개인 노출량 조사를 통한 한국인의 극저주파 자기장 노출 수준

정준식*** · 김근영** · 홍승철***† · 조용성**** · 김윤신*****

*한양대학교 보건학과, **한국철도기술연구원, ***인제대학교 보건안전공학과,
****한양대학교 환경 및 산업의학연구소

Estimation of ELF-MF Exposure Levels in the Korean Population through 24-Hour Personal Exposure

Joon Sig Jung***, Keun Young Kim**, Seung Cheol Hong***†,
Yong Sung Cho****, and Yoon Shin Kim*****

*Department of Public Health of Hanyang University, Seoul, Korea

**Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Korea

***Department of Occupational Health & Safety Engineering, Inje University, Gimhae, Korea

****Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to estimate the exposure level to extremely low frequency-magnetic fields (ELF-MF) among a selected Korean population using 24-hour personal exposure measurement.

Methods: Participants were randomly selected for the measurement of MF exposure under the assumption that the subjects are representative of the overall Korean population. Levels of personal exposure to MF were measured according to the subject's daily activities.

Results: The 24-hour time-weighted average (TWA) of 250 participants was 1.56 ± 4.56 mG (GM, GSD: 0.79, 2.46 mG). Personal exposure levels for females were higher than for males. The highest personal exposure level was shown in the age group between 20-60 years old. Personal exposure levels according to job category were higher for the non-occupational group than for the occupational group.

Conclusions: Our results showed MF exposure exceeding 2 mG per day among 11.3% of the Korean population, indicating a somewhat higher percentage compared to the EMF RAPID Program's results for the U.S population.

Key words: Extremely low frequency, Magnetic field, Population based exposure, TWA

I. 서 론

무선통신 및 전기·전자제품의 이용 증가는 다양한 주파수 대역의 전자파 방출을 야기하고 있으며 이에 따라 일반대중의 비선택적, 비자발적 노출기회는 점차 증대되고 있는 실정이다. 도시화의 심화에

따른 인구밀도 증가와 협소한 토지이용에 기인하는 비자발적 노출 기회가 더욱 클 것으로 예상되는 국내의 경우, 높은 수준의 노출 및 노출인구의 상대적 증가가 예상된다.

역학연구와 일부 실험실 연구를 통해 극저주파 (Extremely Low Frequency: ELF) 대역의 자기장

†Corresponding author: Department of Occupational Health & Safety Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea, Tel: +82-55-320-3677, Fax: +82-55-325-2471, E-mail: reohong@inje.ac.kr

Received: 24 November 2011, Revised: 30 January 2012, Accepted: 3 February 2012

노출이 소아의 백혈병, 뇌종양, 유방암과 같은 만성적 악성 건강영향이 있을 수 있음을 시사하는 결과를 보고하였다.¹⁻³⁾ 2001년 국제암연구소(IARC: International Agency for Research on Cancer)⁴⁾는 거주지에서의 어린이 백혈병 역학연구의 결과를 바탕으로 수 mG 수준의 극저주파(ELF) 자기장을 암 분류 등급 2b(possibly carcinogenic to humans : Group 2b) 인자로 분류하고, 직업적 노출뿐만 아니라 일반 생활환경에서의 전자파 노출이 특정 질병의 발생과 같은 건강에 악영향을 미칠 가능성을 경고하고 있다. 2007년에 발표된 세계보건기구(WHO: World Health Organization)의 Environmental Health Criteria⁵⁾에서도 전자파에 의한 인체 위해성 여부에 대하여 단정적인 결론을 내리고 있지는 못하나 각국의 정부는 “사전주의 원칙(Precautionary Principle)”에 의거, 노출감소를 위한 노력을 권고하고 있다. 우리나라도 1997년 전자파 인체권고기준 설정을 위한 연구를 활발히 수행하고 있으나, 현재까지도 자기장 노출이 인체 유해성과 관련한 명확하고 일관된 결과를 보여주지 못하고 있는 실정이다.⁶⁻⁸⁾

이처럼 전자장 인체 노출에 관한 전자장 관리 정책방향의 제시 및 향후 인체영향의 기준치 설정을 위해서는 일반인과 특정노출집단에 대한 실험적 인체 노출평가 및 건강영향 조사가 필수적이다. 아울러 급증하고 있는 전자파 관련 민원제기에 대응하여 전자파 위해성에 대한 사회·경제적으로 타당한 사회적 합의를 도출하기 위하여도 전국기반의 대표성 있는 노출수준 평가기술의 개발은 반드시 필요로 한다. 미국에서는 EMF RAPID(Electric and Magnetic Field Research and Public Information Dissemination)⁹⁾ 프로그램을 수행하여 2억 7천 만명의 인구수를 기준으로 무작위로 선출된 1,000명의 자원자를 통하여 미국인의 자기장 노출수준을 평가하였다. 또한 자기장 직업 노출 매트릭스(Job-exposure matrix, JEM)를 이용하여 노출수준을 평가하였다. RIVM(National Institute of Public Health and the Environment)에서 수행중인 연구보고에 따르면 전자기장 역학연구를 위해 개인 활동에 따른 ELF & RF 개인 노출량을 측정하여, 활동 노출 매트릭스(Activity Exposure Matrix, AEM)을 개발하여 전수인구에 대한 자기장 노출량을 추정하였으며,¹⁰⁾ 직업인들 2,317명의 자기장 노출량을 근거로 Standard SOC(Occupational

Classification system), BOC(U.S. Bureau of the Census)의 직업분류 기준에 따라 직업-노출 매트릭스 개발하여 전수인구 기반의 역학적 연구를 수행하였다.¹¹⁾ 국내의 경우는 다양한 노출 매트릭스를 통한 송전선로 주변과 비 주변 거주 초등학교생의 극저주파 자기장 노출량 평가 연구¹²⁾와 같이 일부 학생들과 같은 특정인구집단의 생활패턴에 따른 자기장 노출량 평가만이 수행되었다.

