

건물 층별에 따른 라돈농도에 관한 연구

김영식[†]

밀양대학교 환경공학과

The Study of Radon Concentration According to Building of Stars

Young-Sik Kim[†]

Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University
(Received Oct. 27, 2004; Accepted Nov. 16, 2004)

ABSTRACT

This study was carried out to provide radon concentration and exposure in building. The average radon concentrations of building was measured 1.37 pCi/L in basement, 0.95 pCi/L in 1st layer, 0.74 pCi/L in 2nd layer, 0.56 pCi/L in 3rd layer, and 0.4 pCi/L in 4th layer, respectively. The average radon concentration of basement was measured the higher than any other stairs. Daily average distribution of radon concentrations in building shown that radon concentrations measured in morning at 8hr was the highest value. Monthly average distribution of radon concentrations shown 0.28 ± 0.17 pCi/L in April and 0.82 pCi/L in December that was the highest value. The average concentrations of radon was measured 0.38 pCi/L in spring, 0.44 pCi/L in summer, 0.53 pCi/L in autumn, and 0.67 pCi/L in winter, respectively. This result shown that the average concentrations of radon in winter was the higher than any other seasons. That reasons was supposed that effect of number of exchanges and using air conditions was the higher in summer than winter.

Keywords: radon, building of stairs, air conditions

I. 서 론

오늘날 현대인들은 하루 24시간의 대부분을 실내에서 생활하고 있다고 해도 과언이 아닐 정도로 밀폐된 공간에서 생활하고 있다. 우리나라에서 조사된 바는 없지만 외국의 통계(NAS 1981)에 따르면 현대인들은 하루중 80% 이상을 실내에서 보내고 있으며 어린이 노약자의 경우에는 더 많은 시간을 실내에서 보내고 있다고 한다.¹⁻³⁾

일상의 주요한 실내공간으로는 집, 사무실, 학교, 식당, 차량 등을 꼽을 수 있는데 최근 실내에서 보내는 시간이 증가하면서 실내 환경에 대한 관심과 그 중요성이 날로 증가하고 있다. 주요 실내오염물질 중 하나인 라돈(Radon : Rn)은 자연계에 널리 존재하는 자연방사능으로 우라늄광, 토양, 시멘트, 콘크리트, 모래

등의 건축자재 및 지하수 등에 함유되어 있다.⁴⁾ 라돈은 α 붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종(Radon daughter)을 생성하는데 이 낭핵종이 폐에 흡입되면 α 방사선을 방출하는데, 그런 알파 입자들은 인체의 세포를 죽이거나 염색체를 손상시킬 수 있다.⁵⁾ 그러므로 라돈과 그 딸핵종들의 방사선으로 염색체가 손상된다면 비정상세포가 재생성되면서 폐암의 발생위험율을 높이는 것으로 보고되었고(OECD/NEA, 1983; ICRP, 1987), 폐암의 발생확률은 라돈의 농도에 비례한다. 따라서 라돈 함유량이 높은 건축자재를 사용하였거나 환기시설이 불량한 건물에서는 라돈농도가 높게 나타날 수 있다.

현재까지 연구 및 조사결과에 의하면 라돈 및 라돈 자핵종의 호흡으로 인한 방사선 피폭은 일반 대중의 자연 방사선 피폭선중 가장 지배적인 경로(Health physics, 1983)이며, 이로 인한 일반 대중의 년 평균 전신 실효선량 당량은 1.10 mSv/year로 총 자연 방사선 피폭 선량인 2.40 mSv/year의 46%에 이른다(U.N. SCEAR, 1988). 건강 위해 측면에서 라돈가스 자체는

[†]Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Miryang National University
Tel: 82-55-350-5433, Fax: 82-55-350-5439
E-mail : kysik@mnu.ac.kr

방사선 가스이지만 불활성이므로 사람이 호흡하더라도 폐에 흡수되지 않고 다시 방출되어 별 문제가 되지 않지만, 라돈이 붕괴하여 만들어지는 ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{214}Po 와 같은 입자상의 방사성 핵종은 먼지 형태로 공기 중에 떠돌거나 어떤 물체의 표면에 흡착된 상태로 체내로 흡입되고 폐에 흡착되어 여기서 방출되는 알파 방사선의 파폭으로 장기적으로 폐암이 유발될 수 있다고 한다.⁶⁻¹⁵⁾

