

초청논문

인체보호기준에 대한 각국의 동향

백 정 기

충남대학교 전파공학과

요 약

최근 국내에서도 전자파의 인체 영향에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. 본 고에서는 전자파(또는 전자계)와 인체와의 기본적인 상호작용 메카니즘, 인체보호기준 설정시 고려되는 일반적인 사항, 인체의 노출 기준치에 대한 이론적인 근거에 대해 살펴보고, 미국, 유럽, 일본, 국제방사선보호협회 등 서구권 주요국 및 주요 기관의 인체보호기준을 비교, 분석하였다.

I. 서 론

RF/MW 대역 전자파의 생체효과에 대한 학회 가 미국 매릴랜드에서 1953년 4월 처음 개최된 이래 이 분야에 대해 많은 연구결과가 발표되었다. 이러

한 축적된 연구결과들을 토대로 미국, 소련을 비롯한 세계의 주요국들은 1970년대 후반에서 1980년대에 전자파(또는 전자계)에 대한 인체보호기준을 마련하였다.

전자파와 생체와의 상호작용은 <표 1>에 보인 바와 같이 인체에 흡수된 전자파 에너지에 의한 열작용, 전자계에 의해 인체 내에 유도된 전류에 의한 자극작용, 미약한 전자계의 장기간 누적효과에 의한 비열작용, 그리고 전자계에 의해 대전된 물체와의 접촉이나 스파크 방전 등 간접작용에 의한 충격 및 화상으로 대별할 수 있다.

현재 열작용, 유도전류 및 접촉전류에 의한 작용에 대해서는 휴대전화와 같은 일부 근거리장에 관련된 문제를 제외하고는 생체와의 상호작용메카니즘이 거의 정량적으로 파악되고 있다. 그러나 지금까지의 많은 연구에도 불구하고 비열작용에 대해서

<표 1> 전자파와 생체와의 상호작용

작용의 구분		생체변화의 요인	작용의 평가량	작용시간	비 고
직접작용	열 작용	조직의 가열, 열 스트레스	비흡수율(SAR) 상승온도	단기간 (시정수 : 6분)	거시적 상호작용
	자극작용	전류자극에 의한 신경, 근육의 흥분	유도전류(밀도)	단기간 (시정수 : 1초)	거시적 상호작용
	비열작용	불 명	전자계강도, 변조주파수	장기간 (수개월 이상)	미시적 상호작용
간접작용		전기충격 및 화상	접촉전류	단기간 (시정수 : 1초)	거시적 상호작용

는 인체 위해 가능성이 꾸준히 제기되고 있으나 노출기준에 반영될 수 있을 정도로 명확한 실험적, 이론적 근거가 아직 없다. 따라서 각국은 열 작용과 관련된 비흡수율(SAR : Specific Absorption Rate), 유도전류, 접촉전류 등 단기간의 생체작용과 관련된 양들을 노출기준에 대한 기본적인 양으로 하여 인체보호기준을 설정하고 있다.

본 고에서는 인체보호기준 설정시의 고려사항 및 노출기준에 대한 이론적 근거를 살펴보고, 미국의 IEEE/ANSI 기준, 유럽의 CENELEC(European Committee for Electrotechnical Standardization) 기준, 일본의 전파방호표준규격 및 IR-PA(International Radiation Protection Association) 기준을 비교, 분석함으로써 국내의 인체보호기준의 설정을 위한 토대를 마련하고자 한다.

II. 보호기준 설정시 고려사항

전자파에 대한 인체노출기준의 설정을 위해서는 일반적으로 다음에 열거된 사항들을 고려하여야 한다.

2-1 안전에 대한 기준

안전기준에 대한 판단은 나라마다 다를 수 있으며 여러 가지 요인에 의해 기준치가 설정된다. 인체에 안전하다고 생각되는 생물학적 영향은 크게 다음의 세 가지 수준으로 나눌 수 있다.

