

EU의 직업인 전자파 인체보호를 위한 지침

체 회 준 · 안 준 오

미래전파공학연구소

I. 개 요

전자파는 태양광이나 지구 자기에 의해 유도되는 전자파 또는 우라늄에서 발생하는 감마선과 같이 자연적으로 발생하는 전자파와 전류의 흐름이나 무선 통신 등 전파를 이용하는 설비에 의해 발생하는 인공적인 전자파가 있다. 직업인의 경우는 일반인에 비해 인공적인 전자파에 더 많이 노출될 수밖에 없는 환경에서 근무하게 된다. 이러한 환경에는 크게 전기분해, 용접, 포장, 방송, 전력생산 등 산업 분야와 MRI 촬영 등 의료 분야 등의 영역이 있다. 직업인은 전자파의 노출원에 근접하여 작업해야 하는 경우가 많아, 일반인에 비해 높은 수준의 전자파에 노출되고, 주파수 변조 등에 의해 보다 복잡한 전자기장에 노출되는 특성이 있다.

전자파로부터의 과다 노출로 인한 건강 영향은 노출원의 강도 및 근접성에 따라 다른데, 급성 영향으로 고주파 대역(예: 방송, 레이더)에서는 중화상이 발생할 수 있고, 저주파 대역(예: 용접, 전력)에서는 유도전류로 인한 중추 및 말초 신경계에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 직업인의 경우, 현기증 및 메스꺼움, 급속 맛 느낌, 섬광 등이 나타날 수 있다.

이러한 직업인의 전자파 인체 영향에 대한 보호를 위하여 1989년 EU는 직장 내 근로자 안전 및 보건 개선 장려를 위한 조치 도입에 관한 지침(Directive 89/391/EEC)을 제정함으로써 직업인 보호 정책을 시작하였다. 2004년에는 최소 안전 및 보건 요구조건에 관한 지침(Directive 2004/40/EC)을 통하여 직업인에 대한 전자기장의 노출 제한치 및 규제값 등을 설정하였다. 또한 2013년에는 지침을 개정하여 보다 구체적인 직업인 보호대책을 수립하였으며, 개정된 지침(Directive 2013/35/EU)은 2016년부터 시행될 예정이다.

본 고에서는 주요 주파수 영역에서의 직업인의 전자기장 노출 예시와 2016년 시행될 EU의 직업인 전자파 인체보호 기준 및 정책에 대해 살펴보고자 한다.

II. 직업인 전자파 인체보호 지침

2-1 전자기장 종류별 직업인 노출 예시

전자기장은 주파수에 따라 특성이 다르며, 이를 이용하여 산업 및 의료 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 전자기장은 크게 정자기장, 저주파수 전자기장, 무선주파수 전자기장으로 구분할 수 있다.

2-1-1 정자기장(Static Magnetic Fields)

강한 수준의 정자기장은 초전도 고전류 시설이나 영구자석, 직류(DC)가 흐르는 고전력선에서 발생된다.

매우 높은 수준의 정자기장에 노출되는 직업인으로는 자기 공명 영상(Magnetic Resonance Imaging: MRI) 스캐너, 핵자기 공명(Nuclear Magnetic Resonance: NMR) 분광기, 핵융합로나 입자가속기를 조작하는 의사, 촬영기사, 과학자 및 유지보수 기술자 등이 있다. 이보다 낮은 수준의 정자기장은 전기분해 설비나 직류 모터 등에서 발생된다. 이러한 설비들은 수백 kA의 전류가 흐르고 있다.

MRI 촬영기사 및 의사들은 위치에 따라 다양한 종류의 전자파에 노출된다. MRI 스캐너는 초전도체 장비로 스캐너의 정자기장은 영구적으로 발생되며, 청소부나 유지 보수 기술자 등의 직업인은 높은 자기장에 노출될 수 있다.

2-1-2 저주파수 전자기장(Low Frequency Fields)

전기를 이용하는 모든 장비는 극저주파수 전자기장을 방사하며, 여기에는 매우 많은 종류의 노출원들이 존재하고 있다. 주요 저주파 전자기장 고 노출시설은 <표 1>과 같다.

