

직업인 전자파 노출 평가제도 연구

Investigation of Occupational EMF Exposure Assessment System

전상봉 · 이해경 · 권용기* · 장주동* · 안준오** · 백정기*** · 김윤명**** · 최형도

Sang Bong Jeon · Ae-Kyoung Lee · Yong-Ki Kwon* · Ju-Dong Jang* · Juno An** · Jeong-Ki Pack*** · Youn-Myoung Gimm**** · Hyung-Do Choi

요 약

최근 WHO IARC에서 무선주파수 전자파를 발암 유발 가능 물질(2B 등급)으로 분류함에 따라 전자파로부터의 과다 노출로 인한 건강 영향에 대한 우려가 증가하고 있다. 특히 직업인의 경우는 일반인에 비해 전자파에 더 많이 노출될 수밖에 없는 환경에서 근무하게 된다. 이로 인해 유럽에서는 직업인에 대한 전자파 인체보호를 위한 지침을 마련하여 직업인에 대해 엄격히 관리하고 있다. 본 논문에서는 EU의 직업인 보호 관련 법령, 표준 및 지침을 분석하고, 또한 실제 아크용접에 대한 직업인 전자파 노출 평가를 수행하였다. 이를 토대로 직업인 보호를 위한 국내 제도 도입 방안을 제시 하였다.

Abstract

Recently, as the WHO IARC has classified radio frequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic (group 2B) to humans, there is increasing concern about the health effects of overexposure from electromagnetic fields. Especially, the workers are exposed to higher level of electromagnetic radiation than the general public. As a result, in Europe, the protection guidelines for the worker are developed and the exposure of the worker is strictly controlled. In this paper, the EU directive, standards and guidelines of the EMF exposure for the worker were reviewed, and the exposure assessment of EMF was performed for the arc welding. Based on that, we propose a way to introduce a national policy to protect the workers from EMF exposure in working environment.

Key words: Electromagnetic Fields, Occupational EMF Exposure, Health Effects

I. 서 론

2011년 세계보건기구(WHO: World Health Organization)

산하의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer: IARC)에서 휴대전화 등 통신기기에서 사용되는 RF(Radio Frequency) 전자파를 발암 유발 가능 물질 2B

「이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(2017-0-00961, 스마트 사회 전자 파 노출량 제어 기반 구축).」

한국전자통신연구원 전파환경감시연구그룹(Radio Environment & Monitoring Research Group, ETRI)

*국립전파연구원 전파환경안전과(EMF Environment Safety Division, National Radio Research Agency)

**미래전파공학연구소(Institute for Future Radio Engineering)

***충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

****단국대학교 전자전기공학과(Department of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University)

· Manuscript received September, 28, 2017 ; Revised October, 19, 2017 ; Accepted October, 27, 2017. (ID No. 20170928-105)

· Corresponding Author: Sang Bong Jeon (e-mail: sbjeon@etri.re.kr)

등급으로 분류함에 따라 전자파에 대한 우려가 확대되고 있다^[1]. 특히 전자파 노출원에 근접하여 작업하는 직업인의 경우 인체보호기준은 설정되어 있지만, 국내에서는 노출을 제한하기 위한 법적 규제를 시행하고 있지 않다. 직업인이라 함은 일반적으로 직무상 작업수행 과정에서 자신이 전자파에 노출되고 있음을 알고 있고, 이의 잠재적인 위험성을 알고 주의하도록 훈련받은 자를 말한다^[2]. 한편, 최근 유럽연합(European Union)은 전자파 노출로부터 직업인을 보호하기 위하여 관련 지침(Directive 2013/35/EU)을 마련하였다^[3]. 지침에서는 작업장 환경에서 전자파로부터 직업인을 보호하기 위해 위험 평가를 실시하도록 하고 있으며, 작업장의 특성에 맞게 감독하고, 직업인 보호를 위한 조치가 이루어질 수 있도록 권고하고 있다.

본 논문에서는 유럽의 직업인에 대한 전자파 인체보호 지침 및 측정표준을 분석하고, 제도 도입에 있어 국내 상황을 파악하기 위해 실태 조사를 하였으며, 이를 토대로 향후 직업인 보호를 위한 국내 제도 도입 방안을 제안하였다.

II. EU의 직업인에 대한 전자파 인체 보호 지침

직업인을 보호하기 위한 정책을 가장 적극적으로 시행하고 있는 지역은 유럽이다. EU에서는 1989년 직장 내 근로자 안전 및 보건 개선 장려를 위한 조치를 도입하고자 관련 지침(Directive 89/391/EEC)을 제정함으로써 직업인 보호 정책을 시작하였다^[4]. 지침의 제16조(1)항에서는 세부적인 위험으로부터의 직업인 보호를 위해 별도의 지침을 마련하고 따르도록 권고하고 있다. 제16조(1)항에 따라서 전자파 노출의 위험에 대한 직업인의 최소 안전 및 보건 요구조건에 관한 별도 지침(Directive 2004/40/EC)이 2004년에 마련되었다^[5]. 해당 지침에서는 직업인에 대한 전자파의 기본한계(basic restriction) 및 기준레벨(reference level) 등을 설정하였으나, 의료계에서 이 지침으로 인해 잠재적으로 MRI(Magnetic Resonance Imaging) 사용과 개발에 부정적인 영향을 미친다고 우려를 표명하였고, 이로 인하여 시행되지 못했다. 2013년에는 보다 구체적인 직업인 보호대책 수립을 위해 동 지침을 개정된 지침(Directive 2013/35/EU)을 발간하였다.

