

연구보고서

활선작업 근로자의 작업관련성 건강장해 기초연구

이상길 · 박종수 · 안정호 · 신무영

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

연구기간

2017년 1월 ~ 2017년 11월

핵심 단어

활선작업자, 극저주파 전자기장, 직업성 질환

연구과제명

활선작업자 건강상태 및 관련 실태조사

1. 연구배경

극저주파 전자기장의 경우 많은 건강장해를 발생시키는 것으로 의심되고 있으나 이와 관련된 확립된 증거가 존재하지 않는다. 특히 대부분의 이와 관련된 연구가 거주민을 대상으로 한 저노출군을 대상으로한 연구이기 때문에 직업적 고노출군과 관련된 연구를 수행할 필요가 있다. 활선 작업의 경우 전자기장 고노출군으로 이들에게서 발생할 수 있는 건강장해에 대한 연구가 필요하다.

2. 주요 연구내용

활선 작업자들에 대해 8개소, 배전 전기원 28명, 사선작업 현장 2개소 9명에 대한 극저주파 자기장을 측정했으며, 산술평균은 $1.30 \pm 15.54 \mu\text{T}$ 이었고 측정된 값의 범위는 $0.5 \sim 1,671.5 \mu\text{T}$ 이었으며 Ceiling 값의 범위는 $18.5 \sim 1,671 \mu\text{T}$ 이었다. 60 Hz 주파수 대역의 우리나라 전기는 ELF-MF 최대값으로 평가하는 것이 적절한 평가방법으로 미국 ACGIH와 ICNIRP의 직업인 노출기준($1,000 \mu\text{T}$, Ceiling)을 초과한 경우가 2명의 작업자에서 측정되었다.

2000년대 이후 역학적인 연구 결과, 해외 과학 기구의 연구 결과 보고서들을 문헌 고찰하였을 때, 현재의 역학적 증거, 실험 연구의 증거, 기전에 대한 설명을

중심으로 볼 때 전자기장 노출과 관련하여 건강영향이 발생한다고 볼 수 있는 확증적 증거는 부족하다. 하지만, 성인의 암, 퇴행성 신경질환에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며, 이러한 결과가 향후에는 다른 결론을 만들어낼 가능성은 존재한다.

활선작업자의 건강영향의 경우 그 위험도를 비교하기 위한 연구를 수행하는 것보다 사고, 질병 발생과 같은 결과의 사례를 정확히 수집하여 감시할 감시체계의 운용이 필요하다.

3. 연구 활용방안

활선 작업자에서의 전자기장 노출평가의 기초자료로서 활용할 수 있으며, 향후 이들에 대한 건강관리 방안을 구성하는 데 활용이 가능하다.

4. 연락처

- 산업안전보건연구원 직업건강연구실 이상길
- ☎ 052) 703. 0872
- E-mail twincokes@kosha.or.kr

차례

I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목적	5
II. 연구방법	6
1. 활성 작업자의 극저주파 자기장(ELF-EMF) 측정	6
1) 측정장비	6
2) 측정방법	6
3) 평가방법	6
2. 극저주파 자기장(ELF-EMF)의 건강영향에 대한 문헌고찰	7
3. 국내 활성 작업자의 건강영향 평가를 위한 역학적 연구 설계	8
1) 연구 대상 집단	8
2) 연구 대상 질환	8
3) 역학적 연구의 설계	8
III. 연구결과	9
1. 활성 작업자의 극저주파 자기장(ELF-EMF) 노출	9
1) 무정전 배전 작업	9
2) 극저주파 자기장의 측정결과	13
2. 극저주파 자기장(ELF-EMF)의 건강영향에 대한 문헌고찰	27
1) 극저주파 자기장과 암	27
2) 극저주파 자기장과 뇌심혈관계 질환	55

3) 극저주파 자기장과 퇴행성 신경질환	60
4) 극저주파 전자기장과 생식기계 이상	71
3. 국내 활선 작업자의 건강영향 평가를 위한 역학적 연구 설계	76
1) 연구 대상 설정	76
2) 역학적 연구 대상 질환 및 역학적 연구 설계	77
IV. 고찰 및 결론	79
1. 극저주파 자기장의 개인노출 평가	79
2. 전자기장의 건강 영향	82
3. 활선 작업자 건강영향 역학적 연구 설계	85
참고문헌	87
Abstract	94

표 차 례

<표 III-1> 측정대상 배전공사 현장현황	13
<표 III-2> 직접활선작업시 자기장 노출수준	17
<표 III-3> 임시송전공법 작업시 자기장 노출수준	20
<표 III-4> 직접송전공법 작업시 자기장 노출수준	21
<표 III-5> 사선작업시 자기장 노출수준	22
<표 III-6> 조공, 감독자의 자기장 노출수준	23
<표 III-7> 현장별, 작업자별 자기장 노출수준	24
<표 III-8> 자기장 노출수준별 노출현황	25
<표 III-9> 자기장 노출빈도 및 노출량	26
<표 III-10> 전자기장과 유방암과의 관련성에 대한 역학연구	34
<표 III-11> 전자기장과 성인 백혈병과의 관련성에 대한 역학연구	41
<표 III-12> 전자기장과 뇌종양과의 관련성에 대한 역학연구	47
<표 III-13> 전자기장과 갑상선암과의 관련성에 대한 역학연구	54
<표 III-14> 전자기장과 뇌심혈관계 질환과의 관련성에 대한 역학연구 ..	56
<표 III-15> 전자기장과 알츠하이머병과의 관련성에 대한 역학연구	62
<표 III-16> 전자기장과 루게릭병과의 관련성에 대한 역학연구	66
<표 III-17> 전자기장과 파킨슨병과의 관련성에 대한 역학연구	70
<표 III-18> 전자기장과 유산과의 관련성에 대한 역학연구	73
<표 III-19> 전자기장과 조산과의 관련성에 대한 역학연구	75
<표 IV-1> 직업별 평균 극저주파 자기장의 노출수준 비교	81

그 립 차 례

[그림 Ⅱ-1] 극저주파 자기장 측정기	6
[그림 Ⅲ-1] 배전공사 체계도	10
[그림 Ⅲ-2] 가공배선선로의 개요도	12
[그림 Ⅲ-3] 배전공사 작업사진	16
[그림 Ⅲ-4] 직접활선작업시 자기장 노출패턴	18
[그림 Ⅲ-5] 임시송전공법 작업시 자기장 노출패턴	20
[그림 Ⅲ-6] 직접송전공법 작업시 자기장 노출패턴	21
[그림 Ⅲ-7] 사선작업시 자기장 노출패턴	23

I. 서론

1. 연구 배경

극저주파 전자기장(ELF-EMF)이란 단어는 생소한 용어이지만 흔히 전자파란 용어로 많이 불려지고 있다. 전자파란 전기파와 자기파의 합성어로 전기장과 자기장이 90도의 각도를 유지하며 공간으로 퍼져나가는 에너지 흐름이다. 전자기장은 전기와 자기로 나누어지는데 전기장은 전압의 세기에, 자기장은 전류의 크기에 비례하여 발생한다. 전기와 자기는 서로 성질은 다르지만 따로 있는 것이 아니라 서로 결합되어 있으며 생체에 영향을 주는 것은 전기보다는 자기에 의한 효과가 더 큰 것으로 알려져 있다. 전기는 모든 전도성 물체에 의해서 쉽게 차폐되지만 자기는 거의 모든 물체를 쉽게 통과하기 때문에 전기를 사용하는 모든 기기에는 필연적으로 발생한다.

극저주파(ELF: extremely low frequency) 전자기장과 인체영향에 대한 연구는 1970년대부터 시작되었다. 직업적으로 노출되는 전자기장에 의한 암에 대한 연구는 아직 정설이 명확치 않다. 그럼에도 전기기술자 및 전기용접공 등은 일반 근로자에 비해 높은 전자기장에 노출되고 있고 이러한 직업군에서는 뇌암 등의 발생률이 높은 것으로 보고하고 있다. 또 다른 연구에서는 송전탑 주변에 거주하는 아이들이 그렇지 않은 아이들보다 백혈병 발생위험이 높다는 역학 및 메타분석 연구에서도 관련성을 입증하고 있다. 또한, 직업적인 ELF 자기장 노출로 백혈병 발생 가능성이 있다는 연구나 여성에 있어 유방암이 발생한 역학연구 사례도 있다.

반면에, 높은 자기장에 노출되어도 뇌암 등 암의 발생과는 관련이 없다는 주장을 하는 연구 등 상반된 연구결과를 제시하고 있다. 이러한 연구결과들을 종합해 보면, 역학연구를 중시하는 과학자들은 아직 생물학적 기전이 명확히 밝혀지지

않았을 뿐, 그 관련성이 매우 높다는 입장인 반면 동물 및 세포실험을 중시하는 과학자들은 역학연구 방법론이 잘못되었다고 주장하고 있다. 그래서 과학자들은 이러한 차이가 단순히 다른 연구대상을 사용하였거나 높은 자기장의 직업을 평가하는 방법의 차이에서 기인할 수도 있고, 현재까지는 알지 못하는 자기장 이외의 다른 요인이 암 발생에 관여하고 있을 수도 있으므로 더 광범위한 연구가 필요하다고 말하고 있다하고 신뢰할 수 있는 측정의 기초가 되며, 부정확한 측정에 뒤따르는 비용과 위험을 절감하게 해준다.

전자장에 대한 발암성 평가에 논란이 계속되어 WHO(World Health Organization)에서는 좀 더 정확한 과학적 증거를 찾기 위해 1996년부터 프로젝트를 수행하여 2007년 연구결과를 발표하였다. 공동연구결과, 발암과의 인과관계는 의학적으로 뚜렷한 증거가 없다는 결론을 내렸다. 또한, 약한 자기장에서 장기 노출에 의한 암이 진전된다는 생체작용은 밝혀진 바 없으며 일부 역학연구에서 0.3~0.4 μT 이상의 극저주파 자기장에 상시 노출시 소아백혈병이 유의하게 증가한다는 보고가 있었다. 그래서 소아에 대해서만 전자장에 대한 발암 등급을 「2B(possibly carcinogenic)」로 분류하고 있다. 따라서 전자기장 노출에 따른 건강영향에 대한 기존의 연구결과를 검토하여 체계적으로 정리할 필요가 있으며, 이를 바탕으로 전자기장의 건강영향에 대해 향후 연구를 진행할 필요가 있다.

현재까지의 극저주파 전자기장(ELF-EMF) 노출의 건강영향에 대한 연구들은 주로 환경적인 노출(예, 전기 송전선 주변 주민의 건강영향 평가)에 초점을 맞춰서 진행되어 왔고, 이는 낮은 수준의 노출이 지속적으로 받는 것으로 그 노출의 양상이 직업적 노출과는 다르다. (직업적 노출의 경우 높은 수준의 노출을 일정 시간동안 노출된다.) IARC monograph(2002)에 제시되고 있는 극저주파 전자기장 건강영향에 대한 역학 연구들을 살펴보면, 먼저 노출 경로를 기준으로 크게 주거지 노출(Residential exposure: 예-전력 송전선 근처 주민 등)과 가정용 전자제품(Electric appliance)의 사용과 같은 일반 환경에서의 노출과 직업적 노출(Occupational exposure)로 구분하고 있다. 이는 대부분의 경우에서 전자기장 노

출 수준이 가장 높은 평균값을 보이는 곳은 근무지인 경우가 많으나 가장 많은 시간을 보내는 곳은 집으로 누적 노출량의 경우 주거지에서가 가장 높은 경우가 많아 이로 인하여 모든 연구들에서 높은 수준의 오분류(misclassification)가 발생 가능함에 대해 지적하고 있다. (Mezei, 2001)

직업적 노출과 관련하여 성인의 백혈병 발생과 관련한 역학적 연구는 알루미늄 제련, 염소 제조와 같은 대량의 전기를 사용하는 일부 제조업 종사자들과 발전소 근무자, 전기공 등을 대상으로 극저주파 전자기장 노출과 건강 장애 발생과의 밝히기 위한 코호트 연구들이 수행되어 왔다. 매우 높은 수준의 전자기장에 노출되는 직군에 대한 연구로, Spinelli 등(1991)이 캐나다의 British Columbia에서 5년 이상 알루미늄 제련 공장에서 근무한 4213명의 남성을 대상으로 수행한 코호트 연구가 있다. 이 연구에서 비록 개인별 측정은 이루어지지 않았으나 제조 과정에서 측정된 자기장은 1mT였으며 근무자들에서 백혈병의 표준화 발생비(SIR)은 0.76(95% CI: 0.15-2.2)로 나타났다. Ronnenberg 등(1999)이 노르웨이의 알루미늄 제련공장에서 근무한 2888명의 남성을 대상으로 한 코호트 연구에서는 평균적으로 2~10mT의 정자기장과 0.3~10uT의 변화하는 자기장에 노출되는 것으로 나타났으며 모든 종류의 암에서 발생률 증가는 발견하지 못하였다.

보다 낮은 수준의 전자기장에 노출되는 직종을 대상으로 한 연구로는 Tornqvist 등(1986)이 스웨덴에서 20~64세의 발전소 오퍼레이터 6703명과 송전선 기술자 3358명을 대상으로 수행한 코호트 연구가 있다. Tynes & Andersen(1992)이 1961년부터 1985년까지 노르웨이의 전기 기술자 37945명을 대상으로 수행한 코호트 연구에서 AML의 표준화 발생비(SIR)는 1.3(95% CI: 0.88-1.7)이었으며 노출 수준에 대한 측정은 이루어지지 않았다. Guenel 등(1993)이 덴마크에서 1970년부터 1987년까지 255,000명의 전기 직종에서 근무한 사람을 대상으로 한 코호트 연구에서는 0.3uT 이상의 자기장에 지속적으로 노출 가능성이 있는 남성에서 백혈병과 급성 백혈병의 표준화 사망비가 각각 1.6(95% CI: 1.2-2.2), 1.6(95% CI: 0.90-2.6)로 높게 나타났으며 여성의 경우와 >0.3uT에 간헐적으로

노출된 경우에는 연관성을 확인할 수 없었다. Savitz와 Loomis(1995)가 미국의 전기공급회사에서 근무하는 138,905명의 남성을 대상으로 수행한 코호트 연구에서는 자기장의 누적 노출량이 4.3uT를 초과하는 경우 AML의 상대 위험도가 1.6(95% CI: 0.51-5.1)으로 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았으며 노출량의 증가에 따라서도 일관되지 않은 결과를 보였다. Johansen과 Olsen(1998)이 덴마크의 전기공급회사에서 적어도 3개월 이상 근무한 32006명의 남성을 대상으로 한 코호트 연구에서는 모든 종류의 백혈병과 급성 백혈병 모두 연관성을 보이지 않았다. Floderus 등(1999)이 스웨덴에서 1,596,959명의 남성과 806,278명의 여성을 대상으로 한 코호트 연구에서 남성의 경우 0.116uT 이상, 여성에서 0.138uT 이상 노출된 군에서 AML의 상대 위험도가 1.1로 상승하였으나 모두 통계적으로 유의하지는 않았다. Harrington 등(2001)이 영국의 발전 및 송전 회사에 근무하는 72954명의 남성과 11043명의 여성을 대상으로 수행한 코호트 연구에서 전체 기간 동안의 백혈병으로 인한 표준화 사망비가 0.84(95% CI: 0.69-1.0)이었으며 기간에 따른 구분에서는 일관된 결과를 보이지 않았다. 같은 연구에서 누적 노출량에 <2.4uT-years인 군을 기준으로 하여 상대 위험비를 계산하였으나 노출량 증가에 따라 일관된 결과를 보이지 않았다. Minder와 Pfluger(2001)은 스위스의 남성 전기철도 노동자 18,070명을 대상으로 코호트 연구를 수행하였으며 누적 노출량이 4.9uT-years 이하인 경우와 비교하여 75uT-years 이상인 군에서 상대위험도가 1.6(95% CI: 0.64-4.2)으로 보고하였다. 하지만 최근의 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)의 연구에서는 EMF 노출과 백혈병 발생과의 위험도의 증가는 적으나 통계적으로 유의미한 결과가 나타났다는 결과가 나타났으며, 이후의 메타 분석 연구에서도 유의미한 결과가 나타난 바가 있다. 하지만 ICNIRP의 연구에서도 림프구성 백혈병에서 유의미한 결과가 나타나지는 않았다.

따라서 이전의 연구에서는 극저주파 전자기장 노출과 건강 영향에 대해 확립된 증거는 부족하다. 하지만, 2000년대 이후의 연구들에 대한 새로운 체계적인 분

석이 필요하며, 직업적 노출과 관련된 건강영향에 대한 뚜렷한 증거는 아직 부족하므로 전자기장의 건강 영향에 대한 최신 연구들을 체계적으로 정리할 필요가 있다.

국내의 활선작업자(무정전 공법 근무자)의 경우 직업적인 극저주파 노출에 따른 건강장해 연구가 필요한 집단이다. 이들의 경우, 2016년 산업재해 요양 신청을 집단으로 한 바가 있다. (직업성 암 8건 (백혈병 1건, 뇌종양 2건, 갑상선암 3건, 위암·직장암 각 1건) 뇌심혈관 질환 4건(심근경색 1건, 뇌내혈종 1건, 뇌경색 1건, 협심증 1건) 활선작업자에서의 그동안의 주요 산업안전보건상의 주안점은 주로 감전과 관련된 안전문제, 보건 상의 문제에서는 주로 근골격계 질환에 초점을 두고 있었으나, 최근 다양한 건강 영향에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 이들의 경우 전형적인 고농도의 노출을 받는 직업적 노출군으로서 이들에 대한 연구를 바탕으로 향후 전자기장 노출과 관련된 건강장해에 대한 예방대책에 세울 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 전자기장의 건강영향에 대한 문헌을 최신화하며, 전자기장이 유발할 수 있는 질환을 규정하고, 활선작업자들의 노출 정도를 파악하여, 그 노출량과 발생할 수 있는 질환에 대한 역학적 연구를 설계하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 목적

본 연구에서는 국내 활선 작업자들에서 작업공정, 작업 종류에 따른 전자기장 노출 정도에 대한 평가하고, 문헌 고찰을 통한 전자기장 노출과 관련된 건강 영향에 대한 체계적인 분석하여, 국내 활선작업자의 업무형태, 지역적 분포, 조직가입 상태 등의 파악을 통한 국내 활선 작업자의 건강영향 평가를 위한 역학적 연구 설계하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구방법

1. 활선 작업자의 극저주파 자기장(ELF-EMF) 측정

1) 측정장비

극저주파 자기장 측정은 개인시료 측정방법으로 수행하였다. 미국 Enertech사의 EMDEX Lite High Field를 사용하였고 이 측정장비의 측정 주파수는 10~1,000 Hz, 측정범위는 0.5 μ T~7 μ T이고, 정확도는 $\pm 2\%$, 최대 sampling time은 4초이다.



[그림 II-1] 극저주파 자기장 측정기

2) 측정방법

극저주파 자기장의 개인노출량 측정은 측정장비를 작업자의 작업복 상의 포켓에 넣어서 가슴 위치에서 측정하였고 작업시간 동안 측정하였다.

3) 평가방법

국제비전리방사보호위원회(ICNIRP)에서는 1998년, 2010년 가이드라인을 발표

하였는데 직업인, 일반인에 대한 노출기준을 제시하였다. 2010년 가이드라인에서 60 Hz 전자파의 직업적 자기장 노출기준은 1 mT로 평균값이 아닌 Ceiling 값이다.

미국 ACGIH의 1~300 Hz의 극저주파 자기장에서의 직업인 노출기준은 Ceiling 값으로 다음 식의 값을 초과하지 않도록 하고 있으며 60Hz에서의 노출기준은 1 mT이다.

$$B_{TLV} = \frac{60}{f}$$

여기서, f : 주파수(Hz)

B_{TLV} : 자속밀도(mT)

한국은 전자파인체보호기준이 2008년 제정된 이후 최근 2017년 8월 24일 일부 개정되었으며 일반인과 직업인에 대한 전자파강도기준을 제시하고 있지만 2010년 ICNIRP 가이드라인의 완화된 기준을 반영하고 있지는 않다. 60 Hz 주파수대역의 전기설비의 직업인 자속밀도 기준은 417 μ T로 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 하고 있으며 이 기준은 ICNIRP 및 ACGIH 보다 엄격한 기준이다.

본 연구에서는 배전작업시 측정된 자기장 값을 ICNIRP 및 ACGIH의 직업인 노출기준과 비교하여 평가하였으며 다른 논문에서도 발표된 자기장 노출수준과도 비교하였다. 측정기를 통하여 얻은 모든 측정자료는 측정이 끝난 후 장비업체에서 제공한 EMCAL 2007 프로그램을 이용하여 주 컴퓨터에서 DB화하여 분석하였다.

2. 극저주파 자기장(ELF-EMF)의 건강영향에 대한 문헌고찰

극저주파 전자기장을 보고한 IARC의 monograph 80은 2002년에 보고된 자료로서 2000년 이후의 최신 연구결과를 반영하고 있지 않다. 극저주파 전자기장의 건강영향에 대한 국제기구의 종설로는 WHO와 Department of Communications,

Marine and Natural Resources(DCMNR)의 보고(DCMNR, 2007)이 있었으며 2015년에는 유럽연합 집행위원회의 SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)의 보고서가 있었다.

