

Electroencephalogram Variation by Electromagnetic Wave on Human Light Sensing

朴 炯 俊* · 尹 在 鉉*

(Hyung-Jun Park · Jae-Hyun Yoon)

Abstract - The electroencephalogram generated by light stimulation in human body of dark adaption state was measured and analyzed in the cases that electromagnetic wave was put in and not put in, respectively. Shieldroom being able to interrupt the light and the electromagnetic wave of outer was constructed, and the experimental system being able to apply any light and any electromagnetic wave was designed. When the electromagnetic wave was applied to body or not, the variation characteristics of each component in the electroencephalogram were as follows. The δ wave was increased and the α wave and the β wave were decreased in the case that the electromagnetic wave was applied, and the variation range of the θ wave was small. And the influence of electromagnetic wave on human body was that the appearance time of the β wave was late, and it meant that the time of visual recognition was delayed.

Key Words : Electromagnetic wave, Light sensing, Electroencephalogram components, Recognition

1. 서 론

최근 산업의 발달로 우리의 일상생활은 전력계통, 가전제품, 이동통신기기 등의 전기기기를 필연적으로 이용하여야 하며, 그 전기기기는 질적인 성장뿐만 아니라 양적인 측면에서도 거대한 성장을 거듭해 오고 있다. 전기를 에너지원으로 하는 일련의 모든 기기들은 전계와 자계를 형성한다.

일상생활에서 자의적이든 타의적이든 전기의 사용으로 인한 인공적인 전계와 자계의 공간에 노출되어 생활하고 있다. 최근에 이런 전자파가 인체에 미치는 인과적인 문제가 논란의 대상이 되고 있다. 근육의 수축과 이완, 신경세포의 흥분과 억제 등의 대부분의 인체 활동의 신호 전달 매체는 전기이다. 그러므로 인체는 대부분의 전기기기에서 방출되는 전자파의 간섭에 의한 영향을 받을 것으로 사료되며, 인체의 활동에 전자파가 어떤 영향을 미치는지 정확하게 규명할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

현재까지, 생체에 전자파가 미치는 영향에 관한 연구는 인체의 두부 모델을 이용한 모의실험, 전기 관련 전문직 종사자가 전자파에 장기간 노출되었을 때 나타나는 병리적 현상에 관한 역학조사나, 실험동물을 이용한 세포 또는 신경계에 미치는 영향 등의 연구가 보고 되어 있다[1-9]. 그리고 인체의 생리신호 변화에 관하여서는 J. Lass[7] 등이 인체에 전자파

를 인가하였을 때 측정되는 뇌파를 해석하여 보고하고 있다. 그러나 이들의 연구에서는 인체의 사물 인식시에 전자파가 미치는 생리적 영향을 해석되었다고는 보기 힘들다.

인체의 정신적, 육체적 활동에 의해 측정된 뇌파는 그 발생원에 대한 각 기능과 특성을 반영하고 있다[10-12]. 따라서 본 연구에서는 인체에 있어서 전자파에 의한 생리적 변화를 관찰하기 위해 광인식시에 뇌파의 변화를 해석하여, 전자파가 시각인식에 어떤 영향을 미치는지 규명하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 본 연구에서는 우선 외부의 빛과 전자파를 차단할 수 있는 차폐실을 구축하였고, 피험자에게 임의의 전자파와 빛을 인가할 수 있는 실험시스템을 고안하였다. 암순용 시킨 피험자에게 주파수가 약 900MHz이고, 세기가 약 13dBm인 전자파를 인가하였을 때, 인가하지 않았을 때를 구분하여, 광인식시에 발생하는 뇌파의 시간 변화를 유도하여 비교, 해석한 후, 뇌파의 변화에 전자파가 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험시스템

A : 차폐실구축

본 연구에서는 외부의 빛과 전자파를 차단하기 위해 차폐실을 구축하였다. 차폐실은 가로, 세로, 높이가 6.23m × 3.75m × 2.30m인 큐빅 형태로써, 두께 5mm의 강판을 접합하여 설계, 구축되었다. 그림 1에 차폐실에서 측정된 신호의 주파수대역별 차단정도를 나타내었다 차폐실과 거리가 약 2m에

* 교신저자, 正 會 員 : 圓 光 大 學 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博
E-mail : pshumu@wonkwang.ac.kr

* 正 會 員 : 圓 光 大 學 電 氣 工 學 科 博 士 課 程
接受日字 : 2005年 9月 14日
最終完了 : 2006年 1月 5日

위치한 차폐실 외부에 다이폴 안테나(3121C-DB3, DB4, EMCO)를 설치하여 신호발생기(E4422A, Agilent)로 주파수대역이 140MHz~1GHz이고, 신호의 세기가 0dBm인 출력신호를 방사한 후, 차폐실 내부에서 다이폴 안테나(3121C-DB3, DB4, EMCO)로 신호를 수신하여 스펙트럼 분석기(MS2661C, Anritsu)를 이용하여 주파수와 신호의 세기를 측정하였다. 본 연구에서 구축된 차폐실은 약 80dBm이상의 차폐 정도를 나타내고 있다.

