

우리나라 一部 住宅内 라돈 濃度에 관한 調査 研究 *

金 潤 信

漢陽大學校 醫科大學 環境 및 産業醫學研究所

Indoor Radon Levels in Four Different Areas in Korea

Yoon Shin Kim

*Institute of Environmental and Industrial Medicine,
College of Medicine, Hanyang University*

Abstract

Indoor radon concentrations were measured using Track-Etch detectors in four (Seoul, Songtan, Dogo, Kunsan) different geological areas in Korea during December 1988 – April 1989. Measurements involving 75 homes were made in different rooms of each home. The mean concentrations of indoor radon in the homes by area varied from 2.70 – 3.22 pCi/l.

Indoor radon concentrations in rural areas were higher than the corresponding levels in urban areas. The mean radon concentrations in the basements were about 1.3 times higher than those levels measured in the first floor. The mean radon concentrations in the kitchen and bedroom were and 2.86 pCi/l 2.43 pCi/l, respectively, while the living room radon concentrations were 2.61 pCi/l. Energy-efficient homes have a living room level that is on the average 1.4 times higher than normally insulated conventional homes. Approximately 13% of the study homes exceeded 4 pCi/l of radon levels of the U.S. EPA's recommended limit. From these results, radon levels in the homes seemed to correlate strongly with house location relative to geologic formation.

* 본 논문의 일부는 1989년 한국과학재단 목적기초연구비 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서 론

일반적으로 현대 도시인들은 하루 생활 중 보통 80% 이상을 실내(일반주택, 사무실, 학교, 공공건물, 작업장, 지하철역, 지하상가, 차내 등)에서 생활하고 있으며, 특히 가정주부들이나 노약자들은 거의 90% 이상을 실내에서 생활하고 있는 것으로 보고되었다.¹⁻³⁾ 따라서 실내 공기오염이 인체에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 조사 보고되고 있다.⁴⁻⁵⁾

주요 실내오염물질중 하나인 라돈(Radon-Rn)은 자연계에 널리 존재하는 자연방사능으로 우라늄광, 토양, 시멘트, 콘크리트, 모래 등의 건축자재 및 지하수 등에 함유되어 있다.⁶⁾ 라돈은 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종(Radon daughter)을 생성하는데 이 낭핵종이 폐에 흡입되면 폐암의 발생위험율을 높이는 것으로 보고되어 라돈이 인체에 매우 유해한 것으로 추정되므로 외국에서는 주택내 실내 라돈농도에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁷⁾

이에 반하여 우리나라는 1987년 저자에 의해 일부 주택을 대상으로 실내 라돈농도를 조사한⁸⁾ 이후 계속적으로 라돈 농도의 측정 및 그 영향에 관한 연구를 실시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 실내 라돈농도에 관한 연구의 일환으로 최근에 전국의 4개 지역을 대상으로 선택된 일부 가정내 실내농도의 측정결과를 보고하고자 한다. 이같은 연구는 장래 우리나라에 필요한 실내 라돈농도의 기준치 설정을 물론 실내공기오염 연구에 기초자료로서 활용되 고자 한다.

II. 조사대상 및 조사방법

본 조사는 1988년 12월부터 1989년 4월 까지에 걸쳐 전국의 4개 지역(서울, 군산, 송

탄, 도고)에서 실시하였다. 이들 지역의 선정은 서울지역을 기준으로 대도시 지역, 중소도시, 농촌지역으로 나누어 지역적 특성을 조사한 후 실시하였다.