본 연구에서는 위의 보고서의 내용을 중심으로 2000년 이후, 진행된 인간에 대한 역학적 연구를 질환별로 pubmed database를 이용하여 성인을 대상으로 한 직업적 노출의 건강영향을 중심으로 문헌고찰을 수행하였다.

3. 국내 활선 작업자의 건강영향 평가를 위한 역학적 연구 설계

1) 연구 대상 집단

국내 활용 가능한 활선 작업자 집단을 정리하고 추적 관찰 가능한 연구 집단을 규정하고 이들과 접촉하여 연구 가능성을 평가 하였다.

2) 연구 대상 질환

문헌 고찰을 수행하여 전자기장과 관련된 증가가 존재하는 질환을 연구 대상 질환으로 규정하였다.

3) 역학적 연구의 설계

가용한 연구 대상과 대상 질환을 규정하여 이에 적합한 연구 모델을 구상하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 활선 작업자의 극저주파 자기장(ELF-EMF) 노출

1) 무정전 배전 작업

한국전력공사의 무정전 배전공사 시공업체 관리절차서에서 정의하는 배전공사 용어는 다음과 같다.

- (1) 사선작업 : 선로의 신설 또는 휴전 등의 방법에 의하여 전압이 인가되지 않은 선로나 기기에서 우리 회사의 시공기준 및 안전작업수칙에 따라 시행하는 작업
- (2) 무정전 작업 : 정전 없이 시행하는 활선작업과 임시송전공법 및 직접송전 공법을 이용한 작업
- (3) 배전활선작업 : 고압 이상의 전압이 인가된 선로나 기기에서 배전활선전공이 활선공구 및 활선장비를 사용하여 활선작업공법 및 안전작업수칙에 따라 시행하는 작업
- (4) 임시송전공법 : 가공배전선로에서 배전활선작업 대상설비 이외의 설비에 대하여 정전 없이 작업을 시행하기 위하여 임시송전 장비를 사용하는 공법
- (5) 직접송전공법 : 가공배전선로에서 배전활선작업 대상설비 이외의 설비에 대하여 정전 없이 작업을 시행하기 위하여 기설 설비를 이용하는 공법

배전공사는 크게 사선작업과 무정전 작업으로 구분할 수 있고 무정전 작업은 배전활선작업과 임시송전공법 및 직접송전공법을 이용한 작업으로 구분할 수 있다. 임시송전공법에는 무부하구간 정전공법인 공사용 개폐기 공법, 부하전환공법

인 바이패스 케이블공법, 이동용 변압기공법을 많이 적용하고 직접 송전공법에는 전선이선공법과 가지지 공법을 적용하고 있다. 활선작업공법으로는 간접공법과 직접공법이 있고 간접공법은 교육만을 실시하고 실제 배전공사에서는 거의 사용되지 않는다.

따라서 국내의 무정전 배전공사의 작업방법은 임시송전공법, 직접송전공법, 직접활선공법 세 가지로 구분할 수 있다.



[그림 III-1] 배전공사 체계도

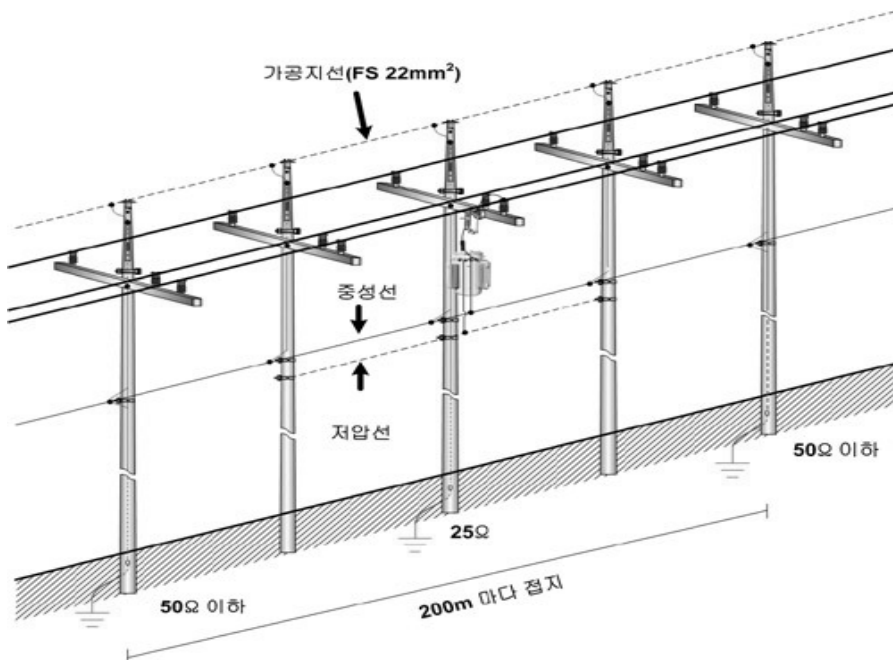
배전 공사업체와 배전작업에 종사하는 전기원은 임시송전공법, 직접송전공법, 직접활선공법을 구분하지 않고 활선작업이라고 통용하여 부르고 있으며, 한전의 규정에서 정한 용어의 정의를 따른다면 무정전 작업이 올바른 명칭이다.

이러한 무정전 배전작업을 하기 위해서는 한전에서 인정하는 기능자격이 필요하다. 배전공사 기능자격은 한국전력공사에서 지정한 10개의 지정교육기관에서 양성되고 있으며 배전공사 기초인력 교육·자격 관리절차서에 따르면 배전공사 기능자격을 가공배전전공, 배전활선전공, 무정전전공, 지중배전전공으로 구분하고 있다.

- (1) 가공배전전공 : 가공배전선로 사전작업에 필요한 시공기준 및 각종 작업방법에 관한 교육과정을 이수하고 가공배전전공 자격평가에 합격하여 자격을 취득한 자
- (2) 배전활선전공 : 가공배전선로의 활선작업에 필요한 장비 및 공구, 활선공법에 관한 교육과정을 이수하고 가공배전전공 자격평가에 합격하여 자격을 취득한 자
- (3) 무정전전공 : 가공배전선로의 무정전작업에 필요한 장비, 공구, 각종 임시·직접송전공법 및 신공법에 관한 교육과정인 무정전전공 교육과정을 이수하고 무정전전공 자격검정에 합격하여 자격을 취득한 자와 2005년 10월 1일 이전에 배전활선전공 기능향상교육을 이수한 자
- (4) 지중배전전공 : 지중배전공사에 필요한 시공기준 및 접속작업에 관한 교육과정을 이수하고 지중배전전공 자격평가에 합격하여 자격을 취득한 자

무정전 배전작업 중 직접활선공법을 수행하기 위해서는 배전활선전공 자격자가, 임시송전공법과 직접송전공법을 하기 위해서는 무정전전공의 자격이 필요하다. 배전작업자 대부분 배전활선전공과 무정전전공의 기능자격을 갖고 있으며, 임시 또는 직접송전공법의 작업이 이루어질 경우 직접활선공법 작업이 혼재된 배전공사가 수행되기 때문이다.

[그림 III-2]는 가공배전선로를 나타낸 것으로 국내 전주의 높이는 14m, 16m 두가지가 있다. 전주 맨 상부에는 직격낙뢰로부터 가공선로를 보호하기 위해 가공지선이 설치되어 있고 바로 아래에 특고압선(22,900V) 3선이 설치된다. 고압의 전기는 변압기를 통해 저압으로 감압되며 특고압선 아래에 설치된 중성선과 저압선을 통해 3상4선식, 1상2선식의 저압 전기가 가정, 상가, 소규모 공장 등에 보내지게 된다.



[그림 III-2] 가공배전선로의 개요도

2) 극저주파 자기장의 측정결과

(1) 측정대상

극저주파 자기장 측정은 총 10개 현장에서 이루어졌다. 무정전 배전작업 현장 8개소, 배전 전기원 28명과 사선작업 현장 2개소의 배전 전기원 9명으로 무정전 작업현장은 직접활선작업 4개소, 임시송전공법 3개소, 직접송전공법 1개소이다. 직접활선작업은 현장마다 다양한 작업이 이루어지고 있었고 현수애자 교체, COS 교체, 완금 교체, 점퍼선 연결작업 등은 혼재되어 다발적으로 이루어져 세부 작업 별로 분류하여 자기장 측정을 할 수는 없었다.

그리고, 가공선로 아래에서 일하는 조공과 감독자를 대상으로도 비교 목적의 자기장 측정을 하였다.

<표 Ⅲ-1> 측정대상 배전공사 현장현황

현 장	작업자 수	공 법	작업내용
A	4	직접활선작업	현수애자, LA 교체
B	5	직접활선작업	ABC 케이블 교체
C	2	직접활선작업	현수애자, LP애자, COS, 완금 교체, 점퍼선 연결 및 피뢰 제거
D	3	직접활선작업	전주 교체 작업
E	5	임시송전공법	공사용 개폐기 공법
F	3	임시송전공법	바이패스 케이블 공법
G	2	임시송전공법	이동용 변압기차 공법
H	4	직접송전공법	전선이선 공법
I	5	사선작업	고압케이블 신설
J	4	사선작업	고압케이블 신설

자기장을 측정한 현장별 작업내용은 <표 Ⅲ-1>에 요약하여 나타내었으며 세부적인 작업내용은 다음과 같다.

가) 직접활선작업

A : 현수애자 및 피뢰기(LA) 교체

전주에 설치되어 있는 노후된 자기 재질의 현수애자와 피뢰기를 폴리머로 된 현수애자 및 선로 보호용 피뢰기(LA)로 교체하는 작업으로 전기원별로 공사현장을 수시로 이동하면서 교체작업이 이루어졌다. 이 작업은 송전공법이 포함되지 않은 순수한 배전활선전공 자격자의 배전작업으로 리드선 연결 및 분기슬리브 압착 및 절연처리가 이루어졌다.

B : ABC 케이블 교체

노후된 불량의 22.9kV ABC 케이블을 22.9kV 동심중성선 전력케이블(FR CNCO-W)로 교체하는 작업으로 케이블 덕트를 가공선로에 고정, 설치하고 교체할 전력케이블을 덕트 내로 삽입한 다음 기존 전선과 연결하고 노후된 케이블을 제거하는 순서로 이루어졌다. 덕트 설치, 덕트 내 케이블 포설작업은 감전 위험이 없는 상태에서 활선작업차에 탑승한 채 고압 전력선 근처에서 작업이 이루어졌다. 케이블을 연결, 분리하는 활선작업은 작업종료 전 30분간만 수행되었다.

C : 현수애자, LP애자, COS, 완금 교체, 점퍼선 및 인하선 연결, 피뢰 제거

다양한 직접활선공법 배전작업이 이루어진 활선작업현장으로 전주 3개에서 작업이 이루어졌다. 노후된 자기 재질의 현수애자와 LP애자를 폴리머 재질의 애자로 교체하였고, COS 설치시에는 칼로 전선피복을 벗겨 임시 COS와 점퍼케이블을 연결하였으며 분기고리를 고압전선에 설치한 다음 인하선과 접속하였다.

D : 전주 교체

기존의 노후된 전주 옆에 설치된 새 전주에 고압전력선을 이선하는 작업으로 새 전주 상부에 케이블 포설한 후 기존 전주의 전선과 연결하는 방식으로 진행되었다. 신규 케이블의 포설작업은 무부하 상태에서 진행되지만 기존 전주의 전선과 한가닥씩 연결하는 점퍼선 연결·분리작업이 이루어졌다. 점퍼선 연결·분리작업은 전선 피복을 벗긴 후 점퍼선을 슬리브로 압착, 연결한 후 커버를 씌우는 순서로 진행되었다.

나) 임시송전공법

E : 공사용 개폐기 공법

임시송전공법인 공사용 개폐기 공법을 이용하여 공사구간의 고압전선을 사전 상태로 한 후 전선과 애자를 교체하였다. 공사용 개폐기 공법이란 공사 구간 내에 부하가 없고 공사구간 이후 부하를 타 선로로 부터 절환 시킬 수 있는 경우, 공사용 개폐기 1대를 설치하여 공사구간의 전원 및 부하 점퍼선을 활선작업으로 분리, 시공하는 방법이다. 공사용 개폐기를 설치하는 전주에서 무정전전공 2명은 활선작업차에 탑승하여 작업하였고 아래에는 1명이 공사용 개폐기를 조작하였으며 입상케이블을 전주 위로 올린 다음 피복이 벗겨진 전력선에 연결하였고 공사용 개폐기 개방 후에는 전원측 전력선 점퍼를 절단하는 작업을 하였다. 그리고 맞은편 공사구간 끝에서는 절환된 배전선로에 점퍼를 연결한 후 점퍼를 분리하는 작업이 이루어졌으며, 이후 공사구간은 감전위험이 없는 무부하 상태에서 전선교체, 애자설치 등의 작업이 수행되었다.

F : 바이패스 케이블 공법

바이패스 케이블 공법을 이용하여 공사구간의 고압선로를 단전시킨 후 전선, 애자 등을 교체하였다. 배전공사 구간 내에 분기선로, 수용가 등이 있는 경우에 사용되는 공법으로 전원측과 부하측 각각에 공사용 개폐기를 설치하고 바이패스 케이블을 연결하여 전기를 공급하였고 공사구간의 점퍼선을 활선작업으로 분리, 연결하는 작업이 이루어졌다. 개폐기 및 바이패스 케이블은 지상에 설치하였으며 저압선로는 부하상태를 유지하면서 작업이 이루어졌다.

G : 이동용 변압기차 공법

소형 트럭에 실려있는 이동용 변압기를 이용하여 저압선로를 부하상태로 유지하고 고압선로를 단전시킨 후 변압기를 추가 설치하는 작업이 이루어졌다. 작업자 1명은 22,900V의 고압선로에 고압케이블을 연결하고 변압기차로부터 인출된 저압케이블을 저압선에 연결하는 활선작업을 수행하였으며 다른 근로자는 수용가 인근의 전주에서 단전상태에서 변압기 2기를 추가 설치하였다.

다) 직접송전공법

H : 전선이선 공법

임시송전공법을 활용하지 않고 전선이선 기구를 이용하여 신·구 전선을 바이패스 시켜서 순차적으로 전기를 분리·연결하는 직접송전공법으로 부하상태인 노후 전선 옆에 A, B, C상의 새 전선을 임의 포설한 후 1상씩 전원과 부하 양측에 점퍼선을 연결, 분리를 순서대로 함으로써 단전없이 전선 교체하였다. 전선이선 공법은 감전 위험성이 매우 높은 배전작업으로 현재 작업이 중지된 시공방법이다.

라) 사선작업

I : 사선작업

220V 저압 전력선만 있는 배전선로의 구간에 신규로 22,900 V의 고압 케이블을 추가 포설하는 작업으로 활선대비작업이라고 불렸으며 전류가 흐르지 않는 무정전 상태에서 작업이 이루어졌다. 하지만, 작업 근처에 저압선이 1m 내외로 지나가고 있었으며 저압선에 근접하여 신규케이블의 포설작업이 이루어졌다.

J : 사선작업

농사용 고압 케이블을 신규 포설하는 작업으로 공사구간의 선로에는 전류가 흐르지 않는 무정전 상태였다. 하지만, 선로 아래에 부하상태의 저압선이 지나가고 있었고 공사구간 선로 끝에서는 공사구간 밖의 고압 전력선 등 방호조치가 이루어지고 있었다.



[그림 III-3] 배전공사 작업사진

(2) 자기장 측정결과

가) 직접활선작업

A현장의 평균 개인노출선량은 $1.60 \pm 5.63 \mu\text{T}$, B현장은 $0.98 \pm 3.64 \mu\text{T}$, C현장은 $0.84 \pm 1.19 \mu\text{T}$, D현장은 $0.84 \pm 1.97 \mu\text{T}$ 이었다. 4개의 직접활선작업 현장의 전기원 14명의 측정 데이터 84,903개를 분석한 직접활선공법 작업자들의 평균 개인노출선량은 $1.09 \pm 3.96 \mu\text{T}$ 이었다.

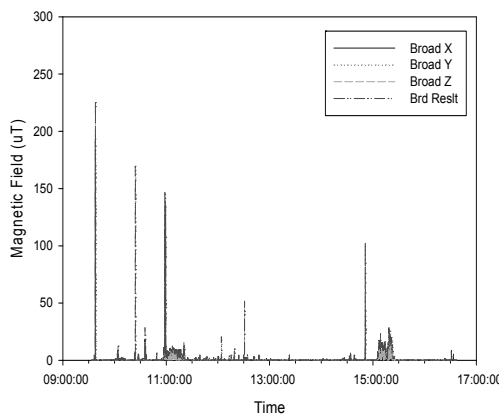
A현장의 극저주파 자기장의 Ceiling 값의 범위는 $113.5 \sim 257.5 \mu\text{T}$ 로 4명의 작업자 모두 $100 \mu\text{T}$ 를 넘는 자기장에 노출되었다. 반면에 A현장과 유사작업(현수 애자 교체)이 이루어진 C현장의 Ceiling 값의 범위는 $18.5 \sim 23.5 \mu\text{T}$ 로 A현장에서 측정된 Ceiling 값의 1/10 수준이었다. B현장과 D현장에서 측정한 자기장은 작업자 별로 큰 차이를 보였는데 B현장의 Ceiling 값의 범위는 $20.5 \sim 255.5 \mu\text{T}$, D현장은 $10.5 \sim 126.5 \mu\text{T}$ 으로 최소값과 최대값이 10배 이상 큰 차이를 보였다.

<표 III-2> 직접활선작업시 자기장 노출수준

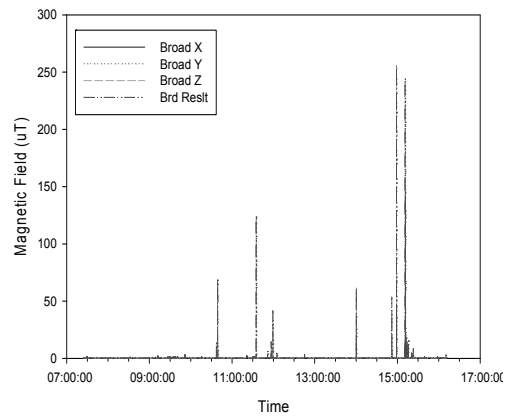
현장	N(명)	모니터링 수	노출수준(μT)		Range (μT)	Ceiling Value(μT)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)		
A	4	23,477	1.60 ± 5.64	0.70(2.45)	$0.5 \sim 257.5$	$113.5 \sim 257.5$
B	5	38,910	0.98 ± 3.64	0.61(1.92)	$0.5 \sim 255.5$	$20.5 \sim 255.5$
C	2	12,293	0.84 ± 1.19	0.64(1.76)	$0.5 \sim 23.5$	$18.5 \sim 23.5$
D	3	10,223	0.64 ± 1.97	0.54(1.40)	$0.5 \sim 126.5$	$10.5 \sim 126.5$
계	14	84,903	1.09 ± 3.96	0.63(2.00)	$0.5 \sim 257.5$	$10.5 \sim 257.5$

직접활선작업 4개 현장에서 측정한 극저주파 자기장의 노출패턴은 그림 6과 같다. 작업시간 대부분 $1 \mu\text{T}$ 이하의 낮은 수준의 자기장에 노출되고 있다가 순간적으로 급격히 증가하여 피크값을 보인 후 급격히 낮아지는 추세가 확인되었다. 이러한 피크노출은 작업시간 동안 수회 반복되었고 노출정도의 차이만 있을 뿐 작업자 대부분에서 확인되었다.

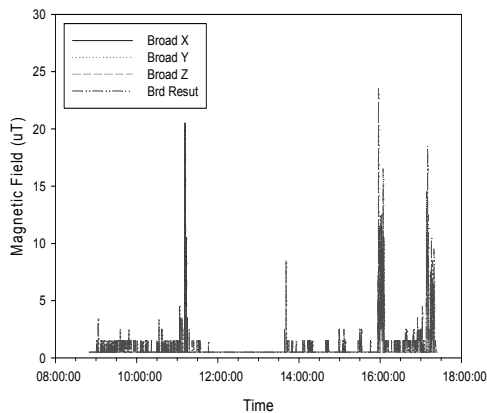
A현장의 경우, 최대 자기장은 257.5 μT 이었고 4명 모두에서 100 μT 를 초과하는 피크노출이 23회 있었다. B현장은 최대 자기장이 255.5 μT 이었고 100 μT 를 넘는 피크노출이 12회 있었다. 반면, C 현장은 100 μT 를 넘는 경우는 없었지만 25 μT 미만의 범위에서 피크노출이 수차례 있었으며 D현장은 최대 자기장이 126.5 μT 이었고 100 μT 초과 피크노출이 2회 확인되었다.



