

주파수분석법에 의한 치매환자와 정상인의 뇌파특성 비교

장윤석* · 박규철** · 한동욱***

Comparison of EEG Characteristics between Dementia Patient and Normal Person
Using Frequency Analysis Method

Yun-Seok Jang* · Kyu-Chil Park** · Dong-Wook Han***

요 약

요즘 우리 사회는 급속히 고령화 사회로 변화되고 있다. 고령화 사회에서는 치매에 대하여 잘 아는 것이 매우 중요한 일이다. 따라서 본 연구는 기본적으로 치매환자로부터 측정된 EEG 신호의 특성을 파악하는 것을 목표로 한다. 먼저 그것을 위하여 치매환자와 정상인의 EEG 특성을 구분하기 위하여 두 그룹의 자발 EEG 신호를 분석하였다. EEG 신호는 16개의 전극으로 계측하였고, 그 신호들은 주파수대역으로 분류하여 분석하였다. 보다 선명한 EEG 신호로 처리하기 위해서는 2개의 채널 간에 상호상관함수를 적용하였다. 그 결과, 치매환자와 정상인의 EEG 신호의 특성은 분명히 다르다는 사실을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Nowadays our society is rapidly transforming into an aging society. A better understanding of dementia is a high priority in the aging society. Therefore our study is basically aimed at understanding characteristics of EEG signals from dementia patients. Firstly, we analyzed spontaneous EEG signals from normal persons and dementia patients to distinguish their characteristics. The EEG signals are recorded with 16 electrodes and we classified the EEG signals from the signals according to frequency band. To obtain the clean EEG signals, we used cross correlation function between two channels. From the analysis results, we can observe that the EEG characteristics from dementia patients are distinctly different from that from normal persons.

키워드

EEG Signal, Dementia Patient, Normal Person, Cross Correlation Function, Alpha Wave
EEG 신호, 치매 환자, 정상인, 상호 상관 함수, 알파파

1. 서 론

현대사회는 의학이 발전하고 환경이 개선됨으로 인하여 고령화 사회로 접어들고 있다. 우리나라도 65세 이상의 노인인구가 점점 증가하고 있고 앞으로는 더

욱 빠른 증가율을 기록할 것이 예상되기 때문에 고령화에 따른 여러 가지 문제를 생각하지 않을 수 없게 되었다. 결국 인구의 고령화에 따르는 질병이 고령화 사회의 문제라고 할 수 있는데, 그 중에서도 치매는 가장 대표적인 질환으로 꼽히고 있다[1].

* 교신저자(corresponding author) : 부경대학교 전기공학과 교수(jangys@pknu.ac.kr)

** 부경대학교 정보통신공학과 교수

*** 신라대학교 물리치료학과 교수

접수일자 : 2014. 03. 12

심사(수정)일자 : 2014. 04. 21

게재확정일자 : 2014. 05. 15

치매란 후천적으로 진행되는 퇴행성 및 혈관성 변화에 의해 지적 활동 기능이 저하되는 인지기능의 장애를 호소하는 질병이다. 치매증상이 심해지면 일상생활도 스스로 할 수 없을 정도로 삶의 질이 떨어지게 된다. 그렇게 되면 치매환자 본인만이 아니라 가족에게까지도 막대한 영향을 미치게 되기 때문에, 치매는 사회적으로 심각한 문제를 일으킬 수 있는 질환으로 인식하게 되었다. 따라서 치매를 보다 빨리 진단할 수 있는 방법을 고민하지 않을 수 없게 되었다.

치매의 진단은 임상적 진단에 의존하는 경우가 많은데, 임상적 진단법은 정확도가 떨어지는 것으로 알려져 있다. 치매 증세가 가벼운 환자 즉 초기증상을 보이는 환자의 경우, 임상적으로는 치매라고 판단하기 어렵다는 문제점을 안고 있다. 따라서 치매의 진단을 보다 객관적이고 정량적으로 수행하는 방법이 요구되고 있다. 지금까지 사용되는 방법으로는 fMRI, SPECT, PET 및 뇌파계 등을 들 수 있다. 그 중에서도 뇌파계는 비침습적(Non-invasive)으로 뇌파를 측정함으로써, 객관적이고 연속적인 뇌신경의 활동을 관측할 수 있는 방법이다. 뇌파를 분석하는 것은 뇌의 인지기능을 평가할 수 있는 유용한 방법이므로, 뇌파계로 계속한 인간의 뇌파에 대한 연구가 성행하고 있다[2-3].

