88
	이집트	63.27	9	-	24	-	Ken91
북아메리카	캐나다	29.68	34	14	1720	3.6	Let84
	미국	269.4	46	25	-	3.1	Mar92,Uni92
남아메리카	아프헨티나	35.22	37	26	211	2.2	Gom93
	칠레	14.42	25	-	86	-	Stu96
동아시아	중국	1.232	24	20	380	2.2	Zuo92
	인도	944.6	57	42	210	2.2	Sub91
	일본	125.4	16	13	310	1.8	Fuj97,san99
	태국	58.70	23	16	480	1.2	-
서아시아	아르메니아	3.64	104	-	216	1.3	-
	쿠웨이트	1.69	14	6	120	-	Bem96
북유럽	덴마크	5.24	53	29	600	2.2	Sta87,Ulb88
	에스토니아	1.47	120	92	1390	-	Pan96
	스웨덴	8.82	108	56	85000	-	Swe93
서유럽	벨기에	10.16	48	38	12000	2.0	-
	독일	81.92	50	40	>10000	1.9	-
	스위스	7.22	70	580	10000	-	Sur91
	영국	58.14	20	-	10000	-	Wri88
동유럽	헝가리	10.05	107	82	1990	2.7	Nik96
	폴란드	38.60	41	32	432	2.0	Bie92
	루마니아	148.1	45	-	1025	-	Iac96
남유럽	그리스	10.49	73	52	490	-	Geo88
	포르투갈	9.81	62	62	2700	2.2	Fai92
	스페인	39.67	86	42	15400	3.7	-
	중앙 값		46	37	480	2.2	
	인구 가중 평균		39	30	120	2.3	

2.1 국내·외 라돈 측정 현황

1999년 UNSCEAR 자료에 의하면, (Table 1)에서 보는 바와 같이 전 세계 약 50개국 이상이 전국 규모의 실내 라돈 조사를 수행하였으며, 이들 자료를 토대로 한 UNSCEAR의 평가에 의하면 전 세계 실내 라돈 농도의 분포에 대한 산술 평균과 기하 평균값은 각각 39 Bq/m³ 과 30 Bq/m³ 으로 기하학적 표준편차는 2.3 Bq/m³ 정도라고 발표하고 있다. 우리나라의 경우는 2001년에 과학기술부에서 원자력연구개발사업의 일환으로 한국원자력안전기술원에 의뢰하여 조사한 국민 방사선 위험도 평가 및 전국 실내 라돈 방사능 조사의 일환으로

전국 실내 라돈 농도 조사를 실시하였다[5]. 이 조사 결과를 요약한 것이 (Table 2)인데 실내 라돈 농도의 지역별 분포를 보면 강원도와 충청도 일대가 타 지역에 비해 약간 높은 경향을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

주택 내 연평균 농도(산술평균)는 인천지역이 38.2 Bq/m³ 으로서 가장 낮은 농도를 나타낸 반면 충북지역이 80.5 Bq/m³ 으로 가장 높은 농도를 보인다. 전북지역은 68.8 Bq/m³ 으로 충북, 충남, 강원도지역을 제외한 타 지역에 비해 높은 농도 값을 나타내었다.

Table 2. 우리나라 지역별 주택 내 연평균 라돈농도(Bq/m³)

지역명	조사지점수	최고치	최저치	기하평균	산술평균	중앙값	200 Bq/m ³ 이상 검출지역비율(%)
서울	380	1055	14.8	36.0	45.1±66.5	32.4	1.6
강원도	91	339	20.4	59.0	72.5±56.6	56.4	5.5
인천	104	151	13.9	34.3	38.2±20.2	35.9	0
경기도	340	338	16.7	43.9	51.6±36.8	43.9	0.9
충북	90	1350	20.4	56.0	80.5±146	47.2	5.6
충남	113	573	17.6	59.2	74.8±72.2	50.9	3.5
대전	68	231	16.0	45.5	52.9±37.6	42.1	2.9
대구	110	124	14.8	36.9	41.4±22.4	32.4	0
경북	168	207	13.6	42.6	49.5±31.1	39.3	0.6
부산	163	165	14.8	34.3	38.6±22.8	32.4	0
경남	214	315	16.0	42.8	52.2±41.9	36.5	2.2
전북	127	857	16.7	53.7	68.8±82.9	48.1	2.4
전남	136	291	18.5	51.5	61.3±42.4	49.0	1.5
광주	61	202	16.7	50.2	57.0±31.2	49.0	1.6
제주	25	240	18.5	47.3	58.9±48.8	42.6	4.0
전국	2190	1350	13.6	43.4	53.4±57.5	39.8	1.7