주택내에서 발생한 라돈에 의한 피해사례가 우리나라에서는 보고되지 못하였으나 확실한 피해증 폐암에 폭로될 절대위험을 2%를 곱하여 추정해보면 1987년 우리나라 폐암사망자수 3,578명 중 약 3.5~15.4%에 해당하는 128~551명이 주택내에서 방출된 라돈에 의해 사망된 것이라 추정할 수 있다(김윤신, 1991). 국내에서의 라돈 연구는 주택내, 사무실, 지하철역에서의 라돈 농도 조사가 수행되어 왔으나 일부 micro environment의 조사에 국한되어 있어, 국내에서의 라돈농도에 의한 위해성 평가는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내 공기 오염물질 중에서도 인체 건강 측면에서 가장 중요하게 다루어지고 있는 라돈의 특성과 건물 층별에 따른 라돈 농도를 살펴보고 라돈 문제에 대한 인식을 고취시켜 예방대책에 필요한 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 측정원리

본 측정에서 사용된 라돈 측정기는 반도체 이용 알파 감지기로서 알파선을 직접 전기적 부호로 전환시킨다. 어떤 동위 원소(polonium-218, polonium-214)에 나온 방사선을 정확하게 구별하고 곧 바로 오래된 radon 과 새 radon 그리고 radon 및 thoron을 소리부호로 판별할 수 있게 한다.

라돈측정기의 내부 샘플실은 0.7리 반구체로 내부는 전도체로 코팅되어 있다. 공기는 펌프에 의해 실리카겔 및 필터를 거쳐 반구체 내부로 1 l/min 유량으로 유입된다. 이 과정에서 에어로졸 및 습기가 제거된다. 이 반구의 중앙에 이온매립 반도체(실리콘) 알파선 탐지기 가 설치되어 있다. 2000~2500 volt의 고전압 전류가 내부 전도체에 흘러 탐지기로 이어지고 샘플실 전체에 걸쳐 전장이 형성되도록 한다. 이 전장은 양전기로 충전된 알파입자를 탐지기로 밀어내어 radon이 측정되는 원리이다.

Fig. 1은 라돈측정기의 개략적인 그림을 나타낸 것이다.

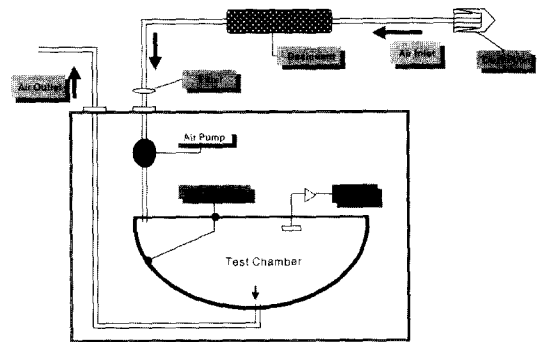


Fig. 1. The schematic diagram of radon monitor.

2. 측정방법

본 연구에서 사용된 라돈측정기는 Durridge사(RAD7, USA)의 장비를 이용하여 2003년 6월부터 2004년 1월 까지 건축연령이 10년된 콘크리트 건물을 선정하여 지하에서 4층까지 EPA의 측정기준에 따라 48시간 연속 측정을 하였고, 환경부에서 발표한 실내 공기중 라돈 측정 지침서에 준하여 실내 라돈농도의 시간별, 월별, 층별 분포를 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 층별 실내 라돈농도

건물의 층별 라돈 농도를 측정한 평균 라돈 농도는 Table 1과 같다. 각 층별의 라돈농도는 지하가 1.06 ± 0.35 pCi/L, 1층은 0.68 ± 0.31 pCi/L, 2층은 0.52 ± 0.24 pCi/L, 3층은 0.40 ± 0.22 pCi/L, 4층은 0.26 ± 0.15 pCi/L로 조사되었다.

실내의 라돈이 주로 토양가스에서 유입되므로 토양층에 가까이 위치한 지하공간에서 라돈농도가 높게 검출된 것으로 판단되며, 1층 이상에 위치한 실내공간의 경우 두 가지 원인에 의해 지하공간보다 낮은 농도를 보이는 것으로 판단된다. 첫 번째는 1층 이상의 공간에서는 지하공간보다 출입이 잦아 라돈의 농도가 희석되어 낮게 검출된 것이며, 두 번째는 라돈의 비중이 공기보다 9.73배 무겁기 때문에 대기 중에서 수직방향으로의 이

Table 1. The radon concentration according to building of stairs

Floor	Mean	S.D	Range(PCI/L)
Basement	1.06	0.35	0.35~1.17
1st floor	0.68	0.31	0.14~1.31
2nd floor	0.52	0.24	0.12~1.16
3rd floor	0.40	0.22	0.06~0.95
4th floor	0.26	0.15	0.03~0.65

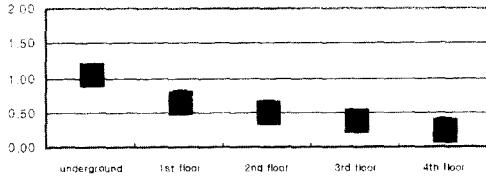


Fig. 2. The radon concentrations according to building of stars.

동이 제한되었기 때문이다.

