

# 국내 전자파 인체영향에 관한 연구 동향

김윤신 · 조용성

한양대학교 의과대학  
산업의학교실

## I. 서 론

최근 각종 전자용품 및 이동통신기의 팽목할만한 사용증가 및 특히 전자파 노출환경에서의 근로와 거주 등으로 인해 전자파(Electromagnetic Fields-EMFs)의 인체영향에 대한 대중적인 관심이 증대되고 있다. 전자파는 일반적으로 사용되는 특정 주파수에 따라 구분되며, 인체에 미치는 영향은 주파수별로 큰 차이를 나타낸다. 300 MHz 이상의 고주파는 체내 심부에서 발열작용을 일으켜 배내장, 생식 유전의 이상, 내분비계, 신경계에 대한 영향 등 주로 급성피해를 나타내며, 0 ~ 1000 Hz의 극저주파(Extremely Low Frequency EMFs - ELF EMFs)는 급성적인 영향보다는 백혈병, 뇌종양, 유방암, 전립선암, 임파선암 등 만성적인 영향을 나타낸다고 보고되고 있다<sup>[1~5]</sup>. 전자파의 인체영향에 관한 연구는 1979년 미국 콜로라도 덴버에서 어린이 백혈병 발생과 전자파 노출과의 연관성에 관한 역학적 연구 결과가 발표된 이후<sup>[6]</sup>, 각종 암과의 관련성에 대한 논란이 끊임없이 계속되고 있다. 선진국에서는 1979년 덴버 연구 이후 전자파 노출과 관련된 각종 암과의 관련성을 규명한 다양한 역학적 연구<sup>[7~9]</sup>가 진행되어 오고 있으며, 이외에 멜라토닌 분비량 조사<sup>[10~12]</sup>, 뇌파검사<sup>[13]</sup>, 청각검사<sup>[14]</sup>, 심박동을 검사<sup>[15,16]</sup> 등의 임상적인 연구사업이 진행되어 오고 있다.

본고에서는 국내·외 전자파 인체영향에 관한 연구동향을 소개하고, 특히 국내에서 수행된 전자파 인체영향 연구에 관한 결과를 비교·고찰하였다.

## 1-1 전자파 개인노출평가

Deadman의 연구에 의하면 전자파의 고노출 예상군으로 전기가설공 20명과 저노출 예상군으로 사무직 16명에 대해 각 1주일 단위로 노출 수준을 측정 한 결과, 전기공의 전자파 노출량이 사무직에 비해 약 10배나 높은 것으로 보고되었으며<sup>[17]</sup>, 국내연구에서는 약 4배 정도 높은 것으로 보고되었다<sup>[18]</sup>.

## 1-2 전자파 노출과 멜라토닌 분비량

멜라토닌은 수면중 어둠(darkness)과 반응하여 송과선(Pineal gland)에 의해 우리 몸에서 자연적으로 생산되는 호르몬이며, 건강상태를 나타내는 중요한 요소로 간주되고 있다. 멜라토닌의 주요 기능으로는 확실한 24시간 주기성(Circadian rhythm)을 가지는 호르몬이며, 면역작용(Immune function) 및 암세포 증식 억제작용(Oncostatic activity)의 기능을 가지는 호르몬으로 알려져 있다<sup>[19]</sup>.

송과선의 중요한 호르몬인 멜라토닌은 serotonin에서 NAT (N-acetyltransferase)와 HIOMT (hydroxyindole-O-methyl transferase)의 활동에 의해 생성된다<sup>[20]</sup>. 일반적으로 멜라토닌 분비량은 송과선과 순환하는 혈액 모두에 있어서 어둠(darkness)의 시간 동안에 증가하며 인간에게 있어서 대략 02:00과 04:00사이에 멜라토닌의 농도가 최대로 발생한다. 또한 눈을 통한 신경적 입력은 송과체에서 24시간 주기를 관장하는 멜라토닌의 중요한 조절자인 SCG(Superior Cervical Ganglia)를 경유해서 일어난다. 충분한 세기의 빛은 많은 동물들에게 있어 멜라

토닌 합성을 억제하는 효과가 있다<sup>[21]</sup>.

또한, 섭취된 알콜<sup>[22]</sup>, 프로프라놀롤과 같은  $\beta$ -아드레날린성 차단제<sup>[23]</sup>, 그리고 스트레스<sup>[24]</sup> 등은 송과선에서 멜라토닌 농도를 감소시킨다고 보고되었다. 또한 멜라토닌은 *In vitro*와 *In vivo* 실험 모두에 있어 암의 성장을 억제하는 것으로 보고되었으며<sup>[25]</sup>, 멜라토닌 분비의 감소는 흉부암과 전립선암에 있어 에스트로겐 수용체의 양성반응과 관계가 있는 것으로 시사되었다<sup>[26]</sup>.

### 1.3 휴대폰 사용과 뇌파기능 및 청각기능

최근 선진국을 중심으로 한 휴대폰(Cellular phones)에서 방출되는 마이크로파에 의한 인간 뇌의 전기적 기능의 잠재적 영향 및 뇌암 또는 뇌파에 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 마이크로파 노출은 인간과 실험동물에게 있어서 행위의 변화를 초래할 수 있다고 보고되었고<sup>[27]</sup>, 중추신경계(특히 뇌)에 영향을 주어 특정 주의력에 손상을 주는 것으로 보고되었다<sup>[28]</sup>. 또한, 최근에는 휴대폰 사용으로 인한 청각기능장애에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다<sup>[29]</sup>.

### 1.4 자기장 노출과 심박동수

최근 외국의 연구로서, 선택된 세 개의 주파수(16, 40, 60 Hz) 대역별로 전자파를 노출시킨 결과, 심박동수의 차이를 보고하였고<sup>[15]</sup>, 낮은 주파수 대역과 높은 주파수 대역에 거주하는 성인에 대해 심박동수 변화를 조사한 결과, 사망 원인과의 관련이 있음을 보고하였다<sup>[30]</sup>. 또한, 만성적인 심장질환을 나타내는 모집단을 대상으로 조사한 결과, 감소된 심박동수 변이를 나타내었고, 전자파 노출로 인해 감소된 심박동수 변이는 사망률 증가와 서로 상관된 관계를 나타내었다고 보고하였다<sup>[31]</sup>.

### 1.5 전자파 메타분석

메타분석은 수 년간에 걸쳐 누적된 연구 논문들을 요약하고 분석하는 방법으로서, 특히 상반되는 결과를 제시하는 수 많은 연구들이 계속 누적되어 갈 때, 이 논문들을 객관적으로 평가하고 종합하여 하나의 병합 위해도를 평가하는데 사용되는 통계적인 방법이다. 이 방법은 여러 연구들의 모집단을 병합함으로써 구성된 광범위한 모집단을 대상으로 모든 연구들의 결과를 총괄적으로 유추하는 방법이다<sup>[32]</sup>. 특히 메타분석은 기존의 역학연구들이 노출평가, 혼란변수의 평가, 연구대상자 선정 등 연구들간의 계획 및 설계의 차이로 인해 발생하는 결과의 이질성을 극복할 수 있으며, 노출과 질병간의 관계에 대한 통계적인 결과의 강건성과 일관성을 증가시킬 수 있는 연구방법이라고 보고되고 있다<sup>[33]</sup>. 이러한 메타분석을 이용하여 직업성 전자장 노출과 백혈병 및 뇌암에 대한 메타분석을 수행한 Kheifets 등은 백혈병과 뇌암 모두에 대해 통계적으로 유의하게 위해도가 증가한 결과를 보고하였다<sup>[34]</sup>.