- 생물학적 영향이 전혀 관찰되지 않는 수준
- 생물학적 영향을 분간할 수는 있으나 기능상의 능률에 변화가 없는 수준
- 노출에 의해 어떤 형태의 스트레스가 나타나지만 정상적인 생리학적인 보상 한계 내에 있는 수준

2-2 생물학적 영향에 대한 과학적 근거

노출기준 설정을 위해서는 전자파의 생물학적 영향에 대한 실험적, 이론적인 근거가 확보되어야 한다. 실제 전자파 노출실험은 접촉전류나 ELF 전계의 영향 등과 같은 몇몇 특수한 경우를 제외하고는 동물실험이나 세포실험, 역학조사 등을 통해 이루어진다. 생물학적 영향에 대한 근거를 확보하기 위해서는 먼저 지금까지 축적된 연구결과로부터 과학적으로 의미 있는 자료를 선택하는 것이 가장 중요하다.

예컨대 세포실험에 의한 미시적 상호작용 중에서 구체적으로 인체에 미치는 영향이 명확히 설명되지 않는 실험결과, 그리고 모집단의 수가 적어서 통계적으로 의미가 없고 실험대상에 대한 노출조건을 확실히 알 수 없는 역학조사결과 등은 대부분의 서구권 국가들에서는 배제되고 있다.

그 영향이 보다 명확한 동물실험결과도 미국의 IEEE/ANSI 기준에서는 재현성이 있는 실험결과만을 선택하여 노출기준 설정에 반영하였다. 그리고 이러한 동물실험결과는 생체의 크기 및 유전을 분포, 생체의 반응 및 열 조절 메카니즘 등의 차이 때문에 인체에 적용시키기 위해서는 노출량에 대한 적절한 변환(scaling 또는 extrapolation)이 필요하게 된다.

2-3 경제성 분석

노출기준 설정시 이상적으로는 인체의 위해 가능성이 전혀 없는 수준으로 기준치를 낮추면 좋으나 실제적으로는 기준치 설정에 따른 경제적인 충격과 위해 가능성에 대한 위험을 적절히 고려하여야 하므로 (risk-benefit analysis) 직업환경의 경우 사용자와 노동자, 일반대중의 경우 전자파 관련 사업자와 보건단체간의 적절한 합의가 있어야 한다. 또한 주어진 노출기준을 정확히 측정할 수 있는 장치 및 방법에 대한 실제적인 측면도 적절히 고려되어야 한다.

예컨대 미국을 비롯한 서구권은 경제적인 측면을

강조하여 노출기준이 다소 높을 수 있지만 인체 위해에 대한 과학적 근거가 확보되면 낮춘다는 관점에서 인체보호기준을 설정하였고, 소련을 비롯한 동구권에서는 경제적, 기술적인 허용 범위 내에서 최대한 낮게 안전기준을 설정하고 위해 가능성이 없다는 충분한 근거가 확보되면 기준치를 높인다는 관점을 견지하고 있다 (동구권의 기준은 서구권의 기준에 비해 10 ~ 100배 정도 엄격함).

2-4 안전계수를 고려한 기본적인 한계치 설정

전술한 바와 같이 동물실험결과를 인체에 적용시키기 위해서는 노출량에 대한 변환이 필요하며 이 과정에서의 불확실성 때문에 노출한계치 설정시 안전계수(safety factor)를 도입한다. 대부분의 국가에서 안전계수로서 10을 채택하고 있다. 또한 적용 대상에 따른 추가의 안전계수도 고려하여야 한다. 대부분의 국가에서는 관리환경과 비관리환경, 또는 직업인과 일반인으로 구분하여 노출기준을 설정하고 있다[영국의 NRPB(National Radiological Protection Board) 지침이나 유럽의 CEU(Commission of the European Union) 지침과 같이 적용대상이 하나 또는 세 그룹인 경우도 있음].

직업인의 경우는 그 대상이 위험에 대한 인식이나 적당한 경계심을 갖도록 훈련되는 관리된 조건하에 노출된 성인으로서 작업시간 동안에만 전자파에 노출된다. 그러나 일반인의 경우는 성별, 연령 및 전자파에 대한 민감도가 다른 사람들로 구성되어 있고 노출상태를 알지 못하는 경우가 많으며 24시간 내내 그리고 일생동안 노출될 가능성이 있으므로 직업인에 대한 노출기준치에 추가의 안전계수를 고려하게 된다. 전형적인 안전계수는 5이다.

2-5 측정 가능한 양으로의 변환

현재 저주파 영역에서는 전자계에 의해 인체 내에 유도된 유도전류밀도를, 고주파 영역에서는 인

체에 흡수된 전자파 에너지, 즉 비흡수율(SAR)을 기본적인 노출량으로 하여 한계치를 설정하지만 이러한 양은 측정이 어려우므로 측정 가능한 전계 및 자계강도(또는 고주파 영역에서는 전력밀도)로 환산하여 인체보호기준을 설정하여야 한다.

