

電磁波 障·災害 豫防(I)

1993. 11 30



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

韓國産業安全公團 이사장 귀하

본 報告書를 산업재해예방기술의 연구개발 및 보급사업의 일환으로
수행한 “電磁波로 인한 災害의 豫防을 위한 研究” 사업의 最終報告書
로 제출합니다.

1993년 11월 30일

주관 연구부서: 産業安全研究院
機械電氣研究室

연구수행자: 室長 李寬珩

序 文

요즈음 우리는 온갖 種類의 電磁波가 亂舞하고 있는 電磁波環境속에서 살고 있다고 하여도 過言이 아닙니다. 그런데도 불구하고 電磁波는 눈에 보이지 않고 냄새가 나지 않으며 대부분의 경우 느껴지지도 않는 관계로 아직까지 우리가 무관심하게 지나쳐오고 있는 실정입니다. 그러나 電磁波는 확실하게 규명되어 있지는 않으나 熱作用이나 遺傳因子에 대한 生體作用 등으로 인하여 人體에 갖가지 障害를 誘發할 수 있다는 사실이 최근 先進國 科學者들의 研究結果 밝혀지고 있습니다. 또한 人體障害 외에도 電磁波는 電子部品에 障礙를 惹起하여 이를 內藏하고 있는 電氣·電子製品이나 機械의 性能을 低下시키고 誤動作을 일으켜 많은 産業災害의 主要한 原因이 되고 있습니다.

이 冊子는 이러한 電磁波에 대한 認識을 높이고 基本的인 防護를 위해서 금년에 우리 研究院에서 수행한 文獻 研究結果를 담고 있습니다. 비록 未盡한 部分이 많더라도 이 冊子가 産業現場에서 生産活動에 종사하고 계신 勤勞者 여러분들은 물론이고 一般人들에게 電磁波에 대한 이해를 넓히는데 一助가 될 수 있게 되기를 희망합니다.

끝으로 우리 研究院에서 앞으로 계속해서 電磁波의 障·災害에 대한 深度있는 研究를 遂行하여 나갈 수 있도록 이와 관련있는 機關에 從事하시는 모든 분들과 産業現場의 勤勞者 여러분의 적극적인 支援과 聲援을 빌어마지 않습니다.

1993년 11월 30일

韓國産業安全公團

産業安全研究院長

徐 相 學

차 례

序 文	i
1. 머 리 말	1
2. 電磁波란 무엇인가?	3
3. 電磁波의 種類 및 特徵	6
3.1 라디오波 (Radio-Frequency Radiation)	6
3.2 마이크로波 (Microwave)	7
3.3 極低周波(ELF) 電氣磁氣場	7
3.4 Gamma 線 (γ -Rays)	8
3.5 X-線 (X-Rays)	8
3.6 紫外線 (Ultraviolet Radiation)	9
3.7 可視光線 (Visible Light)	9
3.8 赤外線 (Infrared Radiation)	9
3.9 레이저 光線 (LASER)	10

4. 非電離電磁波의 性質과 人體 影響	11
4.1 紫外線 (Ultraviolet Radiation)	12
4.2 可視光線 (Visible Radiation)	15
4.3 赤外線 (Infrared Radiation)	16
4.4 레이저 光線 (LASER)	18
4.5 라디오(RF)波 및 Microwave	20
4.6 極低周波 (ELF) 電磁場	23
5. 非電離電磁波의 防護對策	26
5.1 紫外線의 許容基準과 對策	26
5.2 赤外線에 대한 許容基準 및 對策	30
5.3 레이저 光線에 대한 許容基準 및 對策	30
5.4 Microwave와 라디오波의 許容基準 및 對策	31
5.5 極低周波 (ELF)에 대한 許容基準 및 對策	36
6. 맺음 말	38
參 考 文 獻	40

1. 머 리 말

우리 周邊에는 強弱의 차이가 있을 망정 수많은 종류의 電磁波가 존재한다. 단지 대부분이 우리 눈에 보이지도 않고 귀에 들리지도 않아 人間의 五覺으로 感知가 不可能하여 우리가 깨닫지 못하고 있을 따름이다.

電磁波는 自然的으로 존재하는 것과 人工的으로 생겨나는 것이 있다. 自然的으로 존재하는 電磁波중 대표적인 것은 물론 太陽光線이다. 太陽光線에는 生命體의 成長과 活動에 根源이 되는 可視光線이나 赤外線 등과 같은 많은 유익한 것들을 포함하고 있다. 반면에 Radium 鑛 및 Uranium 鑛 등과 같은 放射性物質에서 나오는 Gamma 線과 같이 우리 몸에 매우 해로운 것들도 있다. 自然的에 존재하는 電磁波는 유익한 것도 많고 유해한 것들은 그 量이 미미하여, 몇몇 특수한 경우를 제외하고는 그간 별 문제가 되어오지 않았었다. 그러나 原子力産業에서 배출되는 放射性廢棄物로부터 나오는 각종 核放射線과 지구를 둘러싸고 있는 오존층이 公害로 인하여 점점 파괴됨으로 말미암아 太陽으로부터 직접 받게되는 紫外線의 量이 증가하고 있어 우리에게 커다란 위협으로 대두되고 있다.

한편 인류 문명의 발달과 더불어 利用을 위해 또는 副産物로서 수많은 종류의 人工的인 電磁波가 발생되고 있다. 현대 情報化社會는 情報通信을 근간으로 하고 있으며 이에 따라, 각종 無線通信 機器 및 시스템, Radar 시스템, TV 및 라디오 放送 등으로부터 엄청난 量의 電磁波가 쏟아져 나오고 있다. 또한 X-線 發生裝置에서 나오는 X-線, 電力線에서 나오는 電磁波, Microwave Oven 같은 家電機器들로부터 나오는 電磁波, Laser Beam 등의 量은 이루 다 헤아릴 수 없을 정도이다. 예를들어 이 지구상에는 현재 數億 臺에 달하는 Color TV 수상기가 있으며, 전자렌지를 포함하여 Microwave를 발생하는 機器의 數는 수천만 대에 이를 것으로 추측된다.

人工 電磁波들은 X-線을 제외하고는 모두가 非電離性이라 지금까지 별로 문제시 해오지 않았었으나 최근들어 이들도 人體에 障害를 끼칠 수 있다는 우려가 확산되고

있다. 최근 미국에서는 携帶用無線電話機 (Cellular Phone)을 자주 사용하던 부인이 후두암으로 사망하자 그 남편이 製造會社인 Motorola 社를 상대로 소송을 낸 사건이 있어 세인들의 커다란 관심을 끌고 있다. 아직까지 법정은 판결을 내리지 못하고 있고 과학자들도 쉽사리 有·無害性에 대한 결론을 못 내리고 있으나, 앞으로 유사한 일들이 社會的인 問題로 계속 대두될 전망이다.

한편, 이러한 非電離性 電磁波들은 健康障害 문제는 차치하고라도 通信障礙라든가 産業機器들에의 故障을 유발하는 등의 電磁波障礙 (EMI)를 일으켜 그간 활발한 연구의 대상이 되어 왔다. 더 나아가 EC 회원국들과 미국을 중심으로 한 선진국에서는 電氣·電子 機器가 他 機器의 作動에 영향을 끼칠 수 있는 電磁波를 발생하지도 않고, 외부에서 들어오는 電磁波의 영향으로 그 機器가 作動에 支障을 받아서도 안 된다는 소위 EMC에 대한 활발한 논의가 오래전부터 진행되어 오고 있다. EC에서는 EMC에 대한 認證을 받지 않고는 EC 市場 (Market)에서 商品을 販賣할 수 없도록 하는 制度를 導入하여 1996년 1월 1일부터는 강제조치로 시행할 예정에 있어 바야흐로 電磁波 문제는 現實的이고도 時急한 일로 우리 앞에 다가오고 있다.

電磁波에 관한 研究는 그 範圍가 워낙 넓어 앞으로 많은 人力이 참여하여 長期間에 걸쳐 持續的으로 推進하여 나가야 할 것이다. 이 冊子에서는 範圍를 매우 좁게 한정하여 電離放射線은 논의에서 제외하고, 非電離電磁波에 있어서 産業機器 등에 대한 EMC 문제가 아닌 人體에 대한 健康상의 障害 問題만을 우선적으로 다뤄보고자 한다.

2. 電磁波란 무엇인가?

電磁波는 共存하고 있는 電界와 磁界의 週期的인 변화에 의한 振動 (Oscillation) 이 眞空 또는 物質중을 傳播하여 나가는 波動現象이다. 電磁波는 서로 垂直인 진동하는 電氣場과 磁氣場으로 이루어지며, 3×10^8 m/sec의 속도로 傳播되어 나가는데, 이 電氣場과 磁氣場은 傳播 방향에 대해서도 각각 垂直이다. 電磁波는 공간을 이동하는 일종의 Energy라고도 볼 수 있으며 可視光線을 제외하고는 눈에 보이지 않는다. 따라서 우리가 빛이라고 부르는 光波 (太陽光線), 각종 通信과 放送에 이용하는 電波, 醫療用과 工業用으로 쓰이는 X-線 및 Gamma 線 등이 모두 電磁波에 속한다.

電磁波는 잘 알려진 대로 波動性과 粒子性의 兩面性을 갖고 있다. 生體效果의 측면에서 電磁波를 나눠보면, 에너지 레벨이 높고 粒子性이 강한 電磁波는 核放射線이며, 波動性과 粒子性이 비슷하게 작용하는 것이 光波, 에너지 레벨이 낮고 波動性이 강한 電磁波는 電波이다.

電磁波를 物質과의 相互作用에 따라 크게 두 종류로 구분할 수 있는데 電離性 (Ionizing) 電磁波와 非電離性 (Non-Ionizing) 電磁波가 바로 그것이다. 電離性 電磁波는 物質에 작용하여 物質을 구성하고 있는 原子 (Atom)로부터 電子를 떼어내 電荷를 띤 Ion을 生成할 수 있는 (즉, 電離作用을 일으키는) 능력을 갖는 電磁波로서 X-線 및 Gamma 線과 같은 核放射線이 이에 해당된다. 電離性 電磁波는 그냥 放射線 (Radiation)이라고 흔히 부르는데 정확한 표현은 아니며 따라서 우리는 앞으로 電離電磁波 또는 電離放射線이라고 부르기로 한다. 非電離性 電磁波는 Ion을 生成할 수 있는 電離能力이 없거나 약한 電磁波로서 電波나 光波와 같은 것이 이에 해당되며, 줄여서 非電離電磁波라고 부르기로 한다.

