

900 MHz 대역 RFID 리더기의 생체 영향에 대한 연구 -  
동물 실험 경과

김연주 · 백만정 ·  
김 남\* · 안영환  
아주대학교 의과대학  
신경재생줄기세포연구소  
및 신경외과 ·  
\*충북대학교 전자정보대학

I. 서 론

전자파가 사용되는 각종 전자 제품 및 이동 통신의 사용 등이 증가하면서, 전자파의 생체 영향에 대한 폭넓은 연구가 수행되고 있으나, 이들이 방출하는 전자파의 인체 유해성 논란은 끊이지 않고 있고, 전자파에 대한 막연한 불안감도 해소되지 못하고 있다.

무선 통신 기술의 일종인 RFID는 무선 주파수 식별인 Radio Frequency Identification의 약어로 전파를 이용하여 리더의 안테나를 통해 접촉하지 않고 태그(Tag)의 정보를 판독하거나 인식하는 개체 인식 기술 중의 하나이다.

RFID는 다양한 무선 주파수 대역을 이용하며, 주파수 대역별로 응용 분야가 다르다<sup>[1]</sup>. 860~960 MHz 대역의 주파수를 이용하는 극초단파 RFID는 다중 태그 인식 거리와 성능이 가장 뛰어나 1 m 이상의 원거리에 적합하므로 유통 물류 분야뿐만 아니라 국방, 환경, 환경, 항공, 전기전자 등 다양한 분야에서 적용하려는 연구가 활발히 전개되고 있다<sup>[2]</sup>. 전 세계적으로 860~960 MHz 대역을 유통 및 물류 관리를 위한 주파수 대역으로 설정하는데, 우리나라에서는 이러한 용도로 908.5~914 MHz 대역이 할당되었다

가<sup>[3]</sup> 900 MHz 주파수 회수/재배치에 따라 RFID 용도의 주파수 대역이 917~923.5 MHz로 조정된 바 있다.

지구상에 살아있는 생명체는 24시간 주기의 생물학적 리듬, 즉 ‘일주기 리듬(circadian rhythm)’을 가지고 있다. 대표적인 일주기 리듬인 수면-각성 주기(sleep-wake cycle)의 경우 수면과 각성은 밤과 낮의 분명한 시간대에 따라 나타나며<sup>[4]</sup>, 우리 몸이 생리적, 행동적으로 항상성을 유지하면서 살아갈 수 있도록 하는 역할을 한다. 시상하부의 시신경교차 상핵(Supra-Chiasmatic Nucleus, SCN)은 일주기의 생체 리듬을 조절하는 페이스 메이커로 작용하여<sup>[5]</sup>, 망막을 통하여 들어온 빛의 자극은 SCN에 도달하고 교감신경섬유를 통해 송과선(pineal gland)에서 멜라토닌과 세로토닌을 분비하여 인체의 광주기를 조절하게 된다<sup>[6]</sup>.

멜라토닌(melatonin, N-acetyl-5-methoxytryptamine)은 하루를 주기로 수면 리듬을 조절하는 호르몬이다. 또한, 면역계를 조절하는 기능과 일주기적으로 분비되는 호르몬 분비에도 영향을 미쳐 내분비계를 조절한다. 멜라토닌은 밤(어둠의 주기)에 분비가 증가하여 새벽 2~4시경에 최고조에 이른다<sup>[7]</sup>. 낮(빛의 주기)에는 눈의 망막에서 시상하부에 도달하는 신경

본 연구를 위한 전자파 노출장치의 성능은 충남대학교 전자공학부의 김태홍 박사님과 백정기 교수님께서 측정하여 검정 하였습니다. 이윤실 교수님(이화여대), 이재선 박사님(원자력 의학원), 이 광 교수님(아주의대 의과학연구소), 신진영 학생(아주의대 박사과정, 신경외과)의 도움에 감사드립니다. 본 연구는 지식경제부의 연구비 지원을 받은 과제(과제번호 K1001756)입니다.

회로가 SCN의 활성을 막아 송과선의 멜라토닌 분비를 억제한다. 멜라토닌은 전구 물질인 tryptophan으로부터 여러 단계의 생합성 과정을 거쳐 송과선에서 생성되어, 혈액으로 분비된다<sup>8)</sup>.

세로토닌(serotonin, 5-hydroxytryptamin, 5-HT)은 시상하부에서 분비되는 신경 전달 물질 중 하나로서 망막으로 들어온 빛은 뇌 속의 세로토닌 신경을 흥분시키기도 한다<sup>9)</sup>. 송과선에서 합성되며, 대뇌피질과 자율 신경을 통해 체온 조절, 감정, 식욕 등과 생체의 생리 및 행동을 조절하고, 멜라토닌과 같이 생체 내에서 일주기 리듬을 유지하는 역할을 한다<sup>10)</sup>. 세로토닌도 전구체인 tryptophan으로부터 생성된다.

생체가 외부 자극으로부터 자신을 방어하는 주된 역할을 하는 것이 면역 시스템이다. 세포 매개 면역(cell-mediated immunity)에 관여하는 일차 면역 작동 세포는 백혈구(White Blood Cell, WBC)이다. 백혈구에는 호산구(eosinophil), 호염기구(basophil), 호중구(neutrophil), 임파구(lymphocyte), 단핵구(monocyte) 등이 포함된다<sup>11)</sup>. 임파구는 T 임파구와 B 임파구로 구성되며, 적응 면역(adaptive immunity)의 핵심적인 역할을 담당한다. T 임파구는 보조, 억제, 세포 독성 등의 특성을 가진 세포로 구성되어 있다, 이 중에서 보조 T 임파구(T4 세포)는 면역 반응을 항진시키고, 억제 T 임파구(T8세포)는 면역 반응의 억제하는 작용을 하므로 T4/T8비는 면역 반응의 지표로 활용할 수 있다<sup>12)</sup>.

갑상선 호르몬(thyroid hormone)은 우리 몸의 항상성(homeostasis)을 유지시키며 신진대사를 촉진시키는 역할을 하는 중요한 호르몬이다. 갑상선(thyroid gland)은 갑상선 호르몬을 분비하는 내분비기관으로 여포(follicle)이라는 기본 단위로 이루어져 있다. 여포세포는 갑상선 자극 호르몬(Thyroid Stimulating Hormone, TSH) 또는 자가 항체 등의 자극 정도에 따라 모양이 바뀌게 되고, 섭취된 요오드와 tyrosine을 결합시켜 갑상선 호르몬을 만든다. 갑상선 호르몬이 필

요하면 시상하부에서 갑상선 자극 호르몬 방출 호르몬(Thyrotropin Releasing Hormone, TRH)을 분비한다. TRH는 뇌하수체(pituitary gland)를 자극하여 갑상선 자극 호르몬(TSH)을 분비하며, 갑상선 자극 호르몬은 갑상선을 자극하여 T4(tyroxine)의 분비를 촉진시킨다. 증가된 T4는 혈액을 통해 시상하부와 뇌하수체로 feedback되어 TRH와 TSH의 분비를 억제한다<sup>13)</sup>. 갑상선 자극 호르몬의 자극에 의해 생성된 T4는 간과 신장에 있는 효소의 작용에 의해 T4의 요오드 하나가 제거되어 활성형이 매우 높은 형태인 T3로 전환되며, 이후 계속 탈 요오드 과정을 거쳐 제거된다<sup>14)</sup>.

본 연구팀은 900 MHz 대역의 RFID 전자파 노출이 멜라토닌과 세로토닌을 비롯하여, 갑상선 시스템에 관여하는 호르몬들의 분비와 면역 시스템에 미치는 영향을 관찰하여 RFID 리더기에서 방출되는 전자파의 유해성 여부를 확인하기 위한 동물 실험을 수행하고 있다. 본 연구의 주요 결과와 내용들은, 관련 전문가들의 검정을 거쳐 논문으로 발표할 예정이다. 본고에서는 현재 수행 중인 동물 실험 연구의 내용을 중간보고 형식으로 정리하여, 진행 중인 연구 내용의 일부를 소개하고자 한다.

## II. 연구 내용

### 2-1 실험 동물 및 사육 환경

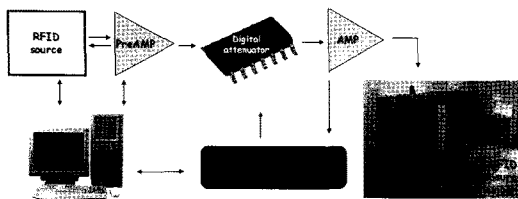
6주령 Sprague-Dawley 흰쥐(체중 220~250 g 내외, DaeHan Biolink Co., Ltd, Seoul, Korea) 수컷을 이용하였다. 실험 환경과 무관한 호르몬의 영향을 배제하기 위해 수컷만을 실험 대상으로 연구를 수행하였다. 실험 동물이 사육 환경에 충분히 적응할 수 있도록 1주일 동안 안정시킨 후, 전자파 노출 실험을 시작하기 1일 전에 실험 동물에 일련번호를 부여하였다. 총 144마리(각 노출 실험 당 각 36마리, 4가지 조건 환경에서의 실험)의 흰쥐를 사용하였으며, 생체 영향을 평가하는 요소로써 면역 시스템과 갑상선 시

시스템에 미치는 영향을 보기위한 실험은 무작위로 각 군당 12마리씩 다음과 같이 세 군(대조군, Sham 노출군, RFID 노출군) 으로 나누어 실험을 진행하였고, 멜라토닌 및 세로토닌에 미치는 영향을 보기 위한 실험은 각 군당 12마리씩 두 군(Sham 노출군, RFID 노출군)으로 나누어 실험을 진행하였다.

실험군의 분류는 다음과 같다. 1) 대조군(일반 사육 환경에서 전자파 노출을 포함한 아무런 자극 없이 자유롭게 생활), 2) Sham 노출군(RFID 노출이 없는 reverberation chamber에서 노출군과 같은 기간 동안 생활), 3) RFID 노출군(RFID 노출 환경에 따라 전자파 노출 환경에서 생활). 실험 동물이 사육되는 사육 상자에 실험군 번호를 부착하고 5일 간격으로 흰 쥐의 체중을 측정하였다. 대조군은 물과 고형 사료를 자유로이 섭취하도록 하였으나, Sham 노출군과 RFID 노출군은 노출 기간(1시간 또는 8시간)동안, 물을 공급하지 않았다. 사육 환경은 명암 주기의 비를 8:16로 고정하고, 온도는  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도는  $50 \pm 10\%$ 가 자동으로 유지되도록 하였다.

### 2-2 전자파 노출 장비의 설치 및 작동

전자파 노출 장비는 초고주파 발생 장치로 한국전자과학회의 감수 하에 이레테크(주)가 reverberation chamber(전자파 잔향실)를 구축한 장비를 이용하였다 ([그림 1]). [그림 1]의 노출용 장치는 전자파 에너지를 가진 안테나를 전자파 잔향실 내에 설치하여, 전자파를 실내에 조사하도록 하였다. 전자파의 조사 강도의 조절을 위해 컴퓨터에 장착된 프로그램을 이용하여



[그림 1] Reverberation chamber

실외에서 연구자가 노출 강도와 시간을 조절할 수 있도록 하였다. 동물 실험을 시작하기 전에, 잔향실 내 각 위치별 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate, SAR) 값을 측정하고(<표 1>), 노출 시간을 조절할 수 있도록 하였으며, Stirrer를 설치하여 실외에서 회전수를 조절하여 전기장의 균일도를 확보할 수 있도록 하였다. 전자파 chamber내에 나무로 제작된 테이블을 놓고, 테이블 위에 놓이게 되는 사육 상자 내 실험 동물들이 균등한 세기의 전자파에 노출될 수 있도록 자기장의 분포와 세기, 실내 자기장의 균일도를, 테이블 위에 구획을 지정하여 3회 이상 측정하고, 시뮬레이션과 사육 상자의 위치에 따른 자기장의 분포를 확인하였다. Sham 대조군의 실험을 위한 잔향실은 전자파 노출군과 같은 환경을 조성하기 위해 Stirrer가 설치되고 습도와 온도가 조절되도록 하였지만, 전자파를 조사할 수 있는 안테나는 설치하지 않았다.

전자파 노출 장비의 성능은 매월 자체적으로 점검하여 전자파의 방출을 확인하고, SAR 값은 매년 설치 업체 및 측정 전문가에 직접 측정하면서, 실험 환경을 유지 관리하고 있다.

### 2-3 노출 조건 및 방법

본 실험을 위한 전자파의 안테나 주파수는 국내에서 가장 널리 사용하고 있는 900 MHz 대역의 주파수로 설정하였다. 전자파의 노출 강도, 하루 노출 기간은 일반인 및 작업자의 RFID 노출 환경을 고려하여 일반인의 경우, 노출 시간이 하루 최대 1시간을 넘지 않는다고 예상하고, 작업자의 경우 하루 평균 8시간 동안 작업장에서 RFID 리더기에 노출될 수 있다는 점을 고려하여, SAR값을 1 W/kg 또는 2 W/kg으로, 1시간/일 또는 8시간/일의 환경에서 2주 노출하였으며, 연구 대상에 따라 각각 독립된 실험으로 수행하고 분석하여 비교하였다. 멜라토닌 및 세로토닌을 분석하기 위한 실험은 노출 시간을 1시간, 노출 기간을 2주로 정하고 SAR 값을 1 W/kg과 2 W/kg으로

<표 1> Measured whole body SAR value at 900 MHz RFID according to the input RFID field strength

Input power [W]	Field strength [V/m]	Whole-body averaged SAR [W/kg]
10	54.17521183	0.440963198
12	57.85696813	0.502935687
14	61.53876833	0.568982238
16	65.22059583	0.639101672
18	68.90249893	0.713298081
20	72.58426483	0.791564073
22	75.34349023	0.852889129
24	78.10405843	0.916533433
26	80.86462663	0.982467699
26.5	81.58302212	1.000001583
27	82.27278626	1.016982595
28	83.65231455	1.051373516
30	86.37954767	1.121044779
32	88.31211133	1.171768031
34	90.25317499	1.223844067
36	92.21402194	1.277600397
38	94.17732831	1.332581689
40	96.1460795	1.388878546
42	98.7777027	1.465949306
44	101.4193259	1.545405838
46	104.0909491	1.627897463
48	106.7925723	1.713496431
50	109.5041955	1.801617647
52	111.4887635	1.867511595
54	113.4982989	1.935440454
56	115.6050615	2.007958846
58	117.736356	2.082678768
60	119.9880085	2.163101009

나누어 두 가지 조건에서 실험을 진행하였다. 면역 시스템과 관련한 실험 조건은 SAR 값을 1 W/kg으로 하루 1시간 2주간 노출하는 조건과 SAR 값을 2 W/kg

으로 하루 8시간 2주간 노출하는 실험을 진행하였다. 갑상선 시스템과 관련한 실험 조건은 SAR 값을 2 W/kg으로, 노출 기간을 2주로 정하고, 하루 1시간 노출하거나 하루 8시간 노출하는 두 조건으로 실험을 진행하였다.

실험 진행 과정에 도출된 결과와 멜라토닌 및 세로토닌의 일주기에 민감한 호르몬이라는 특성을 고려하여 추가적인 연구가 수행 중이다. 멜라토닌은 대부분 밤에 주로 분비되므로, 실험 환경을 야간 노출 조건에서 수행하여야 하며, 그 결과를 주간 노출 결과와 비교 분석할 필요가 있다. 면역 시스템의 경우는 SAR 값 2 W/kg의 노출 강도에서 백혈구 및 림프구와 혈액학적 성상의 변화가 유발되는 소견을 관찰하였다. 다른 연구 보고에 의하면, 이러한 변화들이 환경 변화에 따르는 스트레스 반응일 수 있음을 제시하고 있어, 노출 기간을 4주 및 그 이상으로 연장하여, 영향 정도를 평가하고, 결과를 분석할 필요가 있어 관련한 연구가 진행 중이다. 갑상선 호르몬의 경우에서도 2주 노출 환경만으로 의미있는 연구 결과를 도출할 수 없어 4주, 8주로 연장한 노출 환경에서의 연구가 필요하여, 각각의 조건에 따른 추가적인 연구가 진행 중에 있다.

#### 2-4 시료 채취

전자파 노출 실험을 시작하기 전, 대조군으로 사용할 24시간 노를 채취하였다. 채취한 소변은 4 ℃, 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상층액을 새 튜브에 옮겨 -70 ℃에 보관하였다. 2주간의 전자파 노출 실험이 종료된 후 24시간 동안 같은 방법으로 소변을 채취 후, 개봉하여 복대동맥에서 혈액을 채취하였다. 전혈의 채취는 EDTA 항응고제가 들어있는 2개의 tube에 약 2 mL를 넣고, 응고 촉진제(clot activator)가 포함된 혈청분리용 tube(SST tube)에 약 6 mL를 넣었다. SST tube에 들어있는 혈액은 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하고 혈청을 분리하여 -70 ℃에 보관

하였다. 면역 화학 염색 하에 조직 변화를 관찰하기 위해, 심장을 통해 0.9 % 생리식염수를 관류시켜 혈액을 완전히 제거하였다. 그리고 8 % paraformaldehyde를 0.2 M phosphate buffer(pH 7.4)에 희석한 고정액으로 관류 고정하였다. 이후 갑상선을 적출하였고, 뇌를 적출하여 송과선을 분리하였다. 조직은 고정액에 담아 4 °C에서 24시간 동안 고정한 다음, 30 % sucrose 용액에서 탈수시켰다.

또한, 멜라토닌 및 세로토닌 평가를 위한 진행 중인 실험에서 밤 시간(PM 11:00 ~ AM 7:00) 노출 후 오전에 소변 채취를 시작하여 24시간 뇨를 얻었다. 또한, 4주, 8주 연장 노출 실험에 대해서도 위와 같은 방법으로 추후 연구를 위해 시료를 채취하였다.

## 2-5 멜라토닌 및 세로토닌 분석: Gas Chromatography-Mass Spectrometry

소변 중의 멜라토닌과 세로토닌의 정량적인 측정 은 소변 0.5 mL를 Ethoxycarbonylation; Pentafluoropropionylation 유도체화하고 GC-MS를 이용하여 분석하였다. Methylene chloride 1 mL에 유도체화 반응 시약인 ethyl chloroformate(ECF)를 50  $\mu$ L 첨가한 후 0.5 M sodium phosphate buffer(pH 7.5)를 첨가하여 내부 표준 물질로써 1,6-diaminohexane, 6-chloromelatonin를 사용하였다. 이후 상온에서 vortex-mix하여 유도체화 반응을 유도하였다. 5M NaOH를 이용하여 pH를 12 이상으로 높인 다음 유도체화 반응 시약인 10 % ECF 500  $\mu$ L를 첨가한 후 상온에서 vortex-mix하여 유도체화 반응을 시켰다. 그리고 diethyl ether, ethyl acetate로 추출 과정을 거쳐 40 °C에서 질소기류 하에 농축시킨 후 ethyl acetate 30  $\mu$ L에 유도체화 반응 시약인 Pentafluoropropionic Anhydride(PFPA) 30  $\mu$ L를 취하여 vortex-mix하고 60 °C에서 30분간 유도체화 반응을 실시하였다. 반응을 식힌 후 0.1M HCl 200  $\mu$ L에 용해시킨 후 sodium chloride를 가하여 포화시켰다. 이후 diethyl ether, ethyl acetate로 추출하고 40 °C에서 질소 기

류 하에서 농축시켰으며, toluene 40  $\mu$ L에 용해시켜 Gas Chromatography-Mass Spectrometry(GC-MS)(Agilent Technologies, Atlanta, GA) Selected Ion Monitoring(SIM) mode로 분석하였다. GC-MS는 Agilent 6890 gas chromatograph과 Agilent 5973 mass-selective detector(70 eV, electron impact mode)를 사용하였고, 컬럼(column)은 Ultra-2(SE-54 bonded phase; 25 m $\times$ 0.20 mm I.D., 0.11  $\mu$ m film thickness)(Agilent Technologies)를 사용하였다. Carrier gas는 헬륨을 0.5 mL/min의 유속으로 일정하게 흐르게 하였다. Injector, interface, source는 260, 300, 230 °C의 온도로 각각 유지되었다. 샘플은 split injection mode(10:1)로 주입하였다. 오븐의 온도는 처음에는 100 °C에서 2분 유지, 3 °C/min의 속도로 260 °C로 까지를 높여주었고, 20 °C/min의 속도로 300 °C까지 온도를 높여 준 다음 10분 유지되었다. 정량 측정 및 분석 후, Sham 노출군의 분비량(노출전 대조군)을 1로 표준화하고 이를 기준으로 RFID 노출군의 전자파 노출 후 소변 중의 세로토닌 및 멜라토닌 분비량의 변화 패턴을 비교하였다.

## 2-6 면역 시스템 평가

### 2-6-1 혈액학적 분석

혈액내의 존재하는 적혈구와 적혈구 용적치(Hematocrit, Hct), 헤모글로빈(Hemoglobin, Hb), 적혈구 평균 용적(Mean Corpuscular Volume, MCV), 적혈구 평균 혈색소량(Mean Corpuscular Hemoglobin, MCH), 혈색소 평균 농도(Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration, MCHC), 적혈구 용적 분포 폭(Red Cell Distribution Width, RDW) 및 혈소판(Platelet, PLT)의 수를 측정하였다. 백혈구의 상대적 비율(differential count, %)과 혈소판 세포의 수를 계산하고 적혈구 성상을 분석하기 위해 자동 혈구계산기(Hemavet 950 Multispecies Hematology Analyzer DREW Scientific Inc. Oxford, CT, USA)를 이용하였다. 백혈구에 포함되는 호중구, 임파구, 단핵구, 호염구, 호산구 등의 수치를 확인하고 상대

적 비율을 계산하여 감별 계수를 조사하여 비교할 수 있도록 하였다.

## 2-6-2 Fluorescence Activated Cell Sorter (FACS) Analysis

혈액 내의 존재하는 림프구의 아형 검사를 통해 T4 세포/T8 세포 비율을 측정하기 위해 FACS 분석 방법을 사용하였다. 혈액에 ficoll-paque(GE Healthcare)을 넣고 1,500 rpm에서 원심분리한 후 임파구층만 분리하였다. 분리한 세포는 phosphate buffered saline (PBS)에 2회 세척하고 trypan blue로 세포수를 세어 임파구수를 모두  $1 \times 10^6$ 으로 맞추었다. 이후 직접 면역형광 염색을 실시하기 위해 Fluorescein-isothiocyanate (FITC)-conjugate anti-CD3, Phycoerythrin(PE)-conjugated anti-CD4, Phycoerythrin(PE)-anti-CD8(all from BD Biosciences)의 단클론 항체 조합으로 염색을 하였다. 그리고 T 임파구(CD3+), helper T 임파구(CD3 CD4+), suppressor T 임파구(CD3+/CD8+) 등의 FACS 분석을 위해  $1 \times 10^4$ 개의 세포를 검사하였다. 분석에는 PC-based program인 WinMDI(version 2.8, TSRI, U.S.A.)를 이용하였으며, forward scatter(FSC)와 side scatter(SSC) dot plot상에서 임파구 영역을 gating한 후 FL1과 FL2의 강도 분석을 통해 임파구의 아형의 백분율을 얻었다. 또한 T4/T8 비율을 계산하기 위해 CD3+/CD4-/CD8-T lymphocyte의 백분율이 총 T lymphocyte(CD3+)이며, 총 T lymphocyte에서 CD3+/CD4+ T lymphocyte의 백분율과 CD3+CD8 T lymphocyte의 백분율을 뺀 값으로 계산하고, T4세포와 T8세포의 백분율을 측정한 후 T4/T8 비율을 계산하였다.

## 2-7 갑상선 호르몬(T3, T4, TSH) 분석

### 2-7-1 Chemiluminescent Immunoassay(CLIA)

혈청 내 갑상선 호르몬인 thyroxine(T4) and triiodothyronine(T3)는 각각 T3 reagent와 T4 reagent가 경쟁적으로 결합하여 solid phase의 paramagnetic particle을 형성하고, 여기에 life reagent의 acridinium ester-

labeled mouse anti-T3 antibody가 결합하여 나타나는 RLU(Relative Light Units)를 측정하는 원리를 이용한다. 발광된 빛은 Relative Light Units(RLU)의 단위로 측정된다. AE의 산화 과정에서 발광된 빛은 정량화 되고, 장비는 항원의 농도를 계산한다. 같은 원리로 혈청 중의 총 T3, T4 그리고 갑상선 자극 호르몬은 화학 발광 면역 측정법(Chemilumino Immuno Assay, CLIA)으로 측정하였으며, 사용된 시약은 ADVIA Centaur XP T3(Siemens, USA), ADVIA Centaur XP T4(Siemens, USA), ADVIA Centaur XP TSH(Siemens, USA)이었다.

### 2-7-2 병리조직학적 검사(Histopathological Analysis)

송과선과 갑상선의 일반적인 조직 형태를 관찰하기 위해 hematoxylin-eosin 염색을 실행하였다. 고정 및 탈수가 끝난 조직은 파라핀으로 고정한 후 3 um 두께의 조직 절편을 제작하였다. 조직 절편을 hematoxylin 용액으로 약 1분간 염색 후 세척하고, 1% 염산 용액에 침적 후 0.5% ammonia water로 청색화시켰다. 이는 다시 수세 과정을 거치고 eosin 용액으로 10 초 동안 염색하고 에탄올 탈수 과정과 xylene의 투명 과정을 거쳐 슬라이드에 고정하였다. 광학 현미경을 이용하여 갑상선의 여포 세포핵의 형태와 여포내의 콜로이드 함량 및 병리학적 이상 여부가 발견되는지를 관찰하고, 송과선 용적과 송과 세포의 크기 및 병리학적 변화 여부를 관찰하였다.

## 2-8 통계 분석

모든 결과 값은 평균±표준편차(mean±standard deviation, S.D.)로 표시하였으며, 통계분석은 SPSS for windows(version 12.00 SPSS Inc; Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하였다. 두 군간의 비교는 비모수적 Mann-Whitney 검정법과 Kruskal-Wallis 검정을 사용하여 평가하였고, P 값은 0.05 미만 시 통계적으로 유의성이 있는 것으로 판단하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 3-1 체중 변화

실험 동물의 체중은 대조군과 Sham군, RFID 노출군 등의 세 군에서 정상적인 추세로 증가하는 양상을 보였고, 본 연구에 적용된 다른 RFID 노출 조건에서도 각 군 간의 체중에는 유의미한 차이가 없었다(<표 2>).

#### 3-2 멜라토닌 및 세로토닌 변화

##### 3-2-1 900 MHz RFID 노출에 따른 멜라토닌 및 세로토닌의 분비량 측정

먼저 900 MHz 대역의 RFID에 노출이 정상 성체 흰쥐의 멜라토닌 및 세로토닌의 분비에 미치는 영향을 관찰하기 위해, 주간(day time)에 RFID에 2주간 노출시킨 흰쥐의 소변에 포함된 멜라토닌과 세로토닌의 양을 정량적으로 측정하였다. 노출 후 Sham군의 분비량을 1로 표준화하고 이를 기준으로 RFID군의 전자파 주간 노출 후의 멜라토닌 및 세로토닌의 분비량을 계측하여 감소 및 증가를 비교하고, 두 군 간의 통계적인 유의성을 관찰하였다.

멜라토닌 분비량은 SAR value 1 W/kg, 1 h/day 노

출 조건에서 주간 시간대에 2주간 노출한 경우, Sham군과 RFID군이 각각  $1.00 \pm 0.12$ ,  $0.73 \pm 0.24 \mu\text{g}/\text{mg}$  of creatinine로서 두 군 간의 차이는 없었으며( $P=0.14$ ), SAR value 2 W/kg, 1 h/day exposure의 노출 조건에서 주간 시간대에 2주간 노출한 경우에도, Sham군과 RFID군에서 각각  $1.00 \pm 0.18$ ,  $0.81 \pm 0.06 \mu\text{g}/\text{mg}$  of creatinine로서 두 군간에 차이가 없었다( $P=0.86$ ).

세로토닌 분비량은 SAR value 1 W/kg, 1 h/day 노출 조건에서 주간 시간대에 2주간 노출한 경우, Sham군과 RFID군이 각각  $1.00 \pm 0.08$ ,  $0.81 \pm 0.30 \mu\text{g}/\text{mg}$  of creatinine으로 두 군간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며( $P=0.92$ ), SAR value 2 W/kg, 1 h/day exposure의 노출 조건에서 주간 시간대에 2주간 노출한 경우에도, Sham군과 RFID군이 각각  $1.00 \pm 0.23$ ,  $0.81 \pm 0.06 \mu\text{g}/\text{mg}$  of creatinine로 두 군 간에 유의한 차이가 없었다( $P=0.74$ )(그림 2).

##### 3-2-2 900 MHz RFID 노출에 따른 송과선(Pineal Gland)의 조직학적 변화

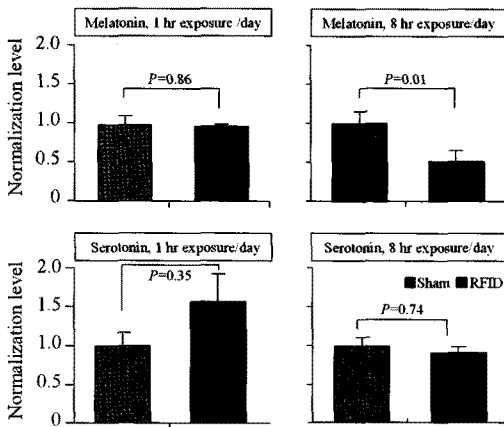
RFID 노출에 따른 송과선의 변화 유무를 조직학적으로 관찰하기 위해, 2주간 RFID 리더기에 노출한 후 H&E 염색된 송과선 조직을 광학현미경으로 관찰한 결과, 송과선 내의 송과 세포와 아교세포 그리

<표 2> Changes of body weight of rats overtime

	SAR 1 W/kg, 1 h/day, 2 weeks			SAR 2 W/kg, 1 h/day, 2 weeks			SAR 2 W/kg, 8 h/day, 2 weeks			SAR 2 W/kg, 8 h/day, 4 weeks				
	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day		
Sham	202±2.0	247±2.5	289±3.4	201±0.9	244±3.4	300±1.4	201±0.9	244±3.4	299±2.9	203±2.5	248±4.1	291±4.5		
RFID	200±1.7	249±2.8	287±4.3	203±0.9	256±2.3	300±2.4	203±0.9	256±2.3	300±4.4	204±2.6	252±3.4	292±3.2		
	SAR 1 W/kg, 1 h/day, 2 weeks			SAR 1 W/kg, 1 h/day, 4 weeks				SAR 2 W/kg, 8 h/day, 2 weeks			SAR 2 W/kg, 8 h/day, 4 weeks			
	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	4 <sup>th</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	4 <sup>th</sup> day
Control	200±1.8	247±1.9	287±3.8	204±1.8	253±2.8	300±3.2	347±4.1	200±1.3	244±3.1	298±4.3	198±2.2	255±4.4	311±4.5	348±5.8
Sham	202±2.0	247±2.5	289±3.4	203±2.5	248±4.1	291±4.5	345±2.6	201±0.9	244±3.4	299±2.9	197±1.4	256±1.9	303±2.8	347±5.8
RFID	200±1.7	249±2.8	287±4.3	204±2.6	252±3.4	292±3.2	347±5.0	203±0.9	256±2.3	300±2.4	198±1.3	251±2.3	301±2.6	346±4.5

Weights in grams (mean±S.D.), no significant change in these parameters was observed( $n=12/\text{group}$ ).

\*The mean difference is significant at the  $p<0.05$  level.



[그림 2] Changes in urine level of melatonin and serotonin(SAR 2 W/kg for 2 weeks), melatonin levels in sham groups were set to 1 and levels RFID groups were normalized. In the 8 hours daily groups, which was showed significant decrease as compared to the Sham groups ( $P=0.01$ ). Serotonin levels in Sham groups were set to 1 and n levels RFID groups were normalized. There were no significant differences in each measurement between Sham-exposure and RFID-exposure groups ( $P>0.05$ ).

고 지방적의 수가 정상 형태를 유지하고 있었다. 이상 세포는 관찰되지 않았으며, 이러한 조직학적 소견은 RFID 노출군과, 대조군에서 모두 관찰되어, 두 군 간에 차이를 보이지 않았으며, 염색성의 강도 및 결합 조직의 넓이 등도 RFID 노출에 의해 특이적인 변화를 보이지 않는 소견을 보였다(Data not shown).

### 3-3 면역 시스템 변화

혈액 분석을 통해 적혈구 성장들의 변화 여부를 관찰하였고, 백혈구 감별 계산을 통해 백혈구, 호중구, 임파구, 단핵구, 호산구, 호염기구 등의 수를 확인하였다. 전신 SAR값 1 W/kg의 강도에서 1시간/일씩 2주일간 노출한 실험에서, 대조군, Sham군, RFID군의

적혈구의 수가 각각  $7.3\pm 0.2$ ,  $7.1\pm 0.1$ ,  $8.1\pm 0.5(M/\mu L)$  ( $P=0.02$ ), 헤모글로빈의 수치는  $16.1\pm 0.4$ ,  $15.5\pm 0.3$ ,  $18.4\pm 1.1(g/dL)$  ( $P=0.002$ ), 적혈구 용적치는  $44.2\pm 0.9$ ,  $41.3\pm 0.7$ ,  $50.6\pm 2.5(\%)$  ( $P=0.0001$ ), 적혈구 평균 용적치는  $60.7\pm 0.8$ ,  $58.4\pm 0.7$ ,  $62.5\pm 0.7(fL)$  ( $P=0.006$ ), 적혈구 평균 혈색소량은  $22.1\pm 0.1$ ,  $22.0\pm 0.4$ ,  $22.7\pm 0.3(pg)$  ( $P=0.04$ ) 등으로 혈색소 평균 농도와 적혈구 용적 분포 폭을 제외한 나머지 적혈구 성장들이 대조군과 Sham군에 비교하여 RFID군에서 증가하였고( $P=0.001$ ,  $P=0.03$ ), 모두 정상 범위에 속하는 수치였다(표 3). 혈소판도 마찬가지로 SAR value 2 W/kg의 노출 강도에서 매일 8시간씩 2주간 RFID에 노출한 경우 세균의 혈소판 수가 각각  $1,126\pm 116$ ,  $1,004\pm 71$ ,  $549\pm 118(K/\mu L)$ 로 RFID군에서 유의미한 감소를 나타내었고, 이는 정상 범위에 속하는 수치였다(그림 3).

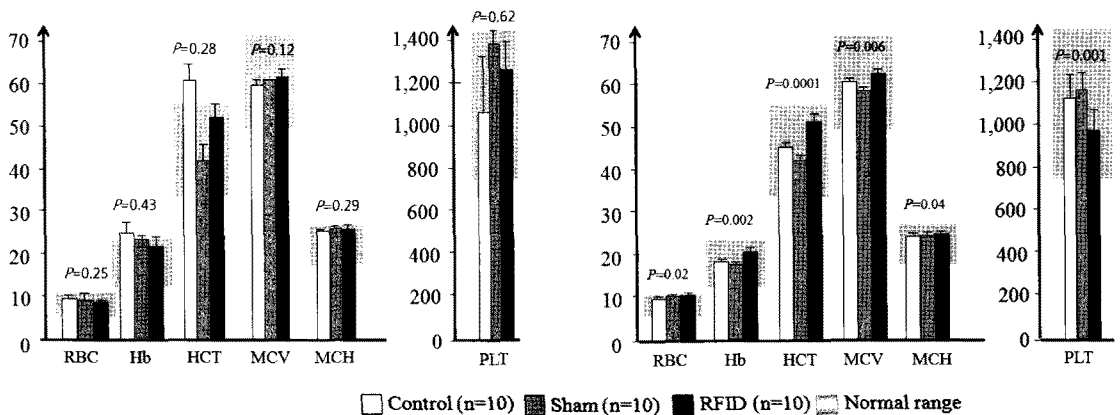
백혈구 감별 계산을 통해 대조군과 Sham군의 백혈구 조성 차이를 비교하였다. RFID 노출군에서 호산구( $\times 10^3/\mu L$ )가 각각  $0.14\pm 0.02$ ,  $0.08\pm 0.01$ ,  $0.05\pm 0.01$ , 호염기구의 수( $\times 10^3/\mu L$ )가  $0.03\pm 0.01$ ,  $0.01\pm 0.01$ ,  $0.01\pm 0.00$ 로 감소되어 있으나( $P=0.001$ ,  $P=0.03$ ), 변화된 세포 수가 정상적인 환경에서도 변화할 수 있는 범위(호산구:  $0.0\sim 3.4 \times 10^3/\mu L$ , 호염기구:  $0.0\sim 0.4 \times 10^3/\mu L$ ) 내의 수치였다. 2 W/kg의 강도에서 8시간/일의 노출에서 2주간 노출하였을 때, 대조군, Sham군, RFID 노출군의 백혈구의 수( $\times 10^3/\mu L$ )가 각각  $8.2\pm 0.4$ ,  $7.8\pm 0.5$ ,  $5.6\pm 0.8$ , 임파구의 수가 각각  $5.6\pm 0.3$ ,  $5.2\pm 0.4$ ,  $3.1\pm 0.5$ 로 유의한 감소를 보였고( $P=0.006$ ,  $P=0.0006$ ), 임파구의 수는 정상 범위를 벗어나면서 감소하는 소견을 보였다(표 4). 이외의 면역 세포 수는 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다( $P>0.05$ )(그림 4).

또한 T4, T8 세포의 수적인 변화 및 T4/T8 세포 비율의 변화 여부를 관찰한 결과, 유의한 차이를 보이지 않았으며, 정상 범위에 속하였다( $P>0.05$ )(그림 5).



〈표 3〉 RBC profiles and number of platelets in whole blood between all three groups ( $n=12/\text{group}$ ) according to the two different RFID exposure condition

	Normal value	SAR 1 W/kg, 1 h/day, 2 weeks			SAR 2 W/kg, 8 h/day, 2 weeks		
		Control	Sham	RFID	Control	Sham	RFID
RBC(M/uL)	4.60~9.19	10.2±0.7	9.1±0.3	8.4±0.5	7.3±0.2	7.1±0.1	8.1±0.5
Hb(g/dL)	10.1~16.7	25.1±1.9	22.8±0.9	21.3±1.6	16.1±0.4	15.5±0.6	18.4±1.1
HCT(%)	34.0~53.0	60.0±4.1	54.6±1.6	50.8±3.1	44.2±0.9	41.3±0.7	50.6±2.5
MCV(fL)	50.0~77.8	59.1±0.3	60.3±0.4	60.3±0.4	60.7±0.8	58.4±0.7	62.5±0.7
MCH(pg)	16.0~23.1	24.6±0.2	25.1±0.2	25.1±0.4	232.1±0.1	22.1±0.4	22.7±0.3
MCHC(g/dL)	282~34.1	41.6±0.4	41.7±0.5	41.6±0.7	36.5±0.5	37.7±0.7	36.3±0.4
RDW(%)	12.0~27.0	16.6±0.4	15.9±0.2	16.1±0.2	18.5±0.2	18.3±0.2	18.1±0.3
PLT(K/uL)	685~1436	1064±268	1396±181	1265±121	1126±116	1004±71	549±118



(A) SAR value 1 W/kg, 1 h/day exposure for 2 weeks

(B) SAR value 2 W/kg, 8 h/day exposure for 2 weeks

[그림 3] Comparison of RBC profiles and number of platelet in male SD rats after 900 MHz RFID exposure.

RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, HCT: hematocrit, MCV: mean corpuscular volume, MCH: mean corpuscular hemoglobin, MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration, PLT: platelet.

All histograms represent the mean±S.D. The mean difference is significant at the  $p<0.05$  level.

### 3-4 갑상선 호르몬(T3, T4, TSH)의 변화

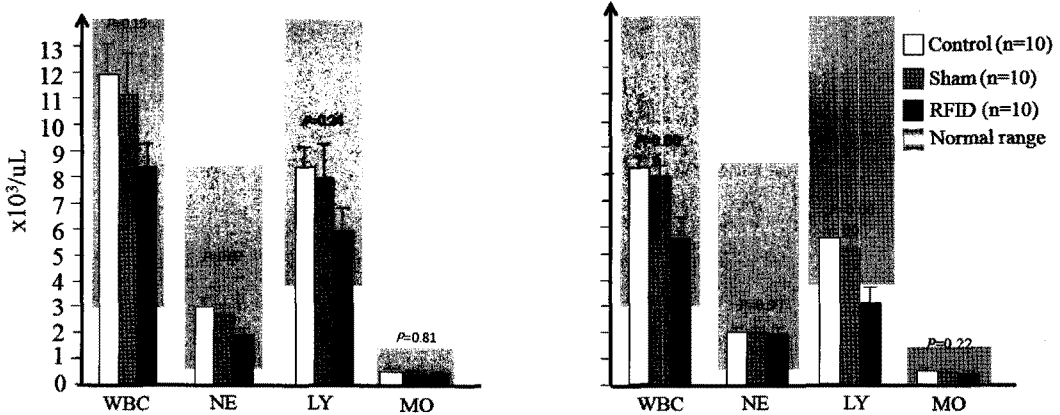
#### 3-4-1 900 MHz RFID 노출에 따른 갑상선 호르몬 측정

전자와 노출 후 T3, T4, TSH의 변화 유무를 관찰하였다. Triiodothyronine(T3)이 SAR value 2 W/kg의 노출 강도에서 매일 1시간씩 2주일 동안 조사한 경우, Sham군과 RFID군에서 각각 45.75±2.58, 48.25±1.68

ng/dL로 두 군 간에 차이가 없었고( $P=0.52$ ), 하루 중의 노출 시간을 8시간으로 연장하여 같은 조건에서 2주일 동안 실험하였을 때에도 Sham군과 RFID군에서 각각 46.50±1.63, 44.83±1.66ng/dL로 두 군 간의 차이가 관찰되지 않았다( $P=0.26$ ). 갑상선 호르몬인 T3는, 연구자가 수행한 RFID 노출 환경에서는 분비의 변화가 유도되지 않았다.

<표 4> WBC profiles in whole blood between all three groups (n=12/group) according to the two different RFID exposure condition

	Normal value	SAR 1 W/kg, 1 h/day, 2 week			SAR 2 W/kg, 8 h/day, 2 week		
		Control	Sham	RFID	Control	Sham	RFID
WBC	2.9~20.9	11.9±1.1	11.2±1.3	8.4±0.8	8.2±0.4	7.8±0.5	5.6±0.8
Neutrophil	0.3~8.5	3.0±0.4	2.7±0.3	2.0±0.1	2.1±0.1	2.0±0.1	2.0±0.2
Lymphocyte	3.8~15.3	8.3±0.8	8.0±1.0	6.0±0.6	5.6±0.3	5.2±0.4	3.1±0.5
Monocyte	0.0~1.4	0.5±0.1	0.4±0.1	0.4±0.0	0.5±0.1	0.4±0.0	0.4±0.1
Eosinophil	0.0~0.3	0.14±0.02	0.08±0.01	0.05±0.01	0.07±0.03	0.09±0.03	0.05±0.01
Basophil	0.0~0.1	0.03±0.01	0.01±0.01	0.01±0.00	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01



(A) SAR value 1 W/kg, 1 h/day exposure for 2 weeks

(B) SAR value 2 W/kg, 8 h/day exposure for 2 weeks

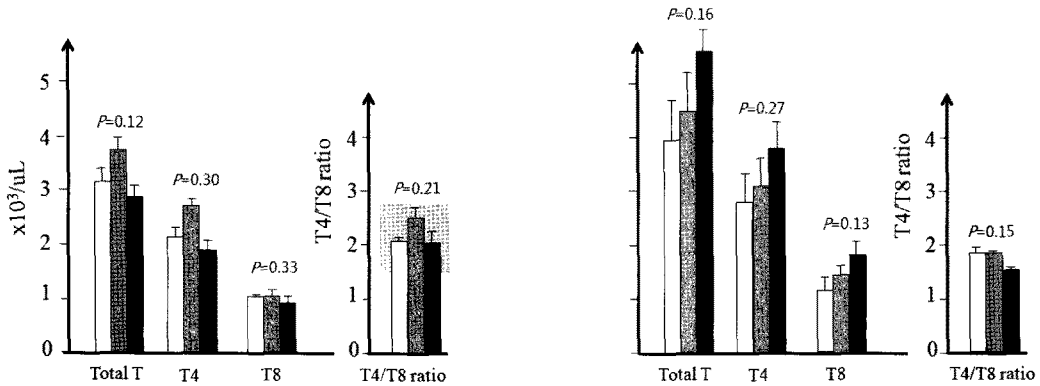
[그림 4] Comparison of white blood cell differential counts in male SD rats after 900 MHz RFID exposure.

WBC: white blood cell, NE: neutrophil LY: lymphocyte, MO: monocyte, EO: eosinophil, BA: basophil. All histograms represent the mean±S.D. The mean difference is significant at the  $p < 0.05$  level.

Thyroxine(T4)의 경우 SAR value 2 W/kg의 노출 강도에서 매일 1시간씩 2주일 동안 조사한 경우, Sham군과 RFID군에서 각각  $4.08 \pm 0.57$ ,  $3.60 \pm 0.59$  ng/dL로 두군 간 차이를 관찰하지 못하였고( $P=0.14$ ), 하루 중의 노출 시간을 8시간으로 연장하여 같은 조건에서 2주일 동안 실험하였을 때에도 Sham군과 RFID군에서 T4 값이 각각  $4.08 \pm 0.27$ ,  $3.60 \pm 0.24$  ng/dL로 두군 간의 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다( $P=0.17$ ). 갑상선 호르몬인 T4 또한 2주간의 노출 기간에서는

분비의 차이가 없었다.

갑상선 자극 호르몬(TSH)은, SAR value 2 W/kg의 노출 강도에서 매일 1시간씩 2주일 동안 조사한 경우, Sham군과 RFID군에서 각각  $1.01 \pm 0.08$ ,  $0.83 \pm 0.06$   $\mu$ IU/mL로 두군 간에 유의성 있는 차이를 관찰하지 못하였고( $P=0.14$ ), 하루 중의 노출 시간을 8시간으로 연장하여 같은 조건에서 2주일 동안 실험하였을 때에도 Sham군과 RFID군에서 각각  $1.12 \pm 0.27$ ,  $0.72 \pm 0.18$   $\mu$ IU/mL로 두군 간에 차이가 없었다( $P=0.17$ ). 갑상



(A) SAR value 1 W/kg, 1 h/day exposure for 2 weeks

(B) SAR value 2 W/kg, 8 h/day exposure for 2 weeks

[그림 5] T4/T8 ratio in male SD rats after 900 MHz RFID exposure.

WBC: white blood cell, NE: neutrophil LY: lymphocyte, MO: monocyte, EO: eosinophil, BA: basophil. All histograms represent the mean±S.D. The mean difference is significant at the  $p < 0.05$  level.

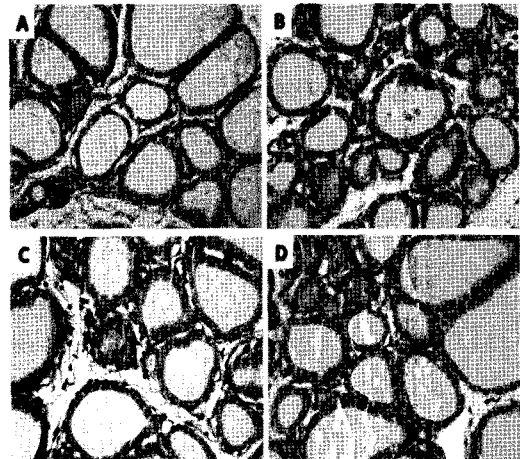
선 자극 호르몬은 연구자가 수행한 노출 환경에서는 변화를 보이지 않았다(표 5).

### 3-4-2 900 MHz RFID 노출에 따른 갑상선의 조직학적 변화

전자파 노출 후 채취한 갑상선 조직의 조직 병리학적 변화 유무를 확인하기 위한 H&E 염색 조직 표본의 육안 관찰 소견상 콜로이드를 포함하는 여포들로 구성된 부위와 갑상세포 및 여포 사이의 결합 조직에 존재하는 혈관이 정상적으로 분포하고 있는 소견이 관찰되었고, RFID 노출 흰쥐의 갑상선 조직에서 병리학적인 변화가 관찰되지 않았다([그림 6]).

<표 5> T3, T4 and TSH levels in male SD rats after 900 MHz RFID exposure

2 weeks exposure	Group	T3 (ng/dL)	T4 (ng/dL)	TSH ( $\mu\text{IU/mL}$ )
SAR 2 W/kg, 1 h/day	Sham	45.75±2.58	4.08±0.57	1.01±0.08
	RFID	48.25±1.68	3.60±0.59	0.83±0.06
SAR 2 W/kg, 8 h/day	Sham	46.50±1.63	4.08±0.27	1.12±0.27
	RFID	44.83±1.66	3.60±0.24	0.72±0.18



(A) Sham-SAR value 2 W/kg, 1 h/day exposure for 2 weeks. (B) RFID-SAR value 2 W/kg, 1 h/day exposure for 2 weeks. (C) Sham-SAR value 2 W/kg, 8 h/day exposure for 2 weeks. (D) RFID-SAR value 2 W/kg, 8 h/day exposure for 2 weeks.

[그림 6] Effects of 900 MHz RFID exposure on Thyroid gland morphology. Hematoxylin-eosin stained thyroid gland tissue was observed by microscope. Thyroid gland section presenting thyrocyte and colloid droplets in follicles with high- magnification (H&E stain, original magnification, 40 $\times$ ).

#### IV. 결론 및 고찰

본 연구자들은 정상 성체 흰쥐에 900 MHz RFID 전자파가 멜라토닌 및 세로토닌 호르몬과 면역 시스템, 그리고 갑상선 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해 동물 실험을 수행하고 있다. 본 연구에 적용된 전자파의 노출 강도, 하루 노출 시간 및 노출 기간 등은 일반인 및 작업자의 RFID 노출 환경을 고려하여 결정하였다.

RFID 전자파 노출이 흰쥐의 체중에 미치는 영향은 관찰되지 않았다. 타 연구 보고에서도 성체 실험 동물의 체중이 전자파에 의해 영향을 받았다는 보고는 없었으나<sup>[4]</sup>, 태자 단계의 흰쥐에게 조사되었을 때에는 유의미한 체중 변화가 유발되었다는 보고가 있다<sup>[5]</sup>. 본 연구는 성체에 대한 영향 연구이므로, RFID 노출이 태자 상태의 흰쥐의 면역 시스템에 미치는 생체 영향을 평가하는 동물 실험이 추가적으로 필요할 것으로 예상된다.

멜라토닌 및 세로토닌과 관련하여 900 MHz RFID 전자파에 의한 변화들이 관찰되지 않았다. 그러나 흰쥐는 원래 야행성 동물이며, 멜라토닌은 야간에 분비량이 급격히 증가하는 특성을 가지고 있기 때문에 야간 시간 동안의 노출 실험이 필요할 것으로 생각하고 진행 중에 있다. Kumlin 등은 마우스에 50 Hz, 100  $\mu$ T의 전자파를 40일간(24시간/일) 노출하여 소변으로 배출되는 6-hydroxymelatonin sulfate의 양의 변화 여부를 관찰하고, 전자파가 멜라토닌에 따르는 일주기 리듬에 미치는 영향을 평가하고자 시간대 별로 소변을 채취하여 분석하였다. 그 결과, 전자파가 소변 내에 존재하는 24시간 Total 멜라토닌 양에는 변화를 가져오지 않으나 시간대 별로 받은 소변 내의 멜라토닌이 전자파 노출로 인해 최대치에 이르는 시간대가 달라짐을 통해, 전자파에 의해 일주기 리듬이 바뀔 수 있다는 주장을 하였다<sup>[6]</sup>. 세분화된 시간대 별로 시료를 채취하여 위 호르몬과 전자파 간의 상관

관계를 규명하는 것도 필요할 것으로 생각된다.

최근 급증하는 갑상선 질환과 관련하여 전자파가 상관성이 있을 가능성이 제시되고 있다. 본 연구에서는 전자파 노출 후 말초 혈액으로 분비되는 갑상선 호르몬인 T3와 T4 그리고 TSH를 분석하였고 갑상선 조직의 변화를 관찰하였으나, 노출 강도 및 노출 시간에 무관하게 변화를 보이지 않았다. 다른 연구 보고에서 50 Hz, 50~500  $\mu$ T 세기의 전자파를 하루 중 7시간, 총 3개월간 노출하여 T3와 T4 갑상선 호르몬의 저하를 관찰하였다고 하였는데, 이는 노출 직후 관찰된 것이 아니라 1~3개월 정도의 회복 기간이 지난 후 나타난 결과였다. 따라서 갑상선 호르몬의 경우 전자파 노출에 대한 영향이 지연형으로 나타날 수 있다고 보고하였다<sup>[7]</sup>. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서도 4주와 8주로 연장된 노출 실험을 진행 중에 있다.

전자파와 면역 시스템을 평가하기 위해 일반적으로 연구자들은 T 세포, NK 세포, dendritic 세포, 면역 글로블린, 면역 관련 사이토카인 등에 대한 실험을 진행해 왔다. 본 실험에서는 세포 매개성 면역 반응에 초점을 맞춰 적혈구의 정상 및 백혈구의 감별, 그리고 세포 매개 면역 반응을 담당하는 주된 세포로 면역 기능 평가 지표로 이용되는 T4/T8 세포 비율을 분석하였다. 노출 강도를 SAR값 2 W/kg으로 하루 중 1시간 2주 기간으로 노출한 결과, RFID 노출군에서 백혈구 및 림프구의 유의적인 감소를 관찰하였다. 그러나, 림프구의 경우 변화의 폭이 정상 범위를 벗어나는 결과를 나타내었다. 또한, 적혈구 정상도 변화를 나타내었다. 적혈구와 적혈구 용적치, 헤모글로빈, 적혈구 평균용적, 적혈구 평균 혈색소량이 유의하게 증가되었으며, 혈소판 수치 또한 유의하게 감소되는 소견을 나타내었다. Dilek 등은 정상 쥐에 50 Hz, 0.97  $\mu$ T 세기의 전자파를 하루 3시간씩 50일간 노출시켰을 때 호산구, 헤모글로빈, 혈소판의 수치가 유의하게 감소하였으나, 같은 조건에서 100일간 노출하였을 때는 혈소판을 제외하고는 정상치로 회복된다

고 보고함으로써, 전자파에 대한 생체의 생리적인 방어 작용과 조절 시스템 적응에 의한 현상이라고 해석하였다<sup>118)</sup>. 본 연구에서도 이를 규명하기 위해 4주간 노출하는 추가적인 실험이 진행 중에 있다.

전자파의 생체 영향 연구는 SAR 값뿐만 아니라 노출 주파수, 노출 시간 및 노출 기간, 주파수 신호 방식 등에 따라 그 결과가 다르게 나타날 수 있을 것으로 생각된다. 우리가 살고 있는 지구가 전자기장 내에 있다는 점을 고려할 때, 주야간 또는 계절적 영향에 의한 변수도 고려해야 하므로, 다양한 변수를 고려하여야 할 것으로 생각된다.

전자파가 인체에 미치는 영향을 평가하기 위해, 동물 실험을 수행하는데, 동물 실험의 결과를 사람에게 전적으로 적용할 수 있는 것은 아니지만, 사람을 대상으로 실험을 할 수 없다는 점을 고려할 때 동물을 이용한 연구를 통해, 인체 영향을 추정할 수밖에 없다. 계절적 영향, 주·야간의 차이, 노출 조건 등 뿐만 아니라, 다양한 위험 요소에 노출되고 있는 여건과 지구 온난화 등도 결과에 영향을 줄 수 있는 인자들이다. 본 연구팀이 수행하고 있는 멜라토닌 및 세로토닌 호르몬과 면역 시스템, 그리고 갑상선 시스템 등에 미치는 전자파의 영향에 대한 결론을 단기간에 내릴 수는 없다. 향후 다양한 노출 환경과 조건에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 유승화, "RFID 기술 현황 및 활용분야", 한국정보과학회지, pp. 64-70, 2005년 7월.
- [2] 윤수문, 조은희, "유비쿼터스 환경에서 RFID의 보안", 한국통신학회지, pp. 254-254, 2004년 7월.
- [3] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향", 정보과학회지, pp. 83-87, 2005년 9월.
- [4] F. W. Turek, P. C. Zee, *Regulation of Sleep and Circadian Rhythms*, NewYork, M. Dekker, 1999.
- [5] M. H. Kryger, T. Roth, *Principles and Practice of Sleep Medicine*, Philadelphia, Saunders, pp. 13-23, 2000.
- [6] R. Y. Moore, A. Heller, "Central control of the pineal gland. visual pathways", *Arch Neurology*, pp. 208-218, 1968.
- [7] L. Potocki, D. Glaze, "Circadian rhythm abnormalities of melatonin in Smith-Magenis syndrome", *J. Med. Genet.*, pp. 428-433, 2000.
- [8] J. Arendt, C. Bojkowski, "Immunoassay of 6-hydroxymelatonin sulfate in human plasma and urine: abolition of the urinary 24-hour rhythm with atenolol", *J. Clin. Endocrinology*, pp. 1166-1173, 1985.
- [9] G. W. Lambert, C. Reid, "Effect of sunlight and season on serotonin turnover in the brain", *Lancet*, pp. 1840-1842, 2002.
- [10] C. R. Machado, A. B. Machado, "Circadian serotonin rhythm control : Sympathetic and non-sympathetic pathways in rat pineals of different ages", *Endocrinology*, pp. 846-848, 1969.
- [11] A. Aderem, R. J. Ulevitch, "Toll-like receptors in the induction of the innate immune response", *Nature*, pp. 782-787, 2000.
- [12] S. Kishimoto, S. Tomino, "Age-related changes in the subsets and functions of human T lymphocytes", *J. Immunology*, pp. 1773-1780, 1978.
- [13] D. A. Fisher, "Physiological variations in thyroid hormones: Physiological and pathophysiological considerations", *Clin. Chem.*, pp. 135-139, 1996.
- [14] C. S. Pittman, J. B. Chambers, "The extrathyroidal conversion rate of thyroxine to triiodothyronine in normal man", *J. Clin. Invest*, pp. 1187-1196, 1971.
- [15] J. H. Graham, D. Fletcher, "Growth and developmental stability of *Drosophila melanogaster* in low frequency magnetic fields", *Bioelectromagnetics*,

pp. 465-472, 2000.

- [16] T. Kumlin, P. Heikkinen, "Exposure to a 50 Hz magnetic field induces a circadian rhythm in 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in mice", *J. Radiat. Res.*, pp. 313-318, 2005.
- [17] V. Rajkovic, M. Matavulj, "Morphophysiological

status of rat thyroid gland after subchronic exposure to low frequency electromagnetic field", *Med. Preg.*, pp. 119-127, 2001.

- [18] Dilek Ulker Cakirb, "Oxidative DNA damage in rats exposed to extremely low frequency electromagnetic fields", *Free Radical Research*, pp. 317-323, 2005.

≡ 필자소개 ≡

김 연 주



2008년: 한국교육개발원 임상병리학과 (이학사)  
 2010년: 아주대학교 의과대학 대학원 (이학석사)  
 2010년~현재: 아주대학교 의과대학 대학원 박사과정

김 남



1981년: 연세대학교 (공학사)  
 1983년: 연세대학교 (공학석사)  
 1988년: 연세대학교 (공학박사)  
 2001년~현재: 방송통신위원회 국가정보통신표준위원회 위원  
 2009년~현재: 방송통신위원회 전과정책자문위원

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
 [주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체 보호 규격

백 만 정



1993년: 수원대학교 (이학사)  
 1997년: 성균관대학교 (보건학석사)  
 2002년: 성균관대학교 (약학박사)  
 2004년~2006년: 성균관대학교 약학대학 연구조교수  
 2006년~2010년: 아주대학교 의과대학 신경재생줄기세포연구소 연구부교수

2010년~현재: 아주대학교 분자과학기술과 연구교수  
 [주 관심분야] 전자파 생체대사, 메타볼로믹스 연구, 라세미체 및 키랄관별분석

안 영 환



1986년: 중앙대학교 (의학사)  
 1989년: 중앙대학교 (의학석사)  
 2000년: 중앙대학교 (의학박사)  
 1991년~현재: 대한신경외과학회 정회원  
 2003년~현재: 대한정위기능신경외과학회 상임이사  
 2005년~2010년: 아주대학교 의과대학 신경재생줄기세포연구소 소장

1995년~현재: 아주대학교 의과대학 신경외과학교실 교수  
 [주 관심분야] 전자파 생체영향, 뇌질환의 줄기세포 치료, 뇌종양, 통증 수술, 뇌정위기능신경외과학