이 경우 전자파(또는 전자계)의 인체결합메카니즘을 엄밀히 분석하여 최대 결합조건하에서 다소의 여유가 있도록 기준이 설정된다. 결합메카니즘은 입사파의 주파수, 편파, 전파원과 인체와의 상대적 위치, 접지 및 반사효과 등의 복잡한 함수관계를 가진다. 따라서 뒤에 언급되겠지만 기본 노출량에 대한 한계치가 동일한 경우에도 전계 및 자계에 대한 노출기준치는 나라마다 다소의 차이가 있다.

Ⅲ. ELF 대역 노출기준에 대한 근거

3-1 유도전류밀도

- 정상적인 인체에서 발생하는 전류밀도는 10 mA/m²임.
- ELF 대역 전자계에 의해 유도된 전류밀도의 생물학적 영향.
 - 1 ~ 10 mA/m² : 생물학적 영향이 무시 가능함.
 - 10 ~ 100 mA/m² : 시각과 신경계에 영향을 미침.
 - 100 ~ 1,000 mA/m² : 흥분 가능한 조직을 자극, 건강 위해 가능성 있음.
 - 1,000 mA/m² 이상 : 심장수축 및 심실의 연속 유발, 급성 위해
- 흥분 가능한 세포에 대한 자극 특성 : 4 Hz 이하는 주파수에 반비례하며 1,000 Hz 이상은 주파수에 비례함.

3-2 전자계

- 10 kV/m의 전계 : 몸통평균 전류밀도가 4

- mA/m² 보다 적음.
- 0.5 mT의 자속밀도 : 전도율 0.2 S/m, 반경 10 cm인 원통형 몸체 주변에 1 mA/m²의 전류밀도를 유도함.
- 강한 ELF 전기장 : 동물실험결과 세포활동 및 생리학적 변화, 또는 행동 양태상의 변화 유발.
- 어떤 사람은 3 kV/m에서 스파크 방전을 느끼며 2~10 kV/m의 전계를 인지할 수 있음.
- 50/60 Hz에서 20 kV/m의 전계에 대해 50 % 정도가 머리카락이나 몸과 옷사이의 따끔한 느낌을 통해 전계를 느낄 수 있으나 단기노출에 대한 위해 가능성은 없음(10~30 kV/m의 전계인 경우 전계가 클수록 불편과 스트레스가 증가하므로 노출시간이 제한되어야 함).
- 5 mT의 자계에 4시간 노출된 인체의 경우 임상학적, 생리학적 변화를 관찰하지 못함(5 mT의 자계는 몸통의 경우 약 10 mA/m²의 전류를 유도하며 손목, 발목 등에서는 25 mT 이하가 되어야 함).

3-3 접촉전류

- 대전물체의 접촉으로 인한 전기충격은 접지조건, 접촉전류의 세기, 전류지속시간, 체중 등의 함수임.
- 10 mA 이상의 전류는 위험함.
 - "let-go"임계치 초과 가능성(어린이의 "let-

go"임계치는 성인의 1/2임)

- 심실의 연속 유발 가능성
- 전계에 노출된 차량 접촉시의 인식 정도.
 - 10 ~ 12 kV/m : 어린이, 통증 인식(승용차, 손가락 접촉)
 - 8 ~ 10 kV/m : 어린이, 아픈 충격(트럭, 손가락 접촉)
 - 4 ~ 5 kV/m : 남자성인, 접촉 인식(승용차, 손가락 접촉)
 - 2 ~ 2.5 kV/m : 어린이, 접촉 인식(승용차, 손가락 접촉)

3-4 기본지침

전술한 생물학적 영향을 근거로하여 설정된 전력 선주파수(50/60 Hz)에 대한 기본 한계치는 <표 2>와 같다. CENELEC에서는 ELF의 전 대역에 대해 노출기준을 설정하고 있으며(유도전류밀도와 접촉전류는 0.1 Hz~10 kHz, 전계강도 및 자속밀도는 0 Hz~10 kHz), IRPA는 50/60 Hz에서만 노출기준이 주어져 있다. 그러나 IEEE/ANSI 및 일본에서는 ELF대역 기준이 없다.