電磁波는 波長 또는 周波數에 따라서 각각 特有의 성질을 가진다. 周波數는 單位時間(秒)當 波의 數로서 Hz의 單位를 가지며, 電磁波의 特性을 결정하는 주요 因子이며 電磁波의 종류를 구분하는 기본이 된다.

電磁波를 波가 아닌 微細한 粒子的 흐름으로 볼 때, 最小單位인 1개의 粒子는 各의 振動數 ν 에 비례하는 에너지 $h\nu$ 를 가진다고 정하고 있으며, 이 $h\nu$ 를 電磁波의 光量子 에너지라고 한다. 光量子에너지의 單位는 eV이며 1 eV는 電子 1個가 1 V의 電位差에서 加速될 때 얻는 에너지의 크기이다.

光量子의 波長이 클수록 光量子 에너지는 작아지고, 波長이 짧을수록 光量子 에너지는 커진다. 波長이 λ [μm]인 電磁波의 光量子 에너지 [eV]는 $1.2398/\lambda$ [μm]로부터 구할 수 있다.

電波와 같이 波動性이 강한 電磁波는 電流作用으로써 生體效果를 일으키고 있는데, 이는 生體내에 존재하는 電磁界에 의한 誘導作用을 말한다.

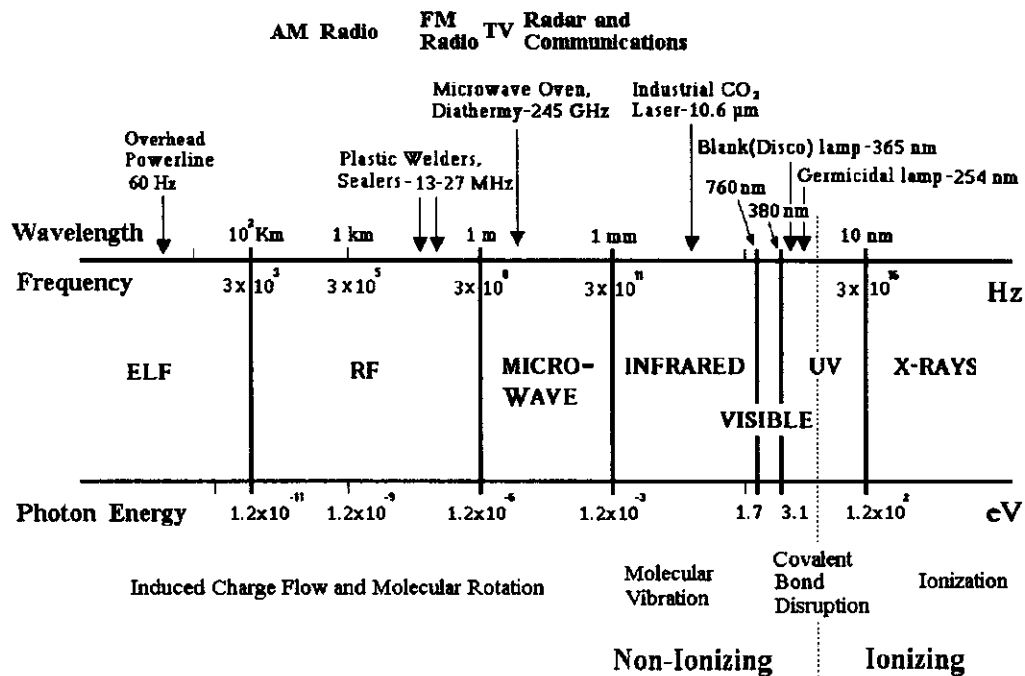


그림 2.1 電磁波의 Spectrum

電磁波를 Spectrum으로 분해하여 나타내면 그림 2.1과 같다. 波長이 짧고 周波

數가 높아질수록 電磁波가 갖는 運動에너지와 온도는 증가한다. 일반적으로 波長이 약 100 nm (光量子 에너지로는 약 12 eV)보다 짧은 것이 電離放射線이고, 이보다 긴 것이 非電離電磁波이다. 온도로는 電離放射線은 143,700 °C 이상의 電磁波이다.

우리가 보통 이야기하는 電波 (短波, 放送波 및 長波)는 波長이 1 mm보다 길고 周波數는 300 GHz 이하인 電磁波로서 라디오(RF)波와 Microwave를 포함한다. 電波의 光量子에너지는 1.24×10^{-3} eV이하이고, 온도는 영하 260 °C보다 낮은 極低溫이다.

3. 電磁波의 種類 및 特徵

電磁波를 特性에 따라 크게 分類하여 이들의 周波數, 波長, 光量子 에너지 및 發生源을 요약하면 표 3.1과 같다.

표 3.1 電磁波의 特徵과 發生源

區 分	周 波 數 (Hz)	波 長 (m)	光量子 에너지 (eV)	發 生 源
Gamma 線	$10^{19} \sim 10^{24}$	$10^{-16} \sim 10^{-11}$	$10^5 \sim 10^9$	放射性同位元素
X-線	$3.0 \times 10^{16} \sim 10^{19}$	$10^{-11} \sim 10^{-8}$	$120 \sim 10^5$	工業用 및 醫療用 X-線 發生裝置
紫外線	$7.9 \times 10^{14} \sim 3.0 \times 10^{16}$	$1.0 \times 10^{-8} \sim 3.8 \times 10^{-7}$	$3.1 \sim 120$	紫外線燈, 鎔接 Arc, Gas 放電管
可視光線	$4.0 \times 10^{14} \sim 7.9 \times 10^{14}$	$3.8 \times 10^{-7} \sim 7.6 \times 10^{-7}$	$1.7 \sim 3.1$	電燈, 鎔接 Arc, 高溫物體
赤外線	$3.0 \times 10^{11} \sim 4.0 \times 10^{14}$	$7.6 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3} \sim 1.7$	赤外線電球, 鎔接 Arc, 高溫物體
마이크로波	$3.0 \times 10^8 \sim 3.0 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0$	$1.2 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-3}$	크리스트론, 마그네트론
라디오波	$3.0 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^8$	$1.0 \sim 1.0 \times 10^5$	$1.2 \times 10^{-11} \sim 1.2 \times 10^{-6}$	플라스틱 봉인 가구접착기
極低周波	$< 3.0 \times 10^3$	$> 1.0 \times 10^5$	$< 1.2 \times 10^{-11}$	電力線, 電氣機器

3.1 라디오波 (Radio-frequency Radiation)

Radio-frequency (RF) 波는 無線周波, 極超短波 또는 電波라고 불리는 電磁波로서 周波數 범위가 3 kHz ~ 300 MHz이며 波長이 1 m ~ 100 km로 길어 에너지가

매우 미약하다. RF波는 안테나에서 受信할 수 있는데 이는 電波가 안테나線 中の 自由電子와 相互作用을 함으로써 가능하다. 電波의 종류에 따라 波長이 다르기 때문에 이것을 수신하는 안테나의 치수나 형태도 달라야 한다.

3.2 마이크로波 (Microwave)

Microwave (MW)는 周波數 帶域이 300 MHz ~ 300 GHz인 電磁波이다. MF波의 에너지는 통상적인 電波 크기이고, 물체에 대해서는 分子의 回轉運動이나 反轉運動에 관련된다.

電子 레인지에서 사용되고 있는 周波數는 물分子的 雙極子能率 (分子내에서의 正電荷와 負電荷의 간격)이 共鳴하여 심하게 反轉하는 周波數로서 이 작용으로 電子 레인지 속에 놓인 食品에 함유된 水分에 선택적인 에너지가 전달되어 效率 좋게 가열된다.

3.3 極低周波(ELF) 電氣·磁氣場

極低周波 (Extremely Low Frequency; ELF) 電氣·磁氣場 (Electric and Magnetic Fields; EMF)은 電磁氣 Spectrum에서 周波數가 가장 낮은 領域인 0에서 3 kHz 사이에 있는 電磁波를 발생하는 電氣·磁氣場을 일컫는다. 이 帶域에서의 波長은 100 km 이상 (60 Hz의 경우 5000 km)으로서 被曝物體는 모두 1 波長내에 위치하게 되는데 여기서 電氣場과 磁氣場의 상대적인 세기는 각기 독립적으로 변화한다.

大電流 低電壓系에서는 磁氣場이 세고 電氣場은 약하며, 小電流 高電壓系에서는 電氣場이 세고 磁氣場이 약한 電磁波를 발생한다.

高電壓 架空電力線 아래서는 20 kV/m의 電氣場이 형성될 수 있으며, 이 경우 지상에서의 磁束密度는 40 μ T까지 達할 수 있다. 여기서 사용하는 磁束密度의 單位인 T는 “tesla”라고 읽으며 $4\pi \times 10^7$ T가 1 A/m의 磁場 세기에 相應한다.

事業場에서 大電流機器들을 취급하는 작업자는 1 μ T에서 100 mT에 이르는 磁氣場에 被曝될 수 있다. 가정에서는 電氣場과 磁束密度가 각각 보통 100 V/m 및 1 μ m 내의 범위에서 변화하나 電氣器具에 가까이 접근하면 훨씬 더 센 電氣場 및 磁氣場에 被曝될 수 있다.

3.4 Gamma 線 (γ -Rays)

波長이 1 pm (10^{-12} m) 이하로서 電磁波중에서 가장 짧은 Gamma 線은 光量子 에너지가 매우 크며, 이러한 크기의 에너지는 物質을 구성하는 原子를 둘러싸고 있는 각종 상태의 電子에 變化를 일으키는 에너지보다 크고, 原子核 자체와의 相互作用을 일으키기에 충분한 에너지 영역에 들어간다. 따라서, Gamma 線은 電離作用이 강한 대표적인 電離放射線이다.

Gamma 線은 放射性物質로부터 발생하지만 이 물질은 不安定한 原子核 構造를 가지고 있으며, 이 構造가 자연히 崩壞하여 별개의 구조로 이행될 때 放射線을 放出한다. 또한 加速器 등으로 강한 에너지를 가하여 강제로 放出시킬 수도 있다. Gamma 線의 특성은 물질에의 透過力이 극히 크다는 점이고, 따라서 매우 위험하다.

3.5 X-線 (X-Rays)

X-線은 高速의 電子가 어떤 物質속을 통과할 때, 그 物質의 原子核에 비교적 강하게 束縛되어 있는 內殼電子와의 相互作用에 따른 에너지 變換에 의하여 발생한다 (Bremsstrahlung). X-線은 波長이 0.1 pm $\sim$ 10 nm (10^{-13} $\sim$ 10^{-8} m)로서 짧고, $1.2 \times 10^2 \sim 10^5$ eV 정도의 에너지를 가지고 있다. X-線은 Gamma 線 다음으로 透過力이 매우 높으며, 電離作用을 일으키고 化學作用도 한다.

