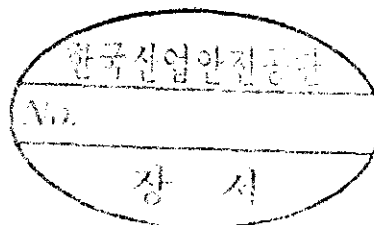


電磁波의 過多露出 防止를 위한 電磁波 環境에 관한 연구

1995. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

提 出 文

韓國産業安全公團 理事長 貴下

본 報告書를 産業災害豫防技術의 研究開發 및 普及事業의 일환으로
수행한 “電磁波에의 過多露出 防止를 위한 電磁波 環境에 관한 研究”
의 最終 報告書로 제출합니다.

1995년 12월 31일

主管 研究部署: 産業安全研究院
機械電氣研究室

研究遂行者: 室長 李寬珩

要約文

1. 과제명

電磁波에의 過多露出 防止를 위한 電磁波 環境에 관한 연구

2. 연구 기간: 1995년 1월 1일 ~ 1995년 12월 31일

3. 연구 목적

산업의 발달과 편리한 생활의 추구에 따라 날로 범람해 가고 있는 우리 주변의 電磁波는 사업장과 사무실 등에서 갖가지 電磁波 障害를 유발하여 産業災害를 초래할 뿐만 아니라 우리의 健康을 크게 위협하고 있음. 이에 우리 주변에서 電磁波를 발생하는 제반 要因들을 밝혀내고 선진국들이 도입하고 있는 電磁波의 被曝許容基準 등을 조사하여 電磁波로 인한 障·災害에 대처하기 위한 방안을 모색하고자 함.

4. 필요성

- 우리 주변에 산재해 있는 送·配電 施設이나 電氣機器들로부터 나오는 여러 가지 電磁波는 사업장에서 電磁波에 예민한 電子部品을 內藏한 自動化設備 및 危險機械들을 誤動作시켜 産業災害를 유발할 뿐만 아니라 熱作用이나 生體作用 등에 의하여 人體에 갖가지 障害를 초래하는 등 勤勞者의 健康을 크게 위협하고 있음. 그럼에도 불구하고 우리나라에서는 인식부족 등으로 인하여 아직 이에 대한 적절한 대응을 하지 못하고 있으며 연구활동도 미미한 실정임.
- 따라서 더 늦기 전에 이에 대한 연구를 시작하여 세계화 시대에 대비한 선진 각국과의 연구정보 교류를 위한 기반을 조성해 나가고, 우선적으로는 우리 주변의 有害한 電磁波 環境을 파악하여 산업체 勤勞者와 一般人의 健康을 보호하기 위한 대책을 시급히 마련할 필요가 있음.

5. 연구 내용

- 電磁波 環境 調査 (電磁波 發生源) 및 發生量 測定
 - ・ 變電所, 送電塔 등 送·配電 시설 주변

- 휴대폰 (Cellular Phone), 무선전화기 (Cordless Phone), Radio 및 電子레인지
- 컴퓨터 Monitor (PC用 및 Workstation用) 및 TV Monitor
- 電氣 Motor, 빌딩 配電室
- 형광등, 전기소제기, 전기면도기, 선풍기 등 家電製品
- 電鐵 (Platform 및 電鐵内部) 등
- 電磁波 被曝限界에 대한 國際 및 先進國 指針 조사 분석
 - 紫外線 (UV-A, UV-B 및 UB-C)의 被曝許容基準
 - RF波 및 Microwave의 被曝許容基準
 - Laser Beam, ELF波의 被曝許容基準 등
- 電磁波의 過多露出 防止를 위한 防護指針 작성
 - 紫外線 (UV-A, UV-B 및 UB-C)에 대한 防護指針
 - RF波 및 Microwave에 대한 防護指針
 - Laser Beam에 대한 防護指針 등

6. 연구결과 및 활용계획

- 연구 결과
 - 電磁波 環境 調査 (電磁波 發生源) 및 發生量 測定 및 分析. 본 測定 調査 결과 아직은 국제 및 선진국 基準에서 정한 被曝許容 限界値에는 미달하고 있으나 우리 주변의 電磁波 發生源이 날로 확산되어 가고 있는 실정에 있어 이에 대한 대책 마련이 시급함.
 - RF/MW, 紫外線, ELF波, Laser Beam 등에 대한 被曝許容限界에 대한 國際 및 先進國 指針의 調査 分析
 - RF/MW, 紫外線, ELF波, Laser Beam 등 電磁波의 過多露出 防止를 위한 防護指針 작성
- 활용 계획
 - 우리나라의 電磁波 防護基準 및 指針 제정에 활용
 - 사업장 근로자 및 일반인의 電磁波 防護를 위한 홍보자료로 활용
 - 교육원 및 사업장의 교육자료로 활용

목 차

요약문	i
1. 머리말	1
2. 電磁波의 基本 特性 및 單位	4
2.1 電磁波의 基本 特性	4
2.2 電磁波 관련 單位	8
3. 電磁波의 種類 및 性質	12
3.1 極低周波(ELF) 電界 및 磁界	13
3.2 라디오(RF)波 및 마이크로波	14
3.3 赤外線 (Infrared Radiation)	15
3.4 可視光線 (Visible Light)	17
3.5 紫外線 (Ultraviolet Radiation)	18
3.6 레이저 光線 (LASER Beam)	19
3.7 X-線 및 Gamma-線	22
4. 非電離電磁波의 人體影響	24
4.1 一般 事項	24

4.2 紫外線 (Ultraviolet Radiation)의 人體影響	25
4.3 可視光線 (Visible Radiation)의 人體影響	29
4.4 赤外線 (Infrared Radiation)의 生體作用	31
4.5 레이저(LASER) 光線의 生體作用	33
4.6 라디오(RF)波 및 Microwave의 生體作用	34
4.7 極低周波 (ELF)의 生體影響	38
5. 우리 주변의 電磁波 環境	43
5.1 RF 및 Microwave 電磁波 環境	43
5.2 ELF 電磁波 環境	49
6. 非電離電磁波의 被曝許容基準 및 防護方法	61
6.1 紫外線의 許容基準 및 防護方法	61
6.2 可視光線 및 赤外線의 許容基準 및 防護方法	68
6.3 LASER에 대한 許容基準 및 防護方法	71
6.4 RF波 및 MW의 許容基準 및 防護方法	76
6.5 ELF波에 대한 許容基準 및 防護方法	83
7. 맺음말	86
參考文獻	89

1. 머 리 말

삶의 質을 向上시키고자 하는 慾求가 팽배해가고 있는 요즈음 「安全」과 「環境」은 우리가 갖고 있는 가장 큰 關心事들 중의 하나가 되었다. 그런데 이 安全과 環境 문제는 文明의 발달과 더불어 해결되어 가는 것이 아니라 자꾸 새로운 것들이 생겨나 어려움을 더 해가고 있어 큰 일이다. 海難事故나 航空事故 같은 것은 그럴 수도 있으리라 여겨온 탓에 정도의 차이는 있겠지만 그리 놀랄 일이 못된다손 치더라도 대낮에 갑자기 무너져 내리는 튼튼해 보이던 橋梁과 고급 백화점, 그리고 주택가와 지하철공사장에서 터지는 대형 가스 폭발사고 등은 우리의 하루하루를 불안하게 하고 있다. 環境도 마찬가지로, 文明의 발달에 따라 우리 주변 環境은 그 汚染이 점점 더 심화되어 가고 있어 그대로 放置하면 우리의 健康은 말할 것도 없고 生存마저 위협하는 중대한 문제로 대두되고 있다.

電磁波는 人類의 文明이 시작되기도 전에 太初부터 존재하여 왔지만 이 역시 文明의 발달과 더불어 심각해져 가고 문제들 중의 하나이다. 電磁波 環境 문제는 環境뿐만 아니라 安全에도 관계가 되어 산업현장에서 각종 障·災害를 유발할 수 있다. 이러한 電磁波들이 우리 周邊에는 強弱의 차이가 있을 망정 수없이 많은 곳에서 발생되고 있다. 단지 대부분이 우리 눈에 보이지도 않고 귀에 들리지도 않아 人間의 五覺으로는 感知가 不可能하여 우리가 깨닫지 못하고 있을 따름이다.

電磁波는 自然的으로 존재하는 것들과 人工的으로 생겨나는 것들이 있다. 自然的으로 존재하는 電磁波중 대표적인 것은 물론 太陽光線이다. 太陽光線은 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 有益한 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에 존재하는 電磁波들은 대체적으로 유익한 것이 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 오존層이 각종 公害物質들로 인하여 파괴되어 감에 따라 太陽으로부터 직접 받게 되는 紫外線의 量이 점점 증가해 가고 있는 사실은 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 발생하고 있다. 현대 情報化社會는 情報通信을 根幹으로 하고 있으며 이에 따라, 각종 無線通信 設備 및 機器, 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, 電子레인지 (Microwave Oven) 같은 家電機器들로부터 나오는 電磁波, 각종 Laser 이 용장치에서 발생하는 Laser Beam 등의 量은 이루 다 헤아릴 수 없을 정도이다.

人工 電磁波들은 X-線을 제외하고는 모두가 非電離性이라 Laser를 제외하고는 지금까지 별로 문제시 되어오지 않았었으나 최근 들어 이들도 人體에 障害를 끼칠 수 있다는 우려가 확산되어 가고 있다. 최근 미국에서는 携帶用 無線電話機 (Cellular Phone)를 자주 사용하던 부인이 후두암으로 사망하자 그 남편이 製造會社인 Motorola 社를 상대로 소송을 낸 사건이 있어 세인들의 커다란 관심을 끈바 있으며, Sweden에서는 送電線 주변에 살던 아이들에게서 백혈병의 發病率이 다른 지역 아이들에 비하여 현저히 높게 나타났다는 역학조사 자료가 보고되어 많은 사람들의 우려를 자아내고 있다.

한편, 이러한 非電離性 電磁波들은 健康障害 문제는 차치하고라도 通信障礙라든지 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 EU 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 안된다는 소위 EMC에 대한 규제방안과 연구가 오래 전부터 활발히 진행되어 오고 있다. 산업현장에서는 Robot과 같은 위험 기계들이 외부 電磁波의 영향으로 誤動作을 일으켜 사고를 내는 일이 있어 이에 대한 연구도 매우 활발하다.

이와 같이 電磁波에 관한 研究는 重要性和 더불어 範圍가 워낙 넓어 이제 우리도 여기에 적극적인 투자를 해야 할 때라고 생각하며, 연구자도 많이 참여하여 長期間에 걸쳐 持續的인 연구를 推進하여 나가야 할 것이다. 이번 연구에서는 이러한 연구를 시작한다는 의미로 範圍를 좁게 한정하여 우리 주변에 흔히 있는 非電離電磁波에 대하여 고찰하고 이의 人體에 대한 健康상의 障害問題, 外國에서 검토하고 있는 被曝許容基準들을 살펴보고, 가능한 防護對策을 강구해보고자 한다.

2. 電磁波의 基本 特性 및 單位

2.1 電磁波의 基本 特性

電磁波는 共存하고 있는 電界와 磁界의 週期的인 變化에 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의 障害를 평가하는데 있어서 波長이 짧은 電磁波의 경우는 그 電磁波가 통과하여 가는 媒質에 전달되어지는 電力(Power) 또는 에너지 (Energy)가 중요하다. 그러나 波長이 긴 電磁波는 電氣場과 磁氣場 요소를 구분하여 독립적으로 다루는 것이 필요하다. 실제로 電磁波의 波源(Source)으로부터 電磁波의 波長의 길이와 관계되는 一定距離 이내는 近場地域 (Near Field Zone), 이 距離밖은 遠場地域 (Far Field Zone)으로 구분하여 취급한다. 近場地域에서는 電氣場과 磁氣場이 강하게 Coupled되지 않아 분리하여 다루어야 하고, 遠場地域에서는 電氣場과 磁氣場이 강하게 Coupled되어 있어 두 場의 세기중 하나만 알면 나머지는 자연히 결정되므로 이 電磁波의 電力密度를 산정할 수 있다. 이러한 조건에서 電磁波의 電氣場세기 (E)와 磁氣場세기 (B)의 比, E/H는 一定한데, 이를 特性임피던스 (Characteristic Impedance; Z)라고 한다. 眞空중에서 이 特性임피던스는 다음과 같다.

$$\frac{E}{H} = Z = 120\pi = 377 \Omega \quad (2.1)$$

傳達에너지 (Energy Transfer)는 傳播방향의 垂直인 單位面積을 통과하는 電力(Power)로서 다음 식으로 정의되는 Poynting Vector, S 로 나타내어진다.

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2.2)$$

平面波 (Plane Wave; 遠場地域)의 경우, 위 관계식을 이용하여 電力密度 S 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = E^2/120\pi = E^2/377 \quad [W/m^2] \quad (2.3)$$

또는

$$S = 120\pi H^2 = 377 H^2 \quad [W/m^2] \quad (2.4)$$

여기서 E 와 H 는 각각 電氣場세기와 磁氣場세기의 RMS값이다.

波長이 가장 긴 電磁波인 ELF도 보통 電氣場과 磁氣場 성분을 모두 갖고 있는데 波長이 워낙 커서 대부분의 경우 近場地域에 해당하며, 따라서 두 성분의 관계가 일정하지 않아 분리하여 다루어야 한다. 電氣場은 帶電된 물체에서 어느 것에서나 발생하는 반면, 磁氣場은 電流가 흐를 때만 발생한다. ELF의 電氣場이나 磁氣場 모두 物體에 照射되면 그 물체에 아주 작은 局地渦電流 (Eddy Current)를 유기하는데, 이 둘은 중요한 차이점을 가지고 있다. 즉, 電氣場은 모든 導電性 물체에 의하여 쉽게 차폐되지만, 磁氣場은 거의 모든 물체들을 쉽게 통과한다. 따라서 생체영향을 가져오는 것은 電氣場보다는 磁氣場에 의한 것으로 간주되고 있으므로 磁氣場에 중점을 두어야 할 것이다.

電磁波는 또한 잘 알려진 대로 波動性과 粒子性의 二重性을 갖고 있다. 電磁波의 粒子性은 電磁波를 質量이나 電荷量이 없이 Energy만 갖고 있는 量子 (Quantum) 또는 光子 (Photon)라고 불리는 粒子들의 흐름으로 파악하는 것

이다.

電磁波의 波動性과 粒子性은 독일의 Max Planck에 의하여 통합되어 설명되고 있는데, 그의 「放射線의 量子理論」(Quantum Theory of Radiation)이 바로 電磁波의 二重性을 기술하고 있다. 이의 요점을 기술하면, Energy는 量子(Quantum)에서 放出되거나 吸收되며, 이 量子 Energy와 電磁波의 波動性과의 관계는 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.5)$$

여기서, ε = 量子(Quantum)의 Energy; ν = 電磁波의 周波數

h = Planck 常數 (= 6.626×10^{-34} J/s);

c = 電磁波의 速度; λ = 電磁波의 波長

따라서, 量子 (Quantum) 또는 光量子 (Photon)의 Energy는 電磁波의 周波數에 比例하고, 波長에는 反比例함을 알 수 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 충분히 큰 光量子 Energy를 갖고 있어 이것이 지나가는 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이다. X-線 및 Gamma-線과 같은 核放射線과 紫外線의 일부가 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 부르

기로 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 性質을 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 種類를 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 각각의 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.

電磁波의 全周波數帶域 즉, 電磁波 Spectrum을 Gamma線 帶域을 제외하고 나타내면 그림 2.1과 같다. 波長이 짧고 周波數가 높아질수록 電磁波가 갖는 運動Energy와 溫度는 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. 溫度로는 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 RF波와 Microwave를 포함한다. 電波의 光量子에너지는 1.24×10^{-3} eV 이하이고, 溫度는 영하 260 °C보다 낮은 極低溫이다.

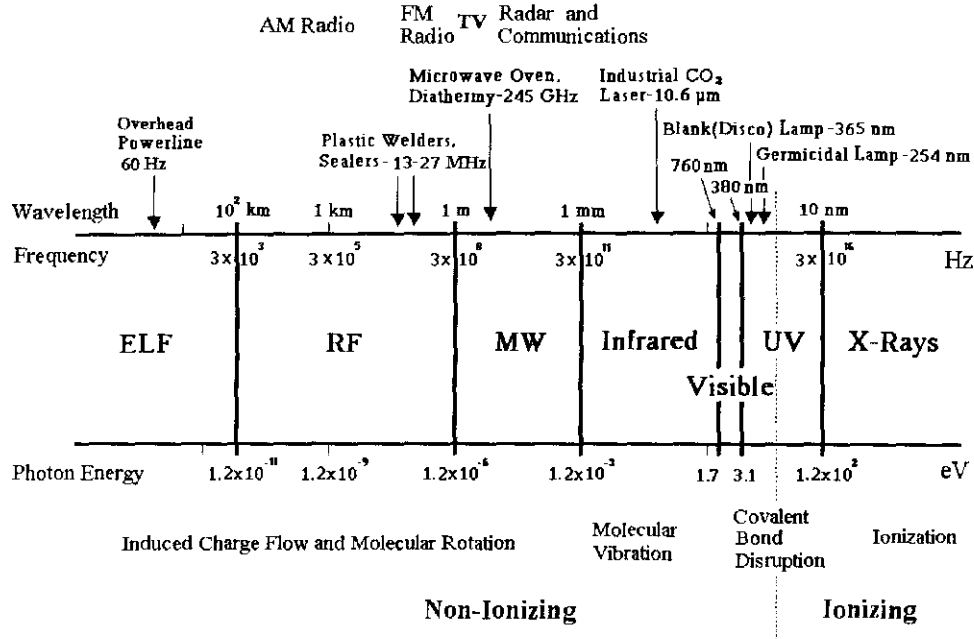


그림 2.1 電磁波의 Spectrum⁽¹²⁾

2.2 電磁波 관련 單位

일반적으로 알려진 대로 電氣場의 세기는 V/m로, 磁氣場의 세기는 A/m로 나타내어진다. 그러나 磁氣場의 경우는 磁氣場의 세기 자체보다는 그로 인하여 생기는 磁束密度가 더 중요하며, 이 磁束密度의 單位로서는 Wb/m²를 나타내는 T를 사용하고 “tesla”라고 읽는다. 空氣나 人體 중에서는 $4\pi \times 10^{-7}$ T가 1 A/m의 磁場세기에 相應한다 (즉, 1 A/m = 1.257 μT). 이는 다음과 같은 磁束密度와 磁場세기의 관계에서 비롯된다.

