

## Guidelines of IRPA/ICNIRP for Non-Ionizing Radiation

Soo Yong Lee  
Department of Physics, College of Science,  
Hanyang University

### 비이온화방사선에 대한 IRPA/ICNIRP의 제반지침

李 秀 容

한양대학교 이과대학 물리학과

**Abstract**— In recent years, the development of new technologies using static magnetic fields has increased the possibility of human exposure to these fields and raised some concern as to their possible health effects. In several countries, governmental or other competent authorities have issued exposure limits that are mainly intended for specific uses, i.e., magnetic resonance imaging (MRI) and particle accelerators for high-energy physics. Since applications of magnetic fields in industry and medicine are likely to grow in the future, thus increasing the possibility of occupational and general public exposure, and since the number of people with ferromagnetic implants and implanted electronic devices that can be affected by the fields is growing, there is a need for international guidelines.

In the present papers, guidelines on limits of exposure to static magnetic fields are selected and discussed in order to review the guidelines of the International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC) for non-ionizing radiation(NIR)

**초록**— 최근에 정자기장을 사용하는 새로운 기술이 개발되어 인체가 정자기장에 노출될 가능성이 커지게 되어 건강에 영향을 줄 우려도 증가되었다. 여러 나라에서 정부를 비롯한 권위있는 기관들이 주로 자기공명영상법(MRI)이나 고에너지물리학에서의 입자가속기와 같은 특수 용도를 위해 노출한도를 제시해 왔다. 산업적인 면과 의학에서의 정자기장의 응용이 앞으로 더 많아져서 직업적이거나 일반공중이거나 간에, 노출 가능성이 증가되고, 또 정자기장(static magnetic field)에 영향을 받는 강자성(強磁性) 이식조직이나 전자장치를 부착한 사람들의 수도 증가하고 있으므로 국제적인 노출한도에 대한 지침이 필요하게 되었다.

본고에서는 비이온화방사선(NIR)에 대한 국제방사선방어학회/비이온방사선방어위원회(IRPA/ICNIRP)의 제반지침을 검토하기 위하여 이 IRPA/ICNIRP(이전의 INIRC의 것도 포함)의 기본지침중 정자기장에 대한 노출한도에 관한 지침을 택하여 논하였다.

## 서론

과학기술의 진보에 따라 급세기말 우리들 생활환경에서는 직업인은 물론 일반대중에게도 비이온화방사선(NIR)에 노출되는 기회가 증대되고 있다. 가장 보편적으로는 유무선통신, 방송, 텔레비전을 비롯한 각종 가전제품의 사용으로 인한 전자기파의 발생으로부터 의료현장에서의 자기공명영상법(MRI)은 물론 변전소나 송전선하의 고주파장 등은 단순한 지기장의 이상으로 인체가 전자기장에 노출되는 근원이 되고 있다. 그런고로 고주파(RF)나 전자기장의 주제는 적어도 두가지 면에서 보건물리학자들에게는 관심의 대상이 되고 있다.

첫째는 고주파나 전자기장의 선원은 환경과 작업장, 이를 테면, 컴퓨터 사용등에서 증가일로에 있다는 점과, 둘째는 일반 대중들은 극저주파(ELF)장등에 기인하는 건강상의 잠재적인 악영향을 출판물이나 뉴스매체를 통해서 알고 있으며, 그것이 정당하던 그렇지 않던간에 그 영향은 급속도로 파급되고 있다는 점이다.

이것은 생체장해에 대한 두려움으로부터 시작하여 전기나 전파에 대한 불안까지 가중시킨다. 그런데 실제로 이들이 생체에 좋지않다면 보통 심각한 문제가 아닐 수 없다. 한 시대의 기술이나 사고방식에 어떠한 문제나 불미한 점이 있을지는 그 주위에서 피해를 입는 수가 가끔 있다. 이른바 공해문제가 바로 그러한 것이다. 현대산업의 각 분야에서의 첨단과학기술의 응용이 더욱 증가되어가는 추세에 비춰볼 때 전자파공해가 새로운 관심의 대상이 되고 이에 관해 정확히 평가하고 그 대책을 마련하는 임무는 중대하다.

### 전자기파 이해의 기본

거시적으로 볼 때 전자기파에 노출된 생체에서는 어떤 현상이 일어날까? 전자기파는 파동이므로 쪼여진 파의 일부는 생체에 흡수되고, 또 일부는 생체로부터 반사되어 사망으로 산란되고 또 생체를 투과하여 나가는 전자기파도 있을 것이다. 이러한 전자기파의 흡수, 산란, 투과상태는 생체의 크기, 형상, 전파원과 같은 위치관계 등으로 여러 가지로 달라지며 그 현상은 복잡하며 간단히 예측되지 않는다.

때문에 전자기파의 생체영향에서는 누구나 다 확실히 아는 열영향 이외의 현상에 대해서는 그 현상을

과학적 수준까지 향상시키는 노력이 필요하다. 확실히 알려져 있지않은 생체영향에 대해서 현혹되어 혼란을 가중시켜서는 안되기 때문이다. 그러기 위해서는 그 현상을 예의 주시하고 관찰하고 분석하여 용어(用語)와의 대응, 정의(定義) 등을 설정하여 문제의 대상을 누구나 올바르게 판단하고 의미할 수 있도록 하지않으면 안된다. 특히, 언론보도의 과정에서는 일반인들이 판단을 그르치기 쉬운 문제점에 대해서는 각별히 유념해 둘 필요가 있다.

### 전자기파의 물리적 측면

전자기유도 현상에 의하면 자기장의 변화가 있을 때에는 언제나 전기장이 생기고 맥스웰의 가정에 의하면 언제나 자기장이 생긴다. 이는 분명히 어느 한쪽 효과를 단독으로 나타내는 것은 불가능하다. 이와 같은 과정은 변하는 전기장 및 자기장 사이의 정해진 연관성에 의하여 끊임없이 계속된다. 그의 가절과 다른 전자기 원리를 토대로 하여 맥스웰은 이들 전자기장의 변화가 이렇게 공간속을 전파해 갈 것인지에 대한 이론을 전개할 수 있었다. 맥스웰의 분석으로부터 나온 처음 착상은 전기장의 변화로 물에서의 수파의 전파처럼 최초의 파원점으로부터 공간내로 전파되어 간다는 것이다.

따라서, 이것을 표시하는데 전자기파(電磁氣波)란 이름을 사용하였다. 즉 전기장과 자기장이 서로 공존하면서 진동하여 전파되는 파동인 것이다. 이러한 전자기파는 파장이 짧은 쪽에서 열거해 보면 이른바 방사선에서부터 가시광선, 전파까지, 또 이 전자기파는 더욱 세분화되어 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 장파(ELF, VLF, LF), 중파(MF), 단파(HF), 초단파(VHF), 극초단파(UHF), 마이크로파 등으로 그 파장 또는 주파수에 따라 세밀하게 분류되어 스펙트럼이라 불리고 있다.

