

# 한국전자파학회의 전자기장 노출에 대한 인체보호 기준 분석

1999. 7. 8.

김 남

충북대학교 전기전자공학부

## 차 례

1. 준비과정 중의 논쟁 항목
2. 전자기장 노출에 대한 인체보호 기준 제정 - 접근방법
3. ICNIRP 기준안 개요
4. 노출 한계치의 근거
5. 한국전자파학회 전자기장 노출에 대한 인체 보호기준(안)
6. 전자기장 안전기준 주체기관 및 사례
7. 결 론



## 1. 준비과정 중의 논쟁 항목

### 1) 주파수 대역

- 가. 60Hz 포함/미포함
- 나. 기준안을 2개로 분리/통합
- 다. 주파수 대역의 하한/상한

### 2) 기본 한계 결정 방식

- 가. 생물학적 영향에 대한 실험 및 역학 조사
- 나. 인체 유해 여부
- 다. 컴퓨터 시뮬레이션
- 라. **Guidelines and Documents Reviews**

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

### 3) 기준안 형태의 고려 사항

- 가. 어느 국가 기준이 합당한가?
- 나. 국제 기준/지역 기준은 없는지?
- 다. 강제기준(regulation)/지침서 또는 권고안(guideline)

### 4) 열적 효과(thermal effect)와 비열 효과(athermal effect)

- 가. 열적 효과만 고려

### 5) 기준안 내용/서술 형식 비교

### 6) 국내 전자기장 환경 측정

### 7) 기준과 측정 데이터와의 상관관계

## 인체 권고기준치 설정시 고려사항

유의 사항	내 용
건강영향평가	과학적 타당성과 신뢰성의 확보
합리성과 현실성	발생량과 발생위의 현황파악 대상인의 노출현황 파악 예산 및 보상기준, 경제성의 확보 담당 부서와 협조체계의 수행
측정의 표준화	<b>Wire Configuration Code(WCC) 작성법</b> <b>Spot measurement</b> 와 <b>24-hour monitoring</b> <b>Exposure parameter</b> 의 개발(누적노출량, 순간 최대 노출 빈도, 시간평균노출량 등)
규제대상의 차별	일반인과 근로자의 구분; 아동 및 노약자에 대한 고려 전자 및 전기의료 장기 사용자에 대한 고려 기존 및 신설 송 배전선에 대한 차별 기존 및 신종 가전제품 등에 대한 차별규제

## Hill(1965)이 제안한 인과성 검증을 위한 고려사항

1. 상관성의 정도 (Strength of association)	역학 연구에서 상관성의 크기를 표시하는 '질병 발생위험도 (Ratio of incidence rates; Relative risk)'로서 상관성정도를 평가한다.
2. 일관성(Consistency)	동일한 상관성이 여타의 인구집단이나 시기, 장소를 대상으로 한 연구에서 평가되어야 한다.
3. 특이성(Specificity)	연구대상의 위해 요인에 대하여 비특이적인 여러 건강장애가 나타나기보다는 특이적으로 한가지 유형의 건강장애가 나타난다.
4. Temporality	원인이 결과에 우선하여야 한다.
5. 용량반응 관계(Biologic gradient; Dose-response relationship)	위해 요인의 양적 수준과 건강장애의 양상이 용량반응의 관계를 보여야 한다.
6. Biologic plausibility and coherence	기존의 밝혀진 이론의 틀과 크게 벗어나지 않아야 한다.
7. 실험적 증거 (Experimental evidence)	항상 일치하는 것은 아니지만 동물실험 등의 결과와 동일한 효과를 보인다.
8. 상이성(Analogy)	대상이 되는 물질 또는 요인과 비슷한 화학구조 또는 성질을 지닌 다른 요인으로 인한 건강장애의 기전이 알려져 있다.