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (2.6)$$

여기서, $\mathbf{B}$ = 磁束密度 [T]; $\mathbf{H}$ = 磁場의 세기 [A/m]

$$\mu = \mu_r \mu_0 = \text{透磁率 (Permeability)}$$

μ_r = 物質의 比透磁率 (Relative Permeability)

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ h/m} = 1.257 \times 10^{-6} \text{ h/m}$$

= 眞空中의 透磁率 (Permeability of Free Space)

電界에 있어서도 이와 유사한 關係式을 생각할 수 있다. 즉,

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (2.7)$$

여기서, $\mathbf{D}$ = 電束密度 [C/m^2]; $\mathbf{E}$ = 電界의 세기 [V/m]

$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ = 誘電率 (Permittivity)

ϵ_r = 物質의 比誘電率 (Relative Permittivity)

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

= 眞空中의 誘電率 (Permittivity of Free Space)

磁束密度를 나타내는 오래 된 單位로는 Gauss (G)가 있는데, 이 Gauss는
이제는 국제표준단위는 아니지만 미국 등지에서는 아직도 많이 사용되고 있
다. Gauss와 Tesla의 關係는 다음과 같다.

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G} \quad (2.8)$$

Tesla나 Gauss가 非電離電磁波의 單位로는 너무 커서 실용적으로는 μT 와
 mG 가 주로 사용된다.

$$1 \mu\text{T} = 10^4 \times 10^{-6} \times 10^3 \text{ mG} = 10 \text{ mG} \quad (2.9)$$

또는

$$1 \text{ mG} = 0.1 \mu\text{T} \quad (2.10)$$

人體에 대한 熱的作用에 의한 生體效果의 척도로서 比에너지吸收率

(Specific Energy Absorption Rate; SAR)을 사용한다. 이 SAR은 體重 1 kg 당 흡수되는 電力 (Power)을 나타내는 것으로서 SI 單位는 W/kg이다.

이러한 단위들은 狀況에 맞게 적절하게 사용하여야 한다. 이에 대하여 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

(1) 먼저 10 MHz 이상의 帶域에서 基本的인 被曝限界 (Basic Limits of Exposure)를 다룰 때는 比에너지吸收率 (SAR)을 사용하게 된다. 실용적인 목적이나 비교적인 목적으로는 派生된 被曝限界 (Derived Limits of Exposure)로서 生體의 存在와 관계없이 電力密度 (Power Density) 또는 에너지束 密度 (Energy Flux Density)을 주로 사용한다. Power 密度는 어떤 작은 球에 照射되는 放射電力 (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.

電磁波의 放射 Energy와 관련하여 많이 사용되는 量과 單位에 대하여 살펴보자. 우선 放射 에너지 (Radiant Energy)를 들 수 있는데, 放射 Energy는 放射線의 형태로서 방출하거나, 전달되거나 또는 받게 되는 Energy를 말하며,

부호는 Q를 사용하고 SI 單位는 J (Joule)이다.

放射束 (Radiant Flux)은 放射電力 (Radiant Power)이라고도 하며, 放射線의 형태로 방출하거나, 전달되거나 또는 받게 되는 Power를 말한다. 부호는 ϕ 를 사용하고 SI 單位는 W (watt)이다.

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.11)$$

放射束密度 (Irradiance)는 “어떤 면 위에 있는 한 점에서, 그 점을 포함하는 면의 要素에 조사되는 放射線束을 그 面要素로 나눈 값”으로서, SI 單位는 W/m^2 이고, 수식으로는 다음과 같이 定義된다.

$$E = \frac{d\phi_e}{dA} \quad (2.12)$$

여기서, E는 放射束密度 [W/m^2]이고, ϕ_e 는 放射線束 [W]이다.

光輝 (Radiance)는 放射面의 단위 면적당 그리고 放出 立體角 (Solid Angle)당 放射電力을 나타내는 것으로서, SI 單位는 $W/sr \cdot m^2$ 이고, 부호는 L을 사용한다⁽²⁾. (여기서 sr은 Steradian의 약칭이다.)

$$L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dA \cos\theta} \quad (2.13)$$

여기서, ϕ 는 放射線束 [W], $d\Omega$ 는 立體角 要素, $dA \cos\theta$ 는 表面積 要素 dA 의 入射角 θ 에 垂直인 面상으로의 投影이다.

放射露出 (Radiant Exposure)는 面上의 한 점에서 表面要素에 入射하는 放射 Energy, dQ 를 그 面積要素 dA 로 나눈 값으로서 放射束密度를 시간에 대하여 積分한 값과 같으며, 단위는 J/m^2 이다.

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt \quad (2.14)$$

3. 電磁波의 種類 및 性質

電磁波에서 基本이 되는 것은 周波數(Frequency)이다. 波長(Wavelength)은 電磁波가 통과하는 물질의 성질, 구체적으로 말하면 誘電率(Permittivity)과 透磁率(Permeability)에 의존하여 변할 수 있다. 따라서 周波數를 기준으로 하여 第2章의 그림 2.1에서 볼 수 있는 바와 같이 電磁波는 Spectrum상에서 몇 가지 區域으로 나누어 각 區域別로 특이한 이름을 붙여 分類하고 있다. 이 電磁波들의 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 區分

區 分	周 波 數 (Hz)	波 長 (m)	光量子 Energy (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	$7.5 \times 10^{14} \sim 3.0 \times 10^{16}$	$1.0 \times 10^{-8} \sim 4.0 \times 10^{-7}$	$3.1 \sim 120$	紫外線燈, 鎔接 Arc, Gas 放電管
可視光線	$3.85 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$	$4.0 \times 10^{-7} \sim 7.8 \times 10^{-7}$	$1.7 \sim 3.1$	電燈, 鎔接 Arc, 高溫物體
赤外線	$3.0 \times 10^{11} \sim 3.85 \times 10^{14}$	$7.8 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3} \sim 1.7$	赤外線電球, 鎔接 Arc, 高溫物體
Microwave	$3.0 \times 10^8 \sim 3.0 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0$	$1.2 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-3}$	電子레인지, 通信裝備 등
라디오波	$3.0 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^8$	$1.0 \sim 1.0 \times 10^5$	$1.2 \times 10^{-11} \sim 1.2 \times 10^{-6}$	放送波, 電話機 등 通信裝備
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

30 Hz 이상 300 GHz 사이에 있는 電磁波는 周波數별로 더 세분하여 이름을 다르게 부르고 있는 경우도 있는데 이를 요약하면 표 3.2와 같다.

표 3.2 30 Hz ~ 300 GHz 電磁波의 細分⁽²⁾

帶域 番號	略稱	原 名	周波數 範圍
2	ELF	Extremely Low Frequency	30 ~ 300 Hz
3	VF	Voice Frequency	0.3 ~ 3 kHz
4	VLF	Very Low Frequency	3 ~ 30 kHz
5	LF	Low Frequency	30 ~ 300 kHz
6	MF	Medium Frequency	0.3 ~ 3 MHz
7	HF	High Frequency	3 ~ 30 MHz
8	VHF	Very High Frequency	30 ~ 300 MHz
9	UHF	Ultra High Frequency	0.3 ~ 3 GHz
10	SHF	Super High Frequency	3 ~ 30 GHz
11	EHF	Extremely High Frequency	30 ~ 300 GHz

電磁波 Spectrum 중에서 紫外線, 可視光線 및 赤外線 領域을 흔히 光波 (Optical Radiation)라고도 하며, 紫外線과 赤外線은 다시 細分될 수 있는데, 이는 각각 다음 차례에 기술하기로 한다.

3.1 極低周波(ELF) 電界 및 磁界

極低周波 (Extremely Low Frequency; ELF) 電·磁界 (Electric and Magnetic Fields; EMF)는 電磁氣 Spectrum에서 周波數가 가장 낮은 帶域인

0에서 3 kHz 사이에 있는 電磁波를 발생하는 電氣·磁氣場을 일컫는다. (보통 音聲 周波數 帶域을 포함시킴.) 우리가 사용하고 있는 電力의 周波數 (이를 商用周波數라고 함.)가 50 ~ 60 Hz로서 이 ELF에 해당된다.

이 帶域에서의 波長은 100 km 이상 (60 Hz의 경우 5,000 km)으로서 被曝 物體는 모두 1 波長내인 近場地域 (Near-Field Zone)에 위치하게 되는데, 여기서 電氣場과 磁氣場의 상대적인 세기는 각각 독립적으로 변화한다. 大電流 低電壓系에서는 磁界가 세고 電界는 약하며, 小電流 高電壓系에서는 電界가 세고 磁界가 약한 電磁波를 발생한다.

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. ELF 電氣場내에서 接地物과 非接地物이 接觸할 경우 電流가 흐르게 하거나 불꽃放電 (Spark Discharge)을 일으킨다. 1 kV/m, 50 Hz 電場에 수직으로 노출된 人間의 머리와 身體에는 약 $80 \sim 250 \mu\text{A}/\text{m}^2$ ($0.4 \sim 1.25 \text{ mV}/\text{m}$)의 電流密度가 誘起된다⁽¹³⁾.

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 渦電流를 유발한다.

衣服의 摩擦 등에 의하여 人體의 皮膚, 頭髮 등에 蓄積되는 電荷에 의한 靜電氣는 周波數가 0 Hz인 電界를 생성하고, 人體에 感知 가능한 生體效果를 유발할 수 있다. 이 靜電氣도 導體와 接觸하게 되면 電流가 흐르게 하거나 불꽃放電을 일으킨다.

3.2 라디오波 (Radio-Frequency Radiation) 및 마이크로波 (Microwave)

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.

Microwave (MW)는 周波數 帶域이 300 MHz ~ 300 GHz인 電磁波로서 波長은 1 mm에서 1 m 사이에 있다. MW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 水分子의 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 赤外線 (Infrared Radiation)

赤外線 (IRR)은 波長帶域이 780 nm ~ 1 mm로서 可視光線과 Microwave 사이에 있는 電磁波를 말한다. 赤外線은 다시 세 부분으로 나눌 수 있는데, 이는 표 3.3과 같다.

표 3.3 赤外線帶域 電磁波의 細分⁽²⁾

IR-A	780 nm ~ 1.4 μm
IR-B	1.4 μm ~ 3.0 μm
IR-C	3.0 μm ~ 1 mm

이 波長中에서 50 μm ~ 1 mm 정도까지의 赤外線은 실용상 거의 이용되

지 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(IR A)는 波長이 0.78 ~ 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 $^{\circ}\text{C}$ 까지 올릴 수 있어 오래 전부터 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(IR B)은 波長이 1.4 ~ 3.0 μm 인 赤外線이다. 電熱器의 니크롬線을 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열할 때 放射되는 熱線은 2.3 μm 의 中赤外線이 가장 많다.

遠赤外線(IR-C)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 1.7 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.

赤外線은 熱線이라고도 부르는데, 絶對溫度 이상의 모든 物體는 溫度에 비례해서 赤外線を 放射한다. 즉, 대부분의 輻射熱의 傳達은 赤外線 領域에서 일어난다. 따라서 赤外線源은 불 (Fire 또는 Flame), Gas 및 電氣 Oven, 電熱器具 등에서 나오는 모든 放射熱이 되며, 赤外線 帶域을 사용하는 Laser에서 나올 수도 있다. 人體도 皮膚溫度에 상당한 만큼의 赤外線を 放射하나 그 양은 衣服, 室内 空氣狀態 등의 영향을 크게 받는다.

물체가 가열되면 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, 이와 같은 작업은 鎔鑄爐

(Furnace), 製鋼, 단조, 초자 제조, 용접, 납땜, 제과, 鑄造 (Foundry), 乾燥作業 등 우리 주변과 수많은 산업현장에서 볼 수 있다.

3.4 可視光線 (Visible Light)

可視光線은 波長이 400 ~ 780 nm, 周波數가 대략 $3.85 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$ 인 電磁波로서 1.7 ~ 3.1 eV의 에너지를 갖고 있다. 可視光線은 우리 눈의 角膜과 水晶體를 통과하여 網膜에 초점을 형성하게 되는데, 이 때 網膜을 자극해서 視覺을 일으킨다. 즉, 可視光線은 사람의 눈에 빛이 감지되는 物質과 相互作用을 하여 視覺作用을 일으키는데, 波長帶域을 세분하여 이 帶域별로 나오는 빛깔이 다르다. 波長이 긴 帶域부터 짧은 쪽으로 빨간색 (Red), 주황색 (Orange), 노란색 (Yellow), 초록색 (Green), 파란색 (Blue), 남색 (Indigo), 보라색 (Violet)을 낸다. 可視光線은 또한 光電效果를 일으켜서 植物이 養分을 만드는데 없어서는 안될 중요한 작용을 한다.

可視光線의 主源은 太陽光線으로서, 이 太陽 可視光線의 최대 강도는 480 nm 부근에 있다. 地表에 도달하는 太陽光線의 강도는 지리적 조건 이외에 시각, 계절, 일기, 대기 오염에 따라 달라진다. 옥내조명에 사용되는 백열등은 效率이 나쁠 뿐만 아니라 波長이 긴 부분이 우세해서 色調가 太陽光線과는 많이 다르므로 螢光燈이 보다 많이 사용되는 추세에 있다. 우리 주변에 可視光線과 近赤外線(IR-A)의 光源으로는 서치라이트 (Searchlight), 스포트라이트 (Spotlight), 프로젝터 (Projector), 무대조명, 街路燈 등도 있다. 光放出 Diode (Light Emitting Diode; LED)는 밀도 높은 光源이 될 수 있는데, 눈에 잘 보이지 않으면서 IR-A만 발생하는 것도 있어 특히 주의를 요한다.

실질적으로 모든 직종이 조명 불량의 영향을 받을 수 있으나 제도사, 전자 기구 조립공, 조각공, 보석세공공, 품질관리감독원, 시계제작공 등 하루에 여

러 시간을 근거리의 細密作業에 종사하는 職種이 보다 큰 해를 입는다.

3.5 紫外線 (Ultraviolet Radiation)

紫外線 (UVR)은 波長이 $10 \sim 400 \text{ nm}$, 周波數가 $7.5 \times 10^{14} \sim 3.0 \times 10^{16}$ 인 電磁波로서, 可視光線의 紫色光보다 짧은 波長側に 있으며 化學作用이 강한 것이 특징이다. 이러한 波長을 가진 紫外線은 原子核을 둘러싸고 있는 最外殼 電子와의 相互作用에 의한 에너지 변환에 의하여 발생한다.

紫外線 가운데 波長이 짧은 帶域 ($10 \sim 100 \text{ nm}$)은 光量子 Energy가 120 eV에까지 이르는 것이 있어 電離能力을 갖고 있으며, 이를 제외한 帶域의 紫外線도 國際照明委員會 (International Commission on Illumination; CIE)는 生體影響의 측면에서 다시 세 그룹으로 나뉘, 315 ~ 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 (표 3.4).

표 3.4 紫外線帶域 電磁波의 細分⁽²⁾

UV-A	315 nm ~ 400 nm
UV B	280 nm ~ 315 nm
UV-C	100 nm ~ 280 nm
Ionizing UV	10 nm ~ 100 nm

紫外線 가운데 波長이 200 ~ 400 nm 帶域에 있는 것이 生體作用과 관련하여 매우 중요하며, 이 帶域에서 光量子 Energy는 3.1 ~ 4.4 eV 범위에 있다. 波長이 200 nm 이하인 紫外線은 공기 중에 즉시 흡수되기 때문에 生體影響面에서 별로 중요하지 않다.

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.

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 200 ~ 315 nm에 속하는 紫外線은 인체에 매우 해로운 영향을 끼치는데, 이를 化學線 (Actinic Ray)이라고도 부른다.

紫外線은 태양에서 地表面에 도달하는 日光의 약 5%에 지나지 않으나 개개의 光量子 (Photon)가 태양 Spectrum에 속하는 어느 光量子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 高雲層이 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 외에도 屋內에서 人工光源 즉 水銀燈, Xenon 燈, 라이만 방전관, 螢光燈 등을 사용하는 경우이다. 또한 Heliarc 鎔接, Inert Gas 鎔接 등의 각종 鎔接作業과 熔斷작업을 많이 하는 作業現場에서 紫外線에 被曝되기 쉽다.

3.6 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. 에너지를 어떤 물질에 가하여 그 物質을 구성하고 있는 原子의 電子를 勵起시켜(Excite) 놓은 후 이를 刺戟시켜(Stimulate) 電子의 Energy를 원래의 Ground 狀態로 떨어뜨리게 시킬 때 그 Energy 차이에 해당하는 光量子(Photon)가 발생하게 된

다. 이러한 과정을 반복하면 동일한 Energy와 위상(Phase) 그리고 방향이 같은 光量子(Photon)의 흐름을 얻게 되는데 이것이 바로 Laser이다. 따라서, Laser는 原子와 分子에 따라 特有的 性質을 갖는 單一 波長의 純粹한 光線으로서 熱平衡 (Thermal Equilibrium) 관계에서 나오는 光波 (赤外線, 可視光線 및 紫外線)보다 훨씬 밝고 강력하다.

Laser Beam의 波長 範圍는 180 nm에서 1 mm에까지 廣範圍에 걸쳐 있는데, 物質에 따라 이 범위 내에서 單一 波長의 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. 우리가 전시장 같은 곳에서 흔히 볼 수 있는 立體映像 Hologram도 Laser를 이용한 것이다.

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 여러 가지 특이한 性質을 갖고 있다:

- ① 安定性 (Stability) 및 波形 一致性 (Coherence)
- ② 單一 波長 (Monochromaticity)
- ③ 強力한 光束密度 (Radiance)
- ④ 銳利한 指向性 (Directionality) 등

그림 3.1은 Laser Beam의 單一 波長 (Monochromatic)으로서의 位相의 一致性 (Coherent)을 보여주고 있다⁽¹⁵⁾. 태양 표면에서의 光輝 (Radiance)는 대략 $7 \times 10^7 \text{ W/sr} \cdot \text{m}^2$ 이며, Laser는 현재 기술로도 $10^{16} \text{ W/sr} \cdot \text{m}^2$ 이상의 Radiance를 낼 수 있다. 直線整列 (Alignment)에 사용하는 작은 He Ne

Laser 조차도 태양 光輝의 약 10배를 초과한다.

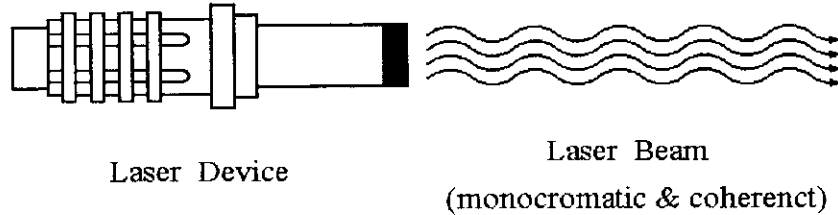


그림 3.1 Laser Device로부터 나오는 Laser Beam의 特性

指向性이 예리하다는 것은 발산도 (Divergence)가 극히 작다는 것을 의미한다. Laser Beam의 발산도는 milliradian ($2\pi \text{ rad} = 360^\circ$)으로 나타내지는데, 1 mrad는 點源에서 1 km 떨어진 Beam의 직경이 1 m인 것을 의미한다. 참고로 He-Ne Laser Beam의 발산도는 0.5 ~ 1.5 mrad이다.

