

송전선로 주변과 비주변 초등학생을 대상으로 극저주파 자기장 노출과 뇨중 멜라토닌 분비량간의 상관성 연구

조용성^{†*,***} · 김윤신^{*} · 이종태^{**} · 홍승철^{*} · 장성기^{***}

*한양대학교 환경 및 산업의학연구소, **한양대학교 보건관리학과,
***국립환경연구원 실내환경연구사업단

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

Yong Sung Cho^{†*,***} · Yoon Shin Kim^{*} · Jong Tae Lee^{**} · Seung Cheol Hong^{*} · Seong Ki Jang^{***}

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

***Department of Health Management, Hanyang University*

****Indoor Environmental Research Board, National Institute of Environmental Research (NIER)*

(Received July 6, 2004; Accepted August 6, 2004)

ABSTRACT

The present study investigated the hypothesis that a extremely low frequency magnetic field partially suppresses the synthesis of melatonin in a group of 28 primary schoolchildren living nearby and 60 primary schoolchildren aged 12 years living far away from overhead transmission power lines from December 2003 to April 2004 in Seoul, Korea. The mean personal exposure levels of the primary schoolchildren living nearby overhead transmission power line were 0.37 μ T, whereas the value for the primary schoolchildren living away from overhead transmission power line 0.05 μ T. From simple analyses, the mean melatonin levels in the primary schoolchildren living nearby were lower than away from overhead transmission power line, but not statistically significant differences in the levels of the melatonin ($p=0.2421$), whereas the statistically significant differences in the levels of the melatonin related to the distance from residence to power line less and more than 100 m by cut-off point ($p=0.0139$). In multiple linear regression analyses, distance from residence to power line ($p=0.0146$) and dietary habit about burned meat ($p=0.0170$) proved to be significant risk factors in the mean nocturnal melatonin levels in the primary schoolchildren. In conclusion, these results demonstrate that urinary levels of nocturnal melatonin are not altered in primary schoolchildren exposed to extremely low frequency magnetic field(ELF-MF) at overhead transmission power line.

Keywords: ELF-MF, melatonin, powerline, primary schoolchildren

I. 서 론

1979년 미국 Colorado 주 Denver 시에서 Wertheimer와 Leeper에 의해 전력선 주변 거주 소아들과 백혈병간의 관계를 밝힌 최초의 역학 연구결과가 발표된 이후,¹⁾ 전 세계적으로 많은 과학자들이 전자장 노출과 질병

발생과의 관계에 대한 역학 연구를 수행하였다. 그러나 일관된 결과를 나타내지 못하여 전자장의 인체 유해성에 대한 논란이 아직까지도 계속되고 있는 실정이다. 따라서 다양한 역학적 연구 외에 세포실험, 동물실험, 임상연구 및 멜라토닌(melatonin) 호르몬과의 연관성에 관한 연구 등이 최근의 전자장 인체영향과 관련된 국제적 연구동향이라 할 수 있다. 특히 다수의 역학적 연구에서는 전자장의 인체노출 중 특히 극저주파(ELF-EMF) 영역에서의 개인노출을 대상군과 대조군으로 나누어 그들에 대한 인체영향을 조사한 결과 소아

[†]Corresponding author : Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University
Tel: 82-2-2290-1510, Fax: 82-2-2299-3915
E-mail : p5010@ihanyang.ac.kr, yscho@me.go.kr

의 백혈병, 뇌종양, 유방암 등과 같은 암의 발생률이 증가한다고 보고된 바 있으나,^{2,6)} 최근의 잘 설계된 역학적 연구방법론을 적용한 결과에서는 전자장이 유방암에 영향이 없는 것으로 보고하였다.^{7,8)} 또한 극저주파 전자장 중 자기장의 만성적인 노출이 인체에 발암성을 나타낸다는 보고에서조차 그 자기장에 대한 영향인자에는 어떠한 것들이 있는지, 그리고 전자장이 인체에 어떠한 경로로 흡수되고 축적되는지에 대해서 아직까지 알려지지 않은 상태로 앞으로의 중요한 연구과제로 거론되고 있는 실정이다.⁹⁾

전자장이 인체에 미치는 영향에 관한 연구 중 멜라토닌 연구의 경우, 전자장이 인간의 멜라토닌 분비량에 어떤 영향을 주는지에 대한 많은 연구가 보고되었으나 확실한 결론을 내리지는 못한 실정이다.¹⁰⁻¹⁴⁾ 멜라토닌은 수면중 어둠(darkness)과 반응하여 송과선(pineal gland)에 의해 우리 몸에서 자연적으로 생산되는 호르몬이며, 건강상태를 나타내는 중요한 요소로 간주되고 있다. 멜라토닌은 24시간 주기성(circadian rhythm)을 확실히 나타내는 호르몬이며, 면역작용(immune function) 및 암세포 증식 억제작용(oncostatic activity)의 기능을 가지는 호르몬으로 알려져 있다.¹⁵⁾ 멜라토닌은 또한 세로토닌(serotonin)에서 NAT(N-acetyltransferase)와 HIOMT(hydroxyin-dole-O-methyl transferase)의 활동에 의해 생성(Deguchi and Axelrod, 1972)되며, 어둠(darkness)의 시간동안에 증가하여 대략 02:00과 04:00 사이에 최대로 분비된다.^{16,17)} 그리고 눈을 통한 신경적 입력은 송과선에서 24시간 주기를 관장하는 멜라토닌의 중요한 조절자인 SCG(superior cervical ganglia)를 경유해서 일어난다. 충분한 세기의 빛은 많은 동물들에게 있어 멜라토닌 합성을 억제하는 효과가 있다.¹⁸⁾ 뿐만 아니라 망막을 통해 어둠을 인식하는 신호가 송과선으로 보내짐으로서 생산되기 시작하여, 약 2500 lux의 빛에 노출되면 멜라토닌 순환량이 즉각적으로 떨어지는 것으로 나타났으며, 에스트로겐(estrogen)과 테스토스테론(testosterone)과 같은 성호르몬과는 서로 상반되는 농도치를 나타내는 것으로 보고되었다.¹⁹⁾ 또한, 섭취된 알콜,²⁰⁾ 프로프라놀롤과 같은 β -아드레날린성 차단제²¹⁾ 그리고 스트레스²²⁾ 등은 송과선에서 멜라토닌 농도를 감소시킨다고 보고되었다. 한편 멜라토닌은 세포실험과 동물실험 모두에 있어 암의 성장을 억제하는 것으로 보고되었으며,²³⁾ 멜라토닌 분비의 감소는 유방암²⁴⁾과 전립선암²⁵⁾에 있어 에스트로겐 수용체의 양성반응과 관계가 있는 것으로 시사되었다. 또한 멜라토닌은 사춘기 시절을 중심으로 점차 감소하는 특징을 가지고 있으며 약 70세까지 합성능력이 있는 것으로 보

고되었다.^{26,27)} Iguchi 등의 연구에서는 1세부터 92세까지의 건강한 사람 81명을 대상으로 멜라토닌 분비량을 조사한 결과, 남·여 성별에서의 멜라토닌 분비량에는 차이가 나타나지 않았으나 10세를 기준으로 멜라토닌 분비량이 점차 감소하는 것으로 나타나 멜라토닌 분비가 연령과 관련이 있었다고 보고하였다.²⁸⁾

한편, 전자장 노출과 멜라토닌 영향에 관련된 국내 연구의 경우에는 김윤신 등이 5명의 자원자를 대상으로 전기장판에서 방출되는 전자장 노출 영향을 보고하였다.²⁹⁾ 각 2주간의 전자장 노출 전과 노출 중, 그리고 노출 후로 구분하여 총 6주간 실험한 결과, 전자장 노출 중의 멜라토닌 분비량이 노출 전의 멜라토닌 분비량보다 60% 낮게 분비된 결과를 보고하였다. 또한 김윤신과 조용성이 20명의 전자장 관련 직업군과 비직업군에 대한 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 직업에 있어서는 멜라토닌 분비량에 차이가 없음을 보고하였다.³⁰⁾

지금까지의 전자장 노출과 멜라토닌 분비와의 관련성을 규명한 연구들은 멜라토닌 분비가 10세 전후로 가장 활발하게 분비됨에도 불구하고 어린이를 제외한 성인들을 대상으로 조사되었으며, 특히 대부분의 연구들이 인위적인 실험연구 혹은 직업적으로 노출되는 직업군에 한정하여 연구가 수행되었을 뿐 송전선 주변의 초등학교를 대상으로는 수행된 바가 없다. 따라서, 본 연구에서는 송전선로 주변의 초등학교와 비주변 초등학교를 대상으로 전자장 노출에 따른 멜라토닌 분비량의 차이를 평가하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

1) 연구기간 및 연구대상 학교

본 연구는 초등학교의 극저주파 자기장 노출로 인한 멜라토닌 분비량의 변화를 조사하기 위해 2003년 12월부터 2004년 4월까지 송전선로 주변 초등학교와 비주변 초등학교를 대상으로 수행되었다. 송전선로 주변 초등학교의 경우에는 2003년 12월 1일부터 12월 30일까지 수행하였으며, 송전선로 비주변 초등학교의 경우에는 2004년 3월 15일부터 4월 6일까지 수행하였다.