Directive 2013/35/EU는 전자파 노출로부터 직업인 위

험 방지를 위한 일반 원칙, 안전 및 건강의 보호, 위험 및 사고 요인의 제거, 정보 제공, 상담, 자국 내 법률 및 관행에 따른 직업인과 고용주에 대한 교육 및 훈련, 실행을 위한 일반 지침 등이 포함되어 있다. 또한, 전자파 노출에 대한 직업인의 인체 보호 기준을 제시할 뿐만 아니라, 개별 직업인의 건강 및 안전을 확보하기 위하여 전자파의 직접적인 영향과 간접적인 영향에 대해 다루고 있다. 여기에서 직접적인 영향은 조직 내의 전자파로부터의 에너지 흡수를 통한 조직의 열적 영향과 근육, 신경 또는 감각 기관의 자극 작용을 말하며, 간접적인 영향은 전자파에 의한 심장 박동기, 임플란트 또는 의료용 전자 장치와의 간섭, 전자 폭발 장치 및 스파크 방전에 의한 화재 및 폭발, 접촉 전류 등으로 인해 발생하는 영향을 말한다.

동 지침에는 전자파에 대한 평가의 용이성을 위하여 기본적인 기준레벨을 제시하고 있으며, 기본적인 및 기준레벨은 국제비전리복사위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP)의 기준을 기초로 하였다^{[6][7]}. 또한, 고용주로 하여금 작업장의 전자파 노출 위험성을 평가하고, 노출 위험을 피하거나 줄이기 위한 조치 및 작업자들에 대한 교육을 실시하도록 권고하고 있으며, 2016년 7월부터 EU 회원국에서 직업인의 보호를 위한 지침을 적절히 시행토록 하고 있다.

한편, 본 지침은 전자파 노출의 위험에 대한 직업인의 최소 안전 및 보건 요구조건을 제시하는데, 이는 무조건적으로 전자파의 노출량을 제한하는 것을 의미하지는 않는다. 지침에 따르면 정당한 상황에서 특정 부분의 전자파에 대한 노출이 일시적으로 초과되는 것을 허용할 수 있다고 규정하고 있다. 그러나, 작업장, 작업 장비 등의 구체적인 특징을 고려하여 기술적인 조치를 취함으로써 작업자를 보호하여야 한다는 것을 강조하고 있다.

III. 유럽의 직업인 인체 보호 현황

3-1 이탈리아

유럽 국가 중 이탈리아는 「Legislative Decree No. 159: 직업인의 노출에 관한 최소한의 안전과 보건 기준」에 의거하여 2016년 9월 2일부터 Directive 2013/35/EU를 시행하고 있다^[8]. L. D. No. 159는 위험에 노출된 직업인이 전자

파에 노출되어 건강 및 안전에 미치는 영향에 대한 최소 보호 요구사항을 설정한다. 보호 요구사항은 직접적인 영향 및 간접적인 영향을 모두 포함한다. 이 규정은 건강, 감각, 열적 및 자극 작용에 대한 물리량을 기준으로 최대 노출제한값(maximum exposure limits)을 설정한다. 여기서 최대노출제한값은 기본적인 것과 같다. 만약 최대노출제한값을 초과할 경우, 기업은 다음과 같은 사항을 포함하여 관찰 당국에 보고서를 제출하여야 한다. 예를 들어, 노출이 높은 이유, 최대노출제한값을 초과하는 노출 수준, 위험에 처한 직업인의 수, 적용된 측정 기술, 채택된 보호 조치, 노출된 위험에 대해 고용주가 근로자에게 제공한 정보 등을 포함한다. 또한, 위험평가, 위험 행동계획 및 모니터링 활동을 권고하고 있으며, 고용주는 최대노출제한값을 초과하는 노출을 방지하기 위한 기술적, 조직적 조치를 포함한 실행 계획을 반드시 준비해야 하며, 특히 생물 물리학적 위험으로부터 민감한 그룹에 속하는 직업인들(예: 장애인이나 임산부)을 보호하기 위한 차폐, 접근 제한 등과 같은 조치가 수립되어야 한다.