2.2 라돈 및 라돈 딸핵종 피폭선량 계산방법

공기 중의 평균 라돈 농도를 라돈 딸핵종의 농도 측정단위인 WL(Working Level)로 나타내면 라돈에 의한 방사선 피폭선량을 알 수 있다[6]. 1WL이란 공기중의 라돈 농도가 100 pCi/L이고 라돈 및 딸핵종들이 모두 방사평형에 도달했을 때 라돈 딸핵종들이 방출하는 알파 방사선의 전체 에너지를 의미하며, 약 1.3×10^5 MeV에 해당하며 SI단위로 환산하면 2.08×10^5 J/m³이다. 그리고 1 MeV는 1.6×10^{-13} J이며 1J은 100 rad·kg이므로, 1일 동안의 흡입량을 20 m³, 폐의 중량을 1 kg 그리고 호흡시 라돈 딸핵종들이 폐에 흡착되는 분율을 25%라고 가정할 때[7], 1WL은 약 0.4 mSv/yr 임을 알 수 있다. Table 3.는 국제 연합 방사선 영향 평가 과학위원회(UNSCEAR)에서 1988년에 여러나라의 라돈과 딸핵종간의 평형인자를 나타낸 것으로, 국제 연합 보고서에 채택한 실내에서의 방사평형인자 대표값은 0.4이다.

전체 방사선 평형인자 F_t 는 라돈의 방사능에 대한 라돈 딸핵종들의 총 방사능의 비율로 나타내면 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$F_t = \frac{1}{C_{Rn}} (0.106 \times C_A + 0.514 \times C_B + 0.39 \times C_C)$$

여기서 C_{Rn} 은 공기 중의 라돈 농도 (pCi/L)이며, $C_{A,B,C}$ 는 공기중의라돈딸핵종의 농도 (pCi/L)이다.

Table 3. The balance factors between radon and daughter in foreign countries

Countries	Range	Average
Canada	0.19~0.67	0.5
Finland	0.3~0.63	0.41
West Germany	0.25~0.65	0.37
Sweden	0.11~0.8	0.44
England	-	0.3
Norway	0.3~0.8	0.5
America	0.26~0.76	0.51

source : UNSCEAR, 1988에서 채택한 대표값

또한 공기 중의 라돈 농도 C_{Rn} 와 전체 방사평형인자 F_t , 그리고 WL(Working Level)은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$WL = F_t \times \frac{C_{Rn}}{100}$$

그리고 1WL의 농도 분위기에서 한 달간의 작업 시간인 170시간(국제방사선방어위원회)동안 누적된 피폭량을

1WLM(Working Level Month)로 정의하였으며, WL과 WLM와의 관계는 아래와 같다.

$$WLM = WL \left(\frac{\text{피폭시간}}{170} \right)$$

WLM의 피폭량 단위는 방사선 작업자의 선량 제한치를 설정하기 위하여 만든 것이며, 방사선 작업자가 작업시간(1주 40시간) 동안 1WL의 농도로 1년간 피폭되었다면, 피폭량은 12 WLM에 해당한다. 여기에 유효선량 당량의 환산인자값 5.4 mSv/WLM를 대입하여 연간 피폭선량을 계산할 수 있다.

