

주요 5개 도시의 실내외 라돈농도 조사연구

이철민 · 김윤신 · 박원석 · Takao Iida*

한양대학교 환경 및 산업의학연구소

일본 나고야 대학 원자핵공학과*

A Survey of Indoor and Outdoor Radon Concentrations in Five Major Cities

Cheol-Min Lee · Yoon-Shin Kim · Won-Seok Park · Takao Iida*

Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University

*Department of Nuclear Engineering, Nagoya University**

Abstract

This outline survey of indoor and outdoor radon concentrations in five major cities in Korea was carried out with Electrostatic Integrating Radon Monitor(EIRM) from February to December, 1996 and January to December, 1998. The mean indoor and outdoor radon concentrations in five major cities in 1996 were 21.9 Bq/m³ and 9.6 Bq/m³, respectively. The mean indoor and outdoor radon concentrations in 1998 were 20.8 Bq/m³ and 9.0 Bq/m³, respectively. These were below the U.S.EPA radon action level. The range of indoor to outdoor radon concentrations were 0.8 Bq/m³ ~ 45.6 Bq/m³ in 1996, 0.5 Bq/m³ ~ 15.2 Bq/m³ in 1998, respectively. The result of our analysis showed that radon concentrations in indoor air were clearly higher than those in outdoor air. Inspection of seasonal distribute pattern indicates the enhancement during winter relative to summer.

Keywords : radon, outline survey, EIRM, five major cities, action level

I. 서론

현대 사회는 인구의 증가와 함께 각종 산업이 급격히 발달되어 왔지만, 부수적으로 많은 환경오염의 문제점이 제시되고 있다.¹⁾ 그 중 실내환경은 일상 생활 중 대부분의 시간이 여러 형태의 실내 공간에서 생활하기 때문에 우리에게 중요한 의미를 지니고 있으며, 국제적으로는 물론 국내에서도 실내공간에서의 실내공기질 및 인체 영향에 대한

중요성이 새로운 환경문제로 대두되고 있다.¹⁻³⁾

실내 생활 공간에서는 흡연, 소음 그리고 냉·난방 기기를 비롯한 각종 기기들로 인해 실내오염도가 증가하고 있는 실정이며, 기술 개발로 인한 새로운 건축자재가 공공시설뿐만 아니라 일반주택에 효과적으로 사용되고 있지만, 오히려 새로운 건축자재에서 의외의 오염물질이 방출되며, 건물의 밀폐화가 증가되면서 인체의 건강과 관련하여 일시적, 만성적으로 다양한 증상을 호소하는 사례가 증

가하고 있는 실정이다.^{4, 8)} 이와 같이 실내공기를 오염시키는 물질에는 호흡성분진(PM-10), 라돈(radon), 포름알데히드(formaldehyde), 석면(asbestos), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 미생물성 물질, 담배연기 등이 있으며, 이런 물질이 호흡기질환, 폐질환, 기관지질환, 폐암을 비롯한 각종 질병을 유발시킬 수 있다.⁹⁻¹²⁾

이러한 대표적 실내공기오염물질 중 라돈(²²²Rn)은 무색, 무취, 불활성의 자연계에 널리 존재하는 자연방사능 가스로 지각층의 토양, 모래, 암석, 광물질 및 이들을 재료로 하는 건축자재 등에 미량(7.4 ~ 74 Bq/Kg)으로 함유되어 있는 라듐(²²⁶Ra)의 α붕괴시 생성되며, 반조에너지(recoil energy)에 의한 확산이동 및 압력과 온도구배에 의한 대류이동 과정에 의해 지상 또는 실내환경으로 방출된다.¹³⁾ 방출된 라돈은 다른 물질과 화학적으로 결합 또는 부착하지 않는 불활성가스이며 상대적으로 긴 반감기(T_{1/2} = 3.82일)를 갖고 있기 때문에 충분한 시간 동안 공기 중에 머물러 있으므로 다른 자연방사선원에 비하여 라돈과 라돈자손에 의한 일반인의 자연방사선 피폭 기여도가 가장 높다.¹⁴⁾ 라돈의 붕괴과정에서 생성되는 라돈자손(²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po)은 호흡을 통해 흡입하게 되면 폐에 흡착하여 붕괴하면서 방출되는 α에너지를 주변 조직에 부여함으로써 장기적으로 폐암을 유발할 수 있는 생물학적 손상을 야기한다.^{13, 15, 16)} 미국환경보호청(U.S.EPA)에 의하면 라돈에 의한 미국내 사망자수는 연간 7,000 ~ 30,000명 정도이며 폐암 발생을 일으키는 원인 중 흡연에 이어 두 번째 원인 물질로 규정하고 있다.¹⁷⁾

