

서울 일부지역의 실내 Radon 오염량 조사연구(Ⅲ)

고려대학교 보건대학 방사선과
김창균 · 김유현

- Abstract -

A Study on Radon Concentrations of Indoor Air in Seoul(Ⅲ)

Chang Kyun Kim · You Hyun Kim

Dept. of Radiotechnology, College of Health Sciences, Korea University

This study was conducted to find out the radon concentration of indoor air on second floor of a building in Seoul, from January to December in 2000. The following results were achieved :

1. The annual radon concentration of indoor air was 0.81 ± 0.35 pCi/L on the average.
2. The time of the highest radon concentration of indoor air was 9 : 00 AM.
3. The radon concentration of indoor air in the year 2000 compared with that in the year 1998 was increased.

I. 서론

Radon이라 함은 자연 방사성붕괴계열의 시조인 U-238, U-235 그리고 Th-232가 붕괴하여 가는 과정에서 자연적으로 생성되는 핵종으로서 U-238($4n+2$)계열에서 생성되는 radon(Rn-222)과 Th-232($4n$)계열의 붕괴 과정에서 생성되는 것을 thoron(Tn-220), 그리고 U-235($4n+3$)계열에서 발생하는 것을 actinon(An-219)으로 별칭하고 있으나 일반적으로는 radon(Rn)으로 통합하여 부르고 있다.

이들 중 대부분을 차지하고 있는 것은 Rn-222와 Tn-220이고 An-219는 별로 많지 않으나 이들의 공통점이 기체상태로 존재하기 때문에 공기를 오염시키면서 많은 문제점을 야기 시키고 있다.

Radon의 대부분(80% 이상)은 토양에서 생성되며¹⁾ 생성된 radon이 대기중으로 방출되는 비율은 전체 생성량의 약 10% 정도로 알려져 있고²⁾ 또 땅속을 흐르는 지하수에도 상당량의 radon이 용해되어 있는 것으로 보고되고 있다³⁾.

이러한 현실은 인간의 생존 필수요소인 호흡과 수분의 섭취시에 자연적으로 체내에 radon의 유입을 초래하여 방사선의 내부피폭을 초래하는 중요한 요인으로 작용하고 있다.

한편 미국인의 방사선 피폭량의 55%가 radon에 의한 것이라는 보고⁴⁾와 Surgeon General이 미국인의 폐암 발

생 원인중 radon에 의한 것이 2위⁵⁾라는 것과 특히 흡연자들은 radon 흡입으로 인한 폐암의 발생이 비흡연자에 비하여 상대적으로 높다는 보고⁶⁻¹²⁾는 radon 오염에 의한 폐암 발생의 심각성을 단적으로 표현하고 있다.

Radon은 반감기가 짧아서(3.8일) 큰 문제가 없다고 단순하게 생각할 수 있으나 radon 그 자체보다는 radon에 의하여 생성되는 여러 가지 낭핵종들(daughter nuclides)에서 방출하는 다양한 종류의 방사선과 에너지는 인체에 대한 많은 방사선위험을 초래하게 된다.

특히 현대사회의 근로상황이 실외보다는 실내근무 위주로 되어 가는 추세와 건축 기술의 발달은 실내 공기가 외부와 유통을 가급적 차단하는 추세로 가고 있는 이때에 밀폐된 실내로 유입된 radon의 피해는 더욱더 심각하게 대두되고 있으므로 본 연구를 하였고 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

본 연구의 대상은 서울특별시 성북구에 위치한 지하층이 있는 지상 5층 콘크리트 건물(공공건물)의 2층의 한 실내를 대상으로 하였으며 이 공간이 특별히 다른 건물

*Corresponding author : You Hyun Kim, Phone : (02)940-2823
E-mail : kyh@korhealth.ac.kr

의 공간과 차이는 없었고 radon의 오염량 조사기간은 2000년 1월부터 12월까지 만 1년으로 하였다.

2. 조사방법

Radon 측정기는 미국 Honeywell사의 At Ease TM Radon Monitor와 Sun Nuclear Corporation사의 Radon Monitor(model-1027)를 사용하였고 이 측정기들은 연속적으로 radon을 측정할 수 있는 monitor로서 미국 EPA의 승인을 받은 것으로서 두 측정기를 같은 실내에 고정하여 같은 시간에 radon의 오염량을 측정하여 그 값을 평균하였으며 측정시각은 오전 9시와 오후 1시 그리고 오후 5시로서 하루에 3번씩 측정하였다.