3. 측정 장비 및 방법

3.1 라돈 모니터

이 연구에 사용된 라돈 모니터는 SARAD사의 RTM 1688로 실리콘 표면 장벽 검출기 방식의 연속 라돈 모니터로 외부 공기가 측정기 내부로 들어오면 wire screen과 필터를 통하여 분당 0.3리터의 유속으로 외부 공기를 5분간 흡입하도록 되어 있다. 이때 비흡착 딸핵종은 wire screen에 포집되는 반면, 흡착 딸핵종은 필터에 의해 포집된다. 외부 공기를 흡입한 후에 wire screen 및 필터 위의 딸핵종을 실리콘 표면 장벽 검출기로 각각 115분간 측정하도록 되어 있다(Fig 1.).

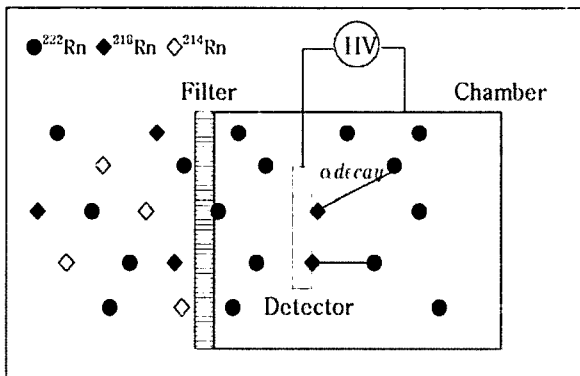


Fig 1. SARAD RTM 1688 측정 시스템 개략도

3.2 테스트 셀 제작

라돈의 발생원이 아닌 물질인 스테인리스로 48L부피의 테스트 셀을 제작하였다.

3.3 실험방법

실내 라돈 농도에 있어서 실외 라돈의 실내유입이 실내 라돈 농도에 어느 정도 미치는지 파악하기 위해 30평형대 아파트 8개 지점의 실내·외 라돈 농도를 비교 측정하였다. 또

한 체적에 따른 실내 라돈 농도의 변화를 보기 위한 방법으로 8개 지점의 각각 체적이 다른 큰 방과 작은 방을 구분지어 24시간동안 사람의 출입을 통제된 상태에서 실험 기간 내내 방문과 방문을 모두 밀폐시키고 측정하였다. 또한 동일한 장소에서 48리터의 체적을 갖는 스테인리스 재질의 테스트 셀 내의 라돈 농도를 비교 측정하였다. 테스트 셀을 사용한 이유는 8개 지점의 실내에 라돈 발생원 중의 하나인 건물 벽에서 측정하는 동안 라돈이 발생되지만, 테스트 셀의 재질이 스테인리스임으로 측정하는 동안 라돈의 발생이 없기 때문에 실내 체적에 대한 라돈 농도를 정확히 알 수 있어 사용하였다. 측정시간은 EPA(미국환경보호청) 측정 기준에 따라 48시간 측정하였으나, 24시간 측정된 라돈 농도 결과와 차이가 없어 24시간 측정하였다.

4. 결과 및 검토

4.1 실내·외 라돈 농도의 비교 분석

Table 4. 는 아파트 베란다와 그곳에 가까운 침실을 조사한 실내 및 실외 공기 중 평균 라돈 농도를 나타낸 것이다. 제일 높은 곳의 실내·외 라돈 농도는 모두 전주시 여의동에 위치한 F지점으로 각각 $188.04 \pm 57.3 \text{ Bq/m}^3$, $14.68 \pm 7.4 \text{ Bq/m}^3$ 으로 높은 라돈 농도가 측정되었고, 실내 공기 중 가장 낮은 라돈 농도를 나타낸 장소는 삼천동에 위치한 E지점에서 $42.5 \pm 20.7 \text{ Bq/m}^3$, 실외 공기 중 가장 낮은 라돈 농도를 나타낸 장소는 서신동에 위치한 A지점에서 $6.98 \pm 3.5 \text{ Bq/m}^3$ 로 조사되었다. 실내 공기질 연구에 있어 실외 오염 물질의 실내 유입이 실내공기에 어느 정도 영향을 미치는지를 파악하고, 이를 통해 각종 실내 발생원으로부터 오염 물질이 실내공기질에 미치는 영향을 정량화하는 것은 중요하며, 이를 위해 사용되는 자료로 실내외비(indoor outdoor ratio)가 이용되고 있다 [8]. 본 연구에서 조사된 실내외 공기 중 라돈 농도 비의 범위는 3.8~12.8로 라돈의 주요 발생원이 토양임을 고려할 때, 실내로 유입된 공기 중 라돈이 일반 대기 환경에 비해 밀폐된 실내 공기 중에 장기간 축적, 잔류함으로써 실내 농도가 실외 농도보다 높게 나타난 것으로 여겨진다.