한편, 이러한 선진국의 전자파 인체영향에 관한 활발한 연구활동에도 불구하고 국내에서 수행되고 있는 전자파 연구는 주로 전자파 장애(Electromagnetic Interference-EMI)에 관한 연구나 시뮬레이션을 통한 수치해석에 관한 연구가 대부분으로서 전자파의 개인노출량 평가나 인체영향에 관한 연구는 극히 제한적(주로 단면적인 연구)으로 이루어지고 있는 실정이어서 향후 이와 관련된 체계적인 연구가 시급한 것으로 사료된다. 다음은 제한적 상황에서 수행된 국내 전자파 인체영향 연구의 단면적인 연구결과들을 제시하였으며, 이를 토대로 현재 국내의 전자파 인체영향에 관한 동향 및 국내 전자파 인체영향 연구의 활발한 연구수행의 필요성을 제기하고자 한다.

## II. 본 론

### 2-1 국내 전자파 연구현황

국내 전자파 연구는 서론에서 제시한 바와 같이 인체영향 연구의 경우에는 단면적인 연구에 지나지 않지만, 전자파 연구에 관심이 있는 일부 전문가들에 의해서 지속적인 연구가 진행 중에 있으며, 현재는 정부에서도 전자파에 대한 관심이 집중되면서 활발한 연구가 진행되고 있다. 다음은 현재 국내 16개 기관에서 연구되어지고 있는 극저주파, 라디오파 대역에 대한 전자파 측정, 인체영향 및 비흡수율 연구 등의 현황을 <표 1>에 제시하였다.

### 2-2 전자파 개인노출평가

연구대상자 102명(직업군 37명, 비직업군 65명)에 대해서 개인노출값(PEL : Personal Exposure Level)에 대한 측정으로 24시간 연속측정을 실시하였다<sup>[35]</sup>. 개인의 전자장 노출 수준의 측정에는 EMDEX II(ENERTECH Inc.)가 사용되었다. EMDEX II(152×114×51mm)는 측정치에 전혀 영향을 주지 않는 벨트형 가방을 이용하여 대상자의 허리부분에 24시간 이상 착용하도록 하였으며, 대상자는 간단한 일일생활기록표(logbook)를 지니고 다니면서 행동양식의 변화가 생길 때마다 즉시 일일생활기록표에 기록을 하고 EMDEX II의 EVENT Button을 눌러 주도록 하였다. 분석은 대상자가 작성한 일일 생활 기록표의 기록과 Event mark를 확인하여 24시간 중 개인 전자장 노출 분석에 필요한 시기를 선정하여 시간가중평균(TWA : Time Weighted Average) 값을 계산하였다(식 1). 노출 분석에 필요한 시기로는 크게 실내(Indoor), 실외(Outdoor) 및 24시간(Total) 등 총 세 부분으로 나누었으며, 실내는 다시

가정(At home), 근무중(At work), 이동중(Transportation)으로 구분하였다.

시간가중평균 =

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

(1)

C : 해당 시간중 평균 전자파 노출값

T : 해당 시간

각 연구대상자 그룹별 전자파의 자기장 노출량의 결과는 다음과 같다. 변전소 근로자들의 평균 노출량이 0.83 μT로 가장 높게 나타났고, 전체 직업군에 대한 24시간 평균 노출량은 0.42 μT로 나타났다. 비직업군에서는 학생과 일반 사무직 근로자가 모두 0.08 μT로 나타나, 직업군이 비직업군에 비해 전자파 노출량이 약 5.25 배 정도 높게 노출되는 것으로 나타났다(표 2).

<표 3>은 각 그룹을 직업군과 비직업군으로 나누어 하루 24시간 동안의 측정값을 실내와 실외로 구분하여 노출량을 비교·분석한 것이다. 특히 실내의 경우는 작업 중, 이동 중, 가정 및 기타로 세분하여 각 근로자들의 작업중 노출량을 비교하였다. 또한 각 범주에 따른 직업군과 비직업군의 노출량비(ratio)를 나타내었다. <표 3>에서 나타난 바와 같이 변전소 근로자들의 작업 중 평균 노출량은 1.21 μT, 전기 근로자들의 작업 중 평균 노출량은 0.64 μT로 측정되었으며, 이는 비직업군(학생과 일반 사무직 근로자)에 비해 약 8배 높게 노출된 수치이다.

[그림 1~3]은 직업군과 비직업군별 24시간 전자파 노출량, 작업 중 및 가정에서의 전자파 노출량을 비교한 그림으로서, 모든 경우에 있어서 직업군이 비직업군에 비해 전자파에 많이 노출되는 것을 보여준 그림이다.

<표 1> 국내 기관의 극저주파, 라디오파, 비흡수율별 연구 현황 비교

	ELF-EMF 대역 측정 연구	RF 대역 측정 연구	SAR 측정 연구
대 학	<p>한양대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 연구</li> <li>· 전자파 직업군과 비직업군에 대한 개인노출평가</li> </ul> <p>연세대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내 저주파 및 생활환경 전자기장 측정 및 분석</li> </ul>	<p>경희대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 전자장 측정방법 및 국내 전자파 환경레벨 (광대역/협대역별 측정 : 방송시설, 이동통신기지국)</li> </ul> <p>부경대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 차세대 이동통신에서의 광대역 전파 특성 연구</li> </ul>	<p>포항공과대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 휴대폰 전파 SAR 자동 측정장치 구현</li> </ul> <p>관동대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 인체 두부 SAR 해석을 위한 FDTD 방법 연구</li> </ul> <p>승실대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· TLM법을 이용한 휴대폰의 SAR 계산</li> </ul> <p>경북대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· FDTD법을 이용한 휴대폰 전파의 인체 SAR 산출</li> </ul> <p>동국대학교</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 휴대폰 전자파에 노출된 두부에 흡수되는 SAR의 FDTD에 의한 해석</li> </ul>
연 구 소	<p>통신개발연구원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내 전자장 장애발생 지역의 전자기장 세기측정</li> </ul> <p>한국전자통신연구원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 전자기장 측정방법 연구 및 환경 측정 분석 (송전선, 전력소, 전철, 가전제품)</li> </ul> <p>국립환경연구원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 송배전선에서의 전자장 방출현황 조사연구</li> </ul> <p>전파연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 가전기기 및 전력선 주변의 환경측정</li> </ul> <p>전기연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 765 kV 초고압 송전선 주변의 인체 유도전류 계산</li> </ul>	<p>한국전자통신연구원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 전자기장 측정방법 연구 및 환경 측정 분석 (방송 송신소, 이동통신 기지국)</li> </ul> <p>전파연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내 고주파 전자기장 환경측정 및 분석 (중·단파 방송시설, FM, TV 방송 시설, 이동통신기지국, 레이다 시설)</li> </ul>	<p>한국전자통신연구원</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 휴대폰 전자파의 SAR 수치해석 및 900 MHz에서의 인체 두부의 전자기장 물질 상수 측정 연구</li> <li>· 이동통신 단말기의 SAR 측정방법 연구</li> </ul> <p>전파연구소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· SAR 측정을 이용한 휴대폰 전화 전파 차단 스티커의 성능 평가</li> <li>· 한국인 인체두부모델을 이용한 SAR 계산</li> </ul>
정 부 기 관 및 기 업	<p>한국전력공사</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 송전선로 전자계 측정</li> </ul>	<p>SK 텔레콤</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 이동통신 기지국의 전자파 세기 측정 및 분석</li> </ul>	

### 2.3 전자파 노출과 멜라토닌 분비량 I

전자파 노출에 따라 생리학적 반응의 실험적 연구를 수행하고자 남성 대학원생 지원자 5명을 대상

으로 60 Hz 전자파를 인위적으로 노출시켜 전자파가 사람의 송과선에서 분비되는 멜라토닌 호르몬량에 어떠한 변화를 나타내는지를 파악하였다<sup>[36]</sup>. 전자파의 노출실험을 위하여 국내에 일반인이 사용하는 전기장판을 사용하여 노출전 시기(pre-exposure

<표 2> Summary statistics for magnetic fields measurements by occupation (Unit :  $\mu T$ )