IV. RF 대역 노출기준에 대한 근거

4-1 비흡수율

<표 2> 전력선 주파수(50 / 60 Hz)에 대한 기본 한계치

구 분	IRPA	CENELEC	IEEE	일 본
유도전류밀도 [mA/m ²] (머리, 몸통)	10(2)	10(4)	-	-
전계강도 [kV/m]	10(5)	30/25(10)	-	-
자속밀도 [mT]	0.5(0.1)	1.6/1.33(0.64/0.53)	-	-
접촉전류 [mA]	-	3.5(1.5)	-	-

(주) 수치는 직업인과 일반인에 대한 한계치로서 ()안은 일반인에 대한 값을 나타냄.

- ANSI에서는 재현성있는 동물실험결과로부터 전신평균 SAR이 4 W/kg 이하인 전자파에 1 시간 이하 노출될 경우 실험동물에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 결론을 내림.
- ANSI의 연구 이후 발표된 논문에서 1 W/kg 에서도 건강에 해로운 효과가 나타날 수 있음을 제안함.
- MRI와 관련된 임상 경험에서 1~2 W/kg의 단기노출도 문제가 될 수 있음.
- 1~4 W/kg에 대해 안전계수(2.5~10)를 고려하여 전신평균 SAR 0.4 W/kg을 대부분의 국가에서 RF 대역 전자파에 대한 기본 한계치로 설정함.
- 국소 SAR이 전신평균치의 20배, 손목 등에서 공진이 일어날 경우는 300배까지 증가할 수 있음이 보고되고 있으므로 전신평균 SAR의 한계치 이하에서도 발생할 수 있는 위해방지를 위해 국소 SAR에 대한 별도의 기준이 필요함.
- 머리, 몸통부분의 국소 SAR은 전신평균치의 20~25배, 열 작용에 의한 영향이 비교적 적은 사지부분(손, 손목, 발, 발목)의 국소 SAR은 50~62.5배 정도의 SAR값을 한계치로 설정함.

4-2 유도전류 및 접촉전류

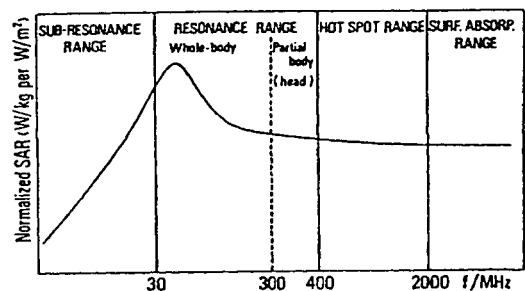
- 접지된 발을 통해 지면으로 흐르는 유도전류 및 금속물체를 접촉했을 때 손을 통해 흐르는 접촉전류는 작은 면적에 고전류가 흐름으로써 RF 화상을 유발할 수 있음.
- 손가락 끝 등에 의한 점접촉의 열상해 임계치는 200 mA임.
- 100 mA의 유도전류 및 접촉전류는 손목이나 발목의 SAR이 20 W/kg을 초과하지 않으며 100 kHz 이상에서는 물건을 잡았을 때 감지할 수 있을 정도의 크기임.
- 100 kHz 이하에서는 감지 임계치가 주파수에 비례해서 낮아짐.

- 손가락 끝 등에 의한 점접촉의 경우 감지 임계치가 잡는 접촉의 약 $1/\sqrt{5}$ 정도임.

4-3 주파수에 따른 결합메카니즘

IRPA에서는 결합메카니즘에 대한 연구결과들을 종합하여 표준인체(신장 1.75 m, 체중 75 kg)에 대한 전자파 흡수특성을 [그림 1]과 같이 4개의 영역으로 나누어 설명하고 있으며 각 국의 전자계(또는 전력밀도)에 대한 인체보호기준은 이러한 주파수 특성을 고려하여 최악 조건하에서의 전술한 기본 한계치를 만족하도록 설정된 것이다.

- 부공진영역(sub-resonance range) : 몸통부위의 표면을 통한 흡수가 지배적이며, 목이나 다리부분의 흡수는 주파수에 따라 증가한다.
- 공진영역(resonance range) : 전신평균 및 부분공진이 일어나는 영역이며 머리의 공진주파수는 약 350~400 MHz이다.
- Hot-spot 영역 : 400 MHz에서 2~3 GHz 까지의 영역에서는 국부적인 에너지 흡수가 두드러진다. 이러한 hot-spot은 인체 곡면에서의 전자파 에너지 집중, 불연속적인 인체조직내의 비공진성 정재파로 인한 신체 일부분에서의 강한 국지적인 가열현상에 기인하며 hot-spot의 크기는 915 MHz의 경우 수 cm, 3 GHz의 경우는 1 cm 정도이다.



