

전자파에 노출된 생체의 전기 생리적 변화의 측정

Measurement of Electrophysiological Changes Caused by Electromagnetic Radiation Absorbed in Biobody

박 주 태

Ju-Tae Park

요 약

본 논문에서는 토끼를 대상으로 하여 그 두부에 전자파가 조사(照射)된 경우에 대해 토끼 두부를 3층 구모델로 근사해서 SAR분포를 계산하였다. 계산 결과를 확인하기 위해 주파수 2,450MHz인 마이크로파를 출력세기별로 5그룹으로 설정하여 각각에 대한 노출 전 후의 EEG를 전두부(前頭部)에서 측정하였다.

실험에서 전자파 조사 후에는 뇌전위의 전체평균값은 조금 감소하였고, 특히 θ , δ 그리고 β 파의 평균합성비율은 증가하였다. 이 결과는 마이크로파 조사후 전기적 생리활동의 감소와 뇌파의 속파화 경향을 나타낸다. 측정된 뇌전위로써 생체에 대한 전기 생리적 효과를 정량적으로 파악하여 최대허용노출(Maximum Permissible Exposure)의 객관적인 추정을 하였다.

Abstract

In this paper, SAR distribution is calculated according to the rabbit's head using approximation of its medium as three layers model. Our experiment was classified 5 groups dependent on the power intensity of 2,450MHz microwave to measure EEG(Electroencephalograph) of rabbit, which was checked in left frontal lobe before and after irradiation of microwave.

In results, mean total power of EEG was slightly decreased and mean composition percentages of θ , δ and β wave were increased after irradiation in observation. It means to decrease of electrophysiologic activity and trend of fast wave in brain after irradiation of its microwave. We analyzed the electrophysiological effect of the biobody quantitatively using measured EEG and estimated MPE(Maximum Permissible Exposure).

I. 서 론

과학문명의 발달과 더불어 현대사회에서는 전자파에 노출될 기회가 증가하고 있다. 특히 전자계

임기, 컴퓨터, TV, 무선전화기, 전자오븐기, 레이 다 등 전자기파를 발생하는 고주파기기들의 영향을 많이 받는 실정이다. 최근 미국, 일본 등 선진국가들에서는 전자기파 장해 증후군에 관심이 집중되고 있으며 휴대전화에서 발생하는 전파가 뇌종양을 발

영남전문대학 전자과(Dept. of Electronics Engineering, Yeungnam Junior College)

「이 논문은 1996학년도 영남전문대학 연구조성비 지원에 의한 것임.」

· 논문번호 : 96-5-050

· 접수일자 : 1996년 9월 16일

생시킨다는 소송이 미국에서 발생되었고 휴대전화의 전파유해설이 논쟁을 불러일으키고 있다. 또 항상 전자기파에 노출되는 사람은 고혈압, 두통, 기억감퇴, 뇌손상의 증상을 보일 가능성이 높으며 뇌암이나 백혈병, 남자들에서의 유방암 발생에 대해 보고되었다[1],[2],[3].

한편, 전파의 인체영향에 관해서는 원방계폭로에 의한 비흡수율(SAR:specific absorption rate)의 전신평균치에 의존하는 것이라는 생각이 세계공통인식이고 이것을 기초로한 전파안전기준이 미국, 일본을 비롯한 세계 각국에서 수많은 제안, 권고되고 있다. 물론, 휴대전화에 의한 SAR치는 전신에 평균하면 세계 각국의 전파안전기준치를 만족시킨다고 생각하며 많은 연구자는 휴대전화의 전자계에 의한 유해설을 부정하고 있다. 그러나 실제 사용시에는 안테나가 얼굴면에 근접하기 때문에 방사전파가 비록 미약하더라도 머리의 국소부분에 강한 전자파가 조사되어 인체영향의 불안은 무시할 수 없다.

전자계가 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 많은 연구가 행해지고 있는데 근방파원에 의한 인체의 SAR특성에 관해서 현재까지 몇 가지 연구가 행해지고 있다. 예를 들면, 1980년대에 Iskander등은 회전축원체와 미소파원의 모델을 이용한 계산을 했고 파원과 산란체(인체)와의 거리에 관한 SAR특성에 관해서 검토를 하고 있고[4], Stuchly등은 350MHz의 다이폴 안테나에 의한 인체의 SAR분포계산과 실험을 실시했고, 계산치와 실험치와의 비교를 하고 있다[5]. 이들의 연구에 의하면 대개 100kHz이상의 주파수영역에서의 전자계에 의한 생체로의 영향은 인체에 흡수된 전자계 에너지에 의한 열적 영향이 지배적인 것을 알 수 있다.