3-2 프랑스

프랑스의 경우는 노동부에서 주도적으로 직업인에 대한 EU 지침의 도입을 추진하고 있다⁹⁾. 지침 도입에 있어 EMF에 내재된 다양한 물리적 현상, 노출제한치 등에 대한 예외 필요성 등의 복잡성으로 인해 작업현장에서 바로 적용하기 어려워 노동부는 중소기업에서 적용 가능하도록 간단하고 쉽게 이해할 수 있는 구조로 프랑스 노동법에 포함시켰다. 노동부는 임산부의 전자파 노출을 제한할 의무를 부여하고, 18세 미만 직업인의 경우, 경험 부족으로 인한 위험, 잠재 위험에 대한 인식 부재, 완전히 성숙하지 않았다는 사실을 고려하여 전자파로부터 노출제한치를 초과할 수 있는 작업을 금지하였다. 또한, 심장박동기와 같은 의료기기를 착용하는 근로자의 경우, 낮은 수준에서의 전자파에 의해서도 기기의 간섭 문제 또는 기능의 저하 등에 대한 영향을 받을 수 있기 때문에 의사와의 상담을 통한 예방 조치를 취하도록 규정하고 있다.

3-3 독일

독일에서 EMF로 인한 위험으로부터 직업인을 보호하

기 위한 법적 근거는 독일 법정 사고 보험의 사고 방지 규정 DGUV 15 (전자파)와 관련한 독일 직업 안전법(EMF 법령)이다¹⁰⁾. 독일 국내 법적 근거를 바탕으로 독일 연방노동사회부(BMAS)가 EMF 지침의 시행을 담당한다. 지침의 시행은 BMAS의 EMF 전문가 그룹과 모든 관련 이해관계자들로 구성된 자문위원회의 지원을 통해 이루어진다. BMAS는 자문위원회를 통해 EMF 법령의 이해와 가용성을 높이기 위해 기술 규칙의 개발이 진행 중이다. EMF 법령의 기술규칙은 DGUV15(전자파)규정을 고려하여 저주파 영역과 고주파 영역과 관련된 두 가지 기술규칙을 개발하고 있다.

3-4 영국

영국의 경우는 안전보건청(Health and Safety Executive: HSE)에서 2016년 노동규정에 근거한 직업인 보호 가이드라인을 발표하였다¹¹⁾. 본 가이드라인에서는 전자파 노출에 따른 직업인 보호를 위하여 고용주의 의무를 적시하고 있고, 전자파의 종류 및 영향, 법률 조항, 작업장 내에서 발생할 수 있는 전자파, 기본한계 및 기준레벨, 전자파 노출평가, 면제 기기, 정보 및 교육, 건강 감시 등에 대한 내용을 담고 있다. 특별히 가이드라인에서는 이식형 및 신체착용형 기기를 부착한 직원이나 임산부 등에 대한 보호를 강조하고 있으며, 의료용이나 기타 목적을 위한 MRI를 사용하는 직업인이나 군사적 목적을 위한 전자파 설비 등을 사용하는 직업인은 적용을 면제하고 있다. 더불어 노출 평가 결과에 따라 노출 제한치를 기준으로 그 값이 초과될 경우, 노출제한치 미만일 경우, 중간 단계일 경우 등으로 구분하여 각각의 경우에 맞는 행동계획, 위험평가, 위험감소, 정보 및 교육, 건강감시 및 검토문서 작성 등의 절차를 만들어 제시하고 있다.

IV. EU의 특정 작업장 전자파 노출량 평가 표준

EU에서는 전자파로부터 직업인의 보호를 위한 정책 수립을 위하여 노출량 측정 및 평가에 관한 연구를 진행하였다. 그 대표적인 사례가 EU의 6th Framework Program의 일환으로 진행된 EMF-NET 프로젝트이고, 이 프로젝트에서는 “Final Technical Report on Occupational EMF Exposure” 보고서¹²⁾를 출간하였으며, 각 작업반에서는 다양한 작업

표 1. 직업인 노출에 대한 실무 안내서와 팩트시트
Table 1. Practical guidance and fact sheet for occupational exposure.

Index	Practical guidance and fact sheet
1	Practical guidance on occupational EMF exposure assessment radio-frequency range (100 kHz~300 GHz)
2	Practical guidance for occupational low frequency exposure assessment
3	Practical guidance for occupational EMF exposure assessment numerical dosimetry
4	Occupational exposure fact sheet: Microwave dryers
5	Occupational exposure fact sheet: Mobile phone base station
6	Occupational exposure fact sheet: RF wood glue drying
7	Occupational exposure fact sheet: RF plastic welding machines
8	Occupational exposure fact sheet: Hand held magnetic reactivator
9	Occupational exposure fact sheet: Electrosurgery. Occupational exposure to electromagnetic fields-assessment in practice
10	Occupational exposure fact sheet: Assessment of occupational exposure to intermediate frequency electromagnetic fields in practice
11	Occupational EMF exposure database

장에 대해 표 1과 같이 실무 안내서 및 팩트시트를 출간하였다.

EU에서는 이러한 연구의 결과물을 바탕으로 직업인 전자파 인체 보호를 위한 보다 구체화된 지침과 측정 표준 개발을 진행하였다. EU에서는 각각의 작업장 별로 구체적인 노출량 평가 등에 관한 표준을 제정하였으며, 표 2는 이를 정리한 것이다.

