

## 뇌파 측정 신호를 이용한 우울증 진단장치 개발

김규성, 정주현, 이우철\*  
을지대학교 의료공학과

### Development of depression diagnosis system using EEG signal

Kyu-Sung Kim, Ju-Hyeon Jung, Woo-Cheol Lee\*

Division of Biomedical Engineering, Eulji University

**요약** 본 연구에서는 2016년 7월부터 2017년 6월까지 1년 동안 뇌파 측정 신호를 이용한 우울증 진단장치를 개발하였다. 정상인의 경우 좌측 알파파가 우측 알파파에 비해 활성화되는 양상을 보이고, 우울증 환자의 경우 반대로 우측 알파파가 더 활성화된다. 뇌파의 잡음제거와 증폭을 위해 아날로그 회로와 디지털 저역통과필터를 사용하였고, 고속 푸리에 변환을 실시할 때 발생하는 신호의 누수를 제거하기 위해 해밍 창 함수를 적용하였다. 개발한 진단장치의 유효성능을 확인하기 위해 평균연령 24세의 대학교 3, 4학년 학생 20명을 대상으로 뇌파 측정을 실시하였다. 우울증 판독을 하기 위해 좌, 우 알파파의 상대 값을 계산한 결과 최솟값은 66.7, 최댓값은 113.3의 값을 가졌으며, 평균값은 92.2이었다. 또한 20명 중 7명이 90~95 사이에 해당되었고, 우울 점수의 평균 편차가 20가량 높은 사람의 경우 경미한 우울증세의 경향을 보였다. 본 연구 결론을 향후 좌, 우 뇌 비대칭 해소를 통한 우울증 치료기 제작 시 유의미한 자료로 사용할 수 있으며 다수의 우울증 환자에 대한 임상실험이 이루어질 경우 실제적 우울증 진단에 유용하게 적용할 수 있다.

**Abstract** In this study, a device was developed for diagnosing depression using EEG signals from July 2016 to June 2017. For normal people, the left alpha rhythm is more activated than the right alpha rhythm, but for the depressed patients, the right alpha rhythm is more activated than the left one. An analog circuit and digital low pass filter were used for noise removal and amplification of EEG, and the Hamming window function was applied to eliminate the signal leakage generated by the fast Fourier transform. To verify the validity of the developed diagnosis system, the EEG of 20 university students in the 3rd and 4th grade with an average age of 24 years was measured. Calculations of the relative value of the left and right alpha rhythm for the depression diagnosis revealed a minimum, maximum, and mean value of 66.7, 113.3, and 92.2, respectively. In addition, 7 out of 20 subjects were between 90 and 95, and those with a higher mean deviation of approximately 20 tended to have mild depression. These results can provide meaningful data for the development of depression treatment equipment by solving the left and right brain asymmetry problem, and it may be applied usefully to diagnose depression after clinical trials on a large number of depressed patients.

**Keywords** : Alpha rhythm, Asymmetry, Depression, Diagnosis system, EEG signal

### 1. 서론

우울증은 현대인의 생활이 복잡, 다각화되면서 선진 사회를 중심으로 발생률이 계속 증가하고 있으며 보통 우울감, 흥미상실이나 체중감소, 수면 장애, 죄책감 등의 증상을 나타내고 어떤 경우에는 만성적 피로감이나 요통

등이 증상으로 나타나는 경우도 있다.[1]

우리나라에서는 우울증을 정신적인 질환보다는 일시적 감정문제이나 성격 정도로 쉽게 생각하는 경향이 있으나, 우울증은 본인뿐만 아니라 주위 가족들의 삶까지 커다란 영향을 주고, 심할 경우 자살 등의 결과를 초래하는 심각한 정신질환이다.[2]

\*Corresponding Author : Woo-Cheol Lee(Eulji Univ.)