## 2. 전자기장 노출에 대한 인체보호 기준 제정 - 접근방법

### 1) Reviews of papers, reports, documents and guidelines

- 1992년 ANSI/IEEE : 321편의 Papers Review
- 1986년 NCRP : 약 1,000 Reports Review
- 1990년 일본 우정성 : 156편의 Papers Review
- 1996년 NRC/NAS : 17년간 이루어진 약 500편의 연구결과 Review
- 1998년 ICNIRP : 206개의 references

### 2) 최근 연구동향 및 발표자료에 대한 체계적인 수집 및 분석

현재 제정된 국제 및 각국 기준에서 가장 낮은  
기준치를 갖고 있는 ICNIRP를 참조

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

## 3. ICNIRP 기준안 개요

### 1) IRPA

- ⚡ K.Z. Morgan from Health Physics Society(USA)  
1964 in Paris, 15 Health Physics or Radiation Protection  
Societies 45 delegates 참석
- ⚡ International Radiation Protection Association(IRPA)  
현재 37 Associate Societies in 42 different countries  
( more than 16,000 individual members)

### 2) ICNIRP

- ✍ 1974 IRPA - NIR(Non-Ionizing Radiation)  
Working Group
- ✍ 1977 IRPA Congress in Paris  
\* IRPA/INIRC(International Non-Ionizing  
Radiation Committee)
- ✍ 1992 INIRC --> ICNIRP(International Commission  
Non-Ionizing Radiation Protection)



### 3) ICNIRP Guidelines Publications

- ⚡ - **Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields, Health Physics, Vol. 66, No. 1, pp 113-122, 1994.**
- ⚡ - **Health Issues Related to the Use of Hand-held Radiotelephones and Base Transmitters, Health Physics, Vol. 70, No. 4, pp. 587-593, 1996.**
- ⚡ - **Guidelines on Limits of Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields(up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494-522, 1998.**

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

## 4. 노출 한계치의 근거

\* 생물체와 시변 전자기장과의 결합구조

### 1) 직접 결합구조

- ⚡ 저주파 전장과의 결합
- ⚡ 저주파 자장과의 결합
- ⚡ 전자장으로부터의 에너지 흡수





### 2) 간접 결합구조

- ⚡ 인체가 다른 전위를 갖고 있는 물체와 접촉할 때 흐르는 접촉전류(즉 EMF에 의해 인체나 물체가 대전되어 있을 때)
- ⚡ 인체에 이식되거나 착용하고 있는 의료장비에 EMF의 결합 (이 문서에서는 고려되지 않음.)






## 5. 한국전자파학회 전자기장 노출에 대한 인체 보호기준(안)

### 1) 본 기준의 특징

-  전 주파수 대역 1 Hz ~ 300 GHz  
(전력선 60 Hz 포함)
-  직업인과 일반인 기준 구별
-  노출기준 근거 및 참고문헌 표시
-  보호방법 설명

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

-  현재 나와 있는 국제 및 국가 기준 중 최저값 채용
  - 60 Hz : 가장 낮은 값
  - RF : 가장 낮은 값
-  국부 SAR의 평균 질량으로 임의 10 g의 연속적인 조직
-  다중 주파수 동시 노출에 대한 내용



## 2) 전자기장 노출에 대한 인체 보호 기준(안)

목 차

머리말

제 1 장 개요 및 목적

제 2 장 용어 및 단위

제 1 절 용어

제 2 절 물리량과 단위

제 3 장 노출 제한의 근거

제 1 절 전자기장과 에너지 흡수

제 2 절 100 kHz 이하 주파수에 대한 노출 제한의 근거

제 3 절 100 kHz에서 300 GHz까지의 노출 제한의 근거

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

제 4 장 기본적인계와 기준레벨

제 1 절 기본적인계

제 2 절 기준레벨

제 3 절 접촉전류와 유도 전류에 대한 기준 레벨

제 4 절 다중 주파수 전자기장에 대한 동시 노출

제 5 장 보호방법

참고문헌



### 3) 노출 한계치의 근거

#### \* 기본 한계(Basic Restrictions):

- ⚡ 확립된 건강 영향과 직접적으로 관련이 있는 시변 전장, 자장, 전자기장의 노출 한계치
- ⚡ 주파수에 의존하는 장(field)의 기본 한계치들을 명확히 표현하기 위한 물리적 양들 : 전류밀도(J), 비흡수율(SAR), 전력밀도(S)

KEES

1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

#### \* 기준 레벨(Reference Level):

- ⚡ 기본 한계치들의 초과 여부를 판단하기 위해 실질적 노출 추정치를 목적으로 제공되는 것
- ⚡ 일부 기준 레벨들은 측정을 통하거나 수치적 계산을 이용하여 기본 한계치로부터 유도
- ⚡ 유도된 양: 전장강도(E), 자장강도(H), 자속밀도(B), 전력밀도(S), 사지를 통과하는 전류( $I_{sub L}$ )
- ⚡ 인지력과 여타의 간접적인 영향들을 나타내는 양: 접촉전류( $I_{sub C}$ ), 펄스신호는 비흡수(SA)로 표현