2. 시간대별 라돈농도

Fig. 3은 2003년 6월부터 12월까지 7개월을 각 시간대별로 나누어 평균농도를 나타낸 것이다. 하루 중 아침 8시에 0.79 pCi/L로 하루 중 가장 높았고, 오후 18시~20시 사이가 가장 낮은 농도를 나타냈었다. 이러한 일일시간대별 농도분포는 한국원자력문화재단에서 출판한 “알기쉬운 방사선 이야기”¹³⁾에서 제시된 “하루 중 시간대별로 보면 새벽 4시에서 오전 7시까지가 최고치를 보이다가 오후 1시에서 4시 사이에 최소값을 나타낸다”와 같이 우리나라의 일반적인 자연방사선의 일일 시간대별 농도 분포와 유사한 분포를 보였다.¹³⁾

Fig. 4는 시간대별 온도 및 습도분포를 나타낸 것으로 농도그래프와 비교 분석하면 온도가 가장 낮은 시간대인 9시에 라돈농도가 가장 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 5는 습도 분포를 나타낸 것으로 18~20 사

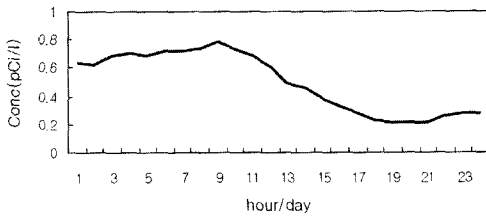


Fig. 3. Daily distribution on average of radon concentration.

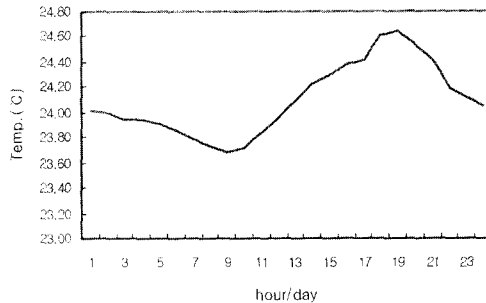


Fig. 4. Daily average distribution of radon according to temperature.

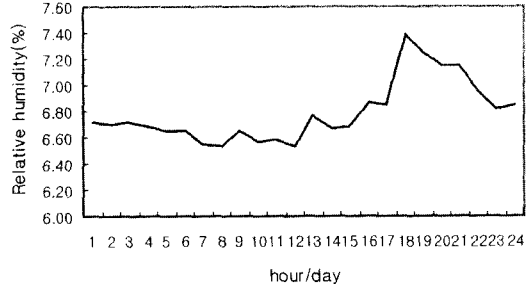


Fig. 5. Daily average distribution of radon according to humidity.

이가 가장 높게 나타났는데, 이때 라돈농도는 가장 낮게 측정되었으며 온도분포 곡선과 비슷한 형태를 나타냄으로써 온도 및 습도가 실내 라돈농도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 향후 라돈 연구에서는 온도와 습도에 대해서까지 체계적인 연구를 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 월별 라돈농도 분포

7개월간 측정된 월별 라돈농도를 Table 2에 나타냈었다. 12월이 0.82±0.31 pCi/L로 가장 높게 조사되었으며 6월이 0.47±0.25 pCi/L로 가장 낮게 측정되었으며, EPA의 권고치(4 pCi/L) 보다는 낮은 값으로 위험한 수준은 아니라고 판단된다.

4. 계절별 라돈농도 분포

계절별 실내 라돈농도를 Table 3에 제시하였다. 라돈

Table 2. Monthly average concentrations of radon (unit : pCi/L)

Month	Mean	S.D	High	Low
June	0.47	0.25	1.04	0.04
July	0.49	0.19	0.95	0.17
August	0.49	0.21	0.99	0.16
September	0.52	0.23	0.1	0.11
October	0.63	0.28	1.33	0.15
November	0.66	0.31	1.32	0.13
December	0.82	0.31	1.45	0.22

Table 3. Average season concentration of radon (unit : pCi/L)

Season	Mean	S.D	High	Low
Summer	0.48	0.22	0.99	0.12
Autumn	0.58	0.26	0.72	0.13
Winter	0.74	0.31	1.39	0.18

농도의 계절적인 분포를 보면 여름이 0.48 ± 0.22 pCi/L, 가을 0.58 ± 0.26 pCi/L, 겨울이 0.74 ± 0.31 pCi/L로 측정되었다.

일반적으로 창문을 활짝 열어두면 풍속이 3 m/sec일 경우 시간당 10~30 m³의 공기가 교환되고 이는 정상 시간당 공기 치환율이 2~3배이고, 이로써 라돈농도가 50~70% 가량 감소된다는 보고가 있다.¹³⁾

따라서 여름철 라돈농도가 겨울철보다 낮은 이유는 여름철이 상대적으로 자연환기를 자주하기 때문이고, 또 다른 이유는 여름철의 에어컨이 라돈농도를 희석할 수 있는 신선한 공기가 유입되므로 실내 라돈농도가 겨울철보다 낮게 검출되었다.