3.6 紫外線 (Ultraviolet Radiation)

紫外線 (UVR)은 波長이 대략 100~400 nm로서, 可視光線의 紫色光보다 짧은 波長側에 있으며 化學作用이 큰 것이 특징이다. 이 波長은 原子核을 둘러싸고 있는 最外殼電子와의 相互作用에 의한 에너지 변환에 의하여 발생한다.

이 紫外線의 作用에는 殺菌作用, 紅斑效果, 비타민 D 生成, 光化學作用 및 螢光, 光電效果 등이 있다.

3.7 可視光線 (Visible Light)

可視光線은 波長이 380~760 nm (0.38~0.76 μm)인 電磁波로서 1.5~3.1 eV의 에너지를 갖고 있다. 可視光線은 사람의 눈에 빛이 감지되는 物質과 相互作用을 하며, 視覺作用은 물론 光電效果도 일으킨다.

3.8 赤外線 (Infrared Radiation)

赤外線 (IRR)은 波長이 0.76 μm ~ 1.0 mm로서 可視光線과 Microwave 사이에 있는 電磁波를 말한다. 그러나 이 波長中에서 50 μm ~ 1 mm 정도까지의 赤外線은 실용상 거의 이용되지 않고 있다. 현재 産業分野에서 주로 이용되고 있는 赤外線은 波長이 2.5~30 μm 인 帶域이다.

近赤外線放射는 波長이 0.76~1.4 μm 로서 金屬物質을 高溫으로 加熱할 때 放射되는 熱線이다. 대표적인 近赤外線放射原으로는 赤外線電球가 있으며, 發熱部인 텅스텐 코일의 溫度를 2,000 °C까지 올릴 수 있어 오래전부터 赤外線加熱로 많이 이용되어 왔다. 赤外線電球에서는 可視光線도 방출하지만, 波長이 1.2~1.3 μm 의 近赤外線放射가 가장 많이 발생한다.

中赤外線은 波長이 1.4~3.0 μm 인 赤外線이다. 電熱器의 니크롬線을 1,000 °C로

가열할 때 放射되는 熱線은 2.3 μm 의 中赤外線이 가장 많다.

遠赤外線은 波長이 3 μm 이상인 赤外線으로서 산업분야는 물론 사우나 및 美容 등에도 많이 이용되고 있다.

赤外線領域의 光量子 에너지는 1.5 eV 이하이며, 이들 중에서 赤外線加熱로 이용되고 있는 것은 2.5~30 μm 에 해당하는 부분이고, 0.04~0.5 eV의 적은 에너지로서 化學作用은 거의 없다.

이 레벨의 光量子 에너지는 物質의 分子振動이나 結晶의 格子振動을 勵起하는 크기이다.

3.9 레이저 光線 (LASER Beam)

LASER는 英語의 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 略字로서, 誘導 放出에 의한 光線 增幅의 뜻이다. LASER는 에너지를 어떤 물질에 가하여 그 物質을 구성하고 있는 原子를 勵起시켜 발생하게 되며, 原子와 分子에 따라 特有的의 性質을 갖는 單一 波長の 純粹한 光線이다.

LASER Beam의 波長 範圍는 180 nm에서 1 mm에까지 廣範圍에 걸쳐 있는데, 物質에 따라 이 범위내에서 單一 波長の Beam을 발생한다. 현재 Argon (458~515 nm), CO₂ (10.6 μm), Ga-As (850~950 nm), He-Cd (325~442 nm), He-Ne (632.8 nm), Nd Glass (106 μm), Ruby (694.3 nm) 등을 이용한 LASER가 많이 이용되고 있다. LASER 發生裝置는 1960년에 첫 Model이 出現한 이래 최근에는 種類와 Model이 매우 多樣해지고 性能이 훨씬 向上된 것들이 헤아릴 수 없을 정도로 많이 生産되어 사용되고 있다.

4. 非電離電磁波의 性質과 人體 影響

美國 Colorado州 Denver에서 保健專門家인 Nancy Wertheimer가 '80년대 말에 실시한 疫學調查에 의하면 수많은 大容量 變壓器와 高壓線들이 지나가는 變電所 근처에서 사는 아이들의 경우 보통 지역에 사는 아이들보다 白血病에 걸릴 可能性이 더 높다고 밝히고 있다. 이외에도 電磁波는 細胞의 DNA에 작용하여 임파선암, 腦腫瘍, 不妊에 악영향을 미칠지도 모르며, 生體 Rhythm의 변화를 유발할 수도 있다는 의심도 받고 있다. 그러나, 電磁波의 被曝이 人體에 어떻게 그리고 얼마나 해로운가에 대한 명확한 해답은 아직 아무도 모른다. 이 장에서는 非電離電磁波의 주요한 性質과 人體에 미치는 영향에 대하여 고찰하여 보고자 한다.

電磁波를 被曝한 生體내의 電磁界 성분이 일으키는 生物學的 反應을 生體效果(Bioeffect)라고 한다. 生體效果는 電磁波의 Spectrum에 따라 달라진다. 태양광선에서 알 수 있듯이 電磁波는 人體에 대한 生體效果에 있어서 有益한 면과 害로운 면의 兩面性を 지니고 있다.

앞 章에서 설명했듯이 電磁波는 生體效果의 측면에서, (1) 核放射線과 같이 에너지 레벨이 높고 粒子性이 강한 것, (2) 光波와 같이 波動性과 粒子性이 비슷하게 작용하는 것, 그리고 (3) 電波와 같이 에너지 레벨이 낮고 波動性이 강한 것으로 구분할 수 있다. 이들 Spectrum은 각각 生體내에서 (1) 電離作用, (2) 光學作用, (3) 電流作用이 生體效果를 지배하는 주요 作用因子가 된다.

非電離電磁波의 人體影響은 주로 電流作用에 의한 것이며, 電流作用은 熱的作用과 刺戟作用으로 나눌 수 있다. 一般的으로 周波數 100 kHz 이상에서는 Joule 熱에 의한 熱的作用이 있고, 그 이하의 周波數에서는 電流의 直接的인 刺戟作用이 우세하다고 한다. 體溫의 上昇은 電流의 熱的作用이고 神經細胞 및 感覺細胞의 흥분 등은 電流의 刺戟作用의 결과로 생긴다.

人體에 대한 熱的作用에 의한 生體效果의 척도로서 特有 에너지 吸收率 (Specific

Energy Absorption Rate; SAR)을 사용한다. 이는 體重 1 kg당 흡수되는 電力 (Power)을 나타내는 것으로서 SI 單位는 W/kg이다.

현재 非電離電磁波의 人體影響으로서 가장 논란이 되고 있는 사항이 細胞組織에 대한 有害作用이다. 電磁波가 細胞組織내의 DNA를 損傷시켜 遺傳子疾患을 일으킬 수 있다는 설이 많고, 일부는 動物實驗에서 확인되고 있으나 人體에 대하여는 아직 分명한 結論을 얻어내지 못하고 있다.

電磁波는 또한 人體의 神經組織에 영향을 가져오고, 生體 Rhythm을 변화시키며, 精子의 生産에 영향을 끼쳐 生殖力의 減退를 초래할 수도 있다. 그밖의 非電離電磁波의 人體影響으로는 聽覺障害, 組織의 成長促進, 睡眠 등과 같은 作用 등을 들 수 있다.

4.1 紫外線 (Ultraviolet Radiation)

4.1.1 紫外線의 性質

紫外線 (UVR)은 波長이 100~400 nm인 電磁波로서, 國際照明委員會 (International Commission on Illumination; CIE)는 生體影響의 측면에서 이를 다시 세 그룹으로 나뉘, 315 ~ 380 (400) nm 帶域을 UV-A, 280~315 nm 帶域을 UV-B, 100~280 nm 帶域을 UV-C로 구분하고 있다. 波長이 180 nm 이하인 紫外線은 공기 중에 즉시 흡수되기 때문에 生體影響面에서 별로 중요하지 않다.

紫外線은 다양한 醫療 목적과 産業工程에 이용되고 있으며, 美容에도 많이 이용되고 있다. 그러나 適定量 이하의 紫外線 被曝은 건강에 유용할 수 있으나, 이 適定量을 超過하는 紫外線의 被曝은 건강에 크게 해로울 수가 있다. 특히 波長이 315 nm 이하가 되는 紫外線은 인체에 매우 해로운 영향을 끼치는데, 이를 化學線 (Actinic UV)라고도 부른다.

紫外線은 태양에서 地表面에 도달하는 日光의 약 5%에 지나지 않으나 개개의 光

量子 (Photon)이 태양 스펙트럼에 속하는 어느 光量子 (Photon)보다도 높은 에너지를 갖고 있기 때문에 중요한 生體作用을 한다. 紫外線은 태양에서 직접 地表面에 도달하는 이외에 구름이나 눈[雪]에서도 반사되므로 구름 없는 맑은 날 보다는 고운층이 낀 맑은 날이 紫外線量이 풍부하며 사람의 살결을 더 태우는 경우가 있다. 雪面은 紫外線을 75%까지 反射한다.

작업장에서 紫外線에 被曝되는 것은 屋外作業 이외에도 屋內에서 인공광원 즉 수은등, 수은 아크등, 탄소 아크등, 수소 방전관, 헬륨 방전관, 라이만 방전관 등을 사용하는 경우이다. 또한 鎔接과 熔斷작업 특히 Inert Gas 용접과 각종 야외 작업에서도 紫外線에 조사된다.

紫外線은 物理, 化學, 生物學的 방법으로 측정할 수 있으나 일반적으로는 光電管式 紫外線計 등으로 측정하며 波長의 單位는 nm (nanometer) 또는 μm 이다. 1 nm는 10^{-9} m이다.

4.1.2 紫外線의 生體作用

紫外線은 일명 化學線이라고 부르듯이 여러 물질에 化學變化를 일으킨다. 이와같은 작용은 生體의 경우에도 예외없이 일어나나 紫外線이 조직을 통과하는 거리는 고작 수 mm에 불과하고 대부분이 身體表面에 吸收되는 관계로 그 직접적인 영향은 피부와 눈에만 나타나며 그외의 다른 장애는 2차적인 것에 불과하다. 조직에 흡수된 紫外線은 그 에너지가 光化學的 反應을 일으켜서 단백질과 핵산분자의 파괴와 변성 작용을 나타내기도 한다.