한편 측정기의 고정 위치는 실내 바닥으로부터 71 cm 되는 높이로 하였고 외벽으로부터는 40 cm 떨어지게 하였다(EPA 기준을 충족하였음).

Ⅲ. 조사성적

1. 연간 Radon의 오염현황

2000년 1월부터 12월까지 1년간 조사된 radon의 실내 오염현황을 시각별 그리고 월별로 분류하면 Table 1과 Fig. 1, Fig. 2와 같다.

Table 1. Radon concentration of indoor air by month and the time of day (unit : pCi/L)

Month	The time of day			Mean
	9:00 AM	1:00 PM	5:00 PM	
1	1.14±0.58	1.04±0.61	0.87±0.41	1.01±0.54
2	0.92±0.39	1.01±0.53	0.57±0.29	0.88±0.51
3	0.89±0.38	0.83±0.35	0.62±0.24	0.78±0.36
4	0.70±0.32	0.64±0.28	0.55±0.23	0.63±0.29
5	0.75±0.28	0.76±0.23	0.51±0.24	0.67±0.28
6	0.84±0.34	0.75±0.31	0.55±0.23	0.72±0.32
7	0.72±0.33	0.77±0.39	0.53±0.24	0.68±0.34
8	0.82±0.31	0.82±0.34	0.64±0.24	0.77±0.32
9	0.76±0.28	0.79±0.35	0.60±0.31	0.72±0.34
10	0.92±0.25	0.83±0.33	0.55±0.34	0.81±0.34
11	0.93±0.29	0.88±0.38	0.75±0.28	0.85±0.35
12	1.10±0.39	1.01±0.42	0.88±0.24	0.98±0.39
Mean	0.88±0.37	0.85±0.36	0.68±0.28	0.81±0.35

2. 월별 Radon 오염 분포 현황

실내 radon 오염량의 월별 분포 현황은 Table 2와 같다.

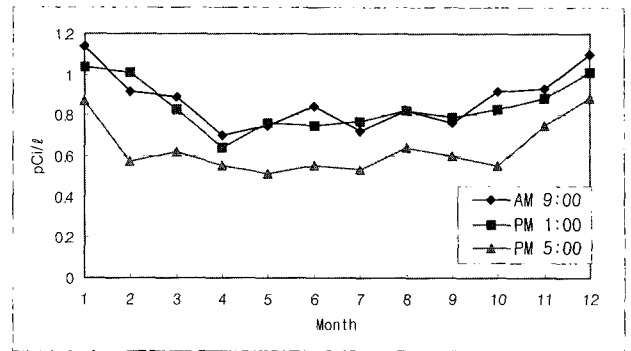


Fig. 1. Average radon concentration of indoor air by the time of day

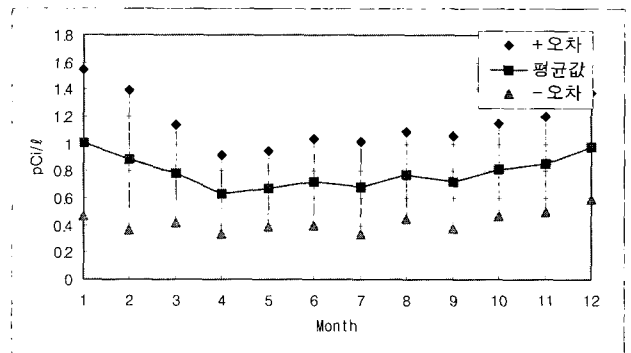


Fig. 2. Average radon concentration of indoor air by month

3. 시각별 Radon 오염 분포 현황

실내 radon 오염량의 시각별 분포 현황은 Table 3, 4 그리고 Table 5와 같다.

Ⅳ. 고 찰

Radon의 발생원이 지각의 토양이라는 사실 때문에 미국의 EPA는 3층 이하의 모든 건물의 실내에 대한 radon 오염 측정을 권고하고 있으며 실내 공기를 오염시키는 radon의 유입경로는 건물바닥의 틈새, 건물구조의 연결부위, 벽의 틈새 그리고 수도물의 공급 배관 등으로 알려져 있다¹³⁾.

또한 실내의 radon오염을 악화시키는 한 요인으로는 건물의 밀폐여부와 실내공기의 통풍 등이 있으며 부수적으로 기압의 고저가 오염량을 크게 좌우하고 있다¹⁵⁾. 그러므로 실내의 radon 오염량을 감소시키기 위해서는 먼저 radon의 유입 경로를 철저히 차단해야 하고 또한 이미 실내에 유입된 radon을 제거하기 위해서는 실내공기의 순환을 자주 시키는 것이 중요하다.