Laser는 통신, 재료가공, Holography, 물질구조 연구, 의학생물학용, 길이 표준용, 우주선 추적용 등으로 넓은 응용 면을 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 System은 電氣, 機械 및 光學 部品の 組立體로서 기본적으로 다음과 같은 3가지 주요 부분으로 구성되어 있다⁽¹⁷⁾:

- ① Laser Beam을 발생하는 勵起性 原子나 分子의 活性 媒質 (Active Medium)
- ② 부분 透明性を 갖는 거울과 완전반사 거울로 이루어진 光學 共鳴 (Optical Resonant) Cavity
- ③ 原子나 分子를 勵起시키는 Energy源인 Pumping Mechanism

Laser는 오늘날 高度産業社會에서 광범위하게 이용되고 있다. 銲接과 切斷 등 Machining에 사용되는 Laser도 있으며, 정확한 距離測定이나 方向교정에 사용되는 Laser도 있다. 또한, Laser는 Holography 장치, 醫療裝置 등에도 이용되고 있다.

Laser 利用裝置는 적은 단면에 대량의 에너지를 집중시키도록 설계되어 있으므로 주의하지 않으면 이 장치를 사용하는 작업자는 누구나 Laser 障害를 받을 가능성이 있다. LED (Light Emitting Diode)에서 나오는 Laser와 같이 약한 것도 있으나, 요즈음 나오는 高出力 裝置들로부터 나오는 Laser는 극도로 밝고 강력한 Energy를 갖고 있어 취급하는데 있어 많은 주의가 필요하다. 미국을 비롯한 외국에서는 Laser에 관한 안전관리규정을 만들어 엄격히 시행하고 있는 나라들이 많다.

3.7 X-線 (X-Rays) 및 Gamma-線 (γ -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 $0.1 \text{ pm} \sim 10 \text{ nm}$ ($10^{-13} \sim 10^{-8} \text{ m}$)로서 짧고, $1.2 \times 10^2 \sim 10^5 \text{ eV}$ 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.

Gamma-線은 波長이 1 pm (10^{-12} m) 이하로서 電磁波중에서 가장 짧고, 光量子에너지가 매우 크다. Gamma-線이 갖고 있는 이 높은 에너지는 物質을 구성하며 原子를 둘러싸고 있는 각종 상태의 電子에 變化를 일으켜서 原子核 자체와의 相互作用을 일으키기에 충분하다. 따라서, Gamma-線은 電離作用이

강한 대표적인 電離放射線이다.

Gamma 線은 不安定한 原子核 構造를 가지고 있는 放射性物質들로부터 발생하는데, 이는 不安定한 構造가 자연적으로 崩壞하여 별개의 安定된 構造로 이행될 때 Gamma-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 엄청나게 강하다는 점이고, 따라서 人體에 매우 위험하고 防護하기도 아주 힘들다.

4. 非電離電磁波의 人體影響

美國, 스웨덴, 핀란드, 덴마크 등 歐美 各國에서 '80년대 말부터 활발히 실시하고 있는 여러 가지 疫學調査에 의하면 각종 通信機器와 放送에 사용되고 있는 RF波와 각종 電氣機器들이 사용하고 있는 電力周波數인 ELF 電磁波에 많이 露出되고 있는 사람들은 그렇지 않은 사람들에 비하여 암에 걸리거나 임신부의 경우 낙태할 확률이 훨씬 높다고 밝히고 있다. 電磁波는 또한 生體 Rhythm의 변화와 스트레스 등을 유발할 수도 있다는 의혹도 받고 있다. 그러나, 의학적으로는 非電離電磁波의 被曝이 “人體에 어떻게 그리고 얼마나 해로운가?”하는 의문에 대한 해답은 아직 밝혀지지 않고 있으며, 이는 현재 이 분야 과학자들의 끊임없는 관심사항이고 研究 대상으로 부상하고 있다. 이 章에서는 주요 非電離電磁波의 人體 影響을 개략적이거나 고찰해 보고자 한다.

4.1 一般 事項

電磁波에 露出된 生體가 그 電磁波의 영향으로 變化를 받게되는 生物學的反應을 生體效果 또는 生體影響 (Bioeffect)이라고 한다. 이 生體影響은 電磁波의 Spectrum에 따라 물론 차이가 있으며, 태양광선에서 볼 수 있듯이 電磁波는 人體에 대한 生體影響에 있어서 有益한 면과 해로운 면의 兩面性을 지니고 있다.

電磁波는 生體影響 측면에서, (1) 核放射線과 같이 Energy Level이 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 Energy Level이 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 生體影響을 지배하는 주요 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.

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 분명한 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, 精子的 生産에 영향을 끼쳐 生殖力의 減退를 초래할 수도 있다. 그 밖의 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.

4.2 紫外線 (Ultraviolet Radiation)의 人體影響

200 nm 이하의 紫外線은 공기중에서 거의 흡수되므로 크게 걱정할 필요가 없고, 문제가 되는 것은 200 ~ 400 nm 帶域의 紫外線으로서 이 帶域에서 光量子 Energy는 4.4 ~ 3.1 eV 범위에 있다. 태양에서 오는 紫外線 가운데 UV-C에 속하는 290 nm 이하의 紫外線은 오존層에서 대부분 흡수된다. 문제는 이러한 오존層이 公害物質들로 인하여 점점 파괴되어 가고 있다는 점이다. UV-C 및 UV-B 帶域인 200 ~ 315 nm의 紫外線은 여러 물질에 化學變化를 일으켜서 일명 化學線 (Actinic Ray)이라고 부르기도 하는데, 우리 건강에 障害을 유발할 가능성이 가장 크다. 人體의 경우, 紫外線이 조직을 통과하는 거리는 고작 수 mm에 불과하고 대부분이 身體表面에 吸收되는 관계로 그 직접

적인 영향은 피부와 눈에 주로 나타나며, 그 외의 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

우리 피부는 모든 帶域의 紫外線을 동일하게 흡수하지는 못하고 이에 따라 紅斑效果도 紫外線 帶域에 따라 상이하다. 波長이 280 nm 이하인 UV-C는 最外殼 表皮층인 각질층 (Stratum Corneum)에서 흡수되고, 波長이 280 ~ 315 nm UV-B는 皮膚의 깊은 층 (Dermis)에서 흡수된다. 波長이 더 긴 315 ~ 380 nm의 UV-A는 皮膚의 표피층 (Epidermis)에서 흡수된다.

따라서 UV-C에 照射되면 表皮細胞가 장애를 받아 각질층의 세포 내에 생성된 Histamine 물질이 皮下 母細血管에 이행해서 혈관을 확장시키므로 皮膚 火傷 (Skin Burns) 또는 紅斑 (Erythema)을 일으킨다. 紅斑은 被曝量에 따라 2 시간 이상의 潛伏期를 갖는다. 被曝이 더 늘어나면 물집 (Blister)이 생길 수 있다.

紫外線의 작용정도는 波長, 照射時間, 強度 이외에 개인의 體質에 따라 다르며, 저항력은 표피에 Melanin(黑色素)이 풍부하고 각질층이 두꺼운 사람은 커서 인종적으로 흑인이 가장 강하다. 과도하지 않은 日光浴이나 紫外線 照射器에 皮膚를 露出시키면 皮膚속에 있는 Melanin 色素粒子 (Pigment Granules)가 皮膚 표면 가까스로 이동하여 皮膚가 검붉어진다 (Tanning). 이렇게 되면 紫外線에 대한 皮膚의 抵抗力이 커져 紅斑이 덜 생기게 된다.

290~320 nm의 紫外線은 皮下組織내의 Ergosterin을 활성화시켜 비타민 D를 만든다. 紫外線은 자극성이 강하여 皮膚에 염증을 일으키는 이외에 長時間 계속해서 照射받는 漁民, 農民, 船員, 屋外作業者들에게는 특이한 피부반응을

일으킨다. 즉 皮膚가 乾燥해지고 탄력성을 잃게 되며 갈색을 띄고 주름살이 많아져 주글주글해진다. 이러한 피부반응은 그 자체가 해로운 것은 아니나 노인성 각화증, 세포상피증 등의 원인이 되어 피부의 老化 (Photoaging)가 촉진된다.

햇볕에 과도하게 露出이 되면 皮膚癌이 생길 수가 있는데, 이 피부암은 피부 色素 (Pigment)가 적은 사람들에게서 더 잘 나타날 수 있다. 紫外線에 의한 光學作用으로 光性皮膚炎이 일어나는 수도 있다.

(2) 눈에 대한 障害

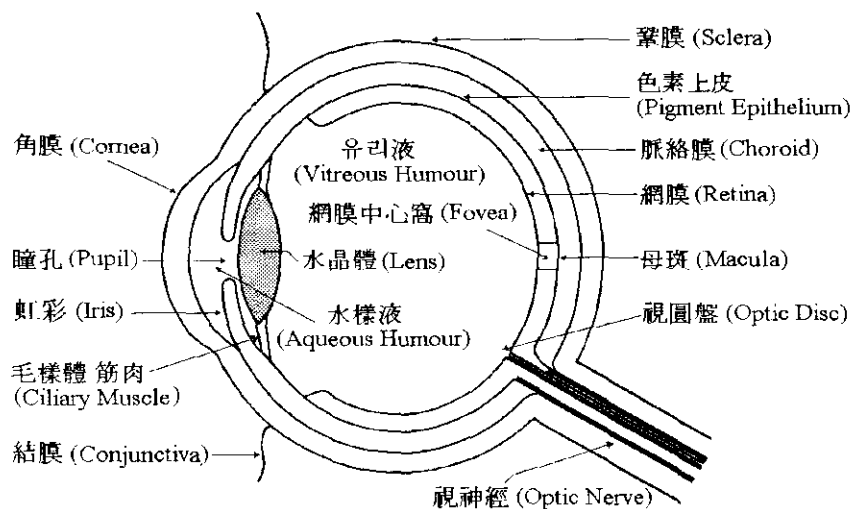


그림 4.1 눈의 개략적인 構造

電磁波의 눈에 대한 영향을 알아보기 위하여 우선 눈의 구조부터 살펴보기로 한다. 눈의 구조는 그림 4.1과 같이 개략적으로 나타낼 수 있다. 우리의 視覺과정은 Camera와 매우 흡사하다. 可視光線이 투명한 角膜(Cornea)을 통하여 들어가면 눈의 여러 요소들을 거쳐 網膜(Retina)에 焦點이 만들어져 逆像이 형성된다. 網膜 위에 생긴 이 像은 光感知要素인 “Rods & Cones”에서

光化學的 과정을 거쳐 신경 Impulse를 일으킨다. 이것이 腦에 전달되어 視覺으로 해석되는 것이다.

300 nm 이상의 紫外線 (UV-B 一部 및 UV-A 全部)부터 可視光線의 전부와 2000 nm 이하의 赤外線 (IR-B 一部 및 IR-A 全部)만이 角膜(Cornea)을 통과한다. 따라서 UV-C와 UV-B의 일부 (300 nm 이하), IR-C와 IR-B의 일부 (2000 nm 이상)는 角膜(Cornea)과 結膜(Conjunctiva)에서 흡수된다.

水晶體(Lens)에서는 300 ~ 390 nm의 UV-A 부분이 완전히 흡수되며, 網膜(Retina)에 도달하는 것은 可視光線과 1400 nm 이하의 赤外線 (IR A)이다.

電磁波의 눈에 대한 영향은 波長과 밀접하게 관계되며, 눈의 어떤 要素에 도달하여 여기서 흡수되는 量에 좌우된다. UV-C (100 ~ 280 nm)와 UV-B (280 ~ 315 nm)는 角膜과 結膜에 흡수되어 角膜炎 (Photokeratitis)과 結膜炎 (Conjunctivitis)을 유발한다. 波長 280 nm 근처의 紫外線에서 가장 잘 생기는 角膜炎은 Arc-Eye라고도 불리며 매우 큰 통증을 가져오고 빛에 대한 혐오증 (Photophobia)과 눈물사태 (Lachrymation)를 수반한다. 過多 被曝후 이 症狀이 나타날 때까지의 潛伏期는 보통 수시간 정도로 짧으며, 처음에는 눈에 모래가 들어간 것 같은 느낌이며 이어서 눈물이 쏟아지고 눈꺼풀이 부어 올라 눈을 덮게 된다. 보통의 경우 각막의 深層 세포가 영향을 받지 않는 한 영구적 손상이 없이 며칠이 지나면 갈아 앉는다. 이 염증은 鎔接作業者에게도 나타날 수 있는데, 아세틸렌 용접보다 전기용접에서 생기기 쉽다.

UV-A (315 ~ 390 nm)는 水晶體에서 흡수가 일어나 水晶體의 光化學的 不透明症 즉 白內障 (Cataract)과 黃斑을 유발한다. 이러한 症狀은 UV-A의 被曝후 수년간의 潛伏期를 거쳐 나타날 수도 있을 만큼 늦게 발생한다. 일생 동안 늙은 세포들이 점차로 평평하게 퍼져서 중심핵에 들어 박히게 되는 한편 이 세포들은 水晶體 外質에 달라붙게 된다. 따라서 損傷된 細胞들이 水晶體에 쌓여지게 됨에 따라 사람들은 나이가 들어가면서 白內障이 생기게 된다.

白內障은 주로 강한 赤外線과 可視光線의 작용이지만 水晶體 단백질이 紫外線 照射로 변성되는 것을 보면 紫外線의 영향도 무시할 수 없다.

(3) 기타 作用

紫外線에는 자극작용이 있으며 代謝가 항진되고 적혈구, 백혈구, 혈소판이 증가한다. 또한 과다한 量의 紫外線이 照射되면 두통, 흥분, 피로, 불면, 체온 상승 등이 나타나는데 이것은 모두 2차적인 현상이다.

Inert Gas 용접에서는 紫外線量이 많아서 Ozone이 발생한다. Trichoro-ethylene은 UV-C의 照射로 분해되어서 Phosgene이 발생한다. 250 ~ 280 nm의 紫外線에는 강력한 殺菌作用이 있다.

4.3 可視光線 (Visible Radiation)의 人體影響

可視光線에 의한 障害는 역시 눈에 대한 障害가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 그밖에도 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 등 여러 분야에 걸쳐서 관찰되고 있다. 주요한 可視光線 장애는 照明 過剩뿐만 아니라 照明 不足으로도 일어난다.

(1) 눈에 대한 障害

波長이 390 ~ 780 nm인 可視光線은 角膜, 水樣液, 水晶體 및 유리액에 흡수되지 않고 통과하여 網膜까지 도달한다. 網膜에 도달한 可視光線은 網膜과 色素上皮層, 脈絡膜 (Choroid) 등에서 흡수된다. 網膜에서는 5% 정도만이 흡수되는데 이것이 바로 視覺으로 사용되는 것이다. 色素上皮層에서는 약 50%가 흡수되고, 나머지가 脈絡膜까지 도달한다. (470 nm 이상의 可視光線은

40% 이상이 여기서 흡수되며, 550 nm 정도의 可視光線은 약 70% 정도로 가장 많이 흡수된다.)

可視光線은 공기/角膜 경계면에서 굴절하여 水晶體에 의하여 초점이 網膜에 생겨 像(Image)을 형성하는 것이다. 이 焦點作用이 角膜과 網膜 사이에 光束密度 (Irradiance)의 엄청난 증가(약 500,000배)를 가져온다.

網膜의 後面部인 色素上皮 (Pigment Epithelium)와 光感知要素인 Rods & Cones은 Melanin 알맹이 (Granule)에 의하여 흡수된 Energy에 의하여 장해를 잘 받게 되는 조직과 세포이다.

網膜 熱傷 외에 청색광에 만성적으로 노출되면 光化學 작용에 의하여 청색 Cone에 傷害를 초래하게 되는데 이를 靑色障害 (Blue-Light Hazard)라고 한다.

우리의 눈은 다행히도 눈부신 光線에 노출될 때 嫌惡反應 (Aversion Response) 즉 反射的 감박임을 일으켜 예민한 눈의 부위를 보호하는 기능을 갖고 있다. 이 반사행동은 대략 0.25 초 이내에 일어난다.

(2) 기타 障害

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 유해 요인으로는 치지 않는다.

간접작용은 생체의 세포가 발산하는 화학신호이며 Biorhythm 과정에서 보

는 신체활동, 수면, 열량소모 등이 그 예이다. Melanin 합성이 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 여러 분야에 걸쳐서 관찰되고 있으며, 이들은 光線의 단독작용 이외에 외부 요인, 대사물, 피부이상 및 질병과의 공동작용 때문에 일어나는 것으로 추정되고 있다.

4.4 赤外線 (Infrared Radiation)의 生體作用

赤外線이 體外에서 照射되면 일부는 피부에서 반사되고 나머지만 흡수된다. 赤外線이 조직에 흡수되면 화학반응을 일으키는 것이 아니라 구성분자의 운동에너지를 증대시키므로 조직온도가 상승한다. 이 온도 상승에 관여하는 요인으로는 파장, 열전도 요인, 폭로시간, 조직에 전달된 에너지량이 있다.

(1) 皮膚 및 全身 障害

조직에서의 흡수는 흡수량에 따라 다르며 1,400 nm이상의 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 紅斑이 생기고 혈관이 확장되어 혈액량이 증가되나 혈액증가는 방열 작용을 동반하므로 조직의 온도상승을 어느 정도 억제하는 역할을 한다. 이와 같이 국소의 혈액 순환을 촉진하고 진통 작용이 있으므로 赤外線은 치료에도 응용된다.

충혈, 혈관 확장에 이어 괴사를 일으키며 장기간에 걸친 被曝은 습진, 암변성을 일으킬 수 있다. 강력한 赤外線照射는 皮膚와 深部組織에 火傷을 일으킨

다.

머리부분[頭部]에 赤外線이 長時間 照射되면 頭痛이나 어지러움증이 생기며, 강력한 赤外線은 뇌막자극 증상을 유발하고 의식상실, 경련 등을 동반한 熱射病을 일으켜서 사망에까지 이르게 하는 경우가 있다.

(2) 눈에 대한 障害

角膜에서 흡수가 안 되고 통과한 IR-B와 IR C는 水樣液(Aqueous Humour)에서 흡수되어 이 熱線에 의한 水晶體의 손상을 막아준다. 그러나 IR-A (780 ~ 1400 nm)의 경우는 水晶體는 물론 유리액을 통과한 후 網膜과 色素上皮層 근처에 초점을 만들어 可視光線과 같이 이들을 손상시킨다.

피부의 경우에는 赤外線 照射로 화상이 일어나기 전에 통각을 자극하므로 일종의 경보기구가 갖추어져 있는 셈이지만, 눈의 경우에는 可視光線과 달리 보이지 않으므로 회피반응 (Aversion Response)와 같은 손상을 방어하여 줄 만한 방어기능이 갖추어져 있지 않다.

