

# 노년기 알파 고유리듬 진폭, 비대칭 및 평균 주파수의 뇌건강 지표로써 활용 가능성 연구

심준영

국제뇌교육종합대학원대학교 뇌교육학과

## The Availability of Amplitude, Asymmetry and Mean Frequency of Alpha Intrinsic Rhythm in Old Age as Brain Health Indicators

Jun-Young Shim

Department of Brain Education, University of brain Education

**요약** 본 연구는 노년기 Alpha 리듬의 진폭, 비대칭 및 평균 주파수가 뇌건강 상태를 반영할 수 있는 뇌파 지표로써 임상적 활용 가능성이 있는지 알아보고자 하였다. 이를 위하여 평균 나이 73세 남녀 노인 72명을 대상으로 폐안 시 전전 두엽의 뇌파를 4분간 측정하였다. 집단 구분은 Alpha 진폭, 비대칭 및 평균주파수의 평균값을 각각 기준으로 높은집단과 낮은집단으로 분류하였다. 뇌파 지표들 간 상관관계와 t-검정을 실시한 결과는 다음과 같다. 첫 번째, Alpha 진폭이 높아지면 육체적·정신적 스트레스 저항도와 좌우뇌 소통수준도 높아졌으며, Alpha 평균주파수 위치는 낮아졌다. 또한 Alpha 비대칭이 높아지면 좌우뇌의 소통수준은 낮아지는 상관관계를 보였다. 두 번째, 좌뇌에 비해 우뇌의 Alpha 파워가 높아지면 Alpha 진폭과 정신적 스트레스 저항도, 좌우뇌 소통수준도 높아졌다. 세 번째, Alpha 평균주파수 위치가 높아지면 Alpha 진폭과 정신적 항스트레스 지표는 낮아지고 각성 수준은 높아졌다. 이상과 같이 정량화 뇌파 지표들은 서로 간 관련성이 높고, 보완적 의미가 있어 노년기 뇌건강 상태를 반영하는 생체 표지자로써의 가능성을 보여주었다.

**Abstract** This study examines the clinical availability of alpha amplitude, asymmetry and mean frequency in old age as EEG indexes reflecting brain health condition. The EEGs of prefrontal lobes in eye closure state were measured for 4 minutes with 72 male and female elderly people aged 73. Subjects were divided into higher and lower groups based on average values of alpha amplitude, asymmetry and mean frequency. The results of correlations and t-test among EEG indexes were as follows. First, the higher Alpha altitude was, the higher physical and mental stress resistance and left-to-right brain communication were, and the lower mean Alpha mean frequency location was. The higher Alpha asymmetry was, the lower left-to-right communication level was. Second, as Alpha power of right brain was higher than that of left brain, Alpha amplitude and mental stress resistance and left-to-right brain communication level were higher. Third, as Alpha mean frequency location was higher, Alpha amplitude and mental anti-stress level were lowered and arousal level was enhanced. These high correlations and complementary meaning among quantitative EEG indicators demonstrated the possibility of biomarkers reflecting brain health state in old age.

**Keywords** : Elderly, Brain health, Alpha rhythm, Amplitude, Asymmetry, Mean frequency, EEG index

이 논문은 2017년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01027733).

\*Corresponding Author : Jun-Young Shim(Univ. Brain Education)

email: simjy@naver.com

Received December 20, 2019

Revised January 20, 2020

Accepted February 7, 2020

Published February 29, 2020

## 1. 서론

나이가 들어 노년기에 접어들면 대뇌 신경세포 수의 감소, 신경전달물질과 세포 내 환경의 변화, 세포 내 시냅스 전달의 변화, 산화 작용 및 염증반응과 같은 생화학적 변화 및 아밀로이드의 침착과 같은 병리학적 변화가 동반되어 뇌기능의 감퇴가 발생한다[1]. 또한 노인은 신경생리학적 특성상 대뇌의 전전두엽(prefrontal lobe) 영역의 퇴조가 크게 진행됨으로써 전전두엽에 의존하는 인지기능들이 다른 영역 기능들보다 조기에 저하될 수 있다[2]. 특히, 우리나라 노인 인구는 2018년 기준으로 전체 인구의 14.3%를 차지하며[3] 고령사회에 들어서 있어 노년기 뇌건강 관리를 위한 중요성은 날이 증가하고 있다.