[그림 1] 주파수에 따른 인체의 정규화된 SAR 특성

- 표면흡수영역(surface absorption range) : 약 2 GHz 이상에서는 표피효과로 인해 전자파 흡수가 인체의 표면에서 국부적으로 일어난다.

4-4 기본지침

각 국가의 SAR, 접촉전류 및 유도전류에 대한 기본 한계치는 <표 3>과 같다. 실제 SAR을 기본 노출량으로 설정하는 주파수 대역은 노출기준마다 다르며 SAR 한계치가 정의되지 않은 주파수대역에 대해 저주파 영역에서는 유도전류밀도를, 그리고 고주파 영역에서는 전력밀도를 기본 노출량으로 사용하고 있다. 또한 일본과 CENELEC은 각각 10 kHz~100 kHz, 10 kHz~10 MHz 영역에 대해 유도전류밀도를 기본지침에 추가함으로써 이종의 기본 한계치를 설정하고 있다.

<표 3>에서 유도전류와 접촉전류는 전자계 기준과 함께 별도의 지침으로 주어지나 IRPA의 경우는 유도전류에 대한 별도의 지침을 두지 않고 표에 주어진 유도전류 한계치를 초과하지 않도록 전자계 기준을 설정하였다. 접촉전류가 정의된 주파수 영

역은 IEEE/ANSI는 3 kHz~100 MHz, 일본은 10 kHz~100 MHz, CENELEC은 10 kHz~3 MHz이며, IRPA는 주파수에 대한 언급이 없다. 그리고, 유도전류의 주파수 영역은 IEEE/ANSI는 3 kHz~100 MHz, 일본은 3 MHz~300 MHz이며, IRPA는 100 kHz~10 MHz이다.

V. ELF 및 RF 대역에 대한 노출기준 비교

전술한 기본지침에 근거한 각 국가의 유도전류 밀도, 유도전류, 접촉전류, 전계강도 및 자계강도에 대한 노출기준은 각각 [그림 2]~[그림 6]과 같다.

VI. 휴대용 무선기기에 대한 노출기준

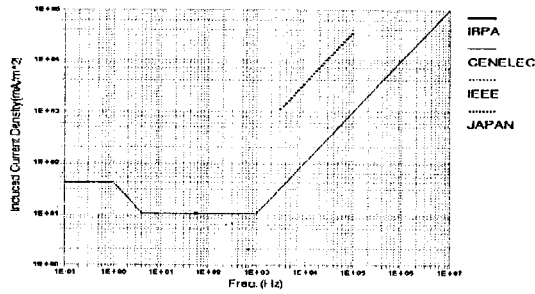
6-1 CENELEC 기준

- 30 MHz~6 GHz 대역의 휴대용 무선기기에 대한 기준, 측정방법 및 예외 규정을 발표하였으며, SAR에 대한 기본 한계치와 전계 및 자계에 대한 기준치는 RF 대역 노출기준(ENV

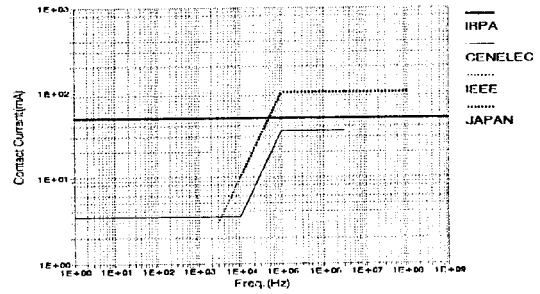
<표 3> RF 대역에 대한 기본 한계치

구 분	IRPA	CENELEC	IEEE	일 본
주파수 영역[Hz]	$10^5 \sim 3 \times 10^{11}$ ($10^7 \sim 3 \times 10^{11}$)	$10^4 \sim 3 \times 10^{11}$	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^{11}$ ($10^5 \sim 6 \times 10^9$)	$10^4 \sim 3 \times 10^{11}$
SAR(6분평균)[W/kg]				
전신평균	0.4 (0.08)	0.4 (0.08)	0.4 (0.08)	0.4 (0.08)
국소 (사지)	20 (4)	20 (4)	20 (4)	25 (5)
국소 (머리, 몸통)	10 (2)	10 (2)	8 (1.6)	8 (1.6)
접촉전류[mA]	50 (50)	35 (20)	100 (45)	100 (45)
유도전류[mA]	200	-	200 (90)	200 (90)