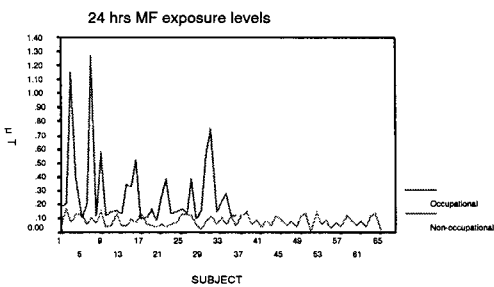
Occupational category	A.M.	S.D.	G.M.	G.S.D.
Electrician (N=11)	0.41	0.82	0.18	3.54
Medical computer driver (N=6)	0.27	0.35	0.12	3.83
Subway driver (N=9)	0.18	0.34	0.08	3.64
Transformer worker (N=11)	0.83	1.34	0.25	3.59
Graduate student (N=34)	0.08	0.16	0.05	2.92
Office worker (N=31)	0.08	0.16	0.05	3.27

\*N=Number of Subject, A.M.=Arithmetic Mean, S.D.=Standard Deviation of the mean, G.M.=Geometric mean level, G.S.D.=Geometric standard deviation of the mean

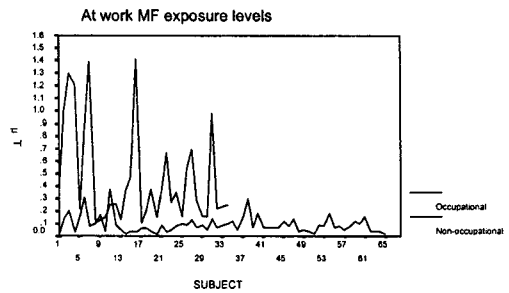
<표 3> Personal exposure levels of magnetic fields of the subjects (Unit :  $\mu T$ )

Category		Occupational group				Non-occupational groups		Ratio
		Electrician (N=11)	Medical computer driver (N=6)	Subway driver (N=9)	Transformer workers (N=11)	Graduate student (N=34)	Office worker (N=31)	O/NO*
Indoor	At work	0.64	0.46	0.35	1.21	0.09	0.09	7.44
	Transportation	0.42	0.18	0.26	0.22	0.22	0.13	1.50
	At home	0.18	0.18	0.08	0.08	0.07	0.07	1.86
	Etc.	0.13	0.11	0.18	0.33	0.13	0.06	1.90
Outdoor		0.26	0.08	0.15	0.11	0.17	0.09	1.15
Total		0.41	0.27	0.18	0.83	0.08	0.08	5.25

N=Number of Subject, O/NO\*=Occupational/Non-occupational groups



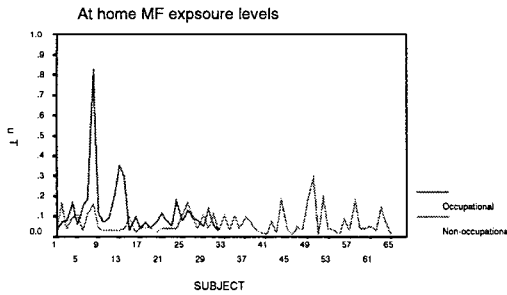
[그림 1] Comparison of the mean MF exposure levels for 24 hrs between occupational group and non-occupational group.



[그림 2] Comparison of the mean MF exposure levels during working home between occupational group and non-occupational group.

period)와 노출시기(exposure period) 그리고 노출후 시기(post-exposure period)로 크게 구분하였고, 각 2주간씩 총 6주간에 걸쳐 매일 취침 전에 방노한 후 취침하여, 기상직 후에 노를 받았다. 연구대상자는

노를 채취하는 동안에 채취된 노의 전체량과 취침 시간과 기상시간을 기록할 수 있는 측정일지를 기록하였다. 멜라토닌이 stress와 관련이 있다고 시사되어<sup>[18]</sup> 전기장판의 열에 의한 연구대상자의 stress



[그림 3] Comparison of the mean MF exposure levels at home between occupational group and non-occupational group.

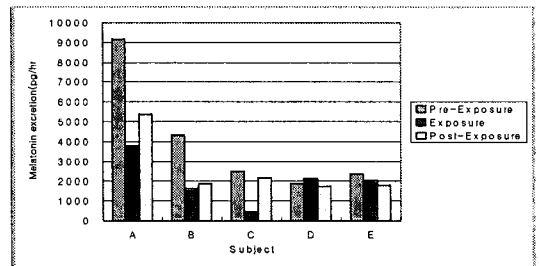
를 감안하여 열선을 배제시킨 개조된 전기장판을 사용하였고, 취침시 빛을 차단하여 빛에 대한 멜라토닌의 영향을 최소화하였다. 매주 토/일요일을 제외한 1주일 5일간 매일 기상즉시 8시경에 뇨채취를 수행하였다. 분석된 결과는 [그림 4]와 같이, 전자파에 노출되기 전의 멜라토닌 분비량과 노출되었을 때의 멜라토닌 분비량을 비교 분석하였다.

<표 4>는 각 연구대상자별로 폭로시기별 뇨중 멜라토닌의 평균농도를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 연구대상자 C의 경우는 전자파에 노출되기 전의 멜라토닌 분비량에 비해 노출중의 멜라토닌 분비량이 약 5.5배 감소되었고, B의 경우는 약 2.7배 감소되었으며, A의 경우는 약 1.8배 감소되었고, E의 경우는 약 1.2배 감소됨이 나타났다. 반면 D의 경우는 예외적으로 증가하였는데 원인으로는 전자파에 노출된 후의 생리적 반응이 다른 연구대

상자보다 민감도가 낮은 것으로 사료되어진다. 또한 전자파 노출을 중지시킨 후 어느 정도의 기간이 지난 후에 노출전(Pre-Exposure)과 같은 멜라토닌 분비량을 나타내는지를 알아보기 위한 노출후기간(Post-Exposure Period)의 멜라토닌 농도는 노출전의 멜라토닌 농도 수준에 못 미치고 있어 노출전으로 회복되는 데는 연구대상자 모두 2주 이상의 시간이 소요됨이 나타났다.

[그림 4]는 각 연구대상자별로 2주간의 폭로형태에 따른 멜라토닌 분비량을 그림으로 나타낸 것으로 5명 중 4명이 전자파 노출로 인해 멜라토닌 분비량이 현저히 감소됨을 나타내고 있다. 5명의 연구대상자들에 대해 나타난 전자파 노출전과 노출중의 평균 멜라토닌 분비량을 비교 분석한 결과 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $P < 0.01$ ).

## 2.4 전자파 노출과 멜라토닌 분비량 II



[그림 4] Mean melatonin levels in five subjects by type of two week-exposure period.

<표 4> Mean melatonin level(pg/hr)\* of each subject by type of two week-exposure period

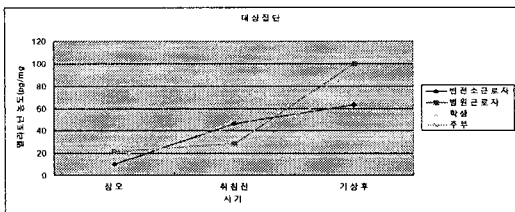
Subject(pg/hr)*	Pre-exposure	Exposure	Post-exposure	Pre-expo.:Exposure:Post-expo.
Subject - A	6815.7377	3781.8534	5383.2472	1 : 0.5555 : 0.7898
Subject - B	4328.719	1630.7929	1874.9953	1 : 0.3767 : 0.4331
Subject - C	2467.3971	458.2979	2190.6423	1 : 0.1857 : 0.8878
Subject - D	1869.943	2135.6689	1761.2157	1 : 1.1421 : 0.9418
Subject - E	2361.432	2057.8268	1820.2696	1 : 0.8714 : 0.7708

\*pg/hr : melatonin concentration(pg/ml) × dilution times × urine volume per sampling times(ml/hr)

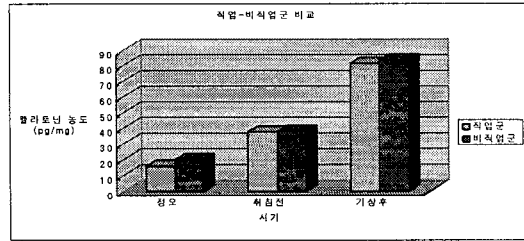
변전소에 근무하고 있는 변전소 근로자와 병원내에서 전자장기를 다루는 임상병리사를 대상으로 각 5명씩 10명을 직업군으로 선정하였고, 학생과 주부를 대상으로 각 5명씩 10명을 비직업군으로 선정하여 전자장 노출로 인한 직업군과 비직업군에서의 멜라토닌 분비량을 비교하고자 약 6주간에 걸쳐 조사하였다<sup>[37]</sup>. 각 연구대상자들의 뇨(Urine)를 하루 3회(기상직후, 정오, 취침 전) 5일간 채취하였고, 분석 방법으로는 방사면역검사방법(Radioimmunoassay method)을 이용하였다. 연구대상자는 뇨를 채취하는 동안에 채취된 뇨의 전체량과 채취시간을 기록할 수 있는 측정일지를 기록하였다. 주 5일간 매일 3회에 걸쳐 뇨채취를 수행하여 총 뇨 샘플은 300개로 실험되었다.