전자파의 생체에 대한 영향을 고찰할 때 비열작용은 생물학적이고 임상학적인 접근법을 많이 필요로 하지만 열적작용에 있어서는 생체를 복합적인 매질을 지닌 물질로 보고 적절한 모델링에 의한 해석이 가능하므로[6],[7],[8] 일부 공학적인 접근법도 적

용할 수 있다. 뇌조직의 생체 전기적 활성도를 측정 한 EEG는 임상적으로 뇌질환의 진단에 많은 도움을 주고 있으며 생체 전기적 신호를 나타내므로 기질적 질환(organic disease)뿐만 아니라 기능적 질환(functional disease)의 진단에도 많이 이용되고 있다. 물론 생체에 일어나는 생리적 변화는 생물학적인학적 방법으로 측정 통계되어야 하지만 생체의 신경계에서 발생하는 전기적 신호를 대상으로 측정한다면 공학적으로 접근할 수 있다[9],[10].

본 연구는 이러한 점에 착안한 것으로서 토끼를 대상으로 하여 그 두부를 복합매질의 다층구조로 근사하여 안테나의 주파수를 변화시켰을 때와 출력세기를 변화한 경우의 국부 SAR을 해석적으로 구하여 검토 분석하고, 밀폐된 환경하에서 전자파 발생 장치의 출력세기를 5그룹으로 변화시켜 각 그룹 당 10마리씩 건강한 토끼 암수 구별없이 50마리를 대상으로 토끼 두부에 전자파를 조사한 후 뇌파의 변화를 측정 분석하므로써 자연발생적으로 나타나는 여러 종류의 전자기파에 따른 뇌파의 양상으로부터 객관적인 인체의 MPE설정 근거를 제안하였다.

II. 토끼 두부 모델의 SAR 분포

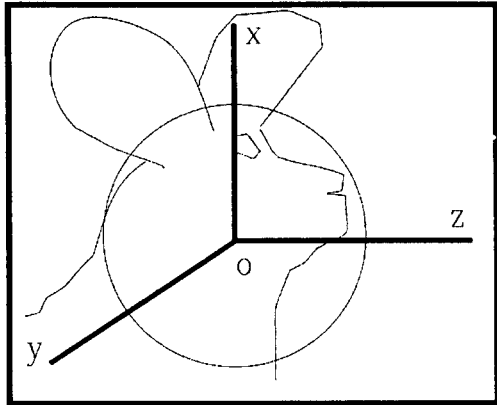
2-1. SAR 분포 계산

토끼의 두부를 [그림 1]과 같은 구로 근사하고 실제 토끼의 두부를 [그림 2]와 같이 뇌실질부(腦實質部), 두개층(頭蓋層), 두피층(頭皮層)으로 구성된 3층 구로 모델화하여 전자계의 경계조건을 이용한 SAR 산출식[11],[12]에 각 층의 전기정수를 대입하여 SAR분포를 계산한다.

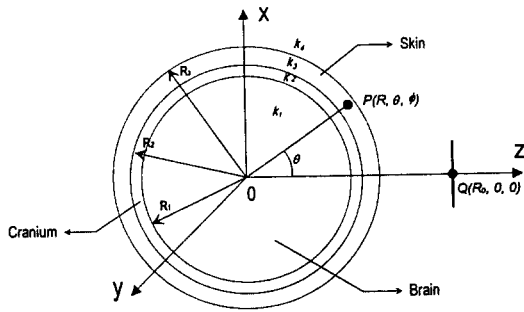
여기서 모델로 사용한 동심구 각 층의 정수와 구조는 <표 1>과 같이 정의한다.

미소다이폴인 파원은 구외부의 z축상의 점 Q($R_0, 0, 0$)에 있고 x축 방향을 향하고 있으며 관찰 점은 $P(R, \theta, \phi)$ 로 하고 파원 Q점과의 각도는 θ 이고 거리는 $S(\text{cm})$ 로 한다.

시뮬레이션에 적용할 모델의 물리적 정수는 <표



[그림 1] 토끼의 두부모델
[Fig. 1] Head model of rabbit.



[그림 2] 토끼 두부의 3층 구모델
[Fig. 2] 3-layer spheric model for typical rabbit's head.