그러나 일반인들의 생활환경중 자기장 노출량에 대한 체계적인 조사는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 통계적 신뢰도가 높은 숫자에는 미치지 못하나 전 국민을 대표할 수 있는 일반인의 생활환경 중 자기장 노출현황 파악이라는 1차적 목적을 가지고 인구학적 분류를 통한 조사 대상자를 선정하고, 극저주파대역 자기장 개인노출량을 측정하여 노출수준을 파악하고, 일반인들의 생활 활동에 따른 자기장 노출수준을 비교하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

전체 인구의 극저주파 대역 노출 수준 및 노출인구수 추정을 위하여 본 연구에서는 3가지 특성에 따른 연구 대상자 선정 기준을 설계하였다. 각 지역별 거주 인구수 및 남녀 성비, 연령, 직업, 비직업 취업자 인구수를 고려하였다. 거주 지역별 인구 및 도시 형태에 따라 총 6개 그룹, 연령 3개 그룹, 남/여 성비에 따른 2개의 그룹으로 세분화하였다. 직업 분류에 따라 직업군은 총 6개의 그룹, 비 직업군은 4개 그룹으로 세분화하여 연구대상자를 산출하였다.

표본 집단 모집을 위하여 각 시·도별 홈페이지 및 구직 웹 사이트에 연구 모집 글을 공고하여 자원자를 모집하여 전화로 자발적인 참여여부를 확인하였다. 또한 부족한 표본 집단을 보완하기 위하여 자원자 이외에 가족 구성원 및 친지, 지인 등에게 연구 설명을 통해 추가 모집하였다.

2. 개인 자기장 노출량 측정 및 분석

극저주파 대역의 개인 자기장 노출량을 측정하기 위해서 사용한 장비는 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 개발한 EMDEX II (ENERTECH Inc.), EMDEX Lite이다. EMDEX는

미국 EPRI에서 개발한 세 축 방향의 Electric and Magnetic Field Digital Exposure System으로서 분석 감도는 자기장의 경우 $0.01 \mu\text{T}$ 이고, 전기장의 경우 $0.0003 \mu\text{A}$ 의 분석감도를 갖고 있다. 측정이 끝나면 기기를 수거한 후 전용 프로그램인 EMCALC 2007에 의해 분석하였다.

개인 자기장 노출량 측정은 극저주파 대역 자기장 측정 장비를 담은 가방을 연구 대상자가 주중에 24시간 이상 휴대하고 생활하게 한 후, 조사자가 이를 수거하여 조사하였다. 1일 활동지(diary)에 기록된 개인 활동력(Activity Pattern)을 통해 연구 대상자가 위치하고 있는 환경을 집(Home), 직장 및 학교(Work and School), 출/퇴근 및 이동(Travel), 기

타(Other) 등으로 구분하여 표시하게 하였으며, 집에서 취침과 활동 시간을 구분하였다. 또한 연구대상자의 인적사항, 직업정보, 주거환경, 개인노출사항, 사회 경제적 수준에 대한 항목으로 구성된 설문지를 통하여 개인 자기장 노출량 분석에 활용하였다. 각 개인의 자기장 노출값의 분석은 시간가중평균(TWA: Time Weighted Average) 값을 이용하여 계산되어진다(식 1).

자료의 통계분석은 SPSS version 12.0(SPSS Institute)을 이용하여 노출 매개변수에 따른 자기장 노출량의 비교는 t-test, 분산분석을 통하여 각 집단별 자기장 개인노출수준별 차이를 분석하였다. 자기장은 순간적인 피크값에 의해 전체 노출 수준에 많

Table 1. Selection of 250 subjects by demographic characteristic in Korea

Classification (N = Number of sample)		Subjects (Portion, %)	The actual population ratio (%)
Gender (N = 250)	Male	130(52.0)	50
	Female	120(48.0)	50
Age (N=250)	< 20	59(23.6)	25.6
	20-60	150(60)	61.0
	> 60	41(16.4)	1.4
The city classification follows in population size (N = 250)	Large megalopolis	60(24)	20.7
	Megalopolis	60(24)	26.2
	Metropolis	40(16)	16.9
	Middle city	65(26)	30.3
	Small city	20(8)	9.8
	Village	5(2)	2.0
Occupational group (N = 102)	Code 1	15(14.7)	5.5
	Code 2	26(25.4)	10.3
	Code 3	19(18.6)	8.4
	Code 4	3(2.9)	4.4
	Code 5	38(37.5)	11.9
	Code 6	1(0.9)	0.3
Non-occupational group (N = 148)	Student	72(48.6)	29.0
	Housewife	29(19.6)	11.6
	Aged person	41(27.7)	16.4
	jobless men	6(4.1)	2.4

Occupation code :

code 1 = Administrative, Professional Specialty Occupations

code 2 = Technical, Sales, and Administrative Support Occupations etc.

code 3 = Service Occupations etc.

code 4 = Farming, Forestry, and Fishing Occupations etc.

code 5 = Precision Production, Handicraft, Repair Occupations, Machine, Operators, Fabricators etc.

code 6 = Electrical Occupations, 2 = non-occupation etc.

은 영향을 받는 물리적 특성으로 인해 본 연구에서는 산술평균값 이외에 기하평균값을 동시에 사용하여 분석하였다. 동일한 기기를 이용하여 개인 노출량을 측정함으로써 정도관리를 위하여 측정전에 각 기기의 정상적 작동여부 및 신뢰성 검증을 위하여 매 측정시마다 비교 test를 실시하였다.

$$TWA = \frac{(C_1 \times T_1) + (C_2 \times T_2) + \dots + (C_n \times T_n)}{(T_1 + T_2 + \dots + T_n)} \quad (1)$$

여기서, C : 각 환경에 따른 자기장 노출수준(mG)
 T : 시간(Min)

III. 연구결과

1. 연구 대상자들의 일반적인 특성

Table 1은 표본인구집단 250명을 대상으로 성별·연령·직업별 노출수준, 거주 장소별 특징에 따른 노출수준을 구분한 결과이다. 성비에 따라 분류한 결과 남자 130명, 여자 120명이며, 연령에 따라 구분해보면 20세 이하 집단이 59명, 20~60세 사이 집단 150명, 60세 이상 집단 41명이다. 지역에 따른 인구거주비율로 분류한 결과, 초거대도시(Ultra-megalopolis)에서 60명, 거대도시 60명, 대도시 40명, 중도시 65명, 소도시 20명, 농어촌지역 5명으로 분류하였다.