뇌기능의 평가는 자기보고식 주관적 평가도구를 주로 사용하고 있는 것이 현실이며, 이는 척도의 타당성과 신뢰성 저하를 가져올 수가 있다. 정신과적으로 광범위하게 시행되고 있는 심리검사의 경우, 연령과 문화, 언어, 교육 정도, 검사에 대한 동기 및 기분상태 등 많은 인자에 따라 결과의 차이를 보인다[4]. 이에 비하여 정량화 뇌파(quantitative electroencephalogram) 검사는 MRI, SPECT, PET과 같은 뇌영상 기법에 비해 비교적 안전하고 비침습적이며, 1/1,000초 단위의 짧은 시간에 따르는 뇌활동 변화를 볼 수 있다는 장점이 있다. 또한 통계적으로 비교분석이 가능한 정량화 자료를 제공하기 때문에 정신생리학적 뇌기능 연구방법으로 선호되고 있다[5].

이러한 측면에서 뇌파(electroencephalogram: EEG) 검사는 노인의 인지기능을 과학적으로 평가하고 관리할 수 있는 장점이 있으며, 정상적인 노화와 다양한 신경퇴행성 질환을 구별해 주는 좋은 도구가 될 것으로 기대되고 있다[6]. 최근에는 전전두엽 이마 부위에 눈을 감은 상태의 5분간 뇌파 측정만으로도 인지 저하의 선별 및 추적에 유용할 수 있으며, 간이정신상태검사(MMSE: Mini-Mental State Score)를 대체할 수 있는 유용한 선별도구로서 가능성이 있다[7].

뇌파의 고유리듬은 눈을 감은 안정상태에서 누구나에게 나타나는 자발뇌파리듬 또는 배경뇌파로 뇌의 시상(thalamus)이 주요 발생원이며, 뇌파리듬의 페이스메이커(pace maker) 역할을 한다. 이러한 고유리듬은 정상인에 있어서 Alpha파 영역에서 주로 나타나므로 Alpha 고유리듬이라 한다[8]. 이러한 Alpha 고유리듬은 안정되고 이완된 상태일 때 높은 비중으로 출현되며, 파워스펙트럼 상의 Alpha 고유리듬 피크(peak)와 진폭(amplitude)

도 높게 나타나게 된다. 고유리듬과 관련된 선행 연구에서 스펙트럼에 의한 고유리듬피크 주파수 위치와 설문지 방식의 신경심리검사(neuropsychological test)에 의한 인지기능 수준과의 상관관계에서 인지기능 수준이 100에서 0으로 낮아질수록 고유리듬피크 주파수 위치도 10Hz에서 6Hz 정도까지 낮아졌다[9].

Alpha 리듬 관련 지표들 중, Alpha/Delta 및 Alpha/High-Beta 비율은 내·외적 환경요인으로 인한 육체적, 정신적 스트레스에 대한 저항도를 반영하는 지표로 사용되고 있다[10]. 또한 Alpha 비대칭은 우울장애 연구들에서 비교적 일관된 결과들이 보고되었다[11]. 특히 노인의 경우, 인지기능이 높을수록 우울정도가 낮고[12], 우울수준이 높아지면 인지기능 저하로 이어진다.

이상과 같이 뇌기능의 생체표지자(biomarker)로서 뇌파 연구들이 보고되고 있지만 예방적 측면에서 노년기의 뇌건강 상태를 평가하기 위한 뇌파 연구는 부족한 실정으므로 정량화 뇌파 지표의 발굴과 활용성을 위해 이에 대한 다각적인 연구의 필요성이 있다. 노인복지의 예방적 측면에서 뇌건강 상태를 간편한 뇌파 검사를 통해 조기평가를 수행하는 것은 노인들의 건강상태가 위험수준으로 진입하는 속도를 늦출 수 있고 자기보고식 평가 척도를 상호 보완할 수 있을 것이다.

뇌파를 연구하는 다양한 기법들 가운데 현재까지 가장 주된 방법은 스펙트럼 분석이라고 할 수 있다. 이러한 스펙트럼 분석방법을 이용하여 Alpha리듬과 관련된 뇌파 지표의 관련성을 비교해보면, 노년기 뇌건강 진행 상태에 대한 신경생리학적 단서를 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 노년기 뇌건강 상태를 반영할 수 있는 뇌파 지표로서 Alpha 리듬의 진폭, 비대칭 및 평균 주파수를 기준으로 분류한 각 집단의 특성과 관련성을 파악해보고, 임상적 활용성을 모색해보는데 연구의 목적이 있다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 연구문제는 다음과 같다.