일반적으로 고압 전력선 및 변압소에 근무하는 직업인의 경우는 작업 전에 전원을 끄기 때문에 높은 수준의 전자파에 노출되지 않는다. 그러나 전원이 켜진 도선에 노출될 경우, 강한 전자기장 영역 환경에 놓이게 된다.

〈표 1〉 저주파수 전자기장 고 노출시설

구분	특성
전기분해 설비	DC, ripple
고압 전력시설	60 Hz
전기로	60 Hz
유도식 오븐기	300~10 kHz
용접기	DC, AC, ripple
저항 용접기 또는 스폿 용접기	DC, 50 Hz~20 kHz

2-1-3 중간주파수 전자기장(Intermediate Frequency Fields)

중간주파수 전자기장은 〈표 2〉와 같이 유도가열장치, 용접장치 및 전기수술기와 같은 의학용 장비 등 다양한 노출원으로부터 발생된다.

2-1-4 무선 주파수 전자기장(Radio Frequency Fields)

작업환경에서 무선 주파수 전자파의 이용은 최근 몇 십년간 급속하게 증가하고 있다. 이는 무선 통신 기술, 보안 및 의학 분야에 있어서 RF의 이용이 증가하였기 때문이다.

사무실이나 산업 현장, 교통 분야 등 매우 다양한 환경에서 무선 통신 기술이 이용되고 있는데, 대표적인 사례로 블루투스 및 무선랜 장비와 실내 증계기 등이 있다. 그러나 이러한 장비의 경우, 낮은 송신 전력을 이용하기 때문에 직업인 노출도 낮은 수준이라고 볼 수 있다.

또한 고 노출시설이지만 밀폐된 공간에서 사용될 경우는 저 노출시설로 간주할 수 있는데, 예를 들어 플라즈마 박막, 중합, 플라즈마 증착, 에칭, 마이크로웨이브 가열 공정 등에 이용되는 시설을 들 수 있다.

한편, 보안을 목적으로 하는 장비의 이용은 상점, 도서관, 공항, 출입 제한 지역 등에 급속하게 보급되고 있는데, 이러

〈표 2〉 중간주파수 전자기장 고 노출시설

구분	특성
유도 가열 장치	1 kHz~수 MHz
용접 장치	(30 Hz~수 백 kHz)
의학용 장비(전기 수술기 등)	300 kHz~1.5 MHz

한 장비들은 기술별로 상이한 주파수를 이용하고 있다. RFID 장비의 경우는 120~154 kHz 대역에서 동작하고, 전자식 도난방지 감시시스템(Electronic Article Surveillance: EAS)은 보통 MHz 대역 범위에서 동작한다. 이러한 직업인의 경우 일반적으로 매우 짧은 시간 동안 전자파에 노출되게 되며 강도도 매우 낮은 수준이다. 〈표 3〉은 무선 주파수 전자기장을 발생하는 고 노출시설의 사례를 보여주고 있다.

2-2 EU Directive 제·개정 경과

1989년 EU는 직장에서 직업인의 안전과 건강 개선을 장려하기 위한 조치의 도입을 위한 지침(89/391/EEC)을 발표했다. 본 지침에는 직업인 위험 방지를 위한 일반 원칙, 안전 및 건강의 보호, 위험 및 사고 요인의 제거, 정보 제공, 상담, 자국 내 법률 및 관행에 따른 직업인과 사용자에 대한 교육 및 훈련, 실행을 위한 일반 지침 등이 포함되어 있다.

89/391/EEC 지침은 물리적 위험성에 대해 다음의 4개 지침을 따르도록 권고하고 있다.

- Directive 2002/44/EC - 진동(vibration)
- Directive 2003/10/EC - 소음(noise)
- Directive 2004/40/EC - 전자기장(electromagnetic field)
- Directive 2006/25/EC - 인공적 광학 방사(artificial optical radiation)

2004년 지침(Directive 2004/40/EC)은 MRI에 인접하여 근무하는 특정 직업 노출 상황에 대처하는 방법에 관한 문제로 시행되지 못했다.