지금까지 치매와 뇌졸중 등에 대한 많은 연구가 있었고[4-6], [11], 정상인과 알츠하이머형 치매환자 사이의 뇌파를 분석하여 치매환자의 뇌파 이상은 치매증상의 정도와 밀접한 상관성을 가진다는 뇌파 관련 연구보고도 있었다[7-9]. 하지만 가벼운 치매증상에서는 뇌파의 이상이 전혀 보이지 않거나 이상 정도가 미약하기 때문에 진단에 그다지 도움을 받지 못한다는 연구보고도 있었다[10]. 따라서 뇌파성분을 다양하게 분석하여 치매의 이상을 뇌파에서 발견할 수 있는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 정량적인 뇌파분석법을 이용하여 치매환자와 정상인의 차이를 발견하기 위하여 뇌파 즉 EEG 신호의 주파수대역을 구분하여 분석하는 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 뇌파 중에서도 델타파(2~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~13Hz), 낮은 베타파(13~20Hz), 높은 베�타파(20~30Hz) 그리고 SMR파(12~16Hz)를 분석한 결과를 제시하였다. 또한 분석하는 EEG 신호의 길이에 따라 치매환자와 정상인을 구별할 수 있는 특성은 어떠한 차이를 나타내는

지에 대해서도 비교분석하여 보았다.

결론적으로 본 논문에서는 치매환자와 정상인으로부터 계속한 뇌파를 주파수분석법을 이용하여 분석한 결과를 제시함으로써, 임상적 기법으로는 수행하기 어려운 치매증상 판별법의 가능성을 제시하고자 하였다.

II. 뇌파 측정

2.1. 피험자 선정법

본 연구에서는 뇌졸중이나 정신분열증과 같은 뇌질환을 앓지 않은 평균 80.4세의 정상인 그룹과 평균 79.4세의 치매환자 그룹을 피험자 군으로 선정하였다. 정상인과 치매 환자의 구분은 기본적으로 전반적 퇴화척도(Global Deterioration Scale : GDS)의 5단계 점수를 기준으로 하였는데, 전반적 퇴화척도의 점수로나는 7단계는 다음과 같이 인지장애 정도를 구분한다. 즉 GDS1은 인지장애가 없는 것, GDS2는 매우 경미한 인지장애, GDS3은 경미한 인지장애, GDS4는 중간 정도의 인지장애, GDS5는 초기 치매, GDS6은 중기 치매, GDS7은 말기 치매의 증상이 있는 것으로 판단하고 있다. 본 연구에서는 GDS1과 GDS2단계에 해당하는 피험자를 정상인으로, GDS5, GDS6 및 GDS7단계에 해당하는 피험자를 치매 환자로 구분하였다.

본 연구의 실험에 참여한 피험자는 뇌질환 경험 없이, 일상생활이 가능한 여성 노인을 대상으로 하였으며, 한국형 노인 우울증 척도(Korean Geriatric Depression Scale : KGDS)를 실시하여 중증의 우울증이 없는 20명을 각각 정상인 그룹 10명 및 치매 환자 그룹 10명의 최종 피험자로 선정하였다.

2.2. 뇌파 측정법

피험자들의 뇌파는 (주)니혼코덴의 바이폴라 방식의 무선 뇌파계로 측정되었으며, 전극은 10-20 국제전극 배치법으로 정해진 위치에 따라 피험자의 두피에 부착하였다. 그림 1은 전극의 위치를 나타낸 것으로 Fp1, Fp2, Fpz, F3, F4, F7, F8, Cz, C3, C4, T3, T4, T5, T6, Pz, P3, P4, O1, O2의 16개소에 전극을 부착하여 뇌파를 측정할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 사용된 뇌파계는 바이폴라 방식이기 때문에 두 전극 간의 전위차를 측정하는 방식으로 뇌파를 측정한다.

다. 따라서 인접하는 두 전극 간의 전위차가 1개 채널의 EEG 신호로 계속되는 방식이다.