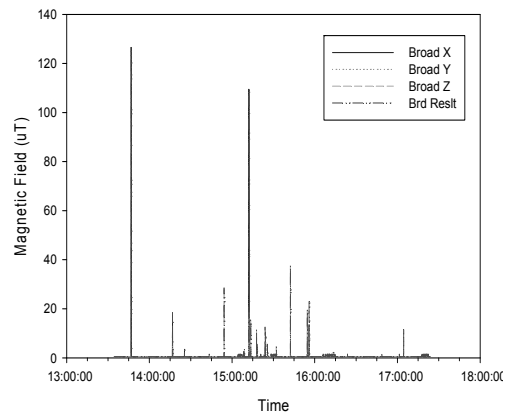
(a) A현장



(b) B현장



(c) C현장



(d) D현장

[그림 III-4] 직접활선작업시 자기장 노출패턴

[그림 III-4]의 (b)는 B현장에서 측정한 것으로 작업종료 30분 동안만 직접활선 작업이 있었다. 활선작업이 없는 작업시간 동안에도 피크노출이 수차례 나타났는데 작업자 5명 중 3명에서 동일한 결과가 나왔다. 이는 활선작업차를 탑승한 채 고압전력선 근처에서 작업하는 작업특성과 차폐가 되지 않는 자기장의 물리적 특성으로 인해 고압선에서 발생된 자기장에 노출된 결과로 판단할 수 있다. 따라서, 고압선에 근접하여 작업만으로도 유사 수준의 자기장에 노출되고 있음이 확인되었다.

나) 임시송전공법

공사용 개폐기공법으로 임시송전한 E현장의 평균 개인노출수준은 $2.21 \pm 32.40 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $60.5 \sim 1,671.5 \mu\text{T}$ 로 작업자별로 차이가 매우 컸다. 자기장 노출패턴은 앞선 직접활선작업과 마찬가지로 대부분 $1 \mu\text{T}$ 이하에 노출되다가 급격히 증가하는 피크노출을 보였다. 5명 중 4명이 $100 \mu\text{T}$ 의 자기장에 노출되었고 특히 1명이 $1,671.5 \mu\text{T}$ 의 자기장에 노출되어 ACGIH 노출기준(Ceiling 값)인 $1,000 \mu\text{T}$ 를 초과하였으며 노출기준을 초과하는 피크노출이 5회 있었다.

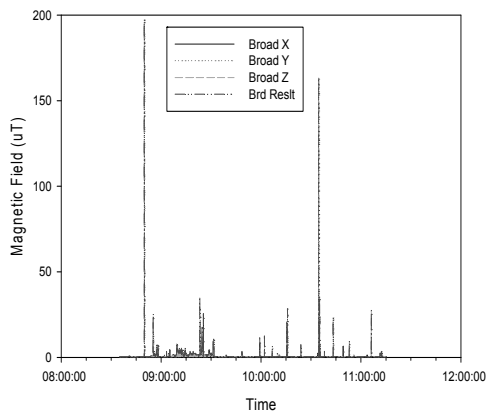
바이패스 케이블공법으로 작업한 F현장은 평균 개인노출선량이 $3.28 \pm 54.35 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $51.5 \sim 1,671.5 \mu\text{T}$ 이었다. 측정한 3명 중 1명이 최대 $1,671.5 \mu\text{T}$ 의 자기장에 노출되어 ACGIH 노출기준(Ceiling 값)인 $1,000 \mu\text{T}$ 를 초과하였으며 노출기준을 초과하는 피크노출이 8회 있었다.

위의 두 현장에서 노출기준인 $1,000 \mu\text{T}$ 을 초과하는 자기장에 노출된 작업자는 각각 1명으로 전원측에 반대편인 임시송전 공사구간의 끝에서 작업한 사람이었다. F현장에서는 공사용 개폐기를 설치하는 전주의 맞은 편 공사구간 끝에서 점퍼를 연결, 분리하는 작업을 하였고 G현장에서는 공사용 개폐기를 이용하여 바이패스된 선로를 연결, 분리하는 작업을 하였다.

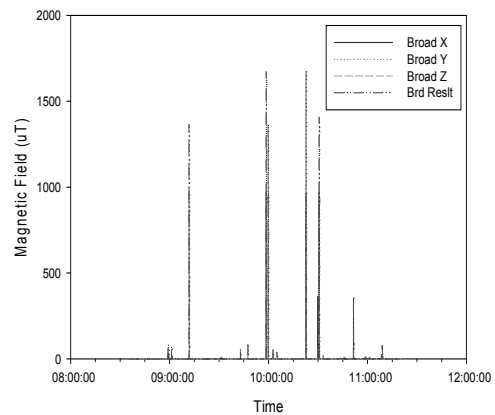
H현장에서는 변압기차를 이용하여 저압선로에 전력을 공급하고 고압선로는 무정전상태로 하여 주상변압기를 추가 설치하였다. 약 90분가량 소요된 작업시간 동안 평균 개인노출선량은 $0.59 \pm 0.96 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $8.5 \sim 35.5 \mu\text{T}$ 이었다.

<표 III-3> 임시충전공법 작업시 자기장 노출수준

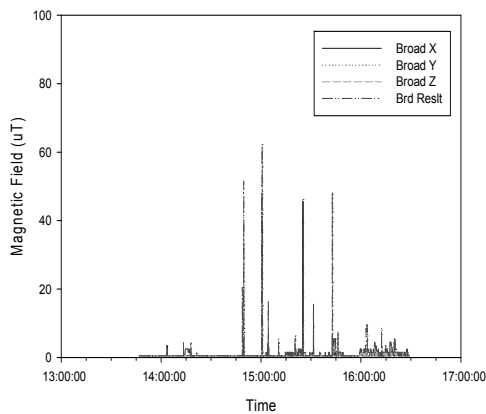
현장	N(명)	모니터링 수	노출수준(μT)		Range (μT)	Ceiling Value(μT)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)		
E	5	11,473	2.21 $\pm$ 32.40	0.66(2.16)	0.5~1,671.5	60.5~1,671.5
F	3	6,360	3.28 $\pm$ 54.35	0.70(2.11)	0.5~1,671.5	51.5~1,671.5
G	2	2,331	0.59 $\pm$ 0.96	0.53(1.34)	0.5~35.5	8.5~35.5
계	10	20,164	2.36 $\pm$ 39.11	0.65(2.07)	0.5~1,671.5	8.5~1,671.5



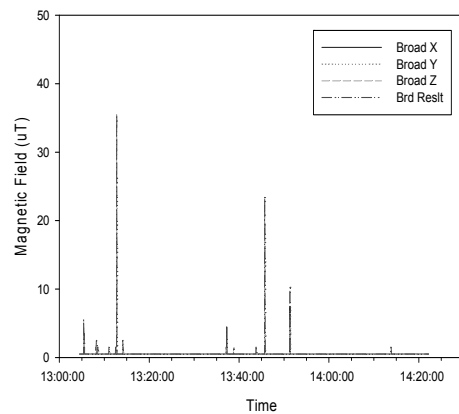
(a) E현장



(b) E현장(최대노출)



(c) F현장



(d) G현장

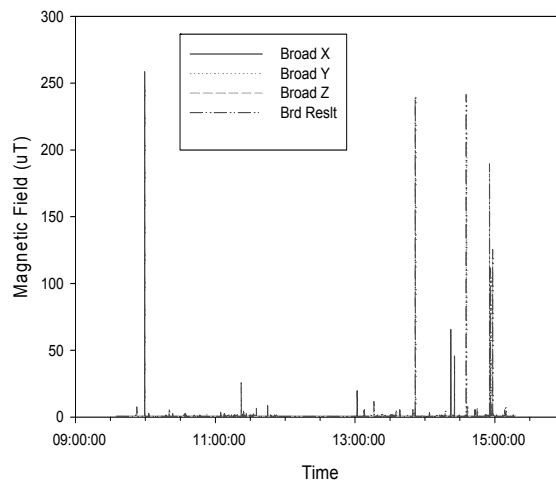
[그림 III-5] 임시충전공법 작업시 자기장 노출패턴

다) 직접송전공법

직접이선공법이 수행된 H현장에서의 평균 개인노출수준은 $0.93 \pm 6.85 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $139.5 \sim 276.5 \mu\text{T}$ 이었으며 작업자 4명 모두 $100 \mu\text{T}$ 를 초과하는 자기장에 노출되었다. 최대 자기장은 $276.5 \mu\text{T}$ 이었고 4명 모두 $100 \mu\text{T}$ 를 초과하는 피크노출이 13회 있었다. 개인간 노출수준의 차이는 크지 않았고 노출 패턴도 유사하였다.

<표 III-4> 직접송전공법 작업시 자기장 노출수준

현장	N(명)	모니터링 수	노출수준(μT)		Range (μT)	Ceiling Value(μT)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)		
H	4	16,443	0.93 ± 6.85	0.58(1.63)	0.5 ~ 276.5	139.5 ~ 276.5



[그림 III-6] 직접송전공법 작업시 자기장 노출패턴

라) 사선작업

I 현장에서의 평균 개인노출수준은 $1.43 \pm 8.06 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $53.5 \sim 227.5 \mu\text{T}$ 이었다. 최대 자기장은 $227.5 \mu\text{T}$ 이었고 5명중 4명이 $100 \mu\text{T}$ 초과하는 자기장에 노출되었으며 특히, 작업자 1명은 $100 \mu\text{T}$ 넘는 자기장에 22회 노출되기도 하였다.

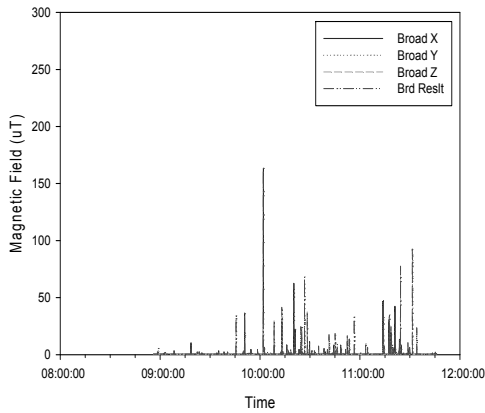
J 현장에서의 평균 개인노출수준은 $1.34 \pm 10.10 \mu\text{T}$ 이었고 Ceiling 값의 범위는 $18.5 \sim 395.5 \mu\text{T}$ 이었다. 최대 자기장은 $395.5 \mu\text{T}$ 이었고 3명이 $100 \mu\text{T}$ 초과하는 자기장에 노출되었다. 작업자 1명은 $100 \mu\text{T}$ 넘는 자기장에 20회 노출되었다.

사선작업시 공사구간 내의 고압선에는 전류가 흐르지 않기 때문에 자기장이 발생되지 않는다. 하지만, 공사구간 선로 아래에 무정전 상태인 저압선이 있고 이에 근접하여 작업이 이루어지며, 사선구간 끝에서는 부하상태의 고압선에 근접하여 작업을 하므로 여기서 발생한 자기장에 노출된 것으로 사료된다.

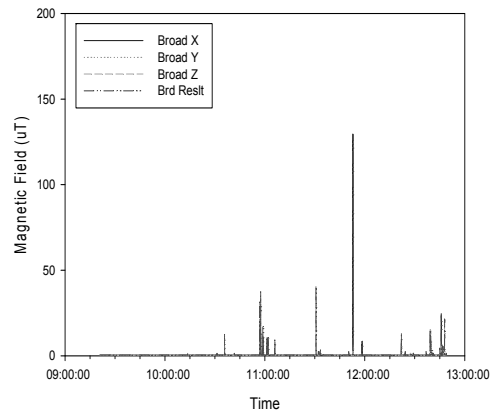
노출패턴은 두 현장 모두 무정전 작업시 측정 결과와 동일하게 피크노출을 보였으나 노출수준은 개인간 10배 이상 차이가 있었다.

<표 III-5> 사선작업시 자기장 노출수준

현장	N(명)	모니터링 수	노출수준(μT)		Range (μT)	Ceiling Value(μT)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)		
I	5	12,724	1.43 ± 8.06	0.59(1.98)	$0.5 \sim 227.5$	$53.5 \sim 227.5$
J	4	10,084	1.34 ± 10.10	0.56(1.79)	$0.5 \sim 395.5$	$18.5 \sim 395.5$
계	9	22,808	1.39 ± 9.02	0.57(1.90)	$0.5 \sim 395.5$	$18.5 \sim 395.5$



(a) I현장



(b) J현장

[그림 Ⅲ-7] 사선작업시 자기장 노출패턴

마) 조공, 감독자

조공의 평균 개인노출수준은 $0.07 \pm 0.03 \mu\text{T}$ 이고 자기장 범위는 $0.01 \sim 0.33 \mu\text{T}$ 이었다. 감독자의 평균 개인노출수준은 $0.09 \pm 0.07 \mu\text{T}$ 이었고 $1 \mu\text{T}$ 를 넘는 노출이 2회 있었으나 무정전 작업자의 측정결과와 비교할 때 매우 미미한 수준으로 무정전 작업시와 같은 피크노출은 없었다.

<표 Ⅲ-6> 조공, 감독자의 자기장 노출수준

구분	N(명)	모니터링 수	노출수준(μT)		Range (μT)	Ceiling Value(μT)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)		
조공	4	11,302	0.07 ± 0.03	0.06(1.67)	$0.01 \sim 0.33$	$0.14 \sim 0.33$
감독자	1	4,109	0.09 ± 0.07	0.08(1.54)	$0.01 \sim 2.79$	2.79
계	5	15,411	0.07 ± 0.05	0.06(1.66)	$0.01 \sim 2.79$	$0.14 \sim 2.79$

<표 III-7> 현장별, 작업자별 자기장 노출수준

현장	작업자	모니터링 수	노출수준(μ T)		Range (μ T)
			AM $\pm$ SD	GM(GSD)	
A	A-1	6,468	4.55 $\pm$ 1.74	0.76(2.66)	0.5~257.5
	A-2	6,355	1.82 $\pm$ 7.68	0.71(2.50)	0.5~226.5
	A-3	6,465	1.53 $\pm$ 5.44	0.69(2.39)	0.5~134.5
	A-4	4,189	1.17 $\pm$ 3.28	0.61(2.09)	0.5~113.5
B	B-1	7,910	0.67 $\pm$ 4.77	0.51(1.31)	0.5~255.5
	B-2	7,911	0.62 $\pm$ 2.03	0.53(1.38)	0.5~145.5
	B-3	7,913	0.64 $\pm$ 0.85	0.56(1.46)	0.5~32.5
	B-4	7,268	0.79 $\pm$ 5.51	0.53(1.45)	0.5~224.5
	B-5	7,909	2.17 $\pm$ 2.84	1.01(3.14)	0.5~20.5
C	C-1	6,134	0.90 $\pm$ 1.37	0.66(1.85)	0.5~23.5
	C-2	6,159	0.77 $\pm$ 0.97	0.62(1.68)	0.5~18.5
D	D-1	3,427	0.69 $\pm$ 1.44	0.56(1.52)	0.5~39.5
	D-2	3,440	0.68 $\pm$ 3.06	0.53(1.40)	0.5~126.5
	D-3	3,356	0.55 $\pm$ 0.33	0.52(1.26)	0.5~10.5
E	E-1	1,592	4.24 $\pm$ 12.65	0.83(3.50)	0.5~60.5
	E-2	2,403	1.14 $\pm$ 5.64	0.66(1.96)	0.5~197.5
	E-3	2,408	1.11 $\pm$ 4.88	0.65(1.94)	0.5~164.5
	E-4	2,479	4.38 $\pm$ 68.30	0.64(2.10)	0.5~1,671.5
	E-5	2,591	0.88 $\pm$ 5.22	0.58(1.67)	0.5~204.5
F	F-1	2,433	1.08 $\pm$ 2.76	0.72(1.96)	0.5~62.5
	F-2	1,626	9.31 $\pm$ 107.18	0.57(2.05)	0.5~1,671.5
	F-3	2,301	1.34 $\pm$ 2.96	0.78(2.23)	0.5~51.5
G	G-1	1,166	0.59 $\pm$ 1.31	0.52(1.32)	0.5~35.5
	G-2	1,165	0.58 $\pm$ 0.40	0.54(1.35)	0.5~8.5
H	H-1	4,287	1.04 $\pm$ 5.32	0.67(1.85)	0.5~206.5
	H-2	4,234	0.71 $\pm$ 2.39	0.56(1.53)	0.5~139.5
	H-3	4,276	0.92 $\pm$ 7.70	0.56(1.55)	0.5~258.5
	H-4	3,646	1.05 $\pm$ 10.10	0.53(1.50)	0.5~276.5
I	I-1	2,543	0.59 $\pm$ 2.21	0.51(1.25)	0.5~104.5
	I-2	2,544	0.60 $\pm$ 3.10	0.51(1.24)	0.5~147.5
	I-3	2,547	0.57 $\pm$ 1.39	0.51(1.25)	0.5~53.5
	I-4	2,549	1.14 $\pm$ 5.41	0.58(1.86)	0.5~163.5
	I-5	2,542	4.27 $\pm$ 16.40	0.91(3.50)	0.5~227.5
J	J-1	3,120	2.86 $\pm$ 17.02	0.66(2.54)	0.5~395.5
	J-2	1,513	0.79 $\pm$ 7.69	0.51(1.34)	0.5~286.5
	J-3	3,122	0.68 $\pm$ 2.78	0.53(1.42)	0.5~129.5
	J-4	2,329	0.53 $\pm$ 0.58	0.50(1.17)	0.5~18.5

(3) 노출빈도 및 노출량

직접활선작업 4개소 14명, 임시송전공법 작업 3개소 10명, 직접송전공법 작업 1개소 4명, 사선작업 2개소 9명 등 총 37명의 자기장 측정결과에서 단 1명만이 작업시간 동안 10 μ T 미만의 자기장에 노출되었고 대부분은 10 μ T를 넘는 자기장에 노출되었다. 100 μ T를 초과하는 자기장에 노출된 작업자는 24명으로 전체 측정대상자의 65%이었고 총 노출횟수는 126회였다. 1,000 μ T를 초과하는 작업자도 2명 있었고 노출횟수는 13회였다.

<표 III-8> 자기장 노출수준별 노출현황

자기장 (μ T)	계	>10	>20	>30	>50	>100	>200	>300	>1,000
작업자수	37	36	33	31	28	24	13	3	2
빈도수	144,318	1,895	576	429	274	126	46	19	13

10개 현장 37명의 측정 데이터를 모두 합산하여 자기장 구간별로 노출빈도와 노출량을 분석하였다. 총 데이터 수는 144,318개로 측정장비의 레코딩 간격 4초 동안에는 동일한 자기장에 노출되었다고 가정하였다.

전체 데이터 144,318개 중 1 μ T 미만의 자기장 노출횟수는 128,578회로 89.09%이었다. 1~10 μ T는 13,845회로 9.59%이었고 10~20 μ T는 1,319회(0.91%), 20~30 μ T는 147회(0.10%), 30~40 μ T는 76회(0.05%), 40~50 μ T는 79회(0.05%), 50~100 μ T는 148회(0.10%), 100~200 μ T는 80회(0.06%), 200~300 μ T는 27회(0.02%), 300 μ T 이상은 19회(0.01%)이었다.

자기장 구간별로 노출빈도를 분석하면 노출시간 중 약 90%는 1 μ T 미만의 자기장에 노출되었고 약 99%는 10 μ T 미만의 자기장에 노출되었다. 반면에 100 μ T를 초과하는 자기장에 노출된 횟수는 총 126회로 0.1%가 되지 않았다.

<표 III-9> 자기장 노출빈도 및 노출량

자기장 범위 (μT)	노출빈도		노출량		
	횟수	분율 (%)	노출량 ($\mu\text{T}\cdot\text{hr}$)	분율 (%)	누적분율 (%)
≤ 1	128,578	89.09	71.432	34.34	34.34
1-10	13,845	9.59	51.107	24.57	58.92
10-20	1,319	0.91	19.569	9.41	68.33
20-30	147	0.10	3.863	1.86	70.18
30-40	76	0.05	2.909	1.40	71.58
40-50	79	0.05	3.959	1.90	73.49
50-100	148	0.10	10.530	5.06	78.55
100-200	80	0.06	12.413	5.97	84.52
200-300	27	0.02	7.013	3.37	87.89
> 300	19	0.01	25.192	12.11	100.00
합계	144,318	100	207.988	100	

자기장 측정값과 노출시간을 곱하여 노출량을 계산하였다. 1 μT 미만 자기장의 노출량은 71.431 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ 로 34.34%이었고 1~10 μT 는 51.107 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (24.57%), 10~20 μT 는 19.569 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (9.41%), 20~30 μT 는 3.863 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (1.86%), 30~40 μT 는 2.909 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (1.40%), 40~50 μT 는 3.959 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (1.90%), 50~100 μT 는 10.530 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (5.06%), 100~200 μT 는 12.413 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (5.97%), 200~300 μT 는 7.013 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (3.37%), 300 μT 이상은 25.192 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ (12.11%)이었다.

자기장의 노출빈도와 노출량을 상호 비교하면 10 μT 미만의 자기장에 노출된 횟수는 142,423회로 전체 노출횟수의 98.7%를 차지하였으나 자기장 노출량은 122,539 $\mu\text{T}\cdot\text{hr}$ 로 전체 노출량의 58.9%이었다. 마찬가지로 100~200 μT , 200~300 μT , 300 μT 이상 자기장 노출빈도는 각각 0.06%, 0.02%, 0.01%로 매우 낮았지만 노출량은 5.97%, 3.37%, 12.11%로 상대적으로 컸으며 고수준 자기장의 노출여부에 따라 자기장 노출량은 크게 영향을 받았다.