### 국내기준개발 및 국제현황

이러한 전자기파를 무선통신에 이용할 때는 유선통신과는 달리 목적하는 이외의 장소에서도 이에 따른 전자회로나 장비 혹은 시스템 등에서도 불필요한 전자기파가 발생한다. 그런고로 이로 인한 전자기파 장해(EMI)뿐만 아니라, 외부의 전자파환경에 대한 전자

Table 1. Radiofrequency electromagnetic waves RF band designation

Frequency(MHz)	Band	Description
0-3×10 <sup>-5</sup>	SELF	Sub-extremely-low frequency
3×10 <sup>-5</sup> -3×10 <sup>-4</sup>	ELF	Extremely-low frequency
3×10 <sup>-4</sup> -3×10 <sup>-3</sup>	VF	Voice frequency
3×10 <sup>-3</sup> -3×10 <sup>-2</sup>	VLF	Very-low frequency
3×10 <sup>-2</sup> -3×10 <sup>-1</sup>	LF	Low frequency
3×10 <sup>-1</sup> -3×10 <sup>0</sup>	MF	Medium frequency
3×10 <sup>0</sup> -3×10 <sup>1</sup>	HF	High frequency
3×10 <sup>1</sup> -3×10 <sup>2</sup>	VHF	Very-high frequency
3×10 <sup>2</sup> -3×10 <sup>3</sup>	UHF	Ultra-high frequency
3×10 <sup>3</sup> -3×10 <sup>4</sup>	SHF	Super-high frequency
3×10 <sup>4</sup> -3×10 <sup>5</sup>	EHF	Extremely-high frequency
3×10 <sup>5</sup> -3×10 <sup>6</sup>	SEHF	Supra-extremely-high frequency

기파내성(EMS)의 문제 역시 그 중요성이 증대되고 있다.

이러한 대책들에 대한 여러 가지 문제는 전자파장해제어라 불리우는 접지, 차폐, 길르기, 접촉, 흡수 및 적절한 배선 및 소자들에 대한 선정등이 EMI에 대한 기본방법으로 사용되고 있다. 이러한 개별적인 이론 및 실체는 부분적인 응용이 가능할 수 있으나 대행 시스템의 EMI문제는 쉬운 것만은 아니어서 단순한 회로적인 개념보다는 시스템 접근방법의 전개가 필요하게 된다. 최근에는 이 분야에서의 해결방법으로 전자장치의 정상작동만을 고려하여 설계하는 기존의 설계방법에 EMI규정에 적합한 전자기파의 적합성(EMC) 상황을 고려하는 시스템적인 통합 접근방법에 중점을 두는 경향이다.

다시말하면, 전기·전자·정보통신 분야에서는 수많은 가전제품 및 통신기기, 컴퓨터 나아가서는 자동화 시스템, 인공위성이나 이를 이용한 초고속 정보통신망에 이르기까지 매우 광범위한 분야에 대해 하드웨어와 소프트웨어의 기술이 연구되어야 할 분야이다.

동시에 장해 원인으로서의 전자기파의 불필요한 노출을 제거하는 기술적인 노력도 병행되어야 한다. 또 노출을 제거할 수 없을 때는 발생원이 되는 기계의 기술적인 안전관리 수준의 확립과 안전교육의 철저화가 수행되어야 한다. 이를 위해서는 우선 전자기파의 측정, 전기장이나 자기장을 정확히 측정하는 기술개발의 확립이 필수적임은 재론의 여지가 있을 수 없다. 과학은 직감이 아니고 사실의 축적이고, 과학에서는

어떤 사건이나 사상(events)이 어느 양 이상 집합되지 않는 한, 이야기가 진전되지 않는다. 특히 전자기파생체영향과 같이 그 정체를 모르는 것에 대해서는 더욱 그러하다.

실제로 전자기파의 안전기준은 어떤 근거에 의해서 결정되었느냐는 관심이 되는 문제인데, 제2차 세계대전 중에는 전파를 많이 사용했던 관계로 전후에 전파 종사자로부터의 호소로 전파조사(電波照射)의 안전기준을 정하는 운동이 미국에서 일어났다. 정보화 사회로의 급속한 발전과 진전으로 사무자동화(OA), 공장자동화(FA) 등의 추세로 앞에서 언급한 전자기파의 환경오염의 가중과 전자파 장애로 인한 각종 사고의 위험이 증대되고 있으므로 우리 나라에서도 전자기파의 이용을 규제할 필요가 생기게 되었다.

현재 국제 전기통신기본법(제 30조, 제 32조)에 의거 전기 통신기자재 형식승인시 EMI시험실을 통한 규제를 실시할 뿐이다. 전자파 환경의 완벽한 신뢰를 위해서는 이렇게 한정된 기기류제품에 한해서 설정한 것 외에도 실제로 EMI/EMC 문제를 합리적으로 신속 처리할 수 있는 국가적인 차원의 조정기구의 보완 및 그 활성화가 요구되어야 한다.

이상의 문제에 대한 인식의 제고는 국내 국제법 미비로 인한 불량 전자기기 수입품에 대한 국제의 효율화를 이룰 수 있고, 또 수출대상국의 국제장벽으로부터의 대응책의 강구도 될 수 있다.

국제방사선방어학회(IRPA)는 비이온화방사선(non-ionizing radiation)과 같은 상이한 유형에 대한 방어분야에서 야기되는 문제들을 다루기 위해 1974년 비이온화방사선(NIR)에 관한 실무진을 구성하였다. 1977년 IRPA 파리총회에서 이 실무진은 국제 비이온화방사선위원회(INIRC)가 되었다(IRPA/INIRC).

IRPA/INIRC는 세계보건기구(WHO)의 환경보건분과와 협동으로 NIR에 관한 보건 기준문서개발에 관한 조사책임을 맡고 국제연합환경계획(UNEP)의 재정지원을 받는 WHO의 환경보건기준프로그램(Environmental Health Criteria Programme)의 한부분을 만들었다. 이 정보제공 문서는 NIR의 물리적 특성, 측정 및 장비, 선원 및 응용에 대해 언급하고 사람이 NIR에 노출되었을 때 신체의 위험을 계산하고 생물학적 영향에 관한 과학문헌을 검토한다. 이러한 기준은 실제적인 규약과 노출의 제한에 대한 과학적인 자료의 기초가 되었다.