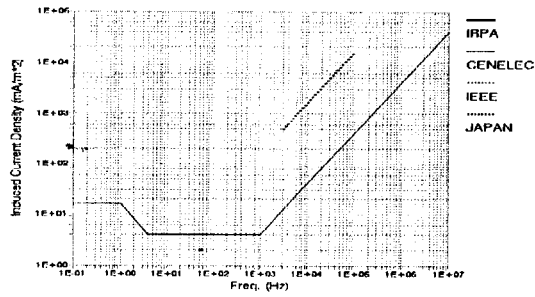
- (주) 1. 주파수영역에서 ()안의 수치는 SAR이 기본 노출량으로 사용된 주파수 대역을 나타냄.
 2. SAR, 접촉전류, 유도전류는 직업인과 일반인에 대한 기준치로서 ()안의 수치는 일반인에 대한 값을 나타냄.
 3. 접촉전류와 유도전류는 1초 이하의 시간에 대한 평균치로서 정의된 주파수영역에서의 최대치임.
 4. 국소 SAR은 조직의 1~100 g당 평균치를 나타냄[IEEE는 10 g(사지) 또는 1 g(머리, 몸통)당, 일본은 1 g당, CENELEC은 10 g당, IRPA는 100 g당 평균치임].



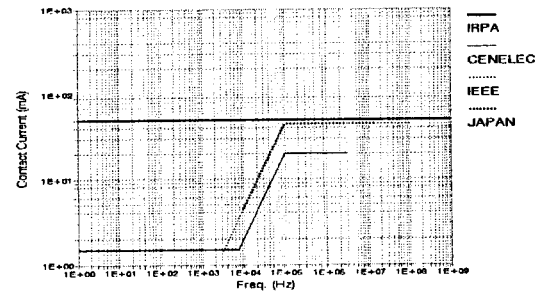
(a) 직업인



(a) 직업인



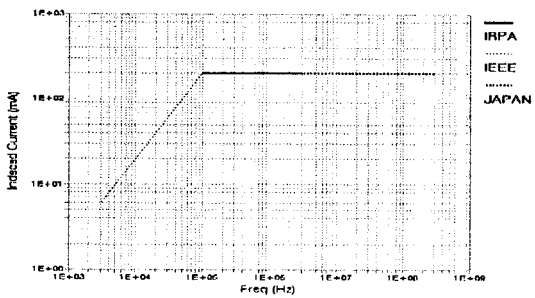
(b) 일반인



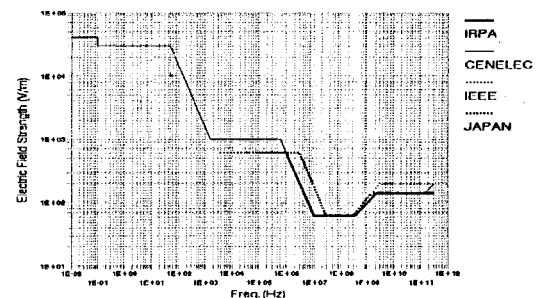
(b) 일반인

[그림 2] 유도전류 밀도에 대한 노출기준

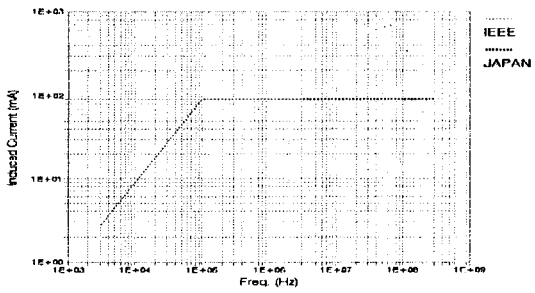
[그림 4] 접촉전류에 대한 노출기준



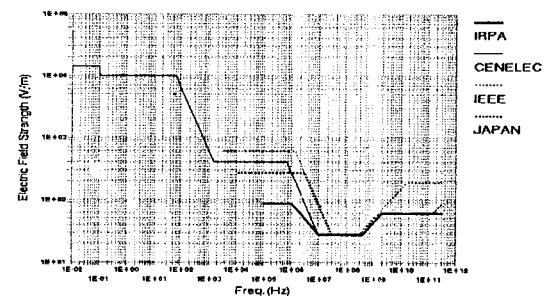
(a) 직업인



(a) 직업인



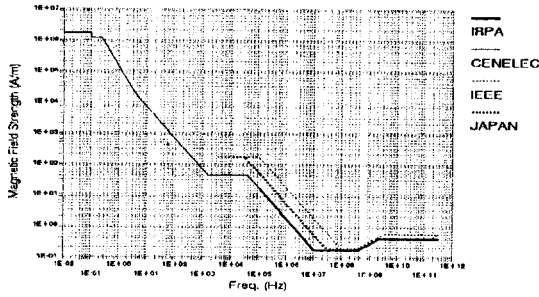
(b) 일반인



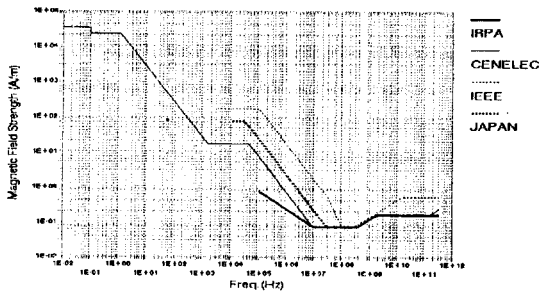
(b) 일반인

[그림 3] 유도전류에 대한 노출기준

[그림 5] 전계에 대한 노출기준



(a) 직업인



(b) 일반인

[그림 6] 자계에 대한 노출기준

50166-2)과 동일함.

- 전계 및 자계 기준치를 초과할 경우 근거리에서의 정확한 측정 및 시뮬레이션에 의해 SAR에 대한 기본 한계치를 초과하지 않으면 무방함.