연구대상 학교는 송전선이 지나가지 않는 일반 초등학교 선정을 위해 국내 초등학교의 평균 학급수와 학생수 및 평균시설의 초등학교와 비슷한 수준의 서울시 노원구에 위치한 W 초등학교를 선정하였으며, 송전선 주변학교 선정을 위해 송전선이 학교 부지를 지나가는 초등학교 10여 곳 중 학교건물 위를 통과하는 인천시 가정동의 B 초등학교를 최종 선정하였다(Fig. 1).

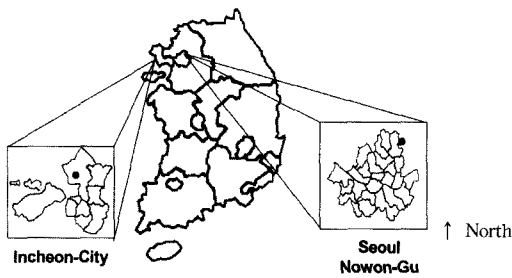


Fig. 1. The location of the selected primary schools for study.

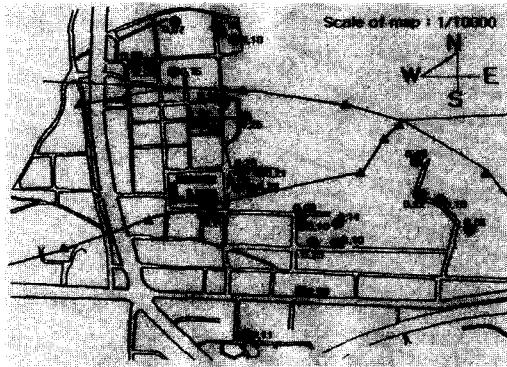


Fig. 2. The map of selected subject's residences and magnetic field exposure level by distance located nearby high voltage powerlines. The solid triangles were tower of high voltage powerlines and solid lines were high voltage powerlines. The gray circle is residence of subject except analysis-step in this study.

Fig. 2에서 보듯이 선정된 초등학교 인근 지역을 보면 1 km 이내에 북인천변전소가 있고 이 곳에서 접지되는 154 kV 송전선과 변전소를 지나는 154 kV 송전선이 합쳐진 345 kV 송전선은 연구대상지역을 통과하고 있으며, B 초등학교 건물을 관통하는 또다른 154 kV 송전선이 있어 총 2개의 송전선으로 둘러싸여 있는 지역임을 알 수 있었다.

2) 연구대상자

연구대상자는 시간활동표 작성 등의 연구수행에 무리가 없고, 멜라토닌 분비량이 여성의 월경에 영향을 받을 수 있으므로³¹⁾ 6학년 남학생만을 대상으로 성별 보정을 하였다. 연구대상 조건에 부합된 학생들에 대해서는 학교를 통해 가정통신문을 발송하여 본 연구의 목적과 취지 및 자료 확보를 위한 활동요령을 설명하였으며, 최종적으로 학생과 학부모의 동의를 얻은 학생들에 대해서만 최종 연구대상자로 선정하였다. 최종 선정된 연구대상자는 송전선로 주변 초등학생의 경우는 송전선과 가장 가까운 위치의 4개 학급의 남학생

중 31명이 선정되었으며, 송전선 비 주변 초등학생의 경우에는 6학년 8개 학급에서 62명이 최종 선정되었다. 선정된 연구대상자들은 하루 24시간 동안 극저주파 자기장 노출 측정과 시간활동표 및 설문지를 작성토록 하였으며, 멜라토닌 분비량을 조사하기 위해 소변을 채취하였다.

2. 연구방법

1) 극저주파 자기장 측정의 정도관리

(1) 교정(calibration)

본 연구에서 사용된 측정기인 2대의 EMDEX II는 제조회사인 미국 ENERTECH 사에 2003년 2월에 보내어 보정하였는데 60 Hz에서의 실제 자기장값과 측정값간의 오차가 ±2% 이내로 이루어졌다. 또한 4대의 EMDEX LITE는 2003년 5월에 미국 ENERTECH 사에서 구입하였으며 2003년 4월 28일에 실제 자기장값과 측정값간의 오차가 ±2%로 이루어졌음을 증명하는 보증서를 동봉하였다.

(2) 정도관리(quality control)

본 연구를 수행하는데 있어 측정기 간의 재현성을 알아보기 위해 QC를 수행하였는데 본 연구소 실험실 중앙에서 지상에서 1m 위 지점에 절연 삼발이를 설치하여 EMDEX II 2대를 올려놓고 동시에 측정하였다. 또한 EMDEX II와 동일한 조건에서 EMDEX LITE 역시 동시에 측정하였으며 5초씩 10분간 5회 측정하여 비교하였다.

2) 극저주파 자기장 분석방법

분석은 측정자가 작성한 일일 기록표의 기록을 확인하여 극저주파 자기장 노출 분석에 필요한 시간을 계산하였으며 동시에 측정치 변화에 있어서의 TV나 PC 등의 전기제품 사용 및 고압송전선 주위 이동 등의 영향인자를 평가하였다. 이때 측정할 주파수 대역은 우리나라 사용주파수인 60 Hz 대역을 중심으로 분석하였다.

분석은 시간가중평균(TWA : Time Weighted Average) 값을 계산하였다(식 1).

시간가중평균

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

C : 해당 시간 중 평균 극저주파 자기장 노출 값

T : 해당 시간

3) 시료 채취 및 멜라토닌 분비량 분석

멜라토닌 분비량 분석을 위해 각 연구대상자들은 취침 전에 방뇨하여 잔류 뇨를 배출시킨 후 취침하도록

하여 기상직후의 뇨를 받도록 하였으며, 연구대상자는 뇨를 채취하는 동안에 채취된 뇨의 전체량과 채취시간을 기록할 수 있는 측정일지를 기록하였다. 분석방법으로는 방사선면역검사방법(radioimmunoassay method)을 사용하였으며, 채취된 뇨 중 멜라토닌 분비량은 BuHLMANN LABORATORIES AG(Switzerland)에서 생산된 RIA test kits를 사용하여 측정하였다. 이 RIA kit는 Kennaway G280 항 멜라토닌 항체에 의해 두 개의 항체(primary antibody와 secondary antibody)에 의해 멜라토닌 분비량을 측정한다. RIA의 분석과정은 최초 전 처리과정으로서 column의 준비와 조절 과정으로 methanol과 3차 증류수를 각 1 ml씩 2회 투여하고, 세척 과정은 10% methanol 1 ml를 2회 투여하고, hexane 1 ml를 1회 투여하였다. 그리고 5배 희석한 뇨 샘플을 투여한 후 methanol 1 ml를 투여하여 최종적으로 추출하였다. 전 처리과정 후에 뇨 샘플은 일차 항체 100 μ l 및 I-125 100 μ l 등과 함께 20±4 hr 동안 반응시킨 후 secondary antibody 100 μ l를 투여하여 최종적으로 gamma-counter로 측정하였다. 분석과정에서 사용된 일차 항체와 이차 항체는 한 vial에 11 ml의 anti-melatonin 항체가 포함되어 있고, 냉장상태로 보관되었다. 멜라토닌 분비량 분석에 있어서 분석의 민감도는 0.3 pg/ml였으며, 분석의 타당도를 검증하기 위하여 10개의 검체에 대해 검체간 검사(intraassay)와 분석자간 검사(interassay)를 수행한 결과, intraassay coefficient는 6.9%(3.1~8.9%)로 나타났고 interassay coefficient는 11.5%(7.4~15.8%)로 나타났다.

4) 설문조사, 극저주파 자기장 개인노출 및 일일활동력 조사

최종 선정된 연구대상자들에 대해 인적사항(나이, 주소, 연령 등), 주거환경(거주 연도, 집유형), 개인노출사항(이동 교통수단, 통학시간, TV 시청정도, 전기용품이용시간, PC 사용정도, 냉방기기 사용정도, 스탠드 사용정도, 가전제품 이용정도), 건강상태정도, 극저주파 자기장 인식도 및 식습관에 대한 항목으로 구성된 기초 설문지를 부모와 함께 작성토록 하였다.

또한 극저주파 자기장 개인노출측정은 측정기(EMDEX LITE, EMDEX II)를 작은 가방에 넣고 연구대상자가 열어보지 못하도록 자물쇠로 잠근 후 몸에 착용할 수 있게 하였고 동시에 시간별 생활활동패턴을 알 수 있는 시간활동표를 같이 동봉하였다. 시간활동표의 시간간격인 20분동안 연구대상자가 두 장소에 있었다면 그 중 많은 시간을 보낸 장소에 표시하도록 하여 연구대상자 각자의 각 장소별 보낸 시간을 산출할 수 있도록 하였다. 측정시작 시점과 시간활동표 시점을 동

일하게 하기 위해 연구 대상자들에게 측정에 사용할 수 있는 시계를 착용하게 하여 다른 시계에 의한 오차를 최대한 줄이도록 하였다. 측정을 마친 연구대상자들에게 대해서는 시간활동표와 측정기가 든 가방을 반납할 때 올바르게 시간활동표를 작성하였는지를 확인하기 위해, 극저주파 자기장 측정자료를 주 컴퓨터에 전송할 때 측정된 자료와 시간활동표를 대조하면서 일대일 사후인터뷰를 통해 확인하였다.