특히 극저주파수(ELF)장을 다룬 건강기준 35(Environmental Health Criteria 35) 및 자기장을 다룬 환경건강기준(Environmental Health Criteria 69), 이들 두 문서는 ELF 전기장과 자기장의 노출에 대한 생물학적 영향을 다루고 잠정적인 지침서(interim guideline)로서의 역할을 한다.

자기공명영상법(MRI, magnetic resonance imaging)은 확립된 진단요법으로 그 자리를 굳혀왔다. 생체내 자기공명 분광법(MRS)의 의학적 효과는 이미 여러 예에서 입증되었고 더욱 깊이 연구되고 있다.

국제방사선 방어학회(IRPA)의 국제비이온화방사선 위원회(INIRC)는 세계보건기구(WHO)의 환경보건국과의 협력으로 또한 자기장에 대한 보건기준문서(UNEP/WHO/IRPA 1987)와 고주파장에 대한 보건기준문서(UNEP/WHO/IRPA)도 개발하였다. 고주파 전자기장에 대한 노출한도의 지침은 IRPA/INIRC에 의해 1988년에 이미 출간되었다.

본고에서는 국제방사선방어학회/비이온화방사선방어위원회(IRPA/ICNIRP)의 제반지침을 검토하기 위하여 이 IRPA/ICNIRP(이전의 INIRC)의 것도 포함)의 기본지침중 한 가지를 택하여 논하였다.

#### 정자기장에 대한 노출한도에 관한 지침

국제방사선방어학회/국제비이온화방사선방어위원회(IRPA/INIRC)는 세계보건기구(WHO)의 환경보건분과(EHD)와 공조하여 유엔환경프로그램(UNEP)의 후원을 받는 환경보건건강기준프로그램(EHCP) 내에서 정자기장에서의 건강기준서를 작성하였다(UNEP/WHO/IRPA/1987). 이 문서는 정자기장에 대한 노출에서 보고된 생물학적인 영향의 검토를 포함하고 있는데 최근의 논문들에서는 이 지침의 이론적인 근거를 발전시키기 위한 과학적인 데이터베이스의 역할을 하고 있다.

IRPA의 제8차 국제회의(1992. 5. 18-22, 몬트리올)에서 IRPA는 IRPA/INIRC의 후신인 ICNIRP라는 새로운 독립적인 과학기구를 만들었다. 이 위원회의 기능은 서로 다른 형태의 비이온화 방사선(NIR)으로부터의 위험을 조사하고 NIR 방어의 모든 양상을 다루는 것이다.

이 지침의 초안은 1991년 12월 20일에 IRPA/INIRC가 마련하여 1992년 5월 7-10일 사이에 캐나다의 밴쿠버에서 있었던 IRPA/INIRC 최종회의에서

논의되었고 그후 문서의 내용은 개정되어 실제적인 변화에 맞추어졌다. 현재의 지침은 1993년 5월 7-12일 사이에 독일 Neuherberg에서 있었던 ICNIRP 회의에서 승인되었다.

#### 적용범위와 목적

이 지침은 정자기장에 대한 직업상 노출과 일반공중의 노출에 적용할 수 있지만 의료진단이나 치료중인 환자에 대한 의도적 노출에는 적용될 수 없다. 후자에 대한 자세한 내용은 자기공명(MR) 검사중인 환자의 보호에 대한 IRPA/INIRC 문서(IRPA/INIRC 1991b)에 기재되어 있다.[1]

#### 양 및 단위

전기장이 전하의 존재와 관련된 데 반해 자기장은 전하의 물리적 운동(전류)으로부터 생긴다. 따라서, 자기장은 움직이고 있는 전하에만 물리적 힘을 가할 수 있다. 자기장은 자속밀도 B나 자기장의 세기 H중 하나로 표시되는 벡터로 표현될 수 있다. B와 H는 각각 테슬라(teslas, T)와 단위 길이당 암페어(Am<sup>-1</sup>)로 표시된다. 진공상태와 공기중에서 B와 H는 다음의 관계를 갖는다.

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

식(1)의 비례상수  $\mu_0$ 는 비자성체나 자유공간에서의 투자율로서  $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$  이다. 따라서 공기중이나 생체를 포함한 비자성체에서의 자기장을 적절히 설명하기 위해서는 B나 H중의 하나만 있어도 된다. 현 지침에서 노출한도는 자속밀도의 관점으로 주어져 있다.

자속밀도 B에 직각을 이루는 방향으로 속도 v로 운동하는 전하 q에 작용하는 힘 F는 다음 식으로 주어진다.

$$F = q v B. \quad (2)$$

이 힘의 방향(로렌츠 힘, Lorentz force)은 전하, 속도, 자속밀도의 벡터곱으로 구해지며 전하의 흐름에 대해서는 항상 수직이 된다. 결과적으로 자기장과 전하의 상호작용은 전하흐름의 속도는 바꾸지 않고 그 방향만 변한다. 그러므로 자기장은 작용하지 않고 에너지의 변환을 쉽게한다.

자속밀도는 자기장의 영향에 관한 가장 적절한 양으로 임의의 표면적 내의 자속은 면적과 그 면의 자속밀도 상수의 곱이다. 자속의 단위는 웨버(Weber, Wb)이며,  $\Phi$ 로 쓰고  $1 \text{ Wb} = 1 \text{ Tm}^2$ 이다. 표 2는 자기장에서 사용되는 일반적인 양과 단위를 나타낸 것이다.

Table 2. Static magnetic field quantities and corresponding SI units.

Quantity	Symbol	Unit
Current	I	ampere(A)
Current density	J	ampere per square meter(Am <sup>2</sup> )
Magnetic field strength	H	ampere per meter(Am <sup>-1</sup> )
Magnetic flux	$\phi$	weber(Wb)=volt · s=Tm <sup>2</sup>
Magnetic flux density	B	tesla(T)=Wbm <sup>-2</sup>
Permeability	$\mu$	henry per meter(Hm <sup>-1</sup> )
Permeability of free space	$\mu_0$	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$

SI 단위계는 국제적으로 과학문헌에서 양을 표현하도록 공인된 단위이다. 자기를 연구하는 이들의 SI단위계의 적용을 위해 전에 사용하던 CGS 단위로부터 수치의 환산이 가능하도록 표 3을 작성하였다.

Table 3. Conversion factors for units.