(1) 皮膚에 대한 作用

遠紫外線은 피부표면에서 0.03 mm 즉 체표층인 각질층까지, 또 近자외선은 0.05 mm 즉 Malpigi 층까지만 침투하며, 더욱 파장이 긴 것은 2 mm의 깊이까지 도달하나 피세관층까지는 투과하지 못한다.

紫外線에 조사되면 표피세포 (주로 Malpigi 층)가 장애를 받으며 각질층의 세포 내에 생성된 Histamine 물질이 皮下 母細血管에 이행해서 혈관을 확장시키므로 국소의 발적 즉 홍반을 일으킨다.

紫外線의 작용정도는 波長, 照射時間, 強度 이외에 개인에 따라 다르므로 표피에 Melanin이 풍부하고 각질층이 두꺼운 사람은 저항력이 크며 인종적으로 흑인이 가장 강하다.

290~320 nm의 紫外線은 피하조직내의 Ergosterin을 활성화시켜 비타민 D로 만든다. 紫外線은 자극성이 강하여 피부에 염증을 일으키는 이외에 반복조사되는 어민, 농민, 선원, 옥외작업자에서는 특이한 피부반응이 일어난다. 즉 피부는 건조하고 탄력성을 잃으며 갈색을 띄고 주름살이 많은 피부가 된다. 이러한 피부반응은 그 자체가 해로운 것은 아니나 노인성 각화증, 세포상피증 등의 원인이 된다. 皮膚癌이 몸의 露出部에 흔히 발생하는 점으로 미루어 紫外線의 반복조사로 癌이 형성될 수 있는 가능성이 논의되고 있기도 한다. 紫外線에 의한 光學作用으로 光性皮膚炎이 일어나는 수도 있다.

(2) 눈에 대한 작용

295 nm 이하의 紫外線은 모두 각막과 결막에서 흡수된다. 水晶體에서는 295~380 nm 부분이 완전히 흡수되는 외에 315~380 nm의 것도 일부 흡수되며 網膜에 도달하는 것은 390~400 nm의 紫外線이다.

천기성 眼炎 (전광선 眼炎)은 대표적인 紫外線 장애로 볼 수 있다. 이것은 紫外線에 피폭된 수시간 후에 눈의 통증과 심한 수명이 나타나는 급성 각막염이며 아세틸렌 용접보다 전기용접에서 나타나기 쉽다. 초자궁, 대장궁의 백내장이나 일식맹은 주로 강한 赤外線과 可視光線의 작용이지만 水晶體 단백질이 紫外線 조사로 변성하는 점으로 보면 紫外線의 영향도 무시할 수 없다.

(3) 全身作用

紫外線에는 자극작용이 있으며 代謝가 항진되고 적혈구, 백혈구, 혈소판이 증가한다. 다만 과량을 조사하면 두통, 흥분, 피로, 불면, 체온상승 등을 보이거나 이것은 모두 2차적인 현상이다.

(4) 기타 作用

Inert Gas 용접에서는 紫外線量이 많아서 Ozone이 발생한다. Trichoroethylene은 短紫外線 照射로 분해되어서 Phosgene이 발생한다. 250~280 nm의 紫外線에는 강력한 殺菌作用이 있다.

4.2 可視光線 (Visible Radiation)

4.2.1 可視光線の 性質

可視光線은 400~760 nm의 파장을 갖는 電磁波이며 망막을 자극해서 광각을 일으킨다. 日光 可視部の 최대 강도는 480 nm 부근에 있다. 지표에 도달하는 태양 可視光線의 강도는 지리적 조건 이외에 시각, 계절, 일기, 대기 오염에 따라 달라진다. 옥내조명에 사용되는 백열등은 效率이 나쁠 뿐만아니라 파장이 긴 부분이 우세해서 색조가 太陽光線과는 많이 다르므로 螢光燈이 보다 많이 사용되는 추세에 있다.

실질적으로 모든 직종이 조명 불량의 영향을 받을 수 있으나 제도사, 전자기구 조립공, 조각공, 보석세공공, 품질관리감독원, 시계제작공 등 하루에 여러시간을 근거리의 세밀작업에 종사하는 직종이 보다 큰 해를 입는다.

4.2.2 可視光線の 生體作用

可視光線이 우리의 일상 생활에서 차지하는 비중으로 보아 직장에서도 중요한 환경요인이 될 것이 틀림없다. 그러나 그 미묘한 생리적 생화학적 작용이 알려지기 시작한 것은 극히 최근의 일이다.

可視光線에 대한 신체 반응은 두 가지로 구분된다. 직접작용은 조직내에 광선 에너지가 흡수됨으로써 일어나는 조직 성분의 화학변화인데 이에 관해서는 아직 별로 알려진 바 없으며 따라서 可視光線은 주요한 직업상의 유해요인으로는 치지 않는다.

간접작용은 생체의 세포가 발산하는 화학신호이며 Biorhythm 과정에서 보는 신체활동, 수면, 열량소모 등이 그 예이다. Melatonin 合成이 억제되고 성선의 성숙과 활동에 영향이 미치는 것도 간접작용의 하나이다.

可視光線에 대한 이상반응은 총체적으로 보아 遺傳障害, 光毒性障害, 光Allergy性障害, 疾病誘發, 營養障害 및 新生物發生 등의 여러분야에 걸쳐서 관찰되고 있으며, 이들은 光線의 단독작용 이외에 외인성 요인, 대사물, 피부이상 및 질병과의 공동작용 때문에 일어나는 것으로 추정되고 있다. 주요한 可視光線 장애는 조명 부족과 조명 과잉으로 일어난다.

4.3 赤外線 (Infrared Radiation)

4.3.1 赤外線의 性質

赤外線은 760~10,000 nm (0.76~10 μ m)의 波長을 가진 電磁波로서 熱線이라고도 부르며 絕對溫度 이상의 모든 물체는 온도에 비례해서 赤外線을 放射한다. 人體도 皮膚溫度에 상당한 만큼의 赤外線을 放射하나 그 양은 衣服, 室內空氣狀態 등의 영향을 크게 받는다.

물체가 작열되면 赤外線이 방출되는 만큼 광물, 금속 등을 용해하는 爐作業이나 爐의 監視作業 등이 그 영향을 받는 셈이며 이와같은 작업은 製鋼, 단조, 초자제조 등 넓은 산업분야에서 볼 수 있다.

4.3.2 赤外線의 生體作用

赤外線이 체외에서 조사되면 일부는 피부에서 반사되고 나머지만 흡수된다. 赤外

線이 조직에 흡수되면 화학반응을 일으키는 것이 아니라 구성분자의 운동에너지를 증대시키므로 조직온도가 상승한다. 이 온도 상승에 관여하는 요인으로서는 파장, 열전도 요인, 폭로시간, 조직에 전달된 에너지량이 있다.

조직에서의 흡수는 함수량에 따라 다르며 1,400 nm 이상의 장파장적외선은 1cm의 수층을 통과하지 못한다. 생체에서도 1,400 nm 이상의 것은 체표 조직에서 흡수되어 피부온도를 상승시키며 750~1,400 nm의 것만이 深部組織까지 도달한다.

조직부위의 온도가 오르면 홍반이 생기고 혈관이 확장되어 혈액량이 증가되나 혈액증가는 방열 작용을 동반하므로 조직의 온도상승을 어느정도 억제하는 역할을 한다. 이와같이 국소의 혈액 순환을 촉진하고 진통 작용이 있으므로 赤外線은 치료에도 응용된다.

(1) 皮膚障害

충혈, 혈관 확장에 이어 괴사를 일으키며 장기간에 걸친 被曝은 습진, 암변성을 일으킬 수 있다. 강력한 赤外線照射는 피부와 심부조직에 화상을 일으킨다.

(2) 眼障害

피부의 경우에는 赤外線 照射로 화상이 일어나기 전에 통각을 자극하므로 일종의 경보기구가 갖추어져 있는 셈이지만 눈의 경우에는 수정체 손상을 방어하여 줄만한 방어기전이 갖추어져 있지 않다.

1,400 nm 이상의 長波長을 갖는 赤外線은 각막 손상을 일으킨다. 1,400 nm보다 짧은 赤外線은 화상을 일으키지 않을 정도의 에너지 수준의 것이라도 만성폭로(10~15 년)로 赤外線 백내장을 일으킨다. 赤外線 백내장은 초자공 백내장, 대장공 백내장이라고 하며 특징적으로 수정체의 후극에서 부터 백내장이 시작되는데 그 원인은 홍체에서 흡수되고 수정체로 투과하는 에너지량과 직접관계가 있다.

(3) 頭部障害

장시간의 被曝은 두통, 현운, 자극작용이 있으며 강력한 赤外線은 뇌막자극 증상을 유발하고 의식상실, 경련 등을 동반한 열사병을 일으켜서 사망에 이르게 하는 수가 있다.

4.4 레이저 光線 (LASER)

4.4.1 레이저 光線의 性質

原子와 分子가 지니고 있는 특별한 성질을 살려서 純粹한 光線을 放出하는 裝置로부터 발생하는 電磁波인 LASER는 보통 光線과는 다른 여러가지 특이한 性質을 갖고 있다:

- ① 安定性 (Stability) 및 강한 凝集力 (Coherence)
- ② 單一 波長 (Monochromaticity)
- ③ 強力한 光束密度
- ④ 銳利한 指向性 등

LASER는 통신, 재료가공, Holography, 물질구조 연구, 의학생물학용, 길이 표준용, 우주선 추적용 등으로 넓은 응용면을 갖고 있으며 LASER 프린터 및 복사기, 지하철 공사의 조준기, 地震豫知를 위한 지면의 隆起狀況調査, 集積回路의 製造, 다이아몬드의 切斷 등 많은 분야에서 실용화되고 있다.

LASER 利用裝置는 적은 단면에 대량의 에너지를 집중시키도록 설계되어 있으므로 주의하지 않으면 이들 장치를 사용하는 작업자는 누구나 LASER 障害를 받을 가능성이 있다.

4.4.2 LASER 光線의 生體作用

LASER의 生體作用은 光線, 熱, 壓力派, 電磁場 등의 종합작용으로 생각할 수 있

으나 특수한 경우를 제외하면 주로 可視光線, 紫外線, 赤外線 등의 강력한 光線으로 인한 생체의 열 응고, 괴사, 연소, 증발, 승화 및 탄화 작용이다.

LASER 장애는 에너지 흡수량에 달려있는 만큼 광선의 파장과 특정 조직의 광선 흡수능력에 따라 장애 출현 부위가 달라지며, 주로 장애를 받는 기관은 눈과 피부이다.