2)와 같이 했는데 여기서 *표식 부분은 문헌[6],

<표 2> 실지 토끼 두부의 3층 구모델의 정수

<Table 2> Constants of 3-layer spheric model for typical rabbit's head

| 층명 | 두께(mm) | $\sigma(S/m)$ | ϵ_r | μ | $\rho(g/cm^3)$ | 비고 |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|---------|----------------|----------------|
| 뇌실질부 | $R_1 = 28.8$ | $\sigma_1 = 1.5 *$ | $\epsilon_1 = 54 *$ | μ_0 | 1 | 2,450MHz 기준 |
| 두개층 | $R_2 - R_1 = 2.3$ | $\sigma_2 = 150 *$ | $\epsilon_2 = 5.5 *$ | | | |
| 두피층 | $R_3 - R_2 = 3.9$ | $\sigma_3 = 47 **$ | $\epsilon_3 = 2.2 **$ | | | |
| $R_1 = 28.8$ $R_2 = 31.1$ $R_3 = 35$ | | | | | | * |

<표 1> 3층 구모델의 정수와 구조

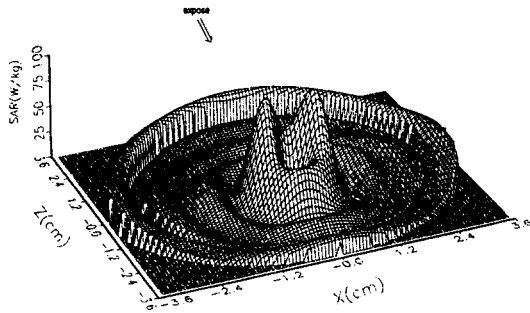
<Table 1> Constants and structures of 3-layer spheric model

| 영역 | 조직명 | 전파정수 |
|-----------------------|-------|-------------|
| $0 \leq R \leq R_1$ | 뇌 실질부 | k_1 |
| $R_1 \leq R \leq R_2$ | 두개층 | k_2 |
| $R_2 \leq R \leq R_3$ | 두피층 | k_3 |
| $R_3 < R$ | 자유공간 | $k_4 = k_0$ |

[11]에 기재되어 있는 값을 인용하였고 나머지는 문헌이 없으므로 실험 대상이 될 토끼 뇌 실질부를 해부하여 실측하였으며 특히 **표식 부분은 시료를 채취하여 고주파 임피던스계로서 측정된 값을 사용하였다.

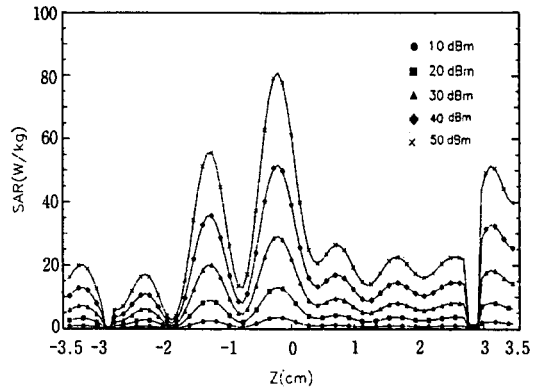
또 안테나의 위치는 $S = 30cm$ 로 규격화하고 파원의 전류 모멘트는 $I = 10(A \cdot cm)$ 로 규격화하여 계산하였다. 주파수는 실험 시설의 실현 가능성을 참작하여 $f = 2,450MHz$ 를 위주로 계산하고 그 밖에 주파수 영향을 검토하기 위하여 $300 \sim 3,000MHz$ 의 5개의 채널에 대해서도 계산하였다. [그림 3]~[그림 5]는 그 결과를 그림으로 표시한 것이다. 그 중 [그림 3]은 안테나의 전류모멘트 $I = 10[A \cdot cm]$ 로 규격화하고 주파수 $f = 2,450MHz$ 일 때의 3층구 모델의 X-Z평면상의 SAR분포를 나타낸 것이다.

[그림 4]는 안테나의 전류모멘트 $I = 10[A \cdot cm]$ 로 규격화하고 주파수를 $300MHz, 600MHz, 900MHz, 2,450MHz, 3,000MHz$ 로 변화시켰을 때의 X축상의 SAR를 나타낸 것이다.



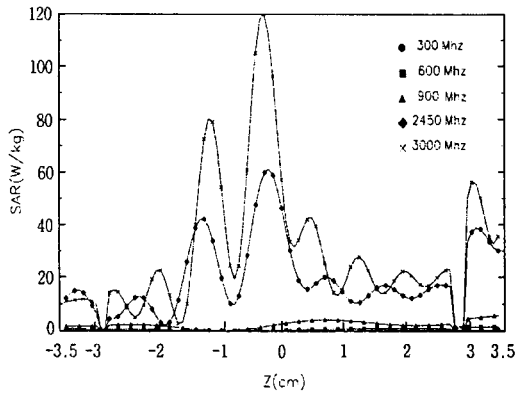
[그림 3] $H = 10[Acm]$ 일 때 3층 구모델의 X-Z 평면 상의 SAR 분포

[Fig. 3] Theoretical SAR distribution on X-Z plane in 3-layer spheric model ($H = 10 [Acm]$).



