

전자 상품 감지 시스템의 전자파
환경

연세대학교 대학원

생체공학협동과정

전자공학전공

김 종 정

전자 상품 감지 시스템의 전자파 환경

지도 김 덕 원 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2008년 7월 일

연세대학교 대학원

생체공학협동과정

전기·전자공학전공

김 종 정

김종정의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2008년 7월 일

감사의 글

2004년 석사과정을 시작한지 4년 만에 석사 학위 논문을 이제야 쓰게 되었습니다. 남들은 2년을 하는 과정을 회사생활이라는 핑계로 4년을 넘게 끌어와 과연 논문을 제대로 쓸 수 있을까 조바심과 걱정으로 있는 저를 배려해주시고 격려해주신 김덕원 교수님께 진심으로 감사드립니다. 논문을 쓰기위한 실험에 있어서 시간이 없는 저를 묵묵히 도와준 연구실의 후배 효철, 주형, 탁형, 영우, 형욱이 모두 정말 고맙게 생각합니다. 파트타임이라는 사정을 이해해 주시고 저에게 출석과 면학분위기를 배려해 주신 김남현 교수님, 유선국 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 바쁜 시간에도 불구하고 저의 석사 논문 심사에 흔쾌히 응하여 주셔서 논문의 완성도를 위해 아낌없이 조언을 해주신 김수찬 교수님, 육종관 교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.

30대 중반이라는 적지 않은 나이에 석사 과정을 시작하고자 하였을 때 나이는 숫자에 불과하다며 제 회사 업무를 분담해 주었던 회사 후배인 전용한, 박명재, 김종필, 김석현에게 모두 감사합니다. 영업과 마케팅을 총괄해야 하는 저에게 공부에는 때가 있다며 근무 시간을 할애할 수 있도록 허락해 주셨던 엑사이엔씨 구본현 사장님, 김기호 부사장님, 이명호 상무님, 김시태 상무님께도 감사드립니다. 석사논문을 마칠 수 있도록 부서는 다르지만 열심히 하라는 격려를 전해준 전태석, 엄효숙, 안소영 씨께도 감사드립니다. 실업자의 위기에서 연구소를 맡게 해주신 씨유메티칼 나학록 사장님, 강신희 이사님께도 감사의 말씀을 드립니다.

비록 전공은 다르지만 각자의 길에서 제가 석사 논문을 준비하는데 아낌없이 조언을 해주신 오덕원 교수님, 영동세브란스 심재훈 선생님, 이규완 선생님, 심현보 선생님께도 감사드립니다. 의료기 사업을 하면서 저와 다른 관점에서 여러 가지 차이를 지적해 준 저의 20년 지기 지성철, 장영석에게도 감사의 말을 전합니다. 석사논문과 관련한 여러 가지 행정사항에 대해 항상 빠짐없이 설명해주시고 자료를 보내주신 유정숙씨께도 감사드립니다. 선배이지만 늦게 석사과정을 시작한 저를 배려해주고 조언해주며 묵묵히 바라봐준 남기창 박사께도 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 두 아들을 키워오느라 자기의 이름조차 잊고 묵묵히 뒷바라지하며 가족을 지켜준 아내 김태현에게 모든 공을 돌리며, 오늘의 제가 있기까지 저의 든든한 버팀목이 되었고 저에게 보이지 않는 사랑과 격려를 해준 두 아들 현구와 친구, 용인에 계시는 아버지·어머니, 형, 누님과 모든 친지 분들께 진심으로 감사드리며 이 작은 결실을 바칩니다.

2008년 7월

김 중 정 드림

차 례

그림 차례	iii
표 차례	iv
국문 요약	v
제 1 장 서 론	1
제 2 장 EAS System	3
2.1 동작원리	4
2.2 EAS System 분류	6
제 3 장 전자장 인체보호기준	10
3.1 ICNIRP 인체보호기준	10
3.1.1 역사 및 목적	10
3.1.2 노출 한계치의 근거	12
3.2 기본 제한와 기준 레벨	16
3.2.1 기본 제한	16
3.2.2 기준 레벨	18
3.2.3 전자파에 대한 국내 보호 기준	22
제 4 장 측정 방법	25
4.1 연구 대상	25
4.2 측정 장비	25
4.3 측정 방법	27
제 5 장 측정값 및 결과 고찰	30
5.1 14 kHz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교	30
5.2 230 Hz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교	31
5.3 6.3 kHz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교	33

제 6 장 결 론	35
참 고 문 헌	37
Abstract	40

그림 차례

그림 2.1 EAS 시스템 개요도	5
그림 2.2 EAS 시스템 안테나 내부도	5
그림 2.3 연도별 EAS 시스템 발전 사항	6
그림 2.4 기술별 설치 EAS 시스템 수	7
그림 2.5 EM 방식의 EAS System 개요도	8
그림 2.6 RF 방식의 EAS System 개요도	8
그림 2.7 AM 방식의 EAS System 개요도	9
그림 3.1 시변자장 노출에 대한 기준 레벨	20
그림 3.2 시변 전장 노출에 대한 기준 레벨	20
그림 4.1 EHP50C 측정 장비	25
그림 4.2 권장 측정 사항 및 측정 위치	27
그림 4.3 EAS 시스템 영역으로부터 $x=20\text{cm}(y=0\text{ cm})$ 에서의 자기장의 변화	28
그림 4.4 실험 환경 및 측정 위치	29
그림 5.1(a) 14 kHz 주파수 사용 EAS 시스템의 자기장 측정치	30
그림 5.1(b) 14 kHz 시스템의 높이와 안테나로부터 거리에 따른 자기장의 분포도	31
그림 5.2(a) 230 Hz 주파수 사용 EAS 시스템의 자기장 측정치 결과	32
그림 5.2(b) 230 Hz 시스템의 높이와 안테나로부터 거리에 따른 자기장의 분포도	32
그림 5.3(a) 6.3 kHz 주파수 사용 EAS 시스템의 자기장 측정치 결과	33
그림 5.3(b) 6.3 kHz 시스템의 높이와 안테나로부터 거리에 따른 자기장의 분포도	34

표 차례

표 2.1 EAS 기술 요약표	4
표 2.2 기술 방식에 따른 장단점 비교	9
표 3.1 10 GHz 주파수 영역의 시변 전자장에 대한 기본 제약	17
표 3.2 10 ~ 10 GHz 사이 주파수에 대한 전력 밀도 기본 제약	18
표 3.3 시변 전자장에서 작업자 노출에 대한 기준 레벨	18
표 3.4 시변 전자장에서 일반인에 대한 기준 레벨	19
표 3.5 일반인에 적용되는 전자파 보호 기준	23
표 3.6 직업인에 적용되는 전자파 강도 보호기준	24
표 3.7 국부노출에 대한 전자파 흡수율(SAR)기준	24
표 4.1 EHP50C 측정 장비 제원	26

국 문 요 약

전자 상품 감지 시스템의 전자파 환경

EAS (Electronic Article Surveillance) 시스템(전자 상품 감지 시스템)은 기본적으로 상품의 도난 방지를 목적으로 출발하였으나 2000년 이후 상품의 종류와 다양성이 늘어나면서 상품 재고 수량 관리, 판매 수량 및 매출 관리등과 연관된 종합적 물류 관리의 핵심으로 급속히 확산되어가고 있다. 우리나라에서도 1990년대 대형 도서관과 도서 판매점을 중심으로 시작하여 2000년대에 대형 할인매장, 물류창고, 대형 제조업체의 출입 통제 시스템 등으로 급속히 확산되고 있다. 이러한 EAS 시스템은 일반인이거나 직업인 모두 일상생활에서 빈번하게 노출되는 전자파 환경이며, ICNIRP (International Committee of Non-Ionizing Radiation protection)에서는 1998년 일련의 연구 결과물을 토대로 기본 제한(basic restriction)을 설정하였으며, 이를 근거로 일반 기준 레벨(reference level)을 산출하여 각 주파수 대역별로 노출 한계를 설정하였다. 우리나라에서도 ICNIRP의 가이드라인을 바탕으로 정보통신부(현 방송통신위원회)에서 규정한 MIC (Ministry of Information and Communication)규정에 의해 각 주파수 대역별 노출 한계를 규정하고 있다.

북미에서는 EAS 시스템 개발 단계에서부터 전자파 오작동에 관한 연구가 실시되고 있으며, 이를 바탕으로 하여 EAS 시스템의 출력을 조정하거나 수정하고 있다. 또한 신체와 직접 접촉하는 의료 기기(pacemaker, defibrillator)에 대한 오작동의 가능성을 연구하여 공공장소에는 반드시 전자파가 발생하는 기기에 주의 안내판을 붙일 것을 FDA (Food and Drug Administration: 미 식약청)에서 권고 하고 있다. 국내의 경우, 2002년 KAIST의 이종오 등에 의해 EAS 시스템 환경에 대해 최초로 모델링 하였으나, 이는 실제 측정 data를 분석한 것이 아니라 ICNIRP의 가이드라인에 의한 수치적 모델링에 그쳤다.

본 연구에서는 국내 대학의 도서관과 상품 판매점에 있는 EAS 시스템의 전자파 환경을 측정하고, 이를 ICNIRP의 가이드라인과 국내 MIC 인증 수치와 비교하였으며 인체의 높이에 따른 노출량을 도표화 하였다. 측정된 모든 EAS 시스템에서 기준치의 두 배에서 수 십 배에 이르는 높은 전자파 수치가 관찰되었으며, 특히 높이 100cm 이상의 위치에서는 상대적으로 높은 수치가 관찰되었다. 이는 성인의 몸통과 청소년의 심폐기관 위치와 부합되므로 향후 노출시간이 짧으면서도 노출 횟수가 빈번한 환경에서

의 연구가 진행되어야 함을 보여주는 결과이다.

또한 측정된 모든 EAS 시스템이 모두 MIC 인증을 통과한 제품이었음에도 불구하고 기준치를 상회하는 전자파가 측정되었는데, 이는 인증 후 EAS 시스템에 대한 전자파 관리의 미비점을 보여주는 사례라 하겠다. EAS 시스템과 같은 지속적으로 전자파를 발생시키는 환경에서는 반드시 MIC 재 인증이나 전자파 방출에 대한 안내문 부착, 지속적 전자파 수치의 모니터링을 통한 관리가 반드시 필요하다 할 수 있다.

핵심 되는 말 : EAS 시스템, ICNIRP, 기본 제한, 기준 레벨, MIC 인증, 전자파,
오작동, 인체영향

제 1 장 서론

전자 상품 감지 시스템(EAS, Electronic Article Surveillance System)은 1970년대 상용화된 이후 북미시장을 비롯한 세계 각국의 주요 보안 시스템으로 자리 잡고 있다. 상품의 종류와 수량이 점점 증가함에 따라 그 필요성과 수요는 점점 증가하고 있는 추세이다. 대부분의 공공도서관이나 대형 할인점 등은 전자 상품 감지 시스템을 채용하고 있으며, 최근에는 제조업체의 보안 유지를 위해 초 소형 부품에 까지 전자 상품 감지 시스템을 적용하고 있는 추세이다.

이러한 EAS 시스템을 포함한 통신 장비 등의 증가로 인해 전자파의 오작동 사례가 빈번하게 일어나고 있으며, 그 추세 또한 매년 증가하고 있는 실정이다. 전자파에 의한 대표적인 의료 장비 관련 오작동 사례로는 1999년 남기창 등의 논문 [1]에 의하면, 휴대용 전화기 등에 의해 발생하는 전자파에 의해 의료기기에 발생하는 오동작의 발생 사례를 제시하였는데 총 38가지의 의료 장비 중 무전기에 의해 영향을 받은 것이 33기종(88.6%) 이었고, 이중 가역적 영향이 30기종, 가역적 영향과 불가역적 영향 모두 나타난 것이 5기종, 불가역적 영향만 나타난 것이 3기종이었다. 미국 메드트로닉사도 심장박동기 센서가 휴대폰의 전자파를 심장박동으로 오인해 전기 자극을 중단할 수 있음을 확인한 바 있다. 이와 함께 휴대폰이 인체에서 가장 예민한 머리부위에 밀착해 반복적으로 사용되기 때문에 이미 육체적인 상태가 나빠진 환자들의 상태를 더욱 심각하게 만들 수 있다는 염려도 제기되고 있다[5].

미국 FDA는 2005년 까지 모두 2건의 EAS 시스템의 영향과 관련이 있는 것으로 보이는 사건을 보고하였다. 이 보고에 의하면, cardiac pacemaker를 부착한 일반인이 대형 마트의 EAS 시스템을 통과하던 중 pacemaker의 오동작으로 갑자기 부정맥을 일으켰으나, 환자를 즉시 EAS 시스템으로부터 격리하였더니 다시 pacemaker가 정상적으로 작동하였다고 한다. 이러한 전자파에 의한 오동작의 또 다른 사례로는 1984년 뮌헨 부근 전파송신소가 밀집된 지역 상공을 저공비행하던 전투기가 조종제어 불능으로 갑자기 추락하는 사고가 발생했다. 이와 같은 비행기 추락 사고는 전자파 노이즈가 원인이 된 것으로서, 영국민간항공국과 미 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)이 공동 조사한 전자파의 기내시스템 영향평가결과 항공기운항 중 노트북 PC의 무선통신칩셋인 초광대역무선(UWB, Ultra Wide Bandwidth)모듈이 항공기의 충돌방지/착륙시스템 등 각종 전자 장비에 영향을 준다는 증거를 찾아내었는데, NASA는 주파수변조를 실시한 UWB모듈을 보잉747/737에 각각 장착 후 시험한 결과 착륙시스템의 간

섭현상을, 이를 100배로 증폭 시에는 충돌 방지 시스템의 오동작 현상을 발견했다.[6]

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 국제비전리방사보호위원회)는 이러한 전자파에 의한 노출 연구를 토대로 1998년 각각의 주파수 영역별 전자파 노출 한계를 규정 하였으며[2] 이에 근거한 기본 제한(Basic Restriction)과 기준 레벨(Reference level)을 초과하는 전자파에 노출될 경우 상기와 같은 오작동의 개연성이 항상 존재하고 있으며 특히 생명 유지에 중대한 영향을 미치는 신체 부착형 의료 장비에 대한 영향 연구와 기준에 대한 적용이 명확하게 이루어져야 한다.