Table 4. 실내·외 라돈농도

측정지점	Concentration(Bq/m ³)						I/O ratio
	Indoor			Outdoor			
	N	Mean	S.D	N	Mean	S.D	
A	12	47.7	19.0	12	6.9	3.5	6.8
B	12	43.1	11.3	12	10.8	6.1	3.9
C	12	47.5	34.9	12	12.1	4.9	3.9
D	12	63.5	12.4	12	10.7	3.8	6.3
E	12	42.5	20.7	12	10.6	3.6	3.9
F	12	188.0	57.3	12	14.6	7.4	12.8
G	12	74.5	21.1	12	10.3	3.4	3.8
H	12	51.9	15.0	12	10.2	3.4	5.0

4.2 체적에 따른 라돈 농도 비교 분석

4.2.1 체적과 실내 라돈 농도

측정한 8개 지점에서 체적이 다른 각각의 큰 방과 작은 방을 비교 측정하였다. 큰 방의 평균 체적은 31.59 m³ 그리고 작은 방의 평균 체적은 16.82 m³ 이었다. 큰 방의 평균 라돈 농도는 71.73 Bq/m³, 작은 방의 평균 라돈 농도는 108.51 Bq/m³ 로 측정되어 대체로 체적이 큰 방보다 작은 방의 라돈 농도가 높게 나타내었다. 그러나 A와 C, G지점의 경우 체적이 큰 방이 작은 방보다 높은 농도를 나타내었다(Table 5).

4.2.2 표면적과 실내 라돈 농도

측정한 8개 지점에서 표면적에 따른 각각의 큰 방과 작은 방을 비교해 측정하였다. 표면적을 구할 때 창문과 문등을 건물 벽의 표면적에서 뺀 값을 표기하였다. 큰 방의 평균 표면적은 54.59 m² 그리고 작은 방의 평균 표면적은 32.8 m²이었다. 큰 방의 평균 라돈농도는 71.73 Bq/m³, 작은 방의 평균 라

돈농도는 108.51 Bq/m³로 측정되었다. 체적과 같이 표면적 또한 A지점의 큰방과 C, G지점의 큰 방, F지점의 작은 방을 제외한 나머지 측정지점에서 표면적이 작은 방의 실내 라돈 농도가 더 높게 나왔다(Table 6). 8개 지점의 아파트에서 라돈의 주 발생원을 콘크리트벽이라고 한다면 체적과 표면적이 큰 방일수록 높은 농도를 나타내어야 하는데 그렇지 않았다. 이는 실내 라돈 농도 측정에 있어서 고려해야 할 부분으로 사료된다.

4.2.3 표면적에 대한 체적의 실내 라돈농도

측정한 8개 지점의 표면적에 대한 체적의 실내 라돈 농도를 비교 측정하였다. 큰 방의 평균 표면적에 대한 체적은 1.77 m³ 그리고 작은 방의 평균 표면적에 대한 체적은 2.00 m³ 이었다. 큰 방의 평균 라돈농도는 71.73 Bq/m³, 작은 방의 평균 라돈 농도는 108.51 Bq/m³ 로 측정되었다. Table 8.에서 보면 측정한 8개 지점 모두 큰 방과 작은 방의 구분보다 표면적에 대한 체적의 비율이 클수록 실내 라돈 농도가 높게 나타