시변 전자계에 대한 일반인의 노출 참조 레벨(평형상태의 rms 값)

주파수 범위	전기장 강도 (Vm-1)	자기장 강도 (Am-1)	자속밀도 (μT)	등가 평면파 전력밀도 $S_{eq}$ (W m <sup>-2</sup> )
1Hz 까지	-	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
1 ~ 8Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 ~ 25Hz	10 000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025 ~ 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8 ~ 3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3 ~ 150 kHz	87	5	6.25	-
0.15 ~ 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
1 ~ 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-
10 ~ 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 ~ 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 / f^{1/2}$	$f / 200$
2 ~ 300 GHz	61	0.16	0.20	10

충북대학교 전기전자공학부

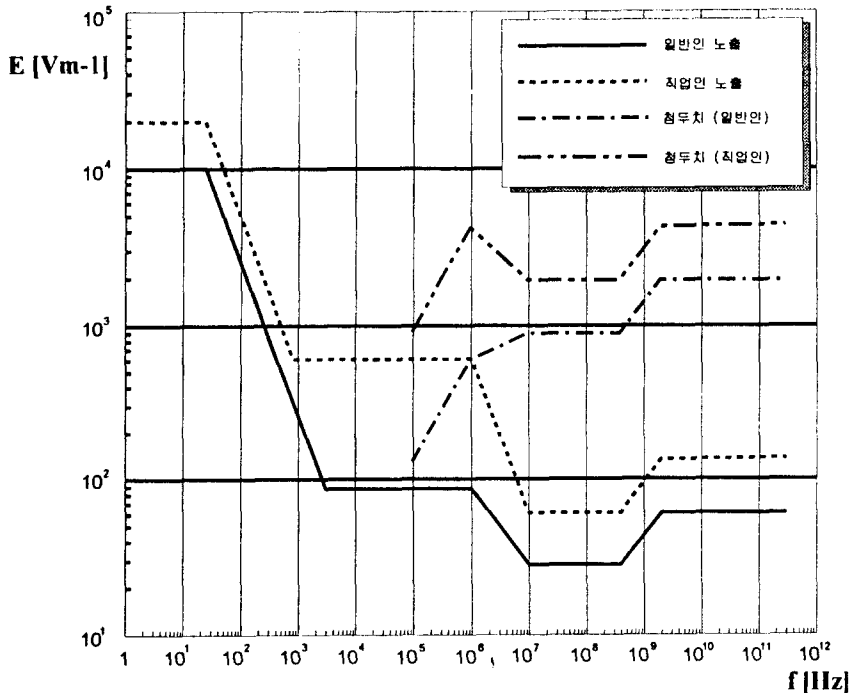


그림 1. 시변 전자기장의 노출 기준레벨