국외에서는 1910년대 이후로 라돈에 관한 방사능 연구 및 물리화학적 연구가 수행된 이후, 1980년대 중반부터 환경적인 측면에서 실내환경내 라돈이 문제가 대두되었으며 미국을 비롯한 유럽의 선진국들은 국가적 차원의 연구를 시작하여 라돈을 자연방사선 방어대상 물질로 규정해 놓은 상태이다. 특히 미국의 경우 환경보호청(U.S.EPA)에서는 'A Citizen's Guide to Radon(Second Edition)'을 편찬하여 일반인에게 라돈의 위험성을 적극적으로 홍보하고 있으며 각 주정부에서는 실내라돈

농도에 관한 기초연구의 일환으로 라돈의 측정을 의무화하여 주택 거래 시 라돈보증서를 첨부하는 등 라돈에 대한 규제를 강화하고 있는 실정이다.¹⁷⁾

이에 반하여 국내에서 수행된 라돈의 환경적인 측면에서의 연구로는 '우리나라 일부 주택 내 라돈 농도에 관한 조사연구',¹⁸⁾ '원전주변주택의 실내외 라돈농도에 관한 조사연구',¹⁹⁾ '서울시 지하철역내의 라돈농도분포 및 저감대책',²⁰⁾ 등 수 편의 연구가 매우 단기적이며, 국한된 장소에서 수행되어져 왔으나 장기적이며 체계화된 학술적 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 환경 역학적 관점에서 개인의 건강영향을 평가하기 위해 개인의 오염물질의 정확한 노출평가가 요구되고 있음을 감안할 때²¹⁾ 장기적으로 국내 전국의 실내·외 공기중 라돈농도의 분포에 대한 조사연구가 매우 시급한 실정이다.

이에 본 논문에서는 국내 실내환경에서의 라돈 연구에 대한 활성화를 도모하기 위하여 일본 나고야 대학교 원자핵공학과에서 개발된 Electrostatic Integrating Radon Monitor(EIRM)을 소개하고, 이 측정기기를 이용하여 전국 주요 5개 도시(서울, 부산, 대구, 대전, 광주)의 실내·외 공기 중에서 측정된 라돈농도를 제시하였다.

II. 연구방법

1. 측정장치 특성 및 측정방법

그림 1과 표 1은 EIRM 모형의 도식화 및 특성을 나타낸 것으로 일본 나고야대학 원자핵공학과 Iida에 의해 개발된 이후 현재 EIRM(Model A: Aloka Gs-201)으로 일본에서 상업적으로 개발되고 있다. EIRM은 약 2.26L 정도의 부피로 단순한 모형으로 되어 있으며 조작이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 측정기 하단의 직경 30mm 구멍 상단에 설치된 membrane filter를 통하여 확산방식으로 라돈가스가 교환된다. 이때의 교환율은 0.67 h⁻¹이다.²²⁾

라돈의 측정원리는 측정기 내부에 유입된 공기 중 라돈의 α붕괴로 인해 생성된 ²¹⁸Po 원자들의 대부분은 양성으로 전하되며 monitor의 전극(electrode)에 정전기적으로 포집된다.²³⁾

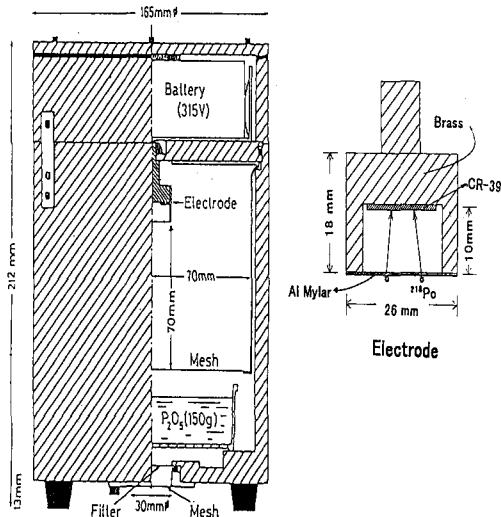


Figure 1. The Schematic diagram of Electrostatic Integrating Radon Monitor

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 비적의 수를 판독하여 라돈의 농도를 정량화하는 방식으로 이 측정기의 검출한계는 0.4 Bq/m^3 (Becquerel per cubic meter)으로 논증되었다²²⁾

라돈농도의 정량화식은 다음과 같다.