2. 극저주파 자기장(ELF-EMF)의 건강영향에 대한 문헌고찰

1) 극저주파 자기장과 암

(1) 암 발생과 관련된 동물실험 연구

유전독성과 관련된 연구는 다른 기관과 다른 특정 설치류에서 발견 되었다. 라이와 싱 등의 연구에 의하면, comet assay를 이용하여 뇌 세포의 DNA의 손상을 조사하였을 때 0.1-0.5 mT의 60 Hz 자기장에 노출된 쥐 DNA의 이중 및 단일 strand의 절단이 증가하는 소견이 관찰되었고, 이들은 이러한 절단의 증가가 free radical의 영향을 차단하는 제거 시스템의 기능이 전자기장에 노출되었을 경우 감소 시키는 것 때문에 발생한다고 판단하였다(Lai 1997). 또한 이들의 후속 연구에서는 자기장이 mitomycin DNA 단백질과 DNA-DNA 교차 결합에 대해 mitomycin C와 유사한 역할을 하는 것으로 보았다. 이러한 연구들에 있어서 많은 비판이 있으며 이에 대한 후속 연구가 필요하다. 암 발생(Carcinogenesis)과 관련하여, 역학적 연구에서 추론되는 논쟁적인 점은 EMF가 동물 모델에서 암을 시작, 촉진 또는 공동 발병시킬 수 있는지를 밝히는 것이고 이와 관련된 많은 연구가 진행되었다. 3세대 동안 고강도 전자기장에서 쥐를 노출시킨 후 림프종 발생이 증가한다는 연구가 존재하지만, EMF 노출로 종양의 발달 / 성장이 억제되거나 향상 될 수 있다는 것을 증명하기 위해 수행된 많은 연구들은 일관성이 없다. 전반적으로 ELF 자기장에 노출되면 암의 위험이 증가한다는 가설을 뒷받침하는 확실한 실험적 증거는 없으며, 이 결론은 일반적으로 긍정적 또는 부정적 영향을 보고하는 초기 연구의 일부보다 더 신중하게 수행된 형질 전환 동물을 사용하는 것을 포함하여 동물 발암 물질에 대한 최근 대규모 연구의 결과에 의해 뒷받침된다.

소아 백혈병의 가장 흔한 형태인 급성 림프성 백혈병의 양호한 동물 모델이 부재함에도 불구하고, 설치류, 특히 마우스는 성인 백혈병 발생 연구에 광범위하게 사

용되어왔다. 대부분의 연구는 ELF 자기장이 설치류의 백혈병이나 림프종에 미치는 영향이 부족하다고 보고한다. 여기에는 정상 및 형질 전환 쥐에서의 자발적인 종양 발병에 대한 최근의 대규모 연구와 쥐에서 방사선 유발 림프종 및 백혈병에 대한 대규모 연구가 포함됩니다. 더 많은 연구가 생쥐 또는 쥐의 이식 된 백혈병 세포의 진행에 아무런 영향을 미치지 않음을 발견되었다.

쥐에 대한 유방암 발생 연구는 인간 유방암 발생에 대한 연구의 표준적인 동물 실험으로 대표된다. 최근의 세 개의 대규모 연구는 평생의 전자기장 노출과 유방암 발생 증가와의 관련성에 대한 연구였으나 이 연구들에서 유의미한 결과는 나타나지 않았다. 또한 화학물질에 의해 유도된 유방 종양에 대한 EMF의 영향을 보기 위한 연구에서도 결과가 모호하게 나타났다. 이에 대한 두 연구에서 모두 EMF에 대한 노출이 암컷 쥐에서의 종양의 발달 또는 성장에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 그러나 한 실험실의 연구는 부적절하게 기술되었으며 다른 연구실의 결과에는 상당한 실험 간 변동성이 있었다. 또한 최근의 두 가지 연구에서는 앞선 두 연구를 뒷받침할 수 있는 증가 발견되지 않았다. 이러한 불확실성을 해소하기 위해 추가적인 실험 조사가 필요하다.

뇌종양 발생과 관련된 좋은 동물 모델은 없지만, 암컷 쥐의 화학적으로 유발된 신경계 종양에 대한 전자기장의 영향을 보기 위한 최근의 대규모 연구에서도 유의미한 영향은 관찰되지 않았다. 또한, 최근 3 건의 대규모 쥐 연구에서도 자계 노출에 의해 뇌암의 발병률이 증가되는 소견은 나타나지 않았다.

간 종양 및 화학적으로 유발된 피부 종양에 대한 연구는 거의 일률적으로 부정적이고, 또한, 악성 전환의 증가에 대한 확실한 증거는 없다. 특히, 설치류의 종양 발생에 대한 자기장 효과에 대한 최근 대규모 연구 3 건에서, 악성 종양의 전체 비율은 노출 된 동물과 대조군 동물간에 균등하게 분포하는 경향이 있었고, 용량 반응에서 유의 한 경향이 있다는 증거는 없었다.

2007년 이후의 동물 실험 연구에서는 Rageh등의 연구에서는 50Hz의 MF를 0.5mT로 30일간 조사할 경우, 뇌세포에서 DNA 손상이 증가되고, 골수에서 소

핵유도가 증가하며, mitotic index 증가하는 소견을 보여 일부 암 발생 기전에 관여할 가능성을 제기하기도 하였다(Rageh, 2012)

종의 감수성에 따라 RNA 전사 과정에 관여할 가능성이 존재한다. Fedrowwitz와 Löscher 등의 연구(Fedrowwitz, 2012) 등의 연구 결과에서는 감수성이 민감한 F334의 경우 RNA 전사 과정에 관여하여 일부 단백질의 발현이 증가되는 현상이 관찰되었으나, 감수성이 떨어지는 것으로 알려진 Lewis rats의 경우에는 이러한 현상이 관찰되지 않았다. 즉, 자기장 노출이 있을 경우 민감한 종의 경우 이러한 단백질 생성에서 차이가 발생할 가능성이 있음을 보고한 바가 있다. 이러한 감수성이 있는 설치류를 대상으로 MF 노출시 mammary gl에서 α -amylase protein이 증가되는 일부종류의 쥐가 있다. 이는 α -amylase가 스트레스에 민감한 biomarker이라는 단점이 있음에도 불구하고 MF 노출의 biomarker로서 α -amylase를 활용하는 것이 가능하다는 것을 시사하고 있다.(Fedrowwitz, 2013)

다른 발암물질을 투여했을 경우 MF가 백혈병과 림프종 발생을 촉진하는지 여부와 관련하여, Negishi 등의 연구에서 (Negishi, 2008) 7,12-dimethylbenz(a)anthracene를 생후 24시간내에 주입한 쥐를 대상으로 노출군의 경우 50Hz의 MF를 하루 22시간, 30주 동안, 70uT, 350uT 세기로 노출한 군에서 의사노출군과 비교해 본 결과 림프종, 백혈병 발생에서 각 군의 유의미한 차이가 없었으며 이 결과는 2번 반복되어 나타났다.

Chung 등의 연구에서는 60Hz의 MF를 임신 18인 쥐를 대상으로 ENU 주입 500uT 38wk를 노출하여 뇌종양 발생 빈도를 비교하였으나 유의미한 차이는 없었다. 생존율, 체중, 혈액학적, 종양 발생 비율 등 모든 면에서 차이가 없었으며 (Chung 2008), 500uT의 MF를 단독으로 42주간 조사하여 동일한 실험을 수행한 결과에서도 대조군과 혈액종양 발생에서의 차이는 없었다.(Chung, 2010)

Bernard 등의 연구(Bernard, 2008) n-butylNitrosourea(BNU) 주입으로 백혈병 유도, 전자기장, 50, 150, 250, 350Hz의 자기장을 100uT의 세기로 52주가 조사하고 전리방사선을 조사한 양성 대조군과 비교 했을 때, 전자기장 노출군에서는 유의

미한 차이가 없었으나, 양성대조군에서는 유의미하게 증가되었다. 즉, 전자기장이 유아 백혈병을 증가시킨다는 증거를 부정하는 결과를 제시하였다.

즉, 최근의 생체 내 동물 실험 결과에서는 일부 DNA 손상 및 RNA 전사의 변화를 유도하여 일정 부분의 변화를 보일 가능성이 제기되었으나, 실제 실험 동물에서 암 발생이 증가한다는 일관된 증거는 제시하지 못하고 있다. 하지만 체외 실험 연구(in vitro study)에서는 암 발생과의 관련성을 증명하는 연구들이 다수 존재한다. 특히 설치류의 mammarian gland의 종양 발생 과정과 관련한 메타 분석 결과에서는, 비록 출판 바이어스가 존재하기는 하나, 체외 연구를 종합해 볼 때, 자기장 노출과 DNA 손상 등과 관련성이 있다는 결과를 제시한 바가 있으며 (Vijayalaxmi, 2009) 이후 다수의 연구에서 DNA 손상과 관련 가능성을 제시한 바가 있다.

이들 결과를 종합하여 유럽집행위원회의 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks(SCENIHR)의 2015년 보고서를 통하여, 체외 실험에서의 결과에서는 DNA 손상 및 유전 독성의 존재의 증거가 있으나, 생체 내 실험 결과에서 이를 증명할 수 있는 증거가 부족하다고 평가하였다.

(2) 암 발생과 관련된 이전 역학적 연구 문헌

국제 암연구소(IARC)는 2002년 발간된 보고서를 통하여 아동에서의 백혈병에 제한적 증거가 있으며, 다른 암종들에 대해서는 불충분한 증거가 있는 요인으로 보았다. 또한 동물 실험과 관련하여서도 암 발생과는 불충분한 증거가 있는 요인으로 판단하였다. 이들의 성인의 역학적 연구 결과를 다음과 같이 제시하였다.

가) Human carcinogenicity data in adult

- Residential exposure

ELF 전기 및 자기장에 대한 성인 암 및 주거에 대해서 많은 연구가 진행되었으나, 신뢰성있는 데이터 (기기 사용 포함)는 드물고 방법론적으로 제한되어 있다. 지금까지 보고된 연구에는 장기 또는 개인 측정이 포함되어 있지 않다. 상당

한 수의보고가 있었지만 주거지 노출과 성인 백혈병 및 뇌암 사이의 일관된 연관성은 확립되지 않는다. 유방암 및 기타 암의 경우, 기존 데이터는 전기장 또는 자기장에 노출된 연관성을 밝히기에는 불충분하다.

- Occupational exposure

1980년대와 1990년대 초에 실시된 연구는 평균 이상의 ELF 전기장 및 자기장에 노출된 것으로 추정되는 직업에서 백혈병, 뇌종양 및 남성 유방암의 위험이 증가할 수 있다고 지적되었다. 하지만, 이러한 연구의 해석은 방법론적 한계가 존재하며, 적절한 노출 측정의 부족이 존재한다. 또한 관련성의 존재를 밝힌 연구 결과들의 출판 바이어스가 존재할 가능성을 배제할 수 없다.

1990년대에 백혈병과 뇌암에 대한 여러 대규모 연구에서 체계적인 작업장 측정, 개별 직업 내역 설명의 결합을 통한 자기장 추정 및 잠재적인 직업 혼란 변수 통제, JEM 등 직업적 노출의 개별 평가를 위한 개선된 방법을 사용했다. 그러나 직업 집단 내의 노출은 매우 다양하기 때문에 JEM의 경우 근로자의 노출 수준에 관한 모든 불확실성을 제거할 수 없었다.

이 연구 중 일부는 중간 또는 높은 자기장 노출 범주에 대한 암 위험이 증가했다고 보고했다. 하지만 연구간 일관된 결과를 보이지 노출-반응 관계가 일관되지 않았고, 백혈병 및 뇌종양의 하위 유형과의 연관성에 대해 일관성이 없었다.

노출 평가를 개별적인 근로자를 측정하는 방식으로 이루어진 다수의 연구들이 진행되었음에도 불구하고, 다른 부위의 암에 대한 연구들의 경우 발암성을 평가하는 데 있어서 불충분하였다. 모든 연구를 종합하여 볼 때에도 전자기장 강도와 특정 악성 종양과의 일관된 연관성은 발견되지 않았다.

(3) 유방암과 관련된 역학적 연구

- Database: Pubmed 검색
- 검색 변수: electromagnetic fields[all fields]
+breast neoplasms[all fields]
- 총 113개 결과 중
247개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년 이후
- 최종 17개 논문 선정

2000년 이후 전자기장 노출과 유방암 발생과의 관련성에 대한 연구는 17편을 선정하여 결과를 관찰하였다. Koeman 등의 120,852명의 남성과 여성에 대한 코호트 연구 결과 여성에서의 유방암의 경우 노출이 높은 군에서 유의미한 결과가 나타나지 않았으며, 누적 노출량이 높은 군으로 비교를 해도 유의미한 결과는 없었다. 2003 London 등의 nested case-control study에서는 $\geq 0.40 \mu\text{T}$ OR=1.21 (0.50-2.96)로 유의미한 결과는 없었다. Johansen 등이 28,224명의 덴마크 인을 대상으로 한 코호트 연구에서도 1.04(0.32-3.34)로 위험도를 증가되었으나, 통계적으로 유의미하지는 않았다. 직업적 노출에 대한 환자-대조군 연구에서 McElroy 등의 연구에서는 저노출군에서 OR=1.06(0.99-1.14), 중간 노출 군에서 OR=1.09(0.96-1.23), 고노출군에서 OR=1.16(0.90-1.50)로 통계적 의미는 없으나 위험도가 증가 가능하다는 결과가 있었으며, Forssen 등의 연구에서도 $\geq 0.30 \mu\text{T}$

의 경우 $OR=1.01(0.93-1.10)$ 로 나타났다. Kliukiene 등의 연구에서는 직업적인 노출이 높은 군에서 $OR=1.13(0.91-1.40)$, Labreche 등의 연구에서는 35세 이전 노출이 높은 군에서 $1.54(1.00-2.36)$ 진단 10년전 노출이 높은 군에서 $OR=1.31(1.03-1.68)$ 으로 유의미한 결과가 있었다. 환경적 노출의 경우 Mirick, Schoenfeld, Kabat, Zhu 등이 거주지 노출을 대상으로 환자 대조군 연구를 수행하였다. Zhu 등의 연구에서 10년 이상 노출될 경우 위험도가 4.9 (1.5-15.6)로 나타났으나, 다른 연구에서는 통계적으로 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 결론적으로 코호트 연구에서는 통계적으로 유의미하게 위험도가 증가되지는 않았지만 직업적 노출에 대한 환자-대조군 연구에서는 유의미하게 일관성 있는 연구 결과는 아니나, 충분한 가능성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
JohansenC, et al.	2007	28,224 Danish utility workers	cohort study	Occupational exposure	Leukemia Brain tumor Breast cancer	>1.0 μ T -Leukemia, MenOR=1.04(0.53-2.04) -Brain tumor, MenOR=0.69(0.38-1.25) -Breast cancer, WomenOR=1.04(0.32-3.34)
McElroyJA, et al.	2007	6,213 female breast cancer cases, 7,390 controls	case-control study	Occupational exposure	Female breast cancer	Female breast cancer -Low exposureOR=1.06(0.99-1.14) -Medium exposureOR=1.09(0.96-1.23) -High exposureOR=1.16(0.90-1.50)
ForssenUM, et al.	2005	20,400 cases of breast cancer, 116,227 controls	case-control study	Occupational exposure	Female breast cancer	$\geq 0.30\mu$ T -All casesOR=1.01(0.93-1.10) -Estrogen receptor positiveOR=0.98(0.87-1.11) -Estrogen receptor negativeOR=0.99(0.80-1.22)
KliukienėJ, et al.	2004	1,830 female breast cancer cases, 3,658 controls	case-control study	Residential exposure Occupational exposure	Female breast cancer	Residential exposure $\geq 0.20\mu$ T -OR=1.63(1.31-2.04) Occupational exposure ≥ 31 category $\times$ years -OR=1.13(0.91-1.40)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
LabrecheF, et al.	2003	556 cases, 600 controls, aged 50-75	case -control study	Occupational exposure	Postmenopausal breast cancer	Duration at > low intensity -Lifetime exposures OR=1.21 (0.97-1.49) -Lag of 10 years before diagnosis OR=1.31 (1.03-1.68) -Exposures before age 35 years OR=1.54 (1.00-2.36)
London SJ, et al.	2003	751 female breast cancer cases, 702 controls from a multiethnic cohort in Hawaii and Los Angeles	nested case -control study	Residential exposure	Female breast cancer	$\geq 0.40 \mu\text{T}$ OR=1.21 (0.50-2.96)
Zhu K, et al.	2003	304 African-American female breast cancer cases, 305 controls, aged 20-64, from USA observation period: 1995-1998	case -control study	Residential exposure -Electric bedding devices	Female breast cancer	Use of an electric bedding device OR=1.4 (0.9-2.2) >10 years of use OR=4.9 (1.5-15.6)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
KabatGC, et al.	2003	1,354femalebreastcanc ercases,1,426controlsfr omLIBCSP 576femalebreastcancer cases,585controlsfrom EBCLIS	case-control study	Residential exposure -Electricblanketuse	Female breast cancer	LIBCSPstudyparticipants -Everuse,premenopausalOR=1.2(0.9-1.6) -Everuse,postmenopausalOR=1.0(0.8-1.3) EBCLISwomen -Everuse,premenopausalOR=1.1(0.6-1.9) -Everuse,postmenopausalOR=0.9(0.7-1.3)
E.R.Schoenet al.	2003	576 female breast cancer cases, 585 controls, aged 15-74, from EBCLIS	case-control study	Residential exposure	Female breast cancer	Kaune-Savitzclassification -HighexposureOR=1.08(0.72-1.61)
Davis S, et al.	2002	813 female breast cancer cases, 793 controls, aged 20-74, from Fred Hutchinson Cancer Research Centre	case-control study	Residential exposure	Female breast cancer	Meannighttimemagneticfield - $\geq 0.073\mu\text{T}$ OR=0.9(0.7-1.3) VeryHighCurrentConfigurationOR=0.8(0.5-1.3)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
McElroyJA, et al.	2001	1,949 female breast cancer cases, 2,498 controls	case-control study	Residential exposure - Electric blanket/Mattress cover use	Female breast cancer	Ever-usersRR=0.93(0.82-1.06) Duration of use ≥60 monthsRR=0.94(0.77-1.15)
Van Wijngaert al.	2001	843 female breast cancer cases, 773 controls	case-control study	Occupational exposure	Female breast cancer	Total exposure -> >2.43 μT-yearsOR=1.2(0.8-1.7) 20+ years -> >0.76 μT-yearsOR=1.2(0.8-1.8)
PollánM, et al.	2001	1,779,646 Swedish men, aged 25-59 between 1971-1989	cohort study	Occupational exposure	Male breast cancer	>0.30 μT RR=0.92 (0.53-1.60)
ZhengT, et al.	2000	608 female breast cancer cases, 609 controls, aged 31-85	case-control study	Residential exposure - Electric blanket use	Female breast cancer	Regular use of electric blanketsOR=0.9(0.7-1.1) Night use, continuouslyOR=0.9(0.7-1.2)
FeychtingM, et al.	2000	1,767 female breast cancer cases, 1,766 controls	nested case-control study	Residential exposure Occupational exposure	Female breast cancer	≥0.25 μT RR=1.0 (0.6-1.7) Only residential exposureRR=0.5(0.1-2.9) Only occupational exposureRR=1.0(0.5-1.2) Both exposureRR=0.9(0.3-2.7)

(4) 성인백혈병과 관련된 역학적 연구

Kaufman 등은 180명의 백혈병 환자군과 756명의 대조군을 선정하여 환자·대조군 연구를 수행하였다. 백혈병을 급성, 만성 및 골수성, 림프구성으로 나누어서 극저주파 전자기장 노출과 백혈병의 상관관계를 연구하였다. 그 결과 고압전선 근로자(working near powerline)의 골수성 백혈병(myeloid leukemia)에서 통계적으로 높은 위험도를 보였다(OR=4.3, 1.3-15). Bethwaite P 등이 수행한 연구에서도 극저주파 전자기장 노출과 급성 백혈병의 연관성이 제시되었다. 뉴질랜드의 110명의 백혈병 환자군과 199명의 대조군을 대상으로 환자·대조군 연구를 수행한 결과 용접공(OR=2.8, 1.2-6.8) 및 전화선 작업자(telephoneline worker)(OR=5.81, 1.2-27.8)에서 통계적으로 유의하게 높은 위험도를 보였다. Villeneuve PJ 등이 수행한 연구에서도 13.67 Vm^{-1} (산술평균 수치) 이상의 전자기장 세기의 작업장에서 20년 이상 근무한 경우, 성인의 백혈병발생 위험도가 통계적으로 유의하게 증가한다고 보고하였다(OR=5.08, 1.00-22.16).

하지만 극저주파 전자기장과 백혈병간에 연관성이 없다고 밝히고 있는 연구도 다수 존재한다. 11개의 연구 논문 중 4개의 논문에서는 극저주파 전자기장과 백혈병이 상관관계가 있다는 결과를 제시한 반면에, 나머지 7개의 논문에서는 극저주파 전자기장과 성인의 백혈병 간에 역학적인 연관성이 없다고 발표하였다.