측정은 미국 Terradex 사의 Track Etch Radon Monitor를 사용하여 측정시작일을 기준으로 3개월간 공기중에 노출시킨 후 각각 그 농도를 측정하였다.⁹⁾ 측정전 조사대상가구 선정은 각 지역별로 20가구를 임의로 선정하여 지하실을 갖추지 못한 주택에 대하여는 부엌, 침실, 거실 중 한 장소를 선정하여 천장에 각 모니터를 부착하였다. 또한 선정된 주택중 지하실이 있는 주택에 한하여는 1층 거실과 지하실의 농도를 측정비교 하였다. 측정시의 온도, 습도 및 기류도 측정하였다. 라돈 농도의 추정 은 Alter and Fleischer가 정한 분석방법에 의해 추정되었다.¹⁰⁾

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 조사대상인 75가구를 지역별로 나눠 실내라돈의 평균농도를 보면 Table 1과 같다. Table에서 보는바와 같이 전체 조사대상 주택에서 라돈의 실내 평균농도는 2.94 pCi/l 이고 서울은 2.72 pCi/l, 송탄은 3.22 pCi/l, 도고는 3.16 pCi/l, *군산은 2.70 pCi/l로 나타나 송탄지역이 가장 높아 서울과 군산지역보다 1.2배 정도 높게 나타났다. 이같은 결과는 저자가 1988년 서울지역에서 34가구를 대상으로 조사한¹¹⁾ 실내라돈의 평균농도(지하실 : 2.64 pCi/l, 1층거실 : 1.71 pCi/l)보다 높게 나타나 거주지역의 특성내지는 건축구조의 형태가 라돈 농도에 영향을 미친 것이 아닌 가 추측된다. 또한 1987년 서울지역에서 조사한 20가구의 실내라돈농도(지하실 : 2.49 pCi/l, 1층거실 : 0.86 pCi/l)에 비해서도 높게 나타나(Fig. 1 참조) 조사지역의 선정에 따

라 라돈농도의 차이가 있음을 강력히 시사하고 있다.

특히 송탄지역의 주택에서 실내 라돈농도가 가장 높게 나타난 것은 1988년 미공군에서 발표한 오산 미공군 기지의 라돈농도가 높은 것 (4~20 pCi/l)을 입증하고 있어 이 지역에 방사능과 관련된 물질이 있거나 또는 라돈 방사능을 함유한 건축자재의 영향이 있을 수 있음을 시사하고 있어 이 지역에 대한 지속적인 실내 라돈농도의 측정조사가 요청된다. 또한 온천지대인 도고지역에서 실내 라돈농도가 높게 나타난 것은 지하수에 고농도의 라돈이 함유되어 온천수로 분출됨에 따라 도고지역 일대에 라돈 농도가 높아진 것이 아닌가 추정할 수 있어 지하수에 함유된 라돈농도의 측정이 필요하다고 사료된다.

Table 2는 조사대상 주택중 지하실을 갖춘

가정에서 1층의 거실과 지하실에서 라돈의 평균농도를 나타낸 결과이다. Table에서 보는 바와 같이 지하실의 라돈 평균 농도는 송탄이 4.23 pCi/l로 1층 거실의 농도인 2.81 pCi/l

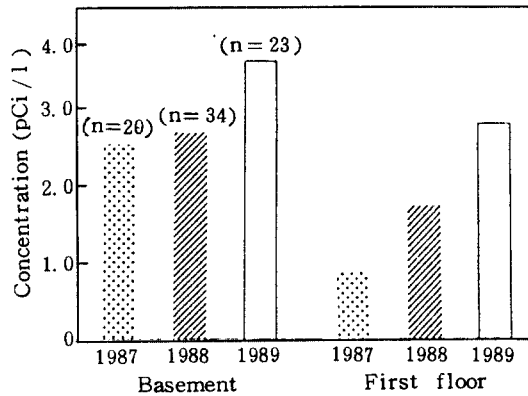


Fig. 1. Average radon concentrations in the study homes in 1987, 1988 and 1989

Table 1. Average radon concentrations (pCi/l) in Korean homes by area

Area	Number of homes	Mean	S. D.	Range
Seoul	20	2.72	0.96	0.60 - 4.50
Songtan	19	3.22	1.62	1.40 - 8.90
Dogo	17	3.16	1.67	1.60 - 7.10
Kunsan	19	2.70	1.01	1.40 - 5.10
Total	75	2.94	1.33	0.60 - 8.90

