

# RF 대역 전자계 노출기준의 타당성에 관한 연구

## Investigation of Validity of Exposure Limits for Electromagnetic Field in RF Band

백 정 기

Jeong-Ki Pack

### 요 약

인체보호를 위한 노출기준은 생물학적 영향을 근거로 유도전류밀도, 비흡수율 또는 전력밀도에 대한 기본 한계치를 결정한 다음 이를 전자계와 인체와의 결합 메카니즘을 고려하여 측정 가능한 전계와 자계강도로 변환함으로써 결정된다. 본 연구에서는 국내 노출기준 설정을 위한 연구의 일환으로 전자계의 인체 결합 메카니즘에 대한 지금까지의 연구결과를 토대로 대표적인 5개 기준의 기본 한계치로부터 도출된 전자계 노출기준치에 대한 타당성을 검토하고 각 기준의 문제점을 비교, 분석하였다.

### Abstract

Exposure limits for human protection are determined by converting basic limits for induced current, SAR(specific absorption rate), or power density, which are based upon biological effects, to measurable electric and magnetic field intensities. As a part of studies for the establishment of a domestic guideline for exposure limits, the validity of the exposure limits of five representative guidelines or standards, which are derived from basic limits, are investigated in this paper, using the published results for coupling mechanisms of electromagnetic field into a human body, and problems in each standard are analyzed and compared with each other.

### I. 서 론

전자계나 전자파가 인체에 미치는 영향은 인체에 흡수된 전자파 에너지에 의한 열작용, 전자계에 의해 인체 내에 유도된 전류에 의한 자극작용, 미약한 전자계의 장기간 누적효과에 의한 비열작용, 그리고 전계에 의해 대전된 물체와의 접촉이나 스파크 방전에 의한 쇼크 및 화상으로 대별할 수 있다.

서구권(舊 自由陣營圈)의 RF 대역 노출기준은 인체와 전자계 및 전자파의 상호작용으로 인한 단기효과에 기인한 유해한 영향, 즉 신경과 근육조직의 자극, 열 스트레스, 접촉에 의한 쇼크 및 화상을 방지할 목적으로 제정되었다. 노출기준치는 먼저 생물학적인 영향을 근거로 하여 유도전류밀도, 비흡수율(SAR), 또는 전력밀도에 대한 기본적인 한계치를 설정한 다음 이를 전자계와 인체와의 결합 메카니즘을 고려하여 측정 가능한 전계와 자계강도로 변환함으로써 결정된다. 또한 저주파 영역

충남대학교 전파공학과

· 논문 번호 : 990122-006

· 수정완료일자 : 1999년 4월 14일

에서 손발을 통해 흐르는 유도전류나 접촉전류에 대해서는 감지 임계치를 근거로 하여 별도의 기준을 설정하고 있다.

본 논문에서는 기본적인 한계치의 설정에 대한 생물학적인 근거 및 기본 한계치에 대해 간략히 살펴보고, 전자계의 인체 결합 메커니즘에 대한 지금까지의 이론적, 실험적인 연구결과들을 토대로 서구권의 대표적인 기준인 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 기준<sup>[1]</sup>, 미국의IEEE/ANSI 및 FCC 기준<sup>[2],[5]</sup>, 유럽의 CENELEC(European Committee for Electrotechnical Standardization)<sup>[3],[4]</sup>, 일본의 전파방호지침<sup>[6]</sup>의 기본 한계치로부터 도출된 전자계 노출기준치에 대한 타당성을 검토하고 각 기준의 문제점을 비교, 분석함으로써 국내의 노출기준 설정을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 생물학적 근거 및 기본 한계치

각 기준에서 채택하고 있는 기본 한계치 및 그에 대한 생물학적 근거를 요약하면 아래와 같다  
[1]~[6]

### 2-1 유도전류밀도

- 100 kHz 이하의 낮은 주파수 대역에서는 전류의 자극작용이 지배적이며 100 kHz에서 10 MHz 사이의 주파수 대역에서는 전류의 자극작용과 흡수된 전자파 에너지의 열작용이 동시에 수반되므로 이 주파수 대역에서는 전자파에 의해 유도된 인체 내부의 유도전류밀도를 기본 한계치로 설정함.
- 1 Hz에서 1 kHz 사이에서 전신노출에 의한 유도전류의 생물학적 영향은 표 1과 같은 것으로 보고됨.
- 동일한 자극작용을 일으키는 유도전류밀도의 값이 4 Hz 이하에서는 주파수에 반비례하고 1

표 1. 유도전류밀도의 생물학적 영향

Table 1. Biological effects of induced current density.