이상의 문헌고찰 내용을 종합하면, 소아의 백혈병을 제외한 성인의 백혈병의 경우 극저주파 전자기장과 백혈병의 연관성은 아직까지 그 결과가 일관성이 없다. 과학적인 근거를 확립하기 위해서는 향후 대규모 역학조사가 이루어져서, 일관성 있는 결과가 나와야 할 것으로 판단된다.

- Database: Pubmed 검색
- 검색 변수: electromagnetic fields[mesh terms]
+ adult[mesh terms] + leukemia[mesh terms]
- 총 113개 결과 중
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별 (극저주파, 3~3,000Hz 인 경우만)
 - > 결과 변수가 leukemia, hematopoietic malignancy, lymphatic malignancy, AML, CML, ALL, CLL인 경우만 선정
 - > 소아 백혈병 제외
 - > in vitro 제외
 - > 출간시기 2000년 이전 제외
 - > 불가독 언어(중국어 등) 제외
- 최종 13개 논문 선정

<표 III-11> 전자기장과 성인 백혈병과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Izabel Marcilio et al.	2011	1,857 leukemia 2,357 brain cancer 367 ALS 4,706 controls	case- control study	Occupational exposure	Adult mortality <u>-Leukemia</u>	>0.3/T -Leukemia, OR=1.61 (0.91-2.86) ≤50m -Leukemia, OR=1.47 (0.99-2.18)
Kaufman DW, Anderson TE, Issaragrisil S.	2009	180 leukemia cases - 87 AML - 40 ALL - 44 CML - 8 CLL - 1 unclassified acute leukemia 756controls (aged ≥18, observation period: 1997-2003)	case- control study	Residential exposure Occupational exposure	<u>AML</u> ALL CML CLL	Working with/or near powerlines <u>-Myeloid leukemia, OR=4.3 (1.3-15)</u>

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
RösliM et al.	2007	20,141 Swiss railway employees between 1972-2002	cohort study	Occupational exposure	Hematopoietic and lymphatic malignancies -Hodgkin's disease -Non-Hodgkin's disease <u>-Leukemia</u> -Lymphoid leukemia <u>-Myeloid leukemia</u> Train attendants -Leukemia, HR=1.07 (0.54-2.11) -Myeloid leukemia, HR=3.07 (0.65-14.57)	Alpine train drivers -Hodgkin's disease, HR=3.32 (0.30-36.89) -Leukemia, HR=0.87 (0.20-3.83) -Myeloid, leukemia, HR=6.44 (0.90-45.95)
EVWillet et al.	2003	764 leukemia cases - 662 AML - 92 ALL - 10 others 1,510 controls	case- control study	Occupational exposure	Acute leukemia <u>-AML</u> <u>-ALL</u>	Electrical engineers -Acute leukemia, OR=0.22 (0.03-1.86) -AML, OR=0.25 (0.03-2.14) Electrical / electronic technicians -Acute leukemia, OR=0.19 (0.02-1.70) -AML, OR=0.20 (0.02-1.72) Electricians,electrical maintenance fitters -Acute leukemia, OR=0.79 (0.46-1.34) -AML, OR=0.79 (0.44-1.43) -ALL, OR=0.82(0.24-2.79)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Oppenheimer M et al.	2002	412 AML cases 412 controls (aged 30-69, from Los Angeles)	case-control study	Occupational exposure -Electric blanket/ waterbed use	<u>AML</u>	Electric blanket use -Ever used, OR=0.8 (0.6-1.1) -10-45 years of use, OR=0.8 (0.6-1.2)
						Electric water bed use -Ever used, OR=1.0 (0.6-1.8) -6-23 years of use, OR=0.6 (0.3-1.2)
						Electric blanket or water bed use -Ever used, OR=0.9 (0.7-1.2)
Björk J. et al.	2001	226 Ph+ CML cases 251 controls (from southern Sweden)	case-control study	Occupational exposure	Chronic myeloid leukemia (Ph+)	ELF-EMF -High exposure, OR=1.2 (0.44-3.1) <u>-15-20 years, OR=2.3 (1.2-4.5)</u>
Bethwaite P et al.	2001	110 leukemia cases 199 controls (from New Zealand)	case-control study	Occupational exposure	<u>Acute leukemia</u>	<u>Ever worked in electrical occupation, OR=1.9 (1.0-3.8)</u> <u>Welders / flame cutters, OR=2.8 (1.2-6.8)</u> <u>Telephone line workers, OR=5.81 (1.2-27.8)</u>

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Minder CE et al.	2001	18,070 Swiss railway employees between 1972-1993	cohort study	Occupational exposure	All neoplasms (mortality) <u>-Leukemias</u>	Train attendant -All causes, RR=1.07 (0.98-1.17) -All neoplasms, RR=1.07 (0.91-1.25) -Leukemias, RR=1.09 (0.39-3.05)
Harrington JM et al.	2001	83,997 employees of the former Central electricity generating board of England and Wales between 1973-1997	cohort study	Occupational exposure	All leukemia -CLL -Other leukemias <u>-AML</u> -CML All other causes	Cumulative exposure ($>20.0 \mu T \cdot y$) -CLL, RR=1.40 (0.39-4.98) -Other leukemias, RR=1.63 (0.66-4.01) -All leukemias, RR=1.53 (0.73-3.18) -All other causes, RR=0.88 (0.81-0.95)
Villeneuve PJ, Agnew DA et al.	2000	50 cases 199 controls (from 31,453 electric utility workers cohort study)	nested case-control study	Occupational exposure	Adult leukemia	Arithmetic mean, $>13.67 Vm^{-1}$ -Employed < 20 years, OR=0.72 (0.07-7.83) <u>-Employed > 20 years, OR=5.08 (1.00-22.16)</u>

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Kheifets L et al.	2008	20 brain cancer studies 21 leukemia studies (published year:1993- 2007)	meta- analysis	Occupational exposure	<u>Leukemia</u>	Leukemia -Male, RR=1.1 (0.9-1.3) -Female, RR=1.1 (0.9-1.3)
Johansen et al.	2013	28,224 populationbased cohort of utility employees	cohort study	Occupational exposure	<u>Adult leukemia</u>	Leukemia Medium exposure (0.1 - .99 mT) 0.97 (0.51 to 1.85) High exposure(>1.0 mT) 1.04 (0.53 to 2.04)
Koeman et al.	2014	120,852 men and women aged 55 - 69 job-exposure matrix	cohort study	Occupational exposure	Myeloid leukemiasb	Cumulative exposure Background Reference first tertile M 1.30 (0.80 - .11) F0.72 (0.34 - .52) second tertile M 1.50(0.94 - .42) F 1.41 (0.79 - .51) third tertile M 1.28 (0.80 - .06) F 0.75 (0.37 - .55)

(5) 뇌종양과 관련된 역학적 연구

Minder 등이 18,070명에 대한 코호트 연구에서는 조차장 근무자에서 뇌종양 발생 비교 위험도가 조차장 근무자에서 5.06(1.21-21.2), 열차 근무원에서 2.67(0.75-9.62)로 나타났으며, Sorahan 등이 83,997 발전소 근무자를 대상으로 수행한 코호트 연구에서는 뇌종양의 SMR이 108(92-126), 누적 노출량이 $\geq 20.0\mu\text{T.y}$ 이상인 경우에는 $\text{RR}=0.69(0.33-1.44)$ 으로 나타났다. 이 코호트의 SMR 연구에서는 남성에서 $\text{SMR}=111(96-128)$ 여성에서 $\text{SMR}=58(25-115)$ 로 나타났다. Navas 등이 1,516,552 명의 스웨덴 인들 대상으로 수행한 코호트 연구에서는 유기용제와 동시에 $>0.20\mu\text{T}$ 이상 노출된 군에서 $\text{RR}=1.55(1.14-2.12)$ 납과 동시에 노출된 군에서 $\text{RR}=3.91(1.26-12.15)$ 으로 나타났다. Johansen 등이 28,224명을 대상으로 수행한 코호트 연구에서는 남성에서 $\text{OR}=0.69(0.38-1.25)$ 로 나타났다. Rööslä 등이 20,141명의 스위스 철도 근무자들에 대한 코호트 연구에서는 열차 승무원에서 HR이 1.28(0.58-2.86)로 나타났다. 이외에 직업과 관련된 환자 대조군 연구는 Marcilio, Baldi, Coble, Klaeboe, Villeneuve, Savitz 등의 연구가 존재하나 통계적으로 유의미한 결과는 없었다. 따라서 2000년 이후의 연구를 종합하였을 때에도 뇌종양 발생과 관련하여 일관된 역학적 증거는 부족한 것으로 판단된다.

- Database: Pubmed 검색
- 검색 변수: electromagnetic fields[mesh terms]
+brain neoplasms[mesh terms]
- 총 258개 결과 중
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 최종 15개 논문 선정

<표 III-12> 전자기장과 뇌종양과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Izabel Marcilio et. al	2011	1,857 leukemia, 2,357 brain cancer, 367 ALS cases, 4,706 controls	case-control study	Occupational exposure	Adult mortality	>0.3μT -Leukemia OR=1.61(0.91-2.86) -Brain cancer OR=1.16(0.6-2.07)
					-Leukemia -Brain cancer -Amyotrophic lateral sclerosis(ALS)	≤50m -Leukemia OR=1.47(0.99-2.18) -Brain cancer OR=1.10(0.74-1.64) -ALS OR=0.26(0.06-1.05)
Baldi, et. al.	2011	221 CNS tumor cases, 442 controls, aged ≥16	case-control study	Occupational exposure	Occupational exposure to ELF	-All brain tumors OR=1.50(0.48-4.70) -Gliomas OR=1.20(0.66-2.17) -Meningiomas OR=3.02(1.10-8.25) -Acoustic neuromas OR=1.23(0.26-5.75)
				-ELF -RF Residential exposure -Powerlines -Mobile phone use	All brain tumors -Gliomas -Meningiomas -Acoustic neuromas Powerline, ≤100m -All brain tumors OR=1.51(0.74-3.07) -Gliomas OR=0.66(0.21-2.07) -Meningiomas OR=2.99(0.86-10.40) -Acoustic neuromas OR=3.23(0.28-36.62)	

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Saito T, et. al	2010	55childhoodbraintumors, 99controls,aged 0-14 observationperiod:1999-2002	case-control 1 study	Residential exposure	Childhood brain tumors	0.2-0.4/ μ TOR=1.58(0.25-9.83) $\geq 0.4/\mu$ TOR=10.9(1.05-113)
Coble JB, et. al	2009	489gliomacases(241glioblastoma),197meningiomas, 799controls,fromUSA observationperiod:1994-1998	case-control 1 study	Occupational exposure	Glioma -Glioblastoma Meningioma	Maximumexposure $\geq 0.3\mu$ T -AllgliomaOR=0.8(0.6-1.1) -GlioblastomaOR=0.8(0.5-1.2) -MeningiomaOR=1.0(0.6-1.8) Cumulativeexposure $> 4.5\mu$ T -AllgliomaOR=0.8(0.5-1.2) -GlioblastomaOR=0.9(0.6-1.5) -MeningiomaOR=1.0(0.6-1.8)
Peizhi Li, Jet. al	2009	548 cases, 760 controls between 1980-2002, Québec and Ontario	case-control 1 study	Occupational exposure -Maternal exposure	Childhood brain tumor	AstroglialtumorOR=1.5(1.0-2.4) Entirepregnancyperiod -AstroglialtumorOR=1.6(1.1-2.5) -AllchildhoodbraintumorOR=1.5(1.1-2.2) Basedon Jobtitles,sewingmachineoperators -AstroglialtumorsOR=2.3(0.8-6.3) -AllchildhoodbraintumorsOR=2.3(1.0-5.4)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Röösli M, et. al	2007	20,141 Swiss railway employees between 1972-2002	cohort study	Occupational exposure	All-cause mortality	
					Tumor, all	Alpine train drivers
					Respiratory tumor	-Hodgkin's disease HR=3.32(0.30-36.89)
					Hematopoietic and lymphatic malignancies	-Leukemia HR=0.87(0.20-3.83)
					-Hodgkin's disease	-Myeloid leukemia HR=6.44(0.90-45.95)
					-Non-Hodgkin's disease	Train attendants
					-Leukemia	-Leukemia HR=1.07(0.54-2.11)
					-Lymphoid leukemia	-Myeloid leukemia HR=3.07(0.65-14.57)
					-Myeloid leukemia	-Brain tumor HR=1.28(0.58-2.86)
					Brain tumor	
Johansen C, et. al	2007	28,224 Danish utility workers	cohort study	Occupational exposure	Leukemia	>1.0 μ T
					Brain tumor	-Leukemia, Men OR=1.04(0.53-2.04)
					Breast cancer	-Brain tumor, Men OR=0.69(0.38-1.25)
						-Breast cancer, Women OR=1.04(0.32-3.34)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Nichols L, et. al.	2005	83,923 employees of the former Central electricity generating board of England and Wales between 1973-2002	cohort study	Occupational exposure	All causes of mortality	Male, all employees - Brain ca. SMR=111 (96-128) - Thyroid ca. SMR=87 (40-165) - Other endocrine gl. ca. SMR=128 (51-264) - Leukemia SMR=77 (64-92) - Endocrine, nutritional and metabolic diseases SMR=62 (53-72) - Accidents SMR=74 (66-82) - Suicide SMR=79 (69-92) Female, all employees - Brain cancer SMR=58 (25-115) - Thyroid ca. SMR=66 (2-367) - Other endocrine gl. ca. SMR=168 (4-934) - Leukemia SMR=107 (57-183) - Endocrine, nutritional and metabolic diseases SMR=51 (26-90) - Accidents SMR=78 (48-119) - Suicide SMR=88 (46-154)
Klaeboel, et. al	2005	454 brain tumor cases, 908 controls, aged ≥ 16 , from Norway observation period: 1980-1996	case-control study	Occupational exposure Residential exposure	All Brain tumor - Malignant brain tumors - Glioma - Meningioma - Others and unspecified	Time-weighted average, $\geq 0.20 \mu T$ - All Brain tumor OR=1.3 (0.7-2.3) - Malignant brain tumors OR=1.1 (0.5-2.4) - Glioma OR=1.3 (0.5-3.4) - Meningioma OR=1.2 (0.4-4.2) - Others and unspecified OR=1.3 (0.5-3.5)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Navas -Acíen et. al	2002	1,516,552 men, aged 25 -64, from Sweden between 1971-1989	cohort study	Occupational exposure -Chemicalco -exposure	Glioma Meningioma	>0.20y/T -Leadco-exposureRR=3.91(1.26-12.15) -Mercuryco-exposureRR=1.76(0.99-3.11) -Solventco-exposureRR=1.55(1.14-2.12)
VilleneuvePJ, et. al	2002	543 cases (214 astro cytoma, 198 gliobla stoma multiforme, 115 other, 16 unknown), 543 controls	case -control study	Occupational exposure	Allbraincancers -Astrocytoma -Glioblastomamultiforme -Other	Highestaverageoccupationexposure, > 0.6y/T -AllbraincancersOR=1.33(0.75-2.36) -AstrocytomasOR=0.59(0.24-1.45) -GlioblastomamultiformeOR=5.36(1.16-24. 78) -OtherOR=1.58(0.56-4.50)
SorahanT, et. al	2001	83,997 employees of the former Central electricity generating board of England and Wales between 1973-1997	cohort study	Occupational exposure	Braintumormortality Allcausesmortality	Brainca.SMR=108(92-126) AllcausesSMR=83(82-84) Cumulativeexposure, ≥20.0yT.y -BraintumorRR=0.69(0.33-1.44) -RR/10yT.y=0.88(0.72-1.07) -AllothercausesRR=0.88(0.82-0.96) -RR/10yT.y=0.96(0.95-0.98)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
MinderCE, et. al	2001	18,070 Swiss railway employees between 1972 -1993	cohort study	Occupational exposure	Allcausesmortality Allneoplasms -Leukemias -Brain tumors -Lungcancer	Shuntingyardengineer -Brain tumorsRR=5.06(1.21-21.2) Trainattendant -AllcausesRR=1.07(0.98-1.17) -AllneoplasmsRR=1.07(0.91-1.25) -LeukemiasRR=1.09(0.39-3.05) -Brain tumorsRR=2.67(0.75-9.62) -LungcancerRR=1.04(0.75-1.45)
SavitzDA, et. al	2000	164 men who died of leukemia cases, 145 men who died of brain cancer cases, 800 men controls	nested case -control study	Occupation exposure	Braincancer Leukemia	Cumulativeexposure,2-yearlag -4.75-12.20 μ T-yearsleukemiaRR=1.44 (0.53-3.91) -4.33-12.20 μ T-yearsbraincancerRR=1.79 (0.69-4.65)
FeychtingM, et. al	2000	235,635 children in Sweden, follow 0-14 years of age	cohort study	Occupational exposure -Maternalexposure -Paternalexposure	Childhood cancer	Paternalexposure $\geq$ 0.30 μ T -ChildhoodleukemiaRR=2.0(1.1-3.5) -Brain tumorsRR=0.5(0.3-1.0)

(6) 갑상선암과 관련된 역학적 연구

갑상선 암 발생과 관련하여 2000년대 이후 수행된 연구는 3건이 검색되었으나 자기장 노출과 관련항 유의미하게 위험도가 증가된 연구 결과는 없었다.

- Database: Pubmed 검색
- 검색 변수: electromagnetic fields[all fields]
+thyroid neoplasms[all fields]
- 총 17개 결과 중
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 최종 3개 논문 선정

<표 III -13> 전자기장과 갑상선암과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Katol, et. al	2015	89,527 WHIOS participants, aged 50-79 between 1993 -1998	cohort study	Residential exposure -Electric blanket use	Thyroid cancer	Electric blanket use -Ever use HR=0.98(0.72-1.32) -Former use HR=1.00(0.71-1.40) -Current use HR=0.95(0.65-1.39) -20+ years HR=0.92(0.55-1.52)
						Teachers at La Quintan middle school -All cancer RR(O/E)=2.78, p=0.000098 -Malignant melanoma RR=9.76, p=0.0008 -Thyroid cancer RR=13.3, p=0.011 -Uterus cancer RR=9.19, p=0.019 -Female breast cancer RR=1.34, p=0.24 15+ years RR=4.89, p=0.0034
Milham S, et. al	2008	137 teachers from California observation period: 1988-2007	cohort study	Occupational exposure	All cancers -Malignant melanoma -Thyroid cancer -Uterus cancer -Female breast cancer -Others	
Lopez V, et. al	2006	2,992,166 Swedish workers between 1971-1989	cohort study	Occupational exposure -Ionizing radiation -ELF MF	Thyroid cancer	>0.35 μT, ELF -Men RR=1.06(0.85-1.33) -Women RR=0.64(0.42-0.97)

2) 극저주파 자기장과 뇌심혈관계 질환

(1) 뇌심혈관계 질환과 관련된 역학적 연구

Johansen 등이 24,056명의 전기공에 대한 코호트 연구 결과 페이스메이커 삽입 위험도가 $\geq 1.0\mu\text{T}$ 노출을 20년 이상 한 군에서 1.06(0.7-1.6), 평균 노출량이 $\geq 1.0\mu\text{T}$ 인 군에서는 0.89(0.50-1.63)로 나타났다. Sorahan 등이 83,997 명의 전기회사 근무원들을 대상으로 수행한 코호트 연구에서는 전체 뇌심혈관계 질환으로 인한 사망비가 부정맥으로 인한 SMR이 81(79-83), 부정맥, 심근경색, 동맥 경화로 인한 사망에서도 위험이 증가된 질환은 관찰되지 않았다. 누적 노출량으로 평가 하였을 때도 특정 뇌심혈관계 질환의 비교위험도의 증가는 없었다. Rööslī, 등의 스위스 철도회사 근무원들을 대상으로 수행한 연구에서도 뇌심혈관계 질환의 위험도가 증가되는 소견은 관찰되지 않았으며, Cooper 등이 미국에서 307,012명에 대한 사망원인에 대한 비교위험도 연구에서도 $\geq 0.30\mu\text{T(TWA)}$ 에서의 위험도 증가는 관찰되지 않았으며, Fazzo 등의 거주민 대상 코호트 연구, Mezei 등의 환자-대조군 연구, Ahlbom 등의 환자 대조군 연구에서도 뇌심혈관계 질환의 위험도를 증가 시킨다는 역학적 증거는 찾을 수 없었다. 이는 부정맥, 뇌졸중, 심근 경색 등 뇌심혈관계 하위 분류의 질환에서의 연구에서도 마찬가지로의 결과를 보였다.

