

다양한 노출 매트릭스를 통한 송전선로 주변과 비 주변 거주 초등학교 학생의 극저주파 자기장 노출량 평가에 관한 연구

김윤신^{1*} · 현연주¹ · 최성호¹ · 이철민¹ · 노영만¹ · 조용성¹ · 홍승철²

¹한양대학교 환경 및 산업의학연구소 · ²인제대학교 보건안전공학과

Exposure Assessment of Extremely Low Frequency Magnetic Fields by Variable Exposure Matrices for the Selected Primary Schoolchildren Living Nearby and Away from a Overhead Transmission Power Line

Yoon Shin Kim^{1*} · Youn Joo Hyun¹ · Seong Ho Choi¹

Chul Min Lee¹ · Young Man Roh¹ · Yong Sung Cho¹ · Seung Cheol Hong²

¹*Institute of Environmental and Industrial Medicine, College of Medicine, Hanyang University*

²*Department of Occupational Health & Safety Engineering, College of Biomedical Science & Engineering*

The objectives of this study were to analyze and compare 24 hrs personal exposure levels of MF at microenvironments such as home, school, educational institute, internet pc game room, transportation, and other places according to time activity patterns using various metrics for children attending the primary schools located near and away from the power lines, and to characterize the major microenvironments and impact factors attributed personal exposure level. The study was carried out for 44 children attending a primary school away from the lines(school A) and 125 children attending a school away from 154 kV power lines(school B), all who aged 12 years and were 6 grade, from July 2003 to December 2003. All participants filled in a questionnaire about characteristics, residence, use of electrical appliances and others. Children wore a small satchel in which EMDEX II and Lite (Eneritech, Co. Ltd) and a diary of activity list for period of registration in 20 minutes blocks. All statistical calculations were made with the SAS System, Release 6.12. The summary of results was presented below. First, about the characteristics of subjects, there no differences between two

groups. The subject almost spent about 56 % of their time at home and about 20 ~ 25 % of their time at school. Fifty percent of children spent 2 hours at private educational institutes. Second, the personal exposure measurements of children in school B was statistically higher than those of children in school A by various metrics such as arithmetic mean, geometric mean, percentile(5, 25, 50, 75, 95), maximum, rate of change metric, constant field metric. The arithmetic and geometric mean magnetic fields during the time the children were at school B were 0.98 and 0.86 μ T and were about 23 times higher than those of children were at school A. In conclusion, the significant major determinants of personal exposure level is the distance from the power line to microenvironments.

Key Words : extremely low frequency magnetic field, transmission power line, exposure assessment, microenvironment, personal exposure

접수일 : 2006년 5월 16일, 채택일 : 2006년 8월 10일

* 교신저자 : 김윤신 (서울시 성동구 행당동 17번지 한양대학교 환경 및 산업의학연구소,

Tel: 02-2220-1510, Fax: 02-2299-3915, H · P: 011-268-6747, E-mail: yoonshin@hanyang.ac.kr)

I. 서론

1979년 미국 콜로라도(Colorado)주, 덴버(Denver)시에서 Wertheimer와 Leeper에 의해 전력선 주변 거주 소아들과 백혈병 간의 관계를 밝힌 최초의 역학 연구결과가 발표(Wertheimer와 Leeper, 1979)된 이후, 전 세계적으로 많은 과학자들이 극저주파 자기장 노출과 질병 발생과의 관계에 대한 역학 연구를 수행하였다(Savitz 등, 1988; London 등, 1991; Linet 등, 1997). 그러나 일관된 결과를 나타내지 못하여 극저주파 자기장의 인체 유해성에 대한 논란이 아직까지도 계속되고 있는 실정이다.

이에, WHO에서는 International EMF Project를 통해 10년에 걸쳐 전자기장 노출에 대한 국제적인 지침을 개발하기 위한 시변(Time-Varying) 전자기장 노출에 대한 건강 및 환경 영향을 연구하고 있다. 가장 우선적으로 송전선로 및 가전제품의 50Hz, 60Hz 주파수 대역의 전자파에 대한 연구가 수행되고 있으며, 장시간에 걸친 낮은 레벨의 전자파 노출도 꾸준히 연구되고 있다. 이들 연구는 세포실험(in vitro) 및 생체실험(in vivo)과 같은 실험실 연구와 인체를 대상으로 한 역학 연구와 자원자 연구가 병행되어 실시되고 있다.

어린이들은 다양한 산업 활동 등에 의해서 발생될 수 있는 화학, 물리, 생물학적인 환경 오염물질에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있는 집단으로써, 이들에 대한 위해성 평가를 수행하는데 있어서는 성인들과는 다른 기준과 접근 방법이 시도되어야 한다. 즉 핸드폰과 같은 새로운 무선주파수 이용기기들의 사용급증에 따른 전자파의 노출기회가 급격히 증가함에 따라 현시대의 성인에 비해 상대적으로 긴 노출기간이 예상되어지며, 성인들과는 다른 생활 패턴 인해 기존 성인의 인체 영향 연구 결과를 근거로 예측하는 것은 어렵다고 할 수 있다. 따라서, 성인들에 비해 상대적으로 다양한 환경 요인에 민감한 어린이들을 대상으로 한 역학 및 자원자 연구 필요성은 매우 높다고 할 수 있다.

이러한 이유로 WHO에서는 어린이들의 전자파 노출로 인한 위해 가능성에 대한 평가 및 연구 필요성을 제기하고 있는데, 주로 검토되고 토의된 유해 가능성은 전자파와 어린이 소아암(멜라토닌 억제 가설), 전자파와 중추 신경계 종양, 전자파와 신경행동학적 영향 등이 있었으며 그 중, 전자파와 신경행동학적 영향과의 관계는 미미하나마 관련성이 있는 것으로 인정되어 지고 있다.

그러나, 이러한 연구 결과는 대부분 급성 노출을 통한 동물 및 세포 실험에서 제기되고 있으며, 어린이를 대상으로 한 자원자 연구의 경우, 연구 윤리적인 문제로 인해 연구 수행이 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 현재 고압송전선로가 통과하는 초

등학교에 다니는 학생과 다니지 않는 학생들에 대한 역학 연구를 위한 노출량 자료의 확보를 목적으로 개인 시간 활동표와 다양한 노출량 평가 매트릭스를 이용하여 학교, 집, 학원과 같은 초등학생들의 주요 활동하에서 24시간 개인 노출량 측정을 실시하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구에서는 송전선로 주변 초등학교를 다니는 학생과 송전선로 비주변 초등학교를 다니는 학생들에 대한 60Hz 자기장 노출량 자료의 수집 및 상호 비교를 위해 2003년 7월부터 당해연도 12월까지 자기장 노출량 조사를 실시하였다. 송전선로 비주변 초등학교는 경기도의 A 초등학교를 선정하였고, 송전선로 주변 초등학교는 송전선이 학교 부지를 지나가는 초등학교 10여 곳 중 학교건물 위를 통과하는 인천의 B 초등학교를 선정하였다. B 초등학교 인근지역을 보면 1km 이내에 변전소가 있으며, 154kV 송전선과 345kV 송전선이 초등학교의 주변을 통과하고 있다.