직업/비직업별로 구분한 결과, 직업군은 102명(40.8%), 비 직업군은 148명(59.2%)으로 분류하였다. 직업 코드별로 세분화해보면 code 1(전문가 등)이 15명(14.7%), code 2(기술공, 준전문가, 사무/판매 종사자 등)가 26명(25.4%), code 3(서비스 종사자 등)이 19명(18.6%), code 4(농업, 임업, 어업 종사자 등)가 3명(2.9%), code 5(기능, 장치/기계조작 및 조립, 노무 종사자 등)가 38명(37.5%), code 6(전기직 종사자)이 1명(0.9%)로 분류하였다. 비직업군 학생이 72명(48.6%), 가정주부 29명(19.6%), 노인 41명(27.7%), “실업자, 무직” 등의 기타 6명(4.1%)으로 분류하였다.

2. 노출 매개 변수별 노출량 분석

1) 극저주파 자기장 24시간 평균 노출량 분석

연구대상자 250명에 대한 자기장 노출수준을 24시간 평균 노출량 분포를 나타낸 것으로서 산술평균의 분포는 왼쪽으로 치우친(left-skewed) 분포를

Fig. 1. Histogram showing distribution of Log-transmitted level for 24 h ELF-MF personal exposure.

나타내어 각 평균값을 로그로 치환한 경우에는 산술평균에 비해 정규분포를 나타내었다(Fig. 1). 24시간 평균 자기장 노출수준은 1.56 ± 4.56 mG이며, 기하평균(기하표준편차)은 $0.79(2.46)$ mG, 5 분위수는 0.24 mG, 90 분위수는 2.17 mG로 분석되었다. 연구대상자 250명에 대한 24시간 평균 개인 자기장 노출수준의 누적분포를 분석한 결과, 전체 250명 중 11.3%의 인구군이 2 mG 이상 수준에 노출되는 것으로 나타났다.

2) 인구학적 특성에 따른 노출량 분석

Table 2와 Figure 2는 인구학적 특성에 따른 24시간 개인노출 측정 결과이다. 남녀 성별에 따른 24시간 자기장 노출수준은 남성이 1.26 ± 2.99 mG [GM(GSD): $0.77(2.23)$ mG]로 조사되었으며, 여성은 1.88 ± 5.80 mG [GM(GSD): $0.81(2.78)$ mG]의 수준을 나타내었다. 남성이 여성보다 1.5배 높은 수준을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.657$).

연령에 따른 24시간 자기장 노출수준은 20세 이하의 집단에서 0.89 ± 1.47 mG [GM(GSD): $0.58(2.19)$ mG]로 조사되었으며, 20-60세 사이의 집단에서는 1.89 ± 5.70 mG [GM(GSD): $0.88(2.52)$ mG], 61세 이상의 고령화 집단은 1.33 ± 2.06 mG [GM(GSD): $0.81(2.42)$ mG]로 나타내었다. 20-60세 사이의 연령 집단이 20세 이하와 고령화 집단보다 각각 2.1배, 1.4배

Table 2. Results of 24-hour average magnetic field due to different type of demographic characteristic

Classification (N=Number of sample)		24-hour average magnetic field (mG)			p-value	Post hoc test
		Mean±SD	GM(GSD)	Range		
All (250)		1.56±4.56	0.79(2.46)	0.13~59.88	-	-
Gender	Male (130)	0.13±2.99	0.77(2.23)	0.13~32.93	0.657	-
	Female (120)	1.88±5.80	0.81(2.78)	0.17~59.88		
Age	^(a) <20 (59)	0.89±1.47	0.58(2.19)	0.13~10.36	0.008	b**
	^(b) 20-60 (150)	1.89±5.70	0.88(2.52)	0.16~59.98		a**
	^(c) >61 (41)	1.33±2.06	0.81(2.42)	0.18~12.81		-
The city classification follows	Ultra-megalopolis (60)	1.36±2.24	0.84(2.32)	0.17~12.81	0.472	-
	Megalopolis (60)	1.08±1.58	0.73(2.18)	0.2~10.97		
	Large city (40)	1.05±1.41	0.67(2.39)	0.13~8.42		
	Medium city (65)	1.22±1.62	0.81(2.23)	0.23~10.36		
	Small city (20)	4.36±13.19	1.09(3.69)	0.23~59.88		
	Rural area (5)	6.85±14.58	0.79(8.25)	0.18~32.93		
Occupational group (N = 102)	^(a) Code 1 (15)	0.81±0.53	0.65(2.02)	0.23~1.83	0.124	c*
	^(b) Code 2 (26)	0.79±0.61	0.66(1.78)	0.2~3.45		c*
	^(c) Code 3 (19)	2.18±3.09	1.21(2.78)	0.27~12.21		a*, b*, g**
	^(d) Code 4 (3)	0.51±0.18	0.49(1.39)	0.37~0.71		-
	^(e) Code 5 (38)	1.25±1.27	0.95(2.03)	0.16~7.43		g*
	^(f) Code 6 (1)	4.52	-	-		-
Non-occupational group (N = 148)	^(g) Student (72)	1.12±1.91	0.66(2.39)	0.13~10.97	0.287	c**, e*
	^(h) Housewife (29)	3.13±10.98	0.89(3.09)	0.17~59.88		-
	⁽ⁱ⁾ Old person (41)	1.32±2.06	0.81(2.43)	0.18~12.81		-
	^(j) Unwaged (6)	5.97±13.21	1.05(5.73)	0.3~32.93		-
Occupational total		1.25±1.67	0.85(2.19)	0.16~12.21	0.287	-
Non-Occupational total		1.77±5.76	0.75(2.65)	0.13~59.88		

*ACGIH Ceiling limit : 1,000 uT

*ICNIRP Guide line : 417 uT

*1 uT = 10 mG

높은 수준을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$).