Table 5. 체적에 따른 실내 라돈 농도

측정지점	큰 방 체적(m ³)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)	작은 방 체적(m ³)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)
A	48	62.57	19.88	47.7
B	27.45	43.19	12.2	112.29
C	18.8	47.54	15.6	14.55
D	32.4	63.56	17.16	167.91
E	36.47	42.5	19.61	124.46
F	18.39	188.04	18.36	250.06
G	33.46	74.58	19.42	39.24
H	34.59	51.91	12.37	111.94
평균	31.19	71.73	16.82	108.51

Table 6. 표면적에 따른 실내 라돈 농도

측정지점	큰 방 표면적(m ²)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)	작은 방 표면적(m ²)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)
A	76.8	62.57	31.4	47.7
B	52.95	43.19	28.79	112.29
C	38.9	47.54	32.0	14.55
D	53.7	63.56	33.88	167.91
E	60.99	42.5	39.17	124.46
F	31.23	188.04	38.03	250.06
G	60.65	74.58	33.43	39.24
H	61.56	51.91	25.70	111.94
평균	54.59	71.73	32.8	108.51

Table 8. 표면적에 대한 체적의 실내 라돈 농도

측정지점	큰 방 표면적/체적(m ⁻¹)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)	작은 방 표면적/체적(m ⁻¹)	실내 라돈 농도(Bq/m ³)
A	1.60	62.57	1.58	47.7
B	1.92	43.19	2.35	112.29
C	2.07	47.54	2.05	14.55
D	1.66	63.56	1.97	167.91
E	1.67	42.5	1.99	124.46
F	1.69	188.04	2.07	250.06
G	1.80	74.58	1.72	39.24
H	1.78	51.91	2.32	111.94
평균	1.77	71.73	2.00	108.51

내었다.

Stranden은 북 유럽의 실험 자료로 건축 재료에 의한 실내 라돈 농도의 최고치와 평균치를 찾아 제시했다. 그의 자료에 의하면 공기 교환률을 0.5 h⁻¹로 하고 F/V¹⁾값을 0.3 m⁻¹에서 2.0 m⁻¹ 사이에서 변한다고 가정하여 라돈농도는 흙벽들에 의해 5~15 Bq/m³, Gypsum 보드에 의해 10~70 Bq/m³, 백반 퇴적암(Alum Shale)으로 만든 콘크리트에 의해 400~700 Bq/m³, 일반 콘크리트에 의해 20~40 Bq/m³ 증가 하는 것으로 추정하였다[9].

4.2 테스트 셀을 이용한 24시간 후의 실내 라돈 농도 측정

큰방과 작은방을 구분지어 실내의 창문과 문등을 모두

밀폐시킨 후 각각 24시간 실내 라돈 측정이 이루어지는 동안 미리 테스트 셀을 넣어두고 24시간 후에 들어가서 테스트 셀을 실리콘으로 밀봉을 시키고 측정을 하였다. 테스트 셀의 재질은 스테인레스로 라듐이 함유되어 있지 않아 라돈을 발산할 수 없다.

Fig. 2은 24시간 밀폐시킨 실내 라돈 농도와 테스트 셀안의 라돈 농도를 비교한 것이다. 거의 일치한 값을 가지게 되는데 이는 라돈이 딸핵종으로 붕괴 할 때 최초 딸핵종인 ²¹⁸Po과 네 번째 딸핵종인 ²¹⁴Po는 라돈과 같이 알파 입자를 방출하며 이들이 테스트 셀 안에서 밀폐된 후 약 3시간에서 4시간 사이에 라돈과 딸핵종들 간에 방사 평형 상태가 됨을 알 수 있다.