5) 통계분석

자료의 통계학적 분석은 SAS version 8.0(SAS Institute, Cary, NC)을 이용하였다. 범주화된 변수의 관련성은 chi-square 검정을 사용하였으며, 평균의 비교는 t 검정이나 분산분석을 사용하였다. 또한 멜라토닌 분비량과 관련된 변수를 평가하기 위해서 뇨 중 멜라토닌 분비량을 종속변수로 하고, 단변량 분석에서 유의한 변수들과 선행 연구에서 밝혀진 영향 요인들을 독립변수로 하여 다중선형회귀분석을 실시하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성 및 시간활동력

연구에 참여한 송전선 주변 초등학교 31명과 비 주변 초등학교 62명 중 극저주파 자기장 측정 오류를 나타낸 3명과 멜라토닌 분비량 분석치의 번외값에 해당되는 2명이 제외되어 분석에 포함된 최종 연구대상자는 송전선 주변 초등학교 28명과 비 주변 초등학교 60명을 대상으로 조사되었다.

연구대상자들의 24시간 동안의 장소 및 활동별 체류 시간을 조사한 결과, 가정내 체류시간과 수면시간에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나 학교 생활 시간에서는 유의한 차이를 나타내었다(Table 1).

최종적으로 분석에 포함된 대상자들의 식습관 중 육류섭취와 전기장판 사용 현황에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 송전선로와 거주지까지의 거리와 패스트푸드점 이용을 통한 식습관에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 또한 가정내 전기제품 수에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 신체지수를 나타내는 BMI(body mass index, kg/m²)의 경우에는 송전선로 주변 초등학교의 경우에는 평균 20.35 kg/m²으로 정상범위를 나타내었으나 비 주변 초등학교의 경우에는 평균 18.71 kg/m²으로 다소 낮은 지수를 나타내었다(Table 2).

2. 극저주파 자기장 측정의 정도관리

Fig. 3은 측정기 간의 재현성을 살펴보기 위해 동일

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 초등학교생들에 대한 극저주파 자기장 개인노출 수준을 24시간과 가정생활 및 학교생활별로 비교한 것으로서 24시간 동안 송전선로 주변 초등학교생의 경우에는 평균 0.37 μT의 높은

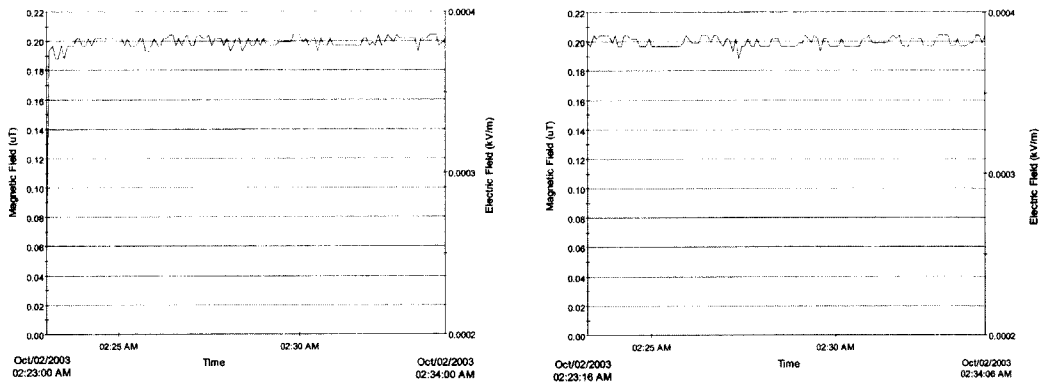


Fig. 3. Comparison of two 60 Hz magnetic field measurements in same area and same measured time.

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 : μT)

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 ± 0.23 (0.15-1.11)	0.05 ± 0.03 (0.02-0.18)	0.0001
Geometric mean	0.25 ± 0.14 (0.11-0.71)	0.03 ± 0.01 (0.01-0.07)	0.0001
95 percentile	1.15 ± 1.10 (0.41-3.86)	0.12 ± 0.08 (0.03-0.36)	0.0001
At home			
Arithmetic mean	0.23 ± 0.16 (0.07-0.75)	0.05 ± 0.04 (0.01-0.19)	0.0001
Geometric mean	0.20 ± 0.13 (0.07-0.62)	0.04 ± 0.03 (0.01-0.17)	0.0001
95 percentile	0.36 ± 0.33 (0.10-1.34)	0.14 ± 0.23 (0.02-1.73)	0.0025
At school			
Arithmetic mean	0.80 ± 0.75 (0.31-2.98)	0.02 ± 0.01 (0.01-0.10)	0.0001
Geometric mean	0.66 ± 0.58 (0.24-2.79)	0.02 ± 0.01 (0.01-0.03)	0.0001
95 percentile	1.20 ± 1.25 (0.44-4.79)	0.06 ± 0.12 (0.02-0.71)	0.0001

자기장 수준을 나타내었으며 특히 학교생활의 경우에는 0.8 μT 로 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 μT 로 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

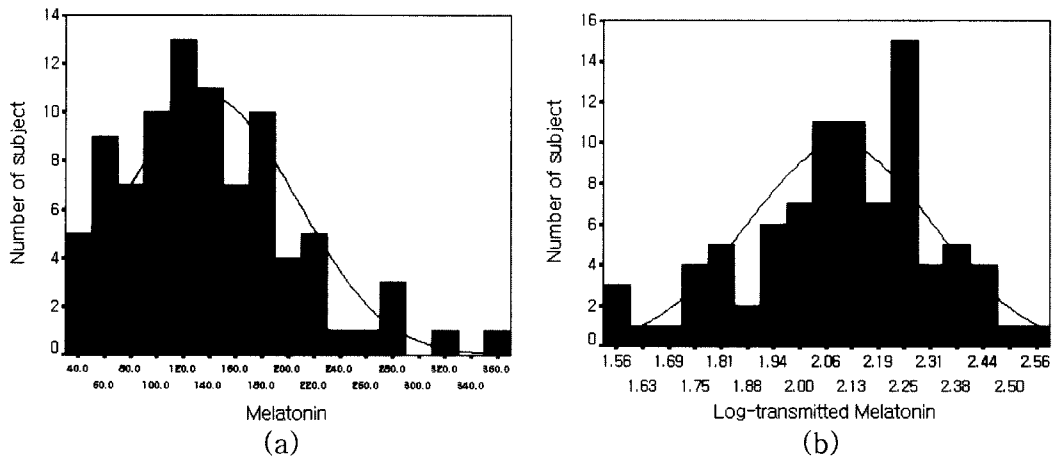


Fig. 4. The distribution of arithmetic mean (a) and log-transmitted level (b) for urinary melatonin level.

로 유의한 차이를 나타낸 전기제품 수를 보정한 후의 개인노출수준을 최소자승평균 값으로 나타낸 것이다. 가정내 전기제품 수를 보정한 후에도 송전선로 주변과 비 주변 초등학교생들의 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 뇨 중 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인별 멜라토닌 분비량의 차이를 평가한 것으로서 송전선로 주변 초등학교생의 멜라토닌 분비량은 2.06 ng/g-cr으로, 비 주변 거주 초등학교생의

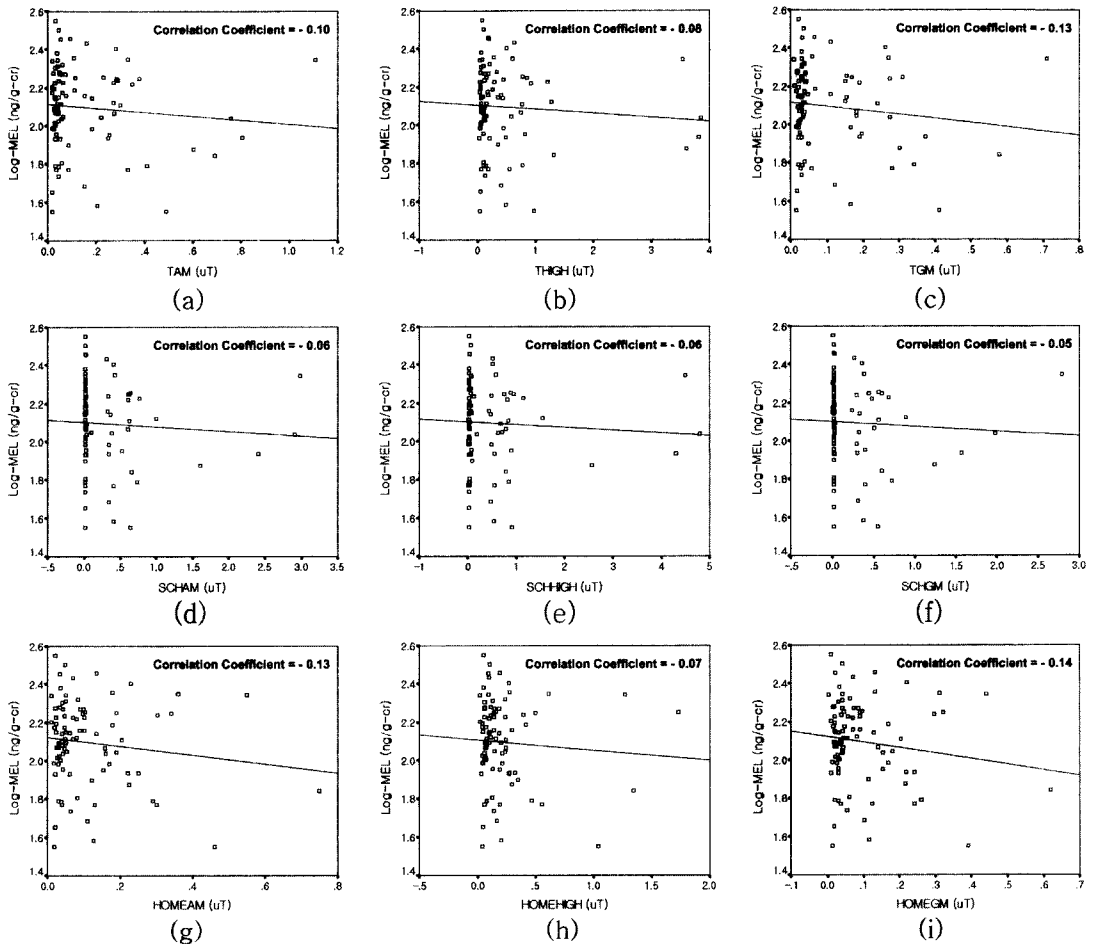


Fig. 5. Relationship matrix between urinary log-transmitted melatonin level and ELF-MF level for micro-environment. (a) is arithmetic mean of MF at 24 hour, (b) is 95 percentile level of MF at 24 hour, (c) is geometric mean of MF at 24 hour, (d) is arithmetic mean of MF at school-life, (e) is 95 percentile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