Tel: +82-31-740-7212 email: wclee@eulji.ac.kr

Received October 18, 2017

Revised (1st November 10, 2017, 2nd November 17, 2017)

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

이런 우울증의 진단은 주로 임상적인 방법으로서 해밀턴 우울 평가척도(HAM-D), Beck 우울 척도(BDI) 등을 사용하여 실시해 왔으나, 최근 뇌 과학의 발달로 좌측 전전두엽과 우측 전전두엽의 알파 비대칭을 통하여 우울증의 진단을 할 수 있다는 연구 결과들이 발표되고 있다. 정상인의 경우 좌측 알파파가 우측 알파파에 비해 활성화되는 양상을 보이고, 우울증 환자의 경우 반대로 우측 알파파가 더 활성화된다.[3-5]

그러나 이와 대조적으로 불안증세를 보이는 사람의 경우에는 반대의 뇌파 양상을 보인다고 알려져 있으며,[6]우울증 환자가 불안증세를 가지는 경우 전두엽에서의 뇌파 비대칭을 상쇄시킬 가능성이 제기되고 있다.[7]또한 정신과나 연구실 등 익숙하지 않은 환경에서 뇌파 측정을 실시하는 것은 그 자체로 환자의 불안감을 증폭시킬 수 있다.[8-9]

덧붙여 우리 사회는 정신과 진료에 대한 필요성을 느끼면서도 불구하고 부정적인 인식이 만연해 있으며,[10-11]정신과 진료 후 진료기록 유출 등으로 사회적 낙인이 찍힐 수도 있다는 불안감이 가중되어 기피현상이 더욱 심해지고 있는 실정이다.[12]

또 우울증의 경우 적절한 시기에 치료를 받을 경우 70~90%가 완치 가능하지만, 대부분은 우울증을 병으로 인식하지 못해 병원을 찾지 않아 치료시기를 놓치고 있다. 우울증 환자들이 병원을 찾게 하기 위해서는 1차적으로 환자에게 자신이 우울증을 앓고 있다는 것을 인지시켜야 한다.[13]

이러한 환경에 대한 불안과 기피현상에서 보다 자유로운 진료를 위해, 가정에서 개인이 사용 가능한 우울증 진단장치의 개발을 진행하였다.

기존의 뇌파 측정 장비는 개인이 구입해서 사용하기에는 고가의 가격을 가지고 있으며, 전문적인 지식 없이는 사용하기에 무리가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 초등학생의 교육용으로도 사용되어지는 Arduino를 이용하여 사용이 간편한 우울증 진단장치를 개발하였고, 대학생 20명의 뇌파를 측정하여 기기의 유효성을 확인하였다.

## 2. 연구 방법

좌, 우 뇌에서 발생된 뇌파 전위는 2채널 능동전극을 통하여 EEG 측정회로의 입력신호로 들어간다. 입력된 아날로그신호는 설계된 회로에 의해 증폭과 잡음제거를 하고, Arduino를 통하여 디지털신호로서 PC로 전송된다. PC에서 받아진 신호는 MATLAB을 이용하여 처리되어지고, 파워스펙트럼을 구하여 좌, 우 뇌의 알파파 활성도를 비교한다.