연구기간은 A 초등학교에 다니는 학생들의 경우 2003년 7월 1일부터 25일까지 측정을 실시하였으며, B 초등학교 학생들의 경우 2차에 걸쳐 측정하였는데, 1차 측정은 2003년 9월 1일~24일, 2차 측정은 당해연도 11월 18일~12월 30일까지 수행하였다.

연구 대상자는 측정 장비의 분실 위험성을 방지하고 시간 활동표 작성에 대한 정확성을 높이기 위해 6학년 남녀 학생을 대상으로 송전선로 비주변 초등학교 학생 44명과 송전선로 주변 초등학교 학생 125명을 선정하였다.

2. 자기장 측정 방법

본 연구는 개인 자기장 노출량 평가를 통해 수행되었는데, 연구에 사용된 자기장 측정기기는 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 개발한 EMDEX II와 EMDEX LITE(ENERTECH Inc.)로 x, y, z 세 축 방향을 측정할 수 장비로써, 측정에 앞서 각각 정도검사를 실시하여, 표준 자기장 값과 측정값간의 오차가 $\pm 2\%$ 이내임을 확인하였다.

연구대상자들의 선정을 위해서 연구 참여 확인여부를 물어 동의하는 학생들을 대상으로 기초설문지를 작성하도록 하였다. 기초설문지에는 연구대상자의 인적사항(나이, 주소 등), 주거환경(거주 연도, 집유형, 인근도로형태), 부모님의

인적사항(월수입, 학력), 개인노출사항(이용교통수단, 통학 시간, TV시청정도, 전기용품이용시간, PC사용정도, 냉방기 기사용정도, 스탠드 사용정도, 가전제품이용정도), 건강상태 정도, 전자장 인식도에 대한 항목으로 구성되었으며 설문지 작성은 부모와 같이 하도록 하였다.

시간별 생활활동패턴을 알 수 있도록 연구대상자들의 시간활동표를 20분 단위로 작성하게 하였다. 초등학교 학생들의 주요 생활활동을 주거, 학교, 학원, PC방, 교통수단, 기타로 구분하여 시간활동표를 구성하였는데, 주거의 경우 컴퓨터나 TV 등 가전제품을 이용하는 경우와 그렇지 않은 경우, 취침으로 세분화하였고, 학교는 교실, 운동장, 기타장소, 교통수단의 경우 버스, 자가용, 기타로 구분하여 학생들이 직접 기입하도록 하였다.

연구대상자들을 대상으로 개인노출측정을 수행하였는데 측정기(EMDEX LITE, EMDEX II)를 작은 가방에 넣고 연구 대상자가 열어보지 못하도록 자물쇠로 잠근 후 몸에 착용할 수 있게 하였고 동시에 일일시간활동표를 같이 동봉하였다. 보다 정확한 측정을 위해 학생들이 항상 몸에 착용할 수 있도록 교육하였고, 특히 취침시에는 전기제품과 멀리 떨어진 장소 중 연구대상자와 가장 가까운 곳에 측정기가 든 가방을 걸어두도록 하였다. 측정을 마친 연구대상자들은 일일시간 활동표와 측정기가 든 가방을 반납하도록 하면서 연구대상자가 올바르게 일일시간활동표를 작성하였는지 측정자료를 측정기로부터 주컴퓨터에 전송할 때 측정된 자기장 값과 일일시간활동표를 대조하며 연구대상자에게 활동정도는 일대일 사후인터뷰를 통해 확인하였다.

3. 노출량 평가 방법

측정된 자기장 값은 개인노출량 뿐만 아니라 각 생활환경에서의 노출량에 대한 산술평균(Arithmetic Mean:AM), 표준편차(Standard Deviation:SD), 기하평균(Geometric Mean:GM), 기하표준편차(Geometric Standard Deviation), 분위수(Percentile; 5, 25, 50, 75, 95), 최대값(Maximum)을 구하여 분석하였다.

특히 자기장 수준은 Zaffanella(1993)의 연구와 같이 0.1 μT 간격으로 구분하여 조사하였으며, 미국 국민의 85.7%가 노출되는 것으로 보고된 0.2 μT 이하에서는 0.05 μT 간격으로 구분하여 좀 더 세부적으로 자기장 노출 수준에 따른 시간활동 분포를 조사하고자 하였다.

Burch 등(1998)의 분석에서 보여진 바와 같이 RCM(Rate of Change Metric)과 RCMS(Standardized Rate of Change Metric)을 이용하여 측정값의 변동성(variability)과 첫 번째 지체 lag에

대한 자기상관성(autocorrelation)을 조사하였다.

$$RCM = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (R_n - R_{n+1})^2}{N-1}} \quad \dots\dots\dots (식 1)$$

여기서, R_n 과 R_{n+1} 은 연속된 자기장 측정값으로 본연구에서는 10초 간격으로 측정된 자기장 값, N 은 측정시간동안의 측정값의 수.

$$RCMS = \frac{RCM}{\sigma} \quad \dots\dots\dots (식 2)$$

또한 자기장의 안정도(stability)를 추정하기 위해 CFM(Constant field metric)을 구하였다. Zaffanella와 Kalton은 역치를 0.2 μT 로 설정하여 CFM을 산정하였는데 본 연구에서는 Eskelinen 등(2003)의 연구방법에 따라 0.15 μT 이상의 자기장에서의 노출이 적어도 10초 동안 일정한 수준으로 유지되는 시간 비율(%)을 CFM으로 정의하였다.

4. 통계 분석

자료의 통계분석은 SAS version 8.2(SAS Institute, Cary, NC)와 SPSS version 11.0(SPSS Institute)를 이용하여 수행하였다. 기초설문지의 조사항목들 중 범주화된 변수들의 관련성은 Chi-square 검정을 사용하였으며, 생활환경 별 자기장 노출량의 비교는 t-test를 이용하였고, Pearson 상관성 검정을 수행하였다. 또한 24 시간 개인노출량에 영향을 주는 요인을 확인하기위해 다중회귀분석을 수행하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 연구대상자의 특성

24시간 자기장 노출측정에 참여한 연구대상자는 송전선 비 주변 A초등학교의 50명을 선정하였고, 송전선 주변 B초등학교의 경우 1차 측정시 66명과 2차 측정시 67명을 대상으로 총 133명을 선정하여 수행하였다. 이 중 S 초등학교 학생의 6명과 B초등학교 학생의 8명이 자기장 측정수행에 문제가 있어 연구에서 제외하였으며, 최종 선정된 연구대상자는 모두 12세 6학년으로 송전선 비 주변 학교 44명(남학생: 33명, 여학생: 11명)과 송전선 주변 학교 125명(남학생: 58명, 여학생: 67명)이 선정되었다.