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] +cardiovascular diseases[all fields]
- 622개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 7개 결과

<표 III-14> 전자기장과 뇌심혈관계 질환과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Fazzol, et. al	2009	345residentslivinginadistanceto40mfrompowerline,fromItaly observationperiod:1954-2003	cohort study	Residential exposure	Allneoplasms	≥40yearsofresidence -AllneoplasmsSMR=2.61(0.84-8.09) -PrimarymalignantneoplasmsSMR=1.36(0.19-9.69)
					Primarymalignantneoplasms asms	-SecondaryandunspecifiedneoplasmsSMR=8.75(1.23-62.12) -HaematologicaldiseasesSMR=10.56(1.49-74.97)
CooperAR, et. al	2009	307,012 from National longitudinal mortality study, USA between 1980-1989	cohort study	Occupational exposure	Haematologicaldiseases Nervoussystemdiseases Ischaemicheartdiseases	30-39yearsofresidence -NervoussystemdiseasesSMR=0.54(0.20-1.44) -IschemicheartdiseaseSMR=1.78(0.74-4.28)
					Cardiovascularmortality -AIIICVD -Arrhythmia -Acutenyocardialinfarction -Atherosclerosis -Coronaryheartdisease	≥0.30μT,TWAbvJEM -AIIICVDHR=0.98(0.90-1.08) -ArrhythmiaHR=0.90(0.62-1.31) -AcutenyocardialinfarctionHR=1.01(0.85-1.14) -AtherosclerosisHR=0.85(0.39-1.87) -CoronaryheartdiseaseHR=1.02(0.83-1.23)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Martin Rössli, et. al	2008	20,141 Swiss railway employees 1972-2002	cohort study	Occupational exposure	Cardiovascular mortality	All cardiovascular mortality
					- Arrhythmia	- Intraindrivers HR=0.99(0.91-1.08)
					- Acute myocardial infarction	- Inshuntingyardengineers HR=1.13(0.98-1.30)
					- Atherosclerosis	- Intrainattendants HR=1.09(1.00-1.19)
					- Sub-acute and CHD	Arrhythmia related death
						- Intraindrivers HR=1.04(0.68-1.59)
						- Inshuntingyardengineers HR=0.58(0.24-1.37)
						- Intrainattendants HR=1.30(0.87-1.93)
						Acute myocardial infarction
						- Intraindrivers HR=1.00(0.73-1.36)
					Cardiovascular mortality	- Inshuntingyardengineers HR=1.56(1.04-2.32)
					- Arrhythmia	- Intrainattendants HR=1.14(0.85-1.53)
					- Acute myocardial infarction	Atherosclerosis related mortality
					- Atherosclerosis	- Intraindrivers HR=1.02(0.65-1.62)
					- Sub-acute and CHD	- Inshuntingyardengineers HR=1.34(0.63-2.85)
						- Intrainattendants HR=1.17(0.76-1.81)
						Sub-acute and chronic coronary heart disease
						- Intraindrivers HR=1.04(0.89-1.22)
						- Inshuntingyardengineers HR=1.37(1.09-1.72)
						- Intrainattendants HR=1.10(0.94-1.28)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Mezei G, et. al	2005	2,992 AMI, 697 arrhythmia, 197 atherosclerosis, 2,913 CCHD cases, ? Controls, from death certificate from US, 1986 & 1993	case -control study	Occupational exposure	Cardiovascularmortality -Acutenyocardialinfarc tion -Arrythmia -Atherosclerosis -Chroniccoronaryheartd isease	Exposure,High.adjustedforsmoking -AMIOR=0.96(0.76-1.22) -ArrythmiaOR=0.99(0.60-1.63) -AtherosclerosisOR=0.94(0.42-2.11) -CCHDOR=1.10(0.86-1.41)
Ahlbom Anderet. al	2004	fromSHEEPstudy (population-basedcase-con trol study of AMI in stockholm) 695cases,1133controls,45-7 0years men observation period:1992-1993	case -control study	Occupational exposure	Acute myocardial infarction	$\geq 0.3 \mu T$ RR=0.57 (0.36-0.89)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Tom Sorahan, et. al	2004	83,997 Central electricity generating board of England and Wales employees between 1973-1997	cohort study	Occupational exposure	Cardiovascular mortality	Overall CVDSMR=81(79-83) - Arrhythmia SMR=74(50-104) - AMISMR=86(83-89) - Atherosclerosis SMR=64(41-94) - Chronic/sub-acute coronary disease SMR=77(73-81) - Other disease SMR=78(74-81)
					- Acute myocardial infarction - Arrhythmia - Chronic/sub-acute coronary disease - Atherosclerosis - Other diseases	Cumulative exposure - Arrhythmia RR=1.18(0.84-1.66), 1.13(0.79-1.62) - AMIRR=1.03(1.00-1.07), 1.00(0.96-1.04) - Atherosclerosis RR=0.98(0.62-1.54), 0.94(0.56-1.55) - CCHDRR=1.02(0.96-1.07), 0.98(0.92-1.04) - Other disease RR=0.99(0.93-1.04), 0.94(0.89-1.00)
Johansen C, et. al	2002	24,056 utility workers between 1900-1993 linked to Danish pacemaker register	cohort study	Occupational exposure	Pacemaker implantation	$\geq 1.0\mu\text{T}$ and ≥ 20 years - SIR=1.06(0.7-1.6) Average exposure $\geq 1.0\mu\text{T}$ - RR=0.89(0.50-1.63)

3) 극저주파 자기장과 퇴행성 신경질환

(1) 신경계와 전자기장 노출

지각 임계 값을 초과하는 강렬한 전력 주파수 전계에 쥐가 만성적으로 노출 된 후 말초 신경 기능 및 신경근 기능에 대한 작은 영향이 보고되었습니다. 강렬한 펄스 자기장은 신경 조직을 직접 자극하기에 충분한 와전류를 유도 할 수 있습니다. 몇몇 논문은 ELF 전기장 또는 자기장에 노출되면 뇌파 특성이나 잠재적 활동을 유발할 수 있음을 나타낸다. 아무도 그 효과가 위험하다고 제안하지 않는다.

일부 연구에서는 신경 전달 물질 수준에 대한 ELF 전계 또는 자기장 노출의 영향을 보여 주었지만 결과는 서로 섞여 있으며 그 영향은 상대적으로 적었다.

(2) 알츠하이머 병에 대한 역학적 연구

Johansen 등의 덴마크 전기공에 대한 코호트 연구에 따르면 평균 1.0 μ T 이상 노출 군에서 RR=0.92(0.25-3.42) 3개월 이상 업무에 종사한 군에서 0.90(0.60-1.28)으로 나타났으며, Feychting 등의 스웨덴 센서스 자료에 의한 연구에서는 $\geq 0.5\mu$ T 이상 노출 군에서 2.3(1.6-3.3), Håkansson 등의 스웨덴 장비 기술자를 대상으로한 코호트 연구에서는 $>0.530\mu$ T 이상 노출 군에서 4.0(1.4-11.7), Qiu 등이 스웨덴 코호는 연구에서는 $\geq 0.2\mu$ T 이상군에서 RR=2.2(1.0-5.1)으로 위험도가 증가 하는 것으로 나타났다.직업적 노출에 대한 환자-대조군 연구에서는 Davanipour등의 연구에서는 중-고 노출군에서 OR=2.1(1.2-3.9) Seidler 등의 연구에서는 누적 노출량이 $\geq 16.6 \mu$ T*years인 군에서 1.8(0.3-10.6) Harmanci 등의 연구에서는 고토출군에서 4.02(1.02-15.78)로 나타났다. 비록 노출을 평가하는데 있어서 한계는 있으나, 알츠하이머의 경우 전자기장 노출과 관련이 있을 개연성이 있는 것으로 판단된다.

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] + alzheimer disease
[all fields]
- 63개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 10개 결과

<표 III - 15> 전자기장과 알츠하이머병과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Patrizia Frei; et. al	2013	20,575 AD cases, 113,217 controls	case-control study	Residential exposure - Distance from power line	Alzheimer's disease (AD) Vascular dementia (VD) Other dementia Parkinson's disease (PD) Multiple sclerosis (MS) Motor neuron disease (MND)	≥10 years, within 50m - ADHR=0.71(0.38-1.33) - VDRHR=1.14(0.50-2.57) - Other dementia HR=0.90(0.66-1.25) - PDHR=0.86(0.50-1.49) - MSHR=0.43(0.10-1.86) - MNDHR=0.51(0.14-1.86)
		10,207 VD cases, 55,969 controls				
		68,752 Other dementia cases, 376,897 controls				
		16,925 PD cases, 90,060 controls				
		8,234 MS cases, 34,535 controls				
Anke Huss; et. al	2009	2,990 MND cases, 14,996 controls	longitudinal study	Residential exposure - Distance from power line	Alzheimer's disease (AD) Senile dementia Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) Parkinson's disease (PD) Multiple sclerosis (MS) Cancer of the trachea, bronchus, lung Cancer of the esophagus Alcoholic liver disease	≤50m - ADHR=1.24(0.80-1.92) - Senile dementia HR=1.23(0.96-1.59) - PDHR=0.87(0.50-1.56) - MSHR=1.19(0.30-4.79) - Cancer of the esophagus HR=0.36(0.05-2.55) - Lung cancer HR=1.00(0.64-1.57)
		4,650,000 person from 2000 national census, Swiss national cohort, aged ≥30, between 2000-2005				

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Zoreh Davani	2007	1,763 cases, 543 controls	case -control study	Occupational exposure	Alzheimer's disease (AD)	Medium exposure ADOR=1.9(1.0-3.4), p=0.05 High exposure ADOR=2.9(0.9-9.6), p<0.08 High/Medium exposure ADOR=2.1(1.2-3.9), p<0.01
Andreas Seidler, et. al	2007	195 dementia cases, 229 controls	case -control study	Occupational exposure	Alzheimer's disease Vascular dementia	All dementia - Cumulative exposure $\geq 16.6 \mu T$ * years OR = 1.4(0.4-4.9) - Maximum exposure $> 1 \mu T$ OR=2.3(0.5-11.8) Alzheimer's disease - $\geq 16.6 \mu T$ * years OR=1.8(0.3-10.6) - $> 1 \mu T$ OR=2.1(0.2-23.6)
Qiu C, et. al	2004	931 Swedish aged ≥ 75 , 1987-1989, 1991-1993, 1994-1996	cohort study	Occupational exposure	Alzheimer's disease (AD) Dementia	Vascular dementia - $\geq 16.6 \mu T$ * years OR=2.7(0.64-12.0) - $> 1 \mu T$ OR=3.3(0.5-21.6) Men, $\geq 0.2 \mu T$ in lifetime - ADOR=2.2(1.0-5.1) - Dementia RR=2.0(1.1-3.7)
Harmanci, et. al	2003	57 probable AD, 127 controls, aged ≥ 70	case -control study	Occupational exposure Residential exposure	Alzheimer's disease (AD)	High occupational EMF exposure - ADOR=4.02(1.02-15.78)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
HåkanssonN, et. al	2003	Swedish engineering industry worker, 537,692 men and 180,529 women	cohort study	Occupation exposure	Amyotrophiclateralsclerosis (ALS) Alzheimer disease(AD)	>0.530 μ TADRR=4.0(1.4-11.7) >0.530 μ TALSRR=2.2(1.0-4.7)
Feychting, et. al	2003	4,812,646 from Swedish 1980 census between 1981-1995	cohort study	Occupational exposure	Mortality -Alzheimer's disease(AD) -Amyotrophiclateralsclerosis (ALS)	Men,exposed1970and1980, $\geq$ 0.5 μ T -ADRR=2.3(1.6-3.3) -ALSRR=0.6(0.4-1.0)
NoonanCW, et. al	2002	Death of males in the state of Colorado, 1987- 1996	case -referent study	Occupational exposure	Mortality -Alzheimer's disease(AD) -Amyotrophiclateralsclerosis (ALS) -Parkinson's disease(PD)	$\geq$ 0.3 μ T -ADOR=1.01(0.68-1.49) -ALSOR=0.77(0.37-1.59) -PDOR=1.50(1.02-2.19) Electricaloccupation -ALSOR=2.30(1.29-4.09)
Johansen C	2000	30,631 Danish utility workers between 1900 -1993	cohort study	Occupational exposure	CNSdiseases -Senile dementia -Presenility, including Alzheimer disease -Demyelination diseases -Parkinson disease -Cerebralpalsy -Epilepsy -ALS -Othemotoneuron diseases -Spinalmedullary disease	Men,average $\geq$ 1.0 μ T -Presenility(AD)RR=0.92(0.25-3.42) -ParkinsondiseaseRR=0.64(0.26-1.54) Men,>3monthutilitywork -Presenility(AD)SIR=0.90(0.60-1.28) -ParkinsondiseaseSIR=0.90(0.69-1.14) -ALS.SIR=1.72(0.96-2.83)

(3) 근육위축가쪽경화증(amyotrophic lateral sclerosis, ALS) 병에 대한
역학적 연구

Koeman 등이 58,279 men and 62,573 women에 대한 코호트 연구에서 HR이 1.93(1.05-3.55), Marcilio 등의 환자-대조군 연구에서 전자기장 발생원으로부터 50m 이내에서 근무한 경우 ALS의 OR이 0.26(0.06-1.05), Rööslä 등의 코호트 연구에서 누적 노출량이 10 μ Tyears 이상인 경우에는 ALS로 인한 사망 위험이 2.1%(-6.8%-11.7%) 증가되는 것으로 나타났다. Håkansson 등의 코호트 연구에서는 >0.530 μ T인 경우 비교위험도가 2.2(1.0-4.7)배로 증가하는 것으로 나타났다, Feychting, 등의 연구에서는 RR=0.6(0.4-1.0) Noonan 등의 연구에서는 0.77(0.37-1.59)으로 나타났다. ALS의 경우에는 역학적 연구의 일관성이 다소 떨어지는 것으로 판단된다.

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] + amyotrophic lateral sclerosis[all fields]
- 55개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 9개 결과

〈표 III-16〉 전자기장과 루게릭병과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
KoemanT,et. al	2017	58,279 men and 62,573 women, aged 55-69	cohort study	Occupational exposure	Amyotrophic lateral sclerosis (ALS)	EMF,exposurelevel3,dfertile -HR=1.93(1.05-3.55) 220-380kV,from50-<200m -OR=0.73(0.15-3.50)
SeelenM, et. al	2014	1,139 ALS cases, 2,864 controls	case-control study	Residential exposure	Amyotrophic lateral sclerosis (ALS)	50-150kV,from0-<50m -OR=1.05(0.40-2.75) Survivalanalysis -HR=1.27(0.87-1.86) -DistanceandageatonssetHR=1.22(0.89-1.67)
IzabelMaret. al	2011	1,857 leukemia, 2,357 brain cancer, 367 ALS cases, 4,706 controls	case-control study	Occupational exposure	Adultmortality -Leukemia -Braincancer -Amyotrophiclateral sclerosis(ALS)	>0.3μT -LeukemiaOR=1.61(0.91-2.86) -BraincancerOR=1.16(0.6-2.07) ≤50m -LeukemiaOR=1.47(0.99-2.18) -BraincancerOR=1.10(0.74-1.64) -ALScrudeOR=0.26(0.06-1.05)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
AnkeHusset. al	2009	4650,000 person from 2000 national census, Swiss national cohort, aged ≥ 30 , between 2000-2005	longitudinal study	Residential exposure -Distance from power line	Alzheimer's disease(AD) Senile dementia Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) Parkinson's disease(PD) Multiple sclerosis(MS) Cancer of trachea, bronchus, lung Cancer of the esophagus Alcohol liver disease	$\leq 50m$ -ADHR=1.24(0.80-1.92) -Senile dementia HR=1.23(0.96-1.59) -PDHR=0.87(0.50-1.56) -MSHR=1.19(0.30-4.79) 50-<200m -ALSOR=0.85(0.46-1.59)
Röösli M, et. al	2007	20,141 Swiss railway employees, between 1972-2002	cohort study	Occupational exposure	Mortality -Senile dementia -Alzheimer's disease(AD) -Amyotrophic lateral sclerosis(ALS) -Multiple sclerosis -Parkinson's disease	Train drivers -Senile dementia HR=1.96(0.98-3.92) -ADHR=3.15(0.90-11.04) Mortality increased every 10 μ T years of cumulative exposure -Senile dementia 5.7%(1.3%-10.4%) -AD 9.4%(2.7%-16.4%) -ALS 2.1%(-6.8%-11.7%)
Håkansson et. al	2003	Swedish engineering industry worker, 537,692 men and 180,529 women	cohort study	Occupational exposure	Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) Alzheimer's disease(AD)	$>0.530\mu$ TADRR=4.0(1.4-11.7) $>0.530\mu$ TALSRR=2.2(1.0-4.7)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Feychting et. al	2003	4,812,646 from Swedish 1980 census between 1981-1995	cohort study	Occupational exposure	Mortality - Alzheimer's disease (AD) - Amyotrophic lateral sclerosis (ALS)	Men, exposed 1970 and 1980, $\geq 0.5 \mu\text{T}$ - ADOR = 2.3 (1.6-3.3) - ALSRR = 0.6 (0.4-1.0)
Noonan CW, et. al	2002	Death of males in the state of Colorado, 1987-1996	case -referent study	Occupational exposure	Mortality - Alzheimer's disease (AD) - Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) - Parkinson's disease (PD)	$\geq 0.3 \mu\text{T}$ - ADOR = 1.01 (0.68-1.49) - ALSOR = 0.77 (0.37-1.59) - PDOR = 1.50 (1.02-2.19) Electrical occupation - ALSOR = 2.30 (1.29-4.09)
Johansen C	2000	30,631 Danish utility workers between 1900-1993	cohort study	Occupational exposure	CNS diseases - Senile dementia - Presenility, including Alzheimer's disease - Demyelination diseases - Parkinson's disease - Cerebral palsy - Epilepsy - ALS - Other motor neuron diseases - Spinal medullary disease	Men, average $\geq 1.0 \mu\text{T}$ - Presenility (AD) RR = 0.92 (0.25-3.42) - Parkinson's disease RR = 0.64 (0.26-1.54) Men, > 3 months utility work - Presenility (AD) SIR = 0.90 (0.60-1.28) - Parkinson's disease SIR = 0.90 (0.69-1.14) - ALS SIR = 1.72 (0.96-2.83)

(4) 파킨슨 병에 대한 역학적 연구

Noonan 등이 사망원인으로 위험도를 평가한 연구에서는 $\geq 0.3\mu\text{T}$ 이상 노출인 경우 1.50(1.02-2.19)로 위험도가 증가하는 소견으로 보였고, Johansen 등의 연구에서는 평균 $1.0\mu\text{T}$ 이상 노출된 군에서 0.64(0.26-1.54)로 나타났다. 파킨슨 병의 경우 그 연구의 수가 적어 판단하기에는 어려움이 있다.

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] +parkinson disease[all fields]
- 86개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 2개 결과

〈표 III-17〉 전자기장과 파킨슨병과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
NoonanCW, et. al	2002	Death of males in the state of Colorado, 1987-1996	case -referent study	Occupational exposure	Mortality -Alzheimer's disease(AD) -Amyotrophic lateral sclerosis (ALS) -Parkinson's disease(PD)	$\geq 0.3\mu T$ -ADOR=1.01(0.68-1.49) -ALSOR=0.77(0.37-1.59) -PDOR=1.50(1.02-2.19) Electrical occupation -ALSOR=2.30(1.29-4.09)
Johansen C	2000	30,631 Danish utility workers between 1900-1993	cohort study	Occupational exposure	CNSdiseases -Senile dementia -Presenility, including Alzheimer disease -Demyelination diseases -Parkinson disease -Cerebral palsy -Epilepsy -ALS -Other motor neuron diseases -Spinal medullary disease	Men, average $\geq 1.0\mu T$ -Presenility(AD)RR=0.92(0.25-3.42) -Parkinson diseaseRR=0.64(0.26-1.54) Men, >3 month utility work -Presenility(AD)SIR=0.90(0.60-1.28) -Parkinson diseaseSIR=0.90(0.69-1.14) -ALS SIR=1.72(0.96-2.83)

4) 극저주파 전자기장과 생식기계 이상

(1) 생식기계 및 발달 장애에 대한 실험연구

병아리와 포유 동물 종을 이용한 ELF 전기 및 자기장 효과에 대한 노출의 생식 발달 효과에 대한 연구가 수행되었다. 발달 첫 2-3 일 동안 EMF 효과에 관한 연구와 관련하여 데이터는 결정적이지 않았다. 양의 관계가 밝혀진 일부 연구가 보고되었지만 연구 결과의 제언은 거의 실패하였다. 또한 다른 여러 연구에서 아무런 효과가 없다고 판명되었다. 포유류 종을 사용한 연구는 인간 및 전반적인 영향에 더 관련이 있으며, 자료는 ELF-EMF 노출로 인한 생식 독성에 대한 가설을 뒷받침하지 못하였다. 설치류 및 소형 돼지의 발생에 대한 전력 주파수 전계에 대한 노출의 영향에 대한 대부분의 연구는 부정적이었다. 유사하게, 일부 연구에서 경미한 골격 변이 또는 변이의 빈도의 증가를 지적했지만, 노출은 설치류 재생 및 발달에 거의 영향을 미치지 않았다.

(2) 생식기계 이상과 관련된 역학적 연구

불임에 관한 연구에서는 유의미한 연구 결과가 없었으나, 자연 유산의 경우 Mahmouda 등의 연구에선 전자기장 노출이 비교적 높은 군에서 오즈비가 1.85(1.38-2.47)로 위험도가 증가하는 것으로 나타났으며, Lee 등의 연구에서는 평균 노출이 $\geq 0.128\mu$ 인 군에서 1.7(0.9-3.2) 고노출군에서는 2.3(1.2-4.4)으로 나타났으며, Li 등의 연구에서도 최고 노출량이 $1.6\mu T$ 이상인 경우 비교위험도가 1.8(1.2-2.7)으로 증가되는 소견을 보였다. 단, 이들 연구의 경우 환경적 노출을 평가한 연구이다. 다른 연구로는 Sadeghi 등의 연구에서는 환경적 노출에 의해 조기 출산, 출생시 이상의 위험도가 증가하는 것으로 보고한 바가 있다.