1,400 nm 이상의 長波長을 갖는 赤外線은 각막 손상을 일으킨다. 강력한 線源의 赤外線은 순간적인 피폭이라도 각막화상을 일으킬 수 있다. 水晶體 불투명증(Opacity)는 虹彩에서 흡수된 熱이 전달되거나 낮은 Enrgy의 적외선이 장기간 照射될 경우에 水晶體에 직접 흡수된 熱에 의하여 水晶體 부위의 온도가 급상승하여 일어난다.

赤外線은 화상을 일으키지 않을 정도의 에너지 수준의 것이라도 10 ~ 15 年 정도의 慢性被曝으로 白內障 (Cataract)을 일으킬 수 있다. 赤外線 白內障은 “Glass-Blower의 白內障”, “Furnaceman의 白內障”이라고도 부르며, 특징적으로 수정체의 후극에서부터 白內障이 시작되는데, 그 원인은 虹彩에서 흡수되고 수정체로 투과하는 에너지량과 직접 관계가 있다.

4.5 레이저 光線 (LASER)의 生體作用

Laser의 生體作用은 光線, 熱, 壓力派, 電磁場 등의 종합작용으로 생각할 수 있으나 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.

Laser는 단일 파장이지만 그 범위는 赤外線 帶域으로부터 紫外線 帶域에 까지 걸쳐 있으므로 Laser가 속한 帶域의 電磁波가 갖는 生體影響을 모두 야기하면서 그 강력한 Energy로 인하여 훨씬 큰 障害를 가져온다. 可視光線 Laser는 열작용으로 인하여 세포조직을 손상시키며, 紫外線 Laser는 光化學作用으로 인하여 눈 및 피부의 손상을 유발한다.

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

(1) 눈에 대한 障害

400 nm 이하의 짧은 紫外線과 1,400 nm ~ 1 mm의 赤外線은 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 虹彩와 수정체에서 흡수되어 白內障을 일으킨다.

Laser 사고 때는 망막장애가 흔히 나타난다. 近紫外線, 可視光線, 近赤外線 영역 (400~1,400 nm)의 광선이 망막 상에 초점을 형성해서 망막에 장애를 일으키는 것이다. 특히 Laser는 지향성이므로 에너지가 모두 눈에 집중되고 水晶體의 Focusing 作用에 의하여 망막 상에 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 여러 가지 장애가 일어난다. 망막손상의 일부는 生化學的 作用으로 야기된다 (440 nm).

(2) 皮膚障害

皮膚의 損傷은 治療가 가능하므로 눈의 손상에 비하여 피부장애는 덜 심각하다고 할 수 있다. 그럼에도 매우 강한 光學 Laser에 의한 皮膚被曝은 色素 (Depigmentation)와 皮膚火傷 그리고 內皮膚組織의 損傷을 야기한다.

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 장애를 덜 받는다.

기타 Laser의 障害는 Laser Beam을 발생하고 있는 帶域이 속한 紫外線, 可視光線 및 赤外線의 障害를 모두 포함하고 있다고 보면 된다.

4.6 라디오(RF)波 및 Microwave의 生體作用

RF波 및 Microwave의 人體影響에 대해서는 그간 비교적 많은 연구결과가 나와 있다. 그 가운데 가장 눈에 띄는 것이 全身 또는 局地的인 생체에 대한 加熱作用이다. 이 작용은 특히 주파수가 우리가 많이 사용하고 있는 915 MHz와 2.45 GHz 사이에서 흔히 일어나며 노출도 遠場 (Far-Field)에서 일어난다.

일반적으로 150 MHz 이하의 RF/Microwave는 신체에 흡수되어도 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.

(1) 熱作用

RF波 및 Microwave의 조직 加熱作用은 가장 잘 알려진 사실이다. 그러나 인체 표면에는 지각신경이 분포되어 있어서 체표면에 흡수된 RF波 및 Microwave가 조기에 온감을 불러일으키는 반면에 심부에 흡수된 것은 그 효과가 늦게 나타나므로 불쾌감을 느낄 때는 이미 장애가 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 SAR을 0.4 W/kg으로 제한토록 하여야 한다.

熱作用에 의한 障害는 특히 波長이 1 mm ~ 1 m인 Microwave에서 잘 나타난다. 波長 3 cm 이하인 Microwave는 바깥 피부에서 흡수되고, 3~10 cm의 Microwave는 피부속으로 1 mm ~ 1cm까지 투과하며, 파장 25~200 cm의 Microwave는 피부속 깊숙히 침투하여 臟器에까지 도달한다. 人體 組織은 波長 200 cm 이상의 RF波에는 거의 투과된다.

피부 등에 흡수된 Microwave는 대부분 熱로 변환되어 조직과 신체의 온도를 상승시킨다. 조직 깊은 곳에서의 온도상승은 감각을 느끼기 전에 障害를 유발할 수 있다.

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 흘러 들어가는 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 의해서는 야기되지 않는다.

(2) 눈에 대한 障害

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 水晶體에 누적된 영향을 주고 결국 白內障 (Cataract)을 유발할 가능성이 농후하다. 白內障의 발생은 주파수, 전력밀도, 피폭시간 등에 좌우되는데, 특히 1 ~ 10 GHz의 Microwave는 白內障을 잘 일으킨다. 100 ~ 200 分 노출시 白內障이 일어나는 水晶體의 온도는 41 ~ 43 °C이며, 이에 해당하는 局部 SAR은 100 ~ 140 W/kg이다. 水晶體의 Ascorbic 함량이 Microwave 자극으로 감소되므로 白內障을 예고하는 指標가 된다.

(3) 中樞神經에 대한 作用

周波數 범위가 300 ~ 1,200 MHz인 RF波 및 Microwave는 人體의 中樞神經에 가장 민감하게 작용한다. 100 $\mu\text{m}\cdot\text{W}/\text{cm}^2$ 정도의 출력 밀도의 Microwave는 청신경에 대한 직접 자극, 電磁界 刺戟 등으로 파장과 진동수에 따라 울림, 간지럼, 두드림을 느끼게 한다.

중추신경계의 증상으로는 두통, 피로감, 지적 능력의 저하, 둔감, 기억력 감퇴, 성적흥분 감퇴, 자극, 기면 또는 불면, 정서 불안정 등이 기록되었으며, 발

한, 저혈압, 호흡곤란, 흉통, 동성 부정맥, 서맥 등의 심장혈관장애와 뇌파변화, 지각둔화, 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 혈액 중에 있는 임파구 毒素의 감소, 호르몬, 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.

睾丸도 熱에 민감하다. 睾丸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 1.5~4.5 °C 정도 상승하여 일시적인 不妊이 되는 것으로 보고되고 있다.

(6) 기타 障害

이전에는 300 MHz 이하의 RF는 장애가 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 관계하는 酵素 (Enzyme)의 활동을 증대시킨다는 사실도 알려져 있다. Microwave는 심장 보조조정기능에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

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

한편 Microwave는 人體에 유익하게 쓰이는 경우도 있는데 Diathermy 치료가 그 예이다. 100 mW/cm² 이하의 부분적인 Microwave 照射는 관절 및 여러 조직을 치료하는데 유용하다.

4.7 極低周波 (ELF)의 生體影響

3 kHz 이하의 電磁場은 波長이 100 km 이상으로서 상호작용의 Mechanism도 유사하며, 이 電磁波의 露出도 近場 (Near-Field)에서 이루어져서 電界와 磁界를 분리해서 다루어야 한다. 低電壓에서 큰 電流가 흐르게 되면 磁界가 강하고 電界는 약하며, 반대로 高電壓이지만 電流가 약하게 흐르면 電界가 강하고 磁界가 약하다.

生體影響은 表面電荷에 의해서 細胞膜 (Cell Membrane)에 誘起된 電流密度에 의하여 생기는 것으로 알려져 있다. 細胞膜은 매우 예민하여 비교적 약한 ELF 電磁場에 일지라도 오래 노출되면 生化學作用을 일으킬 수가 있다. 1 kV/m, 50 Hz 電場에 수직으로 노출된 人間의 머리와 身體에는 약 80 ~ 250

$\mu\text{A}/\text{m}^2$ ($0.4 \sim 1.25 \text{ mV}/\text{m}$)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.

대부분의 경우 $20 \text{ kV}/\text{m}$ 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.

일반적으로 10 mT 이상의 매우 강한 磁氣場은 해롭고 미약한 $1 \mu\text{T}$ 이하에서는 아무런 영향이 없는 것으로 알려지고 있으나, $1 \mu\text{T} \sim 1 \text{ mT}$ 사이의 磁氣場에서의 생체영향에 대해서는 명확하지가 않다.

미국과 스웨덴에서는 變電所와 같은 電氣施設物 근처에 살고 있는 아이들이 다른 곳에 거주하는 아이들보다 암이 걸리는 확률이 높은 것으로 조사되고 있는데 이것이 꼭 ELF波에 의한 것인지는 확실하지가 않다. 교통혼잡도라든가 사회계층의 차이와 같은 다른 원인에서 올 수도 있기 때문이다.

靜電氣는 0 Hz 의 靜電界를 형성하여 人體가 이 靜電界에 노출되면 人體表面 즉 皮膚에 電荷가 誘導되고, 이 電荷는 또 電界를 형성하여 그곳에 원래 있던 電界를 교란시키며 이 때문에 感知 가능한 生體效果가 유발된다.

物體가 磁界에 노출되면 磁界는 이 物體를 투과하여 그 내부에 있는 磁性體나 動電荷와 작용한다. 이 磁界는 原子核 및 電子 Energy Level을 변화를 가져오며 人體내의 原子의 Spin 각도를 변화시키고 인체를 구성하는 分子에 힘을 가하게 된다. 이 힘은 Ion 電流와 상호작용을 하고 혈액의 흐름에 따라 電界 電位를 유발시켜 細胞膜 間 Ion의 운동에 영향을 미칠 수가 있다.

(1) 知覺

ELF 電氣場은 충분한 강도를 갖지 않는 한 知覺하기가 어렵다. 成人의 10 %만이 10 ~ 15 kV/m 이하의 50 ~ 60 Hz 電氣場을 지각할 수 있으며, 5 %는 高壓電力線 아래에서 측정할 수 있는 3 ~ 5 kV/m 정도의 電氣場을 感知할 수 있다. 이러한 知覺은 人體表面에 誘起된 交流電荷에 의하여 머리카락이 진동하는 것 등에서 비롯된다. ELF 電氣場에 被曝된 사람이 相異なる 電位를 가진 物體와 접촉되면 불꽃放電이 발생하는데 실험 대상자중의 10 % 정도가 이 放電을 느낄 수 있었다는 보고가 있다⁽¹³⁾.

磁氣場의 경우는 대부분의 사람들이 5 mT 이하의 것은 知覺할 수 없다. 磁氣場의 知覺限界는 周波數의 依存性이 있어 20 Hz에서는 5 ~ 10 mT의 磁界를 感知할 수 있으나 50 ~ 60 Hz에서는 15 mT의 強度라야 感知가 가능하다. 磁氣場의 感知는 磁氣風에 의하여 발생하는 잡음 같은 것에 의하여 알 수 있다.

(2) 神經生理學的 影響

9 kV/m, 60 Hz 電氣場에 피폭된 사람의 心臟拍動數 (Heart Rate)가 약간 감소하고 EEG (Electroencephalogram; 腦波 電位圖 또는 電位記錄裝置)의 몇몇 성분의 크기의 변화가 관찰되었다는 보고가 있으나, 20 kV/m 以下の 電氣場의 被曝에는 인체가 별로 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다.

그러나 60 Hz, 100 kV/m 電界에 被曝된 Guinea Pig의 EEG에 變化가 생겼고, 10 ~ 30 kV/m 電界에 被曝된 靈長類 電位가 상승되었다는 실험결과가 보고되었다⁽¹³⁾.

磁氣共鳴 (MR) 診斷에서 사용하고 있는 약 1 kHz로 빠르게 변화하는 磁氣場에서는 8 mT에 被曝된 사람이 神經과 筋肉 경련을 유발할 수도 있다는

보고가 있다. 50 Hz, 60 mT의 磁氣場에 被曝된 사람이 두통을 호소하는 경우도 보고되고 있으나, 일반적으로 50 ~ 60 Hz의 磁氣場은 100 mT까지는 人體의 EEG나 다른 神經系 機能에 별다른 변화를 일으키지 않는 것으로 조사되고 있다.

人體에 直接的으로 인가되고 있는 1 ~ 1000 Hz의 循環 電流에 의한 영향은 표 4.1에 나와 있는 것들이 일반적으로 알려져 있다.⁽¹²⁾

표 4.1 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내)
10 ~ 100 mA/m ²	網膜 機能의 變化 中樞神經系統의 變化 可能性 細胞 新陳代謝의 變化 (試驗管내)
< 1 ~ 10 mA/m ²	별 影響 없음

이 결과는 10 mA/m² 이상의 電流密度에서는 推論力이나 記憶力 같은 미묘한 中樞神經系 機能에 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 있다고 본다.

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

50 ~ 60 Hz, 20 kV/m 電氣場에 피폭된 사람에 경우 혈액학이나 혈액의 생화학적 성분에는 특이한 변화가 感知되지 않았다는 실험결과가 보고되었다. 일반적으로 5 ~ 50 kV/m 强度의 50 ~ 60 Hz 電氣場에의 露出은 人體의 免疫機能 및 혈액학적 機能에 별다른 영향이 없는 것으로 조사되고 있다.

0.1 mT 세기의 45 Hz 磁氣場에 1일 동안 노출된 사람들에 있어서 혈청의 특정한 화학성분 (Triglyceride)이 약간 증가한 외에 별다른 변화가 없음이 관찰되었다. 몇몇 연구보고에서 50 Hz, 20 mT 磁氣場에 被曝된 쥐의 Plasma Hormone의 변화가 있었다는 밝히고 있다.

(5) 기타 障害作用

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 ~ 4.5 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. 우리 주변의 電磁波 環境

電磁波의 生體에 대한 有害性 論爭은 오래 전부터 있어 왔으나, 요즘에는 電磁波를 발생하는 각종 電氣·電子 機器의 범람, TV 및 FM 방송과 無線通信의 증가 등으로 말미암아 그 논쟁은 점차 가열되어 가고 있다. 더욱이 최근에는 미국 Chicago에서 携帶用無線電話機 (Cellular Phone)을 많이 사용하던 어떤 부인이 후두암으로 사망하자 남편되는 사람이 전화기 제조회사인 Motorola社를 상대로 소송을 제기하여 법정에까지 비화되었던 사건이 일어나서 세인들의 관심을 고조시킨 적이 있다. 당시 법원에서는 有無害에 대한 판결을 내리지 못하고 과학기술계에 그 판정을 미루었던 것으로 알려져 있었다.

電磁波의 生體에 대한 有害性은 크게 生體의 溫度를 상승시키는 熱作用과 生體의 遺傳子에 영향을 끼쳐 癌이나 生殖機能障害 등 遺傳疾患을 일으킨다는 非熱作用으로 구분하여 연구되고 있다.

5.1 RF 및 MW 電磁波 環境

3 kHz ~ 300 GHz 帶域의 電磁波인 RF波 및 Microwave는 TV, Radio, Radar, 無線通信 등에 광범위하게 사용되어 피폭인구가 많은 반면에 그 생체 효과는 아직도 확실하게 알려져 있지 않다. Microwave는 Radar 이외에 Microwave를 이용한 熱接着과 같은 산업용으로도 많이 이용되고 있으며, 일반 家庭에서도 電子 레인지에 이용되고 있고, 의학 분야에서는 27 MHz 부근의 短波(Shortwave) Diathermy와 더불어 2450 MHz 부근의 Microwave Diathermy에 이용되고 있다. 磁氣共鳴畫象診斷器 (MRI; Magnetic Resonance Imaging)에도 사용되고 있다.

RF波 및 Microwave가 사업장에서 문제가 되는 분야는 자동차 공업 종사

자, 식료품제조, 가죽제조 및 목공, Glass Fiber L, 지류제조, 플라스틱 熱接着, 不導體의 絶緣加熱作業者, 고무제품 製造工, 섬유제조업 從事者, RF/MW 응용장치 操作者 등이다.

RF 電磁波는 3 kHz ~ 300 MHz (미국에서는 300 kHz ~ 100 GHz로 구분하기도 함.) 帶域의 周波數를 갖고 波長이 수십 cm ~ 100 km에 있는 것으로서 대표적인 것은 물론 TV 및 FM 放送用 電波라고 할 수 있다.

가. 携帶用電話機 (Cellular Phone) 및 無線電話機 (Cordless Phone)

최근 利用이 급속도로 확산되고 있는 Cordless Phone이나 Cellular Phone들이 사용하고 있는 周波數도 이 帶域에 속한다. 이들 전화기는 이용자가 電磁波의 密度가 매우 농후한 수신용 안테나 부분을 머리에 아주 가깝게 대고 사용하고 있어, 문제가 심각해질 수 있는 가능성이 크다. 더욱이 수년전까지는

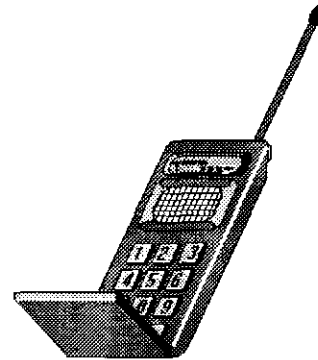


그림 5.1 携帶폰 (Cellular Phone)

출력이 1~2 W 정도의 수신기들이 대부분이었으나, 요즘은 통화범위와 신뢰성을 제고하기 위하여 출력이 5~6 W인 수신기들이 많이 사용되고 있다.

요즘 우리가 많이 사용하고 있는 個人用 電話受信機 근처에서의 電氣場의 세기를 여러 周波數별로 수신기를 회전시켜 가면서 실시한 것이 있어 이를 소개하면 다음과 같다. 40 ~ 162 MHz 대역에서는 電氣場의 세기가 “RF 電磁波의 人體被曝에 대한 ANSI C95.1-1982 Standard”에서 규정한 것보다 현저히 높은 것으로 나타났다. 예를 들면, 최대의 전계강도가 감지되는 162

MHz에서는 약 880 V/m인 電磁波가 측정되었는데⁽¹⁸⁾, 이는 ANSI 기준에서 정한 許容限界値 63.25 V/m의 14배에 해당되고, IRPA 기준에서 정한 일반인에 대한 許容限界値 27.5 V/m에 대하여는 무려 32배에 달한다.