기초 설문지의 질문에 대해 응답한 결과를 분석하여 표

1에서 비교하였다. 주거환경에 관한 질문 중 현재 거주하고 있는 집의 거주기간은 평균 3년에서 5년 정도로 두 학교간의 통계적 차이가 없었고, 집의 유형별로 보았을 때 두 집단 모두 주로 아파트에서 거주하는 것으로 나타났으며 일반 단독주택보다 다세대 주택에서 더 많이 거주하는 분포를 보였다.

또한 개인노출사항에 대한 질문에서 보면 주요 등하교 교통수단은 주로 도보 및 자전거를 이용하고 있었는데 (송전선 비 주변학교 : 61%, 송전선 주변학교 : 69%), 이는 통학시간이 주로 10분 이내의 학생이 절반 이상을 차지하고 있고, 송전선 주변학교 학생 5명을 제외하고는 모두 30분 이내의 통학거리에 있으므로 주로 도보를 통해 등하교를 하고 있음을 알 수 있다. 또한 그 외 버스 및 자동차 이용은 약 23~24 %로 두 학교가 비슷한 분포로 이용하는 것으로 조사되었으며 10분 이내로 이용하고 있어 학생들의 생활 활동 중 등하교시 교통수단 이용에 의해 자기장의 노출기회는 비교적 적을 것으로 판단된다.

개인노출항목 중 주요전기제품의 이용에 대한 질문에서 연구대상자들이 TV나 컴퓨터를 제외한 하루 평균 전기제

품 이용시간은 약 30분 이하로 조사되었다. TV 시청시간은 두 학교 학생들의 75~86%가 1시간 이상 시청하는 것으로 조사되었는데 송전선 주변 학생의 경우 46% 정도가 2시간 이상 시청하였고, TV 시청거리에 대한 질문에서 1m 내외의 거리에서 시청한다고 답한 학생이 주로 많았으나 50cm 이하로 매우 가까이 시청하는 학생 역시 12명으로 조사되어 시청거리에 따라 TV 시청에 따른 자기장 노출정도의 차이가 있을 것으로 판단된다. 컴퓨터 사용시간은 1~2시간 이용하였으며 (송전선 비 주변 학교: 44.7%, 송전선 주변 학교: 40.0 %) 2시간 이상 컴퓨터를 사용하는 학생이 20% 이상으로 조사되었다. 초등학교의 TV시청 시간이 평균 2시간 12분, 컴퓨터 사용시간은 1시간 16분으로 평가된 1999년 생활시간조사보고서에서의 조사결과와 비교하여 볼 때 TV 시청시간은 주로 비슷한 경향을 보였으나 컴퓨터 사용시간은 본 연구대상자들이 일반 초등학교생들보다 더 오래 사용하는 것을 알 수 있다.

현재 가정에서 사용하는 전기 제품의 평균 사용 제품수는 송전선 비 주변 학생이 약 18 대, 송전선 주변 학생이 약 16 대로 조사되었으며 통계적으로 차이가 있는 것으로 조

Table 1. Summary on characteristics of subjects attending the primary schools located nearby and away from the power transmission line

Characteristics			Away from the line	Nearby the line	p value
subject	No of		44	125	<0.001
	Age (years)		12	12	
	Sex : female (%)		25	53.6	
Residence	Mean age (years)		3.5 ± 3.7	4.7 ± 4.20.09	0.09
	Type of residence (%)	Detached house	20.4	9.6	0.10
		Multiplex village	27.3	24.8	
		Apartment	52.3	65.6	
	Mean no. of using appliance		18.3 ± 4.7	15.6 ± 4.1	<0.001
	Mean time of watching TV (%)	< 1 hr	24.4	13.6	0.19
		1 ~ 2 hr	41.5	40.0	
		> 2 hr	34.1	46.4	
	Mean time of using PC(%)	< 1 hr	34.2	23.3	0.53
		1 ~ 2 hr	44.7	40.0	
> 2 hr		21.1	36.7		
Appliance	Electrical cooling		44.2	41.1	0.96
	Electrical heating		15.0	5.6	0.05
	Electrical sheet		45.0	28.0	0.04
	Personal computer		95.0	93.6	0.84
	Appliance type (%)	Printer	85.0	79.2	0.42
		Desk lamp	45.5	32.0	0.07
		Air cleaner	12.5	7.2	0.29
		Microwave oven	85.0	76.8	0.27
		Vacuum cleaner	77.5	80.0	0.73
		Hair drier	99.1	92.8	0.08

사되었다. 전기제품 사용여부에 대한 응답결과는 전기장판과 난방기기를 제외한 냉방기기, 컴퓨터, 프린터, 책상램프, 공기청정기, 전자렌지, 전기청소기, 헤어드라이어 등의 사용여부는 두 학교 학생 모두 비슷한 분포를 보여주는 것으로 평가되었다. 따라서 본 기초설문지 항목에 따른 연구대상자들의 일반적 특성은 남녀 구성비 및 평균 사용 전기제품수를 제외하고는 송전선 주변 및 비 주변 학생들 간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

2. 연구대상자의 시간활동력 분석

연구대상자가 하루 24시간동안 생활한 시간 활동 형태를 살펴보면 표 2와 같다. 연구대상자들의 평균 노출 시간은 비송전선 학교의 경우 평균 23.3시간, 송전선 학교 학생은 평균 22.5시간으로 24시간보다 적게 개인노출이 이루어졌다. 이는 연구진행과 학교 일정에 따라 자기장 측정기의 수거시간의 차이가 발생되었기 때문이며 두 학교 학생들의 총 노출시간이 통계적으로 차이가 있게 평가된 것도 이러한 이유에 근거한 것으로 판단된다.

연구대상자들의 생활 활동 형태를 환경별로 보면 두 학교 학생의 미세환경에서의 활동 시간이 비슷한 경향을 보이고 있다. 주로 주거환경에서 가장 많은 시간을 보내었는데 (약 14 시간), 주거환경에서 활동하는 시간은 평균 6시간 (24~26

%) 정도로 이중 TV나 컴퓨터 이용 등의 전기제품 이용시간은 약 4시간 (약 16~17%)으로 조사되었고 수면시간은 약 8시간 (31~32%) 이었다.

그 다음으로 학교환경에서 하루 중 약 5 시간을 보냈는데, 교실에서 평균 4 시간 정도 수업을 하였고, 연구대상자 중 송전선 비 주변 초등학생 24 명과 송전선 주변 초등학생 76명이 운동장에서 평균 1시간 반 동안 수업 및 방과 후 여가활동을 한 것으로 조사되었다. 약 50% 정도의 학생들이 하교 후 학원에서 수업을 받는다고 응답하였고 학원에서 보내는 평균시간이 약 2시간 정도였으며, PC 방 이용 학생은 5 명에서 9명으로 적은 수의 학생이 약 2시간 이내로 이용하였다. 교통수단 중 버스와 승용차의 이용은 약 30분 정도로 평가되었으며 송전선 비 주변 학교 학생의 약 34%, 송전선 주변 학교 학생의 약 23%가 이용하는 것으로 조사되었는데 기초설문지의 응답률인 23%과 송전선 비 주변 학생의 이용률의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 등하교에서의 이용보다는 학원과 집 사이의 이동에서 학원버스 및 일반 버스의 이용에 의한 것으로 판단된다.