뇌파 측정 시에는 기본적으로 정상인과 치매 환자 모두 측정하기 전 5분 동안은 눈을 감은 상태에서 안정을 취하도록 하였고, 다음 5분 동안 뇌파를 측정하는 방법을 사용하였다. 치매 환자의 경우 뇌파 측정이 가능한 만큼의 안정성을 보이는 환자를 피험자로 선정하였다.

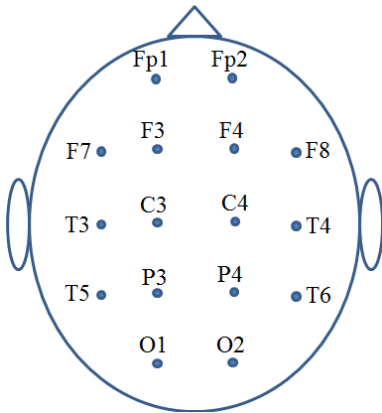


그림 1. 뇌파계측을 위한 전극의 위치
Fig. 1 Electrode location for EEG signal measurement

III. 뇌파 분석

3.1. 뇌파 분석법

본 논문에서는 우선 16개의 채널에서 계측된 뇌파를 주파수대역에 따른 파워 스펙트럼으로 분석하였다. 주파수대역에 따라 분석하는 뇌파는 각각 델타파(2~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~13Hz), 낮은 베타파(13~20Hz), 높은 베타파(20~30Hz) 그리고 SMR파(12~16Hz)로 설정하였다.

피험자로부터 계측한 EEG 신호를 보다 선명한 형태로 처리하기 위해서 본 논문에서는 식 (1)로 표현되는 상호상관함수(Cross Correlation Function)를 도입하여 분석하였다.

$$\gamma_{a-b}[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_a[n] x_b[n+k] \quad (1)$$

여기서 γ 의 아래첨자 a-b는 채널의 번호를 나타내며, x_a 및 x_b 는 채널 a와 b에서 측정된 EEG 신호를 나타낸다. 각 채널별 신호의 형태는 전술한 바와 같이 델타파, 세타파, 알파파, 낮은 베타파, 높은 베타파 및 SMR파 등 5종류로 설정하였으므로, 본 논문에서 $N=5$ 이다. 상호상관함수는 -1에서 1까지의 값을 가지는 데, 일반적으로 그 절대값이 클수록 두 신호의 유사성이 높다고 판단하는 지수로 활용되고 있다.

본 논문에서는 피험자의 두피에 부착한 전극으로 이루어진 16개의 채널로 계측한 뇌파를 비교 관찰한 결과, 채널 3, 4, 7, 8에서 측정된 뇌파가 정상인과 치매환자의 차이를 가장 현격하게 나타내고 있는 것으로 판단하여, 그 4개의 채널을 본 논문의 뇌파분석 대상 채널로 설정하였다. 그림 2는 전극 부착 위치와 뇌파분석 대상 채널과의 관계를 나타낸 것이다.

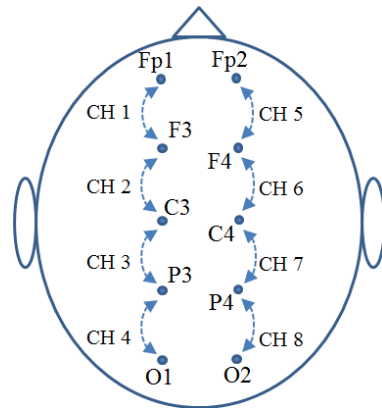


그림 2. 전극과 채널과의 관계
Fig. 2 Relation between electrode and channel

3.2. 뇌파 분석 결과

먼저 정상인과 치매환자인 피험자 그룹으로부터 측정된 EEG 신호를 분석하여 비교한 결과를 그림 3에 제시하였다. 이 때, EEG 신호의 분석 구간은 측정시간 5분 중에서 20초로 설정하였다. 그림 3의 (a)와 (b)는 정상인 및 치매환자 그룹의 EEG 신호를 각각 분석한 결과이다. 여기서 나타낸 데이터들은 각 채널의 상호상관함수를 분석한 결과, 0.95이상의 높은 값이 얻어지는 신호들을 선택하여 나타낸 것으로, 각각 10명으로 구성된 정상인과 치매환자 그룹으로 나누어

각 그룹의 총 피험자 데이터를 겹쳐서 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 아래에 나타난 것처럼 주파수대역으로 구분된 뇌파의 종류를 나타내고 있고, 세로축은 각 주파수대역별 뇌파의 파워 비율을 나타내고 있다. 제일 하단에 나타난 그림 3 (c)는 (a)에 나타난 치매환자의 평균값(실선)과 (b)에 나타난 정상인의 평균값(점선)을 비교한 것이다.