[그림 5]는 각 대상자들에 대해 하루 3회(정오, 취침전, 기상후) 5일간 채취된 뇨(Urine)를 분석한 결과이며 각 그룹별로 평균한 농도를 채취시기별로 비교한 것이다. 그림에서 나타나듯이 직업군으로 선정된 변전소 근로자와 병원 근로자, 그리고 비직업군으로 선정된 학생, 주부 등 4그룹 모두에 있어서 상이한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 변전소 근로자에 한해서는 멜라토닌의 24시간 주기성(Circadian rhythm)이 다른 그룹에 비해 다소 못 미치는 것을 볼 수 있다.

[그림 6]은 전체 연구대상자들을 직업군과 비직



[그림 5] Comparison of melatonin excretion levels (pg/mg) between occupational and non-occupational groups (I).



[그림 6] Comparison of melatonin excretion levels (pg/mg) between occupational and non-occupational groups (II).

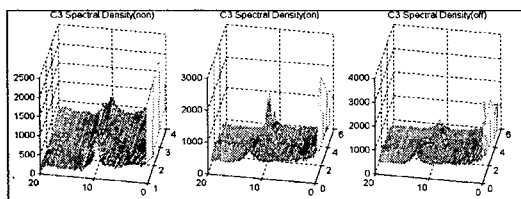
업군으로 크게 나누어 뇨(Urine)채취 시기별로 멜라토닌 분비량을 비교한 것이며, 그림에서 나타나듯이 거의 같은 수준의 농도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 나타낸 것은 본 실험에 참여한 연구대상자들의 수가 그 집단을 대표할 만큼 충분히 많지 않았고, 변전소 근로자의 경우에는 전자파 작업환경에 5년 이하 근무한 근로자를 대상으로 하였기 때문인 것으로 사료된다. 향후 보다 체계적인 연구에서는 전자파에 장기간 노출로 인한 임상 증상이 나타나기 시작하는 것으로 추정되는 15년 이상의 근로자들을 대상으로 실험을 할 필요성이 제기된다. 또한 각 연구대상자의 뇨(Urine) 중 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 직업군과 비직업군의 멜라토닌 분비량 비교결과는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다( $P > 0.05$ ).

## 2-5 휴대폰 사용과 뇌파기능 및 청각기능

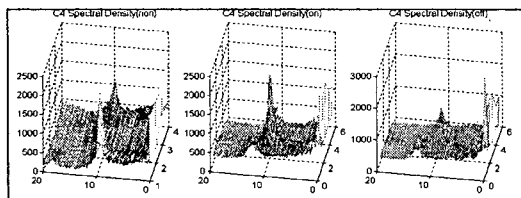
휴대폰 사용으로 인한 마이크로파 노출에 따른 뇌의 전기 생리적 반응을 조사하고자, 10명의 남성 대학원생 지원자를 대상으로 조사하였다<sup>[38]</sup>. 연구 지원 대상자는 휴대폰을 1년 이상의 기간동안 사용하고 있는 휴대폰 사용자 집단 5명과 휴대폰을 소유하고 있지 않아 휴대폰 사용이 극히 제한되어 있는 비사용자 집단 5명으로 구분하여, 휴대폰 사용자는

휴대폰 사용으로 인한 마이크로파 노출을 전·후 2회 연속 측정하였으며, 휴대폰 비사용자는 1회 측정하였다. 측정은 휴대폰 사용자에게 한해 휴대폰의 휴대폰의 마이크로파에 약 30분간 노출시킨 후 EEG 검사 및 BAEP검사를 시행하였다. EEG 검사 결과, [그림 7~12]와 같이 주파수 범위별로 평균 뇌 전위 분포 강도(Spectral Power Density)를 나타내었다.

[그림 7]은 C3에서 측정한 결과를 나타낸 그림이며, [그림 8]은 C4에서 측정한 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 나타나듯이 휴대폰 비사용자들에게서는 정상인의 안정상태를 나타내는  $\alpha$ 파(8~13 Hz)에 뇌 전위 전력 분포가 이루어져 있으며, 휴대폰 사용자 5명에 대한 field on과 field off를 비교해보면  $\alpha$  파 범위의 밀집도에서 약간의 시각적 차이가 있을 뿐 통계적 차이는 나타나지 않았다. Fig. 3~4는 F3와 F4에서 얻어진 결과를 나타낸 그림이



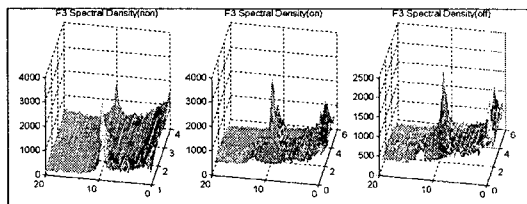
[그림 7] Comparison of Spectral Power Densities in C3(Non-user, User-on/off).  
Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density, Z axis : number of sample



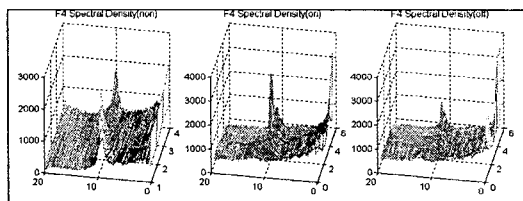
[그림 8] Comparison of Spectral Power Densities in C4(Non-user, User-on/off).  
Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density, Z axis : number of sample

며, [그림 9~12]는 P3와 P4에서의 결과를 나타낸 그림이다. 모든 부위에서 휴대폰 사용자와 비사용자간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 휴대폰 사용자중 field on과 field off간에서도 유의한 차이는 나타나지 않았다.

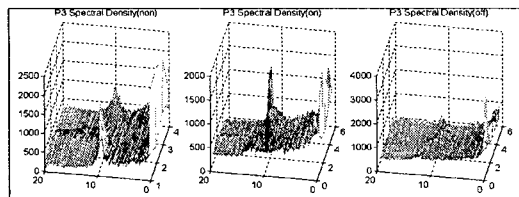
<표 5>는 청각유발전위 검사 결과를 나타낸 표



[그림 9] Comparison of Spectral Power Densities in F3(Non-user, User-on/off).  
Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density, Z axis : number of sample

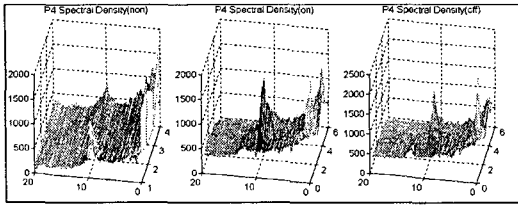


[그림 10] Comparison of Spectral Power Densities in F4(Non-user, User-on/off).  
Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density, Z axis : number of sample



[그림 11] Comparison of Spectral Power Densities in P3(Non-user, User-on/off).  
Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density, Z axis : number of sample





[그림 12] Comparison of Spectral Power Densities in P4(Non-user, User-on/off).  
 Note) X axis : Hz, Y axis : spectral density,  
 Z axis : number of sample

