

RF 대역 전자파에 노출되는 근로자의 전자파 인체노출량 모니터링 방법 및 저감 기술 동향

황태욱 한국방송통신전파진흥원 전자파안전정보센터 차장

1. 머리말

생활과 산업 전반에 전파응용기술을 이용한 기기나 서비스를 적용하면서 삶의 질과 작업장의 작업 편리성은 과거에 비해 크게 향상됐다. 그러나 이러한 순기능에 비례해 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 우려도 크게 늘어났다. 특히 지난 2011년 세계보건기구에서 이동통신을 비롯해 IoT 기술 등 대다수의 전파응용 기술에 적용되는 RF 대역의 전자파를 발암 가능 물질로 분류해 전자파 유해성 논란은 커지고 있다[1]. 산업 현장에서 전파를 이용한 산업용 기기는 더 늘어날 것이다. 또한 5G 기술을 응용한 스마트공장과 같은 융복합시설이 생겨나면서 RF 대역 전자파에 노출되는 근로자는 지속적으로 증가할 것이다. 따라서 이들을 위한 전자파 인체보호 대책이 필요하다.

국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)는 전자파 인체영향을 최소화하고 예방하고자 전자파인체보호 기준을 일반인과 직업인으로 구분해 제시했다[2]. 일반인 기준은 전자파 인체노출에 대한 이 해가 없는 평범한 사람을 보호하는 기준이다. 반면에 직업인 기준은 직무과정에서 전자파에 노출되는 사람을 대상으로 한다. 이들은 전자파로 인한 인체노출 위험성을 인식하고, 적절히 대응 할 수 있는 능력을 갖춘 자다. 유럽연합(EU)은 2016년에 전자파에 노출될 위험이 있는 직업인 의 안전과 보건 요구조건을 제시하는 지침을 시행했다[3]. 우리나라는 ICNIRP 권고 기준에 따라 일반인과 직업인 기준을 모두 과기정통부 고시로 규정한다[4]. 그러나 실제 전자파 인체보호와 관련된 규제는 일반인에 대해서만 시행한다. 더욱이 고출력 전파응용설비를 운영하는 공장과 같이 전자파에 상시 노출된 작업장의 근로자에게는 전자파 인체보호기준에서 규정하는 직업인 의 정의를 적용하기에는 무리가 있다. 그들은 전자파가 무엇인지 정확히 인지하고 있지 않다. 또한 전자파 인체노출을 이해하고 그에 대한 대응 능력을 갖췄다고 보기 어렵다. 심지어 그들 이 다루는 산업용 기기가 고출력의 전파를 응용한 기기라는 것도 모르는 사람도 많다. 다만 정 보통신단체(TTA) 표준에는 전자파 인체보호기준에 따른, 직업인에 대한 전자파 인체노출량 평가 방법과 저감 지침이 마련돼 있다.

이에 본고에서는 유럽의 직업인에 대한 전자파 인체보호 표준 현황과 우리나라의 관련 표준을 소개하겠다. 이와 더불어 지난 2020년 10월 TTA 기술보고서로 제정된 전자파에 상시 노출되는 작업장에서 근무하는 일반 근로자의 전자파 인체노출량 평가 방법과 저감 지침을 소개하고자 한다.

2. 직업인 대상 전자파 인체보호 현황

2.1 EU의 직업인 전자파 인체보호 지침

직업인을 보호하는 정책을 가장 적극적으로 시행하는 지역은 유럽이다[5]. EU는 2013년 300GHz까지의 전자파 노출로부터 근로자를 보호하는 안전 지침인 Directive 2013/35/EU를 발표했다[3]. 이 지침은 전자파에 노출되는 작업장 환경에서 전자파 영향에 대한 평가를 실시하고, 고용주가 근로자의 안전 및 건강 보호를 개선하기 위한 조치사항을 권고한다. 이 지침에 따르면 고용주는 작업환경에 대해 전자파 위험을 평가해 ICNIRP에서 권고하는 전자파 인체보호기준에 근거한 전자파 노출 한계를 초과하지 않도록 관리해야 한다. 또한 고용주는 전자파 저감에 필요한 기술적 조치를 시행하고 개인용 보호 장비를 제공해야 한다. 안전 경고 표시와 정기 교육을 통해 근로자가 전자파 노출 위험을 인식하도록 권고하기도 한다.