따라서 시간활동표를 이용하여 하루 동안 초등학생들의 생활 활동 형태를 살펴본 결과 주로 주거환경 및 학교환경에서 보내는 시간이 전체 시간 중 약 75~78%를 차지하여 다른 미세환경에서의 활동 시간보다 많은 것을 알 수 있으며 이를 근거로, 주거 및 학교 환경에서의 자기장 노출 세기가 연구대상자의 24시간 개인 노출량에 큰 영향을 줄 수 있는 주요

Table 2. Fraction of time spent by subjects in various microenvironments (at home, school educational institute, internet pc game room, transportation and other place)

Microenvironments		Away from the line			Nearby the line			p value
		N	Mean hours ± SD	%	N	Mean hours ± SD	%	
Personal exposure		44	23.3 ± 3.5		125	22.5 ± 2.5		0.02
Home	Awake	44	6.3 ± 1.9	24.0	125	6.7 ± 4.7	25.6	0.45
	use appliance	44	4.2 ± 1.9	16.0	125	4.4 ± 2.2	16.8	0.61
	no use appliance	41	2.2 ± 1.4	8.4	113	2.1 ± 1.3	8.0	0.66
	Sleep	44	8.2 ± 0.9	31.3	125	8.4 ± 1.5	32.1	0.24
	Total	44	14.5 ± 1.9	55.3	125	14.8 ± 1.9	56.5	0.38
School	Classroom	44	4.3 ± 1.2	16.4	125	4.5 ± 1.0	17.2	0.27
	Ground	24	1.5 ± 1.5	5.7	76	1.5 ± 0.9	5.7	0.96
	Total	44	5.3 ± 1.5	20.2	125	5.7 ± 1.2	24.8	0.15
Educational Institute		24	2.3 ± 1.1	8.8	72	2.2 ± 0.9	8.3	0.73
Internet PC game room		5	1.7 ± 0.9	6.5	9	1.5 ± 0.9	5.7	0.62
Transportation	Bus	10	0.6 ± 0.4	2.3	18	0.7 ± 0.4	2.7	0.43
	Car	5	0.5 ± 0.3	1.9	11	0.4 ± 0.2	1.5	0.80
	Total	42	1.2 ± 0.7	4.6	79	1.0 ± 0.6	3.8	0.12
Other place		43	1.2 ± 0.9	4.6	24	1.0 ± 0.8	3.8	0.40

인자로 평가 할 수 있을 것으로 사료된다.

이와 같은 결과를 통해 국내의 초등학생들은 주거환경에서의 활동 시간에 있어서 주로 가장 많은 시간을 보내는 주거환경(55.3~56.5%) 중 주택 내 활동시간이 24.0~25.6%, 수면시간이 31.3~32.1%로 조사되어 외국에서 연구(Vistnes 등, 1997; Kaune 등, 1994)된 초등학생의 활동패턴과 차이를 보여주고 있다. Norway에서 수행된 Vistnes 등(1997)의 연구에서 보면 초등학생들은 하루 중 67% 정도를 주택에 있었으며 이중 취침시간이 41%로 나타났고, Kaune 등(1994)의 연구에서는 미국 초등학생이 주택에 있는 시간이 하루 중 71%를 차지하고 있으며 취침시간은 44% 정도로 조사되었다고 하여, 본 연구 결과를 통해 나타난 국내 초등학생의 주택 거주 시간은 외국의 초등학생들에 비해 비교적 적은 것으로 나타났다. 이는 학교에서의 활동 외에 다른 미세환경 또는 야외에서의 활동시간이 외국에 비해 많기 때문이며 연구대상자의 약 50%가 하교 후 학원에 가는 것으로 나타나 학원 등의 공간에서 보내는 시간으로 인해 주택에서의 거주시간이 짧았기 때문으로 판단된다. 또한 외국환경과 다른 국내 여건 중 하나인 PC 방의 이용현황 역시 비교적 소수의 학생들이 약 2시간 미

만으로 이용하는 것으로 조사되었는데 이러한 생활환경에서의 활동이 국외 학생들과의 노출유형과 다른 점으로 평가될 수 있다. 24시간 중 주거환경 다음으로 가장 많은 시간을 보내는 학교의 경우 외국의 두 연구에서는 19~20%의 활동시간분포를 보여주었는데 이는 본 연구와 유사한 결과를 보이고 있다. 따라서 본 연구와 외국에서 보여준 연구의 초등학생들을 대상으로 시간별 활동패턴을 조사한 결과 거주하는 시간의 차이는 있지만 주택에서 가장 많은 시간을 보내고 있다는 것을 보여주며 이는 24시간 자기장 노출량에 있어 주택에서의 노출량이 매우 큰 영향을 줄 수 있다고 판단할 수 있다.

3. 노출량 평가

본 연구 대상 초등학생의 24 시간동안 노출된 자기장 값을 여러 매트릭스별로 분석한 결과를 표 3에 나타내었다. 송전선 주변 초등학교 학생의 평균 개인노출수준 (AM: 0.379 μ T, GM: 0.237 μ T)은 송전선 비 주변 초등학교 학생들 (AM: 0.055

Table 3. Summary statistics of selected metrics of 24 h personal exposure to magnetic fields for children attending the primary school located nearby and away from the power line

Metrics	Away from the line		Nearby the line		p value
	Mean	SD	Mean	SD	
Time-weighted average (μ T)	0.055	0.024	0.379	0.228	<0.0001
Geometric means (μ T)	0.044	0.021	0.237	0.142	<0.0001
15th percentile (μ T)	0.020	0.012	0.079	0.050	<0.0001
25th percentile (μ T)	0.030	0.016	0.138	0.095	<0.0001
50th percentile: Median (μ T)	0.043	0.021	0.224	0.191	<0.0001
75th percentile (μ T)	0.061	0.030	0.413	0.348	<0.0001
95th percentile (μ T)	0.129	0.065	1.287	1.048	<0.0001
100th percentile: Max (μ T)	1.217	0.698	4.306	17.15	0.047
RCM (μ T)	0.034	0.015	0.083	0.061	<0.0001
RCMS	0.577	0.255	0.243	0.141	<0.0001
CFM (%)	3.989	3.642	56.24	26.34	<0.0001
averagen % time of categorical field distribution					
< 0.05 μ T	61.56	27.12	5.69	10.03	—
< 0.1 μ T	26.34	18.41	21.55	19.67	—
< 0.15 μ T	8.07	8.92	17.21	14.94	—
< 0.2 μ T	1.79	2.13	10.27	10.67	—
< 0.3 μ T	2.01	1.58	12.59	13.69	—
< 0.4 μ T	0.09	1.01	5.40	8.41	—
< 0.5 μ T	0.07	0.53	6.42	7.88	—
< 0.6 μ T	0.03	1.63	4.55	5.64	—
< 0.7 μ T	—	—	3.34	4.72	—
< 0.8 μ T	—	—	3.22	4.95	—
< 0.9 μ T	0.02	1.22	1.83	2.69	—
< 1.0 μ T	—	—	1.55	2.96	—
\geq 1.0 μ T	0.04	1.32	8.03	11.59	—