- 정격출력(또는 EIRP)이 20 mW 이하이거나 1 cm 거리에서의 자계가 7(6 GHz) ~ 25 (30 MHz) mA/m 이하이면 기준치에 대한 시험을 하지 않아도 되도록 예외 규정을 두고 있음.

6-2 IEEE/ANSI 기준

- RF 대역 노출기준에 대한 예외 규정으로서 관리환경(무선기기 사용자), 비관리환경(다른

사용자에 의한 노출)으로 구분하여 기준치를 설정하고 있음.

- 100 kHz~6 GHz 대역에서의 SAR에 대한 기본 한계치를 만족시키면 전자계에 대한 노출기준을 초과해도 됨.
- 관리환경의 경우 무선기기가 2.5 cm 이상 떨어져 있을 때 방사출력이 다음 조건을 만족하면 전자계 기준치를 초과해도 됨.
 - 100 kHz~450 MHz : 방사출력이 7 W 이하
 - 450 MHz~1,500 MHz : 방사출력이 $7 \times (450 / f \text{ [MHz]})$ W 이하
- 비관리환경의 경우는 관리환경 출력값의 1/5로 주어짐.

6-3 일본 기준

- 100 kHz~3 GHz 대역에서 정격출력이 7 W 이하인 전파방사원은 통상의 사용 형태에서 기본지침을 만족하는 것으로 생각되므로 노출기준에 대한 평가가 필요 없음.
- 단, 방사원이 신체에 매우 가깝거나 방사에너지가 특정방향으로 집중하는 경우는 주의를 요함.

6-4 IRPA 기준

- 출력이 7 W 이하인 전파방사원의 경우는 RF 대역 노출기준에 대한 평가에서 제외시킴.

Ⅶ. 결 론

유럽의 CENELEC 기준, 미국의 IEEE/ANSI 기준, 일본의 전파방호표준규격, IRPA 기준들을 비교한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ELF 대역의 기본 한계치는 유도전류밀도로 주어지며 전력선 주파수(50/60 Hz)에서 직업인

인 경우 10 mA/m^2 로 주어진다. 일반인에 대한 안전계수는 2.5~5의 값을 가지며 IEEE / ANSI 및 일본의 기준에서는 ELF 대역에 대한 노출기준이 없다.