하루중 radon의 오염량이 가장 높은 시각은 오전 9시로 나타난 것은 밤새도록 실내의 공기가 정체되어 있었

Table 2. Distribution of monthly radon concentration of indoor air

Range (pCi/L)	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Percent												
0.01 ~ 0.50		13.7	14.3	19.3	24.6	18.9	18.6	24.2	15.0	29.1	10.2	10.3	
0.51 ~ 1.00		39.2	55.1	45.6	64.9	67.9	59.3	58.1	56.7	52.7	61.2	53.4	56.4
1.01 ~ 1.50		25.5	16.3	35.1	10.5	13.2	22.1	16.1	28.3	16.4	24.5	32.8	35.9
1.51 ~ 2.00		15.7	8.2					1.6		1.8	4.1	3.5	2.6
2.01 ~ 2.50		5.9	6.1										5.1
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 3. Distribution of monthly radon concentration of indoor air at 9 : 00 AM

Range (pCi/L)	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Percent												
0.01 ~ 0.50		5.6	5.9	19.0	21.1	10.5	13.6	19.0	9.5	11.1		5.0	
0.51 ~ 1.00		44.4	52.9	57.2	57.9	68.4	45.5	57.1	57.2	66.7	56.3	45.0	53.3
1.01 ~ 1.50		16.7	23.5	23.8	21.0	21.1	40.9	23.9	33.3	22.2	43.7	50.0	40.0
1.51 ~ 2.00		22.2	11.8										6.7
2.01 ~ 2.50		11.1	5.9										
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 4. Distribution of monthly radon concentration of indoor air at 1 : 00 PM

Range (pCi/L)	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Percent												
0.01 ~ 0.50		18.7	6.3	15.0	22.2	5.6	15.0	19.0	14.3	17.6	6.2	11.7	
0.51 ~ 1.00		31.3	56.2	45.0	66.7	77.8	60.0	52.4	47.6	47.1	68.8	47.1	53.8
1.01 ~ 1.50		18.8	12.5	40.0	11.1	16.6	25.0	23.8	38.1	35.3	18.8	35.3	38.5
1.51 ~ 2.00		25.0	18.8					4.8			6.2	5.9	
2.01 ~ 2.50		6.2	6.2										7.7
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 5. Distribution of monthly radon concentration of indoor air at 5 : 00 PM

Range (pCi/L)	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Percent												
0.01 ~ 0.50		16.7	31.3	21.1	30.0	37.5	29.4	35.0	18.8	30.0	23.5	10.5	
0.51 ~ 1.00		38.9	56.3	73.7	70.0	62.5	70.6	65.0	75.0	60.0	58.8	68.4	63.6
1.01 ~ 1.50		38.9	6.2	5.2					6.2	10.0	17.7	21.1	36.4
1.51 ~ 2.00		5.5											
2.01 ~ 2.50			6.2										
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

던 결과로 사료되고 그 다음이 오후 1시, 그리고 가장 적게 나타난 시각이 오후 5시로 나타난 결과도 실내공기의 순환과 관계가 있는 것으로 사료되며 이와 같은 경향은 NRPB의 보고와도 같은 현상을 나타내고 있다¹⁶⁾.

오전 9시의 radon 오염량의 연평균 0.88 ± 0.37 pCi/L는 1998년도 오전 9시 측정값(0.81 ± 0.31 pCi/L)과 비교하면 확실한 오염량의 증가를 나타내고 있으며($P < 0.005$), 오후 1시의 측정값은 0.85 ± 0.36 pCi/L로서 나타났는데 이 값도 1998년도의 측정값인 0.79 ± 0.32 pCi/L와 비교할 때 오염량이 증가한 결과($P < 0.025$)를 보이고 있으며 오후 5시의 측정값은 0.68 ± 0.28 pCi/L를 나타내고 있다. 이 값 역시 1998년도의 측정값(0.63 ± 0.24 pCi/L)과 비교할 때 역시 오염량이 증가되고 있었다($P < 0.005$).

한편 radon 오염량을 월별로 살펴보면 1월부터 12월까지 모든 달에서 오염량이 0.51 pCi/L~1.00 pCi/L 범위인 일수가 가장 많았고(Table 2) 또 계절별로는 봄과 여름에 오염량이 다른 계절에 비하여 적은 것은 이 시기가 일년중 기압이 비교적 낮은 것과 상관이 있는 것으로 사료된다.

또한 시각별 radon 오염량을 월별로 보아도 역시 0.51 pCi/L~1.00 pCi/L의 범위가 차지하는 비율이 가장 높게 나타나고 있다.

