

SD 랫드의 배 · 태자발생에 대한 60 Hz 수평자계의 영향

정문구* · 김종춘 · 명성호¹ · 김상범² · 이동일²

한국화학연구원 안전성연구센터, ¹한국전기연구원, ²한전전력연구원

Effects of 60 Hz Horizontally Polarized Magnetic Fields on Embryo-fetal Development in SD Rats

Moon-Koo Chung*, Jong-Choon Kim, Sung-Ho Myung¹, Sang-Bum Kim² and Dong-Il Lee²

Reproductive Toxicology Division, Toxicology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea

¹Power Systems Research Division, Electrical Environment Team, Korea Electrotechnology Research Institute, Changwon 641-600, Korea

²Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute, Korea Electric Power Corporation, Daejeon 305-380, Korea

(Received)

(Accepted)

ABSTRACT : Recently, there is an increasing nationwide concern in Korea that exposure to electric and magnetic fields in the home environment may not be safe in humans. To identify possible effects of horizontally polarized magnetic fields (MF) exposure on embryo-fetal development, timed-mated female Sprague-Dawley rats (24/group) received continuous exposure to 60 Hz MF at field strengths of 0 Gauss (sham control), 50 mG, 833 mG, or 5000 mG. Dams received MF or sham exposures for 22 hr/day on gestation days 6 through 20. Experimentally generated MF were monitored continuously throughout the study. There was no evidence of maternal toxicity or developmental toxicity in any MF-exposed groups. Mean maternal body weight, organ weights, and gross findings in groups exposed to MF did not differ from those in sham control. No significant differences in fetal deaths, fetal body weight, and placental weight were observed between MF-exposed groups and sham control. External, visceral, and skeletal examination of fetuses demonstrated no significant differences in the incidence of fetal malformations between MF-exposed and sham control groups. In conclusion, exposure of pregnant Sprague-Dawley rats to 60 Hz at MF strengths up to 5000 mG during gestation day 6-20 did not produce any biologically significant effect in either dams or fetuses.

Key Words : Magnetic fields, Embryo-fetal development, Sprague-Dawley Rat

I. 서 론

우리들은 자연전자계(번개, 지자계 등)와 더불어 대형 공공설비(전력설비, 전철시스템, 방송국, 중계국 등), 가정용 생활 기기(휴대폰, 가정용 전기 응용 기기 등) 및 공장 설비(전력 변환 기기, 전동기 등)에서 발생하는 인공전자계 속에서 생활하고 있으며, 최근들어 환경문제의 일환으로써 전자계가 생태계에 미치는 영향이 세계적인 주요 관심거리로 대두되고 있다.

1979년 Wertheimer와 Leeper가 자계의 인체 영향 가능성을 제기한 이후 전세계적으로 논란이 시작되었고 아울

러 이를 규명하기 위한 연구도 많이 진행되어 왔다. 일례로 미국에서는 electric magnetic field(EMF) RAPID 프로그램을 1994년부터 5년간 6,500만불의 예산을 투입하여 전자계 생체 영향 여부의 규명과 대중 홍보를 목적으로 진행하였다. 해외 선진국(미국, 일본, 캐나다, 스웨덴 등)에서도 정부(자원에너지청, 환경청 등)와 전력회사의 연구비 지원으로 광범위한 연구를 수십년간 수행 중에 있으며, 엄청난 연구비를 투입하고 있는 실정이다. 일본 전력중앙연구소(CRIEPI)에서는 저주파 전자계의 생물영향에 대해서 실험동물을 대상으로 한 연구를 중심으로 작용 메커니즘, 평가시스템(실험설비, 측정기)의 설계 개발, 전자계와 생체와의 상호작용 모델링 등 광범위한 연구를 수행하고 있다. 그러나 전자계의 안전성에 대해서는 사회적으로 여러 가

*To whom correspondence should be addressed

지 이해 문제가 상층되어 선진 각국의 연구결과가 주요 비밀문서로 분류되어 대외적으로 공표가 잘 되지 않으므로, 국내에서도 이와 관련된 영향 평가기술의 필요성이 시급히 요청되고 있다.

한편, 국내에서의 전자계 연구실적은 이들 선진국에 비하여 매우 미미한 실정이며, 국내 일부에서 저비용으로 단기간에 수행된 부정적인 연구 결과를 언론에 발표함으로써 큰 사회적 반향을 일으켜 환경부를 중심으로 강도 높은 전자계 기준치 적용을 검토하고 있다. 또한 국민들도 단순한 외국 자료의 인용을 벗어나 국내 실정에 적합한 연구 결과를 기대하고 있다.

이의 일환으로 본 연구에서는 3층의 랫드 거주공간을 만들어 대량의 동물실험을 구현할 수 있는 자계 발생장치를 제작하였으며, 자계의 생식독성평가의 일환으로 Sprague-Dawley(SD) 랫드를 이용하여 60 Hz 수평자계가 배·태자 발달에 미치는 영향을 조사하였다. 노출기간은 EPA 독성 시험기준에 따라서 착상시점부터 임신말기까지 연장하였고, 모든 시험은 환경부 및 EPA의 GLP 기준에 준하여 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 노출물질

본 시험에는 한국전기연구원(경남 창원)에서 제작한 노출장치를 이용하여 얻은 자계(magnetic field)를 사용하였다.

2. 노출장치

본 연구에서는 랫드를 대상으로 한층에 16마리씩 3층의 거주공간을 만들어 전체 48마리의 실험동물을 가용할 수 있는 자계 발생장치를 제작하였다. Fig. 1과 같이 외부 cage에 정사각형 코일을 감고 랫드의 거주공간이 될 내부 입방영역은 3개의 영역으로 나누어 각각 랫드를 넣게 된다. 50여 마리의 랫드를 포함시킬 수 있게 하기 위해서는 내부 입방영역 공간의 크기가 1x1x1 m³ 정도 되어야하는데, 3차원 자계 계산을 통해 외부 cage의 크기는 1.8x1.8x1.8 m³ 정도면 충분하다는 것을 확인하였다.

이러한 자계 발생장치에서 랫드의 거주 공간의 자계 크기 산포도에 영향을 미칠 수 있는 인자는 두 가지이며, Fig. 1에서와 같이 내부(inner) 코일과 외부(outer) 코일의 전류비와 간격이다. 여기서는 3차원 자계 계산 프로그램을 이용해서 두 가지 독립변수에 대하여 거주 공간의 자계 산포도를 가장 작게 하는(즉, 최소 표준편차) 조건을 찾았으며 그 결과를 Table 1에 요약하였다.

제작된 자계 발생장치 내부의 자계 측정은 장치의 중심

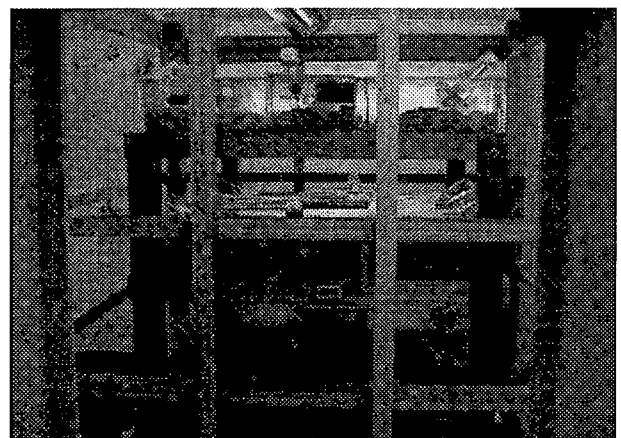
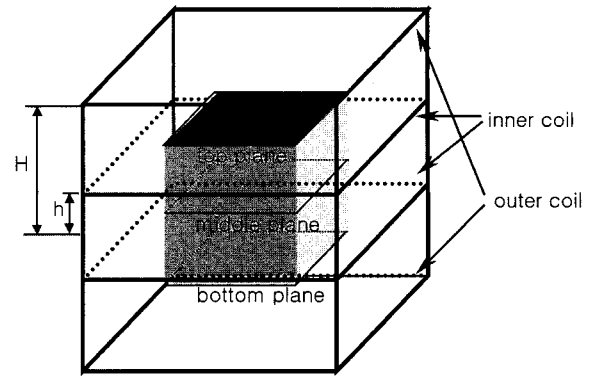


Fig. 1. Design and picture of magnetic exposure facility.

Table 1. Optimal current ratio and position of inner coil (position of outer coil H = 0.9 m, I_{outer} = 1 A)

		Reference component	
		Magnetic field (B)	
Based on B component	Current ratio (I _{inner} /I _{outer})	0.4273	
	Position of inner coil (h)	0.2331 m	
	Value	Average	10.1 mG
		STD	0.0266 mG

을 1000 mG로 고정하고 각 위치별로 측정하였다. Table 2의 결과를 보면 X축 방향으로는 +60 cm~-60 cm까지 3% 이내, Y축 방향으로는 +70 cm~-70 cm까지 3% 이내, Z축 방향으로도 +70 cm~-70 cm까지 3%이내의 자계 균일도를 가짐을 확인할 수 있었다. 실제 동물실험에 사용되는 공간인 각 축방향으로 +50 cm~-50 cm 에서는 2% 이내의 자계 균일도를 가짐을 확인하였다.

3. 실험동물 및 사육환경

실험동물은 한국화학연구원 안전성연구부 실험동물육종

Table 2. Measurement value of magnetic field uniformity at 1 G

Distance [cm]	Direction of axis					
	X	Error [%]	Y	Error [%]	Z	Error [%]
70	966	3.4	995	0.5	-	-
60	980	2.0	1001	0.1	1001	0.0
50	989	1.1	1001	0.1	1004	0.3
40	995	0.5	1001	0.1	1008	0.7
30	1001	0.1	1000	0.0	1004	0.3
20	1001	0.1	1004	0.4	1004	0.3
10	1001	0.1	1001	0.1	1004	0.3
0	1000	0.0	1000	0.0	1001	0.0
-10	1001	0.1	1001	0.1	-	-
-20	1001	0.1	1001	0.1	-	-
-30	995	0.5	1004	0.4	-	-
-40	992	0.8	1001	0.1	-	-
-50	982	1.8	1001	0.1	-	-
-60	973	2.7	1001	0.1	-	-
-70	950	5.0	985	1.5	-	-

실(대전광역시 유성구 장동 100)로 부터 입수한 SD 랫드 (SPF)를 사용하였다. 9주령의 수컷 100마리와 암컷 200마리를 입수한 후 1:2로 교배시켜 질구의 정자를 확인한 날을 임신 0일로 정하였으며 교미확인된 암컷 96마리를 시험에 사용하였다. 본 시험은 온도 $23\pm 3^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50\pm 10\%$, 조명시간 12시간(오전 8시~오후 8시), 조도 200~300 Lux로 설정된 특수 동물실에서 실시되었다(Fig. 1). 시험기간중 사료는 실험동물용 고품사료(제일사료(주))를 방사선조사(25 kGy)멸균하여, 그리고 물은 상수도를 자외선 유수살균기로 소독시킨 후 자유섭취시켰다. 노출을 균등하게 하기 위하여 5일마다 1회씩 사육상자의 위치를 바꿔주었다.

4. 노출량의 설정과 시험군의 구성

본 실험장치에서 최대로 노출할 수 있는 자기장의 최대치는 외국의 실험에서와 같이 5000 mG이고, WHO/ICNIRP의 자기장 권고기준치는 833 mG이며, 국내 765 kV 송전선로 하의 예상최대 자기장의 세기는 50 mG이다. 이를 기초로 5000 mG를 고노출량으로, 833 mG를 중노출량으로, 그리고 50 mG를 저노출량으로 정하였으며, 그 밖에 위장대조군(sham control)을 두었다. 각 군당 교미 확인된 암컷 24마리씩을 시험에 사용하였고, 본 시험에서는 시험자가 시험개시부터 종결시까지 각 시험군의 노출량을 미리 알 수 없도록 하였으며(blind test), 실험이 종료된 후 자료를 종합, 통계처리를 실시하였다.

5. 노출방법 및 기간

한국전기연구원에서 제작한 노출장치에 의하여 노출하

였으며, 일반증상관찰, 체중측정 등의 시험수행시에는 timer 작동에 관계없이 스위치를 끈 상태에서 작업하였다. 임신 6일부터 20일까지 1일 22시간씩(매일 낮 12시에서 익일 아침 9시까지) 반복해서 전신 노출하였다.

6. 관찰 및 검사항목

일반증상관찰: 시험기간중 1일 1회 동물의 일반증상, 중독증상 및 사망유무에 관해서 관찰하였다.

체중 및 사료섭취량 측정: 각 군의 전 어미동물에 대하여 임신 0, 6, 9, 12, 15 및 20일째에 체중을 측정하였다. 사료섭취량은 모든 동물에 대하여 체중측정일에 사료를 급여한 후 익일 잔량을 측정하였다(단, 임신 20일째에는 제왕절개로 인하여 임신 19일째에 사료급여 후 익일 잔량을 측정함).

부검: 모든 임신동물을 임신 20일째에 부검하여 체표, 체강, 흉강 및 복강의 전장기에 대하여 육안적 검사를 실시하였고, 간장, 신장, 비장, 심장, 뇌, 부신 및 난소의 중량을 측정하였다.

제왕절개: 각 군의 임신동물들을 임신 20일째에 제왕절개하여 임신황체수, 착상수, 생존태자수, 흡수배자수, 사망태자수, 생존태자의 성별 및 개체별 체중 등을 조사하였다.

태자의 외표검사: 생존태자를 자궁에서 적출한 후 즉시 외표이상의 유무에 대하여 관찰하고, 왼쪽 자궁각의 난소측에서 번호를 매겨 흡수번호는 골격검사에 그리고 짝수번호는 내장검사에 사용하였다.

내부장기검사: 각 배당 생존태자를 Bouin 용액에 고정 한 후, 두부 및 복부는 Wilson 법(1965), 흉부는 Nishimura법에 의하여 내부장기 이상유무를 검사하였다(Nishimura, 1974).

골격검사: 각 배당 생존태자를 5% 중성완충 포르말린용액에 고정 한 후 변형된 Dawson 법에 따라 골격표본을 제작한 후 골격이상 유무 및 골화상태에 대하여 검사하였다(Dawson, 1926).

7. 통계학적 분석

얻어진 시험자료에 대한 통계분석은 다중비교 검정법을 실시하였다. 각 군의 시험자료의 성질상 그리고 동물수에 있어서 충분히 큰 표본이므로 정규분포를 가정하고 일원배치분산분석($p < 0.05$)을 실시하여 유의성이 나타날 경우 Scheffe 또는 Dunnett 검정법을 실시하였다. 시험자료가 빈도수를 나타낼 경우에는 Kruskal-Wallis(H) 검정을 실시하고 순위화한 자료를 이용한 Scheffe 또는 Dunnett형 검정을 행하였다. 출현율 및 백분율에 대한 시험자료는 자료의 정리로써 표현되거나 혹은 순위화한 H-검정을 실시하

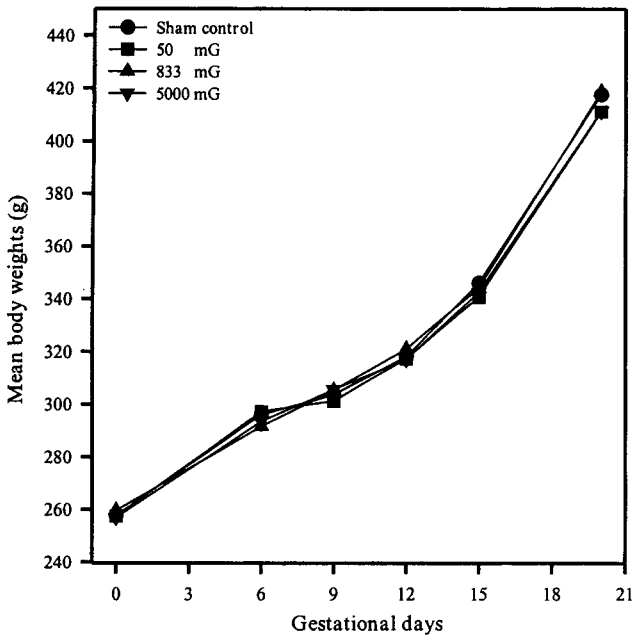


Fig. 2. Mean body weight of dams.

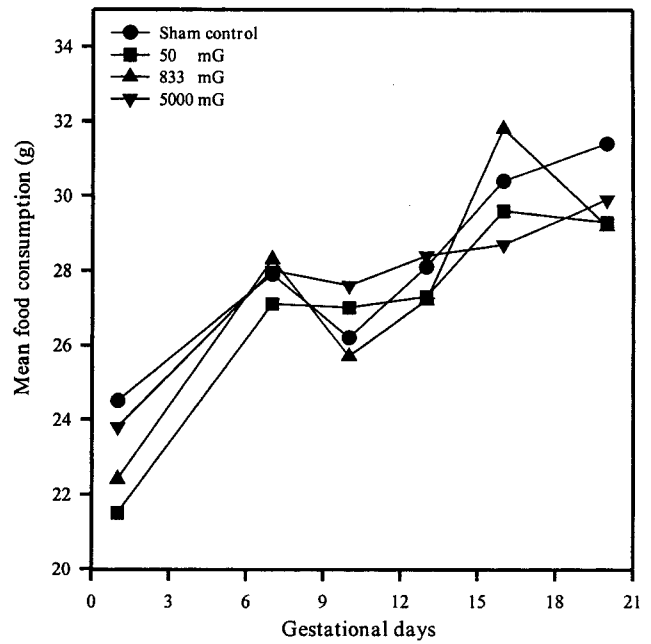


Fig. 3. Mean food consumption of dams.

였다. 태자에 대한 시험자료는 한배에서 나온 태자들의 평균체중, 빈도수[황체수, 흡수배자(태자)수, 사망태자수]를 이용하여 통계분석을 실시하였다. 태자의 성비는 χ^2 검정 방법으로 각각 대조군과 유의차검정을 실시하였다. 통계학적 유의성은 위험율 1% 혹은 5%에서 검사하였다.

III. 결 과

1. 모동물에 대한 영향

일반증상: 모동물의 임신기간 동안 sham control군을

Table 3. Effect of MF exposure on absolute and relative organ weights of dams

DOSE: (mg)	Control	50	833	5000
No. of animals	19	23	23	23
Body weight (g)	417.6±30.19	411.1±30.80	418.7±22.02	411.4±22.10
Brain (g)	1.894±0.0791	1.857±0.0829	1.839±0.0730	1.906±0.0723
per B.W. (%)	0.456±0.0354	0.454±0.0350	0.440±0.0308	0.465±0.0299
Adrenal gland-left (g)	0.038±0.0081	0.035±0.0057	0.037±0.0059	0.040±0.0055
per B.W. (%)	0.009±0.0020	0.009±0.0015	0.009±0.0013	0.010±0.0014
Adrenal gland-right (g)	0.037±0.0065	0.033±0.0043	0.034±0.0055	0.036±0.0049
per B.W. (%)	0.009±0.0015	0.008±0.0011	0.008±0.0012	0.009±0.0014
Liver (g)	17.216±1.4566	16.592±1.4772	16.770±1.0594	16.896±1.2461
per B.W. (%)	4.121±0.1289	4.035±0.1491	4.007±0.1831	4.108±0.2247
Spleen (g)	0.714±0.1409	0.747±0.2172	0.724±0.0842	0.750±0.0729
per B.W. (%)	0.170±0.0259	0.181±0.0469	0.173±0.0197	0.182±0.0174
Kidney-left (g)	1.014±0.0920	0.982±0.0962	0.979±0.0552	1.025±0.0971
per B.W. (%)	0.244±0.0235	0.239±0.0196	0.234±0.0159	0.249±0.0207
Kidney-right (g)	1.017±0.0945	1.000±0.0869	0.978±0.0695	1.021±0.0885
per B.W. (%)	0.244±0.0250	0.244±0.0199	0.234±0.0171	0.248±0.0187
Heart (g)	1.120±0.1774	1.068±0.0982	1.056±0.0766	1.107±0.0800
per B.W. (%)	0.269±0.0494	0.260±0.0204	0.252±0.0173	0.269±0.0194
Ovary-left (g)	0.065±0.0153	0.059±0.0086	0.061±0.0135	0.061±0.0158
per B.W. (%)	0.016±0.0037	0.014±0.0025	0.015±0.0031	0.015±0.0035
Ovary-right (g)	0.059±0.0096	0.061±0.0131	0.062±0.0129	0.068±0.0140
per B.W. (%)	0.014±0.0024	0.015±0.0034	0.015±0.0031	0.017±0.0038

포함한 모든 노출군에서 어떠한 이상증상도 관찰되지 않았다.

체중: 모동물의 임신기간동안의 체중에 있어서 각 노출군과 sham control군간의 통계학적 유의성은 인정되지 않았다(Fig. 2).

사료섭취량: 모동물의 사료섭취량은 sham control군을 포함한 모든 노출군에서 정상적인 사료섭취가 관찰되었다(Fig. 3).

부검소견: 모동물의 임신 20일째 부검시 50 mG 노출군

에서 비장종대(enlargement of spleen)가 1례 관찰되었을 뿐 그 밖의 노출군에서는 특이소견이 발견되지 않았다.

절대 및 상대장기중량: 모동물의 임신 20일째 부검시 측정된 주요장기의 절대 및 상대중량에 있어서 각 노출군과 sham control군간의 유의차는 인정되지 않았다(Table 3).

2. 태자(F1)에 대한 영향

제왕절개성적: 제왕절개시 조사된 황체수, 착상수, 흡수

Table 4. Effect of MF on caesarean section data of dams

DOSE : (mg)	Control	50	833	5000
No. of pregnant animals	19	23	23	23
Corpora lutea (Mean±S.D.)	16.6±3.1	15.7±2.6	17.0±2.4	16.7±2.3
Implantations (Mean±S.D.)	14.4±3.4	13.4±3.1	15.4±1.9	15.1±2.9
% to corpora lutea (Mean±S.D.)	86.0±13.6	84.1±12.6	90.9±5.2	90.2±13.2
Fetal deaths (resorptions+dead fetuses)	9	11	17	20
Resorptions	8	11	17	20
Early	7	11	15	19
Late	1	0	2	1
Dead fetuses	1	0	0	0
Live fetuses				
Male/Female	148/116	144/153	163/175	161/167
Litter size (Mean±S.D.)	13.9±3.7	12.9±3.3	14.7±1.9	14.3±2.9
% to implantation (Mean±S.D.)	95.8±8.1	96.0±6.1	95.3±6.1	94.4±7.2
Sex Ratio (Male/Female)	1.26	0.94	0.93	0.96
Body weight of live fetuses				
Male (Mean±S.D.)	3.7±0.2	3.6±0.2	3.6±0.2	3.6±0.2
Female (Mean±S.D.)	3.6±0.2	3.4±0.2*	3.4±0.2*	3.4±0.2*
Placental weight (Mean±S.D.)	0.5±0.1	0.5±0.1	0.5±0.1	0.5±0.1
No. of fetuses with external anomalies (%)	1 (0.41) ^{a)}	0	0	1 (0.3) ^{b)}

^{a)}Short tail, ^{b)}Fused placenta. * indicates significant difference at $p < 0.05$ level when compared with the control group.

Table 5. Effect of magnetic field exposure on visceral findings in fetuses

DOSE : (mg)	Control	50	8335000	
No. of pregnant animals	19	23	23	23
Fetuses examined	128	144	162	157
Fetuses with malformations (%)	0	0	0	0
Litters affected (%)	0	0	0	0
Fetuses with variations (%)	22(17.2)	13(9.0)*	14(8.6)*	6(3.8)**
Litters affected (%)	12(63.2)	11(47.8)	10(43.5)	5(21.7)
Dilated renal pelvis	3	1	0	0
Dilated ureter	18	10	12	5**
Thymic remnant in the neck	5	3	2	1

* and ** indicate significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ levels, respectively, when compared with the control group.

배자수, 사망태자수, 산자수, 성비 및 태반중량은 모든 노출군에서 sham control군과 비교하여 통계학적 유의성을 나타내지 않았다. 암컷태자의 체중은 모든 노출군에서 sham control군과 비교할 때 통계학적으로 유의한 감소를 나타내었으나 자계노출에 기인한 것은 아니라고 판단되었다. 태자의 외표소견은 sham control군에서 단미(short tail)가 1례 관찰되었고, 5000 mG 노출군에서는 태반유착(fused placenta)이 1례 발견되었으나(Table 4), 자계노출과는 무관한 자연발생적 소견으로 사료되었다.

내부장기검사: 임신 20일째에 적출한 태자의 내부장기 검사시 모든 노출군에서 기형은 관찰되지 않았다. Sham control, 50, 833 및 5000 mG 노출군의 순으로 신우확장(dilated renal pelvis)이 각각 3, 1, 0 및 0례, 요관확장(dilated ureter)이 각각 18, 10, 12 및 5례, 그리고 흉선경부잔류(thymic remnant in the neck)가 각각 5, 3, 2 및 1례 발견되었는데, 이들은 자연발생적인 변이소견으로서(Kim 등, 2001), 시험물질의 영향은 아니라고 판단되었다(Table 5).

골격검사: 랫드태자의 골격소견은 신체의 기능장애 유발여부, 골화정도 등에 따라서 기형(malformation), 변이

(variation) 및 골화지연(retardation)으로 구분된다. 임신 20일째에 적출한 태자의 골격검사시 sham control군에서는 말늑골단소(short 13th rib)[기형]가 1례(0.7%), 단요늑(short supernumerary rib)[변이]이 5례(1.9%), 그리고 이분흉추추체(bipartite ossification of thoracic centrum), 아령형흉추추체(dumbbell ossification of thoracic centrum) 및 치골의 불완전골화(incomplete ossification of pubis)[골화지연]가 27례(23.4%) 관찰되었다. 50 mG 노출군에서는 말늑골단소[기형]가 1례(0.7%), 단요늑[변이]이 4례(2.5%), 그리고 이분흉추추체, 아령형흉추추체, 편측성흉추추체(hemicentric thoracic centrum) 및 치골의 불완전골화(incomplete ossification of pubis)[골화지연]가 21례(25.8%) 나타났다. 833 mG 노출군에서는 단요늑 및 파상형늑골(wavy rib)[변이]이 5례(6.0%), 그리고 이분흉추추체, 아령형흉추추체, 두정간골, 상후두골 및 치골의 불완전골화[골화지연]가 26례(25.9%) 관찰되었다. 또한 5000 mG 노출군에서는 말늑골단소[기형]가 1례(0.6%), 단요늑[변이]이 7례(4.2%), 그리고 이분흉추추체, 아령형흉추추체, 두정간골, 상후두골 및 치골의 불완전골화[골화지연]가 28례(33.6%) 발견되었다.

Table 6. Effect of magnetic field exposure on skeletal findings in fetuses

DOSE : (mg)	Control	50	833	5000
No. of dams	19	23	23	23
Fetuses (litters) examined	136	153	176	172
Fetuses with malformations (%)	1 (0.7)	1 (0.7)	0	1 (0.6)
Litters affected (%)	1 (5.3)	1 (4.3)	0	1 (4.3)
Short 13th rib	1	1	0	1
Fetuses with variations (%)	5 (1.9)	4 (2.5)	5 (6.0)	7 (4.2)
Litters affected (%)	3 (15.8)	4 (17.4)	4 (17.4)	4 (17.4)
Short supernumerary rib	5	4	4	7
Wavy rib	0	0	1	0
Fetuses with retardations (%)	27 (23.4)	21 (25.8)	26 (25.9)	28 (33.6)
Litters affected (%)	11 (57.9)	13 (56.5)	15 (65.2)	12 (52.2)
Bipartite ossification of thoracic centrum	5	8	6	3
Dumbbell ossification of lumbar centrum	0	0	0	0
Dumbbell ossification of thoracic centrum	21	12	15	21
Hemicentric thoracic centrum	0	1	0	0
Incomplete ossification of pubis	2	1	3	4
Incomplete ossification of supraoccipital	0	0	1	1
Incomplete ossification of interparietal	0	0	1	1
No. of ossification centers (mean±SD)				
Sternebrae	4.7±0.78	4.4±0.47	4.5±0.32	4.6±0.45
Metacarpals in both forelimbs	6.5±0.69	6.5±0.70	6.2±0.47	6.2±0.30
First phalanges in both forelimbs	0.0±0.02	0.0±0.21	0.0±0.00	0.0±0.02
Metatarsals in both hindlimbs	8.0±0.09	8.0±0.10	7.8±0.83	8.0±0.00
First phalanges in both hindlimbs	0.0	0.0	0.0	0.6±1.54
Cervical vertebrae	0.0±0.04	0.0±0.12	0.0±0.06	0.0
Sacral and caudal vertebrae	7.6±0.48	7.5±0.50	7.5±0.39	7.5±0.43

상기한 소견들을 살펴볼 때에 기형, 변이 및 골화지연의 발현율에 있어서 각 투여군과 sham control군간의 통계학적 유의차는 인정되지 않았다. 그리고 흉골, 중수골, 중족골, 지골 및 천미추의 골화진행도는 모든 노출군에서 sham control군과 비교할 때에 통계학적 유의성을 나타내지 않았다(Table 6).

IV. 고 찰

인체를 대상으로한 역학조사에 의하면 자계노출은 생식·발생독성을 야기시킬 수 있으며(Goldhaber 등, 1988; McDonald 등, 1988; Juutilainen 등, 1993), 반면에 생식·발생독성학적 위험과는 무관하다는 보고도 있다(Schnorr 등, 1991; Linet 등, 1997). 전기담요와 전기장판은 장시간 동안 몸에 밀착되어 사용되기 때문에 자계노출 가능성이 매우 높다. 이들의 사용과 관련하여 Dlugosz 등(1992)과 Milunsky 등(1992)은 신경관결손, 구개열, 또는 요관결손의 발생과 관련이 없다고 보고한 반면에 Li 등(1995)은 수정능력저하(subfertility)의 병력을 지닌 여성들에게서 요관 기형발현의 위험성이 증가하는 것을 관찰하였다고 한다. 최근 우리 나라에서는 가전제품, 송전선, 변압기 등에 의한 자계노출에 따른 인체위험의 가능성에 관한 우려와 관심이 고조되고 있으나, 이를 뒷받침해 줄 수 있는 동물실험 데이터가 전무한 실정이다. 따라서 한국전력연구원, 한국전기연구원 및 한국화학연구원이 공동으로 국내에서는 최초로 GLP 기준에 준하여 자계노출연구를 수행하게 되었다.

본 연구에서는 자계노출이 모동물 및 태자발생에 미치는 영향을 조사하기 위하여 교미확화된 SD 계통의 랫드에 60 Hz 자계를 0, 50, 833 및 5000 mG의 강도로 임신 6일부터 20일까지 매일 22시간 동안 반복노출한 후 임신 20일째에 부검하였다.

모동물의 일반증상, 체중, 부검소견과 절대 및 상대증량에 있어서 자계노출에 기인한 것으로 사료되는 변화는 관찰되지 않았다. 모동물의 제왕절개시 조사된 황체수, 착상수, 산자수 등에 있어서 자계노출의 영향은 인정되지 않았다. 모든 노출군에서 관찰된 암컷태자의 체중감소는 용량상관성이 결핍되어 자계노출의 영향으로는 판단되지 않았다. 또한 태자의 내부장기 및 골격검사에 있어서도 자계노출에 기인한 변화는 나타나지 않았다.

자계노출의 생물학적 영향평가에 관한 다른 연구자들의 보고를 살펴보면, SD 랫드를 이용한 자계노출 배·태자 발생시험에서 Ryan 등(1996)은 노출한 임신동물의 제왕절개시 200 MT(2000 mG) 노출군에서 태자체중의 감소를 관찰하였다고 한다. 본 시험에서 얻어진 태자의 내부장기 및 골격검사 소견은 다른 연구자들의 보고(Rommereim 등,

1996; Ryan 등, 1996)와 일치한다. 반면에 소수의 연구자들(Stuchly 등, 1988; Husskonen 등, 1993; Mevissen 등, 1994)은 태자의 골격검사시 높은 빈도의 경기형(minor skeletal anomalies)을 관찰하였다고 한다.

상기한 태자체중 및 태자의 골격소견에 있어서 본 시험의 결과와 다른 연구자들의 보고와의 불일치는 사용동물, 자계노출 기간 및 강도, 환경조건 등의 차이에 기인한 것으로 추정된다. 한편 Rommereim 등(1987)은 랫드를 이용한 자계노출 시험의 결과가 실험실간에 큰 차이를 나타내는 것은 random variation에 의해 발생하거나, 자계노출 강도가 역치(threshold dose)에 해당되기 때문이라고 주장하였다. 또한 Maffeo 등(1988)은 chick embryo를 이용한 자계노출 시험의 경우 역시 실험의 결과가 실험실간에 큰 차이를 나타내는 것을 보고하였으며, 이는 자기장 노출보다는 다른 요인에 기인한 것으로 결론지었다. 본 연구에서는 실험간의 결과의 차이를 알아보고 재현성을 조사하기 위하여 반복시험을 실시하였으며 2차 시험의 결과가 1차 시험의 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 SD 랫드에 있어서 임신 6일에서 20일까지 5000 mG 강도의 60 Hz 자계노출은 모동물과 태자에 어떠한 독성학적 영향도 유발하지 않는 것으로 판단되고, 랫드에 있어서 배·태자발생시험에 의한 자계노출의 무해용량은 모동물과 태자에 있어서 공히 5000 mG 이상이라고 사료된다.

감사의 말씀

본 시험을 수행하는데 기술적인 도움을 주신 이상준, 김웅수, 정나영 씨 그리고 통계처리 및 자료정리를 맡아주신 서정은 씨께 감사를 드립니다.

참고문헌

- Dawson, A.B. (1926): A note on the staining of the skeleton of cleared specimens with Alizarin Red S, *Stain Technol.*, **1**, 123-124.
- Dlugosz, L., Vena, J., Byers, T., Sever, L., Bracken, M. and Marshall, E. (1992): Congenital defects and electric bed heating in New York State: A register-based case-control study, *Am. J. Epidemiol.*, **135**, 1000-1011.
- Goldhaber, M.K., Polen, M.R. and Hiatt, R.A. (1988): The risk of miscarriage and birth defects among women who use visual display terminals during pregnancy, *Am. J. Ind. Med.*, **13**, 695-706.
- Huuskonen, H., Juutilainen, J. and Komulainen, H. (1993): Effects of low-frequency magnetic fields on fetal development in rats, *Bioelectromagnetics*, **14**, 205-213.

- Juutilainen, J., Matilainen, P., Saarikoski, S., Laara, E. and Suonio, S. (1993): Early pregnancy loss and exposure to 50-Hz magnetic fields, *Bioelectromagnetics*, **14**, 229-236.
- Kim, J.C., Lee, S.J., Bae, J.S., Kim, Y.B. and Chung, M.K. (2001): Historical control data for developmental toxicity study in Sprague-Dawley rats, *J. Toxicol. Pub. Health*, **17**, 83-90.
- Li, D.K., Checkoway, H. and Mueller, B.A. (1995): Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility, *Epidemiology*, **6**, 485-489.
- Linnet, M.S., Hatch, E.E., Kleinerman, R.A., Robison, L.L., Kaune, W.T., Friedman, D.R. and Severson, R.K. (1997): Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children, *New Engl. J. Med.*, **337**, 1-7.
- Maffeo, S., Braymann, A.A., Miller, M.W., Carstensen, E.L., Ciaravino, V. and Cox, C. (1988): Weak low frequency electromagnetic fields and chick embryogenesis: Failure to reproduce positive findings, *J. Anat.*, **157**, 101-104.
- McDonald, A.D., McDonald, J.C., Armstrong, B., Cherry, N., Cote, R., Lavoie, J., Nolin, A.D. and Robert, D. (1988): Fetal death and work in pregnancy, *Br. J. Ind. Med.*, **45**, 148-157.
- Mevisen, M., Buntenkoetter, S. and Loescher, W. (1994): Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats, *Teratology*, **50**, 229-237.
- Milunsky, A., Ulcickas, M., Rothman, K.J., Willett, W., Jick, S.S. and Jick, H. (1992): Maternal heat exposure and neural tube defects, *J. Am. Med. Assoc.*, **268**, 882-885.
- Nishimura, K. (1974): A microdissection method for detecting thoracic visceral malformations in mouse and rat fetuses, *Cong. Anom.*, **14**, 23-40.
- Ryan, B.M., Mallet, E., Johnson, T.R., Ganger, J.R. and McCormick, D.L. (1996): Developmental toxicity study of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in rats, *Teratology*, **54**, 73-83.
- Rommereim, D.N., Kaune, W.T., Buschbom, R.L., Phillips, R.D. and Sikov, M.R. (1987): Reproduction and development in rats chronologically exposed to 60 Hz electric fields, *Bioelectromagnetics*, **8**, 243-258.
- Rommereim, D.N., Rommereim, R.L., Miller, D.L., Buschbom, R.L. and Anderson, L.E. (1996): Developmental toxicology evaluation of 60-Hz horizontal magnetic fields in rats, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, **11**, 307-312.
- Schnorr, T.M., Grajewski, B.A., Hornung, R.W., Thun, M.J., Egeland, G.M., Murray, W.E., Conover, D.L. and Halperin, W.E. (1991): Video display terminals and the risk of spontaneous abortion, *New Engl. J. Med.*, **324**, 727-733.
- Stuchly, M.A., Ruddick, J., Villeneuve, D., Robinson, K., Reed, B., Lecuyer, D.W., Tan, K. and Wong, J. (1988): Teratological assessment of exposure to time-varying magnetic fields, *Teratology*, **38**, 461-466.
- Wilson, J.G. (1965): Methods for administering agents and detecting malformations in experimental animals. In: *Teratology, principles and techniques* (Wilson, J.G. and Warkany, J. ed.), University of Chicago Press, Chicago and London, p. 262-277.