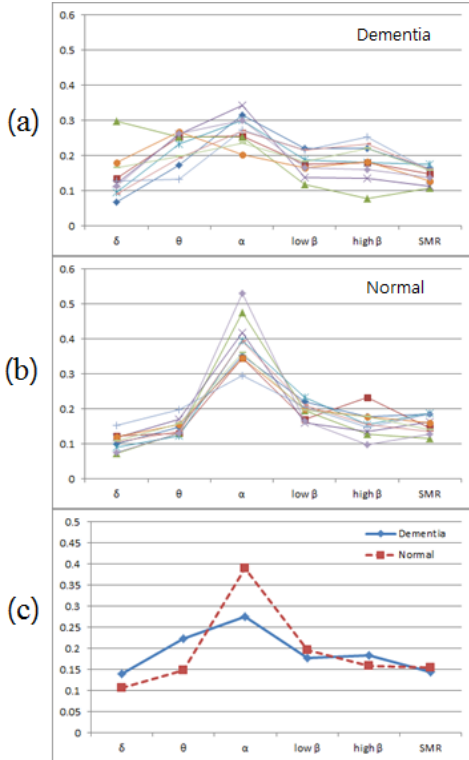


그림 3. 주파수대역에 따른 뇌파비교 (a)치매환자, (b)정상인, (c)(a)와 (b)의 평균치

Fig. 3 Comparison of EEG signals classified by frequency band (a) dementia patients, (b)normal persons, (c) average value of (a) and (b)

그림 3에서 정상인 그룹과 치매환자 그룹의 EEG 신호의 특성이 확연히 다르다는 사실을 확인할 수 있다. 정상인 그룹은 뇌파 중에서도 파워가 가장 높게 나타나는 중간대역 뇌파인 알파파를 중심으로 다른 종류의 뇌파들이 고르게 분포되어 있는 패턴을 보이고 있다. 치매환자 그룹에서는 알파파가 다른 뇌파보다 다소 높긴 하지만 정상인만큼 두드러진 파워를 보

이는 뇌파성분은 검출되지 않았다.

그림 3의 (c)는 각 그룹의 10명의 피험자의 데이터를 평균하여 나타낸 것으로, 그림 3의 (a)와 (b)에서 관찰할 수 있었던 각 그룹의 특성을 보다 분명하게 비교할 수 있도록 제시한 것이다. 그림에서와 같이 치매환자와 정상인 그룹의 뇌파 특성은 알파파에서 뚜렷한 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 세타파의 경우는 치매환자 그룹이 정상인 그룹보다 오히려 조금 높게 나타나는 경향이 있으며, 다른 주파수대역의 뇌파는 거의 차이를 보이지 않는다는 사실도 확인할 수 있었다.

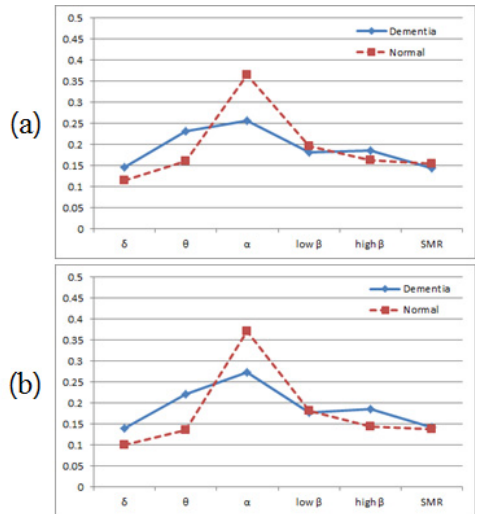


그림 4. 분석시간의 길이에 따른 뇌파 평균치 비교 (a) 1초의 경우, (b) 300초의 경우

Fig. 4 Comparison of EEG signals classified by time length of analysis (a) case of 1 second, (b) case of 300 seconds

다음에는 뇌파 분석시간의 길이를 앞의 경우(20초)와 다르게 설정하여 분석한 결과를 제시한다. 그림 4의 (a)는 뇌파 분석시간의 길이를 1초로 보다 짧게 설정하여 분석한 것이고, (b)는 300초로 보다 길게 설정하여 분석한 것이다. 이것은 분석시간의 길이에 따라 뇌파 특성의 패턴이 상이하게 나타날 수도 있는지를 조사하기 위한 것이다.