(1) 眼障害

400 nm 이하의 짧은 자외선과 1,400 nm ~ 1 mm의 적외선은 각막에서 흡수되어 각막염을 일으킨다. 각막 장애는 파장 이외에 출력밀도, 피폭시간에 영향을 받아 정도의 상피장애, 궤양, 천공 등 여러 형태로 나타난다.

700~1,400 nm의 적외선 영역이나 300~400 nm의 자외선 영역의 LASER는 홍채와 수정체에서 흡수되어 백내장을 일으킨다.

LASER 사고 때는 망막장애가 흔히 나타난다. 近자외선, 可視光線, 近적외선 영역 (400~1,400 nm)의 광선이 초자체에 작용하여 망막상에 초점을 형성해서 망막에 장애를 일으키는 것이다. 특히 LASER는 지향성이므로 에너지가 모두 눈에 집중되고 水晶體의 Focusing 作用에 의하여 망막상에 한 초점을 형성하여 망막에 큰 損傷을 입히게 되는 것이다.

망막손상은 열에 의한 망막소작과 응고이며 일과성의 발작에서부터 부종, 괴사, 출혈탄화, 기포발생, 망막박리, 실명 등 여러가지 장애가 일어난다. 망막손상의 일부는 生化學的 作用으로 야기된다 (440 nm).

(2) 皮膚障害

赤外線 領域에서 작동하는 CO₂ LASER (10.6 μm)는 熱作用이 강하여 皮膚火傷의 위험이 특히 크다. 고출력의 LASER도 皮膚火傷 (열응고, 탄화 등)을 일으키나 경미한 발작에 그치기도 한다. LASER가 피부에 미치는 작용은 피부색에 따라 약간씩

차이가 나며 흑인보다 백인이 장해를 덜 받는다. 만성 또는 반복조사의 효과는 통상 무시된다.

4.5 라디오(RF)波 및 Microwave

4.5.1 RF波 및 Microwave의 性質

10 kHz ~ 300,000 MHz 帶域의 電磁波인 RF波 및 Microwave는 TV, Radio, Radar 등에 광범위하게 사용되어 피폭인구가 많은 반면에 그 생체효과는 아직도 확실하게 알려져 있지 않다. 산업용으로는 Radar 이외에 Microwave를 이용한 열접착, Microwave爐, 전자레인지에 이용하고 있고 의학분야에서는 Diathermy와 Microthermy에 이용된다.

RF波 및 Microwave가 산업장에서 문제가 되는 분야는 자동차 공업 종사자, 식품제조, 가죽제조 및 목공, 글래스 화이버, 지류제조, 플라스틱 열접착, 고무제출 제조공, 섬유제조업 종사자, RF/Microwave 응용장치 조작자 등이다.

4.5.2 RF波 및 Microwave의 生體作用

(1) 熱作用

RF波 및 Microwave의 조직 가열작용은 가장 잘 알려진 사실이다. 그러나 인체 표면에는 지각신경이 분포되어 있어서 체표면에 흡수된 RF波 및 Microwave가 조기에 온감을 불러 일으키는 반면에 심부에 흡수된 것은 그 효과가 늦게 나타나므로 불쾌감을 느낄 때는 이미 장해가 일어나 있을 수도 있다.

보통의 환경조건에서 운동하지 않고 있는 사람에게 있어 全身에 대한 SAR이 1 W/kg, 短時間내에 4 W/kg 이하, 일 경우 1 °C 정도의 신체온도 상승을 일으키는 것으로 보고되고 있다. 따라서 충분한 Margin을 생각하여 건강한 사람의 全身 SAR

을 0.4 W/kg으로 제한토록 하여야 한다.

일반적으로 150 MHz 이하의 RF/Microwave는 신체에 흡수되도 감지되지 않는다. 150~1,000 MHz에서는 深部까지 흡수되어 열을 발생시키나 사람의 감각 기구에는 감지되지 않는다. 1,000~3,000 MHz는 에너지가 심부까지 흡수되나 피부나 피하지방이 두꺼워 전체의 양이 크며 또 주파수가 많으면 피부에 흡수되는 부분도 늘게 된다. 10,000 MHz 이상의 것은 피부에서 흡수되어 부분적인 온감을 일으킨다.

(2) 눈에 대한 作用

눈의 水晶體는 혈액을 잘 공급받지 않아 냉각능력이 부족하고 파괴된 세포의 노폐물이 잘 축적되는 관계로 열에 매우 민감하고 약하다. 따라서 열작용이 강한 Microwave나 RF波에 노출될 경우 수정체에 백내장 (Cataract)을 유발할 가능성이 농후하다. 특히 1~10 GHz의 Microwave는 백내장을 잘 일으킨다. 100~200 분 노출시 백내장이 일어나는 수정체의 온도는 41~43 °C이며, 이에 해당하는 局部 SAR은 100~140 W/kg이다. 수정체의 Ascorbic 함량이 Microwave 자극으로 감소되므로 백내장을 예고하는 指標가 된다.

(3) 中樞神經에 대한 作用

사람에게는 300~1,200 MHz의 周波數 범위에서 가장 민감하게 나타나며 100 $\mu\text{m} \cdot \text{W}/\text{cm}^2$ 정도의 출력 밀도의 Microwave도 파장과 진동수에 따라 각각 올림, 간지럼, 두드림을 느끼게 한다. 대뇌 측두엽 표면부가 가장 예민하다. 청신경에 대한 직접 자극, 와우각 모세포의 자극, 電磁界 刺戟 등이 그 원인으로 꼽힌다.

중추신경계의 증상으로는 두통, 피로감, 지적 능력의 저하, 둔감, 기억력 감퇴, 성적흥분 감퇴, 자극, 기면 또는 불면, 정서 불안정 등이 기록되었으며 타각적으로는 발한, 저혈압, 호흡곤란, 흉통, 동성 부정맥, 서맥 등의 심장혈관장애와 뇌파변화, 지각둔마, 조건반사의 둔화, 식물 신경계 조절보상 기구의 붕괴 등이 있으며 이것은

Micro-Thermal Heating의 결과일 가능성이 있다. 동물에서는 행동 변화가 관찰되었으며 이는 熱效果 때문이다.

(4) 血液의 變化

일부 연구결과에서 혈액중에 있는 임파구毒素의 감소, 홀몬, 효소, 면역요소 등의 변동이 나타나며 백혈구의 증가, 망상 적혈구의 출현, 혈소판의 감소가 나타난다고 보고하고 있으나 일반적으로 공인되지는 못하고 있다.

(5) 遺傳 및 生殖機能에 미치는 影響

많은 동물실험 결과, RF 및 Microwave의 피폭은 돌연변이성이 아니어서 체세포 돌연변이는 일으키지는 않는 것으로 알려지고 있다. 따라서 발암의 가능성은 없다고 볼 수 있다. 그러나, 생식기능상의 장애를 유발할 가능성이 보고되고 있다. 특히 여성의 경우가 이 가능성이 더욱 크다.

辜丸도 熱에 민감하다. 辜丸의 온도는 體溫보다 數 °C 낮아서, 溫度가 높아질 경우 이 溫度가 男性 生殖細胞, 특히 감수분열이 진행되는 生殖細胞에 나쁜 영향을 미친다고 알려져 왔다. 쥐의 경우 6W/kg으로 만성적인 피폭을 받으면 고환의 온도가 1.5~3.5 °C 정도 상승하여 일시적인 不妊이 되는 것으로 보고되고 있다.

(6) 기타 被害作用

이전에는 300 MHz 이하 RF의 영향은 없는 것으로 알고 있었다. 그러나 동물 실험에서 6~12 MHz의 RF가 장관운동 항진과 코린에스테라제 활성치의 저하를 가져온다는 사실이 인지됨으로써 3~30 MHz의 RF에도 電場 및 磁場 강도에 어느 정도의 제한이 필요한 것으로 밝혀졌다.

저준위 Microwave 및 RF 波는 뇌세포내의 칼슘이온의 이동성과 뇌의 電氣的 활동을 변화시키고, 임파구毒素 (일종의 抗體)를 감소시키며 세포의 성장과 증식에 관

계하는 酵素 (Enzyme)의 활동을 증대시킨다는 사실도 알려져 있다.

흡수되는 에너지의 분포와 크기 그리고 생체작용은 피폭조건과 동물의 종류에 따라 달라지나 산업용 RF에 피폭되는 사람은 고환, 회음부, 축흉부 등에 온감을 느끼며 25~26 MHz의 것이 가장 잘 인체에 흡수된다고 한다.

4.6 極低周波 (ELF)

4.6.1 ELF의 性質

外部電界는 人體의 形狀과 大地표면으로부터의 위치에 따라 人體皮膚面에 時變 (Time-varying) 電荷를 誘起시킨다. 皮膚面의 電荷의 靜電氣는 人體表面에 感知 가능한 生體效果를 유발한다. ELF 電氣場 내에서 接地物과 非接地物이 接觸할 경우 電流가 흐르게 하거나 Spark 放電을 야기시킨다.

1 kV/m, 50 Hz 電場에 수직으로 노출된 人間의 머리와 身體에는 약 $80\sim 250\ \mu\text{A/m}^2$ ($0.4\sim 1.25\ \text{mV/m}$)의 電流密度가 誘起된다.

한편, 時變 磁氣場은 Ion과 같은 帶電粒子에 힘을 미치게 한다. 이 힘은 Faraday의 법칙에 따라 生體系에 組織(Tissue)의 導電率과 磁束密度의 變化率에 비례하는 순환 電流를 유발시킨다.

4.6.2 ELF의 生體作用

대부분의 경우 20 kV/m 이하의 電氣場, 5 mT 이하의 磁氣場에 노출될 경우 혈액 또는 생리학적 因子 그리고 行動상에 아무런 영향이 나타나지 않는 것으로 나와 있다. 그러나 사람들은 이 수준의 ELF에 의하여 인체에 勵起된 요동하는 皮膚表面 電荷의 영향을 느끼게 된다. 이 영향은 그 자체로서는 건강에 아무런 해가 되지 않지만 반복적으로 일어날 경우 귀찮게 되고 스트레스를 주게 된다.

(1) 知覺

ELF 電氣場은 충분한 강도를 갖지 않는한 지각하기가 어렵다. 成人의 10%만이 10~15 kV/m 이하의 50~60 Hz 電氣場을 지각할 수 있으며, 磁氣場의 경우는 20 Hz 에서는 5~10 mT, 50~60 Hz에서는 15 mT의 강도래야 知覺이 가능하다.