μT , GM : $0.044\mu\text{T}$)보다 산술평균(시간가중평균), 기하평균 모두 6.9배, 5.4배 높은 값으로 산출되었고 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 또한 자기장 값 수준의 경향을 보기 위한 분위수(5%, 25%, 50%, 75%) 및 피크 노출수준에 대한 평가의 매트릭스인 95 분위수와 최대값 역시 송전선 주변 학교 학생들의 자기장 노출량이 다른 비교 학교 학생들보다 높은 것을 알 수 있는데 최대값을 제외한 분위수의 경우 분위수가 높아질수록 자기장 값의 차이가 더 커지는 것을 보여주어 송전선 주변 학생들의 자기장 수준의 상하폭이 넓은 것을 알 수 있다. 이에 대해 자기장 값의 분포를 구분하여 그 분포에서의 거주시간을 고려한 결과를 보면 더 정확하게 확인할 수 있다. 송전선 비 주변 학교 학생들은 주로 24 시간 중 87.9%를 $0.1\mu\text{T}$ 이하로 노출되고 있으며 약 14 시간 이상의 생활이 $0.05\mu\text{T}$ 이하로 노출되는 반면, 송전선 주변학교 학생들은 $0.05\mu\text{T}$ 이하부터 $1.0\mu\text{T}$ 이상까지 넓은 분포의 자기장에 노출됨을 보여주고 있다. 이 중 $0.1\mu\text{T}$ 이하의 노출시간은 하루 중 27.2%로 나타나 송전선 비 주변 학생들보다 낮은 노출시간을 보였지만 $0.2\mu\text{T}$ 이상에서 하루 24시간 중 45.3% 정도 자기장에 노출되고 있는 것으로 보여지며, $1.0\mu\text{T}$ 이상의 고노출에 대해 하루 중 약 2 시간 정도 노출되는 학생이 있음을 알 수 있다. 자기장의 변동성(variability)와 안정도(stability)에 대한 평가 매트릭스인 RCM, CFM 역시 송전선 주변학교 학생들에서 높은 값을 보여주고 있는 반면, RCMS는 송전선 비 주변 학교 학생들이 약 2.4 배 높게 측정되었다.

24 시간 개인노출수준 뿐만 아니라 시간활동표에 근거한 각 미세환경에서의 자기장 노출수준을 학교별로 비교한 표 4에서 보면 PC 방을 제외한 모든 미세환경에서 송전선 주변 학교 학생들이 비 주변 학생들보다 더 높은 자기장에 노출되고 있음을 볼 수 있다. 특히 송전선이 지나가는 학교에서의 노출량은 산술평균의 경우 22배나 높은 것으로 측정되었고, 송전선이 지나가는 학교 학생들의 주거환경이 송전선로 비 주변 학교 학생들의 주거환경보다 4.2 배 높은 자기장 값을 보여주고 있었는데, 이는 초등학교생들의 주거지가 대부분 다니는 초등학교 근처이어서 상대적으로 송전선로부터 발생하는 높은 세기의 자기장에 노출됐기 때문으로 판단된다. 또한, 이와 같은 두 집단간의 차이는 통계적으로 유의했다.

송전선 주변 학교 학생들에 대해서 거주지와 송전선과의 거리에 따라 크게 4 가지로 구분하여 24 시간 개인노출수준을 비교하였는데(표 5, 표 6) 주거지가 송전선에 가까울수록 더 높은 자기장 노출수준을 보이고 있다. 특히 50 m 이내에 위치한 주거지의 학생들이 다른 학생들에 비해 $2.0\mu\text{T}$ 이상에 노출되는 시간의 하루 중 비율이 더 높았고 (73.8%), 특히 $1.0\mu\text{T}$ 이상의 고노출 시간비율도 높은 편이어서(15.1%) 전체 개인노출량에 영향을 주었을 것으로 보이며, 주거환경에서

의 노출수준 또한 다른 학생들에 비해 높은 자기장 값(AM : $0.43\mu\text{T}$, GM : $0.36\mu\text{T}$) 을 나타내며 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.01$). 그러나 주거환경을 제외한 다른 미세환경에서의 거리별 자기장 값의 차이를 보이지는 않았다.

4. 학교환경 중의 개인 노출량 평가

개인노출수준에 영향을 줄 수 있는 주요 미세환경 중 학교 환경에서의 개인노출량을 송전선의 유무로 구분한 두 집단간에 비교하였을 때 (표 4) 송전선 주변 학교에서는 교실에서의 자기장 노출수준의 경우 산술평균이 $0.98\mu\text{T}$, 기하평균이 $0.86\mu\text{T}$ 로 송전선 비 주변 학교에서의 자기장값(AM = $0.042\mu\text{T}$, GM = $0.040\mu\text{T}$)보다 매우 높은 것을 알 수 있다 ($p<0.0001$). 운동장에서의 노출수준도 두 집단간에 차이를 보였는데 이는 송전선이 운동장을 지나가고 있어 송전선에 의한 영향으로 판단되며 교실 및 운동장의 노출수준을 모두 고려한 전체 학교노출수준 역시 두 집단간에 통계적으로 뚜렷한 차이를 보였다(그림 1). 송전선 비 주변 학교에서의 자기장 노출수준은 다른 학교보다 큰 편차를 보이지 않았고 시간에 따른 변이(RCM = $0.019\mu\text{T}$) 역시 송전선 주변학교에 비해 (RCM = $0.131\mu\text{T}$) 작게 나타났다. 노출수준에 따라 분류하여 평가하였을 때 송전선 비 주변 학교에서는 학교환경내 노출 중 약 71 %가 $0.05\mu\text{T}$ 이하의 수준으로 노출되었고 거의 대부분의 학교환경이 $1\mu\text{T}$ 이하로 노출된 반면, 송전선 주변 학교의 경우 전체 학교 노출시간 중 약 73 %의 시간동안 $0.4\mu\text{T}$ 이상으로 노출되었으며 특히 $1\mu\text{T}$ 이상에서의 고노출이 전체 학교내 노출시간의 28.4 %를 차지하였다.