Fig. 1. Composition of depression diagnosis system

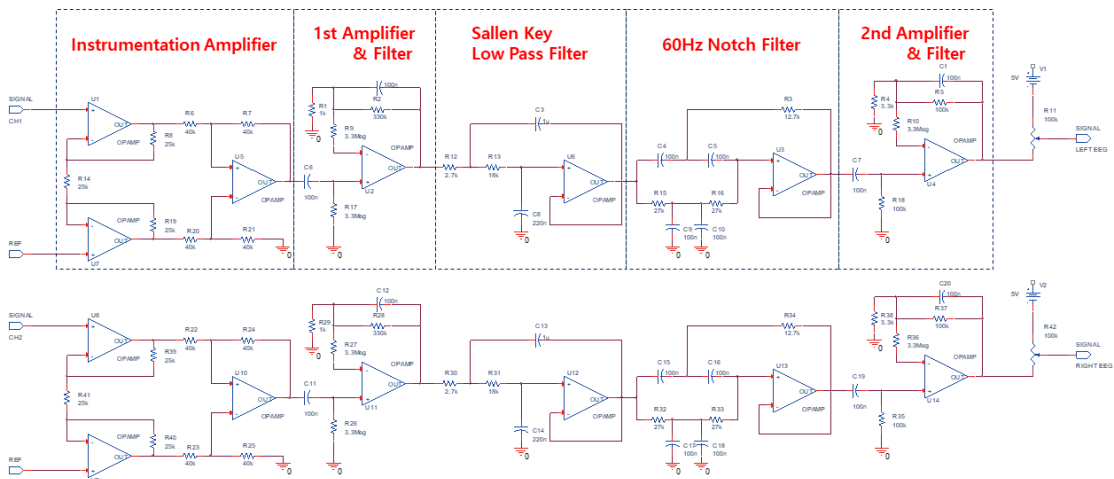


Fig. 2. EEG signal measuring circuit

뇌파 측정 시 대상자에게 연구에 대한 충분한 설명과 사전 동의 후 측정을 실시하였다. 검사 방법은 자발전위 검사로, 안구전도와 근전도의 영향을 최소화하기 위해, 눈을 감은 안정된 상태에서 5분간 실시하였다.

### 2.1 뇌파 측정 시스템 설계 및 제작

[Fig. 2]와 같이 좌, 우 이마의 전극을 통하여 입력된 EEG 신호는 회로 초단의 계측증폭기 INA128을 통과한다. 계측증폭기는 HCP(Half Cell Potential)와 60Hz 전원잡음같이 불필요한 신호의 제거와 뇌파 신호의 증폭, 입력 임피던스의 증가 역할을 한다.

통과한 신호는 1차 증폭·필터, 셸런-키 방식의 2극점 저역통과필터, 60Hz 노치필터, 2차 증폭·필터 순으로 이동하고, 마지막으로 출력신호의 DC offset 조절용인 가변저항을 거쳐 Arduino의 ADC로 전달된다.[14]

[Fig. 3]은 EEG 회로를 Pspice를 이용하여 시뮬레이션 한 결과로, 주파수특성그래프이다. 시뮬레이션을 위한 AC입력신호는 10uV이며 회로의 증폭도는 3만 배 이상이지만 필터의 증폭도 감소효과로 인해 실제로는 알파파의 주파수대역인 8Hz~13Hz에서 약 6000배 정도의 증폭특성을 가진다.

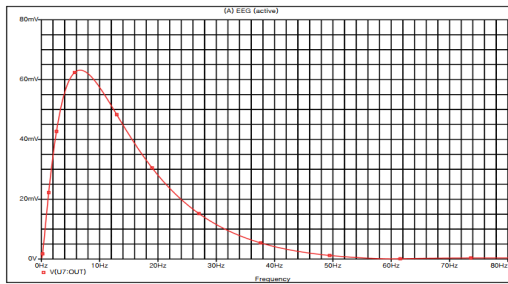


Fig. 3. Frequency Characteristic of EEG Circuit

출력신호가 전달 될 Arduino Uno는 ATmega328 기반의 개발보드로 구동 전압이 5V이며, 10bit의 ADC분해능을 가진다. 즉 양자화레벨이 1024이므로 전압분해능은 약 4.9mV가 된다.

따라서 출력신호는 0~5V 사이, Saturation이 되지 않는 범위 안에서, 양자화오차에 의한 신호의 손실을 최소화 하기 위한 충분한 증폭을 해주어야 한다.

또한 회로의 고역통과필터는 신호의 DC값을 제거해 주어 DC값의 증폭으로 인한 Saturation을 막아주고, 저

역통과필터는 뇌파신호 이외의 잡음을 제거해 준다. 추가적으로 회로의 OP AMP선택에 유의하여야 하는데 생체신호계측은 잡음에 민감하고 높은 증폭 특성을 필요로 하므로 Low noise 특성과 Low offset voltage를 가지는 소자를 택해야 한다. 본 회로에서 사용된 소자는 OP07이다.