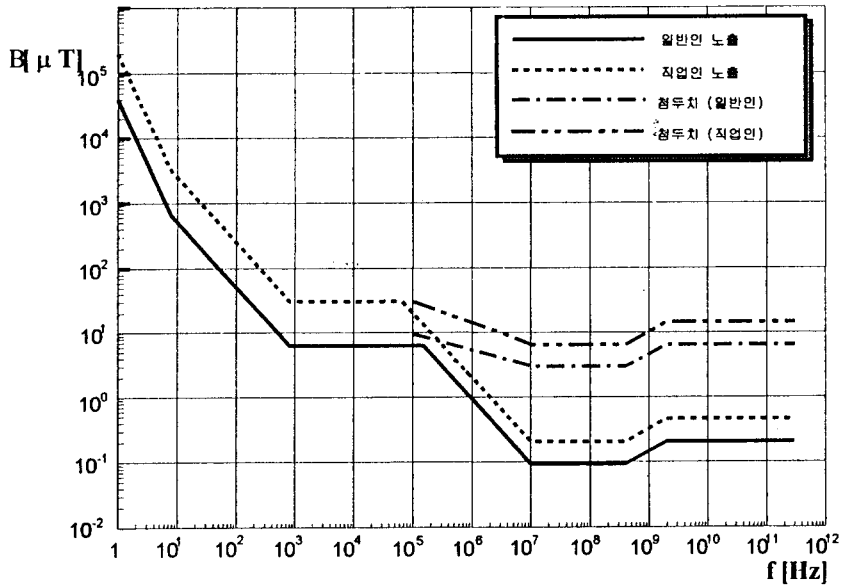
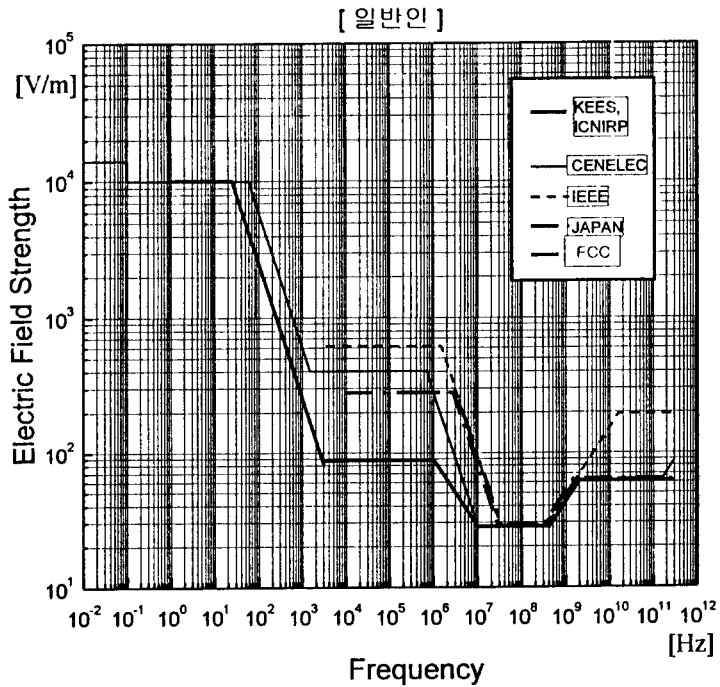
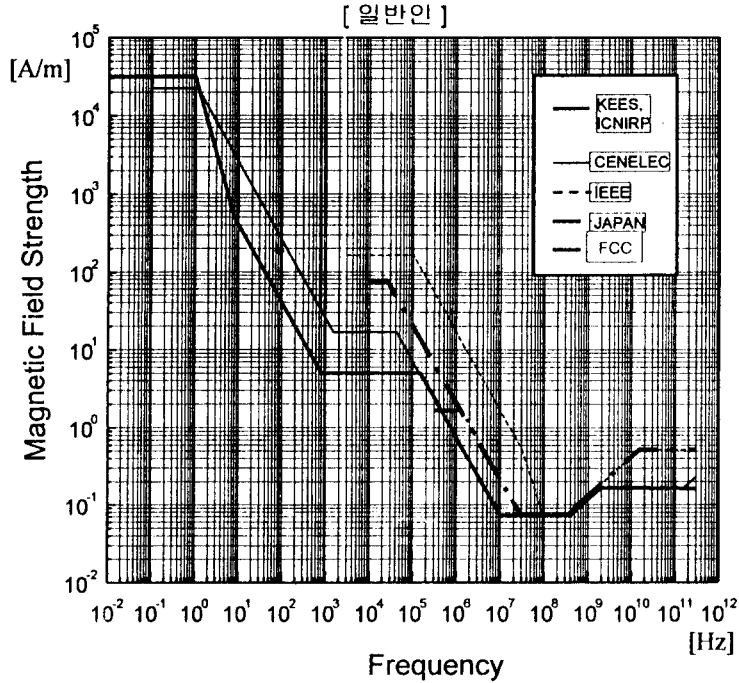


그림 2. 시변 자기장의 노출 기준레벨





## 6. 전자기장 안전기준 주체기관 및 사례

### (1) 전기장

나라	주체기관
영국	국가 방사 보호 위원회 (National Radiological Protection Board), 1992
미국	정부 산업 위생화학자 학회 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
미국내 각주	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 미네소타 환경 품질 위원회 (Environmental Quality Board), 1976</li> <li>2. 몬타나 천연자원과 보전 위원회 (Boards of National Resources and Conservation), 1984</li> <li>3. 뉴저지 방사보호 위원회 (Commission on Radiation Protection), 1981</li> <li>4. 뉴욕 공공 사업 위원회 (New York Public Service Commission), 1978</li> </ol>
국제기관	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 국제 방사 보호 협회 (International Radiation Protection Association), 1990</li> <li>2. 세계보건기구 (World Health Organization)</li> </ol>