송전선 주변 학교에서의 노출수준을 보다 정확하게 평가하기 위해 선정된 4 개 교실 중 5층 교실 한 곳과 4층 교실 한 곳에서 약 10일간 전자파의 세기를 stationary 측정을 실시한 결과는 그림 2에 나타내었다. 산술평균과 기하평균값을 보면 학생들의 노출수준보다 높은 $2.20\mu\text{T}$ 과 $2.10\mu\text{T}$ 의 값으로 측정된 것을 알 수 있는데 이는 개인노출을 수행한 시기와 동일하지 않았기 때문으로 사료된다. 또한 그림 2의 (a)에서 보듯이 10일간의 자기장 방출량의 변동의 폭이 $2\sim 3\mu\text{T}$ 정도로 상당히 큰 것을 볼 수 있으며, 특히 (b)의 그림에서 3일간의 자료로 쪼개어 분석한 결과를 보면 주로 밤 12시를 기점으로 자기장 값이 급격히 증가하였다가 일정시간 이후에 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 주로 학교에서 노출되는 아침 8시 이후부터 오후 3시 이전까지의 시간에서 송전선에 의한 자기장 노출수준은 10 일간의 노출수준보다 낮은 수준으로 노출된다고 할 수 있다. 그리고 밤 시간대의 송전선에서 방출되는 높은 자기장 값은 이후 주

Table 4. Summary statistics of 24 h personal level and measurements at various microenvironments to magnetic fields for children attending the primary school located nearby and away from the power line

Metrics	Away from the line						Near the line					
	N		Arithmetic		Geometric		P951		N		Arithmetic	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Personal exposure	44	0.056	0.0234	0.044	0.021	0.022	0.129	0.065	125	0.379	0.228	0.237
At Home	44	0.051	0.023	0.047	0.022	0.084	0.031	0.084	125	0.213	0.190	0.188
Awake	44	0.068	0.032	0.061	0.031	0.122	0.052	0.122	125	0.199	0.175	0.177
use appliance	44	0.073	0.032	0.065	0.031	0.131	0.058	0.131	125	0.200	0.189	0.184
no use appliance	41	0.052	0.029	0.048	0.028	0.080	0.040	0.080	113	0.202	0.183	0.179
Sleep	44	0.039	0.020	0.038	0.019	0.058	0.028	0.058	125	0.224	0.226	0.210
At School	44	0.044	0.031	0.040	0.029	0.079	0.047	0.079	125	0.876	0.709	0.702
Classroom	44	0.043	0.031	0.040	0.029	0.069	0.047	0.069	125	0.982	0.771	0.860
Ground	24	0.046	0.042	0.042	0.036	0.101	0.100	0.101	76	0.367	0.240	0.289
Educational Institute	31	0.083	0.069	0.073	0.067	0.149	0.146	0.149	72	0.211	0.261	0.195
At Internet PC Game Room	5	0.0254	0.265	0.228	0.249	0.353	0.340	0.353	9	0.279	0.080	0.256
Transportation	42	0.107	0.058	0.073	0.044	0.320	0.166	0.320	79	0.257	0.209	0.185
at bus	10	0.144	0.083	0.110	0.069	0.385	0.245	0.385	18	0.184	0.129	0.122
at car	5	0.077	0.034	0.057	0.030	0.173	0.083	0.173	11	0.198	0.159	0.159

1. P 95 : 95th percentile of magnetic field measurements

Table 5. The summary statistics of selected magnetic field exposure metrics and time distribution of 24 h personal exposure to different magnetic fields according to distance from the power line to residence for children attending a school near a power line

Distance (m)	No. of subjects	Arithmetic mean (μ T)	Geometric mean (μ T)	95th percentile (μ T)	Rate of Chang (μ T)	Average time spent at given field level (%)			
						<0.05 μ T	0.05-0.2 μ T	0.2-1.0 μ T	≥ 1.0 μ T
≤ 50	26	0.546	0.381	1.521	0.082	2.53	24.83	58.68	15.13
50 - <100	20	0.348	0.253	1.018	0.072	3.57	40.89	54.73	2.78
100 - <150	25	0.323	0.187	1.072	0.065	10.10	54.48	30.53	7.19
≥ 150	54	0.335	0.182	1.372	0.095	5.59	60.48	27.92	6.79

Table 5. Summary statistics of measurements at various microenvironments to magnetic fields according to distance from subject's residence to power line

Metrics	< 50 m						50 - <100 m						100 - <150 m						≥ 150 m					
	N	AM	GM	%	N	AM	GM	%	N	AM	GM	%	N	AM	GM	%	N	AM	GM	%	N	AM	GM	%
Personal exposure	26	0.546	0.381		20	0.348	0.253		25	0.323	0.187		54	0.335	0.182		54	0.335	0.182		54	0.335	0.182	
At Home	26	0.427	0.359	52.7	20	0.245	0.229	47.4	25	0.147	0.129	28.4	54	0.130	0.118	24.4	54	0.130	0.118	24.4	54	0.130	0.118	24.4
Awake	26	0.403	0.357	27.4	20	0.208	0.194	17.5	17	0.119	0.106	9.2	54	0.135	0.117	10.5	54	0.135	0.117	10.5	54	0.135	0.117	10.5
use appliance	26	0.421	0.389	16.8	20	0.201	0.191	11.9	25	0.112	0.104	6.4	54	0.133	0.119	7.2	54	0.133	0.119	7.2	54	0.133	0.119	7.2
no use appliance	23	0.408	0.356	6.8	18	0.220	0.205	6.8	25	0.132	0.116	3.6	47	0.132	0.116	3.5	47	0.132	0.116	3.5	47	0.132	0.116	3.5
Sleep	26	0.449	0.407	30.5	20	0.265	0.258	26.9	25	0.164	0.152	18.8	54	0.127	0.124	14.2	54	0.127	0.124	14.2	54	0.127	0.124	14.2
At School	26	1.007	0.860	46.0	20	0.716	0.560	52.6	25	0.805	0.653	64.3	54	0.905	0.702	66.0	54	0.905	0.702	66.0	54	0.905	0.702	66.0
Classroom	26	1.058	0.937	40.3	20	0.806	0.719	46.4	25	0.896	0.811	55.9	54	1.051	0.897	60.0	54	1.051	0.897	60.0	54	1.051	0.897	60.0
Ground	13	0.365	0.303	4.6	13	0.316	0.255	6.5	16	0.352	0.299	6.9	34	0.393	0.293	7.8	34	0.393	0.293	7.8	34	0.393	0.293	7.8
At Educational Institute	13	0.307	0.270	4.1	8	0.094	0.085	52.6	15	0.214	0.196	6.5	36	0.202	0.192	6.1	36	0.202	0.192	6.1	36	0.202	0.192	6.1
At Internet PC Game Room	2	0.222	0.217	1.7	1	0.239	0.168	4.0	3	0.281	0.272	7.3	3	0.327	0.297	6.2	3	0.327	0.297	6.2	3	0.327	0.297	6.2
At Transportation	11	0.380	0.269	3.4	12	0.229	0.176	2.6	18	0.237	0.161	2.6	38	0.240	0.175	3.2	38	0.240	0.175	3.2	38	0.240	0.175	3.2
at bus	2	0.188	0.157	0.5	1	0.092	0.068	2.0	18	0.299	0.172	2.7	11	0.151	0.151	1.5	11	0.151	0.151	1.5	11	0.151	0.151	1.5
at car	1	0.227	0.177	0.6	1	0.108	0.057	0.4	3	0.168	0.135	0.8	6	0.224	0.185	1.6	6	0.224	0.185	1.6	6	0.224	0.185	1.6

거환경 중 취침시간에서의 노출수준에 영향을 주었다고 판단된다.