### 2.2 측정 신호의 분석 알고리즘

좌, 우 뇌의 출력신호는 Arduino 보드로 들어가고, 보드내부 ADC에 의해 디지털신호로 변환된다. 이 때 샘플링주기는 2ms로, 샘플링주파수는 500Hz가 된다. Nyquist 이론에 의한 Aliasing 발생 주파수는 250Hz이상이고, 뇌파출력신호는 저역통과필터에 의해 60Hz 이상의 신호가 모두 제거되었으므로 Aliasing이 발생하지 않는다.

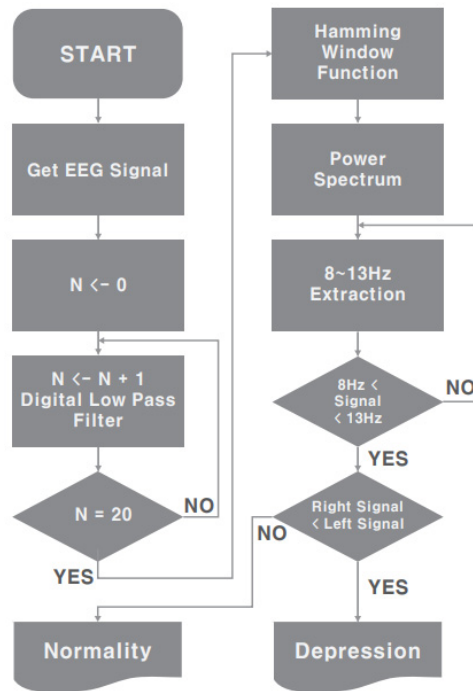


Fig. 4. Signal processing algorithm

그러나 신호발생기를 이용하여 장비의 정확도를 확인하는 과정에서 일정 주파수의 파형을 Arduino를 통해 PC로 전송하여 FFT를 실시하였을 때 미세한 오차가 발생하는 것을 확인, 샘플링주파수를 조정하였다. 사용 보드의 경우 MATLAB상의 샘플링주파수 값을 492Hz로

하였을 때 입력주파수와 출력주파수가 일치함을 확인하였다.

샘플링된 뇌파신호는 Arduino에서 PC로 전송되고, 전송된 신호는 다음과 같은 알고리즘에 의해 처리된다.

1. 5분간 측정된 뇌파 신호 값(0~1023)을 Load하여, 실제 진폭 값(0~5V)으로 변환해준다.
2. 45Hz의 20극점 Butterworth 디지털 저역통과필터를 추가로 적용하여 필요 신호 이외 불필요한 신호의 완전한 제거를 한다.
3. FFT실시 시 신호의 누수(Leakage)를 막기 위해 Window function을 적용한다. Window function의 종류에는 Hamming, Hanning, Blackman, Triangular, Gaussian 등이 있는데 이 중 뇌파 신호에 적용 시 특성이 좋다고 입증된 Hamming window function을 사용하였다.[15]
4. FFT 실시 후 파워스펙트럼 값을 계산한다. 이 때 머리카락 등의 방해요소가 비교적 적은 이마 부위이므로 좌측과 우측의 생체임피던스는 동일하다고 가정하였다.
5. 계산되어진 파워스펙트럼 값은 1/492, 약 0.002Hz의 간격마다 특정한 파워(P) 값을 가진다. 이 중 알파파의 주파수 대역인 8Hz~13Hz에 해당하는 값을 모두 합산해준다.
6. 좌 뇌와 우 뇌에서 합산된 각각의 파워 값을 비교한다. 알파파의 경우 안정된 상태에서 나타나는 뇌파로, 파워 값이 클수록 뇌의 비활성화를 나타내고, 반대로 파워 값이 작을수록 뇌의 활성화를 나타낸다.

