

## Alpha Track Detector를 이용한 실내외 라돈 농도조사에 관한 연구

김윤신 · 이철민<sup>†</sup> · 김현탁 · Takao Iida\*

한양대학교 환경 및 산업의학연구소, \*일본 나고야대학 원자핵공학과

## A Survey of Indoor and Outdoor Radon Concentrations by Alpha Track Detector in Korea

Yoon Shin Kim · Cheol Min Lee<sup>†</sup> · Hyun Tak Kim · Takao Iida\*

*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University*

*\*Department of Nuclear Engineering, Nagoya University*

(Received September 13, 2002; Accepted November 28, 2002)

### ABSTRACT

A survey of radon concentrations in both indoor and outdoor atmospheres was carried out using EIRM and Cup Monitor for the period of February 1996 to March 1997. EIRM were used to measure the indoor and outdoor radon concentration at five major cities university. Cup Monitor were also used to measure the indoor radon concentrations at shopping store, office building, apartment, hospital and house in Seoul. The mean indoor and outdoor radon concentrations at the five major cities(Seoul, Daegu, Daejeon, Gwangju and Busan) were 24.1 Bq/m<sup>3</sup> and 8.62 Bq/m<sup>3</sup>, respectively. The ratio of indoor to outdoor radon concentrations ranged from 1.7 to 3.9. Inspection of its seasonal distribute pattern indicates the enhancement during winter relative to summer, consistently for both indoor and outdoor air. The results of the survey showed that the concentrations in basements were clearly higher than those in usual living/working places.

**Keywords :** Radon, EIRM, Cup Monitor, Indoor, Outdoor, Basement

### I. 서 론

최근에 라돈과 그 붕괴 생성물이 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 라돈(<sup>222</sup>Rn)은 무색, 무취, 불활성의 자연계에 널리 존재하는 자연방사능 가스로 지각 중의 토양, 모래, 암석, 광물질 및 이들을 재료로 하는 건축자재 등에 미량(7.4~74 Bq/Kg)으로 함유되어 있는 라듐(<sup>226</sup>Ra)의  $\alpha$  붕괴시 생성되며, 반조 에너지에 의한 확산이동 및 압력과 온도구배에 의한 대류이동과정에 의해 지상 또는 실내환경으로 방출된다.<sup>1)</sup> 방출된 라돈은 다른 물질과 화학적으로 결합 또는 부착하지 않는 불활성 가스이며 상대적으로 긴 반감기( $T_{1/2} = 3.82$ 일)를 갖고 있기 때문에 충분한 시간 동안 공기 중에 머물러 있으므로 다른 자연방사선원에 비하여 라돈과 라돈 자손에 의한 일반인의 자연방사선 피

폭 기여도가 가장 높다.<sup>2)</sup>

라돈의 붕괴과정에서 생성되는 라돈 자손(<sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Po)은 호흡을 통해 흡입하게 되면 폐에 흡착하여 붕괴하면서 방출되는  $\alpha$  에너지를 주변 조직에 부여함으로써 장기적으로 폐암을 유발할 수 있는 생물학적 손상을 야기한다.<sup>1,3,4)</sup>

선진외국에서는 1910년대 이후로 라돈에 관한 방사능 연구 및 물리화학적 연구가 수행된 이후 거주환경에서 라돈과 폐암과의 관계 규명을 위한 연구가 수행되어졌으며, 연구 결과는 높은 위해도를 나타냈다. 1980년대 중반부터 환경적인 측면에서 실내환경 내 라돈방사능 문제가 대두되었고, 미국을 비롯한 유럽의 선진국들은 국가적 차원의 연구를 시작하여 라돈을 자연방사선 방어대상물질로 규정해 놓은 상태이다. 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서는 'A Citizen's Guide to Radon (Second Edition)'을 편찬하여 일반인에게 라돈의 위험성을 적극 홍보하고 있으며, 각 주정부에서는 실내 라돈 농도에 관한 측정용 의무화하여 주택 거래시 라돈 보증서를 첨부하는 등 라돈에 대한 규제를 강화하고 있

<sup>†</sup>Corresponding author : Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University  
Tel: 82-2290-1510, Fax: 82-2299-3915  
E-mail : spica@ihanyang.ac.kr