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

여기서 Q는 라돈의 평균농도(Bq/m^3), N은 field A에 계산된 트랙 밀도 수, B는 배경트랙 밀도

Table 1. Characteristics of Electrostatic Integrating Radon Monitor

Item	Characteristics
Measurement form	Passive integrate
Principle	Alpha track detector
Sampling Period	Dimonthly
Detection Limit	$0.4\text{ Bqm}^{-3}/60\text{ day}$

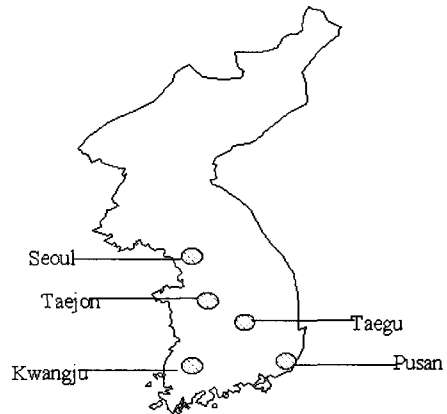


Figure 2. Location of sampling site

(cm^2), A는 cm^2 당 계산된 면적의 수, CF는 트랙/ cm^2 의 calibration factor, T는 노출시간(h^{-1})을 각각 나타낸다²²⁾

2. 조사지역 및 연구기간

본 연구 조사대상지역 및 장소는 그림 2와 같이 전국 주요 5개 도시 즉, 서울, 대구, 대전, 광주, 부산에 위치한 각 도시의 대학교(한양대학교, 영남대학교, 충남대학교, 조선대학교, 동아대학교)내 환경공학과 실험실의 실내 및 실험실 건물 옥상(실외)에 측정기를 설치하여 1996년과 1998년에 각 2개월씩 1년간 연속적으로 공기 중 라돈농도를 측정하였다. 표 2는 측정기를 설치한 각 환경공학과 실험실의 건축물의 특성을 나타낸 것으로 서울에 위치한 한양대학교 환경공학과 실험실을 제외한 나머지 4개 대학 환경공학과 실험실들은 1990년대에 건축되었으며, 또한 각 건물의 건축재료는 부산 동아대만 콘크리트로 건축되었으며, 나머지 4개 대학은 콘크리트와 벽돌로 건축되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 실내 및 실외 라돈농도

표 3은 1996년 2월부터 1996년 12월까지 주요 5개 도시에 위치한 각 측정대상 시설물에서 조사된

Table 2. Characteristics of sampling site selected at five cities in Korea

City	Indoor Area (m ²)	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

실내 및 실외 공기 중 평균 라돈농도를 나타낸 것이다. 공기 중 가장 높은 라돈농도를 나타낸 장소는 실내·외 모두 대전에 위치한 충남대학교로 각각 37.4 Bq/m³, 10.3 Bq/m³로 조사되었으며, 가장 낮은 농도를 나타낸 장소는 실내·외 모두 대구에 위치한 영남대학교로 각각 8.0 Bq/m³, 3.4 Bq/m³로 조사되었다. 5개 도시에 위치한 측정대상 시설물에서 조사된 모든 실내·외 라돈농도는 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 권고하고 있는 실내 라돈 권고치(action level)인 148 Bq/m³(4 pCi/L)에 비해 낮은 농도를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

실내 공기질 연구에 있어 실외오염물질의 실내 유입이 실내 공기질에 어느 정도 영향을 미치는지를 파악하고, 이를 통해 각종 실내 발생원으로부터 방출되는 오염물질이 실내 공기질에 미치는 영향을 정량화 하는 것은 중요하며, 이를 위해 사용되는 지표로 실내외비(Indoor Outdoor ratio)가 이용되고 있다.²⁴⁾ 본 연구에서 조사된 실내외 공기 중 라돈농도 비의 범위는 2.0 ~ 3.6로 라돈의 주요 발

생원이 토양임을 고려할 때, 실내로 유입된 공기 중 라돈이 일반대기환경에 비해 밀폐된 실내 공기 중에 장기간 축적, 잔류함으로써 실내 농도가 실외 농도 보다 높게 나타난 것으로 여겨진다.