M社の 휴대폰에서 방출되는 電磁波의 電界세기를 Holiday Industries社の HI 4422 (100 kHz ~ 1000 MHz)를 사용해서 가장 근접해서 측정한 결과 101 V/m (電力密度는 약 0.09 mW/cm²)가 나왔다. 이는 IRPA 기준 및 ANSI 기준을 모두 초과하는 것으로 나타났다. 미국에서 측정한 것과 차이가 나는 것은 측정장비의 周波數 範圍의 한계로 인한 것이며, 이 결과를 갖고서도 휴대폰에서 발생하는 電磁波가 과다함을 충분히 알 수 있다.

Cordless Phone도 휴대폰 만큼은 아니나 많은 量의 電磁波를 발생하고 있다.

X-社の Cordless Phone

에 대하여 동일한 장비를 사용하여 측정한 결과 약 80 V/m의 電界세기가 기록되고 있다. (電力密度는 약 0.05 mW/cm²)

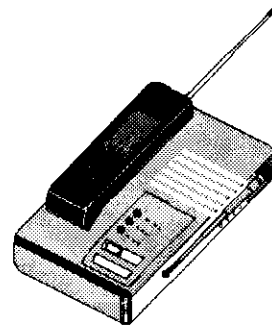


그림 5.2 Cordless Phone

나. TV 受像機 및 컴퓨터 Monitor

최근 LCD (Liquid Crystal Display; 液精畫面)를 사용하는 것들도 나오고 있으나 아직까지 대부분의 TV 受像機 및 컴퓨터 Monitor에는 CRT (陰極線管)를 사용하고 있어 여기서 X-Ray를 비롯한 각종 電磁波가 발생한다. 그러나 다행히 X-Ray는 앞의 특수물질로 착색된 유리면에 의하여 차단되고 있어 외부로 방출되는 양은 극히 미미하여 검출이 안될 정도이다. 따라서 이들 VDU (Visual Display Unit)에서 나오는 電磁波는 일반 電氣機器와 마찬가지로

로 ELF波 및 RF波가 대부분이다.

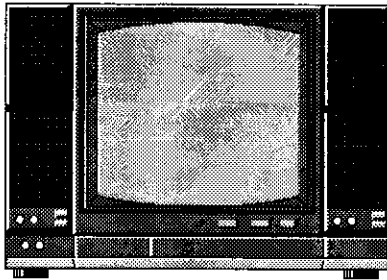


그림 5.3 TV 受像機

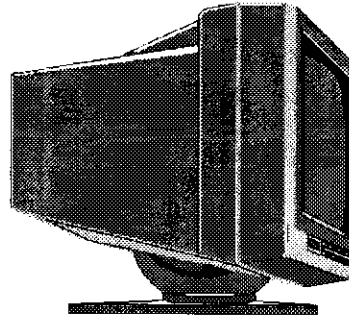


그림 5.4 컴퓨터 Monitor

RF 帶域에서의 TV 受像機의 전자파 측정 결과는 표 5.1과 같다. 可用裝備의 특성상 周波數를 변화시켜 가며 측정할 수는 없었고, 기기별로 측정가능한 주파수 帶域에서 나타나는 값들을 나타내었다.

표 5.1 TV 受像機에서 방출되는 RF 電磁波의 세기

區分 \ 距離		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	正面	20.35	7.75	3.17	2.36	1.57	Holiday Industries HI-4422
	30 cm 아래	16.92	5.25	2.85	1.75	1.52	위와 同一

註: L전자 19" TV, (1995년 6월 30일 측정)

컴퓨터 Monitor에 대해서도 측정하였는데 결과는 TV 수상기의 경우와 유사하게 나타났다. 단, 低周波 帶域의 磁界세기가 가까이서는 TV보다 높게 나타났다으나 거리가 멀어짐에 따라 곧 감소하였다.

Workstation용 大型 Monitor의 경우 표 5.3에서 보여지는 바와 같이 소형 Monitor보다 측정치가 약간 높게 나타났다.

표 5.2 컴퓨터 Monitor에서 방출되는 電磁波의 세기

區分 \ 距離		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	正面	18.17	5.38	1.73	1.47	1.36	Holiday Industries HI-4422
	30 cm 아래	5.70	2.35	1.47	1.34	1.30	위와 同一
磁界세기 (μ T)	正面	8	0.3	0.08	0.06	0.04	Combinova Elec. Field Meter

註: H전자 14" Monitor, (1995년 6월 17일 측정)

표 5.3 Workstation用 Monitor에서 방출되는 電磁波의 세기

區分 \ 距離		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	正面	24.18	10.70	6.90	5.22	1.67	Holiday Industries HI-4422
	30 cm 아래	20.02	8.04	5.22	2.18	1.30	위와 同

註: M전자 20" Monitor, (1995년 7월 12일 측정)

다. 電子레인지 (Microwave Oven)

電子레인지는 電磁波의 加熱作用에 의하여 物體(음식물)를 加熱하는 것으로서 적절히 遮蔽가 되지 않을 경우 매우 위험하다. 특히 Microwave는 波長이 1 mm에서 1 m 사이에 있어 人體 皮膚 표면에서 그 熱을 感知하기도 전에 皮膚속이나 臟器를 損傷시킬 수가 있어 더욱 조심할 필요가 있다.

Microwave의 周波數 範圍는 300

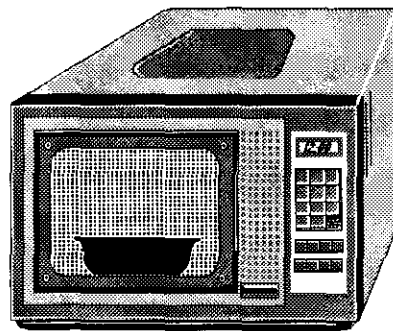


그림 5.5 家庭用 電子레인지

MHz ~ 300 GHz이나 측정장비의 제한으로 家庭用 電子레인지에 대하여 1000 MHz 이내의 Microwave의 電·磁界 強度를 측정한 결과는 표 5.2와 같다. 電界의 경우는 1 m 이내에서는 ANSI 기준에서 규정한 6.32 V/m보다 높게 나오는 것으로 나타나고 있다. 磁界의 세기는 低周波 범위에서 측정한 것으로서 별 의미가 없다.

표 5.4 家庭用 電子레인지에서 방출되는 電磁波의 세기

正面 距離 區分		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기	V/m	24.53	13.50	5.87	2.47	1.42	Holiday Industries III-4422
	mW/cm ²	0.81	0.58	0.25	0.08	0.01	위와 동일
磁界세기	μT	6	0.6	0.3	0.06	0.04	Combinova Elec. Field Meter

註: B-전자, 모델 RE-799BS (1995년 8월 2일 측정)

라. 其他 RF/MW 電磁波 發生源

AM 및 FM 라디오의 送·受信에도 RF波가 사용되고 있으며, 사업장에서는 Plastic Welder 및 Scaler 등에서 RF波가 사용되고 있다. 우리가 보유하고 있는 Holaday Industries社의 HI 4422 측정기로는 AM, FM 모두 주변과 구별이 안 될 정도로 미약하게 나타났으나 이 결과만을 가지고 어떤 결론을 내릴 수는 없다. 앞으로 특정 周波數별로 측정이 가능한 정밀한 장비를 구비한 후 이를 사용하여 조사하여야 할 것이다.

Microwave는 병원에서 치료용으로도 사용되며, 군사용으로 많이 이용되고 있는 Radar 통신도 이 Microwave를 통하여 이루어지고 있다.

5.2 ELF 電磁波 環境

ELF 電磁波는 3 kHz 이하의 周波數를 갖고 波長이 100 km 이상이 되는 것으로서 그중 가장 많은 것이 50 Hz 또는 60 Hz의 周波數 (이 周波數를 흔히 商用周波數라고 한다.)를 갖는 電力線 (Power Line)으로부터 나오는 電磁波이다. 이로 인하여 구미 선진국들에서는 전력회사들과 대용량 送電線 주변에 거주하고 있는 주민들 사이에 많은 마찰과 분쟁이 일어나고 있다. 그러나, 아직까지 이 ELF 電磁波의 人體 影響에 대해서는 有害 여부는 물론 Mechanism조차 규명되고 있지 않아 명확한 해결책을 제시하여 주지 못하고 있다.

가. 變電所 및 送·配電線

電氣의 이용 증가와 더불어 우리 주변에 많이 설치되고 있는 變電所 및 高壓送電線은 ELF 電磁波의 주요 發生源이 된다.

IEEE EMC Society의 電磁波環境 技術委員會에서 수행한 30 ~ 300 Hz 周波數帶域의 電磁波環境測定에 관한 자료들에 따르면, 送·配電 線路 작업자나 전기공들은 사

무실에서나 住居地에서 받는 양의 약 100 ~ 1000 배나 되는 강한 電磁氣場에 露出되어 대략 電氣場은 0.1 ~ 10 kV/m, 磁氣場은 0.01 ~ 0.2 mT의 電磁波를 받게 된다.

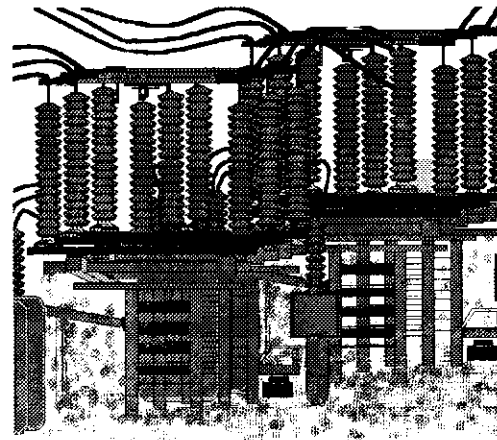


그림 5.6 變電所의 일부분

大電流 低電壓系에서는 磁界가 세고 電界는 약하며, 小電流 高電壓系에서는 電界가 세고 磁界가 약한 電磁波를 발생한다.

표 5.5 變電所에서 방출되는 電磁波의 세기

울타리에서의 區 分 距離	1 cm	0.5 m	1 m	2 m	6 m	측정기
電界세기 (V/m)	20.0	6.0	2.0	0.8	0.4	Combinova Elec. Field Meter
磁界세기 (μ T)	15	6	2	0.6	0.06	위와 동일

註: 한국전력 부천시 내동變電所 (22,900 V; 1995년 10월 21일 측정)

超高電壓 (Extra High Voltage; EHV) 架空電力線 (Overhead Transmission Line) 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. 이는 電氣場의 세기로는 IRPA/INIRC에서 정하고 있는 일반인에 대한 許容基準 5 kV/m를 훨씬 초과하고 있으며, 磁氣場 세기의 許容基準 100 μ T보다는 조금 못 미치는 양이다.

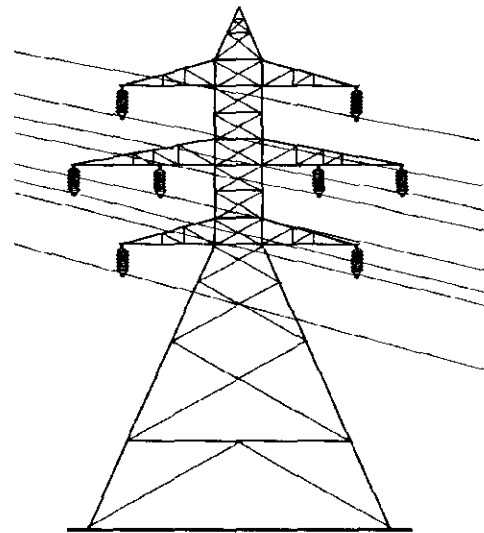


그림 5.7 送電 鐵塔

한편, 영국 자료⁽²⁾에서는 400 kV 架空電力線의 중앙으로부터 25 m 떨어진 곳에서 電氣場의 세기는 1 kV/m, 磁氣場의 磁束密度는 8 μ T로 나타나고 있으며, 우리가 직접 측정했던 22.9 kV 送電線의 경우는 표 5.6에 나타난 바와 같이 送電塔 바로 밑에서 약 12 V/m, 磁束密度는 8 μ T으로 나타났는데, 이는 일반인의 허용한도보다 낮아 우려할 狀況은 아니라고 할 수 있다.

送電線 외에도 ELF를 발생 하는 것들이 많이 있는데, 건물벽 속에 있는 配電線 및 그 擴張線(Extension), 각종 電氣機器, 照明器具 등 우리 주변에도 헤아릴 수 없을 만큼 많다.

표 5.6 送電塔에서 방출되는 電磁波의 세기

塔중앙에서의 區 分 距離	0 cm	0.5 m	1 m	2.5 m	5 m	10 m	측정기
電界세기 (V/m)	15.0	15.0	10.0	8.0	4.0	3.0	Combinova Elec. Field Meter
磁界세기 (μT)	8.0	8.0	5.0	3.0	0.8	0.2	위와 동일

註: 한국전력 부천시 고강동 所在 送電塔 (22.9 kV; 1995년 12월 14일 측정)

나. 住居地 및 家庭用 電氣機器

우리 住居地에는 많은 送·配電線이 지나고 있고, 많은 가정에서는 電氣連結線 (Extension)들을 사용하고 있어 여기서도 磁氣場이 형성되어 나오고 있고, 때로는 接地系統을 흐르는 電流로 인해서도 磁氣場에 의한 電磁波가 발생 된다.

문명의 산물인 家電機器들은 우리 생활에 많은 편리함을 가져다 주는 동시에 ELF의 주요 Source가 된다. 더욱 우려할 사항은 요즘 지나치게 전기용품의 사용이 늘어나고 있는 점이다. 새로운 전기제품들이 자꾸 등장하고 있으며, Gas Oven이 電氣 Oven으로 바뀌고 있고, 근거가 희박한 健康製品이라는 자석요 등까지 나돌고 있다. 그리고 기존 제품들중에는 TV, 냉장고 등과 같이 점점 대형화되어 가고 있는 것들이 있어 이로 인한 電磁波의 발생도 증가되고 있다.

家電機器에서는 電氣場 세기와 磁束密度가 대개는 각각 50 V/m 및 5 μT 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. Hair Dryer나 전기면도기 같은 것은 아주 근접한 곳에서는 IRPA 許容基準의 20~30 배인 2~3 mT까지의 磁氣場이 나올 수가 있다. 電氣煖爐나 電氣담요, 電氣 Oven, Toaster와 같은 電熱機器에서도 높은 磁氣場의 電磁波가 발생한다. 특히 電氣담요 같은 것은 우리 몸에 아주 밀착해서 오래동안 덮고 자기 때문에 그 電磁場의 세기가 좀 약하더라도 영향이 매우 크기 때문에 특별히 유의하여야 한다.

표 5.7 TV 受像機에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 \ 距離		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	正面	30.0	20.0	4.0	2.0	1.5	Combinova Elec. Field Meter
	30 cm 아래	20.0	10.0	3.0	1.5	1.5	위와 同
磁界세기 (μ T)	正面	3	0.5	0.15	0.06	0.04	위와 同一

註: L전자 19" TV, (1995년 10월 10일 측정)

앞에서 TV에서 방출되는 RF 電磁波의 측정 결과를 보인바 있는데, TV에서는 RF波보다는 ELF波가 더 큰 문제가 될 수 있다. 표 5.7은 TV 受像機 정면에서 측정한 電界 및 磁界의 세기를 나타내고 있다. 그런데 TV의 경우는 상부와 후면부에서 더 강한 電磁波가 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 상부에서 56.5 V/m의 電界強度가 나타났으며, 뒷면에 경우는 이보다도 더 높아서 電界強度가 100 V/m 이상, 磁界強度가 30 μ T 정도가 측정되었다.

螢光燈에서도 세지는 않지만 ELF 電磁波가 지속적으로

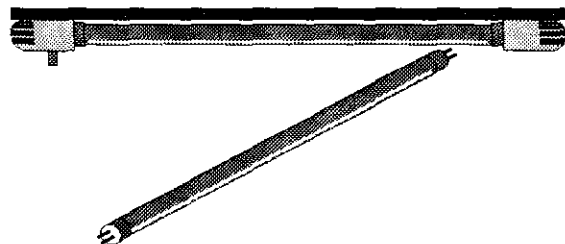


그림 5.8 형광등

방출되고 있다. 표 5.8은 40 W짜리 螢光燈의 電磁波 측정 결과이다. 螢光燈은 켜는 때에 高壓이 걸리므로 이 때 강한 電界의 電磁波가 발생할 수 있다.

표 5.8 螢光燈에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 \ 距離	25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	10.0	4.0	2.5	1.5	0.6	Combinova Elec. Field Meter
磁界세기 (μT)	0.6	0.06	0.04	0.04	0.04	위와 同一

註: S기업 製造 40W 螢光燈 TV, (1995년 10월 11일 측정)

에어컨과 냉장고에서도 많은 量의 ELF 電磁波가 방출된다. 이들은 低電壓 高電流이므로 電氣場보다는 磁氣場이 강하다. 요즈음은 에어컨이 분리형이 많아 本體는 거실 등에서 떨어진 바깥에 둠으로써 우리가 받는 電磁波의 量을 훨씬 줄일 수가 있어 그나마 다행이라 할 수 있다. TV와 마찬가지로 냉장고의 경우는 電磁波가 가장 많이 나오는 부분인 뒷 부분에 우리가 접근할 기회가 많지 않아 이 또한 다행이라 할 수 있다. 그러나 옆면은 앞면보다 많은 量의 電

磁波가 나오면서 쉽게 접근하게 됨으로 주의할 필요가 있다. 표 5.9는 冷蔵庫에서 나오는 ELF 電磁波를 前面에서 측정한 결과이다.

요즘은 가정이나 사무실 등에서 眞空掃除器 (Vacuum Cleaner)를 많이 사용하고 있는데, 여기서도 많은 量의 ELF 電磁波가 방출된다. 표 5.10은 L社의 소형 진공소제기에 대한 측정결과를 보여주고 있다. 電氣場은 隣接해서 (2.5 cm) 약 10 V/m, 磁氣場은 약 2 μT로서 외국의 허용한도를 초과하고 있

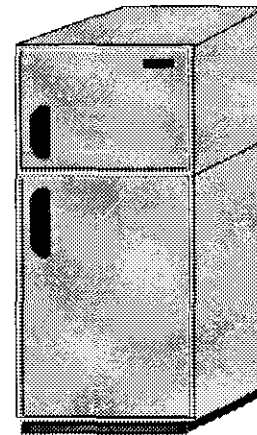


그림 5.9 냉장고

지는 않으나 다른 전기기기에 비하여 많이 나오고 있는 것을 알 수 있다.

표 5.9 冷蔵庫에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 前面 距離	25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	10.0	6.0	2.5	1.5	0.6	Combinova 社 Elec. Field Meter
磁界세기 (μ T)	1.5	0.8	0.3	0.06	0.04	위와 同一

註: S전자 370 l 冷蔵庫, (1995년 11월 4일 측정)

최근에는 특히 청소 용역업체
의 근로자가 증가하고 있는데,
이러한 진공소제기를 과다하게
사용할 경우가 많으므로 주의를
기울일 필요가 있다.