전류밀도 (mA/m <sup>2</sup> )	영 향
1 ~ 10	생물학적 영향이 무시 가능함
10 ~ 100	시각과 신경계에 영향을 미침
100 ~ 1000	중추신경계의 자극 전달성(excitability) 변화, 위해 가능성이 있음
1000 이상	비정상적 심장수축 및 심실 세동(細動, fibrillation) 유발, 명백한 위해가 있음

kHz 이상에서는 주파수에 비례함.

- CENELEC과 ICNIRP는 표 1의 흥분가능한 세포(excitable cell)에 대한 자극작용의 임계치 100 mA/m<sup>2</sup>를 1 kHz에 대한 임계치로 설정하고 여기에 안전계수 10을 고려하여 f/100 mA/m<sup>2</sup>(f는 Hz 단위)을 직업인에 대한 노출 한계치로 결정하였음.
- FCC는 측정상의 어려움을 이유로 유도전류밀도에 대한 제한치를 두지 않으며 IEEE/ANSI의 제한치는 ICNIRP에 비해 상당히 높음.

### 2-2 SAR

- SAR은 생체조직의 단위질량당 흡수되는 전자파 전력량을 나타내며 열작용에 대한 기본 한계치로 사용됨.
- 주변 온도 20~22°C, 상대습도 50%, 적절한 환기 조건하에서 가벼운 옷을 입은 건강한 사람은 체온을 1°C 이상 상승시키지 않으면서 4 W/kg에 해당되는 전자파 전력을 소모시킬 수 있음.
- 안전계수 10을 고려하여 0.4 W/kg을 직업인에 대한 전신평균 SAR의 기본 한계치로 설정함.
- 전신평균 SAR이 0.4 W/kg 이하이지만 국부 SAR은 매우 높을 수 있으므로 머리, 몸통부

표 2. 유도전류밀도에 대한 기본 한계치

Table 2. Basic limits for induced current density.

구 분		ICNIRP	CENELEC	IEEE	JAPAN	FCC
주파수 영역 (Hz)		$10^3 \sim 10^7$	$10^3 \sim 10^7$	$3 \times 10^3 \sim 10^5$	$3 \times 10^3 \sim 10^5$	-
한계치 (mA/m <sup>2</sup> )	직업인	f/100	f/100	0.35f	0.35f	-
	일반인	f/500	f/250	0.157f	0.157f	-

표 3. SAR에 대한 기본 한계치

Table 3. Basic limits for SAR.

구 분		ICNIRP	CENELEC	IEEE	JAPAN	FCC
노출안전기준의 주파수 범위(Hz)		$0 \sim 3 \times 10^{11}$	$0 \sim 3 \times 10^{11}$	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^{11}$	$10^4 \sim 3 \times 10^7$	$3 \times 10^5 \sim 10^{11}$
SAR이 기본한계치인 주파수 범위(Hz)		$10^5 \sim 10^{10}$	$10^4 \sim 3 \times 10^{11}$	$10^5 \sim 6 \times 10^9$	$10^5 \sim 3 \times 10^9$	$3 \times 10^5 \sim 6 \times 10^9$
전신평균(W/kg)		0.4(0.08)	0.4(0.08)	0.4(0.08)	0.4(0.08)	0.4(0.08)
국부(손목, 발목)(W/kg)		20(4)	20(4)	20(4)	20(4)	20(4)
국부(머리, 몸통)(W/kg)		10(2)	10(2)	8(1.6)	10(2)	8(1.6)
국부치 계산을 위한 조직 질량(g)		10	10	1(머리, 몸통) 10(손목, 발목)	10(국부흡수지침) 1(기초지침)	1(머리, 몸통) 10(손목, 발목)

(주) 1. SAR 값 중에서 ( ) 안의 수치는 일반인에 대한 값을 나타냄.

2. ICNIRP이나 CENELEC과 같이 유도전류밀도와 SAR에 대한 기본 한계치가 동시에 설정된 주파수 대역에서 전자계에 대한 노출기준치가 두 기본 한계치를 모두 만족시켜야 함.

표 4. 전력밀도에 대한 기본 한계치

Table 4. Basic limits for power density.