5. 실내 라돈의 피폭선량 예측

본 연구에서 라돈 자핵종에 의한 피폭선량을 구하기 위해 실내에서 생활하는 시간을 조사한 결과 12시간으로 보고 12시간 동안 연구실에서만 활동하는 것을 전제로 하였다. 그리고 총 5개 측정 위치중 지하 및 1층을 제외시킨 나머지 층수에서 피폭선량을 구하였다. 1988년 유엔 보고서에서 채택한 전체 방사선 평형인자 Ft 값 0.4를 이용하여 피폭선량을 계산하면 아래와 같다.

$$WL = F_t \times \frac{C_{Rn}}{100} \text{의 의해 WL을 계산하면,}$$

여기서 $F_t : 0.4$

$CRn : 2, 3, 4$ 층 평균 라돈 농도

$$WL = 0.4 \times \frac{0.3933}{100} = 0.00157 \text{ WL 이다.}$$

그리고 1 WL의 농도에서 한 달간 작업시간인 170(국제 방사선 방어위원회)동안 누적된 피폭량을 1 WLM으로 환산하면

$$WLM = WL \times \left(\frac{\text{피폭시간}}{170} \right) \text{이다.}$$

위 식에 실내에서 생활하는 시간인 12시간을 적용하여 WLM을 구한다.

$$\begin{aligned} WLM &= 0.00157 \times 12 \text{ hr} \times \frac{30 \text{ 일}}{170} \\ &= 0.003325 \text{ WLM이다.} \end{aligned}$$

WLM 값을 연간 누적 피폭선량인 WLM/yr로 환산하면

$$\begin{aligned} WLM/yr &= 0.003325 \text{ WLM} \times 12M/yr \\ &= 0.0399 \text{ WLM/yr} \end{aligned}$$

위의 값을 유효선량 당량의 환산인자 값 540 mRem/WLM를 대입하여 측정된 실내 라돈농도 값으로 연간 피폭선량을 예측해 보면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} mRem/yr &= (0.03669/yr) \times (540 \text{ mRem/yr}) \\ &= 21.546 \text{ mRem/yr이다.} \end{aligned}$$

따라서 이 연구에서 측정된 라돈 및 라돈 자핵종에 의해 근무시간(12hr/day)동안 피폭될 수 있는 피폭선량이 21.546 mRem/yr로 조사되었다. 이는 현재까지 조사된 인류의 연가 자연방사능 피폭선량인 240 mRem/yr(2.4 mSv/y) 중 46%정도인 110 mRem/yr(1.1 mSv/y)가 라돈 및 자핵종에 의한 피폭이라고 보고된 자료(U. N. SCEARt, 1988)에 미치지 못하는 수치이며, 국제 방사선 방어 위원회가 정하고 있는 일반 표준성인의 연간 전체시간에 대한 라돈 자핵종의 피폭 허용치인 130 mRem 보다 훨씬 낮은 수치로 인체에 영향이 적은 것으로 판단된다. 향후 연구시 건물 연령별, 건축 자재별, 지하실 깊이, 환기여부 그리고 외부 기상여부를 고려하여야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

라돈의 층별에 따른 실내 라돈농도 분포를 파악하기 위해 2003년 6월부터 2003년 12월까지 라돈측정기를 이용하여 지하에서 지상 4층까지 측정하였다. 라돈농도의 시간별 농도 변화, 층별 농도 변화, 월별 및 계절별 라돈농도 변화, 연간 라돈 및 라돈 자핵종에 의한 피폭선량 예측하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 실내 라돈 평균농도는 지하 1.06 pCi/L, 1층 0.68 pCi/L, 2층 0.52 pCi/L, 3층 0.4 pCi/L, 4층 0.26 pCi/L 측정되었으며, 토양층에 가까이 위치할수록 라돈농도가 높게 검출되었다.
2. 실내 평균 라돈 농도의 시간대별 분포를 보면 아침 8시에 0.79 pCi/L로 가장 높게 측정되었고, 점차 오후로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다.
3. 라돈 농도의 월별 라돈농도 분포는 6월이 0.47 pCi/L로 가장 낮은 수치를 나타내었고, 12월이 0.82 pCi/L로 가장 높은 수치를 기록하였다.
4. 계절별 라돈농도는 여름이 0.48 pCi/L, 가을 0.58 pCi/L, 겨울 0.74 pCi/L로 여름보다 겨울에 농도가 높았다. 이는 여름철이 겨울철보다 환기횟수가 많고, 에

어컨의 가동으로 실내 라돈 농도가 감소한 것으로 판단된다.