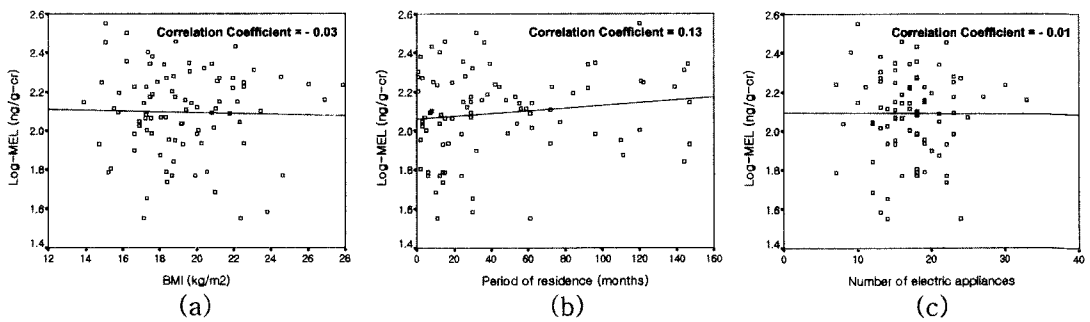


Fig. 6. Relationship matrix between urinary log-transmitted melatonin level and related factors. (a) is body mass index (BMI), (b) is period of residence, and (c) is number of electric appliance.

Table 5. Urinary Melatonin *log-transmitted* levels (ng/g creatinine) in relation to exposure, distance from residence to powerline, dietary habit about burned meat, dietary habit about fast-food, and status of electric sheet usage

Variables	N (%)	AM ^a	SD ^b	Range	P-value
Exposure group					
Nearby powerlines	28 (31.8)	2.06	0.24	1.55-2.43	0.2421
Away from powerlines	60 (68.2)	2.11	0.21	1.55-2.55	
Distance from residence to powerline					
Less than 100 m	22 (25.0)	2.00	0.25	1.55-2.35	0.0139
More than 100 m	66 (75.0)	2.13	0.20	1.55-2.55	
Dietary habit (burned meat)					
1 time less than per week	13 (14.9)	1.96	0.23	1.65-2.38	0.0471
2 to 5 times per week	53 (60.9)	2.12	0.21	1.55-2.55	
5 times more than per week	21 (24.2)	2.12	0.21	1.55-2.45	
Dietary habit (fast-food)					
1 time less than per week	53 (61.6)	2.11	0.22	1.55-2.55	0.2443
2 to 5 times per week	31 (36.1)	2.07	0.22	1.55-2.41	
5 times more than per week	2 (2.3)	2.32	0.03	2.30-2.34	
Status of electric sheet usage					
Yes	6 (6.8)	2.02	0.27	1.74-2.43	0.3699
No	82 (93.2)	2.10	0.22	1.55-2.55	

^aArithmetic mean; ^bStandard deviation.

멜라토닌 분비량 2.11 ng/g-cr 보다 낮았으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=0.2421$). 한편, 송전선과 거주지까지의 거리가 100 m 이내인 초등학교의 멜라토닌 분비량은 2.00 ng/g-cr로 100 m 이상인 초등학교의 2.13 ng/g-cr에 비해 통계적으로 유의하게 멜라토닌 분비량이 작은 것으로 나타났다($p=0.0139$). 또한

육류 섭취의 경우 1주일의 육류 섭취 횟수에 따라 멜라토닌 분비량이 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p=0.0471$). 그러나 패스트푸드를 이용한 육류 간식 섭취나 전기장판 사용 현황에 따른 멜라토닌 분비량에서는 차이를 나타내지 않았다. 또한 전기장판을 사용한 사람의 멜라토닌 분비량은 2.02 ng/g-cr로 사

Table 6. Correlation between independent variables using multiple regression analysis in this study

Independent variable	Case ^a	TGM ^b	BMI ^c	Distance ^d	Appliance ^e	Dietry1 ^f	Dietry2 ^g	Sheet ^h
Case		0.80 ⁱ	0.27	$p = 0.01j$	-0.38	$p = 0.17$	$p = 0.01$	$p = 0.41$
TGM			0.12	-0.57	-0.31	-0.08	0.32	0.12
BMI				-0.17	0.02	0.08	0.05	-0.01
Distance					0.26	$p = 0.71$	$p = 0.37$	$p = 0.14$
Appliance						0.17	-0.17	-0.27
Dietry1							$p = 0.42$	$p = 0.44$
Dietry2								$p = 0.13$
Sheet								

^aSchoolchildren nearby and away from powerlines; ^bGeometric mean of magnetic field exposure levels during 24 hours; ^cBody mass index[weight(kg)/height(m²)]; ^dDistance from residence to powerline (less or more than 100 m); ^eNumber of electric appliances usage; ^fDietary habit about burned meat (1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week); ^gDietary habit about fast-food (1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week); ^hStatus of electric sheet usage (yes or no); ⁱCorrelation coefficient between continuous variable and continuous or categorical variable; ^jSignificant value using chi-square test between categorical variables.

용하지 않은 사람의 멜라토닌 분비량 2.10 ng/g-cr에 비해 낮게 나타났다. 결과적으로 멜라토닌 분비량에 영향을 주는 요인은 거주지와 송전선까지의 거리와 육류 섭취인 것으로 나타났다.

6. 다중회귀분석을 이용한 멜라토닌 분비량의 영향 요인 분석

Table 6은 다중회귀분석을 통해 멜라토닌의 영향요인을 분석하기에 앞서 각 독립변수들간의 상관분석을 나타낸 표이다. 다중회귀분석에 포함될 변수들간에는 상관성이나 유의성이 없어야 하므로 본 분석을 통해 송전선로 주변과 비 주변 거주 초등학생에 대한 변수와 24시간 동안의 자기장 노출량 변수, 그리고 거주지에서 송전선까지의 거리변수가 높은 상관성을 나타내었으며, 송전선로 주변과 비 주변 거주 초등학생에 대한 변수는 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취변수와도 유의한 관계를 나타내었다. 따라서 최종적인 다중회귀분석의 전체모델(full-model)에서는 극저주파 자기장 노출과 관련이 있으면서 높은 상관성을 나타낸 송전선로 주변과 비 주변 초등학생에 대한 변수와 24시간 동안의 자기장 노출량 변수, 그리고 거주지에서 송전선까지의 거리변수들을 각각 분리하여 분석하였으며, 송전선 주변과 비 주변 초등학생에 대한 변수와 유의성을 나타낸 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취변수는 전체모델에서 제외하였다.

Table 7은 멜라토닌 분비량을 종속변수로 하고, 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인인 거주지와 송

전선까지의 거리, 체질량지수, 전기제품 수, 육류 섭취, 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취, 그리고 전기장판 사용유무를 독립변수에 모두 포함시킨 전체 다중회귀분석 결과이다. 모델의 전체 설명력은 21.06%로 나타났으며, 분석결과 다른 독립변수를 보정한 후, 거주지에서 송전선까지의 거리가 100 m 이상인 초등학생은 100 m 이내에 거주하는 초등학생에 비해 멜라토닌 분비량이 통계적으로 유의하게 약 0.12 ng/g-cr 증가한 결과를 나타내었다($p=0.0341$). 또한 삼겹살, 갈비, 불고기 등의 육류섭취를 1주일에 2~5회 섭취한 초등학생은 1주일에 1회 이하로 육류를 섭취한 초등학생에 비해 멜라토닌 분비량이 통계적으로 유의하게 약 0.19 ng/g-cr 증가한 결과를 나타내었다($p=0.0112$). 그러나 체질량지수의 경우에는 체질량지수가 1 kg/m² 증가할 때 마다 멜라토닌 분비량이 약 0.004 ng/g-cr 만큼 감소하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다. 또한 가정내 가전제품 수와 패스트푸드점을 이용한 육류간식 섭취, 그리고 전기장판 사용유무도 멜라토닌 분비량에는 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