거주인구비를 적용하여 분류한 도시별로 살펴보면 초거대도시 1.36±2.24 mG[GM(GSD): 0.84(2.32)mG], 거대도시 1.08±1.58mG[GM(GSD): 0.73(2.18) mG], 대도시 1.05±1.41mG[GM(GSD): 0.67(2.39) mG], 중도시 1.22±1.62mG[GM(GSD): 0.81(2.23) mG], 소도시 4.36±13.19mG[GM(GSD): 1.09(3.69) mG], 농어촌지역 6.85±14.58 mG[GM(GSD): 0.79(8.25)mG]으로 조사되었다. 도시별 개인자기장 노출수준은 농어촌지역 > 소도시 > 초거대도시 > 중도시 > 거대도시 > 대도시의 순으로 나타났으나, 통계적으로 유의한 수준을 보이지 않았다($p=0.472$).

직업/비 직업군에 따른 24시간 개인자기장 노출량을 구분한 결과, 직업군에서는 code 3 집단이 2.18±3.09 mG[GM(GSD): 1.21(2.78)mG]로 가장 높은 수준을 보였으며, 비 직업군에서는 무직자 집단이 5.97±13.21 mG[GM(GSD): 1.05(5.73)mG]로 조사되었다. 비 직업군 집단이 직업군 집단보다 1.4배 높은 수준을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.287$). 그러나 사후분석을 실시한 결과 각 집단별로 유의한 차이가 있는 것으로 나타내었다.

3) 주거환경 및 사회 경제적 특성에 따른 노출량 분석

Table 3과 Fig. 3은 주거환경 및 사회 경제적 특성에 따른 24시간 개인노출 측정 결과를 나타낸 것이

Fig. 2. Estimated distribution of 24-Hour average magnetic field for the 250 participants of demographic characteristic : (a) gender, (b) age, (c) the city classification follows in population size, (d) occupational group/Non-occupational group.

Table 3. Result of average field during different type of residence and social-economic status

	Classification (N=Number of sample)	24-hour average magnetic field (mG)			p-value	Post hoc test
		Mean $\pm$ SD	GM(GSD)	Range		
Income (N=247)	< 1,000 ten million won (31)	2.85 $\pm$ 10.26	0.82(6.64)	0.23~59.88	0.843	-
	1,000~3,000 ten million won (71)	1.29 $\pm$ 1.63	0.83(6.91)	0.23~10.36		
	3,000~5,000 ten million won (85)	1.84 $\pm$ 4.22	0.81(2.89)	0.13~32.93		
	> 5,000 ten million won (58)	0.84 $\pm$ 0.49	0.70(5.06)	0.17~2.33		
	No answer (5)	0.76 $\pm$ 0.26	0.72(5.35)	0.56~1.19		
Power line (N=239)	Power line visible (35)	1.90 $\pm$ 5.48	0.82(2.60)	0.2~32.93	0.857	-
	Power line invisible (204)	1.54 $\pm$ 4.51	0.79(2.49)	0.13~59.88		

Table 3. Continued

Classification (N=Number of sample)	24-hour average magnetic field (mG)			p-value	Post hoc test
	Mean $\pm$ SD	GM(GSD)	Range		
Residence Type	^(a) detached house (52)	3.31 $\pm$ 9.41	1.09(3.16)	0.18~59.88	c**, d**
	^(b) row houses (30)	1.30 $\pm$ 2.06	0.78(2.34)	0.23~10.36	-
	^(c) Low apartment- below the fifth floor (27)	0.94 $\pm$ 0.88	0.69(2.21)	0.13~4.42	a**
	^(d) High apartment-above the fifth floor (141)	1.08 $\pm$ 1.49	0.73(2.23)	0.16~12.21	a**
Residence size	< 33 m ² (12)	1.08 $\pm$ 0.49	0.97(1.66)	0.31~2.04	
	33 m ² ~66 m ² (29)	1.87 $\pm$ 0.84	0.67(1.96)	0.23~3.75	
	66 m ² ~99 m ² (85)	2.00 $\pm$ 6.61	0.87(2.64)	0.2~59.88	0.523
	99 m ² ~132 m ² (102)	1.26 $\pm$ 2.08	0.74(2.41)	0.16~12.21	
	> 132 m ² (22)	2.38 $\pm$ 6.87	0.82(3.09)	0.13~32.93

Fig. 3. Estimated distribution of 24-Hour average magnetic field for the 250 participants of residence and social-economic status : (a) Income, (b) Power line, (c) Residence type, (d) Residence size.

다. 수업에 따른 자기장 노출수준의 차이는 없는 것으로 조사되었으며($p=0.843$), 송전선 인접자가 비 인접자보다 1.2배 높은 수준을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 조사되었다($p=0.857$).

주거지 형태 및 주거지 넓이에 따른 측정 결과 단독주택에서 3.31 ± 9.41 mG(Range: 0.18~59.88 mG)로 가장 높은 수준으로 조사되었으며, 주거지 형태와 자기장 노출수준은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 그러나 주거지 넓이와 개인 자기장 노출 수준과는 특이성을 보이지는 않았다($p=0.523$).

4) 활동력에 따른 24시간 자기장 노출수준

Table 4는 전체 250명에 대한 활동력을 분석한 결과이다. 전체 1,437분 중에서 직장 또는 학교에서 561분으로 가장 많은 시간을 보냈으며, 취침시간(in bed) 471분, 가정에서 취침시간을 제외한 거주시간은 420분, 이동 105분, 기타 장소에서 241분으로 분

석되었다. 활동력에 따른 자기장 노출수준을 분석한 결과 산술평균, 기하평균 모두 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않은 것으로 나타내었다($p=0.484$).