S. D. : Standard deviation

Table 2. Average radon concentrations (pCi/l) in the basement and first floor(living room)

Area	Number of homes	Basement (a)		First floor (b)		Ratio = (a)/(b)
		Mean	S. D.	Mean	S. D.	
Seoul	8	3.40	0.74	2.72	0.94	1.3
Songtan	6	4.23	2.52	2.81	1.79	1.5
Dogo	4	4.03	2.61	2.79	1.57	1.4
Kunsan	5	2.84	1.11	2.65	1.02	1.1
Total	23	3.58	1.78	2.74	1.38	1.3

S. D. : Standard deviation

1보다 약 1.5배 높게 나타났다. 다음에 1층 거실 및 지하실의 평균농도는 도고, 서울, 군산지역의 순서를 나타내며 전체적으로 조사대상 주택의 지하실내 라돈 평균농도는 1층 거실보다 약 1.3배 정도 높게 나타났다. 이와같은 결과는 미국의 뉴욕지역이나 스위스의 가정에서¹²⁻¹³⁾ 조사한 결과에 비하여 지하실의 평균 라돈농도는 높은 편에 해당되나 1층 거실과의 차이는 낮은 편에 속하고 있다.

Table 3은 조사대상 주택중 지하실을 갖추지 않은 주택을 대상으로 1층의 거실, 침실, 부엌에서 각각 라돈의 평균농도를 나타낸 것이다. Table에서 보는 바와 같이 침실에서의 라돈 평균 농도는 2.86 pCi/l, 부엌은 2.43 pCi/l로 거실은 2.61 pCi/l로 침실에서의 평균 라돈 농도가 가장 높았다. 거실의 평균 라돈농

도는 Table 2에서 나타난 지하실을 갖춘 주택의 1층 거실의 평균농도보다 약간 낮게 나타나 지하실을 갖춘 주택일수록 지하실의 라돈 농도가 1층으로 방출되어 높게 나타나고 있음을 시사하고 있다.

또한 조사대상 주택을 건축자재 중 단열재를 사용하여 시공한 주택과 사용하지 않은 주택으로 나누어 1층 거실에서의 라돈의 평균농도를 비교하였다. Table 4에서 보는 바와 같이 단열재를 사용하고 실내 공기를 밀폐시키는 주택이라고 가정한 주택에서는 단열재를 사용하지 않고 실내공기가 잘 환기되도록 한 주택보다 라돈 농도가 각 지역 모두 높게 나타났다. 전체적으로는 Energy-efficient 주택이 Non-energy-efficient 주택보다 1층 거실의 라돈 농도가 약 1.4배 높게 나타났다. 이같은 결

Table 3. Average radon concentration (pCi/l) by type of room in the first floor

Area	Number of homes	Bedroom(c)		Kitchen(d)		Living room(e)		Ratio =(b)/(e)
		Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
Seoul	12	2.66	0.72	2.16	0.95	2.71	0.54	1.0
Songtan	13	2.88	0.79	1.70	0.61	2.69	1.38	1.0
Dogo	13	2.95	1.45	2.01	0.75	2.63	1.26	1.1
Kunsan	14	2.78	1.06	2.90	1.15	2.37	0.81	1.1
Total	52	2.86	1.08	2.43	1.04	2.61	1.25	1.0

S. D. : Standard deviation

Table 4. Average radon concentrations (pCi/l) in the living room by type of homes

Area	Energy-efficient			Non-energy-efficient		
	Number of homes	Mean	S. D.	Number of homes	Mean	S. D.
Seoul	7	3.31	1.78	9	2.31	0.67
Songtan	8	3.89	1.67	10	2.15	1.03
Dogo	6	3.86	1.86	10	2.39	0.85
Kunsan	6	2.97	0.94	11	1.55	0.62
Total	27	3.01	1.68	40	2.10	0.79

S. D. : Standard deviation

Table 5. Average radon concentrations (pCi/l) in the living room by presence of smokers and use of ventilating fan in kitchen

	Smokers		Ventilating fan	
	Present (n= 34)	Not present (n= 34)	Use (n= 24)	Not use (n= 46)
Mean	2.87	2.72	2.83	2.90
S. D.	2.06	1.06	0.81	1.44
Range	0.60 - 8.90	1.40 - 5.70	1.40 - 4.50	0.60 - 8.90

S. D.: Standard deviation

과는 단열재를 사용한 주택에서는 건물구조상 외부 공기의 침투를 막고 실내공기의 외부로의 유출을 막는다고 가정할때 단열재 사용 주택에서 높은 라돈농도에 노출되는 것을 의미하고 있다.