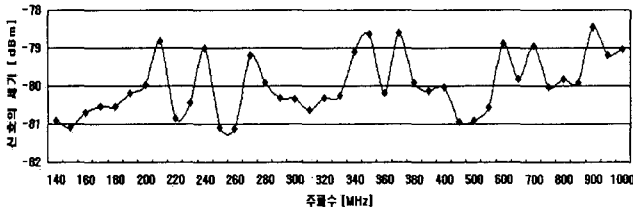


그림 1 차폐실의 주파수대역별 차단정도(차폐실 외부 약 2m 지점에서 0dBm 세기의 전자파를 방사하였을 때 차폐실 내부에서 측정된 신호의 세기)
 Fig. 1 The interrupting level of shieldroom at each frequency bandwidth

B. 측정시스템

그림 2는 측정시스템을 개략적으로 나타낸 것이다. 본 시스템은 전자파발생기, 트리거, A/D 변환 그리고 필터링과 증폭 장치로 구성되어 있다. 피험자에게 전자파에 노출되었을 경우와 노출되지 않았을 경우를 측정하기 위해 전자파에 노출되었을 경우에 신호발생기를 설치하였다. 또한 트리거를 이용하여 LED(RED)를 발광시켜 피험자에게 광자극과 동시에 인체전기 신호(뇌파, 망막전압, 안전도)의 시간에 따른 변화를 유도하였다.

광자극시 발생하는 뇌파(EEG : electroencephalogram), 망막전압(ERG : electroretinogram) 그리고 안전도(EOG : electrooculogram)는 필터링과 증폭(Link15, 15A54, Grass)의 과정을 수행한 후 A/D 변환기(MP100, Biopac Systems, Inc.)를 이용하여 컴퓨터에 수록하였다.

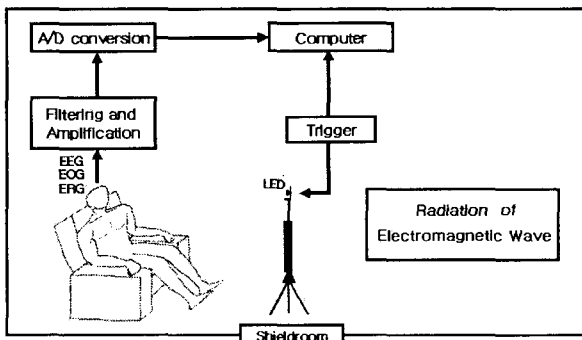


그림 2 측정시스템
 Fig. 2 Measurement system

본 연구에서는 광자극을 할 수 있고, 피험자에서 발생하는 신호를 측정하는 장치를 동시에 On-set 할 수 있는 장치가 필요하므로 동기시스템을 고안하였다. 그림 3에 광자극기와 컴퓨터 데이터 취득을 위한 동기시스템의 회로도를 개념적으로 표시하였다.

이 회로도에는 트리거, 릴레이, 발광유지회로, I/O Board, 증폭기 그리고 A/D 변환기로 구성되어 있다. 동기시스템의 동작 특성에 있어서 LED를 발광하기 위한 트리거는 컴퓨터 I/O Board의 외부 트리거로서 역할을 하는 동시에 LED를 발광과 유지하기 위한 홀드 회로의 On 스위치로서 역할을 하도록 하였다.

또한 LED에는 항상 일정한 휘도를 유지하도록 직류전원(9V)을 인가하였다.

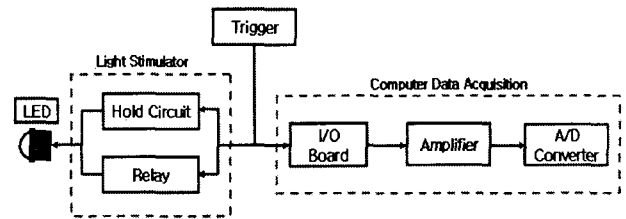
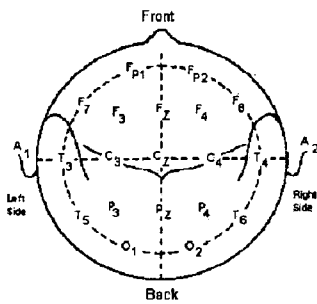


그림 3 광자극기와 데이터 취득의 동기시스템
 Fig. 3 Synchronous system of light stimulator and data acquisition

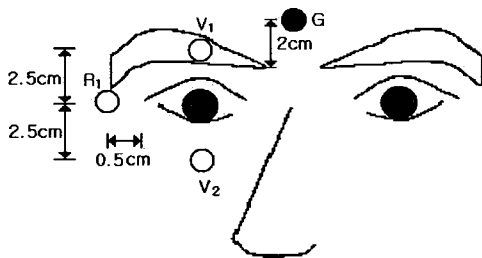
2.2 실험방법

그림 2에서와 같이 피험자(20~50대의 정상인 남자 8명)를 의자에 앉게 하고 암순응 시켰다. 왼쪽 눈은 가리고, 오른쪽 눈으로부터 수평으로 약 1m 떨어진 곳에서 LED를 발광시켜 광자극에 의해 발생하는 EEG, ERG 그리고 EOG를 측정하였다. 그림 4에 피험자가 광자극에 의해 발생하는 인체전기신호를 유도하기 위한 전극의 부착위치를 나타내었다. EEG는 그림 4의 (a)와 같이 광인식에 대한 시각영역의 정보를 습득하기 위해 10-20 시스템에서 대뇌의 시각피질영역인 O₂에 전극을 부착하여 유도하였다. 이때 기준전극(Reference electrode)은 귀볼의 A₂를 이용하였다[10-14]. 그리고 망막의 활동레벨을 평가하기 위하여 ERG를 그림 4의 (b)에 나타낸 것과 같이 오른쪽 눈초리에서 약 0.5cm에 위치한 전극(R₁)과 양미간의 중심에서 약 2cm 상부에 기준전극(G)을 부착하여 유도하였고, 동공을 중심으로 상하 약 2.5cm에 부착한 두 전극(V₁-V₂)과 기준전극(G)을 이용해 EOG를 측정하였다[12,15-17].