표 4은 1998년 1월부터 12월까지 동일한 측정장소에서 조사된 공기 중 실내·외 평균 라돈농도를 나타낸 것으로 공기 중 가장 높은 라돈농도를 나타낸 장소는 실내의 경우 대구에 위치한 영남대학교에서 28.2 Bq/m³을, 실외의 경우 대전에 위치한 충남대학교에서 11.8 Bq/m³로 조사되었으며, 가장 낮은 농도를 나타낸 장소는 실내외 모두 부산에 위치한 동아대학교로 각각 10.5 Bq/m³, 2.8 Bq/m³로 조사되었다. 또한, 실내·외 라돈농도 비는 1.7 ~ 2.9로 1996년에 행한 연구결과와 유사한 결과 즉, 실내 라돈농도가 실외 라돈농도보다 높은 조사 결과를 나타내 라돈이 실내공기오염의 대표적 오염물질임을 확인할 수 있었다.

표 5는 기존에 수행되었던 실내 공기질 연구의 라돈에 관한 연구들 중 일부 연구결과와 본 연구

Table 3. Mean indoor and outdoor radon concentrations measured by Electrostatic Integrating Radon Monitor from February to December, 1996.

City	Concentration(Bq/m ³)						I/O ratio
	Indoor			Outdoor			
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	
Seoul	4	30.6	6.9	4	8.5	2.0	3.6
Taegu	2	8.0	-	2	3.4	-	2.4
Taejon	4	37.4	6.9	4	10.3	3.7	3.6
Kwangju	2	20.8	-	2	10.2	-	2.0
pusan	2	12.8	-	2	5.7	-	2.2

N : Number of sample, S.D. : Standard Deviation,

I/O : Indoor mean radon concentration / Outdoor mean radon concentration

Table 4. Mean indoor and outdoor radon concentrations measured by Electrostatic Integrating Radon Monitor from January to December, 1998.

City	Concentration(Bq/m ³)						I/O ratio
	Indoor			Outdoor			
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.	
Seoul	4	26.8	7.0	4	9.2	1.2	2.9
Taegu	2	28.2		2	11.5	-	2.5
Taejon	4	22.3	7.9	4	11.8	1.8	1.9
Kwangju	4	16.0	8.0	4	9.5	1.4	1.7
pusan	4	10.6	2.3	4	2.8	1.9	3.8

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

에서 조사된 라돈농도를 단순 비교한 것이다. 본 연구에서 조사된 실내·외 평균 라돈농도는 각각 21.4 Bq/m³, 8.3 Bq/m³으로 알제리의 수도 알제의 주택에서 조사된 실내 평균라돈농도 20.8 Bq/m³을 제외한 알제의 학교시설 및 일본의 주택, 한국의 주택에서 조사된 실내 평균 라돈농도에 비해 낮은 농도를 나타내었다. 그러나 이들 기준에 수행된 연구들의 측정방법들은 본 연구에서 수행된 측정방법과 측정조건에 따른 차이로 인하여 본 연구결과와 비교하기에는 많은 제한점이 따르는 것으로 사료된다.

2. 라돈 농도 분포 및 변화

그림 3은 5개 측정장소에서 조사된 실내·외 라돈농도의 빈도분포를 나타낸 것이다. 실내 라돈농도분포는 전체 32개의 측정값 중 15 ~ 20 Bq/m³의 농도범위에서 가장 많은 분포(6개)를 나타냈으며, 실외라돈농도분포는 전체 32개 측정값 중 5 ~ 10

Bq/m³의 농도범위에서 가장 많은 분포(17개)를 나타냈다. 또한 조사된 실내·외 라돈농도의 범위는 각각 0.8 Bq/m³ ~ 45.6 Bq/m³, 0.5 Bq/m³ ~ 15.2 Bq/m³로 실내 라돈농도 분포가 실외 라돈농도 분포에 비해 넓은 범위에서 분포하고 있음을 알 수 있었으며, 또한 실외 공기 중 라돈농도에 비해 실내공기중의 라돈농도가 높은 농도범위에서 다량 분포하고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 4의 a)와 b)는 각각 1996년과 1998년 5개의 측정장소에서 조사된 평균라돈농도의 계절적 변화를 나타내고 있다. 일반적으로 실내·외 라돈농도 분포는 여름철에 비해 겨울철에 높은 농도를 보였다. 또한 계절변화에 따른 실내·외 라돈농도의 변화폭은 실외 라돈농도에 비해 실내 라돈농도에서 매우 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 실내 라돈농도의 변화가 실내 환기조건에 크게 영향을 받고 있는 것으로 보고되고 있는 것과 같이 본 연구 결과 역시 겨울철 실내 난방을 위해 각 측정 지점에