첫 번째, Alpha 고유리듬 진폭, 비대칭, 평균주파수를 중심으로 한 뇌파 지표 간에는 어떠한 상관관계가 있는가? 두 번째, Alpha 진폭, 비대칭, 평균주파수를 기준으로 분류한 집단의 뇌파 지표 간에는 어떠한 집단 간 차이가 있는가?

## 2. 연구 방법

## 2.1 연구 대상

본 연구의 대상자는 G광역시 종합사회복지관을 이용하는 65~83세 사이의 남녀 노인을 대상으로 건강 양호 집단과 위험집단을 고려한 간략한 선별검사를 거쳐 뇌파 측정에 적합한 대상자 80명을 모집하였다. 선별검사 내용은 현재 건강상태, 약물복용 및 질병, 좌우 청각상태, 우울 등이 포함되었다. 선정된 대상자들에게는 연구의 배경과 목적, 내용, 주의사항, 사생활 보호, 위험요소 등에 대해 충분한 설명을 제공한 후 자율적 의지에 의한 연구 참여 동의서를 받았으며, 실험시작 전에 IRB(institutional review board) 심의를 승인 받았다. 선정된 대상자는 공통적으로 언어적 의사소통이 가능하고 신체적으로 활동하는데 지장이 없는 노인들로 4분 정도를 눈을 감은 상태에서 편안하게 뇌파 측정이 가능한 남녀 노인들이었다.

최종 분석대상자는 안구나 안면 근육의 움직임으로 인한 인공물(artifacts)이 많이 포함된 자료나 뇌파 2채널 측정기록 중 전전두엽 좌우 측정신호의 파형 및 진폭의 차이가 크게 나타나거나 심한 비대칭인 경우를 제외한 72명을 최종 분석대상자로 하였다. 72명에 대한 나이의 평균과 표준편차는  $73.1 \pm 4.9$ 세였다.

집단의 구분은 Alpha 고유리듬의 진폭, 비대칭 및 평균주파수에 대한 각각의 산출 값을 기준으로 세 집단으로 분류하여 비교, 분석하였다. 분류 방법은 각 지표의 산출 값을 높은 값에서 낮은 값 순서로 정렬한 다음, 1~36번까지 36명을 높은 집단, 37~72번까지 36명을 낮은 집단으로 구분하였다.

집단의 특성을 알아보기 위해 Alpha 진폭을 기준으로 분류한 집단에 대해 빈도분석에 의한 카이제곱 검정 결과, Table 1과 같이 성별, 학력, 평소 건강상태, 현재 심신상태 및 일주간 평균 수면시간 등 모든 요인에서  $p$ 값이 .05보다 크게 나타났다. 이는 두 집단의 집단 간 차이가 없음을 의미하므로 제시된 특성 요인으로는 동일한 집단으로 간주할 수 있다. 또한 Alpha 비대칭과 Alpha 평균주파수 기준으로 분류한 집단별 특성에서도 진폭을 기준으로 분류한 집단의 특성과 유사하게 나타났다.

## 2.2 측정 도구 및 분석 방법

뇌파 측정 장치는 고정밀 생체전기신호 측정시스템인 QEEG-64FX(Laxtha Inc., Korea)를 사용하였다. 뇌파 측정은 1회용 Ag/AgCl 전극(2237/3M)을 연결하여 사용할 수 있는 스냅전극 케이블을 이용하여 좌우 전전두부(Fp1, Fp2) 2채널과 우측 유양돌기(mastoid)에 참조

Table 1. Group characteristics classified by Alpha amplitude

Variables		High group	Low group	Pearson	
		Frequency (%)	Frequency (%)	$\chi^2$	$P$
Gender	Male	8(22.2)	6(27.3)	0.355	.551
	Female	28(77.8)	30(83.3)		
	Ignorance	12(33.3)	9(25)		
Level of education	Elementary school	5(13.9)	6(16.7)	8.623	.196
	Middle school	11(30.5)	10(27.8)		
	High school	4(11.1)	4(11.1)		
	More than junior college	4(11.1)	7(19.4)		
Normal health condition	Very bad	1(2.8)	1(2.8)	4.411	.492
	Bad side	5(13.9)	7(19.4)		
	Normal	19(52.7)	17(47.2)		
	Good side	11(30.6)	10(27.8)		
	Very good	—	1(2.8)		
Current mind and body condition	Very bad	2(5.6)	—	8.629	.125
	Bad side	1(2.8)	4(11.1)		
	Normal	21(58.3)	22(61.1)		
	Good side	12(33.3)	9(25.0)		
Average sleep for a week	Very good	—	1(2.8)	1.564	.668
	3~6 hours	10(27.8)	14(38.9)		
	6~9 hours	24(66.6)	21(58.3)		
	9~12 hours	2(5.6)	1(2.8)		

전극(reference electrode), 목 뒷부분에 접지전극(ground electrode)을 부착하여 단극유도(monopolar derivation) 방식으로 폐안 시 뇌파를 4분간 측정하였다.