2.2 근로자 전자파 노출량 평가 관련 EU 표준

EU는 EMF-NET 프로젝트를 통해 전자파에 노출되는 근로자에 대한 인체노출량 평가를 수행했다. 이 프로젝트를 기반으로 EU에서는 특정 작업장에 대한 전자파 노출량 평가 방법을 제시하는 표준을 제정했다[6]. EU 표준은 아크용접공, 방송국 관련 종사자, 전파응용설비 근로자처럼 전자파에 노출된 근로자의 근로환경에 대한 전자파 노출량 평가방법을 권고한다.

2.3 IEEE C95.7 RF 안전 프로그램

IEEE는 C95.7 표준에서 3kHz ~ 300GHz 대역의 전자파 노출에 대해 일반인과 직업인의 잠재적 위험 안전 지침인 RFSP(Radio Frequency Safety Program)를 권고한다[7]. 이 표준은 전자파 노출 위험도에 따라 공지, 주의, 경고 등으로 카테고리를 분류하고 각 단계별로 RF 안전프로그램을 시행할 것을 권고한다. 이를 위해 안전 관리자를 선정하고, 전자파 노출을 규제하도록 한다. 안전 관리자는 전자파 노출 가능성을 모니터링해 평가하고, 안전 절차 및 위험 관리대책을 승인하고 검토하도록 하고 있다. 특히 근로자의 안전과 건강에 영향을 미치는 사항에 대해 근로자에게 RF 안전 프로그램에 대한 이해를 촉진하고, 전자파로부터 안전과 건강을 보호하는 실질적 방법을 제시한다. 실질적 방법 중 하나는 작업현장에서 전자파 노출을 저감하는 제어 방법을 도입하고, 여의치 않은 경우에는 절연성이 있거나 전자파 흡수를 줄일 수 있는 개인 보호 장비(두건, 신발, 양말, 보호복, 장갑 등)를 사용하도록 하는 것이다. 또한 근로자에게 전자파 안전 의식 훈련을 제공하고 작업장 내 전자파 노출 위험지역을 표시해 전자파 위험을 인식하고 통제할 수 있는 방법을 알려주도록 한다.