1년 동안 측정된 radon 오염량의 평균은 0.81 pCi/L로서 추¹⁷⁾의 보고(0.75 pCi/L)보다는 약간 높은 수치이나 공공 건물 1층의 radon의 평균 오염량이 1.15 pCi/L라는 보고¹⁸⁾와 서울의 일반주택의 radon 오염량이 2.72 pCi/L¹⁹⁾라는 결과 보다는 매우 낮게 나타났고 미국의 일부 지역의 실내 radon 오염량이 평균 0.83 pCi/L라는 보고²⁰⁾와는 매우 비슷한 결과를 나타내고 있으며 radon의 실내 오염량이 측정장소의 위치나 건물의 사용 수명에 따라서도 크게 좌우된다는 사실을 고려할 때 이와 같은 측정값의 편차는 당연한 것으로 사료된다.

미국의 EPA에서는 실내 radon 오염량의 한계치를 4 pCi/L로 규정하고 있는 것에 비하면 위와 같은 수치의 오염량은 크게 우려할 것이 아니라고 생각이 되나 radon 오염과 함께 하는 흡연은 심각한 건강의 위협(폐암)을 초래한다는 사실¹⁴⁾은 특히 젊은층의 흡연인구가 증가 추세에 있는 우리의 현실을 생각하면 사전에 radon 오염량의 수준을 낮추는데 있어서 부단한 노력을 하여야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

2000년 1월부터 12월까지 서울특별시 성북구에 위치한 한 공공건물의 2층에서 radon의 실내 오염량을 측정된 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 년평균 radon의 실내 오염량은 0.81 ± 0.35 pCi/L이었다.
2. 하루 중 가장 radon의 오염량이 높은 시각은 오전 9

시였다.

3. Radon의 실내 오염량은 1998년에 비하여 증가하였다.

참 고 문 헌

1. National Council on Radiation Protection and Measurements : Exposure from the uranium series with emphasis on radon and its daughters, NCRP Report No. 77, 1984.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements : Environmental radiation measurements, NCRP Report No. 50, 1976.
3. National Council on Radiation Protection and Measurements : Evaluation of occupational and environmental exposure to radon and radon daughters in the United States, NCRP Report No. 78, 1984.
4. Hall, E. J. : Radiobiology for the radiobiologist, Philadelphia, J. B. Lippincott, 1994.
5. Environmental Protection Agency : EPA Document 402-K92-001, September 1992.
6. Environmental Protection Agency : Environmental standards for uranium and thorium mill tailings at licensed commercial processing sites : final rule, 40CFR Part192, Federal Register 48, 45926, 1983.
7. Harley, N. H. and Pasternack, B. S. : A model for predicting lung cancer risks induced by environmental levels of radon daughters, Health Physics, 40, 307-316, 1981.
8. National Council on Radiation Protection and Measurements : Exposure from the uranium series with emphasis on radon and its daughters, NCRP Report No. 77, 1984a.
9. National Council on Radiation Protection and Measurements : Evaluation of occupational and environmental exposure to radon and radon daughters in the United States, NCRP Report No. 78, 1984b.
10. International Commission on Radiological Protection : Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters, ICRP Publication 50, Annals of the ICRP 17(I), 1987.
11. National Research Council : Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters, U. S. NRC Report BEIR IV, National Academy Press, Washinton D. C., 1988.
12. Jacobi, W. : Radiation and lung cancer, Preceedings of the International Conference on Radiation Effects and Protection, Mito, Ibaraki, Japan, March 18-22, 1992.
13. <http://www.epa.gov/iaq/radon/pubs/citguide.html>.

14. <http://www.discoverit.com/at/phi/article.html#A3.6>.
15. 김창균 : 서울 일부지역의 실내 Radon 오염량 조사 연구(Ⅱ), 의학기술논집, 제 24 권, 제 1 호, 1998.
16. National Radiological Protection Board : ATA-GLANDE Series, NRPB.
17. 이해룡 등 : 알파방사선에 의한 국민위해 평가(Ⅲ), 국립 보건원보, 제 30 권, 제 2 호, 465-469, 1993.
18. 이해룡 등 : 알파방사선에 의한 국민위해 평가(Ⅱ), 국립 보건원보, 제 29 권, 제 2 호, 442-446, 1992.
19. 김윤신 : 우리나라 일부 주택내의 라돈 농도에 관한 조사연구, 한국위생학회지, 15, 1-7, 1990.
20. George, A. C. and Breslin A. J. : The distribution of ambient radon daughters in the residential buildings in the New Jersey-New York area, National Radiation Environment III, Vol. 2, 1980.