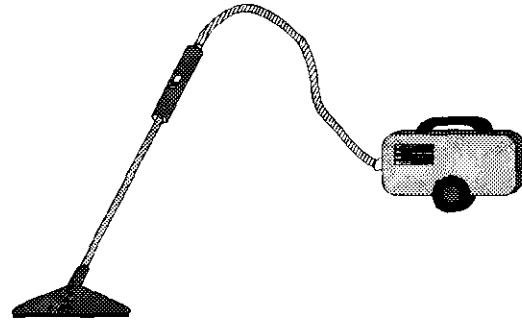


그림 5.10 家庭用 眞空掃除器

표 5.10 眞空掃除器에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 前面 距離	25 cm	0.5 m	1 m	1.5 m	2.5 m	측정기
電界세기 (V/m)	10.0	8.0	4.0	2.0	0.6	Combinova 社 Elec. Field Meter
磁界세기 (μ T)	2.0	0.8	0.06	0.04	0.04	위와 同一

註: L電子 眞空掃除器 (Model: V-966B), (1995년 11월 7일 측정)

여름철에 우리 가정은 물론 사무실, 작업장 등에서 많이 사용하고 있는 선풍기도 ELF 電磁波의 주요한 발생원이 될 수 있다. 표 5.11은 가정용 소형

선풍기의 ELF 電磁波 측정결과이다. 소형선풍기임에도 불구하고 상부와 하부에서 磁氣場이 미국 Florida 州의 被曝限界値인 15 μT 에 거의 육박하는 10 μT 정도의 매우 강한 電磁波가 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 사무실이나 사업장 등에서 사용하는 대형선풍기의 경우는 이보다 훨씬 강한 전자파가 발생할 수 있으므로 각별한 주의가 요구된다.

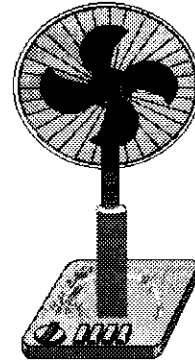


그림 5.11 小型선풍기

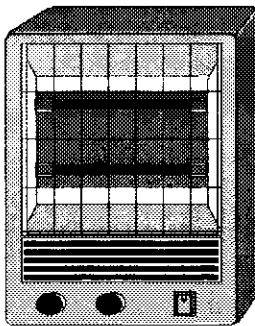


그림 5.12 電氣 暖爐

우리 가정에는 전기 난로, Toaster, 전기 다리미, 전기 담요, 전기 Oven 등과 같은 전열기류를 많이 사용하고 있는데, 이들도 ELF 發生源이 된다. 一例로 850 W 짜리 소형 전기난로에서 발생하는 ELF 電磁波를 측정하였는데 그 결과는 표 5.12과 같다. 電氣場의 세기는 미약하나, 磁氣場은 비교적 강한 세기를 갖고 있음을 알 수 있다.

표 5.11 소형 선풍기에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區 分		距 離	25 cm	0.5 m	1 m	2 m	測定器
電界세기 (V/m)	前面		3.0	1.5	1.4	0.8	Combinova 社 Electric Field Meter 100
	後面		1.5	1.5	0.8	0.4	
	上部		4.0	2.0	1.5	0.8	
	下部		4.0	1.5	1.0	0.8	
磁界세기 (μT)	前面		1.0	0.5	0.3	0.1	위와 同一
	後面		3.0	0.8	0.5	0.1	
	上部		10.0	1.5	0.8	0.2	
	下部		8.0	2.0	1.0	0.25	

註: S電子 製造 소형선풍기 (Model: SIF-357PL), (1995년 12월 19일 측정)

표 5.12 電氣 煖爐에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 前面 距離	25 cm	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	측정기
電界세기 (V/m)	6.0	2.0	0.8	0.4	0.4	Combinova 社 Elec. Field Meter
磁界세기 (μ T)	5.0	1.5	0.6	0.25	0.06	위와 同一

註: D電子 製造 電氣煖爐 (Model: HS-3090), 220 V, 960 W (1995년 11월 7일 측정)

우리 가정에는 이밖에도 수많은 電氣機器들이 있다. Hair Dryer, 전기 면도기, 電子時計, 전기 Mixer 등 각종 주방기구, 각종 조명기구 등이 이에 포함된다. 그리고 전기의 편리한 사용을 위해서 벽면 곳곳에는 配電線들이 설치되어 있고, Receptacle (콘센트)이 멀 경우에는 擴張線 (Extension)을 사용하고 있는데 이러한 것들이 모두 ELF 電磁波의 發生源이 된다.

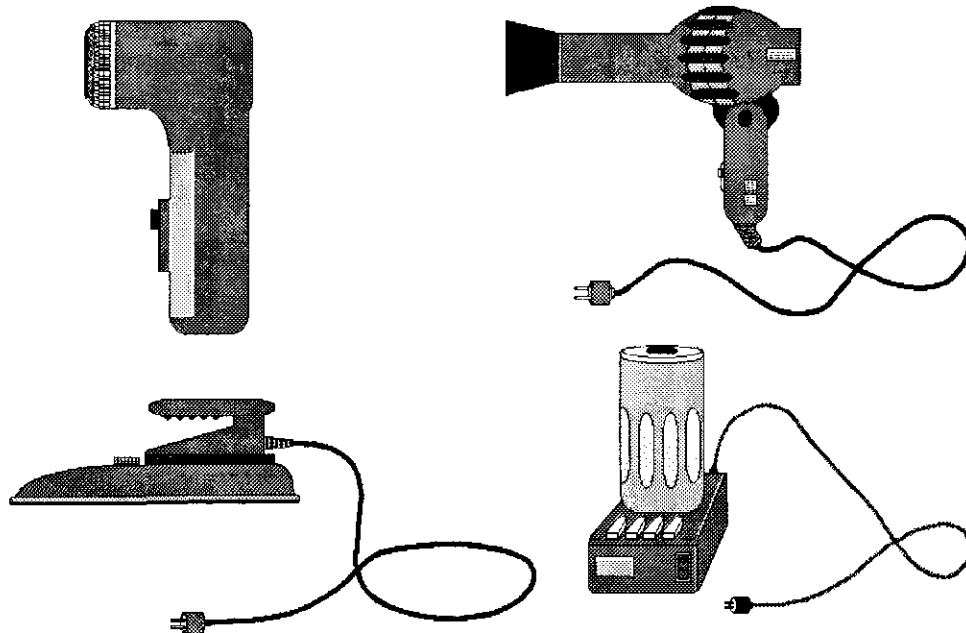


그림 5.13 가정에서 자주 사용하는 전기기기들

電磁波의 세기는 거리(r)가 멀어짐에 따라 급격히 감소한다 ($\propto 1/r^2$). 이는 바꿔 말하면, 약한 電磁波라도 거리가 가까우면 그 세기가 강함을 의미한다. 따라서, 우리 몸에 밀착하여 사용하는 전기담요, 전기면도기, Hair Dryer 등은 비록 나오는 電磁波가 약하다 할지라도 사용을 가급적 억제하는 것이 좋다.

다. 事業場 電氣施設 및 電氣機器

事業場에서 大電流機器들을 취급하는 작업자는 10 μ T에서 1 mT에 이르는 磁氣場에 被曝될 수 있다. 특히 大容量 電氣 Motor를 사용하는 사업장의 경우 높은 磁氣場이 발생된다. 交流 Arc 鎔接器를 사용할 때에도 많은 磁氣場이 발생한다.

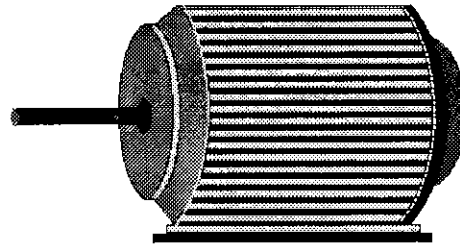


그림 5.14 電動機 (Motor)

표 5.13 電動機 (Motor)에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 \ 前面 距離	25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	13.3	6.6	3.9	1.4	1.3	Combinova 社 Elec. Field Meter
磁界세기 (μ T)	80	50	1.0	0.8	0.3	위와 同

註: H 重工業 Model TBEP, 正格出力 18.5 kW; 25 HP, 正格電壓 440 V, 正格電流 30 A
(1995년 10월 17일 측정)

표 5.13는 사업장에서 많이 사용하고 있는 電動機 (Motor)에 대한 電磁波 측정결과를 보여주고 있다. 電氣場은 隣接해서 (2.5 cm) 약 13.1 V/m, 磁氣場

은 약 80 μT 로서, 磁氣場의 경우는 외국의 허용한도 100 μT 를 거의 접근하고 있다. 사업장에서는 수많은 전기 Motor類를 사용하고 있고, 각종 장비들이 Motor를 내장하고 있는 경우도 많다. 그리고 사업장에서 사용하고 있는 Motor의 대부분이 표 5.13의 Motor보다 훨씬 큰 Motor들이다. 큰 Motor의 경우 외국의 허용한도를 초과한다고 보아야 하며, 따라서 이에 대한 電磁波被曝防止對策의 마련이 시급하다고 하겠다.

사무실 빌딩에서는 많은 전력을 사용함에 따라 지하층 같은 곳에 變電室 및 配電室이 있는데 여기에서도 다른 곳보다 훨씬 강한 ELF 電磁波가 발생한다.

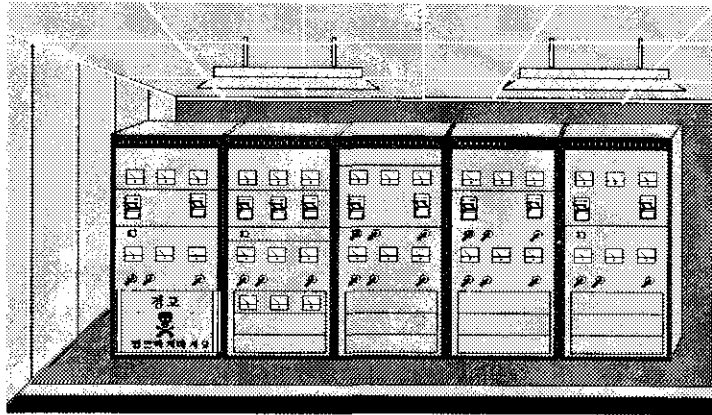


그림 5.15 건물의 配電室

표 5.14 건물내 配電室에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分	판넬前面 距離	25 cm	0.5 m	3 m (입구)	8 m	측정기
電界세기 (V/m)		20	15	6	4	Combinova 社 Elec. Field Meter
磁界세기 (μT)		10	2	0.15	0.06	위와 同

註: 인천시 부평구 소재 産業安全保健研究센터 配電室, 配電盤 容量 200 kVA,
出力 110V/220V/330V (1995년 10월 17일 측정)

표 5.14는 지하 2층, 지상 6층인 건물내에 있는 배전실에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기를 측정한 결과를 보여주고 있다. 배전반 전면 가까이에서는 20

V/m의 電界세기와 10 μ T의 磁束密度로 비교적 높은 강도를 가진 電磁波가 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 이러한 장소에서 근무하는 전기작업자들은 배전반에 불필요한 접근은 삼가하는 등 특별한 주의가 필요하다.

사무자동화 등으로 인하여 요즘은 컴퓨터를 사용하지 않는 사업장과 사무실이 거의 없다. 컴퓨터는 반드시 Monitor와 같이 쓰게 되어 있는데 이 Monitor는 앞에서 조사한 바와 같이 RF波를 방출하는 동시에 ELF波도 적지 않게 방출하고 있다.

표 5.15는 사무실 등에서 가장 흔히 볼 수 있는 소형 (14") Monitor에 대한 ELF波 측정결과를 보여주고 있다. 磁氣場의 경우는 화면이 큰 TV보다도 더 높은 자속밀도의 ELF波가 나오는 것을 알 수 있다. 그리고 표에는 나타나 있지 않으나 Monitor 후면에서 측정한 磁氣場의 자속밀도가 20 μ T 정도로 훨씬 더 높은 수치로 나타나고 있었다. 최근에는 컴퓨터 Monitor도 점점 커져가고 있는 추세에 있고 특히 사업장이나 연구실에서는 大型 Monitor를 부착한 Workstation을 많이 사용하고 있어 여기서 발생하는 ELF波는 그 세기가 훨씬 강함을 염두에 두어야 할 것이다.

표 5.15 컴퓨터 Monitor에서 방출되는 ELF 電磁波의 세기

區分 \ 距離		25cm	0.5m	1m	1.5m	2.5m	측정기
電界세기 (V/m)	正面	20.0	6.0	2.0	2.0	1.5	Combinova Elec. Field Meter
	30 cm 아래	15.0	4.0	1.5	0.8	0.6	위와 同 -
磁界세기 (μ T)	正面	8	0.3	0.08	0.06	0.04	위와 同 -

註: II전자 14" Monitor, (1995년 10월 11일 측정)

사업장에는 교류 Arc 용접기, 프레스 및 전단기, 각종 공작기계 등 모두 열거할 수 없을 정도로 다양한 종류의 전기장비들이 사용되고 있다. 그리고

이 장비들은 전기 Drill, 전기 톱, Roller(壓延機), 리프트 등처럼 강력한 電磁波를 발생하는 전기 Motor를 내장하고 있는 것들이 많다. 그림 5.16과 같은 容量 1 kVA 이하의 소형 Motor조차도 가까이서는 50 μ T 이상의 강한 자속밀도를 가진 電磁波가 나오고 있는 것으로 측정되었다.

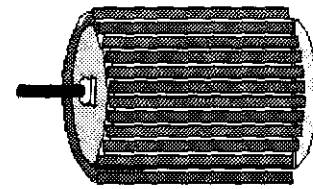


그림 5.16 소형 Motor

라. 其他 ELF 電磁波 發生源

그 밖에도 公衆이 많이 이용하는 電鐵 (地下鐵 포함) 등에서 ELF 電磁波가 많이 발생하고 있다. 高壓交流를 사용하고 있는 國鐵 區間인 부천역 Platform에서 1995년 11월 9일 Combinova社의 Electric Field Meter를 사용하여 측정한 결과, 電氣場은 電動車가 들어올 때 10 V/m, 電動車가 없을 때는 8 V/m가 나왔으며, 磁氣場은

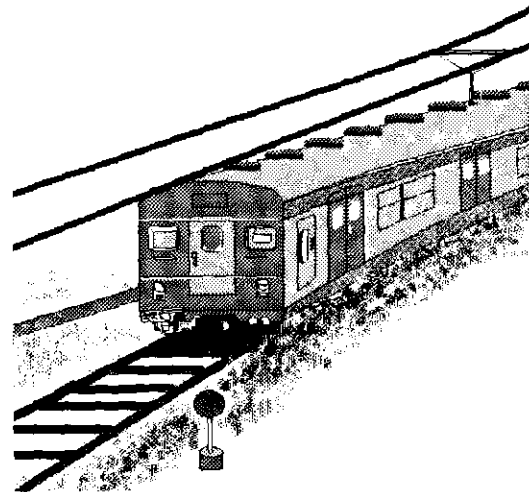


그림 5.17 電鐵과 電動車

電動車가 들어올 때 8 μ T, 電動車가 없을 때는 6 μ T가 感知되었다. 이 정도는 아직까지는 허용치보다 낮으나 전동차를 타고 내리기 위하여 가까이 접근하면 그 數値는 훨씬 커질 수 있으며, 線路에서 점검 등의 일을 하는 작업자의 경우는 더 많은 電磁波에 노출될 우려가 있다. 다행히 승객이 타는 객실은 電氣場은 2.5 V/m, 磁氣場은 1.5 μ T로서 모두 허용치에 훨씬 못 미치는 약한 것으로 나타났다.

6. 非電離電磁波의 被曝許容基準 및 防護方法

非電離電磁波를 어느 정도까지 被曝하면 人體 健康에 전혀 해가 되지 않는가 하는 것에 대하여는 醫學的으로 아직 명확히 밝혀진 것이 없고 따라서 국제적으로 통일된 被曝許容基準이 나오지 못하고 있다. 여기서는 특정 電磁波에 대하여 國際放射線防護協會 (International Radiation Protection Association; IRPA) 산하의 國際非電離放射線防護委員會 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; ICNIRP)¹⁾와 같은 국제기구와 美國産業衛生政府專門家會議 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists; ACGIH)나 美國國立標準局 (American National Standards Institute; ANSI)과 같은 선진국 관련기관에서 권장하고 있는 基準들을 수집하여 검토하였다.

6.1 紫外線의 許容基準 및 防護方法

(1) 紫外線의 許容基準

紫外線의 被曝 許容基準에 관해서는 國際放射線防護協會 (IRPA) 산하의 國際非電離放射線防護委員會 (ICNIRP; 舊 INIRC)가 1985년에 발표한바 있는데, 이는 美國産業衛生政府專門家會議 (ACGIH)가 발표한 것과 동일하고, 美國國立標準局 (ANSI)의 基準과도 매우 유사하다. 이 被曝許容限界 (Exposure

註 1. 國際非電離放射線防護委員會 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; ICNIRP)는 1992년 5월 IRPA 산하의 國際非電離放射線防護委員會 (International Non-Ionizing Radiation Committee; INIRC)가 독립기구로 새로 개편되어 발족한 것임.

Limit; EL)은 緯도가 $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 인 지역에서 여름날 정오 무렵에 5~10 분만 太陽光線에 照射되어도 초과할 정도의 量이다.

一般人 및 作業者에 있어서, 放射束密度值 (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 표 6.1과 같다.

표 6.1 非保護 皮膚 및 눈에 대한 紫外線의 被曝許容限界 (EL)

波 長 (nm)	被曝許容限界 (EL) (放射束密度; Irradiance)	Relative Spectral Effectiveness, S_{λ}
320 ~ 400	1 mW/cm ²	$> 10^3$ s
	1 J/cm ²	$< 10^3$ s
180 ~ 315	표 6.2 참조	< 8 hr
	E_{eff}	$\frac{0.003 \text{ J/cm}^2}{E_{\text{eff}}}$

註: Threshold Limit Values and Biological Indices for 1988-1989, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, USA에서 인용.

표 6.1을 설명하면 다음과 같다.

- (i) 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/cm² (10 W/m²)을, 被曝時間이 10^3 초 이하일 경우는 1 J/cm² (10 kJ/m²)을 초과하여서는 안된다.

표 6.2 化學紫外線 (UV-B 및 UV-C)의 波長別 被曝許容限界 (EL)

波 長 (nm)	被曝許容限界 (TLV)		Relative Spectral Effectiveness, S_{λ}
	(J/m ²)	(mJ/cm ²)	
180	2500	250	0.012
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

註: Threshold Limit Values and Biological Indices for 1992-1993, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, USA 에서 인용.

* : TLV가 가장 낮은 波長

: 30 J/m²의 被曝은 1 mW/m² 發光度의 連續 8時間 동안 照射에 상당함.