Table 5는 주택내 흡연자 유무와 부엌의 환기사용 유무별 실내 라돈농도를 나타낸 결과이다. Table 에서 보는 바와같이 가정내 흡연자가 있는 가정의 거실의 농도가 2.87 pCi/l 로 흡연자가 없는 가정의 거실(2.72pCi/l)보다 약간 높으나 유의성은 없는 것으로 나타났다. 또한 환기팬을 사용하지 않는 가정(2.90 pCi/l)이 사용하는 가정(2.83pCi/l)보다 라돈의 평균농도가 약간 높았으나 유의성은 없게 나타났다.

이상의 결과에서 1 층 거실의 라돈 평균농도를 미국환경청에서 정한 라돈 농도에 관한 권고치인 4pCi/l 에 기준하여 보면 Fig. 2에서 보는바와 같이 조사대상 주택중 서울에서는 5%, 송탄에서는 16%, 도고에서는 18%, 군산에서는 14%가 기준치를 초과하고 것으로 나타났다. 따라서 이 결과는 미국 주택에서 기준치 초과 비율이 5%로 나타난데 비하여 약 2 배 이상 높은 것으로 나타나 이에 대한 계속적이고 면밀한 측정조사가 요청된다. 이같이 라돈의 실내 농도가 높은 이유는 지형상의 차이, 건축구조상, 실내 환기율, 실내환경조건 등에 기인하는 것으로 추정된다.

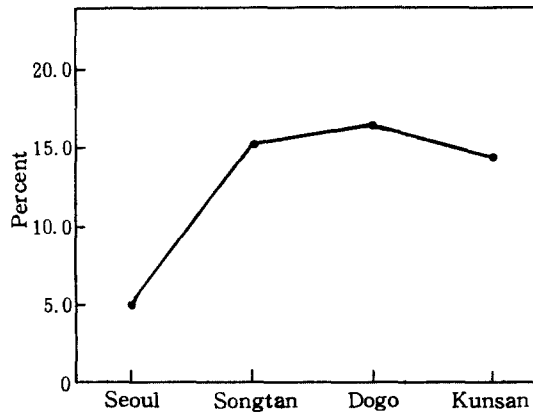


Fig. 2. Percent distribution of indoor radon levels in homes exceeding the U.S. EPA's guideline limit (4 pCi/l)

미국에서는 연간 13 만명의 폐암사망자중 약 5,000~20,000 명이 가정내 라돈 농도에 노출된 영향으로 사망된 것으로 추계하고 있다. 따라서 본 연구결과를 토대로 75 가구 중 약 13%가 미국의 라돈 기준치를 초과하고 있어 우리나라 전가구 약 610 만가구(1985년 인구 센서스결과)에 폐암에 폭로될 절대위험을 2%를 곱하여 추계한 가정에 의하면 1987년 우리나라 폐암사망수 3,578명중 약 3.8%~15.4%에 해당되는 128~551명이 우리나라 주택에서 방출된 라돈에 폭로되어 그 영향으로 사망된 것이라 추정할 수 있다. 이같은 추계는

미국의 추계치를 우리나라에 적용한 것에 불과하나 실내라돈에 의한 폐암사망의 위험을 나타내는데 큰 의의가 있다고 사료된다.