본 연구의 명확한 결과는 기존의 연구들(Vistnes 등, 1997; Levallois 등, 1999)과 같이 송전선 주변 학생들이 그렇지 않은 학생들보다 개인노출수준이 매우 높았다는 점으로 특히 주택이 송전선과 가까울수록 더 높은 수준을 보여주고 있었다. 또한, 송전선이 없는 학교 학생들의 경우 가장 많은 시간을 보내는 주거환경에서의 활동유형 즉, 전기 제품 이용 여부나 주택자체의 전기 배선 등에서 발생하는 배경수준(background

level)이 초등학교의 24시간 개인노출량 수준을 결정할 수 있는 주요 인자라고 추측할 수 있다. 개인노출수준에 대한 기존 연구 결과와 비교해 보면 1991년 캐나다에서 수행된 연구(Donnelly et al, 1991)에서 어린이들 대상으로 주택에서의 개인노출량이 $0.117 \mu\text{T}$ 의 값을 보였고 미국의 연구들(Bracken et al, 1994; Kaune et al, 1994)에서 개인노출량은 $0.096 \sim 0.105 \mu\text{T}$ 의 분포를 보여주어 본 연구에서 송전선 비 주변 학교 학생들의 결과보다 약간 높은 값을 보여주었다.

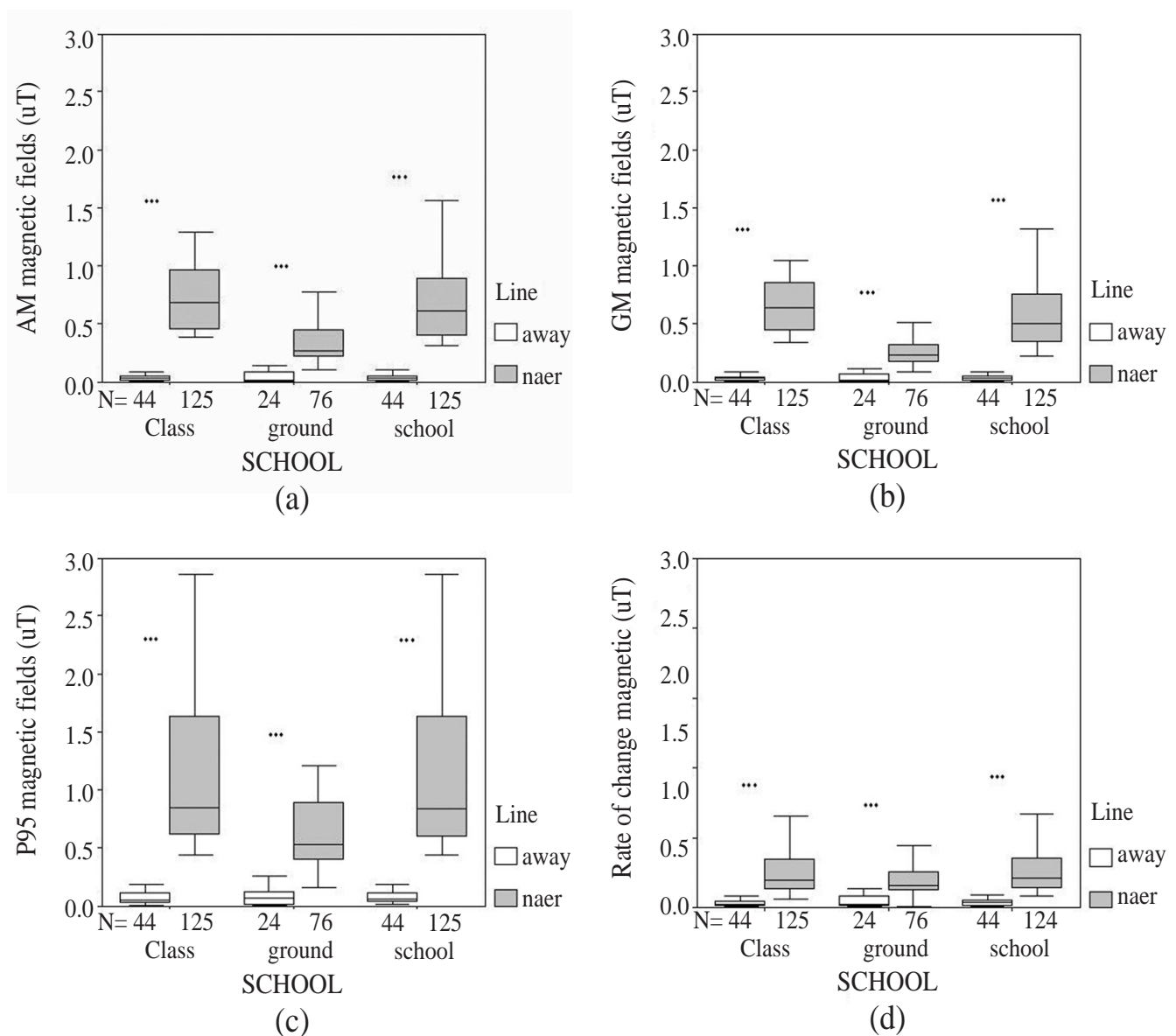


Fig. 1. Comparison of magnetic fields of metrics at school (classroom, ground) for children attending the primary school located nearby and away from the lines.

(a) is a figure which is comparison of arithmetic means of measurements, (b) is geometric means of measurements, (c) is 95th percentile of measurements, and (d) is rate of change metric (RCM) of measurements. *** means p value <0.001.

IV. 결론

본 연구는 송전선 비 주변 및 주변 초등학교 학생들을 대상으로 자기장 개인노출평가를 하기 위해 시간 활동 행태에 따른 여러 미세환경에서의 자기장 노출수준을 다양한 매트릭스를 이용하여 비교 · 분석하였다.

첫째, 송전선 주변 및 비 주변 초등학교 학생들의 일반적

특성에 대한 기초설문지 조사 결과를 보면 두 학교간의 통계적 차이는 거의 없었다. 24시간 동안의 생활 활동 행태를 보면 주택에서 가장 많은 시간을 보내었고, 그 다음으로 학교 수업이었으며 약 50 % 정도의 학생들이 하교 후 학원에서 2 시간 정도, 교통수단 중 버스와 승용차의 이용시간은 약 30분 정도로 나타났다.