(ii) 化學紫外線 (UV-B 및 UV-C; 180 ~ 315 nm)의 보호되지 않은 피부 또는 눈에 대한 EI는 8시간 이내의 被曝에 있어서 표 6.2에 주어진 허용치를 초과하여서는 안된다. 보호되지 않는 피부 및 눈에 照射되는 化學紫外線의 被曝許容時間[s]은 30 J/m^2 (0.003 J/cm^2)을 $E_{\text{eff}} [\text{W/cm}^2]$ 로 나눈 값이다.

複合光 (Polychromatic) 즉 廣帶域 (Broad Band) 放射線에 있어서는 270 nm에서의 TLV와의 비교를 위해 270 nm에서의 有效發光度 (Effective Irradiance)를 얻는 것이 필요하다. 이는 상대적 스펙트럼 有效性係數 (Relative Spectral Effectiveness)를 사용해서 혼합되어 있는 각 波長별 發光度의 加重 積分에 의하여 계산할 수 있다. 즉, 스펙트럼 有效性曲線 (Spectral Effectiveness Curve)의 最大值 (270 nm)에 대비하여 加重이 된 廣帶域 複合線源의 有效發光度 (Effective Irradiance)는 다음 식에 의하여 결정된다.

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda} \quad (6.1)$$

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

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

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

Δ_{λ} = 계산 또는 측정의 Bandwidth [nm]

最大 被曝許容 時間은 표 6.3을 이용하여서도 구할 수 있는데, 이 표는 有效發光度 [W/m^2 또는 $\mu\text{W/cm}^2$]에 대응하는 대표적인 피폭시간을 나타내고 있다.

표 6.3 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)	
	$E_{\text{eff}} [\text{W/m}^2]$	$E_{\text{eff}} [\mu\text{W/cm}^2]$
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

(2) 紫外線의 防護方法

紫外線에 대한 防護方法은 크게 세가지로 구분하여 세울 수 있다.

(i) 被曝時間

무엇보다도 紫外線의 被曝時間을 줄이는 일이 우선되어야 한다. 이 때 고려하여야 할 사항은 紫外線의 強度에 따라 被曝時間을 다르게 제한한다. 따라서 태양 자외선의 피폭을 줄이기 위해서는 자외선의 강도가 가장 강한 오전 11시부터 오후 4시 사이에 야외에서 작업을 하거나 나다니는 것을 삼가해야 할 것이다.

(ii) 紫外線의 吸收 및 遮蔽

紫外線 吸收材를 사용하여 눈이나 皮膚에 닿는 紫外線의 Energy를 제한하는 것은 障害를 방지하는데 있어 매우 유효한 수단이다.

선스크린 (Sunscreen): UV-B로부터 皮膚를 보호하기 위해서는 Suntan 로션이나 크림과 같은 Sunscreen을 사용하는 것이 좋다. Sunscreen은 SPF (Sun Protective Factor)라고 불리는 光線遮斷指數 (Sunscreen Index)를 갖고 있는데, 대개 0에서 40까지 있다. SPF가 클수록 UV-B에 대한 차폐효능이 높으며, 15 이상의 것을 사용하여야 좋다. Sunscreen의 SPF가 15라는 것은 이 Sunscreen을 사용할 경우의 皮膚보호능력이 사용하지 않는 자연상태에서보다 15배가 된다는 뜻이다. Sunscreen은 광선에 노출되기 최소한 15분 전에 발라야 하며, 땀이 닦아내버릴 경우가 많으므로 이를 감안하여 제조자의 주의사항대로 자주 발라야 한다.

선글래스(Sunglass): 선글래스는 紫外線 吸收指數를 갖고 있는데, UV-A의 95% 이상을 흡수하고 5% 이내만을 통과시켜야 한다. 요즘 나오는 保護眼鏡은 UV-A 吸收機能까지 갖고 있다.

모자(Hat): 챙(Brim)이 넓은 진한 색깔의 모자는 머리皮膚, 귀, 앞이마, 얼굴일부를 보호하는데 매우 효율적이다. 흰색 모자는 반사에 의하여 오히려 얼굴 아래부분에의 被曝을 증가시킬 수도 있다. 챙의 넓이는 7~12 cm가 적당하다.

保護衣: 衣服은 자외선 차폐에 효과적인 수단이 된다. 몸에 꼭끼고 뻣뻣하게 짠 옷이 효과적이나 통풍이 나쁘고 활동에 불편함을 가져오므로 적절한 조화를 이루어야 한다. 옷옷은 칼라가 달리고 긴 팔인 것이 좋다. 바지나 스커트도 긴 것이 좋다. 재질로는 섬유가 촘촘함과 통풍

성, 땀의 흡수 등에 있어서 탁월하며, 최근에는 자외선 차단효율이 높은 특수섬유까지 등장하여 이로 만들어진 옷들이 많이 팔리고 있다.

그늘 (Shade): 나무나 건물 구조물들로 만들어지는 자연적인 그늘도 실용적인 훌륭한 자외선 방호수단이 될 수 있으며, 자연적인 그늘이 없으면 차양(Canopy)이나 텐트를 설치하여 만들어 주는 것도 좋다. 유리도 紫外線 遮蔽에 효과가 크므로 長距離에 차를 타고 갈 때는 창유리를 다 올리고 가는 것이 좋다. 그러나 그늘진 곳이라 하더라도 야외에서는 반사광이나 산란광으로 인한 자외선 火傷이 생길 수도 있으므로 유의하여야 한다.

(iii) 紫外線 波長の 選別

모든 波長の 紫外線이 해로운 것은 사실이나 그 중에서도 특히 해로운 파장의 紫外線에 피폭되지 않도록 하는 일이 중요하다. 예를 들어, 紫外線 Lamp의 경우도 될 해로운 파장을 내는 것을 제작해서 사용하도록 한다. 또한 Suntan 로션이나 크림의 경우 섞는 첨가물에 따라 파장별 자외선의 방호능력이 달라질 수 있으므로 해로운 파장의 자외선 차폐에 가장 효과적인 첨가물을 사용하도록 한다.

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 걸러 내준다. 그러나 고출력의 유리면 Lamp 및 Quartz Halogen Lamp에 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 Simulation, 光저항 응용 및 光치료 등과 같은 많은 산업현장에서 자외선 응용시 나오는 유해한 紫外線에 우리

가 피폭되는 것을 막는데 이용할 수 있는 공학적 제어대책의 핵심이 된다.

여러가지 대책들중의 선택은 주어진 여건과 작업기구나 작업방법에 따라 달라져야 하며 두가지 이상의 방법을 같이 사용할 수 있으면 더 큰 효과를 얻을 수 있다. 예를 들어 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 효과적인 방법이 될 수 있다. 동력학적 인 Filter 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 본인도 모르게 다른 작업을 하는 근로자나 주변 사람들에게 자외선이 照射되는 없도록 유의하여야 한다.

UV C는 Ozone이나 浮游汚染物들을 만들 수도 있는데 이러한 것들을 때때로 換氣시키는 것도 필요하다.

6.2 可視光線 및 赤外線의 許容基準 및 防護方法

可視光線 및 赤外線의 IRPA 許容基準은 정해져 있지 않다. 그러나 ACGIH에서는 可視光線과 IR A, 그리고 IR-B와 IR-C의 두가지로 구분하여 다음과 같이 권장하고 있다.

(1) 可視光線 및 IR-A (400 nm ~ 1400 nm)

이 帶域은 눈의 후면부까지 도달하여 흡수되는 放射線으로서, (i) 網膜의

熱傷을 방지하고, (ii) 靑色光(Blue Light)에의 慢性照射로부터 網膜의 光化學的 損傷을 방지하며, 더불어 (iii) 순수 IR-A를 볼 때 생길 수 있는 수정체의 白内障 발생을 예방하기 위하여 TLV를 정하고 있다.

白色光 (White Light)의 경우는 光源의 光度가 10^4 cd/m^2 를 초과하는 경우에만 고려 대상이 된다.

(가) 網膜 熱傷 (Thermal Injury)

網膜의 熱傷을 방지하기 위해서는 網膜熱傷函數 (Retinal Burn Hazard Function), R에 대하여 가중된 스펙트럼 光輝 (Spectral Radiance)에 대하여 한계치를 정하였는데, 이는 다음 식으로 구해질 수 있다⁽²⁾.

$$\sum_{400}^{1400} L_{\lambda} \times R_{\lambda} \times \Delta\lambda \leq \frac{5 \times 10^4}{\alpha t^{1/4}} \quad (6.2)$$

여기서 L_{λ} = Spectral Radiance

t = 관찰 (Viewing 또는 Pulse) 시간, $1 \mu\text{s} \sim 10 \text{ s}$

α = 물체의 최장크기에 대한 눈의 角弦 (Angular Subtense) [radian]

R_{λ} = 波長 λ 에서의 熱傷函數

(나) 靑色光(Blue Light)에 의한 網膜의 光化學的 損傷

靑色光에 대한 慢性被曝으로 인한 光化學的 傷害를 예방하기 위하여 靑色光 傷害函數 (Blue Light Hazard Function), B_{λ} 에 대한 加重光源의 積分스펙트럼 光輝에 대한 한계치가 다음과 같이 설정된다⁽²⁾.

$$\sum_{400}^{700} L_{\lambda} \times t \times B_{\lambda} \times \Delta\lambda \leq 10^6 \text{ J/m}^2 \text{ sr} \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (6.3)$$

$$\sum_{400}^{700} L_{\lambda} \times B_{\lambda} \times \Delta\lambda \leq 10^2 \text{ W/m}^2 \text{ sr} \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad (6.4)$$

여기서 B_{λ} = 파장 λ 에서의 靑色光 傷害函數 (Blue-Light Hazard Function)

(다) 순수 IR-A에 의한 水晶體의 白內障 발생

遲延效果에 의한 白內障 發生을 예방하기 위하여 파장 770 nm이상의 赤外線의 被曝量을 100 W/m^2 (10 mW/cm^2)로 제한하고 있다.

熱 Lamp와 같은 IR-A의 線源에 대하여 長期間 눈이 받게 되는 光輝는 다음과 같은 식으로 계산되는 양으로 제한되어야 한다⁽²⁾.

$$\sum_{770}^{1400} L_{\lambda} \times \Delta\lambda \leq 0.6 / \alpha \quad (6.5)$$

여기서 L_{λ} = Spectral Radiance

α = 물체의 최장크기에 대한 눈의 角弦 (Angular Subtense) [radian]

(2) IR-B와 IR-C (1400 nm ~ 1 mm)

770 nm 이상의 波長을 방출하는 光源에의 長期間 노출로 인한 潛伏性 水晶體 白內障을 예방하기 위하여 美國 ACGIH는 被曝 制限値를 100 W/m^2 (10 mW/cm^2)로 설정하고 있다.

發熱體에서 放射되는 赤外線은 열전대를 사용한 복사계나 光電管式 赤外線計로 측정하여 위의 기준치를 넘지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 赤外線으로 인한 眼障害를 방지하기 위해서는 차광보호구를 사용한다. 열사병은 모자 등을 사용하여 직사광선이 머리에 바로 쏘이지 않도록 하면 예방이 가능하다.

6.3 LASER에 대한 許容基準 및 防護方法

(1) LASER의 許容基準

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 皮폭 즉시 또는 皮폭 후 오랜 시간 후에라도 어떠한 傷害도 입지 않고 皮폭될 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 ~ 400 nm의 Laser Beam의 경우, 被曝時間이 $10 \sim 10^3$ sec일 때는 1 J/cm^2 이고, 被曝時間이 $10^3 \sim 3 \times 10^4$ sec일 때는 1.0 mW/cm^2 (10 W/m^2)이다.

1985년 8월에 발행된 IRPA/INIRC 기준과 美國 陸軍部 (Department of the Army)에서 1985년 6월에 발간한 Technical Bulletin TB MED 524에서 제시한 눈에 대한 皮폭한계 기준은 표 6.4와 같다.

표 6.4 Laser Beam에의 眼球 直接 照射에 대한 被曝限界値

Spectrum 帶域	波 長 (nm)	被曝 時間 (s)	被曝 限界
UV-C	180 ~ 302	$10^{-9} \sim 3 \times 10^4$	3 mJ/cm^2
UV-B	303	$10^{-9} \sim 3 \times 10^4$	4 mJ/cm^2
	304		6 mJ/cm^2
	305		10 mJ/cm^2
	306		16 mJ/cm^2
	307		25 mJ/cm^2
	308		40 mJ/cm^2
	309		63 mJ/cm^2
	310		100 mJ/cm^2
	311		160 mJ/cm^2
	312		250 mJ/cm^2
	313		400 mJ/cm^2
	314		630 mJ/cm^2
UV-A	315 ~ 400	$10^{-9} \sim 10$	$0.56t^{1/4} \text{ J/cm}^2$
		$10 \sim 10^3$	1.0 J/cm^2
		$10^3 \sim 3 \times 10^4$	1.0 mW/cm^2
可視光線	400 ~ 700	$10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$
	400 ~ 700	$1.8 \times 10^{-5} \sim 10$	$1.8t^{3/4} \text{ mJ/cm}^2$
	400 ~ 550	$10 \sim 10^4$	10 mJ/cm^2
	550 ~ 700	$10 \sim T_1$	$1.8t^{3/4} \text{ mJ/cm}^2$
	550 ~ 700	$T_1 \sim 10^4$	$10C_B \text{ mJ/cm}^2$
	400 ~ 700	$10^4 \sim 3 \times 10^4$	$C_B \mu\text{W/cm}^2$
IR-A	701 ~ 1049	$10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$5C_A C_p \times 10^{-7} \text{ J/cm}^2$
	701 ~ 1049	$1.8 \times 10^{-5} \sim 10^3$	$1.8C_A t^{3/4} \text{ mJ/cm}^2$
	1050 ~ 1400	$10^{-9} \sim 5 \times 10^{-5}$	$5C_p \times 10^{-6} \text{ J/cm}^2$
	1050 ~ 1400	$5 \times 10^{-5} \sim 10^3$	$9t^{3/4} \text{ mJ/cm}^2$
	701 ~ 1400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	$320C_A \mu\text{W/cm}^2$
IR-B & C	$1.4 \sim 10^3 \mu\text{m}$	$10^{-9} \sim 3 \times 10^{-7}$	10^{-2} J/cm^2
	$1.4 \sim 10^3 \mu\text{m}$	$10^{-7} \sim 10$	$0.56t^{1/4} \text{ J/cm}^2$
	$1.4 \sim 10^3 \mu\text{m}$	$10 \sim 3 \times 10^4$	0.1 W/cm^2

$$\text{註: } C_A = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda = 400 \sim 700 \text{ nm} \\ 10^{0.002(\lambda-700)} & \text{for } \lambda = 700 \sim 1049 \text{ nm} \\ 5 & \text{for } \lambda = 1050 \sim 1400 \text{ nm} \end{cases}$$

$$C_B = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda = 400 \sim 550 \text{ nm} \\ 10^{0.015(\lambda-550)} & \text{for } \lambda = 550 \sim 700 \text{ nm} \end{cases}$$

$$T_1 = \begin{cases} 10 \text{ s} & \text{for } \lambda = 400 \sim 550 \text{ nm} \\ 10 \times 10^{0.02(\lambda-550)} & \text{for } \lambda = 550 \sim 700 \text{ nm} \end{cases}$$

$$C_p = \begin{cases} 1/F^{1/2} & \text{for } PRF \text{ (pulse repetition frequency)} \leq 100 \text{ Hz} \\ \text{is determined from charts} & \text{for } 100 \text{ Hz} < PRF \leq 1000 \text{ Hz} \\ 0.06 & \text{for } PRF > 1000 \text{ Hz} \end{cases}$$

* These values of C_p only apply for $t \leq 10 \mu s$. Determining C_p is more complex for $t > 10 \mu s$.

표 6.5 Laser Beam에의 皮膚 被曝에 대한 防護基準

Spectrum 帶域	波 長	被曝 時間 (s)	被曝 限界
UV	200 ~ 400 nm	$10^{-9} \sim 3 \times 10^1$	표 6.4와 동일
可視光線 및 IR-A	400 ~ 1400 nm	$10^{-9} \sim 10^{-7}$ $10^{-7} \sim 10$ $10 \sim 3 \times 10^4$	$2C_A \times 10^{-2} \text{ J/cm}^2$ $1.1C_A t^{1/4} \text{ J/cm}^2$ $0.2C_A \text{ W/cm}^2$
IR-B & C	1.4 μm ~ 1 mm	$10^{-9} \sim 3 \times 10^4$	표 6.4와 동일

註: (1) Technical Bulletin TB MED 524, Department of the Army, Washington, DC, June 1985.

(2) 위의 한계치는 斷面積이 100 cm^2 이하인 Laser Beam에 적용됨.

(3) C_A 는 표 6.4에서와 동일.

全身에 대한 Laser Beam의 被曝限界는 10 mW/cm^2 (100 W/m^2)이다.

표 6.6은 산업체에서 많이 사용하고 있는 특정 Laser에 대한 방호기준으로 표 6.4를 이용하여 구한 수치이다. 예를 들어 표 6.4에서 Helium-Cadmium Laser의 경우 파장이 441.6 nm 이므로 표 6.4의 둘째칸에서 가시광선 부분인 파장 $400 \sim 700 \text{ nm}$ 에 해당하는 곳을 찾고, 피폭시간 0.25 s 는 셋째칸에서 $1.8 \times 10^{-5} \sim 10 \text{ s}$ 에 포함되므로 이에 해당하는 피폭한계는 $1.8t^{3/4} \text{ mJ/cm}^2$ 이다. 따라서, EL은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} EL &= 18t^{3/4} \text{ J/m}^2 = 18(0.25^{3/4}) \text{ J/m}^2 \\ &= 6.3 \text{ J/m}^2 = 6.3 \text{ W} \cdot \text{s/m}^2 \\ &= 6.3/0.25 \text{ W/m}^2 = 25 \text{ W/m}^2 = 2.5 \text{ mW/cm}^2 \end{aligned}$$

표 6.6 특정 CW Laser의 눈 및 皮膚에 대한 被曝限界 (EL)

Laser 形態	主 波長 (nm)	被曝 限界 (EL)	
		눈	皮膚
Helium-Cadmium Argon	441.6 488/514.5	a) 2.5 mW/cm ² for 0.25 s b) 10 mJ/cm ² for 10 ⁻¹⁰ s c) 1 μW/cm ² for t > 10 ⁴ s	0.2 W/cm ² for t > 10 s
Helium-Neon	632.8	a) 2.5 mW/cm ² for 0.25 s b) 10 mJ/cm ² for 10 s c) 10 mJ/cm ² for t > 453 s d) 17 μW/cm ² for t > 10 ⁴ s	0.2 W/cm ² for t > 10 s
Krypton	647	a) 2.5 mW/cm ² for 0.25 s b) 10 mJ/cm ² for 10 s c) 280 mJ/cm ² for t > 871 s d) 28 μW/cm ² for t > 10 ⁴ s	0.2 W/cm ² for t > 10 s
Neodymium: YAG	1,064	1.6 mW/cm ² for t > 1000 s	1.0 W/cm ²
Gallium-Arsenide at room temp.	905	0.8 mW/cm ² for t > 1000 s	0.5 W/cm ² for t > 10 s
Helium-Cadmium	325	a) 1 J/cm ² for 10 ⁻¹⁰⁰⁰ s	a) 1 J/cm ² for 10 ⁻¹⁰⁰⁰ s
Nitrogen	337.1	b) 1 mW/cm ² for t > 1000 s	b) 1 mW/cm ² for t > 1000 s
Carbon-dioxide	10,600	0.1 W/cm ² for t > 10 s	0.1 W/cm ² for t > 10 s

(2) LASER의 防護對策

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.