5. 실내 라돈 농도를 이용하여 2, 3, 4층의 연간 피폭선량을 예측한 결과 21.546 mRem/yr이었다. 이는 국제 방사선 방어 위원회가 정하고 있는 일반 표준성인의 연간 전체시간에 대한 라돈 자핵종의 피폭 허용치(130 mRem/yr)보다 낮은 수치이므로 인체에 영향이 적은 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Spengler, J. D. and Docetery, D. W. : Personal exposure to respirable particulates and sulfates. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **31**, 153-159, 1981.
2. Out, W. R. : Modeles of Human Exposure to air Poll. Technicall Report NO. 32, Study of Statistics, Stanford Univ. 1982.
3. National Research Council, Indoor Pollutant, National Academy of Sociences, Washington D.C., 1981.
4. Hopek, P.K. : Radon and it's decay products, ACS Symposium Series 331.572-586.
5. APCA : Indoor Radon, Air pollution Control Association; Pittcburgh, PA, 235-236, 1986.
6. U.S EPA(Environment Protection Agency) A Citizen's Guide to Radon. EPA, ANR-464, 4002-K-92-001. 1992a.
7. ICRP. Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 60. *Annals of ICRP* 21(12); 1991.
8. U.K NRPB. Radon, At a Glance Series, 175-178, 1990.
9. NCRP(1988). Health risks of radon and other inernally deposited alpha-emitters.
10. UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1988 Report to the General Asembly, United National, New York. 1988.
11. U.S. National Research Council Report BEIR IV, National Academy Press, Washington D.C 28. Andrew, M.P. and David, P.R. : Environmental Medicine. National Academy Press. 89-92, 1995.
12. IARC. Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-made Fibers and Radon. IARC Monograph, Vol 43. International Agency for Research on Cancer, Lyon; 76-78, 1988.
13. 서울시 지하철 환경개선 방안 연구. 서울특별시 지하철 공사. 1988.
14. 김재록 : 알기쉬운 방사선 이야기. 한국원자력재단, 15-17, 1998.
15. Goran, P. : Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. *The New England J. of Medicine*. **330**(30), 695-700, 1994.

Table 1. Fraction of time spent by subject in each micro-environments

Micro-environment	Schoolchildren nearby powerlines (N ^a = 28)	Schoolchildren away from powerlines (N = 60)	P-value
At sleeping	8.41 ± 1.07 ^b (36.56%) ^c [5.90-10.25] ^d	8.17 ± 0.86 (34.43%) [5.25-10.33]	0.2655
At home	12.61 ± 2.77 (54.82%) [1.52-16.00]	13.07 ± 2.14 (55.06%) [9.33-19.33]	0.3979
At school	5.29 ± 1.21 (22.99%) [2.62-6.88]	6.01 ± 1.51 (25.50%) [3.33-13.66]	0.0208

^aNumber of subjects; ^bStandard deviation; ^cPercentage; ^dRange[minimum – maximum].

Table 2. Summary of characteristics for subject in this study

Subject	Schoolchildren nearby powerlines	Schoolchildren away from powerlines	P-value
Age (yrs)	N ^a = 28 12	N = 60 12	
BMI ^b (kg/m ²)	N = 28 20.35 ± 2.91 ^c (14.86-26.89) ^d	N = 60 18.71 ± 2.64 (13.88-27.89)	0.0102
Period of residence (months)	N = 28 60.21 ± 44.90 (6-146)	N = 59 37.47 ± 40.10 (1-147)	0.0197
Number of electric appliances (number)	N = 28 14.61 ± 3.39 (7-21)	N = 56 18.41 ± 4.83 (7-33)	0.0001
Distance from residence to powerline	N = 28	N = 60	
- less than 100 m	17 (60.71%) ^c	5 (8.33%)	0.0001
- more than 100 m	11 (39.29%)	55 (91.67%)	
Dietary habit (burned meat)	N = 28	N = 59	
- 1 time less than per week	3 (10.71%)	10 (16.95%)	0.1739
- 2 to 5 times per week	21 (75.00%)	32 (54.24%)	
- 5 times more than per week	4 (14.29%)	17 (28.81%)	
Dietary habit (fast-food)	N = 28	N = 58	
- 1 time less than per week	11 (39.29%)	42 (72.41%)	0.0125
- 2 to 5 times per week	16 (57.14%)	15 (25.86%)	
- 5 times more than per week	1 (3.57%)	1 (1.72%)	
Status of electric sheet usage	N = 28	N = 60	
- Yes	1 (3.57%)	5 (8.33%)	0.4091
- No	27 (96.43%)	55 (91.67%)	

^aNumber of subjects; ^bBody mass index [weight(kg)/height(m²)]; ^cStandard deviation; ^dRange(minimum-maximum).

