

전자파 인체 보호 기준의 국제 표준화 동향

변진규·이애경

한국전자통신연구원
전자파환경연구팀

개요

전자파 인체 노출 기준과 관련된 대표적인 국제 표준은 IEEE ICES(International Committee on Electromagnetic Safety) 산하 TC95에서 제정한 IEEE C95.1 표준과 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)에서 제정한 ICNIRP guideline이 있다. 본 고에서는 이 국제 표준들을 간략하게 소개하면서 각각의 차이점을 비교하고, 최근의 개정 동향과 조화(harmonization)를 위한 노력에 대해 기술한다.

I. 서론

1990년대부터 전자파의 인체 영향에 대한 논란이 본격적으로 제기되면서 인체 보호와 전자파의 안정적인 이용, 일반 대중의 불안감 해소 등을 위해 전세계적으로 통일된 전자파 인체 노출 기준의 필요성이 제기되었다. 현재 전세계적으로 채택되고 있는 전자파 인체 노출 기준은 IEEE C95.1 표준과 ICNIRP 기준,

두 가지이며, 각 국가별 표준은 대부분 이 두 가지 표준 중 하나를 기본으로하고 있다. 각 국가별로 보면 미국, 캐나다, 한국, 볼리비아 등의 국부 SAR(Specific Absorption Rate, 전자파 흡수율) 기준은 1991년도 판 IEEE C95.1의 기본 한계(basic restrictions)를 따르고 있으며, 유럽과 호주 등에서는 대부분 WHO(World Health Organization)의 승인을 받은 ICNIRP 기준을 채택하고 있다.

1991년도판 IEEE C95.1(IEEE C95.1-1991)과 ICNIRP 기준의 가장 큰 차이점중 하나는 국부 SAR 기본 한계값과 평균 질량의 차이이다(<표 1> 참조).

두 표준 모두 전신 평균(whole body average) SAR의 기본 한계는 동물 실험 등을 통해 생체 영향의 임계점으로 알려진 4 W/kg을 기준으로 직업인의 경우 10의 안전 계수를 두어 0.4 W/kg으로, 일반인의 경우 추가로 5의 안전 계수를 두어 0.08 W/kg으로 정하고 있다.

하지만 국부(local) SAR의 경우, ICNIRP 기준과 IEEE C95.1-1991은 그 근거와 기본 한계가 다르다.

<표 1> IEEE C95.1-1991와 ICNIRP기준의 SAR 기본 한계치 비교

Standard	Condition	Frequency	Whole Body	Local SAR(head and trunk)	Local SAR(limbs)
ICNIRP (1998)	Occupation	100 kHz~10 GHz	0.4	10(10 g)	20(10 g)
	General Public	100 kHz~10 GHz	0.08	2(10 g)	4(10 g)
Standard	Condition	Frequency	Whole Body	Local SAR (Body except extremities)	Local SAR (extremities)
IEEE (1991)	Controlled	100 kHz~6 GHz	0.4	8(1 g)	20(10 g)
	Uncontrolled	100 kHz~6 GHz	0.08	1.6(1 g)	4(10 g)

ICNIRP는 동물 실험과 수치 해석 연구 결과를 토대로 전자파에 민감한 중요 신체 부위인 안구의 온도가 1 °C 상승하는 임계치에 안전 계수를 적용해 직업인 10 W/kg, 일반인 2 W/kg으로 기본 한계를 정했다. 반면 IEEE C95.1-1991에서는 동물 모델이나 인체 모델에서 국부 SAR의 최대 계산값이 전신 평균 SAR의 약 20배의 정도의 값이 나오는 것을 근거로 직업인 8 W/kg, 일반인 1.6 W/kg으로 기본 한계를 정했다. 국부 SAR의 평균 질량도 ICNIRP는 인간 안구의 평균 질량을 고려하여 10 g 평균을 취하고 있으나 IEEE C95.1-1991에서는 온도 측정 센서에서 조직의 1 g 평균을 취하는 것을 고려하여 국부 SAR도 1 g 평균을 취한다.

즉, ICNIRP의 국부 SAR 기준이 생물학적인 근거에 바탕을 두고 있다고 한다면 IEEE C95.1-1991의 국부 SAR 기준은 측정과 노출량 평가(dosimetry)에 근거를 두고 있다고 볼 수 있다. 또한 최근 노출량 평가 기술의 발달로 1991년경에 계산한 국부 SAR의 최대값과 전신 평균 SAR의 비가 정확하지 않다는 연구가 발표되고 있으며 노출량 평가 측면보다 생물학적 근거에 바탕을 둔 국부 SAR 기본 한계가 바람직하다는 주장이 제기되어 왔다.