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] +abortion, spontaneous[all fields]
- 56개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 4개 결과

- Pubmed 검색
- electromagnetic fields[all fields] +premature birth[all fields]
- 10개 결과
 - > ELF-EMF 관련 논문만 선별
 - > review, meta-analysis 제외
 - > in vitro 제외
 - > 동물실험 제외
 - > 출간시기 2000년대 이후
- 3개 결과

<표 III - 18> 전자기장과 유산과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Shamsi Mahmet. al	2013	58 SA <14 weeks cases, 58 pregnant women at 14 weeks controls	case -control study	Residential exposure -Maternal exposure	Spontaneous abortion (SA)	EMF measured by test in house -Cases: $0.403 \pm 0.311 \mu T$ -Controls: $0.140 \pm 0.146 \mu T$ - $p < 0.001$ SAOR=1.85(1.38-2.47)
LecGM, et. al	2002	177 cases, 550 controls	nested case -control study	Residential exposure -Maternal exposure	Miscarriage	Time-weighted average - $\geq 0.128 \mu T$ TOR=1.7(0.9-3.2) Rate-of-change metric - $\geq 0.094 \mu T$ TOR=3.1(1.6-6.0) Maximum value - $\geq 3.5 \mu T$ TOR=2.3(1.2-4.4)

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
De-KunLi, et. al.	2002	969women&childreninutero fromUSA observationperiod:1996-1998	cohort study	Occupationalexposure -Maternalexposure Residentialexposure -Maternalexposure	Miscarriage	DailyMaximumexposure $\geq 1.6\mu T$ -RR=1.8(1.2-2.7) -0-9weeksatmiscarriageRR=2.2(1.2-4.0) -Susceptiblepopulations(subfertility,multiple miscarriage)RR=3.1(1.3-7.7) -Susceptible0-9weeksatmiscarriageRR=4.7(1.4-16.0) -0-9weeksatmiscarriage,measurementattypicaldayRR=5.7(2.1-15.7)
LeeG.M, et. al	2000	5,342 pregnant women between 1990-1991, California	cohort study	Residentialexposure -Maternalexposure	Spontaneous abortion (SA)	Electricblanketsuse -OR=0.8(0.5-1.1) -LowsettingsformostofthenightOR=0.5(0.3-1.0) -Highsettingsfor ≤ 1 hourOR=3.0(1.1-8.3) WaterbedsuseOR=0.9(0.7-1.2)

<표 III-19> 전자기장과 조산과의 관련성에 대한 역학연구

저자 (Author)	년도 (Year)	연구대상 (Participants)	디자인 (Study design)	비교(위험요인) Exposure (comparison)	결과변수 (Outcome)	연구결과 (Results)
Sadeghi T, et. al	2017	135 cases of singleton live spontaneous preterm birth, 150 singleton term live birth controls	nested case -control study	Residential exposure -Maternal exposure	Preterm birth (PTB) Birth defect Newborn death	<600m -PTBOR=3.28(1.37-7.85) -Birth defect OR=5.05(1.52-16.78) -Newborn death OR=0.847(0.093-7.746)
de Vocht F, et. al	2014	140,356 women & children in utero (singleton live births) from UK observation period: 2004-2008	cohort study	Residential exposure -Maternal exposure	Low birth weight (LBW) Small for gestation age (SGA) Spontaneous pre-term birth (SPTB) Pre-term birth (PTB)	≤50m -LBWOR=2.52(0.88-7.26) -SGAOR=2.51(0.95-6.61) -SPTBOR=2.00(0.61-6.59) -PTBOR=1.73(0.52-5.70)
Auger N, et. al	2011	707,215 live singleton births in the Montréal and Québec between 1990-2004	cohort study?	Residential exposure -Maternal exposure	Preterm birth (PTB) Low birth weight (LBW) Small for gestation age (SGA)	<50m from power-line -PTB, 37wks OR=0.97(0.89-1.04) -LBW, <2500g OR=0.97(0.89-1.05) -SGAOR=1.05(1.00-1.12) 50 - 75m from power-line -SGAOR=0.88(0.81-0.95)

3. 국내 활선 작업자의 건강영향 평가를 위한 역학적 연구 설계

1) 연구 대상 설정

국내 활용 가능한 활선 작업자의 집단의 경우, 활선 작업자를 수행할 수 있는 자격증을 바탕으로 하는 데이터베이스 구축, 한국전력공사로부터 배전 작업을 하청 받는 사업장으로부터 고용 이력을 수집하는 방법, 건설 노동 조합원의 조합원 집단으로부터 정보를 수집하는 세 가지가 있다. 한국전력으로부터 직접 활선 작업자에 대한 정보를 수집하는 것은 불가능하였다. 즉, 직접적으로 전기장 주변에서 근무하는 배전원들의 경우 한국전력공사에서 고용하여 관리하는 것이 아니고, 한국전력공사에서 전기공사를 수주 받은 소규모 업체에서 관리하기 때문에 직접적으로 한국전력공사에서 이들 집단에 대한 정보를 획득하는 것은 불가능하다.

활선 작업자의 자격증을 즉, 무정전 공법을 수행할 수 있는 면허증을 발급 이력을 이용하여, 이들 작업자가 무정전 공법을 수행한다는 가정하에 동일 노출군으로 평가하여 연구대상할 수 있는 가능성을 검토 했으나, 이들 면허 발급자가 50,000건 정도이나 실제적으로 배전원으로 작업을 수행하는 집단과 일치하지 않으며, 대부분의 경우 면허를 가지고 있으나 다른 업무를 수행할 가능성이 있으며, 이들에 대한 노출 여부를 판단하는 것이 어렵기 때문에 이를 연구 집단으로 하는 것은 어려웠다.

이에 따라 활선 작업자의 노출을 평가할 수 있는 연구 집단을 구성하는 것은 한국전력공사의 전기공사를 하청받는 사업장으로부터 종사자의 고용이력에 대한 정보를 획득하는 방법과 배전원들의 노조로부터 고용이력을 획득하는 두 가지 방법이 있다.

사업장으로부터 고용이력을 획득하는 방법은 우선, 사업장 자체가 전국적으로 소규모 업체로 분산되어 있고, 이들 업체의 경우 설립과 폐쇄하는 빈도가 높으며, 폐쇄된 업체의 고용이력을 알 수 없기 때문에 현실적으로 지속적인 추적관찰을 위한 연구 대상으로 판단하는데는 어려움이 있다.

배전원들의 노동조합으로부터 고용정보 및 설문 조사를 통하여 조합원들의 노출이력을 조사하는 하여 연구 대상으로 하는 경우에는, 전체 활선작업자 중 조합원으로 구성된 사람만 연구대상으로 하여 연구 대상 자체는 감소될 가능성이 있다. 하지만 노출과 관련된 정보를 획득하는 데 있어서는 가장 안정적인 데이터베이스를 구축할 수 있는 가장 현실적인 방법으로 판단되었다. 하지만, 노동조합의 경우에는 과거로부터 모여진 고용이력과 관련된 자료가 존재하지 않기 때문에 역학적 연구를 수행하는 당시의 근로자를 대상으로 연구집단을 정의할 수 밖에 없으며, 이 경우 후향적인 연구는 불가능하며, 전향적인 역학적 연구를 수행할 수 밖에 없다는 한계가 있었다.

본 연구진에서는 전국건설노동조합 전기원 분과 집행부와 연구회의를 개최하여 역학적 연구를 수행하는 과정에 대한 설명 및 의견 교환을 진행하였으며, 전기원 분과 지회장들을 대상으로 연구 설명회를 개최하였으나, 노동조합 자체 내의 의견이 조율 되지 않아 이들을 대상으로 노출력 조사 및 연구 관련 정보를 수집하지 못 하였다.

2) 역학적 연구 대상 질환 및 역학적 연구 설계

본 연구진에서는 해외 문헌 및 보고서를 바탕으로 전자기장과 관련되어 있는 증거가 충분한 대상 질환을 선별하는 과정을 수행하였으나 대상 질환의 경우 실험 연구, 역학적 연구 양측에서 관련성의 증거가 확립된 것은 없었다.

단, 암과 관련해서는 유방암의 경우 확립되지는 않았지만, 최근의 역학적 연구의 증거가 직업적 노출과 관련해서는 있는 편이며, 퇴행성 신경 질환 중 알츠하이머 병의 경우 발생과 관련성이 있을 개연성이 존재한다고 판단된다.

활선작업자의 경우 모든 구성원이 남성으로 역학적 증거가 존재하는 유방암 발생의 빈도가 매우 낮다. 알츠하이머 병의 경우, 연령 표준화 유병률은 5-7%이며 60대 이상에서는 4.7-8.7%의 유병률을 보이고 있다. 알츠하이머 병의 발생은 연령의 증가와 밀접한 관련이 있으며, 60세 이후에 10년마다 유병률이 두 배 증가

되는 것으로 나타난다.

현재의 노조원 자료를 바탕으로 연구체계를 구성할 경우에는 현재 존재하고 있는 노조원의 자료를 수행할 수 밖에 없다. 무정전 자격증이 생기고 이를 바탕으로 활선 작업을 수행하는 것이 본격적으로 시작된 시기는 2002년으로 현재까지 15년 가량 활선 작업을 수행한 인구가 존재하며, 이들의 경우에 대해 후향적인 연구를 수행할 경우에는 대상 질환이 되는 질환에 대한 역학적 연구가 가능하겠지만 퇴직자들에 대한 자료는 존재하지 않기 때문에 이러한 연구는 불가능하다. 따라서 현재의 노조원을 대상으로 연구를 수행한다면 이들의 연령을 바탕으로 알츠하이머 병에 대한 연구를 수행하는 경우에는 연구대상이 최대 3000명 가량(정확한 자료는 제공 받지 못했음)을 대상으로 알츠하이머 발생 유병율이 높고 편에 드나 발생 시기가 연령과 밀접한 관련이 있기 때문에 이에 대한 역학적 연구는 실제로는 수행하기 어렵다.

따라서 활선 작업자에 대한 연구의 경우, 코호트의 형태로 어떤 질환의 발생 유무를 관찰하여, 위험도를 평가하는 것은 막대한 연구기간이 필요하다.

그러나, 전자기장 노출 평가에서 관찰되었듯이, 활선 작업자의 경우 매우 높은 전자기장 노출이 발생하는 연구대상이다. 특히 직업적 역학적 연구의 경우에도 그 노출량의 평가가 부정확한 경우가 많았으며, 대부분의 경우 본 연구의 노출군보다 노출 수준이 크게 낮았고, 1mT를 초과하는 노출이 있는 군을 분리하여 평가하는 연구가 없는 관계로 이 노출군이 역학적 연구에서 존재하는 노출군과는 다른 성격을 가진 노출군일 가능성이 존재한다. 따라서 이들에 대해서 지금까지 제기되었던 전자기장 관련 질환 및 다른 질환 노출의 가능성은 충분히 존재하는 것으로 보인다. 특히, 이들의 경우 사고나 감전에 발생 건수를 체계적으로 집계하는 시스템이 존재하지 않기 때문에 이에 대한 감시체계적인 역학 연구를 수행하는 것이 필요하다. 이를 바탕으로 추적 관찰 연구를 수행하면서 중립적인 진단 자료와의 연계를 통하여 특정 질환의 발생 빈도를 수집하고 수집된 자료를 활용한 사례 조사를 수행하는 것이 필요하다.

IV. 고찰 및 결론

1. 극저주파 자기장의 개인노출 평가

직접활선작업 4개소, 임시송전공법 작업 3개소, 직접송전공법 작업 1개소, 사선 작업 2개소 등 10개의 배전공사 현장의 전기원 37명을 대상으로 극저주파 자기장의 개인 노출수준을 평가하였다.

극저주파 자기장의 산술평균은 $1.30 \pm 15.54 \mu\text{T}$ 이었고 측정된 값의 범위는 $0.5 \sim 1,671.5 \mu\text{T}$ 이었으며 Ceiling 값의 범위는 $8.5 \sim 1,671 \mu\text{T}$ 이었다. 60 Hz 주파수 대역을 갖는 우리나라 전기는 ELF-MF 최대값으로 평가하는 것이 적절한 평가방법으로 미국 ACGIH와 ICNIRP의 직업인 노출기준($1,000 \mu\text{T}$, Ceiling)과 우리나라의 전자파인체보호기준의 직업인 노출기준($417 \mu\text{T}$, Ceiling)을 초과한 경우가 2명의 작업자에서 관찰되었다.

자기장 노출패턴은 작업시간 동안 대부분 $1 \mu\text{T}$ 미만의 자기장에 노출되고 있다가 순간적으로 고수준의 자기장에 노출되는 피크노출이 발생되었으며, 관찰대상 37명 중 24명에서 $100 \sim 300 \mu\text{T}$ 범위에서 빈번하게 발생되었다. 그리고, 활선 작업의 유무와 상관없이 전력선 근처에서 작업하는 것만으로도 피크노출 등 고수준의 자기장에 노출되는 것을 확인할 수 있었다.

자기장 세기별 노출빈도는 노출시간의 약 90%가 $1 \mu\text{T}$ 미만이었고 $100 \mu\text{T}$ 초과하는 자기장 노출은 채 0.1%가 되지 않았다. 반면에 노출량은 $1 \mu\text{T}$ 미만에서 34.34%로 상대적으로 낮았고 $100 \mu\text{T}$ 초과시에는 21.45%로 매우 높았다. 이러한 분석결과로 볼 때 배전작업시 작업시간 동안 대부분 낮은 수준의 자기장에 노출되고 있지만 피크노출이 많을 수록, 자기장 세기가 클 수록 노출량이 급격히 증가하게 되므로 피크노출이 노출량에 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있었다.

기존 연구에서 다양한 직종에 대해 자기장 측정한 연구결과를 <표 IV-1>에

나타내었는데 이 결과 모두 Emdex Lite 등을 착용시켜 측정한 개인 측정결과였다. 다만, 2003년 전기학회 논문지에 수록된 연구결과는 일부 직종만 최대 자계치를 서술하고 있어 Ceiling 값 비교에는 제한적이었다.

10개 현장에서 측정한 배전 작업자의 극저주파 자기장의 평균값은 $1.30 \mu\text{T}$ 이었지만 본 연구에 사용된 High Field용 자기장 측정기의 최저 수치가 $0.5 \mu\text{T}$ 로 이 수치보다 낮은 값이 반영되지 않아 실제 평균값은 $1.30 \mu\text{T}$ 보다 낮게 된다. 하지만, 이러한 제한점을 감안하여 평가한다 할지라도 배전 작업자의 자기장 평균 노출수준은 기존 문헌에서 확인된 변전소 근무자의 평균 노출수준 $0.43 \mu\text{T}$, 용접 작업자 $0.95 \mu\text{T}$, 반도체공장 근로자 $0.78 \mu\text{T}$, LCD공장 근로자 $0.51 \mu\text{T}$ 보다 높다고 판단할 수 있다. 그리고, Ceiling 값을 비교하면 무정전 작업자의 Ceiling 값의 범위는 $8.5 \sim 1,671.5 \mu\text{T}$ 로 비교적 자기장 노출수준이 높은 반도체공장 근로자의 $123.3 \mu\text{T}$, LCD공장 근로자의 $43.5 \mu\text{T}$ 보다 훨씬 높았으며 변전소 근무자의 최대치 $23 \mu\text{T}$ 보다도 훨씬 높았다.

미국 NIOSH 홈페이지에서 무정전 작업자와 유사한 직종으로 생각되는 전기라인 작업자와 전기원의 자기장 측정결과를 찾을 수 있었다. 전기라인 작업자의 평균 중위값은 $0.25 \mu\text{T}$, 자기장 범위는 $0.05 \sim 3.48 \mu\text{T}$ 이고 전기원은 평균 중위값은 $0.54 \mu\text{T}$, 자기장 범위는 $0.05 \sim 3.40 \mu\text{T}$ 이었다. 이번 연구결과와 비교하였을 때 최대값 기준으로 최소 2배에서 최대 480배까지 우리나라 배전 작업자의 자기장 노출수준이 높았다. 배전 전기원 작업환경에 대한 국가 간 비교 연구(2012)에 따르면 미국의 배전선로는 시가지 대부분이 지중화 되어 있고 시가지 외 지역에서는 수용가 인입이 거의 없기 때문에 전주 장주들은 매우 단조로워서 핫 스틱을 사용하는 간접 활선작업을 주공법으로 사용하고 있으며 불가피한 경우에 한해서만 직접 활선공법을 적용한다고 한다. 활선상태에서 직접 손으로 전선을 잡고 벗기고 연결하는 우리나라의 작업방식과는 달리 보조도구를 사용하며 멀리서 거리를 두고 떨어져서 하는 작업방식으로 인해 미국의 조사결과는 우리나라 배전 작업자의 전자파 노출과는 다른 양상으로 이해할 수 있을 것이다.

<표 IV-1> 직업별 평균 극저주파 자기장의 노출수준 비교

직업	시료수 (명)	개인노출량(μ T)		범위 (μ T)	출처
		산술평균	표준편차		
회사원	26	0.05		0.026~0.148	한국전기 연구원, 전기학회 논문지 (2004)
변전소 근무자	3	0.43		0.376~0.548	
일반제조업 근로자	32	0.07		0.045~0.340	
가정주부	31	0.06		0.016~0.164	
학생	27	0.02		0.005~0.348	
대형슈퍼마켓 백화점	23	0.09		0.029~0.799	
병원 근무자	28	0.18		0.073~2.213	
요식업 근무자	8	0.08		0.067~0.370	
전철 기관차 운전자	27	0.17		0.060~0.318	NIOSH (2002)
용접작업자		0.95		0.140~6.61	
임업 및 벌목작업자		0.76		0.060~9.550	
봉제사		0.68		0.090~3.200	OSHRI (2010)
반도체공장 근로자	81	0.73	1.29	BG~123.2	
- Fab	72	0.81	1.41	BG~123.2	
- Assembly	9	0.16	0.17	0.01~8.78	
LCD공장 근로자	78	0.51	0.43	0.03~43.5	OSHRI (2016)
- Fab	61	0.51	0.45	0.03~43.5	
- Module	13	0.56	0.27	0.68~10.5	
- ROS 룸	4	0.50	0.02	0.5~2.5	
배전 작업자	37	1.30	15.54	0.5~1,671.5	OSHRI (2017)
- 무정전 작업	28	1.28	16.47	0.5~1,671.5	
· 직접활선공법	14	1.09	3.96	0.5~257.5	
· 임시송전공법	10	2.36	39.11	0.5~1,671.5	
· 직접송전공법	4	0.93	6.85	0.5~276.5	
- 사선 작업	9	1.39	9.02	0.5~395.5	

자기장에 영향을 미치는 주요 인자는 전류량과 발생원과의 거리이다. 전류량이 자기장에 영향을 미치는 요인이기는 하나 발생원과의 거리가 가장 큰 변수로 순간적으로 높은 수준의 자기장이 측정된 이유는 측정장비가 배전선로에 접촉하였거나 근접했을 때 측정된 결과로 추정된다.

본 연구에서는 전류량 등 배전선로의 특성을 파악하지 못한 채 자기장 측정이 이루어진 제한점이 있다. 무작위적으로 배전공사 현장을 선정해서 측정한 결과이기도 하지만 100~300 μT 의 자기장에 수시로 노출되고 있는 것이 확인되었고 1,000 μT 를 초과하는 사례도 확인되었다. 이러한 조사결과로 볼 때 여름철, 겨울철 또는 지역적으로 전류량이 큰 선로에 근접하여 배전작업이 이루어진다면 수시로 고수준의 자기장에 노출될 수 있으며 우리나라의 전자파인체보호기준의 직업인 노출기준 417 μT 뿐만 아니라 ACGIH 노출기준인 1,000 μT 를 초과하는 자기장에도 노출될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 전자기장의 건강 영향

본 연구진에서는 기존의 문헌, 특히 WHO의 보고서를 근거로 전자기장의 건강 영향을 암, 퇴행성 신경질환, 생식기계 질환, 뇌심혈관계 질환으로 분류하여 최신의 연구 결과를 바탕으로 직업적 노출과의 관련성에 대한 평가를 하였다. 문헌 고찰 결과에서는 모든 질환군에서 확립된 증거가 제시되는 것은 없었으나, 유방암과 알츠하이머 질환이 직업적 전자기장과 관련성 있을 개연성이 존재하는 것으로 보인다.

하지만, 2000년대 이후 수행된 극저주파 전자기장 노출과 건강 영향에 대한 해외 기구, 정부의 과학자문위원회 등에서 내린 결론에서는 현재까지의 과학적 증거로 어떠한 건강 영향이 있다고 볼 수 없다고 보고 하였다.