한 시간과 동일한 장소에서 서로 다른 EMDEX II 측정기 2대를 이용하여 극저주파 자기장 노출수준을 비교한 그림으로서, 두 측정기 모두 노출수준이 0.20 μT 부근에서 유사하게 변동된 결과를 나타내어 측정기간의 측정치가 일치함을 나타내었다.

3. 극저주파 자기장 개인 노출량 비교

Table 3은 송전선로 주변과 비주변 초등학생들에 대한 극저주파 자기장 개인노출 수준을 24시간과 가정생활 및 학교생활별로 비교한 것으로서 24시간 동안 송전선로 주변 초등학생의 경우에는 평균 0.37 μT의 높은

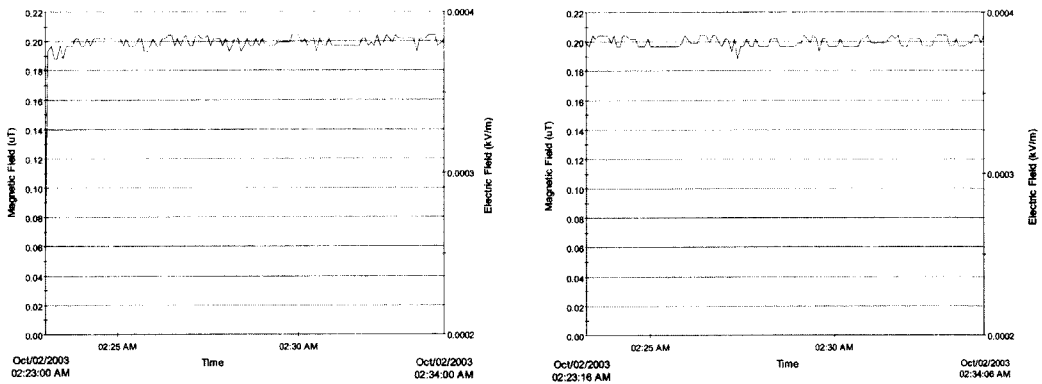


Fig. 3. Comparison of two 60 Hz magnetic field measurements in same area and same measured time.

Table 3. Comparison of ELF-MF exposure levels between schoolchildren nearby and away from high voltage powerline during 24 hours, home-life, and school-life

(Unit : μ T)

Surrogate for MF levels by micro-environment	Schoolchildren nearby powerlines (N=28)	Schoolchildren away from powerlines (N=60)	P-value
24 hours			
Arithmetic mean	0.37 \pm 0.23 (0.15-1.11)	0.05 \pm 0.03 (0.02-0.18)	0.0001
Geometric mean	0.25 \pm 0.14 (0.11-0.71)	0.03 \pm 0.01 (0.01-0.07)	0.0001
95 percentile	1.15 \pm 1.10 (0.41-3.86)	0.12 \pm 0.08 (0.03-0.36)	0.0001
At home			
Arithmetic mean	0.23 \pm 0.16 (0.07-0.75)	0.05 \pm 0.04 (0.01-0.19)	0.0001
Geometric mean	0.20 \pm 0.13 (0.07-0.62)	0.04 \pm 0.03 (0.01-0.17)	0.0001
95 percentile	0.36 \pm 0.33 (0.10-1.34)	0.14 \pm 0.23 (0.02-1.73)	0.0025
At school			
Arithmetic mean	0.80 \pm 0.75 (0.31-2.98)	0.02 \pm 0.01 (0.01-0.10)	0.0001
Geometric mean	0.66 \pm 0.58 (0.24-2.79)	0.02 \pm 0.01 (0.01-0.03)	0.0001
95 percentile	1.20 \pm 1.25 (0.44-4.79)	0.06 \pm 0.12 (0.02-0.71)	0.0001

자기장 수준을 나타내었으며 특히 학교생활의 경우에는 0.8 μ T로 매우 높은 자기장 수준을 나타내었다. 24 시간 동안 송전선로 비 주변 초등학생의 경우에는 주변학생에 비해 7배 이하의 자기장 수준을 나타내었으며 특히 학교생활 중의 자기장 노출수준에서는 0.02 μ T로 주변 초등학생에 비해 약 40배 낮은 자기장 수준을 나타내었다.

송전선로 주변과 비 주변 초등학생들의 자기장 노출 수준은 24시간 전체와 학교 및 가정 모두에 있어서 통계적으로 매우 유의한 차이(p < 0.001)를 나타내었으며, 노출지표인 산술평균, 기하평균, 95 분위수(percentile) 모두에서 통계적으로 유의한 차이(p < 0.001)를 나타내었다(Table 3).

