

국내 실내 라돈농도와 연간 피폭선량 예측에 관한 연구

이 종 대 · 김 윤 신¹ · 손 부 순 · 김 대 선²
순천향대학교 환경보건학과, ¹국립환경과학원 환경역학과, ²한양대학교 환경및산업의학연구소
(2005년 6월 17일 접수; 2006년 3월 17일 채택)

A Study of Radon Concentration in First Floor and Basement and Prediction of Annual Exposure Rate in Korea

Jong-Dae Lee, Yoon-Shin Kim¹, Bu-Soon Son and Dae-Seon Kim²
Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea
¹Environmental Epidemiology Division, NIER, Incheon 404-708, Korea
²Institute of environmental & Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
(Manuscript received 17 June, 2005; accepted 17 March, 2006)

The purpose of this study was to investigate Rn concentration and annual radiation exposure level in the basement and first floor. The Rn Cup monitors were placed in different environments such as shopping stage, office building, Apartment, Hospital, house in Seoul from March 1996 to April 1997 and CR-39 films were collected every two months.

The mean radon concentration in the basement of house(88.6 Bq/m³) showed the highest level among the areas, while radon concentration on the first floor of house(50.5 Bq/m³) showed the higher than other areas. The annual radiation exposure dose that person on the floor / in the basement of differential place in the seoul can be exposed during living was estimated from 24.11 to 87.64 mRem/yr. This radiation dose is significantly lower than 130mRem maximum radiation dosage from the radon nuclide prescribed by the ICRP, with respect to the overall average exposure of the working adult. this study indicated that possible radon sources on the first floor / in the basement areas are radon intrusion from soil gas, construction materials, or ground water leaking. Further study is needed to quantitatively assess major contributions of radon-222 and health effect to radon exposure.

Key Words : Radon, Rn Cup monitors, Annual radiation exposure dose

1. 서 론

현대사회는 산업화, 인구증가, 도시화, 사회 구조의 변화 등으로 인하여 새로운 형태의 문제점들이 제시되고 있다. 그중 실내는 현대 사회인의 생활 중 대부분의 시간을 보내는 장소이며, 이에 따라 최근 실내 공간에서의 공기질 및 이로 인한 인체영향에 대한 관심 증가와 더불어 실내공기오염의 중요성이 부각되고 있다. 실내공기를 오염시키는 요소들로는 외부의 오염물질, 즉 자동차 배기가스, 꽃가루 등 자

연 오염원 등이 실내로 유입되는 경우와 실내 자체에서 발생원이 존재하여 실내를 오염시키는 경우로 나누어 설명할 수 있다. 실내의 공기 중에는 에어로졸 또는 에어로졸 입자라고 불리는 크기가 원자 크기정도($\sim 10^{-13}$)로부터 수백마이크론(μm)까지의 아주 작은 고체 또는 액체상 입자가 존재한다. 실내공기를 오염시키는 요인들 중 흡연, 연소 등과 더불어 에너지의 절감차원에서 건물을 밀폐화 시켜 오염된 공기가 외부의 공기와 희석되지 못하고 계속적으로 오염도를 증가시키고 있으며, 새롭게 개발된 건축자재에서 의외의 오염물질을 방출시켜 실내 거주자들이 급성 혹은 만성적으로 건강을 위협하고 있다. 이러한 실내공기오염물질들 중 가스상 물질인 라돈

Corresponding Author : Bu-Soon Son, Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea
Phone: +82-41-530-1270
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