Table 5. A comparison of the radon concentrations among various studies

Study	Country	Site	Indoor	Outdoor
			Mean(Bq/m ³)±S.D.	Mean(Bq/m ³)±S.D.
D.Amrani(2000) ²⁵⁾	Algerie	School	25.6±4	-
		Home	20.8±4	-
M.DoI et. al.(1996) ²⁶⁾	Japan	Home	35.9±2.9	-
W.H.Chung et.al.(1998) ²⁷⁾	Korea	Home	28.7	15.6
This study	Korea	University Building	21.4±9.5	8.3±3.2

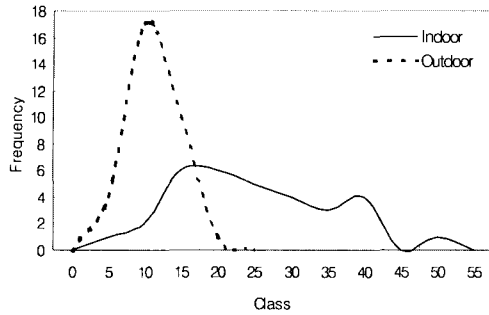
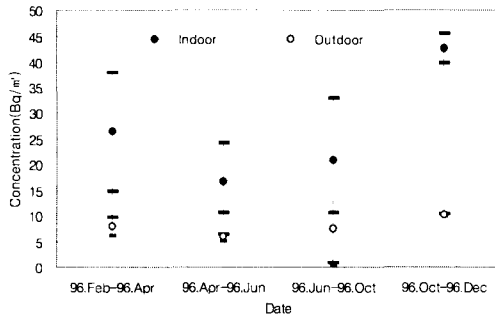
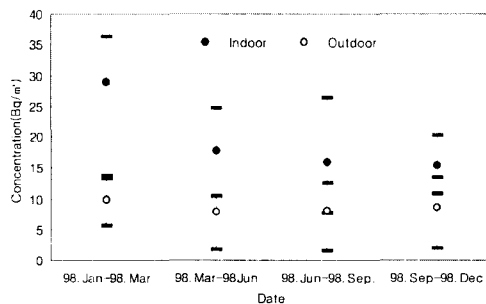


Figure 3. Histogram of indoor and outdoor radon concentrations at five cities

서 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.



(a)



(b)

Figure 4. Seasonal variations of mean indoor and outdoor radon concentrations

IV. 결 론

본 연구는 국내 라돈에 관한 실내환경연구분야의 활성화를 도모하기 위해 일본 나고야 대학 원자핵공학과에서 개발되어 상용화되고 있는 Electrostatic Integrating Radon Monitor(EIRM)을 소개하였으며, 이 측정장비를 이용하여 1996년과 1998년에 전국 주요 5개 도시에 위치한 대학교(서울-한양대학교, 대구-영남대학교, 대전-충남대학교, 광주-조선대학교, 부산-동아대학교)의 환경공학과 실험실의 실내·외 공기 중 라돈농도를 조사한 결과를 제시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전국 주요 5개 도시에 위치한 각 대학교내 실내·외 평균 라돈농도는 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 권고하고 있는 실내 라돈 권고치(action level)인 148 Bq/m^3 (4 pCi/L)에 비해 낮은 농도를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.
2. 실내·외 라돈농도분포는 실내공기중의 라돈농도분포가 실외 공기중의 라돈농도분포에 비해 넓은 농도 범위를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 또한 높은 농도범위로 분포하고 있는 것으로 조사되어 실내 라돈농도가 실외 라돈농도에 비해 높은 농도를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.
3. 계절적 변화에 따른 실내 라돈농도변화는 환기가 잘 이루어지지 않는 겨울철의 라돈농도가 환기가 잘 이루어지는 여름철보다 높은 농도를 나타내는 것으로 조사되어 실내 라돈농도 저감방안의 일환으로 환기의 중요성을 인식할 수 있었다.