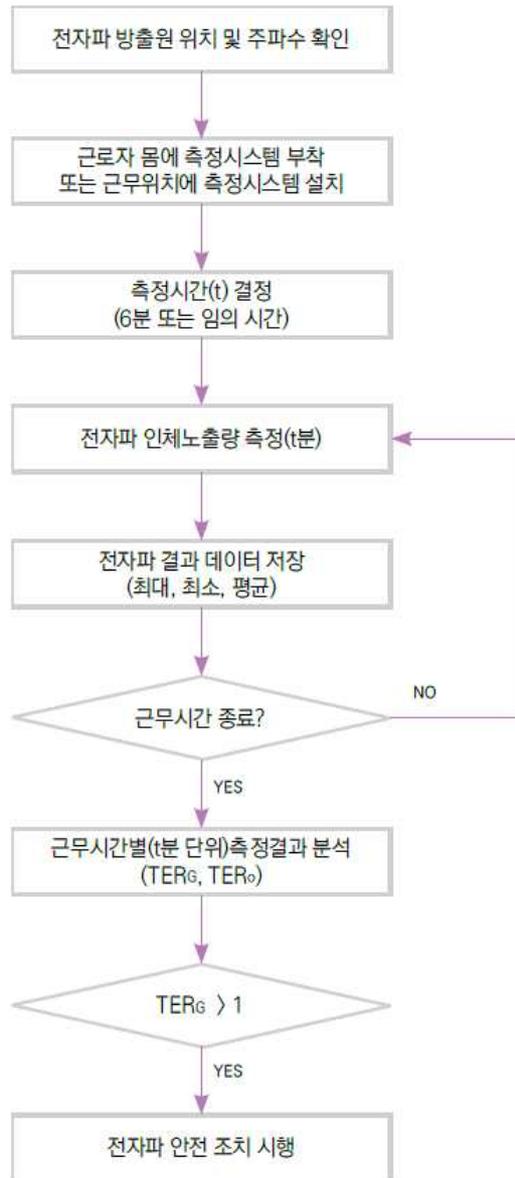
2.4 근로자 전자파 노출량 평가 관련 TTA 표준

우리나라는 근로자의 전자파 노출을 법으로 규제하지 않는다. 하지만 근로자의 전자파 노출을 평가하는 방법에 관한 TTA 표준이 마련돼 있다. TTA 표준은 EU 표준과 달리 다양한 근로 환경을 고려하고 있지 않다. 그러나 EU 표준에서도 다루고 있는 아크용접 근로자에 대한 전자파노출량 평가 방법을 권고한다. 이 외에도 레이더와 같은 펄스파 노출에 대한 평가방법과 전기전자기기에 의한 전자파 평가 방법도 제시돼 있다. 2020년 10월 PG901(전자파자원프로젝트그룹)에서 제안한 기술보고서에서는 근로자 작업환경에서 RF 대역 전자파 인체 노출량을 모니터링하고

평가할 수 있는 방법과 그 결과에 따라 고용인과 근로자가 취해야 할 안전 지침까지 제시했다.

3. RF 대역 전자파에 노출되는 근로자 대상 전자파 노출량 평가 방법

본 절에서는 2020년 10월 PG901에서 제정된 RF 대역 전자파 노출 근로자에 대한 전자파 노출량 평가 방법에 관한 기술보고서를 요약해 기술한다[8].



[그림 1] RF 대역 전자파 상시 노출 근로자의 전자파 인체노출량 모니터링 절차

RF 대역 전자파에 상시 노출되는 근로자의 전자파 인체노출량을 모니터링하고 평가하는 과정은 [그림 1]을 따른다. 먼저 근로환경에 방출되거나 존재할 것으로 예상되는 전자파의 주파수 대역을 확인해야 한다. 고출력 전파응용설비 공장이라면 공장에서 운용 중인 전파응용설비 주파수(대개 20~30MHz 대역)의 전자파가 주로 방출될 것이다. 이동통신 기지국 설치 근로자나 검사 업무 종사라면 800MHz ~ 3.5GHz 대역의 전자파에 영향을 받을 것이다. 측정장비는 근로환경

에서 존재할 수 있는 복수의 전자파를 측정할 수 있도록 충분히 넓은 측정대역이 보장되는 장비를 선택해야 한다. 또한 근무시간 동안 연속적으로 측정할 것이기 때문에 배터리로 동작하고 휴대가 가능하며 측정데이터를 시공간 데이터와 함께 저장할 수 있는 저장장치를 선택해야 한다. 최근 일부 장비업체는 근로자의 전자파 노출량을 일정 시간간격으로 측정하고 저장하는 휴대형 측정장비를 개발해 판매하기도 한다. 측정장비는 근로자가 근무시간 중에 근로자 몸(팔이나 허리 등)에 부착하거나 근무 자리 근처에 뒹야 한다. 전자파 인체노출량은 6분 동안 연속으로 측정하고, 6분 동안 측정된 결과로부터 최대, 최소, 평균값을 산출하고 저장한다. 다만 이동이 잦은 근로자의 경우에는 측정 시간을 6분 이하로 유연하게 한다. 측정은 근무시간 동안 끊임없이 연속적으로 이뤄진다.