(^{222}Rn)은 무색, 무취, 불활성의 자연계에 존재하는 자연방사능 물질로서 토양, 모래, 건축자재, 지하수 등에 미량(7.4-7.8 Bq/kg)으로 함유되어 있는 라듐(^{226}Ra)의 α 붕괴 시 생성되며, 반조에너지에 의한 확산이동 및 압력과 온도구배에 의한 대류 이동과정에 의해 지상 또는 실내환경으로 방출된다¹⁾. 일반적인 라돈가스는 불활성이므로 사람이 호흡하더라도 폐에 흡수되지 않고 다시 방출되어 별 문제가 없지만 라돈이 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종을 생성하고 이들이 폐에 흡입되어 방출하는 α 입자들은 폐의 기저세포(basal-cell)에 상해를 주며, 세포를 죽이거나 염색체 손상을 일으킬 수 있다²⁾. 따라서 이러한 방사선으로 인하여 염색체가 손상되면 비정상세포가 재생산되면서 폐암의 발생위험을 높이는 것으로 보고 되고 있고, 폐암의 발생률과 라돈농도는 비례한다고 알려져 있다^{3,4)}. 실내 라돈의 거동은 토양 중 U-283 붕괴계열에서 방출되어 건물과 대기사이의 온도, 압력차이 또는 환기 등에 의하여 실내로 유입되거나, 건축물 바닥의 흙이나 암석의 틈 사이를 통하여 이동하면서 마루 틈, 콘크리트의 균열된 부분, 벽, 하수구 또는 연결부의 틈을 따라 건축물의 실내로 침투한다. 라돈의 낭핵종은 생성당시부터 전하를 띠며 공기 중에 존재하는 여러 형태의 Bio-aerosol에 부착한 형태로 흡입된다. 라돈은 건물의 지반 뿐 아니라 건축자재, 상수, 취사용 천연가스, 등을 통해서도 실내에 들어오지만 일반적으로 약 80%가 지반의 토양으로부터 방출이 주요 노출원 이므로 지상보다는 지하 지반과 가깝고 환기상태가 불량한 지하공간에서 더욱 문제가 될 수 있다⁵⁾. 공기 중 라돈 즉, 라돈의 딸핵종들은 호흡 시 폐의 기도에 침적·부착되어 원자 당 6.00~7.00 MeV의 잠재 α 에너지를 방출함으로 폐의 기저세포의 α 에너지 흡수피폭에 의한 확률적 방사선 상해 효과로 인하여 마지막에는 초과 폐암을 유발할 수 있다는 사실이 동물실험결과 알려져 있다. 라돈은 상대적으로 긴 반감기(3.8일)를 가지기 때문에 충분한 시간동안 공기 중에 머물며 이로 인해 다른 자연 방사성 원소보다 피폭의 기여도가 높다고 알려져 있다⁷⁾. 라돈과 딸핵종의 농도가 높은 지하의 우라늄 광부들에 대한 대대적인 역학조사 결과 일반인들보다 월등히 높았던 폐암 사망원인은 라돈 딸핵종의 누적 피폭에 기인한 것으로 추정되었으며, 라돈 딸핵종의 누적 피폭량과 초과 폐암 발생 간에는 통계학적으로 매우 강한 상관관계가 있는 것으로 평가되었다. 최근 미국 환경보호청은 미국에서 라돈 때문에 사망하는 사람이 매년 약 14,000명(7,000~30,000)에 이를 것으로 추정하고 있으며,⁶⁾ 이것은 대

기오염에 의한 사망위험보다 10배 이상 높은 것으로 예상 하고 있다. 영국의 경우 국립 방사선 방호청은 영국인의 폐암사망건수(1992년 기준) 41,000건 중 약 2,500건이 라돈 자핵종의 누적 피폭에 의한 것으로 예상하고 있다.

현재까지 라돈 등의 자연 방사선 피폭경로는 호흡이 지배적인 것으로 알려져 있고, 이로 인한 일반인의 년 평균 실효선량당량을 1.10 mSv/yr로 총 자연 방사선 피폭선량인 2.40 mSv/yr의 약 46%에 이른다고 알려져 있다⁸⁾. 우리나라에서는 주택 내에서 발생한 라돈에 의한 피해사례가 보고 된 적은 없지만 확실한 피해(폐암발생 및 사망 수)를 근거로 1987년 우리나라 폐암사망자수 3,578명 중 약 3.8-15.4%에 해당하는 약 128-551명에 이를 것이라 추정된다고 보고한 바 있다⁹⁾.

따라서 본 연구는 과거 96년부터 97년에 걸쳐 서울에 소재한 여러 건물의 용도별, 지상 및 지하의 라돈 농도를 이용하여 연간 피폭선량을 예측하여 라돈에 의한 인체영향 및 관리와 예방대책에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구대상 및 연구방법

2.1. 연구대상 및 연구기간

본 연구는 1996년 2월부터 1997년 4월까지 총 15개월 동안 2개월씩 연속으로 서울 위치한 건물 중 지하공간이 있는 건물을 대상으로 지상 및 지하에서 라돈 농도를 조사하였다. 측정지점은 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트 등을 대상으로 실시하였고, 본 연구에서 실내 라돈의 측정은 Rn Cup Monitor를 이용하였다. 지하는 모든 지점에서 지하 1층으로 하였고, 지상은 아파트를 제외하고 3층 이내로 비교적 저층을 선정하였다. 측정지점의 특성은 표 1과 같다.