본 연구에서는 작업자를 포함한 일반인이 가장 빈번하게 노출되고 있는 국내에서 사용되고 있는 각종 전자 상품 감지 시스템의 실제 노출량을 측정하고, 이를 ICNIRP의 기준레벨과 국내 MIC (Ministry of Information and Communication, 구 정보통신부, 현 방송통신위원회) 기준과 비교하여 과다 노출 여부를 조사하고, 인체와 신체 부착형 의료기기에 대한 영향 가능성을 고찰하는데 그 목적이 있다.

제 2 장 EAS System

EAS 시스템은 상점, 도서관, 편의점등의 시설에서 도난 방지의 목적으로 가장 널리 사용된다. 또한 기업의 입출 관리, 심지어 병원에서도 같이 여러 다른 분야에도 적용되고 있다. 1934년 Pierre Card는 전자기장 내에 놓인 서로 다른 금속 물질은 서로 다른 고조파를 발생시킨다는 사실을 발견하였다. 즉, 뮤 메탈(ν -metal)이나 퍼멀로이와 같이 초기 투자율이 대단히 큰 금속의 경우 상대적으로 높은 차수의 고조파를 나타내므로 이러한 금속 물질이 나타내는 특별한 고조파를 검출할 수 있다면, 전자기장내에 이러한 물질의 존재를 검출할 수 있음을 제안하였다[3]. EAS용 자기 센서에 대한 연구는 높은 차수의 고조파 발생이 가능한 고투자율 재료에 대한 연구에 초점이 맞추어졌으며, 1980년 Richardson에 의하여 퍼멀로이를 이용한 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서의 조건이 제시되었다. Richardson은 60 Hz ~10 kHz의 시스템 주파수를 사용하여 18차에서 20차의 고조파를 검출하였다[3].

EAS 시스템용 자기 센서는 1970년대 말 비정질 자성 합금이 대량 생산되어 상용화되기 시작하면서 새로운 전환점을 맞이하였다. 1981년 Allied Signal사에 의해 코발트계 아몰퍼스 합금(상품명 METGLAS)을 이용한 고투자율 비정질 자기 센서가 개발되어 비정질 연자성 합금이 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서의 주요 재료로 자리를 차지하게 되었으며, 상품의 도난 방지 필요성 및 인건비 절감 등의 사회 환경적 요인과 더불어 수요는 급속히 증가하였다.

그 후 자기 센서 기능 향상 및 신뢰성 향상을 위한 각종 연구가 진행되었으며, 1987년 Sensormatic사에 의하여 비정질 세션(microfiber)을 이용한 센서의 개발이 이루어졌고, 1990년에는 Hitachi사에 의해 Nanocrystalline Alloy인 FINEMET를 이용한 자기 센서의 개발이 보고된 바 있다[3]. 현재 전 세계적으로 EAS 및 자기 센서를 공급하고 있는 회사로는 Sensormatic, Knogo, METTO, NEDAP 등이 있다. 표 2.1 은 EAS system 기술별 요약 사항을 기술 하였다.

표 2.1 EAS 기술 요약표

System description	Technology type	Frequency ranges	Typical modulation	Deactivation field type
EM-Electromagnetic	Nonlinearity in soft-magnetic material	15 Hz ~18 kHz	CW(sometimes multiple frequencies)	Permanent magnet and electromagnet
AM-Acousto-Magnetic	Resonance in magneto-restrictive magnetic material	58 ~68 kHz	Amplitude-modulated (mark/space<10%)	Permanent magnet and electromagnet
RF - Radio Frequency	Resonance in miniature electrical circuit	2 ~ 10 MHz	Swept frequency (across 2 MHz at 50 - 100 Hz repetition rate)and pulse modulated	RF magnetic field
Microwave	Nonlinearity in antenna with diode	915 MHz and 2450 MHz	CW or frequency hopping	Contact electrodes

2.1 EAS System 동작 원리

EAS 시스템 장치는 그림 2.1과 같이 상점의 출입구나 계산대 출구에 설치된 감지 시스템(detection system, A) 과 도난 방지를 위한 상품에 부착된 전자 태그나 라벨(B), 그리고 계산대에 설치되어 재사용이 가능한 태그를 분리(detacher) 또는 라벨을 비활성(deactivator) 시켜 그 기능을 없애는 부분(C)으로 이루어져 있으며, 이는 제조사나 사용된 기술 방식과 상관없이 공통적인 것이다.[7]

상품 등이 활성화된 라벨 혹은 태그가 부착되어 있는 상태에서 감시 영역(surveillance area)을 통과할 경우, 경보음이 발생한다. 이때 태그나 라벨에 의해 발생하는 전자기장 교란은 무시된다(주 감지 장(main detection field)의 교란보다 4~5차수 작은 크기). 보호되는 상품의 크기는 넓은 범위를 보호해야 하기 때문에, EAS 태그 혹은 라벨은 그 크기가 작아야 한다. 이는, 2~3 미터의 상점 출입문을 보호해야 하는 것과 맞물려, 현재 사용되고 있는 전자기장 방사를 필요로 하는 것이다. EAS 시스템 내의 전자기장은 크기와 방향에 따라 일정하지 않다. 일반적으로 패널 주춧대 표면 부분, 전류 전달 코일에 가까운 부분에서 가장 강하며, 패널로부터 가장 떨어진 지점에서 가장 약하다(e.g. 패널 사이 중간 부분). 고객이나 출입자의 대부분은 이러한 가장 약한 장(field)과 전신 노출(whole-body exposure)을 경험하는 것이다.

일반적인 경우 대부분의 EAS 시스템의 노출은 일시적인(transitory) 것이다. EAS 시스템을 지나갈 때 일반적인 걸음 속도는 약 1m/s 정도이고, 시스템내의 감시 영역은 1~2m 정도 길이이다. 만약 시스템 내에서 머뭇거리거나 한다면 보

통의 경우 출입을 막게 되기 때문에, 경비나 보조원에 의해 움직여야 할 것이다.

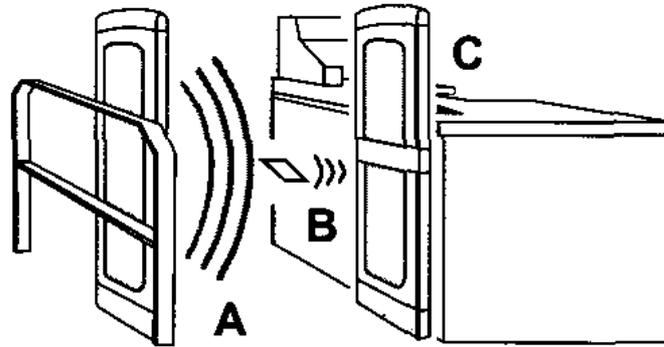


그림 2.1 EAS 시스템 개요도 (출처: IEEE, 2002)

그러므로 일반적인 노출 시간은 1~2초 이상 지속되지 않는다. EAS 태그 혹은 라벨은 제거기에 의해 제거 또는 비활성장치에 의해 비활성 되거나, 계산대에서 점원의 확인 후 감시 지역을 돌아서 나가는 형태로 해제된다.

그림 2.2 는 일반적인 EAS 시스템의 안테나 내부도이며 각 gate 내부에 transmitter coil과 receiver coil이 있으며, 각 gate는 대칭의 특성을 가지게 된다.

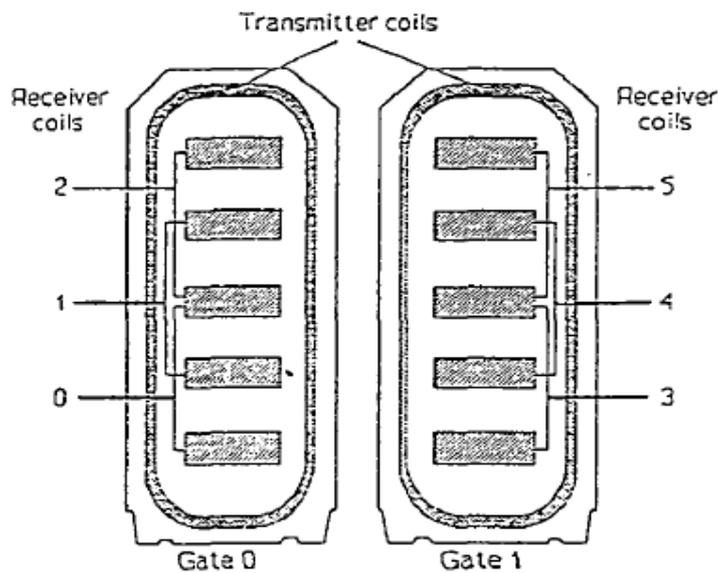


그림 2.2. EAS 시스템 안테나 내부도
(출처 : Sensormatic Ultra.Exit AMS Detection Systems datasheet)

비활성장치는 전자장을 사용하여 태그나 라벨의 공명기능이나 자력을 변화시키

기에 충분한 하나 혹은 짧은 펄스를 발생시킨다. 몇몇 비활성장치는 태그/라벨을 감지할 수 있는 회로를 내장하고 있으며(근본적으로 감지 패널의 축소형태) 자동적으로 비활성 신호를 발생한다. 때로는 작업자에 의해 버튼의 누름에 따라 트리거 되거나 바코드 감지기 혹은 이와 비슷한 장치에 연결 되었을 때 비활성 장치는 자동으로 트리거 되기도 한다.

비활성 영역은 일반적으로 절대 크기에서 주 감지 영역에 비해 크지만, 1초보다 짧은 지속시간과 비활성 장치의 주변의 작은 영역에 한정된다. 이는 근접한 영역에서 발생할 수 있는 다른 상품의 태그나 라벨이 임의로 비활성화 되는 것을 막기 위하여 한정된 영역으로 고안한 것이다. 일반적으로 비활성 장치는 일반인이나 고객으로부터 충분히 먼거리에 고정되어 있으며, 보통 30cm 이상 떨어져 있다. 데스크나 카운터의 높이는 일반적으로 70~90cm 높이의 범위이다. 작업자는 일반적으로 입출 시스템의 주 감지 지역에서 충분히 외부에 위치한다. 통로 시스템에서 작업자는 감지 패널 뒤에 근접하게 위치하지 않는데 이는 패널 뒤에 서있게 되면 고객과의 의사소통을 할 수 없게 되기 때문이다. 게다가, 많은 경우에, 통로형 시스템은 감지 패널의 계산대 쪽 위에 (금속 계산대 자체의 성능을 향상시키기 위해) 보호대(shields)가 설치되어 있어서 장의 세기를 감소시킨다.

2.2 EAS System 분류

EAS 기술은 여러 가지가 있으나, 4가지 종류의 기술만이 시장에서 성공을 거두었고 현재까지 널리 사용되고 있다. 이 중 3가지 기술은 수 십년 동안 이용되었으며, 이들보다 “가장 최근”의 기술조차 20년 이상 이전에 개발되어 사용되고 있다.(그림 2.3 참조)

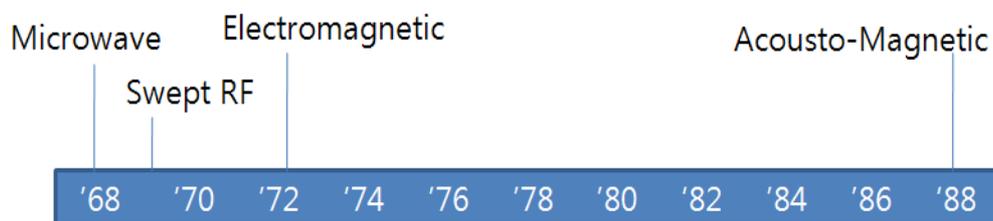


그림 2.3 연도별 EAS 시스템 발전 사항

(출처 : IEEE, International symposium, 2002)

첫 번째 EAS 기술인 마이크로파는 40년 전 북미 상품 시장에 소개되었으며, 특히 대형출입구를 가진 유통센터에 마이크로파 EAS 기술이 적합하였다. 곧바로 Swept RF (Radio Frequency) 기술이 북미 상품 시장에 처음으로 소개 되었고, 급속히 유럽 지역에 적용되었다. 그로부터 4년 후 전자기(Electromagnetic, EM) 기술의 EAS 시스템이 도서관과 상품 시장에 소개되었다. 마지막으로, 가장 최신의 기술인, Acousto-Magnetic(AM)이 1988년 소개되어 현재 많은 상품 시장에 널리 적용 되고 있다. 백만 대 이상의 EAS 시스템이 90개 이상의 나라에 설치되어 있으며, 북미와 유럽지역이 주요 설치 지역이다. EAS 장비의 매출액은 연간 12억5천만 달러를 넘어섰으며, 5년간 평균 8~9% 성장을 할 것으로 예상되고 있다.[8] 대부분의 대형 상품 판매자들이 EAS를 사용하고 있는데 여기에는 외국계인 Carrefour, Karstadt, Sainsbury, Le Printemps, WalMart, Kmart 그리고 국내의 E-mart, Lotte-mart등의 업체들이 있다. EAS 시스템은 또한 도서관, 우체국, 미술품 전시장 등, 광범위한 영역으로 확장되어 가고 있다.

그림 2.4는 적용 대수 와 동작 주파수에 따른 4가지 EAS 기술을 도식화 한 것이다. EM 방식은 교류 자장 내에 연자성 재료(금속)이 놓일 때, 감시지역 내의 교류 자장이 변화되어 발행하는 고조파(harmonic)를 감지하여 검출하는 원리이다. EM 방식은 도서관이나, 서점 및 자료 보호를 목적으로 하는 기업 또는 공공기관에 맞는 넓은 출입구 감지 시스템이다. 그림 2.5와 같이 구성되어 있으며 감지 범위는 두 패널로 이루어진 80 ~ 120cm 범위를 감지한다.