한편, 회귀분석에서는 가급적 적은 수의 독립변수로 인과관계의 핵심을 간결하게 설명하는 것이 바람직하므로 전체 영향 가능 요인을 모두 포함한 모델에서 설명력이 가장 떨어지는 전기제품 수를 배제한 결과를 통해 다시 가장 설명력이 떨어지는 체질량지수와 전기장판 사용 유무를 제외한 후의 최종 다중회귀모델을 선정하였다(Table 8). 설명력이 떨어지는 변수를 제외시킨 후의 최종 모델에서는 전체 설명력은 21.06%에서

Table 7. Estimates of the regression coefficients of predicting urinary log-transmitted melatonin using multiple regression model including status of distance from residence to powerline (full-model)

LogMEL = $\beta_0 + \beta_1$Residence + β_2BMI + β_3Electric appliance + β_4Dietry1A + β_5Dietry1B + β_6Dietry2A + β_7Dietry2B + β_8Electric sheet				
Variables	Estimate	SE	P-value	Overall model (R ²)
Intercept	1.67952	0.29472	0.001	0.2106
Exposure				
Distance ^a	0.12109	0.05608	0.0341	
BMI ^b	-0.00411	0.00845	0.6286	
Electric appliance ^c	-0.00197	0.00533	0.7127	
Dietry1 ^d A	0.19384	0.07447	0.0112	
Dietry1B	0.16513	0.08298	0.0503	
Dietry2 ^e A	-0.09077	0.05149	0.0820	
Dietry2B	0.20317	0.15273	0.1875	
Electric sheet ^f	0.09327	0.09501	0.3295	

^aDistance from residence to powerline (less or more than 100 m); ^bBody mass index[weight(kg)/height(m²)]; ^cNumber of electric appliances usage; ^dDietary habit about burned meat (1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week); ^eDietary habit about fast-food (1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week); ^fStatus of electric sheet usage (yes or no).

Table 8. Estimates of the regression coefficients of predicting urinary log-transmitted melatonin using multiple regression model including status of distance from residence to powerline (final-model excluded number of electric appliance, body mass index, and electric sheet for full-model)

LogMEL = $\beta_0 + \beta_1$ Residence + β_2 Dietry1A + β_3 Dietry1B + β_4 Dietry2A + β_5 Dietry2B				
Variables	Estimate	SE	P-value	Overall model (R ²)
Intercept	1.74541	0.10722	0.001	0.1726
Exposure				
Distance ^a	0.13083	0.05242	0.0146	
Dietry1 ^b A	0.16553	0.06791	0.0170	
Dietry1B	0.14565	0.07671	0.0612	
Dietry2 ^c A	-0.04849	0.04829	0.3184	
Dietry2B	0.22735	0.15174	0.1380	

^aDistance from residence to powerline (less or more than 100 m); ^bDietary habit about burned meat (1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week); ^cDietary habit about fast-food(1 time less or 2 to 5 time or 5 time more than per week).

17.26%로 다소 떨어졌으나 각 독립변수의 유의성은 증가한 것을 볼 수 있다.

따라서, 멜라토닌 분비량에 영향을 주는 요인을 규명하기 위한 최종모델에서는 멜라토닌 분비량을 종속변수로 하고, 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인 중 거주지와 송전선까지의 거리, 육류 섭취, 그리고 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취를 독립변수로 하여 다중회귀분석모형을 시행한 결과 최종 모형에서 유의한 변수는 거주지에서 송전선까지의 거리 변수와 육류 섭취 변수였다(Table 8). 즉 다른 독립변수를 보정한 후, 거주지가 송전선로부터 100 m 이상인 초등학교의 멜라토닌 분비량은 100 m 이내인 초등학교의 멜라토닌 분비량에 비해 통계적으로 유의하게 약 0.13 ng/g-cr 만큼 증가하는 것으로 나타나 거주지가 멀어질수록 멜라토닌 분비량이 증가하는 것으로 나타났다($p=0.0146$). 또한 식이습관의 경우 육류를 1주일에 한번 섭취한 초등학교에 비해 2회에서 5번 섭취한 초등학교의 멜라토닌 분비량은 통계적으로 유의하게 약 0.17 ng/g-cr 만큼 증가한 결과를 나타내었으며($p=0.017$), 통계적으로 거의 유의하게 1주일에 2회에서 5번 육류를 섭취한 초등학교에 비해 5번 이상 육류를 섭취한 초등학교의 멜라토닌 분비량이 약 0.15 ng/g-cr 만큼 증가한 결과를 나타내었다($p=0.0612$).

IV. 고 찰

1. 연구대상 및 방법에 대한 고찰

본 연구는 극저주파 자기장의 가장 중요하고 광범위하게 퍼져있는 노출 발생원인 송전선로를 중심으로 그 주변 초등학교와 비 주변 초등학교를 대상으로 극저주파 자기장 노출로 인한 멜라토닌의 감소 영향을 평가

하였다.

연구대상자로 선정된 초등학교 6학년 남학생은 본 연구의 중요한 측정항목인 시간활동표의 내용을 이해할 수 있고 24시간 동안 활동력을 누락없이 기재할 수 있는 수준의 학생이 요구되어, 연구수행 전에 4학년에서 6학년을 대상으로 한 예비실험에서 가장 회수율이 좋은 6학년을 대상으로 선정하였다. 또한 본 연구의 health end-point인 생체내 호르몬은 여성의 월경에 영향을 받을 수 있다고 보고된 바 있으며,^{31,32} 최근 경제발전과 식생활 변화로 인한 육류섭취의 활성화와 충분한 영양 섭취로 인해 여성의 초경시기가 초등학교 고학년으로 빨라짐에 따라 성별의 차이로 인한 결과의 차이를 보정하기 위해 남학생만을 연구대상자로 선정하였다. 또한 예비조사에서는 24시간 동안의 시간별 생활활동패턴을 알 수 있는 시간활동표를 10분, 20분, 30분, 60분 단위로 표시하도록 하게 하여 4-6학년 50명을 대상으로 조사한 결과 연구대상자들이 쉽게 표시 할 수 있으면서 일일생활패턴을 좀더 자세히 알 수 있고 대표할 수 있는 시간으로 20분이 가장 적합한 것으로 판단되어 최종 연구대상자들에게 20분 단위로 표시하도록 하였다.

송전선 주변 초등학교로 선정된 연구대상자들이 거주하고 있는 가정과 송전선과의 거리를 도식하여 각 연구대상자들의 가정에서의 극저주파 자기장 노출량을 mapping 한 결과, 송전선과 거리가 가까울수록 가정에서의 극저주파 자기장 노출량이 높음을 알 수 있었다. 특히 대상 초등학교의 경우에는 송전선이 학교 건물을 관통하고 있어 0.8 μ T의 높은 극저주파 자기장 방출량을 나타내었다. 그러나 일부 연구대상자의 경우에는 송전선과의 거리가 멀었음에도 불구하고 가정에서의 극저주파 자기장 노출량이 높게 나타났는데 그러한 이유

로는 각 가정에서 사용하는 가전제품의 영향으로 판단된다.

멜라토닌은 망막을 통한 빛에 의해 분비량이 감소되는 성질을 가지고 있으며, Trinder 등(1996)의 연구에서는 약 250 룩스(lux)의 빛에 의해 멜라토닌 농도가 감소되었다고 보고하였다.¹⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 빛에 의한 영향을 없애기 위해 연구대상자들에게 완전히 소등한 상태로 취침을 하라고 요구하였으며 다음날 소등상태를 확인하였다. 또한, 멜라토닌 분비에 영향을 주는 요소로서 중요한 성분이 필수 아미노산인 트립토판이다. 이러한 트립토판은 인체 내에서 스스로 만들어지지 않기 때문에 음식을 통해 섭취해야 하는 아미노산의 일종으로서 뇌의 송과선에서 분비되는 신경 전달물질인 세로토닌으로 전환하여 멜라토닌을 합성하게 된다. 따라서 트립토판이 많이 함유된 콩, 치즈, 우유, 두부, 낙농제품, 닭고기, 소고기 등을 섭취하면 멜라토닌 분비가 촉진되게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 멜라토닌에 대한 트립토판의 영향을 고려하기 위하여 연구대상자들의 식습관을 조사하기 위해 삼겹살, 갈비, 불고기 등의 육류섭취 현황과 햄버거나 치킨 등의 육류간식 섭취에 대한 조사를 수행하였다. 또한, 송전선 주변 초등학교인 B 초등학교를 대상으로 자료수집한 시기는 겨울철이었기 때문에 전기장판을 많이 사용할 것으로 판단되어 전기장판 사용 유무에 대한 조사도 병행하였다. Wilson 등의 연구에서는 열선을 제외한 개조된 전기장판을 사용하여 8주간 32명의 여성과 10명의 남성을 대상으로 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 전기장판 사용을 3주 동안 사용한 후에 28명의 연구대상자 중 7명에서 멜라토닌의 전구물질인 6-hydroxymelatonin sulfate(6-OHMS) 분비량이 감소한다는 보고를 하였으며,³³⁾ Hong 등의 연구에서는 Wilson의 연구디자인을 개선하여 전기장판 노출 전, 전기장판 노출, 그리고 전기장판 노출 후로 구분하여 5명의 연구대상자의 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 유의한 차이를 나타내지 않았다고 보고하였다.³⁴⁾ 한편 국내에서도 김윤신 등에 의해 이와 유사한 연구를 수행하였으며, 이 연구에서는 6주간 5명의 자원자를 대상으로 전기장판 노출 전과 노출 중, 그리고 노출 후에 대한 야간 멜라토닌 분비량을 비교한 결과 전기장판에 노출되었던 시기가 노출되기 전 시기보다 통계적으로 유의하게 멜라토닌 분비량이 감소한 결과를 나타내었다.²⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 선행 연구결과에서 멜라토닌이 전기장판 사용에 따라 영향을 받을 가능성이 있는 것으로 판단되어 연구대상자에게 전기장판 사용 유무에 대한 확인을 받았다.