측정장비를 통해 매 6분(또는 임의시간) 동안 전자파 강도를 측정해 저장된 평균값은 참고문헌 [4]에 제시된 일반인 대상 전자파 강도 기준 및 직업인 대상 전자파 강도 기준과 각각 비교한다. 그럼으로써 인체보호기준 초과 여부를 평가한다. 일반인 대상 전자파 강도 기준 초과 여부와 직업인 대상 전자파 강도 기준 초과 여부는 (식 1)과(식 2)에 따른 총노출지수(TER, Total Exposure Ratio)로 각각 평가한다.

$$TER_G = \sum_f \left(\frac{E_f}{E_{GL,f}} \right)^2 \quad (\text{식 1})$$

여기서,

TER_G : 일반인 대상 전자파 강도 측정 기준을 적용한 총 노출지수(노출지수의 합)

E_f : 주파수 f의 전자파 강도 측정값

E_{GL,f} : 주파수 f의 일반인 대상 전자파 강도 기준

$$TER_O = \sum_f \left(\frac{E_f}{E_{OL,f}} \right)^2 \quad (\text{식 2})$$

여기서,

TER_O : 직업인 대상 전자파 강도 측정 기준을 적용한 총 노출지수(노출지수의 합)

E_f : 주파수 f의 전자파 강도 측정값

E_{OL,f} : 주파수 f의 직업인 대상 전자파 강도 기준

위의 TER_G와 TER_O 산출 결과는 근로자의 전자파 노출 단계를 분류한 <표 3>과 비교해 근로자의 전자파 노출 수준을 결정한다. <표 3>에 따라 근로자의 전자파 노출단계가 결정되면 근로자와 고용자는 각각 <표 4>와 <표 5>에 제시된 권고에 따라 전자파 안전 조치를 이행해 전자파 상시 노출 근로자가 전자파 노출로부터 안전하게 근무할 수 있도록 노력해야 한다.

<표 3> 근로자 전자파 노출 단계 정의

단계	분류 기준	노출 수준
안전	$TER_G < 1$	전자파로부터 안전한 수준
주의	$TER_G \geq 1, TER_O < 1$	일반인 기준은 초과하나 직업인 기준은 안전한 수준
경고	$TER_O \geq 1$	직업인 기준을 초과하여 위험한 수준

<표 4> 전자파 상시 노출 근로자의 전자파 노출 단계별 안전 조치 권고

단계	전자파 안전 조치 권고
안전	<ul style="list-style-type: none"> • 별도의 조치 권고사항 없음
주의	<ul style="list-style-type: none"> • 근로자가 근무하는 환경 및 다루는 기기로부터 전자파가 방출됨을 인지 • 전자파 노출량 확인 장치를 업무 중 상시 착용하고 근무 • 전자파 방출 기기로부터 충분히 이격하여 근무하되, 만약 밀착 접촉하여 근무해야 할 경우에는 일정 간격으로 전자파 방출 기기로부터 떨어져 휴식을 취할 것 • 전자파 노출량 경고 알람이 있을 시 즉시 작업 중단 • 전자파 안전 예방 교육 이수
경고	<ul style="list-style-type: none"> • 즉시 전자파 방출 기기에 근접한 작업 중단 • 전자파 노출 저감 조치 마련(전자파 차폐시설 및 복장 등)

<표 5> 전자파 상시 노출 근로자 고용인의 전자파 노출 단계별 안전 조치 권고

단계	전자파 안전 조치 권고
안전	<ul style="list-style-type: none"> • 별도의 조치 권고사항 없음
주의	<ul style="list-style-type: none"> • 근무환경 및 사업장 내의 운용기기로부터 전자파가 방출됨을 인지 • 전자파 방출 기기로부터 근접 근무하는 근로자 대상으로 전자파 노출량 확인 장치를 근무 중 상시 패용할 수 있도록 조치 • 근로자가 전자파 방출기기로부터 30cm 이상 이격되어 근무할 수 있도록 근로환경 개선, 만약 밀착 접촉하여 근무할 수밖에 없다면 근로자가 일정 간격으로 전자파 방출 기기로부터 떨어져 휴식을 취할 수 있도록 조치 • 전자파 노출량 경고 알람이 있을 시 즉시 작업 중단 • 근로자 대상 전자파 안전 예방 교육 시행 • 근로환경 내 전자파 안전 홍보자료 및 경고문구 배치
경고	<ul style="list-style-type: none"> • 즉시 전자파 방출 기기에 근접한 작업 중단 • 전자파 노출 저감 조치 마련(전자파 차폐시설 및 복장 등) • 전자파 안전이 확인된 이후 근로자의 작업 개시