둘째, 연구대상자들의 24 시간동안의 개인노출수준 결과를 보면 송전선로 주변 학생의 평균 개인노출수준은 송전선

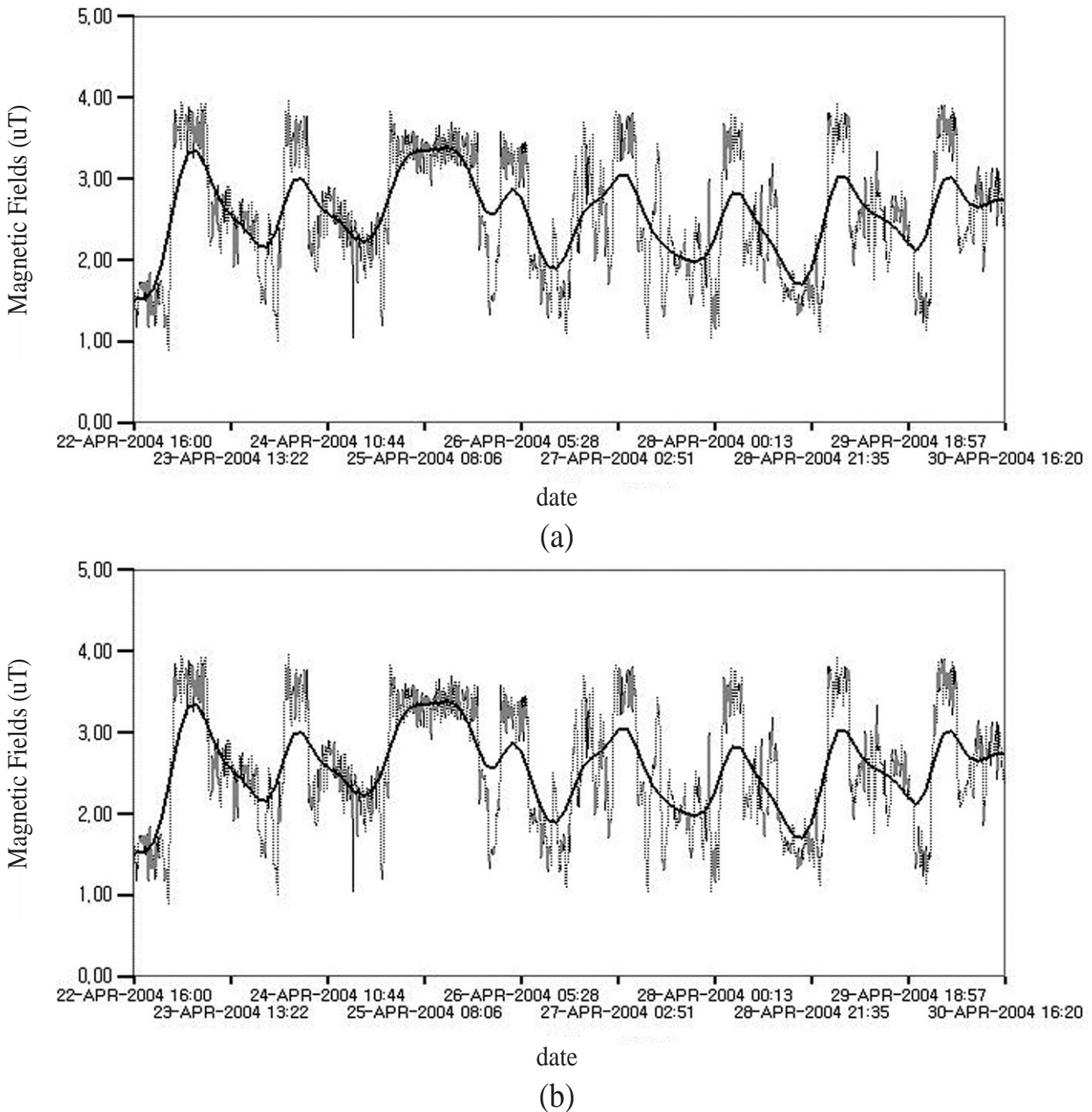


Fig. 2. Temporal variation of the magnetic fields at a classroom in the primary school located nearby the power line with data taken at 10 minutes intervals (thin line) and smoothed by calculating the moving average (thick line). (a) is measurements from 22, April to 30, April in 2004 and (b) is measurements from 22, April to 24, April in 2004.

비 주변 초등학교 학생들보다 산술평균, 기하평균 모두 6.9 배, 5.4배 높은 값으로 산출되었고 분위수 (5%, 25%, 50%, 75%, 95%)와 최대값, RCM, CFM 역시 송전선 주변 학교 학생들이 다른 비교 학교 학생들보다 통계적으로 유의하게 높았다. 학교 환경 중, 개인 노출량은 송전선 주변 학교에서는 교실에서의 자기장 노출수준의 경우 산술평균이 $0.98 \mu\text{T}$, 기하평균이 $0.86 \mu\text{T}$ 로 송전선 비 주변 학교에서의 자기장 값보다 약 22.8 배 정도 높았다.

따라서 송전선로 주변 및 비주변 초등학교 학생들의 개인 자기장 노출에 있어서 송전선로로부터 발생하는 자기장이 지배적인 요인임을 알 수 있었고, 이상의 결과는 향후 송전선로 주변 및 비주변 초등학교 학생들에 대한 역학 연구의 노출량 평가에 있어서 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Burch JB, Rief JS, Yost MG, Keefe TJ, Pitrat CA. Nocturnal excretion of a urinary melatonin metabolite among electric utility workers. *Scand J Work Environ Health*, 1998;24(3):183-189
- Eskelinen T, Niiranen J, Juutilainen J. Use of short-term measurements for assessing temporal variability of residential ELF magnetic fields exposure. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2003;13:372-377
- Foliart DE, Iriye RN, Silva M, Mezel G, Tarr KJ, Ebi KL. Correlation of year-to-year magnetic field exposure metrics among children in a leukemia survival study. *J Expos Anal Environ Epidemiol*, 2002;12:441-447
- Kaune WT, Stevens RJ, Callahan NJ, Severson RK, Thomas DB. Residential magnetic and electric fields. *Bioelectromagnetics* 1987;8:315-335
- Linnet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Fredmans DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S, Tarone, RE. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New Eng J Med*, 1997;337:1-7
- London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters J. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol*. 1991;134:923-937
- Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *Am J Epidemiol*. 1988;128:21-38
- Vistnes AI, Ramberg GB et al : Exposure of Children to Residential Magnetic Fields in Norway: Is Proximity to Power Lines an Adequate Predictor of Exposure?. *Bioelectromagnetics* 1997;18:47-57
- Wertheimer N, Leeper E.: Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*. 1979;109:273-284