Table 4는 연구대상자들의 일반적 특성 중 통계적으

Table 4. Comparison of ELF-MF exposure levels between schoolchildren nearby and away from high voltage powerline during 24 hours and home-life (adjusted number of electric appliances)

Surrogate for MF levels by micro-environment	Schoolchildren nearby powerlines (N=28)	Schoolchildren away from powerlines (N=60)	P-value
(Unit : μ T)			
24 hours			
Arithmetic mean	0.37	0.06	0.0001
Geometric mean	0.25	0.03	0.0001
95 percentile	1.22	0.23	0.0001
At home			
Arithmetic mean	0.22	0.05	0.0001
Geometric mean	0.20	0.04	0.0001
95 percentile	0.37	0.12	0.0015

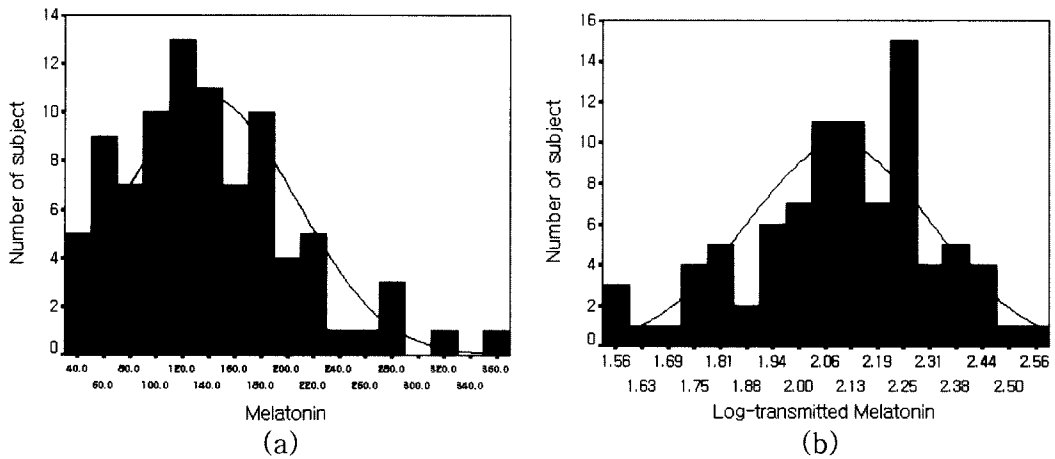


Fig. 4. The distribution of arithmetic mean (a) and log-transmitted level (b) for urinary melatonin level.

로 유의한 차이를 나타낸 전기제품 수를 보정한 후의 개인노출수준을 최소화승평균 값으로 나타낸 것이다. 가정내 전기제품 수를 보정한 후에도 송전선로 주변과 비주변 초등학생들의 자기장 노출수준은 24시간 전체와 가정 모두에 있어서 통계적으로 유의한 차이 ($p < 0.001$)를 나타내었으며, 노출지표인 산술평균, 기하평균, 95 분위수 모두에서 통계적으로 유의한 차이 ($p < 0.001$)를 나타내었다

4. 멜라토닌 분비량의 일반적 특성

Fig. 4는 연구대상자 88명에 대한 멜라토닌 분비량의 분포를 나타낸 것으로서 산술평균의 분포는 오른쪽으로 치우친(right-skewed) 분포(a)를 나타낸 반면 각 평균값을 로그로 치환한 경우에는 산술평균에 비해 정규 분포(b)를 나타내었다.

5. 극저주파 자기장 노출과 멜라토닌 분비량과의 관련성

Fig. 5는 전체 연구대상자들에 대한 멜라토닌 분비량과 극저주파 자기장 노출수준간의 상관성을 나타낸 것으로서, 분석 결과 24시간 전체와 학교생활 및 가정에서의 극저주파 자기장 노출수준 지표인 산술평균, 기하평균, 95 분위수 모두에 있어서 매우 낮은 역상관성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인 중 체질량지수(a)와 전기제품 수(c)는 멜라토닌 분비량과 무상관의 형태를 나타낸 반면 거주기간(b)과는 낮은 정상관성을 나타내었다(Fig. 6).

Table 5는 연구대상자들의 노중 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인별 멜라토닌 분비량의 차이를 평가한 것으로서 송전선로 주변 초등학생의 멜라토닌 분비량은 2.06 ng/g-cr으로, 비주변 거주 초등학생의