4.3 시간대별 실내라돈농도 분석

Fig 3는 8개의 아파트의 큰 방과 작은 방의 각 시간대 별 라돈 농도의 평균 농도를 나타 낸 것으로 실내 라돈 농도의 하루 중 시간에 따른 분포 및 변화를 조사한 결과 오전 8~10시에 일 최고 농도(114.5 Bq/m³)를 나타냈으며, 오후 2~4시에

¹⁾ $C_{Ra,m} = (E/n)(F/V)$ 여기서

$C_{Ra,m}$: 건축자재에 의한 라돈농도 증가, Bq/m³

E: 단위면적당 방사능, Bq/m²h

n: 공기교환률, h⁻¹

F: 방사면적, m²

V: 방의 부피, m³

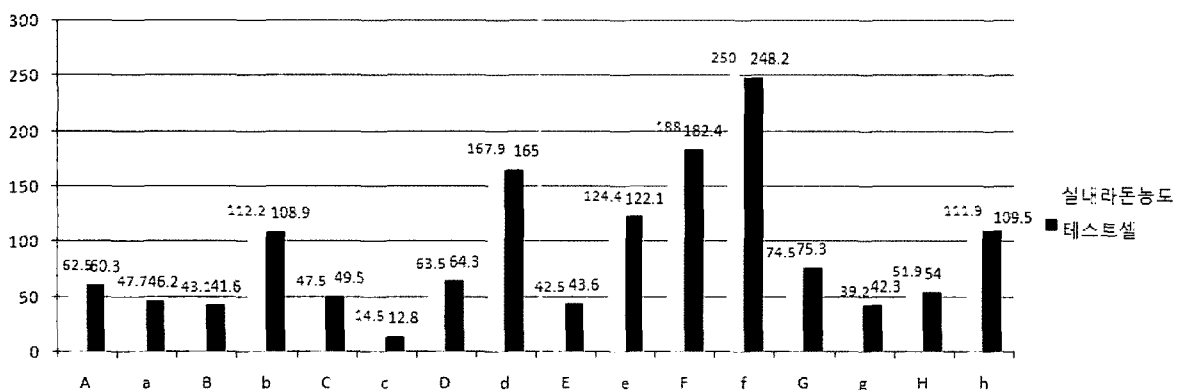


Fig. 2. 실내 라돈 농도와 테스트 셀 농도 (대문자:큰 방, 소문자: 작은 방)