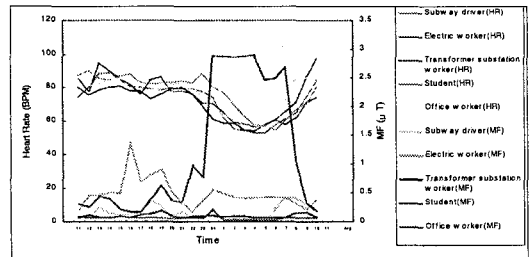
로서, 각 연구대상 그룹별 절대잠복기(Absolute latency) 와 파간잠복기(Interpeak latency)를 나타내었다. 특히 절대잠복기 중 파형 V에서 휴대폰 사용자의 휴대폰 사용중(User-on)의 청각 신경계의 전기적 반응을 추정하고 전도성 또는 감각신경성 청각장애 및 청각전달경로에 관련된 뇌간 기능을 평가하는 절대잠복기가  $5.89 \pm 0.16$  msec로 나타나  $5.78 \pm 0.17$  msec를 나타낸 사용후(User-off) 잠복시간과 통계적으로 유의한 차이를 나타내 휴대폰 사용으로 인한 청각 기능에 영향을 줄 수 있다는 가능성을 시사하고 있다( $P < 0.05$ ).

### 2-6 자기장 노출과 심박동수

전자파의 고노출 예상군과 저노출 예상군을 대상으로 자기장의 개인노출수준을 파악하고 동시에 인체의 생리반응인 심박동수, 심실의 ST파형 및 심실 조기 박동수 등에 미치는 영향을 조사하였다<sup>[39]</sup>.

지원자 중 자기장에 대한 고노출 예상군으로는 지하철 기관사 9명, 전기근로자 7명, 변전소 근로자 7명 등 총24명을 선정하였고, 저노출예상군으로는 학생 10명과 일반 사무직 근로자 12명 선정하였다. [그림 13]은 본 연구에서 선정된 연구대상자들에 대해 그들의 자기장 노출량과 심박동수를 노출그룹별로 구분하여 24시간 노출형태를 파악한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 각 고노출 예상군 자기장 노출량과 심박동수는 시간대별로 유사한 노출형태를 나타내었으나, 고노출 예상군 중 변전소 근로자의 경우 야간 작업으로 인해 야간의 자기장 노출량이 매우 높게 나타남을 볼 수 있었다. 또한 시간대별 자기장 노출량과 심박동수는 거의 유사한 형태를 나타내어 자기장 노출로 인한 심박동수 증감에 대한 가능성을 시사하였다.

한편, [그림 14]는 전체 직업들을 고노출 예상군과 저노출 예상군으로 크게 구분하여 24시간 노출



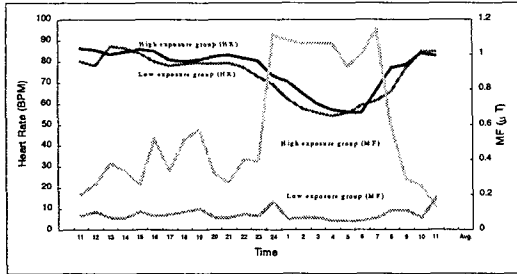
[그림 13] Distribution of daily variation of heart rate and magnetic field level for each exposure groups.

<표 5> Brainstem auditory evoked potential(BAEP) test results

(Unit : msec)

① \ ②	ABSOLUTE LATENCY					INTERPEAK LATENCY		
	I	II	III	IV	V	I ~ III	III ~ V	I ~ V
③ Non-user	1.69±0.24	3.05±0.18	4.07±0.28	5.23±0.29	5.83±0.37	2.38±0.08	1.76±0.20	4.13±0.21
User-on	1.66±0.16	2.90±0.08	3.99±0.09	5.13±0.03	5.89±0.16	2.34±0.10	1.90±0.19	4.24±0.16
User-off	1.61±0.16	2.85±0.08	3.89±0.06	5.07±0.01	5.78±0.17	2.28±0.13	1.89±0.20	4.17±0.19

\* ① : LATENCY, ② : Type of Wave ③ : Type of User



[그림 14] Distribution of daily variation of heart rate and magnetic field level between high-exposure and low-exposure groups.

형태를 파악한 것으로서, [그림 13]의 결과와 비슷한 양상을 보인 것으로 나타났다.

<표 6>은 고노출예상군 중 근무기간이 5년 이상인 5명의 연구대상자에 대한 상관분석 결과를 나타낸 것으로서, 심박동수와 자기장 노출량간의 상관성이 통계적으로 유의한 관계를 나타내었으며( $p=0.037$ ), ST segment와 BMI와의 유의한 상관관계( $p=0.005$ )를 나타내었다. 이와 같은 결과는 향후 연구에서 더 많은 수의 장기근로자들에게 대한 보다 구체적인 연구의 필요성을 제시하였다.

한편, <표 7>에서는 저노출 예상군으로 선정된

22명의 연구 지원자들에 대한 상관분석 결과로서, 심실조기 박동수와 흡연과의 관계는 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다( $p=0.034$ ).

## 2-7 전자파 메타분석 I

대상 역학 연구들의 선정은 MEDLINE 검색을 통해 이전에 고찰되어 확인된 연구들과 이 분야에서 활동하고 있는 전문가들의 조언에 따라 거주지역 전자장 노출과 백혈병에 관한 총 11편의 거주지역 전자장 노출과 백혈병 발생에 관한 역학 연구를 대상으로 메타분석이라는 통계적인 방법을 이용하여 그 인과관계를 규명하고자 하였으며, 수행된 메타분석 방법으로는 계수방법, 효과크기의 병합 추정량 산정, 이질성 검정, 그리고 fail-safe n을 분석하였다.

노출 매트릭스로서 wire codes를 이용한 6편의 연구에 대해 cutpoint로서 저전류지형(LCC : low current configuration)과 고전류지형(HCC : high current configuration)을 적용한 결과, 저전류지형의 경우 병합된 위해도가 0.98(95 % CI : 0.84~1.14)를 나타낸 반면, 고전류지형은 1.23(95 % CI : 1.04~1.45)의 병합위해도를 나타내어 고전류지형에 거주

<표 6> Correlations matrix in selected variables of high-exposure groups(working period  $\geq$  5 years)

(N=5)	HR <sup>1</sup>	VB <sup>2</sup>	ST <sup>3</sup>	MF <sup>4</sup>	Age <sup>5</sup>	BMI <sup>6</sup>
HR	†1.000	.462 (.434)	.103 (.870)	.900* (.037)	-.667 (.219)	-.300 (.624)
VB		1.000	-.395 (.511)	.308 (.614)	.132 (.833)	.308 (.614)
ST			1.000	.462 (.434)	.079 (.900)	-.975** (.005)
MF				1.000	-.564 (.322)	-.600 (.285)
Age					1.000	.051 (.935)
BMI						1.000

<sup>1</sup>HR : heart rate(BPM-beat per min); <sup>2</sup>VB : ventricular beat(BPM-beat per min); <sup>3</sup>ST : ST segment(mV); <sup>4</sup>MF : magnetic field( $\mu$  T); <sup>5</sup>Age(yrs); <sup>6</sup>BMI : body mass index(kg/m<sup>2</sup>); †Spearman's correlation; ( )Statistically significant; \*P<.05; \*\*P<.01.