(2) 神經生理學的 影響

9 kV/m, 60 Hz 電氣場에 피폭된 사람의 심장박동수가 약간 감소하고 EEG의 몇몇 성분의 크기의 변화가 관찰되었다는 보고가 있으나, 20 kV/m 까지의 電氣場의 피폭으로는 인체가 영향을 별로 받지 않는 것으로 알려져 있다.

50~60 Hz의 磁氣場도 100 mT까지는 인체의 EEG나 神經系機能에 어떤 변화도 일으키지 않는 것으로 조사되고 있다.

인체에 直接的으로 인가되고 있는 1~1000 Hz의 循環 電流에 의한 영향은 표 4.2에 나와 있는 것들이 일반적으로 알려져 있다.

표 4.2 電流密度와 生物學的 影響

電 流 密 度	生 物 學 的 影 響
1 ~ 10 A/m ²	直接的인 神經 및 筋肉 刺戟
100 ~ 1000 mA/m ²	中樞神經系 活動의 變調 細胞 新陳代謝의 變化 (試驗管內)
10 ~ 100 mA/m ²	망막 機能의 變化 中樞神經系統의 變化 가능성 細胞 新陳代謝의 變化 (試驗管內)
< 1 ~ 10 mA/m ²	별 影響 없음

이 결과는 10 mA/m^2 이상의 電流密度에서는 推論力이나 記憶力 같은 미묘한 中樞神經系 機能이 영향을 받을 수 있음을 나타내고 있다.

(3) 遺傳, 生殖 및 發育에 미치는 影響

대부분의 동물실험이나 시험관실험을 통해 볼 때, ELF 電氣磁氣場은 體細胞突然變異나 遺傳子에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있다. 다만, 細胞膜 양단 電位差의 변화를 일으켜 이것이 細胞機能에 어떤 영향을 미칠 수는 있다.

500 V/m 이하의 ELF 電氣場과 4 mT 이하의 磁氣場은 현재로서는 사람을 포함한 포유동물의 生殖과 發育에는 영향이 없는 것으로 알려져 있으나, 계속적인 연구가 더 필요하다.

(4) 血液學 및 免疫學

5~50 kV/m 이하의 50~60 Hz 電氣場에 노출될 경우, 혈액학이나 혈액의 생화학적 성분에는 아무런 변화가 없는 것으로 조사되고 있다.

0.1 mT 세기의 45 Hz 磁氣場에 1일동안 노출된 사람들에 있어서 혈청의 특정한 화학성분(Triglyceride)이 약간 증가한 외에 별다른 변화가 없음이 관찰되었다.

(5) 기타 被害作用

시험관 실험에서는 10 kV/m를 넘는 60 Hz 電氣場에서 細胞의 성장과 增殖에 관계하는 酵素 (Enzyme)에 영향을 미치는 것으로 나타났다. ELF 磁氣場에 대한 실험에서는 0.5~3.5 mT에서 增強된 DNA 轉寫 및 Polypeptide 合成이 관찰된 것으로 알려져 있다. 그러나 이런 것이 發癌 등과 관련이 있는지의 여부는 보다 정밀한 실험이나 연구를 통하여야만 확실히 밝혀질 것이다.

5. 非電離電磁波의 防護對策

5.1 紫外線의 許容基準과 對策

紫外線의 被曝 許容基準에 관해서는 國際放射線防護協會 (International Radiation Protection Association; IRPA) 산하의 國際非電離放射線委員會 (International Non-Ionizing Radiation Committee; INIRC)가 1985년에 발표한바 있는데, 이는 美國産業衛生政府專門家議 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)가 발표한 것과 동일하고, 美國國立標準局 (American National Standards Institute; ANSI)의 基準과도 매우 유사하다. 이 被曝許容限界 (Exposure Limit; EL)은 緯度가 $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 인 지역에서 여름날 정오 무렵에 5~10 분만 太陽光線에 照射되어도 초과할 정도의 量이다.

電磁波 被曝과 관련하여 많이 사용되는 用語에 發光量 (Irradiance)이 있는데, 이는 “어떤 면 위에 있는 한 점에서, 그 점을 포함하는 面의 要素에 조사되는 放射線束을 그 面要素로 나눈 값”으로서, 수식으로는 다음과 같이 定意된다.

$$E = \frac{d\phi_e}{dA}$$

여기서, E는 發光量으로서 SI 單位는 W/m^2 이고, ϕ_e 는 放射線束 (單位: W)이다.

一般人 및 作業者에 있어서, 發光值 (Irradiance Value)를 알고 被曝時間을 제어할 수 있는 紫外線이 피부나 눈에 대한 被曝許容限界 (EL)는 다음과 같다.

- (1) 近紫外線 (UV-A; 320~400 nm)의 보호되지 않은 피부나 눈에 대한 EL은 被曝時間이 10^3 초 (약 16 분) 이상일 경우는 $1 mW/cm^2$ ($10 W/m^2$)을, 被曝時間이 10^3 초 이하일 경우는 $1 J/cm^2$ ($10 kJ/m^2$)을 초과하여서는 안된다.
- (2) 化學紫外線 (UV-B 및 UV-C; 180~315 nm)의 보호되지 않은 피부 또는 눈에

대한 EL은 8시간 이내의 被曝에 있어서 표 5.1에 주어진 허용치를 초과하여서는 안된다.

표 5.1 紫外線의 波長別 被曝許容限界 (EL)

波 長 (nm)	被曝許容限界 (EL)		Relative Spectral Effectiveness, S_{λ}
	(J/m ²)	(mJ/cm ²)	
180	1000	100	0.03
190	1000	100	0.03
200	1000	100	0.03
205	590	59	0.051
210	400	40	0.075
215	320	32	0.095
220	250	25	0.12
225	200	20	0.15
230	160	16	0.19
235	130	13	0.24
240	100	10	0.30
245	83	8.3	0.36
250	70	7.0	0.43
255	58	5.8	0.52
260	46	4.6	0.65
265	37	3.7	0.81
270	30	3.0	1.0
275	31	3.1	0.96
280	34	3.4	0.88
285	39	3.9	0.77
290	47	4.7	0.64
295	56	5.6	0.54
297	65	6.5	0.46
300	100	10	0.30
303	250	25	0.19
305	500	50	0.060
308	1200	120	0.026
310	2000	200	0.015
313	5000	500	0.006
315	10000	1000	0.003

스펙트럼 有效性曲線 (Spectral Effectiveness Curve)의 최대치 (270 nm)에 대하여 加重이 된 廣帶域 線源의 有效發光量 (Effective Irradiance)은 다음 식에 의하여 결정된다.

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda}$$

여기서,

E_{eff} = 波長 270 nm의 單一紫外線源으로 正規化 (Normalize)시킨 有效發光量
[$\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 또는 W/m^2]

E_{λ} = 측정에 의한 스펙트럼 發光量 [$\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ 또는 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$]

S_{λ} = 상대적 스펙트럼 有效性係數 (Relative Spectral Effectiveness)

Δ_{λ} = 계산 또는 측정의 Bandwidth [nm]

표 5.2 紫外線의 被曝許容時間과 被曝限界 有效發光量

1日 被曝時間	有效 發光量 (Effective Irradiance)	
	E_{eff} [W/m^2]	E_{eff} [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
8 시간	0.001	0.1
4 시간	0.002	0.2
2 시간	0.004	0.4
1 시간	0.008	0.8
30 분	0.017	1.7
15 분	0.033	3.3
10 분	0.05	5
5 분	0.1	10
1 분	0.5	50
30 초	1.0	100
10 초	3.0	300
1 초	30	3000
0.5 초	60	6000
0.1 초	300	30000

보호되지 않는 피부 및 눈에 조사되는 화학자외선의 허용피폭 시간 [秒]은 30 J/m^2 를 $E_{\text{eff}} [\text{W/cm}^2]$ 로 나눈 값이다. 또한 최대 피폭허용시간은 표 5.2를 이용하여서도 구할 수 있는데, 이 표는 有效發光量 $[\text{W/m}^2 \text{ 또는 } \mu\text{W/cm}^2]$ 에 대응하는 대표적인 피폭시간을 나타내고 있다.

紫外線에 대한 防護對策은 被曝이 옥내에서 일어나는가 옥외에서 일어나는가에 따라 달라진다. 모자, 보호안경, 안면차폐막, 의복, 그늘진 구조물 등은 실용적인 방호수단이라 할 수 있다.

여느 실내 産業災害처럼, 紫外線 防護對策에 있어서도 保護衣나 保護眼鏡의 着用 등과 같은 소극적인 안전대책보다 工學的 制御手段이 선호된다. Arc 램프에 대한 유리面은 대부분의 UV-B 및 UV-C를 걸러내준다. 그러나 고출력의 유리면 램프 및 Quartz Halogen 램프에 근접해서 오랜 시간 피폭될 우려가 있는 경우에는 추가적인 보호유리에 의한 여과가 필요하다. 빛이 새지 않는 캐비넷이나 봉입물 그리고 紫外線 흡수 유리 및 플라스틱 차폐물은 재료시험, 태양 시뮬레이션, 光저항 응용 및 光 치료 등과 같은 많은 산업현장에서 자외선 응용시 나오는 유해한 紫外線에 우리가 피폭되는 것을 막는데 이용할 수 있는 공학적 제어대책의 핵심이 된다. 이러한 대책의 선택은 작업기구나 작업방법에 따라 달라져야 한다. 예를 들어 Arc Welding을 하는데 있어 캐비넷은 적절치 못하다. 차폐막과 커튼 그리고 적절한 離隔距離는 Arc Welding이나 Arc Cutting 그리고 Plasma 噴射와 같은 Arc 工程에서 나오는 紫外線으로부터 작업자를 보호하는데 사용된다. 동력학적인 필터 Welding Helmet이나 투명 커튼 등 새로운 安全 器具들의 개발도 진행되고 있다.

潛在 被曝危險이 있는 작업자를 보호할 작업요령도 만드는 것이 필요하며, 작업자들은 이 요령을 엄격히 준수하도록 훈련되어야 한다. 또한 다른 작업을 하는 근로자나 주변 사람들에게 자외선이 조사되지 않도록 유의하여야 한다.

UV-C는 Ozone이나 浮游汚染物들을 만들 수도 있는데 이러한 것들을 환기시키는 것도 때로는 필요하다.

5.2 赤外線에 대한 許容基準 및 對策

赤外線의 IRPA 許容基準은 정해져 있지 않다. 그러나 ACGIH 및 ANSI에서는 10 mW/cm^2 로 제한하고 있다.