는 실정이다. 또한 라돈 피폭에 기인한 건강상의 위험을 인식하여 주택을 비롯한 여러 생활공간의 실내 및 음용수 중의 라돈 농도에 대한 대규모적인 측정을 수행한 결과 상당수의 주택이 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 권고치(action level)로 제시하고 있는 실내공기중  $148 \text{ Bq/m}^3$ ( $4 \text{ pCi/L}$ )와 음용수 중의  $11.1 \text{ KBq/m}^3$ 을 초과하고 있는 것으로 보고한 바 있다.<sup>5)</sup>

이에 반하여 국내의 경우 라돈에 관한 환경적 측면에서의 연구는 일부 주택내 라돈 농도에 관한 조사연구,<sup>6)</sup> 원전주변 주택의 실내외 라돈 농도에 관한 조사연구,<sup>7)</sup> 서울시 지하철역내의 라돈 농도 분포 및 저감대책<sup>8)</sup> 등 수 편에 불과하며, 장기적이고 체계화된 학술적 연구와 라돈의 측정법 및 분석법에 대한 연구는 활발히 수행되지 않는 실정이다. 이에 본 논문에서는 일본 나고야대학의 Iida<sup>11)</sup> 등에 의해 개발된 Electrostatic Integrating Radon Monitor(이하 EIRM)와 Passive Radon Cup Monitor(이하 Cup Monitor)를 소개하고, 이를 이용하여 조사된 전국 주요 5개 도시 즉, 서울, 대구, 대전, 광주, 부산에 위치한 각 도시의 대학교(한양대학교, 영남대학교, 충남대학교, 조선대학교, 동아대학교)내 환경공학과 실험실의 실내·외 라돈 농도 분포와 서울에 위치한 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트의 실내·외 라돈 농도분포 및 지상·하의 라돈 농도분포를 제시함으로써 향후 국내 환경적 측면에서의 라돈 관련 연구에 있어 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. 측정장치 및 연구방법

### 1. 측정장치

Fig. 1은 EIRM의 모형을 도식화하여 나타낸 것으로 Iida<sup>11)</sup>에 의해 개발된 이후, 현재 EIRM(Model:Aloka

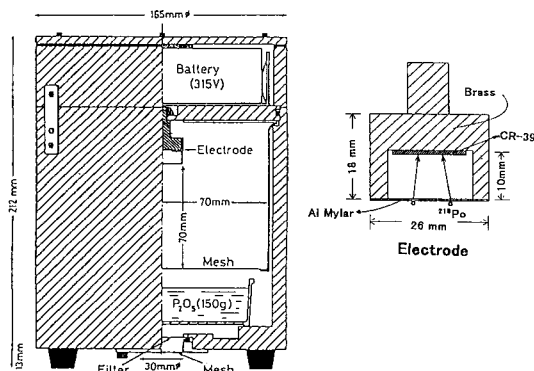


Fig. 1. A schematic diagram of Electrostatic Integrating Radon Monitor(EIRM).

GS-201)이라는 기기명으로 일본에서 상업적으로 개발되어 사용되고 있다. 이 모니터는 약 2.36 L정도 부피의 단순한 모형으로 되어있으며, 조작성이 용이하다. EIRM 하단의 직경 30 mm 구멍 상단에 설치된 필터(membrane filter)를 통하여 확산 방식으로 라돈 가스가 교환된다. 이때의 교환율은  $0.67 \text{ h}^{-1}$ 이다.<sup>9)</sup> 라돈의  $\alpha$  붕괴로 인해 생성된  $^{218}\text{Po}$  원자들의 대부분은 양성으로 전하되며,<sup>10)</sup> 전극(electrode)에 포집된다. 양성으로 전하된  $^{218}\text{Po}$  원자의 정전기적 포집은 대기 중 습도에 의존하기 때문에  $\text{P}_2\text{O}_5$ (Phosphorus Pentoxide)를 이용하여 흡입공기중의 습도를 제거하였다. 포집된  $^{218}\text{Po}$  원자의 방사 붕괴로 인해 방출되는  $\alpha$  입자가 CR-39 film에 입사하여 생긴 비적의 수를 관독하여 라돈 농도를 정량화 할 수 있으며, 검출한계는  $0.4 \text{ Bq/m}^3$ 으로 논증되었다. 라돈 농도의 정량화식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{N - BA}{CFAT}$$

여기서  $Q$ 는 라돈의 평균농도( $\text{Bq/m}^3$ ),  $N$ 은 field A에 계산된 트랙 밀도 수,  $B$ 는 배경트랙 밀도( $\text{cm}^{-2}$ ),  $A$ 는 밀도당 계산된 지역,  $CF$ 는 트랙/ $\text{cm}^2$ 의 calibration factor,  $T$ 는 노출시간( $\text{h}^{-1}$ )을 각각 나타낸다.<sup>9)</sup>