2.2. 측정 장치의 특성 및 방법

본 연구에 사용된 Rn Cup Monitor는 passive monitor(그림 1)로 확산 방식으로 라돈가스가 교환된다. 본 측정기기의 장점은 경제적이며 취급과 설치 용이하고 측정기간의 변동에 따른 변화가 용이하다. 라돈의 측정원리는 측정기 내부에 유입된 공기 중 라돈의 α 붕괴로 인해 생성된 ^{218}Po 원자들의 대부분은 양성으로 전하되며 기기의 전극에 정전기적으로 포집 된다¹³⁾. 양성으로 전하된 ^{218}Po 원자의 정전기적 포집은 대기 중 습도에 의존하기 때문에 P_2O_5 를 이용하여 흡인공기중의 습도를 제거하였으며, 포집된 ^{218}Po 원자의 방사 붕괴로 인해 방출되는 α 입자가 CR-39 film에 입사하여 생긴 비적수를 판독하여 라돈의 농도를 정량화하는 방식으로 이 측정기의 검출한계는 0.4 Bq/m³로 논증되었다¹²⁾.

Table 1. Characteristics of sapling site

Locations	Indoor Area		Above ground		Construction (year)	Material
	Weight (m ²)	Floor	Weight (m ²)	Floor		
Shoppinge store	30	1	15	3	1989	Concrete, Brick
Office building	70	1	120	2	1988	Concrete
Apartment	25	1	30	8	1992	Concrete
Hospital	100	1	80	3	1973	Concrete
House	50	1	10	1	1985	Concrete, Brick

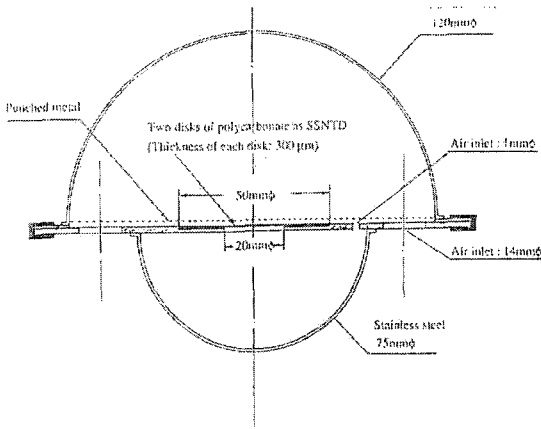


Fig. 1. The Schematic diagram of Passive Radon Cup Monitor.

라돈의 정량화 식 1과 같다.

$$Q = \frac{N - BA}{CFAT} \quad \text{식 1}$$

- Q ; 라돈의 평균 농도(Bq/m³)
- N ; field A에 계산된 트랙 밀도 수
- B ; 배경트랙 밀도
- A ; cm² 당 계산된 면적 수
- CF ; 트랙/cm²의 calibration factor
- T ; 노출시간(h⁻¹)

2.3. 분석방법

본 연구에 사용한 비적검출기인 CR-39 Detector는 카보네이트의 고체 비적검출기이며 Diethyleneglycol bis(ally carbonate) 단량체를 중합시킨 것이다. CR-39는 α 입자에 민감한 것으로 알려져 있고 Photon (빛, X선, α선)이나 Electron에 영향을 받지 않으므로 α 입자 비적검출기로서 가장 적당한 것으로 알려져 있다. 또한 열경화성 플라스틱이며 비교적 높은 감도와 분해능을 갖고 있다. CR-39 구조에서 말단에 위치한 알킬기의 이중결합에 의하여 중합이 이루어지며 중합체에 하전입자를 조사시키면 카보네이트가 분해 되어 래디칼을 생성하며 CO 혹은 CO₂가 발생한다. 이때 생성된 래디칼은 물이나 산소등에 의하여 수산화물로 변환되며 결과적으로 방사선과 작용한 부분에서 가수분해 속도는 증가하여 비적이 생성된다. 비적이 생성된 CR-39는 최적부식조건(70℃, 6.2 KOH, 4.5hrs)에서 Etching시킨 다음 흐르는 물에 3시간 이상 세척하고 다시 증류수로 세척하여 광학현미경을 사용하여 비적수를 계산하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1. 지상 및 지하의 라돈 농도