4. 맺음말

전파응용 기술을 다양한 산업환경에 적용하면서 RF 대역 전자파 노출 직업군은 장시간 전자파 노출을 피할 수 없음에도 아직 이들을 위한 안전이나 보호 대책이 미흡한 실정이다. 최근에는 전자파 인체영향으로 인한 산업재해 인정 문제를 놓고 법적분쟁이 일어나는 사례도 있다. 그렇기에 전자파 상시 노출 근로자의 문제를 간과해서는 안 된다.

지금까지 전자파 인체보호 정책에서 직업인은 전자파 노출 상황을 이해하고 능동적으로 스스로 전자파 노출을 제어할 수 있는 사람이라는 보수적 접근을 유지하고 있다. 그러나 다양한 산업

분야에 전파응용기술이 적용되는 것을 감안하면 지금까지 정의는 무의미하다.

다만 현재 생활·산업환경에서 전자파 인체노출량을 평가해보면 전자파 인체보호기준을 초과하는 사례는 극히 드물다. 전자파 인체영향 우려가 있다고 법적 규제로만 관리한다면 오히려 불필요한 규제를 양산해 산업이 위축될 수도 있다. EU에서도 규제의 역기능을 고려해 각 사업장의 고용주와 근로자가 전자파 노출에 대해 인식하고 상시적인 관리를 위해 노력할 것을 권고한다. 예를 들어 전파가 방출되는 통신 철탑에 올라가 작업하는 근무자는 전자파 노출 정도를 쉽게 확인할 수 있도록 모니터링하고, 위험한 수준으로 노출된다면 근로자에게 적절한 알람을 주어 능동적인 조치를 취하는 것이다. 우리나라도 작업환경의 전자파 노출 정도에 따라 본고에서 기술한 전자파 모니터링 측정방법을 적용해 근로자가 안전하게 근무할 수 있는 환경을 조성하는 노력이 필요한 때다.

[주요 용어 풀이]

- RF(Radio Frequency) 대역 : 100 kHz 이상, 300 GHz 이하의 주파수 대역
- TER(Total Exposure Ratio, 총 노출지수) : 측정 위치에서 다중 주파수 노출이 있는 경우 각 주파수 신호에 대한 노출지수의 합
- 노출지수 : 특정한 위치에서 소스의 각 동작 주파수에 대해 평가한 노출 파라미터로 해당 한계 값의 비

[참고문헌]

- [1] WHO Press Release no.208, 'IARC Classifies Radio Frequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans', May 2011.
- [2] ICNIRP, 'Guide for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields(Up to 300 GHz)', Health Physics, April 1998.
- [3] Europe 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)(20th 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, June 2013.
- [4] 과학기술정보통신부, '전자파인체보호기준(과학기술정보통신부 고시 제2019-4호)', 2019년 1월
- [5] 전상봉 외 7명, '직업인 전자파 노출 평가제도 연구', 한국전자파학회 논문지 No.28, p.843~852, 한국전자파학회, 2017.
- [6] European Commission, 'Final Report Summary - EMF-NET(Effects of the exposure to electromagnetic fields: from science to public health)', October 2008.
- [7] IEEE, 'IEEE C95.7-2014 - IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz', June 2014.
- [8] 한국정보통신기술협회, 'TTAR-06.0227 - RF 대역 저낮파에 노출되는 근로자의 인체노출량 모니터링 방법 및 저감 지침', 2020년 10월

※ 출처: TTA 저널 제193호

(코로나 이슈로 각 표준화기구의 표준화회의가 연기·취소됨에 따라 TTA 저널로 대체합니다)