To From	T	G	$\gamma$	Am <sup>-1</sup>	Oe
T	1	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	7.96×10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>
G	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>5</sup>	79.6	1
$\gamma$	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-5</sup>	1	7.96×10 <sup>-4</sup>	10 <sup>5</sup>
Am <sup>-1</sup>	1.257×10 <sup>-6</sup>	1.257×10 <sup>-2</sup>	1.257	1	1.257×10 <sup>2</sup>
Oe	10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>5</sup>	79.6	1

Symbols : T=tesla(1 T=1 Wbm<sup>2</sup>), G=gauss,  $\gamma$ =gamma, A=ampere, Oe=oersted

더 완전한 단위들의 목록과 개념, 양, 단위, 용어들에 대한 논의는 IRPA/INIRC의 관련 간행물(IRPA/INIRC 1991c)에 논의되었다[2]

선원 및 세기

지자기에 의한 자연상태의 자기장은 약 50  $\mu\text{T}$  이고, 지역에 따라 30  $\mu\text{T}$ 에서 70  $\mu\text{T}$ 까지의 변화치를 갖는다. 일반인들은 강자기장을 경험하는 일이 드물다[3~5].

고직류 전송선하에서는 약 20  $\mu\text{T}$ 의 자력선속 밀도가 생성된다. 현재 세계적으로 가동중인 고전압직류(HVDC) 전송선은 거의 없다<sup>\*)</sup>. 앞으로 새로운 전송선에 의해 더 큰 자속밀도에 노출될 잠재적 가능성이 있다. 자기부상(magnetic levitation) 열차의 일부는 10-100 mT의 자속밀도를 발생시킨다[6-7].

일반인들이 가장 큰 자기장에 노출되는 것은 자기공명영상(MRI)이나 자기공명스펙트럼(MRS)에 의한 진단검사를 받는 경우이다. MRI과정에서는 자속밀도의 범위가 0.15-2 T에 이르고 노출시간은 보통 0.5 h로 제한된다. 더 큰 자기장을 사용하는 시스템이 MRS와 미래의 장치들을 위해 고려되고 있다. 노출은 또한 치아, 목, 머리보철이나 절장의 기공을 포함하는 다른 의학분야에서도 일어날 수 있다. 이러한 장치들은 단지 부분적인 자기장을 형성한다.

MR장치를 사용하는 사람들 외에 일부 다른 직업에 종사하는 사람들도 강자기장에 노출될 수 있다. 강자기장은 원자로나 자기유체역학장치, 초전도발전기, 직류발전 및 송전 등의 고에너지기술에 의해서도 만들어진다. 거품상자나 동위원소 분리장치를 사용하는 실험시설들도 이러한 장치 주변에 높은 자속밀도를 갖는다. 강자기장에 의한 노출이 생기는 또다른 산업으로는 알루미늄 생산이나 자석과 자성체를 만드는 전기분해 과정에 연관된 산업들도 있다.

노출한도에 대한 이론적 근거

1) 상호작용 메카니즘-정자기장이 생체와 상호작용을 하는 세가지 안정된 메카니즘은 자기유도, 자기역학 상호작용 및 전자상호작용이다[8-10].

① 자기유도 : 이 메카니즘은 다음과 같은 형태의 상호작용에 따른다.

- 움직이는 전해액과의 전기역학적 상호작용 : 정자기장은 움직이는 이온화된 전해액반체에 로렌츠힘(Lorentz force)을 가하고 이로 인해 유도전기장과 전류가 발생된다. 이 상호작용은 정적인 것과 시간에 따라 변하는 동적 극저주파(ELF)장에서 연구되어온 혈류의 자기유도전위의 기본이다.

- 페러데이 전류 : 시간에 따라 변하는 동적인 자기장은 생세포내에서 Faraday 유도법칙과 일치하는 전류를 유도한다. 이 메카니즘은 정자기장 내에서 사

\*) 우리나라에서의 초고압 송전 연구로는 한국전력공사에서 2000년대 전력수송을 위해 추진중에 있는 756 kV 격상사업에 필요한 설계자료를 얻기 위하여 실증시험 설로를 건설 운영중에 있다(한국전력공사 기술연구원 소개서)

람이 움직일 때에도 적용될 수 있다.

② 자기역학적 효과: 정자기장이 생체에 미치는 기계적 영향은 다음의 두가지 형태가 있다.

- 자기방향성: 균일한 정자기장에서 반자성이거나 상자성인 분자는 자유에너지가 최소화 하는 방향으로 향하게 하는 회전력을 받는다. 이 영향은 대칭주축에 따라 서로 다른 자기감수율을 갖는 반자성 고분자의 조합을 대상으로 잘 연구되어왔다. 이러한 고분자에는 망막 시신경 간상체의 원판형 박막에 있는 광색소의 배열과 산소결핍 상태의 sickle-shape erythrocytes가 포함된다. 특히, sickle-shape erythrocytes에 의한 영향은 병리상 상대적으로 높은 발생률 때문에 고려할 가치가 있다[11].

- 자기역학적 병진운동: 정자기장은 병진운동이 되게 하는 상자성체나 강자성체에 작용하는 알짜힘을 내게한다. 대부분의 생체내의 자기물질량은 제한되었으므로 신진대사에 대한 이 영향은 무시할 수 있다. 그러나, 지자기처럼 약자기장은 어떤 유기체의 종에서 발견되는 생체를 이루는 자철광 입자의 사슬(chain)에 큰 힘을 가할 수 있다[12].

③ 전자상호작용: 세기가 낮은 정자기장을 갖는 Zeeman 상호작용에서의 기본적인 전자의 중간상태에 관계되는 일부 화학반응은 전자의 스핀상태에 영향을 준다. 생물학적으로 관련되는 전자의 중간상태의 수명은 자기장의 작용이 화학반응 생성물에 아마도 무시될 수 있을 만큼 작은 영향만 미치도록 충분히 짧을 수도 있다.

## 2) 생물학적인 연구

특수 감각기관을 가진 하등생물과 수중 포유류들은 지자기와 비슷한 낮은 세기의 정자기장에 대한 감지 능력을 갖는다. 또한 많은 in vitro에 대한 연구에서도 망막 시신경 간상체의 외단편, 근육의 섬유질, 광합성 기관, 할로박테리아의 purple membranes 및 다양한 합성액정과 겔 등의 고분자 내에서 자기방향성의 변화를 보여준다. 기본적인 전자의 중간상태에 관계되는 일부 화학반응은 또한 중간세기의(예를 들면, 10 mT) 정자기장에 민감할 수 있다[13], [10].

쥐를 대상으로 한 연구에서는 1 T의 자기장에 대한 노출로부터 fetus에 대한 일부 해로움도 설명되지 않았다.[14 - 16].

실험동물에 대한 실험에서의 현존하는 증거는 정자속밀도가 2 T에 이를 때까지 나타난 발육, 행동, 심

리학적인 매개변수에 심한 영향이 없음을 보였다[10]. [17 - 19].