〈표 3〉 무선 주파수 전자기장 고 노출시설

구분	특성
유전 가열기	5~50 MHz
유도 가열기	5 Hz~10 MHz
산업용 M/W 오븐, M/W 건조기	900~2,450 MHz
레이더	3~30 MHz, 3~40 GHz
의료용 장비	150 kHz~30 MHz
방송 및 통신기기	900~2,000 MHz

그러나 2013년 지침(Directive 2013/35/EU)은 EU 및 회원국에서 2016년 7월 1일까지 모두 의무적으로 준수해야 한다<sup>[1]</sup>. Directive 2013/35/EU 지침은 직업인의 건강 및 안전에 미치는 영향으로 인하여 전자기장과 관련된 위험으로부터 직업인을 보호하는 조치를 도입하는 것이 현 시점에서 필요하다고 명시하고 있다.

본 지침은 유럽의 모든 직업인의 최소 보호 기준을 제시할 뿐만 아니라, 개별 직업인의 건강 및 안전을 확보하기 위하여 전자기장에 의한 모든 알려진 생물 물리학적 영향과 간접적인 영향에 대해 다루고 있다. 그러나 가능한 발암 효과를 포함하는 전자기장의 장기 노출에 의한 영향을 다루지는 않고 있다.

또한 본 지침은 고용주가 노출의 위험성 평가 및 확인을 수행하도록 권고하고 있으며, 필요한 경우 고용인이 노출되는 전자기장을 계산하거나 측정하도록 의무화하고 있다. 아울러 고용주는 고용인에 대한 위험성 평가를 수행할 때 심장 박동기, 인슐린 펌프 등 능동 및 수동 의료 이식 장치를 착용한 고용인과 임산부에 대한 건강과 안전에 관한 모든 영향에 대해 주의하여야 한다고 분명히 명시하고 있다. 더불어 고용주는 기술의 발전과 노출원의 전자기장을 제어하기 위한 조치의 가용성을 고려하여 작업장에서 전자기장에 의한 위험성을 제거하거나, 최소화하기 위한 조치를 취하여야 한다고 권고하고 있다.

한편, 본 지침은 위험성을 줄이기 위한 작업장비의 선택, 절차 및 방법에 우선순위를 고려하여 작업장 설계 시 노출원에 의한 예방 조치를 적용하여 보다 효과적으로 노출을 줄일 수 있다고 명시하고 있다<sup>[2]</sup>.

### 2-3 EU Directive 노출 제한치(Exposure Limit Values) 및 규제값(Action Levels)

EU의 지침에는 전자파에 대한 평가의 용이성을 위하여 건강 영향에 대한 노출 제한치(Exposure Limit Values: ELVs)와 감각적 영향에 대한 규제값(Action Levels: ALs)을 제시하고 있다.

노출 제한치는 작업장에서 측정이 불가능하기 때문에 대부분의 경우 규제값이 사실상의 제한치가 된다. 규제값은 측정 가능한 양인 전기장 및 자기장, 유도전류, 접촉전류로

주어진다.

노출 제한치 및 규제값은 국제비전리방사보호위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP)의 권고에 기초하고 있다.

규제값을 초과하지 않음이 입증되었을 때, 작업장은 건강 및 감각적 영향에 대한 노출 제한치를 준수하는 것으로 간주한다. 규제값이 초과되면 노출 제한치를 초과하지 않는 것을 입증할 수 없기 때문에 고용주는 건강 및 감각 영향에 대한 노출 제한치를 초과하는 것을 방지하기 위하여 기술적 및 조직적 조치를 고안하고 실행해야 한다. 이러한 조치에는 노출을 줄일 수 있는 작업방법, 전자기장 노출량이 적은 장비의 선택, 기술적 대책(예: 연동장치 및 쉴딩의 사용) 마련 등이 있다. 또한 직업인이 전기장에 노출될 경우에는 스파크 방전 및 접촉전류를 관리하기 위한 절차가 반드시 수행되어야 한다.

10 MHz 이하의 주파수 범위의 노출 제한치는 V/m의 단위인 내부 전기장으로 주어지며, 이 값은 신경자극을 방지하기 위해 설정된 값이다. 1 Hz~3 kHz 주파수에서는 전신(머리 포함)의 모든 말초 및 중추 신경계 조직의 노출 제한치가 1.1 V/m(최대값)이며, 25~400 Hz 주파수에서는 머리의 중추 신경계 조직에서는  $0.0028 \times f$  V/m(최대값,  $f$ 는 주파수)로 주어진다.

