

3세대에 걸친 60Hz 전자파 노출이 마우스에 미치는 영향

김윤원, 이진상, 장인애, 최영희, 강성하, 정경천, 김윤명*, 조민기

한림대학교 의과학연구소, 단국대학교 전자공학과*

요 약

최근까지 동물 또는 사람이 극저주파 전자기장에 평생 또는 여러 세대에 걸쳐 노출되었을 경우, 나타나는 생체영향에 관한 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 마우스에 60Hz 전자파를 1세대부터 3세대까지 지속적으로 노출시켜 나타나는 영향을 실험하였다. 실험동물은 5주령인 BALB/c 마우스를 1주일간 적응시킨 후 사용하였다. 실험군은 5kV/m, 30kV/m, 0.5mT 그리고 1.5mT의 4개 군으로 나누었으며, 대조군은 1군으로 실험하였다. 생후 6주부터는 위에서 정해진 양의 전자파를 20-22주간 지속적으로 실험동물에 조사하고 동일조건의 암수 마우스를 교미시켰으며, 임신 후에도 사망 또는 부검시까지 동일한 조건으로 계속 조사하였다. 2세대와 3세대는 임신전부터 사망 또는 부검시까지 동일한 조건으로 계속 조사하였다. 1, 2 그리고 3세대 마우스들은 질병에 의한 사망 직전 또는 생후 46주, 66주 그리고 생후 49주에 부검한 뒤, 혈액학적 및 생화학적 검사 그리고 조직병리학적 검사를 실시하였다.

2세대 태아에서는 조기사망(early fetal death), 성장기사망(late fetal death) 그리고 뇌노출(exencephaly) 및 선천성 심장기형을 포함하는 선천이상이 발견되었는데, 이는 대조군에 비해 2-4배 높았다. 1, 2세대에서는 생식기인 고환(testis)과 난소(ovary)의 무게가 감소하였으나, 3세대에서는 아무런 변화를 보이지 않았다. 실험군인 30kV/m, 0.5mT 그리고 1.5mT 전자파에 노출된 1세대와 2세대 마우스에서는 프종

(lymphoma), 선암종(adenocarcinoma), 기저상피세포종(basal cell epithelioma), 편평상피유두종(squamous papilloma) 그리고 선종(adenoma) 등이 발견되었으나, 3세대에서는 발견되지 않았다.

60Hz 전자파는 태아 및 생식기에 영향을 미치고, 또한 종양을 유발할 가능성이 있다. 그러나 3세대는 전자파 환경에 점차 적응을 하는 것으로 보인다. 그러나 몇몇 국제기구에서 정하여 놓은 안전한계치의 전자파가 생체에 장기간 노출되었을 경우에 나타날 수 있는 생체영향을 확인하기 위해서는 많은 연구가 필요하다.

I. 서 론

최근 전자파 응용기기의 보급이 급격히 늘어나고 있어 이 분야의 종사자들 뿐만 아니고 일반인에게도 전자파에 노출되는 기회가 많아지고 있다. 모든 방사선은 생체조직에 대하여 정도의 차이는 있으나 여러가지 기능장애를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 수 GHz 이하의 산업용 전자파에도 과도히 노출되는 경우 소위 전자파증후군이라 불리는 병변을 일으킨다. 그 중에는 전자레인지의 누설 전자파가 백내장이나 유방암을 유발한다는 보고가 있고, 휴대전화기의 송신 전자파가 뇌종양, 백혈병 등의 원인이 될 수 있다는 연구결과도 나와 있으며, 그 밖에도 전자파로 인한 고혈압, 두통, 기억감퇴 등도 다수 보고되고 있다^[1,2,3].

Löcher와 Liburdy^[8]는 50/60Hz의 ELF (extremely low frequency)의 자기장조건이 발암인자로서의 가능성을 제시하였으며, Huuskonen 등^[9]은 ELF와 VLF(very low frequency)의 자기장조건에서 기형 및 생식능력에 영향을 줄 수 있다는 견해를 내놓았다. 최근에는 EMF에 노출되었을 때 DNA의 구조가 깨지면서 염색체에 변이를 일으킬 수 있는 유전자변이가 주요원인이라는 주장^[4,10]도 나오고 있으나, 아직까지 많은 사람들의 의견이 엇갈리고 있는 실정이다.

우리나라에서는 80년대부터 전자기장에 대한 인체 유무해 논쟁이 시작되었으며, 전자기장에 의한 인체 노출 영향에는 열적효과(전자파가 인체에 흡수될 경우 체온이 상승하는 효과)와 비열효과(전자파가 인체에 흡수될 경우 나타나는 체온 상승 이외의 효과)가 있는데, 이러한 전자기장의 인체노출 효과에 대하여 국민들의 관심도 높아져 이에 관련한 민원이 해마다 증가하고 있는 실정이다.

최근에는 다양한 통신 기기의 사용이 급증하면서, 전자파가 인체나 생체에 미치는 영향의 유해 여부에 관한 논의가 활발히 전개되고 있으며, 주로 공학자들에 의하여 전자기장의 인체안전기준 제정작업이 완료단계에 있다.

국내의 전자기장 관련 업무로는 외국문헌을 통한 조사연구, 일부 환경(송전선로 주변, 방송 송신소 등) 측정 그리고 수 건의 동물실험을 수행하였다. 이중 동물실험은 아직 초보단계에 있으며, 전자파에 의한 인체 연구는 없고 사례 및 장해원인에 대한 철저한 분석과 대책이 아직 없는 상황이다. 일본에서는 이러한 전문가가 국립환경연구소를 중심으로 활성화 되고 있다. 여러 전자 기기와 전력장치에서 발생하는 전자파에 의한 영향이 무엇인지, 어떻게 인체에 영향을 주는지에 대한 관심이 고조되고 있어서 이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 세계보건기구인 WHO에서도 1996년부터 전자파의 유해성에 관심을 가져, 각국의 연구를 토대로 2005년에 전자파의 안전권고치를 마련할 계획이다. 여기에는 국제암연구기관

(IARC) 및 미국, 일본 등이 참여중이다.

국내의 경우 1996년 전자장생체관계연구회의 발족을 시작으로 주로 공학자들에 의하여 체계적인 연구를 수행해 오고 있었으나, 의학자들에 의한 전자파의 생체에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 극도로 미미한 실정이다. 이는 국내에서도 전자파 피해에 대한 일반인들의 관심이 높아지고 있는 점을 감안할 때, 상당히 때늦은 바이다. 날로 악화되고 있는 전자파 환경으로부터 인체를 보호하고, 전자파에 대한 오해와 불안으로부터 야기될 수 있는 정신적 피해를 사전에 예방하기 위해서, 전자파 안전에 대한 국제동향을 파악하고 선천성 기형의 발생이나, 유산의 증가, 백혈병과 같은 종양의 발생 등, 인체에 대한 피해의 유무를 파악하는 것이 절실히 요구된다.

최근까지 ELF 전자기장을 평생 또는 세대를 거쳐가면서 노출시켰을 때 나타나는 사람 또는 동물의 건강효과에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 60Hz 전자파가 생체에 미치는 현상을 마우스에서 3세대에 걸쳐 장기간 계속 조사하면서 혈액학적 및 생화학적 그리고 해부학적 및 병리조직학적으로 연구하였다. 여기에서 국내 일반 전자파환경 중 최고수준보다 10배 이상 또는 한국전자과학회 인체보호기준안보다 5배 이상의 전자기장에서 1, 2세대에서는 여러 가지 질환과 종양 그리고 기관의 위축이 관찰되었으나 3세대에서는 유의할 만한 이상이 거의 없었다.

참고로 마우스의 수명은 2년 내외이고 임신기간은 약 20일이다. 한국전자과학회의 일반인 전자기장 노출에 대한 인체보호기준안은 최근의 ICNIRP 기준을 참고하여 전기장 4.2kV/m, 자기장 83.3 μ T(833mG)이다. 또한 한국전력 자체 설계기준은 전기장 3.5kV/m이고, 자기장 100 μ T(1G)이다. 그러나 실제 한국전력이 공사한 고압선 아래 또는 변전소 주변 등 전자파가 많이 나오는 곳 중 일반인이 비교적 쉽게 접근할 수 있는 전자파환경의 최고 수준은 전기장 3kV/m, 자기장 13 μ T(130mG)으로 알려져 있다.

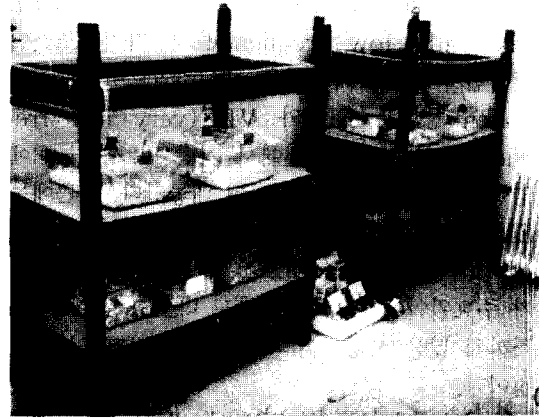
II. 방 법

1. 전자파 조사

전자파가 마우스의 성장, 임신 그리고 노화에 미치는 영향을 조사하기 위하여, BALB/c 마우스를 대상으로 실험 하였다. 전력선 주파수(60Hz)에서 전기장은 1997년 IRPA(국제 방사선 보호 협회)/ICNIRP(국제 비전리방사선 보호위원회)의 일반인 종일 노출 안전한계치인 5kV/m와 직업인 단기간 노출 안전 한계치인 30kV/m의 2군으로 나누었고, 자기장은 직업인 종일 노출시 IRPA의 기준치인 0.5mT(5G)와 CENELEC(전기기술 표준화 유럽위원회)의 기준치인 1.5 mT(15G)의 2군으로 나누어 대조군과 함께 전자장 환경을 매일 24시간 동안 계속 유지시켰다^[5,6,7,11](〈그림 1〉, 〈그림 2〉). 전자파 실험에 적합한 비금속성 특수사육통을 제작한 후, 마우스를 넣고 키우면서 생후 6주부터 일정 수준의 전자파를 20-22주간 지속적으로 실험동물에 조사하고 동일조건인 암수 마우스를 교미시켰으며, 임신 후에도 동일한 조건으로 계속 조사하였다. 출산 후에도 부모(1 및 2세대)마우스와 그 새끼(2 및 3세대)마우스들에게 동일한 조건으로 조사하였다. 1, 2세대 및 3세대에서 질병이 발생한 마우스는 사망하기 직전에 바로 부검하였으며, 외관상 특별한 질병이 없이 노화된 1, 2 및 3세대는 생후 46주, 66주 그리고 생후 49주에 부검하



〈그림 1〉 전기장 실험장치



〈그림 2〉 자기장 실험장치

였다.

2. 마우스의 제왕절개 및 태아의 상황 관측

임신 후 17-19일째에 일부 어미 마우스는 제왕절개 되었다. 자연분만시, 어미들은 태반과 건강하지 않은 새끼들을 먹어치우고, 건강한 새끼들만 남기므로 전자장에 의한 비정상 태아 검사를 위한 바른 통계를 얻을 수 없다. 따라서 비정상 태아 통계를 얻기 위하여 자연분만을 하기 전에 마우스의 자궁을 절개하여 태아의 상황을 관측하였다.

3. 태아의 고정 및 기형의 검토

제왕절개를 한 후 기형 등 이상이 발견된 태아는, 즉시 2.5% glutaraldehyde 또는 10% formalin 용액으로 micro-needle을 사용하여 내부혈관을 wash-out 및 고정하고 그 태아를 10% formalin에 넣어 고정시켰다^[12,13]. 조직학적 측면에서는 연속절편을 하여 내부구조의 이상과 세포사 등을 검토 하였다^[12,13].

4. 마우스의 건강상태 및 종양발생 여부의 조사

각 조건의 전자파에 노출된 마우스의 건강상태는 2일에 한번씩 검사하였고, 사육도중 사망한 마우스는 부검을 실시하여 사망원인을 조사하였다. 외관상으로 큰 종양이 발견된 마우스는 사망하기 직전에 바로 부검하고 특별한 소견이 없는

경우에는 1, 2 그리고 3세대를 각각 생후 46주, 66주 그리고 49주에 부검하여 육안 관찰하여 종양발생 여부를 조사하였다. 육안적으로 의심되는 종양은 절편을 만든 뒤 통상적인 Hematoxylin & Eosin 염색하고 현미경으로 관찰하여 종양의 종류를 판별하였다.

5. 장기 계측 및 병리조직학적 검사

장기간 전자파에 노출된 마우스를 부검하여 해부학적인 관찰을 하고 난 후, 각 조직(비장, spleen ; 신장, kidney ; 간, liver ; 흉선, thymus ; 심장, heart ; 폐, lung ; 난소, ovary ; 고환, testis ; 뇌, brain ; 부신, adrenal gland)을 연속절편한 뒤, 통상적인 Hematoxylin & Eosin 염색하고 현미경으로 관찰하였다.

6. 혈액학적 및 생화학특징 조사

장기간 전자파에 노출된 마우스에게서 채혈된 혈액을 5배 희석하여 혈액학적 검사는 자동혈액 분석기를 이용하였고 생화학적 검사는 자동화학 분석기를 이용하여 시행하였다. 혈액학적 검사로는 적혈구수(RBC), 헤모글로빈량(Hgb), 적혈구량(HCT), 혈소판수(Plt), 백혈구수(WBC) 등을 측정하였다. 생화학적 검사로는 당뇨병과 관련되는 포도당(GLU), 신장기능과 관련있는 우레아 나이트로젠(BUN), 혈관질환과 관련되는 콜레스테롤(CHO), 간기능과 관련되는 GOT

및 GPT를 측정하였다.

III. 결 과

1. 성장부터 임신까지 조사된 마우스에서 태어난 태아의 이상율

전자파가 조사된 어미의 임신율은 70%에서 100%를 나타냈고 대조군은 75%로, 유의한 차이가 없었다(<표 1>). 태아의 이상율은 5kV/m에서 10.0%, 30kV/m에서 15.2%, 0.5mT에서 20.3% 그리고 1.5mT에서 14.3%로 대조군 5.3%에 비해 1.9-3.8배 높았다(<표 1>). 즉, 전자기장에 노출되었을 경우에 임신율에는 별다른 차이를 보이지는 않았으나, 태아의 이상율이 증가될 수 있음을 시사한다.

2. 성장부터 임신까지 조사된 마우스에서 태아의 사망과 선천이상

태아에 나타난 이상의 종류를 살펴보면, 조기 사망(외관상으로 눈이 발견되기 전인 임신 11일 까지의 사망), 성장기 사망, 그리고 구개열(cleft palate), 뇌노출(exencephaly)과 골격이상의 기형을 유도하였다. 특히 0.5mT는 조기사망을 유도하는데 비해 1.5mT와 30kV/m는 성장기 사망과 여러 종류의 기형을 유도하였다(P<0.05) (<표 2>).

<표 1> 60Hz의 전자파가 조사된 마우스의 임신율과 태아의 이상율

	태아의 이상유무 ^a					임신여부		
	어미	정상새끼	이상새끼	총새끼	이상율 (%)	유	무	임신율 (%)
5kV/m	1 ^b	9 ^b	1 ^b	10 ^b	10	7 ^b	3 ^b	70
30kV/m	3	28	5	33	15.2	8	0	100
0.5mT	5	43	11	54	20.3	11	1	91.7
1.5mT	5	48	8	56	14.3	11	0	100
대조군	2	18	1	19	5.3	6	2	75

a. 제왕절개는 어미의 자연분만이 이루어지기 1-3일 전에 하였음
 b. 어미 또는 새끼의 숫자

〈표 2〉 60Hz의 전자파가 조사된 마우스의 태아에서 나타나는 육안적 이상소견

	조기사망	성장기사망	구개열	뇌노출	골격이상
5kV/m		1			
30kV/m		1			4
0.5mT	10			1	
1.5mT	4	2	1		1
대조군	1				
합계	15	4	1	1	5

일부 조기 사망한 태아의 심장에서 단심실(single ventricle)이 발견되었고, 작은 심실과 심근육의 비대, 변성 및 불규칙배열이 발견되었다. 대동맥관(aortic valve)과 폐동맥관(pulmonary valve) 부위에서 심장 판막의 태생기 조직인 endocardial cushion의 소결절형성(nodule formation)이 발견되었다. 심실과 심방에 울혈(diffuse congestion)이 있었다. 폐에서는 울혈(congestion)과 출혈이 나타났다(data not shown).

이상의 결과는 0.5mT는 태아의 착상전기 및 기관형성기에 영향을 주는 것 같고, 1.5mT와 30kV/m는 태아의 성장기에 영향을 주는 것 같다.

3. 전자파 환경에서 노화된 마우스의 해부학적 및 조직병리학적 특징

생후 6주부터 평균 주령 46주까지 전자파에 노출된 1세대 마우스와 임신전부터 지속적으로 전자파에 노출된 1세대 어미 마우스의 배속에서부터 전자파의 영향을 받은 평균주령 66주의 2세대 마우스, 그리고 임신전부터 평균 49주까지 전자파에 노출된 3세대 마우스를 부검하여 형태학적인 변화를 조사하였다. 대조군으로는 전자파 노출을 제외하고는 실험군과 동일한 조건에서 사육되고 임신 및 출산된 1세대, 2세대 그리고 3세대 마우스를 전자파조사군과 비교하였다.

전자파가 마우스 각 장기 발달에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각각 장기의 무게를 측정하

〈표 3〉 60Hz 전자파에 노출된 암컷마우스들의 장기별 무게 성적

	5kV/m			30kV/m			0.5mT			1.5mT			Control
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
BW(g)	26.9	27.4	27.8	27.6	26.4	30.9	28.6	29.4	26.7	27.3	28.3	27.7	25.1
Sp(mg)	320.0	295.5	310.8	320.0	333.3	301.9	382.0	525.5	327.9	294.0	356.8	339.1	328.5
Kd(mg)	357.0	349.5	401.5	367.0	365.7	398.9	403.0	412.0	338.4	388.0	415.2	391.1	360.4
Li(g)	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4	1.3	1.5	2.0	1.3	1.4	1.4	1.2	1.2
Th(mg)	27.7	33.5	36.2	26.7	29.3	39.3	28.8	35.5	61.1	28.8	43.6	49.3	36.0
Ht(mg)	145.0	141.0	128.3	144.0	163.0	142.9	145.0	184.5	123.7	160.0	144.4	144.1	131.2
Lu(mg)	180.0	236.0	206.6	192.0	207.7	218.3	187.0	230.5	221.4	312.0	203.0	217.3	283.9
Ov(mg)	15.3	9.5	44.2	11.7	19.0	31.3	16.7	25.0	30.9	15.4	30.0	119.0	34.3
Br(mg)	448.0	491.0	457.8	477.0	488.0	500.5	452.0	409.0	469.5	466.0	480.0	465.0	472.5
AG(mg)	10.1	7.5	8.4	10.1	8.3	8.9	9.1	10.0	8.4	9.2	7.8	7.5	7.6

BW(body weight, 몸무게, g), Sp(spleen, 비장, mg), Kd(kidnies, 콩팥, mg), Li(liver, 간, g), Th(thymusis, 흉선, mg), Ht(heart, 심장, mg), Lu(lungs, 폐, mg), Ov(ovaries, 난소, mg), Ts(testes, 고환, mg), Br(brain, 뇌, mg), AG(adrenal glands, 부신, mg)

〈표 4〉 60Hz 전자파에 노출된 수컷마우스들의 장기별 무게

	5kV/m			30kV/m			0.5mT			1.5mT			Control
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
BW(g)	34.8	31.1	31.9	34.7	31.1	34.3	36.3	28.4	33.0	34.9	30.5	33.9	31.8
Sp(mg)	328.0	261.4	323.6	306.0	352.0	352.7	270.0	493.6	310.4	267.0	329.8	358.7	316.1
Kd(mg)	620.0	491.6	515.4	559.0	631.5	541.7	760.0	567.4	542.3	591.0	522.4	591.6	543.8
Li(g)	1.7	1.7	1.6	1.7	1.9	1.6	1.7	1.8	1.5	1.7	1.7	1.6	1.5
Th(mg)	21.0	20.8	43.8	22.0	11.5	31.7	19.0	27.6	35.6	26.4	15.2	36.3	52.6
Ht(mg)	211.0	206.2	159.6	180.0	197.5	179.6	170.0	186.6	167.4	181.0	170.8	187.4	164.3
Lu(mg)	205.0	218.6	222.1	284.0	262.5	266.3	180.0	265.6	227.5	208.0	202.0	255.9	281.9
Ts(mg)	201.0	131.8	172.6	209.0	147.0	201.1	190.0	130.0	226.4	192.0	128.2	220.7	208.9
Br(mg)	438.0	451.6	435.6	476.0	483.5	473.7	440.0	454.4	474.5	448.0	434.8	451.9	450.5
AG(mg)	6.7	5.6	5.6	5.7	5.5	4.1	4.4	7.2	4.3	5.6	5.0	3.8	4.1

주석은 〈표 3〉과 동일

였다. 실험군에서 가장 특징적인 발달이상은 난소 및 고환에서 관찰되었다. 난소의 크기는 5kV/m와 30kV/m의 전자파에 노출된 1세대와 2세대 마우스에서 대조군에 비해 유의하게 적었으며 고환의 크기는 모든 조건에서 전자파에 노출된 2세대 마우스에서 무게가 감소하였다(〈표 3〉, 〈표 4〉). 특히 난소 크기의 감소는 5kV/m

의 전자파에 노출된 2세대 마우스에서 뚜렷하였다. 그러나 3세대 실험군 마우스들의 난소와 고환의 크기는 1세대와 차이가 없었다. 그리고, 기타 다른 장기들의 무게는 실험군과 대조군 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

육안 및 현미경 관찰에서 병리조직학적 이상소견은 주로 간, 폐 그리고 생식기 등에서 관찰되었

〈표 5〉 60Hz 전자파에 지속적으로 노출된 1세대 마우스의 조직병리학적 소견

	5kV/m		30kV/m		0.5mT		1.5mT		Control	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Liver										
congestion and hemorrhage	1									
ischemic change						1				
necrosis			1			2		1		
Lung										
bronchopneumonia			2			1	1	1		
abscess and necrotic mass			1							
bronchiolar dilatation and congestion							1			
Heart										
congestion							1			
Testis										
focal calcification			1							
Ovary										
simple cyst						1				
hypervascularity like hemangioma				1						
Soft tissue mass										
panniculitis and fat necrosis							1			

M, male; F, female

〈표 6〉 60Hz 전자파에 지속적으로 노출된 2세대 마우스의 조직병리학적 소견

	5kV/m		30kV/m		0.5mT		1.5mT		Control	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Liver										
portal inflammation	1		1		2			1		
Increased number of eosinophilic condensed liver cells	1									
Lung										
peribroncho-inflammation	4				4		5	1		
thickened alveolar septum					1					
hemorrhage		1								
Testis										
phagocytic cells	2		1		4		5			
active spermatogenesis	5		2		5		5			
Ovary										
simple cyst				1			3			

〈표 7〉 60Hz 전자파에 지속적으로 노출된 3세대 마우스의 조직병리학적 소견

	5kV/m		30kV/m		0.5mT		1.5mT		Control	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Liver										
portal inflammation										
hepatic nodule	4	1			2	2	1	3		5
perivenular inflammation		1				1				
Kidney										
inflammation										1
portal inflammation		1								
Lung										
peribronchial pneumonia										1
peribronchial inflammation	9	9	3	9		4	3	3	2	6
pneumonia							1			2
perivenular inflammation						1				
Ovary										
cyst		2		1				2		1

다(〈표 5〉, 〈표 6〉, 〈표 7〉). 1세대 마우스의 간에서는 점상출혈(petechiae), 출혈(hemorrhage), 변색(discoloration) 등의 소견이 관찰되었으며 특히 위의 바로 위 부분에 있는 간 소엽은 정상(1mm 내외)보다 크기가 크게 증가되고 붉게 출혈을 보이거나 검게 변색을 하였다(〈표 5〉). 이러한 간소엽의 변화는 현미경 소견상 출혈, 괴사(necrosis)된 양상을 보였다(〈표 5〉).

한편, 2세대 실험군 마우스에서는 대조군에 비해 간문염증(portal inflammation)이 각 조건

에서 다수 관찰되었으며(〈표 6〉), 3세대 실험군에서는 대조군과 비슷한 빈도로 간문염증이 관찰되었다(〈표 7〉).

폐에서는 1세대 실험군의 일부에서 주로 폐렴(pneumonia), 농양(abscess) 및 괴사 등의 염증소견이 관찰되었으며 2세대, 3세대에서 그 빈도가 증가하는 양상을 보였다(〈표 5〉, 〈표 6〉, 〈표 7〉).

2세대 마우스의 고환은 크기가 매우 감소되었음에도 불구하고 정자생성(spermatogenesis)

은 정상 또는 오히려 증가하였으며 식세포 (phagocytic cell)도 많이 관찰되었다(〈표 6〉). 그러나, 1세대와 3세대의 고환은 실험군과 대조군 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 반면, 난소의 이상 소견으로는 크기 감소 이외에는 난소낭 (ovarian cyst) 각 세대 실험군 마우스 일부와 3세대 대조군 한 마리에서 관찰되었다.

그 외의 특이소견으로는 심장의 울혈 (congestion)과 하복부 피하조직의 지방층염 (panniculitis)에 의한 지방괴사가 1세대 실험군(1.5 mT) 마우스 한 마리에서 관찰되었으며, 1세대 실험군(1.5mT) 마우스 암컷 한 마리에서는 흉골의 발육정지 (development arrest)도 관찰되었다 (data not shown).

선천적 이상소견은 2세대 실험군 마우스 각각 한 마리에서 오른쪽 뒷발가락이 모두 없는 기형 (0.5mT)과 다분엽화 (lobulation)된 비대된 간

(1.5mT)이 발견되었다 (data not shown). 다분엽화된 비대간은 병리조직학적으로는 특별한 소견이 없었다.

4. 전자파 환경에서 노화된 마우스의 혈액학적 및 생화학적 특징

전자파에 노출시킨 1세대 수컷 마우스의 말초 혈액내 적혈구 수가 전자파 노출 4주 후에 감소하였으며, 특히 0.5mT 및 30kV/m에서 뚜렷하였다^[11]. 그러나 8주 이후 말초혈액내 적혈구 수가 점점 증가하여 노출 전 수치에 근접하는 양상을 보였다. 반면, 2, 3세대에서는 0.5mT에 노출된 2세대 암컷 및 수컷 마우스에서 말초혈액내 적혈구 수가 대조군에 비해 약간 감소한 경향을 보였으나 1세대에 비해 증가하였으며, 다른 군에서는 실험군과 대조군 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(〈표 8〉, 〈표 9〉). 반면, 말초혈액 내

〈표 8〉 60Hz 전자파에 노출된 암컷마우스의 혈액학적 및 생화학적 성적

	5kV/m			30kV/m			0.5mT			1.5mT			Control
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
WBC	4.1	10.9	3.4	3.4	6.4	3.8	3.5	4.7	4.5	3.3	3.9	4.2	3.8
RBC	6.5	8.7	7.8	6.4	8.6	9.0	5.6	6.7	9.5	5.8	8.7	9.1	8.0
Hgb	11.2	15.1	14.5	11.5	14.7	15.7	10.3	12.8	16.7	10.6	15.1	15.5	14.0
Hct	33.7	43.6	39.4	33.9	42.7	46.4	29.9	38.2	49.6	30.1	44.1	46.6	41.9
MCV	52.2	50.4	50.5	53.2	49.9	51.2	54.2	58.2	52.1	51.7	49.0	51.0	52.7
MCH	17.3	17.4	19.8	17.9	17.2	17.3	18.7	19.2	17.0	18.2	17.4	16.5	17.7
MCHC	33.2	34.5	39.1	33.7	34.6	33.9	34.6	33.1	32.6	35.2	35.5	32.4	33.6
RDW	15.6	19.5	24.3	15.1	24.9	18.3	17.0	21.9	19.4	16.6	30.8	19.7	19.2
Plt	615.0	849.0	802.2	601.7	811.7	745.1	674.0	876.0	851.4	643.0	792.3	882.5	762.1
MPV	5.4	6.4	7.5	5.2	5.7	6.4	5.3	7.4	7.6	5.2	6.5	7.3	6.9
GLU	59.0	109.5	101.8	52.8	103.3	51.4	78.0	93.5	135.4	56.2	89.6	104.4	89.1
BUN	21.4	29.8	23.1	17.1	21.7	24.0	12.3	30.9	15.1	14.0	28.1	15.6	24.1
CHO	80.2	73.0	67.3	74.8	81.7	97.1	77.2	73.5	85.7	76.2	87.4	97.6	73.1
GOT	123.8	101.5	130.9	104.8	103.7	150.6	57.6	234.0	101.1	75.4	140.0	80.0	132.3
GPT	44.8	48.5	92.4	33.3	43.7	67.4	28.8	52.5	64.9	28.8	55.2	69.6	78.6

WBC, 백혈구 수, $\times 10^3/\mu\text{l}$; RBC, 적혈구 수, $\times 10^6/\mu\text{l}$; Hgb, 헤모글로빈 양, g/dl; Hct, 적혈구 양, %; MCV, 적혈구 크기, $\text{fl}=\mu\text{m}^3$; MCH, 적혈구내 헤모글로빈 양, pg; MCHC, 적혈구내 헤모글로빈 농도, g/dl; RDW, 적혈구 분포 폭, %; Plt, 혈소판 수, $\times 10^3/\mu\text{l}$; MPV, 혈소판 크기, fl; GLU, 포도당 양, mg/dl; BUN, 우레아 나이트로젠, mg/dl; CHO, 콜레스테롤, mg/dl; GOT, I.U./l; GPT, I.U./l

〈표 9〉 60Hz 전자파에 노출된 수컷마우스의 혈액학적 및 생화학적 성적

	5kV/m			30kV/m			0.5mT			1.5mT			Control
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
WBC	3.3	7.5	3.0	3.3	-	3.7	2.5	4.3	3.2	3.7	3.0	4.2	3.9
RBC	6.3	7.5	7.6	5.9	-	9.0	6.4	6.8	8.6	5.3	7.6	9.1	7.8
Hgb	11.3	12.4	13.5	10.4	-	15.1	11.0	11.6	14.9	9.7	12.0	15.5	13.9
Hct	34.7	38.9	39.0	31.2	-	47.2	33.5	37.6	45.4	28.2	38.5	46.6	40.0
MCV	55.6	52.1	51.5	53.1	-	52.3	52.9	58.3	52.6	53.5	50.8	51.0	51.5
MCH	18.2	16.6	17.8	17.9	-	16.8	17.2	17.4	15.6	18.4	15.9	16.5	18.0
MCHC	32.7	31.9	34.5	33.8	-	32.0	32.5	30.1	29.8	34.5	31.3	32.4	34.9
RDW	15.5	19.6	22.1	15.8	-	17.6	16.2	27.4	16.7	15.6	24.2	19.7	18.6
Plt	771.9	774.8	768.4	648.1	-	880.4	845.0	733.8	864.0	618.9	884.4	882.5	660.0
MPV	5.3	6.8	7.6	5.4	-	6.4	5.0	6.9	7.4	5.5	7.4	7.3	7.2
GLU	76.8	121.5	64.0	78.0	-	80.6	105.0	27.4	115.0	100.6	82.8	104.4	77.5
BUN	17.7	21.9	30.8	20.4	-	24.3	20.0	22.6	17.5	21.2	24.5	15.6	26.6
CHO	99.5	78.3	89.1	84.2	-	108.6	110.0	102.6	113.7	95.9	104.0	97.6	92.0
GOT	153.5	209.5	116.4	76.5	-	121.1	55.0	313.8	95.3	80.0	206.0	80.0	93.5
GPT	150.9	113.0	82.2	37.2	-	56.0	35.0	96.4	73.0	42.2	71.6	69.6	59.0

주석은 〈표 8〉과 동일

백혈구의 수치는 1세대 실험군과 대조군 사이에 차이가 없었으며 2세대에서는 5kV/m에 노출된 암수군에서 그 수치가 증가하였다(〈표 8〉, 〈표 9〉). 그러나, 3세대에서는 대조군과 차이가 없었으며 나머지 노출군에서는 1~3세대에 걸쳐 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 이는 전자기파에 노출 후 이상을 보였던 조혈기능이 시간이 경과하면서 점차 적응하여 정상화 됨을 시사한다.

생화학적인 검사에서는 주로 간기능과 연관된 혈청내 GOT 수치가 2세대 수컷 실험군에서 증가하였으나 당뇨병 진단 기준인 혈청내 포도당 및 신장기능을 반영하는 우레아나이트로젠(BUN)에서는 실험군과 대조군 사이에 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 체내 지질대사 및 혈관질환과 관련되는 혈청내 콜레스테롤 수치는 30kV/m와 1.5mT에 노출된 3세대 암컷에서 대조군보다 약간 증가한 경향을 보였다(〈표 8〉).

5. 종양의 발생

관찰기간 동안 대조군에서는 자연발생적 종양이 전혀 발견되지 않았으나, 전자기장에 노출된 총 213마리의 마우스중 7마리에서 종양이 자연 발생하여 종양 발생빈도에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$) (〈표 10〉). 그리고 암컷에게서 종양이 유의하게 많이 발생하였다($P < 0.05$). 이들 종양의 대부분은 상피성 종양(epithelial tumors)이었으며 특히 피부 종양이 가장 빈발하였다. 30kV/m에 노출된 1세대 암컷(1/6)의 입술에서 편평상피유두종(squamous papilloma)이 발견되었으며 0.5mT 노출군에서는 1세대 암컷(1/6)의 앞다리의 겨드랑이와 어깨부위에서 선종(adenoma)과 기저상피세포종(basal cell epithelioma)이 동시에 발생하였고(〈그림 3〉), 2세대 암컷(1/8)에서도 기저상피세포종이 발견되었다(〈그림 4〉). 1.5mT에 노출된 1세대 암컷(1/6)에서는 하복부 피하에 선종이 발병하였다. 중요한 종양으로는 30kV/m에 노출된 2세대 수

<표 10> 60Hz 전자파에 노출된 마우스에 나타난 종양

	5kV/m		30kV/m		0.5mT		1.5mT		Control	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
1st generation	9	6	8	6	1	6	9	6	12	8
2nd generation	10	11	6	9	8	8	11	12	10	12
3rd generation	11	11	7	14	12	14	10	8	8	14
Skin and subcutis										
Squamous papilloma (편평상피유두종)				1* (1†)						
Basal cell epithelioma (기저상피세포종)						1(1) 1(2)				
Adenoma (선종)					1(1)	1(1)				
Lung										
Adenocarcinoma (선암종)			1(2)							
Ovary										
Adenoma (선종)							1(2)			
Malignant lymphoma (림프종)							1(2)			

* Number of mice
† generation of mice



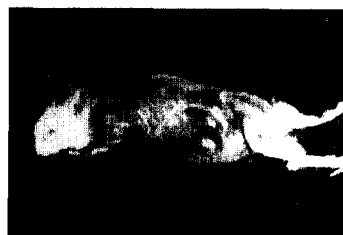
<그림 3> 0.5mT 조건에서 생후 6주부터 46주까지 노출된 암컷 마우스에서 동시에 발견된 선종(아래쪽)과 기저상피세포종(위쪽)



<그림 4> 0.5mT 조건에서 수정전 뿐만 아니라 출산후 54주 동안 전자파에 노출된 2세대 암컷 마우스의 하복부에 생긴 기저상피세포종

컷(1/6)의 폐에서 선암종(adenocarcinoma)이 발생하였으며 1.5mT에 노출된 2세대 암컷(1/12)의 난소에는 선종이 발생하였다. 한편, 비상피성 종양으로는 1.5mT에 노출된 2세대 수컷(1/11)에서 림프종(lymphoma)이 발생하였다<(그림 5)>.

실험군에서 종양 발생의 특징은 1세대 및 2세



<그림 5> 1.5mT 조건에서 수정전 뿐만 아니라 출생후 49주 동안 전자파에 노출된 2세대 수컷 마우스에 생긴 악성림프종으로 확인된 다발성 종괴

대에서만 발생하였으며 3세대에서는 발견되지 않았고, 5kV/m에 노출된 마우스는 모든 세대에서 종양이 발견되지 않았다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 60Hz 전자파가 세대간에 미치는 영향을 파악하기 위하여 마우스의 성장, 임신 그리고 노화 과정에 한국전자과학회 인체보호기준안의 전자파보다 1.2~18배 또는 국내 일반 전자파환경의 최고 수준보다 1.7배~110배의 전자기장을 24시간 지속적으로 조사시켰을 때, 1세대부터 3세대까지 마우스에 나타나는 특징을 암수 구분하여 조사하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 성장부터 임신까지 전자파에 조사된 마우스의 임신율과 이들 어미로부터 태어난 태아의 이상유무를 검사하였다. 실험에 사용된 모든 마우스는 부검 및 주요 장기를 계측하고 육안적으로 관찰하였으며, 각 장기에서 절편을 채취하여 현미경으로 관찰하였다. 또한, 말초 혈액내 혈구수를 측정하고 간기능 및 신장기능 이상의 표지인자도 측정하였다. 이상의 광범위한 조사 결과 주로 태아의 이상, 염증 발생빈도, 생식기능 그리고 종양 발생에 있어서 실험군과 대조군 사이에 가장 큰 차이를 보였다.

전자파가 조사된 어미(1세대)의 임신율은 70%에서 100%를 나타냈고, 대조군은 75%로 유의한 차이가 없었다. 태아(2세대)의 이상율은 실험군이 대조군에 비해 1.9~3.8배 높았다(〈표 1〉). 즉, 전자기장에 노출되었을 경우에 임신율에는 별다른 차이를 보이지는 않았으나, 태아의 이상율은 증가될 가능성을 시사한다. 태아에 나타난 이상을 살펴본 결과 0.5mT는 조기사망을 유도하는데 비해 1.5mT와 30kV/m는 성장기 사망과 여러 종류의 기형을 유도하였다($P < 0.05$) (〈표 2〉). 이상의 결과는 0.5mT는 태아의 착상 전기 및 기관형성기에 영향을 주는 것 같고, 1.5mT와 30kV/m는 태아의 성장기에 영향을 주는

것 같다.

조혈 및 면역기능에 있어서 1세대 수컷에서 전자파 노출 4주 후에 말초혈액내 적혈구 수가 감소하여 전자파가 조혈기능에 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다(〈표 9〉). 그러나, 1세대에서 8주 이후 적혈구 수가 다시 증가하는 양상을 보였고 2-3세대에서는 실험군과 대조군 사이에 그 차이가 감소하거나 두 군 사이에 적혈구 수가 비슷한 양상을 보여, 점차 적응해 가는 과정으로 추정된다. 반면, 말초혈액내 백혈구 수는 5kV/m에 노출된 실험군을 제외하면 대조군과 실험군 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(〈표 8〉, 〈표 9〉). 그러나, 전반적으로 대조군에 비해 실험군에서 간 및 폐에 염증의 발생 빈도가 높은 소견(〈표 5〉, 〈표 6〉, 〈표 7〉)은 실험군에서 면역기능에 이상이 있을 가능성을 시사한다.

실험군에서 보이는 또 하나의 특징은 난소 및 고환 발달의 이상이었다. 난소의 크기는 5kV/m와 30kV/m의 전자파에 노출된 1세대와 2세대 마우스에서 대조군에 비해 유의하게 적었으며 고환의 크기는 모든 조건에서 전자파에 노출된 2세대 마우스에서 무게가 감소하였다(〈표 3〉, 〈표 4〉). 그러나, 3세대에서 실험군과 대조군과 사이에 고환 및 난소의 무게에 차이가 없는 점은 적혈구수의 변화와 마찬가지로 점차 전자파에 적응되어 감을 시사한다. 그리고, 2세대 마우스의 고환의 크기는 감소한 반면 정자생성(spermatogenesis)이 대조군에 비해 활발한 경우가 많았는데, 그 의미에 대해서는 실험군과 대조군의 개체수를 크게 하여 개체간 차이인지 전자기장 조사의 영향인지에 대한 확인실험이 필요할 것으로 사료된다.

전자파가 종양 발생에 미치는 영향에 대해서는 여러 연구들이 그 가능성을 시사하고 있다^[14,15]. 본 실험에서는 육안적으로 의심되는 종양만 병리 조직학적으로 검사하였기 때문에 백혈병 등 혈액종양과 크기가 작은 종양은 발견할 수 없어서 상대적으로 종양 발생빈도가 적었다고 사려된다. 그럼에도 불구하고 국제허용기준한계치(1997년)의 전자파(30kV/m, 0.5mT 및 1.5mT)는 장

기간 조사될 때 1세대 및 2세대 마우스에서 양성 상피성 종양뿐만 아니라 폐의 선암종과 림프종 등 악성종양이 대조군에 비해서 빈발하여 전자과파가 종양 발생의 유발인자로 작용할 수 있음을 시사한다. 또한 암컷에게서 종양의 발생이 많은 것으로 볼 때($P < 0.05$) 전자과파에 노출시 수컷 보다는 암컷이 더 민감하다고 판단된다. 그러나 3세대에서는 종양이 발견되지 않았다.

이상의 결과를 종합하면 한국 전자과학회 인체 보호기준안보다 6배 이상 또는 국내 일반 전자과파 환경중 최고 수준보다 10배 이상 세기인 30kV/m, 0.5mT 및 1.5 mT의 전자과파를 24시간 지속적으로 조사할 때 전자과파장은 특히 마우스 태아의 이상, 조혈·면역기능, 생식기능 그리고 종양 발생에 영향을 미칠 가능성이 있다. 그러나, 본 실험에서는 각 군당 개체수가 적어 통계적 유의성을 판정하는 데 한계가 있다. 따라서, 계속되는 연구에서는 각 군당 개체수의 확대가 중요할 것으로 사료된다. 또한, 조혈·면역 기능에 대한 기능 연구와 생식기능을 판정하기 위한 호르몬 측정과 임신율, 사산율 및 출산율에 대한 재조사가 필요할 것으로 사료된다. 더불어 위에서 기술한 이상 소견들이 주로 1-2세대에서 주로 관찰되고 3세대에서 오히려 감소하는 점이 전자과파에 대한 적응을 의미하는지 확인하기 위해서는 개체수의 확대와 더불어 4세대 이상의 장기간 연구가 요망된다.

높은 전자과파장은 유해할 것이나 낮은 전자과파장은 무해할 것이다. 국내 일반 전자과파환경중 거의 최고 수준의 전자과파장(1kV/m, 20 μ T)에 대한 마우스 초기 예비실험에서는 현재까지 유해하지 않는 것으로 보인다(data not shown). 그러므로 국내 최고치의 전자과파환경이 실제 동물 및 인체에 대해 유해한지 또는 무해한지를 본격적으로 연구하고, 전자과파의 유해종류와 인체보호기준치를 확정하기 위해서는 장기간 대규모의 연구가 필요하다.

V. 결 론

마우스에 전자과(5kV/m, 30kV/m, 0.5mT, 1.5mT)를 3세대에 걸쳐 계속 조사한 본 실험에서 다음과 같은 다양한 결과와 결론을 얻었다.

- 1) 임신전 및 임신동안 전자과파에 조사된 부모의 태아는 이상율이 대조군에 비해 2-4배 높아, 전자과파가 태아에 영향을 미칠 가능성이 있다.
- 2) 0.5mT는 조기사망을 유도하는데 비해 1.5mT와 30kV/m는 성장기 사망과 다양한 선천이상을 유도할 가능성이 있다.
- 3) 조혈 및 면역기능에 있어서 1세대에서 8주 이후 적혈구수가 다시 증가하는 양상을 보였고 2-3세대에서는 실험군과 대조군 사이에 그 차이가 감소하거나 비슷한 양상을 보여, 피 조사 동물은 적혈구 생성에서 전자과파에 점차 적응해 가는 것으로 추정된다.
- 4) 전반적으로 대조군에 비해 실험군에서 간 및 폐에 염증의 발생빈도가 높은 소견은 실험군에서 면역 기능에 이상이 있을 가능성을 시사한다.
- 5) 전자과파는 난소 및 고환에 영향을 주는 것으로 추정된다. 즉 난소는 전기장조건 1, 2세대 마우스에서 대조군에 비해 유의하게 적었으며, 고환은 2세대 마우스의 모든 실험군에서 무게가 감소하였다. 그러나 3세대에서는 무게에 차이가 없었다.
- 6) 60Hz 전자과파에 장기간 노출된 마우스에서 악성종양인 림프종과 선암종 뿐만 아니라 양성종양도 대조군에 비해서 빈발하여 전자과파가 종양 발생의 유발인자로 작용할 수 있음을 시사한다.
- 7) 전자과파 조사시 암컷에서는 다수의 양성종양이 발생하였고, 수컷에서는 악성종양이 발생하였다.
- 8) 이상의 결과를 종합하면 한국 전자과학회 인체보호기준안보다 6배 이상 또는 국내 일

- 반 전자파환경 중 최고 수준보다 10배 이상 세기인 30kV/m, 0.5mT 및 1.5mT의 전자파를 24시간 지속적으로 조사할 때 전자기장은 특히 태아, 조혈·면역기능, 생식기능 그리고 종양 발생에 영향을 미칠 가능성이 있다.
- 9) 실험에서는 각 군당 개체수가 적어 통계적 유의성을 판정하는 데 한계가 있다. 또한 조혈·면역기능에 대한 기능 연구와 생식기능을 판정하기 위한 호르몬 측정과 임신율, 사산율 및 출산율 그리고 종양의 발생에 대한 재조사가 필요할 것으로 사료된다.
- 10) 이상 소견들이 주로 1, 2세대에서 주로 관찰되고 3세대에서 오히려 감소하는 점이 전자기장에 대한 적응을 의미하는지 확인하기 위해서는 개체수의 확대와 더불어 4세대 이상의 장기간 연구가 요망된다.
- 11) 국내 일반 전자파환경중 거의 최고수준의 전자기장(1kV/m, 20 μ T)에 대한 마우스 초기 예비실험에서는 현재까지 유해하지 않는 것으로 보인다.
- 12) 몇몇 국제기구에서 정하여 놓은 안전한계치의 전자파가 생체에 장기간 노출되었을 경우에 나타날 수 있는 생체영향을 확인하기 위해서는 다양한 연구가 필요하다.
- [3] W. Mack, S. Preston-Martin and J. M. Peters, "Astrocytoma Risk related to Job Exposure to Electric and Magnetic Fields", *Bioelectromagnetics* 12 (1) : pp.57-66, 1991.
- [4] J. Miyakoshi, N. Yamagishi, S. Ohtsu, K. Mohri, H. Takebe, Increase in hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transferase gene mutations by exposure to high-density 50Hz magnetic fields. *Mutation Res.* 349 : 109-114. 1996.
- [5] 한국전자과학회 內 전자장과 생체관계연구회. 전자파로 인한 장애 실태 조사와 인체보호기준설정에 관한 연구 : 제6장 전자파 안전대책, 통신개발연구원 정보통신학술연구과제 최종보고서 pp.151-167, 96-02, 1997.
- [6] Kim YM, Kwon YI, Kim JH, Kim BS, and Kim YW. ELF electric and magnetic field effects to mice embryos and fetuses. *Annual Review of Bioeffects Research*, pp.33-35. 1997.
- [7] 김윤명, 권용일, 이승배, 김진희, 김병섭, 김윤원, "생쥐의 배아 및 태아에 대한 극저주파 전자장의 영향 SK Telecom(주) 중앙연구원, *Telecommunication Review*, 7 (6) : 814-828, 1997.
- [8] W. Löscher, R. P. Liburdy. Animal and cellular studies on carcinogenic effects of low frequency(50/60Hz) magnetic fields. *Mutation Res.* 410 (2) : 185-220. 1998.
- [9] H. Huuskonen, M. L. Lindbohm, J. Juutilainen. Teratogenic and reproductive effects of low frequency magnetic fields. *Mutation Res.* 410(2) : 167-183. 1998.
- [10] J. Miyakoshi, K. Kittakawa, H. Takebe. Mutation induction by high-density. 50Hz magnetic fields in human

참 고 문 헌

- [1] P. A. Demers, D. B. Thomas and K. A. Rosenblatt, "Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and Breast Cancer in Men", *Am J Epidemiol* Aug. 15, 134(4) : pp.340-347, 1991.
- [2] R. B. Goldberg, W. A. Creasey, "A Review of Concern Induction by Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Is There a Plausible Mechanism?", *Med. Hypotheses* July 35(3) : pp.265-274, 1991.

MeWo cells exposed in the DNA synthesis phase. *Int J Radiat. Biol.* 71: 75-79. 1997.

- [11] 한국전자과학회내 전자장과 생체관계 연구회. 전자파 생체영향 연구: 한국전자통신연구원 최종연구보고서, pp.322-336, 1997.
- [12] Ishikawa S(Cho JY), Iwasaki J, Soga K, Tsunemi T, Nozaki Y, Chikaoka H, and Nakai Y. Cardiovascular malformation and functional changes induced by trichloroethylene in developing chick embryos. *Developmental Mechanism of Heart Disease* 43: 361-364. 1995.
- [13] Kim YW, Lee JS, Kim YM, Cho MK, and Cho JY. Gross and histological study of abnormal fetus in mice continuously exposed to 60Hz electromagnetic fields for 6 month. 1st International Symposium of Congenital Anomalies in Korea, Institute of Medical Science, Hallym Univ. pp. 67-70, 1998.
- [14] Beniashvili DS, Bilanishvili VG, and Menahda MZ. Low-frequency electromagnetic radiation enhances the induction of rat mammary tumors by nitrosomerbylurea. *Cancer Lett.* 61: 75-79. 1991.
- [15] Mevissen M, Stamm A, Buntenkorter S, Zwingelberg R, Wahnschaffe U, and Löscher W. Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7, 12-dimethybenzoanthracene in rats. *Bioelectromagnetics* 14: 131-143. 1993.

저자 소개



金允源

1955년 10월 21일생, 1981년 2월 서울대학교 의과대학 졸업(의사), 1985년 2월 서울대학교 대학원 의학과 미생물학 전공(의학석사), 1987년 2월 서울대학교 대학원 의학과 미생물학 전공(의학박사), 1986년 3월~1997년 2월: 한림대학교 의과대학 미생물학교실 전임강사, 조교수, 부교수, 1988년 7월~1990년 2월: 캐나다 캘거리 대학교 의과대학 미생물 및 감염병과 방문교수, 1997년 3월~현재: 한림대학교 의과대학 미생물학교실 교수, 1997년~현재: 한림대학교 의과학연구소 소장, <주관심 분야: 전자파가 생체에 미치는 영향, 발진열을 비롯한 급성열성 질환 진단 키트 및 백신 개발, 생체에서 분비하는 바이러스 억제물질 개발>

李振相

1971년 1월 22일생, 1996년 2월 강원대학교 농과대학 농생물학과 졸업(농학사), 1998년 2월 강원대학교 농과대학 대학원 식물병리 전공(농학석사), 2000년 8월 한림대학교 의학과 대학원 미생물학 전공(박사수료), <주관심 분야: 전자파가 생체에 미치는 영향, 생체에서 분비하는 바이러스 억제물질 개발>

張仁愛

1977년 12월 23일생, 2000년 2월 한남대학교 미생물학과 졸업(이학사), 현재 한림대학교 의과대학 미생물학교실 대학원 재학중

崔英姬

1966년 2월 1일생, 1990년 2월 한림대학교 의과대학 의학과 졸업(의학사), 1993년 8월 한림대학교 대학원 병리학 전공(의학석사), 1997년 8월 한림대학교 대학원 종양학 전공(의학박사), 현재 한림대학교 의과대학 의학과 전임강사

姜聖何

1959년 3월 27일생, 1984년 서울대학교 의과대학 의학과 졸업(의학사), 1994년 서울대학교 의과대학 대학원 임상병리 전공(의학석사), 1997년 서울대학교 의과대학 대학원 임상병리 전공(의학박사), 현재 한림대학교 의과대학 의학과 부교수대우

鄭景天

1966년 10월 4일생, 1991년 2월 서울대학교 의과대학 의학과 졸업(의학사), 1994년 2월 서울대학교 의과대학원 병리학 전공(의학석사), 1999년 2월 서울대학교 의과대학원 병리학 전공(의학박사), 현재 한림대학교 의과대학 의학과 전임강사

金允溟

1952년 12월 25일생, 1975년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사), 1977년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 전공(공학석사), 1990년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학 전공(공학박사), 현재 단국대학교 전자공학과 교수

趙敏基

1938년 3월 19일생, 1963년 서울대학교 문리과대학 동물학 전공(이학사), 1971년 서울대학교 보건대학원 보건학 전공(이학석사), 1978년 동국대학교 대학원 미생물학 전공(이학박사), 현재 한림대학교 의과대학 의학과 교수