[그림 5] 출력세기의 변화에 따른 SAR 분포

[Fig. 5] SAR distribution dependent to various levels of radiated power.



[그림 4] 주파수 변화에 따른 SAR 분포

[Fig. 4] SAR distribution dependent to various frequency.

[그림 5]는 주파수는 그대로 두고 안테나출력을 10 [dBm], 20 [dBm], 30 [dBm], 40 [dBm], 50 [dBm]으로 변화했을 때의 결과를 나타낸 것이다.

2-2. 검 토

이상의 시뮬레이션 결과를 검토하면 다음과 같은

사실을 알 수가 있다.

- 1) SAR이 파원 측에 위치한 두피 부분에서 상당히 높게 나타난다. 이 부분은 파원에 가장 가깝기 때문에 전계 강도가 다른 부위보다도 강할 뿐 아니라 수분 함유량이 많아 σ 가 크다는 데도 원인이 있다고 본다. 이 부분의 SAR은 동일한 조건의 균질구와 비교하여도 더 높는데[11] 그 이유는 ϵ 과 σ 의 차이가 큰 두 개층과의 경계면에서 큰 반사파가 생겨서 이것이 두피층 내부에 추가로 흡수되기 때문이라 사료된다.

비록, 두피층에 강한 SAR가 관측되고는 있으나 통상 이 부분에는 인체의 기능에 중대한 영향을 미치는 기관이 별로 없으므로 생리적으로는 그리 큰 문제가 되지 않을 것으로 짐작된다. 그러나 안구는 두피층의 위치에 존재하기 때문에 이것이 피이크점에 오는 경우에는 최대 SAR로 인해 치명적인 손상이 올 수도 있을 것이다. 더구나 안구의 σ 는 두피보다도 더 크며 혈류가 적으므로 열의 발산율도 떨어지기 때문에 동일한 SAR이면 두피보다 더 큰 열 효과를 나타낼 수가 있다.

- 2) 두개층에서의 SAR은 크게 떨어져서 두피층과의 차이는 25W/kg이나 된다. 이것은 두개층의 σ 가 두피의 1/3정도밖에 되지 않으며 ϵ 도 적어서 내부에서의 전력흡수가 적기 때문으로 사료된다.
- 3) 구 중심 부근에 피이크 점이 나타나는데 이것은 구면체 내부의 여러 경계면에서의 반사파와 투과파의 간섭으로 인해 불완전하나마 정재파가 생긴 결과로 보여진다. 이 점의 피이크 SAR은 뇌실질부의 평균치에 비하여 35W/kg 이상 높다. 이 부분에는 뇌중추, 전두엽, 후두엽 등의 기관이 위치해 있기 때문에 이 부분에서의 국소 SAR로 생체의 MPE를 결정하게 될 것으로 예측된다.
- 4) 당연한 결과이긴 하나 조사 전자장의 강도가 커지면 각 부위의 SAR도 정비례하여 커진다.
- 5) 주파수가 변화하면 피이크의 크기와 형태가 달라지는데 이것은 3층구 내부의 전자계 분포는 반사체의 크기와 전자파 파장간의 상관관계에 의존함을 의미하며 이 사실에서 피이크의 발생이 내부의 정재파에 기인한다는 것을 알 수가 있다. 또한, 이러한 SAR 패턴은 피사체의 크기와 전자파의 주파수에 따라 달라지므로 인체 두부의 경우에는 형상과 크기가 각각 다르므로 이 패턴을 그대로 사용할 수 없다는 것을 알 수가 있다.

이상의 결과로 볼 때 이론적으로는 파원의 최근 접점의 전계강도가 20 dBm(V/m)를 초과하면 두부의 중심 부근에서의 피이크 점의 SAR이 17W/kg을 초과하게 되므로 ANSI의 국부 SAR에 대한 규정치(8W/kg)를 초과하게 된다는 것을 알 수가 있다.

III. 토끼의 EEG 측정

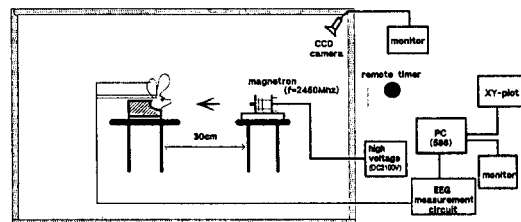
전자파에 노출된 토끼 두부에서 뇌파를 검출하고 그 특성을 조사하기 위한 실험을 다음과 같이 실시하였다.