이러한 값들은 측정할 수 없기 때문에 이 값들은 최악의 조건을 가정하여 전기장 및 자기장 등 측정할 수 있는 값인 규제값으로 변환되어 적용하고 있다. 지침에서는 낮은 규제값(Low ALs), 높은 규제값(High ALs) 등 두 종류의 값을 규정하고 있다. 두 값 모두 노출 제한치를 초과하지는 않지만, 높은 규제값은 구체적인 보호조치가 동반되어야 한다.

예를 들면 50 Hz 주파수의 전기장의 낮은 규제값은 10 kV/m이지만, 높은 규제값은 20 kV/m이다. 이에 대응되는 자기장의 낮은 규제값은 1 mT이며, 높은 규제값은 6 mT이다. 사지(팔, 다리 등)에 대한 규제값은 높은 규제값보다 3 배 더 높는데, 50 Hz의 경우 18 mT이며, 이 값은 산업현장에서도 매우 드문 값이다.

높은 규제값의 준수는 건강 영향에 대한 노출 제한치를 초과하지 않지만, 망막 섬광 및 두뇌 활동에 경미한 일시적 변화 및 영향을 미칠 수 있다.

무선 주파수 전자기장의 노출 제한치는 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate: SAR)로 정해지며, 단위는 W/kg이다. 이 값은 외부 전자기장으로부터 단위 시간 및 질량당 얼마나 많은 에너지가 흡수되는지를 나타낸다. 그러나 전자파흡수율은 작업장에서 측정될 수 없기 때문에 규제값에서 6 GHz 주파수까지 전기장 및 자기장, 전력밀도로 규정하고 있다.

이 값들은 원칙적으로 1998년 ICNIRP 권고와 동일하며, EU 지침은 접촉 전류 및 유도 전류의 규제값을 규정하고 있다. 10 GHz 주파수까지의 무선 주파수 영역의 모든 값들은 6분간 평균값을 취하며, 이보다 높은 주파수에서는 더 짧은 기간 동안 평균을 취하는데, 이는 주파수가 증가함에 따라 침투 깊이가 짧아지는 현상에 대한 보정을 위한 것이다.

2.4 일반적 위험성 평가(Risk Assessment in General)

유럽 표준 EN 50499는 직업인의 전자파 노출량을 평가하고, EU의 기존 지침(Directive 2004/40/EC)의 노출 제한치를 준수해야 하는지 입증하는 방법을 기술하고 있다<sup>[3]</sup>.

EN 50499의 평가 절차는 초기평가, 추가평가로 진행된다. 초기평가에서는 고용주가 제출한 보유 장비리스트를 저노출 설비 평가리스트와 비교한다.

모든 장비들이 평가리스트에 포함될 경우, 평가는 종료된다. 평가리스트에 포함되지 않지만, 기존 다른 표준 평가방법이 있을 경우는 해당 표준으로 평가를 진행하고, 없을 경우에는 측정을 수행하고, 측정값을 규제값 또는 노출 제한치와 비교하는 추가평가를 실시한다.

노출량 평가는 전자파 노출 정도에 따라 구역화되며, 구역별 경계의 표시 여부 등 추가조치에 대해서는 사업주가 결

<표 4> EN 50499 외 직업인 전자파 위험성 평가를 위한 표준

구분	표준명
EN 50496	방송 위치에서의 직업인 전자파 노출량 확인 및 위험성 평가 (Determination of workers' exposure to electromagnetic fields and assessment of risk at broadcast site)
EN 60601-2-23	의료용 전기 장비: part 2-33 의료용 진단을 위한 자기 공명 장비의 특정 요구사항 (Medical electrical equipment - Part 2-33: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis)

<표 5> EN 50499의 전자파 노출량에 따른 영역화

구분	해당 구역
Zone 1	노출값이 일반인 제한치를 만족시키는 구역
Zone 2	노출값이 일반인 제한치를 초과하고 직업인 제한치를 만족시키는 구역
Zone 3	노출값이 직업인 제한치를 초과하는 구역

정하도록 하고 있다.