그림 4의 (a)와 (b)에서 실선은 정상인 그룹, 점선은 치매환자의 그룹의 평균치를 나타낸 것이다. 그림 4에서는 20초를 분석 구간으로 설정하여 분석한 결과

인 그림 3의 (c)와 주파수대역에 따라 거의 동일한 뇌파성분의 패턴 형상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 다음에는 뇌파 분석시간의 길이가 1초, 20초, 300초로 다른 데이터를 치매환자 그룹과 정상인 그룹으로 나누어서 동일한 좌표축 상에서 비교하였다.

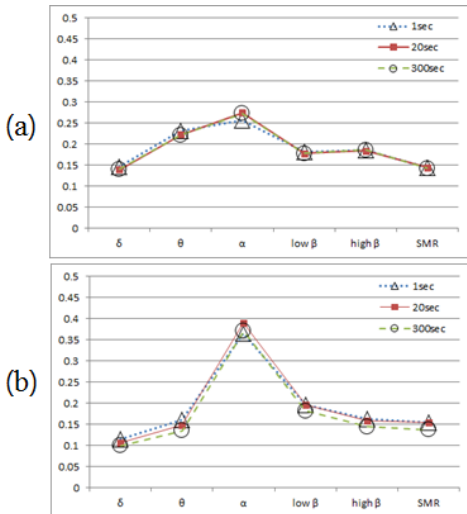


그림 5. 분석시간의 길이에 따른 뇌파 평균치 비교
(a) 치매환자의 경우, (b) 정상인의 경우
Fig. 5 Comparison of EEG signals classified by time length of analysis (a) case of dementia patients, (b) case of normal persons

그림 5에서 원, 세모 및 X형으로 표시한 것은 각각 1초, 20초 및 300초를 분석시간의 길이로 설정하여 분석한 결과이다. 그림 5에 나타난 결과에서, 분석구간의 길이가 상이해도 결과에는 영향을 미치지 않는다는 사실을 알 수 있다. 따라서 뇌파를 측정된 데이터의 길이와는 무관하게 치매환자와 정상인을 구분할 수 있다는 사실이 확인되었다.

III. 결론 및 논의

본 연구는 치매환자와 정상인을 정량적인 뇌파분석 방법으로 구분하는 것을 목적으로 수행하였다. 그것을 위해서 치매환자와 정상인 그룹으로 구성된 피험자 각각 10명으로부터 측정된 EEG 신호를 주파수대역별로 구분하여 파워 스펙트럼으로 분석한 후, 주파수대역별

로 나누어진 EEG 신호의 파워의 비율이 각 피험자 그룹에서 나타나는 특성을 관찰한 결과를 제시하였다.

먼저 20초를 분석 구간으로 설정한 EEG 신호를 분석한 결과, 치매환자와 정상인 그룹 간에 알파파의 파워가 뚜렷한 차이를 나타낸다는 사실을 알 수 있었다. 즉 정상인 그룹의 알파파의 파워가 치매환자 그룹보다 파워 비율 면에서 0.12 즉 12%정도 크게 나타난다는 결과를 확인하였다. 또한 EEG 신호의 분석시간의 길이를 1초 및 300초로 축소 및 확대해서 분석한 결과, 분석시간의 길이는 치매환자와 정상인을 구분하는 특징에는 영향을 미치지 않는다는 사실도 확인하였다.

본 논문에서 얻은 결과인 치매환자에 비해 정상인의 알파파의 활성도가 10% 이상 높다는 사실은 지금까지 치매환자나 정상인 모두에서 알파파의 활성도가 높게 나타난다는 정도로 알려진 것보다 정량적으로 구체적인 결과이다. 이 결과로부터는 보다 피험자의 숫자를 증가시켜 분석을 하여, 치매환자를 정상인과 구별할 수 있는 뇌파성분의 표준지표를 작성하는 것이 필요하다고 생각된다. 아울러 분석시간의 길이가 짧아도 정상인과 치매환자의 구분이 가능하다는 사실을 확인하였으므로, 단시간의 뇌파 측정으로도 치매환자와 정상인을 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 얻어진 결과들을 기초로 보다 가벼운 치매증상을 보이는 경도인지장애를 지닌 사람들도 뇌파를 분석하여 정량적으로 구분하는 방법을 모색할 필요가 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 부경대학교 자율창의학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