IEEE에서는 이러한 표준간의 차이에서 발생하는 혼란과 문제점을 극복하고 최근에 발표된 새로운 생물학적 연구 결과를 고려하기 위해 IEEE C95.1-2005 표준을 최근 제정하였다. 이 버전에서 국부 SAR의 기본 한계를 포함한 상당 부분의 개정이 이루어졌으며, 전체적인 개정의 방향은 ICNIRP 기준과의 조화를 추구하는 방향으로 나아가고 있다. 다음 장에서는 IEEE C95.1-2005의 주요 개정사항에 대해서 알아본다.

II. IEEE C95.1-2005의 개정 내용

1991년도 판과 비교할 때 IEEE C95.1-2005의 가장

큰 변화는 국부 SAR의 기본 한계와 평균 질량이 ICNIRP와 동일하게 개정되었다는 것이다. 이 부분은 휴대폰 노출 SAR 평가 등에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에 향후 미국의 규제기관인 FCC(Federal Communications Commission) 등의 동향을 주시할 필요가 있다.

구체적으로 살펴보면, IEEE C95.1-2005에서는 노출량 평가의 측면에서 결정된 기존 IEEE C95.1-1991의 국부 SAR 기본한계보다 생물학적 근거에 바탕을 둔 ICNIRP의 논거가 보다 타당하다고 명시하고 기본 한계를 ICNIRP와 동일하게 직업인 10 W/kg, 일반인 2 W/kg으로 개정하였다. 평균 질량도 같은 근거로 1 g에서 10 g으로 변경하였다.

IEEE C95.1-2005의 기타 변경점을 살펴보면 다음과 같다.

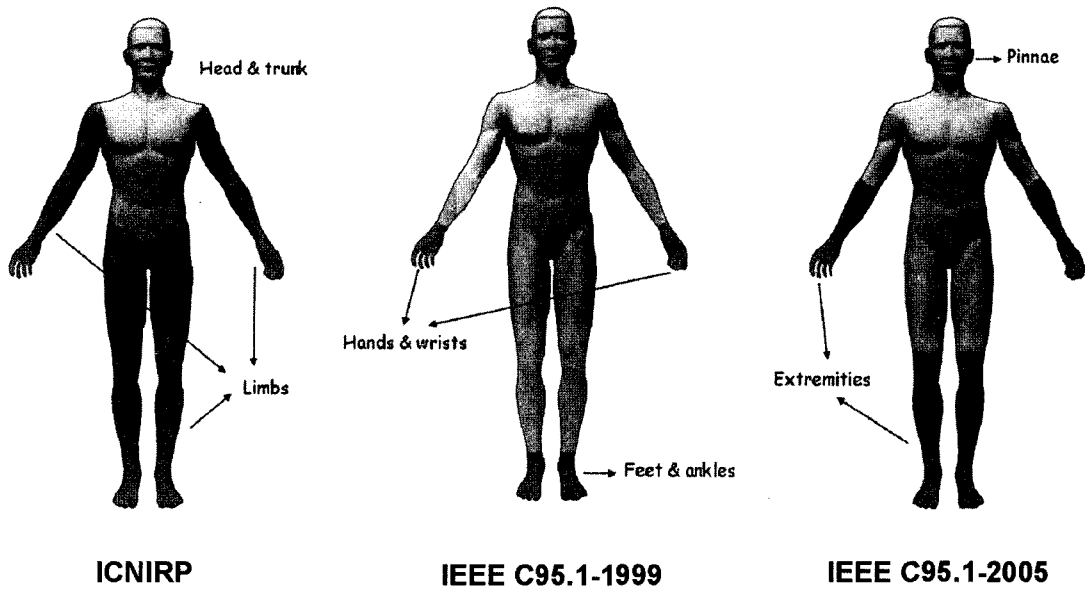
첫번째, SAR이 기본 한계로 정의되는 주파수 영역이 IEEE C95.1-1991에서 100 kHz~6 GHz였던 것이 IEEE C95.1-2005에서 100 kHz~3 GHz로 그 상한이 낮아졌다.

두번째, IEEE C95.1-1991에서는 국부 SAR 기준이 완화되는 신체 부위로 손과 발만 말단으로 적용했으나 IEEE C95.1-2005에서는 무릎과 팔꿈치 하단 및 컷바퀴를 말단에 포함시켜 그 범위가 조금 넓어졌다([그림 1]).

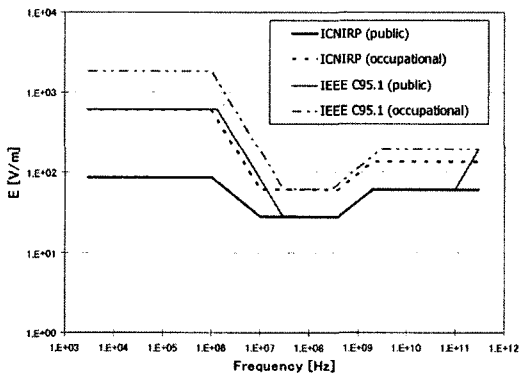
세번째, 일반인 노출 전자기장 강도 기준이 300 MHz~100 GHz 대역에서 ICNIRP와 동일하게 변경되었다. 직업인 노출의 경우 IEEE 기준이 여전히 전반적으로 더 높다([그림 2, 3]).

네번째, 직업인 노출 전자기장 강도 평균시간이 3 GHz 이하에서는 6분으로 기준과 같으나, 3 GHz 이상에서는 주파수의 함수로 이보다 짧은 시간으로 개정되었으며, 일반인에 대해서는 30분을 기준으로 주파수 구간별로 평균 시간을 달리하는 등 3 GHz 이상 전자기장 강도 기준의 평균시간에 일부 변화가 있었다.

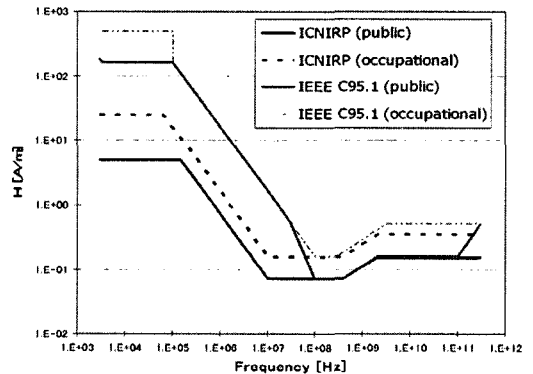
세번째, 유도 전류와 접촉 전류 기준이 정의되는



[그림 1] ICNIRP와 IEEE에서 정의하는 국부 SAR 부위의 비교



[그림 2] ICNIRP와 IEEE C95.1-2005의 전기장 노출 기준 비교



[그림 3] ICNIRP와 IEEE C95.1-2005의 자기장 노출 기준 비교

주파수 영역이 3 kHz~100 MHz에서 3 kHz~110 MHz로 바뀌었다.

네번째, 일반 대중(general public)을 의미하던 비관리 환경(uncontrolled environment)이라는 용어를 한계 수준(action level)으로 바꾸는 등 일부 용어의 변경이 있었다.

다섯번째, 신경과 근육의 전기자극 효과의 매커니즘을 고려하여 3 kHz~5 MHz 저주파 영역에서 기본 한계로 정의되는 물리량을 기존의 유도 전류 밀도에서 조직내(in-situ) 전기장으로 변경하였다.

III. 개정된 IEEE C95.1-2005와 ICNIRP 기준의 비교

앞장에서 살펴본 바와 같이 많은 개정이 있었음에도 불구하고 IEEE C95.1-2005와 ICNIRP 기준에는 다음과 같은 차이점이 존재한다.

첫번째, ICNIRP와 IEEE에서는 국부 SAR을 제한할 때 신체의 주요 기관이 존재하는 몸통과 머리에 대해서는 엄격한 기본 한계를 적용하지만 열의 방출이 쉽고 인체 영향이 적은 부위에 대해서는 각각 사지(limbs)와 말단(extremities)을 정의하여 완화된 국부 SAR 기준을 적용한다. ICNIRP에서는 팔과 다리 전체를 사지로 정의하고 있으며 IEEE C95.1-2005에서는 무릎과 팔꿈치 하단 및 컷바퀴를 말단에 포함시켜 그 범위가 다르다(그림 1).

두번째, SAR이 기본 한계로 정의되는 주파수 영역은 IEEE C95.1-2005의 경우 100 kHz~3 GHz로, 100 kHz~10 GHz를 채택하고 있는 ICNIRP와 큰 차이가 있다. 현재 IEC(International Electrotechnical Commission) 62209-2에서 300 MHz~6 GHz 대역 신체 착용형 기기의 SAR 측정 표준화 작용이 진행중이며, 향후 3 GHz 이상을 사용하는 정보 통신 기기의 등장 가능성 등을 고려할 때 IEEE의 상한 주파수인 3 GHz는 지나치게 낮은 것으로 보이며 향후 개정 동향을 지켜보아야 할 것이다.

세번째, 국부 SAR의 평균 시간은 ICNIRP 기준에서는 직업인과 일반인 모두 6분이다. IEEE C95.1-2005에서는 직업인의 경우 6분 평균이지만 일반인의 경우 주파수에 따라 평균 시간이 최대 30분까지 늘어날 수 있다. 전력 밀도와 전자기장 강도의 평균시간도 주파수 대역과 일반인/직업인 노출에 따라 ICNIRP와 IEEE C95.1-2005에 차이가 존재한다.

네번째, 국부 SAR의 평균 질량은 양쪽 모두 10 g으로 정의하고 있으나 ICNIRP의 경우 10 g의 인접한(contiguous) 조직으로 정의하고 있는 것에 비해 IEEE C95.1-2005에서는 10 g의 정방형 조직(tissue in a cube)으로 정의하는 미세한 차이가 있다.

다섯번째, ICNIRP 기준에서는 접촉전류 기준 레

벨을 점 접촉(point contact)에 대해서만 규정하고 있다. 그러나 IEEE 기준에서는 직업인에 대해 파악 접촉(grasping contact)과 점 접촉으로 나누어 구분하고 있으며 일반인에 대해서는 파악 접촉 전류 기준 레벨을 규정하지 않는다. IEEE의 경우, 점 접촉보다 파악 접촉에 대해 더 높은 접촉 전류를 허용하고 있다. 점 접촉 기준으로 접촉 전류 기준 레벨을 비교할 경우 일반인의 경우, ICNIRP가 조금 높으며 직업인의 경우 IEEE가 조금 높다.

여섯번째, 저주파 영역에서 기본 한계 물리량은 IEEE C95.1-2005에서는 앞절에서 밝힌대로 조직내 전기장으로 정의하지만 ICNIRP 기준에서는 유도 전류 밀도로 정의한다. 또한 IEEE의 경우, 두뇌, 심장, 말단, 기타 조직을 세분하여 생체 영향을 고려해 각각 다른 조직내 전기장 기본 한계값을 정의하나 ICNIRP의 경우 유도 전류 밀도에 대해 이와 같이 상세한 조직별 구분은 하지 않는다.

일곱번째, 일반인 노출 전자기장 강도 기준의 경우, 100 MHz 이하 대역에서 차이가 있으며 직업인 노출 기준의 경우 거의 전 영역에서 일치하지 않는다(그림 2, 3).

IV. 결 론

이번에 개정된 전자파 인체 보호 기준 IEEE C95.1-2005는 ICNIRP 기준과 조화를 추구하는 방향으로 나아가고 있다. 그 결과, 국부 SAR 기본 한계와 평균질량 등 많은 부분에서 ICNIRP 기준과 동일한 값을 채택하게 되었다. 그러나 전자기장 강도 기준, 국부 SAR 인체 부위, SAR의 주파수 영역 등에서 두 개의 표준은 아직 많은 차이점을 가지고 있다. 현재 ICNIRP에서는 WHO 등과 협의하여 2008년경 현재의 ICNIRP 기준을 보완/수정할 예정이나 그 정확한 시기는 정해지지 않았으며, 개정 폭도 기준의 근거를 일부 수정하는 등 소폭에 그칠 전망이다. 따라서 휴

대폰의 SAR 측정 표준인 IEC 62209-1과 IEEE 1528 이 완전히 동일한 기준으로 통일된 것과 같이 IEEE C95.1-2005와 ICNIRP 기준이 통일되는 데에는 아직 많은 노력이 필요할 것으로 생각되며 그 진행에도 많은 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(Up to 300 GHz)", 1998.
- [2] IEEE Std C95.1-2005, "IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz", 2006.
- [3] IEEE Std C95.1-1991, "IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz", 1991.
- [4] IEEE Std C95.6-2002, "IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0~3 kHz", 2002.
- [5] Association of Radio Industries and Businesses(ARIB) standard, "Radio frequency-exposure protection", Japan, 1999.
- [6] National Radiological Protection Board(NRPB), "Advice on limiting exposure to electromagnetic fields(0~300 GHz)", 2004.
- [7] Health Canada Safety Code 6, "Limits of human exposure to radio frequency electromagnetic fields in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz", 1999.
- [8] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency(ARPANSA), "Radiation protection standard: maximum exposure levels to radiofrequency fields - 3 kHz to 300 GHz", 2002.

≡ 필자소개 ≡

변진규



1995년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1997년: 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
 2001년: 서울대학교 전기공학부 (공학박사)
 2001년 3월~2003년 3월: 성균관대학교 정보통신기술연구소 선임연구원

2003년 4월~2005년 6월: Dept. ECE, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign Post-doc 연구원

2005년 7월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] 전자기장 수치해석, 전자소자 최적설계, 유도전류 해석, 전자파 인체 노출량 평가

이애경



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

전파방송연구단 전파기술연구그룹 책임연구원

[주 관심분야] EMC 현상의 이론적 해석, 전자파 인체 노출량 평가 등