2. 연구결과에 대한 고찰

연구대상자들의 24시간 동안의 장소 및 활동별 체류 시간을 조사한 결과 송전선로 주변과 비 주변 초등학교의 학교생활 시간에서 유의한 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 송전선로 주변 초등학교에 대한 조사시기가 학기말인 관계로 1시간 단축수업(평균 5.29시간)을 하였고, 비 주변 초등학교에 대한 조사시기는 학기초로 정상수업(평균 6.01시간)을 한 관계로 약 1교시 정도의 수업시간의 차이가 나타나 두 집단간의 차이를 나타낸 것으로 판단되었다. 또한 멜라토닌은 빛과 반응하여 분비량이 감소하는 경향을 나타내며 어둠을 동반한 수면 중에 가장 활발하게 분비한다. 따라서 본 연구에서는 두 집단간의 정확한 멜라토닌 분비량을 비교하기 위해 두 집단간의 수면시간을 조사한 결과 송전선 주변 및 비 주변 초등학교가 각각 8.41시간과 8.17시간으로 나타나 차이가 수면시간의 없는 것으로 나타났다. 한편 햄버거나 치킨 등 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취에 있어서도 두 집단간에 차이를 나타내었는데, 이러한 결과는 송전선로 주변 초등학교 가정의 사회경제적인 수준이 송전선로 비 주변 거주 초등학교 가정에 비해 비교적 낮을 수 있으며,³⁵⁾ 과거 10년 전과 비교하여 최근 국내에서의 패스트푸드 이용의 비중이 점차 중하위층으로 이동하고 있는 점을 감안하면 이러한 결과는 두 집단의 사회경제적 차이로 인한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 두 집단의 사회경제적인 수준의 차이를 파악하기 위해 부모의 학력 및 가정의 월수입 등에 대한 조사를 수행한 결과, 송전선 주변 초등학교 아버지 중 대졸이상은 전체의 24.00%를 차지한 반면 송전선 비 주변 거주 초등학교 아버지의 경우에는 78.33%로 나타나 통계적인 차이($p < 0.05$)를 나타내었으며, 어머니의 경우에도 각각 12.00%와 54.24%로 나타나 통계적인 차이($p < 0.05$)를 나타내었다. 그리고 가정의 1달간 수입을 조사한 결과에서도 두 집단간의 통계적으로 유의한 차이를 나타내어($p < 0.05$) 송전선로 주변과 비 주변 거주에 따른 사회경제적 수준의 차이가 있음을 제시하였다.

극저주파 자기장은 순간적인 피크값에 의해 전체 노출수준이 많은 영향을 받는 물리적인 특성으로 인해 극저주파 자기장 노출 수준에 대한 지표로서 본 연구에서는 산술평균값 이외에 기하평균값을 동시에 사용하였다. 또한 극저주파 자기장이 노출되어 우리 인체에 어떠한 경로로 흡수되고 또 어떠한 기관에 축적되는지에 대한 생리학적 메커니즘이 규명되지 않은 관계로 본 연구에서는 공중보건학적 측면을 고려한 최악의 노출 수준 지표로서 95 분위수 값을 지표로 사용하였다. 그

러나 두 집단간의 극저주파 자기장 노출수준의 유의한 차이나 멜라토닌 영향인자 결정에 있어서 영향을 주지 않는 것으로 조사되었다. 본 연구에서 송전선로 주변 초등학교의 24시간 전체 극저주파 자기장 노출수준과 학교 및 가정에서의 노출수준을 비교한 결과 모두 통계적으로 유의한 차이를 나타내었는데 이러한 결과는 극저주파 자기장의 주요 발생원인 송전선의 영향인 것으로 판단되며, 특히 가정에서의 극저주파 자기장 노출수준 또한 송전선로 주변 학생의 경우 가정 또한 송전선로 주변에 위치한 관계로 비 주변 학생에 비해 통계적으로 유의하게 매우 높은 극저주파 자기장 노출수준을 나타내었다. 한편, 가정에서의 극저주파 자기장 노출수준은 집 주변의 송전선 이외에 각 가정에서 사용하는 전자제품의 수나 사용시간에 영향을 더 많이 받는 경우도 있었으나 두 집단간의 차이에는 영향을 주지 않는 정도로 판단되었다. Zaffanella의 조사에 의하면 미국 캘리포니아에 위치한 992개의 가정에서의 극저주파 자기장 노출수준을 조사한 결과 평균 0.06 μT 로 나타나 본 연구의 송전선로 비 주변 거주 가정의 0.05 μT 와 유사한 결과를 나타내었으며, 992개 가정 중 극저주파 자기장 노출 수준이 높은 상위 5%의 평균이 0.29 μT 로 나타나 약 5배의 차이를 나타내었다고 보고하여 본 연구의 송전선로 주변 가정의 노출수준인 0.23 μT 와 유사한 결과를 나타내었다.³⁶⁾

본 연구에서 인체영향 지표로 선정한 멜라토닌과 노출지표로 선정한 극저주파 자기장 노출수준간의 상관성은 매우 낮게 나타났다. 그러나 극저주파 자기장 노출지표인 산술평균값, 기하평균값, 95 percentile과 더불어 24시간 동안의 노출량, 가정 및 학교에서의 노출량 모두가 극저주파 자기장 노출수준이 증가함에 따라 멜라토닌 분비량이 감소하는 일관된 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 기존의 극저주파 자기장과 멜라토닌 가설에서 제시한 극저주파 자기장 노출로 인한 멜라토닌 분비량의 감소와 일치되는 결과를 나타내었다. 또한 멜라토닌 분비량의 영향요인으로 선정한 요인 중 거주지와 송전선까지의 거리에서는 100 m를 기준으로 멜라토닌 분비량이 통계적으로 유의한 차이를 나타내어 극저주파 자기장 발생원인 송전선과의 거리가 멀수록 멜라토닌 분비량이 증가하는 결과를 나타내었으며, 이러한 결과는 극저주파 자기장의 주요 발생원인 송전선으로부터 거리가 멀어지면 극저주파 자기장 방출량의 물리적인 특성(거리 제곱의 반비례)으로 인해 극저주파 자기장 노출수준이 감소되어 멜라토닌 분비량이 증가하는 것을 의미한다. 그러나 송전선 주변 초등학교와 비주변 초등학교에서의 멜라토닌 분비량에는 통계적으로

유의한 차이를 나타내지 않아 학교생활 중의 극저주파 자기장 노출수준의 차이와 멜라토닌 분비량간에는 관련성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 상반된 결과는 크게 두 가지로 해석이 가능하다. 첫째, 본 연구에 참여한 대상자들의 평균 학교내의 체류시간은 약 25%인데 반해 가정에서의 체류시간은 약 60%인 것으로 나타나 인체내 멜라토닌 분비량은 극저주파 자기장 노출수준과 관련하여 각 미세환경의 체류시간과 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단되며, 둘째, 초등학교의 멜라토닌 분비량은 극저주파 전자장 노출수준 보다는 사회경제적인 수준이나 식이습관 및 생활습관 등에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되며 이러한 결과는 기존의 전자장 노출과 유방암 관련 역학연구에서 전자장 노출수준의 대체지표로 사용한 송전선로와 거주지까지의 거리가 타당하지 않은 지표로 작용함으로써 측정오차를 나타낼 수 있음을 시사하고 있다. 또한, 육류섭취와 멜라토닌 분비량간에도 통계적으로 유의한 차이를 나타내었는데 이러한 결과는 육류섭취로 인한 트립토판 증가가 생체내 멜라토닌 분비량을 증가시킨 것으로 판단된다. Zimmermann 등(1993)은 4명의 30대 남성과 4명의 30대 여성을 대상으로 트립토판 소모로 인한 야간 멜라토닌 분비량의 변화를 관찰한 결과, 8명의 대상자 모두에 있어서 트립토판이 소모됨에 따라 야간 멜라토닌 분비량이 감소하는 결과를 나타내어 혈액내 트립토판 수준과 멜라토닌 분비량간에는 정 상관성을 나타낸다고 보고하여 본 연구결과와 일치하는 결과를 나타내었다.³⁷⁾

본 연구에서는 야간의 멜라토닌 분비량을 조사하였는데 Iguchi 등의 연구에서는 평균연령 26.4세의 젊은 남녀 대상자의 혈액 멜라토닌 분비량을 시간대별로 조사한 결과 전체 멜라토닌 분비량 228.8 pg/ml 중 낮시간(오전 6시~오후 6시)대의 분비량은 20.8 pg/ml로 측정된 반면 밤시간(오후 6시~오전 6시)대의 분비량은 208.0 pg/ml로 나타나 밤시간대가 전체의 약 90.9%를 차지하는 것으로 보고하였고,²⁸⁾ 그 외 모든 멜라토닌 연구에서도 유사한 결과를 나타내었다.^{34,38)} 특히 몇몇 연구는 본 연구와 동일하게 야간의 멜라토닌 분비량만을 조사하였으며 이러한 야간 멜라토닌 분비량에 대한 조사는 전체 멜라토닌 분비량의 변화를 대표하는 지표로 사용되고 있다.^{11,39,41)}

실제적으로 극저주파 자기장에 노출 되었을 경우 멜라토닌의 야간 생산 리듬에 대한 변화의 예상으로서 대략 다음의 세 가지 정도를 들 수 있다. 첫째는 야간의 멜라토닌 피크치의 저하, 둘째는 야간 멜라토닌 피크치 발현 시간의 지체, 그리고 마지막으로 멜라토닌 분비량

의 감소등이 가설로써 제기된다. 이중 본 연구에서는 야간의 멜라토닌 분비량의 감소에 대해 평가한 결과, 거주지에서 송전선까지의 거리가 멀면 멀수록 극저주파 자기장 노출 수준은 상대적으로 감소하게 되므로 극저주파 자기장 노출 수준이 감소할수록 멜라토닌 분비량은 증가하며, 식이습관 중 육류 섭취로 인해 체내 트립토판 증가가 멜라토닌 분비량을 증가시키는 결과를 나타내었다.