發熱體에서 放射되는 赤外線은 열전대를 사용한 복사계나 光電管式 赤外線計로 측정한다. 赤外線으로 인한 眼障害에는 차광보호구로 방호한다. 열사병의 방호에는 모자 등을 사용한다.

5.3 레이저 光線에 대한 許容基準 및 對策

IRPA/INIRC에서 1985년에 LASER의 被曝限界에 관한 勸告案을 발표했고, ACGIH에서는 단순한 지침에 불과하다는 前提하에 被曝許容基準을 1977년에 제시했다.

英國標準局 (British Standards Institution)에서 발간한 BS 7192:1989 (Radiation Safety of Laser Products)에서는 最大許容被曝 (Maximum Permissible Exposure; MPE)를 정의하여 LASER의 波長帶별로 被曝時間에 따른 限界値를 정하고 있다. MPE 水準은 눈이나 피부가 피폭 즉시 또는 피폭후 오랜 시간후에라도 어떠한 傷害도 입지 않고 피폭될 수 있는 水準을 의미하며, 波長의 길이, Pulse 幅, 被曝時間, 細胞組織 등에 관계된다. 특히 MPE는 被曝時間에 크게 좌우된다. 예를 들어, 波長이 $315 \sim 400 \text{ nm}$ 의 LASER Beam의 경우, 被曝時間이 1 nsec 이하일 때는 $3 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$ 이고, 被曝時間이 $10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4} \text{ sec}$ 일 때는 10 W/m^2 이다.

LASER는 被曝될 경우 매우 위험하므로 작업수칙이나 안전지침을 준수하는 것이 필수적이다. LASER 安全對策의 기본원리는 다음과 같다.

- ① LASER Power를 최소화한다.
- ② LASER 光束의 통로를 짧게 하고 密封한다.

③ LASER光에의 被暴이 일어날 수 있는 시간을 최소화한다.

④ LASER 應用機器 및 發生裝置의 설계, 제작 및 사용은 관련 규정을 엄격히 준수한다.

건강관리는 인사관리 및 작업이력을 기록하는데서 시작하고, 취업할 때와 매 6개월마다 그리고 이직시에는 健康診斷을 실시하도록 한다.

眼疾患, 一眼 失明, 兩眼視力이 0.5 이하인 사람은 LASER 작업 부적격자로 간주한다. 視力檢査 외에 眼底 등 각종 안과검사를 한다. 피부과학적으로는 각화 이상, 이상건조, 색소침착, 종양, 광과민성 피부질환의 유무에 유의한다. 혈압측정, 혈구검사, 출혈성 소인의 검사도 실시한다.

5.4 라디오(RF)波 및 Microwave의 許容基準 및 對策

IRPA/INIRC가 100 KHz ~ 300 GHz 帶域의 라디오波 (RF) 電磁氣場의 피폭한계에 대한 指針을 1984년에 발표하고 1987년에 개정하였다. 이중 300 MHz ~ 300 GHz 帶域에 해당하는 부분은 흔히 Microwave (MW)라고 부른다.

본론에 들어가기에 앞서, RF波와 관련한 單位 (Unit)에 대하여 간략히 알아보기로 한다.

- (1) 먼저 10 MHz 이상의 帶域에서 基本的인 被曝限界 (Basic Limits of Exposure)를 다룰 때는 比吸收率 (Specific Absorption Rate; SAR)을 사용하게 된다. 比吸收率 (SAR)은 單位質量當 흡수된 動力 (Power)로서 SI 單位는 W/Kg이다. 실용적인 목적이나 비교적인 목적으로는 파생된 被曝限界 (Derived Limits of Exposure)로서 生體의 存在와 관계없이 動力密度 (Power Density) 또는 에너지束 密度 (Energy Flux Density)을 주로 사용한다. Power 密度는 어떤 작은 球에 照射되는 放射動力 (Radiant Power)을 그 球의 斷面積으로 나눈 것으로서, 이의 SI 單位는 W/m^2 이다.

(2) 10 MHz 이하의 周波數帶域에서는 SAR이 별 의미가 없는데, 이는 人體被曝으로 인한 生體影響이 人體내에서 발생하는 電流密度와 근본적으로 관련이 더 크기 때문이다. 0.1~10 MHz 帶域의 周波數에 대해서는 人體밖의 電氣 및 磁氣場과 生體學적으로 영향을 미치는 細胞組織 (Tissue)의 電磁場 세기나 電流密度와의 관계가 별로 알려진 것이 없다. 그래서, 10 MHz 이하의 帶域에서는 基本 被曝限界는 人體外部에 照射되는 “有效 電氣場 세기 (Effective Electric Field Strength)”, E_{eff} 및 “有效 磁氣場 세기 (Effective Magnetic Field Strength)”, H_{eff} 로 나타내어진다. 이 E_{eff} 및 H_{eff} 의 SI 單位는 각각 V/m와 A/m이다.

IRPA/INIRC는 RF波의 被曝限界를 職業人和 一般人으로 나뉘서 제시하고 있는데 이는 각각 다음과 같다.

가. 職業人の 경우

(1) 10 MHz 이하의 RF波에 대한 職業적 被曝은 표 5.3에 나와 있는 교란되지 않은 RMS 電氣·磁氣場의 세기를 초과하지 않아야 한다.

표 5.3 RF 電磁場에 대한 職業的 被曝限界

周波數, f (MHz)	非攪亂 RMS 電磁場 세기		等價 平面波 Power 密度	
	電氣場, E (V/m)	磁氣場, H (A/m)	P_{eq} (W/m ²)	P_{eq} (mW/cm ²)
0.1 ~ 1	614	1.6/f	-	-
1 ~ 10	614/f	1.6/f	-	-
10 ~ 400	61	0.16	10	1
400 ~ 2000	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	f/40	f/400
2000 ~ 300000	137	0.36	50	5

註: IRPA Guidelines (1987)에서 인용.

(2) 10 MHz 이상의 RF波에 대한 職業적 被曝은 i) 人體의 끝부분들 (손, 발, 손목,

발목 등)이 0.1 Kg당 2 W를 초과하지 않고, ii) 人體의 기타 어느 부분도 0.1 Kg당 1 W를 초과하지 않는 조건하에서, SAR이 全身에 대하여 임의의 6분간에 걸쳐 평균한 값이 0.4 W/Kg을 초과해서는 안된다.

나. 一般人の 경우

- (1) 10 MHz 이하의 RF波에 대한 一般人の 被曝은 표 5.4에 나와 있는 교란되지 않은 RMS 電氣·磁氣場의 세기를 초과하지 않아야 한다.

표 5.4 RF 電磁場에 대한 一般人の 被曝限界

周波數, f (MHz)	非攪亂 RMS 電磁場 세기		等價 平面波 Power 密度	
	電氣場, E (V/m)	磁氣場, H (A/m)	P_{eq} (W/m ²)	P_{eq} (mW/cm ²)
0.1 ~ 1	87	0.23/f	-	-
1 ~ 10	87/f	0.23/f	-	-
10 ~ 400	27.5	0.073	2	0.2
400 ~ 2000	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	f/200	f/2000
2000 ~ 300000	61	0.16	10	1

註: IRPA Guidelines (1987)에서 인용.

- (2) 10 MHz 이상의 RF波에 대한 직업적 被曝은 i) 人體의 끝부분들 (손, 발, 손목, 발목 등)이 0.1 Kg당 2 W를 초과하지 않고, ii) 人體의 기타 어느 부분도 0.1 Kg당 1 W를 초과하지 않는 조건하에서, SAR이 全身에 대하여 임의의 6분간에 걸쳐평균한 값이 0.4 W/Kg을 초과해서는 안된다.

다. RF 쇼크 및 火傷

RF 電磁場에 의하여 充電이 된 非接地 金屬導體를 접촉하거나 또는 充電된 人體가 接地된 金屬體와 접촉할 때, RF 쇼크 및 火傷이 발생할 수 있다. 만약 접촉점의

전류가 50 mA를 초과할 경우, 火傷의 위험이 크다.

人體로 흘러들어가는 전류는 人體의 크기 (몸무게)와 밀접한 관계가 있고, RF 電磁場 및 人體의 大地에 대한 Impedance의 函數이다. RF 火傷은 50 mA 이하의 點接觸 전류에 의하여는 야기되지 않는다.

ACGIH의 許容基準 (1977)은 10 mW/cm^2 에서는 전 피폭 8시간 근무중 어느 60분간이라도 10분보다 짧은 시간에 25 mW/cm^2 를 초과않는 것으로 되어있다.

ANSI와 OSHA에서 제시하고 있는 10 MHz에서 100 GHz 범위의 MW 및 RF 波의 허용한계는 어떤 0.1 時間에 걸쳐 평균한 값이 10 mW/cm^2 이다. 이는 다음과 같은 것을 의미한다.

- ① 최소 0.1 時間 이상의 Power Density는 10 mW/cm^2 이다.
- ② 임의의 0.1 時間 동안의 Energy Density는 1 mW-hr/cm^2 이다.

이 지침은 방사선이 연속적이든 간헐적이든 관계없이 적용된다. 그러나, 이 허용치는 RF波에 피폭되는 것을 규제하는 지침으로 사용하되 안전과 위험의 경계선으로 생각해서는 안된다.

직업적으로 출력을 아는 RF波에 被曝되고, 被曝시간을 조절할 수 있는 경우의 허용치는 다음과 같다.

- ① 平均出力이 10 mW/cm^2 이하인 때는 總被曝時間은 1일 8시간을 넘지 말아야 한다 (連續 被曝).
- ② 平均出力이 $10 \sim 25 \text{ mW/cm}^2$ 이하인 때는 總被曝時間은 8시간 근무중 1시간에 10분을 넘어서는 아니된다 (間歇 被曝).
- ③ 平均出力이 25 mW/cm^2 이상인 초단파에는 被曝되어서는 안된다. 출력이 일정하지 않을 때는 平均出力 = 最大出力 $\times$ Duty Cycle 으로 계산한다. 단, Duty Cycle = Pulse 持續時間 [秒] $\times$ Pulse數 [Hz]이다.

周波數가 10 KHz 이하인 電磁波에 대하여는 ACGIH가 1988년에 설정한 限界基準이 있다. 이는 100 mW/cm^2 로서 614 V/m의 電氣場 세기 또는 163 A/m의 磁氣場 세기에 해당한다.

美國 電氣電子工學會 (IEEE)에서도 이와 유사한 安全基準値를 정하고 있다. 단, 100 MHz를 기준으로 하여 그 이하에서는 V/m 또는 A/m 單位로 규정하고, 그 이상에서는 mW/cm^2 의 單位로 규정하고 있다.