<표 7> Correlations matrix in selected variables of low-exposure groups

(N=22)	HR <sup>1</sup>	VB <sup>2</sup>	ST <sup>3</sup>	MF <sup>4</sup>	Age <sup>5</sup>	BMI <sup>6</sup>	Smoking <sup>7</sup>	Alcohol <sup>8</sup>
HR	†1.000	.384 (.078)	.212 (.343)	.205 (.360)	-.137 (.543)	.294 (.184)	-.384 (.175)	-.053 (.839)
VB		1.000	.177 (.430)	.140 (.534)	-.161 (.475)	.214 (.340)	-.567* (.034)	.123 (.639)
ST			1.000	.075 (.741)	-.001 (.997)	-.102 (.652)	-.482 (.081)	-.190 (.464)
MF				1.000	-.310 (.161)	.228 (.308)	-.276 (.339)	.096 (.715)
Age					1.000	-.199 (.373)	.197 (.501)	-.206 (.428)
BMI						1.000	.013 (.965)	.271 (.293)
Smoking							1.000	.266 (.429)
Alcohol								1.000

<sup>1</sup>HR : heart rate(BPM-beat per min); <sup>2</sup>VB : ventricular beat(BPM-beat per min); <sup>3</sup>ST : ST segment(mV); <sup>4</sup>MF : magnetic field( $\mu$ T); <sup>5</sup>Age(yrs); <sup>6</sup>BMI : body mass index(kg/m<sup>2</sup>); <sup>7</sup>Smoking(case/day); <sup>8</sup>Alcohol(bottle/week). †Spearman's correlation; ( )Statistically significant; \*P<.05; \*\*P<.01.

하는 사람들의 백혈병 발생이 통계적으로 유의하게 증가하는 결과를 나타내었다.

노출 매트릭스로서 거리를 이용한 3편의 연구에 대해 cutpoint로서 50 m와 100 m를 적용한 결과, 50 m의 경우 병합된 위해도가 1.28(95 % CI : 0.80~2.03)를 나타내었고, 100 m에서는 1.08(95 % CI : 0.79~1.49)의 위해도를 나타내어 위해도가 조금 증가하는 경향을 나타내어 전자장 발생원으로 부터의 거리에 따른 위해도의 증가를 유추할 수는 있으나 통계적으로 유의하지는 않은 결과를 나타내었다.

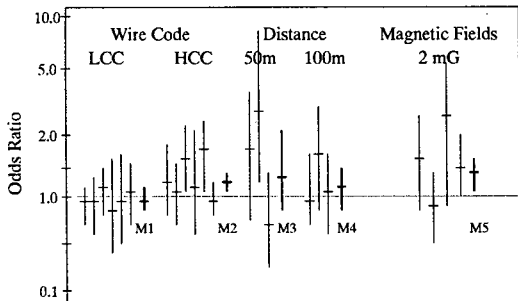
노출 매트릭스 중 거리와 wire codes는 서로 밀접한 관계에 있기 때문에 본 연구에서는 50 m에서의 LCC, 100 m에서의 LCC, 50 m에서의 HCC, 그리고 100 m에서의 HCC의 매트릭스를 함께 병합하였다. 그 결과 9편의 연구가 이용될 수 있었으며, 그 중 50 m에서의 HCC는 병합 위해도가 1.23(95 % CI : 1.05~1.45)을 나타내었고, 100 m에서의 HCC는 1.19(95 % CI : 1.03~1.39)로서 통계적으로 유의한

결과를 나타내었다. 이러한 결과는 전자장 노출과 백혈병 발생과의 관계는 전류량 분포가 클수록 그리고 동시에 전자장 발생원으로 부터의 거리가 짧을수록 더 강한 관계를 나타냄을 시사하였다. 한편 LCC의 경우는 거리에 따른 위해도 증가 경향을 발견하기 어려워서 거리보다는 전류량의 분포가 보다 큰 요인으로 작용함을 유추할 수 있었다.

2 mG를 cutpoint로서 제시한 4편의 연구들이 자기장 노출량에 따른 백혈병 위해도를 보고하였는데, 2 mG 이상의 자기장 노출에 대한 위해도를 병합한 결과, 병합위해도가 1.31(95 % CI : 1.04~1.66)을 나타내어 통계적으로 유의하며, 양성적인 결과를 나타내었고, 이러한 결과는 2 mG 이상의 자기장 노출이 백혈병 발생 가능성 증가와 관련이 있음을 시사하고 있다.

각 연구들의 자료 분석과 선택된 메타분석은 [그림 15]에 나타내었다. Odds ratio(가로선)와 그들에 한 95 % 신뢰구간(세로선)을 각 연구의 노출 매트릭

### Residential EMF / Leukemia All Exposure Metrics and Cutpoints



[그림 15] Results of meta-analyses of data from individual studies of the association between residential exposure to electric and magnetic fields and leukemia by wire code, distance, and magnetic fields.

스별로 구획하였다. 가로선상에 나타나는 odds ratio 1.0 부근의 결과는 무의미한 효과를 의미한다. 세로축은 대수이며 가로축은 사용된 노출 매트릭스별, 그 매트릭스별, 연구 년수별로 정렬하였다.

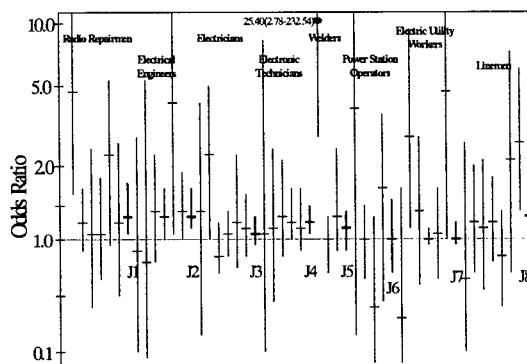
처음 두 개의 그룹은 wire codes 연구들로서 LCC와 HCC로 구분되었다. 다음의 두 개의 자료 집단은 노출 매트릭스로서 거리를 이용한 것으로서 전자장 발생원으로 부터의 거리가 50 m 이내와 100 m 이내에 있는 거주자를 대상으로 한 위해도를 나타낸 것이다. 마지막 집단은 자기장 노출량을 연구한 자료로서 cut-off point를 2 mG로 정하여 2 mG 이상의 자기장에 노출된 집단의 위해도를 나타낸 것이다. 여기서 주목할 만한 점은 무의미한 기준에서 혹은 그 위에서의 odds ratios의 우세한 분포이다. 무의미한 기준선 아래에 있는 odds ratio는 22개 중 8개 뿐이고, 이들 중 4개는 LCC를 측정했었다는 점을 주목할 만하다. 이 그림은 비가중화된 계수방법(vote counting)평가와 유사하며, 거주지역 자기장 노출과 백혈병간의 관계를 강하게 제한하는 그림이다.

### 2-8 전자파 메타분석 II

한편 직업성 전자장 노출과 백혈병에 관한 총 27편의 직업성 전자장 노출과 백혈병 발생에 관한 역학 연구를 대상으로 메타분석 결과<sup>[40]</sup>는 다음과 같다.

직업구분은 연구가 수행된 각 국가의 직업구분코드에 의거하여 가장 대표적인 8개의 전기관련 직업군을 선정하였으며, 그 결과 전기공학자(electric engineers)를 대상으로 한 6편의 연구에 대한 위해도가 1.37(95 % CI : 1.13~1.65)로 가장 높았으며, 그 다음의 직업은 라디오 수리공(radio repairmen)으로서 병합된 위해도가 1.36(95 % CI : 1.06~1.75)으로 비교적 높게 증가된 위해도를 나타냈다. 대부분의 연구들이 무의미한 기준선 위에 존재하는 것을 볼 수 있으며, 특히, 용접공의 경우 최대 25.4배의 증가된 위해도를 나타내었다. 또한 각 구분마다 병합된 위해도를 제시하였다. 이 [그림 16]은 비가중화된

### Occupational EMF / Leukemia Job Classification



[그림 16] Results of meta-analyses of data from individual studies of the association between occupational exposure to electric and magnetic fields and leukemia by job classification.

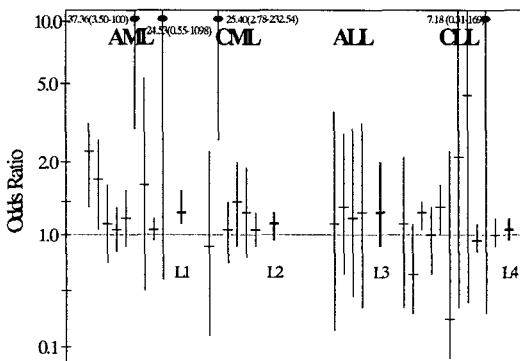
계수방법(vote counting)평가와 유사하며, 직업성 전자장 노출과 백혈병간의 밀접한 관계를 제한한 그림이다.