Fig. 4은 연구 대상자 250명의 활동력에 따른 자기장 노출량이 일정 수준 이상 초과하는 집단의 누적분포로 나타낸 것이다. 1일 활동력에 따른 자기장 노출량은 취침 시 가장 높게 조사되었으며, 실내 가정, 직장 및 학교, 이동, 기타 장소의 순으로 나타내었다. 24시간 평균 자기장 노출이 일정 수준이상에 노출되는 집단의 분율(%)을 분석한 결과, 24시간 평균 노출량을 기준으로 전체 250명 중 노출 수준이 2 mG를 초과하는 집단이 11.3%, 4 mG를 초과하는 집단이 6.1%로 조사되었다. '취침 시'에서는 2 mG 초과 집단이 8.9%, 4 mG 초과 집단이 3.2%로 조사되었으며, '거주시간'에서는 2mG 초과 집단이 11.2%, 4 mG 초과 집단이 5.6%로 조사되었다.

'직장 및 학교'에서는 2 mG 초과 집단이 14.7%,

Table 4. Result of average field during different type of activities

Classification		24-hour average magnetic field (mG)			p-value
(N=Number of sample, spend the time in type of activities: min)		Mean $\pm$ SD	GM(GSD)	Range	
N=250	(a)All (1437)	1.56 $\pm$ 4.56	0.79(2.46)	0.13~59.88	0.484
	(b)in bed (471)	1.86 $\pm$ 10.88	0.36(3.45)	0.04~136.80	
	(c)at home (420)	1.57 $\pm$ 6.50	0.71(2.66)	0.07~97.90	
	(d)work/school (561)	1.47 $\pm$ 3.45	0.58(3.49)	0.01~26.54	
	(e)Travel (105)	1.35 $\pm$ 1.80	1.03(2.08)	0.14~9.50	
	(f)Other (241)	1.26 $\pm$ 1.58	0.89(2.25)	0.06~17.77

Fig. 4. Distribution of average magnetic fields measured during different types of activities.

4 mG 초과 집단이 8.2%로 분석되어 직업군 및 학생들의 주요한 자기장 노출원은 직장 및 학교에서의 활동이 주요 요인으로 작용한 것으로 조사되었다. ‘이동’에서는 2 mG 초과 집단이 10.8%, 4 mG 초과 집단이 3.2%로 나타내었으며, ‘기타 활동’에서는 2 mG 초과 집단이 10.8%, 4 mG 초과 집단이 1.6%로 나타내었다.

IV. 고 찰

1. 노출인구 산정 방법론에 대한 고찰

본 연구에서 적용할 수 있는 표본 집단 선정방법은 크게 3가지의 방법인 할당 추출법(Quota sampling), 층화 추출법(Stratified sampling), 집락 추출법(Cluster sampling)이 있다. 본 연구에서는 통제변수가 모집단의 특성과 같으면 모집단에 관한 지식을 얻는데 별 문제가 없다고 판단하여 할당 추출법 기반으로 표본 집단을 선정하였다. 오차를 줄이기 위해서 통제 변수를 지역 추출법을 적용하여 시/도별 인구비에 따라 표본수를 할당하고, 공공기관, 웹 사이트를 이용하여 자발적 참여를 유도해 일부 집단의 편종을 배제하였다.

국내의 도시 구분은 산업 유형으로 분류한 방법과 인구규모에 따른 분류방법이 있다.¹³⁾ 본 연구에서는 도시 인구수 대비 해당지역의 인구비율과 지역적 특성을 고려하여 초거대도시(1,000만 이상: 서울), 거대도시(100만 이상: 6개 광역시), 대도시(50만 이상), 중도시(10만 이상), 소도시(10만 이하), 농어촌지역으로 분류하였다. 2005년 총인구 47,041,434명으로 조사 보고되었으며, 2007년 7월 48,458,301명이므로 2년간 약 3% 인구증가비율을 포함하여 산출하였다.

KOSIS 국가통계포털에 수록된 「05년 총 조사 인구총괄」 통계자료¹⁴⁾를 이용하여 국내 연령별 비율을 추산하여 전국 인구 연령별 대비 20세 이하, 20~60세, 61세 이상 총 3개의 연령대별로 나누었으며 각 지역별 해당 연령대 연구대상자를 산출하였다. 통계자료에 따르면 남녀 성비는 101.6:100으로, 본 연구에서는 1:1로 감안하여 각 지역별 총 연구대상인원 산출시 남/여 비율을 1:1로 적용하였으나, 직업적 특성에 따라 남자 측정인원수를 추가 산정하였다. 직업에 따른 분류는 노동부에서 분류한 직업/산업별 분류통계자료¹⁵⁾를 이용하여 재분류하였다. 노

동부에서 분류한 0~A중 0 직업군(의회의원, 고위 임직원 및 관리자)과 A 직업군(군인)을 제외한 나머지 9가지의 직업군을 직업별 특성 및 업무관련성을 고려하여 6개의 code로 분류하였으면, 각 코드에 해당하는 세부적인 직업은 노동부의 직업분류를 따른 것이다.

전 국민을 대상으로 하는 노출조사 시에는 통계적으로 유의한 결과를 얻기 위하여 최소한의 추출 표본수를 결정해야 할 필요가 있다. 일반적으로 신뢰도 높은 노출 추정치를 얻기 위해서 표본수를 늘리는 방법을 택한다. 그러나 실제 연구에서는 연구비 및 연구기간의 현실적 제약이 따르므로 실현 가능한 범위 내에서 조사 규모를 결정하게 된다. 인체 노출 조사의 적정 표본 수 산출방법으로는 보편적으로 미국 CDC에서 제공하고 있는 Epi-info를 사용하여 인체노출조사의 표본수를 산출하였다.¹⁶⁾ 그러나 전술한대로 단기간 내에 조사를 실시할 수 없는 현실적인 제한점이 존재하므로 본 연구에서는 선행연구인 미국의 EMF RAPID Program에서 실시한 노출 인구수 산정 규모와 총인구 규모 대비 유사한 수준인 250명을 선정하여 1차적인 연구를 수행하였다. 이를 통하여 유사한 선행연구 사례인 미국의 결과와 직접적 비교의 용이성에 더 큰 의미를 두었기 때문이다. 본 연구결과는 전국민을 대표할 수 있는 규모의 표본 수에 부족한 것이 사실이나 국내 인구의 인구학적 특성을 1:1 대응하여 수행된 결과이므로 개략적인 노출정도 파악과 결과의 활용에는 무리가 없을 것으로 사료된다.