비교적 우 뇌의 활성도가 큰 우울증 환자의 경우 좌 뇌의 파워 값이 우 뇌의 파워 값에 비해 높게 나타난다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 우울진단장치의 모의실험 결과

[Fig. 5]는 신호발생기에서 10Hz와 60Hz의 신호를 PC로 보낸 후 MATLAB에서 신호 처리한 결과로, 위의 그래프 두 개는 Time domain에서의 입력과 출력이고, 아래의 그래프 두 개는 Frequency domain에서의 입력과

출력이다.

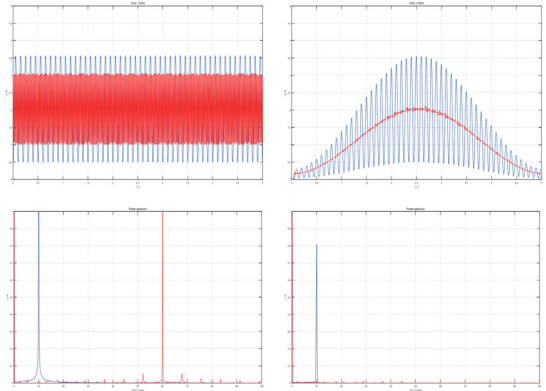


Fig. 5. Window function and low pass filter application result

Time domain에서의 그래프를 살펴보면 빨간색의 60Hz 신호가 저역통과필터에 대부분 제거된 것을 볼 수 있으며, 또한 10Hz와 60Hz 모두 Hamming window function에 의해 양 끝의 진폭이 감소된 특성을 확인할 수 있다.

Hamming window function의 유효성은 Frequency domain의 그래프에서 확인할 수 있으며, 10Hz신호의 누수(Leakage)가 확연히 줄어든 것을 알 수 있다.

#### 3.2 실제 뇌파 측정 후 일반적인 뇌파 파형과의 비교

[Fig. 6]은 일반적으로 알려진 델타파와 세타파, 알파파의 형태이다.[16]각각 1초 동안의 파형을 나타내고 있으며, 델타파는 0~4Hz, 세타파는 4~8Hz, 알파파는 8~13Hz에 해당하는 파형이다.

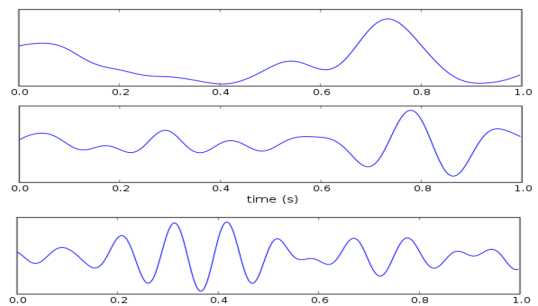


Fig. 6. Delta rhythm, theta rhythm and alpha rhythm

[Fig. 7]은 본 연구에서 개발한 장치를 사용하여 측정된 뇌파이며 델타파와 세타파가 우세하게 나타난 사람의 파형 그래프이다. 비교를 위해 1초 동안의 파형으로 나타내었다. [Fig. 6]에서의 델타파, 세타파 그래프가 합성된 형태를 하고 있으며, 0~8Hz의 파형을 나타내고 있다.

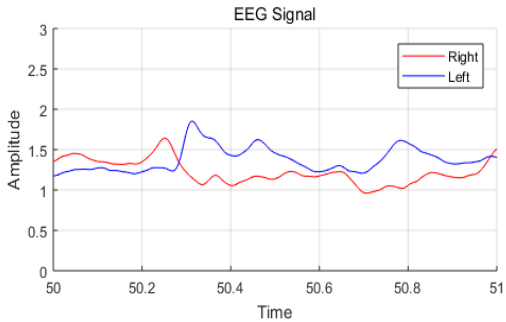


Fig. 7. Measured delta rhythm and theta rhythm

[Fig. 8]은 마찬가지로 직접 측정된 뇌파이며 알파파가 우세하게 나타난 사람의 파형 그래프이다. [Fig. 6]의 알파파 그래프와 유사한 주파수 특성을 가지고 있다. 알파파에 해당하는 8~13Hz의 파형을 확인할 수 있다.