1996년 2월부터 1997년 4월 까지 2개월씩 연속 측정된 결과는 표 2, 그림 2 에서 보는바와 같다. 지상에서 라돈의 농도는 일반 가정집이 50.5 Bq/m³로

Table 2. Mean of the basement ²²²Rn concentration

Locations	Mean ²²² Rn concentration(Bq/m ³)						Basement/First floor ratio
	Basement			First floor			
	N	Mean	S.D	N	Mean	S.D	
Shoppinge store	8	31.6	± 10.2	8	28.2	± 8.3	1.1
Office building	8	53.2	± 24.8	8	32.2	± 6.2	1.7
Apartment	8	24.4	± 6.9	8	34.5	± 8.5	0.7
Hospital	8	29.4	± 6.5	8	28.6	± 7.4	1.0
House	8	88.6	± 50.3	8	50.5	± 61.2	1.8

N : Number of samples
S.D : Standard Deviation

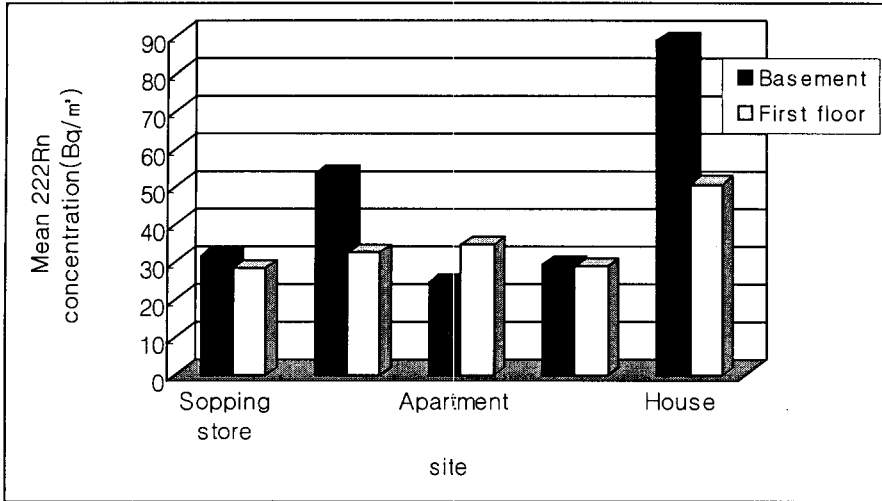


Fig. 2. Distribution of ²²²Rn concentration(Bq/m³) in basement and first floor.

가장 높은 것으로 나타났으나 이는 1차 측정치가 가정집의 경우 156.5 Bq/m³로 조사되었으며, 이는 1차 측정 시 지하수의 유출로 인해 라돈의 농도가 급격하게 높아진 것으로 생각된다. 가정집의 경우를 제외하면 아파트가 34.5 Bq/m³로 가장 높게 조사되었으며, 쇼핑센터가 28.2 Bq/m³로 가장 낮게 나타났다. 라돈의 지상 농도는 측정 장소별 농도 분포는 지하수 유출이 있었던 가정집을 제외하면 아파트가 65.4~18.5 Bq/m³로 변화의 폭이 가장 크게 나타났으며, 사무실의 경우가 23.2~38.6 Bq/m³로 상대적으로 변화폭이 안정하게 나타났다. 또한 라돈의 지상농도는 계절에 따른 변화를 보이지 않았다. 지하의 라돈 농도를 조사한 결과 지상의 측정과 마찬가지로 1차 가정집의 측정을 제외하면 전반적으로 사무실이 53.2 Bq/m³로 가장 높은 것으로 나타났으며 아파트가 24.4 Bq/m³로 가장 낮게 나타났다. 지하의 라돈 농도분포는 지상보다는 상대적으로 변화를 많이 보였다. 가정집의 1차 측정을 제외하고는 사무실의 농도 분포가 73.4 Bq/m³에서 12.1 Bq/m³로 변화의 폭이 가장 크게 나타났으며, 라돈의 지하농도도 지상 농도와 같이 계절에 따른 변화를 보이지 않았다.

각각의 측정지점별로 라돈 농도의 지상과 지하를 알아보기 위하여 지하/지상 비(Basement/First floor ratio)를 조사한 결과 아파트를 제외한 전 측정지점에서 지하의 농도가 지상의 농도보다 높게 나타났다. 가정집에서의 지상의 농도가 50.5 Bq/m³인데 반해서 지하의 88.6 Bq/m³로 나타나 지상/지하의 농도 비가 1.8로 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 라돈의 오염원이 지하를 이루는 물질이고, 환기의 상태에 따라 오염도가 증가함을 설명한다고 할 수 있다.