[1] Y.-H. Son, J.-O. Park, and H.-S. Hwang, "Research on the effects of the dementia prevention program on the retired seniors in the industrial age," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1601-1608.
[2] Y.-S. Jang, S.-L. Lee, and S.-A. Ryu, "Characteristics of frequency band on EEG signal causing human drowsiness," *J. of the Korea*

Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 8, no. 6, 2013, pp. 949-954.

- [3] J.-M. Jo, "A study on the sensor node based wireless network communication system for efficient EEG transmission," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 5, 2013, pp. 791-796.
- [4] D.-W. Han, B.-D. Seo, and Y.-M. Son, "Usefulness of quantified-EEG in dementia," *J. of the Korean Academy of Physical Therapy Science*, vol. 15, no. 3, 2008, pp. 7-19.
- [5] U. S. Gasser, V. Rousson, F. Hentschel, H. Sattel, and T. Gasser, "Alzheimer disease versus mixed dementias : An EEG perspective," *Clinical Neurophysiology*, vol. 119, pp. 2255-2259, 2008.
- [6] L. Pugnetti, F. Baglio, E. Farina, M. Alberoni, E. Calabrese, A. Gambini, E. D. Bella, M. Garegnani, L. Deleonardis, and R. Nemni, "EEG evidence of posterior cortical disconnection in PD and related dementias," *Int. J. of Neuroscience*, vol. 120, 2010, pp. 88-98.
- [7] R. P. Brenner, C. F. Reynolds, and R. F. Ulrich, "Diagnostic efficacy of computerized spectral versus visual EEG analysis in elderly normal, demented and depressed subjects," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 69, 1988, pp. 110-117.
- [8] H. Soiminen, J. Partanen, V. Laulumaa, E. L. Helkala, M. Laakso, and P. J. Riekinen, "Longitudinal EEG spectral analysis in elderly stage of Alzheimer's disease," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 72, 1989, pp. 290-297.
- [9] B. Szeliess, M. Grond, K. Herholz, J. Kessler, T. Wullen, and W. D. Heiss, "Quantitative EEG mapping and PET in Alzheimer's disease," *J. of the Neurological Sciences*, vol. 110, no. 1-2, 1992, pp. 46-56.
- [10] J. P. H. Wade, T. R. Mirsen, V. E. Hachinski, M. Fisman, C. Lau, and H. Merskey, "The clinical diagnosis of Alzheimer's disease," *Archives of Neurology*, vol. 44, no. 1, 1987, pp. 24-29.
- [11] J.-H. Kim and M.-H. Oh, "IT based EMG biofeedback training on the effects of upper extremity function in chronic stroke patients," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 1, 2013, pp. 41-49.

저자 소개

장윤석(Yun-Seok Jang)



1985년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 부경대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

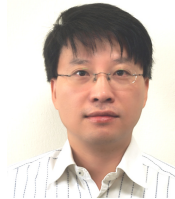
1995년 일본 토후쿠대학교 대학원 전기 및 통신공학전공 졸업(공학박사)

1996년~현재 부경대학교 전기공학과 교수

2008년~2009 미국 Pennsylvania State University 방문교수

※ 관심분야 : EEG Signal Processing, Cognitive Science

박규철(Kyu-Chil Park)



1993년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1995년 부경대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2000년 일본 오카야마대학교 대학원 지능개발과학전공 졸업(공학박사)

2002년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수

2008년~2009년 미국 North Carolina State University 방문교수

※ 관심분야 : 음향정보처리, 수중음향통신, 컴퓨터 수치시뮬레이션

한동욱(Dong-Wook Han)



1996 한국방송통신대학교 보건과학과 졸업(보건학사)

1999년 충남대학교 대학원 보건학과 졸업(보건학석사)

2002년 대구대학교 대학원 재활과학과 졸업(이학박사)

2003년 마산대학 물리치료과 교수

2007년~현재 신라대학교 물리치료학과 교수

※ 관심분야 : Dementia, EEG Mapping, Cognitive Science