구 분		ICNIRP	CENELEC	IEEE	JAPAN	FCC
주파수 영역(Hz)		$10^{10} \sim 3 \times 10^{11}$	-	$6 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$	$3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$	$6 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$
한계치 (W/m <sup>2</sup> )	직업인	50	50 (2~150 GHz) $0.0003334 f$ (150~300 GHz)	100	50	50
	일반인	10	10 (2~150 GHz) 6.675 (150~300 GHz)	f/150 (6~15 GHz) 100 (15 GHz 이상)	10	10

(주) 1. CENELEC에서는 전력밀도가 기본 한계치로 사용되고 있지 않으며 표에 주어진 수치는 전력밀도에 대한 노출기준치를 나타냄.

2. 표에서 f의 단위는 MHz임.

분은 전신평균치의 20~25배, 열작용의 영향이 비교적 적은 사지(四肢)부분(손, 손목, 발, 발목)은 50~62.5배의 값을 국부 SAR의 한계치로 설정함.

### 2-3 전력밀도

- 수 GHz 이상의 주파수 대역에서는 에너지 흡수가 피부근처에서만 일어나므로 CENELEC을 제외한 기준에서는 인체가 위치할 공간에 대한 전력밀도를 기본 한계치로 설정하고 있음.
- 35 GHz 및 107 GHz의 주파수에서 전력밀도가 100~500 W/m<sup>2</sup>인 전자파에 노출되었을 때 토끼의 각막상피에서 전자파를 조사하지 않았을 경우에도 발견되는 정도의 일과성 장애가 관찰되었으며 1000 W/m<sup>2</sup>를 초과하면 일과성이 아닌 장애가 발생할 수 있음.
- 피부의 열 감각 임계치는 87 W/m<sup>2</sup>이며 열통증의 임계치는 25000 W/m<sup>2</sup>임.
- 안전계수를 고려하여 IEEE에서는 100 W/m<sup>2</sup>, 다른 기준에서는 50 W/m<sup>2</sup>를 직업인에 대한 기본 한계치로 설정함.

## Ⅲ. 전자계 노출기준에 대한 타당성 분석

전 절에서 기술한 기본 한계치 중에서 유도전류밀도와 SAR은 인체 내부에서의 값을 나타내므로 노출기준치는 측정이 용이한 인체가 위치하게 될 공간상의 전계 및 자계로 주어진다. 또한 각 노출기준에서 약 10 MHz 이상의 주파수에서는 전력밀도에 대한 노출기준치도 동시에 주어지며, 이 주파수 대역에서는 통상의 노출환경이 원거리장 영역에 놓이게 되므로 전계, 자계 및 전력밀도에 대한 노출기준치 사이의 관계는 자유공간에서의 평면파 관계식을 만족시킨다.

전계 및 자계에 대한 노출기준치를 설정하기 위

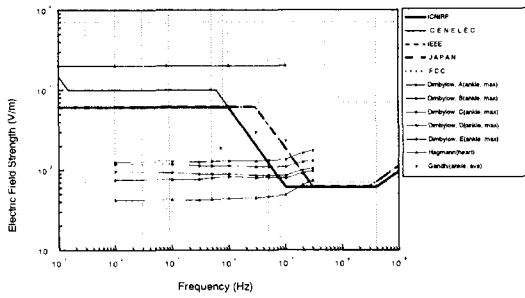
해서는 입사한 전계, 자계 또는 전력밀도에 따른 인체내부의 SAR 및 유도전류밀도의 크기를 알아야 한다. 이를 위해 16개의 측정 및 이론적인 연구에 관한 문헌을 검토하였다. 이 문헌들에서는 특정한 주파수 및 입사 전자계 또는 전력밀도 값에 대한 유도전류밀도 및 SAR 값이 주어져 있기 때문에, 각 노출기준치와 비교하기 위해서는 각각의 주파수에서 주어진 기본 한계치에 대한 전계 및 자계값으로 변환시킨 다음 비교하여야 한다. 변환시 유도전류밀도는 주파수, 전계강도 또는 자계강도에 선형적으로 비례하고, SAR은 전력밀도 또는 전계 및 자계의 절대값의 자승치에 비례한다는 사실을 이용하였다.

표 2와 표 3에서 알 수 있듯이 각 기준의 기본 한계치가 다르므로 변환된 결과를 동일 그래프상에서 비교하기가 어렵다. 따라서 유도전류밀도는 CENELEC 기준, SAR은 CENELEC/ICNIRP/JAPAN 기준의 기본 한계치를 사용하여 변환하였다. 그리고 특별한 언급이 없는 한 성인에 대한 데이터는 신장 1.75 m, 체중 70 kg을 기준으로 한 것이다.