2. 매개 변수별 자기장 노출수준에 대한 고찰

24시간 평균 개인 자기장 노출수준은 1.56 ± 4.56 mG [GM(GSD): 0.79(2.46)mG]로 조사되었으며, 약 11.3% 정도의 노출군이 2 mG 이상 수준에 노출되는 것으로 나타내었다. 일반 환경에서의 자기장 노출수준에 관련된 선행연구를 살펴보면, 미국의 EPRI에서 미국 내 992가구를 대상으로 주택 내 모든 방의 중앙에서 spot 측정하였는데, 전체 가구의 절반이 0.6 mG 이하였고 전체 평균값이 9.0 mG로 보고하고 있다.¹⁷⁾ 그 외에 여러 나라에서 일반 환경 중 가장 많은 시간을 보내고 있는 주택에 대한 자기장 노출수준을 평가하기 위해 여러 가지 방법으로 자기장 측정을 수행하였는데,¹⁸⁻²²⁾ 미국, 영국, 스웨덴, 덴

마크 및 노르웨이 등에서 spot 측정, long-term 측정 (24~48시간), 개인노출 방법을 이용하여 측정한 결과, 약간의 차이를 보였지만 0.10~1.30 mG의 분포를 보여주고 있다. 미국에서 수행된 연구들의 결과값을 병합 분석한 결과 기하평균이 0.68 mG(range: 0.60~0.70 mG)이며, 영국의 주택에서는 0.36~0.39 mG의 분포를 나타내어, 미국이 약 1.5~1.9배 높은 수치를 보여주고 있다. 우리나라의 자기장 노출수준과 비교한 결과, 기하평균이 0.79 mG로 미국과 유사한 수준을 보이고 있으나, 영국에서 측정한 자기장 노출 수준보다는 약 2.2배 높은 수준을 보였다.

전체 활동력을 분석한 결과 직장 또는 학교에서 가장 많은 시간을 보냈으며, 취침시간, 거주시간, 이동, 기타(Other) 장소로 분석되었으며, 활동력에 따른 자기장 노출수준을 분석한 결과 산술평균, 기하평균 모두 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않은 것으로 나타났으며($p=0.484$). 각 활동력에 따른 조사결과, 조사대상 개인에 따라 특정 활동이 없는 경우가 존재하므로 전체 측정시간(All Activities)과 일치하는 않는 부분이 존재한다. 이는 각 개인별 활동 특성에 기인하는 것으로 차후 이러한 변수 요인을 통제한 추후 분석이 필요할 것으로 사료된다.

24시간 노출량을 기준으로 2 mG를 초과하는 집단이 11.3%, 4 mG를 초과하는 집단이 6.07%로 조사되었다. 취침 시에서는 2 mG 초과 집단이 8.9%, 4 mG 초과 집단이 3.2%로 조사되었다. 직장 및 학교에서는 2 mG 초과 집단이 14.7%, 4 mG 초과 집단이 8.2 mG로 추정되었다. 국내 108명의 자기장 노출수준을 조사한 선행연구 결과, 평균 자기장 노출수준은 1.4 mG이며, 2 mG 이상에 노출되는 집단은 15%, 3 mG 이상은 약 10%인 것으로 조사되었다. 침실과 직장에서의 자기장 노출수준은 각각 0.96 mG, 1.7 mG이며, 2 mG 이상에 노출되는 집단은 각각 약 9%, 21%로 조사되었다.²³⁾ 본 연구 결과와 비교한 결과 자기장 평균 노출수준은 유사한 결과이며, 2 mG 이상에 노출되는 집단도 10% 내외의 유사한 결과로 나타났다.

남녀 성별에 따른 24시간 자기장 노출수준은 남성이 여성보다 1.5배 높은 수준을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 연령에 따른 24시간 자기장 노출수준은 20~60세 사이의 연령 집단이 20세 이하와 고령화 집단보다 각각 2.1배, 1.4배

높은 수준을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$). 농어촌 지역 등 일부 지역의 조사대상자가 상대적으로 작아 통계적 유의성을 살펴보기에는 부족한 점이 있으나, 거주 인구비를 적용하여 분류한 도시별로 살펴보면 개인자기장 노출수준은 농어촌지역 > 소도시 > 초거대도시 > 중도시 > 거대도시 > 대도시의 순으로 나타났으나, 통계적으로 유의한 수준을 보이지 않았다. 직업/비직업에 따른 24시간 평균 개인자기장 노출량을 구분한 결과, 직업군에서는 code 3 집단이 가장 높은 수준을 보였으며, 비 직업군에서는 무직자 집단이 높은 수준으로 조사되었다. 비 직업군 집단이 직업군 집단보다 1.4배 높은 수준을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

직업적 노출과 관련된 자기장 영향에 관한 역학연구 보고를 살펴보면, 극저주파 노출환경의 직장(전기, 전화 회사 등)에 근무하는 여성 직업인의 직종별 자기장 노출 환경을 조사한 연구²⁴⁾에서는 평균적 자기장 노출 범위는 0.3~6.8 mG였으며, 제빵사, 요리사, 주방장, 재봉틀/방직기계 사용자, electronic worker, cashier 직업인이 2.3 mG 이상의 상대적으로 높은 자기장에 노출된다고 보고하였다. 50 Hz 자기장의 주거, 직업적 노출과 여성 유방암과의 관계는 생활전기장의 노출은 모든 연령의 여성의 유방암의 위험도 증가하고, 직업적 노출은 유방암의 위험도가 다소 낮다고 보고하고 있으며,²⁵⁾ 전기 이용 근로자들의 자기장 노출과 심근경색 사망률 연관성을 살펴본 결과, 부정맥과 급성심근경색증으로 인한 사망률은 자기장 노출과 연관성을 보이나 동맥경화증, 만성심장동맥성심질환과 자기장 노출은 연관성이 없음을 보고하였다.²⁶⁾ Ontario Hydro(전기회사)에서 근무하는 남성 직원들을 대상으로 60 Hz 전자기장과 암유발의 관련성을 조사한 연구에서는²⁷⁾ 오랜 시간동안 전기장에 노출되었을 경우에 암유발이 증가하며, 전자기장에 동시에 노출되었을 때 백혈병 발병 위험 증가, 강한 전자기장에 노출되었을 경우 폐암의 발병 가능성을 보였다고 보고하고 있다. 또한 생활환경 내에서 개인 활동과 자기장 영향에 관한 역학연구 보고를 살펴보면, 전기 침대 및 담요의 사용기간이 10년 이상인 노출군과 전혀 사용하지 않은 대조군과의 유방암 발병률은 비차비(Odds Ratio)가 6.3으로 노출군에서 위험도가 큰 폭으로 증가하