백혈병의 네 가지 아형 중 유일하게 급성 골수성 백혈병(acute myeloid leukemia)만이 다른 유형의 백혈병과는 달리 병합된 위해도가 1.17(95 % CI : 1.07~1.27)로 통계적으로 유의하였다. 13편 모두에 대한 백혈병 아형별 메타분석 결과, 위해도가 13% 증가한 것(OR=1.13, 95 % CI : 1.07~1.20)으로 나타났다. [그림 17]은 백혈병 아형별 메타분석에 포함된 개개 연구들의 교차비와 95 % 신뢰구간을 나타낸 것이다. 대부분의 연구들이 무의미한 기준선 위에 존재하는 것을 볼 수 있으나, 이 중 캐나다 Ontario Hydro에서 수행된 연구에서는 급성 골수성 백혈병의 경우 최대 37.3배의 증가된 위해도를 나타내었다. 그 이유로는 변전소 근로자만을 연구대상자로 선정하여 야기된 선택 편견(selection bias)으로 인해 과대평가된 것으로 사료된다.

직업성 전자장 노출과 백혈병에 대한 메타분석에

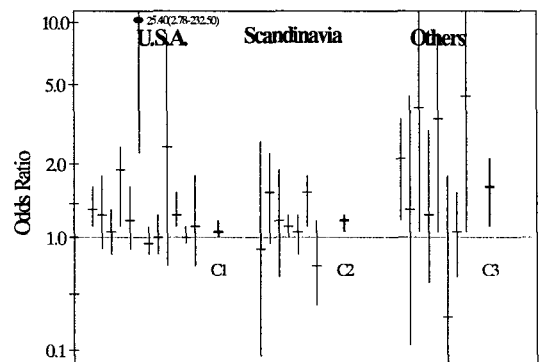
포함된 27편의 연구들은 9개의 국가에서 조사되었으며, 가장 많은 연구를 수행한 국가로는 미국(12개의 연구)과 스칸디나비아(7개의 연구)였다. 미국과 스칸디나비아 국가들의 병합된 위해도는 유사한 결과를 나타내었는데 미국의 경우 위해도가 일반 직업군에 비해 7 % 증가(OR=1.07, 95 % CI : 1.02~1.13)하였으며, 스칸디나비아 국가들의 경우는 19 % 증가한 것(OR=1.19, 95 % CI : 1.08~1.31)으로 나타났다. 9개 국가의 모든 모집단을 대상으로 위해도를 병합한 결과, 직업성 전자장 노출로 인한 백혈병의 병합 위해도는 1.11(95 % CI : 1.06~1.16)로 조금 상승된 위해도를 보였다. [그림 18]은 국가별 메타분석에 포함된 개개 연구들의 교차비와 95 % 신뢰구간이다. 대부분의 연구들이 무의미한 기준선 위에 존재하는 것을 볼 수 있으며 특히, 미국과 스칸디나비아를 제외한 다른 국가들의 병합 위해도 (OR=1.65, 95 % CI : 1.25~2.18)가 가장 높게 나타났는데, 그 이유로는 수행된 연구들의 대표성 없는 모집단 사용, 인터뷰로부터 얻은 직업적인 정보에서

**Occupational EMF/ Leukemia**  
Leukemia Subtypes



[그림 17] Results of meta-analyses of data from individual studies of the association between occupational exposure to electric and magnetic fields and leukemia by leukemia subtypes.

**Occupational EMF/ Leukemia**  
Country



[그림 18] Results of meta-analyses of data from individual studies of the association between occupational exposure to electric and magnetic fields and leukemia by country.

야기되는 편견 및 사망률 보다 발생률 자료의 사용 등으로 인해 보다 높은 위해도를 나타낸 것으로 사료된다.

### Ⅲ. 결 론

최근 사회적으로 큰 관심의 대상이 되고 있는 전자파의 인체 유해성은 국내뿐만 아니라 선진국에서조차도 아직까지 논란이 되고 있는 실정이며, 최근 각종 전자파(극저주파, 라디오파, 마이크로파 등)가 우리 인체에 미치는 영향에 대한 과학적인 규명을 위해 여러나라에서 장기간의 시간과 막대한 연구비를 투자해 연구하고 있다. 그러나 기존의 국내에서 수행된 전자파 인체영향 연구는 연구결과 D/B 자체가 매우 부족한 실정이며, 구축된 자료조차도 주로 단면적인 연구설계를 적용하였던 것으로서, 전자파 노출로 인한 인체영향을 정확히 판단하기 위해서는 정확한 임상적인 실험을 토대로 한 임상역학적 연구방법론을 적용하여야 한다. 국내에서는 선진국에 비해 이러한 현대생활에 필요불가결한 요소인 전자파 환경에 대한 예방 및 개선 차원에서 수행되어야 할 과학적이며, 대국민 홍보차원 및 향후 정책방향 제시 차원의 연구는 극히 미비한 실정이다. 한편, 국내 전자파 인체영향 연구는 그 규모나 해당 인력 차원에서 다른 여러 나라에 비해 극히 미비한 실정임에도 불구하고 그동안 단면적으로나마 다양한 인체영향 연구가 수행되어 왔다. 그러나 그 결과가 일관되게 나타나지 않았을 뿐만 아니라, 결과에 대한 신뢰성과 타당성 문제 또한 대두되고 있다. 이러한 제한점을 극복하기 위해서는 장기간에 걸친 지속적이고 적극적인 투자가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히, 현재 국내의 전자파 인체영향을 규명하기 위해서 먼저 선결되어야 하는 분야로서, 전자파 역학 연구가 선행되어야 하며, 이 역학연구 수행을 위해서는 정책결정자들의 전자파 인체영향에 대한 중

요성 인식이 무엇보다도 중요하며, 역학연구를 수행하는데 있어서 가장 큰 제한점으로 대두되고 있는 정보공유 및 연구대상자의 연구참여 등이 반드시 수반되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 정부가 주도하는 차원에서 전자파 유해성 유무를 판정하기 위한 해당분야 전문가(전기·전자 공학자, 독성학자, 환경학자, 보건학자, 역학자, 임상의 등)들이 함께 연구하는 다학제간 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] S. E. Barcelo, S. Coscorral and M. D. Mediavilla, Influence of pineal gland function on the initiation and growth of hormone dependent breast tumors. : Possible mechanisms. In : The Pineal Gland and Cancer. Brain Research Promotion, London, pp. 295-306, 1998.
- [2] D. E. Blask, The emerging role of the pineal gland and melatonin in concogenesis. In : Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. : The Question of Cancer, pp. 319-335, 1990.
- [3] G. R. Buzzell, H. M. Amerongen and J. G. Toma, Melatonin and the growth of the Dunning R 3327 rat prostatic adenocarcinoma. In : The Pineal Galnd and Cancer. Brain Research Premotion, London, pp. 295-306, 1988.
- [4] R. G. Stevens, Electric power use and breast cancer. A hypothesis. *American Journal of Epidemiology*, vol. 125, pp. 556-561, 1987.
- [5] B. W. Wilson, C. W. Wright and J. E. Morris et al., Evidence for an effect of ELF