2007년 DCMNR 보고서에서는(DCMNR, 2007) 전자기장과 발암성에 관한 기전 설명의 불가능성, 동물실험연구 및 역학적 연구의 일관성 부족으로 어떠한 건

강영향도 확실한 증거를 가지고 있다고 볼 수 없다고 결론을 내렸다.

WHO에서는 2007년 Environmental Health Criteria (EHC) report on ELF EMF을 발간하였고(WHO, 2007), 여기에서는 ELF-EMF가 어떠한 암 또는 다른 질환의 원인으로 볼 수 없다고 보고하였다. 이전의 역학적으로 제한적인 근거가 존재하는 아동에서의 백혈병에서도 이를 뒷받침할 수 있는 기전적인 설명이나 실험적인 증거가 부족한 것으로 평가하였으며, 모든 암종 또는 암이 아닌 다른 건강영향에 대해서도 증거가 부적절한(inadequate) 것으로 평가하였다.

유럽집행위원회의 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks(SCENIHR)에서는 2007년, 2009년, 2015년 ELF-EMF의 건강영향에 대한 보고서를 발간하였다. 2015년 SCENIHR 보고서에서는 어떠한 건강영향에 대해서도 유의미한 결론을 내릴 수 없다고 보고하였다. 또한 이 보고서에서도 아동에서의 백혈병 발생과 관련된 역학적인 증거는 증가하고 있으나, 이를 뒷받침할 수 있는 실험적인 연구 결과나 기전과 관련된 설명이 없다는 점을 지적하였다(SCENIHR, 2015).

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)의 2010년 보고서에서도 50 - 60 Hz의 자기장 노출과 관련하여 다양한 암종과 관련된 연구에서 최초의 유관한 연구들에서의 반복되어 결론이 나타나는 것이 없기 때문에 발암성과 관련된 결과가 있다고 말하기 어려우며, 실험연구들에서도 부정적인 결과가 나타나는 연구가 대부분이기 때문에 발암성과 관련하여 뒷받침할 수 없다고 결론 내렸다(ICNIRP, 2010).

Swedish Radiation Protection/Safety Authority (SSI/SSM)의 연례보고서에서도 위와 유사하게 유의미한 건강영향에 대한 증거가 부족하다고 결론내렸으며(SSI/SSM, 2015), European Health Risk Assessment Network on EMF Exposure의 2012년 보고서에서는 다양한 건강영향과 ELF-EMF노출과의 관련성을 뒷받침할 강력한 증거는 없는 것으로 보고하였다(EFHRAN, 2012). 캐나다의 경우에도 Federal, Provincial, Territorial Radiation Protection Committee of

Canada의 2008년 보고서에서도 ELF-EMF노출과 암과 같은 안좋은 건강영향이 관련이 있다는 증거는 불충분한 것으로 보고하였다(FPTRPC, 2008). 뉴질랜드의 Ministry of Health of New Zealand evaluated의 2015년 보고서에서도 이와 유사한 결론을 내렸다(MHNZ,2015).

BioInitiative Report(BIR)의 경우에는 위의 결론과 상반된 결론을 제기한 바도 있다. BIR의 경우 연구 기관 및 연주 주체에 관심이 있는 개인이 스스로 조직한 조직으로 어떠한 정부나 조직의 영향력을 받지 않는 집단으로 볼 수 있다. 이들의 2012년의 보고서를 통하여 ELF-EMF 노출과 관련하여 여러 가지 건강영향이 발생할 수 있으며, 현재의 노출 수준의 제한은 너무 낮다고 보고한 바가 있다. 이들의 경우 peer-review 되지 않은 스스로 보고한 연구에 대한 결론을 제시하고 있기 때문에 다른 연구기관들에서는 과학적 증거의 가중치 및 중요도에 대한 판단없이 결론을 제시하고 있다는 비판을 받고 있다(Rodney 2008, COMAR 2008).

이러한 연구보고서들은 인간에 대한 역학적 증거, 실험 연구에서의 결과, 기전에 대한 가설 연구를 중심으로 과학적 증거의 증거 능력에 가중치를 주어서 종합적으로 평가를 한다. 따라서 이들 연구보고서의 증거 능력에 대한 검증은 현재 과학적 증거를 종합한 결과로 볼 수 있다. 하지만, 전자기장에 대한 연구의 시작이 아동에서 발생하는 백혈병 특히 림프모구성 백혈병에 대한 역학적 증거를 바탕으로 시작되었기 때문에 이들 연구에서도 역학적 증거들을 뒷받침할 수 있는 실험연구 및 역학적 증거, 기전 설명을 위한 연구들이 다수를 차지하고 있다. 이러한 특성 때문에 많은 실험연구 및 역학적 연구가 아동에서 발생하는 암이나 다른 질환들에 대한 연구가 다수를 차지하고 있으며, 성인의 건강영향 및 암 발생, 성체에서 발생할 수 있는 영향에 대한 실험연구는 상대적으로 그 수가 적다.

또한, 직업적 노출은 단시간에 고노출의 성향을 가지고 있고, 환경적 노출은 장시간에 저농도의 노출을 특성으로 하고 있기 때문에 이러한 노출 양상의 차이에 따라 차이가 있을 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 물론 종합적인 결론들에서 직업적인 노출의 역학적 연구와 직업적 노출과 유사한 상황을 기반으로 실험연

구를 따로 분리해서 종합하는 과정에서도 현재까지의 결론은 건강영향에 대한 일관된 증거가 없는 것으로 보고하였으나, 상대적으로 연구가 부족하기 때문에 이와 관련하여 확정적으로 건강영향이 없다고 말하기는 어렵다.

역학적 연구의 경우 과거 연구가 많이 진행되었으나 그 노출을 평가하는 방법에 있어서 한계가 있었으며 전자기장 노출을 평가하는 방법론에서 적합한 연구의 수가 부족하기 때문에 과학적 증거로 판단하는데 어려움이 있다.

활선 작업자의 경우 기존 문헌에서 제시하는 노출군과 그 노출 양상이 다르다. 특히 ceiling 값(1mT)를 초과하는 노출군에 대해 별도의 평가를 수행한 연구는 없어서 직접적인 비교는 힘들다. 비록 그 노출량이 ICNIRP의 기준을 초과하는 노출량을 보이고 있지만 이 노출기준 자체는 구체적인 질병을 일으킬 수 있다는 기준에서 제정된 것은 아니고 일시적인 신경 자극 효과로 인하여 일시적인 지각 능력 장애, 불쾌감, 신경 및 근육의 자극 증상을 유발할 가능성을 염두에 두고 제정한 지표이다(ICNIRP 2010). 또한 이러한 일시적인 고노출이 다른 정도의 전자기장 노출과 상이한 건강효과를 발생시킬 수 있다는 증거는 현재로서는 존재하지 않는다. 하지만 기존의 역학적 연구들 중에서 이러한 고노출군과 관련하여 진행된 연구가 없으므로 이러한 영향을 완전히 배제할 수는 없기 때문에 직접적으로 어떠한 건강영향과의 관련성을 배제할 수 있는 근거로 활용할 수는 없다.

결론적으로 현재의 역학적 증거, 실험 연구의 증거, 기전에 대한 설명을 중심으로 볼 때 전자기장 노출과 관련하여 건강영향이 발생한다고 볼 수 있는 확증적 증거는 부족하다. 하지만, 성인의 암, 퇴행성 신경질환에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며, 이러한 결과가 향후에는 다른 결론을 만들어낼 가능성은 존재한다.

3. 활선 작업자 건강영향 역학적 연구 설계

본 연구에서는 활선 작업을 수행하는 근로자 집단에 대한 역학적 연구를 수행

할 수 있는 가능성이 존재하는 근로자 데이터베이스에 대한 연구를 진행하였고, 실현 가능성 있는 집단으로 전기원 노동조합 조합원을 대상으로 연구를 수행하는 것이 타당하다고 판단하였다. 하지만 조합원의 연구 참여에 대한 동의를 획득하지 못하여 이들에 대한 자료를 획득하지 못 했으며, 이 한계로 인하여 정확한 역학적 연구의 시범적인 접근을 수행하지는 못하였다.

하지만 이들 대상의 대략적인 규모(3000 여명), 현재 조합의 자료 보유를 고려하였을 때 이들을 대상으로 역학적 연구의 개략적인 설계를 제시하였다. 현재 전자기장과 관련이 있을 것으로 의심되는 암, 퇴행성 신경질환의 경우에는 그 발생율이 매우 낮고, 발생까지의 기간이 오래 걸리기 때문에 전향적인 연구를 수행하여 위험도를 평가하는 데 있어서는 매우 장기간의 연구를 진행할 필요가 있을 것으로 보인다. 그러므로 연구를 설계하는 데 있어 연구 대상 집단으로 대상으로 사고, 질환 발생에 대한 데이터를 꾸준히 수집하여 사례 발생에 따른 연구가 필요할 것으로 판단한다.

또한 연구대상에 대한 접근을 간접적인 고용처에서 획득하여, 국민건강보험공단과 같은 건강결과에 대한 데이터베이스와의 연계를 통한 건강영향에 대한 지속적인 관찰을 추진할 필요가 있다.

참고문헌

- 김윤명, 백정기, 하미나. 사업장 근로자의 전자파 노출실태 조사. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2002
- 김갑배, 정은교, 강준혁 등. 전자산업 생산설비의 극저주파 자기장의 노출특성 연구. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2016
- 미래창조과학부. 전자파인체보호기준. 미래창조과학부고시 제2017-7호. 2017
- 장성기, 조용성, 이석조 등. 국내전철 및 가전제품을 대상으로 한 전자장수준 실태조사. 한국산업위생학회지 2005;15(1)
- 정은교, 김갑배, 정광재. 반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성 연구(II) - 비전리방사선을 중심으로. 산업안전보건연구원 연구보고서. 2010
- 주문노, 양광호, 명성호. 생활환경에서의 표본 한국인의 개인자계 노출량 조사. 전기학회논문지 2004;53(2):97-102
- 한국전력공사. 무정전 배전공사 시공업체 관리절차서. 2016
- 한국전력공사. 배전공사 기초인력 교육·자격 관리절차서. 2016
- 현소영. 배전 전기원 작업환경에 대한 국가 간 비교연구. 한국전기산업연구원 연구보고서. 2012
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Threshold limit values (TLVs) for chemical substances and physical agents & biological exposure indices (BEIs). ACGIH, Cincinnati (OH); 2014.
- Bethwaite P, Cook A, Kennedy J, Pearce N. Acute leukemia in electrical workers: a New Zealand case-control study. Cancer Causes Control. 2001

Oct;12(8):683-9.

BioInitiative Working Group. Cindy Sage and David O. Carpenter Editors. BioInitiative Report [BIR]: A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation at www.bioinitiative.org. December 31, 2012.

Björk J1, Albin M, Welinder H, Tinnerberg H, Mauritzson N, Kauppinen T, Strömberg U, Johansson B, Billström R, Mikoczy Z, Ahlgren T, Nilsson PG, Mitelman F, Hagmar L.. Are occupational, hobby, or lifestyle exposures associated with Philadelphia chromosome positive chronic myeloid leukaemia? *Occup Environ Med*. 2001 Nov;58(11):722-7.

"Comments on the BioInitiative Working Group Report (BioInitiative Report)" (PDF). EMF-NET. 30 October 2007. Retrieved 2010-01-20.

Department of Communications, Marine and Natural Resources (DCMNR). Expert Group on Health Effects of Electromagnetic Fields. March 2007. <http://www.dcmnr.gov.ie/NR/rdonlyres/9E29937F-1A27-4A16-A8C3-F403A623300C/0/ElectromagneticReport.pdf>.

EMF and Health Risk - Tenth report from SSM' Scientific Council on Electromagnetic Fields. Stockholm, Sweden: Swedish Radiation Safety Authority, 2015.

Elliott P, Toledano MB. Adult cancers near high-voltage power lines. *Epidemiology*. 2013 Sep;24(5):783-4.

European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure (EFHRAN). Risk Analysis of Human Exposure to Electromagnetic Fields (Revised). Report D2 of the EFHRAN Project. Milan, Italy: European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure, 2012.

- Federal-Provincial-Territorial Radiation Protection Committee (FPTRPC). Health Effects and Exposure Guidelines Related to Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields - An Overview. FPTRPC, January, 2005.
- Feychting, M. & Ahlbom, A. (1994) Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology*, 5, 501 - 09
- Feychting, M., Forssén, U. & Floderus, B. (1997) Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology*, 8, 384 - 89
- Guénel, P., Nicolau, J., Imbernon, E., Warret, G. & Goldberg, M. (1993a) Design of a job exposure matrix on electric and magnetic fields: selection of an efficient job classification for workers in thermoelectric power production plants. *Int. J. Epidemiol.*, 22 (Suppl. 2), S16 - 21
- Harrington, J.M., Nichols, L., Sorahan, T. & van Tongeren, M. (2001) Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: Findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973 - 7. *Occup. environ. Med.*, 58, 307 - 14
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields(up to 300 GHz). *Health Phys* 1998, 74(4):494-522
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic Fields(1 Hz - 100 kHz). *Health Phys* 2010, 99(6):818-836
- Johansen C1, Raaschou Nielsen O, Olsen JH, Schüz J. Risk for leukaemia and brain and breast cancer among Danish utility workers: a second

- follow-up. *Occup Environ Med.* 2007 Nov;64(11):782-4. Epub 2007 May 1.
- Johansen, C. & Olsen, J.H. (1998) Risk of cancer among Danish utility workers – A nationwide cohort study. *Am. J. Epidemiol.*, 147, 548 - 55
- Joseph D. B. Manual for Measuring Occupational Electric and Magnetic Field Exposure. NIOSH. 1998
- Kaufman DW, Anderson TE, Issaragrisil S.. Risk factors for leukemia in Thailand. *Ann Hematol.* 2009 Nov;88(11):1079-88. doi: 10.1007/s00277-009-0731-9. Epub 2009 Mar 18.
- Kheifets L, Monroe J, Vergara X, Mezei G, Afifi AA.Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: an update to two meta-analyses.*J Occup Environ Med.* 2008 Jun;50(6):677-88. doi: 10.1097/JOM.0b013e3181757a27. Review.
- Kheifets L, Monroe J, Vergara X, Mezei G, Afifi AA: Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: an update to two meta-analyses. *J Occup Environ Med* 2008, 50:677 - 688.
- Koeman T, van den Brandt PA, Slottje P, Schouten LJ, Goldbohm RA, Kromhout H, Vermeulen R.Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort.*Cancer Causes Control.* 2014 Feb;25(2):203-14.
- Lai, H. and N.P. Singh, melatonin and n-tert-butyl-alpha-phenylnitron block 60-Hz magnetic field-induced DNA single and double strand breaks in rat brain cells. . *J Pineal Res*, 1997.22(3): p. 152-162.
- Lai, H. and N.P. Singh, Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 1997. 18(2): p. 156-165.
- Li, C.-Y., Thériault, G. & Lin, R.S. (1997) Residential exposure to 60-Hertz

- magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology*, 8, 25 - 0
- Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil. *Rev Bras Epidemiol*. 2011 Dec;14(4):580-8.
- Mezei, G., Kheifets, L.I., Nelson, L.M., Mills, K.M., Iriye, R. & Kelsey, J.L. (2001) Household appliance use and residential exposure to 60-Hz magnetic fields. *J. Expos. Anal. environ.Epidemiol.*, 11, 41 - 9
- Minder, C.E. & Pfluger, D.H. (2001) Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees. *Am. J. Epidemiol.*, 153,825 - 35
- Ministry of Health of New Zealand (MHNZ). Interagency Committee on the Health Effects of Non-ionising Fields: Report to Ministers 2015. Wellington, New Zealand: Ministry of Health, 2015.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). EMFs in the workplace. Available from: URL:<http://www.cdc.gov/niosh/docs/96-129>
- Oppenheimer M1, Preston-Martin S. Adult onset acute myelogenous leukemia and electromagnetic fields in Los Angeles County: bed-heating and occupational exposures. *Bioelectromagnetics*. 2002 Sep;23(6):411-5.
- Roosli M, Lortscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lortscher E, Locher P, Spoerri A, Minder C: Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup Environ Med* 2007, 64:553 - 559.
- Rodney, Croft; Abramson, Michael; Cosic, Irena; Finnie, John; McKenzie, Ray; Wood, Andrew (18 December 2008). "ACRBR Position Statement on BioInitiative Report" (PDF). Australian Centre for Radiofrequency

Bioeffects Research. Archived from the original (PDF) on 19 January 2010.
Retrieved 20 January 2010

Rønneberg, A., Haldorsen, T., Romundstad, P. & Andersen, A. (1999)
Occupational exposure and cancer incidence among workers from an
aluminum smelter in western Norway. *Scand. J. Work Environ. Health*, 25,
207 - 14

Savitz, D.A. & Loomis, D.P. (1995) Magnetic field exposure in relation to
leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am. J.
Epidemiol.*, 141, 123 - 34

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks_Potential
health effects of exposure to electromagnetic fields(EMF)

Severson, R.K., Stevens, R.G., Kaune, W.T., Thomas, D.B., Heuser, L., Davis,
S. & Sever, L.E.(1988) Acute nonlymphocytic leukemia and residential
exposure to power frequency magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.*, 128, 10 - 0

Spinelli, J.J., Band, P.R., Svirchev, L.M. & Gallagher, R.P. (1991) Mortality and
cancer incidence in aluminum reduction plant workers. *J. occup. Med.*, 33,
1150 - 155

Swedish Radiation Safety Authority (SSM). Research 2015:19. Recent Research
on

Törnqvist, S., Norell, S., Ahlbom, A. & Knave, B. (1986) Cancer in the electric
power industry. *Br. J. ind. Med.*, 43, 212 - 13

Tynes, T., Andersen, A. & Langmark, F. (1992) Incidence of cancer in
Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am. J.
Epidemiol.*, 136, 81 - 8

Verkasalo, P.K., Pukkala, E., Kaprio, J., Heikkilä, K.V. & Koskenvuo, M. (1996)
Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish

- adults: Nationwide cohort study. Br. med. J., 313, 1047 - 051
- Verkasalo, P.K. (1996) Magnetic fields and leukemia –Risk for adults living close to power lines. Scand. J. Work Environ. Health, 22 (Suppl. 2), 1 - 6
- Wang X1, Wang XQ, Gu JW.Occupational and residential exposure to electric and magnetic field and its relationship on acute myeloid leukemia in adults – A Meta-analysis. Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi. 2011 Aug;32(8):821-6. (in Chinese)
- Willett EV, McKinney PA, Fear NT, Cartwright RA, Roman E.Occupational exposure to electromagnetic fields and acute leukaemia: analysis of a case-control study.Occup Environ Med. 2003 Aug;60(8):577-83.
- Zaffanella, L. & Kalton, G.W. (1998) Survey of Personal Magnetic Field Exposure. Phase II: 1000-Person Survey (EMF RAPID Program Engineering Project #6), Oak Ridge, TN,Lockheed Martin Energy Systems, Report available at <http://www.emf-data.org>

Abstract

영문제목

영문이름

*Occupational Safety Research Bureau,
Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA*

Object Extreme low frequency electromagnetic fields(ELF-EMF) are suspected of causing many health disturbances, but there is no established evidence of this. In particular, most of the studies related to low exposure groups targeting residents are needed to carry out studies related to occupational high exposure groups. In the case of live work, it is necessary to study the health hazards that may occur in the high exposure group of the electromagnetic field.

Method We measured ELF-EMF level in Electric distribution worker and conducted a literature review of the health effects suspected of being associated with the electromagnetic field. _Based on this, we attempted a valid epidemiological study design.

Result The arithmetic average of the extremely low frequency magnetic field was $1.18 \pm 11.20 \mu\text{T}$. The range of the measured value was $0.05 \sim 1,671.50 \mu\text{T}$

and the range of Ceiling value was $10.5 \sim 1,671 \mu\text{T}$. In the case of Korean electricity with a frequency of 60 Hz, the ELF-MF maximum value was measured by one operator when the exposure standard ($1,000 \mu\text{T}$, Ceiling) of the US ACGIH and ICNIRP was exceeded.

Although it has not been established through a review of the literature on the relationship between electromagnetic fields and health impairment, it seems likely that this may be related to the development of Alzheimer's disease. Considering the possibility of acquiring live worker data, the size of the acquisition data, and the possible health impairment, a monitoring system is require

Conclusion : Based on the results of this study, we construct a surveillance system for active workers and contribute to the protection of workers' health

Key word : Extreme low frequency electromagnetic fields, helth effect

〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 이 상길(연구위원, 직업건강연구실)

연 구 원 : 박 중수(연구위원, 직업건강연구실)

안 정호(연구위원, 직업건강연구실)

신 무영(연구원, 직업건강연구실)

〈〈연 구 기 간〉〉

2017. 1. 1. ~ 2017. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해
이며, 우리 연구원의 공식견해와 다를 수도
있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

활선작업 근로자의 작업관련성 건강장해기초연구

2017-연구원-1138

발 행 일 : 2017년 12월 31일
발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김 장 호
연구 책임 자 : 산업안전보건연구원 이 상 길
발 행 처 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
주 소 : 울산광역시 중구 종가로 400(북정동)
전 화 : (052) 7030-872
F A X : (052) 7030-335
Home page : <http://oshri.kosha.or.kr>

[비매품]