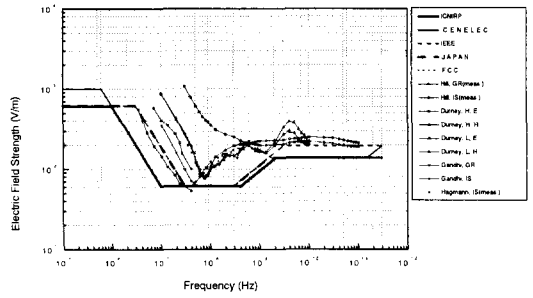
### 3-1 전계에 대한 노출기준

#### 3-1-1 유도전류밀도

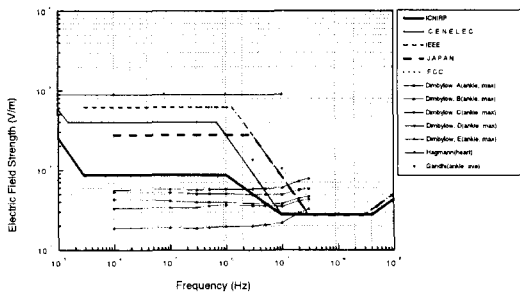
전계에 의한 유도전류밀도에 대한 측정치 및 이론치를 표 2에 주어진 유도전류밀도를 만족시키도록 변환시킨 결과는 그림 1과 같다. 그림에서 변환된 값보다 노출기준치가 높은 경우는 노출기준에 주어진 전계 제한치에 의한 유도전류밀도의 값이 전자계로의 변환에 사용된 기본 한계치를 초과함을 의미한다. 그림 1에서 Hagmann<sup>[15]</sup>의 데이터는 심장부위의 시뮬레이션 데이터이다. Dimbylow<sup>[13]</sup>의 데이터는 무릎 아랫부분만을 모델링하여 시뮬레이션한 것으로서 5개의 서로 다른 인체 모델에 대한 결과가 상당히 다르며, Gandhi<sup>[7]</sup>의 측정치와 비교할 때 변환된 전계값이 더 낮게 나타나고 있다.



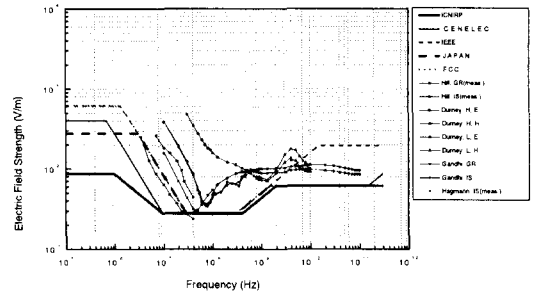
(a) 직업인



(a) 직업인



(b) 일반인



(b) 일반인

그림 1. 유도전류밀도 한계치를 만족시키는 전계강도 및 노출기준

Fig. 1. Electric field strength which satisfies the induced current density limit, and exposure limits.

Dimbylow와 Gandhi의 데이터는 발목을 통해 흐르는 유도전류와 관계되며 각 기준의 전계 제한치보다 상당히 낮은 값을 가지지만 각 기준에서는 발목을 통해서 흐르는 유도전류에 대한 제한치를 별도로 설정하고 있기 때문에 문제가 없다<sup>[16]</sup>. 실제 인체에 대한 영향이 큰 유도전류는 심장부위의 것으로서, 그림에 보인 바와 같이 모든 기준의 전계 제한치가 Hagmann의 데이터로부터 변환된 값 이하로 설정되어 유도전류밀도에 대한 기본 한계치를 잘 만족시키고 있다.

### 3-1-2 SAR

그림 2는 전신평균 SAR에 대한 측정치 및 이론

그림 2. 전신평균 SAR 한계치를 만족시키는 전계강도 및 노출기준-I

Fig. 2. Electric field strength which satisfies the whole-body averaged SAR limit, and exposure limits-I.

치를 표 3에 주어진 기본 한계치를 만족시키도록 변환시킨 결과이다. Durney의 데이터는 장구형(長球形, prolate spheroid) 모델에 대한 계산치이며, (H,E)는 균질모델, E-편파, (L,H)는 다층모델, H-편파를 나타낸다<sup>[9],[12],[21]</sup>. Gandhi의 이론치<sup>[11]</sup>는 균질모델(block model)과 모멘트법을 사용하여 구한 것으로 GR은 접지상태, IS는 비접지상태를 나타낸다. 비접지조건에 대한 Hagmann의 측정치<sup>[10]</sup>는 이론치와 잘 일치하고 있다. Hill의 측정치는 대형 TEM-cell 내에서 인체를 대상으로 하여 반사전력과 투과전력을 측정함으로써 구한 값이다.