이론적인 고찰에 따르면 자기유체역학적 영향은 강 정자기장에서 혈류를 지연시키고 혈압을 높일 수 있었다[20]. 이 영향으로 인해서 5 T에서 겨우 몇 %의 흐름감소가 예상되었다. 그러나, 인체는 1.5 T[21], 팬텀모형은 4.7 T[22]에서 이 영향은 관찰되지 않았다.

## 6) 인체연구

연구자석을 만드는 공장의 작업자들에 대한 일부 연구는 신경증, 피로, 두통, 식욕감퇴, 심동지완, 심박 급심증, 저혈압, 뇌파의 변화, 가려움, 화상, 감각상실 등의 다양한 증상과 기능침해를 보여준다[23 - 26].

작업환경에서 통계적인 해석이나 물리적 또는 화학적인 위험에 대한 평가가 결여되어 이러한 보고의 진가는 감소되고 또 그것을 산출해 내기도 어렵다. 비록 결론이 나지는 않았지만 이들 연구는 만일 장기간에 걸친 영향이 일어난다면 축적된 현저한 영향이 보고되지 않았으므로 이들이 매우 미묘할 것이라고 주장한다.

4 T의 자속밀도에 노출된 인체는 이 장내에서의 움직임과 연관된 현기증, 구토, metallic tastes, 눈이나 머리를 움직일 때의 자기섬광 같은 감각적 영향을 경험한다고 알려져 있다. 정자기장에 근접노출되는 작업자들의 일반적 건강자료에서 유행하는 질병에 대한 두 조사는 건강에 지대한 영향을 준다는 사실을 밝혀 내지 못했다[27].

Marsh 등은 화학분리 과정에서 작업환경내의 평균 정자속밀도가 7.6 mT이고 최대 정자속밀도가 14.6 mT인 큰 전해질의 전지를 사용하는 공장에 근무하는 320명의 작업자들이 건강자료를 연구했다[28]. 백혈구 형태의 작은 변화(여전히 정상적 범위내에 있지만)가 186명의 대조군에 비교되는 노출된 집단에서 발견되었다. 혈압이나 혈액의 파라미터(parameter)에서 관찰된 일부 일시적 변화도 자기장에의 노출과 연관되는 심한 악영향의 증거로는 고려되지 않았다.

Budinger 등은 직업상 정자기장에 노출되는 미국 립연구소에 근무하는 792명의 연구자들에 유행성 질병에 대해 연구하였다.[29] 역시 노출되지 않은 792명의 연구자들로 구성된 대조군은 나이, 인종, 사회, 경제적 상태가 일치되도록 했다. 적용된 자기장의 범위는 오랜기간 동안의 0.5 mT에서 수시간 동안의 2

T 까지였다. 19종의 질병의 유행에서 대조군에 대해 상대적인 노출집단에서 통계적으로 어떤 심한 변화도 관찰되지 않았다. 질병의 유행에서의 어떤 차이도 1 시간 이상 0.3 T 이상의 장에 노출된 198명의 소집단과 그외의 노출된 집단이나 대조군 사이에서 발견되지 않았다.

Rockette과 Arena는 알루미늄 산업에 종사하는 작업자들이 높은 백혈병에 의한 사망률을 갖는다고 보고했다[30]. 비록 이 역학적 연구가 큰 정자기장에 노출되는 알루미늄 생산에 직접 관계되는 사람들의 암에 대한 보다 높은 위험을 보고했지만, 현재까지 그러한 작업환경 내에서 종양을 일으키는 원인을 가리키는 일부 분명한 증거도 없다.

알루미늄 생산공정은 코올타르, 휘발성 피치(volatiles pitch), 불화물의 증기, 산화황, 이산화탄소 등을 만든다. 특정 탄화수소의 존재는(아마도 또 다른 환경오염 물질의 존재는) 자기장에 대한 노출과 알루미늄 산업의 작업자들 사이에 발암률이 높음을 연관시키려는 일부 연구에서도 고려되어야 한다.

프랑스의 알루미늄 작업자들에 대해 Mur 등이 행한 연구는 암에 의한 사망률과 다른 원인에 의한 사망률이 프랑스의 일반 남자들에게서 관찰되는 것과 크게 차이가 없음을 보고하였다.[31] Barregard 연구팀은 염소 전해물의 생산을 위해 사용되는 100 kA DC 전류가 작업자들이 있는 곳에 4-29 mT의 정자속밀도를 생기게 하는 염화알칼리 공장에서 일하는 작업자들에 대한 연구를 수행했다[32]. 이 작업자들 사이에서 25 년동안 관찰된 발암률은 예상된 것과 별 차이가 없었다.

#### 7) 일반공중에 대한 노출의 고려사항

다음의 이유로 노출한도에서 작업자와 일반인의 구별이 이루어진다. 직업상 노출되는 사람들은 통제된 조건하에서 노출되며 잠재적인 위험에 주의하고 적절한 예방책을 취하도록 훈련받은 성인들이다. 직업상 노출은 일하는 낮시간 동안과 작업연령층으로 제한된다. 일반공중은 모든 세대의 서로 다른 건강상태에 있는 사람들로 구성된다. 특히 예민한 사람들이 일반공중에 포함될 수 있다. 많은 경우에 일반공중은 노출발생에 대한 경각심을 갖지 않거나 비록 경미하지만 노출로 인한 일부 위험성도 받아들이려 하지않을 수도 있다. 일반공중은 하루 24시간 내내 평생동안 노출될 수도 있다.

#### 8) 노출한도의 도출

현재의 과학지식은 2 T까지의 정자속밀도에 일시적으로 노출되는 고등생물의 발육, 행동, 생리학적 매개변수에 대한 유해한 영향을 제시하지 못하고 있다. 상호작용의 안정된 메카니즘의 해석으로부터는 200 mT에 대한 장기간의 노출이 건강에 나쁜 영향을 미치지 않을 것임을 알 수 있다. 200 mT에 대한 장기간의 노출이 건강에 나쁜 영향을 미치지 않을 것임을 알 수 있다. 200 mT에서 사람의 움직임은(세포조직의 유도 반지름이 30 cm이고 세포조직의 전도율이 0.2 Sm<sup>-1</sup>일 때) 10에서 100 mA<sup>2</sup> 사이의 유도전류를 발생시킨다.

이 전류밀도값은 10 Hz 이하의 주파수를 갖는 장에 대한 중추신경계의 기능에 악영향을 미치지 않는다. 이것은 10 Hz 이하의 장에서 기대되는 주파수와 더불어 IRPA/INIRC의 50-60 Hz, 10 mA<sup>2</sup>의 장에 대한 기본적인 노출한도와 모순되지 않는다[33].