이상과 같은 방법으로 전자파를 차단시켰을 때와 차폐실 내부에 주파수가 약 900MHz이고, 세기가 약 13dBm인 전자파를 방사시켰을 때의 두 경우에 실험을 진행하였다. 실험의 전체 측정시간은 광자극 전 0.25sec와 광자극 후 0.75sec 동안 전체 1.00sec로 설정하여 1000samples/sec로 신호를 습득하였다.



(a) EEG 계측을 위한 10-20 시스템



(b) ERG, EOG 계측을 위한 전극의 부착 위치

그림 4 전극의 부착 위치

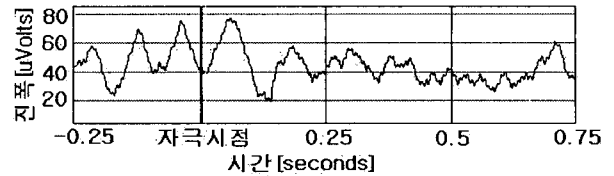
Fig. 4 Attaching positions of electrodes

3. 해 석

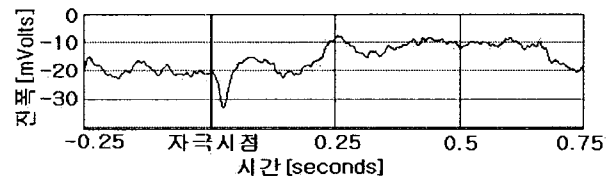
3.1 해석방법

그림 5는 실험결과의 한 예를 나타낸 것이다. 그림 5의 (a), (b)와 (c)는 피험자가 전자파에 노출되지 않았을 경우의 EEG, ERG 그리고 EOG를 계측한 것이고, (d), (e)와 (f)는 전자파에 노출되었을 경우의 EEG, ERG와 EOG를 계측한 것이다. 그림 5의 (c)와 (f)의 EOG는 LED를 주시할 때의 시선의 위치를 기준전위로 하여 눈을 감고 있거나 깜박임의 주시 상태를 확인하기 위하여 계측한 것이다. 그림 5의 (c), (f)에서 EOG 신호가 일정한 것은 피험자가 실험 도중 광자극을 주시하고 있다는 것을 의미한다. 그림 5의 (b)와 (e)에서 획득된 것과 같이 ERG 파형은 광자극 후 시세포의 막대세포와 원뿔세포에 의해 발생하는 a 파와 amacrine 세포에 의한 OP 파 그리고 쌍극세포와 Müller세포에 의해 발생하는 b 파의 혼합된 파형을 나타내고 있다[14-16]. 본 연구에서는 ERG 신호가 대략적으로 끝이 나는 광자극 후 0.75초를 EEG 해석 구간으로 설정하였다. 그림 5의 (a)와 (d)에 나타낸 것과 같이 습득된 EEG는 암순응 상태의 피험자에서 나타나는 진폭은 크고 주파수가 작은 파형인 α 파가 유지되다가 광자극 후 얼마 후에 진폭이 작고 주파수가 큰 파형인 β 파가 출현하는 것을 알 수 있다. 이 현상을 α -blocking[11-14]이라 하며, 인체가 광자극에 의해서 상대적으로 β 파가 증가하여 광을 인식한다는 것을 반영하고 있다. 이러한 경향은 피험자가 전자

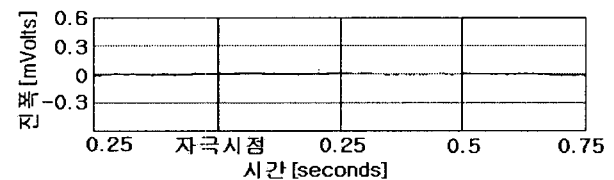
파에 노출되지 않았을 경우와 노출되었을 경우 모두 유사하게 나타났다. 그리고 그림 5에서 나타난 것과 같이 전자파에 노출되었을 경우와 노출되지 않았을 경우에 있어서 α -blocking이 발생하는 시점이 다르다는 것을 관찰할 수 있다.



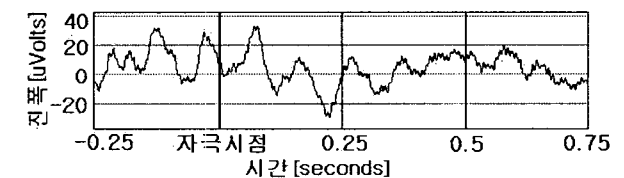
(a) 전자파에 노출되지 않았을 경우 EEG 계측의 예



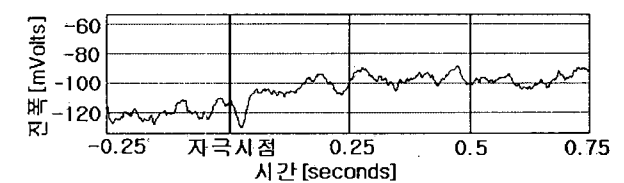
(b) 전자파에 노출되지 않았을 경우 ERG 계측의 예



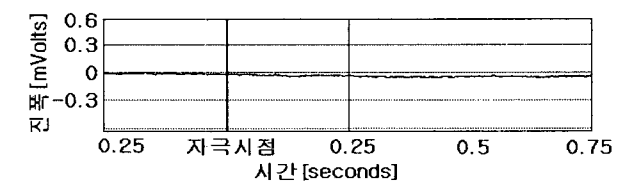
(c) 전자파에 노출되지 않을 경우 EOG 계측의 예



(d) 전자파에 노출되었을 경우 EEG 계측의 예



(e) 전자파에 노출되었을 경우 ERG 계측의 예



(f) 전자파에 노출되었을 경우 EOG 계측의 예

그림 5 계측결과의 한 예

Fig. 5 An illustration of the measured result

그러나 그림 5의 (a)나 (c)와 같은 시 계열 신호의 계측 결과부터 α -blocking이 일어나는 시점 즉, β 파의 출현 시점을 정확하게 파악하는 것은 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 습득된 EEG 신호에 있어서 전자파의 노출 유무에 따라 EEG 중에서 α 파와 β 파의 출현량을 추정하기 위하여 다음과 같은 해석방법으로 정량화하였다.

1. 시 계열의 뇌파 $EEG(t)$ 를 계측한다.
2. 광자극시점을 기준(0.0sec)으로 하여 광자극 전의 $EEG(t)$ 와 광자극 후의 $EEG(t)$ 를 각각 FFT(Fast Fourier Transform) 하여 주파수 영역의 $EEG_a(w)$ 와 $EEG_b(w)$ 를

$$EEG_a(w) = \int_{l_a}^{h_a} EEG(t) \cdot e^{j\omega t} dt \quad (1)$$

$$EEG_b(w) = \int_{l_b}^{h_b} EEG(t) \cdot e^{j\omega t} dt \quad (2)$$

- 와 같이 구한다. 여기서, 광자극 전의 적분구간($l_a \sim h_a$)은 -0.25sec에서 0.0sec까지, 광자극 후의 적분구간($l_b \sim h_b$)은 0.0sec에서 0.75sec까지의 신호를 이용하였다.
3. $EEG_a(w)$ 와 $EEG_b(w)$ 에서 뇌파의 유효주파수인 0.1Hz ~ 30Hz의 대역에 있어서 면적 T_a 와 T_b 를

$$T_a = \int_{0.1Hz}^{30Hz} EEG_a(w) dw \quad (3)$$

$$T_b = \int_{0.1Hz}^{30Hz} EEG_b(w) dw \quad (4)$$

- 을 이용하여 각각 구한다.
4. 대역 특성이 8Hz~12.99Hz인 α 파의 광자극 전 면적 A_a 와 광자극 후 면적 A_b 를

$$A_a = \int_{8Hz}^{12.99Hz} EEG_a(w) dw \quad (5)$$

$$A_b = \int_{8Hz}^{12.99Hz} EEG_b(w) dw \quad (6)$$

- 을 이용하여 각각 구한다.
그리고, 대역 특성이 13Hz~30Hz인 β 파의 광자극 전 면적 B_a 와 광자극 후 면적 B_b 를

$$B_a = \int_{13Hz}^{30Hz} EEG_a(w) dw \quad (7)$$

$$B_b = \int_{13Hz}^{30Hz} EEG_b(w) dw \quad (8)$$

- 을 이용하여 각각 구한다.
5. 광자극 전 α 파의 면적 A_a 가 차지하는 비중 α_a 와 광자극 후 α 파의 면적 A_b 가 차지하는 비중 α_b 를

$$\alpha_a = \frac{A_a}{T_a} \times 100(\%) \quad (9)$$

$$\alpha_b = \frac{A_b}{T_b} \times 100(\%) \quad (10)$$

- 와 같이 구한다.
그리고 광자극 전 β 파의 면적 B_a 가 차지하는 비중 β_a 와 광자극 후 β 파의 면적 B_b 가 차지하는 비중 β_b 를

$$\beta_a = \frac{B_a}{T_a} \times 100(\%) \quad (11)$$

$$\beta_b = \frac{B_b}{T_b} \times 100(\%) \quad (12)$$

과 같이 구한다.

6. 광자극 전 α_a 에 대한 β_a 의 비 S_a 와 광자극 후 α_b 에 대한 β_b 의 비 S_b 를

$$S_a = \frac{\beta_a}{\alpha_a} \quad (13)$$

$$S_b = \frac{\beta_b}{\alpha_b} \quad (14)$$

를 이용하여 구한다.

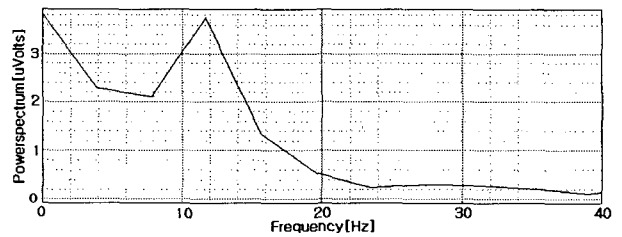
7. α -blocking의 상대적 출현 시점을

$$T = \frac{S_b}{S_a} \quad (15)$$

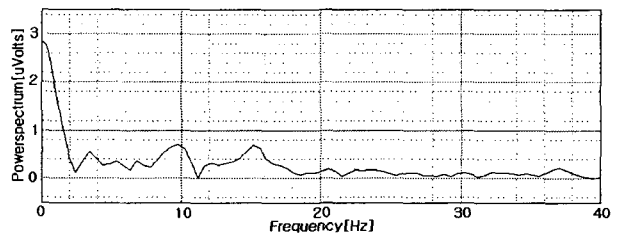
와 같이 추정한다.

8. 과정 1에서 7을 이용하여 피험자가 전자파에 노출되었을 경우와 노출되지 않을 경우로 구분하여 각각 해석한다.

상기의 EEG의 주파수 해석방법을 이용하여 광자극 전과 광자극 후의 α 파와 β 파의 출현량의 상대적 비를 구할 수 있었다. 또한 전자파의 노출 유무에 있어서 광자극에 의해 광인식의 효과로 전환되어 나타나는 β 파의 출현 시점을 비교할 수 있었다. 그림 6과 그림 7의 (a), (b)에 전자파에 노출되지 않았을 경우와 노출되었을 경우의 FFT의 한 예를 나타내었다. 가로축은 주파수대역(Hz)이고, 세로축은 전력 스펙트럼(μV)이다. 그림 6과 그림 7의 (a)는 광자극 전에 계측된 EEG의 FFT의 한 예이고, 그림 6과 그림 7의 (b)는 광자극 후에 계측된 EEG의 FFT의 한 예를 나타낸 것이다. 그림 6과 그림 7의 (a)에 나타난 것과 같이 광자극 전에는 뇌파 중에서 주파수 대역이 8Hz~12.99Hz인 α 파의 성분이 주파수 대역이 13Hz~30Hz인 β 파보다 우세하게 출현하였고, 그림 6과 그림 7의 (b)에서와 같이 광자극 후에는 뇌파 중에서 β 파의 성분이 α 파의 성분보다 우세하게 나타났다



(a) 광자극 전



(b) 광자극 후

그림 6 전자파에 노출되지 않았을 경우 FFT의 예
Fig. 6 An illustration of FFT in the case of being not exposed to the electromagnetic wave

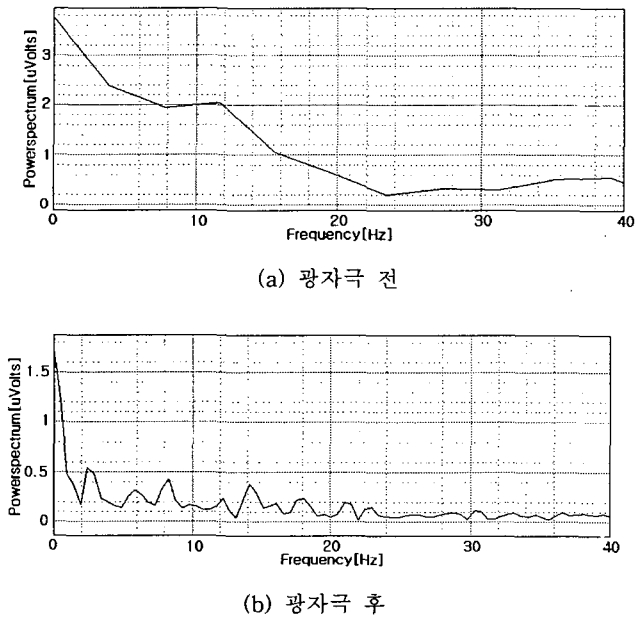


그림 7 전자파에 노출되었을 경우 FFT의 예
Fig. 7 An illustration of FFT in the case of being exposed to the electromagnetic wave

3.2 해석결과

3.2.1 전자파에 의한 뇌파의 각 성분 변화

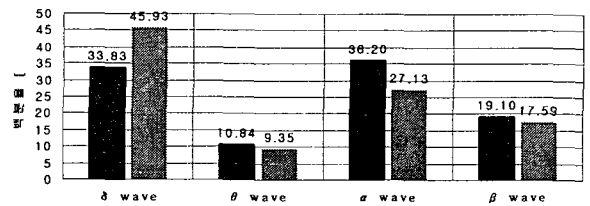
그림 8은 피험자 1명에 있어서 실험횟수를 50회로 하여 전자파에 노출되었을 경우와 노출되지 않았을 경우에 광자극 전과 광자극 후, EEG의 전체면적에 대한 각 주파수 성분, 즉 δ 파, θ 파, α 파, β 파의 면적 비중의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 8의 (a)는 광자극 전, (b)는 광자극 후의 경우이며, EEG의 각 성분별로 좌측 검정색 막대그래프는 피험자가 전자파에 노출되지 않았을 경우, 우측 회색 막대그래프는 전자파에 노출되었을 경우를 각각 나타낸 것이다.

EEG의 성분 중에서 δ 파는 깊은 수면 중에 나타나는 파형이다. θ 파는 졸음, 실망이나 불쾌함을 느낄 때 발생하는 파형이다. 또한 α 파는 안정과로서 폐안시, 안정된 또는 편안한 '상태일 때 후두엽에서 잘 나타나는 파형이며, β 파는 활동과로서 사물을 인식하고 판단할 때 활발하게 발생하는 파형으로 특히 전두엽 등 뇌에서 광범위하게 관찰된다[10,11]. 그림 8에서와 같이 δ 파의 비중 변화는 전자파에 노출되었을 경우에 광자극 전과 광자극 후에서 그 변화가 현격하게 증가하였다. θ 파의 비중 변화는 광자극 전과 광자극 후 그 변화폭이 미세하게 나타났다. α 파의 비중 변화는 광자극 전에 전자파에 노출되었을 경우가 현격하게 감소하였으며, 광자극 후에 그 변화폭이 감소하였다. β 파의 비중 변화는 전자파에 노출되었을 경우에 감소하였으나, α 파의 비중 변화와 반대로 광자극 전에 그 변화폭이 미세한 반면, 광자극 후에는 전자파에 노출되었을 경우에 현격하게 감소하였다.

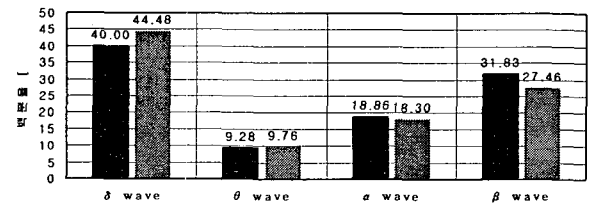
δ 파의 비중 변화가 증가한 것은 전자파에 노출되었을 경우에 수면에 드는 것과 흡사한 상태가 발생한다는 것을 의미하고, α 파의 비중이 감소한 것은 인체가 전자파에 노출되지

않았을 경우 보다 노출되었을 경우에 안정하지 못하다는 것을 의미한다. 광자극 후, 전자파에 노출되었을 경우에 β 파의 비중 감소율이 광자극 전 보다 증가한 것은 상대적으로 광인식에 있어서 불편함을 느낄 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 인체가 전자파에 노출되면 피곤한 상태에 접어들게 되며, 사물 인식이 전자파에 노출되지 않았을 경우 보다 용이하지 않은 것으로 사료된다.

그림 8의 광자극 전 (a)와 광자극 후 (b)에서 δ 파의 비중이 증가하고, α 파의 비중이 감소하며, β 파의 비중이 증가한 것은 그림 5의 (a), (c)에 나타난 것과 같이 광자극 전의 암순응 상태에서 α 파가 더 우세하고, 광자극 후에 α -blocking 현상이 발생하는 것과 같이 β 파가 더 우세하게 출현하는 상대적인 현상에 기인한 것이다.



(a) 광자극 전



(b) 광자극 후

그림 8 피험자 1명에 있어서 전자파에 노출되지 않았을 경우와 노출되었을 경우에 EEG 각 성분의 평균 비교(실험횟수 : 50회)

Fig. 8 The average comparison of each EEG component in the case of being not exposed to the electromagnetic wave or exposed on a subject (times of experiment : 50)

■ 전자파에 노출되지 않았을 경우
■ 전자파에 노출되었을 경우

표 1은 8명의 피험자에 있어서 실험횟수를 50회로 하여 전자파에 노출되지 않았을 경우와 노출되었을 경우에 광자극 전과 광자극 후, EEG의 각 성분별 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 표 1에 있어서 각 피험자는 그림 8과 유사한 경향을 보이고 있다.

3.2.2 전자파에 의한 광인식 시간 지연

그림 9는 각 피험자에 있어서 전자파에 노출되었을 경우와 노출되지 않았을 경우에 α 파에 대한 β 파의 상대적인 비를 나타낸 것이다. 즉, 식 (13), (14), (15)를 이용하여, 광자극 전

표 1 각 피험자별 전자파의 유무에 의한 EEG의 주파수 성분 변화(실험횟수 : 50회)

Table 1 Frequency component change of EEG by existence and non-existence of the electromagnetic wave at each subject(times of experiment : 50)

피험자수	전자파유무			δ wave	θ wave	α wave	β wave
피험자 1	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	38.08	11.51	31.51	18.89
			표준편차	±13.96	±4.50	±8.61	±5.98
		광자극 후	평균[%]	42.37	13.92	14.93	28.78
			표준편차	±12.54	±4.61	±4.63	±6.65
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	41.44	13.01	28.37	17.43
			표준편차	±13.00	±5.05	±5.53	±5.54
광자극 후		평균[%]	48.40	12.87	14.46	24.29	
		표준편차	±12.93	±4.28	±5.00	±7.17	
피험자 2	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	40.99	9.19	31.67	18.16
			표준편차	±15.39	±3.75	±9.38	±5.93
		광자극 후	평균[%]	50.83	11.34	13.65	24.17
			표준편차	±13.73	±5.43	±5.15	±8.14
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	46.53	11.14	26.34	16.00
			표준편차	±14.20	±4.83	±6.77	±5.71
광자극 후		평균[%]	54.54	10.32	13.26	21.89	
		표준편차	±14.21	±4.84	±5.41	±7.49	
피험자 3	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	46.18	11.74	27.50	14.57
			표준편차	±13.74	±5.77	±6.81	±5.98
		광자극 후	평균[%]	47.88	13.58	13.44	25.09
			표준편차	±11.91	±5.42	±4.00	±6.80
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	53.26	10.35	25.28	11.11
			표준편차	±13.16	±5.13	±6.57	±5.11
광자극 후		평균[%]	52.73	12.45	13.03	21.78	
		표준편차	±15.61	±5.42	±5.81	±7.26	
피험자 4	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	33.83	10.84	36.20	19.10
			표준편차	±13.92	±4.18	±8.83	±5.97
		광자극 후	평균[%]	40.00	9.28	18.86	31.83
			표준편차	±14.24	±3.67	±6.15	±9.06
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	45.93	9.35	27.13	17.59
			표준편차	±14.93	±3.41	±8.018	±5.61
광자극 후		평균[%]	44.48	9.76	18.30	27.46	
		표준편차	±14.55	±3.95	±6.01	±8.68	
피험자 5	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	35.18	11.20	36.13	17.44
			표준편차	±15.52	±4.02	±9.51	±5.83
		광자극 후	평균[%]	36.35	16.23	16.56	31.53
			표준편차	±12.13	±6.23	±5.46	±5.68
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	37.67	13.08	31.90	17.36
			표준편차	±16.47	±5.40	±11.06	±5.54
광자극 후		평균[%]	40.00	17.03	15.89	27.90	
		표준편차	±11.02	±7.00	±4.65	±5.63	
피험자 6	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	40.09	20.01	23.48	16.43
			표준편차	±12.33	±4.23	±10.78	±7.12
		광자극 후	평균[%]	46.92	12.01	10.7	30.45
			표준편차	±10.99	±6.71	±4.61	±15.26
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	42.47	23.99	19.12	14.43
			표준편차	±15.34	±4.35	±10.74	±7.94
광자극 후		평균[%]	53.37	15.24	8.74	22.33	
		표준편차	±17.88	±9.52	±4.39	±11.77	
피험자 7	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	28.43	22.14	34.18	15.26
			표준편차	±14.11	±4.14	±12.55	±7.1
		광자극 후	평균[%]	39.46	15.36	20.86	24.33
			표준편차	±17.37	±7.56	±8.04	±9.74
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	35.03	22.16	29.87	12.95
			표준편차	±13.98	±2.34	±12.52	±5.88
광자극 후		평균[%]	52.5	12.99	16.66	17.85	
		표준편차	±13.54	±6.36	±6.49	±6.23	
피험자 8	노출되지 않았을 경우	광자극 전	평균[%]	33.98	17.6	28.74	19.68
			표준편차	±12.44	±2.31	±12.02	±6.02
		광자극 후	평균[%]	47.41	11.69	12.42	28.49
			표준편차	±10.42	±5.83	±4.26	±6.86
	노출되었을 경우	광자극 전	평균[%]	40.14	19.07	22.53	18.26
			표준편차	±13.62	±3.54	±9.85	±7.99
광자극 후		평균[%]	52.19	13.2	11.89	22.72	
		표준편차	±16.42	±5.51	±4.67	±9.1	

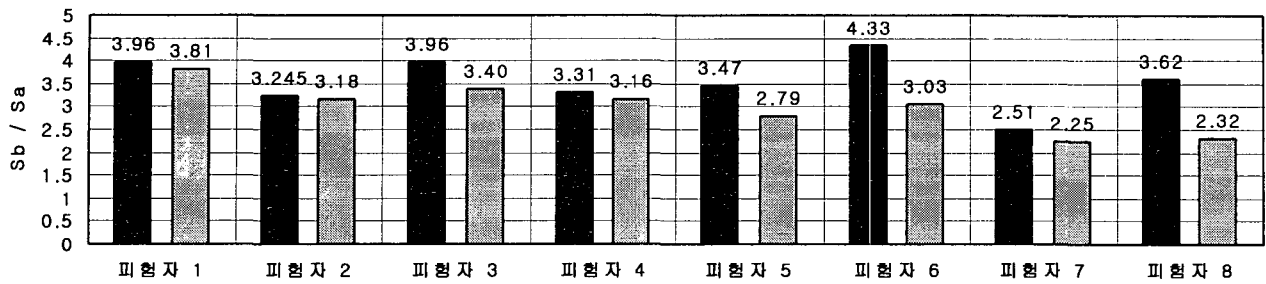


그림 9 각 피험자별 전자파의 유무에 의한 α 파에 대한 β 파의 상대적인 비

Fig. 9 Relative ratio of β wave to α wave by existence and non-existence of the electromagnetic wave

■ 전자파에 노출되지 않았을 경우
 ▨ 전자파에 노출되었을 경우

파 광자극 후의 α 파에 대한 β 파의 상대적인 비 S_b/S_a 를 구한 것이다. 여기서, 각 피험자별 검정색 막대그래프는 피험자가 전자파에 노출되지 않았을 경우, 회색 막대그래프는 전자파에 노출되었을 경우를 나타낸 것이다. 그림 9에 나타낸 것과 같이 각 피험자에 있어서 α 파에 대한 β 파의 상대적 비 (S_b/S_a)는 전자파에 노출되었을 경우가 노출되지 않았을 경우에 감소하였다. 이는 인체가 전자파의 영향으로 광인식에 β 파의 면적 비중이 상대적으로 감소하는 것을 의미한다.

EEG는 δ 파, θ 파, α 파, β 파로 구분되며, 그 특성은 주파수와 진폭의 범위가 정해져 있다는 것이다[10,11]. 즉, 일정한 구간 내의 특정 EEG 성분의 면적이 증가 혹은 감소한다는 것은 그 특정 성분파형의 진폭이 증가 혹은 감소하는 것이 아니라, 그 파형이 출현하는 시간이 길어지거나 혹은 짧아지는 것을 의미한다. 예를 들어, α 파의 면적 비중이 크다는 것은 α 파의 진폭이 증가한다는 것이 아니라 출현시간이 길어진다는 것이며, 또한 β 파의 면적 비중이 감소한다는 것은 β 파의 진폭이 감소한다는 것이 아니라 그 출현시간이 짧아진다는 것이다. 그러므로 그림 9에서 인체가 전자파에 노출되었을 경우에 β 파의 면적이 감소하였다는 것은 암순응 상태에서 광인식에 의하여 나타나는 EEG 변화인 α -blocking의 시점이 늦어졌다는 것이며, β 파의 출현 시점이 늦어졌다는 것을 의미한다. 이는 광인식 시간이 전자파에 노출되지 않았을 경우 보다 노출되었을 경우에 상대적으로 지연되는 것을 의미한다. 이와 같이 인체가 전자파에 노출되면 인식, 판단, 운동 등의 행위에 어려움을 느끼는 것으로 판단된다.

파의 변화는 인체가 전자파에 노출되면 수면에 드는 것과 유사한 상태를 일으키며, 인체를 덜 안정되게 하며, 물체를 지각하거나 주의 집중시 인체의 사물 인식에 어려움을 느끼는 생리적 변화를 초래한다는 것을 검토하였다. 또한, 본 연구에서는 전자파에 노출시켰을 경우와 노출시키지 않았을 경우에 광자극시에 발생하는 α 파와 β 파의 상대적 출현량을 비교 분석하였으며, 그 결과는 전자파에 노출되었을 경우에 β 파의 출현량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 β 파의 출현 시점이 늦어지는 것을 의미하며, 인체는 전자파에 의하여 광인식에 시간지연이 생긴다는 것을 검토하였다.