3.2. 실내 거주자들의 연간 피폭선량 예측

실내 라돈자핵종에 의한 피폭선량을 예측하기 위해 Rn Cup Monitor에 의해 얻어진 라돈의 지상 및 지하의 농도에 따라 연간 피폭선량을 구하기 위해 현재의 노동법에 의해 1일 8시간을 각각의 장소에서 근무한다고 가정하여 연간 피폭선량을 예측하였다. 피폭선량 예측을 위한 방사 평형 인자(F)값 0.4를 이용¹⁰⁾하여 WL(Working Level : 공기 중 라돈 농도가 100 pCi/l 이 때 라돈 및 자핵종들이 방사 평형에 도달했을 때 방출하는 α 방사선 전체 에너지)을 구한다.

$$WL = Ft \times \frac{C_{Rn}}{100} \quad \text{식 2}$$

$$Ft = 0.4$$

$$C_{Rn} = \text{공기 중 전체 평균라돈농도(pCi/l)}$$

그리고 식 2에서 계산된 WL의 농도에서 한 달간 작업시간이 170시간(국제 방사선 방어 위원회) 누적된 피폭량을 WLM(Working Level Month)으로 환산한다. exposure time은 설문 조사를 통해 조사된 거주 시간을 최소 10시간부터 최대 16시간을 적용하여 WLM을 계산한다.

$$WLM = WL \times \frac{\text{exposure time}}{100} \quad \text{식 3}$$

위에서 계산된 WLM 값을 연간 누적 피폭선량인 WLM/yr로 환산한 후,

$$WLM/yr = WLM \times 12 \text{Months/yr} \quad \text{식 4}$$

전신에 대한 유효 선량당량 환산 인자 값인 540

Table 3. Annual exposure during the working in the Basement

Locations	Basement		
	Average Rn Concentration		Exposure assessment of Rn-222(mRem/yr) (8 hr)
	Bq/m ³	pCi/ℓ	
Shopping store	31.6	0.854	31.25
Office building	53.2	1.438	52.62
Apartment	24.4	0.659	24.11
Hospital	29.4	0.795	29.09
House	88.6	2.395	87.64

mRem/WLM을 대입하여 실내 연간 피폭선량을 예측하였다.

$$mRem/yr = \frac{WLM}{yr} \times \frac{540mRem}{WLM} \quad \text{식 5}$$

3.2.1. 지하 거주자들의 연간 피폭선량 예측

위의 식을 이용하여 지하 거주자들의 연간 피폭선량을 예측하면 표 3, 그림 3과 같다. 가정집에서 예측된 연간 피폭선량이 87.64 mRem/yr으로 가장 높았으며, 사무실(52.62 mRem/yr), 쇼핑센터(31.25 mRem/yr), 병원(29.09 mRem/yr), 아파트(24.11 mRem/yr) 순으로 예측되었다.

3.2.2. 지상 거주자들의 연간 피폭선량 예측

조사된 라돈의 농도를 이용해 지상 거주자들의 연간 피폭선량을 계산한 결과는 표 4와 같다. 가정집의 경우가 49.44 mRem/yr로 가장 높게 예측되었으며, 아파트(34.10 mRem/yr), 사무실(31.84 mRem/yr), 병원(28.29 mRem/yr), 쇼핑센터(27.88 mRem/yr)

yr) 순으로 조사 되었다. 이와 같은 결과는 아파트를 제외하고 모든 측정점에서 지하의 라돈 농도가 높게 조사되어 연간 피폭선량의 예측값도 지하가 지상보다 높게 예측되었다.