(2) 자속밀도

나라	주채기관
영국	국가 방사 보호 위원회 (National Radiological Protection Board), 1992
스웨덴	조달청 (Swedish Procurement Agency), 1990
미국	1. 정부 산업위생학자 학회(ACGIH) American Conference of Governmental Industrial Hygienist
미국 각주	1. 플로리다 환경 규제국 (Department of Environmental Regulation), 1989 2. 뉴욕 공공 사업 위원회 (Public Service Commission), 1990 3. 테네시 브렌트우드 위원회 (Commission of Brentwood), 1991
일본	우정성, 전기통신기술심의회, 1990

전계(Electric field) 권고기준치 사례

표준	적용되는 집단	주파수 Hz	전계의 세기 kV/m	노출 시간 t 시간	비고
영국 국가 방사 보호 위원회 초안 표준 (1992)	일반 대중	<24 24 - 600 600 - 600 x 10	25 600/f	정해져 있지 않음	“연구되고 있는 레벨”
유럽 예비표준 ENV 50166-1 (1995)	직업인	0-0.1 0.1-50 50-150 150-1500 1500-10,000	42 30 1500/f 1500/f 1	t < 112/E t < 80/E t < 80/E	“연구되고 있는 레벨” E = 전계 레벨
	일반 대중	0 - 0.1 0.1 - 60 60 - 1500 1500 - 10,000	14 10 600/f 0.4	정해져 있지 않음	
미국 정부 산업 위생학자 학회 (ACGIH)	일반대중	0 - 30 kHz	1		최고허용치
	일반대중	< 100 Hz 1000-4000	25 2500/f		
국제 방사 보호 협회 (IRPA) 1990	직업인	50/60	10 30	하루 단기간	근거 : 인체전류한계
	일반대중	50/60	10	하루 시간/일	
세계 보건 기구(WHO)	일반대중	50/60	10	간헐성 노출	

전계(Electric field) 권고기준치 사례(계속)

표준	적용되는 집단	주파수 Hz	전계의 세기 kV/m	노출 시간 t 시간	비고
플로리다 (230kV 이하의 새로운 송전선) 50kV 송전선 Lake Tarpon-Kathleen 송전선	일반 대중	60	8.3(150feet)		첫 번째 수치는 송전선 아래에 있는 제한구역(ROW)의 가장자리에 대한 것, 두 번째 수치는 제한구역(ROW)의 가장자리에 관한 것이다.
		60	10.2(200feet)		
		60	8.94, 1.56		
미네소타 환경 품질 위원회 1976	일반 대중	60	8		
몬타나 천연자원과 보존위원회 1984	일반대중	60	1		69kV 이상의 송전선의 제한구역(ROW) 가장자리
뉴저지 방사보호 위원회 1981	일반대중	60	3		제한구역(ROW) 가장자리
뉴욕 공공 사업 위원회 1978	일반대중	60	1.6		제한구역(ROW) 가장자리
오래곤	일반대중	60	9		제한구역(ROW) 내부

자속밀도(Magnetic flux density) 권고기준치 사례

표준	적용되는 집단	주파수 Hz	노출한계 $\mu T$	노출기간 hrs	비고
영국 국가 방사 보호위원회 (1992)	일반대중	0.1	$2 \times 10^{-5}$ $2 \times 10^{-5}$ $5 \times 10^{-6}$	24	24 시간동안의 평균 최대치(팔, 다리부분만)  "연구되고 있는 레벨"
		0.4 - 1000 $1000 - 535 \times 10^{-1}$	$8 \times 10^{-4}/f$ 80		
유럽 예비 표준 ENV 50166 -1 (1995)	직업인	0 - 0.1	$2 \times 10^{-6}$ $(5 \times 10^{-6})$		"기준 레벨" 주파수는 0.1 - 0.36 Hz의 경우 팔, 다리에서는 $3.5 \times 10^6$ 주파수는 0.36 - 1500 Hz의 경우 팔다리에 시의 "기준레벨"은 71,000 주파수 7.1 - 1500 Hz의 경우 팔다리에서 $5(10^5)/f$
		0.1 - 0.23	$1.4 \times 10^{-6}$ $(3.5 \times 10^{-6})$		
		0.23 - 1 1 - 4	$3.2 \times 10^{-7}/f$ $3.2 \times 10^{-7}/f$		
	4 - 1500 1500 - 10,000	$8 \times 10^{-4}/f$ 53(83)			
	일반 대중	0 - 0.1 0.1 - 1.15 60 - 1500	$40,000(10^{-5})$ 28,000 $32,000/f$		
1500 - 1000					