RF 電磁波의 防護를 위해서는 무엇보다도 RF波 被曝에 따른 障·災害로부터 作業者 및 一般人을 보호하기 위한 責任이 政府 관계당국에서 개인에 이르기까지 명확히 부여되어야 한다. 政府차원에서의 책임은 다음 사항을 망라하여야 한다.

- ① 被曝限界의 개발 및 규정화 그리고 遵守 Program의 제도화.
- ② 개개 機器로부터의 照射量을 제한하는 裝備性能 및 放出基準의 개발.
- ③ 出力과 防護指針에 따른 RF 電磁波源의 구분.
- ④ 개별적인 지침이나 주의표시에 관계없이, 대량으로 방출하는 機器에 대한 방출제어수단의 의무화.
- ⑤ RF 電磁波 에너지의 安全使用에 관한 使用者를 위한 實務指針書의 작성.
- ⑥ 표준화된 측정절차 및 조사방법의 개발.
- ⑦ RF 放射線의 被曝 注意 및 防護方法에 관한 作業者 및 一般人의 교육.

事業場 차원에서는 다음과 같은 사항들이 실시되어야 한다.

- ① 限界値 이상의 RF 放射線을 방출할 가능성이 있는 모든 시설 및 기기들에 대한 測定 調査.
- ② 調査報告書 (Survey Report)는 피폭 상황에 대하여 상세히 기록하고, 한계치를 초과하는 경우에는 이를 낮출 수 있는 수단 및 방법을 제시하여야 하며, 적절히 보관되어야 함.

③ 모든 RF 작업자에 대하여 안전사용을 위한 사업장내 안전절차를 충분히 인지하도록 할 것.

④ 事業場의 제반절차에서 個人防護具의 사용은 최후의 수단이어야 함.

漏泄되는 電波의 측정에는 電磁界 Tester를 사용한다. Microwave 특히 Radar에 피폭될 때는 保護衣를 착용한다. 전자레인지는 Microwave가 새지 않는 구조로 하고 연동장치를 부착하며 漏泄 Microwave의 측정 및 경고 등이 가능하도록 하여야 한다.

5.5 極低周波 (ELF)에 대한 許容基準 및 對策

IRPA는 1990년 50/60 Hz 電氣 및 磁氣場에 대하여 다음과 같은 被曝許容基準을 정했다.

- (1) 職業的인 被曝의 許容限界는 電氣場의 경우 10 KV/m, 磁氣場의 경우는 0.5 mT (400 A/m)이다.
- (2) 一般公衆에 있어서 連續的인 被曝에 대한 許容限界는 電氣場의 세기로는 5 KV/m, 磁氣場의 세기로는 0.1 mT (80 A/m)이다.

Australia는 이 IRPA 基準을 이미 채택하였고, 독일 등 유럽 각국도 대체로 IRPA 基準과 유사한 기준을 채택중에 있다. 영국의 경우는 특이하게 電氣場의 許容限界는 12 KV/m, 磁氣場의 경우는 2.0 mT (1600 A/m)까지 높은 限界値를 허용하고 있다.

미국은 州별로 許容基準이 다르나 電氣場의 경우는 대체적으로 IRPA 기준과 유사하며 (2~12 KV/m), 磁氣場의 경우는 Florida州 등에서 0.015~0.02 mT로 아주 낮게 규정하고 있으나 대부분의 州는 아직 확립된 基準을 갖고 있지 못하다.

ELF 電磁波의 防護對策도 RF 電磁波의 그것과 대체적으로 유사하다고 할 수 있

다. 현재 몇몇 선진국에서 ELF 防護對策의 일환으로 送·配電 방법을 개선하는 것 등이 연구되고 있으나 아직 현실적인 해답은 얻지 못하고 있다. 따라서 현실적으로 電磁氣波의 發生源을 제거하거나 차폐하기는 거의 불가능하므로, 이러한 被曝限界를 초과하지 않기 위해서는 가능한한 電磁波 環境에 露出되는 것을 최소화하여야 한다.

引入線을 제외한 送配電線에서 일정한 거리가 떨어져서 住居空間을 짓거나 作業場을 설치하는 것도 한 방법이 될 수 있으며, 무엇보다도 電氣機器 使用에 유의하여야 한다. 예를 들면 Hair Dryer나 전기면도기 같은 것은 IRPA 許容基準의 20~30 배인 2~3 mT까지의 磁氣場이 나올 수 있어 이를 장시간 머리카락이나 얼굴 가까이 대고 사용하는 것은 매우 해로울 수가 있으므로 조심하여야 한다. 그리고 電氣담요나 요즘 방문판매 등으로 사회적인 물의를 빚고 있는 磁氣요 같이 몸 가까이서 장시간 사용하는 電磁氣用品 등도 사용에 유의할 필요가 있다.

事業場에는 送配電線의 密度가 특히 높고, 많은 종류의 電氣機器들을 사용하고 있으므로 ELF 電磁波 防護에 세심한 주의가 필요하다. 우선적으로 事業場 전체에 대한 電磁波 測定을 포함한 實態調査 (Survey)를 실시하여, 電磁波가 많이 나오는 곳은 차폐체의 설치 등에 의하여 電磁波放出을 基準値 이하로 감소시키도록 하여야 한다. 電磁波를 많이 방출하는 機器들은 사용거리를 확보하고 사용시간을 제한하여 基準値 이상으로 피폭되는 것을 방지하여야 한다.

6. 맺 음 말

電磁波는 눈에 보이지도 않고 냄새도 나지 않으며 대부분의 경우 느껴지지도 않아 우리가 무관심하게 지나쳐오고 있다. 原子力産業界를 중심으로 Gamma 線, X-線 등의 電離放射線에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있고, 일반인들의 관심도 높다. 그러나, 일상생활이나 사업장, 사무실 등에서 흔하게 노출되고 있는 RF, Microwave, ELF 電磁波와 같은 非電離放射線에 대해서는 매우 무관심해 왔다. 물론 아직까지 이러한 非電離 電磁波의 人體障害에 대하여는 확실하게 규명된 것은 많지 않으나, 熱作用이나 水晶體, 遺傳因子 등에 대한 작용으로 人體에 갖가지 障害를 유발할 수 있다는 사실이 점차 밝혀지고 있다. 電磁波는 人體障害외에도 電子部品을 파괴하거나 干涉 (Interference)을 일으켜 이를 內藏하는 電氣·電子제품이나 기계의 성능을 저하시키고 誤作動을 유발하여 많은 産業災害의 중요한 원인이 되고 있다. 따라서 무엇보다도 非電離 電磁波에 대해서도 정부 관계부처와 관련기관, 기업체, 근로자 그리고 일반인 모두가 電磁波의 障·災害에 대한 관심을 갖고서 방호대책을 강구해 나가지 않으면 안될 것이다.

첫째로, 政府차원에서는 각종 電磁波의 被曝限界를 設定, 告示하고 事業主 및 勤勞者, 일반인이 준수하여야 할 제반 義務事項, 그리고 이의 遵守에 필요한 技術指針과 Program을 개발, 보급하여야 한다.

둘째로, 事業場 차원에서는 限界値 이상의 RF 放射線을 방출할 가능성이 있는 모든 시설 및 기기들에 대한 測定 調査를 실시하고, 限界値를 초과하는 경우에는 이를 낮출 수 있는 수단 및 대책을 강구하여야 한다.

셋째로, 電磁波 區域에서 작업하거나 電磁波發生 裝備를 취급하는 근로자들은 사업장내 안전절차를 충분히 인식하고 철저히 준수하여야 한다.

끝으로, 一般人들은 送配電線에의 접근을 가급적 삼가고, 각종 가정용 電氣·電子機器 사용에 따른 주의사항을 철저히 지켜나가야 할 것이다.

現代文明의 發達에 따라, 電氣 사용은 점점 늘어나고 情報通信의 膨脹, 電氣·電子機器의 급격한 使用增加 등으로 인하여 우리 주변의 電磁波環境은 날로 惡化되어 가고 있다. 이에 對處하여 産業災害를 減少시키고 人間과 環境을 保護하기 위해서는, 電離放射線과 마찬가지로, 非電離電磁波도 하루속히 被曝限界 등에 관한 基準 및 標準化를 確立하고, 人體障害를 포함한 각종 障·災害에 대한 深度있는 研究를 활발히 進行하여 適切한 防護對策을 樹立하여야 한다.

參考文獻

- [1] IRPA, Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation), Health Physics, Vol. 49, No. 2, pp. 331-340, August 1985.
- [2] IRPA, Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz, Health Physics, Vol. 54, No. 1, pp. 115-118, January 1988.
- [3] ANSI C95.1-1982, American National Standard Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz, IEEE, 1982.
- [4] ANSI C95.5-1981, American National Standard Recommended Practice for the Measurement of Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave, IEEE, 1981.
- [5] C.I. Kowalczyk, Z.J. Sienkiewicz, and R.D. Saunders, Biological Effects of Exposure to Non-ionizing Electromagnetic Fields and Radiation, Part I. Static Electric and Magnetic Fields, NRPB-R238, National Radiological Protection Board, U.K., 1991.
- [6] Z.J. Sienkiewicz, R.D. Saunders, and C.I. Kowalczyk, Biological Effects of Exposure to Non-ionizing Electromagnetic Fields and Radiation, Part II. Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields, NRPB-R239, National Radiological Protection Board, U.K., 1991.

- [7] R.D. Saunders, C.I. Kowalczyk, and Z.J. Sienkiewicz, Biological Effects of Exposure to Non-ionizing Electromagnetic Fields and Radiation, Part III. Radiofrequency and Microwave Radiation, NRPB-R240, National Radiological Protection Board, U.K., 1991.

- [8] Karen Fitzgerald et al., "Electromagnetic Fields: the jury's still out," IEEE Spectrum, pp. 22-35, August 1990.

- [9] D.N. Erwin, "Mechanisms of Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields: An Overview," Aviation, Space, and Environmental Medicine, pp. A21-A31, November 1988.

- [10] BSI 7192:1989, British Standard Specification for Radiation Safety of Laser Products, British Standard Institution, 1989.

電磁波 障·災害 豫防 (I)
(기전연 93-5-11)

發行日 : 1993. 11. 30
發行人 : 院 長 徐 相 學
著 者 : 機械電氣研究室長 李 寬 珩
發行處 : 韓國産業安全公團
産業安全研究院
住 所 : 인천직활시 북구 구산동 34-3
電 話 : (032) 513-0230
FAX : (032) 518-6483

<非賣品>