Fig. 2는 Cup Monitor의 모형을 도식화하여 나타낸 것으로 Iida<sup>11)</sup>에 의해 개발되었다. 구조는 바닥 중앙에 CR-39 film을 설치하는 내부직경이 16 mm의 원형창이 있는 반경 50 mm의 stainless steel로 된 반구 모형으로 바닥은 aluminum 판으로 되어 있다.<sup>11)</sup> 바닥 중앙에서 좀 떨어진 곳에 직경 5 mm의 개방된 작은 구멍이 있으며, 이 구멍은 라돈 교환율을 고려하여 결정되었다. 또한 CR-39 film이 전기적으로 전하되는 것을 막기 위해서  $6 \mu\text{m}$ 의 얇은 aluminum mylar foil을 설치하였다. Cup Monitor의 검출한계는 많은 실험결과  $2.3 \text{ Bq/m}^3$ 으로 나타났다.<sup>9)</sup> Cup Monitor 분석법은 EIRM의 분석법과 동일하다.

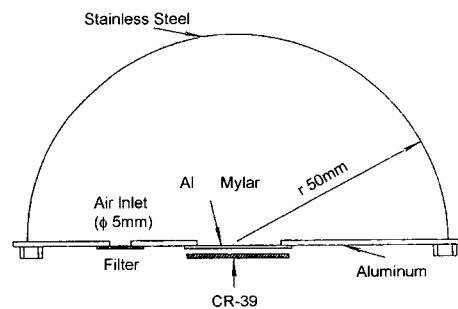


Fig. 2. A schematic diagram of Passive Radon Cup Monitor.

**Table 1.** Comparison of instrumental condition for EIRM and Cup Monitor

	Measurement form	Principle	Sampling time	Detection limit
EIRM	passive integrate	alpha track detector	2 month	0.4 Bq/m <sup>3</sup> /60 day
Cup monitor	passive integrate	alpha track detector	2 month	2.3 Bq/m <sup>3</sup> /60 day

Table 1은 각각의 라돈 측정기에 대한 특성을 비교해서 나타낸 것이다. EIRM과 Cup Monitor는 수동 적분형 검출기로 라돈 자손의 비적수를 이용하여 라돈 농도를 측정하는 장치이다. EIRM은 건전지를 이용하여 315V의 전압에 의해 라돈 자손을 정전기적으로 포집함으로써 CR-39 film에 생성된 비적수를 이용하여 라돈 농도를 정량화하며, Cup Monitor는 자연환기에 의한 라돈 자손에 의해 CR-39 film에 생성된 비적수를 이용하여 라돈 농도를 정량화 한다.

## 2. 연구방법

전국의 주요 5개 도시에 위치한 대학교 즉, 서울 한

양대학교, 대구 영남대학교, 대전 충남대학교, 광주 조선대학교, 부산 동아대학교의 환경공학과 실험실(4-6층) 실내 및 실외에 EIRM을 설치하여 1996년 2월부터 1997년 3월까지 1년간에 걸쳐 2개월씩 각 지역의 실내·외 공기 중 라돈 농도를 조사하였으며, 또한 서울에 위치한 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트를 대상으로 지상과 지하에 각각 Cup Monitor를 설치하여 1996년 2월부터 1997년 4월까지 1년간에 걸쳐 2개월씩 각 지점의 실내 라돈 농도를 조사하였다.

Table 2와 Table 3은 본 연구의 조사대상건물의 특성을 나타낸 것이다.

## III. 결과 및 고찰

Table 4는 1996년 2월부터 1997년 3월까지 주요 5개 도시에 위치한 각 측정대상 시설물에서 조사된 실내 및 실외 공기 중 평균 라돈 농도를 나타낸 것이다. 실내 공기 중 가장 높은 라돈 농도를 나타낸 장소는 대전에 위치한 충남대학교에서 37.6±5.4 Bq/m<sup>3</sup>, 실외 공기 중 가장 높은 라돈 농도를 나타낸 장소는 광주에 위치한 조선대학교에서 10.7±1.5 Bq/m<sup>3</sup>로 조사되었