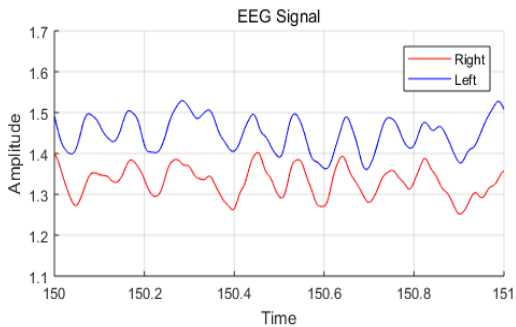


Fig. 8. Measured alpha rhythm

### 3.3 정상인과 우울증세를 보이는 사람의 뇌파 비교

[Fig. 9]는 정상인 두 명의 뇌파 샘플로, 좌측은 Time domain에서 5분간 측정된 결과이고, 우측은 저역통과필터와 Hamming window function을 적용한 파워스펙트럼의 결과 그래프이다.

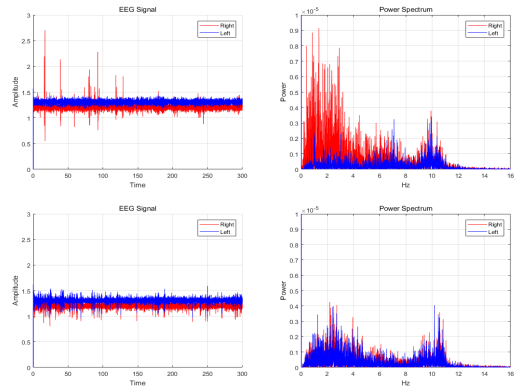


Fig. 9. Normal people's EEG

좌 뇌는 파란색, 우 뇌는 빨간색으로, 알파파 구간에서 우 뇌의 파워 값인 빨간색 파형이 우세한 것을 확인할 수 있다. 우울증 판독을 하기 위해 다음의 수식을 사용하여 좌, 우 알파파의 상대 값을 구하였다.

$$\text{Depression score} = (\text{Left ALPHA wave} / \text{Right ALPHA wave}) * 100$$

[Fig. 9]에서 위 식을 사용하여 계산한 우울 점수는 각각 78.1과 84.4였다.

[Fig. 10]은 우울증세를 보이는 두 명의 뇌파 샘플로, [Fig. 9]와 마찬가지로 구성되어 있다.

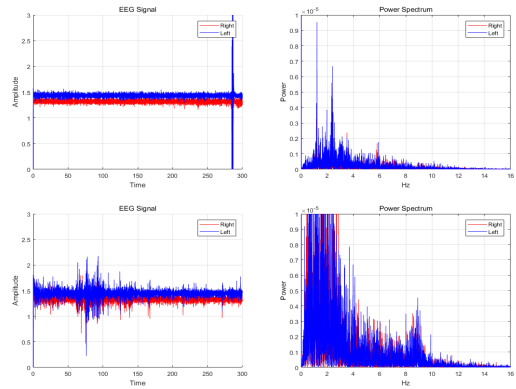


Fig. 10. EEG of depressed people

알파파 구간에서 좌 뇌의 파워 값인 파란색 파형이 우세한 것을 볼 수 있으며, 우울 점수는 각각 108.3과 111.8로, 좌 뇌의 알파파워가 우 뇌의 알파파워에 비해 우세한 것을 알 수 있었다.