였으며, 사용 계절 및 사용시간이 증가함에 따라 유방암 발병률을 증가된다고 보고하였다.²⁸⁾ 만성적 노출에 따른 자기장 영향으로는 1972~1993년의 20년간 스위스 철도청 근무자들에 대한 코호트 추적결과, 매년 누적되는 극저주파 자기장의 크기가 늘어감에 따라 백혈병에 의한 사망률이 T당 0.9% 증가한다는 사실을 보고하였다.²⁴⁾ 그러나 본 연구에서는 상대적으로 높은 수준을 보일 것으로 예상되는 전기직 종사자가 1명으로 선행연구 결과와 비교하기에는 다소 무리가 있다. 인구학적 특성에 따라 분류한 결과이므로 차후 국내 전기직 종사자의 자기장 노출 수준을 파악하여 건강위해성과 관련된 연구가 필요하리라 사료된다.

주거환경 및 사회 경제적 특성에 따른 24시간 개인노출 측정 결과, 수입과 송전선 인접에 따른 자기장 노출수준은 차이가 없는 것으로 조사되었다. 사회경제적 특성에 따라 송전선로 비 주변 거주자의 자기장 노출 수준이 낮을 수 있으며,²⁹⁾ 부모의 학력 및 월수입 등이 자기장 노출수준에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다.⁷⁾ 그러나 본 연구에서는 사회경제적인 영향 보다는 전기를 사용하는 제품 등의 외적인 요인에 영향을 받은 것으로 사료된다.

주거지 형태 및 주거지 넓이에 따른 측정 결과 단독주택에서 가장 높은 수준으로 조사되었으며, 주거지 형태와 자기장 노출수준은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 그러나 주거지 넓이와 자기장 노출 수준과는 특이성을 보이지는 않았다. 기존의 거주환경에 따른 개인노출 수준에 대한 연구 결과와 비교해 보면, 1989년부터 1992년간 미국의 약 1,000가구를 대상으로 자기장 노출수준을 평가한 연구, 1000-Home Study에서 시골 보다 도심지역이, 단독주택 보다는 아파트가, 새집보다는 오래된 집일수록, 그리고 금속 수도관이 지나가는 주거환경에서 더 높은 자기장 수준을 보였다고 보고하였다.³⁰⁾ 유사한 주거 환경내의 노출수준을 평가한 연구³¹⁾에서 마찬가지로 주택의 노후화, 도심지역이나 준 도심지역, 고압송전선로 위치, 전선형태, 주택형태 등을 주거 내 자기장 영향인자로 꼽았다. 그러나 본 연구에서는 도심지 고압송전선로의 존재에 따라 개인 노출 수준의 변화는 확인할 수 없었으나, 주거지형태에 따라 자기장 노출수준의 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 본 연구결과 주거환경에서의 활동유형

즉, 전기 제품 사용 여부나 개인 활동 등이 거주자들의 24시간 개인노출량 수준을 결정하는 주요 인자라 추측할 수 있다. 물론 주거지 자체의 배경수준이 전반적인 개인노출량 수준을 높인다는 것은 배제할 수 없다. 향후 후속 연구를 통해서 통계적 오류를 보완하고 신뢰성을 확보하기 위해서 표본수를 확대하여 추가 조사할 필요가 있다고 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 『개인 노출량 조사를 통한 한국인의 극저주파 자기장 노출 수준』에 관한 연구로 전자파 방출 특성에 기인하는 무작위적, 비자발적 노출 증대와 이에 수반하는 건강위해 가능성 증대에 따라 노출인구에 대한 평가 및 노출자료의 생산을 목적으로 극저주파(ELF)대역 자기장 개인노출량 측정하였다.

1. 연구 대상자 250명에 대한 24시간 평균 개인 자기장 노출량은 1.56 ± 4.56 mG[GM(GSD): 0.79 (2.46)mG]로 조사되었으며, 11.3% 정도의 노출군이 24시간 평균 2 mG 이상 수준에 노출되는 것으로 나타났다.

2. 남녀 성별에 따른 24시간 자기장 노출수준은 남성이 여성보다 1.5배 높은 수준을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 20~60세 사이의 연령 집단이 20세 이하와 고령화 집단보다 각각 2.1배, 1.4배 높은 수준을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$). 농어촌 지역 등 일부 지역의 조사대상자수가 상대적으로 작아서 통계적인 유의성을 살펴보기에는 무리가 있으나 도시별 개인 자기장 노출수준은 농어촌지역 > 소도시 > 초거대도시 > 중도시 > 거대도시 > 대도시의 순으로 나타났다.

3. 직업/비직업에 따른 자기장 노출량을 구분한 결과, 직업군에서는 code 3 집단이, 비 직업군에서는 무직자 집단이 높은 것으로 나타났다. 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나 비 직업군 집단이 직업군 집단보다 1.4배 높은 수준을 보였다.

4. 수입과 송전선 인접에 따른 자기장 노출량의 차이는 없는 것으로 조사되었다. 주거지 형태 및 주거지 넓이에 따른 측정 결과 단독주택이 가장 높은 수준으로 조사되었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 그러나 주거지 넓이와 개인 자기장 노

출량과는 특이성을 보이지 않았다.