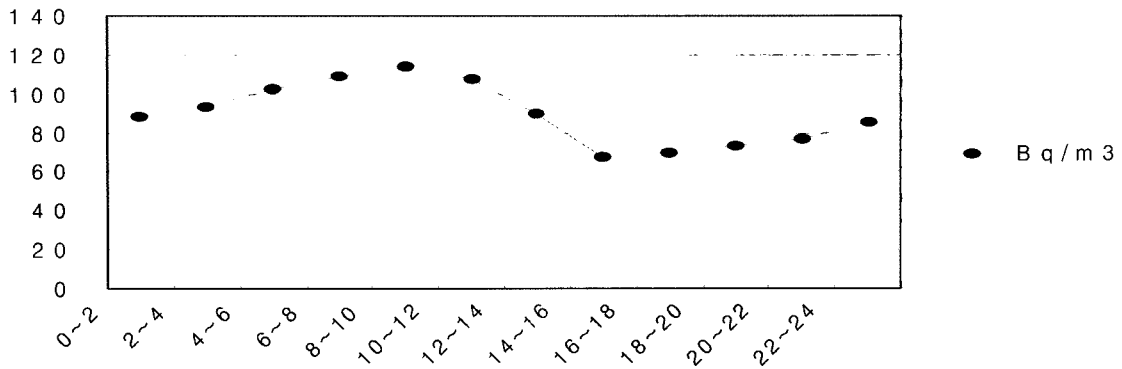


Fig. 3. 시간대별 실내 라돈 농도의 변화

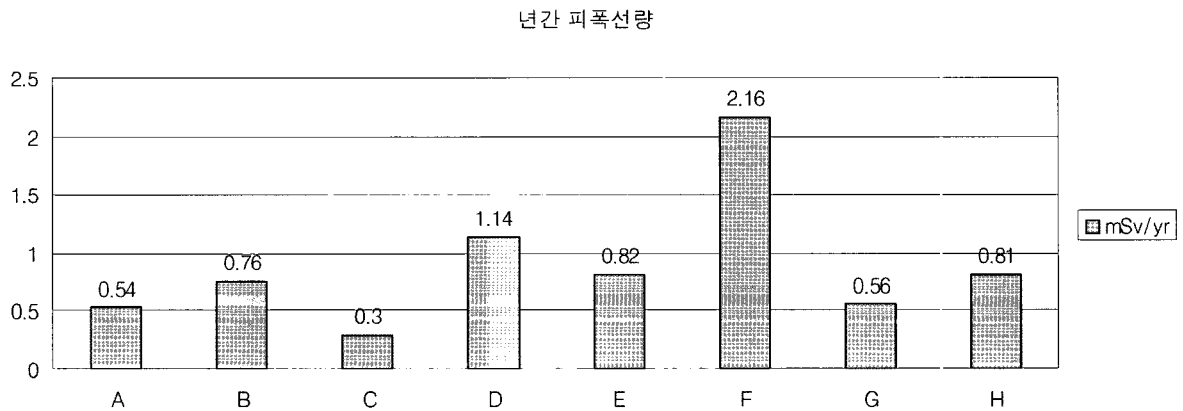


Fig. 4. 아파트별 연간 실내라돈 피폭선량 예측

일 최저 농도(67.7 Bq/m³)를 나타내 하루 중 라돈 농도의 변화는 약 46.8 Bq/m³의 변화를 보이는 것으로 조사되었다. 이러한 관계는 일사에 의한 대기 중 혼합층의 변동으로 설명될 수 있는데, 야간에 지상 부근의 복사 냉각으로 역전층이 발생하여 대기가 안정화됨에 따라 라돈의 수직적 혼합을 감소시켜서 일출 직전까지 라돈의 농도를 증가시키는 것으로 사료되며, 일출에 따른 온도 상승이 역전층을 소멸시키면 대기 확산이 용이해져서 라돈의 농도는 희석되어 오후에 최소 농도가 된 것으로 판단된다[10].

4.4 연간 피폭선량 평가

라돈 딸핵종에 의한 피폭선량을 구하기 위해 가장 많은 수면을 취하는 시간을 0시에서 8시로 보고 8시간 동안 침실을 전제로 하였다.

8개 지점의 피폭선량을 계산한 결과 평균 피폭선량은

0.68 mSv/yr이었고, 최대치는 F지점에서 2.16 mSv/yr, 최소치는 C지점에서 0.3 mSv/yr의 결과가 나왔다(Fig. 3). F지점의 경우 2.16 mSv/yr로 국제 방사선영향과학위원회 보고서에서 보고된 1.3 mSv/yr를 넘는 수치이다.

5. 결론

실외 라돈 농도가 실내 라돈 농도 측정에 영향을 미치는지를 파악한 실내·외 라돈농도 비교 측정 결과, 대기 환경에 비해 밀폐된 실내 공기 중에 장기간 축적, 잔류함으로써 실내 농도가 실외 농도보다 높게 나타난 것으로 여겨진다. 체적에 대한 정확한 측정을 위한 테스트 셀과 밀폐시킨 실내와 비교 분석한 결과 거의 동일한 값을 얻을 수 있었다. 이는 동일 장소에서 밀폐된 24시간 동안의 평균값이 일정함을 알 수 있었

다. 측정된 8개 지점에서 체적이 다른 각각의 큰 방과 작은 방을 비교 측정된 결과 대체로 체적이 큰방보다 작은 방의 라돈 농도가 높게 나타나어 체적과 측정되는 실내 라돈 농도는 반비례 관계임을 알 수 있었다. 그러나 A, C, G지역의 경우는 큰 방의 실내 라돈 농도가 더 높게 나타내었다. 밀폐된 실내 라돈 농도의 주 발생원이 건축 자재임을 감안하여 건물벽의 표면적을 체적으로 나누어 계측해 본 결과 표면적/체적의 비가 클수록 실내 라돈 농도가 큰 평균값을 나타내었다. F지점의 경우는 타 지역에 비해 큰 방과 작은 방의 표면적/체적의 비가 차이가 거의 없음에도 라돈 농도의 평균값이 다르게 측정되었다. 이는 실의 농도의 평균값도 타 지역에 비해 높은 농도를 나타내어 그 지역의 토양이나 건축 재료에 많은 라돈이 함유 되어있는 것으로 추정할 수 있다. 실내 라돈 농도의 하루 중 시간에 따른 분포 및 변화를 조사한 결과 오전 8~10시에 일 최고농도(114.5 Bq/m^3)를 나타냈으며, 오후 2~4시에 일 최저농도(67.7 Bq/m^3)를 나타내 하루에도 수십 Bq/m^3 의 농도 변화를 보이는 것으로 나타났다. 각 측정 지점으로부터 실내 라돈의 연간 피폭선량을 평가해 본 결과 F 지점을 제외한 모든 지점이 UNSCEAR에서 보고한 1.3 mSv/yr 를 넘지 않았다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M2060852001-06B0852-00110).