- electromagnetic fields on human pineal gland function. *Journal of Pineal Research*, vol. 9, pp. 259-269, 1990.
- [6] N. Wertheimer and E. Leeper, Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*, vol. 109, pp. 273-284, 1979.
- [7] N. Wertheimer and E. Leeper, Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics*, vol. 7, pp. 13-22, 1986.
- [8] R. Verreault, N. S. Weiss, K. A. Hollenbach, C. H. Strader and J. R. Daling, Use of Electric Blankets and Risk of Testicular Cancer. *Am J Epidemiology*, vol. 133, no. 5, pp. 759-762, 1990.
- [9] R. H. Lovely, R. L. Buschbom, A. L. Slavich, L. E. Anderson, N. H. Hansen and B. W. Wilson, Adult Leukemia risk and personal appliances use. : A preliminary study. *Am J Epidemiology*, vol. 140, pp. 510-517, 1994.
- [10] B. W. Wilson. et al., Neuroendocrine-mediated effects of electromagnetic field exposure : Possible role of the pineal gland. *Life Science*. vol. 45, pp. 1319-1332, 1989.
- [11] C. Graham, M. R. Cook and D. W. Riffle. et al., Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetic*, vol. 17, pp. 263-273, 1996.
- [12] B. W. Wilson. et al., Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. *J Pineal RES*, vol. 9, pp. 259-269, 1990.
- [13] L. K. Drenfeld, The genesis of the EEG and its relation to electromagnetic radiation. *J Bioelectr*, vol. 2, no. 2&3, pp. 111-121, 1983.
- [14] Yu A. Kholodov and N. N. Lebedeva, Reactions of the central nervous system of man on electromagnetic fields. M : Nauka(in Russian), 1992.
- [15] C. Graham, A. Sastre and M. R. Cook. et al., Variation in magnetic field frequency : effects on heart rate variability. Presented 20th Bioelectromagnetics Society, 1998.
- [16] N. Ptitsyna, G. Villorosi and Y. A. Kopytenko et al., Coronary Heart Diseases : Assessment of Risk Associated with Work Exposure to Ultralow-Frequency Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics*, vol. 17, pp. 436-444, 1996.
- [17] J. E. Deadman, M. Camus and B. G. Armstrong. et al., Occupational and residential 60Hz electromagnetic fields and high-frequency electric transients : exposure assessment using a new dosimeter. *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 49, pp. 409-419, 1988.
- [18] 김윤신, 김수연, 박지연, 최원욱. 극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구. 한국환경위생학회지, vol. 23, no. 1, pp. 55-61, 1997.
- [19] Seung Cheol Hong, Yoshika Kurokawa, Michinori Kabuto, Ryutaro Ohtsuka. Chronic exposure to ELF magnetic fields during night sleep with electric sheet: Effects on diurnal melatonin rhythms in men. *Bioelectromagnetics*, vol. 22, no. 2, pp. 138-143, 2001.
- [20] T. Deguchi and J. Axelrod : Control of circadian change of serotonin N-acetyltransferase in the pineal organ by the  $\beta$ -adrenergic receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* vol. 69, pp. 2547-2550, 1972.

- [21] R. Y. Moore, R. Heller, R. K. Bhatnager, F. J. Wurtman and J. Axelrod, Central control of the pineal gland : Visual pathways. *Arch. Neurol*, vol. 18, pp. 208-218, 1968.
- [22] L. Wetterberg, Melatonin in human physiological and clinical studies. *J. Neural Transm (Suppl.)*, vol. 13, pp. 289-310, 1978.
- [23] L. Wetterberg, Clinical importance of melatonin. In: *Progress in Brain Research*. J. Kapper, P. Paret. eds. Elsevier/North Holland, New York, vol. 52, pp. 539-547, 1979.
- [24] M.E.S. Troiani, S. Oaknin, R. J. Reiter, M. K. Vaughan, B. L. Cozzl, Depression in rat pineal NAT activity and melatonin content produced by hind leg saline injection is time and darkness dependent. *J. Pineal Research*. vol. 4, pp. 185-195, 1987.
- [25] D. E. Blask, The emerging role of the pineal gland and melatonin in oncogenesis. *Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer*. Columbus, OH: Battelle Press, pp. 319-325, 1990.
- [26] G. R. Buzzell, H. M. Amerongen, J. G. Toma, Melatonin and the growth of the Dunning R3327 rat prostatic adenocarcinoma. *The Pineal Gland and Cancer*. D. Gupta, A. Attanasio, and R. J. Reiter, eds. Brain Research Promotion, London, pp. 295-306, 1988.
- [27] J. A. D'Andrea, Microwave radiation absorption : Behavioral effects. *Health Phys*, vol. 1, pp. 29-40, 1991.
- [28] M. E. O'Connor, R. H. Lovely, *Electromagnetic Fields and Neuro-behavioral Function*. New York, Alan R. Liss, Inc. 1988.
- [29] K. H. Chiappa, Evoked potential in clinical medicine. 2nd Edition Raven Press, New York, 1989.
- [30] H. Tsuji H, E. J. Venditti, E. S. Manders. et al., Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort. *The Framingham Heart Study*. *Circulation*, vol. 90, pp. 878-883, 1994.
- [31] H. Tsuji, M. G. Larson and F. J. Venditti. et al., Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. *The Framingham Heart Study*. *Circulation*, vol. 94, pp. 2850-2855, 1996.
- [32] K. Dickersin and J. Berlin, Meta-analysis : State-of-the-Science. *Epidemiol Rev*, vol. 14, pp. 154-176, 1992.
- [33] S. Greenland, Invited Commentary : A Critical Look at Some Popular Meta-Analytic Methods. *Am J Epidemiol*, vol. 140, pp. 290-296, 1994.
- [34] L. Kheifets, A. Afifi, P. Buffler and Z. Zhang, Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer : a meta-analysis. *J Occup Environ Med*, vol. 37, pp. 1327-1341, 1995.
- [35] Yoon Shin Kim and Youn Sung Cho. Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Field in Workers and Electric Appliances. *Journal of Occupational Health*. vol. 43, no. 3. In press, 2001.
- [36] 김윤신, 조용성, 위승철, 홍승철. 전자파 노출이 멜라토닌 분비량에 미치는 영향에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, vol. 23, no. 3, pp. 130-135, 1997.
- [37] 김윤신, 조용성. 전자파의 직업성 노출평가 및 멜라토닌 분비량에 관한 연구. *한국산업위생학회지*, vol. 8, no. 2, pp. 264-271, 1998.
- [38] 김윤신, 조용성, 김명호, 김주한, 김승현. 현대



폰 사용으로 인한 뇌의 EEG와 BAEP 검사에 관한 조사 연구. 한국환경위생학회지, vol. 24, no. 4, pp. 58-65, 1998.

[39] 김윤신, 조용성, 이정렬, 김정현. 자기장 노출 평가 및 자기장 노출로 인한 심박동수 변화에

관한 연구. 한국환경위생학회지, vol. 25, no. 4, pp. 24-35, 1999.

[40] 조용성, 김윤신, 송혜향, 홍승철. 직업성 전자장 노출과 백혈병 발생에 관한 메타분석. 대한예방의학회지. vol. 33, no. 1, pp. 125-133, 2000.

≡ 필자소개 ≡

김 윤 신

1972년 2월: 성균관대학교 화학과 (이학사)

1975년 2월: 서울대학교 보건대학원 (보건학석사)

1978년 2월: 일본 동경대학교 의학부 보건학과 (보건학박사)

1985년 2월: 미국 텍사스주립대학교 보건대학원 (환경학박사)

1983년 3월~9월: 미국 하바드대 에너지 및 환경정책 센터 초청연구원

1983년 10월~1984년 3월: NASA(미 항공우주국) 산업보건과 인턴수료

1986년~현재: 한양대학교 환경대학원 대기공학 주임교수

1988년~현재: 한양대학교 환경 및 산업의학연구소 소장

2000년~현재: 한양대학교 의과대학 산업의학과 교수

2000년~현재: 한양대학교 보건관리학과 교수

2000년~현재: 사단법인 한국대기환경학회 부회장

2001년~현재: 사단법인 한국환경위생학회 부회장

2001년~현재: 사단법인 한국보건통계학회 회장

[주 관심분야] 실내공기, 환경위해성평가, 환경보건, 전자파 인체영향



조 용 성

1997년 2월: 순천향대학교 환경보건학과 (보건학사)

1999년 8월: 한양대학교 환경대학원 (공학석사)

2000년 3월~현재: 한양대학교 보건관리학과 박사과정 재학중

1996년 7월~현재: 한양대학교 환경 및 산업의학연구소 연구원

[주 관심분야] 환경보건, 전자파 인체영향, 환경역학