자속밀도(Magnetic flux density) 권고기준치 사례(계속)

표준	적용되는 집단	주파수 Hz	노출한계 $\mu T$	노출기간 hrs	비고
스웨덴 조달청 (SWEDAC) 1990	일반대중	5-2000	0.25		영상화면 단말기를 정부에서 구입시 적용
미국(ANSI/IEEE C95.1) 1991	통제되는 환경과 일반대중	3000 - 10 <sup>4</sup>	200		통제되는 환경이란 노출된 사람이 노출에 의한 가능성을 인식하고 있는 장소
미국 정부 산업 위생학자 학회 (ACGIH)	일반대중	< 1	6 x 10 <sup>-4</sup> 6 x 10 <sup>-5</sup> 20 x 10 <sup>-5</sup> 60,000/f	매일 TWA 매일 TWA 매일 TWA	몸전체 TWA (시간가중치 평균) 극한치 최고허용치 최고허용치
	심장박동기 사용자	< 6 6-30,000	1000 6000/f		최고허용치

자속 밀도(Magnetic flux density) 권고기준치 사례(계속)

표준	적용되는 집단	주파수 Hz	노출한계 $\mu T$	노출기간 hrs	비고
국제 방사 보호 협회	직업인	50/60	500 5000 25,000	하루종일 단기간 팔다리	근거: 유도되는 신체 전류를 제한하기 위함
	일반 대중	50/60	100 1000	하루종일 벗시간/일	
캘리포니아 어번시 1989. 5. 15	일반 대중	60	0.4		
플로리다 환경 규제국 1989년 (1993. 1. 7 수정)	일반 대중(송전선의 제한구역 가장자리)	60	1.5 20 25 3.5(<500MW) 22.9(>500MW)		230 kW 이하의 송전선 500 kV 송전선 두 회선 송전선 Lake Tarpon Karthleen 선
뉴욕 공공사업 위원회 1990	일반 대중	60	20		송전선의 제한구역 (ROW) 가장자리
테네시시 브랜트우드 위원회 1991. 4	일반 대중	60	0.4		120 kV 또는 그 이상의 송전선의 제한구역 (ROW)



## 7. 결 론

1. 한국전자파학회 인체보호기준 제정
  - > 국가 기준안/지침서로
  - > 기준 주체기관 선정 및 일체화
  
2. 앞으로 발표되는 연구동향 및 발표자료에 대한 체계적인 수집 및 분석
  - > 차후 개정안에 반영
  
3. 생체 및 전자장 관련 장기적인 연구 지원
  - 생물학, 유전학, 의학, 역학, 전파통신/전자파 공학 등 종합적인(Interdisciplinary) 연구
  
4. 대(對) 국민 홍보자료 제작 및 배포



1999 전자장의 생체영향에 대한 워크샵

### 전원의 자계규제치[mG]

국 가 별	작 업 자	일반 대중	상 태	비 고
IRPA	250,000		권고안	손과 발부분 노출시
	50,000		권고안	작업일당 2 시간 노출
	5,000		권고안	전 작업일 동안 노출
		10,000	권고안	하루에 2-3 시간 노출
		1,000	권고안	하루 24 시간 노출
Australia	as IRPA	as IRPA	권고안	
Germany	50,000	50,000	표준치	
UK[NRPB]	20,000	20,000	권고안	
USA[ACGIH]	10,000			
USSR	75,000 - 18,000			
Japan		50,000	권고안	WHO 환경보건기준(1969)
CIGRE SC22				1998 년 권고안제정 예정
한국			권고안	IRPA 치 적용 검토

- ▷ NRPB : National Radiological Protection Board
- ▷ IRPA : International Radiation Protection Association
- ▷ ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists