

대형 영상장치와 인체영향과의 상관성 연구



제 출 문

방송통신위원회 위원장 귀하

이 보고서를 방송통신위원회가 지원하여 수행한 ‘대형 영상장치
와 인체영향과의 상관성 연구’의 최종보고서로 제출합니다.

2009년 10월

주관연구기관 : 부산대학교 산학협력단

책임연구원 : 김병철 (부산대학교 바이오메디컬공학과 교수)

공동연구원 : 이무영 (영남대학교 전자공학과 교수)

연구원 : 김태준 (부산대학교 바이오메디컬공학과 석사과정)

박성운 (부산대학교 바이오메디컬공학과 석사과정)

Contents

목 차

요약

ix

I

서 론

- 1. 연구의 필요성3
- 2. 연구내용5
- 3. 연구방법6

II

전자파 방호의 구조와 특징

- 1. FPD 누출 전자파의 구조와 특징11
 - 1) PDP형 FPD11
 - 2) LCD형 FPD17
- 2. 전자파 방호의 구조와 특징23
 - 1) 전자파 효과23
 - 2) 방호지침의 분석24
- 3. 전자계 방호 대책의 분석33
 - 1) 일반 가전기기33
 - 2) FPD34
- 4. 방사광에 대한 방호35
 - 1) ICNIRP의 자외선 가이드라인36
 - 2) FPD 방사광 방호의 특징38
 - 3) 대형 FPD의 사용 환경 고찰40

III

국내외 사례 및 연구동향 분석

- 1. 사례45
 - 1) 개요45

2) 해외 각국의 가이드라인	45
2. 연구 동향	57
1) 개요	57
2) 전자장의 생체 효과	59
3) 방사광의 인체 효과	62
4) 인체 방호기준	65

IV

측정 방법

1. 측정 개요	73
2. FPD 누설 전자계의 측정	74
1) 샘플 및 측정기기	74
2) 측정 시스템 및 방법	75
3) 거리에 따른 전자장 안전도	80
3. FPD 방사광의 측정	81
1) 샘플 및 측정기기	81
2) 측정시스템 및 방법	81
4. 관시각(Sight Angle)과 광감수성의 상관성	82
1) 측정 시스템	82
2) 측정 방법	83

V

측정결과 및 분석

1. RF 전기장의 측정 결과	87
1) 전기장 레벨 측정	87
2) 전기장 분포도의 작성	87
2. VLF 자기장의 측정 결과	90
1) 자기장 레벨 측정	90
2) 자기장 분포도의 작성	91
3. ELF 자기장의 측정 결과	97
1) 자기장 레벨 측정	97

2) 자기장 분포도의 작성	98
4. 방사광 측정 결과	100
1) 방사광의 레벨 측정	100
2) 방사광의 분포도 작성	101
5. 관시각과 광감수성 반응 측정 결과	102
1) 적색 광감수성 반응 측정	102
2) 규칙성 패턴에 대한 반응 측정	102
6. 분석 및 고찰	103
1) 분석	103
2) 고찰	108

VI

결론 및 제언

1. 결 론	113
2. 정책 제언	115
1) 미시적 측면	115
2) 거시적 측면	116

참고문헌

Contents

표 목 차

〈표 1〉 10 GHz 까지의 기본 제한치	27
〈표 2〉 10~300 GHz 대역에 관한 기본 제한치	27
〈표 3〉 시간 변화하는 전자계의 일반인에 대한 노출 참고 레벨(RL)	30
〈표 4〉 시간 변화하는 전자계의 직업인에 대한 노출 참고 레벨(RL)	31
〈표 5〉 자외선의 노출한계치 (EL)	36
〈표 6〉 광대역 광원에 대한 실효계수	37
〈표 7〉 ACGIH의 EL	38
〈표 8〉 각국의 인체 노출기준 가이드라인	46
〈표 9〉 EUT의 내역	74
〈표 10〉 측정기기	74
〈표 11〉 VLF 자기장 측정결과 (d=30 cm)	90
〈표 12〉 ELF 자기장 측정 결과 (d=30 cm)	97
〈표 13〉 방사광 측정 결과	100
〈표 14〉 관시각과 광감수성 반응 실험결과	102

Contents

그림 목 차

〈그림 1〉 PDP 방전셀(발광 픽셀)의 모형	11
〈그림 2〉 PDP 패널의 모형	12
〈그림 3〉 PDP 발광 셀의 전력손실 분포	14
〈그림 4〉 대표적인 PDP형 FPD의 블록도와 방출전자파 원	16
〈그림 5〉 LCD 의 모형	18
〈그림 6〉 백라이트의 모형	19
〈그림 7〉 대표적인 인버터형 CCFL 구동회로	19
〈그림 8〉 CCFL파형의 보기 : 위로부터 전압(2KV/ div),전류(0.1A/div), 21	
〈그림 9〉 대표적인 LCD형 FPD의 블록도와 방출 전자파원	22
〈그림 10〉 ICNIRP 자기장 RL의 레벨도	32
〈그림 11〉 ICNIRP 전기장 RL의 레벨도	32
〈그림 12〉 최적시청거리의 설명	41
〈그림 13〉 미국 전기장 제한 레벨	48
〈그림 14〉 미국 자기장 제한레벨	48
〈그림 15〉 일본 전기장 제한 레벨	49
〈그림 16〉 일본 자기장 제한 레벨	49
〈그림 17〉 러시아 전기장 제한레벨	50
〈그림 18〉 중국 전기장 제한레벨	50
〈그림 19〉 중국 자기장 제한레벨	51
〈그림 20〉 캐나다 전기장 제한 레벨	51
〈그림 21〉 캐나다 자기장 제한 레벨	52
〈그림 22〉 브라질 전기장 제한 레벨	52
〈그림 23〉 브라질 자기장 제한 레벨	53
〈그림 24〉 필리핀 전기장 제한 레벨	53
〈그림 25〉 필리핀 자기장 제한 레벨	54
〈그림 26〉 대만 전기장 제한 레벨	54

<그림 27> 대만 자기장 제한 레벨	55
<그림 28> 이탈리아 전기장 제한레벨	55
<그림 29> 이탈리아 자기장 제한레벨	56
<그림 30> 폴란드 전기장 제한 레벨	56
<그림 31> 폴란드 자기장 제한 레벨	57
<그림 32> FPD 전자장 측정 프레임	76
<그림 33> FPD 전자장 측정 시스템	77
<그림 34> 측정시스템 (a) 시스템의 구성 (b) RF 측정 실험	78
<그림 35> 측정방법	80
<그림 36> FPD의 표시면 크기와 관시각	82
<그림 37> 광 감수성 반응 측정 패턴	83
<그림 38> RF 전자기장 측정결과 (d=30cm)	88
<그림 39> PDP형 FPD (P-2) 의 RF 방사 분포도	89
<그림 40> LCD 형 FPD(L-3)의 RF 방사 분포도	89
<그림 41> PDP형 FPD(P-3)의 VLF자기장 방사분포도	93
<그림 42> LCD 형 FPD의 VLF(L-3)자기장 방사분포도	96
<그림 43> 대표적인 PDP형 FPD(P-1)의 ELF 자장 방출 패턴도	98
<그림 44> 대표적인 LCD형 FPD (L-1)의 ELF 자장 방출 패턴도	99
<그림 45> 가시광의 방사분포도	101
<그림 46> RF 안전도	104
<그림 47> VLF 안전도	104
<그림 48> ELF 안전도	105
<그림 49> UV 안전도	105
<그림 50> 거리에 따른 자기장의 변화	107
<그림 51> 거리에 따른 안전도의 변화 (P-1)	108

요 약 문

최근 평판 디스플레이(FPD)는 플라스마형 표시판(PDP)과 액정형 표시장치(LCD) 등의 뛰어난 특징으로 괄목할 만한 성장을 거듭하며 평판형 TV를 비롯하여 각종 게임기, 광고판, 컴퓨터 등의 대형 표시장치로 폭넓게 보급되고 있다. 또한, 화상표시장치의 특성상 보다 크고 선명하고, 밝은 것을 목표로 하고 발전해 가기 때문에 FPD는 날로 고정세화, 고휘도화, 대형화 되어 나가는 추세에 있다.

FPD에 있어서 표시면적의 대형화와 고휘도화는 전력용량의 증가를 의미하며 고정세도화는 구동신호의 고속화를 의미하고, 그 종합적 결과는 불요복사 전자파와 방사광의 증가로 나타난다. 따라서 FPD 앞에 앉아있는 모든 시청자는 당연히 이러한 불요 복사 전자파에 노출되게 되기 때문에 이러한 전자파로부터 인체를 방호하는 것이 심각한 문제로 대두되기에 이르렀다.

그러나 지금까지 대형 디스플레이로부터 방출되는 각종 전자파가 인체에 미치는 영향성이나 문제점들에 관한 구체적인 연구 및 조사가 이루어지고 있지 않아 국민 보건 차원에서 적지 않는 문제점으로 부각되고 있다. 따라서 대형 디스플레이와 인체에 미치는 영향과의 상관성에 대한 실증적인 연구가 매우 필요하다. 이러한 배경하에서 이 연구의 목적은 본 연구의 목적은 대형 디스플레이가 인체에 미치는 영향 및 상관성 정도를 조사, 분석하고 이에 기초하여 정책 방안을 제시하는 데 있다.

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 대표적인 대형 PDP 및 LCD형 FPD에 관하여 그 누출 전자파 및 방사광의 주요 발생원을 회로 시스템의 측면에서 측정한 결과, 표시면을 통해서 누출되는 전자파는 PDP형은 발광셀과 방전구동회로의 칩과 배선이 주 발생원이고, LCD형은 표시 픽셀 어레이의 배선과 반도체 칩 그리고 백라이트가 주 발생원이 되고 있는 것으로 나타났다. 여기서 PDP의 발광셀 어레이와 LCD의 백라이트는 주로 수 100 KHz~수 10 MHz 범위의 넓은 대역의 RF 방전잡음을 발생하고 PDP의 발광셀과 LCD의 픽셀 구동용 칩과 배선으로 부터는 수 KHz~수 100 KHz 범위의 VLF 대역의 전자파가 방출되었다. 또한, 수 10 Hz 이하의 ELF 성분은 주로 전원 트랜스와 그 주변의 반도체 칩, 트랜스포머 등에서 발생하는 누출 자기장으로 되는 것으로 나타났다.

둘째, 시판의 대형 FPD 샘플 6대에 관하여 KS C IEC 62233:2008이 정한 바에 따라 30cm 거리에서의 누출 전자장 에너지를 측정한 결과, 그 레벨은 모두 INCNIRP RL값 이하인 것으로 나타났다. 누설 전자파가 인체에 미치는 영향을 평가하는 데는 권위 있는 전문기관이 권장하는 기준치와 비교할 필요가 있다. 현재로서는 ICNIRP 가이드라인이 가장 잘 체계화되어 있으며 대다수의 국가가 이 가이드라인을 준용하고 있으므로 FPD도 일차적으로는 이 기준에 따라 안전도를 평가하였다. ICNIRP의 RL 값 자체가 상당한 안전율을 두고 설정되어 있는데, 샘플 FPD는 LCD형의 경우 0.69 %, PDP 형에 있어서도 6.7 % 의 안전도여유를 지니고 있어서, 인체에 대해서는 충분한 방호가 이루어져 있음을 알 수 있다. 대형 샘플의 FPD 화면에서는 가시광과 함께 자외선의 방출도 관측이 되었는데, 30cm에서 측정한 이 레벨도 ICNIRP 와 AFGIH 의 기준치의 0.1 % 이하의 미량으로서 역시 인체에는 영향을 주지 않는다는 것이 판명되었다.

셋째, FPD의 표면 30 cm 위치를 주사하면서 위치별 방사 레벨을 측정하여 전자파의 방사 패턴도를 작성하여 분석한 결과, PDP에 있어서 표시판 정면으로 부터의 RF 대역의 방출 전자파가 많은 것으로 나타났다. 이것은 회로론적 고찰에서 추정된 것과 같이 주로 발광셀로 부터의 방전잡음과 부수 구동회로의 과도현상에 따른 것으로 볼 수 있다. 또한, ELF 자기장은 주로 전원 트랜스와 그 부수회로의 위치에서 고 레벨이 관측되고 있으며 그 원인은 전원트랜스와 스위칭 소자인 것으로 나타났다.

넷째, 화면에서 방출하는 방사광을 측정한 결과 UVC는 검출되지 않았고, UVB와 UVA의 합성 레벨이 소량 검출되었으며, 이를 ACGIH의 기준치와 비교해 볼 때 PDP 형에서는 최대치의 평균이 0.24 %, LCD형에서는 0.4 % 가 되어 충분한 안전 여유도를 지니고 있음을 알 수 있다.

다섯째, 대형 FPD는 최적 시청거리가 2~5 m가 되어 있어서 FPD의 경우는 이 거리가 보다 실용적이라 할 수가 있는데 이 거리에 있어서 전자파 레벨을 측정한 결과 거의 환경잡음과 같은 수준으로 감쇄되어 있는 것으로 나타났다.

여섯째, 광감수성 신경반응, 또는 영상멀미 등과 관시각과의 관계를 실험한 결과 관시각이 60° 인 경우가 30° 인 경우에 비하여 두통, 어지러움 등의 불쾌감을 발생시키는 확률이 30% 더 높은 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 볼 때, 대형 FPD의 누출전자장은 30cm의 근거리에 있어서도 인체에는 거의 영향이 없으며, 더구나 일반적인 사용 환경에서는 전혀 문제가 되지

않음을 알 수 있다. 향후 전자장에 대한 전자파에 대한 규제는 인체의 건강을 보호할 수 있는 최소한의 수준으로 하는 것이 바람직하며 그것이 전자산업의 발전을 방해하는 방향으로 확대 적용되는 것은 피해 나가야 할 것이다. 따라서 과학적으로 근거가 있는 현행 방호지침을 사용하여 전자 환경(Electromagnetic Environment)을 관리해 나가면서, 미 확립된 분야의 영향의 가능성에도 주의를 환기하여 예기하지 못한 건강피해에 대비해야 할 것이다.

그러나 FPD의 대형화는 그 만큼 누출 전자파의 강도 증가를 수반하게 됨으로 부품이나 회로 그리고 차폐수단에 있어서 지금까지 이상의 엄격한 제한을 가하지 않으면 현재의 전자파 방호 안전도를 계속 유지하기가 어려워 질 수 있을 것이다. 따라서 전문가 집단과 행정부서 그리고 일반 대중과의 사이의 신뢰성에 바탕을 둔 위험 커뮤니케이션(Risk Communication)을 통하여 아직도 미해명으로 남아있는 비열효과 분야의 각종 사례, 예를 들면 ELF 영역의 미약 자기장에 원인이 있을 것으로 보고되고 있는 유전자이상, 발암현상, 뇌신경계통이상 등을 포함하여 특히 근간에 관심사가 되어 있는 소아백혈병의 전자장 관련설 등을 조속히 해명하여 유효한 방호수단을 발견하는 것이 무엇보다도 중요한 과제라 할 수 있다.

I.

서론

I. 서 론

1. 연구의 필요성

최근 디지털 기술의 급속한 발달로 생산이 용이한 사용자 제작 콘텐츠(User Creative Contents: UCC)와 고품질의 다양한 콘텐츠가 보급되고 있다. 또한 인터넷 프로토콜 텔레비전(Internet Protocol Television: IPTV)의 등장으로 영화 등의 상용 고품위 콘텐츠에 접근성이 용이해지고 있으며, 고화질, 대형 영상장치에 대한 요구가 가속화 되고 있다. 이에 플라스마 표시판(Plasma Display Panel: PDP)을 사용한 PDP형 TV와 액정 표시장치(Liquid Crystal Display: LCD)를 사용한 LCD형 TV의 대형 평판형 디스플레이의 가격도 저렴해지면서 보급율이 급격히 증가하고 있다. 또한, 화상표시장치의 특성상 보다 크고 선명하고 밝은 것을 목표로 하고 발전해가기 때문에 평판 디스플레이(Flat Panel Display, 이하 FPD)는 날로 고정세화(High Definition), 고휘도화(High Brightness), 대형화(Large-Sized) 되어 나가는 추세에 있다.

FPD에 있어서 표시면적의 대형화와 고휘도화는 전력용량의 증가를 의미하며 고정세도화는 구동신호의 고속화를 의미한다. 일반적으로 FPD는 입력 전력을 광 에너지로 변환하는 효율이 매우 낮아서 입력 전력의 대부분은 열과 전자파(Electromagnetic Wave)의 형태로 공간에 방출된다. 이 중에서 공간에 방출된 전자파는 불요복사파(Spurious Radiation) 또는 누출 전자파로 불리며 전자통신 시스템에 대해서는 전자방해(Electromagnetic Interference: EMI)대책의 대상이 되고, 인체에 대해서는 전자방호 대책의 대상이 된다.

인체가 복사 전자파에 노출되는 경우, 전자파의 주파수, 에너지, 노출시간에 따라서 여러 가지 물리화학적 효과가 발생하게 되는데, 이것은 건강장애로 발전할 수도 있기 때문에 최근 많은 관심을 끌고 있는 분야이다. 전자파는 시간적으로 변화하는 전기자기장(Electromagnetic Field: EMF)에 해당되는데, 최근에는 정전계(Static Electric Field)와 정자계(Static Magnetic Field)도 생체효과를 일으킬 수 있다는 것이 알려져서 이들을 종합하여 전기자기장의 생체효과(Bio-Effect: BE)라는 차원에서 다루어지게 되었다.

현재 전자기장의 인체에 대한 효과와 작용에 관해서는 생리학적으로도 상당한 수준에서 조사·해석되어 있으며 그 대책도 거의 확립되어 있는 상태이다. 그 결과에 기초하여 세계보건기구(World Health Organization: WHO), 국제비전리복사방호위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 이하 ICNIRP) 등의 국제기구에서는 인체에 대한 전자파 방호지침을 제정, 공시하여 인체가 이 지침에서 정한 특정 레벨 이상의 전자파에 노출되지 않도록 권장하고 있다.

이 지침은 FPD도 해당되며 기기의 제작자와 사용자가 이 권고 레벨을 준수하는 한 인체는 전자기장으로부터 충분히 방호된다고 할 수 있다. 그러나 누출 전자기장의 강도는 발생원으로 부터의 거리에 따라 다르고, 특히 대형 FPD의 경우에는 발생원도 넓게 분포되어 있기 때문에 환경조건에 따라서는 본의 아니게 권장 제한치 이상의 전자기장에 노출될 가능성을 부인할 수가 없다. 더욱이 FPD는 일반적으로 다수의 시청자가 근거리에서 동일 화면을 장시간, 그것도 매일 상례적으로 응시하는 것이 습관화되어 있기 때문에 다른 전기기기에 비해서는 전자기장에 대한 누적 노출량(Dose)이 상대적으로 많을 것이라는 것은 쉽게 짐작할 수 있다.

특히, FPD의 대형 화면에서 방출되는 대량의 광량과 음향, 그리고 고정세도의 고속 동화상은 다른 일반 가전기기에 비해서 시청자의 교감신경을 강하게 자극하는 측면이 있어 일반 대중들의 전자파에 대한 불안 심리를 한층 고조시키고 있는 것을 볼 수 있다. 전자기장에 대한 이러한 과장된 불안 심리는 전자기장 분야의 전문가 집단과 일반 대중들 간의 원활한 위험 커뮤니케이션(Risk Communication) 부족이 원인이 되고 있다고 할 수가 있다. 그러나 모든 위험 커뮤니케이션은 객관적으로 증명된 과학적인 사실에 기초하지 않는 한 설득력을 지니지 못하며 오히려 상호간의 신뢰도만 실추시켜서 결과가 된다. 따라서 이 시점에서 FPD의 누출 전자계의 실상과 그 인체에 대한 영향을 보다 명백히 밝혀서 이러한 불필요한 불안 심리를 일소시킬 필요성이 매우 크다.

그러나 지금까지 대형 디스플레이로부터 방출되는 각종 전자파가 인체에 미치는 영향성이나 문제점들에 관한 구체적인 연구 및 조사가 이루어지고 있지 않아 국민 보건 차원에서 적지 않는 문제점으로 부각되고 있다. 따라서 대형 디스플레이와 인체에 미치는 영향과의 상관성에 대한 실증적인 연구가 매우 필요하다. 이러한 배경하에서 이 연구의 목적은 대형 디스플레이가 인체에 미치는 영향 및 상관성 정도를 조사, 분석하고 이에 기초하여 정책 방안을 제시하는 데 있다.

2. 연구내용

본 연구의 목적을 달성하기 위해 설정한 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

1) 대형 영상장치 및 방출 유해파의 범위 설정 및 이론적 고찰

대형 영상장치 및 방출 유해파의 대상 범위 및 한계를 설정한다. 현재 보급되어 있는 대표적인 FPD에 관하여 그 구조와 회로를 분석하고 누출전자파 및 유해 광선의 방출원을 규명하여 방출 에너지의 특성을 이론적으로 고찰한다.

2) 인체의 전자파방호 및 전자파 가이드라인 관련 사례 분석

인체에 대한 전자장의 영향과 그 방호대책에 관한 국내·외 문헌과 사례를 수집·분석한다. 그리고 ICNIRP를 비롯한 해외 각국의 전자파 방호 가이드라인의 내용과 적용현황을 조사하고, 현용의 각급 가전기기에 대한 적용사례를 수집·분석한다.

3) FPD의 불요 전자파 측정 시스템 개발 및 적용

대표적인 국내의 LCD, PDP형 FPD에 관하여 RF, VLF, ELF 및 UVR 의 방출특성을 측정하기 위한 측정 시스템을 설계·개발한다. 개발된 시스템을 활용하여 가장 적합한 측정방법을 개발하고 실측에 적용한다. FPD의 불요전자파 레벨 측정결과를 ICNIRP RL과 비교하여 이들 피 시험기(Equipment Under Test, 이하 EUT)의 방호안전도를 분석하고, 방사 패턴도를 통하여 방사원의 위치와 특성을 규명한다.

4) 불요 전자파 및 방사광선의 인체에 미치는 영향과 상관성 분석

FPD를 비롯한 각종 가전기기가 방출하는 누출 불요 전자파와 방사광선이 인체에 미치는 각종 생체효과에 관하여 그 주파수와 전력 레벨과의 상관성을 고찰하고 FPD에의 적용범위를 분석한다.

5) 정책 방안 제시

대형영상장치의 인체영향성과의 상관성을 추정·분석한 결과에 의거하여 제 문제점들에 대한 사전 예방 및 감소를 위한 관련 정책 방안을 제시하고, 관련 정책 전개과정의 당위성과 효용성을 제시한다.

3. 연구방법

본 연구는 과제 영역에 대한 복수의 연구 과업을 수행하기 위하여 다양한 연구방법을 사용한다. 본 연구에서 적용한 연구방법은 기초자료 수집 및 문헌연구, 사례조사, 실험 및 개발, 조사연구, 전문가 자문 등이다.

1) 문헌 연구

대형 FPD가 방출하는 불요 전자기장 및 유해 광선과 관련되는 국내·외의 자료와 문헌을 수집·분석한다. 국내·외 관련 선행연구를 비판적으로 고찰하고 관련 연구동향을 파악한다.

2) 사례 조사

인체에 대한 전자기장의 생체효과 및 유발되는 각종 건강 장애와 관련된 국내·외의 사례를 수집하여 FPD에 적용한 경우를 분석한다. 또한, 현재 해외 각국에서 전자기장에 대한 인체방호를 위하여 채택하고 있는 방호기준과 가이드라인의 현황을 분석하고, FPD에 대한 적용범위를 도출한다.

3) 개발 연구

LCD, PDP, LED형 등 평판형 디스플레이의 표본을 선정하고 RF, VLF, ELF 및

UVR, IRR 별로 효과적으로 측정할 수 있는 측정시스템을 설계·개발한다. 그리고 대형 FPD의 전 표면에서 복사되는 방사광 및 전자파의 위치별 특성을 측정하고 그 방사 패턴도를 작성하는 방법을 고안한다.

4) 조사 연구

대형 FPD가 발생하는 각종 불요 전자파 및 방사광의 방출실태를 실측을 통하여 조사하고 그것을 현행 전자파방호규정을 기초로 평가하여 인체에 대한 안전성을 확인한다. 특히, 대형 FPD의 사용 환경을 파악하기 위하여 각종 문헌과 자료를 수집·고찰해봄으로써 FPD로부터의 불요 전자파가 시청자에게 미칠 수 있는 영향에 대해 심층적으로 조사한다.

5) 전문가 자문

본 연구의 진행 과정 및 연구 결과를 통하여 얻어진 주요 결과물들의 타당성과 적절성을 제고하고 정책 방안을 제시하기 위하여 전문적 자문과 협의과정을 거친다.

II. 전자파 방호의 구조와 특징

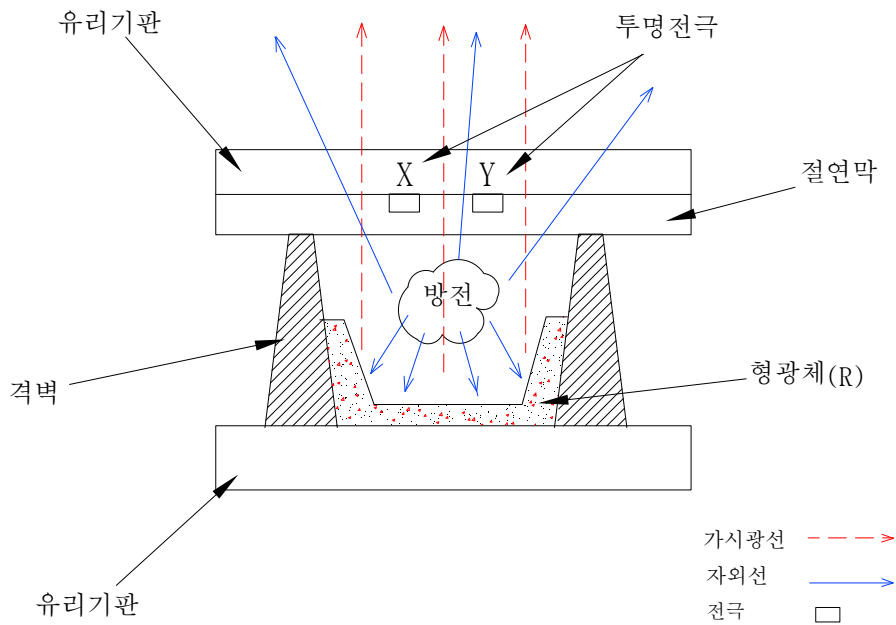
II. 전자파 방호의 구조와 특징

1. FPD 누출 전자파의 구조와 특징

1) PDP형 FPD

(1) 대표적 구조와 불요전자파 발생원

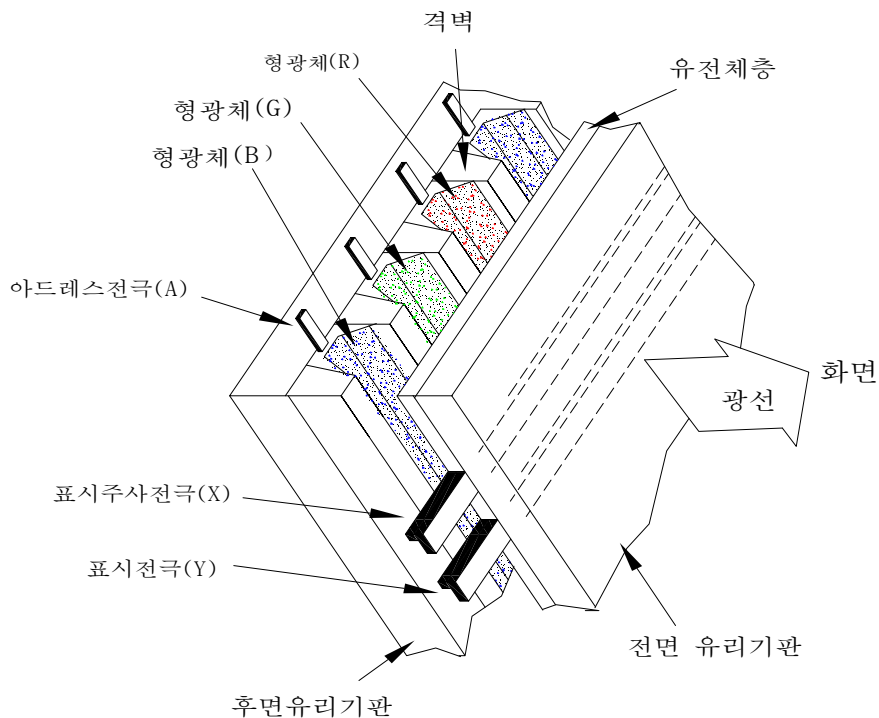
PDP 패널은 일반적으로 다음 <그림 1>과 같은 미소한 방전 셀(Discharge Cell)을 평판 상에 무수히 배열한 구조로 되어 있다. 각 방전 셀은 격벽내부에 네온(Ne), 헬륨(He), 제논(Xe) 등을 혼합한 저압 가스가 봉입되어 있어서 이 셀의 투명전극 간에 전압을 인가하면 가스가 전리되어 방전이 일어나도록 되어 있다.



<그림 1> PDP 방전셀(발광 픽셀)의 모형

이 때 방출광은 Xe 가스의 공명선인 147 nm를 주로 하는 자외선으로 구성되는데, 그 대부분은 방전셀 기저부의 형광체에 조사되어 가시광으로 변환된 후, 상부의 투명전극을 투과하여 외부로 방출된다. 형광체는 셀에 따라 각각 적(R), 녹(G), 청(B)의 3 원광을 발하는 현광물질이 도포되어 있어서 각 색광을 적절히 혼합함으로써 천연색을 재현한다.

FPD는 이러한 방전 셀을 다음 <그림 2>와 같이 스트라이프 형으로 가공하여 평면판에 배열한 형태로 만들어지며, 표시전극(X), 표시주사전극(Y) 그리고 어드레스 전극(A)의 3 개 전극으로 구동을 한다. 어드레스 전극(A)은 표시의 유무를 결정하는 데이터를 입력하기 위해 사용되고, 표시전극 쌍(X, Y)은 방전, 발광을 위해 사용된다. 표시전극 X는 공통으로 결선되어 동일한 구동회로에 접속이 되어 있지만 표시주사전극 Y는 표시에 사용되는 동시에 데이터를 입력할 전극의 구실도 한다.



<그림 2> PDP 패널의 모형

동작 시에는 방전시킬 셀의 어드레스 전극 A와 표시전극 쌍의 하나인 표시주사전극 X 사이에서 어드레스 방전을 일으켜서 방전셀 내에 전하를 축적한다. 그 후 표시전극 쌍 X, Y 간에 고전압을 인가하면 어드레스 방전으로 벽전하가 축적한 셀에 한해서 표시방전이 일어나서 UV가 발생하고, 이 UV는 셀 내에 도포된 형광체를 여기 하여 각각 3 원광인 적색, 녹색, 청색(RGB)의 파장의 가시광을 발생한다. 표시전극 간에 인가하는 전압은 혼합가스의 조성, 압력 등에 의존하지만 대체로 160~180 V 의 고전압이 필요하고, 셀 당 방전전류도 100~300 μ A 수준이 된다. 이 때, 방전전압은 1.5~3.5 μ S 범위의 폭을 지닌 고속 펄스 형태가 된다.

최근에는 HDTV의 보급과 함께 보다 많은 집적도를 지닌 대형 FPD가 요구되고 있고, 표시격조(Grade)도 고급화되고 있어서 방전, 주사 신호는 더욱 고속화, 고 전압화, 고 전력화 되고 있기 때문에 누설 EMF의 주파수 대역은 더욱 넓어지고 출력도 계속 증가할 전망이다.

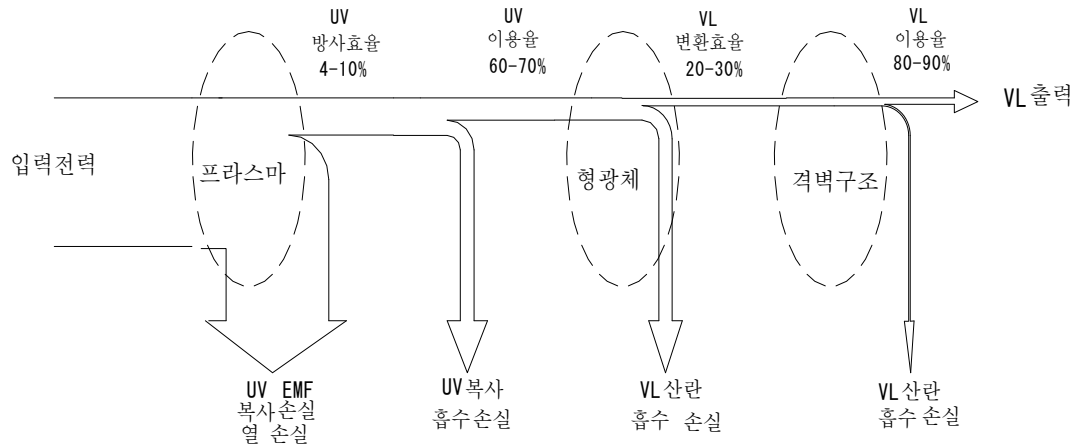
(2) 누출 전자파의 파원

PDP는 저압 기체의 방전을 통하여 자외선을 발생시킨 후 이것을 형광물체에 조사하여 가시광으로 변환한다는 원리를 이용하므로 LCD, 유기 EL 또는 LED 형 FPD에 비해서 많은 불요 전자파가 발생한다.

다음 <그림 3>은 보편적인 PDP 발광 셀에 있어서 인가전력이 UV로 변환된 후, 가시광으로 이용될 때까지의 에너지 변환과정을 나타낸 모형도이다. 최근 많이 개선되고 있기는 하나 입력전력의 UV 변환율은 아직도 수 퍼센트 수준에 머물고 있다. 이렇게 발생한 UV도 실제로 형광체에 작용하여 가시광을 발생하게 되는 에너지는 그 중의 6~70 % 수준을 넘지 못한다. 그리고 형광체의 UV 변환효율은 이론상 20 % 정도에 지나지 않으므로 입력전력에 대한 가시광선의 총체적인 변환효율은 대체로 3~4 % 수준인 것으로 알려져 있다. 따라서 입력전력의 대부분은 열에너지와 불요 EMF 복사파 및 UV가 되어 공간에 방출된다고 볼 수가 있다.

이러한 누출 복사 에너지는 주위의 여러 구조물을 통과하면서 흡수 또는 산란되어 크게 감쇄하지만, 그 중의 상당한 량이 인접 공간으로 방출되어 불요방출이 된다. 그 중에서도 표시 패널 정면에서 시청자 방향으로 방출되는 에너지는 직접 시청자의 전신 특히 안면에 집중 조사하게 됨으로 이것이 FPD의 전자파 방호의 주

대상이 된다.



<그림 3> PDP 발광 셀의 전력손실 분포

XGA급의 42인치 PDP의 경우를 예를 들면, 1 개의 방전 셀에 $3 \mu\text{S}$ 길이의 $\pm 50 \text{ V}$ 의 RZ 펄스를 인가하여 방전을 시킨 경우, 방전전류는 폭이 $0.25 \mu\text{S}$ 이고 최대치가 $300 \mu\text{A}$ 가 되는 펄스 전류가 된다. 이 경우, 각 펄스는 10^{-8} J 의 에너지를 소모하기 때문에 가시광선/전력변환효율을 전술한 것과 같이 3 % 라고 가정한다면, $0.97 \times 10^{-8} \text{ J}$ 의 에너지가 열 손실과 함께 각종의 누설 EMF 에너지가 되어 주위 공간으로 방출된다는 것을 의미한다.

따라서, 방전셀 1 개가 방출하는 누설 EMF 전력을 $P(W)$ 라 한다면 총 N 개의 발광 셀로 구성된 FPD 에서는 $P = Np(W)$ 의 누설 EMF가 발생하게 된다. N 은 FPD의 공칭 크기(대각선의 길이)의 2승에 비례하기 때문에 대형 패널의 경우, 전면 공간에는 상당한 전력의 전자파가 복사되고 있을 것으로 볼 수 있다.

(3) 누출 전자파의 특징

PDP 패널에 있어서 발광 픽셀에서 발생하는 누출 전자파의 특성은 각 전극에 인가되는 펄스의 파형과 회로정수에 의해 정해진다. 시뮬레이션과 실험을 통해서 밝혀진 바에 의하면 복사 전자계는 대체로 30 MHz에서 300 MHz에 이르는 광범위한 대역을 점하고 있으며 그 강도는 EUT로부터 3m 되는 위치에서 40~70 dB μ V의 범위에 분포되는데¹⁾ 그 중에서 패널 면에서 공간으로 방출되는 것은 대체로 70~130 MHz 성분이 주가 되어 있고 70 MHz 이하의 전원선 등을 통해서 누출되는 것으로 되어 있다.²⁾

이 강도는 CISPR가 설정한 EMI 제한치와 비슷한 값이지만 ICNIRP의 참고레벨¹⁾에 비추어보면 아직은 100 dB 정도의 여유(Margin)가 있다. 따라서 인체에 대한 위해도의 관점에서는 충분히 안전한 레벨이라 할 수가 있다. 그러나 PC나 게임머신처럼 인체가 FPD 정면에서 수 10 cm 까지도 근접할 수 있는 사용 환경에서는 간단히 판단하기 어렵다. 더구나 30 MHz 이하의 대역에서는 근방전자계의 영역이 되어 자계의 강도가 급격히 강해지기 때문에 위의 결과를 그대로 적용하여 인체에 관한 생체효과를 판단한다는 것은 적절치 않다는 것을 알 수가 있다. 이러한 관점에서 $\lambda/2\pi$ 이내의 근거리 노출에 대해서는 자계의 강도를 지표로 삼는 것이 관례가 되어 있다.

이러한 누출 전자파는 발광 셀에 대한 구동 펄스의 형태를 적절히 정형하여 고조파의 발생을 억제하는 동시에 정면 패널에 적절한 전자파 차폐막을 부착하면 상당 수준 개선될 수 있는 것으로 알려져 있다.³⁾

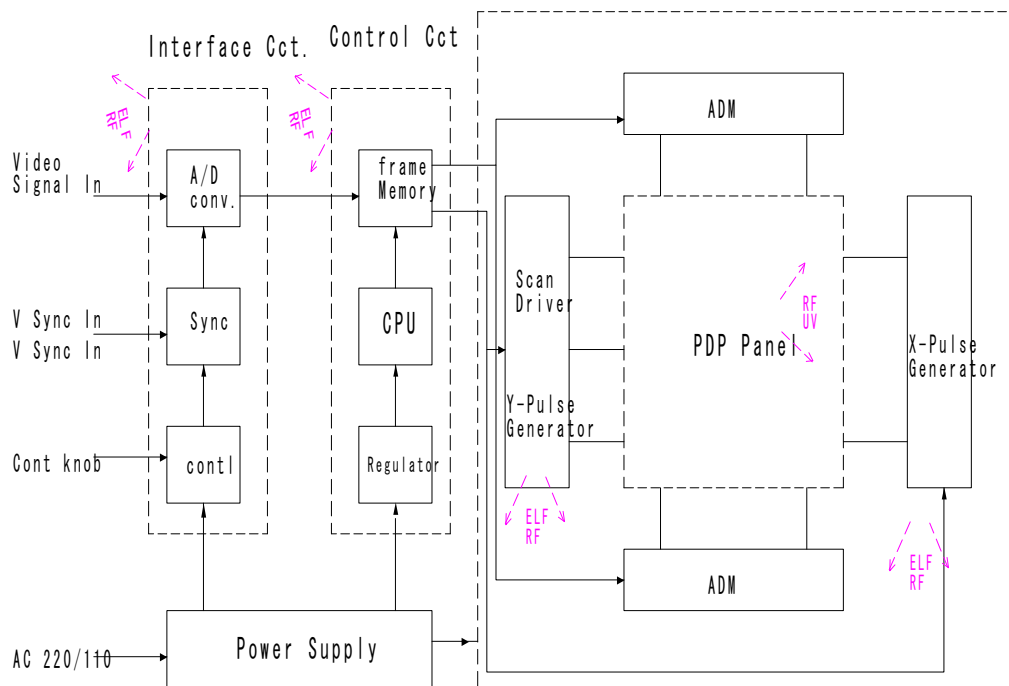
현재 거의 모든 PDP형 FPD에는 표시판의 표면에 EMI 차폐 필름이라 칭하는 광투과성의 도전 필름을 장착하여 이러한 방사선을 최대한 감쇄시키고자 노력하고 있다. 그러나 일반적으로 EMF 차단특성과 광의 투과특성과는 서로 양립하기가 어려운 것이다. 아직까지 고도의 EMF 차단효과를 지니면서도 고도의 가시광 투과특성에 색조의 변화나 산란, 반사가 적고 더구나 염가이어야 한다는 모든 조건을 충족하는 재료는 개발되지 않고 있다. 따라서 항상 어느 수준의 미약한 전자파는 존재하고 있다고 보아야만 한다.

1) ICNIRP RL은 10~400 MHz에서 155 dB μ V 가 되어 있다.

(4) 누출 UV 의 특징

발광셀의 방전에서 생성된 UV 는 셀 격벽의 형광물질에 의해 가시광선으로 변환 되는데, 그 변환율은 대체로 10 % 미만이고 나머지는 흡수되거나 산란과가 되어 그 일부는 외부로 누출된다. 셀이 발생하는 UV는 147 nm 가 주로 되어 있는데, 이 파 는 UVC에 속하며 인체에 조사되는 경우, 상당한 위해가 될 수가 있다.

셀에서 누출된 UV 중에서 특히 정면 패널을 투과하여 나오는 것이 문제가 되 는 데, 패널의 전면에는 유리 기판과 강화막 그리고 전자차폐막 등에 의해 상당 수준 감쇄하여 실제로 인체에 조사되는 에너지는 그리 크지 않을 것으로 추정된다.



<그림 4> 대표적인 PDP형 FPD의 블록도와 방출전자파 원

2) LCD형 FPD

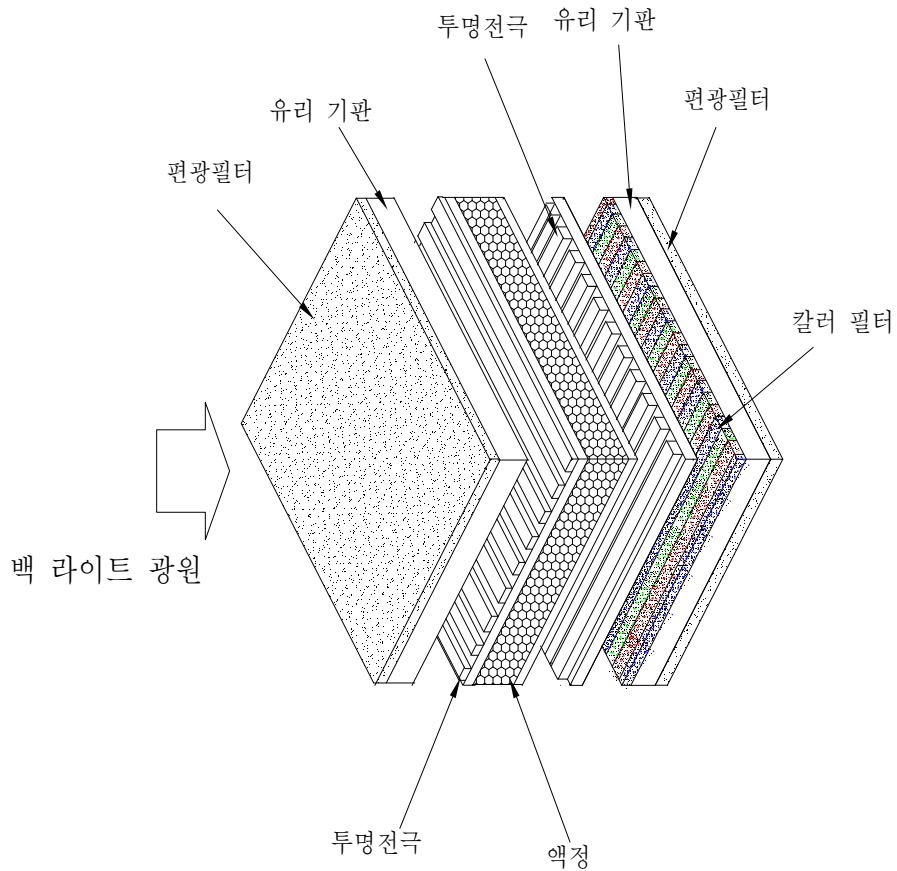
(1) 구조와 전자파원

LCD형 FPD는 다음 <그림 5>와 같이 서로 직교한 편광 필터 사이에 액정 막을 삽입한 얇은 패널 형으로 되어 있다. 액정에 전압을 인가하면 액정분자의 배열이 전압의 방향으로 정렬하기 때문에 액정 속을 통과하는 광의 편향방향이 변화한다. 액정의 양면에는 서로 편향 각이 직교되는 편광필터가 부착되어 있기 때문에 액정에 전압을 인가함으로써 광을 선택적으로 통과 또는 차단할 수가 있다. 따라서 액정 막의 양면에 미세한 투명전극을 인쇄해 놓으면 광학적인 필터가 평판 상에 무수히 형성된 것이 된다. 사용 시에는 이들 전극에 선택적으로 전압을 인가하면 그 위치의 광이 차단 또는 통과됨으로 원하는 화상을 표시할 수가 있게 된다. 천연색 표시를 위해서는 미세한 3원색 필터를 액정과 전극 사이에 삽입함으로써 다양한 착색 화상을 구현하고 있다. 이와 같이 액정 자체는 발광하지 않기 때문에 백라이트 광원을 두어서 강력한 백색광을 LCD 패널에 조사하고 액정판을 통과해 나오는 화상을 반대편에서 보도록 되어 있다.

백라이트를 위한 광원으로는 EL, LED 그리고 형광램프의 3종이 쓰이고 있는데, 각기 일장일단이 있어서 용도에 따라 선택되고 있다. 그러나 일반 가정용 FPD에는 거의가 냉음극 형광램프(CCFL)가 쓰이고 있으므로 여기서는 이 형을 대상으로 하여 고찰하기로 한다.

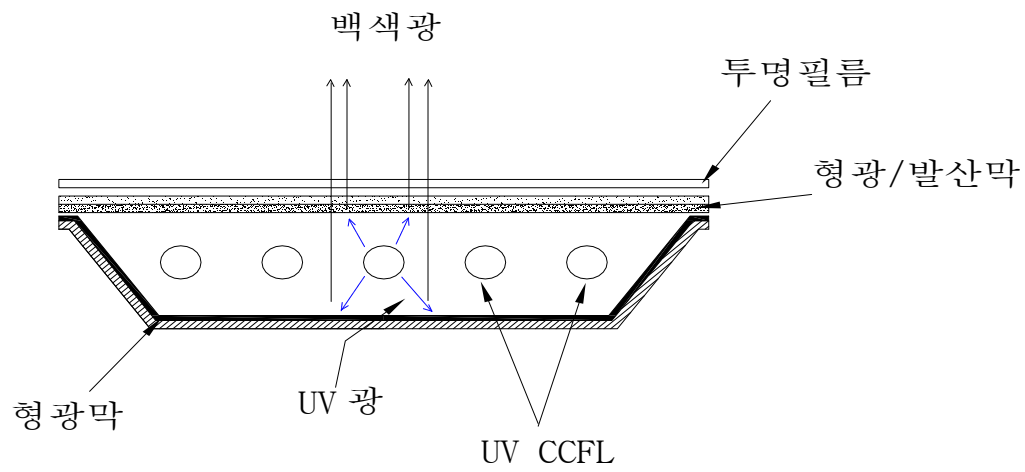
CCFL형 형광등은 비열형 전극을 내장한 저압 수은 방전관으로서 2~10mg 정도의 Ag를 Ne, Ar과 같은 불활성 가스와 함께 1Pa 내외의 압력으로 유리관 속에 봉입한 것인데, 이것을 방전시키면 수은의 공명선인 254nm와 185nm의 UV를 방출한다. 이렇게 방출된 UV는 형광물질에 조사되어 가시광선으로 변환되는데, 형광물질을 적절히 배합하여 유도되는 가시광선이 백색광이 되도록 하고 있다.

일반적인 조명용 형광램프는 형광물질을 방전관의 관 벽에 도포하지만, 백라이트 광원에서는 형광물질을 다음 <그림 6>과 같이 형광등 수용함의 내부에 도포하는 경우가 많다. CCFL의 방전효율은 PDP 발광셀에 비해 월등하게 높아서 65 % 정도가 되고 자외선 이용률도 98 % 수준 까지 된다. 따라서 누설 EMF나 UV의 양은 PDP에 비해 월등히 적어진다.

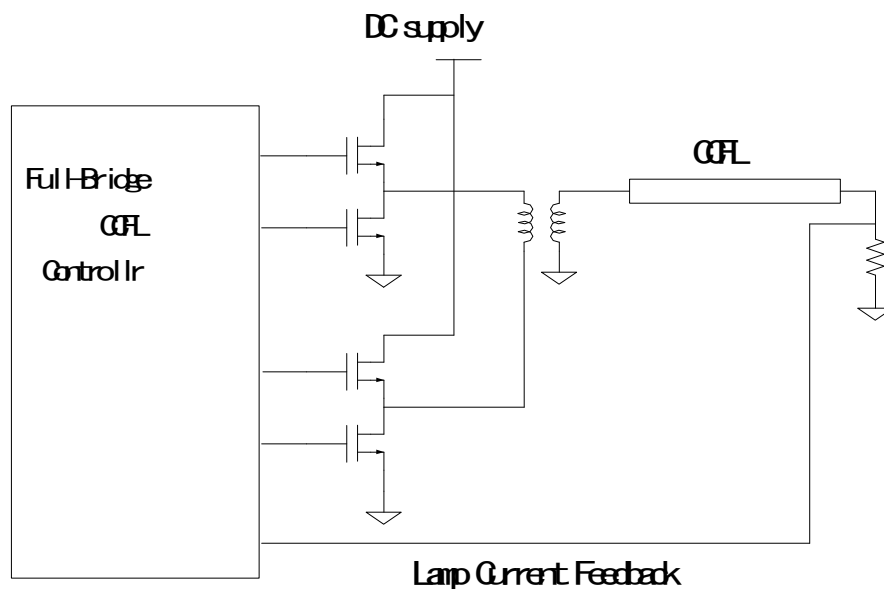


<그림 5> LCD 의 모형

다음 <그림 6>은 이 방식의 백라이트 광원의 구조도이다. 실제에 있어서는 패널 면의 균등한 조사를 위해 보다 많은 수의 방전관을 사용하고, 그 하나하나를 스위칭 인버터(Switching Invertor)형의 구동회로로서 구동한다. 구동회로는 방전관의 전극에 주파수 4~50 KHz인 700V 전후의 펄스형 전압을 인가하여 관내에 플라스마를 형성시킨다. 다음 <그림 7>은 이것을 위한 구동회로를 예시한 것이다.



<그림 6> 백라이트의 모형



<그림 7> 대표적인 인버터형 CCFL 구동회로

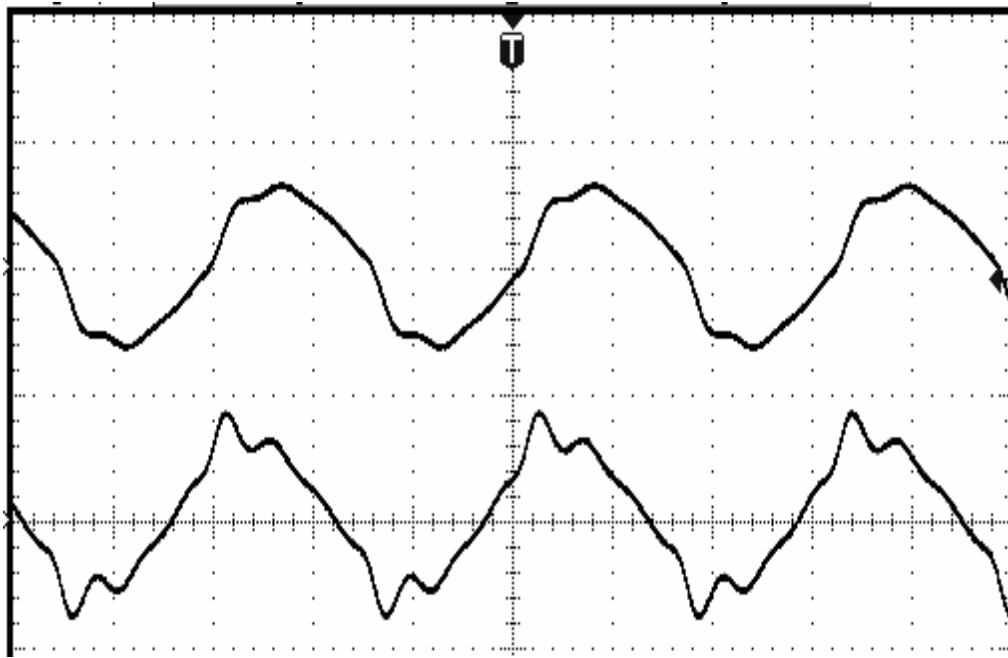
플라스마가 복사하는 UV광은 방전관의 관벽 또는 외부에 설치된 형광막을 조사하여 백색광으로 변환된다. 위의 <그림 6>은 후자의 경우가 예시되어 있는데, 여기서는 형광물질을 전면 복합판과 CCFL 후면의 반사판에 도포해 두고 있다. 형광/발산막은 형광체를 포함한 광발산용 반투명 패널로 되어 있어서 UV 광은 이곳을 통과하면서 백색광으로 변환되는 동시에 조사면에 골고루 발산된다.

위와 같이 LCD형 FPD는 LCD 어레이와 백라이트 그리고 이들을 구동하는 구동회로와 전력을 공급하는 인버터 회로로서 구성되는데, 각 구성요소는 다음 <그림 9>와 같이 각각 ELF, RF, UV의 방출원이 되고 있다. LCD형 FPD는 PDP 패널과 같은 발광 픽셀이 없으므로 각 픽셀에 공급되는 구동 펄스로 인한 복사 전자파는 발생하지 않는다. 그러나 백라이트의 CCFL의 구동을 위한 AC 전원과 방전 전류에 의한 잡음 전자계가 발생할 수 있으며 LCD 픽셀의 구동을 위한 수 10 KHz의 펄스 열이 발생하는 고조파 전자계가 누출될 수 있다.

(2) 누출 전자파의 특징

방전관의 방전전류는 다음 <그림 8>에 예시한 것처럼 일그러진 파형이 되어 있기 때문에 매우 많은 고조파를 포함한다. 이러한 고조파는 때로는 수십 MHz 이상의 넓은 대역에 걸쳐 강력한 잡음 전자계를 형성하여 EMI의 주요대상이 된다. 또, LCD 픽셀을 구동하는 각종의 펄스 신호도 상당한 영역에 걸쳐서 잡음형태의 EMF를 발생한다. 그 중에서 가장 큰 에너지를 지닌 것은 픽셀 클럭(Clock) 신호와 그 고조파 성분인데, 대체로 수 10 MHz에서 수 100 MHz에 걸쳐서 분포한다.⁴⁾⁵⁾

지금까지의 보고에 의하면 LCD의 이러한 전자계는 다른 전자파 응용기기에 비하여 비교적 미약하기 때문에 인체에 조사되는 경우에도 발열효과는 거의 무시할 수 있는 수준으로 알려져 있다. 그러나 기기의 전자적 차폐수단이 불충분하거나, 인체가 방사평면에 과도히 접근하거나, 장시간 노출하는 등의 악조건이 겹치는 경우에는 무시할 수 없는 영향을 줄 수도 있을 것이다.



<그림 8> CCFL파형의 보기 : 위로부터 전압(2KV/ div),전류(0.1A/div),

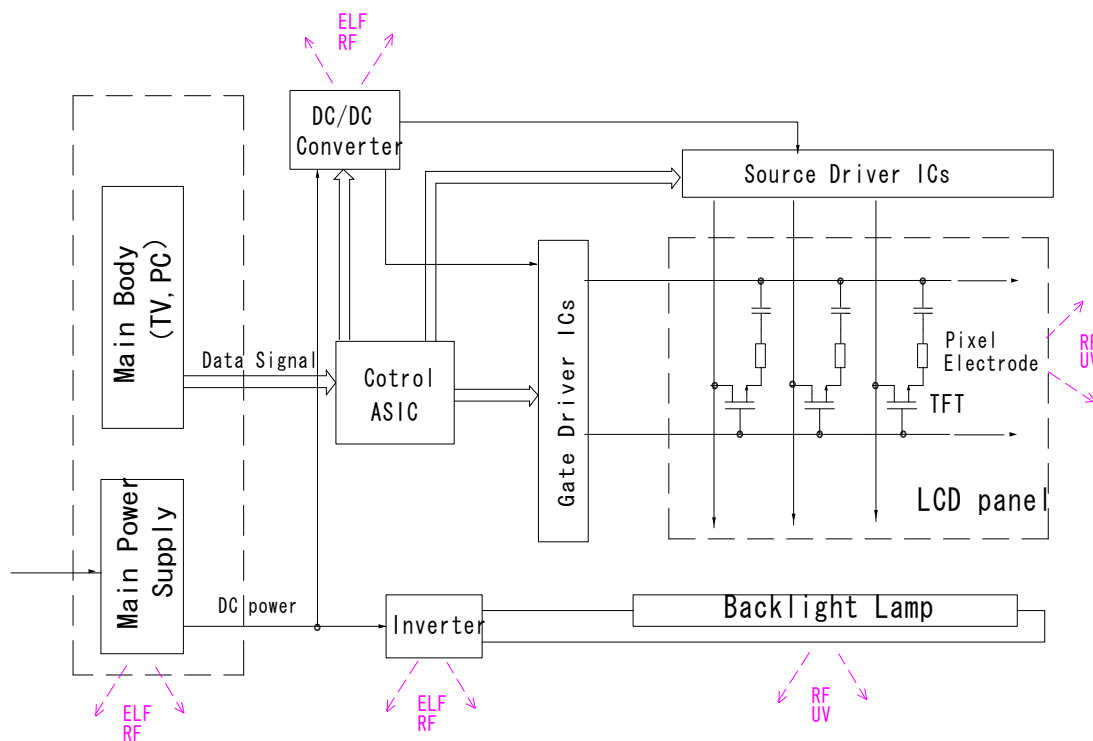
(3) 누출 VLF 자기장

전자파 발생원으로부터 $\lambda/2\pi$ 보다 가까운 영역은 근방전자계에 해당되며 자계강도가 거리의 3승에 반비례하여 급격히 커진다. FPD는 대체로 수 미터 이내의 거리에서 사용하게 되며, 특히 PC 나 게임기와 같은 것은 수 십 센티미터 거리에서 사용하는 경우도 흔하다. 따라서 수 10 MHz 이하의 누출 전자파의 영향을 검토하는 경우에는 전계강도 보다 자계강도를 조사하는 것이 안전하다. 또, 이러한 저주파수에서는 측정수단도 전계보다 간편해 진다.

FPD에 있어서의 누설자장의 대부분은 전원 부와 컨버터의 트랜스포머 그리고 백라이트 회로의 안정기로 부터의 누설자계인데, 대체로 60 Hz와 그 고조파 성분으로 구성된다. 최근의 FPD는 전원회로의 간편화를 위하여 대소형을 막론하고 스위칭 컨버터형의 전원 시스템을 채택하고 있다. 스위칭 전원회로는 DC 전류를 고속으로 단속한 후, 플라이백 트랜스포머(Flyback Transformer) 등을 통하여 승압하는 과정

에서 수 10 Hz의 ELF부터 수 10 MHz의 RF에 이르는 광범위한 대역의 누출 전자 에너지를 방출한다.

다음 <그림 9>는 대표적인 LCD 형 FPD의 구성도이다. 각종 트랜스포머 근방에는 강력한 ELF 자계가 형성되고 있으며 PCB 와 연결도선을 통해서도 광대역의 RF 파가 복사되고 있으므로 이들에 대해서도 근접 노출되는 경우 비열효과가 발생할 가능성을 부인하지 못할 것이다.



<그림 9> 대표적인 LCD형 FPD의 블록도와 방출 전자파원

(4) 누출 자외선

백라이트의 UV-VL 변환 효율은 50~60% 수준으로 알려져 있으므로 발생한 UV광은 거의 50%가 흡수 또는 복사손실이 된다. 복사손실 중에는 전면의 형광·발산판을 투과하여 외부로 누출되는 성분이 상당량 있을 수 있다. 그러나 이들의 대부분은 전면의 액정 패널을 통과할 때, 흡수되기 때문에 실제로 시청자의 눈에 조사되는 UV는 극소량이 된다. 그러나 이러한 미약한 UV광 일지라도 대형 FPD의 전체 면적에서 방출되는 총량은 무시 못할 수준이 될 것이며 특히 근접한 위치에서 장시간 시청하고 있는 경우 눈에 축적되는 총 흡수량은 상당한 수준이 될 수 있을 것이다.

2. 전자파 방호의 구조와 특징

1) 전자파 효과

전자파가 인체에 미치는 효과는 전류에 의한 자극효과, 전자 에너지에 의한 열 발생이 원인이 되는 효과, 비열 효과 등으로 대별된다.

첫째, 전류에 의한 자극효과는 생체조직에 도전전류가 흐름으로서 생기는 인체조직의 자극반응을 의미한다. 정상적인 FPD 기기에 있어서는 직접 고압부분에 접촉하지 않는 한 일반인이 이러한 자극을 체험하는 일은 거의 없다. 그러나 100 KHz 이하의 저주파수의 자기장은 생체의 심부에 까지 도달하여 강력한 유도전류를 발생시켜 그것이 신체조직을 자극하게 되는 경우가 있을 수 있다.

둘째, 열 발생에 기인하는 효과는 전자파 에너지가 생체조직에 흡수되어 발열함으로서 생리적 변화를 초래하는 효과이다. 전자파의 이러한 발열현상은 인체에 유익한 것과 유해한 것의 두 가지 경우가 있는데, 전자는 일찍부터 투열요법(Diathermy) 또는 중양의 온열요법(Hyperthermia) 등으로 의료분야에 응용되어 온 바가 있다. 후자는 최근에 이르러 각종 전자기기가 인체의 주위에 범람되어 전자파에 노출되는 기회가 많아짐에 따라 환경적 차원에서 문제가 되기 시작한 것으로서, 인체에 대한 전자파 방호대책의 주 대상이 되어 있다.

위 두 가지의 작용은 인체가 비교적 강한 전자 에너지에 노출되었을 경우에 문제가 되는 것이며, 미약전자계에 단시간 노출되는 경우에는 생리적으로 아무런 영향이 없다는 것이 일반적인 견해이다.

세 번째 비열효과는 인체조직이 가열되지 않을 정도의 미약한 전자계에 노출된 경우에도 각종 생리현상의 변화를 야기하는 경우가 많다는 것이 알려짐에 따라서 새롭게 주목을 받기 시작한 효과이다.

FPD를 포함한 모든 전기기기는 설계단계에서부터 전기안전관련 법규 내지는 전기통신관련 법규 등에 의해 불요 전자 에너지의 누출이 엄격히 규제되어 있다. 일반적으로 CISPR을 필두로 한 각급 EMC, EMI 관련 규정에서 설정해 둔 레벨은 주로 누출 전자파가 고감도인 전자통신기기에 미치는 영향을 대상으로 한 것이다. 따라서 FPD도 이러한 규제에 따라 설계·제작되었다면 적어도 EMI 시험에서 적용된 시험거리²⁾에서는 사용자는 전자파 에너지에 의한 영향으로 부터 충분히 자유롭다고 볼 수 있다. 그러나 FPD는 일반적으로 TV 또는 PC 기기의 일부로 조립되어 언제나 좁은 공간에서, 많은 사람들이, 장시간, 극히 근접된 거리에서, 화면을 대면하고 있기 때문에 일반 전기기기를 대상으로 한 종래의 전기안전규칙이나 불요전자파제한규정에 통과한 수준으로서는 충분한 안전을 기대하기 어려울 것이다.

더욱이 위에 지적한 비열 효과는 극히 미약한 전자파에서도 영향을 나타낼 수가 있는데, 하물며 매일 수 시간 이상을 화면에서 수 십 센티미터 이내의 거리에서 대면하고 있는 오늘날의 대부분 사람들에게는 적지 않는 위험인자로 작용할 가능성이 있다.

2) 방호지침의 분석

(1) ICNIRP 가이드 라인

가전기기의 보급이 급증하여 이들로부터 누출하는 각종 전자파 에너지의 인체에 대한 영향이 큰 주목을 받게 되자, 해외 각국에서는 여러 가지 전자파 방호지침을 제정 공포하여 각급 전기기기 제조업체와 사용자로 하여금 이 지침을 지키게 함으로써 전자장의 BE로 인한 건강장애로부터 방호하도록 하고 있다.

2) CISPR 시험에서는 통상 3m 또는 10 m

가전기기가 발생하는 전자파로부터 인체를 방호하기 위한 최초의 공식 기준치는 국제전기표준회의 (IEC)의 제 106 기술위원회(TC106)에서의 결정에 따라 제안된 “IEC62233 인체 인체노출에 관한 가정용 및 유사용도의 전기기기의 전자계”측정방법이라 할 수가 있다. 이 제안은 가전제품의 누출 전자계에 관해 그 측정방법과 노출 제한치를 공시하여 그 적합 판정의 표준화를 도모하는 것을 목적으로 하고 있다.

국제기구 중에서 전파방호기준을 종합적으로 정의한 것은 ICNIRP가 제정·공포한 “인체시간 변화하는 전자계의 방호지침⁶⁾”이라 할 수가 있다. 현재 이 지침서가 가장 많은 국가에서 채택·시행되고 있으며 우리나라도 이 지침서에 준거하여 정보통신부고시로 전자파인체보호기준이 마련되어 2002년 1월 1일부터 시행되고 있다.⁷⁾

ICNIRP 지침서는 0 Hz에서 300 GHz 까지의 ELF, VLF, RF, MW 등 모든 대역의 전자파와 0.38 μm ~3 μm 파장 대에 속하는 자외선, 가시광선, 적외선으로 된 광에너지까지 폭넓게 커버하고 있다⁸⁾. 이 지침서는 주파수대에 따라서 제한치의 근거가 각각 다르게 되어 있다. 예를 들면 10 KHz 이하의 비교적 낮은 주파수대역에서는 신경이나 근육의 흥분현상에 변화를 주는 자극작용이, 100 KHz 이상의 고주파대역에서는 생체에 생리적 이상을 일으키는 발열작용이 각각 지배적임으로 이것을 제한치의 근거로 하고 있는데, 자극작용에 대해서는 조직 내의 유도전류밀도(J/m^2), 열작용에 있어서는 SAR (W/kg)를 그 노출지표로 하고 있다.

10 GHz 이상의 마이크로파에서 전자계의 에너지는 인체표면에서 거의가 흡수되는 까닭에 이 영역에서는 노출지표로서 조사전력밀도 (W/cm^2)가 사용되며 인체방호의 기준이 되는 제한치는 이들 노출지표로서 표현하게 된다. 이러한 양으로 구해지는 수치는 “기본 제한치”라 불리며 전계강도 또는 자계강도로부터 전자계의 위해도를 판단하는 기준이 된다.

그러나 SAR나 유도전류밀도는 인체의 조직내부에서의 전자기량에 속하며 직접 측정할 수가 없다. 따라서 기본 제한치 만으로는 인체에 입사하는 전자계가 방호지침에 적합한지 여부를 간단히 판정할 수가 없다. 이러한 이유 때문에 적당한 인체모델과 노출조건을 가정하여 인체 내의 SAR나 유도전류밀도처럼 측정 불가능한 값 대신에 외부에서 측정 가능한 입사전계나 자계강도와 같은 물리량을 계산하여 이것을 기본제한치의 적합성을 판별하게 되는 참고레벨(Reference Level: RL)로 삼는다. 따라서, 전자파의 인체에 대한 실제의 안전도를 판정하는 데는 이 RL을 기준으로 비교한다.

(2) ICNIRP 가이드 라인의 특징⁹⁾

ICNIRP에서는 1 KHz이하에서 생리작용에 변화가 나타나는 문턱치(Threshold)를 100 mA/m^2 로 추정하고, 이 수치에 저감계수 10을 적용하여 기본 제한치로서 10 mA/m^2 가 도출된다.¹⁰⁾ 대체로 1 KHz 보다 높은 주파수에서는 자극작용의 문턱치는 주파수에 비례하는 까닭에 기본 제한치에도 동등한 주파수의존성을 부여하고 있다. 이 기본 제한치는 전자파 장애를 이해하고 있는 전문 기술자에게 적용되는 값인데, 일반 대중의 노출에 대해서는 추가로 5 배의 부가적 저감계수를 더하고 있다.

일반적으로 고주파대역의 노출에 있어서의 주 효과는 발열작용이다. 따라서 100 KHz~10 GHz 범위에서는 SAR가 노출지표가 된다. ICNIRP는 1°C 정도의 상승이 나타나는 문턱치를 전신평균 SAR로서 4 W/kg 가 되는 것으로 추정하고 있다. 여기에 저감계수 10을 적용하여 직업인 노출의 전신평균 SAR에 대한 기본 제한치를 0.4 W/kg 로 하고 있다. 일반인의 노출에서는 추가로 5배의 부가저감계수를 적용하여 0.08 W/kg 로 하고 있다.

국소에 집중한 노출에 대해서는 전신평균 SAR가 위의 값을 충족하는 동시에 국소에서의 SAR가 10 W/kg (일반인에서는 2 W/kg)를 초과하지 않는 것을 기본제한으로 요구하고 있다. 이것은 국소적인 가열에 의한 장애를 방지하기 위한 것이다. 단, 세포조직이나 기관이 길게 연장되어 있는 경우에는 열의 확산을 고려하여 임의의 10g에서의 SAR 평균치에 대해서 이 제한이 적용된다.

다음 <표 1>은 이상과 같은 근거에 의거하여 제정된 ICNIRP의 10 GHz 까지의 기본 제한치를 일괄 표시한 것이다. 10 GHz이상에서는 생체의 표피효과로 인하여 전자파는 생체조직 내부에 침투하지 않고 표면에서 열로 변환되고 말기 때문에 기본제한은 생체의 표면의 단위면적에 대한 입사전력밀도로서 주어진다. 여기서의 기본제한은 직업인 노출에서 50 W/m^2 , 일반인 노출에서는 5배의 부가적 안전율을 추가하여 10 W/m^2 로 하고 있다.

<표 1> 10 GHz 까지의 기본 제한치

노출 특성	주파수 범위	두부 및 체간의 전류밀도(rms) (mA/cm ²)	전신 평균 SAR (W/kg)	국소 SAR (두부 및 체간)(W/kg)	국소 SAR (사지) (W/kg)
직 업 적 노 출	1 Hz 까지	40			
	1-4 Hz	40/f			
	4 Hz-1 KHz	10			
	1 KHz-100 KHz	f/100			
	100 KHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz	-	0.4	10	20
일반 대중 의 노출	1 Hz 까지	8			
	1-4 Hz	8/f			
	4 Hz-1 KHz	2			
	1 KHz-100 KHz	f/500			
	100 KHz-10 MHz	f/500			
	10MHz-10GHz	-			

다음 <표 2>는 ICNIRP 의 10~300 GHz 까지의 주파수에 대한 전력밀도에 관한 기본 제한치이다.

<표 2> 10~300 GHz 대역에 관한 기본 제한치

노출특성	전력밀도 (W/m^2)
직업적 노출	50
일반 대중의 노출	10

(3) 참고레벨

방호지침을 실제로 적용할 때는 기본제한치가 아니라 전계강도 또는 자계강도로 주어지는 RL과 실제의 측정치를 비교해서 평가한다. 일반적으로 RL을 기본 제한치로부터 도출할 때, 인체는 정현파의 전자계와 최대로 결합하고 있다는 가정을 하고 있기 때문에 실제 조건과 차이가 날 수가 있다. 따라서 노출조건이나 파형의 성질에 따라서 다음과 같은 점을 추가로 고려하게 된다.

① 불균일노출 (공간평균치)

발생원 부근에서 전자계가 강하고 그곳에서 떠날수록 급격히 전자계가 약해지는 불균일 전자계의 경우 기기 주변의 전자계강도가 참고레벨을 초과하여도 기본제한을 초과하지 않는 경우가 많다. 불균일 전자계에서는 인체가 점하는 공간에서의 평균치를 참고 레벨과 비교하도록 가이드라인에 기술되어 있다.

② 비정상노출 (시간평균치)

고주파전자계의 지침치는 주로 열작용을 근거로 만들어진 것이다. 일반적으로 인체조직의 온도상승에는 시간지연현상이 있기 때문에 고주파 전자계의 경우는 임의의 6분간의 시간평균치와 지침치를 비교하도록 하고 있다. 즉, 시정수에 비해 단시간의 노출에서는 참고레벨을 초과하는 경우도 허용된다는 것이다. 예를 들면, 노출시간이 1분간 이면, 방호지침치의 6배이고 (전력치), 전계강도나 자계강도에 대해서는 $\sqrt{6}$ 배의 노출이 허용된다. 또, 1 초간 통전하고 5 초간 휴지하는 동작을 반복하는 기기(Duty Ratio 1/6)처럼 간헐 노출을 하는 경우에는 임의의 6 분간의 전력의 평균치가 1/6이 되기 때문에 시간적인 침투치는 지침치의 6배(전계강도나 자계강도에 대해서는 $\sqrt{6}$ 배의 노출이 허용된다. 이러한 시간평균은 참고 레벨 뿐 아니라 기본제한에도 적용된다.

저주파전자계의 경우에는 열작용이 아니고 자극작용이 근거가 되는데, 일반적으로 자극작용의 시정수는 대단히 짧다. 따라서, 저주파 전자계의 경우에는 시간평균치는 고려하지 않는다.

③ 비정현파 전자계

방호지침은 기본제한과 참고 레벨 둘 다 정현파전자계임을 전제로 하고 있는 까닭에 지침치는 실효치(RMS)로 주어지고 정현파의 진폭은 최대치가 아니고 그 $1/\sqrt{2}$ 이다. 따라서 저주파에서는 첨두치는 참고레벨의 $\sqrt{2}$ 배 이하로 하게 된다.

비정현파는 다수의 주파수성분을 포함하고 있기 때문에 지침치는 각 주파수성분의 기여도를 고려하여 설정할 필요가 있다. 지침치와 측정치와의 비를 각 주파수성분에 대해서 가산한 결과가 1보다 적다는 것을 나타내는 방법이 가이드라인에 표시되어 있다. 저주파전자계에 대해서는 평가가 필요 이상으로 안전한 측으로 나타난다는 문제가 있기 때문에 실용적이고 정도가 높은 방법으로서, 비정현파에 대해서 필터를 사용하는 방법이 ICNIRP에 의해 제안되어 있다.¹¹⁾

고주파에서는 전계 및 자계의 각 주파수성분의 실효치의 2승을 각각의 주파수에서의 지침치로서 제한 값의 총화가 1을 초과하지 않는다는 것을 나타내면 된다.

④ 참고레벨 표

이상과 같은 조건을 고려하여 산출된 ICNIRP의 참고레벨(RL)은 다음 <표 3>, <표 4>와 같다. 여기서 <표 3> 은 일반인을 위한 기준치이고 <표 4> 는 전기전자 분야의 직업인으로서 전자파의 바이오 이펙트를 이해하는 사람들을 대상으로 하는 기준치이다.

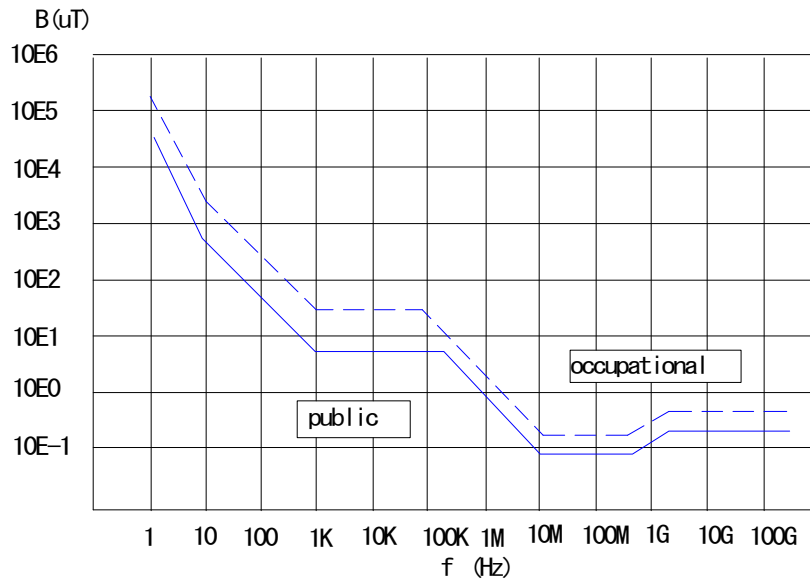
<표 3> 시간 변화하는 전자계의 일반인에 대한 노출 참고 레벨(RL)

주파수범위	전계강도 (V/m)	자계강도 (A/m)	자속밀도(μT)	등가평면파 전력밀도 S_{eq} (W/m^2)
0-1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	
1-8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	
8-25 Hz	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	$87 / \sqrt{f}$	0.73/f	0.92/f	
10-400MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 \sqrt{f}$	$0.0037 \sqrt{f}$	$0.0046 \sqrt{f}$	f/200
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

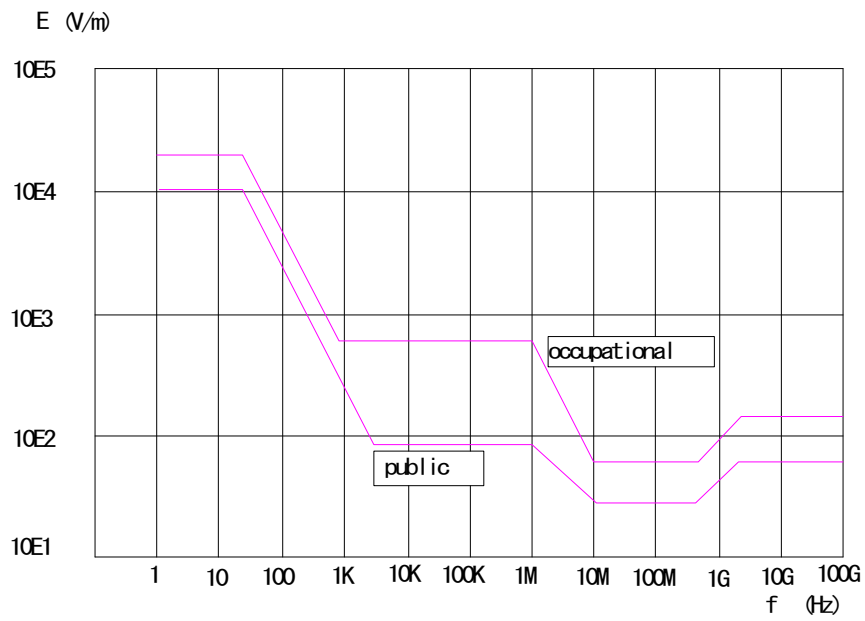
<표 4> 시간 변화하는 전자계의 직업인에 대한 노출 참고 레벨(RL)

주파수범위	전계강도(V/m)	자계강도(A/m)	자속밀도 (μT)	등가평면파 전력밀도 (W/m^2)
1 (Hz)		1.63×10^5	2×10^5	
1-8 (Hz)	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	
8-25 (Hz)	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	
0.025-0.82(KHz)	$500/f$	$20/f$	$25/f$	
0.82-65 (KHz)	610	$24.4/f$	30.7	
0.065-1 (MHz)	610	$1.6/f$	$2/f$	
1-10 (MHz)	$610/f$	$1.6/f$	$2/f$	
10-400 (MHz)	61	0.16	0.2	10
400-2000 (MHz)	$3\sqrt{f}$	$0.008\sqrt{f}$	$0.01/\sqrt{f}$	$f/40$
2-300 (GHz)	137	0.36	0.45	50

다음 <그림 10>, <그림 11>은 일반인과 직업인을 비교한 ICNIRP RL의 레벨도이다. <그림 10> 은 ICNIRP 자기장 RL의 레벨도이며 <그림 11> 은 ICNIRP 전기장 RL의 레벨도이다.



<그림 10> ICNIRP 자기장 RL의 레벨도



<그림 11> ICNIRP 전기장 RL의 레벨도

3. 전자계 방호 대책의 분석

1) 일반 가전기기

위에 기술한 가이드라인 들은 주로 레이더나 휴대폰처럼 전자파를 송출하는 각종 전파통신기기가 방출하는 의도적인 전자파로부터 인체를 방호하기 위해 만들어진 것으로 볼 수 있다. 그러나 최근에는 전파통신기기가 발하는 이러한 전자파 이외에도 각급 전력설비, 특히 일반 가정에 널리 보급되어 있는 가전기기가 누출하는 불요 전자파도 무시할 수 없는 수준이 되어 여기에 대한 대책도 필요하게 되었다. 위의 가이드라인은 이러한 불요 전자파로부터의 인체방호에 대해서도 당연히 적용되는 까닭에 최근 들어 해외 각국에서는 일반 가전기기에 대한 불요 전자파의 누출 실태를 조사하여 이러한 가이드라인을 기초로 하여 인체에 대한 영향성을 평가하기 시작하고 있다.

지금까지의 대부분의 보고에서는 전자파를 송신하는 것을 주 기능으로 하지 않는 일반 가전기기는 누출 전자파의 레벨이 모두 ICNIRP RL 치 이하임이 판명되어 인체에 관한 한 문제가 되지 않는 레벨임을 확인하고 있다.¹²⁾¹³⁾ 이러한 보고서에는 FPD를 사용한 PDP, LCD형 TV도 포함되어 있는데, 대부분이 일반 가전기기의 예를 따라 전원주파수를 주로 하는 ELF 대역의 자기장을 측정된 결과만이 공고되어 있다. 그에 따르면 거리 30 cm에서 누출 자기장을 측정한 결과가 모두 0.1~0.2 μT 이하가 되어 있다. 이 레벨은 ICNIRP의 일반인 RL인 83 μT 의 1 % 이하에 해당되어 극히 안전한 레벨이다. 그러나 이 조사연구는 일반 가전기기를 대상으로 한 조사이기 때문에 FPD의 기술적 특징과 특유의 사용 환경을 숙지하고 있는 일부 사용자에게는 불안을 낳게 하는 요인이 될 수도 있다.

FPD의 누출 전자파는 일반 가전기기처럼 전원 주파수의 자기장만이 아니고 스위칭 전원과 각종 칩에서 발생하는 고조파 성분이 수 10 MHz 의 광대역에 걸쳐서 분포하고 있다. 전자파의 생체효과는 주파수 의존성이기 때문에 일반 가전기기처럼 60 Hz를 주로 하는 자기장을 측정한 데이터만을 가지고 FPD의 인체방호를 논한다는 것이 충분치 못하다고 할 수 있다.

2) FPD

일반적으로 FPD의 사용 환경은 시청자 또는 사용자가 전자파의 발생원에 극히 근접된 거리에서, 수 시간 이상씩, 매일 정기적으로, 대형의 방사체에서 방출되는 전자장과 광선에 반복해서 노출된다는 점에 있어서 다른 가전기기와는 크게 차별된다.

더욱이 FPD가 PC나 게임머신 시스템의 일부로서 좁은 공간에 설치되어, 수 십 센티미터의 거리에서 장시간 동안 변화가 빠른 강열한 휘도의 화면을 응시하도록 되어 있는 환경에서는 노출 전자장의 레벨이 비록 미약하다 할지라도 그것이 종합적으로 인체의 건강에 미칠 영향은 적지 않으리라는 것이 일반적인 불안 심리의 근원이다. 특히, 대형 화면에서 방출되는 것과 같은 자외선을 포함하는 각종 광 에너지는 장시간 노출되는 경우, 눈을 포함한 시신경 조직에 누적되어 백내장과 각종의 불가역성 질병의 근원이 된다는 것이 널리 알려져 있는 현실에서 FPD를 단순히 가전기기의 일부로 보고 전자파방호 문제를 처리할 수는 없을 것이다.¹⁴⁾¹⁵⁾

FPD의 누출 전자파가 다른 가전기기과 다른 점은 그것이 전원주파수 근방에 제한되어 있지 않고 매우 광범위한 대역에 분포되어 있다는 점이다. 전자파의 인체에 대한 생체효과는 주파수의존성인 측면이 있기 때문에 FPD의 광대역의 누출전자파가 인체에 미치는 생리적, 병리학적 효과는 매우 다양할 수가 있다.

통상적으로 광대역 전자파가 인체에 미치는 효과를 검토할 때는 이 점을 고려하여 복수개의 주파수 영역으로 나누어 관찰하게 되는데, 구체적으로는 1) 정전계 및 정자계에 해당되는 DC 성분, 2) 수 10 Hz 이하의 ELF 성분, 3) 수 100 Hz~수 100 KHz 범위의 VLF 성분, 4) 수 MHz~수 100 MHz의 RF 성분, 5) 수 100 MHz 이상의 Microwave 성분, 그리고 FPD의 경우에는 수 100 nm~1300 nm 범위의 광 성분까지 포함하게 된다.

DC, ELF, VLF의 낮은 주파수대는 직접 접촉에 의한 도전전류나 체내에 침입한 자장에 의한 유도전류에 의한 자극이 생체효과의 주체가 되고, RF와 MF 영역에서는 발열작용이 주체가 된다. 그러나 100 KHz~10 MHz 사이는 자극과 발열의 어느 원인에 의한 것인지 확연하게 구별하기 어려운 것이 사실이다.

일반적으로 전자장은 고주파 영역에서는 전계와 자계는 일정 비율³⁾로 되어 있기 때문에, 한 측을 측정하면 다른 측은 계산에 의해 평가가 가능하다. 그러나 VLF 이

3) 공간임피던스 377 ohm

하에서, 특히 파원에 가까운 위치에서는 근방장(Near Field)의 이론에 따라 자계의 강도가 전계강도 보다 상대적으로 커진다. 뿐만 아니라 VLF 영역의 자기장은 신체 내에 깊숙이 침투하기 때문에 그것이 생체조직의 심부에 유기시키는 유도전류가 생체효과의 주원인이 된다는 것이 알려져 있다. 따라서 이 주파수 영역에서는 통상 자기장을 측정 지표로 하는 경우가 많으며 이 주파수 범위에서는 전기계 측정 프로브(Probe)는 실효길이가 짧아져 감도가 떨어지는 까닭에 보다 감도가 큰 루프(Loop)형 프로브를 사용하기 위해서도 자기장을 측정하는 것이 선호된다.

많은 연구조사에서 밝혀진 바와 같이 유도전류나 발열작용에 의해 생체의 기능이나 병리에 이상이 감지되는 전자파 레벨은 상당히 높아서, VLF 에서는 자장강도로서 수 mT 수준이고 RF에서는 전계강도로서 수 V/m 수준이며, 마이크로웨이브 대역에서는 전력밀도로서 수 mW/cm^2 나 되는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾

이러한 고 레벨의 전자장은 공업용 설비나 전파송신설비 등을 제외하고는 일반인이 일상적인 생활환경에서 겪게 되는 레벨이 아니다. FPD는 영상의 표시 기능만을 지닌 소전력 기기인 만큼 정상적인 사용 환경에서 정해진 방법으로 사용한다면, 설혹 FPD 표면에 근접하는 경우가 있어도 이러한 고 레벨의 전자계에 노출될 가능성은 거의 없다. 그러나 인체의 노출 레벨이 그것의 수 퍼센트 이하의 극히 미약한 것이라 할지라도 어디까지나 그것으로 인한 건강장애의 발생률이 제로 퍼센트라고는 확답할 수 없다는 것이 전자파 방호의 어려운 점이라 할 수 있다.

4. 방사광에 대한 방호

자외선의 관측과 측정, 인체에 관한 영향평가 등에 관여하는 국제기관으로서는 세계보건기구(World Health Organization: WHO), 세계기상기구(World Meteorological Organization: WMO), 유엔환경계획(United Nations Environment Programme: UNEP), 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer: IARC), 국제비전리복사방호위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: ICNIRP)등이 있다. 이 밖에도 각 국별로 여러 전담기관이 설치되어 있어 태양을 위시한 각종 자외선 응용기기가 방출하는 자외선으로부터 인체를 보호하기 위하여 인체에 대한 노출한계치(Exposure Limit: EL)를

설정하고 그 시행을 강제화하고 있다. 그러나 그 내용은 대부분 ICNIRP가 제시하는 가이드라인과 비슷하다고 볼 수 있다.

1) ICNIRP의 자외선 가이드라인

ICNIRP에서는 자외선(Ultra Violet Ray: UVR)을 180nm~400nm 범위의 광파로 정의하고, 대부분의 사람들이 이러한 광파에 반복 노출되어도 뚜렷한 해를 주거나 후유증을 남기지 않는 상한선을 노출한계점(Exposure Limit: EL)으로 제시해 놓고 있다. 이 EL치는 각 개인으로 하여금 직장이나 가정에서 유해 UVR에 노출될 가능성이 있을 때 그 위험도를 평가하는데 사용이 된다. 여기서 대상이 되는 UVR은 광대역의 비간섭성(Incoherent)광으로서 1μS를 초과하는 펄스파 또는 지속파로 규정하고 있으며, 레이저 광은 제외된다고 되어 있다.

기본적으로 이 EL치는 피부과에서 미용에 사용하는 UV치 보다는 낮게 책정되어 있고, 여름철 정오경의 태양에 노출될 때 보다는 높은 값으로 되어 있다.⁴⁾ 이 제한치는 직접 눈에 입사하는 광에 대해서는 EL로 되어 있지만, 피부에 대해서는 피부가 지닌 물리화학적 특성이 개인에 따라 차이가 있어 권장치로 되어 있다. 다음 <표 5>는 자외선의 노출한계치를 나타낸 것이다.

<표 5> 자외선의 노출한계치 (EL)

부 위	파장 영역	EL	비 고
눈	180~400 nm	30 J/m ²	파장 가산치를 적용하여 산출한 실효 EL
	315~400 nm	10 ⁴ J/m ²	총계치(파장 가산치 비적용)
피부	180~400 nm	30 J/m ²	파장 가산치 적용하여 산출한 실효 EL

4) 정확하게는 위도 0~40° 되는 위치에서 5-10 min 간 노출되는 수준

(1) ICNIRP의 노출한계치(EL)¹⁷⁾

8 시간 이내에 눈 또는 피부에 조사되는 광에 대해서는 다음과 같은 EL을 적용하는 것으로 되어 있다. 그리고 광대역 광원에 대한 실효 EL은 다음 식에 따라 산출하도록 되어 있다.

$$E_{eff} = \sum E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (1)$$

단, $E_{eff}(\mu W/cm^2) = 270 \text{ nm}$ 에 규격화된 실효조도

$E_{\lambda} (\mu W/cm^2/nm) =$ 파장별 조도

$S(\lambda) =$ 상대적 파장실효계수(단위 없음)

$\Delta\lambda (nm) =$ 대역폭

파장실효계수는 다음 <표 6>에 따른다.

<표 6> 광대역 광원에 대한 실효계수

파장범위	$S(\lambda)$	비 고
$210 \leq \lambda \leq 270nm$	$0.959^{(270-\lambda)}$	
$270 \leq \lambda \leq 300nm$	$1 - 0.36x \left(\frac{\lambda - 270}{20} \right)^{1.64}$	
$300 \leq \lambda \leq 400nm$	$0.3 \times 0.736^{(\lambda-300)} + 10^{(2-0.0163\lambda)}$	

(2) ACGHI의 노출 한계치(EL)

미국 산업위생 전문가 위원회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist: ACGIH)에서는 다음 <표 7>과 같이 ICNIRP 보다 더 높은 값을 한계치로 하고 있다. 여기서는 가시광과 IRR 에 대해서도 한계치를 명시하고 있다.

<표 7> ACGIH의 EL

광선	파장(nm)	EL
UVC	100~270	0.0001 mW/cm ²
UVA,B	270~400	0.001 W/cm ²
VIS	400~750	1 cd/cm ²
IRR	750~1000	10 mW/cm ²

2) FPD 방사광 방호의 특징

(1) 방사광의 광화학적 영향

FPD의 패널에서 복사되는 자외선(UVR)은 비록 적은 레벨이지만 장시간 노출되는 경우에는 피부나 안구에 유해하다는 것이 일반적으로 알려져 있다. 피부가 UV에 일정량 이상 노출되면 발적(홍반), 종양, 수포가 형성되고 그 부위에 색소침착이 일어나 선텐(suntan)이 발생한다. 선텐을 일으킨 케라티노사이트(Keratinocyte)에서는 각화에 의한 세포사(Cell Death)가 기저층에 관찰되는데 이것은 특히 세포분열이 왕성한 세포가 사멸한 것으로 추정되고 있다.¹⁸⁾

UV에 노출되면 안면, 경부 또는 수족 피부에 갈색반이나 주름이 생기는 것은 잘 알려진 사실이다. 이것이 더 진행되면 양성종양(노인성 사마귀 또는 지루성각화증)이 생기기 시작하는데, 특히 만성적으로 자외선에 노출되는 경우, 일광각화증(actinic keratosis)이 유발될 수 있다. 이러한 병변은 대체로 UVB가 원인이 되는 것으로 역학조사나 동물시험을 통해서 확인되어 있으며 장시간 노출되면 피부암, 특히 유극세포암(Squamous Cell Carcinoma: SCC)을 유발하게 되는 것으로 믿어지고 있다.¹⁹⁾ 최근에는 UV조사에 의해서 발증하는 면역억제작용이 악성종양의 면역학적 배제기구를 손상시킴으로서 발암 또는 종양 증식에 관여한다는 설도 있다.²⁰⁾

UV에 장시간 노출되면 수정체를 형성하고 있는 투명한 단백질에 광화학적 반응이 일어나서 변질되는데, 이것이 다른 요인과 겹치면 수정체를 백탁시켜 백내장(cataract)을 유발할 수 있다. 수정체 조직은 인체의 다른 조직과 달라서 새로운 세포가 생겨나지 않기 때문에 이 변화는 비가역성이다. 백내장은 UVA나 UVB가 다 원인이 될 수가 있다고 보고 있지만 장시간에 걸쳐서 진행하기 때문에 그 정확한 과정은 아직 해명되어 있지 않다는 보고가 있다.²¹⁾

최근에 화제가 되어 있는 VT 증후군은 일반적으로 VDT에서 발생하는 전자과의 영향인 것으로 알려져 있지만 사실은 패널에서 방사되는 광선과 작업자의 자세, 작업시간, 그리고 업무내용에 수반되는 피로와 스트레스가 원인인 것으로 밝히는 논문이 있다.²²⁾²³⁾ 그 중에서도 눈에 피로감을 느끼고 안질을 유발하는 경우가 가장 많은데, 거기에 관한 대책을 발표한 논문도 있다.²⁴⁾²⁵⁾

(2) 영상의 시각적 자극과 신경 실조

최근 선진 각국에서는 애니메이션 화면에 사용되는 일부 영상수법이 시청자, 특히 아동들의 신경계통에 악영향을 미친다는 사실이 알려짐에 따라 특정한 형식의 애니메이션 화면의 방송을 규제하는 사례가 늘고 있다. 그 내용은 화면에서 영상이나 광의 점멸이 빈번한 화상, 콘트라스트(Contrast)의 반전이나 급격한 전환이 빈번한 화상, 규칙적인 패턴의 모양이 장시간 표시되는 화면을 시청하는 시청자에서 상당수가 두통, 구역, 어지러움, 답답함 등을 느끼고 심하면 간질 등을 발작하는 사례가 있다는 것이다.

현재 이러한 영상에 의한 신경 증세에 관해서는 많은 연구결과가 발표되어 있다.

단순한 영상 멀미(Video-Sickness) 수준의 가벼운 것으로부터 가려움이나 호흡곤란 등의 증상에 이르기 까지 여러 단계가 있다는 것과 주로 신경과민증 체질이나 광감수성이 예민한 체질, 특히 광돌발 뇌파반응이 양성인 자가 발증하는 것으로 알려져 있다. 지금까지의 보고에 의하면 이러한 증상은 주로 다음과 같은 영상을 시청할 때 발생한다고 보고되어 있다.²⁶⁾

첫째, 화상이나 광이 3 Hz 이상의 빈도로 점멸하는 영상에서

① 특히 선명한 적색광인 경우

② 화면의 1/4를 넘는 부분이 휘도 변화 10 % 이상으로 변화할 때

③ 전항 ①의 조건을 충족하고 ②에 표시한 기준을 초과하는 경우는 점멸빈도가 5 회를 초과할 때 그리고 휘도변화가 20%를 초과할 때

④ 이러한 상태가 연속해서 2초를 초과하는 경우

둘째, 콘트라스트가 강한 화면의 반전이나 화면의 휘도변화가 20%를 초과하는 급격한 장면변화가 1 초에 3회 이상 될 때

셋째, 규칙적인 패턴 무늬(얼룩무늬, 동심원무늬 등)이 화면의 대부분을 점하고 있을 때

위의 사실에 근거하여 일부 국가에서는 영상 콘텐츠 제조사업자로 하여금 이러한 화상을 사용하지 않도록 권장 또는 규제하는 동시에 시청자에게도 이런 화상에 나오면 시선을 돌리고 휴식하도록 권장하는 등의 대책을 강구하고 있다. 그러나 이러한 방법으로는 현재 시판되고 있는 무수한 영상 콘텐츠나 게임 소프트웨어를 규제할 수가 없고 더구나 웹상에 유통되고 있는 영상을 통제하기란 거의 불가능하다. 이러한 증세 들은 FPD나 개인용 컴퓨터의 전자장 누출에 원인이 있는 것이 아님에도 불구하고 일반 대중에게는 일률적으로 VDT 증후군으로 분류되어 전자장 과민 심리를 부추기고 있음을 볼 수 있다.

3) 대형 FPD의 사용 환경 고찰

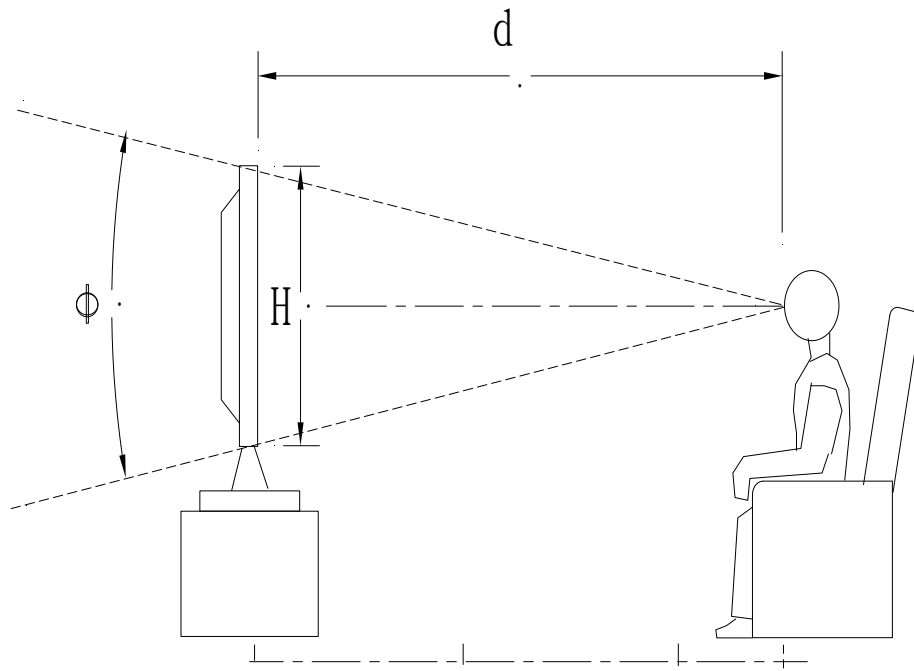
일반적인 대중용 대형 FPD는 대부분 TV에 사용되고 있는데, TV 화면은 너무 접근하면 화소와 주사선으로 인해 영상이 조잡해 보이고 멀리 떨어지면 시각이 좁아져서 임장감이 손상된다. 따라서 일반 시청자들은 언제나 이 두 지점의 중간위치에서 시청하는 것을 선호한다.

한 통계에 의하면 TV를 시청하는 시간의 90 % 이상이 이 거리에서 시청하고 있으며, 40인치 이상의 화면의 경우 30 cm까지 접근하여 시청하는 경우는 거의 없는 것으로 되어 있다. 따라서 대형 FPD의 누출 전자파를 고찰 할 때는 이 거리를 기준으로 하는 것이 보다 실용적이라 할 수가 있겠다. 단, 여기서 대형 FPD 라고 하는 것은 주로 TV 시청용을 말하는 것으로 PC나 게임머신은 제외된다.

통상 TV 수상기에 있어서는 주사선 또는 화소가 눈에 들어나지 않으면서도 최대의 임장감을 줄 수 있는 거리를 최적시청 거리로 정하여 일반 시청자로 하여금 이 거리에서 시청하는 것을 권장하고 있다. 따라서 최적시청거리는 시청자의 시력과의 관련이 있는데, 현재의 고정세도 FHD(Full High Definition: FHD) FPD(1920x1080p 형)에 있어서는 이 거리 (d)는 음극선관(Cathode Ray Tube : CRT)형에 비해서 대폭 짧아져서 시력 1.0 정도의 시청자에게는 화면 높이(H)의 2 배의 거리에서 이미 화소가 들어나지 않는 것으로 알려져 있다.

한편, 임장감은 화면을 보는 시각의 넓이에 비례하므로 화소가 들어나지 않는 범위에서 시청거리는 짧을수록 좋다는 결론이 나온다. 그러나 너무 시각이 넓어지면 시청자에 따라서는 피로감, 두통, 신경불안 등의 신경 증세를 호소하는 경우도 있기 때문에 대체로 시각(ϕ)이 30° 근방이 되는 $d=3H\sim 5H$ 가 되는 위치가 최적 시청위치로 볼 수가 있겠다.²⁷⁾²⁸⁾ 이 거리는 40인치 또는 50인치를 기준으로 하는 경우, 각각 1.7 m 또는 2 m이 된다. 다음 <그림 12>는 이 관계를 도식화한 것이다.

일반적으로 유아나 아동은 영상의 질보다 임장감을 선호하여 성인에 비해 0.6 d ~0.9 d 에 해당되는 거리에서 시청하는 경향이 강함으로 전자파 방호대책을 위해서는 $d=2H$ 가 되는 위치의 전자장 강도를 측정하는 것이 보다 실용적이면서도 안전한 평가가 될 수 있다.²⁹⁾ 따라서 대형 FPD, 특히 TV용 FPD는 다른 가전기기처럼 30 cm를 기준으로 하는 것 보다는 1~2 m 근방의 전자계 강도를 기준으로 하여 안전성을 평가하는 것이 보다 실용적이라 할 수 있다.



<그림 12> 최적시청거리의 설명

Ⅲ. 국내외 사례 및 연구동향 분석

Ⅲ. 국내외 사례 및 연구동향 분석

1. 사례

1) 개요

세계 각국에서는 전자파의 안전기준을 마련하고 있으나 각 나라마다 기준치가 다르다. 안전보호지침으로는 여러 국가에서 전자파를 열적 장해라고 명확히 규정할 수 있는 현상을 해석하여 그의 한계치를 안전기준으로 하고 있다.

국제비전리 복사방호위원회, 미국의 국립방사선방호학회, 일부 주, 독일, 스웨덴 등에서는 전자파를 열적 장해뿐만 아니라 극저주파에 의하여 발생하는 생물학적 영향인 비열적 작용의 가능성을 고려한 기준을 설정하고 있다. 스위스에서는 예방적인 접근의 차원에서 인체영향을 언급하여, 특히 환경 민감시설에 대한 엄격한 노출 한계치를 제정하였고 이탈리아 등 일부국가에서도 더욱 강력한 규제치를 제정하려고 하고 있다.

현재로는 극저주파 자기장의 인체 유해성에 대하여 과학적으로 명확한 결론을 유추하지 못하여 국가차원의 강제기준을 제정하기에는 여러 가지 문제점이 야기될 수 있다. 따라서 세계 보건기구나 세계 각국에서 발표되는 인체영향에 대한 과학적인 사실에 근거를 둔 노출기준치를 권고치로 채택할 것을 권장하고 있다.

2) 해외 각국의 가이드라인

미국은 일찍이 미국규격협회/미국전기전자학회(ANSI/IEEE)와 미국 방사선 방호 측정 심의회(National Council on Radiation Protection and Measurements: NCRP)의 가이드라인을 채택하여 각급 기기의 누출전자계 강도 및 기본제한의 규제를 하고 있으며, 캐나다는 여러 가지 기준을 참고로 하여 독자적인 규정을 정하여 시행하고 있다. 유럽의 대부분의 국가 즉, 핀란드, 스웨덴, 노르웨이, 덴마크, 네덜란드, 프랑스, 영국, 독일, 오스트리아, 스페인, 체코, 헝가리, 루마니아, 스위스, 벨기에, 이

탈리아, 그리스, 크로아티아는 일률적으로 ICNIRP 가이드라인의 참고레벨⁵⁾을 기본으로 도입하고 있다.

이 중에서 스위스, 벨기에, 이탈리아, 그리스, 크로아티아스위스 등은 ICNIRP의 참고레벨을 기본으로 하되, 학교, 병원, 노인복지시설 등 민감한 시설에 대해서는 추가적으로 엄격한 제한치를 설정해 두고 있다. 또, 러시아, 폴란드, 불가리아 3개국은 전자계강도와 전력밀도에 있어서 ICNIRP 보다 한층 더 엄격한 규제를 가하고 있다.

유럽 이외의 국가로서는 우리나라를 비롯하여 일본, 타이완, 싱가포르, 필리핀, 말레이시아, 브라질, 남아프리카 공화국이 ICNIRP의 참고레벨에 준하고 있으며, 터키도 일부 특수 시설을 제외하고는 규제치를 ICNIRP의 참고레벨에 준거하고 있다. 그러나 중국은 독자적으로 보다 엄격한 규제치를 설정하여 시행하고 있다.

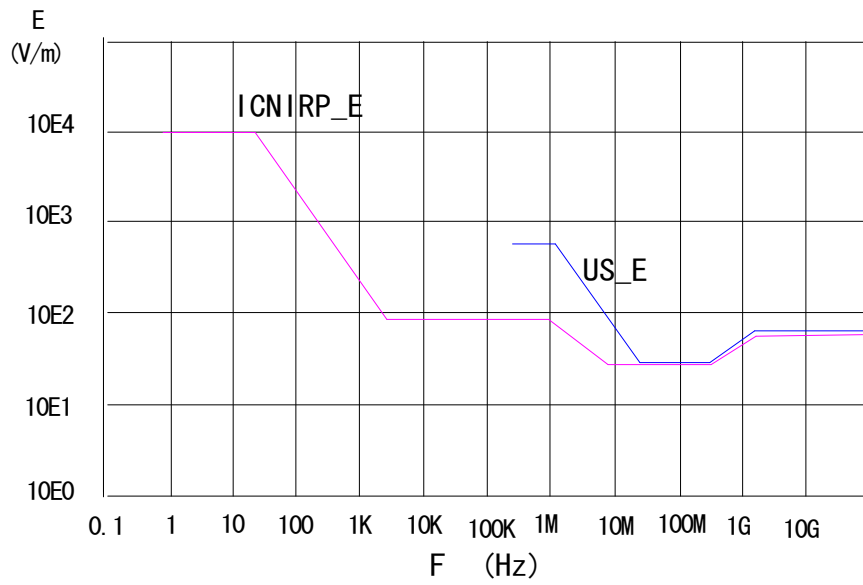
다음 <표 8>은 각국의 인체 노출기준 가이드라인을 예시한 것이고 다음 <그림 13>~<그림 31>은 ICNIRP의 가이드라인을 준거하지 않는 각국의 규제치를 도식화한 것이다.

<표 8> 각국의 인체 노출기준 가이드라인

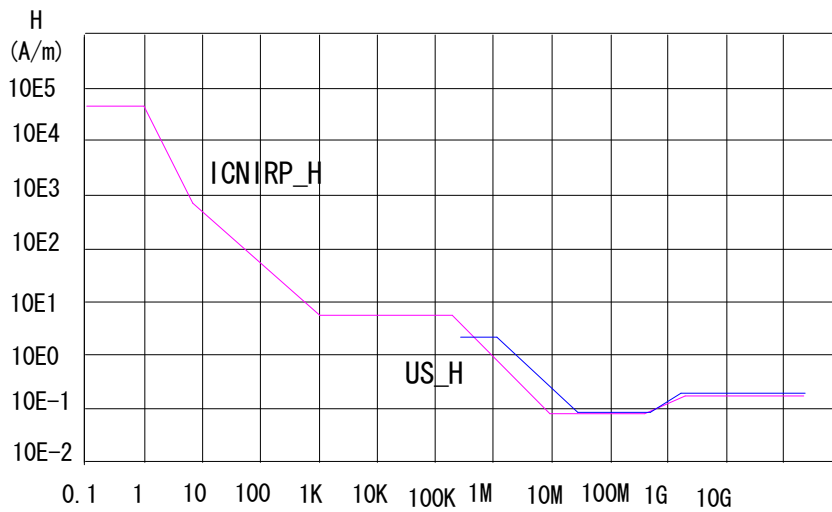
구분	국가	규제방법	규제주파수의 범위	레벨도
ICNIRP의 참고레벨 준거	한국	권고	0~300 GHz	
	일본	권고	0~300 GHz	
	필리핀	법규	3 KHz~300 GHz	
	대만	권고	0~300 GHz	
	핀란드	법규	0~300 GHz	
	스웨덴	권고	0~300 GHz	
	노르웨이	법규	0~300 GHz	
	덴마크	법규	휴대폰기지국 국한	
	네덜란드	권고	0~300 GHz	
	프랑스	법규	0~300 GHz	
	영국	법규	0~300 GHz	

5) Reference Level: SAR를 참작하여 산출한 전자계강도 및 전력밀도의 허용치

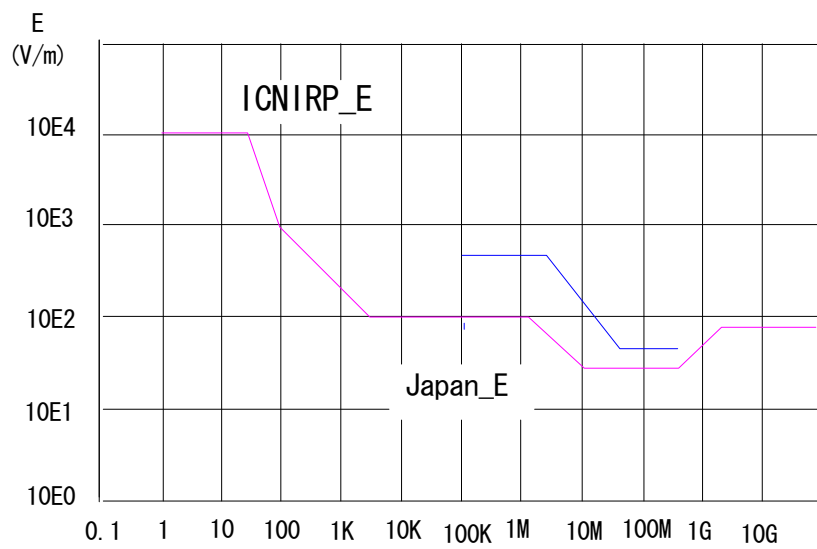
	오스트리아	권고	0~300 GHz	
	체코	법규	0~300 GHz	
	헝가리	법규	0~300 GHz	
	루마니아	법규	0~300 GHz	
	오스트레일리아	법규	3 KHz~300 GHz	
	뉴질랜드	권고	3 KHz~300 GHz	
	말레이시아	권고	0~300 GHz	
	브라질	법규	9 KHz~300 GHz	
	싱가포르	권고	50 KHz~26 GHz	
	남아프리카 공화국	권고	0~300 GHz	
	독일	법규	9 KHz~300 GHz	
	스페인	법규	0~300 GHz	
ICNIRP의 RL준거+안 전계수	벨기에	법규	0~300GHz	
	스위스	법규	0~300GHz	
	이탈리어	법규	0~300GHz	
	그리스	법규	0~300GHz	
	크로아티아	법규	0~300GHz	
	터키	법규	10 KHz~60 GHz	
독자/타 기준참고	미국	법규	300 KHz~100 GHz	
	캐나다	법규	3 KHz~300 GHz	
	러시아	법규	0~50 Hz, 30 KHz~300 GHz	
	중국	법규	0~30 GHz	
	폴란드	법규	0~300 GHz	
	불가리아	법규	0~300 MHz	



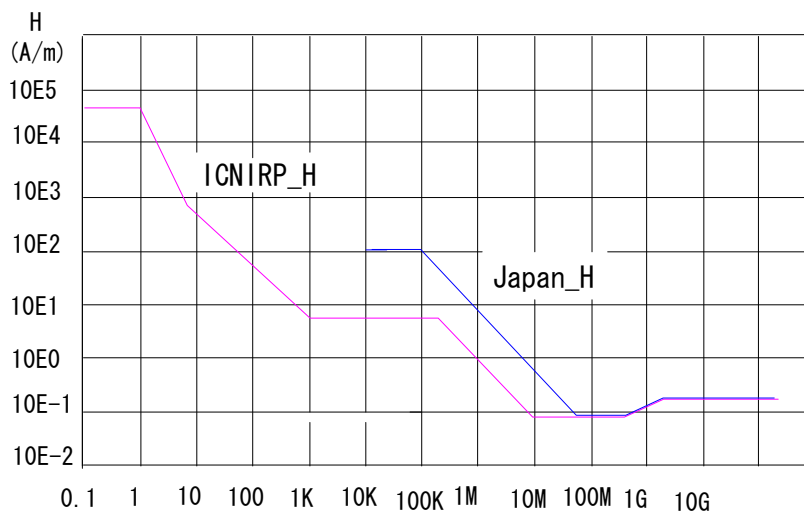
<그림 13> 미국 전기장 제한 레벨



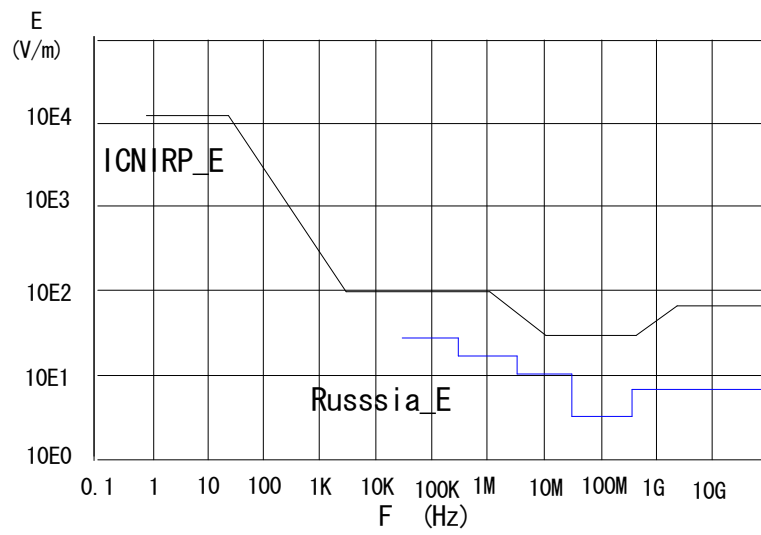
<그림 14> 미국 자기장 제한레벨



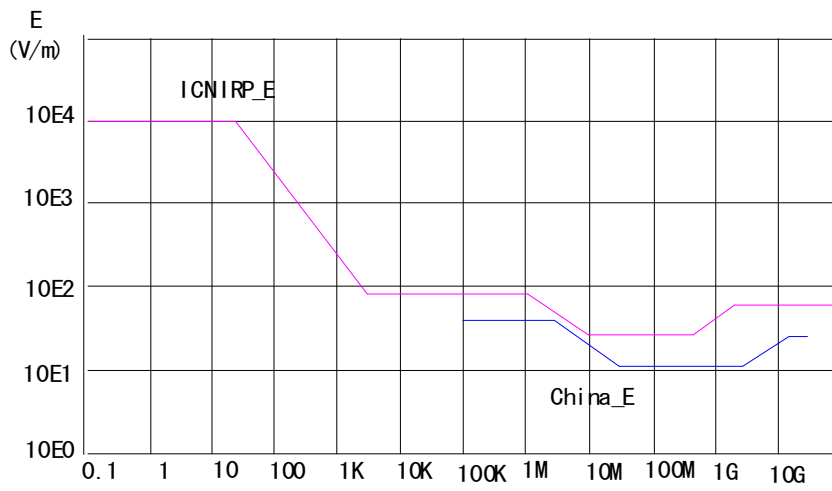
<그림 15> 일본 전기장 제한 레벨



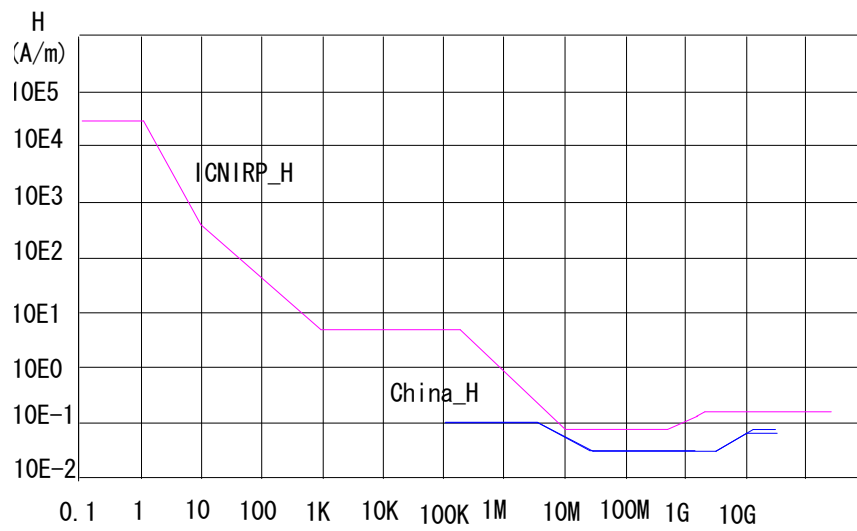
<그림 16> 일본 자기장 제한 레벨



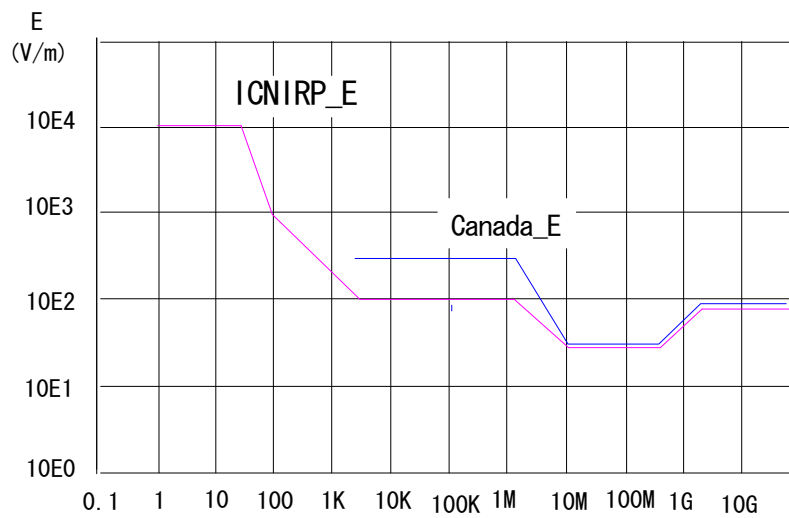
<그림 17> 러시아 전기장 제한레벨



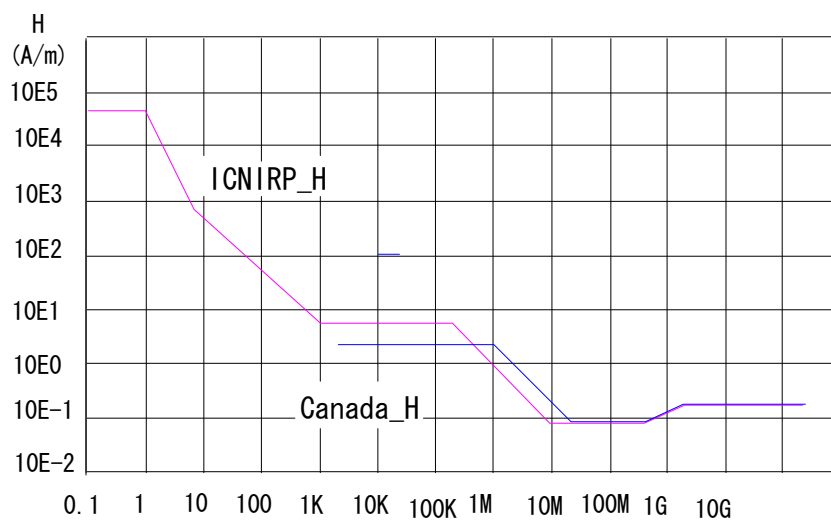
<그림 18> 중국 전기장 제한레벨



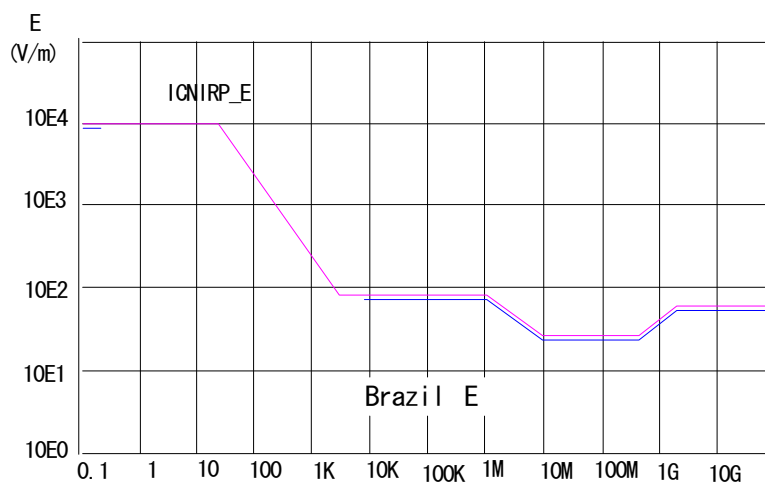
<그림 19> 중국 자기장 제한레벨



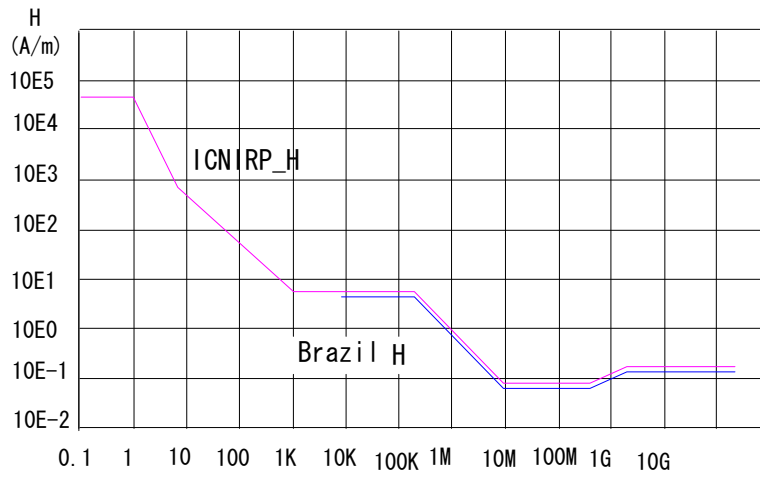
<그림 20> 캐나다 전기장 제한 레벨



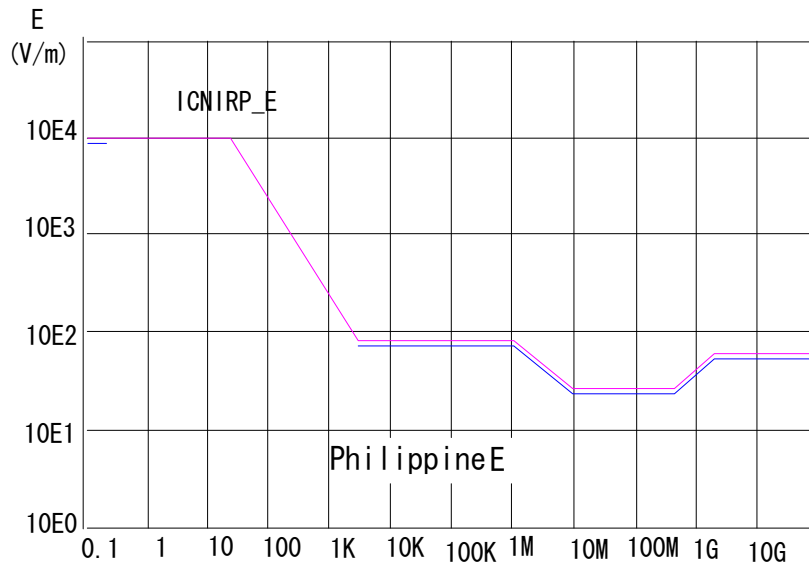
<그림 21> 캐나다 자기장 제한 레벨



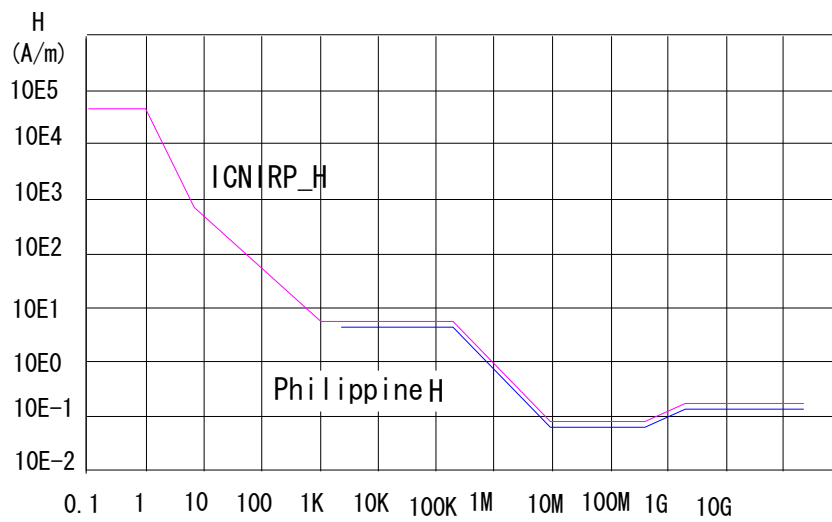
<그림 22> 브라질 전기장 제한 레벨



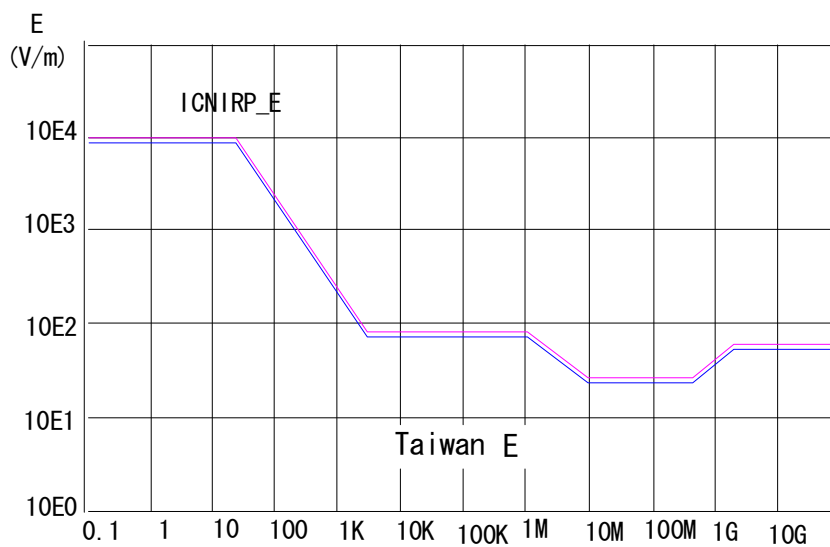
<그림 23> 브라질 자기장 제한 레벨



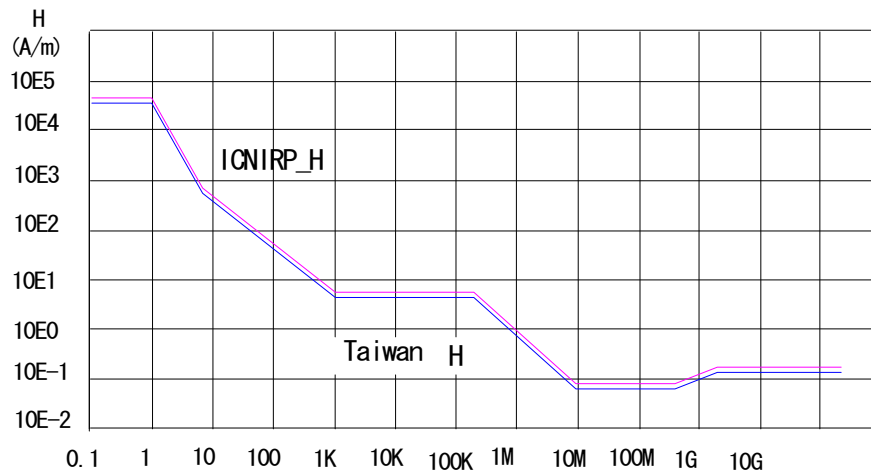
<그림 24> 필리핀 전기장 제한 레벨



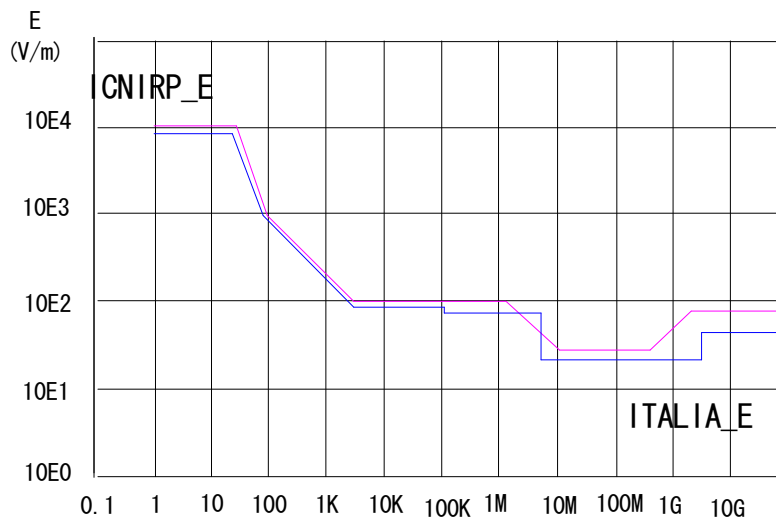
<그림 25> 필리핀 자기장 제한 레벨



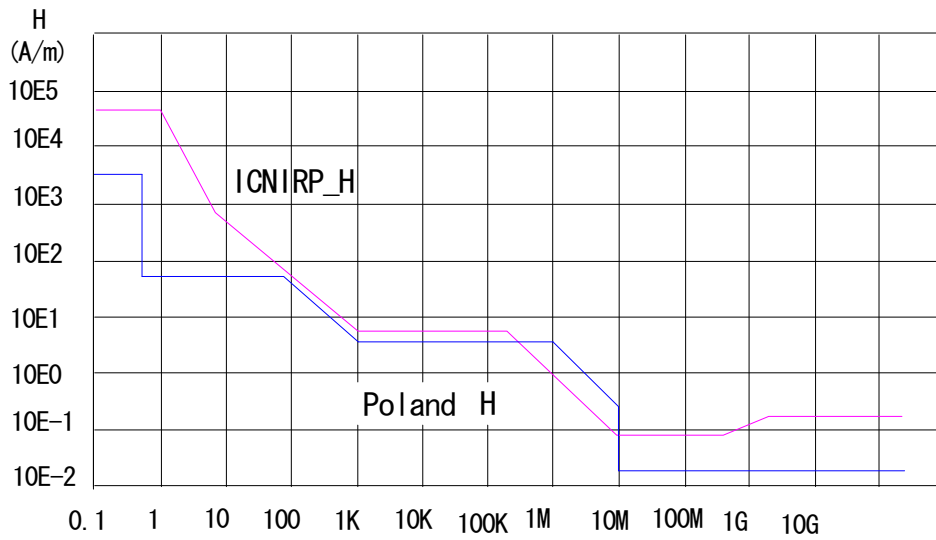
<그림 26> 대만 전기장 제한 레벨



<그림 27> 대만 자기장 제한 레벨



<그림 28> 이탈리아 전기장 제한레벨



<그림 31> 폴란드 자기장 제한 레벨

2. 연구동향

1) 개요

인간은 낙뢰나 유도뢰와 같은 자연현상을 통해서 인체에 대한 전자 에너지의 자극 효과를 체험하여 왔다. 그러나 인공적인 전자파가 원인이 된 신체장애는 2차 대전 중에 각종 전파무기를 취급하면서부터 체험하게 되었다고 할 수 있다. 그 효시로서는 1940년대에 레이더를 조작하던 병사가 귀에서 새 소리가 들리고 몸이 뜨거워진다는 증상을 호소하고 실신하는 사고가 발생한 것을 들 수가 있다. 당시 이 보고에 접한 미군 당국이 이것을 전자장에 의한 인체의 생체효과로 단정하고 조사·연구하게 된 것이 전자파 방호대책에 관한 시초라 할 수 있다.

최근의 LCD, PDP, LED형 평판 디스플레이(FPD)의 개발 방향은 대형화, 고휘도화, 고정세화로 집약할 수 있다. FPD의 표시 면에서 방출되는 총 에너지는 대체로 면적의 제공에 비례하고, 휘도에는 3승에 비례하여 증가한다. 이러한 방출 에너지는

가시광선(Visible Ray: VIS)이 대부분을 차지하고 있지만 그 외에도 회로소자와 부품에서 누출되는 각 종의 전자파(EMF)가 포함이 된다. 이 중에서 FPD의 본래의 목적에 유용하게 사용되는 것은 가시광선뿐이고 나머지는 불요 전자파가 되어 공간으로 복사된다.

인체가 복사 전자장에 노출되면, 그 주파수, 강도, 노출량에 따라서 여러 가지 국소적 또는 전신적 생체효과를 일으키며, 각종의 건강장애를 유발할 수 있다는 것이 최근의 여러 보고를 통해서 밝혀져 있다. FPD에서 누출되는 전자파도 인체가 노출되는 경우, 그러한 장애를 유발 할 수 있다는 것은 재언을 필요로 하지 않는다.

현재 전자파의 영향으로부터 인체를 방호하는데 있어서 기준이 되어 있는 것은 ICNIRP를 비롯한 각급 국제기구가 제정 공시하고 있는 “전자파 방호를 위한 인치 가이드라인”³⁰⁾이다. 모든 가전기기 제조업체와 사용자가 이 가이드라인에 고시되어 있는 제한치를 지킨다면 전자장으로 인한 건강장애로부터 자유로울 수가 있다는 것이 이 제도의 취지이다. 따라서 많은 국가에서는 이 가이드라인의 취지를 행정적으로 권장 내지는 강제하여 주민들의 건강을 보호하는 동시에 불필요한 불안 심리를 일소하고자 노력하고 있다. 그 한 방도로서 최근에는 각종 가전기기과 전기설비가 발생하는 누출 전자파의 레벨을 측정 통계하여 그 안전성을 위의 가이드라인을 기초로 평가한 결과도 보고되어 있다.³¹⁾

그러나 ICNIRP의 지침서는 어디까지나 인체에 대하여 안전하다고 믿어지는 전자파 레벨의 한계치를 표시한 것에 지나지 않는다. 각종 가전기기에 관해서 그 누출 전자파의 레벨이 공시되어 있다고 하여도, 실제로 피폭자가 현재 자신이 서있는 위치의 전자파 레벨을 알지 못하는 한 위의 한계치와 비교할 수가 없고 따라서 자신의 안전여부를 판단할 수가 없다. 극히 당연한 사실이기는 하나 전자파는 인간의 오감으로서는 감지하지 못함으로 자신의 노출상태를 알 수가 없으며 설혹 노출량이 과대하여 건강장애가 발생한다고 하여도 그 진행은 극히 완만하기 때문에 증상을 자각할 때는 이미 대책 시기를 놓친 후가 되는 것이 전자파 장애의 특징이다.

특히 FPD는 여타의 가전기기와는 사용 환경이 달라서 일반적으로 많은 사람이, 좁은 공간에 모여 앉아, 강렬한 밝기의 화면을 장시간, 매일처럼 응시하는 것이 특징이다. 이것은 길어야 수분에서 수 10분 동안 기기에 접근하여 조작하면 되는 일반 가전기기와는 많은 차이가 있는 부분인데 아직도 일반 가전기기에 적용한 측정 방법과 평가방법을 그대로 적용하고 있다는 것은 극히 비현실적이라 할 수가 있겠

다. 그러나 지금까지 이러한 점에 착안하여 FPD 사용자의 인체방호문제를 검토한 사례는 아직까지 보고된 바가 없다.

2) 전자장의 생체효과

지금까지의 연구에 의해서 인체에 대한 전자파의 생체효과에는 감전, 자극효과, 발열효과, 비열효과 등이 있는 것으로 알려져 있다. 이 중에서 감전, 자극효과와 발열효과에 관해서는 이미 구체적이고도 객관적인 조사가 이루어져서 과학적으로도 거의 완벽하게 해명이 되어 있다. 특히, 감전, 자극효과에 관해서는 이미 낙뢰현상이나 고압 감전사고 등을 통해서 충분히 밝혀져 있는 분야인데, 직접 접촉에 의하거나 전자유도(Electromagnetic induction)에 의해서 심장이나 수 10 μ A 이상의 전류가 흐름으로서 발생하며 심장조율이상, 심장 세동, 근육경련 등의 증상을 유발한다는 것은 잘 알려져 있다.

이러한 결과에 기초하여 ICNIRP 등의 가이드라인이 만들어졌으며 대부분이 충분한 안전여유(Safety Margin: SM)를 가산하고 있으므로 고도의 신뢰성이 인정되고 있다. 따라서 모든 제조업체와 사용자가 이 권고를 따르는 한 적어도 위 감전 자극효과와 발열 효과로 인한 건강장애는 염려하지 않아도 되는 상태가 되어 있다. 이 가이드라인이 FPD에도 적용이 되는 까닭에 현안의 FPD의 전자파 방호문제는 대표적인 FPD의 누출전자파의 레벨을 실제의 사용 환경에서 측정한 후, 그 값을 위의 가이드라인이 정하는 제한치와 비교하면 그 FPD의 전자파 안전성을 확인할 수 있을 것이다.

지금까지 동물시험 또는 시험관시험(In vitro)을 통해서 확인된 전자기장의 생체효과 중에서 중요한 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 열 효과

생체조직에 흡수된 전자파 에너지가 열로 변환되어 조직의 온도를 상승시키는 것이 원인이 되어 발생하는 증상인데, 청각, 시각 등의 감각의 이상, 생체의 성장과 행동의 이상, 내분비의 이상, 면역계통의 이상, 유전체의 돌연변이 등이 보고되어 있다.

이 효과는 생체가 흡수하는 전자파 에너지의 크기와 주파수에 따라 상이하게 나타나는데, 체온이 상승하여 죽음에 이르는 경우도 보고되어 있다. 치사 레벨 이하에서는 전자계의 강도나 주파수에 따라 1) 성장의 이상, 2) 행동의 이상 3) 시각, 청각의 이상, 3) 생식계통, 유전자계통의 이상 4) 기타 면역계통이나 순환기계통에 이상을 나타낸다는 사례가 상당수 보고되어 있다.

전자파를 개에게 30 분간 조사하여 체온의 상승에 의한 치사율을 조사한 결과, 5 mW/cm^2 에서 500 mW/cm^2 의 광범위한 분산을 나타내었다는 보고가 있다.³²⁾³³⁾ 이 때 생체 내에 흡수된 에너지를 측정한 결과, 대체로 $22 \sim 35 \text{ J/kg}$ 로서 거의 일정한 범위에 들어있었기 때문에 전자파의 생체효과는 조사전력밀도 보다도 생체의 단위질량 당 흡수 에너지 또는 전자파흡수율(Specific Absorption Rate: SAR)을 사용하는 것이 실용적이라는 것을 발견하였다. 이때부터 전자 에너지에 노출된 생체의 열적효과는 이 SAR로서 평가되고 있다. SAR이 $28 \sim 34 \text{ W/kg}$ 로서 마이크로파에 20분 노출된 임신 중의 마우스의 태아에 기형이 발생하였다는 보고도 있었으며³⁴⁾³⁵⁾ 원숭이에게 918 MHz 의 전자파를 에너지 강도 40 mW/cm^2 으로 조사하거나 SAR 평균치 8.1 W/kg 로 조사해보니 행동에 이상이 나타났다는 보고도 있다. ³⁶⁾³⁷⁾

미국표준규격협회(American National Standards Institute : ANSI)에서는 전자파에 노출된 동물이 1 시간 이내에 행동의 변화를 일으키는 SAR의 한계치가 4 W/kg 임을 제시하고, 이것을 인간에게 적용하는데 있어서는 안전율을 10 배로 하여 6 분간에 대응하는 전신 SAR 치를 0.4 W/kg 를 인체에 허용되는 전자파 노출 한계치로 할 것을 제안한 바가 있다.

(2) 비열효과

전자계의 강도가 미약해서 자극 또는 발열효과가 발생하지 않는데도 각종의 생리학적 이상증상이 나타나는 것이 있는데, 이것을 비열효과로 총칭하고 있다. 비열효과는 전자파 에너지가 생체의 세포 레벨이나 분자 레벨에 작용하기 때문으로 보이며 아직도 확연하게 해명되지 않은 부분이 많다. 특히 이 중에는 동일한 조건에서도 서로 상반되는 효과를 보고하고 있는 등, 신뢰성이 문제가 되는 것도 있으며, 비열효과라고는 하나 열 효과가 공존하는 경우도 있고 해서 효과적인 가이드라인을 도출하기가 극히 어려운 분야이다.

최근 이러한 비열효과에도 조사 전자파의 주파수와 전력에 대한 상관관계가 어느 정도 있는 것이 밝혀져 열 이외의 고유효과로 인정되는 현상을 위한 안전기준을 설정하고자 하는 움직임이 있다. 비열효과는 생체의 개체 레벨에서 논하기에는 복잡한 요인이 매우 많아 현재까지도 충분히 해명되지 못하고 있다. 지금까지 보고된 것을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 극 저주파 전자계의 비열효과이다.

Adey 등³⁸⁾ 등은 ELF 대역의 전자파를 뇌세포에 조사하면 칼슘이온의 결합이 변화하는 세포반응을 일으킨다는 사실을 발견한 바가 있다. 이 논문에서는 ELF 또는 ELF로서 진폭 변조된 RF의 주파수와 전력을 변화시키면 반응의 변화폭에 최고치가 나타난다는 특이한 현상도 보고하고 있다. Bawin과 Adey 등은 in vitro 에서 뇌 세포에 중심주파수 16Hz인 정현파를 10~56 V/m 의 전기장도로 하여 인가했을 때, 이러한 현상을 발견하였는데, 비슷한 현상은 16 Hz 로서 진폭 변조된 RF의 조사에서도 발견된 바가 있다. ³⁹⁾⁴⁰⁾ 또, Blackman 등에 의해서도 45 Hz로서 변조한 40 V/m 의 전자계, 50 Hz 로서 변조한 45~50 V/m 의 전자계에서도 Ca^{2+} 의 유출이 일어난다는 것도 명백해 졌다.

한편, 50 Hz 로서 진폭 변조된 50 MHz의 RF, 또는 16 Hz 로서 변조된 450 MHz 의 RF 장에서도 시냅소토솜(Synaptosomes)으로 부터의 Ca^{2+} 유출이 확인되어 있고⁴¹⁾, 배양신경세포종 세포에 저 레벨 펄스의 조사한 경우에는 3H 놀아드레나린(Noradrenaline)의 방출이 일어났음도 보고되어 있다⁴²⁾. 이외에도 60 Hz, 2.85 V/m 의 전기 하에서 햄스터의 난소세포의 K^{+} 유입의 감소가 보고되어 있고⁴³⁾, 16Hz 정현파로 변조된 반송파 915 MHz 의 8 V/m 전기에서 신경세포종세포 에서의 Ca^{2+} 의 유출증가 등이 보고되어있다. 이와 같은 효과를 나타내는 원인은 아직 명확하지 않지만 DC 장과의 유추로부터 ELF 계가 영향을 주는 장소는 세포막이라는 해석이 유력하다.⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾ 또 in vitro의 태아의 신경세포가 DC 전기에 의해서 축색의 성장이 촉진되고 배향이 가속되었다는 보고도 있다.⁴⁷⁾⁴⁸⁾

이와 같은 세포 레벨에서의 전자파 조사효과를 본다면, 특정한 주파수와 조사강도에 의존하는 중요한 효과가 존재하고 있는데도 이것을 아직 발견 못하고 있는 것이 문제라고 할 수가 있다.

둘째, 고주파 전자계의 비열효과이다.

RF파의 개체 레벨에 있어서의 비열효과로 보이는 실험에 2.2~4 GHz 의 변조된

마이크로 파 5 mW/cm² 을 침팬지에게 조사한 경우가 보고되어 있다. 이 실험에서는 침팬지에게 위의 전자파를 매일 10 시간 조사하면서 특정 행동의 수행능력을 조사한 결과 조사일수의 경과에 따라 분명한 수행능력의 감소가 확인되었다.⁴⁹⁾ 실험용 마우스에 대해서도 이와 유사한 실험을 한 결과가 보고되어있다.⁵⁰⁾ 마이크로파 영역에서는 열 효과와 비열효과를 판별하기 어려운 실험이 많다. 그러나 mm 파 영역에서는 열 효과의 원인이 되는 공진흡수현상도 생각할 수가 있지만, 더 낮은 주파수에서도 이와 같은 효과가 나는 것이 많이 보고되어 있다.

Grunder와 Kailman은 41.65~41.80 GHz 범위에서 8 MHz 떨어진 주파수를 이스트 균에 조사하면 그 성장이 촉진됨을 확인할 수 있었다고 보고한 바 있다. 이 밖에도 토끼의 골수세포의 방사선 방호효과⁵¹⁾, 곤충의 거대염색체의 파프 형성⁵²⁾, 136 GHz에 의한 박테리아의 성장 촉진⁵³⁾⁵⁴⁾, 대장균의 성장촉진 등 많은 데이터가 보고되어 있다. 이러한 실험은 모두 조사전자계의 평균 강도가 5 mW/cm² 이하이고, 주파수 의존성이 크기 때문에 열 효과가 원인이라고는 볼 수 없다. Frohlich는 이런 현상을 비선형진동의 여진이라는 각도에서 설명하고 있다.⁵⁵⁾

이상의 보고에서 알 수 있는 것은 전자계의 비열효과는 분자 레벨, 세포 레벨에서 논하는 것이 주류를 이루고 있고, 개체 레벨에서는 아직 밝혀지지 않는 점이 많다는 것이다. 그 중에는 재현성이 없거나 상반된 결과를 보고한 것도 있고 심지어는 비열효과의 존재 자체를 의심하는 보고도 있는 등 비열효과 문제는 생체에 대한 실험과 측정의 곤란성과 함께 세포 레벨의 현상을 개체 레벨로 또 동물실험결과를 인체에 직접 적용할 수 없다는 이유 때문에 아직도 미해결의 문제가 많다.

3) 방사광의 인체효과

FPD의 주기능이 영상을 표시하는데 있는 이상, 화면이 방출하는 방사광은 의도적인 전자파 방사에 속한다. 그러나 FPD의 방사광 중에는 가시광(VIS)이외에도 강력한 생체효과를 일으키는 자외선(UV)와 발열작용을 하는 적외선(IR)이 불요복사에너지(Spurious emission)로서 포함이 된다.

FPD의 화면에서 방출되는 이러한 불요 복사광은 비록 미약한 레벨에 속한다고 하여도 근거리에서 장시간 노출되는 경우, 특히 시각기관에 생리적 장애를 유발할 수 있다는 것이 많은 보고에서 지적되고 있다.⁵⁶⁾⁵⁷⁾

(1) 자외선

자외선(Ultra Violet: UV)은 파장이 100~400 nm 범위의 광파를 호칭한다. ICNIRP와 CIE에서는 이것을 다시 UVA : 315~400 nm, UVB : 280~315 nm, UVC : 100~280 nm의 3 개 파장 영역으로 세분하고 있다. 이 중에서 UVB와 UVC는 인체를 구성하고 있는 생체 분자의 해리 에너지에 해당되는 광자 에너지를 지니고 있어서 노출량이 많은 경우에는 생체조직에 광화학적 반응을 일으켜 발암 등 상당한 위해를 주는 것이 확인되어 있다.⁶⁾

UV는 피부에 흡수되는 경우, 주름살이나 흑반을 일으킨다. 또한 버짐이나 사마귀, 일광각화증⁷⁾ 등을 발증하여 피부암의 위험인자로도 알려지고 있다. 특히 UV에 장시간 노출된 피부에 흔히 세포암을 발생한다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 이러한 효과는 제한치 근방의 레벨에서 장기간 노출된 경우에 볼 수 있는 것으로서 일반적인 FPD의 방출 광에서는 이 정도의 레벨은 거의 나타나지 않는다.

시각기관(안구)에 UV가 조사되는 경우, 결막이나 결막을 손상시키고 심하면 실명에 까지 이를 수가 있다. 그러나 UV가 시각기관(안구)에 미치는 가장 주요한 BE는 수정체를 혼탁 시켜 백내장을 유발한다는 점이다. 백내장은 극히 미약한 레벨의 UV라 할지라도 장시간 노출되면 거의 예외 없이 발증한다는 점에서 주의할 만한 보고이다.

LCD FPD의 백라이트에 사용되는 냉음극형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp: CCFL)의 발생광은 파장 254 nm을 주로 한 UV가 많이 포함되어 있다. 또, PDP의 발광픽셀이 발생하는 자외선은 147 nm, 172 nm의 범위로서 UVC에 속한다. UVC는 공기 중에서는 감쇄가 심하여 설사 누출된다고 하여도 거의 검출되지 않는 수준인 것으로 알려져 있다. 따라서 정상적인 환경에서는 이러한 UV가 정면 패널을 투과하여 인체에 조사될 것으로는 생각되지 않는다. 그러나 CCFL의 UV는 비교적 파장이 길어서 다소 누출될 가능성이 있을 것으로 추정된다.

(2) 적외선

적외선(IR)은 파장 780 nm-1 mm 까지를 말하며 IRA(780-1400 nm), IRB (1400-

6) 전자파의 에너지는 $E=1.24 \times 10^3 / \lambda (eV/mol)$ 임으로 280 nm 부근의 UVB는 4.4×10^9 eV 로서 C-H 결합의 해리 에너지와 대등하다.

7) 전암 증상의 하나로 노인의 일광노출부에 출현하는 갈색의 작은 각질증식을 말한다.

3000 nm), IRC(3000-1 nm)로 세분하는 경우가 많다. FPD에 있어서는 FPD의 표면에서 복사열의 형태로 복사되는 것이 주가 되어 있는데, 피부 또는 안구에 작용하여 열적 또는 비열적 BE를 발생할 수가 있다.

FPD의 방출 레벨에서는 피부에 대해서는 약간의 온난효과를 지각할 수 있는 정도이지만 안구에 대해서는 비열효과로서 백내장, 각막염, 결막염 또는 황반변성 등을 유발한다는 보고가 나와 있다. 특히 IR에 의한 백내장은 780-1400 nm 범위에서 현저한데 그 정확한 메커니즘은 아직 밝혀지지 않고 있다.

(3) 가시광

가시광의 영향은 생리학적 영향과 정신신경학적 영향으로 나누어 볼 수 있다.

첫째, 생리학적 영향이다.

가시광(Visible Spectrum: VIS)은 380-780 nm 간의 광선을 말하며 망막의 색감도가 가장 예민한 파장대이다. UV와 IR 등은 대부분 각막, 결막, 수정체 등에서 흡수되어버리지만 VIS는 망막에 까지 도달하여 그곳에 결상(Focus)한다. 따라서 파대한 에너지의 VIS가 입사되면 초점상에 망막소손을 일으킬 수 있지만 이것은 낙뢰나 용접 현장 또는 대형 조명등 등에서나 있을 수 있는 것으로서 FPD의 방출레벨로서는 일어나지 않을 것이다.

VIS에서 비교적 증례가 많은 것은 청색광 증상 또는 광선망막염(Photo retinitis)인 것으로 알려져 있다. 이것은 망막세포가 440 nm 부근 레벨의 청색광에 10 초 이상 노출되었을 때 발생하는 것으로 망막에 비가역적인 변성을 일으켜 심하면 실명에 까지 이른다. 이 효과는 망막조직이 특히 이 파장대의 광에 광화학적 반응감도가 높기 때문인데, 중간 정도 이상의 노출레벨에서도 발증하는 것으로 되어 있다.⁵⁸⁾

둘째, 정신신경학적 영향이다.

최근, FPD를 비롯한 영상표시장치의 동화상을 장시간 응시하는 것이 원인으로 보이는 각종 뇌신경계통의 이상증상에 관한 보고가 증가하고 있다. 그 중의 대표적인 것이 강하고 빠른 휘도변화, 특히 수 Hz 의 속도로 변화하는 적색계통의 화상에 대하여 병적인 반응을 보이는 사례이다. 이러한 증상은 광자극 뇌파검사에서 인치광 돌발뇌파 반응“이 유발되는 일종의 인치광 감수성증”으로 분류되어 있으며 특히 간질환자의 발작이 확인되어 있다.⁵⁹⁾⁶⁰⁾.

이 밖에도 FPD를 장시간 응시하는 경우 두통, 식욕감퇴, 발한, 숨가쁨, 불면증, 조울증 등, 시각적 멀미(Vision Sickness: VS)에 해당되는 증세로 고통을 받는 사례도 많이 보고되어 있다. 이 문제는 최근 특정 애니메이션 콘텐츠를 시청하던 아동들이 집단 발작 증세를 보인 것이 계기가 된 것인데, 그것이 특정 형태의 영상구성에 문제가 있는 것으로 판명되어 해당 국가의 관계기관에서는 이러한 영상편집을 행정적인 규제로 예방하고 있다. 그러나 이러한 규제는 시중에 범람하는 각종 게임 소프트웨어, 애니메이션 영화, 웹상에 유통되는 각종 영상에 대해서는 효과가 없기 때문에 시청자 측에서 문제의 영상이나 화면을 FPD에서 자동으로 무해화 시키는 수단이 제안되고 있다.⁶¹⁾⁶²⁾

4) 인체 방호기준

(1) 방호기준의 연혁

전자파로부터 인체를 방호하는데 있어서 허용최대 노출 레벨을 명시하고 그것을 지키도록 권고하는 내용을 제시한 것이 전자계 방호지침이다. 이 지침은 전자기장의 인체에 대한 생체효과에 기초하여 인체의 건강에 악영향을 미칠 가능성이 있는 노출조건을 동정하고 필요한 안전율을 설정한 것으로서, 전자파로부터 인체를 방호하기 위해서는 반드시 지켜야 할 지침이다. 방호지침은 전자계 환경의 안전성을 평가 관리하기 위한 표준으로서 여러 가지로 활용되고 있으며 국가에 따라서는 법적으로 강제하는 곳도 있다.

전자파에 대한 인체방호 문제는 이미 2차 대전 때부터 미국 군부를 중심으로 인체의 전자파 방호에 관한 조사연구를 시작한 것이 그 효시로 기록되어 있다. 연구결과, 마이크로파에 조사된 신체에서 건강의 이상이 발견되는 점은 그 조사로 인해 신체의 심부체온이 1°C 정도 상승한 경우이고, 이 때 전자파의 조사 레벨은 대체로 100 mW/cm² 임이 발견되었다. 이 성과에 기초하여 1966년에 최초로 미국에서 전자파에 대한 방호를 목적으로 한 USA Std C 5.1-1966이 간행되었다.

이 규격은 10 MHz~100 GHz의 전자파를 대상으로 한 것으로서, 노출 제한치는 위의 100 mW 에 안전계수 10을 곱한 10 mW/cm² 으로 설정되어 있었다⁶³⁾. 이 규격은 1974년에 개정되었는데, 이 개정에서 주파수범위는 300 KHz~100 GHz 로 확

장되었지만, 노출 제한치는 10 mW/cm^2 이 그대로 유지되었다. 그러나 그 후, 전파의 산란에 관한 이론으로부터, 70 MHz 근방에서는 인체가 공진현상을 나타내며 그때는 동일한 입사전력밀도에서도 흡수전력이 커져서 열작용의 영향이 보다 크게 나타난다는 것을 알게 되었다. 이 결과에 따라 열작용의 문턱치는 입사전력밀도만이 아니고 인체의 흡수전력을 사용하여 평가해야만 한다는 것도 밝혀져서 처음으로 흡수선량평가(Dosimetry Analysis: DA)의 개념이 도입되었다.

그러나 전자파의 경우 흡수된 에너지는 열이 되지만 일정한 시간이 경과하면 인체조직의 열이완 작용으로 인해 그 이상은 체온이 상승하지 않는다는 것이 발견되어 열에 의한 작용은 흡수 에너지의 크기 보다는 그 시간 율이 보다 적절한 평가량임을 알게 되어, 이때부터 단위질량 당 에너지흡수율(SAR)를 사용하여 평가하게 되었다.

그 결과에 따라 1982년에 C95.1 규격은 다시 개정되어 인체의 공진을 고려한 ANSI C95.1-1982가 발간되었는데, 이 규격에서는 임의의 6 분간 평균한 SAR의 전신평균치가 0.4 kW/kg 이하가 될 것을 조건으로 하고 거기에 대응한 전계강도 및 자계강도를 산출하여 공시하였다. 여기에서는 여러 자세의 인체의 공진을 고려하여 30~300 MHz의 제한치를 10 mW/cm^2 에서 1 mW/cm^2 로 변경하고 이 범위의 주파수에서는 주파수에 의존한 제한치로 하였다.⁶⁴⁾

한편, 1972년대에는 전자레인지로 부터의 누설전파의 안전성이 문제가 되어 미국 식품의약청(Food and Drug Administration: FDA)이 전자레인지로 부터의 누설전파를 덮개에서 5 cm 의 거리에서 5 mW/cm^2 이하로 제한하는 의무규정을 공시하였다. 또한, 1985년에는 미연방통신위원회(Federal Communications Commission: FCC)가 통신방송시설을 인가할 때, 무선설비가 방사하는 전파가 인체노출의 기준을 만족시킬 것을 내용으로 하는 의무규정을 도입하였고, 1984년에는 다시 FDA가 전자계의 건강영향문제를 중요시하여 ANSI보다 다소 엄격한 제한을 가할 것을 시사하는 제안을 한 바가 있다.

이외에도 미국 방사선방호추진심의회(National Council on Radiation Protection & Measurements: NCRP)도 독자적인 지침을 권고하는 등, 전자파에 대한 인체방호 문제가 연방정부 수준에서 활발히 논의되었지만 결국은 ANSI C95.1-1982를 규제의 근거로 적용하기로 되었었다. 이 C95.1-1982 규격은 1991년에 다시 대폭 개정되는데, 그 내용은 지금까지의 1 단계의 제한지침에서 직업인에 대한 지침과 일반 대중

에 대한 지침을 별도로 제정하여 일반인에 대해서는 한층 엄격한 제한을 가한 것으로 되어 있다.

이러한 C95.1 규격의 심의는 IEEE와 미군 당국으로 구성된 위원회에서 실시하고 있었으나 1988년 이후에는 IEEE 단독으로 운영하게 되었는데, 이 때 개정된 것이 IEEE C95.1 이다. 2001년에는 IEEE 에 의학생물학자 등 외부의 각급 전문가를 포함한 국제조직으로서 국제전자계 안전위원회(International Committee on Electromagnetic Safety: IEEE/ICES)가 발족하여 C95.1 규격의 심의를 전담하게 되었는데, 2005 년에는 ICES에 의해 다시 대폭 개정되어 현재 국제 가이드라인으로 넓게 사용되고 있는 ICNIRP 가이드라인과 적절히 정합한 내용으로 바뀌었다.

한편, 1979년경부터 저주파 전자계에 의한 소아백혈병의 발증 가능성이 제기되기 시작하였는데, 이 문제는 송전선 자계에 대한 소송문제로 까지 확대될 염려가 있기 때문에 1992 년에는 상용주파자계의 건강영향에 관한 국가프로젝트인 EMF-RAPID (Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination) 계획이 발족하였다. 그 후, ICES에서는 RAPID 계획의 성과를 기초로 하여 2002 년에 0-30 KHz 의 방호규격인 IEEE C95.6-2002를 공시하였다. 그 내용은 수치적으로는 차이가 있으나 기본적으로는 ICNIRP 가이드라인과 대등한 것으로 알려져 있다.

유럽에 있어서는 1970 경부터 인체의 전자파 방호문제에 관한 연구가 시작되었는데, 미국에서 IEEE와 군부가 중심이 된 것과는 대조적으로 방사선 방호의 일부야로서 발족하였다. 즉, 국제방사선방호협회(International Radiation Protection Association: IRPA)에서는 전리방사선에 대한 인체방호에 추가하여 전자파와 같은 비전리 방사선에 대한 인체방호에 착수할 것을 결정하여 1974년에 실무부서를 조직하고 이것이 주체가 되어 ICNIRP/IRPA가 조직되었다. 이 위원회는 세계보건기구(WHO)와의 긴밀한 연계 하에 활동하여 파장 100 nm 이상의 가시광선을 제외한 모든 전자계 및 가청음을 제외한 음파의 노출에 대한 인체방호를 취급하게 되었다. 특히, ICNIRP/IRPA는 1984년에 고주파 전자계(100 MHz~300 MHz)의 잠정 방호 지침을, 그 후 1988년에 정규 방호지침을 공표하였고, 1990년에는 상용주파수 전자계의 잠정방호지침을 공표하였다.

이어 1992년에는 이 위원회는 IRPA에서 독립한 국제위원회에 이행하여 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)로 되어 1994년에 전자계의 방호지침⁶⁵⁾, 1998년에는 “0~300 GHz의 시간 변화하는 전자계에 대한 방호지침”⁶⁶⁾을 공표하였다. ICNIRP의

방호지침은 국제적으로 가장 널리 활용되고 있는 방호지침인데, ANSI 또는 IEEE 등의 규격과 기본적으로는 동등한 내용으로 되어 있으며 제한치에 있어서도 큰 차이가 없다. 초기의 ANSI/IEEE 규격이 노출대상의 속성에 의존하여 일률적인 값을 제한치로 한 것에 대하여 ICNIRP는 이 분야에 종사하는 전문직업인의 노출에 대해서는 공중의 노출보다 큰 안전율을 부여하여 2 단계의 지침치를 권고하고 있는 점이 다르다. 그러나 미국 IEEE의 규격도 1991년에는 2단계 지침으로 변경되어 큰 차이점은 없어졌다. 이것에 관하여 구주연합(EU)은 유럽국가 이사회 권고로서 1999년에 ICNIRP 가이드라인의 일반대중 상대 제한치를, 또 2004년에는 직업인 상대 제한치를 채택하도록 각각 회원 국가에 지령하였다. 유럽 국가 이사회 권고는 이사회 가입국에 대해서는 강제력이 있어서 지령에서 4년 후에는 자동적으로 법규제를 시행하도록 되어 있다.

현 시점에서는 유럽을 위시한 세계 각국의 방호지침은 거의 ICNIRP 가이드라인 또는 그와 거의 동등한 방호지침으로 통일되어 있는데, 구 소비에트 연방과 구 동구권에 속했던 일부 국가에서는 관찰적 접근법에 따라 도출된 규제치가 아직도 쓰이고 있다. 이 접근법에 의한 규제치의 특징은 노출시간이 길어질수록 지침치를 엄격하게 제한한다는 점이다. 즉, 전자계 강도와 매일의 노출시간을 곱한 값을 제한하도록 되어 있어 만성적인 노출에는 극히 엄격한 제한이 가해진다. 이것은 생체영향의 문턱치 이하에서는 영향이 인체에 축적되지 않는다는 관점을 지닌 ICNIRP와 IEEE/ICES 등의 방호지침과는 대조적이다.

그러나 노출이 장시간이 되면 그만큼 영향이 커진다고 하는 축적 영향의 존재를 실증하는 신뢰할 수 있는 연구결과는 없고 단순히 노출시간이 길어질수록 건강영향의 가능성도 높아진다고 가정하고 있는데 지나지 않다고 보는 견해가 있다. 이들 국가들도 WHO에 의한 국제 전자계 프로젝트의 방호지침 조화회의에 참가함으로써 러시아, 중국, 구 동구제국들도 ICNIRP 지침이나 ICES 규격 등 국제적인 가이드라인에 조화되는 방호지침을 채용하는 방향으로 점차 이행하고 있는 추세에 있다.

(2) 방호 대책의 연혁

전자파의 인체방호기준은 상술한 바와 같이 초기에는 주로 레이더나 무선 송신기와 같은 대출력 전파설비가 방출하는 전자계로부터 인체를 방호하는 것을 목적으로

하고 있었으나, 그 후 사회전반에 휴대형 무전기나 가전기기가 급속하게 보급되자 그들이 발생하는 전자파가 일반 대중의 생활주변에 범람하게 되어 거기 대한 방호까지 고려하지 않으면 안 되게 되었다.

최근 일부 선진각국에서는 일반 가전기기에 대한 불요 전자파의 누출 실태를 조사 파악하여 그 결과를 공시하고 있는데, 대체로 전자파의 송신을 주 기능으로 하는 전파통신기기를 제외한 일반 가전기기의 경우는 누출 전자파의 레벨이 모두 ICNIRP 참고치(Reference Level: RL)를 초과하지 않는다는 것이 확인되어 인체에 관한 한, 문제가 되지 않는다는 사실을 보고하고 있다.⁶⁷⁾⁶⁸⁾

이러한 보고서에는 FPD를 사용한 PDP형, LCD형 TV도 포함되어 있는데, 대부분이 일반 가전기기처럼 전원 주파수를 주로 하는 ELF 대역의 자기장만을 측정된 경우가 보고되어 있다. 그에 따르면 거리 30cm에서 누출 자기장을 측정한 결과가 모두 0.1~0.2 μ T 이하가 되어 있는데, 이 레벨은 ICNIRP의 일반인 RL인 83 μ T의 0.5 % 이하에 해당되어 인체에는 극히 안전한 레벨임을 밝히고 있다.

그러나 이 조사연구는 일반 가전기기를 대상으로 한 것이기 때문에 FPD의 사용 환경을 고려하지 않았고, 따라서 FPD에 특유한 부분의 데이터가 포함되어 있지 않다. FPD의 누출 전자파는 일반 가전기기처럼 전원 주파수의 자기장만이 아니고 발광픽셀의 방전잡음과 각종 칩(Chip)에서 발생하는 펄스의 고조파 성분이 수 10MHz의 광대역에 걸쳐서 분포하고 있다. 전자파의 생체효과는 주파수 의존성이기 때문에 60 Hz를 주로 하는 ELF 자기장 측정 데이터를 가지고 FPD에 대한 전자계 방호를 논한다는 것은 무리가 있다고 할 수 있다.

뿐만 아니라 FPD는 일반 가전기기에는 없는 광 방출 기능이 있다. UVR 나 IRR와 같은 유해 방사광에 대한 만성노출은 눈에 백내장과 같은 불가역성의 장애를 일으킨다는 것은 이미 잘 알려져 있는 사실이다. 최근에는 고속으로 변화하는 고휘도의 대형화면을 장시간 응시하는 것이 원인으로 보이는 각종 신경장애도 보고되고 있다. 따라서 FPD에 대해서는 일반 가전기기와는 다른 각도에서의 검토가 있어야 하는데도 아직은 여기에 관한 구체적인 연구결과가 보고된 바는 없다.

최근에는 ELF 영역의 미약한 전자장에서 비열효과에 의한 각종 증례가 빈번히 보고되어 있어서 이것이 전자파 신드롬(Syndrome) 또는 VDT(Video Display Terminal: VDT) 신드롬의 신조어가 되어 사회적인 관심거리가 되고 있다. 특히 소아백혈병에 대한 ELF 자기장의 영향에 관한 논문이 많다. 여기서는 0.4 μ T 이상의

노출을 받는 경우, 소아백혈병에 이환될 상대위험도가 0.1 uT 이하의 경우에 비해서 2배 증가하는 것이 지적되고 있다.⁶⁹⁾ 그 외에도 신경변성질환과의 관계, 특히 알츠하이머병이나 근위축성 측색경화증과의 관련을 지적하고 있는 논문⁷⁰⁾도 있고, 남성의 정소중양이나 유암과의 관련에 대해서도 보고된 것이 있다.⁷¹⁾ 심혈관질환에 대해서도 직장단위로 노출 평가를 하여 허혈성 질환이나 부정맥의 발생을 조사하는 연구도 보고되어 있다.⁷²⁾⁷³⁾ 그러나 이들 중 어떤 것은 다소 근거가 명확하지 않는 것도 있고, 서로 상반되는 결과를 보고하고 있는 논문도 있는 등, 아직은 정설로 인정되지 못하는 부분도 있다. 대표적인 것으로는 VDT 작업시간과 임신 및 악성종양과의 관련을 부인한 논문⁷⁴⁾이 나와 있는데, 복수대의 VDT를 근접하여 설치한 경우는 자장강도가 2배가 된다는 사실과 자장 차폐가 어려워 발암성의 확률이 작기는 하나 존재한다는 것을 보고하고 있는 것도 있다.⁷⁵⁾

FPD를 포함한 각종 전자기기로부터 누출 전자계를 차단 내지 억제하는 방법에 관해서는 일반 전자통신기기에 대한 EMI의 과제이기도 하기 때문에 인체방호 문제가 논의되기 이전부터 이미 많은 연구가 경주되어 왔다. 그 대부분은 제 3의 기기에 대한 전자방해의 방지라는 차원에서 실시된 연구인데, 그 방법과 수단은 인체의 전자파 방호 목적으로도 그대로 응용될 수 있다.

구체적으로는 전자파 발생원에 대한 전기적, 자기적 차폐(Shielding)와 필터링(Filtering)과 같은 전형적인 방식을 각각의 대상별(Case by case)로 제안하고 있는 것이 많다.⁷⁶⁾ 그러나 현재 각종의 비열효과가 문제가 되고 있는 ELF 영역의 자기장에 관해서는 효과적인 차단이 어려운데, 최근에는 고투자율(Permeability) 재료의 개발과 함께 이 분야에도 많은 성과가 보고되고 있다.⁷⁷⁾⁷⁸⁾

FPD에 관해서는 회로의 간소화 또는 펄스 신호의 성형으로 고조파의 발생을 억제하거나, 구동 펄스를 감소시키는 방법이 제안되어 있으며, 반도체 칩 수준에서 스위칭 전원의 개선을 통해 고조파의 발생을 억제하는 방법도 개발되고 있다.⁷⁹⁾⁸⁰⁾

IV.

측정 방법

IV. 측정 방법

1. 측정 개요

FPD는 비록 미약한 레벨이기는 하나 많은 종류의 전자파 에너지를 공간에 누출시키고 있으므로 그 주위에 위치하는 인체는 당연히 이러한 방사 전자계에 노출되지 않을 수가 없다. 그러나 현재 이러한 전자파 노출에 수반되는 BE는 이미 상당한 수준의 연구가 진행되어 있으며, ICNIRP 등을 비롯한 각종의 전자파 방호 가이드라인도 마련되어 있다. 이러한 가이드라인이 권장하는 노출 기준치 또는 참고 레벨(RL)은 충분한 안전도를 감안하고 있으므로 기기의 제조업자와 사용자가 이 레벨만 지킨다면, 전자파 피폭으로 인한 건강장애는 우려할 필요가 없다.

그러나 이러한 기기라 할지라도 사용 환경과 사용법에 문제가 있는 경우, 예를 들면 접지를 소홀히 한다거나, 외함을 제거한 채로 사용한다거나, 또는 과도히 근접해서 사용하는 경우에는, 인체는 제한치 이상의 전자파 에너지에 노출되게 된다. 특히 PC를 비롯한 각급 VDT에 사용되는 FPD는 수 십 센티미터 이내의 근거리에서 사용되는 경우가 많을 뿐 아니라, 사용자는 항상 안면이 전자파원으로 면해 있는 자세로 에너지를 최대 흡수할 수 있는 상태에 있기 때문에 일반 가전기기와는 다른 차원에서 누출 전자장을 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 FPD를 대상으로 최 적합한 측정시스템을 개발하여 누출 전자장의 레벨을 면밀히 측정하고, 그 결과를 국제 가이드라인이 정하는 기준치와 비교하여 안전 여유도를 산출함으로써 최악의 환경에도 신뢰할 수 있는 방호특성을 확인한다. 동시에 FPD의 넓은 표면에서부터 방출되는 전자파의 구체적인 방사 패턴을 파악하여, 분석함으로써 전자파 누출차단을 위한 대책 수립과 더불어 사용자들에게는 전자파의 공간적인 분포를 자세히 알림으로서 불필요한 노출을 피할 수 있도록 하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

FPD가 대형화되어 감에 따라 시청자의 광감수성 발증 또는 영상멀미 등의 증상을 호소하는 사례가 증가하고 있다. 이 현상은 영상 콘텐츠의 내용, 시청환경 등과 시청자의 화면을 대하는 관시각이 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 관시각과 시청자의 영상멀미 또는 광감수성 반응과의 관계도 실험한다.

2. FPD 누설 전자계의 측정

1) 샘플 및 측정기기

(1) 샘플(EUT)

시판의 FPD 및 LCD TV 중에서 무작위로 6대를 표본으로 선택하였으며 EUT의 내역은 다음 <표 9>와 같다.

<표 9> EUT의 내역

EUT No.	형식	크기 (표시판대각선)	제조사	제조년도
P-1	PDP	50인치	A	2009. 2
P-2	PDP	50인치	A	2009. 2
P-3	PDP	50인치	A	2009. 2
L-1	LCD	52인치	A	2009. 2
L-2	LCD	52인치	A	2009. 2
L-3	LCD	52인치	A	2009. 2

(2) 측정기기

선정된 표본 기기를 측정하기 위한 측정계기는 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 측정계기

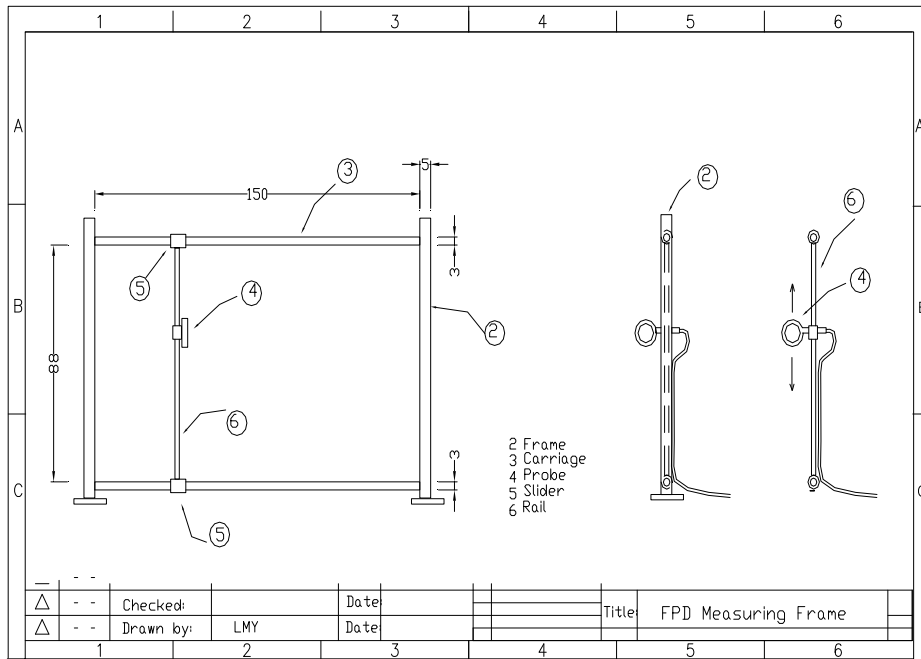
구분	모델명	비고
Spectrum Analyzer	Aglient E4403B	
EMF Multifield meter	Tyotech 6060	

2) 측정 시스템 및 방법

(1) 측정 시스템

EUT는 전자파 방출면적이 커서 위의 규정을 그대로 적용하여 측정하기가 어렵기 때문에 다음 <그림 32>와 같은 측정 시스템을 별도로 제작하여 사용한다.

이 측정 시스템은 지지 프레임 위에, X 방향 슬라이더와 Y 방향 슬라이더를 고정시켜 놓은 구조로 되어 있는데, 측정 프로브는 프로브 켈리지 위에 장착시켜서 Y 방향 슬라이더를 슬라이딩하도록 하여, EUT 표시면 전면을 자유롭게 주사하면서 측정할 수 있도록 되어 있다. 특히, 방출 전자장의 분포를 흐뜨리지 않도록 모든 재료는 양질의 플라스틱으로 만들고 슬라이더에는 위치 좌표를 표시하여 측정위치를 동정할 수 있도록 한다.

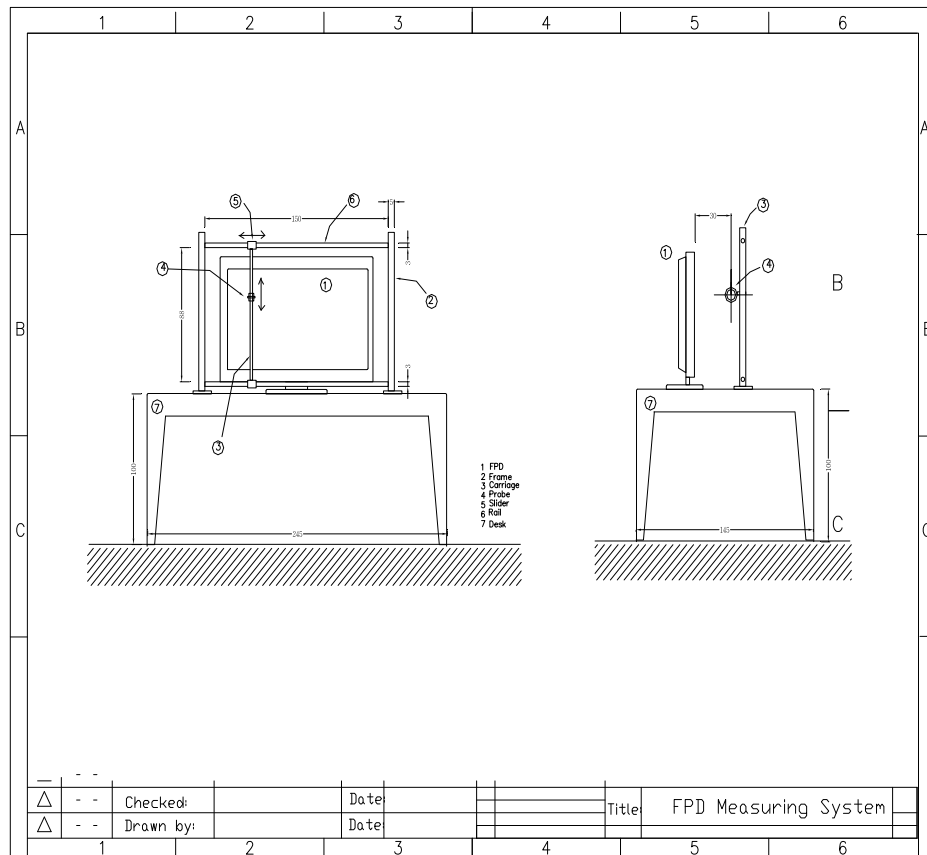


<그림 32> FPD 전자장 측정 프레임

(2) 측정 방법

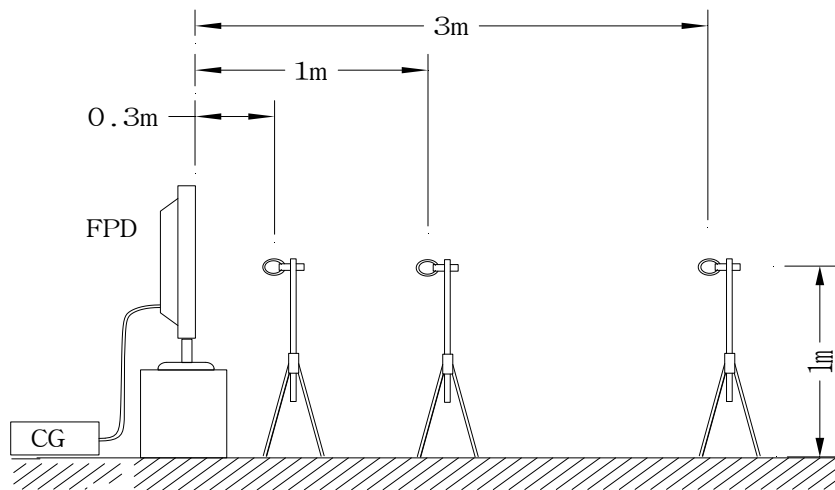
측정 방법은 KS C IEC 62233:2008 및 ICNIRP 가이드라인을 준용하되, 이 규정에 정의되어 있지 않는 부분은 실제로 있어서 FPD의 사용 환경을 고려하여 가장 적합한 방법을 채택한다.

측정 프레임을 위의 측정지침에 따라 지상에서 1 m 되는 위치에 다음 <그림 33>과 같이 고정하여 EUT의 전면 30m 공간을 X,Y 방향으로 주사하면서 전계, 또는 자계를 측정한다. 측정할 때는 위의 측정지침에 따라 EUT는 최대의 누출 전자파가 발생할 수 있는 상태로 유지하며, 신호입력에는 표준 컬러바(Color Bar) 신호를 인가하고 휘도(Brightness)와 콘트라스트(Contrast) 및 음량을 최대치로 고정한다.



<그림 33> FPD 전자장 측정 시스템

FPD의 실재 사용 환경에 있어서의 전자계 강도를 파악하기 위해서는 측정거리를 30 cm 에서 3 m 이상 까지 증가시키면서 측정해야 하므로, 이 측정을 위해서는 다음 <그림 34>의 (a)와 같은 시스템을 구성하여 사용한다. 다음 <그림 34>의 (b)는 이때의 실 측정 상황이다



(a) 측정 시스템의 구성



(b) RF 측정 실험

<그림 34> 측정시스템 (a) 시스템의 구성 (b) RF 측정 실험

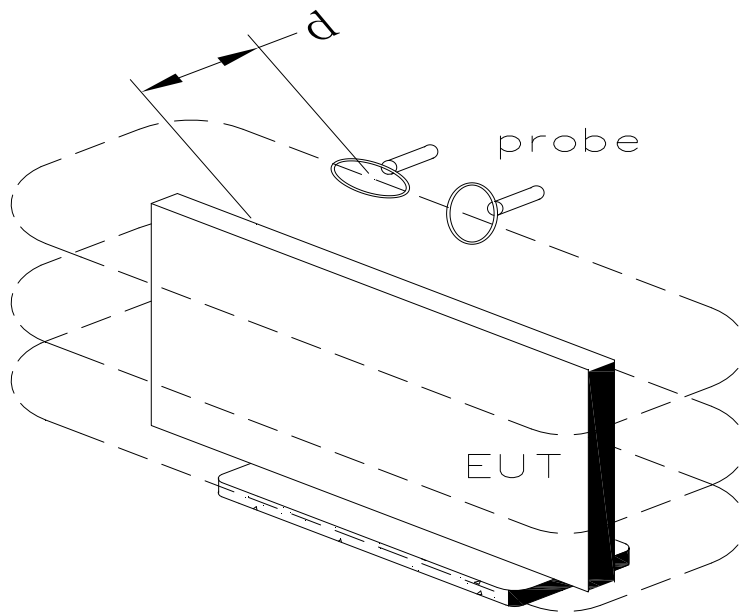
일반적으로 전자파 발생원에 근접한 위치, 특히 거리가 $d < \lambda/2\pi$ 의 관계가 성립되는 영역은 근방장(Near Field)에 해당되며 이 영역 내에서는 전장의 레벨은 거리의 2승에, 자장의 레벨은 거리의 3승에 반비례해서 증가한다. 고정세도 FPD의 최적 시청거리는 VLF 나 ELF 대역의 전자파에 대해서는 근방장으로 작용하여 자기장의 레벨이 전기장의 그것보다 상대적으로 강해진다.

따라서 측정하기가 용이할 뿐 아니라 측정 프로브도 낮은 주파수에 있어서는 전기장의 안테나에 비해 효율이 높아지기 때문에 자기장을 측정하도록 한다. ELF 대역의 자장은 전파특성상 인체의 심부에까지 거의 감쇄 없이 침투할 수가 있어서, 그 유도전류가 생체효과를 발생시키는 주요인이 되는 것으로 알려져 있기 때문에 자기장의 강도가 보다 중요한 의의를 지니기 때문에 보다 합리적이다.

그러나 RF 영역은 반대로 전기장의 측정이 용이할 뿐 아니라, VLF 나 ELF에 비해 주파수 대역이 상대적으로 넓어서 생체의 주파수 의존성을 고려할 때, 전기장의 측정이 오히려 편리하다. 따라서 본 실험에서는 RF 영역은 전기장을 측정하고 VLF 와 ELF 영역은 자기장을 측정하기로 한다.

(3) 방사 분포도

측정한 자료를 기초로 하여 EUT의 전체 표면에서 방출되는 전자장을 위치별로 플로팅하여 방사 분포도를 작성한다. 위의 제작한 측정 프레임을 사용하여 다음 <그림 35>와 같이 EUT의 표면을 주사하면서 측정한 결과를 슬라이더에 표시되어 있는 좌표치와 함께 기록하여 드로잉 프로그램을 사용하여 도시함으로서 누출전자파의 방사 패턴을 3D 그래프로 표시한다.



<그림 35> 측정방법

3) 거리에 따른 전자장 안전도

최적 시청거리를 고려한 실험에 대한 측정은 IEC 62233 등의 규정에 따라 FPD 표면에서 30 cm 되는 위치에서 전자파의 레벨을 확인 한다. 그러나 대형 FPD의 대부분을 차지하는 FPD TV 의 경우, 실제로 인체가 이러한 거리에 위치하는 시간은 거의 없으며, 설사 접근하는 일이 있다고 하여도 단순히 그 앞을 통과 하거나 청소 등을 위한 극히 짧은 시간에 지나지 않는다.

전술한 바와 같이 FPD는 일반적으로 최적시청거리인 3 m 에서 5 m 거리에서 시청하는 것이 상례가 되어 있다. 따라서 이러한 사용 환경에서 일반인이 노출되는 전자계의 레벨을 알지 못하면 FPD의 전자파 방호에 관한 한, 실용성이 없다.

이러한 관점에서 본 실험에서는 대표적인 FPD를 택하여 위의 <그림 32>와 같이 30m 이상의 거리에서의 전자장의 레벨을 동일한 방법으로 측정하고 그 결과를 ICNIRP의 RL와 비교한다.

3. FPD 방사광의 측정

현재 국내에서 사용되고 있는 대형 FPD의 방사광이 인체에 미치는 영향을 조사하기 위하여 대표적인 PDP형 및 LCD 형 FPD 각 3대씩을 무작위 선택하여 방사광의 특성을 측정한다.

1) 샘플 및 측정기기

(1) 샘플(EUT)

FPD 방사광 측정 샘플은 앞의 <표 9>와 동일하다.

(2) 측정기기

FPD 방사광 측정하기 위한 샘플의 측정 기기는 다음의 2종을 사용한다.

- ① UV light meter Model No. 340 Sensor Spectrum 290~390 nm
- ② Light meter AZ Instrument Model 8581

2) 측정시스템 및 방법

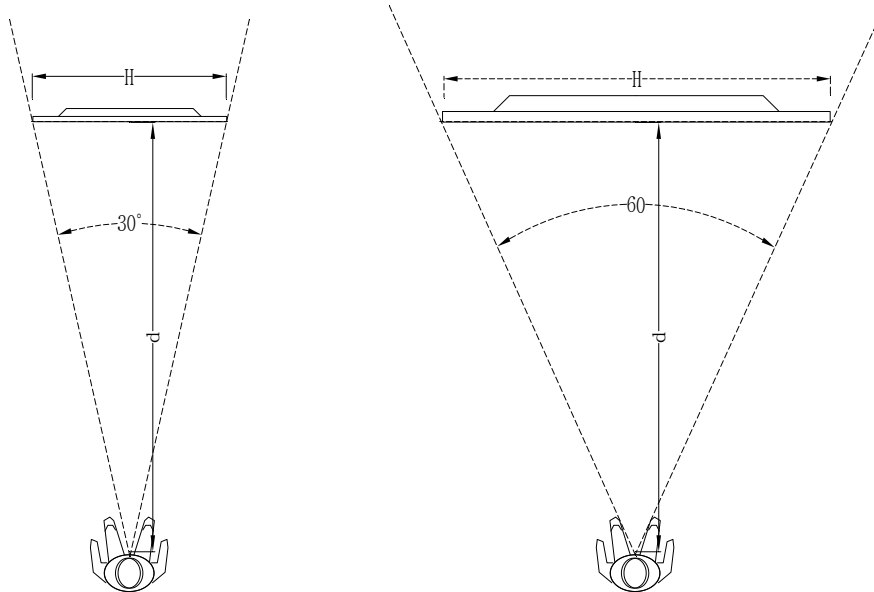
ICNIRP에 의하면 측정실에 외부광선이 침입하지 않도록 차광한 다음 평판 광원에서 방사되는 광에 측정기를 수직으로 부착하여 조도를 측정하도록 되어 있다.

본 실험에서는 FPD의 일반적인 사용 환경을 고려하여 위의 <그림 34>와 같이 모든 EUT에 관해서 표시패널의 표면으로부터 30 cm 되는 공간을 주사하여 조도가 최대가 되는 위치의 최대치를 취하여 해당 EUT의 대표치로 한다.

4. 관시각(Sight Angle)과 광감수성의 상관성

1) 측정 시스템

여러 실험결과에 의하면 동일한 환경 하에서 동일한 영상을 관시하는 경우에도 관시각이 넓어지면 광감수성을 유발할 확률이 증가할 것으로 나타나고 있다. 이 문제는 FPD가 앞으로 더욱 대형화되어 가는 추세에 있는 것을 고려할 때 보다 구체적인 상관관계를 알아볼 필요가 있으므로 관시각과 광감수성의 상관성에 대한 측정이 필요하다. 다음 <그림 36>은 측정 시스템을 도식화한 것이다.



<그림 36> FPD의 표시면 크기와 관시각

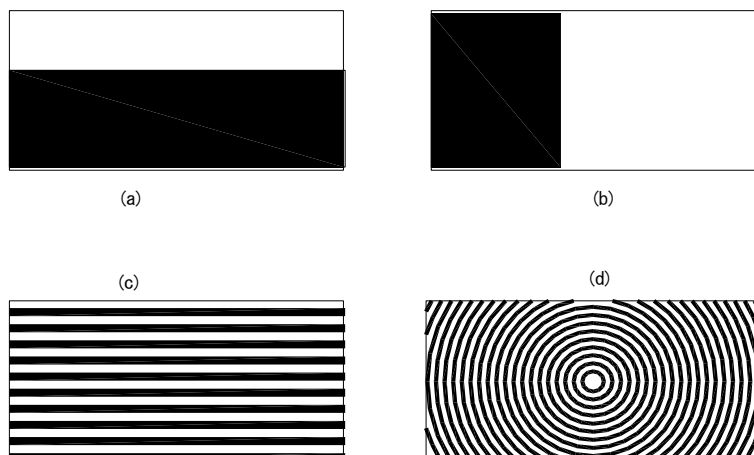
2) 측정 방법

(1) 적색 광감수성 반응 측정

20대 학생 10명을 대상으로 각 30°와 60° 환경에서 다음 <그림 37>의 (a), (b) 패턴을 일정시간 일정한 주기로 점멸(On, Off) 시킨 후, 경험하는 생리적 반응을 설문조사를 통해 수합한다.

(2) 규칙적 패턴에 대한 광 감수성 반응 측정

동일한 집단으로 하여금 관시각 30°와 60° 환경에서 <그림 37>의 (c), (d) 패턴을 일정시간 계속 관시도록 한 후, 겪게 되는 생리적 반응을 설문조사를 통해 수합한다.



<그림 37> 광 감수성 반응 측정 패턴

V.

측정 결과 및 분석

V. 측정 결과 및 분석

1. RF 전기장의 측정 결과

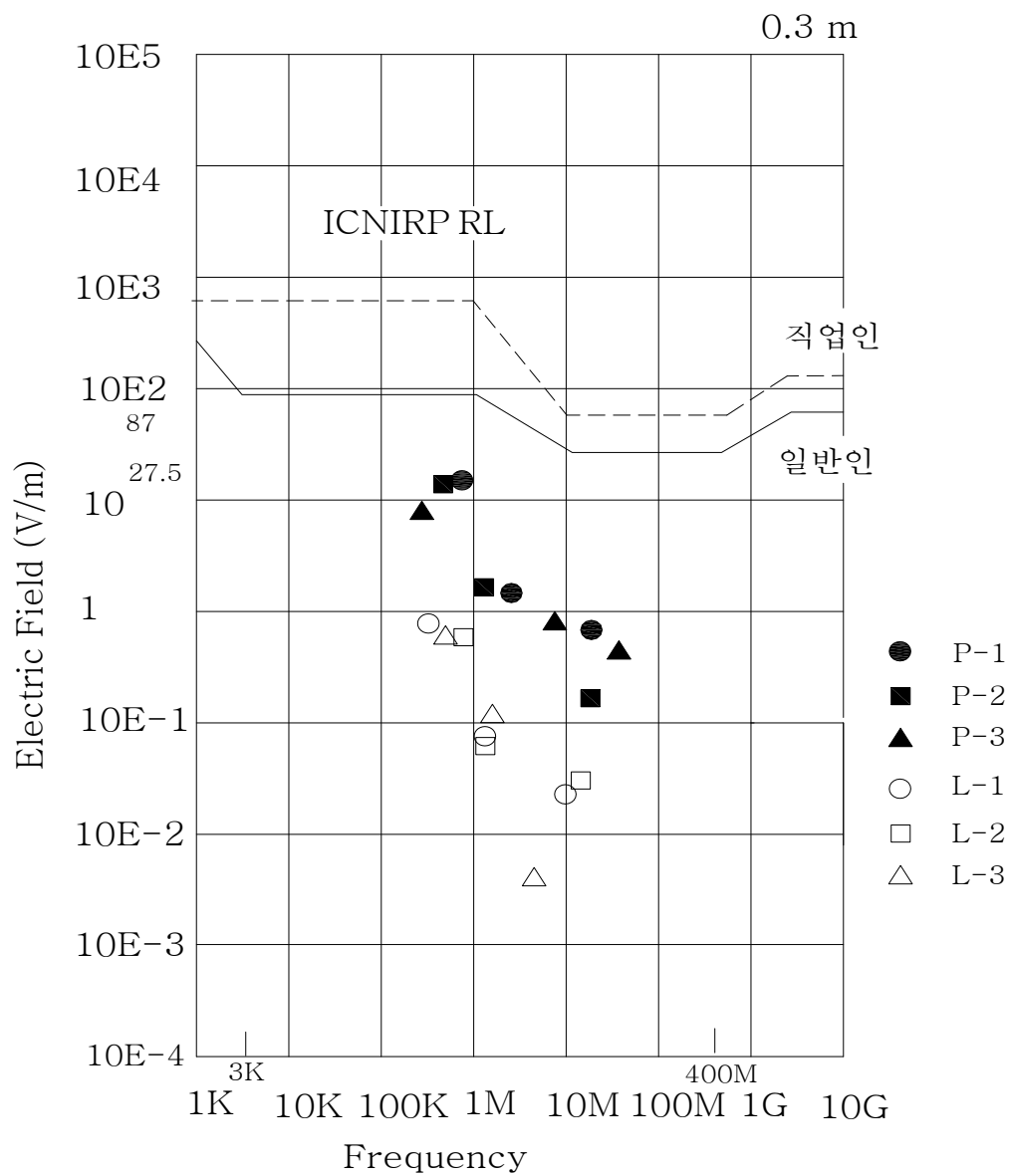
1) 전기장 레벨 측정

앞의 <그림 32>, <그림 33>의 측정 시스템을 사용하여 FPD의 전, 후면에서 $d=30\text{ cm}$ 되는 공간을 나선형으로 주사하여 전계강도를 측정하고 벡터 절대치가 최대가 되는 점의 전계강도를 취하는데, 그 결과는 다음 <그림 38>과 같다.

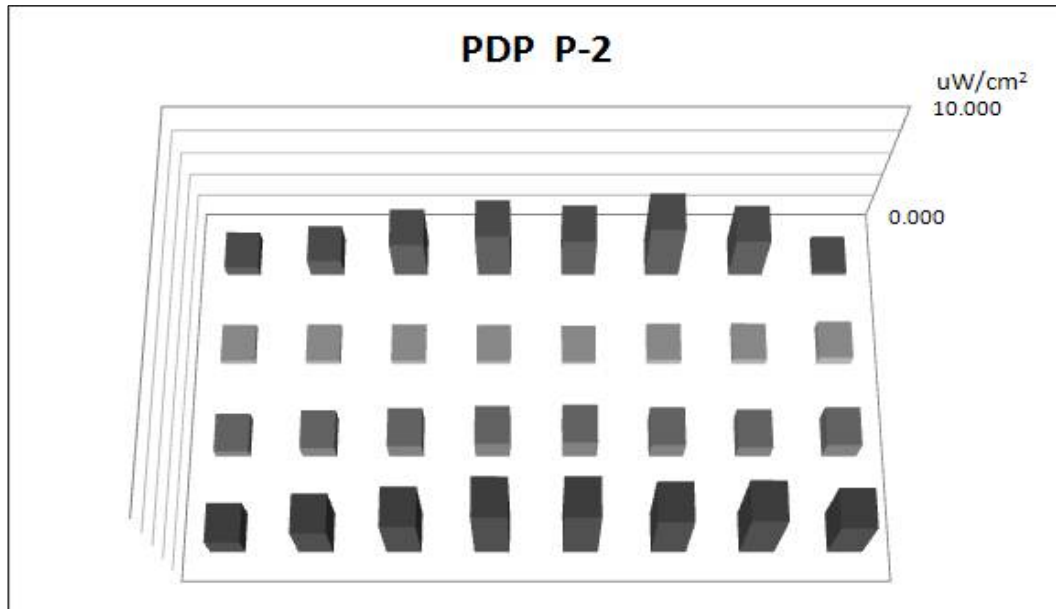
2) 전기장 분포도의 작성

누출 전자파의 공간분포를 파악하기 위하여 비교적 높은 레벨의 누출 전자계를 보인 샘플을 PDP, LED 중에서 각각 1대씩 선정하여 패널 정면으로부터 복사되는 전자파의 복사 패턴을 작성한다.

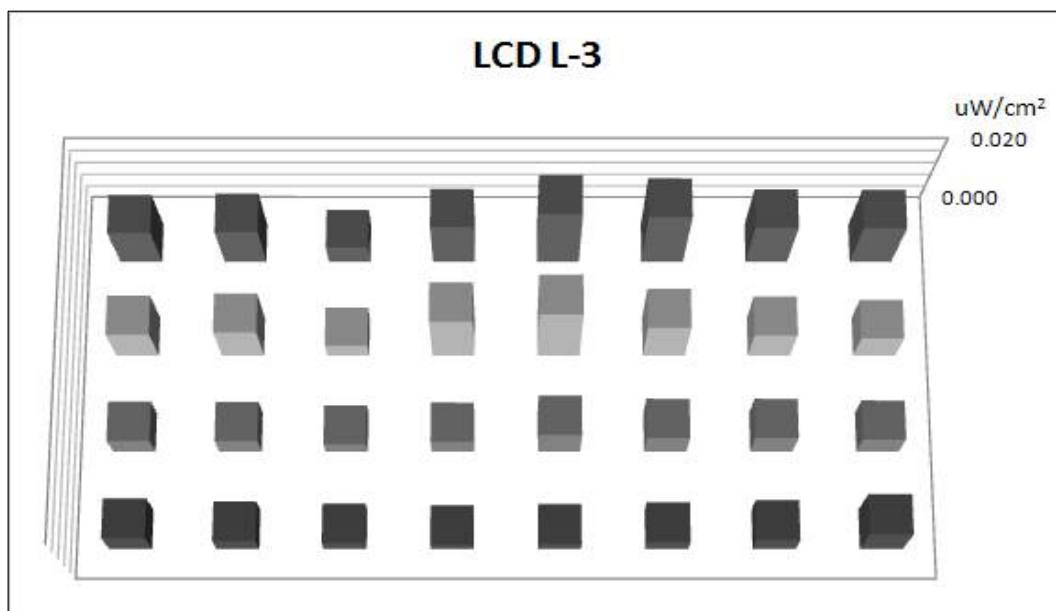
다음 <그림 39>와 <그림 40>은 패널 표면 30 cm 거리에서 측정한 위치별 복사 레벨로 부터 작성한 방사 분포도이다.



<그림 38> RF 전자기장 측정결과 (d=30cm)



<그림 39> PDP형 FPD (P-2) 의 RF 방사 분포도



<그림 40> LCD 형 FPD(L-3)의 RF 방사 분포도

2. VLF 자기장의 측정 결과

1) 자기장 레벨 측정

앞의 <그림 35> 측정방법에 의거하여 FPD의 전, 후면에서 d=30 cm, 되는 공간을 주사하여 자기장도를 측정하고 3~30 KHz 범위에서 벡터 절대치가 최대가 되는 점의 레벨을 대표값으로 취한다. 그 결과는 다음 <표 11>과 같다.

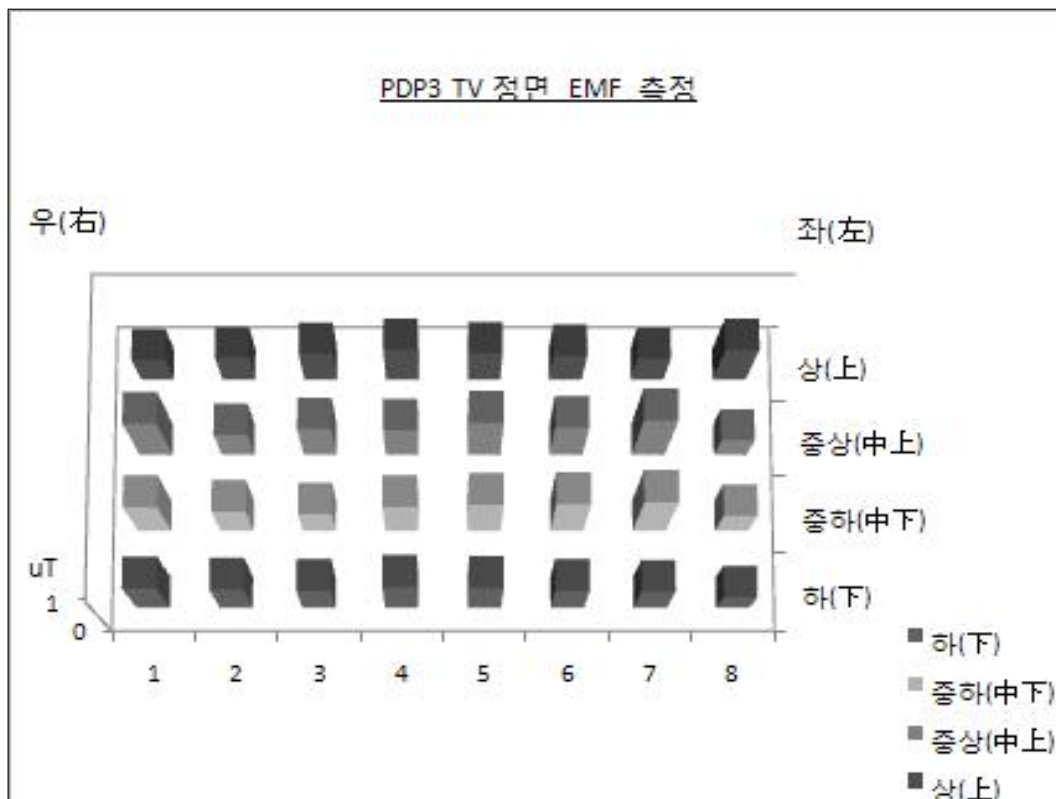
<표 11> VLF 자기장 측정결과 (d=30 cm)

항 목	EUT	A : 측 정 치 (uT) 전면최대치/ 후면최대치	B : ICNIRP RL (uT)		S:안전도 (%) 일반인	비 고
			일반인	직업인	전면/후면	
VLF 자기장 3~30 (KHz)	P-1	0.26/0.28	6.25	30.7	4.16/4.48	$S = \frac{A}{B} \times 100 (\%)$
	P-2	0.25/0.25	6.25	30.7	4.00/4.00	
	P-3	0.24/0.26	6.25	30.7	3.84/4.16	
	L-1	0.05/0.07	6.25	30.7	0.80/1.12	
	L-2	0.04/0.05	6.25	30.7	0.64/0.80	
	L-3	0.05/0.06	6.25	30.7	0.80/0.96	

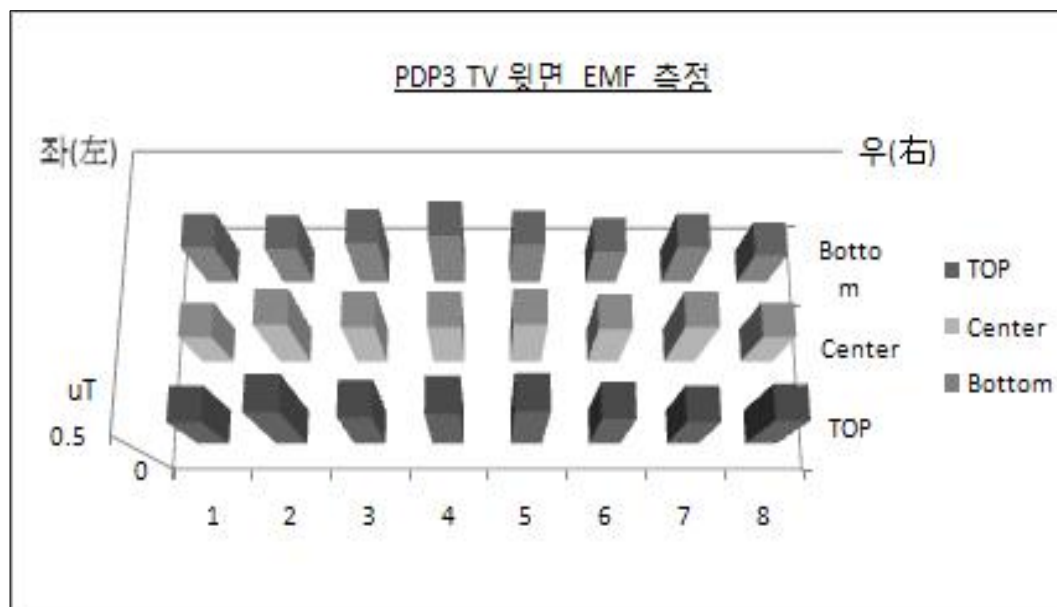
2) 자기장 분포도의 작성

누출 전자파의 공간분포를 파악하기 위하여 비교적 높은 레벨의 누출 자기장을 보인 샘플을 PDP, LED 중에서 각각 1대씩 선정하여 패널 정면으로부터 복사되는 전자파의 복사 패턴을 표시한다.

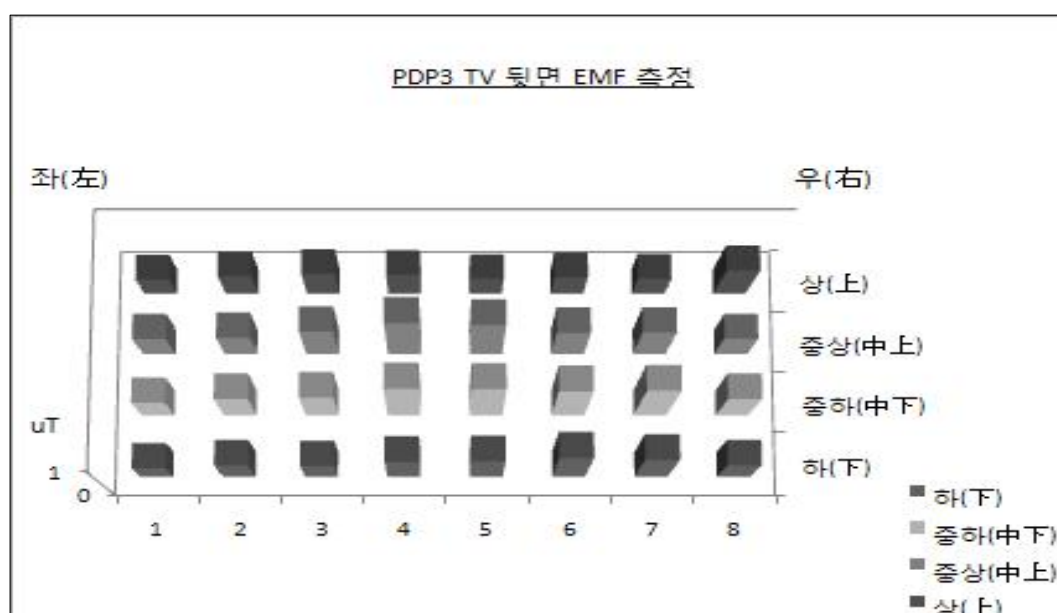
다음 <그림 41>, <그림 42>는 패널 표면 20cm 거리에서 측정한 위치별 복사 레벨도 이다.



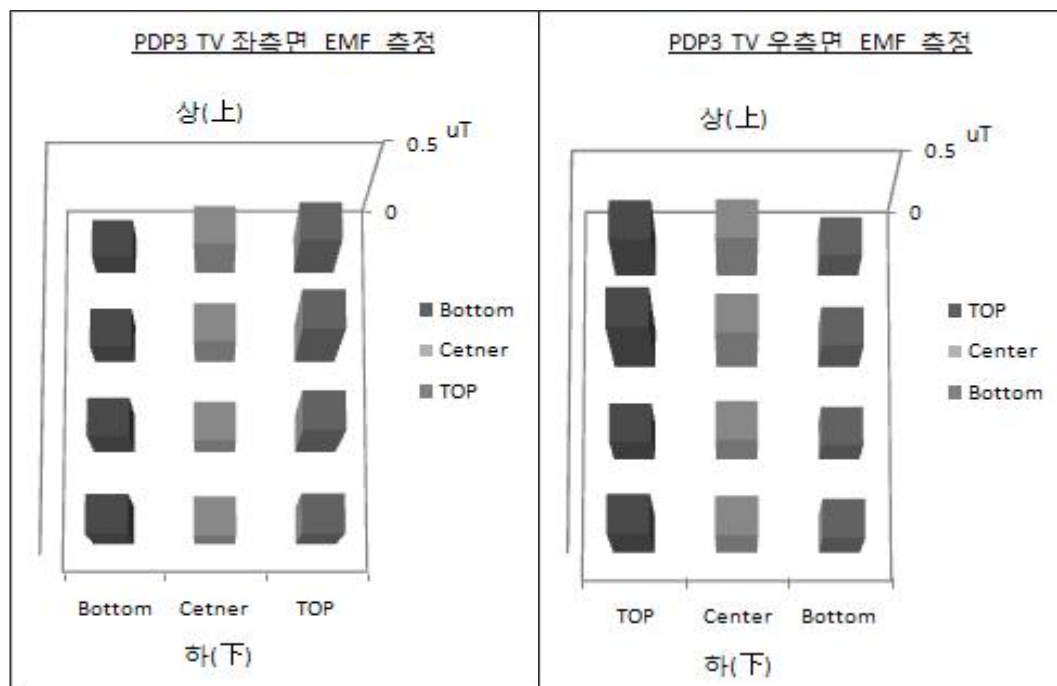
(a) PDP3 TV 정면



(b) PDP3 TV 윗면



(c) PDP3 TV 뒷면

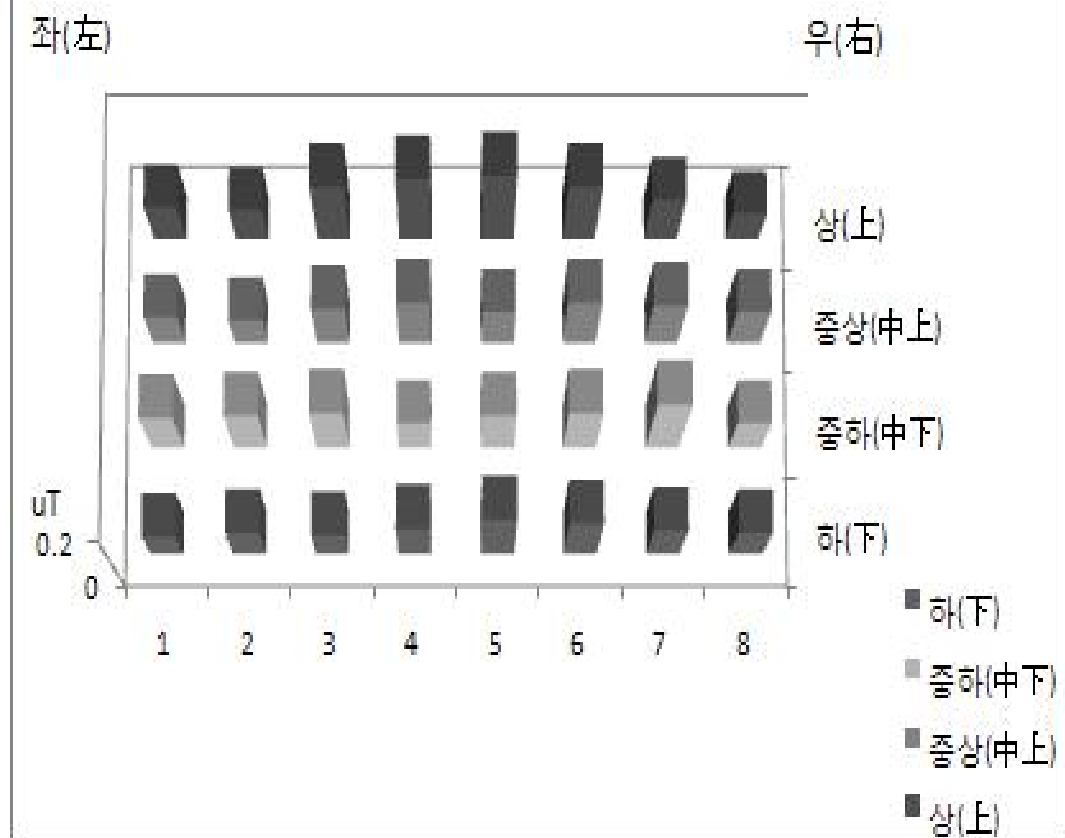


(d) PDP3 TV 좌측면

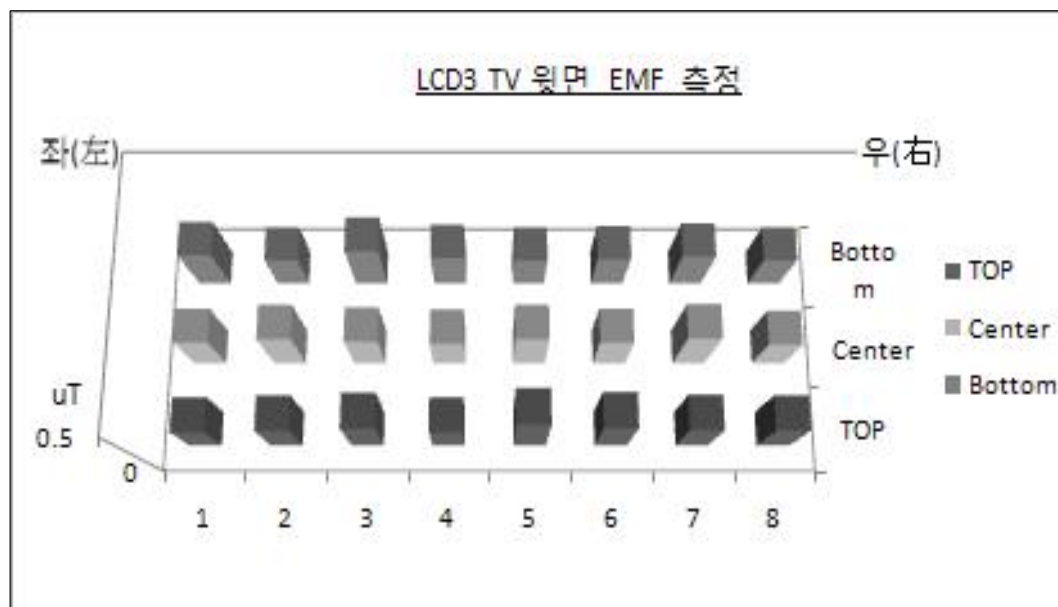
(e) PDP3 TV 우측면

<그림 41> PDP형 FPD(P-3)의 VLF자기장 방사분포도

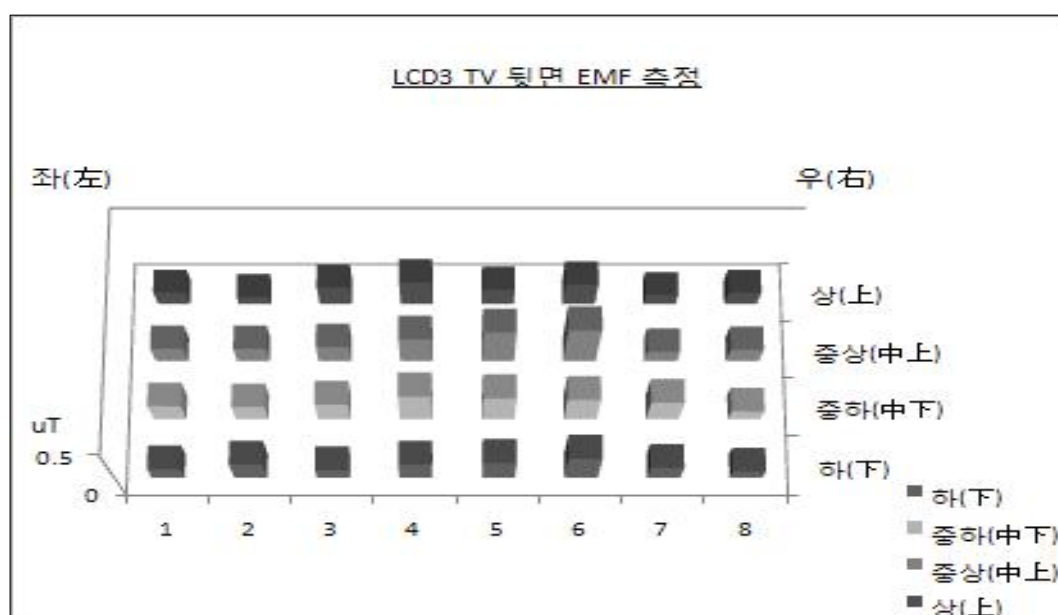
LCD3 TV 정면 EMF 측정



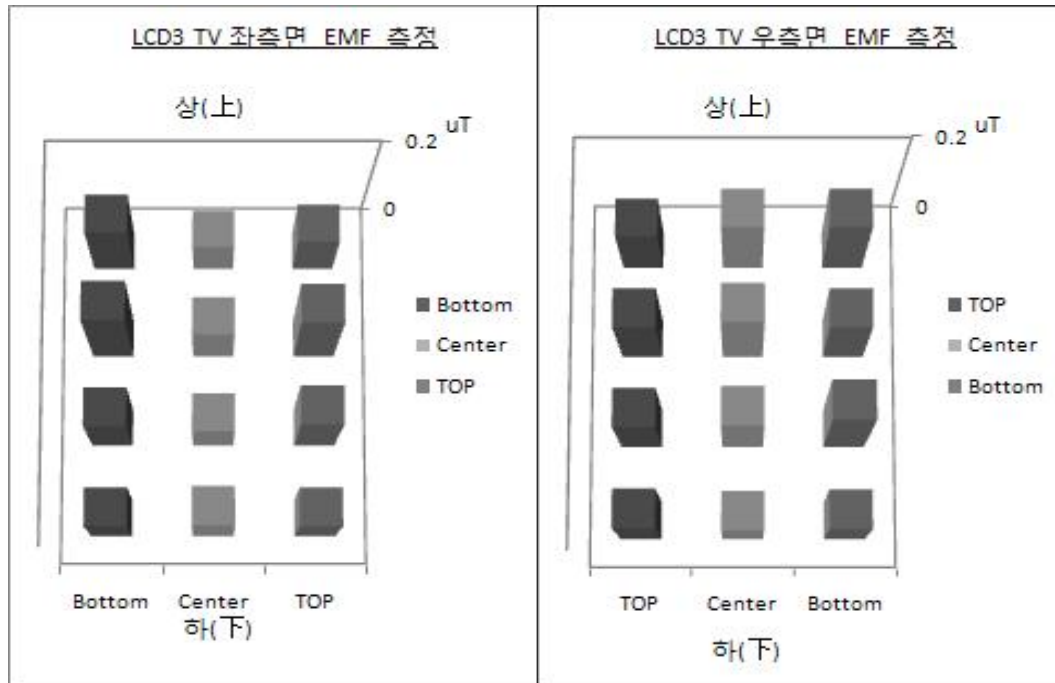
(a) LCD3 TV 정면



(b) LCD3 TV 윗면



(c) LCD3 TV 뒷면



(d) LCD3 TV 좌측면

(e) LCD3 TV 우측면

<그림 42> LCD 형 FPD의 VLF(L-3)자기장 방사분포도

3. ELF 자기장의 측정 결과

1) 자기장 레벨 측정

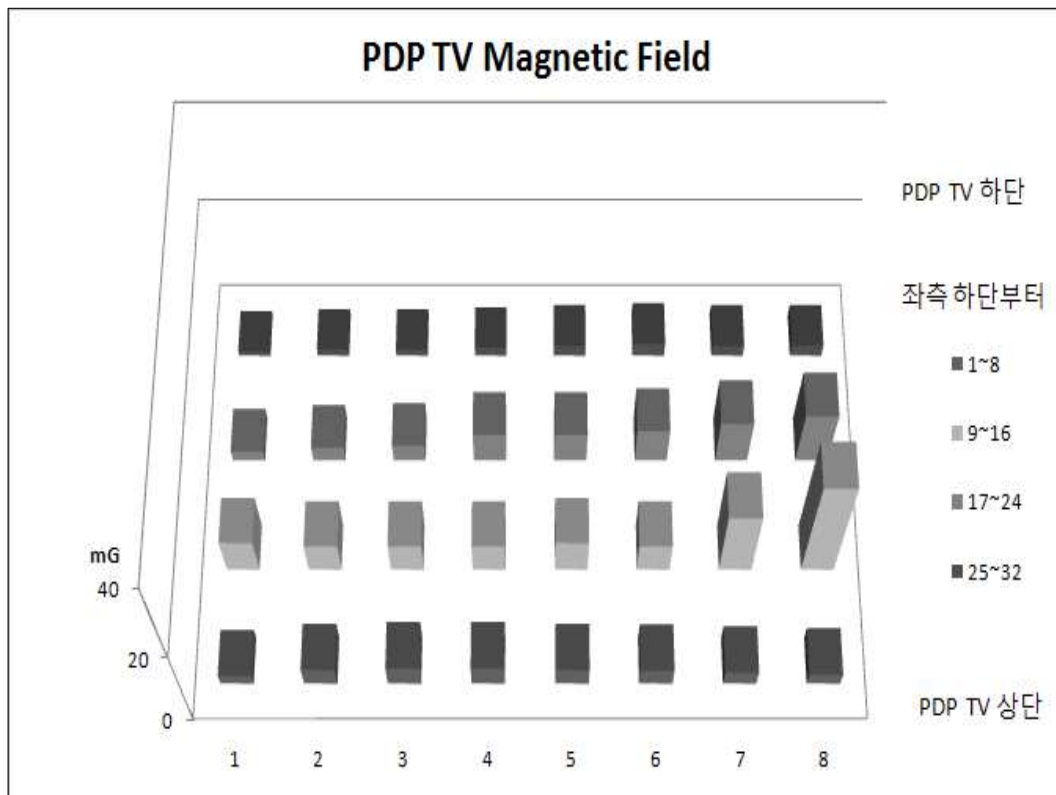
앞의 <그림 35>와 동일한 측정방법에 의거하여 FPD의 전, 후면에서 d=30 cm, 되는 공간을 주사하여 100 Hz 이하의 ELF 자기장의 레벨을 측정한다. 그 결과는 다음 <표 12>와 같다.

<표 12> ELF 자기장 측정 결과 (d=30 cm)

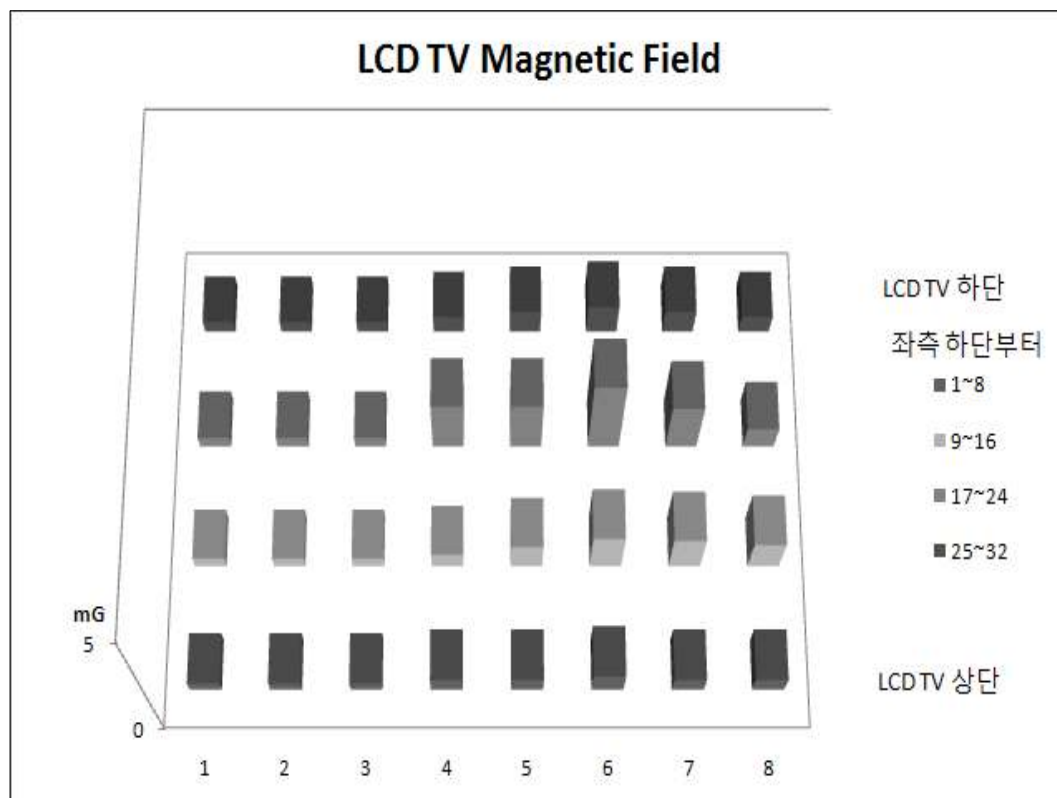
항 목	EUT	측정치 (uT)	ICNIRP RL(uT)		안전도(%) 일반인/직업인	비 고
			일반인	직업인		
ELF 자기장 측정 (60Hz)	P-1	0.88	83	41.6	1.0 / 2.1	
	P-2	0.85	83	41.6	1.0 / 2.0	
	P-3	0.82	83	41.6	0.98 / 1.9	
	L-1	0.24	83	41.6	0.28 / 0.57	
	L-2	0.16	83	41.6	0.19 / 0.48	
	L-3	0.17	83	41.6	0.20 / 0.20	

2) 자기장 분포도의 작성

누출 전자파의 공간분포를 파악하기 위하여 비교적 높은 레벨의 누출 자기장을 보인 샘플을 PDP, LED 중에서 각각 1대씩 선정하여 패널 정면으로부터 복사되는 전자파의 복사 패턴을 자기장으로 표시하였다. 다음 <그림 43>과 <그림 44>는 패널 표면 20 cm 거리에서 측정한 위치별 복사 레벨도 이다.



<그림 43> 대표적인 PDP형 FPD(P-1)의 ELF 자장 방출 패턴도



<그림 44> 대표적인 LCD형 FPD (L-1)의 ELF 자장 방출 패턴도

4. 방사광 측정 결과

1) 방사광의 레벨 측정

방사광을 측정한 결과는 다음 <표 13>과 같다.

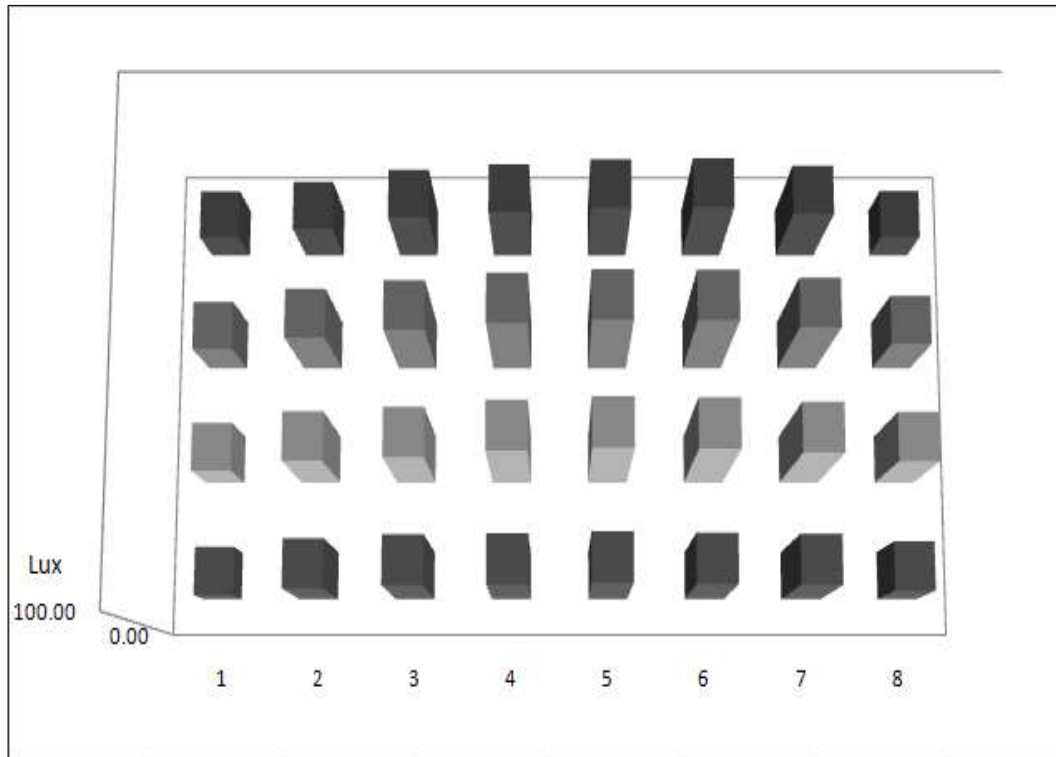
<표 13> 방사광 측정 결과

방사광 측정						
Type of Radiation	λ (nm)	B : Lowest Applicable H e a l t h Standard	A: Measured Value			$S=\frac{A}{B}\times 100$ (%)
			EUT	Value (uW/cm ²)		
				max	min	
UVC	100 ~ 270	0.0001mW/cm ² (ACGIH)	P-1	undetected		
			P-2	undetected		
			P-3	undetected		
			L-1	undetected		
			L-2	undetected		
			L-3	undetected		
UVA,B	270 ~ 400	0.001 W/cm ² (ACGIH) 30 J/cm ² (ICNIRP)	P-1	0.43	0.29	0.43
			P-2	0.33	0.21	0.33
			P-3	0.26	0.22	0.26
			L-1	0.53	0.39	0.53
			L-2	0.57	0.40	0.57
			L-3	0.74	0.42	0.74

2) 방사광의 분포도 작성

조도계로서 FPD의 표면 전체를 주사하면서 측정한 결과를 종합하여 표시면 위치별 조도 분포도를 작성한다. 조도분포는 거의 균일한 형태이고 특이점이 발견되지 않았으므로 대표로 P-1의 그것을 표시한다.

가시광의 방사분포도는 다음 <그림 45>와 같다.



<그림 45> 가시광의 방사분포도

5. 관시각과 광감수성 반응 측정 결과

1) 적색 광감수성 반응 측정

관시각 30°인 환경과 30° 인 환경에서 시험참가자 10 명으로 하여금 앞의 <그림 37>의 (a) 및 (b)의 적색 패턴을 빈도 8 Hz로서 명멸(On and Off) 시키는 것을 5 초간 관시 하도록 한 후, 5 초간 휴식하는 방법을 5 분간 반복하고, 그 반응을 청취한다. 그 결과는 다음 <표 14>와 같다.

2) 규칙성 패턴에 대한 반응 측정

앞의 <그림 37>의 (c)(d) 흑백 패턴을 지속적으로 3분 관시토록 한 후, 5초 휴식하는 방법을 5회 반복하도록 한 후 그 반응을 청취한다. 그 결과는 다음 <표 14>와 같다.

<표 14> 관시각과 광감수성 반응 실험결과

구분	자각증상	관시각		
		30°	60°	
적색광 감수성	변함없다	8	5	템플레트 (a)(b)
	어지럽다	1	3	
	메스껍다	1	1	
	두통이 있다.		1	
	권태감(피로)			
규 칙 성 패 턴	변함없다	8	4	템플레트 (c)(d)
	어지럽다	1	3	
	메스껍다	1	1	
	두통이 있다			
	권태감(피로)		1	

6. 분석 및 고찰

1) 분석

(1) 전자기장에 대한 방호 안전도

30 cm 거리에서의 측정치를 ICNIRP의 RL와 비교하여 백분율을 검토한 결과는 모든 샘플에서 RL치의 20 %에 미달하는 극소량의 누출 전자레벨임을 확인할 수가 있었다. 그림 46~48은 이것을 나타낸 것인데, RF 대역에서는 16 % 이하, VLF 대역에서는 5 % 이하, ELF에서는 1 % 이하로 나타났다. 그러나 전반적으로 PDP의 누출전자파가 LCD 보다 수 배 이상 높은 레벨을 방사하고 있어서 그만큼 안전 여유도(Safety Margin: SM)가 적다는 것이 판명되었다.

그 이유는 PDP의 발광 픽셀에서 발생하는 방전잡음이 많다는 것을 의미하는데, 이 방사는 PDP의 정면 패널에 대한 전자기적 차단 대책을 개선하면 충분히 제거할 수 있는 수준으로 보여진다. ELF 영역에서도 PDP 측이 누설자계가 큰 것이 나타났는데, 이것은 전원 트랜스의 용량의 차이에 의하는 것으로 추측이 된다. 일반적으로 ELF 대역에 있어서의 자장차폐는 차폐함의 두께와 재질에 관계되기 때문에 경제적 측면에서 어려움이 있으나 회로시스템의 개선을 병용하면 해결할 수 있는 수준이다.

전술한 바와 같이 FPD는 TV의 경우는 일반적으로 최소한 2 m 이상의 거리에서 시청한다. 위에서 측정한 30cm 측정 레벨을 근방장의 이론에 따라 2m로 역으로 계산하면 그 강도는 크게 감소하기 때문에 안전 여유도는 더욱 커질 것으로 추정할 수 있다.

다음 <그림 46>, <그림 47>, <그림 48>은 RF, VLF, ELF의 각각의 안전도를 도식화한 것이다.

RF 0.3-100MHz

EUT	meas value	% of ICNIRP RL											
		max(V/m)	0	1.0	2.0	3.0	10	20	30	40	90	100	
P-1	14.75												RL=87 (V/m) upto 1MHz
P-2	13.62												
P-3	9.62												
L-1	0.93												37.5 V/m at 10M
L-2	0.77												beyond 10M 28 V/m
L-3	0.86												

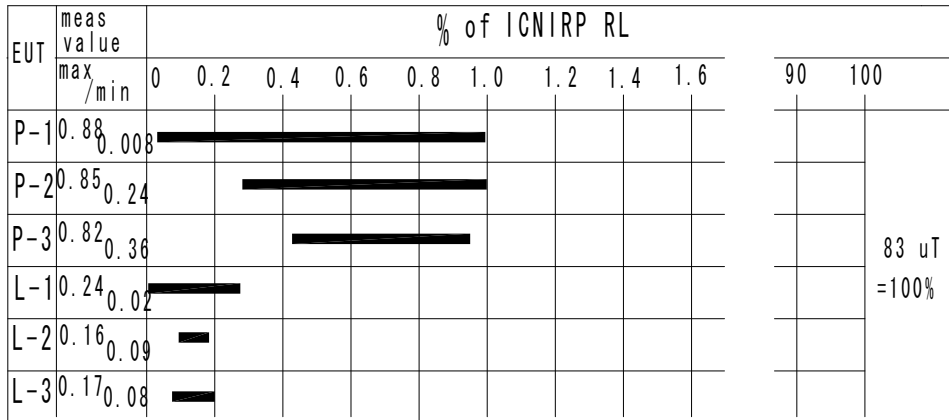
<그림 46> RF 안전도

VLF 3K-30KHz

EUT	meas value	% of ICNIRP RL								
	min/max (μT)	2	4	6	8	10	70	80	90	100
P-1	0.26/0.28									ICNIRP RL 6.25 μT
P-2	0.25/0.25									
P-3	0.24/0.26									
L-1	0.05/0.07									
L-2	0.04/0.05									
L-3	0.05/0.06									

<그림 47> VLF 안전도

ELF 60 Hz



<그림 48> ELF 안전도

(2) 방사광에 대한 방호 안전도

본 실험에서 UVC는 감쇄가 심해서 거의 검출되지 않았다. UVB와 UVA는 필터링이 어려워 290~390 nm의 파장대의 전체 레벨이 검출되었는데, ACGIH에서도 구분하지 않고 있어서 안전도의 평가에는 지장이 없었다. 측정치가 현재 가장 엄격한 것으로 알려져 있는 ACGIH의 EL($1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)와 비교해 볼 때 0.1 %에 미달한 것으로 나타났다.

ICNIRP에서는 시간 누적노출량(Dose)으로 EL를 설정해 두고 있는데, 이것을 기준으로 하면, 샘플 L-3에 있어서도 1일 노출량은 $0.02 \text{ J}/\text{cm}^2$ 밖에 되지 않아서 ICNIRP EL의 $30 \text{ J}/\text{cm}^2$ 의 0.07 %에 미달하는 양이 된다.⁸⁾

다음 <그림 49>는 이것을 도식화한 것이다.

8) 1일 8시간으로 계산

UV

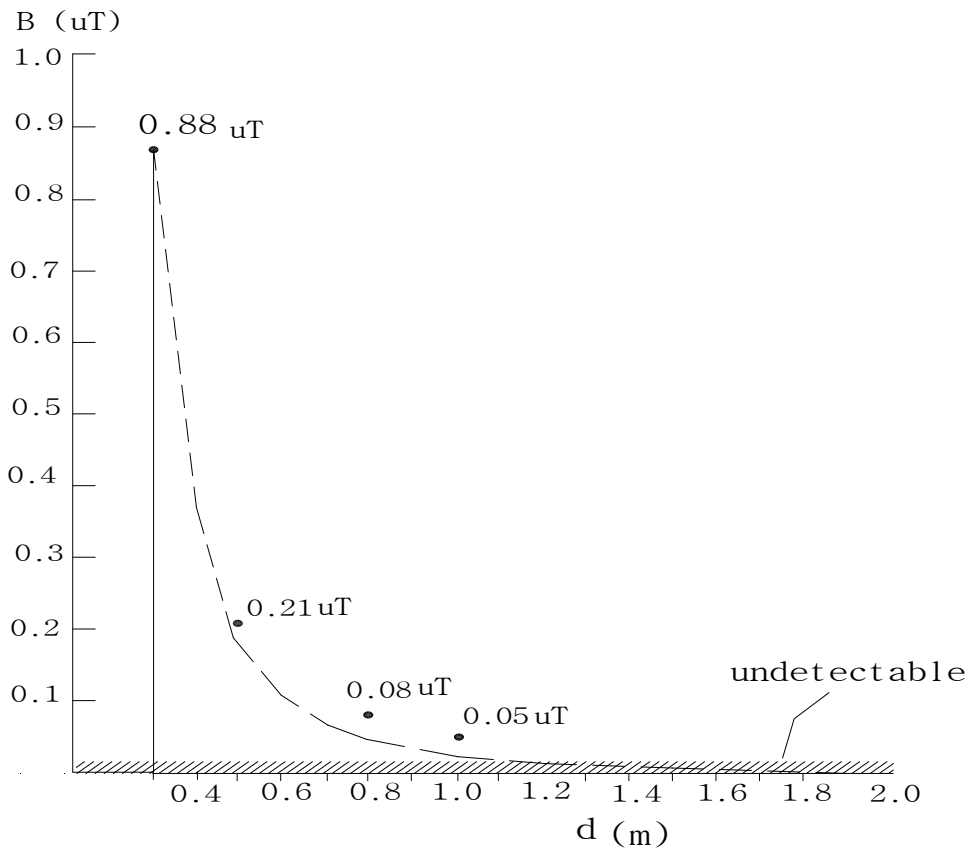
EUT	meas value max/min	% of ACGIH											
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6		90	100
P-1	0.43 0.29			■									
P-2	0.33 0.21		■										
P-3	0.26 0.22		■										
L-1	0.53 0.39			■									
L-2	0.57 0.40			■									
L-3	0.74 0.42			■	■								
												0.001 (W/cm ²) =100%	

<그림 49> UV 안전도

(3) 전자장 안전도와 노출거리

샘플로서 비교적 누설전자장이 많은 P-1을 선택하여 0.3~1.5 m 의 거리를 주사하면서 자기장의 레벨을 측정한 결과는 다음 <그림 50>과 같다.

d=0.5 m에서 자기장 강도는 0.21 (uT)로 감쇄하였고 d=1(m)에서의 0.05 uT가 되어 ICNIRP RL의 0.06 % 이하가 되는 것으로 나타났다. 1m를 초과하면 누설 전자파의 레벨은 환경잡음에 가리어져서 검출이 불가능할 정도로 감쇄하였다. 이러한 결과는 <그림 50>과 같이 근방장의 이론에 기초한 이론치와도 대체로 일치하고 있음을 알 수 있다.



<그림 50> 거리에 따른 자기장의 변화

일반인들은 대형 FPD의 경우 화면에 30 cm 정도로 근접해서 시청하는 경우는 거의 없으며 장시간 시청 할 때는 언제나 수 m 이상의 거리를 두고 있다. 실제로 동양인의 일반가정에 있어서의 시청환경을 조사한 결과는 $d=5\sim9$ H가 되고 있다.⁸¹⁾

그러나 전술한 바와 같이 유, 소아의 경우는 보다 근거리를 선호하는 경향이 강함으로 이러한 점을 참조하여 $d=30$ cm에서 3 m 까지의 ELF 자기장 레벨을 측정한 결과는 위의 <그림 50>과 같다. 그 결과는 대체로 이론과 잘 부합하고 있으나 1.2 m를 넘는 거리에서는 배경잡음보다 낮게 나와 측정이 불가능한 수준이 됨을 알 수 있다. 다음 <그림 51>은 이것을 도식화한 것이다.

ELF 60 Hz P-1

dist. (m)	meas value	% of ICNIRP RL											
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6		90	100
0.3	0.88												
0.5	0.21												
0.8	0.08												
1.0	0.05												
1.2	0.01												

<그림 51> 거리에 따른 안전도의 변화 (P-1)

(4) 관시각과 광감수성 반응

앞의 <표 12>에 종합되어 있는 것과 같이 학생 10명에 대한 광감수성 또는 영상 멀미 실험결과는 동일한 환경 하에서 동일한 영상을 관시 하는 경우에도 관시각이 60°가 된다면 30°의 경우에 비해서 시청자로 하여금 각종 신경증상을 느끼게 하는 확률이 30 % 증가하게 된다. 본 실험의 결과 관시각이 넓은 대형 FPD일수록 시청자의 광감성을 자극할 확률이 높다는 사실이 밝혀진 바, 특히 광감수성이 예민한 체질의 시청자에게는 대형 FPD를 근거리에서 관시 한다는 것은 피하도록 권고할 필요가 있다.

단, 이 실험은 시험대상 인원수가 적고, 대상자 개인의 주관적인 감각을 기초로 한 것이기 때문에 객관성이 부족하다고 할 수가 있다. 따라서 향후 보다 많은 시험자를 대상으로 심전도, 뇌파, 및 혈압 등의 변화를 측정하는 방법으로 보다 객관성 있는 실험과 측정을 실시할 필요가 있다.

2) 고 찰

이 연구에서는 시판 되고 있는 PDP및 LCD형 대형 FPD 6대를 무작위 추출하여

그 누설 전자파를 측정·분석하고 그 결과를 기초로 하여 인체에 대한 방호안전성을 고찰하였다.

샘플로부터 30 cm 거리에서 측정한 전자파 레벨의 최대치를 ICNIRP의 일반인 대상 RL와 비교할 때, RF 대역에서는 PDP형이 평균 14.6 %, LCD 형이 0.90 %를 나타냈고, VLF 대역에서는 PDP형이 평균 4.1 %, LCD 형이 0.85 % 가 되었으며, ELF 영역에서는 PDP 형이 평균 1.5 %, LCD형이 0.32 % 인 것으로 나타났다. 종류별 안전도는 LCD가 전체 평균이 0.69 % 가 되어 PDP형의 6.7 % 보다 상대적으로 높은 안전 여유도를 보이고 있었다. 이상의 결과에서 국내의 대형 FPD 일반 전 기기에게 요구되는 안전기준치인 30 cm 의 거리에 있어서 ICNIRP의 일반인 RL 를 충분한 안전여유도로써 만족하고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 대형 FPD는 TV에 사용될 때는 거의 예외 없이 그 최적시청거리인 3 ~5 m 이상에서 시청하고 있는데, 실험결과 거리가 1.2 m 이상이 되면 누출 전자장은 거의 측정 불가능한 수준으로 감쇄한다는 것을 확인하였다. 따라서 국내의 대형 FPD는 정상적으로 사용하는 한, 그 누출 전자파는 인체에 대하여 거의 영향을 거의 기치지 않는다는 사실을 인정할 수가 있다. FPD의 표면 30 cm 위치를 주사하면서 위치별 방사 레벨을 측정하여 전자파의 방사패턴도, 즉, 방사위치 분포도를 작성하여 분석한 결과 특히 PDP에 있어서 표시판 정면으로 부터의 RF 대역의 방출 전자파가 많은 것이 발견되었는데, 이것은 주로 발광 픽셀의 방전과 그 구동회로의 과도현상에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

또한, 이 방사 패턴도를 통하여 ELF의 주요 누출 자기장은 주로 전원 트랜스의 누설자속이 그 원인인 것으로 나타났다. 한편, 화면에서 방출하는 방사광에 대한 측정에서는 UVC는 검출되지 않았고, UVB와 UVA의 합성 레벨이 소량 검출되었는데, ACGIH의 기준치와 비교할 때, PDP 형에서는 최대치의 평균이 0.24 %, LCD형에서는 0.4 % 가 되어 이것 역시 충분한 안전 여유도를 지니고 있음을 알 수 있다.

최근, 문제가 되어 있는 광감수성 신경반응, 또는 영상멀미 등과 관시각과의 관계를 실험한 결과에서는 관시각이 60° 인 경우가 30° 인 경우에 비하여 두통, 어지러움 등의 불쾌감을 발생시키는 확률이 30% 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대형 FPD를 시청할 경우의 시청거리의 선정에 주의할 필요가 있음을 시사한 것이라 하겠다.

VI.

결론 및 제언

VI. 결론 및 제언

1. 결 론

본 연구의 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 내렸다.

첫째, 대형 FPD의 누설전자장에 대한 불안은 다분히 심리적인 측면이 있는 것으로 특히 대형화면에서 방사되는 강한 광선과 고속으로 변하는 고정세도의 화상에서 느끼는 임장감이 종래의 CRT형 디스플레이와는 판이한데 따른 것에 기인한다.

이 연구의 주요 결과를 분석해 볼 때 FPD를 포함한 가전기기의 전자장에 대한 작금의 이러한 불안 심리는 정확한 과학적 근거가 없거나 다분히 과장된 내용이 많으며 이것은 WHO를 비롯한 이 분야의 전문가 집단이 최근에 지적한 것과 동일한 결론이다. 다음 제시되는 결과들이 이러한 주장을 뒷받침해준다.

대표적인 대형 PDP 및 LCD형 FPD에 관하여 그 누출 전자파 및 방사광의 주요 발생원을 회로 시스템의 측면에서 측정한 결과, 표시면을 통해서 누출되는 전자파는 PDP형은 발광셀과 방전구동회로의 칩과 배선이 주 발생원이고, LCD형은 표시픽셀 어레이의 배선과 반도체 칩 그리고 백라이트가 주 발생원이 되고 있는 것으로 나타났다. 여기서 PDP의 발광셀 어레이와 LCD의 백라이트는 주로 수 100 KHz~수 10 MHz 범위의 넓은 대역의 RF 방전잡음을 발생하고 PDP의 발광셀과 LCD의 픽셀 구동용 칩과 배선으로 부터는 수 KHz~수 100 KHz 범위의 VLF 대역의 전자파가 방출되었다. 또한, 수 10 Hz 이하의 ELF 성분은 주로 전원 트랜스와 그 주변의 반도체 칩, 트랜스포머 등에서 발생하는 누출 자기장으로 되는 것으로 나타났다. 시판의 대형 FPD 샘플 6 대에 관하여 KS C IEC 62233:2008이 정한 바에 따라 30 cm 거리에서의 누출 전자장 에너지를 측정한 결과, 그 레벨은 모두 ICNIRP RL값 이하인 것으로 나타났다. 누설 전자파가 인체에 미치는 영향을 평가하는 데는 권위 있는 전문기관이 권장하는 기준치와 비교할 필요가 있다. 현재로서는 ICNIRP 가이드라인이 가장 잘 체계화되어 있으며 대다수의 국가가 이 가이드라인을 준용하고 있으므로 FPD도 일차적으로는 이 기준에 따라 안전도를 평가하였다. ICNIRP의 RL값 자체가 상당한 안전율을 두고 설정되어 있는데, 샘플 FPD는 LCD형의 경우 0.69

%, PDP 형에 있어서도 6.7 % 의 안전도여유를 지니고 있어서, 인체에 대해서는 충분한 방호가 이루어져 있음을 알 수 있다. 대형 샘플의 FPD 화면에서는 가시광과 함께 자외선의 방출도 관측이 되었는데, 30 cm에서 측정한 이 레벨도 ICNIRP와 AFGIH의 기준치의 0.1 % 이하의 미량으로서 역시 인체에는 영향을 주지 않는다는 것이 판명되었다. 대형 FPD는 최적 시청거리가 2~5 m 가 되어 있어서 FPD의 경우는 이 거리가 보다 실용적이라 할 수가 있는데 이 거리에 있어서 전자파 레벨을 측정한 결과 거의 환경잡음과 같은 수준으로 감쇄되어 있는 것으로 나타났다.

둘째, 대형 FPD의 제품생산에 대한 지금까지 이상의 엄격한 제한이 필요하다.

FPD의 대형화는 그 만큼 누출 전자파의 강도 증가를 수반하게 됨으로 부품이나 회로 그리고 차폐수단에 있어서 지금까지 이상의 엄격한 제한을 가하지 않으면 현재의 전자파 방호 안전도를 계속 유지하기가 어려워 질 수 있을 것이다. 본 연구의 관시각과 광감수성 반응에 관한 실험 결과 동일한 시청거리에서 FPD의 크기가 2배가 된다면 관시각이 2배로 넓어져서 임장감은 그 만큼 증가하지만, 광감수성 체질의 시청자에게 주는 신경자극이 30 % 증가하여 각종의 생리적 영향을 초래할 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 좁은 시청 장소에서 임장감만을 강조하여 대형 FPD를 시청한다는 것은 신중할 필요가 있다는 것을 의미한다.

셋째, 과학적으로 근거가 있는 현행 방호지침을 사용하여 전자 환경(Electromagnetic Environment)을 관리해 나가면서, 미 확립된 분야의 영향의 가능성에도 주의를 환기하여 예기치 못한 건강피해에 대한 사전 대비가 필요하다.

현시점에서 미지의 현상의 가능성을 과대하게 평하는 것은 건강문제에 극도로 예민한 현대인으로 하여금 지나친 불안을 가지게 하고 결과적으로 생활의 질을 저하시키게 될 우려가 있는 것이 사실이다. 따라서 현 단계에서는 현행 방호지침을 사용하여 전자 환경을 관리해 나가면서, 여러 가지 부정적 영향의 가능성을 열어 두고 사전 예방적 관점에서 위험요소들을 중점적으로 관리해 나갈 필요가 있다.

넷째, 전문가 집단과 행정부서 그리고 일반 대중과의 사이의 신뢰성에 바탕을 둔 위험 커뮤니케이션(Risk Communication)이 필요하다.

위험커뮤니케이션의 첫째 조건은 과학적인 근거에 입각한 정확한 판단을 이해

당사자에게 전달해야 한다는 것이다. 불확실한 사실을 전달하거나 불안해소를 위하여 적절히 호도한다는 것은 이해당사자 간의 불신만 키우는 것이 되며 불안 심리는 결코 제거되지 않는다.

이를 위해서는 아직도 미해명으로 남아있는 비열효과 분야의 각종 사례, 예를 들면 ELF 영역의 미약 자기장에 원인이 있을 것으로 보고되고 있는 유전자이상, 발암 현상, 뇌신경계통이상을 포함하여 특히 근간에 관심사가 되어 있는 소아백혈병의 전자장 관련설 등등을 조속히 해명하여 유효한 방호수단을 발견하는 것이 무엇보다도 중요할 것으로 보여 진다. 최근, 해외각국에서도 이러한 점에 착안하여 전자파 방호에 관련되는 업무는 행정, 기술, 기업으로 각 분야에서 부터 분리된 중립적인 법인을 별도로 설립하여 전담케 함으로서 보다 신뢰받을 수 있는 리스크 커뮤니케이션을 추진하고자 노력해 나가고 있다.

2. 정책 제언

오늘날 전자계를 이용한 기술은 인간생활에 없어서는 안 되는 중요한 위치를 차지하고 있다. 따라서 전자파에 대한 규제는 인체의 건강을 방호할 수 있는 최소한의 수준으로 하는 것이 바람직하며 그것이 전자산업의 발전을 방해하는 방향으로 확대 적용되는 것은 피해 나가야 할 것이다. 여기서는 이 연구의 결과를 토대로 하여 정책제언을 크게 미시적 측면과 거시적 측면으로 나누어 제시하고자 한다.

1) 미시적 측면

첫째, 현행 EMI 규격에 따라 제작된 기기는 거리 30 cm 에서도 ICNIRP의 제한치의 수 퍼센트 이하의 전자기장 밖에는 누출되지 않음으로 인체에 대한 전자파 방호 측면에서 매우 안전하다는 사실을 적극적으로 홍보해야 할 것이다.

둘째, 가능한 한 누출 전자파를 억제할 수 있는 회로구성과 부품의 개량을 통하여 현재의 누출 전자파를 일층 더 억제함으로써 FPD와 같은 장시간의 반복노출이 일상화되어 있는 기제에 대해서 보다 높은 안전 여유도를 지니도록 해야 할 것이다.

셋째, 미약 전자계, 특히 ELF 영역에 있어서 자계에 장시간 반복 노출된 경우에 대한 동물 및 임상시험을 장기계획을 세워 실시하여 지금까지 찬, 반 양론이 있는 발암성, 불임증 등을 포함한 만성질환에 대한 전자계의 분명한 상관관계를 밝혀 나가야 할 것이다. 특히, 전자파 과민성 체질이 호소하는 전자파 멀미, VDT 증후군 등 각종 신경증세가 전자파에 의한 생체 효과와는 무관하다는 근거를 보다 구체적인 공중실험을 통해 밝힐 필요가 있다.

넷째, 광과민성 체질에 미치는 영상 콘텐츠의 특성을 보다 광범위한 공중실험을 통해 객관적으로 밝히고 그것을 차단하는 방법을 개발해 나가야 할 것이다.

다섯째, FPD의 시청법을 보다 적극적으로 홍보 지도하여 사실과 유리된 전자파 공포증을 제거하는 동시에 과장된 내용을 시정해야 할 것이다. 이 과정에서 유아 및 아동, 환자를 대상으로 하는 유아원, 초등학교, 병원 등의 환경 민감시설인 정온 시설에 대해서는 별도의 엄격한 기준을 설정하여 적용시킬 필요가 있다.

2) 거시적 측면

FPD는 본 연구결과에서 나타난 바와 같이 누출 전자장이 극히 미량에 지나지 않으며, 인체에 대해서는 거의 영향을 미치지 않는 수준임을 확인하였으나 향후 전자장의 인체영향에 관한 후속되는 연구결과에 따라 지속적으로 정보공시와 기준제정 등 기술 위험관리가 이루어져야 할 것이다. 이러한 측면에서 거시적 측면의 제언을 하고자 한다.

첫째, 위험커뮤니케이션의 강화가 필요하다.

지금까지 정부는 기술위험에 대한 외부적 문제 제기가 없는 한 중요한 요소로 고려하지 않고 있다. 이러한 폐쇄성은 기술위험과 관련한 갈등이 발생할 경우 갈등이 쉽게 해결되지 못하게 하는 이유가 되는 경우가 많다. 따라서 이러한 문제를 해소하기 위해서는 전문가, 행정 그리고 일반 대중 등 관련 이해관계자를 적극적으로 참여시키는 위험커뮤니케이션의 강화가 필요하다. 기술위험에 대한 대응과정에서의 소극적 대응은 기술 갈등을 부추길 수 있다는 점에서 문제를 공개하고 설득할 수

있으며 이런 문제를 각 이해당사자들의 오해를 받지 않고 공정히 취급할 수 있는 중립적인 전달기관을 설치하는 것도 좋은 방안의 하나일 것이다.

둘째, 사회적 합의의 과정을 통해 적절한 수준에서 위험을 관리함으로써 기회비용의 손실이나 치명적 결과를 회피하는 노력이 필요하다.

전자장은 인간의 감각으로는 감지하지 못하는 환경 호르몬과 같은 성격을 지니고 있다. 따라서 일반 대중이 노출량을 인지하지 못할 뿐 아니라 그 영향은 일정 기간 후에 나타난다는 사실에 민감한 것이 이러한 불안 심리의 원인으로 볼 수 있다. 위험에 대한 시민단체의 주장은 예방 선호 심리가 작용함으로써 과도한 사전적 규제를 주장하는 것일 수도 있으며 이 경우 기회 손실이 발생할 가능성도 있다. 전자파의 무해성이 완전히 입증되지 않은 상황에서 위험의 가능성을 전면적으로 부인하고 위험이 없다는 전제하에서 기술위험에 접근하는 정부의 대응은 더 큰 문제를 초래할 수도 있다. 근본적으로 위험의 발생 가능성과 결과를 완전히 예측할 수 없는 상황에서는 과학적 지식만으로는 논란을 해결할 수 없다. 이러한 논란을 종식시키기 위해서는 사회적 합의의 과정을 통해 적절한 수준에서 위험을 관리함으로써 기회비용의 손실이나 치명적 결과를 회피하는 노력이 필요하다. 이것은 비단 FPD에 국한되는 문제가 아니며 모든 전기전자 관련 기기에 공통된 과제이기도 하지만 현 사회가 전기에너지와 정보기술위에 성립되고 있다고 본다면 전자파에 관한 불안 심리는 산업사회는 물론이고 인간생활 자체를 위협하는 요소로 발전될 수도 있기 때문에 시급한 대책이 필요한 시점으로 본다.

셋째, 성장 혹은 경제발전과 안전을 정책목표, 수단의 각 수준에서 통합하는 정책 통합적 관점이 필요하다.

기술위험에 대한 일반대중과 정부의 인식과 접근에는 뚜렷한 차이가 존재하며 이것은 지속적인 기술위험 갈등의 원인이 될 수 있다. 일반대중은 기술위험이 사전적으로 통제되어야 할 것으로 보는 반면 정부는 산업계와 같이 기술개발의 불가피한 부수적 산물로만 이해하는 관점을 유지하고 있다. 기술위험에 대한 인식의 괴리가 지속되는 경우 기술위험을 둘러싼 갈등이 지속되고 갈등이 지속되는 과정에서 기술위험이 과장되거나 과소평가됨으로써 위험관리에 실패할 가능성이 있다. 따라서 산업의 육성발전과 전자파에 의한 기술위험으로부터의 안전이라는 목표가 상충되지

않도록 정책 통합적 차원에서 정부가 기술위험을 적절하게 평가하고 관리함으로써 위험이 축적되고 배양될 가능성을 사전에 차단할 필요가 있다.

넷째, 기술위험에 대한 사전 예방적 관점의 도입이 필요하다.

기술의 수준이 높아질수록 복잡성은 높아지고 높아진 복잡성으로 인해 기술의 불확실성도 높아진다. 기술의 불확실성이 높아짐에 따라 기술위험의 가능성도 높아지지만 기술위험에 대한 대응과 관리는 여전히 시행착오적 전략을 유지하고 있다. 기술위험관리 전략이 시행착오를 허용하고 문제가 발생했을 때 사후적으로 대처하는 시행착오적 전략을 유지하는 경우 보다 큰 비용손실을 발생시킬 가능성이 높다는 점에서 사전적인 예방적 접근의 도입이 필요하다.

다섯째, 다각적인 조사 연구가 필요하다.

우리나라에서는 초저주파 자기장 노출에 대한 연구가 아주 미약하므로 다른 선진국처럼 초저주파 자기장 노출에 대한 인체 위험성을 밝히기 위한 통계학적인 관련성을 추론하는 역학적 연구, 자원자 연구 등의 다각적인 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 또한 아직은 규명되지 않는 부분이 많은 초저주파수 자장의 비열효과에 관해서도 보다 적극적인 조사 연구를 통하여 항간에 유포되고 있는 각종의 전자장 원인설을 조속히 불식시켜 나가야 할 것이다.

참고문헌

참고문헌

- 1) 임헌용 et al, “42인치 AC-PDP 의 방사특성에 관한 연구”, 한국전자과학회논문지 , Vol 15, No.9, pp841-847, 2004. 9
- 2) 강종구 et al, “PDP 시스템의 EMI 예측을 위한 회로 모델링 및 실험적 검증”, 전자공학회 논문지, Vol. 39, SD No.2, pp127-132
- 3) Yasuhiro Shiraki et al, “EMI Noise Analysis of Plasma Display” Report Electromagnetic Compatibility, 1999 International Symposium on EMC, pp766-769, May, 1999
- 4) Jin Shi, et al, “A Study of Platform EMI from LCD Panels Electromagnetic Compatibility”, 2006 IEEE International Symposium on EMC, , Vol. 3, pp626-631, 18 Aug. 2006
- 5) Do-wan Km, “Chip level EMI approach for LCD TV panels Electromagnetic Compatibility”, 2007., EMC 2007., IEEE International Symposium on EMC, pp9-13, July 2007
- 6) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields”, Health Phys., 74, pp494-522., 1998
- 7) 정보통신부고시 제 2000-91호 “전자파인체보호기준“, 2000.12.15
- 8) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines on limit of exposure to broad-band incoherent optical radiation(0.38-3 μm)”
- 9) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields”, Health Phys., 74, pp494-522., 1998
- 10) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection., “General

- approach to protection against non-ionizing radiation.” Health Physics, 82(4), pp540-548., 2002
- 11) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidance on determining compliance of exposure to pulsed fields and complex non-sinusoidal waveform below 100 KHz with ICNIRP guidelines” Health Physics, 84 (3), pp383-387., 2003
 - 12) 일본 국립환경연구소 발간, “생활환경 주전자계에 관련 되는 조사업무” 연구보고서, pp47, 평성17년3월
 - 13) 가전제품의 전자파검토 워킹그룹 보고서, “가전제품에서 발생하는 전자파의 측정(10 KHz~400 KHz)”,일본 가전협회 발간, 평성19년
 - 14) Hugh R. Taylor, et al, “The long term effect of visible light on the eye” Arch Ophthalmol, 1992, 110, pp 99-104
 - 15) Taylor, “Biological effect of UV-B on the eye”, Photochem. and Photobio., Vol.50, pp 489-492
 - 16) ANSI, “Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 300 KHz to 300 GHz”, ANSI standard, C95.1-1932
 - 17) ICNIRP, “Guidelines on limits of exposure to ultra violet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm(Incoherent radiation”, 1996
 - 18) Danno K., Horio T., Photochemi. Protobiol, 45, 683-690 1987
 - 19) Urback F., Epstein J., “Ultraviolet Carcinogenesis: Experimental Global and Genital Aspect” Tokyo Uni Press, 1974, pp 259-283
 - 20) Kripke M. L., Fisher M.S., 4. Natl. Cancer Inst., 57, 211-215, 1976
 - 21) Mueller-Breitenkamp, U. Hochkin O., Siekmann H., “UV-induzierte Pathologie des menschlichen Auges”, 31. Jahrestagung des Fachverbandes fur Strahlen shuts, Koln, Tagungsband, s.149-156. TUV-Verlag, Koln, 1999

- 22) Yoshimura, “Document Review of Menopausal Disorders and VDT Syndrome”, Bull. Kochi Gakuen Collee 38, pp45-56, 2008
- 23) Ishihara, et al, “A very low level of magnetic field does not affect a partipants mentalfatigue and stress as much as VDT works”, J. UOEH, 27 1, pp25-40, 2005
- 24) 다미사키, et al, “눈 피로 감소시키는 플릭커 방지책”, 상위지, Vol. 47., 2005
- 25) Public Informationon Eye Health, “Video Display Terminals (VDT) and Eye Health”, New Zealand College of Ophthalmologists, 2005. 10
- 26) “애니메이션 등의 영상수법에 관한 고시” 일본방송협회(사)일본민간방송연맹, 2006. 4. 1
- 27) “Viewing conditions for the subjective assessment of HDTV image quality”, Rec. ITU-R BT.710-4
- 28) Narita, et al, “고정세도 대화면 영상의 관상에 적합한 화면 사이즈와 시청거리 에 관한 고찰” 일본 영상미디어학회지, Vol. 55, No 5, pp.773-780, 2001
- 29) Satoru Kubota, et al, “Television viewing distance of children”, J. Image Information Media of Japan,Vol. 61, No.2 pp. 234-236
- 30) “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields(up to 300 GHz)”, Publication, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
- 31) 일본국 환경성 “생활환경 중 전자계에 관한 조사업무보고서” 2007. 3
- 32) Justesen, “Behavior and psychological effect of microwave radiation”, Bull, N.Y. Acad, Med., 55, pp1058-1078, 1979
- 33) Michaelson, “The tri-service program attribute to George M Knauf”, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., MTT-19, pp 131-146, 1971

- 34) Andrea, et al, "Behavioral and thermal effects of microwave radiation at resonant and non resonant wave length", Radio Science, 12, pp 251-256, 1977
- 35) Andrea, et al, "Physiological and behavioral effect of prolonged exposure to 915 MHz microwaves", Journal of Microwave Power, 15, pp123-125, 1980
- 36) Justesen, "Behavior and psychological effect of microwave radiation" ,Bull, N.Y. Acad, Med., 55, pp1058-1078, 1979
- 37) "직장에 있어서의 전자 환경에 관한 조사교육위원회 중간보고서", 일본 중앙노동재해방지협회, (1988)
- 38) Adey, "Frequency and power windowing in tissue interaction with weak electromagnetic field", Proc. IEEE, 68, pp 119-125, 1980
- 39) Joines et al, "Power density, field intensity and carrier frequency determinants of RF energy induced calcium ion efflux in brain tissue" Bioelectromagnetics, 1, pp 271-275, 1980
- 40) Blackman et al, "Calcium ion efflux in brain tissue by radio frequency radiation", Biological Effect of Nonionizing Radiation, American Chemical Society, Wash. DC. pp 229-314, 1981
- 41) Lin-Liu, "Low frequency amplitude modulated microwave field change calcium efflux rates from synaptosomes", Bioelectromagnetics, 3. pp 309-322, 1982
- 42) Dixey et al, "H-Noradrenaline release potentiated in a clonal nerve cell line y low-intensity pulsed magnetic fields", Natur, 296, pp 253-256, 1982
- 43) Stivenson et al. "Potassium ion influx measurements on cultured chinese hamster cells exposed to 60 Hz electromagnetic field", J. Exp, Zool, 209, pp 115-128, 1979
- 44) Adey, "Frequency and power windowing in tissue interaction with weak

- electromagnetic field", Proc. IEEE, 68, pp 119-125, 1980
- 45) Addy et al, "Tissue interaction with nonionizing electromagnetic field", Physiol. Review, 61, pp 435-514, 1981
 - 46) Edidin et al, "Defusion rate of cell surface antigens of mouse human heterokaryons II Effect of membrane potential on lateral diffusion", J. Cell Biol, 75, pp 483-489, 1977
 - 47) Jaffe et al, "Neurites grow faster toward the cathode than anode in a steady field", J. Exp. Zool, 209. pp 115-128, 1979
 - 48) Patel, "Orientation of neurite growth by extra cellular electric field", J. Neurosci 2, pp 483-496, 1982
 - 49) Steneck, et al, "The microwave devate", The MIT Press, pp92-116, 1984
 - 50) Foster, "The Microwave problem", Sci. Amer. 255-3, pp 28-35, 1984
 - 51) Sevastyanova, L.A and Dodds, D.D., "A study of effect of millimeter band microwave on the bone marrow of mice", uss. Fiz Nauk, 110, pp 456-458, 1974
 - 52) Kremer F., Koshnitzke L., "The non thermal effect of millimeter wave radiation on the puffing of giant chromosomes", Springer Verlag, Berlin-New York, pp 10-20, 1983
 - 53) Devyatkov, N.D. "Influence of millimeter band electromagnetic radiation on biological object", uss. FizNauk., 110, pp 452-455, 1973
 - 54) Web, S. J., "Inhibition of bacterial cell growth by 136 GHz microwave", Nature, 218. pp 374-375, 1968
 - 55) Frolich, "Evidence for coherent excitation in biological system", Int.J. Quantum Chem., 23 pp, 589-595, 1983

- 56) "Gefährdung der Augen durch optische strahlung", Gefährdung der Augen, Ausgabe, pp 3-7, 07/2002
- 57) "Protecting Workers from Ultraviolet Radiation", ICNIRP, 14/2007
- 58) Sichtbare und Infrarote Strahlung, "Leitfaden des Fachverbandes für Strahleschutz" Hrsg. Berufsgenossenschaft der Elektrotechnik und Feinmechanik, Köln, 1999
- 59) Takahashi et al, "Wavelength dependency of photoparoxysmal responses in photosensitive nonepileptic subjects", Tohoku J., Exp Med., No.181 311-319, 1997
- 60) Takahashi Y, Fujiwara T, Yagi K, Seino M. "Photosensitive epilepsies and pathophysiological mechanisms of photoparoxysmal response." Neurology, 53, 926-932, 1999
- 61) 일본특허 공개, 2001-166130
- 62) 일본특허 공개, 2007-194741
- 63) J.M Osepchuk et al, "RF exposure standard and international committee on electromagnetic safety(ICES)", Bioelectromagnetics, 6 S7-S16, 2006
- 64) ANSI, "Safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 300 KHz to 300 GHz", ANSI standard, C95.1-1992
- 65) ICNIRP, "Guidelines on limiting of exposure to static magnetic fields", Health Phys., 66(1)100-106, 1994
- 66) ICNIRP, "Guidelines for limiting of exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields" Health Phys., 74, 494-522, 1998
- 67) 일본 국립환경연구소 발간, "생활환경 주전자계에 관련되는 조사업무", 연구보고서, pp47,平成17년 3월
- 68) 가전제품의 전자파검토 워킹그룹 보고서, "가전제품에서 발생하는 전자파의 측

정(10 KHz~400 KHz)”일본 가전협회 발간, 평성19년

- 69) Leeka Kheifets, “The sensitivity of children to electromagnetic field.” Pediatrics. 116, Supplement 303-313, 2005
- 70) Caban-Holt A, “Neurodegenerative memory disorders: a potential role of environmental toxins.” Neurologic Clinics, Vol 26 Issue 1, 165-189, 2005
- 71) Beniashvili D, “Household electromagnetic fields and breast cancer in elderly women.”, suppl 7: 69-74, 2005
- 72) Maria Feychting, “EMF AND HEALTH” Annual Review of Public Health, Vol 26 Issue 1: 165-189, 2005
- 73) Santangelo L, “Magnetic field exposure and arrhythmic risk: evaluation in railway drivers.”, International Archives of Occupational and Environmental Health, vol. 78 (4), 337-341, 2005
- 74) Maria Feychting, “Non-cancer EMF effects related to children”, Bioelectromagnetics., suppl 7, 69-74, 2005
- 75) Saito “Possible health risks due to EMF from computer monitors”, JSEI, pp. 30-35
- 76) 장태현 et al, “PDP TV의 EMC 기술 기준 동향”, 한국전자과학회지, Vol. 20 No. 1, 2009
- 77) Kawahara et al, “Magnetic Shielding for LF/VLF Magnetic Field” Papers of Technical Meeting on Magnetics, IEE Japan, Vol. MAG-06, NO.66-73, pp.1-6, 2006
- 78) Thomas, A.K., “Magnetic Shielded Enclosure Design in the DC and VLF Region” Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on, EMC-10, pp.142-152
- 79) Chang-Woo Ko, et al, “EMI Analysis of the LCD panel Considering the

Display Driver IC Operations”

- 80) Yasuhiro Shiraki, “EMI Noise Analysis of Plasma Display Panels” In Vivo, 19(3),pp 533-536, 2005;

연구 자문진

채 한 부산대학교 한의학전문대학원 · 교수

왕수건 부산대학교 의학전문대학원 · 교수

엄일규 부산대학교 전자전기공학부 · 교수

조관복 방송통신위원회 전파방송관리과 · 서기관

Chiyoji Ohkubo, Japan EMF Information Center · Director

Yamanaka Yukio, Japan NICT · Electromagnetic Compatibility Group Leader

Nikoly Ivanov, Russia Irkutsk Technical University Applied Physics · Professor

대형 영상장치와 인체 영향과의 상관성 연구

발 행 일 2009년 10월 (비매품)

발 행 인 최 시 중

발 행 처 방송통신위원회

서울특별시 종로구 세종로 20 (세종로100지) 방송통신위원회

대표전화 : 02-750-1114

E-mail : webmaster@kcc.go.kr

Homepage : www.kcc.go.kr

인 쇄 처 효성문화사