200 mT에 노출되는 대동맥과 같은 인체의 큰 혈관에 적용되는 전류밀도와 전기장에 대한 계산을 할 수 있다. 혈관에서의 유도전기장의 최대값은 혈류속도가 v이고 이 와 직각을 이루는 자속밀도가 B일 때 vB와 같다. 심장에서 방출되는 양을 분당 5100 cm<sup>3</sup>, 대동맥의 직경을 1.6 cm로 가정하면 대동맥의 평균 혈류속도는 성인의 몸에서 초당 42 cm가 된다. 이 혈류속도값에 대해 200 mT의 수직 자속밀도는 대동맥을 지나가는 최대 84 mVm<sup>-1</sup>의 전기장을 유도한다. 대동맥 내에 유도된 전류밀도는 혈액의 전도율과 유도전기장의 곱의 형태로 계산될 수 있다. 혈액의 전도율이 0.52 Sm<sup>-1</sup>일 때 200 mT에서 최대 유도전류밀도는 44 mA<sup>2</sup>이다[20].

이 유도전류밀도는 피의 흐름이나 심장혈관에 악영향을 줄 것으로 기대되는 값이하이다[17].

그래서 직업적인 노출한도는 작업동안 일시적으로 최대 2 T까지 가능한 시간당 평균 200 mT가 권고되었다. 팔과 다리는 큰 혈관이나 결정 장기를 포함하지 않으므로 5 T의 최대한도까지 허용될 수 있다. 200 mT의 한도는 노출의 장기영향에 대한 지식의 결여에 기초를 둔 어림잡은 값이다. 위의 이유 때문에 일반공중에 대한 노출한도는 부가적인 5배의 안전성을 갖도록 40 mT의 노출한도로 귀착된다.

#### 9) 이식된 의론 장치에 대한 간섭

Imich와 Batz는 18개 제조회사로부터 1,200개 이상의 심박조율기의 정자기간섭(magnetostatic interfere-

nce)에 대해 조사했다[34]. 2 mT에 이르는 자속밀도에 노출되었을 때 87%의 심박조율기가 영향을 받았다(고정된 pacing mode로 되돌아감). 1 mT에서는 19.6%였고, 0.5 mT에서는 1.7%, 0.31 mT에서 최저치가 발견되었다. 비슷한 결과가 Barbaro 등에 의해서도 기술되었다[35].

전자장치에 대한 자기장의 간섭으로 인한 잠재적인 위험을 고려하여 자속밀도가 0.5 mT 이상인 곳은 적절한 경고표시를 하도록 권고된다. 심박조율기(cardiac pacemaker)를 한 사람은 부주의해서 자기장에 인체가 노출될 수 있는 범위를 넘는 장소에 들어가지 않도록 권고받아야 한다.

이식된 강자성체나 강자성장치에 대한 자기장의 영향에 대해 자세히 지침을 정하기는 어렵다. 장의 세기와 그레디언트(gradient), 이식된 물질의 강자성의 정도와 크기, 장에 대한 방향 등 여러 가지 요인들에 의해서 위치가 이동되거나 움직일 수 있다. 이러한 요소들에 의해서 일부 강자성체는 불과 수 mT의 정자기장에 의해서 영향을 받을 수도 있다[36 - 37].

강자성체나 이식조직의 위치이동이나 움직임(혈관, 연조직, 눈 등의 잠재적 위험이 높은 곳에 이식되었을 때)에 의해서, 또는 부유 금속체로부터 야기될 잠재적 위험을 고려해서 3 mT 이상의 자속밀도를 갖는 지역은 특별한 경고표시를 하도록 권고된다.

**노출한도**

**1) 직업적인 노출한도**

작업중 몸전체가 계속 직업상 노출을 받을 때 시간당 평균 200 mT 이상의 자속밀도는 제한되어야 한다. 직업상 전신노출은 자속밀도 최대값이 2 T를 초과되어서는 안된다. 사지에 국한될 경우에는 5 T까지 허용된다.

**2) 일반공중에 대한 노출한도**

일반공중에 대한 계속적인 노출은 자속밀도가 40 mT를 초과할 수 없다. 40 mT를 넘는 특별한 시설에 접근할 경우에는 직업상 노출한도를 초과하지 않도록 하는 적절한 통제조건 하에서 허용될 수 있다.

**3) 그외의 고려사항**

심박조율기나 강자성 이식조직, 이식된 전자장치를 한 사람들은 표 4에 주어진 한도에 의한 보호를 받지

못할 수도 있다. 대부분의 심박조율기는 0.5 mT 이하에서는 자기장에 영향을 받지 않으므로, 이 장치를 한 사람들은 자속밀도가 0.5 mT 이상인 지역을 피해야 한다. 특히 사람이 자기장내에서 움직일 때 수 mT 이상의 자속밀도에 민감한 또다른 생체 전자보조장치(즉, 전자보청기, 인슐린펌프, 전자적으로 유도되는 손, 팔 및 다리의 행동보조장치, 근육자극장치(방광의 sphincter muscless)의 사용이 증가하고 있다. 강자성 이식체를 지닌 사람들(특히 동맥류에 확실하게 비자성체인지 모르는 동맥류클립(aneurysm clips)을 하고 있는)은 의사에게 충고를 받아야 하며, 흔들림이나 위치이동을 피하기 위해 수 mT의 자기장에 대한 노출을 피해야 한다. 정자기장에 대한 직업상 노출 및 일반공중의 권고된 한도를 표 4에 요약했다.

Table 4. Limits exposure to static magnetic field.<sup>a,b,c,d</sup>

Exposure characteristics		Magnetic flux density
Occupational	Whole working day (time-weighted average)	200 mT
	Ceiling value	2 T
	Limbs	5 T
General public Continuous exposure		40 mT

a) Caution : People with cardiac pacemakers and other implanted electrically activated devices, of with ferromagnetic implants, may not be adequately protected by the limits given here.

The majority of cardiac pacemakers are unlikely to be affected from exposure to fields below 0.5 mT. People with some ferromagnetic implants or electrically activated devices (other than cardiac pacemakers) may be affected by fields above a few mT.

b) When magnetic flux densities exceed 3 mT, precautions should be taken to prevent hazards from flying metallic objects.

c) Analog watches, credit cards, magnetic tapes, computer disks, etc. may be adversely affected by exposure to 1 mT but this is not a safety concern for humans.

d) General public. Occasional access of members of the public to special facilities where magnetic flux densities exceed 40 mT can be allowed under appropriately controlled conditions provided that the appropriate occupational exposure limit is not exceeded.