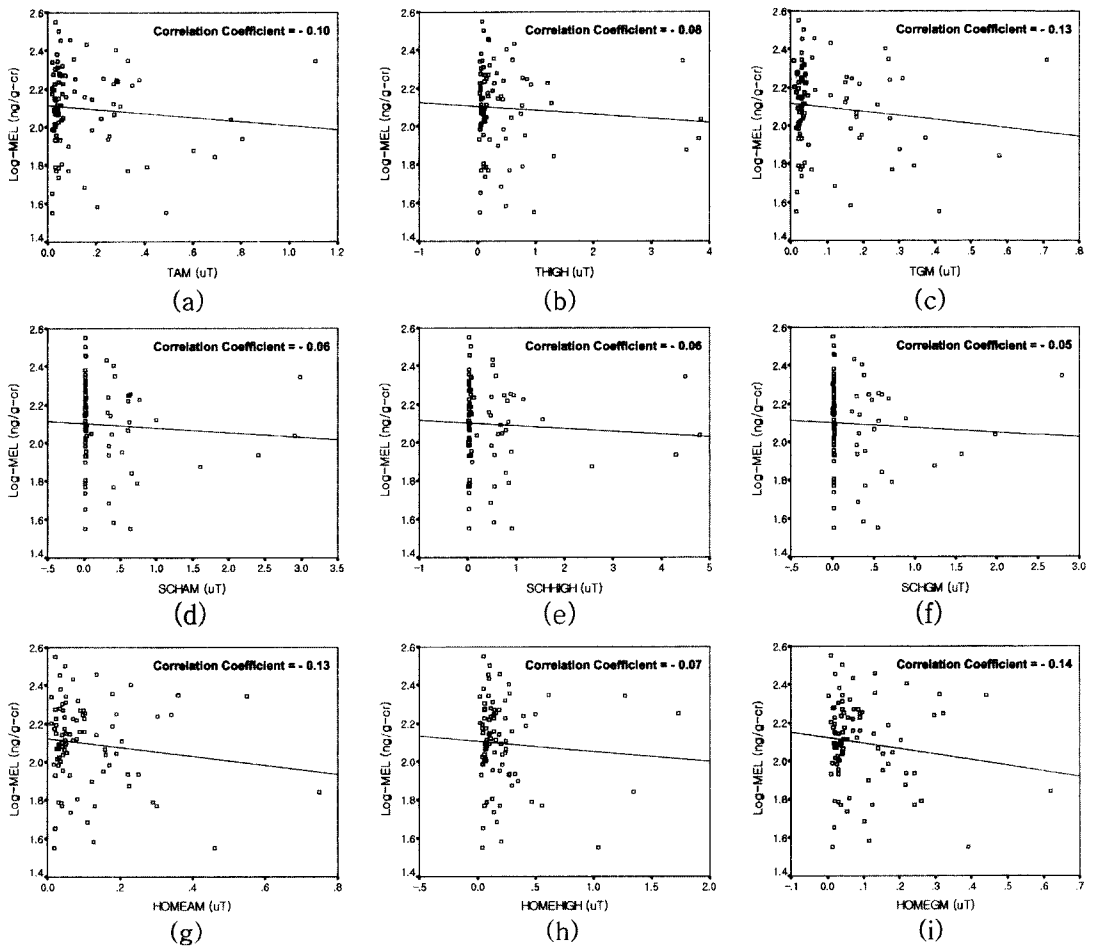


Fig. 5. Relationship matrix between urinary log-transmitted melatonin level and ELF-MF level for micro-environment. (a) is arithmetic mean of MF at 24 hour, (b) is 95 percentile level of MF at 24 hour, (c) is geometric mean of MF at 24 hour, (d) is arithmetic mean of MF at school-life, (e) is 95 percentile level of MF at school-life, (f) is geometric mean of MF at school-life, (g) is arithmetic mean of MF at home-life, (h) is 95 percentile level of MF at home-life, and (i) is geometric mean of MF at home-life.

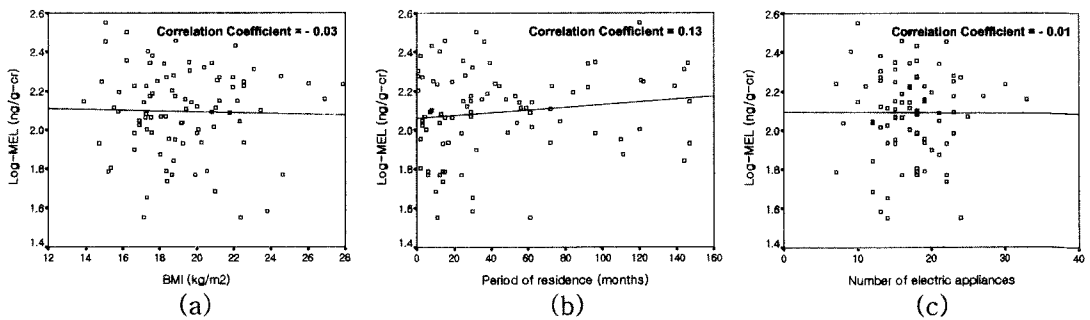


Fig. 6. Relationship matrix between urinary log-transmitted melatonin level and related factors. (a) is body mass index (BMI), (b) is period of residence, and (c) is number of electric appliance.