Table 1. Depression score of 20 university students

Number	Age	Gender	Depression score	Average	Standard deviation
1	24	M	66.7	92.2	12.8
2	23	M	78.1		7.1
3	25	M	80.6		5.8
4	23	M	84.4		3.9
5	25	M	84.5		3.9
6	23	M	85.7		3.3
7	25	M	87.0		2.6
8	25	M	90.1		1.1
9	24	M	90.8		0.7
10	22	W	91.2		0.5
11	25	M	91.3		0.5
12	24	M	92.2		0
13	21	W	92.8		0.3
14	24	M	94.0		0.9
15	24	M	98.6		3.2
16	26	M	99.5		3.6
17	26	M	103.8		5.8
18	25	M	108.3		8.0
19	25	M	111.8		9.8
20	22	W	113.3		10.5

[Table 1]은 대학생 20명에 대하여 기재된 실험 방법으로 뇌파 측정을 한 후 얻은 우울 점수 데이터이다. 데이터의 신뢰성 확보를 위해서는 충분한 측정시간이 필요하다. 본 연구에서는 좌, 우 뇌에서 5분 동안 발생한 뇌파를 측정, 비교하였다.

최소 66.7에서 최대 113.3까지의 점수가 나왔으며, 평균 점수는 92.2이다. 또한 [Fig. 11]의 히스토그램 그래프를 통해 우울 점수가 90~95 사이의 값에 집중되고 있음을 확인할 수 있다.

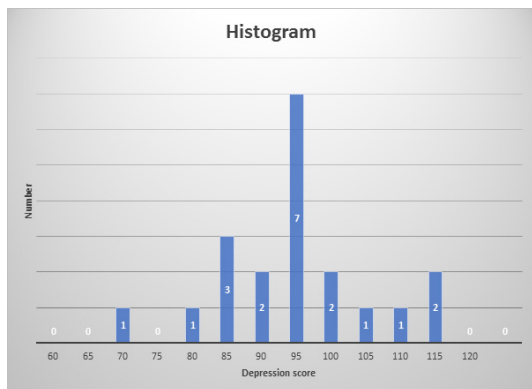


Fig. 11. Histogram of depression score

## 4. 결론

EEG 회로와 디지털 필터, Hamming window function 등을 사용한 설계과정과 일반적인 뇌파 파형과의 비교, [Fig. 9, 10]의 비교 분석을 통해 본 연구에서 제작한 우울증 진단장치의 성능을 확인하였다.

또한 20명의 대학생을 대상으로 한 실험에서 좌, 우 알파파를 비교한 결과 다음과 같은 사실을 확인할 수 있다.

1. 우울 점수의 평균값은 92.2이다.
2. 우울 점수는 최솟값 66.7, 최댓값 113.3을 가진다.
3. 20명 중 7명이 90~95 구간에 해당한다.
4. 우울 점수의 평균 편차가 20가량 높은 사람의 경우 경미한 우울증세의 경향을 보인다.
5. 히스토그램의 결과로 우울 점수는 가우시안 분포를 따른다.

본 연구 결론을 향후 좌, 우 뇌 불균형 해소를 통한 우울증 치료가 제작 시 유의미한 데이터로 사용할 수 있다.

향후 다수의 우울증 환자에 대한 임상실험이 이루어지면 실제적 우울증 진단에 유용하게 적용할 수 있다.

본 연구에서 개발한 장치가 상용화 될 경우 우울증 의심 환자의 가정에서의 자가진단이 가능해 질 것이다. 이로 인해 우울증 초기 환자의 진단이 이뤄질 경우 적시에 치료를 할 수 있다.

늘어나는 우울증 환자에 대한 적절한 치료는 사회, 경제적 비용의 절감을 기대할 수 있다.