3-1. 측정 시스템

실험 공간은 7×7×4m의 콘크리트형 전자파 차폐 구조로 하여 방출 전자파의 외부방출과 외부 잡음의 혼입을 최대한 차단하고 전자파 발생장치와 측정대는 지면 1m 높이의 목재 실험대 위에 설치하였고 피사체인 토끼는 두부만 노출될 수 있는 목재 고정대속에 넣어 토끼 두부에 정확하게 조사될 수 있도록 전자파의 방향과 강도를 일정하게 하였다. 이 때의 목재 고정대는 전자파 감쇄도료(탄소 도료)를 도부하여 두부를 제외한 부분은 전자파에 노출되지 않도록 하였다.

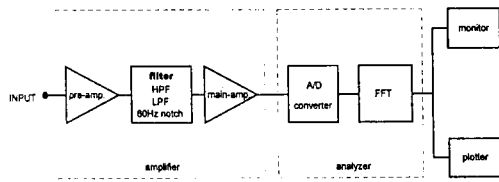
조사 전자파원으로는 마그네트론(OM75S(10)-D)에서 발생하는 주파수 2,450MHz의 마이크로파를 사용하였는데 그 출력과 노출시간은 각각 감쇄기와 원격 조정 타이머로서 조정하도록 하였다. 노출 위치의 주파수 및 전계강도 측정에는 3 GHz의 표준 혼 안테나와 전력스펙트럼 분석기(Power Spectrum Analyzer)(HP8595), 그리고 GPIB board(GPIB-PC II / II A)를 사용하였다.

실험 대상 동물로서는 몸무게 1.8~2 kg의 건강한 토끼(뉴질랜드 화이트종)를 그룹별로 암수 구분 없이 10마리씩 5그룹 모두 50마리를 선정하여 사용하였다. 또 전자파 조사전 토끼의 상태를 2시간 정도 관찰하여 건강상태가 양호하지 않다고 판단되는 토끼는 실험에서 제외하였다. [그림 6]은 EEG 측정 환경을 나타내고 [그림 7]은 신호처리를 위한 시스템 구성을 나타낸다.



[그림 6] EEG 측정 환경

[Fig. 6] Measurement environment of EEG.



[그림 7] EEG 측정 시스템
[Fig. 7] Circuit diagram of measurement system.

5-2. 측정 방법

실험은 동물고정대에 토끼의 두부만 노출시킨 후, 정해진 조건의 전자파를 최대 5분간 조사하면서 조사 전, 조사 중, 그리고 조사 후의 뇌파를 모두 기록하는 방법으로 진행하였다. 실험 중에는 토끼의 기도가 막히거나 노출위치가 변하지 않도록 고정대의 취급에 최대한 주의하였고 조사시 실험대 및 전자파 발생장치의 발열에 의한 토끼의 체온상승을 방지하기 위해 환기에 주의하여 온도를 상온으로 유지하였다. 이 때 뇌파 검출용 전극 접촉선과 실험 시스템은 알루미늄 박막으로 차폐 접지하여 외부 고주파 신호의 간섭을 배제하였다.

뇌전위는 대체로 수 $10\mu V$ 정도로서 아날로그 신호이다. 따라서 일반적으로는 아날로그 신호를 그대로 galvanometer를 통해 실시간으로 기록하여 관측하고 있는데 생체에 대한 전자파의 영향은 조직의 가열에 따라 서서히 일어나므로 이러한 방법으로서서는 데이터 량이 방대해지기 때문에 본 실험과 같은 발열효과의 측정에는 적용하기가 어렵다 [13],[14]. 따라서 본 실험에서는 전기적 신호출력을 A/D변환기를 거쳐 디지털화한 후 연속적으로 푸리에변환하고 해석에 용이하게 주파수 영역으로 처리하였다. 이것을 위하여 특별히 저잡음 pre-amplifier를 제작하여 A/D변환기로의 입력을 충분한 레벨로 증폭하였는데 이 증폭기의 CMRR은 100 dB이고 입력저항은 $10M\Omega$ 이상이며 저역통과필터

를 사용하여 신호대역을 0~30Hz로 제한함으로써 잡음을 방지하였다. 또한 고역통과필터와 60Hz 노치필터도 함께 사용하였다.

실험동물의 뇌전위 유도는 쌍극리드(bipolar lead)로 하였으며 좌측 전두부에 두골(頭骨)을 뚫고 3mm간격으로 2개의 백금으로 된 직경 0.3mm의 바늘형 전극을 삽입하여 봉합하고 2극간의 기준전위를 유도하기 위해 컷볼에 은염화은(Ag-AgCl)으로 된 컵형 전극을 부착하여 측정하였다.