**측정방법**

장의 본뜨기(field mapping)에 가장 일반적으로 사



용되는 방법은 호울 탐침법(Hall probe method)이다 [10]. 호울효과(Hall effect)는 자기장에 의해 전하운반체가 있는 스트립(strip) 측면에 준 힘의 결과로 설명될 수 있다. 이렇게 하여 전하가 스트립 양 옆에 나타나고 그로인해 가로호울(transverse Hall) 전기장이 생긴다. 여러 요인에 의해 얻을 수 있는 정확도가 결정되며, 그중 가장 중요한 요인은 호울전압(Hall voltage)의 온도계수이다. 자속계(fluxmeter)와 탄동검류계(ballistic galvanometer)는 탐색코일을 사용하여 자력선의 변화를 직접 측정하는데 그렇게 하여 코일의 총체적 자기장을 평균한다. 측정은 정자기장 내에서 코일을 움직여서 수행한다. 특수측정을 적합하게 하기 위해 코일 기하학이 적용된다[38].

자기장을 측정하는 방법들은 올바른 방법을 선택함으로써 자기장의 대부분의 일반적인 경우에 정확도가 높은 측정이 이루어질 수 있음을 보여준다. 정자기장의 부분 측정치는 공간적분도 모두 위에서 설명한 방법으로 얻을 수 있다. 균일장에 대한 노출한도값이 설정되었다. 불규칙 장에 대해서는 균일 자속밀도를 100 m<sup>2</sup> 이상의 영역에서 측정해야 한다.

## 결 론

이상에서 살펴본대로, 전자기파의 생체작용에 대해서는 역학적 연구와 임상적 연구를 하여 공해병의 관점에서 재검토하고 이를 예방기 위한 기반을 확립하는 일은 국제적으로 많은 연구가 있었다. 그러나 전자기파는 공학 또는 과학의 세계에 관한 일로서 인류문명에 공헌해온 이들 학문이 인류생존에 역기능적인 면을 제공하고 있다면 그것도 바로 공학과 과학의 책임이 아닐 수 없다.

새로운 학문분야인 보건물리(health physics)는 방사선보건물리(radiological health physics)라는 개념으로 이해되는 학문으로 종종 개인이나 공중을 앞에서 열거한 방사선이나 본고에서 언급한 비이온화방사선(NIR)의 해로운 영향으로부터의 방어임무를 수행하는 환경보건공학의 한 분야라고 볼 수 있다. 보건물리학자는 인체에 노출되는 방사선을 최소화되게 절차, 기구의 설계면에서의 안정성 및 방사선을 이용하는 시설에 대한 책임을 지고 있다. 그러므로 방사선에 대한 피폭의 경우에 한해서는 항상 허용기준 이하가 되게, 또 그가 설계하고 감시하여 항상 환경적인 면에서도 보건물리학의 역할에 합당하게 엄수할 수 있도록 해

야한다.

보건물리학에서의 과학 및 공학적인 면은 ① 방사선이나 방사선물질의 상이한 위협을 물리적으로 측정하는 것과 ② 방사선 피폭과 생물학적 손해와의 관계를 정량적으로 설정할 것과 ③ 환경에로의 방사선이동과 ④ 방사선학적으로 안전한 장비와 처리 및 환경과의 관계를 완벽하게 하도록 하는 일들을 포함하고 있다.

이제 국제방사선방어학회(IRPA)에서 국제비이온화방사선방어위원회(ICNIRP)를 결성하고 NIR에 관해서 보건물리학 측면에서 관심을 갖게된 사실에 유념해야 한다. 때문에 우리 나라 보건물리학의 측면에서 우선 해야할 일중의 하나가 국제적인 흐름에 맞게 전자기파에 대한 올바른 지식을 넓혀주고 이해를 깊게 하는 교육의 장도 마련할 필요가 있다. 그렇게 하므로써 전자기파에 대한 무지에 의한 불안으로부터 오는 냉정성의 상실을 회복시켜 주고, 그릇된 판단을 초래케 하는 가장 위험한 요인을 제거시켜 주는 역할을 해야 한다.

더 나아가서 흥미위주로 특정 전자과장해의 보기를 과대적으로 포장하여 잘못 인식시키는 문제점 등은 재고케하여 전자기파가 생체에 주는 열작용과 같이 일반대중이 「熱」 받거나 「스트레스」를 받는다는 말은 모두 물리학에서 파생된 말들이니 전자기파의 유해의 요인도 제거시켜 주는 역할을 해야한다.

약어

NIR=Non-Ionizing Radiation

IRPA=International Radiation Protection Association

INIRC=International Non-Ionizing Radiation Committee

ICNIRP=International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

WHO=World Health Organization

EHD=Environmental Health Division

UNEP=United Nations Environment Programme

EHCP=Environmental Health Criteria Programme

MRI=Magnetic Resonance Imaging

MRS=Magnetic Resonance Spectroscopy

## 참고문헌

1. International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee(IRPA/INIRC). "Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination." *Health Phys.* **61** : 923-928(1991b).
2. International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee(IRPA/INIRC). "Review of concepts, quantities, units and terminology for non-ionizing radiation protection." in : "IRPA guidelines on Protection against non-ionizing radiation." Pergamon Press New York : A. S. Duchene, and J. R. A. Lakey ; Repacholi, M.H., eds. pp. 8-41(1991c).
3. M. Grandolfo and P. Vecchia, "Naturam and man-made environmental exposures to static and ELF electromagnetic fields". in : "Biological effects and dosimetry of static and ELF electromagnetic fields". New York and London : Plenum Press ; M. Grandolfo, S. M. Michaelson, and A. Rindi, eds. pp. 49-70(1985).
4. N. Krause, "Exposure of people to static and time variable magnetic fields in technology, medicine, research and public life" : Dosimetric aspects. in : "Biological effects of static and extremely low frequency magnetic fields". MMV Medizin Verlag Munich ; Bernhardt, J. H., ed. pp. 57-71(1986).
5. M. A. Stuchly, "Human exposure to static and time-varying magnetic fields." *Health Phys.* **51** : 215-225(1986).
6. P. J. Chadwick and F. I. Lowes, "Magnetic fields from transport systems in the U.K." in : Abstract W-7, *First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine* ; Lake Buena Vista, FL : **67** (1992).
7. M. Nakagawa, "EMF issues with maglev in Japan. in : Abstract W-5, *First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*", Lake Buena Vista, FL : **66**(1992).
8. T. S. Tenforde, "Biological effects of stationary magnetic fields." in : "Biological effects and dosimetry of static and ELF electromagnetic fields. Plenum Press ; New York and London : M. Grandolfo, S. M. Michaelson and A. Rindi, eds. : pp. 93-128 (1985).
9. J. H. Bernhardt, "Assessment of experimentally observed bioeffects in view of their clinical relevance and the exposure at work places". in : "Biological effects of static and extremely low frequency magnetic fields". : MMV Medizin Verlag, Munich J. H. Bernhardt : pp. 157-168.(1986a)
10. United Nations Environment Programme, World Health Organization, International Radiation Protection Association(UNEP/WHO/IRPA) *Environmental health criteria 69. Magnetic fields.* : World Health Organization Geneva(1987).
11. M. M. Wintrobe, *Clinical hematology.* Lea & Febiger ; Philadelphia, PA : (1981).
12. J. L. Kirschvink, D. S. Jone and B. J. MacFadden, eds. Magnetite biomineralization and magnetoreception in organs" : *A new biomagnetism.* Plenum Press ; New York and London(1985).
13. K. Schulten, Magnetic field effects in chemistry and biology. *Adv. in Solid State Phys.* **22** : 61-83(1982).
14. D. D. Mahlum, M. R. Sikov, and J. R. Decker, "Dominant lethal studies in mice exposed to direct-current magnetic fields." in : R. D. Phillips, M. F. Gillis, W. T. Kaune and D. D. Mahlum, eds. "Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields, *Proceedings of the 18th Hanford Life Sciences Symposium.* Springfield, VA : National Technical Information Service, 474-484(1979).