V. 국내 작업장에 대한 전자파 노출 평가 사례

직업인 전자파 노출 평가에 관한 국내 제도 도입에 앞서 용접설비, 방송설비, 철도설비, 의료설비, 생활설비와 같은 다양한 작업장에서의 실태조사가 필요하며, EN 표준에서 제시하는 방법에 따라 작업장에 대한 노출 평가를 실시하고, 이에 대한 문제점을 보완하여 국내 표준 제

표 2. 직업인 전자파 노출량 평가 관련 EU 표준
Table 2. EU standards on occupational exposure assessment.

Type of workplace	Related standards
Welding	<ul style="list-style-type: none"> EN50445, Product family standard to demonstrate compliance of equipment for resistance welding, ARC welding and allied processes with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 Hz~300 GHz) EN50444, Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for ARC welding and allied processes EN50505, Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for resistance welding and allied processes
Broadcasting	<ul style="list-style-type: none"> EN50496, Determination of workers' exposure to electromagnetic fields and assessment of risk at a broadcast site EN50420, Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz~40 GHz) EN50475, Basic standard for the calculation and the measurement of human exposure to electromagnetic fields from broadcasting service transmitters in the HF bands (3 MHz~30 MHz)
Railway	<ul style="list-style-type: none"> EN50500, Measurement procedures of magnetic field levels generated by electric and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure
Medicine	<ul style="list-style-type: none"> EN60601-2-23, Medical electrical equipment-part 2-23: Particular requirement for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis
Household	<ul style="list-style-type: none"> EN60335-2-45, Household and similar electrical appliances-safety-part 2-45: Particular requirement for portable heating tools and similar appliances EN60745-1, Hand-held motor-operated electric tools-safety-part 1: General requirements EN61029-1, Safety of transportable motor-operated electric tools-part 1: General requirements

정에 반영하는 것이 필요하다. 따라서 본 절에서는 용접설비 중 아크용접에 관한 측정 사례를 중심으로 분석하였다.

아크용접의 원리는 그림 1에서 보여준다. 아크용접은 전원으로부터 높은 전류가 케이블을 통해서 용접봉을 거

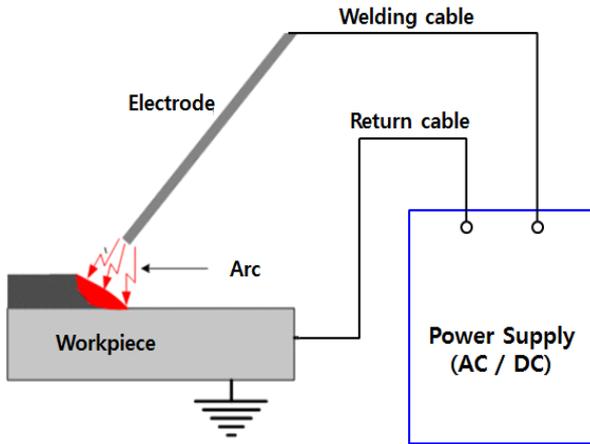


그림 1. 아크용접의 원리
Fig. 1. Principle of ARC welding.

쳐 금속을 통해 용접전원장치로 전류가 귀환하여 전기적인 회로가 구성됨으로써 금속을 접합하는 원리이다. 이러한 아크용접은 용접전원장치에서 높은 전류를 전달하게 됨으로써 전자파를 발생시킨다. 아크용접은 용접전원장치에서 발생된 전류의 진폭과 파형에 따라 노출레벨에 크게 영향을 미친다. 예를 들어 용접전류가 직류, 교류 혹은 펄스에 따라 노출 수준이 크게 다르다.

본 논문에서는 작업장의 노출 평가를 위해 EN50444^[13]의 절차에 따라 다양한 형태의 용접전류를 사용하는 아크용접에 관하여 전자파 노출평가를 수행하였다. 평가를 수행하기 위한 아크용접의 동작 조건은 표 3에 제시되었다. 여기서 AC ARC는 교류 전류를 사용하는 아크용접기, DC ARC는 직류 전류를 사용하는 아크용접기, DC MIG (Metal Inert Gas)는 직류 전류를 이용한 가스 아크용접기, TIG(Tungsten Inert Gas) pulse는 펄스 전류를 이용한 텅스텐 가스 용접기를 말한다.

그림 2는 EN50444 표준에 따른 아크용접 케이블의 노출 평가를 위한 측정 위치를 보여준다^[13]. 케이블에 대한 측정 위치는 인체가 근접할 수 있는 작업장을 고려하여 반지름이 20 cm 사분원 형태로 케이블을 배치하고, 사분원 중심거리(케이블로부터) 20 cm, 1 m, 2 m 이격지점에서 측정을 수행하였다.

시간영역에서 전류 파형을 측정하기 위해서 Keysight사의 DSOX3024T 오실로스코프와 N2708B 전류 프로브

표 3. 용접전원에 대한 동작조건
Table 3. Operating conditions for welding power.

Welding power	Voltage[V]	Current[A]
AC ARC	26	250
DC ARC	30	250
DC MIG	25	250
TIG DC pulse	26	250
TIG AC pulse	26	250



그림 2. 용접 케이블에 대한 EMF 측정위치
Fig. 2. EMF measurement location for welding cable.

를 사용하였으며, 주파수 영역에서의 자속밀도 측정은 NARDA-STS 사의 등방성 전자기장 측정장치인 EHP-50F를 사용하여 1 Hz~400 kHz 범위에서 실시하였다.

그림 3은 용접전원 유형에 따른 전류 파형을 보여준다. 용접전류의 파형은 전류가 귀환하는 케이블에서 전류프로브를 이용하여 측정하였다^[14]. 그림 3(a)는 아크용접전원의 전류가 60 Hz AC 파형이며, 전류의 실효값은 250 A이다. 그림 3(b)는 전류가 DC 파형이며, DC 전류의 크기는 250 A이다. 그림 3(c)와 그림 3(d)는 TIG 용접으로 DC 펄스와 AC 펄스를 사용할 때의 전류 파형을 보여준다. 이 측정 결과를 통해 용접전원 유형에 따라 전류파형이 달라지므로 인체에 노출되는 주파수 성분에 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 4는 그림 2의 측정 위치에서 용접전원에 따라 측정된 자속밀도의 주파수 성분을 나타내고 있다. 그림 4(a)는 60 Hz의 고조파 성분이 나타나며, 그림 4(b)는 40 kHz

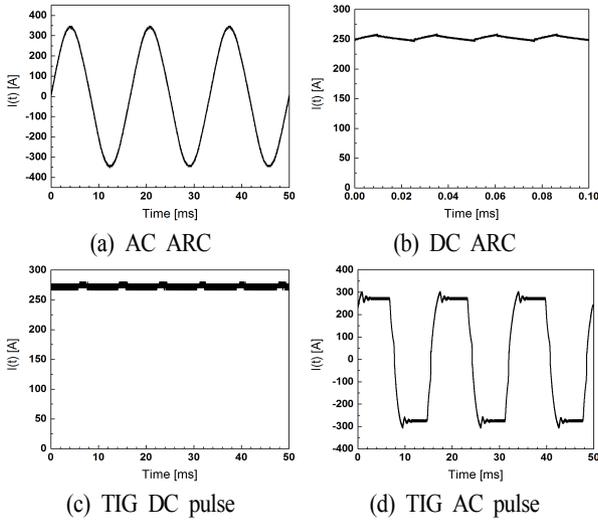


그림 3. 용접전원에 따른 전류파형
Fig. 3. Current waveform for welding power supply.

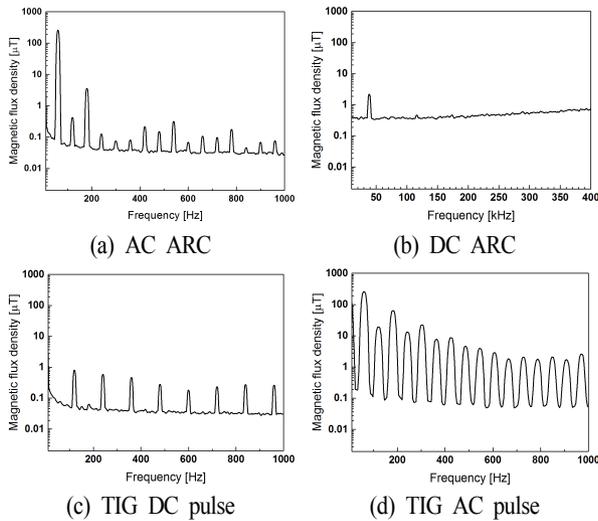


그림 4. 용접전원에 따른 자속밀도의 주파수 성분
Fig. 4. Frequency spectrum of magnetic flux density for welding power supply.

의 고조파 성분이 나타나지만, 1차와 3차 고조파 성분만 일부 보이고, 나머지는 나타나지 않는다. 그림 4(b)의 고조파 성분은 그림 3(b)의 신호의 25 us마다 주기적으로 반복되는 신호와 일치하는 주파수 성분임을 알 수 있다. 그림 4(c)는 120 Hz의 고조파 성분이 나타나며, 이는 그림 3(c)의 8.3 ms마다 주기적으로 반복되는 신호와 일치하는

주파수 성분이다. 그림 4(d)는 60 Hz의 고조파 성분이 나타나며, 그림 3(d)의 반복 펄스 주파수와 동일하다.

다음으로 용접전원의 케이블로부터 측정된 노출 레벨을 이용하여 인체 노출을 평가하기 위해서는 용접전원의 전류파형에 따라 평가가 다르게 이루어져야 한다^[13]. 예를 들어 DC 용접 전류의 경우, DC 성분 외에도 AC 성분에 대한 자기장 평가를 함께 실시하여야 하며, AC 용접 전류에 대해서는 DC 성분에 대한 평가는 적용하지 않고 AC 성분에 대한 평가만 이루어져야 한다. 또한 펄스형 혹은 비정현파 용접 전류의 경우에는 DC 성분과 AC 성분에 대한 평가가 함께 이루어져야 한다. DC 성분의 평가를 위해서는 식 (1)을 적용하여 분석적 계산에 의해 평가될 수 있다^[13].

$$B = F_G \mu_0 \frac{I}{2d\pi} \tag{1}$$

여기서 F_G 는 기하학적 인자로 1.25이며, μ_0 는 투자율, I 는 전류이며, 단위는 암페어이고, d 는 케이블로부터의 거리로서 단위는 미터이다. 식 (1)을 통해 계산된 DC 성분의 자속밀도 값이 ICNIRP 기준레벨을 적용할 경우, 직업인은 200,000 μT 이하이어야 기준레벨을 만족한다. 표 4는 용접전원의 DC 성분에 대한 평가를 보여준다. DC 전류값은 시간영역 측정에서의 DC 전류값을 나타내고 있다. EN50444의 절차에 따라 자속밀도는 DC 전류값으로부터 케이블로부터 20 cm 떨어진 거리에서 식 (1)을 적용하여 구해진 값이다. 표 4의 DC 성분의 평가에 대한 결과를 보면 DC ARC의 경우는 기준대비 0.158 % 수준의 노출을 나타내고, 이는 DC 성분에 의한 노출수준은 미비함을 알 수 있다.

다음으로 AC 성분의 평가를 위해서는 식 (2)를 적용하여 다중 주파수성분에 의한 평가가 이루어져야 한다.

$$B_t = \sum_i \frac{B_i}{B_{L,i}} \tag{2}$$

여기서, B_t 는 총 상대자속밀도이며, $B_{L,i}$ 는 f_i 에서의 자속밀도 기준레벨값이며, B_i 는 f_i 에서 측정된 자속밀도 값이다. 표 5는 TIG AC pulse 용접기에 대해서 AC 성분

평가 결과를 예시로 보여준다. AC 성분 평가를 위해 케이블로부터 20 cm 떨어진 위치에서 측정되었으며, 고조파 성분에 대한 자속밀도값들이 나타남을 알 수 있다. 표 5의 결과에서 다중 주파수에 대한 노출을 고려하지 않는다면 각 주파수 성분에서의 자속밀도값은 규격을 만족함을 알 수 있다. 예를 들어, 기본 주파수는 61 %의 노출 수

표 4. 용접전원의 DC 성분 평가
Table 4. Assessment for DC component of welding power.

	DC ARC	DC MIG	TIG pulse		
			DC	DC low	DC high
DC current [A]	252.3	249.0	273.0	197.5	198.6
Flux density [uT]	315.4	311.3	341.3	246.9	248.3
Exposure ratio ¹⁾ [%]	0.158	0.156	0.171	0.123	0.124

¹⁾ Exposure ratio [%]=flux density/limit [%]

표 5. TIG AC pulse의 AC 성분 평가
Table 5. Assessment for AC component of TIG AC pulse.

Frequency [Hz]	B _i [uT]	B _L [uT]	B _i /B _L [%]	B _i /B _L	Bt
59	257.43	423.73	100	0.61	
122	19.06	204.92	7.4	0.09	
181	63.77	138.12	24.8	0.46	
244	13.17	102.46	5.1	0.13	
303	22.23	82.51	8.6	0.27	
366	7.67	68.31	3.0	0.11	
425	8.72	58.82	3.4	0.15	
483	4.60	51.76	1.8	0.09	
547	3.93	45.70	1.5	0.09	
605	2.88	41.32	1.1	0.07	
664	1.83	37.65	0.7	0.05	
728	2.07	34.34	0.8	0.06	
786	1.78	31.81	0.7	0.06	
850	2.08	30.70	0.8	0.07	
908	1.73	30.70	0.7	0.06	
972	2.59	30.70	1.0	0.08	
1,025	1.21	30.70	0.5	0.04	

준을 보이며 3차 고조파는 46 % 수준의 노출을 보인다는 것을 알 수 있다.

그러나, 식(2)에 따라 다중 주파수 성분에 의한 평가를 하면 TIG AC pulse 용접기의 경우, 기준 대비 182% 수준의 노출이 된다는 것을 알 수 있다. 여기에서 주파수 성분은 가장 높은 기본 고조파 크기의 3 % 이하의 값, 즉, 표 5에서 회색으로 표기된 부분은 고려하지 않아도 된다^[13]. 표 5의 측정 결과에서와 같이 20 cm 떨어진 위치에서는 기준레벨을 초과하므로 기본적으로 평가가 이루어져야 하지만, 정확한 기본적인 평가가 어렵기 때문에 직업인을 보호를 위해서는 케이블로부터 인체를 이격하는 것이 필요하다. 이는 거리가 멀어짐에 따라 노출 수준이 1 m에서 9 %, 2 m에서 2 %로 급격히 떨어지기 때문이다. 따라서, 이와 같은 형태의 용접전원에서는 직업인의 신체가 케이블로부터 일정 거리의 이격을 통해 직업인 보호가 가능함을 알 수 있다. 또한, 개별 보호 장비(절연된 신발, 장갑, 보호의류) 등을 통해 전자장으로부터의 노출을 줄이는 등 별도의 조치가 추가로 필요하다.

VI. 국내 직업인 보호를 위한 제도 도입 방안

국내의 경우, 전자파 노출로부터 인체를 보호하기 위해 전파법에 근거하여 과학기술정보통신부에서 전자파 인체보호 기준^[15]을 고시하여, 직업인에 대한 전자파 인체 보호에 법적 근거는 마련되어 있지만, 현재 시행은 하고 있지 않다.

전자파에 대한 직업인 보호를 위한 제도를 국내에 도입하기 위해서는 그림 5와 같은 절차가 고려되어야 한다. 먼저, 실태조사를 통해 전자파 발생원을 고려한 작업장 분류가 이루어져야 한다. 작업장 분류가 되면 특정 작업장 별로 구체적인 전자파 노출 특성을 반영하여 별도의 노출량 측정 방법 및 평가 방법을 도출하여야 한다. 작업장 별로 도출된 측정 방법과 평가 방법을 표준에 반영하여 작업장 별로 표준이 제정되어야 한다. 따라서 측정 표준에서는 각 작업장에서의 전자파 노출에 대한 측정과 평가가 가능하도록 제시되어야 하며, 평가결과 기준레벨을 초과하는 경우에는 앞 절에서 언급한 바와 같이 기본적인 평가가 이루어져야 하지만, 기본적인 평가가 어려우면 직업인의 머리, 몸통 및 사지까지 최소 요구 거리 제시

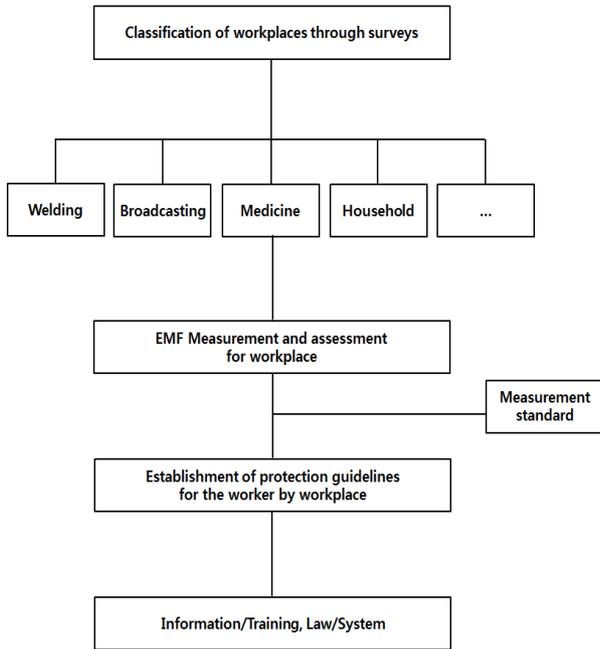


그림 5. 직업인에 대한 전자파 노출 평가제도 도입 방안
 Fig. 5. Introduction of the EMF exposure assessment for the worker.

를 통해 직업인을 보호 방법을 언급해야 한다.

한편, 보호 가이드라인에서는 작업장 내에서 발생할 수 있는 전자파원의 정보 및 관련 전자파 노출 기준을 제시하고, 측정 표준에 따른 작업장의 위험성 평가를 수행토록 규정한다. 또한 평가결과에 따른 고용주의 조치 사항이나 안전에 대한 입증 결과를 제시하도록 하여야 할 것이다. 정부는 정보제공, 교육, 법제도 마련을 통해 이러한 지침이 올바르게 시행되고 잘 정착될 수 있도록 하여야 한다.

Ⅶ. 결 론

EU에서는 직업인 전자파 노출량 평가 절차, 전자파 노출량 측정 방법, 규제값, 노출 제한치 비교, 구역화 등을 정의한 기본 표준을 제정하고, 작업장 별 관련 표준을 제정하여 시행하고 있음을 확인하였다. 한편, EU 지침은 제 10조 예외조항으로 정당한 상황조건에서 특정 지역이나 특정 활동으로 인한 전자파에 대한 노출의 일시적인 초과를 허용하고 있다. 따라서 국내에 도입할 때 예외조항 등을 고려하여 세밀하게 분석하여 국내 실정에 맞게 도입

할 필요가 있다.

그러므로 국내에서 작업장 내 직업인을 전자파 노출로부터 보호하기 위해서는 국내 실정이 반영될 수 있도록 실태조사를 통해 전자파원을 고려하여 작업장 별 측정 표준을 제정하고, 작업장 인체보호 가이드라인을 마련하여야 할 것이다. 이러한 가이드라인은 기존의 기기 중심이 아닌 환경적인 측면에서 직업인에 대한 인체 평가가 이루어질 수 있도록 마련되어야 한다. 또한, EU에서와 같이 제도의 이행을 단순화하기 위한 실무안내서를 발간하는데 있어서 가급적 고용주의 부담을 줄일 수 있는 경제적 측면도 아울러 고려되어야 하며, 정부에서는 이러한 제도가 잘 준수될 수 있도록 세부적인 내용을 마련하고 제공하여야 한다.

향후 작업장 내에 직업인 보호를 위한 제도를 수립할 때는 관련된 정부 부처들 간의 협력체계를 구축하고, 노출 사례 분석을 통해 국내 실정에 맞는 제도가 수립될 수 있도록 심도 있는 연구가 추진되어야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] WHO Press Release no. 208, "IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans", May 2011.
- [2] 방송통신위원회 전파연구소, EMF 용어사전, 한국전자과학회, p. 352, 2009년 11월.
- [3] 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) and repealing Directive 2004/40/EC, *Official Journal of the European Union*, 2013.
- [4] Council Directive of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work (89/391/EEC), *Council of the European Union*, 1989.
- [5] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic

- fields), *Official Journal of the European Union*, Apr. 2004.
- [6] ICNIRP, "Guide for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, vol. 74 no. 4, pp. 494-522, Apr. 1998.
- [7] ICNIRP, "Guide for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (1 Hz to 100 kHz)", *Health Physics*, vol. 99 no. 6, pp. 818-836, Dec. 2010.
- [8] D. Figueroa, "Italy: Health and safety standards for workers exposed to electromagnetic fields", Sep. 2016.
- [9] http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/France_2015.pdf
- [10] Act on the Implementation of Measures of Occupational Safety and Health to Encourage Improvements in the Safety and Health Protection of Workers at Work, 2016.
- [11] A Guide to the Control of Electromagnetic Fields At Work Regulations 2016, *HSG281*, Jul. 2016.
- [12] EMF-NET Main Task MT2 WORKEN - Deliverable D49, "Final technical report on occupational EMF exposure", 24th, Apr. 2008.
- [13] Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for arc welding and allied processes, *BS EN50444*, 2008.
- [14] S. B. Jeon *et al.*, "Occupational exposure assessment using induced current density based on the waveform of a welding current pulse", *BioEM2016*, Belgium, pp. 528-530, Jun. 2016.
- [15] 과학기술정보통신부 고시 제2013-118호, "전자파인체보호기준" 2013년 8월.

전 상 봉



2001년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 8월: 영남대학교 전자공학과 (공학박사)
 2008년 6월~2010년 9월: 한국전파진흥협회 EMC기술지원센터

2010년 10월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가, EMI/EMC 측정 및 대책

이 애 경



1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 1월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
 2003년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

2007년 7월~2008년 6월: 미국 NIST Radio-Frequency Fields Group 방문연구원
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가

권 용 기



1989년 2월: 고려대학교 물리학과 (이학사)
 1992년 2월: 고려대학교 물리학과 (이학석사)
 2010년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
 1996년 2월~현재: 국립전파연구원 전파

환경안전과
 [주 관심분야] 전자파 인체안전, 전파전파, 강우감쇠

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공학석사)
 1988년 9월: Virginia Tech. 전자파전파 (공학박사)
 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
 1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
 1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM-ERC) 센터장
 2009년 1월~2009년 12월: 한국전자파학회 학회장
 [주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향

장 주 동



2011년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2013년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2013년 2월~2015년 1월: 국립전파연구원 연구원
 2015년 1월~현재: 국립전파연구원 공업

연구소
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가 및 SAR 측정 방법

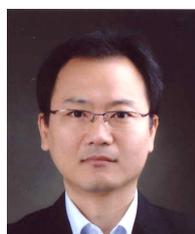
김 윤 명



1975년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1977년 2월: 한국과학원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1990년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1977년 2월~1980년 2월: 금성정밀공업주

식회사 레이더 기사
 1980년 3월~현재: 단국대학교 전자·전기공학부 교수
 2000년 6월~현재: (주)EMF Safety 대표이사
 [주 관심분야] 전자파 인체 영향 측정 및 전자파 환경 측정

안 준 오



1993년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학박사)
 1995년 2월~1998년 12월: (주)포스코건설

제강엔지니어링팀 대리
 2001년 3월~2010년 2월: 한국전파진흥협회 부장
 2010년 3월~현재: 미래전파공학연구소 소장
 [주 관심분야] 전자파인체영향(EMF), 스펙트럼 엔지니어링, ICT 표준화

최 형 도



1986년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
 1989년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)
 1996년 8월: 고려대학교 재료공학과 (공학박사)
 2004년 6월~2005년 12월: 한국전파진흥

협회 부설 EMC기술지원센터장
 1997년 1월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신미디어 책임 연구원
 [주 관심분야] 전자파 인체 노출 평가, 전자파 저감 소재 및 부품, 전파기술 등