본 연구의 성과를 통해 전자파는 인체에 피로한 상태를 야기하고, 사물인식이 용이하지 않을 뿐만 아니라 사고, 주의 집중, 운동 등의 인식, 판단행동에 어려움을 야기시키는 것으로 사료된다. 본 연구는 전자파가 시각인식에 미치는 영향에 국한되었으며, 향후 운동제어, 근육의 긴장반사, 생화학적 변화 등에 전자파가 미치는 영향을 규명할 필요가 있으며, 이들의 성과는 전기기기의 개발뿐만 아니라 생리학, 스포츠과학, 의학 분야 등에 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 원광대학교 교비 지원에 의해 작성되었습니다.

4. 결 론

본 연구에서는 암순응 상태의 인체에 전자파를 노출시키지 않았을 경우와 노출시켰을 경우에 광자극하여 발생하는 뇌파를 비교 분석함으로써 전자파가 시각 활동에 미치는 영향을 규명하였다. 이를 위해, 외부의 빛과 전자파를 차단할 수 있는 차폐실을 구축하였고, 인체에 임의의 전자파와 광을 자극할 수 있는 실험시스템을 고안하였다.

전자파에 노출시키지 않았을 경우에 비하여 노출시켰을 경우의 뇌파의 변화는 각 성분 중, δ 파는 증가하였고, θ 파는 그 변화폭이 작았으며, α 파와 β 파는 감소하였다. 이러한 뇌

참 고 문 헌

[1] H. A. Sadafi, A. W. Wood, R. B. Silberstein, "Effects of EMF on the Human Brain Activity", 2nd Conference on Bioelectromagnetism, 1998.
 [2] 이성학, 김체영, 강승진, "휴대폰 전파의 인체 흡수전력량과 온도 상승량 산출", 한국전자파학회 논문지, 제 12권 3호, pp. 409-416, 2001.
 [3] 이근호, 김영태, 김병철, 이무영, 고성호, 이상훈, "전자파에 노출된 토끼의 뇌신경조직의 반응과 Nimodipine 투여 효과에 관한 연구", 대한의용생체공학학회, 제 19권 1호, pp.

81-90, 1998.

[4] G. Testylier, L. Tonduli, R. Malabiau, J. C. Debouzy, "Effects of Exposure to Low Level Radiofrequency Fields on Acetylcholine Release in Hippocampus of Freely Moving Rats", *Bioelectromagnetics*, 23, 249-255, 2002.

[5] Andrew A. Marino, Erik Nilsen, Clifton Frilot, "Nonlinear Changes in Brain Electrical Activity Due to Cell Phone Radiation", *Bioelectromagnetics*, 24, pp. 339-346, 2003.

[6] 박용양, 서정선, "이동통신 주파수 대역 전자파에 대한 생체 반응", *한국전자과학회지:전자파기술*, 12(2), pp.62-70, 2001.

[7] J. Lass, H. Hinrikus, M. Bachmann, V. Tuulik, "Microwave radiation has modulation frequency dependent stimulating effect on human EEG rhythms", *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp. 4225-4228, 2004.

[8] Reto Huber, Thomas Graf, Kimberly A. Cote, Lutz Wittmann, Eva Gallmann, Daniel Matter, Jürgen Schuderer, Niels Kuster, Alexander A. Borbély, Peter Achermann, "Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG", *Neuroreport*, 2, pp. 3321-3325, 2000.

[9] Mario Galarreta, Shaul Hestrin, "A network of fast-spiking cells in the neocortex connected by electrical synapses", *Nature*, 402, pp. 72-75, 1999.

[10] David Regan, "Human Brain Electrophysiology: Evoked Potentials and Evoked Magnetic Field in Science and Medicine", Elsevier, 1989.

[11] 김대식, 최장욱, 이광우, "뇌파검사학", 고려의학, 2001.

[12] John L. Andreassi, "Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response", Lawrence Erlbaum Associates, pp. 190-217, 3rd Edition, 1995.

[13] R. Cooper, "EEG Technology", Butterworths, 2nd Edition, 1974.

[14] Neil Schaul, "The fundamental neural mechanisms of electroencephalography", *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 106, pp. 101-107, 1998.

[15] Daniel G. Vaughan, Taylor Asbury, Paul Riordan-Eva, "General Ophthalmology", Prentice-Hall, 14th Edition, 1995.

[16] Stephen J. Rhode, Stephen P. Ginsberg, "Ophthalmic Technology: A Guide for the eye care assistant", Raven Press, 1987.

[17] Johannes Albrecht, Herbert Jagle, Donald C. Hood, Lindsay T. Sharpe, "The multifocal electroretinogram and cone isolating stimuli : Variation in L-and M-cone driven signals across the retina", *Journal of Vision*, 2, 543-558, 2002.

저 자 소 개



박형준 (朴炯俊)

1961년 5월 13일생. 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(석사), 1993년 일본 오사카대학 대학원 졸업(박사), 1993~현재 원광대학교 공대 전기공학과 부교수.

Tel : 063-850-6737

E-mail : pahumu@wonkwang.ac.kr



윤재현 (尹在鉉)

1973년 10월 9일생. 2002년 원광대 공대 전기전자공학부 졸업, 2005년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 원광대학교 전기공학과 박사과정

Tel : 063-850-6737

E-mail : sanay@wonkwang.ac.kr