본 연구는 광범위한 국내 실내 공기질 연구 중 라돈에 관련된 연구의 활성화를 도모하기 위한 일환으로 수행된 예비조사로 본 연구의 수행을 통해 산출된 결과가 추후 라돈 관련 연구에 있어 기초 자료로 제공되어지길 바란다. 또한 본 연구를 수행하면서 추후 보다 많은 장소에서의 실내·외 라돈 농도 조사와 실내 라돈 연구에서 중요시 여겨지고

있는 건축물 자체 내 라돈함유량조사, 토양 중의 라돈함량 분포 조사 및 거주공간 형태에 따른 라돈농도분포 조사 등 보다 광범위하고, 지속적인 연구의 필요성을 인식하게 되었다.

V. 참고 문헌

1. 김윤신 : 실내공기오염, 대한의학학회지, 32(12), 1279-1285, 1989.
2. Wadden, R.A., Scheff, P.A. : Indoor air pollution, John Wiley & Sons, N.Y., 1983.
3. World Health Organization : Health Hazards in the human environment, Geneva, 1972.
4. 김성신 : 신축 소규모 아파트의 겨울철 실내공기환경, 한국생활환경학회 추계학술지, 54-55, 1997.
5. 김미경 : 실내외 포름알데히드 농도에 관한 연구조사, 한국환경위생학회지, 15(1), 1-9, 1980.
6. APCA : Indoor Radon Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA., 1986.
7. 전준민 : 서울시 일부 백화점의 실내공기질에 관한 조사연구, 환경과 산업의학, 5(1), 49-58, 1996.
8. 한국위생관리협회 : 서울시 일부 사무용건물의 실내공기질에 관한 조사연구, 94 보고서, 1994.
9. Gupta, K.C., Ulsamer, A.G. Preuss, P.W. : Formaldehyde in indoor air, Sources and toxicity. Environment, 8, 349-358, 1982.
10. Liou, P.J., et. al. : The personal indoor and outdoor conceptions of PM10 measured in an industrial community during the winter, Atmospheric Environment, 24B, 1, 1990.
11. Repace, J.L. : Indoor air pollution, tobacco smoke and public health, Science, 208, 464-472, 1980
12. Kim, Y. S., Kim : Y. O., Chemical composition of indoor and outdoor air particulates in home and office, Environ. Technol., 1993.
13. 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.
14. Khalid Jamil, K. K. Al-Ahmady : Relative performance of different types of passive dosimeters employing solid state nuclear track detectors, Health Phys., Vol. 73, No. 4, 629-632, 1997.
15. 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.
16. 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.
17. United states Environmental Protection Agency : A citizen's guide to radon, U.S. EPA, ANR-464, 4022-K-92-001, 1992.
18. 김윤신 : 우리나라 일부 주택내 라돈 농도에 관한 조사연구, 한국환경위생학회지, 16(1), 1-7.
19. 김윤신 : 원전주변 주택의 실내외 라돈농도에 관한 조사연구, 대한보건협회지, 17(2), 60-66, 1991.
20. 김동술, 김윤신, 김신도, 신용배, 김성천, 유정석 : 서울시 지하철역내의 라돈농도 분포 및 저감대책, 서울시 지하철역내의 라돈농도분포 및 저감대책, 9(4), 271-277, 1993.
21. Monn, C., et. al. : Personal exposure to nitrogen dioxide in Switzerland, The Science of the Total Environment, 243-251, 1998.
22. Weihai Zhuo., et. al. : An Outline survey of indoor and outdoor ²²²Rn concentration in Seoul Korea, Health Phys., Vol. 33, No. 4, 401-406, 1998.
23. A Busigin, et. al. : The nature of unattached RaA(²¹⁸Po) particles, Health Phys., 40,

- 333-343, 1981.
24. Yocom, J. D. : Indoor outdoor air Quality relationship - A critical review -, JAPCA, Vol, 32, 500-520, 1982.
25. Amrani, D. : Dose assessment due to radon concentrations in schools and dwellings of Algiers, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 87, No. 2, 133-135, 2000.
26. Doi M., S. Kobayashi : Surveys of concentration of radon isotopes in indoor and outdoor air in Japan, Environment International, Vol. 22, Suppl. 1, 649-655, 1996.
27. Chung, W.H., S. Tokonami and M. Furukawa : Preliminary survey on radon and thoron concentrations in Korea, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 80, No. 4, 423-426, 1998.