- ELF 대역의 전계는 전력선 주파수에서 직업인의 경우 $10\sim 30 \text{ kV/m}$ 로 주어지고 일반인에 대한 안전계수는 2~3의 값을 가진다.
- ELF 대역의 자속밀도는 전력선 주파수에서 직업인의 경우 $0.5\sim 1.6 \text{ mT}$ 로 주어지고 일반인에 대한 안전계수는 2.5 ~ 5의 값을 가진다.
- RF 대역의 기본 한계치는 SAR로 주어지며 직업인의 경우 전신평균은 0.4 W/kg , 머리 및 몸통부분의 국소 SAR은 $8\sim 10 \text{ W/kg}$, 그리고 사지부분의 국소 SAR은 $20\sim 25 \text{ W/kg}$ 으로 주어진다. 일반인에 대한 안전계수는 모두 5이다.
- SAR에 대한 노출기준은 거의 같으나 전자계에 대한 기준치의 전계는 30 MHz 이하, 자계는 100 MHz 이하에서 기준마다 상당한 편차가 있고, 2 GHz 이상에서는 IEEE/ANSI의 기준치가 다른 기준에 비해 높게 설정되어 있다.
- RF 대역의 저주파 영역($100\sim 300 \text{ MHz}$ 이하)에서는 두발을 통해 지면으로 흐르는 유도전류에 대한 기준이 주어지며 그 최대치는 200 mA 이고 일반인에 대한 안전계수는 2.22이다.
- RF 대역의 저주파 영역(이하)에서 접촉전류에 대한 기준은 직업인의 경우 $35\sim 100 \text{ mA}$ 로 주어지고 일반인에 대한 안전계수는 $1.75\sim 2.22$ 이다.
- RF 대역 노출기준에서 일정 출력이하($20 \text{ mW}\sim 7 \text{ W}$ 이하)의 휴대용 저전력 무선기기에 대해서는 예외 규정을 두고 있으며, 또한 펄스파에 대한 침투치 제한을 하고 있다.
- ELF/RF 대역 노출기준에서는 신체에 심장박동조절기, 금속체 등이 이식되어 있을 경우 보호받지 못할 수 있음을 경고하고 있다.

전술한 비교 결과를 토대로 살펴볼 때 국내의 인체보호기준 설정을 위해서는 각 기준마다 편차가 큰 ELF의 전 대역, RF 대역에서 특히 $30\sim 100 \text{ MHz}$ 대역, 그리고 휴대용 무선기기의 노출기준에 대한 연구가 조속히 이루어져야 하며, 국내의 전자파 환경에 대한 연구도 동시에 수행되어야 할 것이다. 물론 장기적인 관점에서 전자파의 생체영향 및 결합 메카니즘에 대한 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] IRPA /INIRC, *Intrim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electrical and Magnetic Fields*, 1990.
- [2] IRPA /INIRC, *Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 KHz to 300 GHz*, 1988.
- [3] IEEE /ANSI, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 KHz to 300 GHz(IEEE/ANSI C95.1)*, 1991.
- [4] CENELEC, *European Prestandard ENV 50166-1(ELF), ENV 50166-2(RF)*, 1995.
- [5] CENELEC, *Safety Considerations for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment(MTE) in the Frequency Range 30 MHz - 6 GHz (2nd Draft)*, 1996.
- [6] B. Kunsch, "The European Prestandard ENV 50166 'Human Exposure to Electromagnetic Fields' in Perspective," EMC Symp. Rome, 1996.
- [7] 전파시스템 개발센터(일본), 전파방호표준규격 (RCR STD-38), 1993.
- [8] G. Franceschtti, O. P. Gandhi, and M.

Grandolfo (ed.), *Electromagnetic Biointeraction*, 1989.

[9] J. C. Polk and E. Postow, *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*,

2nd Ed., CRC Press, 1996.

[10] CEU, *Commission of the European Community Official Journal of EC37*, 19.8.1944.

저자소개

1978년 : 서울대학교 전자공학과 학사
1985년 : Virginia Tech. 석사
1988년 : Virginia Tech. 박사
1978년 3월 ~ 1983년 2월 : 국방과학연구소
1988년 10월 ~ 1989년 2월 : 한국전자통신연구원
1989년 3월 ~ 1995년 2월 : 동아대학교 전자공학과
1995년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 부교수
본 학회 전자장과 생체관계연구회 연구위원
[주관심분야] 전자파전파, 초고주파회로