극저주파 자기장 노출과 인체 멜라토닌 분비량간의 관련성을 규명한 연구는 크게 두 가지 형태로 보고되고 있다. 첫째는 극저주파 자기장의 작업환경에서 근무하는 근로자를 대상으로 한 연구로서, Arnetz과 Berg (1996)가 47명의 컴퓨터 단말기 근로자들을 대상으로 근로일과 휴일에서의 멜라토닌 분비량을 비교한 결과 근로일이 휴일에 비해 멜라토닌 분비량이 감소하였다는 결과를 제외하고는 모두 극저주파 자기장이 멜라토닌 분비량에 영향을 주지 않은 것으로 보고되었다.⁴²⁾ 두 번째 연구 형태는 인위적으로 극저주파 자기장 노출량을 조절하여 실험실에서 자원자를 대상으로 한 연구로서, 최근까지의 모든 연구에서 극저주파 자기장 노출이 멜라토닌 분비량에 영향을 주지 않는 것으로 보고되었다. Graham 등(1996)은 40명의 남성을 노출그룹과 비 노출그룹으로 구분하여 저녁 11시부터 아침 7시까지 60 Hz, 200 mG의 극저주파 자기장에 노출시킨 후 매 시간별로 혈액 내 멜라토닌 분비량의 변화를 조사한 결과, 두 그룹간의 멜라토닌 분비량의 차이를 발견하지 못하였다고 보고하였다.⁴³⁾ 그러나 1시간 동안 5,500 룩스의 빛에 노출시켰을 경우 멜라토닌 농도가 약 50% 감소하는 결과를 나타내어 멜라토닌 분비량이 자기장 노출에 의한 영향보다는 빛에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 보고하였다. Akerstedt 등(1999)은 18명의 자원자를 대상으로 50 Hz, 1 μ T의 극저주파 자기장에 노출과 비노출로 구분하여 수면시간과 호르몬 분비량의 변화를 조사한 결과, 수면시간은 감소된 결과를 나타내었으나 멜라토닌· 성장호르몬· 프로락틴· 테스토스테론 분비량에는 변화를 발견하지 못하였다고 보고하였다.⁴⁴⁾ Graham 등(2001)은 53명의 성인여성을 대상으로 60 Hz, 28.3 μ T(노출)/0.2 μ T(비교)의 극저주파 자기장과 야간 빛에 노출시켜 시간별 혈액 내 멜라토닌 분비량의 차이를 비교한 결과, 극저주파 자기장 노출에 따른 변화는 발견하지 못하였으나 야간 빛에 의해서는 멜라토닌의 최고치 분비량이 지연되는 효과를 발견하였다.¹³⁾ Graham 등(2001)은 22명의 중년 남성과 24명의 중년 여성을 대상으로 60 Hz, 28.3 μ T(노출)/0.2 μ T(비교)의 극저주파 자기장 노출에 따른 멜라토닌

분비량의 차이를 비교한 결과, 혈액내 멜라토닌과 소변내 멜라토닌 전구체 모두에 있어서 유의한 차이를 나타내지 않았다고 보고하였다.³⁹⁾

V. 요약 및 결론

본 연구는 송전선로 주변과 비 주변 초등학교를 대상으로 극저주파 자기장 노출량을 비교하고 극저주파 자기장 노출로 인한 멜라토닌의 영향 및 그 영향요인을 규명하고자 2003년 12월부터 2004년 4월까지 28명의 송전선로 주변 초등학교생과 60명의 비 주변 초등학교생을 대상으로 극저주파 자기장 24시간 개인노출량을 평가하였으며, 극저주파 자기장 노출 영향 지표로서 멜라토닌 분비량을 조사하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 송전선로 주변과 비 주변 초등학교생의 일반적 특성을 조사한 결과, 가정내 체류시간과 수면시간 및 식습관 중 육류섭취와 전기장판 사용 현황에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나 학교생활 시간과 송전선로와 거주지까지의 거리 및 패스트푸드점 이용을 통한 식습관에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 또한 가정내 전기제품 수에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 신체지수량의 경우에는 송전선로 주변 학생의 경우에는 평균 20.35 kg/m^2 으로 정상범위를 나타내었으나 비 주변 학생의 경우에는 평균 18.71 kg/m^2 으로 다소 낮은 지수를 나타내었다.

2. 극저주파 자기장 개인노출 수준을 24시간과 가정생활 및 학교생활별로 비교한 것으로서 24시간 동안 송전선로 주변 학생의 경우에는 평균 0.37 μ T의 높은 자기장 수준을 나타내었으며 특히 학교생활의 경우에는 0.8 μ T로 매우 높은 자기장 수준을 나타내었다. 송전선로 비 주변 학생의 경우에는 주변학생에 비해 약 7배 이하의 자기장 수준을 나타내었으며 특히 학교생활 중의 자기장 노출수준에서는 0.02 μ T로 주변 학생에 비해 약 40배 낮은 자기장 수준을 나타내었다.

3. 멜라토닌과 극저주파 자기장 노출수준간의 상관성을 분석한 결과 매우 낮은 역상관성을 나타내었으며, 거주기간과 거주지와 송전선까지의 거리, 육류 섭취 및 전기장판 사용 현황은 낮은 정상관성을 나타내었다.

4. 송전선로 주변 초등학교생의 멜라토닌 분비량은 2.06 ng/g-cr으로, 비 주변 초등학교생의 멜라토닌 분비량 2.11 ng/g-cr 보다 낮았으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p=0.2421$). 한편, 송전선과 거주지까지의 거리가 100 m 이내인 초등학교생의 멜라토닌 분비량은 2.00 ng/g-cr로 100 m 이상인 초등학교생의 2.13 ng/g-

cr에 비해 통계적으로 유의하게 멜라토닌 분비량이 작은 것으로 나타났다($p=0.0139$). 또한 육류 섭취의 경우 1주일의 육류 섭취 횟수에 따라 멜라토닌 분비량이 통계적으로 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다($p=0.0471$).

5. 멜라토닌 분비량에 영향을 주는 요인을 규명하기 위한 최종모델에서는 멜라토닌 분비량을 종속변수로 하고, 멜라토닌 분비량에 영향을 줄 수 있는 요인 중 거주지와 송전선까지의 거리, 육류 섭취, 그리고 패스트푸드를 이용한 육류간식 섭취를 독립변수로 하여 다중회귀분석모형을 시행한 결과 최종 모형에서 유의한 변수는 거주지에서 송전선까지의 거리 변수와 육류 섭취인 것으로 나타났다.

본 연구결과에서는 멜라토닌 분비량이 송전선 주변과 비주변 초등학교의 극저주파 자기장 노출량과는 관련이 없었으나 초등학교의 거주지에서 송전선까지의 거리가 멀수록 멜라토닌 분비량이 증가하는 결과를 나타내었다. 또한 멜라토닌 분비량은 식이습관 중 육류 섭취로 인해 채내 트립토판 증가가 멜라토닌 분비량을 증가시키는 결과를 나타내었다. 따라서 본 연구결과를 통해 멜라토닌 분비량은 극저주파 자기장 노출보다는 송전선로와 거주지까지의 거리와 식이습관 및 사회경제적 수준 등에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 조사되었다.

감사의 글

이 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업 지원(과제번호 : Eco-No. 2002-022-1400020)에 의해 수행하는 연구결과와 일부임.