또한 평가는 측정 대상의 기준 및 정보, 기술적 측정, 수치적 계산 정보가 포함되어야 한다.

2.5 전자파 노출 정보 제공 및 교육

EU의 신규 지침은 고용주가 전자파 노출 및 안전한 방식으로 작업하는 방법에 대해서 고용인에게 교육할 의무를 규정하고 있다. 지침 제6조에는 전자기장에 노출될 수 있는 근로자나 근로자 대표자에게 아래의 위험성 평가와 관련된 정보를 교육하도록 규정하고 있다.

- 지침을 적용한 조치
- 평가 결과
- 전자기장의 측정값 또는 계산값
- 전자기장으로 인한 이상작용을 감지하는 방법 및 보고하는 방법
- 중추 또는 말초 신경계에 미치는 일시적인 증상 및 감각에 영향을 미칠 가능성
- 직업인이 건강 감시를 받을 자격이 주어지는 환경
- 노출로 인한 위험성을 최소화시키기 위한 안전한 작업 방법
- 특정 위험성을 가지고 있는 직업인

III. 결 론

EU는 직업인 전자기장에 대한 지침을 2013년 6월 29일에 발표하였으며, 회원국에서는 2016년 7월 1일까지 EU에서 발표한 신규 지침을 적용하도록 강제하고 있다.

이러한 신규 지침은 ICNIRP 권고를 기초로 제정되었으며, 생체 물리학, 생물학적 고려 사항에 대한 노출 제한치(ELVs)를 도입하였다. 특히 노출 제한치는 과학적으로 정립

된 단기간·급성·직접적 영향을 기초로 하였다. 그러나 장기 영향에 대해서는 현재 충분한 증거가 없기 때문에 지침에는 반영되지 않았다. 본 지침은 MRI의 응용장비들에 대해서는 회원국의 결정에 따라 일시적으로 예외를 적용했는데, 노출 제한치를 초과하지 않는 범위에서 적용되며, 이는 일시적인 기준이다.

특히 이번 EU의 지침에서는 사업주에게 적절한 방식에 따라 주기적으로 위험성 평가의 의무를 부여하고 있는데, 전자기장에 대한 평가는 주파수, 노출의 종류 및 기간, 가능한 간접적 노출, 의료 이식 장치와의 간섭을 고려하여 수행하도록 규정하고 있다. 또한 고용주는 위험성을 줄이거나 회피하기 위한 모든 방안을 강구하고 실행하도록 강제하고 있으며, 고용인에게 위험성 평가와 관련된 정보를 제공하고 교육할 것과 고용인의 건강을 지속적으로 감시할 의무를 부여하고 있는 특징을 보이고 있다. 이러한 유럽의 전자파 인체영향에 대한 직업인의 보호 지침은 전자파에 장기간 노출되는 직업인의 보호를 강화하는 추세에 있다. 따라서 국내에서도 이와 같은 동향에 맞춰 직업인 보호를 위한 관련 규정의 도입방안 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] European Parliament and Council of the European Union, "Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20<sup>th</sup> Individual Directive within the Meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC", *Official Journal of the European Union*, L 179, 29 Jun. 2013.
- [2] Kjell Hansson Mild, "Electromagnetic fields in working life A guide to risk assessment", *ETUI*, 2015.
- [3] CENELEC, "EN 50499 Procedure for the assessment of the exposure of workers to electromagnetic fields, Brussels, European Committee for Electrotechnical Standardization", 2008.

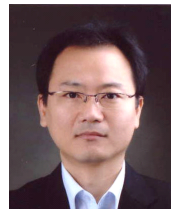
### ≡ 필자소개 ≡

#### 채 희 준



2014년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
 2013년 10월~현재: 미래전파공학연구소 연구원  
 [주 관심분야] 전자파인체영향(EMF), 스펙트럼 엔지니어링, ICT 표준화

#### 안 준 오



1993년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
 1995년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1995년 2월~1998년 12월: (주)포스코건설 제강엔지니어링팀 대리  
 2001년 2월~2010년 2월: 한국전파진흥협회 부장  
 2010년 3월~현재: 미래전파공학연구소 소장  
 [주 관심분야] 전자파인체영향(EMF), 스펙트럼 엔지니어링, ICT 표준화