본 연구에서 예측된 라돈 및 라돈 자핵종에 의해 실내에서 거주하는 시간(8 hr)동안 피폭 될 수 있는 연간 피폭선량은 아파트를 제외하고 모든 측정점에서 지하의 연간 피폭선량이 높게 예측되었으며, 라돈의 오염원이 지각을 이루는 물질이고, 환기의 상태에 상대적으로 불량한 지하에서 라돈의 농도가 높은 점에 따라 피폭선량도 높아짐을 설명한다고 할 수 있다. 본 연구결과 연간 피폭선량이 가장 높았던 가정집의 지하 경우가 87.64 mRem/yr로 예측되어 이와 같은 수치는 인류의 연간 자연 방사선 피폭선량인 240 mRem/yr(2.4 mSv/yr) 중 46% 정도인 110 mRem/yr(1.1 mSv/yr) 가 라돈 및 라돈 자핵종에 의한 것이라고 보고 된 자료¹¹⁾에 많이 못 미치는 수치이며 또한, 국제 방사선 방어 위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서

Table 4. Annual exposure during the working in the First floor

Locations	First floor		
	Average Rn Concentration		Exposure assessment of Rn-222(mRem/yr) (8 hr)
	Bq/m ³	pCi/ℓ	
Shopping store	28.2	0.762	27.88
Office building	32.2	0.870	31.84
Apartment	34.5	0.932	34.10
Hospital	28.6	0.773	28.29
House	50.5	1.351	49.44

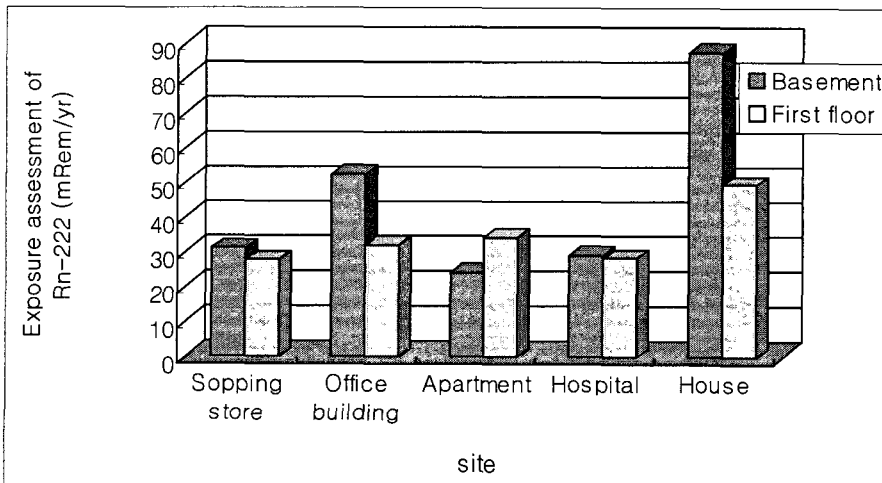


Fig. 3. Comparisons of exposure assessment of Rn-222 (mRem/yr) in basement vs. first floor.

정하고 있는 일반 표준 성인의 연간 전체시간에 대한 라돈 자핵종의 피폭허용치인 130 mRem보다 낮은 값이다. 그러나 이와 같은 수치는 하루 24 중 최대 8시간에 대한 라돈 및 라돈 자핵종의 피폭선량이므로 나머지 시간에 대한 충분한 고려가 필요할 것이라 생각된다. 비록 위의 예측치가 국제기준에는 미치지 못하는 수치를 나타냈지만 이 같은 수치가 절대적으로 안전한 수치라고 규정할 수 없고, 실내 오염물질들의 건강영향이 대한 관심이 증가하고 있음을 감안하면 라돈의 건강영향에 대한 연구도 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 1996년 2월부터 1997년 4월까지 총 15개월 동안 2개월씩 연속으로 서울 위치한 건물(쇼핑센터, 사무실, 아파트, 병원, 가정집)을 대상으로 지상 및 지하에서 CR-39 film을 장착한 Rn Cup Monitor를 이용하여 라돈 농도를 조사하고, 조사된 라돈 농도를 이용하여 거주자들의 연간 피폭선량을 예측한 결과는 다음과 같다.

1) 지상의 라돈 농도는 가정집(50.5 Bq/m³)이 가장 높게 조사되었으며, 아파트(34.5 Bq/m³), 사무실(32.2Bq/m³), 병원(28.6 Bq/m³), 쇼핑센터(28.2 Bq/m³)순으로 나타났으며, 지하의 결과는 가정집(88.6 Bq/m³), 사무실(53.2 Bq/m³), 쇼핑센터(31.6 Bq/m³), 병원(29.4 Bq/m³), 아파트(24.4 Bq/m³) 순으로 조사되었다. 이러한 수치는 미국환경보호청(U.S EPA)에서 권고하고 있는 실내 라돈 권고치(Action level)인 148 Bq/m³(4 pCi/ℓ)에 비해 낮은 수준을 나타내는 것으로 조사되었다.