본 실험에서는 토끼뇌의 전기적 신호출력을 A/D변환기를 거쳐 디지털화한 후 연속적으로 푸리에 변환하여 해석에 용이하게 처리하여 뇌전위파의 대역별 진폭변화와 분포를 조사하였다.

5-3. 결과 및 분석

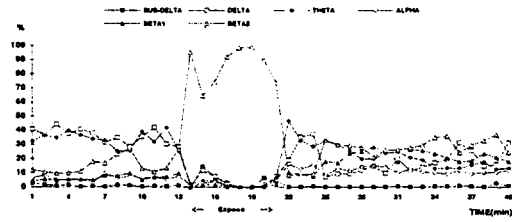
전자파 조사 전 후의 각 뇌파의 발생분포를 백분율로 나타내었는데 뇌파의 대역별 분석 결과는 [그림 8]에 나타낸다. 단, 그림에서 y축은 각 뇌전위파의 발생빈도의 백분율이며 x축은 측정시간을 나타낸다.

일상생활에서 생체가 노출될 수 있는 주파수 대역은 다양하고 노출양상은 주로 낮은 출력강도에서 장시간에 이루어지는 것과는 달리 실험에서는 가능한 짧은 시간에 다양한 노출의 정도를 관찰하기에 편리하도록 하였다.

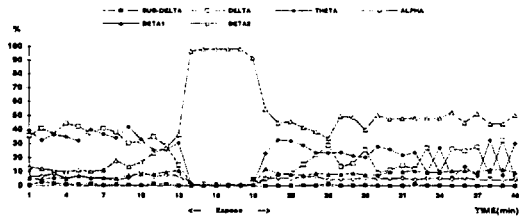
한편, 뇌파는 주파수에 따라 4Hz이하를 δ , 4~8Hz를 θ , 8~13Hz를 α , 14Hz이상을 β 대역으로 나눈다. α 파는 정상인의 각성, 안정상태에서 율동성(rhythmicity)을 가지고 나타나며 10Hz 전후가 많다. 속파는 14Hz이상의 β 대역으로 각성 시에 나타나며 개안, 동통, 긴장 등의 흥분에 의해 α 파가 억제되어 속파가 증가하며 또 임상적으로 대사의 항진, 발열, 약에 의한 작용 등에 의해서 속파화가 될 수 있다. 그리고 θ 파와 δ 파를 합한 것을 서파라 하며 진폭은 높은 것과 낮은 것이 섞여있는데 신체 의 이상시에 나타나는 경향이 많다[15],[16],[17].

[그림 8] 노출강도에 따른 뇌전위파의 변화

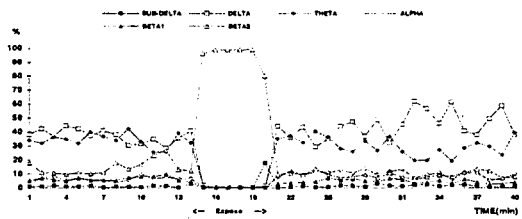
[Fig. 8] A variation of EEG band in exposure power.