## References

- [1] B. Kang, "Effect of Transcranial Direct Current Stimulation and various forms of Exercise on the Female University Students' Physical Composition, Depression Symptoms and Quality of Life", Dongguk University, 2016.
- [2] J. Kim, "Relevance for anti-depressive effect of repetitive transcranial magnetic stimulation and changes of functional connectivity after rTMS in depression", Yonsei University, 2013.
- [3] H. Cho, "A Study on Determining the User's Depression State by Brain Wave Analysis", Sejong University, 2014.
- [4] J. Lee, B. Yang, S. Lee and S. Lee, "Electroence



phalographic Alpha Asymmetry in Major Depressive Disorder Patients With Anxiety Symptoms”, J. of Korean Society of Biological Psychiatry vol. 14, no. 1, pp. 42-47, 2007.

- [5] S. Ahn, “Depression Diagnosis and Brain Asymmetry Improvement Software”, Sejong University, 2016.
- [6] Y. S. So "Influence of comobid anxiety disorder to the electroencephalographic asymmetries in major, depressive patients", Catholic Kwandong University , 2008.
- [7] J. S. Lee, B. H. Yang, D. Y. Oh and K. S. Kim "EEG A1, A2, and Percent Asymmetry Indices in Major Depressive Disorder ; The Importance of Symptom Severity of Depression and Anxiety", The Korean Neuropsychiatric Association, vol. 46, no. 2, pp. 179-184, 2007.
- [8] J. S. Lee, "Changes in Frontal Brain Asymmetry before/during/after swimming competition", Kyungpook National University, 2015.
- [9] M. S. Jo, "A study on focusing-board assembly and scan method for diminution of anxiety symptoms in MRI", Keimyung University, 2011.
- [10] J. H. Lee, "Seven out of ten patients avoid treatment even if they have psychiatric symptoms", Dong-A Ilbo, 2009, <http://news.donga.com/3/all/20090413/8719394/1>, Nov. 2017.
- [11] M. G. Seo, J. N. Kim and M. K. Lee, "Investigation of discrimination and prejudice for mental patients", National Human Rights Commission of the Republic of Korea, 2008.
- [12] Y. O. Lee, "Worried about remaining diagnostic record, People who are preparing for work avoiding psychiatric care", Inews24, 2017, [http://www.inews24.com/pyeongchang2018/news\\_view.php?g\\_serial=1050179&g\\_menu=050300](http://www.inews24.com/pyeongchang2018/news_view.php?g_serial=1050179&g_menu=050300), Nov. 2017
- [13] J. S. No, "The nation where 9 out of 10 depressed patients can't be treated" Sisajournal, 2016, <http://www.sisapress.com/journal/article/158904>, Nov. 2017.
- [14] D. Lee and C. Lee, “The development of a bluetooth based portable wireless EEG measurement device”, J. of IEEE Korea Council, vol. 14, no. 2, pp. 16-23, 2010.
- [15] E. Kim, “A Design of FFT Processor for EEG Signal Analysis”, Kumoh National Institute of Technology, 2013
- [16] Hugo. Gamboa, “Electroencephalography”, Wikipedia, 2005, <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography?oldid=793875039>, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.ko>, Nov. 2017

---

**김 규 성(Kyu-Sung Kim)**

[준회원]



•2011년 3월 ~ 현재 : 을지대학교  
바이오융합대학 의료공학과

<관심분야>

생체계측, 임베디드 시스템, 생체신호처리 및 분석

---

**정 주 현(Ju-Hyeon Jung)**

[준회원]



•2012년 3월 ~ 현재 : 을지대학교  
바이오융합대학 의료공학과

<관심분야>

생체계측, 임베디드 시스템, 조음과 진단

---

**이 우 철(Woo-Cheol Lee)**

[정회원]



•1983년 2월 : 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
•1986년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
•2006년 2월 : 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)  
•1993년 3월 ~ 현재 : 을지대학교 바이오융합대학 의료공학과 교수  
•2010년 9월 ~ 현재 : 을지대학교 보건대학원 생체의료공학과 교수  
•2000년 1월 ~ 2004년 12월 : 대한의용생체공학회 교육이사  
•2012년 9월 ~ 현재 : 을지대학교 지역혁신센터 RIC 소장

<관심분야>

생체계측, 치료기기, 전자의료기기 시스템