2) 지하/지상 비(Basement/First floor ratio)를 조사한 결과 아파트를 제외한 전 측정지점에서 지하의 농도가 지상의 농도보다 높게 나타났다. 일반적으로 창문을 열어두면 풍속이 3%일 경우 시간당 10~30m³의 공기가 교환이 되고 이는 정상 시간당 공기치환율의 2~3배이고 이로써 라돈의 농도가 50~70%가량 감소된다¹²⁾는 보고가 있는 점을 미루어 볼 때 이와 같은 결과는 상대적으로 지상보다 환기율이 불량한 지하의 경우가 라돈의 농도 증가에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

3) 조사된 라돈의 농도를 이용해 지상 거주자들의 연간 피폭선량을 계산한 결과 가정집(49.44 mRem/yr), 아파트(34.10 mRem/yr), 사무실(31.84 mRem/yr), 병원(28.29 mRem/yr), 쇼핑센터(27.88 mRem/yr) 순으로 조사되었고, 지하 거주자의 연간 피폭선량 예측값은 가정집(87.64 mRem/yr), 사무실(52.62 mRem/yr), 쇼핑센터(31.25 mRem/yr), 병원

(29.09 mRem/yr), 아파트(24.11 mRem/yr) 순으로 예측되었다. 이와 같은 결과는 국제 방사선 방어 위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 정하고 있는 일반 표준 성인의 연간 전체시간에 대한 라돈 자핵종의 피폭허용치인 130 mRem보다 낮은 값이나 하루 중 8시간에 대한 피폭선량 값으로 나머지 시간에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구결과 지상 및 지하에서의 라돈 농도는 미국환경보호청(U.S EPA)에서 권고하고 있는 실내 라돈 권고치(Action level)인 148 Bq/m³(4 pCi/ℓ)에 비해 낮은 수준을 나타내는 것으로 조사되었고, 연간 피폭선량도 국제 방사선 방어 위원회에서 정하고 있는 130 mRem 보다 낮게 조사되었지만, 폐암의 주요 원인 물질로 알려져 있고, 현대사회가 점점 실내에서 생활하는 시간이 증가하고 있다는 점을 미루어 볼 때 실내 라돈의 거동 및 인체영향은 지속적으로 연구되어야 할 과제라고 생각한다. 더불어 라돈 인체영향에 대한 국가 정책차원의 Data 수집을 위한 지원도 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) United Nations, 1998, Sources Effects and risk of ionizing radiations, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 report to the General Assembly, with Annexes. United Nations, New York, 1240pp.
- 2) 서울특별시 지하철공사, 1998, 서울시 지하철 환경개선 방안 연구, 287pp.
- 3) OECD/NEA, 1983, Dosimetry Aspects of Exposure to Radon and Thron Daughter Products, Report by a Group of Experts, OECD/NEA, Paris, 2212pp.
- 4) ICRP, 1987, Lung cancer risk from indoor exposure to Radon and Radon daughter, ICRP pub. 50, Annals at the ICRP, 17, 1pp.
- 5) ICRP, 1991, Recommendations of the International Commission on Radioloical Protection. ICRP Publication 60. Annals of ICRP 21, 13pp.
- 6) U. S. EPA, 1992, A citizen's guide to radon, U. S. EPA, ANR-464, 4022-K-92-001.
- 7) Jamil, K. and K. K. Al-Ahmady, 1997, Relative Performance of different types of passive dosimeters employing solid state nuclear track detectors. Health Phys, 73(4), 629-632pp.
- 8) U. N. Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, 1998, Source Effect and

국내 실내 라돈농도와 연간 피폭선량 예측에 관한 연구

- Risks of Ionizing Radiation, 1988 Report to the General Assembly with Annexes, United Nations, New York, 823pp.
- 9) 김윤신, 1991, 원전주변 주택의 실내외 라돈농도에 관한 연구, 대한보건협회지, 17(2), 60-66.
 - 10) USDOS, 1987, Radon Research Program : FY-1987, DOE/EV/01013-HI, Washington D. C., 725pp.
 - 11) U. N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1998, Source Effects and Risks of Ionizing Radiation, 1988 Report to the General Assembly with Annexes, United Nations, New York, 2123pp.
 - 12) Goran, P., 1994, Residential radon exposure and lung cancer in Sweden, The New England of Medicine, 330(30), 695-700.