이상의 결과에서 우리나라도 장래 실내라돈 농도에 대한 위해평가 및 법적 기준치 설정을 위하여는 우리나라 주택내에서의 라돈농도에 관한 측정 및 역학조사를 장기적이고 광범위하게 실시하여 국민보건의 차원에서 주택내 라돈농도의 발생원을 규명하고 그 피해를 최소화 하여야 한다.

IV. 결 론

우리나라 4개 지역(서울, 송탄, 도고, 군산)에 소재한 일반주택 75 가구를 대상으로 1988년 12월부터 1989년 4월까지 라돈농도를 측정하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 일반주택내 라돈농도는 전체 평균농도가 2.94 pCi/l 이고, 서울 2.72 pCi/l, 군산 2.70 pCi/l, 송탄 3.22 pCi/l, 도고 3.16 pCi/l 로 송탄과 도고지역은 서울과 군산지역보다 약 1.2배 높게 나타났다.

2. 조사대상 주택중 라돈의 지하실 평균농도는 3.58 pCi/l 로 1층 거실의 농도 2.74 pCi/l 보다 약 1.3배 높게 나타났다.

3. 조사대상 주택의 측정장소별로 라돈농도를 보면 침실 2.86 pCi/l, 부엌 2.43 pCi/l, 거실 3.68 pCi/l 로 나타났다.

4. 조사대상 주택중 단열재를 사용한 주택의 거실내 라돈 농도는 3.01 pCi/l 로 단열재를 사용하지 않은 주택의 농도 2.10 보다 약 1.4배 높았다.

5. 주택내 거실의 라돈농도는 흡연자 유무와 환기사용 유무에 별 유의한 차이를 보이지 않았다.

6. 라돈의 거실농도에서 미국환경청기준치(4 pCi/l)를 초과하는 비율이 조사대상주택중

서울은 5%, 송탄 16%, 도고 18%, 군산 14%로 각각 나타났다.

이상의 결과에서 실내농도는 실내 환기율, 지역적 특성, 지형적 특성, 건물구조의 특성, 건축자재의 특성에 따라 영향을 받는 것으로 사료되어 우리나라에서도 주택내 라돈농도 측정에 관한 조사가 보다 공개적이고, 광범위하게 장기적으로 이루어져 지역적 특성과 여러 위해요인에 대한 영향 평가가 이루어져야 하겠다.

참 고 문 헌

1. Spengler, JD., Doctery, DW.: Personal Exposure to Respirable particulates and Sulfates, J. Air Pollut. Control Assoc. 31, 153-159, 1981.
2. Out, WR.: Models of Human Exposure to Air Poll. Technical Report No. 32, Study of Statistics, stanford Univ. 1982.
3. National Ressearch Council: Indoor Pollut ants. National Academy of Sociences, washington D.C. 1981.
4. Garder, JB: Indoor Air At Issue, Architectural Technology, 1986.
5. ASHRAE: ASHRAE Position Paper to Guide IAQ Effort, ASHRAE Journal, 1987.
6. Hopke, PK: Radon and Its Decay Products, ACS Symposium Series 331, 572-586.
7. APCA: Indoor RAdon, Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA, 1986.
8. 김윤신 : 서울시 일부지역의 실내 공기 오염 농도에 관한 조사연구, 환경과학 논집 9, 61 ~ 66, 1988.
9. Oswald, RA, ALter, HW, and Gingrich, JE: Indoor radon measurements with

- Track Etch Detectors, Presented at the 27th Annual Meeting of the Health Physics Society, Las Vegas, June 27-July 1, 1982.
10. Alter, HW and Fleischer, RL: Passive integration radon monitor for environmental monitoring. *Health Physics*, 40, 693-702, 1981.
 11. 김윤신 : 서울시 일부지역에서의 실내 라돈 농도에 관한 조사, *한국환경위생 학회지*, 15, 11-18, 1989.
 12. Fleischer, RL and Turner, LG: Indoor radon measurements in the New York Capital District. *Health Physics*, 46, 999-1011, 1984.
 13. Crameri, R et al.: Indoor Rn levels in different geological arease in Switzeland, *Health Physics*, 57, 29-33, 1989.