참고문헌

1. U.N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, source Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1988 Report to the General Assembly with Annexes. United Nations, New York.
2. U.S EPA(Environment protection Agency) A Cityzen's Guide to Radon. EPA. 1992; ANR-464,402-K-92-001.
3. Bethesda, MD. Exposure from the Uranium Series with Emphasis on Radon and Its Daughters. National Council on Radon protection and measurements. 1984;NCRP Report NO. 77
4. 김영준. 서울시내 초등학교에서의 실내 라돈 농도에 관한 조사 연구. 연세대학교 보건대학원 환경공학과 석사학위 논문. 1999.
5. KINS. 국민 방사선 위험도 평가 및 전국 실내 라돈방사능 조사, 전국 실내 라돈 농도 순위조사. 한국원자력기술원. 2001; KINS/GS-246.
6. Bondansky D. Overview of Indoor Radon Problem. in: indoor Radon and its Hazards. University of Washington Press, Seattle and London. 1989.
7. Schildknecht CE. Diallyl and Related Polymers. in: John Wiley son. Encyclodin of Polymer Science and engineering. 1986;4:786-787
8. Yocom JD. Indoor outdoor airquality relationship-A critical review. U.S. EPA. 1992;ANR-464, 4022-k-92-001.
9. Stranden, E. Building Materials as a Source of Indoor Radon and Its Decay Products in door Air. edited by W. W. Nazaroff and A. V. Nero, wiley Interscience 1988;113-130
10. 이동명, 김창규, 노병환, 이승환, 강희동. 대기 중 라돈 딸핵종 농도의 일일 및 계절적 변화와 기상인자가 미치는 영향. 방사선방어학회지 2000;25(4):207-216

A Study on the Correlation between the Volume of Indoor Space and the Measured Concentration of Indoor Radon

Sung A Kang, Donghyun Han and Chong-Yeal Kim
Center for Advanced Radiation Technology, Chonbuk National University

Abstract - The corelation between the indoor volume and the measured radon concentration has been analyzed by comparing the radon concentration and the indoor volume of apartment rooms in Jeonju City. We also measured the annual exposure dose based on the variation in indoor radon concentration over time. To do this, we took 8 larger rooms and 8 smaller rooms of apartment, respectively, as a sample. The average volume of the larger rooms and that of the smaller rooms were 31.59 m^3 and 16.82 m^3 , respectively. The average radon concentration of the larger rooms and that of the smaller rooms turned out to be 71.73 Bq/m^3 and 108.51 Bq/m^3 , respectively. indicating that indoor volume is in inverse proportion to the radon concentration, i.e., the bigger the ratio of the surface area/volume, the higher the indoor radon concentration. From the measurement of the variation in indoor radon concentration over time for a single day, the average intraday radon concentration variation was found to be about 46.8 Bq/m^3 . The highest level of concentration (114.5 Bq/m^3) was measured between 8 and 10 AM and the lowest level of concentration (67.7 Bq/m^3) between 2 and 4 PM. The annual exposure dose turned out to be in the range of 0.3 mSv/yr to 2.16 mSv/yr , showing that the dose in some apartments exceeded 1.3 mSv/yr , the numerical value presented by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR).

Keywords : Indoor radon concentration of apartment, Corelation between volume and radon concentration, Test cell, Annual exposure dose