따라서 Laser의 안전관리에는 다음 사항들이 포함될 수 있다.

- Laser源의 密閉
- 反射 可能 表面의 통제
- Laser 사용장소의 Interlock 裝置 설치
- 실수로 인한 작동을 방지하기 위한 Fail-Safe 장치 구비
- 원격조정장치 사용
- Beam의 경로를 제한하기 위한 遮蔽物 (Baffle)의 설치
- 적절한 保眼鏡과 防護服의 착용

Laser 작업자에 대하여는 신체검사를 포함한 특별한 건강관리를 실시하여야 한다. 건강관리는 인사관리 및 작업이력을 기록하는데서 시작하고, 취업할 때와 매 6개월마다 그리고 이직 시에는 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 해야 한다. 피부과학적으로는 이상건조나 종양, 광과민성 피부질환 등의 유무에 유의하여야 한다. 그 밖에 혈압측정, 혈구검사, 출혈성 소인 검사 등도 정기적으로 실시하도록 한다.

6.4 RF波 및 Microwave의 許容基準 및 防護方法

(1) RF波 및 MW의 許容基準

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

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

(가) 職業人의 경우

- ① 10 MHz 이하의 RF波에 대한 職業적 被曝은, 身體-大地間 電流가 200 mA를 초과하지 않는 조건에서 전기 및 자기장의 세기의 制限이 근무일 (1일 8시간의 근무시간)중 임의의 6분간에 걸쳐 평균되었을 때에, 표 6.7에 나와 있는 攪亂되지 않은 RMS 電氣·磁氣場의 세기를 초과하지 않아야 한다.
- ② 10 MHz 이상의 RF波에 대한 職業적 被曝은 i) 人體의 末부분들 (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, 全身에 대하여 임의의 6분간에 걸쳐 평균한 SAR 값이 0.4 W/kg을 초과해서는 안 된다. 표 6.7에 나와 있는 10 ~ 300,000 MHz 주파수 대역에서의 被曝 限界値들은 SAR이 0.4 W/kg인 값으로부터 계산된 作業 限界値들이다. 이 값들은 근무일 (1일 8시간의 근무시간)중 임의의 6분간에 걸쳐

평균되었을 때 하나 이상의 線源으로부터 나오는 連續 또는 Modulated된 電磁場에 대한 全身 被曝에 적용된다.

표 6.7 RF/MW 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.

- ③ 電氣場 및 磁氣場 성분 사이의 복잡한 位相(Phase) 關係가 존재하는 近場 (Near Field)에 있어서는 어느 한 成分으로부터의 피폭이 지배적이며, 극단적인 경우에는 電氣場 또는 磁氣場 하나만이 있을 수도 있다. 이 경우 10 MHz 이상의 RF波에 대한 職業적 被曝은 다음 식을 만족시키는 조건하에서 표 6.7에 나와 있는 電氣場 및 磁氣場의 限界值가 초과할 수 있다. 6분간에 걸쳐 평균하여 얻은 SAR 限界值 0.4 W/kg를 초과해서는 안된다.

$$\frac{5}{6} \left(\frac{E^2}{120\pi} \right) + \frac{1}{6} (120\pi H^2) \leq P_{eq}$$

여기서, E = 전기장의 세기 (V/m),

H = 磁氣場의 세기 (A/m),

P_{eq} = 표 6.7에 주어진 等價 平面波 電力密度 限界值 (W/m²)

위 공식은 10 ~ 30 MHz의 近場에서는 실용적으로 유용하게 적용되고
경우에 따라서는 100 MHz까지에도 사용될 수 있다.

(나) 一般人の 경우

① 10 MHz 이하의 RF波에 대한 一般人の 被曝은 표 6.8에 나와 있는 교
란되지 않은 RMS 電氣·磁氣場의 세기를 초과하지 않아야 한다.

② 10 MHz 이상의 RF波에 대한 一般人の 被曝은 全身에 대하여 임의의
6분간에 걸쳐 평균한 SAR 값이 0.08 W/kg을 초과해서는 안된다.

표 6.8에 나와 있는 10 ~ 300,000 MHz 주파수 대역에서의 被曝限界値
들은 SAR이 0.08 W/kg인 값으로부터 계산된 限界値들이다. 이 값들
은 1일 (24시간)중 임의의 6분간에 걸쳐 평균되었을 때 하나 이상의
線源으로부터 나오는 連續 또는 모듈레이트된 電磁場에 대한 全身 被
曝에 적용된다.

표 6.8 RF/MW 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.

(다) RF Shock 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 있다.

人體로 흘러 들어가는 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. 일반적으로 RF 火傷은 50 mA 이하의 點接觸 電流에 의해서는 야기되지 않는다.

1982년에 나온 미국 ANSI 기준과 ACGIH 기준은 IRPA 기준과는 相異하며, 이를 소개하면 각각 표 6.9 및 6.10과 같다.

표 6.9 ANSI의 RF 電磁波 防護指針

周波數, f (MHz)	電氣場, E^2 (V ² /m ²)	磁氣場, IF^2 (A ² /m ²)	Power 密度 (mW/cm ²)
0.3 ~ 3	400000	2.5	100
3 ~ 30	4000(900/f ²)	0.025(900/f ²)	900/f ²
30 ~ 300	4000	0.025	1.0
300 ~ 1500	4000(f/300)	0.025(f/300)	f/300
1500 ~ 100000	20000	0.125	5.0

註: ANSI C95.1-1982에서 인용.

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/cm² 인 것이다. 이는 다음과 같은 것을 의미한다.

- ① 최소 0.1 時間 이상의 Power Density는 10 mW/cm² 이다.
- ② 임의의 0.1 時間 동안의 Energy Density는 1 mW-hr/cm² 이다.

표 6.10 ACGIH의 RF/MW波의 TLV

周波數	電氣場, E^2 (V^2/m^2)	磁氣場, H^2 (A^2/m^2)	Power 密度 (mW/cm^2)
10 kHz ~ 3 MHz	377,000	2.65	100
3 ~ 30 MHz	$3770 \times 900/f^2$	$900/(37.7 \times f^2)$	$900/f^2$
30 ~ 100 MHz	3770	0.027	1
100 MHz ~ 1 GHz	$3770 \times f/100$	$f/37.7 \times 100$	$f/100$
1 ~ 300 GHz	37,700	0.265	10

註: (1) f = Frequency in MHz

(2) Threshold Limit Values and Biological Indices for 1988-1989, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, USA에서 인용.

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 被暴).
- 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 被暴).
- ③ 平均出力이 25 mW/cm^2 이상인 초단파에는 被暴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.

(2) RF波 및 MW의 防護對策

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 關係당국에서 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 一般人的 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 個人保護具의 사용은 최후의 수단이여야 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 새나오지 않는 구조로 하고 연동장치를 부착하며 漏泄 Microwave의 측정 및 경고 등이 가능하도록 하여야 한다.

6.5 極低周波 (ELF)에 대한 許容基準 및 防護方法

(1) ELF의 許容基準

IRPA/INIRC는 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 (약 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 (약 80 A/m)이다.

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

미국은 州별로 許容基準이 다르나 職業的 被曝이나 公衆의 구분없이 電氣場의 경우는 대체적으로 IRPA 기준과 유사하게 1 ~ 10 kV/m 정도로 규정하고 있다. 磁氣場의 경우는 Florida州 및 New York州에서 각각 15 μ T 및 20 μ T로 아주 낮게 규정하고 있으나 대부분의 州는 아직 확립된 基準을 갖고 있지 않다.

(2) ELF의 防護對策

ELF 電磁波의 防護對策도 RF 電磁波의 그것과 대체적으로 유사하다고 할 수 있다. 1979년부터 Nancy Wertheimer 및 Edward Leeper가 수행했던 역학 연구와 1986년 David Savitz에 의하여 계속된 연구에 의하면 0.25 μ T 정도로

매우 낮은 磁氣場에 노출에도 암 발병률의 증가에 영향을 주고 있는 것으로 나타나 있다⁽¹⁰⁾.

현재 미국을 비롯한 선진국에서 ELF 防護對策의 일환으로 送·配電 방법을 개선하는 것이 활발히 연구되고 있다. 예를 들어 二重回路 送電線의 경우 相(Phase)의 순서를 한 回路에서는 A-B C로, 다른 回路에서는 C-B-A로 하여 電磁氣場의 세기를 반감시킬 수 있다. 單·回路 送電線의 경우는 3相 Δ 配線 方式으로 전환하여 電磁氣場의 세기를 줄일 있으나 여기에는 安全性 등의 문제가 뒤따르기 때문에 신중할 필요가 있다.

일반적으로 送電線을 地下化할 경우 架空線路의 경우보다 電磁波의 방출을 훨씬 줄일 수 있다. 미국 New York市 Manhattan에서 사용하고 있는 Oil로 채워진 Pipe속에 3개의 絶緣 Cable에 의한 送電은 2 m 위에서 약 0.5 μ T의 磁氣場이 측정되고 있는데, 이는 같은 용량의 架空線路에서 측정되는 10 μ T와 비교할 때 매우 낮다는 것을 알 수 있다⁽¹⁰⁾.

기술적 문제뿐만 아니라 여러가지 경제적인 여건을 고려할 때 電磁氣波의 發生源을 제거하거나 완벽하게 遮蔽하기는 거의 불가능하며, 電磁波의 세기를 현저히 감소시키는 것도 매우 어렵다. 따라서 ELF 電磁波의 被曝限界를 초과하지 않기 위해서는 현실적으로 가능한 모든 방법을 이용하여 電磁波 環境에 露出되는 것을 최소화하여야 한다.

우선 염두에 두어야 할 사항은 電磁波의 세기가 거리가 멀어짐에 따라 그 거리의 제곱에 반비례하여 감소하기 때문에 모든 電磁波의 發生源으로부터 가능한한 멀리 떨어져 있는 것이 좋다. 引入線을 제외한 送電線에서 일정한 거리가 떨어져서 住居空間을 짓거나 作業場을 설치하는 것도 한 방법이 될 수 있다. 아울러 전자파가 많이 나오는 장소에서 오래 작업을 하거나 머무는 일을 삼가하여야 하고 강한 電磁波를 발생하는 機器들의 사용 시간을 가능한 한 줄여야 한다.

앞의 5장에서 보여진 바와 같이 가정용 電氣機器들로부터 나오는 ELF 磁氣場도 매우 강하므로 반드시 일정한 거리 이상을 떨어뜨려 두고 사용토록 하여야 한다. 예를 들면 Hair Dryer나 전기면도기 같은 것은 IRPA 許容基準의 2~3 배인 200 ~ 300 μ T까지의 磁氣場이 나올 수 있어 이를 장시간 머리카락 가까이 대고 사용하는 것은 매우 해로울 수가 있으므로 유의하여야 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 遮蔽體 등을 설치하여 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 근로자가 被曝되는 것을 방지하여야 한다.

7. 맺 음 말

Gamma 線, X-線 등의 電離放射線에 대한 연구는 오래 전부터 原子力産業界를 중심으로 활발하게 이루어지고 있고 일반인들의 관심도 높아왔으나, 非電離電磁波에 대하여 소수의 專門研究者들을 제외하고는 대부분의 사람들이 무관심하여 왔다. 기껏해야 TV를 볼 때 晝面이 이상해진다는지 電話通話를 할 때 混線이 생기는 것이 電磁波 雜音(Noise)에 의한 障礙라는 것을 認知하는 정도였다. 그러나, 문명이 발달된 情報化時代에 살고 있는 우리는 일상 생활이나 사업장, 사무실 등에서 RF, Microwave, ELF 電磁波와 같은 非電離放射線에 대해 엄청나게 노출되고 있다는 사실을 인식해야 할 것이다. 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.

본 연구에서는 지금까지 우리들의 관심을 끌어오지 못했던 非電離電磁波에 대한 제반 사항들을 고찰하였다. 우선 非電離電磁波의 종류 및 그 特性과 電磁波별로 우리 人體에 미치는 障害 영향에 대해서 조사하였다. 다음으로는 우리 주변에 이러한 電磁波들의 發生源들의 파악과 발생량의 개략적인 측정 등 電磁波 環境조사를 실시하였다. 끝으로 非電離電磁波 각각에 대한 국제 또는 선진 외국의 基準을 조사하고 가능한 방호방법들에 대해서 고찰하였다. 측정장비의 한계로 정확한 결론을 내리기는 어려우나 본 연구결과 얻어진 잠정적인 결론은 다음과 같다.

- 우리나라의 非電離電磁波들의 放出 強度가 아직은 국제기준 또는 외국 기준을 넘을 정도로 높지는 않으나 직장, 가정, 야외 등 도처에 非電離電磁波들의 發生源이 확산되어 가고 있으며, 여러 電磁波 發生源들이

공존할 경우 基準値를 초과할 우려가 있다.

- 국제기준 및 외국기준이 반드시 인체장해 여부를 확정적으로 구분하는 척도라고는 볼 수 없으므로 電磁波의 放出 強度가 이 기준보다 낮다고 하여 안심해서는 안되고 정상상태에서보다 수십배 이상이 발생되면 일단 장시간 피폭받지 않도록 유의해야 한다.
- 외국에서는 非電離電磁波의 被曝에 대한 기준이 오래전부터 설정되어 오고 있고 여러가지 防護方法 등에 대한 홍보가 매우 활발한데 비하여 국내에서는 이러한 일들이 전혀 이루어지고 있지 않은바 非電離電磁波의 被曝基準 설정 및 방호대책의 수립이 시급하다.
- 非電離電磁波에 대한 국내연구가 미약하고 專門家가 매우 부족하다. 이에 대한 연구를 촉진하고 많은 專門家를 양성하여 世界化 시대에 걸맞게 국제적인 기준 및 대책 마련에 동참시킬 필요가 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·電子製品이나 機械의 性能을 저하시키고 誤動作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 사업장 근로자와 일반인들이 과도한 電磁波에 노출되지 않도록 적절한 방호대책을 강구해 나가야 할 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, 一般人이 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, ELF 등의 電磁波를 방출할

가능성이 있는 모든 施設 및 機器들에 대한 測定 調査를 실시하고, 許容限界 値를 초과하는 경우에는 이를 낮출 수 있는 手段 및 對策을 강구하여야 한다.

셋째로, 電磁波가 많이 발생하는 區域에서 작업하거나 電磁波發生 裝備를 취급하는 勤勞者들은 사업장내 安全節次를 충분히 인식하고 이를 철저히 준수하여야 하며, 필요한 경우 保護眼鏡과 防護服을 착용하여야 한다.

끝으로, 一般人들은 送·配電線 근처에의 접근을 가급적 삼가하고, 각종 家庭用 電氣·電子機器들을 身體 가까이서 과도하게 사용하는 것을 피하여야 하며, 사용할 때는 製作者나 專門家の 사용상 주의사항을 철저히 지켜나가야 할 것이다.

電磁波를 防護하는데 있어 우리가 항상 염두에 두어야 할 사항은 電磁波의 強度가 여러 基準에서 제시하고 있는 被曝限界値보다 낮다고 할지라도 가능한한 電磁波의 被曝을 줄이려는 ALARA (As Low As Reasonably Acceptable) 精神이다. 앞서서도 언급했듯이 현재로선 人體에 영향을 주지 않는 電磁波 被曝量을 아무도 명확히 알 수 없기 때문에 비록 基準値 이하라 할지라도 電磁波에의 불필요한 露出은 삼가해야 한다.

現代文明의 發達에 따라, 情報通信의 膨脹, 電氣·電子機器의 使用增加 등으로 인하여 우리 주변의 電磁波環境은 날로 惡化되어 가고 있다. 이러한 電磁波 環境속에서 人間과 環境을 保護하기 위해서는, 非電離電磁波에 대한 認識을 새로이 하여야 하며, 電離放射線과 마찬가지로 非電離電磁波에 대해서도 하루속히 被曝限界 등에 관한 基準 및 標準化를 確立하여야 한다. 아울러 人體障害를 포함한 각종 電磁波 障·災害에 대한 深度있는 研究를 본격적으로 遂行하여 適切한 防護對策을 강구하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Roger L. Brauer, Safety and Health for Engineers, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- [2] Donald Hughes, Notes on Exposure Limits for Non-ionising Radiations, HHSC Handbook No. 16, U.K., 1994.
- [3] IRPA/INIRC, Visual Display Units: Radiation Protection Guidance, International Labour Office, Geneva, 1994.
- [4] IRPA/INIRC, 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.
- [5] IRPA/INIRC, 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.
- [6] IRPA/INIRC, Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 1 mm, Health Physics, Vol. 49, No. 2, pp. 341-359, August 1985.
- [7] Occupational Safety and Health Service, Guidance Notes for the Protection of Workers from Solar Ultraviolet Radiation, Department of Labour, New Zealand, June 1994.
- [8] 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.

- [9] ANSI C95.5-1981, American National Standard Recommended Practice for the Measurement of Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave, IEEE, 1981.
- [10] Karen Fitzgerald et al., "Electromagnetic fields: the jury's still out", IEEE Spectrum, pp. 22-35, August 1990.
- [11] Tekla S. Perry, "Today's View of Magnetic Fields", IEEE Spectrum, pp. 14 ~ 23, December 1994.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] International Labour Office, The Use of Lasers in the Workplace, ILO, Geneva, 1993.

- [16] D.N. Erwin, "Mechanisms of Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields: An Overview," Aviation, Space, and Environmental Medicine, pp. A21-A31, November 1988.
- [17] BSI 7192:1989, British Standard Specification for Radiation Safety of Laser Products, British Standard Institution, 1989.
- [18] J. Adams, "Electric-Field Strengths Measured Near Personal Transceivers," Proc. 1993 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 42-45, Dallas, U.S.A., August 1993.

電磁波의 過多露出 防止를 위한 電磁波 環境에 관한 연구
(기전연 95-4-5)

發行日 : 1995. 12. 31
發行人 : 院 長 이 한 훈
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 : 仁川廣域市 富平區 九山洞 34-4
電 話 : (032) 510-0842
F A X : (032) 518-6483

<非賣品>