5. 각 개인의 활동력과 자기장 노출량의 연관성을 살펴본 결과, 활동 시간의 경우 직장 및 학교에서 가장 많은 시간을 보낸 것으로 나타났다. 노출수준은 '취침 시'와 '거주시간'에서 2 mG 초과한 집단이 각각 8.9%, 11.2% 나타났다. '직장 및 학교'와 '이동', '기타 활동'에서 2 mG 초과한 집단이 각각 14.7%, 10.8%, 10.8%로 나타나, 직장 및 학교에서의 노출량 같은 집 이외의 활동에 따른 노출이 개인의 자기장 시간가중평균값에 지배적 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- Wertheimer N, Leeper E. Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics*. 1986; 7: 13-22.
- Vena JE, Graham S, Hellmann R, Swanson M, Braasure J. Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *Am J Epidemiol*. 1991; 134: 180-185.
- Lovely RH, Buschbom RL, Slavich AL, Anderson LE, Hansen NH, Wilson BW. A preliminary study. *Am. J. Epidemiol*. 1994; 140: 510-517.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon, IARC, 2002 (Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 80).
- WHO. Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria (Geneva). 2007; 238.
- Kim YS, Kim SY, Park JY, Choi WU. Measurement and personal exposure assessment of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields (EMF). *Kor J Environ Health*. 1997; 23(1): 55-61.
- Cho YS, Kim YS, Lee JT, Hong SC, Jang SK. Relationship between urinary melatonin levels and extremely low frequency magnetic fields for the selected primary schoolchildren living nearby and away from overhead transmission power line. *Kor J Environ Health*. 2004; 30(3): 191-206.
- Hong SC, Jung JS, Kim KY, Park HJ, Choi SH. Evaluation of the magnetic field exposure level in 60 Hz high voltage transmission lines nearby residential area. *Kor J Environ Health*. 2008; 34(1): 27-33.
- NIESH. EMF RAPID Program. National Institute of Health. 2002.
- John FBB, Pruppers MJM, Kamer J, Zande G, Schipper CMA, Fleurke SR, Kluwer T, Kamp I, Kromhout J. ISEE-ISEA (Conference proceedings). 2008.
- Joseph DB, Jennifer AT, Michael GY. A population-based job exposure matrix for power-frequency magnetic fields. *J Occup Environ Hyg*. 2007; 4: 715-728.
- Kim YS, Hyun YJ, Choi SH, Lee CM, Roh YM, Cho YS, Hong SC. Exposure assessment of extremely low frequency magnetic field by variable exposure matrices for the selected primary schoolchildren living nearby and away from a overhead transmission power line. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2006; 16(4): 334-345.
- Hong KH. The functional changes of Korean Cities (1960~1978) a classification. *J Korean Geomorphological Association*. 1982; 17(2): 1-14.
- Korea Statistical Information Service 2005. <http://www.kosis.kr>
- Korean Standard Classification of Occupation 2000. <http://laborstat.molab.go.kr>
- Center for Disease Control and Prevention. <http://wwwn.cdc.gov/epiinfo>
- Zaffanella LE. Survey of residential magnetic field sources EPRI TR-102759-V1 (Project 3335-02 Electric Power Research Institute: Palo Alto, CA). 1993.
- Zaffanella LE, Kalton GW. Survey of personal magnetic field exposure (Phase II: 1000-person survey interim report EMF RAPID Program Engineering Project #6 Energetech Consultants: Lee, MA). 1998.
- Levallois P, Gauvin D, Gingras S, St-Laurent J. Comparison between personal exposure to 60 Hz magnetic fields and stationary home measurements for people living near and away from a 735 kV power line. *Bioelectromagnetics*. 1999; 20: 331-337.
- Swanson J, Kaune WT. Comparison of residential power frequency magnetic fields away from appliances in different counties. *Bioelectromagnetics*. 1999; 20: 244-254.
- Schz J, Grigat JP, Stmer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. *Radiat Environ Biophys*. 2000; 39: 233-240.

22. Foliart DE, Iriye RN, Silva M, Mezel G, Tarr KJ, Ebi KL. Correlation of year-to-year magnetic field exposure metrics among child in a leukemia survival study. *J Expos Anal Environ Epidemiol*. 2002; 12: 441-447.
23. Yang KH, Ju MN, Myung SH. Survey on the Distributions or Magnetic Field Exposure in the Living Environments of Sample Koreans. 6th Workshop on Health Effects of EMF and Bioelectromagnetic Environment. 2002.
24. Minder CE, Pfluger DH. Leukemia Brain Tumors, and Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in swiss railway employees. *Am J Epidemiol*. 2000; 153(9): 825-835.
25. Jolanta K. Residential and occupational exposures to 50-Hz Magnetic Fields and Breast Cancer in women. *Am J Epidemiol*. 2003; 159(9): 852-861.
26. David AS, Duanping L, Antonio S, Robert CK, Robert K. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol*. 1999; 149(2): 135-142.
27. Anthony BM, Teresa T, David AA, Claus W, Lois MG. Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among ontario electric utility workers. *Am J Epidemiol*. 1996; 144(2): 150-160.
28. Kangmin Z. Use of electric bedding devices and risk of breast cancer in African-American women. *Am J Epidemiol*. 2003; 158(8): 798-806.
29. Verkasalo PK. Magnetic fields and leukemia-risk for adults living close to power lines. *Scan J Work Environ Health*. 1996; 22: 1-56.
30. Kavet R, Silva JM, Thornton D. Magnetic fields exposure assessment of adult residents of Maine who live near and far away from overhead transmission line. *Bioelectromagnetics*. 1992; 13: 35-55.
31. Clinard F, Milan C, Harb M, Carli PM, Bonithon-Kopp C, Moutet JP, Faivre J, Hillon P. Residential magnetic field measurements in France-Comparison of indoor and outdoor measurement. *Bioelectromagnetics*. 1999; 20: 319-326.