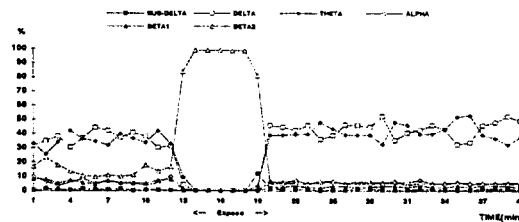
(a) 10 dBm일 경우



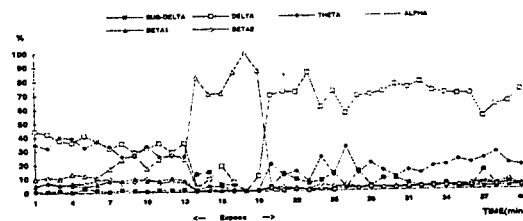
(b) 20 dBm일 경우



(c) 30 dBm일 경우



(d) 40 dBm일 경우



(e) 50 dBm일 경우

실험을 통하여 측정된 값을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 노출전 정상상태에 비해 노출 후의 활성 주파수 대역변화는 주로 10Hz이상에서 일어났으며, 전자파의 강도, 시간에 비례하여 진폭이 소실되는 경우가 심한 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 전자파 노출전의 진폭이 다소 차이가 있는데 이것은 토끼의 건강상태나 심리적인 현상이 토끼마다 차이가 있기 때문으로 사료되며 출력 강도별로 보면 20dBm이하의 전자파에 노출된 생체는 주파수나 진폭의 변화를 거의 발견하기 어렵고 30dBm이상에 노출시킨 생체는 비교적 쉽게 변화를 알 수 있었고 노출전후를 명확히 구분할 수 있게 나타났다.
- 3) 활성전위의 진폭변화는 모두 시간이 경과함에 따라 감소하며 출력이 증가할수록 급격히 감소함을 알 수 있었는데 이는 전자기파 조사 후 뇌활성도의 감소로 인한 것으로 사료된다.
- 4) 대역별 분석 결과에서 전자파가 조사되는 시간동안에는 β_2 파만 나타나고 다른 뇌파는 거의 나타나지 않는데 이것은 안면 근육의 근전위 혼입에 기인하는 현상[12]으로 실제로는 전자파의 출력세기가 뇌전위에 비해 상당히 강하기 때문에 뇌파는 어느 것도 측정되지 못하고 근전위만 측정되어 주파수대역이 같은 β_2 파로 표현되었다.
- 5) 실험을 통하여 측정 분석한 결과 뇌파의 전체 전력은 조사후 점차 감소하는 반면 활성주파수 분포는 θ 파의 비율이 출력이 증가함에 따라 커지는 현상이 공통적으로 나타났으며 주파수의 비율 분포는 노출 후 즉시보다 시간이 경과할수록 가역적으로 변화하는 현상을 보였다.
- 6) SAR 분포 계산결과와 비교하면 공학적으로 명확하게 상관 지을 수는 없으나 토끼 두부에

전자파를 조사했을 때 SAR값은 조사 전자파의 출력세기가 30dBm이상에서는 두부의 최내 각 부인 뇌조직에 최대치가 분포하게 되어 뇌세포에 열적작용을 유발시켜 개안, 동통 등을 느낄 때 많이 나타나는 서파화 경향을 초래하여 출력이 증가할수록 치명적인 손상을 입힐 것으로 사료된다.

본 실험에서 방사된 출력은 한정된 밀폐공간에서 두부 정면으로 조사되었으나 생체모델에 실제로 입사된 출력은 정면 입사파보다 아주 적은 감도의 산란파, 즉 벽면에 부딪쳐 반향되는 여러 각도의 입사파가 예측되지만 파장이 매우 짧아서 거리가 3m이상에서 흡수된 양은 전체에너지에는 그다지 영향을 미치지 못하는 것으로 간주하여 무시하였다.

전신평균 SAR은 앞질의 계산결과에서 확인할 수 있었듯이 피부조직에서는 MPE를 만족하더라도 뇌조직에서는 초과하고 있으므로 혈액에 의한 냉각효과의 존재를 고찰할 수 있는 경우의 척도로서는 적당하겠지만 혈액공급이 적은 기관이나 신체의 가장 핵심이 되는 뇌조직과 같은 기관에는 국소적인 SAR에 더욱 비중을 두고 MPE를 설정해야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

인체의 MPE를 결정하기 위해서 인체에 직접 전자파를 조사하거나 그 영향을 실시간으로 측정하는 임상적인 방법이 없으므로 정확한 도출은 극히 어렵다. 따라서 이 MPE값은 동물실험을 통한 결과로부터 유추가 가능한데 이 경우에는 동통이나 흥분과 같은 신경성 증후는 확인할 수가 없다.

본 연구는 토끼의 두부에 전자파를 조사했을 때의 뇌파를 측정하여 토끼의 전자파 증후를 정량적으로 측정하고 이 결과를 시뮬레이션을 통하여 얻은 두부의 SAR 분포도와 비교하는 방법으로 토끼의 MPE를 비교적 정확히 도출할 수 있었다.

먼저 대표적인 토끼의 두부를 3층구로 모델화하여 이것에 전자파가 조사된 경우의 구내부의 전자

계 분포를 전자계 경계조건을 적용하여 근사적으로 구하고 이것을 이용하여 구 내부의 SAR분포도를 작성하였다. 그 결과 파원에 근접한 두피 전영역에 상당한 크기의 SAR이 발생하고 구 중심 부근에는 정재파에 의해 최대 피이크점이 발생하여 열점이 생성되었다. 또 SAR 분포 형상과 열점의 크기는 주파수와 두부의 크기에 따라 달라지며 그 위치가 뇌의 중요기관의 위치와 일치할 때 이것으로 최대 허용 SAR 즉, MPE를 결정할 수 있을 것으로 판단되었다.