참고문헌

1. Wertheimer, N. and Leeper, E. : Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **109**, 273-284, 1979.
2. Wertheimer, N. and Leeper, E. : Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics*, **7**, 13-22, 1986.
3. Verreault, R., Weiss, N. S., Hollenbach, K. A., Strader, C. H. and Daling, J. R. : Use of electric blankets and risk of testicular Cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **133**(5), 759-762, 1990.
4. Vena, J. E., Graham, S., Hellmann, R., Swanson, M. and Brasure, J. : Use of electric blankets and risk of postmenopausal breast cancer. *Am. J. Epidemiol.*, **134**, 180-185, 1991.
5. Vena, J. E., Freudenheim, J. L., Marshall, J. R.,

- Laughlin, R., Swanson, M. and Graham, S. : Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. *Am. J. Epidemiol.*, **140**, 974-979, 1994.
6. Lovely, R. H., Buschbom, R. L., Slavich, A. L., Anderson, L. E., Hansen, N. H. and Wilson, B. W. : Adult leukemia risk and personal appliances use : A preliminary study. *Am. J. Epidemiol.*, **140**, 510-517, 1994.
7. Kabat, G. C., O'Leary, E. S., Schoenfeld, E. R., Greene, J. M., Crimson, R., Henderson, K., Kaune, W. T., Gammon, M. D., Britton, J. A., Teitelbaum, S. L., Neugut, A. I. and Leske, M. C. : Electric blanket use and breast cancer on Long Island. *Epidemiology*, **14**, 514-520, 2003.
8. Schoenfeld, E. R., O'Leary, E. S., Henderson, K., Grimson, R., Kabat, G. C., Ahnn, S., Kaune, W. T., Gammon, M. D. and Leske, M. C. : Electromagnetic fields and breast cancer on Long Island : A case-control study. *Am. J. Epidemiol.*, **158**, 47-58, 2003.
9. Juutilainen, J., Laara, E. and Pukkala, E. : Evaluating alternative exposure indices in epidemiologic studies on extremely low-frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, **17**, 138-143, 1996.
10. Yellon, S. M., Bittman, E. L., Lehman, M. N., Olster, D. H., Robinson, J. E. and Karsch, F. J. : Importance of duration of nocturnal melatonin secretion in determining the reproductive response to inductive photoperiod in the ewe. *Biol. Reprod.*, **32**, 523-529, 1985.
11. Graham, C., Cook, M. R., Riffle, D. W., Cohen, H. D. and Gerkovich, M. M. : Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetic*, **17**, 263-273, 1996.
12. Kaune, W., Davis, S. and Stevens, R. : Relation between residential magnetic fields, light at night and nocturnal urine melatonin levels in women. EPRI, Fred Hutchinson Research Center: Palo Alto, CA, 1997.
13. Graham, C., Cook, M. R., Gerkovich, M. M. and Sastre, A. : Examination of the melatonin hypothesis in women exposed at night to EMF or bright light. *Environ. Health Perspect.*, **109**, 501-507, 2001.
14. Bortkiewicz, A., Pilacik, B., Gadzicka, E. and Szymczak, W. : *Neuroendocrinol. Lett.*, **23**(S1), 88-91, 2002.
15. Hong, S. C. : Effects of repeated nighttime exposures to 50 Hz electromagnetic fields on the melatonin production and circadian rhythm. Department of Human Ecology School of Interantional Health Faculty of Medicine, The University of Tokyo, 1997.
16. Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A. and Markey, S. P. : Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, **210**, 1267-1269, 1980.
17. Reiter, R. J. : Pineal melatonin production : photoperiodic and hormonal influences. In : *Advances in Pineal Research*, Vol. 1, Reiter, R. J., Karasek, M. eds., pp.77-87. London : John Libbey, 1986.
18. Moore, R. Y., Heller, R., Bhatnager, R. K., Wurtman, F. J. and Axelrod, J. : Central control of the pineal

- gland : Visual pathways. *Arch. Neurol.*, **18**, 208-218, 1968.
19. Trinder, J., Armsrong, S. M., O'Brien, C., Luke, D. and Martin, M. J. : Inhibition of melatonin secretion onset by low levels of illumination. *J. Sleep Res.*, **5**, 77-82, 1996.
 20. Wetterberg, L. : Melatonin in human physiological and clinical studies. *J. Neural. Transm.*, **13(S)**, 289-310, 1978.
 21. Wetterberg, L. : Clinical importance of melatonin. In : Progress in Brain Research. Kapper J, Paret P. eds. Elsevier/North Holland, New York, **52**, 539-547, 1979.
 22. Troiani, M. E. S., Oaknin, S., Reiter, R. J., Vaughan, M. K. and Cozzl, B. L. : Depression in rat pineal NAT activity and melatonin content produced by hind leg saline injection is time and darkness dependent. *J. Pineal. Res.*, **4**, 185-195, 1987.
 23. Blask, D. E. : The emerging role of the pineal gland and melatonin in oncogenesis. extremely low frequency electromagnetic fields: The Question of Cancer. Columbus, OH: Battle Press, 319-325, 1990.
 24. Mediavilla, M. D., Cos, S. and Sanchez-Barcelo, E. J. : Melatonin increases p53 and p21WAF1 expression in MCF-7 human breast cancer cells in vitro. *Life Sci.*, **65**, 415-420, 1999.
 25. Buzzell, G. R., Amerongen, H. M. and Toma, J. G. : Melatonin and the growth of the Dunning R3327 rat prostatic adenocarcinoma. The Pineal Gland and Cancer. Gupta D, Attanasio A, Reiter RJ, eds. Brain Research Promotion, London, 295-306, 1988.
 26. Nair, N. V. P., Hariharasubramanian, N., Pilapil, C., Isaac, I. and Thavundayil, J. X. : Plasma melatonin - An index of brain aging in humans. *Biol. Psychiatry*, **21**, 141-150, 1986.
 27. Sack, R. L., Lewy, A. J., Erb, D. L., Vollmer, W. M. and Singer, C. M. : Human melatonin production decreases with age. *J. Pineal. Res.*, **3**, 379-388, 1986.
 28. Iguchi, H., Kato, K. I. and Ibayashi, H. : Age-dependent reduction in serum melatonin concentrations in healthy human subjects. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **55**, 27-29, 1982.
 29. 김윤신, 조용성, 위승철, 홍승철 : 전자파 노출이 멜라토닌 분비량에 미치는 영향에 관한 조사 연구. *한국환경위생학회지*, **23**, 130-135, 1997.
 30. 김윤신, 조용성 : 전자파의 직업성 노출평가 및 멜라토닌 분비량에 관한 연구. *한국산업위생학회지*, **8**, 264-271, 1998.
 31. Brun, J., claustrat, B., Saddir, P. and Chazot, G. : Nocturnal melatonin excretion is decreased in patients with migraine without aura attacks associated with menses. *Cephalalgia*, **15**, 136-139, 1995.
 32. Shinohara, K., Uchiyama, M., Okawa, M., Saito, K., Kawaguchi, M., Funabashi, T. and Kimura, F. : Menstrual changes in sleep, rectal temperature and melatonin rhythms in a subject with premenstrual syndrome. *Neurosci. Lett.*, **10**, 159-162, 2000.
 33. Wilson, B. W., Wright, C. W., Morris, J. E., Buschbom, R. L., Brown, D. P., Miller, D. L., Sommers-Flannigan, R. and Anderson, L. E. : Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. *J. Pineal. Res.*, **9**, 259-269, 1990.
 34. Hong, S. C., Kurokawa, Y., Kabuto, M. and Ohtsuka, R. : Chronic exposure to ELF magnetic fields during night sleep with electric sheet : Effects on diurnal melatonin rhythms in men. *Bioelectromagnetics*, **22**, 138-143, 2001.
 35. Verkasalo, P. K. : Magnetic fields and leukemia - risk for adults living close to power lines. *Scan. J. Work. Environ. Health.*, **22**, 1-56, 1996.
 36. Zaffanella, L. E. : Survey of residential magnetic field sources. Final Report TR-102759 (2 volumes). Prepared by the high voltage transmission research center for the electric power research institute, Palo Alto, Calif, 1993.
 37. Zimmermann, R. C., McDougale, C. J., Schumacher, M., Olcese, J., Mason, J. W., Heninger, G. R. and Price, L. H. : Effects of acute tryptophan depletion on nocturnal melatonin secretion in humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **76**, 1160-1164, 1993.
 38. Griefahn, B., Kunemund, C., Blaszkewicz, M., Golka, K., Mehnert, P. and Degen, G. : Experiments on the effects of a continuous 16.7 Hz magnetic field on melatonin secretion, core body temperature, and heart rates in humans. *Bioelectromagnetics*, **22**, 581-588, 2001.
 39. Graham, C., Sastre, A., Cook, M. R. and Gerkovich, M. M. : All-night exposure to EMF does not alter urinary melatonin, 6-OHMS or immune measures in older men and women. *J. Pineal. Res.*, **31**, 109-113, 2001.
 40. Haugsdal, B., Tynes, T., Rotnes, J. S. and Griffiths, D. : A single nocturnal exposure to 2-7 millitesla static magnetic fields does not inhibit the excretion of 6-sulfatoxymelatonin in healthy young men. *Bioelectromagnetics*, **22**, 1-6, 2001.
 41. Kurokawa, Y., Nitta, H., Imai, H. and Kabuto, M. : Acute exposure to 50 Hz magnetic fields with harmonics and transient components : Lack of effects on nighttime hormonal secretion in men. *Bioelectromagnetics*, **24**, 12-20, 2003.
 42. Arnetz, B. B. and Berg, M. : Melatonin and adrenocorticotrophic hormone levels in video display unit workers during work and leisure. *J. Occup. Med.*, **38**, 1108-1110, 1996.
 43. Graham, C., Cook, M. R. and Riffle, D. W. : Human melatonin during continuous magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*, **18**, 166-171, 1996.
 44. Akerstedt, T., Arnetz, B., Ficca, G., Paulsson, L. E. and Kallner, A. : A 50 Hz electromagnetic field impairs sleep. *J. Sleep. Res.*, **8**, 77-81, 1999.