15. M. R. Sikov, D. D. Mahlum, L. D. Montgomery and J. R. Decker, "Development of mice after intrauterine exposure to direct-current magnetic fields." in : R. D. Phillips, M. F. Gillis, W. T. Kaune and D. D. Mahlum, eds. "Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields", *Proceedings of the 18th Hanford Life Sciences Symposium*. Springfield, VA : National Technical Information Service, 462-473(1979).
16. F. Konerman and H. Monig, "Studies on the influence of static magnetic fields on prenatal development of mice". *Radiologe* **26**, 490-497(1986)(in German).
17. T. S. Tenforde, C. T. Gaffey and M. S. Raybourn, "Influence of stationary magnetic fields on ionic conduction processes in biological systems." in : T. Dvorak, ed. *Proceedings of the Sixth Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*. Zurich, Switzerland : pp. 205-210 (1985).
18. G. Miller, "Exposure guidelines for magnetic fields". *Am. Ind. Hygiene Assoc. J.* **48** : 957-968(1987).
19. C. I. Kowalczyk, Z. J. Sienkiewicz and R. D. Sanunders, "Biological effects of exposure to non-ionising electromagnetic fields and radiation." in : *I-Static electric and magnetic fields*. Chilton, UK : National Radiological Protection Board ; NRPB-R238(1991).
20. T. S. Tenforde, C. T. Gaffey, B. R. Moyer and T. F. Budinger, "Cardiovascular alterations in Macaca monkeys exposed to stationary magnetic fields : Experimental observations and theoretical analysis." *Bioelectromagnetics* **4** : 1-9(1983).
21. F. G. Shellock, J. V. Cruess, "Temperature, heart rate, and blood pressure changes associated with clinical MR imaging at 1.5 T." *Radiol.* **163** : 259-262(1987).
22. T. F. Budinger, *Emerging nuclear magnetic resonance technologies* : Health and Safety. in : "Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy." *Ann. New York Acad. Sci.* R. L. Magin ; R. P. Liburdy, "Persson, B., eds." **649** : 1-18 ; 1992.
23. A. M. Vyalov, "Clinico-hygienic and experimental data on the effects of magnetic fields under industrial conditions." in : Influence of magnetic fields on Biological objects. Springfield. VA, National Technical Information Service ; Report No. JPRS 63038 : Y. A. Kholodov, ed. : pp. 163-174(1974).
24. V. A. Roshchin, "Assessment of the local effect of magnetic field on the human organism in the laboratory conditions." *J. of Occupational Hygiene and Health* **7** : 33-36 (1985).
25. Y. P. Paltsev, Biological effect and hygienic regulation of SMF as a factor of the environment and industrial zone. *Hygiene and Sanitation* **10** : 55-59(1989)(in Russian).
26. Y. P. Syromyatnikov, V. A. Roshchin, and T. P. Surkova, "Several biological effects of SMF of various strength." *J. of Occupational Hygiene and Health* **10** : 16-19(1989).
27. J. F. Schenck, C. L. Dumoulin, R. W. Redington, H. Y. Kressel, R. T. Elliott and I. L. McDoyugall, "Human exposure to 4.0-Tesla magnetic fields in a whole-body scanner". *Med, Phys.* **19** : 1989-1098(1992).
28. J. L. Marsh, T. J. Armstrong, A. P. Jacobson, and R. G. Smith, "Health effects of occupational exposure to steady magnetic fields." *Am. Ind. Hygiene Assoc. J.* **43** : 387-394 (1982).
29. T. F. Budinger, K. S. Bristol, C. K. Yen, Wong, P. Biological effects of static magnetic fields. in : *Proceedings of the 3rd Annual Meeting of the Society of Magnetic Resonance in Medicine*. Berkeley, CA : Society of Magnetic Resonance in Medicine ; pp. 113-114

- (1984).
30. H. E. Rocketta and V. C. Arena, "Mortality studies of aluminum reduction plant workers: Potroom and carbon department." *J. Occup. Med.* **25** : 549-557(1983).
  31. J. M. Mur, J. J. Moulim, C. Meyer-Bisch, N. Massin, J. P. Coulon and J. Loulergue, "Mortality of aluminium reduction plant worker in France. *Int. J. Epidemiology* **16** : 256-264(1987).
  32. L. Barregård, B. Jarvholm and E. Unge-thum, "Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields". *Lancet* **2** : 892(1985).
  33. International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee(IRPA/INIRC). "Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields." in : *IRPA guidelines on protection against non-ionizing radiation*. Pergamon Press, New York : A. S. Duchene, J. R. A. Lakey and M. H. Repacholi, eds. : pp. 83-94(1991a).
  34. W. Imich and L. Batz, "Assessment of threshold levels for static magnetic fields affecting implanted pacemakers." Berlin, Germany : Federal office of Health ; Report Fol-1040-523 E15(1989).
  35. V. Barbaro, P. Bartolini and L. Tarricone, "Evaluation of static magnetic field levels interfering with pacemakers". *Physical Medica* **7** : 73-76(1991).
  36. F. G. Shellock, "Biological effects and safety aspect of magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance*" **Q. 5** : 243-261(1989).
  37. F. G. Shellock and J. S. Curtis, "MR imaging and biomedical implants, materials, and devices" : *Radiol.* **180** : 541-550(1991).
  38. K. Henrichsen, "Large scale magnetic field measurement and mapping." in : "8th International Conference on Magnetic Technology." *J. Phys.* **45** : pp. 937-942(1984).