다음에는 토끼의 두부에 특정 주파수의 마이크로파를 조사하여 뇌파 변화를 측정하고 이것을 푸리에변환하여 각 파라미터의 특성을 검토했는데 50마리의 토끼를 대상으로 실험한 결과 대체로 조사 전자파의 전계강도 20dBm에서는 α 파가 적어지고 흥분과 각성상태를 나타내는 β 파가 현저히 증가하는 속파화 경향이 두드러지게 나타났다.

이것을 시뮬레이션에서의 결과와 비교하면 두부 내에 생긴 열점에 의해 동통이나 어떤 형태의 자극이 있어서 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이 점을 MPE로 규정하는 것이 가장 정확하다는 것을 알았다.

또 SAR 분포도에 의하면 이 때의 피사체 표면의 전계강도는 20dBm이고 내부 열점의 SAR 평균치는 5W/kg임을 확인할 수 있으므로 이 값이 토끼의 MPE 임을 알 수가 있었다. 또한 조사 전계강도가 30dBm이상이 되면 θ 파와 σ 파의 비율이 증대하는 서파화 경향이 나타나고 전체 뇌파전력도 감소하기 시작하는데 이것은 뇌가 이미 어떤 형태로 기능이 손상되고 있음을 나타내므로 MPE의 설정기준을 넘어서게 된다.

이와 같은 방법으로 산출된 토끼 두부의 MPE값에 적절한 안전치를 더하여 인체에 대한 MPE 추정치의 기초자료로 삼을 수가 있을 것으로 사료된다.

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 and W. A. Creasey, "A Review of Concept Induction by Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Is There a Plausible Mechanism?", *Med. Hypotheses* July 35(3): pp. 265-274, 1991.
- [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] M. F. Iskander, P. E. Barber and C. H. Durney, "Irradiation of Prolate Spheroidal Models of Humans in the Near-Field of a short Electric Dipole", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-28, no. 4, pp. 801-807, 1980.
- [5] M. A. Stuchly, R. J. Spiegel, S. S. Stuchly and A. Kraszewski, "Exposure of Man in the Near-Field of a Resonant Dipole: Comparison between Theory and Measurements", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-34, no. 7, pp. 26-31, 1986.
- [6] O. Fujiwara and A. Kato, "Computation of SAR inside Eyeball for 1.5GHz Microwave Exposure Using Finite-difference Time Domain Technique", *IEICE Trans. Comm.*, vol. E77-B, no. 6, pp. 732-737, June 1994.
- [7] O. Fujiwara, "電波の人體影響とSAR計算", *信學技報, EMCJ94-85*, pp. 65-70, 1994.
- [8] 李明鎬, 生體 電氣現象의 計測原理와 應用, 乙支文化社, 1983.
- [9] A. Taflove and M. E. Brodwin, "Computation of the Electromagnetic Fields and Induced Temperatures within a Model of the Microwave irradiated Human Eye", *IEEE Trans.*, vol. MTT-23, no. 11, pp. 888-896, Nov. 1975.
- [10] F. S. Tyner, J. R. Knot and W. B. Mayer, *Fundamentals of EEG Technology*, Raven Press, New York, pp. 192-266, 1980.
- [11] 達山 央, 微小ダイポール近傍における頭部多層球モデルのSAR分布に関する研究, 宇都宮大學 大學院工學研究科修士學位論文, March 1995.
- [12] 朴柱台, 李茂永, "마이크로파에 노출된 토끼의 MPE추정을 위한 EEG분석", *韓國通信學會論文誌*, 第21卷 第4號, pp. 1038-1047, 1996.
- [13] H. N. Kritikos and H. P. Schwan, "The Distribution of Heating Potential Inside Lossy Spheres", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-22.6, no. 2, pp. 457-463, 1975.
- [14] A. H. Hizal and Y. K. Baykal, "Heat Potential Distribution in an Inhomogeneous Spherical Model of a Cranial Structure exposed to Microwaves due to Loop or Dipole Antennas", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, MTT-26, no. 1, pp. 607-612, 1978.
- [15] D. H. Durney, *RF Radiation Dosimetry Handbook*, 2nd Ed., SAM-TR-78-22, 1978
- [16] A. R. Sheppard and M. Eisenbud, *Biological Effects of Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency*, New York Univ. Press, New York, 1977.
- [17] S. Barndi and P. Czerski, *Biological Effects of Microwaves*, Stroudsburg Pa, Dowden, Hutchinson and Ross Inc. 1986.

박 주 태



1980년 2월 : 영남대학교 전자공학과
(학사)

1985년 8월 : 영남대학교 대학원 전
자공학과 (석사)

1990년 3월~현재 : 영남대학교 대학
원 전자공학과 박사과정

1991년 3월~현재 : 영남전문대학 전자과 조교수

[주 관심분야] 전자파, EMC/EMI