그림 2에서 직업인의 경우 ICNIRP 및 CENELEC 기준은 모든 측정치 및 계산치를 잘 만족시키고 있으나 IEEE, FCC 및 JAPAN 기준의 전계

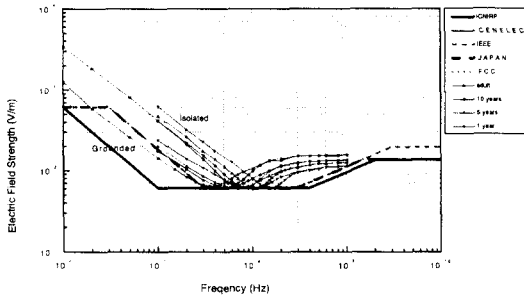
제한치는 약 40 MHz 이하에서 Hill의 접지된 상태의 측정 데이터보다 약간 높게 설정되어 있다. 일반인의 경우 IEEE 기준은 4~6 GHz 영역에서 전계 기준치가 다소 높게 설정되어 있다.

그림 3은 Dimbylow가 최근 전신평균 SAR에 대해 176 cm, 73 kg의 표준인체를 900만 voxel과 37종의 조직으로 모델링하고 FDTD법을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 변환시킨 것이다<sup>[22]</sup>. 그림에서 알 수 있듯이 인체의 신장이 입사 전자파 파장의 약 1/2 일 때는 공진이 일어나 에너지 흡수가 크게 되며 이러한 주파수 영역을 공진영역이라 한다. 공진영역에서는 모든 기준이 SAR 한계치와 동일한 값을 가지나 공진영역을 벗어난 1 GHz 이상의 대역에서는 Dimbylow의 데이터를 외삽(extrapol-

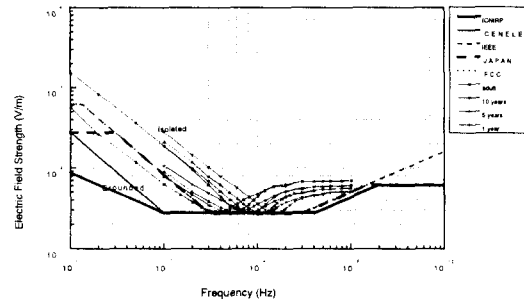
ation) 했을 때 모든 기준의 전계기준치가 다소 높게 설정되었을 가능성이 있다. 그리고 성인의 데이터를 기준으로 할 때 30 MHz 이하 대역에서 ICN-IRP와 CENELEC을 제외한 다른 기준은 전계 제한치가 다소 높다.

그림 4는 발목 부위에 대한 Dimbylow<sup>[13],[18]</sup> 및 Hagmann<sup>[15]</sup>의 시뮬레이션 데이터와 Gandhi의 계산치<sup>[14]</sup> 및 측정치<sup>[7],[16],[21]</sup>를 표 3의 국부 SAR 한계치를 사용하여 변환한 결과이다. 앞에서 논의한 바와 같이 100 MHz 이하의 영역에서 전계 제한치가 높은 부분이 있으나 100 MHz 이하의 주파수 영역에서는 발목을 통해 흐르는 유도전류에 대해 별도의 기준을 설정하고 있기 때문에 문제가 없다.

그림 5는 머리, 몸통 부위에 대한 측정치 및 계



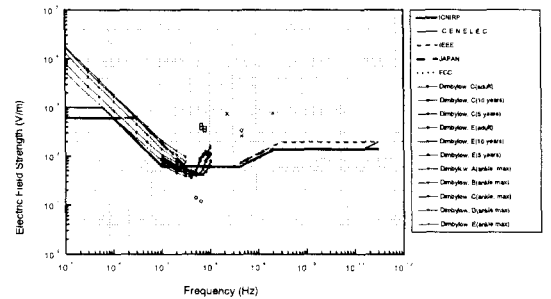
(a) 직업인



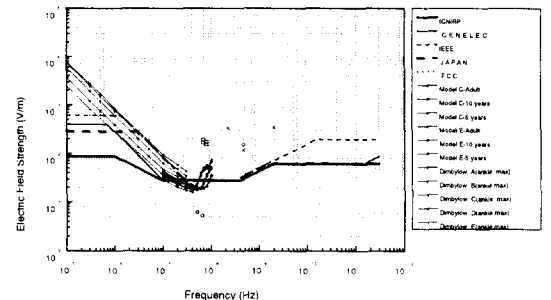
(b) 일반인

그림 3. 전신평균 SAR 한계치를 만족시키는 전계강도 및 노출기준-II

Fig. 3. Electric field strength which satisfies the whole-body averaged SAR limit, and exposure limits-II.



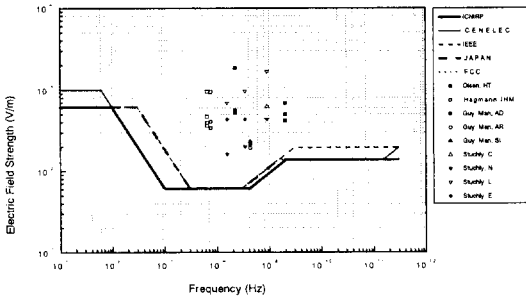
(a) 직업인



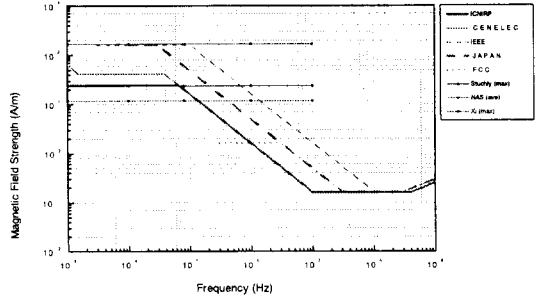
(b) 일반인

그림 4. 손목, 발목의 국부 SAR 한계치를 만족시키는 전계강도 및 노출기준

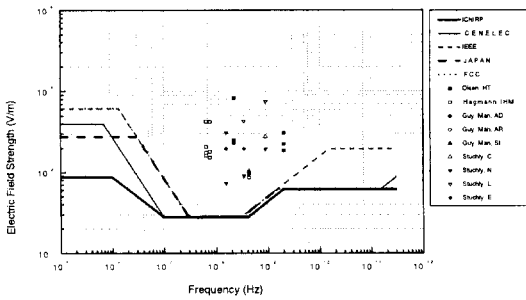
Fig. 4. Electric field strength which satisfies the local SAR limit for wrists and ankles, and exposure limits.



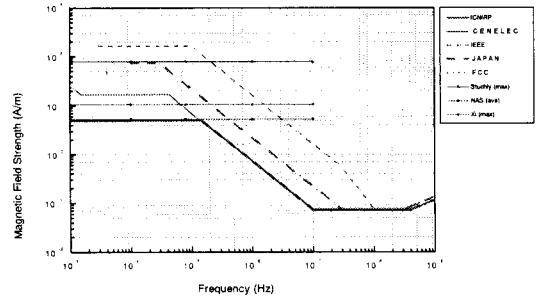
(a) 직업인



(a) 직업인



(b) 일반인



(b) 일반인

그림 5. 머리, 몸통의 국부 SAR 한계치를 만족시키는 전계강도 및 노출기준

Fig. 5. Electric field strength which satisfies the local SAR limit for head and torso, and exposure limits.

그림 6. 유도전류밀도 한계치를 만족시키는 자계강도 및 노출기준

Fig. 6. Magnetic field strength which satisfies the induced current density limit, and exposure limits.

산치<sup>[15]-[17],[21]</sup>들을 변환시킨 것이다. 이 경우는 전계 제한치가 국부 SAR 한계치를 잘 만족시키고 있다.

### 3-2 자계에 대한 노출기준

#### 3-2-1 유도전류밀도

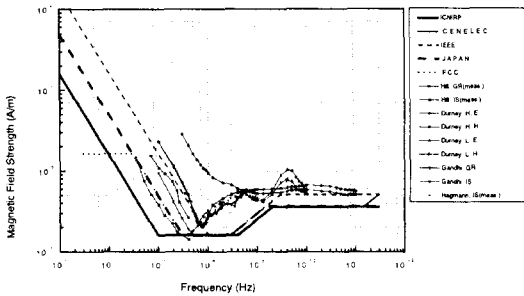
그림 6은 자계에 의한 유도전류밀도<sup>[11],[19],[20]</sup>를 표 2의 한계치를 만족시키도록 변환시킨 것이다. 그림에서 Xi의 데이터는 유도전류밀도의 최대치를 나타낸 것이며 Stuckly로 나타낸 데이터는 모델링의 불확실성에 대한 추가의 안전계수가 고려된 것이다.

직업인의 경우 FCC 기준은 모든 데이터를 만족시키며 ICNIRP의 자계 제한치는 Xi와 NAS(National Academy of Science) 데이터를 만족시키나 Stuckly의 데이터보다는 높게 설정되어 있다. 그리고 CENELEC, IEEE 및 JAPAN의 자계 제한치는 NAS의 데이터를 만족시키나 Xi와 Stuckly의 데이터 보다는 높다.

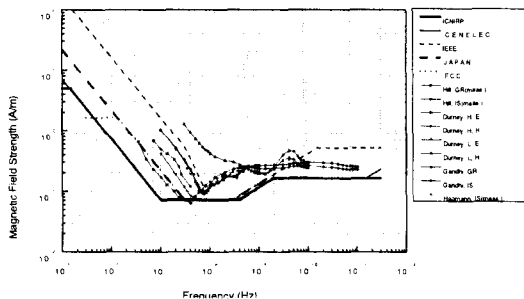
일반인의 경우 ICNIRP와 FCC 기준은 모든 데이터를 만족시키나 IEEE의 자계 제한치는 NAS의 데이터보다도 높은 값을 가진다. 그리고 CENELEC 및 JAPAN 기준은 직업인의 경우에서와 마찬가지로 NAS의 데이터는 만족시키나 Xi와 Stuckly 데이터는 만족시키지 못하고 있다.

3-2-2 SAR

전신평균 SAR에 대한 자계 제한치는 IEEE 기준이 전계에서와는 달리 100 MHz 이하 대역에서 JAPAN 및 FCC 기준보다 높게 설정되어 있어서 직업인의 경우 Hill의 측정치 및 Gandhi 접지상태에 대한 데이터를 만족시키지 못하고 있으며, 일반인의 경우는 Durney의 일부 데이터 까지도 만족시키지 못하고 있다. JAPAN과 FCC 기준의 자계 제한치는 전계에서와 마찬가지로 Hill의 접지상태에 대한 측정치로부터 변환된 값 보다 약간 높게 설정되어 있다. ICNIRP과 CENELEC 기준은 모든 데이터를 잘 만족시키고 있다.



(a) 직업인



(b) 일반인

그림 7. 전신평균 SAR 한계치를 만족시키는 자계강도 및 노출기준

Fig. 7. Magnetic field strength which satisfies the whole-body averaged SAR limit, and exposure limits.

손목, 발목에 대한 국부 SAR은 전계의 경우와 비슷한 경향을 보이며 머리, 몸통에 대한 결과도 SAR 한계치를 잘 만족시킴을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 외부의 전계, 자계 및 전자파에 기인한 인체내의 유도전류밀도와 SAR에 대한 실험과 이론 연구 결과를 토대로 RF 대역 전자계 노출기준에 대한 타당성을 분석하고 대표적인 노출기준들을 비교, 검토하였다.

검토한 5개 기준의 유도전류밀도에 대한 기본 한계치는 다소의 차이가 있으나 SAR에 대한 한계치는 거의 같다. 먼저 ICNIRP의 전자계 노출기준은 5개 기준 중에서 가장 낮으며 모든 측정치와 이론치에 대해 기본 한계치를 잘 만족시키고 있다. 단, SAR을 기본 한계치로 정의한 하한주파수 1 GHz에서부터 상한주파수인 10 GHz 까지의 대역에서 유아 및 소아에 대하여 전자계에 대한 노출기준이 다소 높게 설정되었을 가능성이 있다. CENELEC 기준은 ICNIRP와 비슷하나 기준치가 다소 높은 부분들이 있고, 특히 10 kHz 이상의 전 주파수 대역에서 SAR을 기본 한계치로 설정한 점이 특이하다.

IEEE, FCC 및 JAPAN 기준은 서로 유사하며 앞에서 살펴본 바와 같이 노출기준치가 ICNIRP이나 CENELEC 기준에 비해 높고 기본 한계치를 만족시키지 못하는 부분이 많다. IEEE는 특히 일반인의 경우 기준치가 FCC나 JAPAN에 비해 높게 설정되어 있다. 앞으로 이 기준들은 보다 면밀한 검토 과정을 거쳐 보완작업이 이루어 질 것으로 생각되며 전술한 점들을 고려할 때 현 시점에서는 ICNIRP 기준이 가장 결함이 없는 것으로 판단된다.



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/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.
- [3] CENELEC, *Human Exposure to Electromagnetic Fields-Low Frequency(0 Hz to 10 kHz), DD ENV 50166-1*, 1995.
- [4] CENELEC, *Human Exposure to Electromagnetic Fields-High Frequency(10 kHz to 300 GHz), DD ENV 50166-2*, 1995.
- [5] FCC, *Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation(FCC 96-326)*, 1996.
- [6] 이정성 전기통신기술심의회(일본), 무선복사 보호지침, 1997.
- [7] O. P. Gandhi, J. Y. Chen, and A. Riazi, "Currents Induced in a Human Being for Plane-Wave Exposure Conditions 0~50 MHz and for RF Sealers," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 33, no. 3, pp. 757-767, 1986.
- [8] D. A. Hill and J. A. Walsh, "Radio-Frequency Current through the Feet of a Grounded Human," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 27, no. 1, pp. 18-23, 1985.
- [9] H. Massoudi, C. H. Durney, and C. C. Johnson, "A Geometrical-Optics and an Exact Solution for Internal Fields in and Energy Absorption by a Cylindrical Model of Man Irradiated by an Electromagnetic Plane wave," *Radio Sci.*, vol. 14, no. 65, pp. 35-42, 1979.
- [10] M. J. Hagmann, O. P. Gandhi, and C. H. Durney, "Numerical Calculation of Electromagnetic Energy Deposition for a Realistic Model of Man," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 27, no. 9, pp. 804-809, 1979.
- [11] O. P. Gandhi, M. J. Hagmann, and J. A. d' Andrea, "Part-Body and Multibody Effects on Absorption of Radio Frequency Electromagnetic Energy by Animals and by Models of Man," *Radio Sci.*, vol. 14, no. 65, pp. 15-21, 1979.
- [12] C. H. Durney, "Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals : A Review of Theoretical and Numerical Techniques," *Proc. IEEE*, vol. 68, no. 1, pp. 33-40, 1980.
- [13] P. J. Dimbylow, "The Calculation of Induced Currents and Absorbed Power in a Realistic, Heterogeneous Model of the Lower Leg for Applied Electric Fields from 60 Hz to 30 MHz," *Phys. Med. Biol.*, vol. 33, no. 12, pp. 1453-1468, 1988.
- [14] O. P. Gandhi and A. Riazi, "Absorption of Millimeter Waves by Human Beings and Its Biological Implications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 34, no. 2, pp. 228-235, 1986.
- [15] M. J. Hagmann and O. P. Gandhi, "Numerical Calculation of Electromagnetic Energy Deposition in Models of Man with Grounding and Reflector Effects," *Radio Sci.*, vol. 14, no. 65, pp. 23-29, 1979.
- [16] A. W. Guy, C. K. Chou, and B. Neuhaus, "Average SAR and SAR Distributions in Man Exposed to 450 MHz Radiofrequency Radiation," *IEEE Trans. Microwave Theory*

*Tech.*, vol. 32, no. 8, pp. 752-763, 1984.

[17] S. S. Stuchly, et al., "RF Energy Deposition in a Heterogeneous Model of Man : Far-Field Exposure, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 34, no. 12, pp. 951-957, 1987.

[18] P. J. Dimbylow, "Finite-Difference Time-Domain Calculations of Absorbed Power in the Ankle for 10-100 MHz Plane Wave Exposure," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 38, no. 5, pp. 423-428, 1991.

[19] M. A. Stuchly and W. Xi, "Modelling Induced Currents in Biological Cells Exposed to Low-Frequency Magnetic Fields," *Phys. Med. Biol.*, vol. 39, pp. 1319-1330, 1994.

[20] W. Xi and M. A. Stuchly, "High Spatial

Resolution Analysis of Electric Currents Induced in Men by ELF Magnetic Fields," *Appl. Comput. Electromagn. Soc. J.*, vol. 9, pp. 127-134, 1994.

[21] H. Garn and C. Gabriel, "Present Knowledge about Specific Absorption Rates inside a Human Body Exposed to Radiofrequency Electromagnetic Fields," *Health Phys.*, vol. 68, no. 2, pp. 147-156, 1995.

[22] P. J. Dimbylow, "FDTD Calculations of the Whole-Body Averaged SAR in an Anatomically Realistic Voxel Model of the Human Body from 1 MHz to 1 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol. 42, pp. 479-490, 1997.

백 정 기



1978년: 서울대학교 전자공학과(공학사)  
 1984년: Virginia Tech.(공학석사)  
 1988년: Virginia Tech.(공학박사)  
 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학연구소  
 1988년 10월~1989년 2월: 한국전자

통신연구원

1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과  
 1995년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 부교수  
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 초고주파 회로