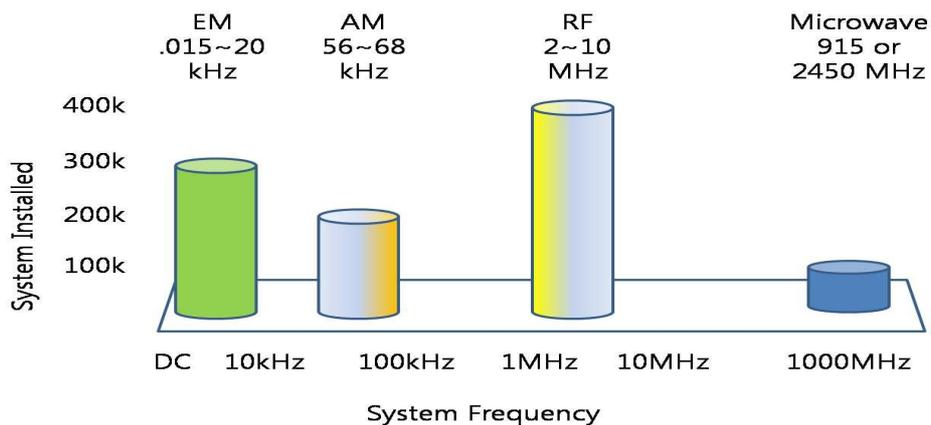


그림 2.4 기술별 설치 EAS 시스템 수

(출처 : IEEE, International symposium, 2002)

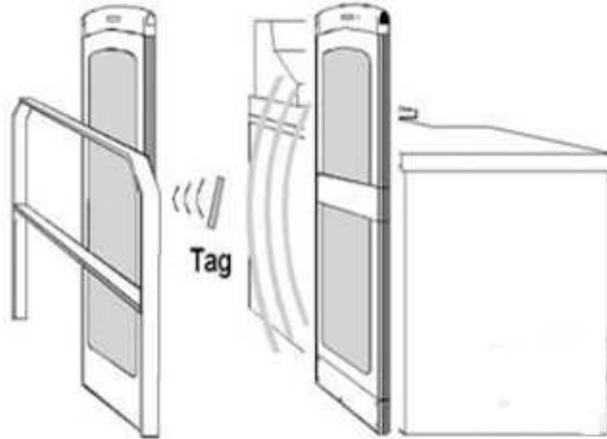


그림 2.5 EM 방식의 EAS System 개요도
(출처 : 미국 TAG사 homepage)

RF 방식은 그림 2.6과 같은 구성으로 이루어져 있다. Swept RF 방식이라고도 불리며, 7.4 MHz에서 8.8 MHz 사이의 주파수 대역을 송신 신호로 사용한다. 또한 수신기의 주파수 대역을 시스템 주변 환경에 따라 설정이 가능한 self-adjust 방식과 디지털 신호처리 방식으로 오작동을 줄였다.

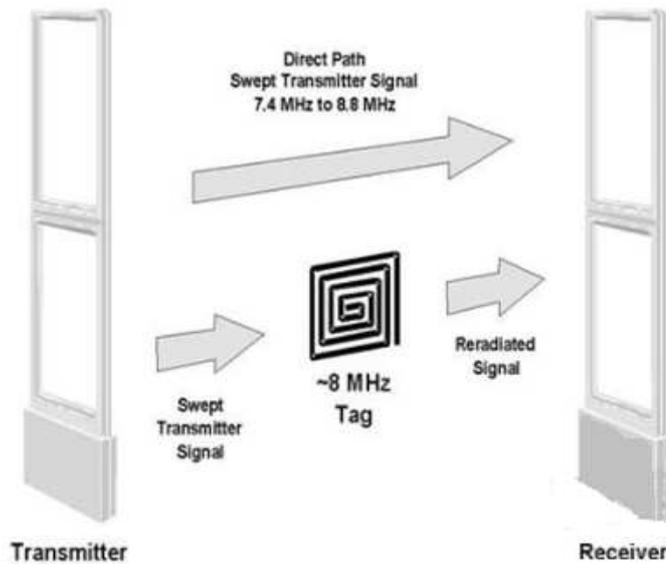


그림 2.6 RF 방식의 EAS System 개요도
(출처 : 미국 TAG사 homepage)

AM 방식의 EAS system은 그림 2.7과 같이 구성되어있으며, 1988년 EM 방식의 실용성과 RF 방식의 넓은 감지 범위라는 장점을 결합하여 개발되었으며, 58

kHz의 고정된 저주파를 사용하여 센서의 진동 파장을 읽어내는 방식이다.

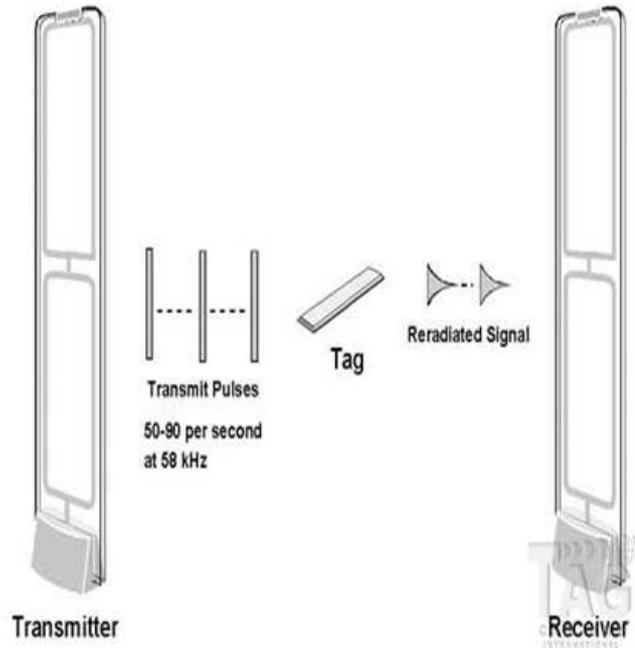


그림 2.7 AM 방식의 EAS System 개요도

(출처 : 미국 TAG사 homepage)

송신기는 감지해야할 영역에 대해 58 kHz의 단일 주파수 펄스를 발생시키며, 송신기에서 발생된 파장이 감지 영역 내에 태그나 라벨의 비정질 합금에 의해서 진동을 발생시키게 된다. 이때 발생된 파형은 특정한 형태를 지니며, 수신기에서는 이러한 진동 파형을 읽어내고 주어진 조건과 비교하여 일치여부를 판단, 경보를 울리는 것이다. 각 방식별 장단점은 표 2.2와 같다.

표 2.2 기술 방식에 따른 장단점 비교

	EM 방식	RF 방식	AM 방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> -라벨이 얇고 작아 은닉성 우수 -비활성화기에 편리 	<ul style="list-style-type: none"> -라벨의 방향에 따른 감도차가 크지 않음 -감지율 90% 이상 	<ul style="list-style-type: none"> -금속 성분, 쇼핑카트 내 라벨 감지 가능 -타사라벨 또는 유사물질 및 금속에 의한 오경보가 거의 없음 -감지율 90% 이상
단점	<ul style="list-style-type: none"> -운반시 라벨의 방향에 따라 감지도의 차가 큼 -금속 성분의 제품에 부착시에도 감지도 저하 -타사 라벨 또는 금속성분의 유사물질에 의한 오경보 및 장애가 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> -라벨사이즈가 가장 커 은닉성이 떨어지며 소형 상품 정보를 가림 -타사의 RF 라벨 또는 유사 물질에 의한 오경보가 큼 -쇼핑 카트 내 라벨 감지 불가 	<ul style="list-style-type: none"> -사이즈에 비해 두께가 두꺼움

제 3 장 연구 내용

3.1 ICNIRP 전자장 인체보호기준

3.1.1 역사 및 목적

1974년 IRPA (International Radiation Protection Association: 국제방사보호협회)는 다양한 종류의 비 전리방사(non-ionizing radiation: NIR)에 의해 발생하는 문제들을 다루기 위해 실행그룹(Working Group)을 설립했다. 1977년 IRPA Paris 총회를 마친 후 비 전리방사에 관한 실행그룹이 INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee: 국제비전리방사위원회)로 개편되었다.[9]

세계보건기구(WHO)의 한 부서인 환경 건강부와 협력 하에 UN 환경프로그램(UNEP: United Nation Environmental Protection)의 지원을 받아 IRPA/INIRC는 WHO의 환경 건강 프로그램(Environmental Health Criteria Programme)의 일환으로 NIR에 대한 다수의 건강 표준안을 개발하게 되었다. 각 문서는 물리적 특성, 측정 및 계측기, 전자과원(sources), NIR의 응용, 생물학적 영향에 대한 문서 고찰, NIR 노출에 대한 건강 위해 평가 등을 포함하고 있다. 이러한 건강 표준안은 NIR과 관련된 노출 한계치 및 실제적인 규격(codes)을 위한 데이터베이스를 제공한다.

1992년 제8차 IRPA Montreal 총회에서 새롭고 독립적인 과학기구로서 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: 국제비전리방사보호위원회)가 IRPA/INIRC의 후계기관으로 설립되었다. 상술된 기구의 업무는 다양한 종류의 NIR과 관련된 위해성을 조사하고, NIR 노출 한계치에 대한 국제적인 지침서를 개발하며 아울러 NIR 보호에 대해 다양한 관점에서 다룬다. NIR은 다음의 내용을 포함한다.

- 전자장 방사와 100 nm 이상의 파장을 가지는 전파, 즉 0-3 PHz ($0-3 \times 10^{15}$ Hz)의 주파수, 정전장(static electric field)과 정자장(static magnetic field), 초저주파, 무선주파(마이크로웨이브 포함), 적외선, 가시광선, 자외선.
- 20 kHz 이상의 음파(초음파)와 20 Hz 이하의 음파(초저음파).

주목적은 알려진 광범위한 건강 영향(adverse health effect)으로부터 보호할 수 있는 EMF (electromagnetic field) 노출 한계치에 대한 보호기준을 제정하는데 있으며 이 건강 영향은 노출된 개인 또는 그 자손에게까지 치명적 손상을 가져올 수 있다. 반면에 생물학적 영향(biological effect)은 건강 악영향을 미칠 수도 또는 미치지 않을 수도 있다. EMF의 직접적 영향은 신체와 장(fields)간에 직접적 상호 작용의 결과로 나타나는 것이고, 간접적 영향은 신체로부터 다른 전위를 갖는 물체가 위치해 있을 때 발생하는 것이다. 실험실의 결과와 역학조사, 기본 노출기준, 노출 표준안과 실제 위해성 평가(hazard assessment)를 위해 기준 레벨 등이 논의되며 제안된 가이드라인은 직업인 및 일반인 노출에 적용된다.

고주파 및 50 Hz 혹은 60 Hz 전자장에 대한 보호기준이 IRPA/INIRC에 의해 1988년과 1990년에 각각 발표된바 있으나 시변 EMF 전 주파수 영역(300 GHz까지)을 포함하는 현재의 보호기준으로 대체되었다. 정자장은 1994년에 발간된 ICNIRP 보호기준에 포함되어 있다. 노출 한계치 설정에 있어서 위원회는 전문가들 각각의 의견을 조율할 필요성을 인지하게 되었다. 과학적 보고서의 신뢰성을 고려하여 동물, 임상 실험으로부터 인간 위해성을 추정하는 외삽법이 사용되었다. 이러한 보호기준의 한계치는 과학적 데이터만 바탕을 두었으나 한계치들이 시변 EMF의 노출로부터 충분한 보호 레벨을 제공한다는 것이 현재까지의 의미 있는 사실이다.

*** 기본 한계 제한치(basic restrictions):** 확립된 건강 영향과 직접적으로 관련이 있는 시변 전장, 자장, 전자장의 노출 한계치들을 “기본 한계”라 명한다. 장(場)의 주파수에 의존하는 이러한 한계치들을 명확히 표현하기 위한 물리적 양들로는 전류 밀도(J), 비흡수율(SAR), 전력밀도(S)이며 신체 밖 대기 중의 전력밀도만이 노출된 개개인에서 쉽게 측정될 수 있다.

*** 기준 레벨(reference level):** 이러한 레벨들은 기본 한계치들의 초과 여부를 판단하기 위한 실질적 노출 추정을 목적으로 제공되는 것이다. 일부 기준 레벨들은 측정을 통하거나 수치적 계산을 이용하여 적절한 기본 한계치로부터 유도된다. 그리고 어떤 것은 인력과 EMF에 노출되었을 경우의 간접적인 역작용을 나타낸다. 유도된 양들로는 전장강도(E), 자장강도(H), 자속밀도(B), 전력밀도(S), 사지를 통과하는 전류(I L)이다. 인지력과 여타의 간접적인 영향들을 나타내는 양은 접촉전류(IC: induced current)이며 펄스신호에 대해서는 비흡수(SA: specific absorption)로 표현된다. 어떤 특수한 노출 상황에서 이러한 양들이 측정 또는 계산된 값들은 적절한 기준 레벨과 비교될 수 있다. 기준 레벨 값을 만족하는 것은 적절한 기본 한계치를 만족시킨다. 만

약 측정된 값이나 계산된 값이 기본 레벨을 초과한다고 기본 한계치를 꼭 초과하는 것은 아니다. 그러나 기준 레벨이 초과될 때마다 조사가 필요하며 적절한 기본 한계치를 만족하는지 테스트하여 추가적인 보호측정이 필요한지를 결정해야 한다. 이 보호기준에 사용된 측정 양들의 상이한 주파수 영역과 파형은 다음과 같다.

- * 전류밀도 J, 주파수 영역 10 MHz까지
- * 전류 I, 주파수 영역 110 MHz까지
- * 비흡수율 SAR, 주파수 영역 100 kHz-10 GHz
- * 비흡수 SA, 주파수 영역 300 MHz-10 GHz의 펄스파
- * 전력밀도 S, 주파수 영역 10-300 GHz

이 보호기준을 만족하는 것이 금속성 보철물, 심장박동기, defibrillators, cochlear implants와 같은 의료장비와의 간섭을 일으키는 것을 배제하는 것은 아니다. 심장 박동기의 간섭이 권고된 기본 레벨 아래에서 일어날 수 있다. 이러한 문제를 피하는 조언들은 이 보호기준의 영역을 벗어나는 것이다. 이 보호기준은 시변 전장, 자장, 전자장이 건강에 미치는 악영향이 검증되는 대로 확인하여 정기적으로 갱신될 것이다.

3.1.2 노출 한계치의 근거

노출 한계를 위한 보호기준은 이미 발표된 과학적 문헌들에 대한 철저한 검토 과정을 거쳐 개발된 것이다. 검토 과정에 적용된 기준으로는 다양하게 발표된 연구결과들의 신뢰성을 평가하기 위해 고안되었으며 오직 확증된 영향만을 제안된 노출 한계치의 근거로 사용하였다.

장기간 노출로 인한 암의 유발은 확증된 것으로 고려하지 않았으며, 따라서 이 보호기준은 말초신경과 근육의 자극, 전도성 물체를 통한 화상과 쇼크, EMF 노출에 의한 에너지 흡수 효과에 의한 피부 조직의 온도상승과 같은 단기간 및 순간 건강 영향에 기반을 두었다.

암 발병 위험이 큰 잠재적인 장기간 노출 영향의 경우 역학연구가 결과로 추정되는 것이 있을 지라도 낮은 수치의 50 Hz 혹은 60 Hz 자속밀도에서의 발암 유발 가능성에 대해 확증할 수 없어 노출 한계치 설정 근거를 제공하기에는 불충분하다고 ICNIRP는 결론지었다.

ELF(Extremely Low Frequency) 및 진폭 변조된 ELF EMF에 단기간 노출된 in-vitro 영향이 요약되었다.

EMF에 노출된 세포 및 피부조직의 순간적인 반응들이 관찰되었으나 노출-반응(exposure-response) 관계가 명확하지 않다. 이러한 연구 결과들은 많은 반응들이 in-vivo 실험에서는 보여주지 못했기 때문에 건강영향 추정에 있어 한정된 가치를 가진다. 이렇게 in-vivo 연구결과들만으로는 있을 법한 EMF 건강영향을 추정하는 기초 근거 자료로는 제공될 수 없다.

생물체와 시변 전자장간에는 다음과 같은 세 가지의 확립된 결합구조가 있다.

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

추가적으로 다음 두 가지의 간접 결합구조가 있다.

- * 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 보호기준에서는 고려되지 않음.)

A. 100 kHz까지 노출 한계치의 생물학적 근거

유방종양에 걸릴 가능성을 제외하고는 전력주파수 자장이 종양-촉진 효과가 있다는 실험실 연구의 확증이 거의 없다. 세포와 내분비선 조절에 생성된 신호에 ELF장의 가능한 효과를 분명히 할 동물연구가 필요하지만 - 둘 다 초기세포의 증식을 촉진함에 의해 종양의 확산에 영향을 미칠 수 있다는 발암성 효과에 대한 설득력 있는 증거가 없어 이 데이터를 노출지침서의 근거로 사용될 수 없다는 결론을 내렸다.

세포조직과 동물조직에 대한 실험실 연구는 유도 전류밀도가 10 mA/m^2 이하일 때 저주파 필드가 건강에 악영향을 나타낸다는 확실한 증거가 없다는 것을 발견했다. 높은 유도 전류밀도($10-100 \text{ mA/m}^2$)에서 신경계통과 다른 조직영향에 기능 변화와 같은 더 심각한 조직영향들이 일관되게 관찰되었다.

전력선이 밀집한 곳에 사는 사람들의 ELF장 노출과 관련된 암발생률에 대한 데이터에서 최근 연구가 과거의 연구결과에 의문을 제기할지라도, 어린이들의 약간 높은 백혈병 발병률은 명확하게 나타나고 있다. 그러나 다른 형태의 소아암이나 성인암 발병률의 유사한 증가는 나타나지 않았다.

유아 백혈병과 전력선에 매우 근접한 곳에 주거하는 사람들 사이의 가설적 연계(hypothetical link)에 대한 근거는 알려지지 않았다. 만약 그 연계성이 전력선에 의해

발생된 ELF 전장 및 자장과 관련이 없다면 백혈병에 대해 알려지지 않은 위험인자는 결정되지 않은 다른 방법으로 전력선과 관련이 있을지도 모른다.

실험실 연구의 지지가 없으므로 역학적인 자료는 노출지침서의 확립된 자료로 인정하기엔 불충분하다. 전기를 다루는 근로자들의 백혈병, 신경조직 종양, 제한된 범위에 대해 유방암과 같은 암 종류의 증가된 발병률에 대한 보고서가 있었다. 대부분의 연구에서 작업 형태들이 자장 노출의 추정된 레벨에 따라 주제를 분류하기 위해 사용되었다. 최근의 몇 가지 연구에서는 노출 평가의 더욱 정교한 방법이 사용되었다.

전체적으로 이러한 연구들은 뇌종양이나 백혈병의 증가된 발병률을 제시했지만, 발병률이 증가된 암의 종류에 따라 결과들이 매우 불일치하였다. 이 데이터는 ELF장 노출지침서의 근거를 제공하기에 불충분하다. 많은 역학연구에서도 생식 악영향에 대한 일치된 어떠한 증거도 제공되지 않고 있다. 실험실 연구와 자원자들에 대한 연구에서 생물학적 반응의 측정은 사람들의 일반적인 노출 레벨에 대한 저주파장의 악영향을 거의 나타내지 못했다. 1 kHz까지의 주파수에서 10 mA/m² 문턱전류밀도는 신경계통 기능에 영향을 미치지 않는다고 추정되었다.

자원자중 노출에 대해 가장 일치하는 효과는 눈에 보이는 섬광의 출현과 ELF장에 노출 후 즉시나 노출되는 동안 심장박동률이 감소하는 것이다. 그러나 이러한 순간적인 영향이 오랜 기간의 건강 위험률과 관련이 있다는 어떠한 증거도 없다. 야간의 송과선 melatonin 합성(nocturnal pineal melatonin synthesis)의 감소가 약한 ELF 전장과 자장에 노출되는 몇몇 설치류 동물(rodent species)에서 관찰되었지만, 관리 상황에서 ELF장에 노출된 인간에 대해 일관된 보고 결과가 없다. 20 μT까지의 60 Hz 자장 노출을 포함한 연구에서 혈액의 melatonin 레벨에 대해 믿을만한 영향이 보고되지 않았다.

B. 100 kHz–300 GHz의 노출 한계치에 대한 생물학적 근거

유용한 실험 증거는 휴식을 취하고 있는 사람에 1–4 W/kg의 전신 SAR로 30분간의 EMF에 노출시켰을 때 체온을 1°C 미만으로 증가시킨다는 것이다. 동물에 관한 자료는 같은 SAR 범위에서의 행동반응을 나타내는 문턱 값이다. 4 W/kg 이상의 SAR값을 발생시키는 더 강한 장에 노출되는 것은 신체의 체온조절능력을 저하시킬 수 있고 조직에 열이 나게 하는 해로운 레벨을 발생시킬 수도 있다. 설치류와 인간을 제외한 영장류를 대상으로 한 많은 실험실 연구를 통해 국부 혹은 전신의 열이 1–2 °C 이상 상승하면 광범위한 조직 손상이 있음을 나타냈다.

조직의 열손상에 대한 민감성은 다양한 형태로 변하지만 가장 민감한 조직조차도 변함없는 영향에 대한 문턱값은 일반적인 환경조건하에서 4 W/kg 보다 크다. 이 데이터

로부터 직업인 노출한계를 근거로 0.4W/Kg을 설정했으며, 이는 높은 주위 온도, 습도 또는 물리적 활동 레벨과 같은 다른 한계 조건에 대한 큰 안전도 여유(safety margin)를 제공한다. 실험실 연구 자료와 제한된 인간 연구결과에서 열적 스트레스를 받는 환경과 약이나 알코올을 사용하는 것은 몸의 체온조절능력을 저하시킬 수 있다고 명백하게 밝혔다. 이러한 조건하에서 노출된 사람에 대한 충분한 보호방법을 제공할 안전계수(safety factor)가 도입되어야 한다.

감지할 수 있는 열을 발생하는 고주파 EMF에 대한 인간 반응 자료는 자원자의 제한된 노출량과 레이더, 의학적 diathermy 장비, heat sealers와 같은 마이크로웨이브 소스로부터 노출된 노동자에 관한 역학연구로부터 나온 것이다. 그것들은 실험실 연구로부터 이끌어낸 결론을 지지하는 데 충분하며, 생물학적 악영향은 조직 내에서 1°C이상의 온도 상승으로 유발될 수 있다. 노출된 직업인 및 일반인에 관한 역학연구는 전형적인 노출환경과 관련해 건강에 중요한 영향을 미치지 않는다는 것을 보였다. 역학연구에서 열악한 노출평가와 같은 부족함이 있음에도 불구하고 그 연구는, 전형적인 노출레벨이 생식에 해로운 결과를 일으키거나 노출된 사람에 있어서 암발병률이 증가한다는 납득할 만한 증거가 없음을 밝혔다.[9] 이것은 세포조직과 동물모델에 관한 실험실 연구 결과와 일치하며, 고주파 EMF의 비열(athermal)레벨에 의한 기형발생물질이나 발암물질이 생기는 데 영향을 미치지 않는다고 설명했다.

충분한 강도의 EMF 펄스에 노출되는 것은 마이크로웨이브 청각 현상과 다양한 행동반응과 같은 예측 가능한 영향을 이끌어낸다.[10] 노출된 직업인과 일반인에 관한 역학연구는 제한된 정보만을 제공하며, 건강에 어떤 영향을 미치는지를 설명하는 것에는 실패했다.

심한 망막 손상에 대한 보고는 재현 실험을 통해 성공치 못하여 재 실험과 연구가 요구된다. 대부분 낮은 노출 레벨에서 시행된 진폭변조 EMF의 생물학적 영향에 관한 많은 연구는 긍정적인 결과와 부정적인 결과를 모두 나타냈다. 이러한 연구의 철저한 분석에서 노출요인들, 세포와 조직의 유형, 실험된 생물학적 관점(end-point)에 따라 AM필드 영향이 광범위하게 변한다는 것을 나타내고 있다. 일반적으로 진폭변조된 EMF의 비열(athermal) 레벨에서 생물학적 시스템의 노출에 따른 잠재적인 건강영향과 관련시키는 것이 적고 어렵다. 이러한 장의 반응에 대해 주파수와 전력밀도관련 증거는 없다. 쇼크와 화상은 인간이 그 장내의 금속성 물체에 접촉하는 것을 포함한 고주파 EMF의 해로운 간접영향이 될 수 있다.

100 kHz-110 MHz(FM방송 주파수의 상위대역) 주파수에서 인식할 수 있는 정도의 감각에서부터 심한 고통을 느끼기까지 영향을 일으키는 접촉전류의 문턱 레벨은 그 장 주파수의 함수에 따라 심각하게 변하지 않는다. 신장에 따라 각 사람은 25-40

mA범위의 감각에 대한 문턱, 약 30-55 mA의 고통을 인지하는 문턱, 50 mA이상에서는 그 장내의 금속성 도체와 접촉된 조직의 주위에 심한 화상을 일으킬 수도 있다.

3.2 기본 제한과 기준 레벨

노출 영향에 대한 제한은 확립된 건강영향에 기반을 두며 그것을 ‘기본 제한 (Basic Restriction)’ 라고 정의한다. 주파수에 따라서 EMF 노출에 대한 기본 한계를 지정하기 위해 사용된 물리적인 양은 전류밀도, SAR, 전력밀도이다. 건강 악영향에 대한 보호를 위해 이러한 기본 한계를 넘지 않을 것이 요구된다. 노출의 기준레벨은 물리량의 측정값과 비교하여 제공되는데 이 지침에서 주어진 모든 기준레벨은 기본 한계와 정합된다. 측정값이 기준레벨보다 높다고 기본 한계치를 반드시 초과하는 것은 아니다. 그러나 기본 한계치를 만족하는지를 평가하기 위해 더 세부적인 분석이 필요하다.

3.2.1 기본 제한(Basic Restriction)

다양한 과학적인 근거가 여러 주파수 범위에 대해 기본 노출 한계 개발에 사용되었다.

- a. 1 Hz-10 MHz에서 기본 한계는 신경계통기능에 영향을 미치는 것을 막기 위한 전류밀도이다.
- b. 100 kHz-10 GHz에서 SAR에 대한 기본 한계는 전신 열 스트레스와 국부 조직의 과도한 발열을 막기 위해 제공되며, 100 kHz-10 MHz에서의 기본 한계는 전류밀도와 SAR 모두를 제공한다.
- c. 10 GHz-300 GHz에서 기본 한계는 신체 표면 주위나 조직내의 발열을 막기 위한 전력밀도이다.

수 Hz에서 1 kHz의 주파수 범위에서 100 mA/m²이상의 유도 전류밀도 레벨에 대해 중추 신경계에서의 흥분성과 눈에 보이게 전기적 유발이 반전되는 것과 같은 민감한 영향이 나타난다. 4 Hz-1 kHz 주파수에 대한 문턱값으로 안전성을 고려하여 직업인 노출은 안전계수 10을 사용하여 10 mA/m²보다 적은 전류밀도를 유도하는 장으로 제한되어야 한다.

일반인에게는 안전계수 부가적으로 5가 더 적용되어 2 mA/m²의 기본 노출한계를 제공한다. 4 Hz이하와 1 kHz이상에서의 유도 전류 밀도에 대한 기본 한계치는 점차 증가하며, 이러한 주파수 범위에서의 신경 자극에 대한 문턱치 증가에 해당된다.

앞장에서 논의된 것과 같이 10 MHz에서 수 GHz범위의 주파수에서 생물학 및 건강 영향은 1℃이상의 체온 상승반응에 일치한다. 이 온도 상승 레벨은 약 30분 동안 전신 SAR이 4 W/kg의 적절한 환경조건하에 있는 사람의 노출에 따른 것이다. 0.4 W/kg의 전신 평균 SAR은 직업인 노출에 대한 충분한 보호를 제공하는 한계치로 선택되었다. 부가적인 안전계수 5는 일반인 노출에 대해 도입되어, 0.08 W/kg의 전신 평균 SAR 한계를 제공한다. 일반인 노출에 대한 더 낮은 기본 한계는 그들이 근로자들의 나이와 건강상태가 다르다는 것을 고려한 것이다.

1Hz-10GHz 사이 주파수에 대한 전류밀도, 전신 평균 SAR, 국부 SAR의 기본 한계치는 표 3.1 에, 10-300 GHz 주파수에 대한 전력밀도의 기본 한계는 표 3.2에 나타내었다.

표 3.1 10 GHz 주파수 영역의 시변 전자장에 대한 기본 제약

Exposure Characteristics	Frequency Range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²) _(rms)	Whole-body average SAR (Wkg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (Wkg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (Wkg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1Hz	40	-	-	-
	1-4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	10	-	-	-
	1-100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz	-	0.4	10	20
General public exposure	up to 1Hz	8	-	-	-
	1-4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	2	-	-	-
	1-100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz	-	0.08	2	4

비고:

- f는 hertz 단위의 주파수임.
- 인체의 전기적 비동질성에 기인하여, 전류밀도는 전류 방향에 수직으로 1cm²의 단면에서 평균 하여야 한다.
- 100 kHz 이하의 주파수대역에서 최대 전류 밀도값은 rms 실효치로 계산할 수 있다. 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
- 100 kHz 이하의 주파수대역과 펄스된 자기장내에서, 펄스와 연관된 최대 전력 밀도는 rise/fall time과 자력선 밀도의 최대 변화율에서 구해진다.
- 모든 SAR 값 측정 평균시간은 6분으로 한다.

6. 인접한 10g의 조직을 국지 SAR측정시 평균 최대 크기로 한다.

7. 펄스 간격이 tp인 경우, 주파수는 $f=1/(2tP)$ 로 계산하여 얻어진 주파수를 적용하여야 한다.

표 3.2 10 ~ 10 GHz 사이 주파수에 대한 전력 밀도 기본 제약

Exposure characteristics	power density(W/m ²)
Occupational exposure	50
General Public	10
(주):	
1. 주파수 증가에 따른 침투 깊이의 축소적 변화를 보상하기 위해 전력밀도는 20cm ² 의 노출 지역과 68/f1.05 -min 주기로 평균화 되었다.	
2. 국소 최대 전력 밀도- 1cm ² 영역에서 평균된-는 상기 수치의 20배를 넘어서는 안된다.	

3.2.2 기준 레벨(Reference Level)

기준 레벨은 적당한 곳에서 특정한 주파수에서의 실험실 연구 수학적 모델링과 외사법에 의해 기본 한계로부터 얻는다. 그것은 노출된 사람에 대한 필드의 최대 결합 조건이며 최대 보호를 제공한다.

표 3.3과 표 3.4에 직업인 노출과 일반인의 노출에 대한 기준 레벨이 요약되어 있고, 각각의 기준 레벨이 그림 3.1과 그림 3.2에 나타나 있다. 기준 레벨은 노출된 사람의 몸 전체를 공간적으로 평균한 값이 될 것이지만, 노출량에 대한 기본 한계를 초과하지 않는다는 중요한 단서가 달려 있다.

표 3.3 시변 전자장에서 작업자 노출에 대한 기준 레벨 (rms 수치임)^a

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)	전력밀도 (W/m ²)
1Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	10,000	4,000/f	5,000/f	
25Hz 이상 ~ 0.8 kHz 미만	250/f	4/f	5/f	
0.8 kHz 이상 ~ 3 kHz 미만	250/f	5	6.25	
3 kHz 이상 ~ 150 kHz 미만	87	5	6.25	
0.15 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만	87	0.73/f	0.92/f	
1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	
10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만	28	0.073	0.092	2
400 MHz 이상 ~ 2 GHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만	61	0.16	0.20	10

비고: 1. 전기장 강도, 자기장 강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.

자속밀도는 자기장 강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이며, 전력밀도는 주어진 주파수에서 전기장 강도에 자기장 강도를 곱한 것이다.

2. 100 kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.

3. 100 kHz 이상 10 GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다.

4. 10 GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68/f^{1.05}$ 분으로 한다. 단, f의 단위는 GHz 이다.

5. 동일 장소 또는 그 주변에 복수의 무선국이 전자파를 복사하는 경우 또는 하나의 무선국이 다중 주파수의 전자파를 복사하는 경우 전기장강도 및 자기장강도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 제곱의 합 또는 전력밀도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합이 각각 1을 초과하지 않아야 한다.

표 3.4 시변 전자장에서 일반인에 대한 기준 레벨(rms 수치임)^a

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	전력밀도 (W/m^2)
1Hz 이하	—	1.63×10^5	2×10^5	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	
25Hz 이상 ~ 0.82 kHz 미만	500/f	20/f	25/f	
0.82 kHz 이상 ~ 65 kHz 미만	610	24.4	30.7	
0.065 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만	610	1.6/f	2.0/f	
1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만	610/f	1.6/f	2.0/f	
10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만	61	0.16	0.2	10
400 MHz 이상 ~ 2 GHz 미만	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	f/40
2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만	137	0.36	0.45	50

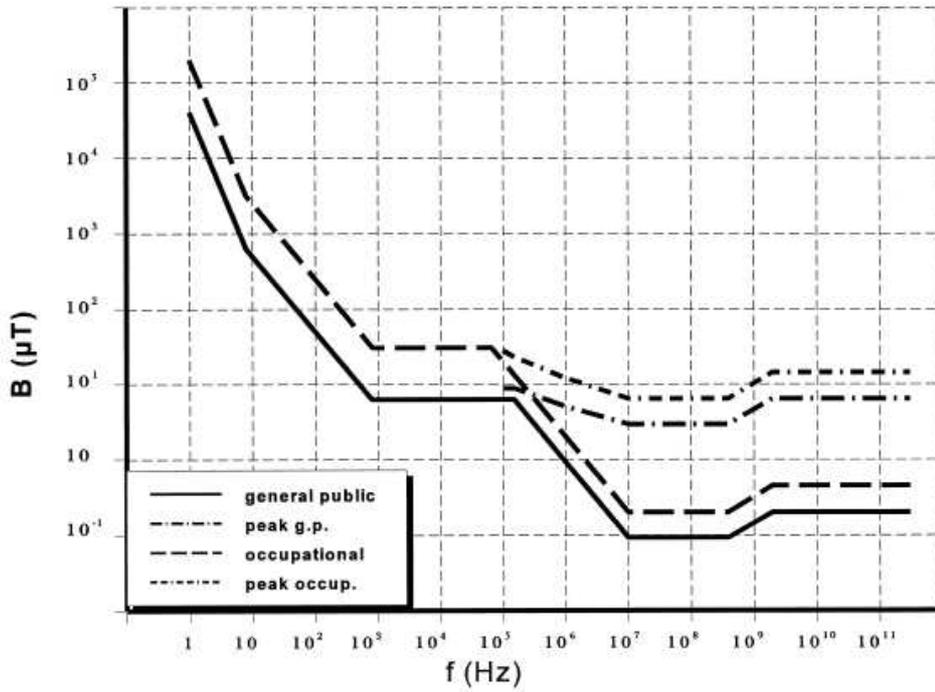


그림 3.1 시변 자장 노출에 대한 기준 레벨(표 3.1과 3.2 참고)

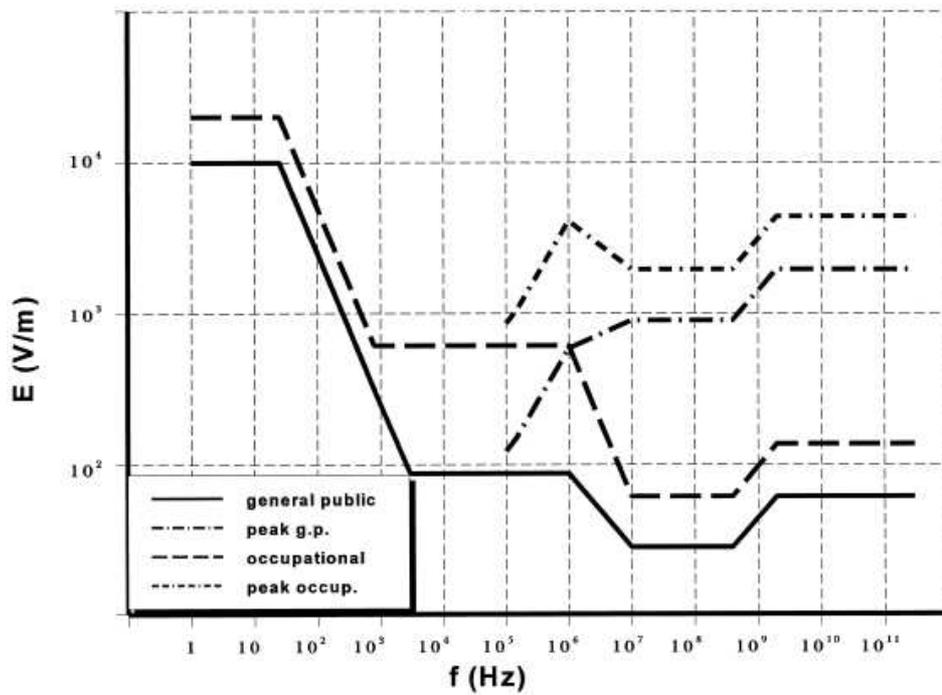


그림 3.2 시변 전장 노출에 대한 기준 레벨 (표 3.1과 3.2 참고)

저주파 필드에 대해 몇 가지 계산과 측정법이 기본 한계로 부터 전장강도 기준 레벨

을 유도하기 위해 개발되었다. 시간 절약을 위해 사용된 단순화는 비균질 분포, 전기 전도도의 이방성(異方性), 이러한 계산에 있어 중요한 다른 조직 인자를 고려하지 않았다. 기준 필드레벨의 주파수 종속 관계는 생물학적 영향과 그 필드의 결합에 관한 데이터와 일치한다. 일반인 노출에 대한 기준 레벨은 모든 주파수 범위에서 여러 가지 요인을 사용하여 직업인 노출에 대한 기준 레벨로부터 얻어진다. 이러한 요인들(factors)이 여러 주파수 범위들에 대한 특이성과 적절성을 고려하여 영향 근거(basis)로 채택된다. 일반적으로 말해서, 그 요인들은 전체 주파수 범위에서 기본 한계를 따르며, 그 값은 기본 한계치 범위와 아래에 서술된 유도 레벨 사이의 수학적인 관계에 해당된다.

* 1 kHz까지의 주파수 범위에서 전장에 대한 일반인의 기준 레벨은 직업인 노출에 대한 값의 1/2이다. 50 Hz의 8.3 kV/m, 60 Hz의 10 kV/m인 직업인 노출값은 모든 가능한 조건하에서의 접촉전류로부터 자극 효과를 막기위해 충분한 안전 여유(safety margin)를 포함한다. 이 값의 1/2이 일반인 기준 레벨인 50 Hz에서 5 kV/m, 60 Hz에서 4.2 kV/m으로 노출된 사람의 90%이상에 대한 간접적인 악영향을 막기 위한 것이다.

* 100 kHz까지의 저주파수 범위에서 자장에 대한 일반인 기준 레벨은 직업인 노출값에 안전계수 5를 고려하여 제정되었다.

* 100 kHz-10 MHz 주파수 범위에서 자장에 대한 일반인 기준레벨은 1988년 IRPA지침서에 주어진 한계값과 비교하여 증가되었다.

지침서에서 자장강도 기준 레벨은 E와 H의 원거리장에서의 관련식을 사용하여 전장강도 기준 레벨로부터 계산되었다. 10 MHz 이하의 주파수에서 자장이 그 주파수 범위에서 전장의 직업인 노출을 제한하기 위해 중요한 근거로 이용되는 쇼크나 화상의 위험성 또는 표면전하 효과에 중요하게 기여하지 않기 때문에 이러한 기준 레벨은 매우 안정된 값이다.

* 10 MHz-10 GHz의 고주파수 범위에서 전장과 자장에 대한 일반인 기준레벨은 직업인 노출에 대한 것 보다 2.2배 낮다. 상수 2.2는 직업인 노출과 일반인 노출에 대한 기본 한계 사이의 안전성 요인인 5의 제곱근이다. 제곱근은 '장의 세기'와 '전력밀도' 양의 관계로부터 나온 것이다.

* 10 GHz-300 GHz의 고주파수 범위에서 일반인 기준 레벨은 기본 한계로 전력밀도에 의해 규정되며, 직업인 노출한계보다 5배 더 낮다.

* 펄스장의 피크값과 생물학적 영향사이의 관계에 대한 쓸만한 정보가 거의 없다 할지라도 10 MHz를 초과하는 주파수에 대해 펄스폭을 평균한 결과는 기준 레벨을 1000배 이상 넘지 않거나, 펄드의 세기는 그림 3.1, 3.2와 표 3.3, 3.4에 주어진 장세기의 32배를 넘지 않아야 한다. 약 0.3 GHz에서 수 GHz사이의 주파수에서 열팽창에 의해 발생된 청각의 영향을 피하거나 제한하는 값이어야 한다. 이 주파수 범위에서 이러한 영향을 일으키는 것도 4-16 mJ/kg의 문턱 SA로서 30 μ s 펄스에 대해 뇌에서 130-520 W/kg의 SAR 피크치에 해당된다. 그림 3.1, 3.2에 있는 100 kHz-10 MHz 사이의 전장강도에 대한 피크치는 100 kHz에서는 1.5배 10 MHz에서는 32배 고려한 보간법에 의해 얻어진다.

* 그림 3.1, 3.2뿐 아니라 표 3.3, 3.4에서 여러 주파수 증지점(break point)은 직업인 및 일반인의 유도된 기준 레벨에서 일어난다. 이것은 일반인 기준 레벨을 유도하기 위해 사용된 여러 가지 요인의 결과이며, 반면에 직업인과 일반인 레벨에 대해 같은 주파수 종속관계를 일반적으로 유지한다.

3.2.3 전자파에 대한 국내 보호 기준

전자파에 대한 한국의 보호 기준 [16](전파법 제 47조 2 의 제 1항 의거 정통부 고시 2001-88호)은 미국의 ANSI 안을 토대로 작성되어 있다. 적용 기준은 3가지가 있는데, 전자파의 성질에 대해 잘 알지 못하고 전자파를 사용하는 일반인에게 적용하는 기준은 표 3.5 와 같고, 전자파에 대해 알고 방송국, 송신소, 변전소 등에 종사하는 사람들에게 적용하는 기준은 표 3.6 이 있으며, 인체의 한 부분 즉, hot spot에 의한 국부노출에 대한 기준은 표 3.7 이 마련되어 적용되고 있다(정통부 고시 제2001-88호).

표 3.5 일반인에 적용되는 전자파 보호 기준

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	전력밀도 (W/m^2)
1 Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4	
1 Hz 이상 ~ 8 Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	
8 Hz 이상 ~ 25 Hz 미만	10,000	4,000/f	5,000/f	
25 Hz 이상 ~ 0.8 kHz 미만	250/f	4/f	5/f	
0.8 kHz 이상 ~ 3 kHz 미만	250/f	5	6.25	
3 kHz 이상 ~ 150 kHz 미만	87	5	6.25	
0.15 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만	87	0.73/f	0.92/f	
1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만	$87/f^{1/2}$	0.73/f	0.92/f	
10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만	28	0.073	0.092	2
400 MHz 이상 ~ 2 GHz 미만	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	f/200
2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만	61	0.16	0.20	10

비고:

1. 전기장 강도, 자기장 강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.
자속밀도는 자기장 강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이며, 전력밀도는 주어진 주파수에서 전기장 강도에 자기장 강도를 곱한 것이다.
2. 100 kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
3. 100 kHz 이상 10 GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다.
4. 10 GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68/f^{1.05}$ 분으로 한다. 단, f의 단위는 GHz 이다.
5. 동일 장소 또는 그 주변에 복수의 무선국이 전자파를 복사하는 경우 또는 하나의 무선국이 다중 주파수의 전자파를 복사하는 경우 전기장강도 및 자기장강도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 제곱의 합 또는 전력밀도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합이 각각 1을 초과하지 않아야 한다.

표 3.6 직업인에 적용되는 전자파 강도 보호기준(제3조 제2항 관련 별표 2)

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	전력밀도 (W/m^2)
1 Hz 이하	-	1.63×10^5	2×10^5	
1 Hz 이상 ~ 8 Hz 미만	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	
8Hz 이상 ~ 25 Hz 미만	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	
25 Hz 이상 ~ 0.82 kHz 미만	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	
0.82 kHz 이상 ~ 65 kHz 미만	610	24.4	30.7	
0.065 MHz 이상 ~ 1 MHz 미만	610	$1.6 / f$	$2.0 / f$	
1 MHz 이상 ~ 10 MHz 미만	$610 / f$	$1.6 / f$	$2.0 / f$	
10 MHz 이상 ~ 400 MHz 미만	61	0.16	0.2	10
400 MHz 이상 ~ 2 GHz 미만	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2 GHz 이상 ~ 300 GHz 미만	137	0.36	0.45	50

표 3.7 국부노출에 대한 전자파 흡수율(SAR)기준 (제4조 관련 별표 3)

주파수 범위	전자파흡수율(W/kg)
100 kHz ~ 10 GHz	1.6

*위 표의 값은 임의의 인체 조직 1g에 대하여 평균한 전자파 흡수율의 최대값에 해당한다.

제 4 장 방 법

4.1 연구 대상

현재 상용화 되어있는 EAS system을 독일의 Narda 사의 스펙트럼 분석기 EHP50C를 사용하여 자기장 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 EAS system은 EM 방식의 시스템이었으며, 장소는 도서관의 도난 방지 출입구, 일반 상점의 출입구와 같은 일반인이 흔히 노출될 수 있는 환경에 설치된 것이다. 실험 중 일반인의 출입으로 인한 자기장의 교란을 피하기 위해 일반인의 출입이 없는 상태에서 측정하였다.

도서관에서 사용되는 EAS 시스템은 3M사의 EM 방식 시스템이 전체 시장의 60% 이상을 차지하고 있으며, 이를 위해 14 kHz EAS 시스템 5대를 각 3회 반복 측정하여 평균하였다. 또한 220 Hz 시스템과 6.3 kHz 시스템의 경우 3M 사의 제품이 아닌 국내 제조업체의 제품으로, 상품 매장과 의학 도서관등에 설치되어 있었으며, 각 2대의 시스템을 3회 반복 측정하여 평균하였다.

4.2 측정 장비 (EHP50C)



그림 4.1 EHP50C 측정 장비

EHP50C는 100 kHz 이하 주파수 대역의 전자기장을 분석하는 장비로서, 그 제원은 표 4.1 과 같다.

표 4.1 EHP50C 측정 장비 제원

MODEL	EHP-50C	
측정항목	전기장	자기장
주파수 범위	5Hz~100kHz	
측정방향	등방성(3축)측정	
측정범위	1kV/m / 100kV/m	0~0.1mT / 100mT
측정감도	0.01V/m	1nT
표시분해능	0.001V/m(8053모니터 사용시)	1nT(8053모니터 사용 시)
절대오차	+ -0.5dB(50Hz, 1kV/m에서)	+ -0.5dB(50Hz, 0.1mT에서)
다이내믹범위	140dB	
데이터처리	실효치(rms), 평균치, 최대치, 최소치	
주파수대역폭	100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 10kHz, 100kHz	
스펙트럼범위	하한 주파수: 상한 주파수의 1.2% 상한 주파수: 주파수 대역폭과 동일	
데이터저장간격	30초/60초 당 1개의 데이터 저장	
데이터저장기능	2880개(30초 간격 시) 1440개(60초 간격시)	
시간기능	실시간 Clock 내장	
표시기사양	전용 모니터(8053)/ Pocket PC 중 선택(Option)	
출력기능	RS-232C (광통신 방식: 광케이블은 Option, 80m까지 선택)	
운영 software	Logger(데이터 전송용)	
사용온도	-10~50°C	
전원	NiMH 충전지(8시간 사용)	
크기, 무게	92 x 92 x 109mm, 525g	
옵션기능	광케이블 및 광변환기 (최대 80m까지), 전용 모니터(8053), Pocket PC Kit(S/W 포함), Tripod(나무 삼각대)	

4.3 실험 방법

그림 4.2는 IEC62369-1에서 권장하고 있는 EAS 시스템의 측정 위치 및 모델링 방법에 대한 사항이며, 2008년 현재 갱신 및 보완을 진행하고 있다. 권장하고 있는 각 point 간의 간격은 15cm 이고, 시스템의 높이는 120cm ~ 160cm, 각 안테나 간의 간격은 70cm ~ 200cm, 안테나의 폭은 40cm ~ 80cm 로 모델링할 것을 권장한다.

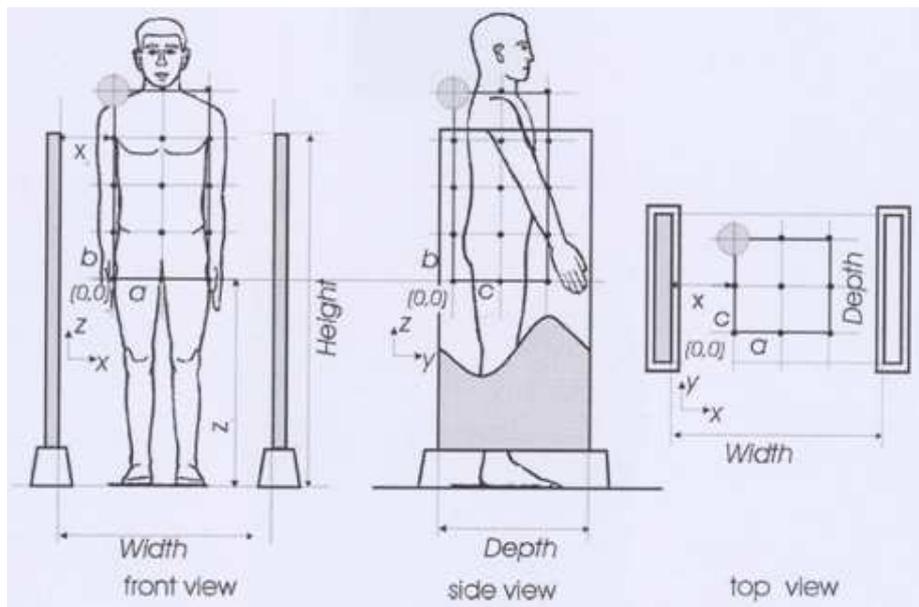


그림 4.2 권장 측정 사항 및 측정 위치 (출처 : IEC62369-1)
(a/b/c:15cm, X:20cm, Z:85cm, W:70-200cm, H:120-160cm, D:40-80cm)

또한 2002년, KAIST 이종오 등의 논문에서는 ICNIRP의 기본 제한과 기준레벨에 의거한 전자기장 모델링에 의하면 그림4.3에서 보이는 바와 같이 EAS system으로부터 $x=20\text{cm}$ 떨어진 부분에서 인체에 미치는 자기장의 세기는 $z=20\text{cm}$ 부터 $z=170\text{cm}$ 에서 관찰되며, 그 높이 이하나 이상에서는 급격한 감소하는 변화가 발생한다는 것을 수학적으로 확인하였다. [14]

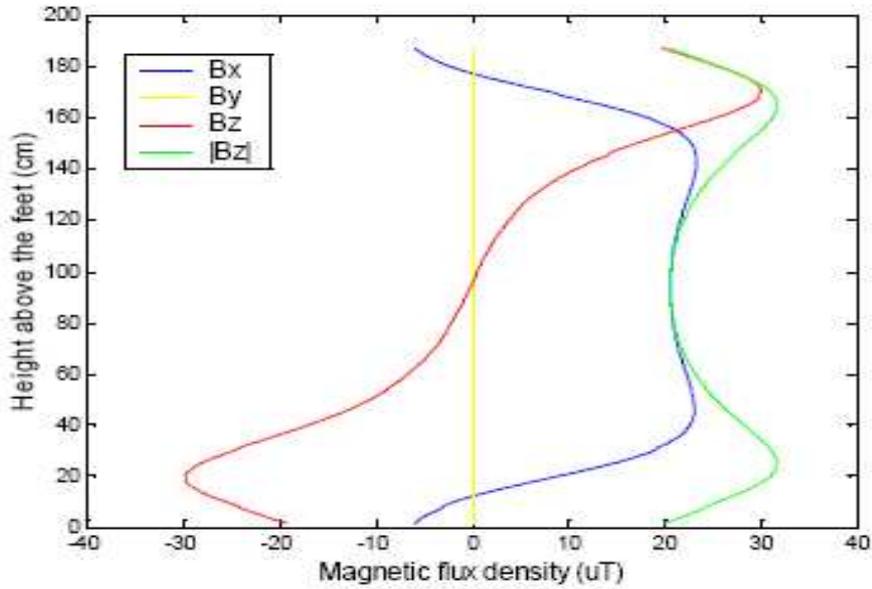


그림 4.3 EAS 시스템으로부터 $x=20\text{ cm}(y=0\text{ cm})$ 에서의 자기장의 변화

본 연구에서의 측정 방법은 IEC62369-1 에서의 권장 사항을 근거로, EAS 시스템에서 가장 큰 자기장 측정값을 나타낼 것으로 예상되는 각 안테나의 접점과 가장 작은 값을 나타낼 것으로 예상되는 시스템의 중간 부분 (양 안테나에서 50cm의 지점)을 선택하였다. 그림 4.3 에서와 같은 높이에 따른 자장의 변화를 관찰하기 위해 측정 높이는 안테나의 끝부분인 $z=170\text{ cm}$ 를 시점으로, IEC62369-1에서 권고한바와 같이 중심점은 $Z=85\text{ cm}$ 를 에서 $b=15\text{ cm}$ 위쪽의 100 cm , 그리고 안테나의 가장 낮은 부분인 $z=20\text{ cm}$ 지점을 선택하였다. 실험은 그림 4.4와 같은 환경에서 다음과 같이 실시되었다.

- ① 주파수 스펙트럼 측정 장비의 probe를 EAS system의 송신부로부터 $x=0, 50$ (중간지점), $-0(100)$ cm 거리에 위치시킨다.
- ② 각 x 지점 위치에서 $y=0\text{cm}$ 를 기준으로 $z=20\text{cm}$ (안테나의 최하단), 100cm (안테나의 중심부분), 170 cm (안테나의 최상단) 지점 9곳의 주파수 스펙트럼을 3회 측정하여 average값을 구한다.(point 1 ~ 9)
- ③ 측정된 스펙트럼의 수치와 ICNIRP에 의해 제시된 노출 한계치 및 국내 MIC 인증 수치와 비교 분석한다.

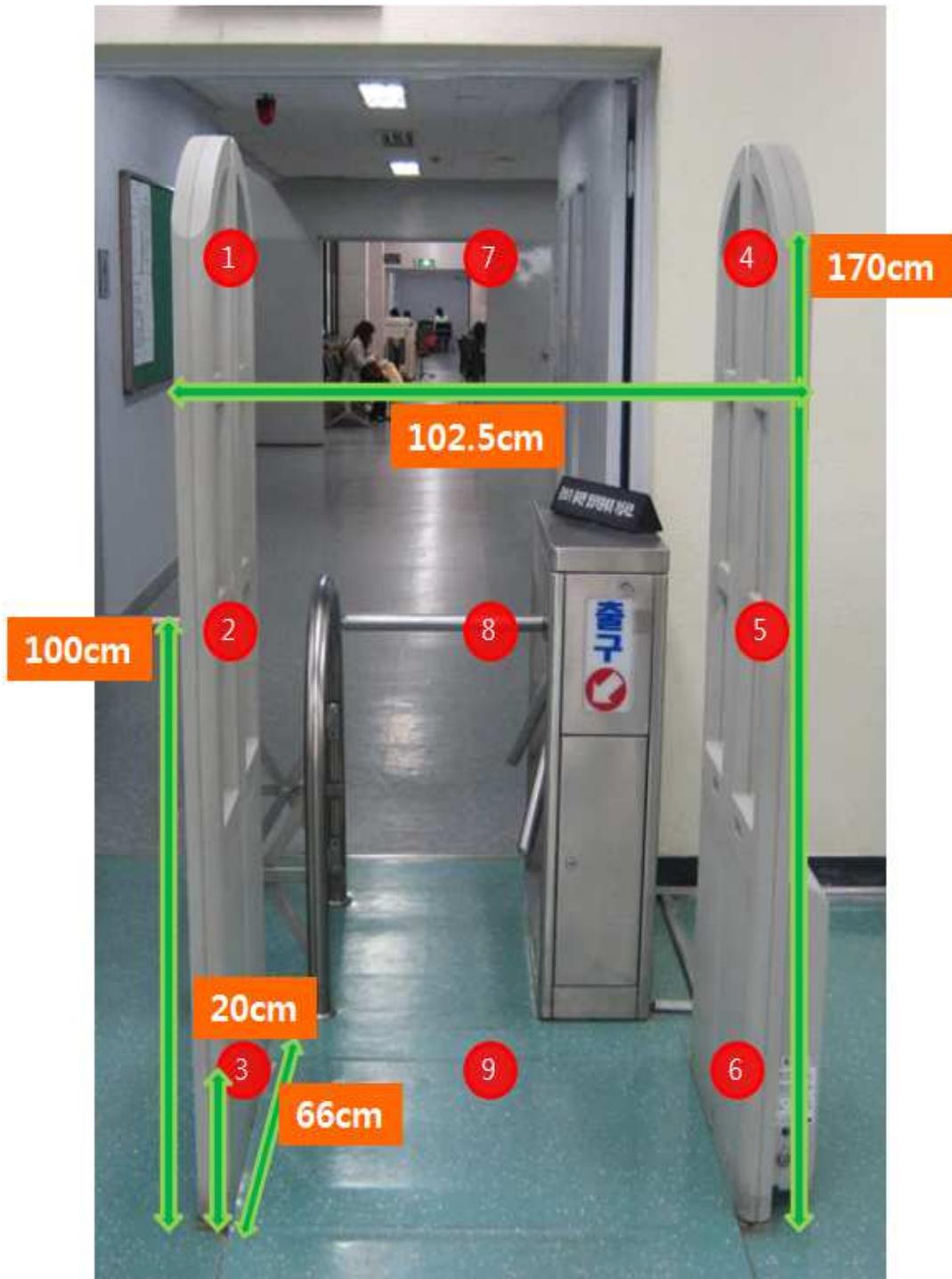


그림 4.4 실험 환경 및 측정 위치

제 5 장 결과 및 고찰

5.1 14 kHz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교

모든 지점에서 ICNIRP 기준 레벨과 MIC 인증 기준치(6.25 uT)를 상회하는 수치가 측정되었으며, 특히 안테나와 근접한 위치에서 성인의 몸통에 해당하는 높이인 100cm 지점(2, 5 지점)에서 자기장 수치가 높게 측정 되었으며 기준치의 70배를 상회하는 매우 높은 수치가 관찰되었다. 그림 5.1 (a)에서와 같이, 지점 1, 2, 3과 지점 4, 5, 6 은 EAS system의 안테나 내에 transmitter와 receiver가 함께 있는 구조이므로 이론적으로는 완벽하게 대칭을 이루어야 하나, 각 안테나마다의 transmitter와 receiver의 출력이 조금씩 차이가 발생하게 되므로, 대칭이 이루어지지 않게 된다.

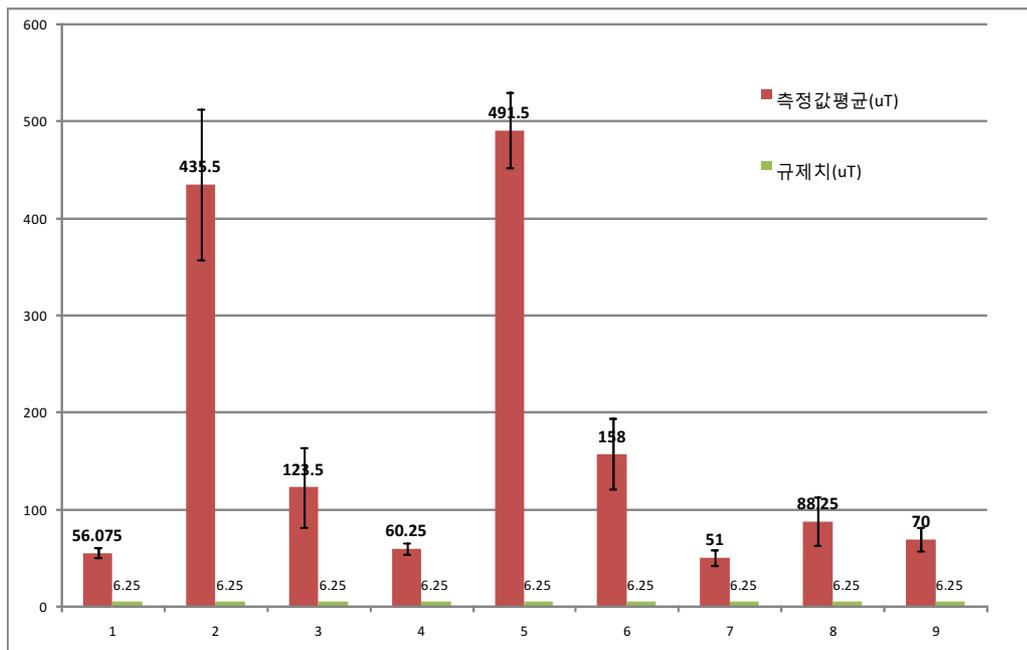


그림 5.1 (a) 14 kHz 주파수 사용 EAS 시스템의 자기장 측정치 (uT)

지점 7의 경우, 시스템의 정중앙에 위치하여 지점 2, 5와 같은 높이(100 cm)에 있지만 자기장의 세기는 지점 2, 5의 자기장 세기와 비교하였을 때 25% 정도로 낮게 측정되었으나, 역시 기준치의 14배를 넘기는 높은 수치가 관찰 되었다.

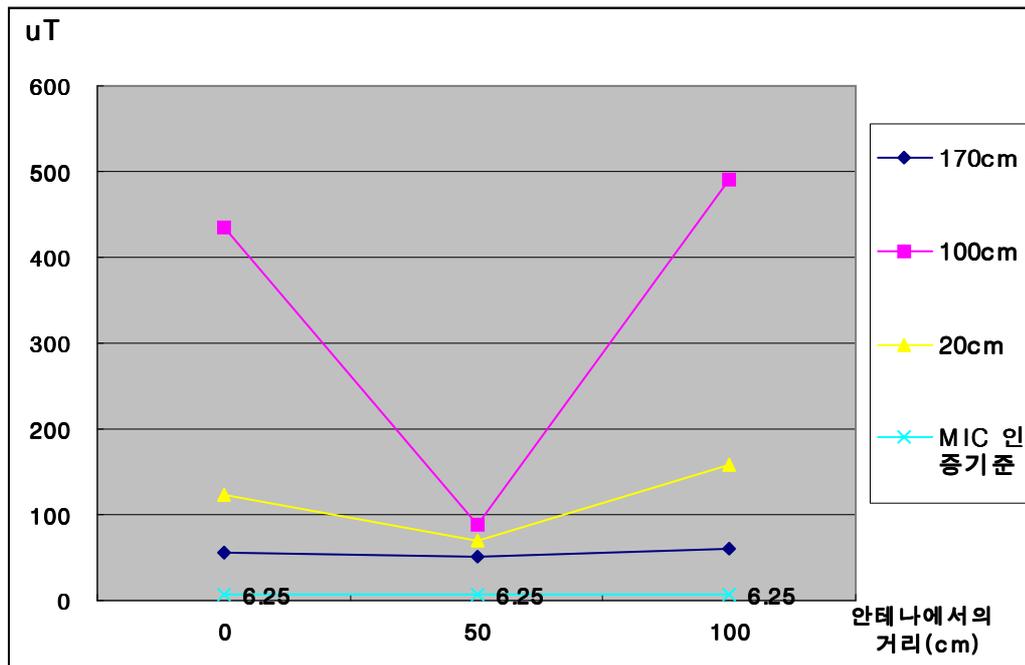


그림 5.1(b) 14 kHz 시스템의 높이와 좌 안테나로부터 거리에 따른 자기장의 분포도

그래프에서 오차의 범위가 지점별로 각각 다른 것은 다른 위치의 14 kHz EAS 시스템 데이터를 측정하여 각 시스템별 평균값을 산출한 후, 도식화 하였기 때문이다. 그림 5.1(b) 는 측정된 결과를 바탕으로 높이별 자기장의 변화를 도표화 한 것으로, 높이에 따라 자기장이 감소하고, 각 안테나로부터 멀어지면 역시 감소함을 알 수 있다.

5.2 230 Hz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교

모든 지점에서 ICNIRP 기준 레벨과 MIC 인증 기준치(22.73 uT)를 상회하는 수치가 측정되었으며, 안테나와 근접한 모든 위치(1 ~ 6번 지점)에서 기준치를 14 배 이상 초과하는 수치가 측정되었다. 특히 14 kHz 시스템의 경우, 지점 2와 5에서 가장 높은 측정값을 보였으나 230 Hz EAS 시스템에서는 이와 달리 지점 1에서 지점 6까지 고르게 높은 수치를 보였다. 이는 230 Hz EAS 시스템에서 안테나 양단에서의 자기장 세기는 높이와 상관 관계가 나타나지 않음을 보여준다. (그림 5.2(b) 참조)

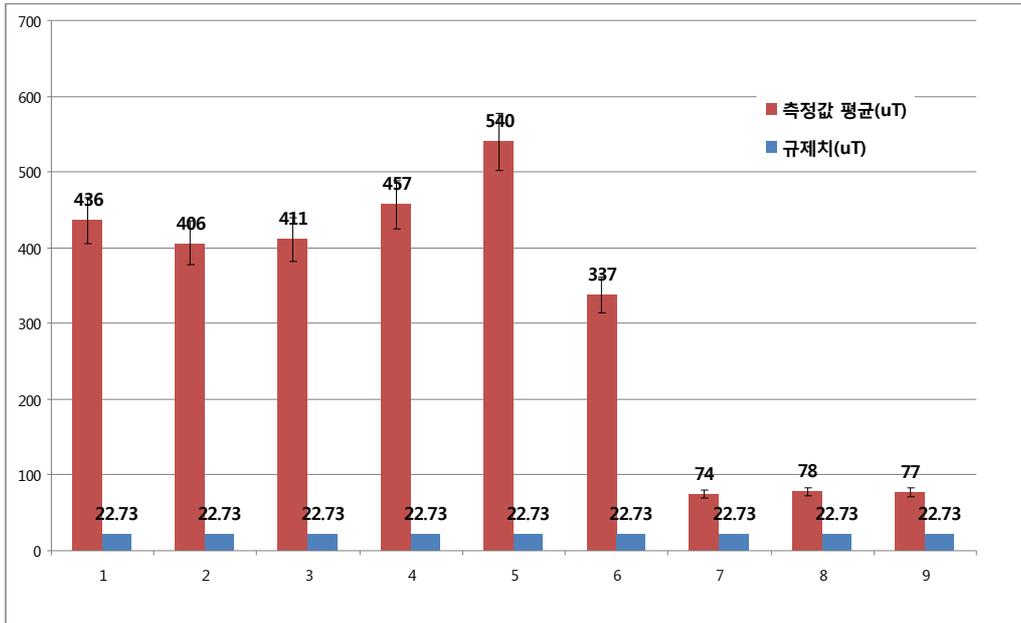


그림 5.2 (a) 230 Hz 주파수 사용 EAS 시스템의 자기장 측정치 결과(uT)

이러한 높이와의 무관성은 지점 7, 8, 9의 측정 데이터에서도 나타나며, 14 kHz EAS 시스템과 마찬가지로 시스템의 정중앙에 위치 시 자기장의 세기는 지점 1 - 6까지의 측정치와 비교하여 25% 이하로 감소하였으나, 역시 기준치를 3 배 이상 초과하는 높은 수치(그림 5.2 (b)참조)가 관찰 되었다.

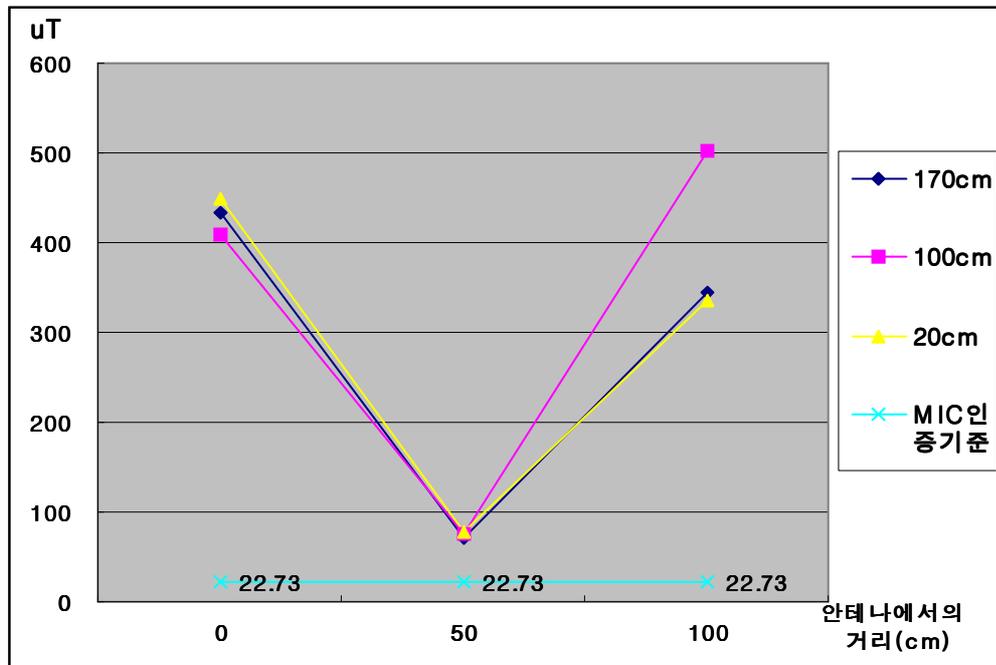


그림 5.2(b) 230 Hz 시스템의 높이와 좌 안테나의 거리에 따른 자기장의 분포도

또한 그림 5.2(b) 는 측정된 결과를 바탕으로 높이별 자기장의 변화를 도표화 한 것으로, 14 kHz 시스템과 달리 상대적으로 높이에 따른 자기장 세기의 감소추세가 나타나지 않았으나, 각 안테나로부터 멀어지면 역시 자기장 세기가 감소함을 알 수 있다.

5.3 6.3 kHz 시스템의 ICNIRP, MIS 기준레벨과의 결과 비교

모든 지점에서 ICNIRP 기준 레벨과 MIC 인증 기준치(6.25 uT)를 상회하는 수치가 측정되었으며, 안테나와 근접한 모든 위치(1 ~ 6번 지점)에서 기준치를 최소 13배에서 최고 40배에 이르는 수치가 측정되었다. (그림 5.3 (a), 그림 5.3 (b) 참조) 앞에서의 14 kHz EAS 시스템과 230 Hz EAS 시스템과 달리 지점 1, 4에서 가장 높은 수치(기준치의 15배 이상)를 보였으며 지점 2, 5 역시 기준치를 13배 이상 초과하는 수치를 보였다. 지점 1, 4에서 가장 높은 수치가 측정된 이유로는 앞서의 14 kHz, 230 Hz 시스템과 달리 높이 170 cm 지점의 안테나 출력이 100 cm, 20 cm 지점에 대비해 가장 클 것으로 사료되며, 이로 인해 측정된 시스템 중 유일하게 1, 4번 지점에서 가장 큰 값을 보였다.

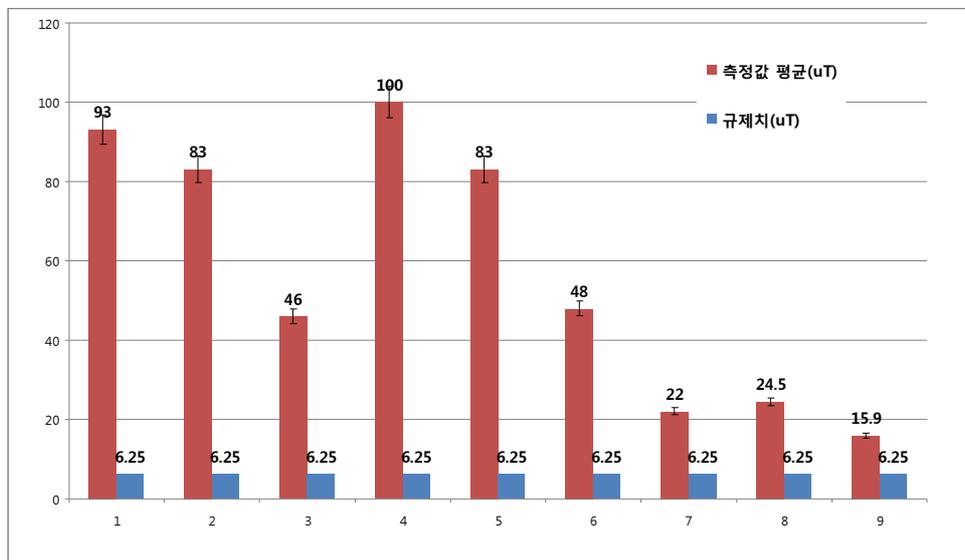


그림 5. 3 (a) 6.3 kHz 주파수 사용 EAS 시스템(A) 의 자기장 측정치 결과 (uT)

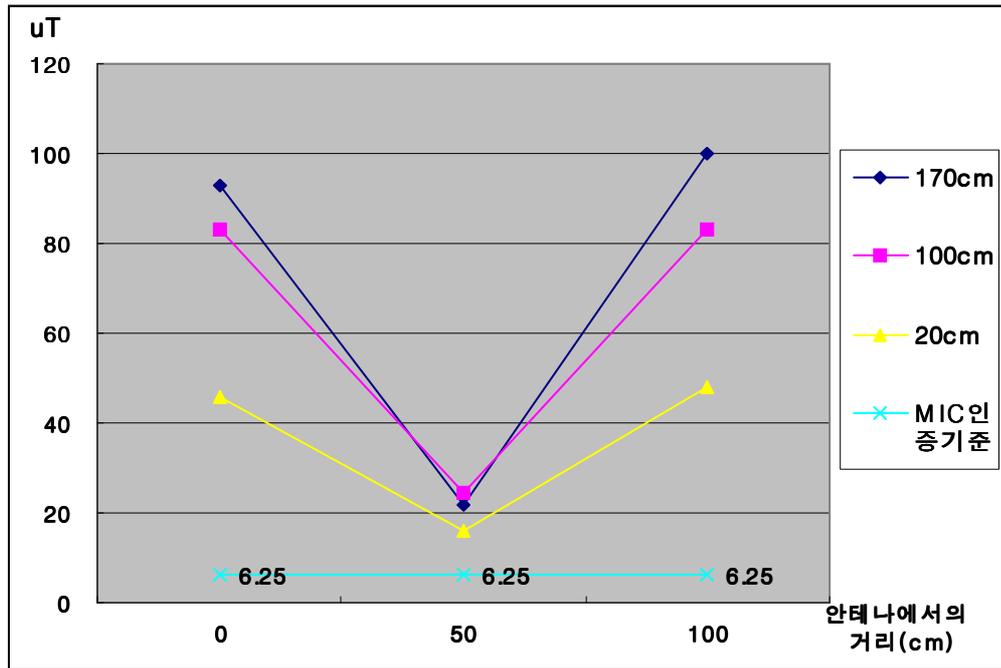


그림 5. 3 (b) 6.3 kHz 시스템의 높이와 좌 안테나에서의 거리에 따른 자기장 분포도

그림 5.3(b) 는 측정된 결과를 바탕으로 높이별 자기장의 변화를 도표화 한 것으로, 높이에 따라 자기장이 감소하고, 각 안테나로부터 멀어지면 역시 감소함을 알 수 있다.

제 6 장 결론

측정된 모든 도서관 및 상품 판매점의 출입구에 사용되는 도난 방지 시스템의 자기장 수치는 ICNIRP의 가이드라인과 MIC 인증 수치에서 2배 이상 초과하는 수치를 보였다. 특히, 성인의 몸통과 유아의 머리 부분에 해당하는 100 cm 주위의 자기장 세기는 기준 레벨의 10배를 넘어서는 매우 높은 값이 측정되었다. 100cm ~120cm 높이의 경우 일반 성인의 심폐기관의 위치와 부합되므로, defibrillator 등의 medical implement 중 이러한 위치에 직접 부착되는 device의 경우, 1999년 남기창 등의 논문[1]에 의하면 도난 방지 시스템을 지나가거나 탐지 영역에 위치할 경우 심각한 오동작이 초래될 것으로 보이므로 이러한 도난 방지 시스템과 같은 단주기 이면서도 노출이 빈번한 환경에서의 영향에 대한 지속적인 연구가 반드시 이루어져야 할 것이다.

또한, 2001년 발표된 Gandhi 와 Kang의 논문 [13]에서는 성인에 비해, 10세와 5세 아동에게 같은 환경의 도난 방지 시스템에서 노출 시 두부에 최소 6배에서 12배에 이르는 전기장과 전류 밀도 수치가 계산 되었다. 이때의 모델링된 도난 방지 시스템의 경우 모두 ICNIRP의 가이드라인에 따른 것으로, 본 연구에서 측정한 도난 방지 시스템의 경우 상기의 수치를 훨씬 상회하게 될 것이다.

미국의 경우 이러한 도난 방지 시스템에 대해 CDRH (Center for Devices and Radiological Health)에서 각 제조업체에서 2000년 8월 15일부터 “Labeling for Electronic Anti-Theft Systems)라는 권장을 배포[15]하였으며, FDA의 권고에 따라 전자 도난 방지 시스템 혹은 전자 보안 시스템이 동작하고 있다는 내용을 포함한 라벨을 시스템 사용 위치에 부착하도록 하였다. 그러나 국내의 경우, 이러한 권고 사항이나 권장 사항에 대한 내용이 전무할 뿐 아니라, 전자 상품 감지 시스템 동작에 대한 공지 사항이나 라벨링 또한 실시되지 않고 있다.

본 연구에서 측정된 전자 상품 감지 시스템의 자기장 강도는 모두 국내 MIC 인증기준을 모두 상회하고 있었으나, 모든 시스템에는 MIC 인증 마크가 부착되어 있는 기준 통과 제품으로 표시되어 있었다. 이는 시스템의 최초 인증시 기준에 부합하였으나 시스템의 노후화로 인해 그 노출 강도가 증가하였을 가능성과 시스템 설치시 감지 시스템의 성능 및 감도 향상을 위해 제조사 혹은 설치사에서 임의로 노출 강도를 변경하였을 가능성 또한 있는 것으로 보인다.

상품 감지 시스템에서 발생할 수 있는 노출 상황에 따른 부작용은 심각한 수준이 아닐지라도, 노출 시간은 짧지만 그 주기는 매우 빈번한 노출에 대한 연구는 반드시 이루어져야 할 것이다. 아울러 상품 감지 시스템의 MIC 인증 후에도 검정 주기와 검증 유효 기간을 법제화 하거나 제도화 하여, 인증시의 노출량을 유지하고 감독하는 것이 반드시 필요하다.

참고문헌

- [1] 남기창, 유창용, 김덕원, 각종 휴대용 전화기가 의료기기에 미치는 영향, 의공학회지, 20권, 3호, 353-361, 1999.
- [2] National Academy of Science/National Research Council. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. Washington, DC, National Academy Press; 314; 1996
- [3] 김남, ICNIRP 새 지침서의 전자장 인체보호기준 분석, 정보통신진흥원; 1999.
- [4] 송용철, 상품 도난 방지 시스템용 자기 센서, Journal of the Korean Magnetics Society, Vol.7, No.5., p280-283, 1997.
- [5] Jeffrey L. et al, Use of Cellular Telephones in the Hospital Environment, Mayo Clinical Proceedings, Vol. 82(3), p282-285, 2007
- [6] Jeremy Trevis, Evaluation of Vehicle Stopping Electromagnetic Prototype Devices; Phase III- Engineering Field Testing, National Institute of Justice, p2-8, 1998
- [7] James V. et al, Managing EAS Systems and Medical Implant Interactions, Electromagnetic Compatibility, 2002. EMC 2002. IEEE International Symposium Volume 2, p925-930 ; 2002
- [8] 전자부품연구원 전자정보센터, 2003년 중국 IDS 시장 동향, p1-5; 2004
- [9] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electronic, magnetic, and electromagnetic fields(U to 300GHz), Health Physics ; 74(4), 494-522, 1998.

- [10] National Council on Radiation Protection. A practical guide to the determination of human exposure to radio-frequency fields. Washington, DC, National Council on Radiation Protection and Measurement; 1993 (NCRP Report 119)
- [11] United Nations Environment Programme/World Health organization /International Radiation Protection Association. Extremely low frequency (ELF) fields. Geneva, World Health Organization; Environmental Health Criteria 35; 1984
- [12] United Nations Environment Programme/World Health Organization /International Radiation Protection Association. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Geneva, World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993
- [13] Om P Gandhi et al , Calculation of induced current densities for humans by electromagnetic fields from EAS devices, Physics in Medicine and Biology Vol. 46. 2579–2771; 2001
- [14] 이종오 외, Calculation of induced currents in human body for exposure to electromagnetic fields from EAS devices, ; 2002
- [15] World Health Organization, Environmental Health Criteria 232 –STATIC FIELDS Report , p249–p251. ; 2006
- [16] 방송통신위원회, 전자파에 대한 한국의 보호기준, 전파법제47조2의제1항 의거 정통 부고시2001-88호 ; 2001
- [17] Gang Kang, Comparison of Various Safety Guidelines for Electronic Article Surveillance Devices With Pulsed Magnetic Fields, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 50, NO. 1, p101–p112.; 2003.
- [18] J. Rod Gimbel et al, Electronic Article Surveillance Systems and Interactions with Implantable Cardiac Devices: Risk of Adverse Interactions in Public and Commercial Spaces, Mayo Clinic Proceedings, p318–322 ; 2007

[19] International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee. Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. Health Phys.; 54(1), 115–123; 1988

[20] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Phys.; 66(1), 100–106; 1994

[21] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. Health Phys.; 70(4), 587–593; 1996

[22] Institute of Electrical and Electronics Engineers. Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3kHz to 300GHz. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers; 1992(IEEE C95.1–1991)

[23] International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing radiation Committee. Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. Health Phys.; 58(1), 113–121; 1990

Abstract

Electronic Article Surveillance (EAS) System is the most popular security system of Logistics and Mass Production system. Most of the EAS systems are using EM type. ICNIRP announced guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields(up to 300GHz)in 1998. In Korea, MIC certification level was announced in 2001 with reference to ICNIRP guidelines.

In this paper, magnetic field strength of five 14 kHz, two 230 Hz system and two 6.3 kHz EM type EAS system were measured three times repeatedly. All of the system's magnetic strength exceeded ICNIRP guidelines and MIC certification level. Particularly, 84 times of MIC certification level was showed on 14 kHz EAS system. Thus, further experiment and study about this exposure effect on human body should be needed.

key words : EAS System, ICNIRP, basic restriction, reference level, MIC certification, electromagnetic field. effect on human body