**Table 2.** Characteristics of five sampling sites in selected for the measurement by EIRM in five cities

City	Indoor area (m <sup>2</sup> )	Measurement floor	Construction (year)	Materials
Seoul	10×3	5	1968	concrete, brick
Taegu	5×6	4	1992	concrete, brick
Taejon	6×7	5	1992	concrete, brick
Kwangju	15×10	4	1996	concrete, brick
Pusan	5×5	6	1990	concrete

**Table 3.** Characteristics of five sampling sites in selected for measurement by Cup Monitor

Locations	Basement		Above ground		Materials (Construction year)
	Area (m <sup>3</sup> )	Measurement floor	Area (m <sup>3</sup> )	Measurement floor	
Shopping store	30	1	15	3	concrete, brick(1989)
Office building	70	1	120	2	concrete(1988)
Apartment	25	1	30	8	concrete(1992)
Hospital	100	1	8	3	concrete(1973)
House	50	1	10	1	concrete, brick(1985)

**Table 4.** The mean indoor and outdoor radon concentrations measured by EIRM during February 1996 to March 1997

City	Concentration(Bq/m <sup>3</sup> )						I/O ratio
	Indoor			Outdoor			
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	
Seoul	6	29.0	12.3	6	7.5	3.5	3.9
Daegu	4	19.8	12.9	4	8.1	5.1	2.4
Daejon	5	37.6	5.4	5	10.4	2.9	3.6
Gwangju	4	23.3	3.9	4	10.7	1.5	2.2
Busan	4	10.8	2.5	4	6.4	0.6	1.7

N : Number of sample, S.D. : Standard Deviation, I/O : Indoor mean radon concentration/Outdoor mean radon concentration.

**Table 5.** Comparison of the radon concentrations among various studies

Study	Country	Site	Indoor	Outdoor
			Mean(Bq/m <sup>3</sup> )± S.D.	Mean(Bq/m <sup>3</sup> )± S.D.
D. Amrani <sup>14)</sup>	Algerie	School	25.6± 4	-
		Home	20.8± 4	-
M. Doi <i>et al.</i> <sup>15)</sup>	Japan	Home	35.9± 2.9	-
W. H. Chung <i>et al.</i> <sup>16)</sup>	Korea	Home	28.7	15.6
This study	Korea	University building	24.1± 7.4	8.62± 2.8

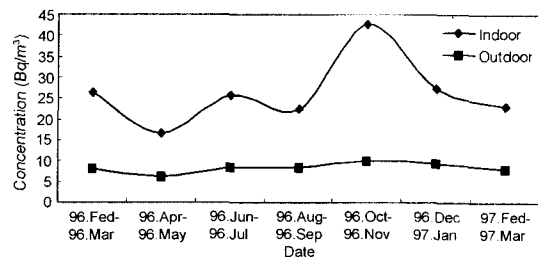
S.D. : Standard Deviation.

다. 또한 가장 낮은 농도를 나타낸 장소는 실내·외 모두 부산 동아대학교로 각각  $10.8 \pm 2.5 \text{ Bq/m}^3$ ,  $0.6 \text{ Bq/m}^3$ 으로 조사되었다. 본 연구에서 조사된 5개 도시에 위치한 대학교내 모든 라돈 농도는 미국 환경청의 권고치인  $148 \text{ Bq/m}^3$ ( $4 \text{ pCi/L}$ )<sup>12)</sup>에 비해 매우 낮은 농도를 나타냈다.

실내공기질 연구에 있어 실외 오염물질의 실내유입이 실내공기질에 어느 정도 영향을 미치는지를 파악하고, 이를 통해 각종 실내 발생원으로부터 방출되는 오염물질이 실내공기질에 미치는 영향을 정량화하는 것은 중요하며, 이를 위해 사용되는 자료로 실내외비(indoor outdoor ratio)가 이용되고 있다.<sup>13)</sup> 본 연구에서 조사된 실내외 공기 중 라돈 농도 비의 범위는 1.7~3.9로 라돈의 주요 발생원이 토양입을 고려할 때, 실내로 유입된 공기 중 라돈이 일반 대기환경에 비해 밀폐된 실내 공기 중에 장기간 축적, 잔류함으로써 실내 농도가 실외 농도보다 높게 나타날 것으로 여겨진다. 또한 이를 통해 라돈이 실내공기오염의 대표적 오염물질임을 확인할 수 있었다.

Table 5는 기존에 수행되었던 관련 연구들 중 일부 연구결과와 본 연구에서 조사된 라돈 농도를 비교한 것으로 본 연구에서 조사된 5개 도시에 위치한 각 대학교의 실내·외 평균 라돈 농도는 실내·외 각각  $24.1 \pm 7.4 \text{ Bq/m}^3$ ,  $8.62 \pm 2.8 \text{ Bq/m}^3$ 으로 알제리의 수도 알제의 주택에서 조사된 실내 평균 라돈 농도  $20.8 \pm 4 \text{ Bq/m}^3$ 을 제외한 알제리 학교시설 및 일본의 주택, 한국의 주택에서 조사된 실내·외 평균 라돈 농도에 비해 낮은 농도를 나타내었다.

Fig. 3은 5개 도시의 실내·외 라돈 농도의 계절적 변화를 나타낸 것으로 실내 라돈 농도의 계절적 분포는 여름철에 비해 겨울철에 높게 나타났으며, 실외 라돈 농도의 계절적 분포는 계절에 따른 농도의 변화 폭이 실내 라돈 농도에 비해 매우 작아 계절에 따른 큰 농도 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서 조사된 겨울철(1996년 2월~4월) 실내 라돈 농도는 다른 계절의 라

**Fig. 3.** Seasonal trends of mean indoor and outdoor radon concentrations.

돈 농도에 비해 약 8배에서 12배 높은 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 실내 라돈 농도의 변화가 실내 환기조건에 크게 영향을 받고 있는 것으로 보고되고 있는 것과 같이 본 연구 결과 역시 겨울철 실내 난방을 위한 각 측정 지점에서 실내 난방을 위한 외부공기의 실내 유입을 차단함으로써 실내·외 공기 교환량의 감소 및 실내 환기량의 감소로 인해 겨울철 실내 공기 중 라돈 농도가 증가한 것으로 여겨진다.

Table 6은 Cup Monitor를 이용하여 1996년 2월부터 1997년 4월까지 서울에 위치한 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트를 대상으로 지상 및 지하의 라돈 농도분포

**Table 6.** The mean floor and basement radon concentrations measured by passive radon cup monitors during February 1996 to April 1997

Locations	Floor			Basement		
	N	Mean (Bq/m <sup>3</sup> )	S.D.	N	Mean (Bq/m <sup>3</sup> )	S.D.
Shopping store	5	28.2	9.6	5	31.6	11.7
Office building	5	32.2	7.1	5	53.2	28.7
Apartment	5	34.5	21.3	5	24.4	8.0
Hospital	5	28.6	8.5	5	29.4	6.9
House	5	50.5	70.7	5	88.6	58.1

N : Number of Samples.

S.D. : Standard Deviation.

를 조사한 결과를 나타낸 것으로 아파트를 제외한 모든 측정지점에서 지하의 평균 라돈 농도가 지상의 평균 라돈 농도보다 높게 조사되었다. 특히, 측정대상 장소 중 지상 및 지하에서 가장 높은 농도를 나타낸 가정집의 경우 지상의 농도가 50.5 Bq/m<sup>3</sup>인데 반하여 지하의 농도는 88.6 Bq/m<sup>3</sup>를 나타내 지상과 지하의 라돈 농도 차가 다른 측정장소에 비해 가장 큰 것으로 조사되었다. 또한 본 연구의 조사대상 건물인 병원, 주택, 상가, 사무실 및 아파트에서 조사된 지상 및 지하의 라돈 농도 모두 미국 환경보호청의 권고치인 148 Bq/m<sup>3</sup>(4 pCi/L)<sup>12</sup>에 비해 매우 낮은 농도를 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 국내 환경적 측면에서의 라돈에 관한 연구의 활성화 도모 및 라돈 Monitor 개발에 대한 기초자료를 제공하기 위해 일본 나고야 대학 원자핵 공학과의 Iida에 의해 개발된 EIRM 및 Cup Monitor를 이용하여 각각 전국 주요 5개 도시에 위치한 대학교의 환경공학과 실험실 실내·외 라돈 농도 및 서울에 위치한 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트의 지상·하 라돈 농도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 5개 도시에 위치한 대학교 환경공학과 실험실 실내·외 라돈 농도를 조사한 결과 실내 평균 라돈 농도(24.1 Bq/m<sup>3</sup>)가 실외 평균 라돈 농도(8.62 Bq/m<sup>3</sup>)보다 약 3배 가량 높은 농도 값을 보였으며, 실내외 라돈 농도 비의 범위는 1.7~3.9로 조사되었다.
2. 5개 도시 환경공학과 실험실에서 조사된 모든 실내·외 라돈 농도는 미국 환경보호청의 권고치인 148 Bq/m<sup>3</sup>(4 pCi/L)에 비해 낮은 농도를 나타내었다.
3. 라돈 농도의 계절적 분포는 실내 라돈 농도의 경우 실외 라돈에 비해 계절적 변화가 큰 것으로 조사되었으며, 겨울철 실내 라돈 농도가 다른 계절의 실내 라돈 농도에 비해 8배에서 12배 높은 것으로 조사되었다.
4. 서울에 위치한 병원, 주택, 상가, 사무실, 아파트를 대상으로 각 건축물에 따른 지상 및 지하의 라돈 농도를 조사한 결과 모든 지상·하의 라돈 농도가 미국 환경보호청의 권고치에 비해 낮은 농도를 나타내었으며, 지상의 평균 라돈 농도(45.4 Bq/m<sup>3</sup>)가 지하의 평균 라돈 농도(34.8 Bq/m<sup>3</sup>)에 비해 약 1.3배 높은 것으로 조사되었다.

본 연구는 환경적 측면에서의 라돈에 관련된 연구의 활성화 도모 및 라돈 측정기의 국내 개발에 대한 기초

자료를 제공하기 위해 행하여진 연구로 측정기간, 측정 방법 및 연구범위가 매우 미약한 수준으로 측정대상 지역 및 대상 건물에 대한 라돈 농도를 대표하기 어려운 제한점을 가지고 있으나 추후 환경 관련 라돈 연구 및 라돈 측정기 개발연구에 있어 본 연구의 결과가 기초 자료로 활용되어지길 바란다.

#### 참고문헌

1. United Nations, Sources : Effects and risks 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, 1988.
2. Khalid Jamil, K. K. Al-Ahmady : Relative performance of different types of passive dosimeters employing solid state nuclear track detectors. *Health Phys.*, **73**(4), 629-632, 1997.
3. International Commission on Radiological Protection : Lung cancer risk from indoor exposure to radon and radon daughters ICRP publication 50. *Annals at the ICRP*, **17**(1), 1987.
4. National Research Council : Health risk of radon and other internally deposited alpha emitters, report of the Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation(BEIR-IV). National Academy Press, Washington D.C., 1988.
5. United States Environmental Protection Agency : A citizen's guide to radon, U.S.EPA, ANR-464, 4022-K-92-001, 1992.
6. 김윤신 : 우리 나라 일부 주택내 라돈 농도에 관한 조사연구. *한국위생학회지*, **16**(1), 1-7, 1990.
7. 김윤신 : 원전주변 주택의 실내외 라돈 농도에 관한 조사연구. *대한보건협회지*, **17**(2), 60-66, 1991.
8. 김동술, 김윤신, 김신도, 신용배, 김성천, 유정석 : 서울시 지하철역내의 라돈 농도 분포 및 저감대책. *한국대기보전학회지*, **9**(4), 271-277, 1993.
9. Weihai Z., T. Iida, K. Yamada, and Y. S. Kim : An Outline Survey of Indoor and Outdoor <sup>222</sup>Rn Concentrations in South Korea. *Journal of Health Phys.*, **33**(4), 401-406, 1998.
10. Busign, A. : The nature of unattached RaA(<sup>218</sup>Po) particles. *Health Phys.*, **40**, 333-343, 1981.
11. Iida, T., R. Nurishi, and K. Okamoto : Passive integrating <sup>222</sup>Rn and <sup>220</sup>Rn cup monitors with CR-39 detectors. *Environment International*, **22**(Suppl. 1), 641-647, 1996.
12. United States Environmental Protection Agency : A citizen's guide to radon. U.S.EPA, ANR-464, 4022-K-92-001, 1992.
13. Yocom, J. D. : Indoor outdoor air quality relationship - A critical review -. *JAPCA*, **32**, 500-520, 1982.
14. Amrani, D. : Dose assessment due to radon concentrations in schools and dwellings of Algiers. *Radiation Protection Dosimetry*, **87**(2), 133-135, 2000.

15. Doi M. and S. Kobayashi : Surveys of concentration of radon isotopes in indoor and outdoor air in Japan. *Environment International*, **22**, Suppl. 1, 649-655, 1996.
16. Chung, W. H., S. Tokonami, and M. Furukawa : Preliminary survey on radon and thoron concentrations in Korea. *Radiation Protection Dosimetry*, **80**(4), 423-426, 1998.