피험자의 뇌파신호는 250Hz 고속샘플링 주파수, 0.5~50Hz의 통과대역 주파수, 24bits 해상도에서 데이터를 디지털화 하였다. 기록된 뇌파 원시 자료(raw data)는 실시간 데이터 수집 및 시계열 분석(time series analysis) 프로그램인 락싸(Laxtha)사의 TeleScan(Ver. 3.28)을 이용하여 분석하였다.

뇌파 분석 구간은 눈을 감은 4분 측정 자료 중, 138~348초 구간인 210초를 공통적으로 선정하였다. 전두엽의 4분 측정의 근거는 전두엽 2채널 헤드밴드형 뇌파측정 장치로 폐안 상태의 5분간 측정이 인지 저하의 선별 및 추적에 유용할 수 있다[7]. 또한 우울증 집단의 뇌파측정에 폐안 상태의 전두엽 부위의 4분 측정 조건이 좋은 변별력을 보였다는[13] 선행연구를 바탕으로 하였다.

뇌파 분석은 움직임에 의한 잡파(artifacts)의 영향을 최소화하고 순수한 폐안 시 뇌파를 확보하기 위하여 2.5~40Hz의 Band pass FFT filtering을 실시하였다. 분석 주파수 대역은 2.5~4Hz의 Delta파, 4~8Hz의 Theta파, 8~13Hz의 Alpha파, 13~20Hz의 Low-Beta파, 20~30Hz의 High-Beta파, 30~40Hz의 Gamma파로 설정하였다.

측정된 뇌파에는 서로 다른 진동성분이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지 정량적으로 파악할 필요가 있다. 이때 주로 사용하는 분석방법이 파워스펙트럼(power spectrum)이다. Fig. 1은 파워스펙트럼 분석 결과로 여러 가지 뇌파 리듬이 혼합된 신호에서 각 세부 리듬별 진동성분이 얼마만큼의 비중으로 출현하였는지를 막대그래프 형식으로 표현해 주고 있다.

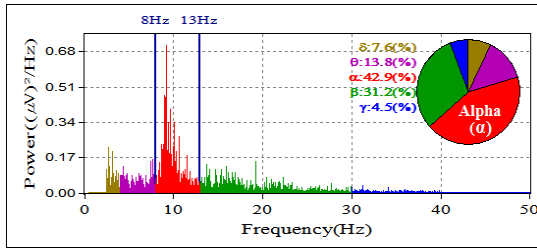


Fig. 1. Power spectrum analysis graph

Alpha 진폭은 파워스펙트럼 분석 그래프의 8~13Hz 주파수 범위 내에서 수직방향(Y축) 막대그래프의 최대 높이를 정량화하여 구하였다. Alpha 평균주파수(mean frequency)는 파워스펙트럼 그래프의 8~13Hz 주파수 범위 내에서 저주파(8Hz) 부터 누적한 진동성분의 면적이 전체 면적의 50%를 차지하는 시점에 해당하는 주파수 값을 정량화하여 구하였다. Alpha 비대칭(asymmetry)은  $\log R - \log L$  비대칭 지표를 사용하였다[14].  $\log R - \log L$  에서 R은 우측 반구이며, L은 좌측 반구를 의미한다. 좌우뇌 비대칭 분석을 위해 먼저, 파워스펙트럼에 의한 절대파워(absolute power/ $\mu V^2$ ) 값에 자연로그(natural logarithm)를 적용한 값을 산출한 다음, 우측 전전두엽(Fp2) 값에서 좌측 전전두엽(Fp1) 값을 뺀 차이 값을 산출한 후 통계 분석하였다.

Alpha/Delta 비율은 육체적 스트레스 저항도, Alpha/High-Beta 비율은 정신적 스트레스 저항도를 반영한다[12]. 코히어런스(coherence)는 Alpha 리듬 성분의 상관관계를 정량화하여 두 채널 사이의 소통 수준을 확인할 수 있는 분석방법으로[15] Pearson 방법에 의한 상호상관분석을 실시하였다. SEF 90%(spectral edge frequency 90%)는 뇌파의 각성 수준을 반영하며, 파워스펙트럼 분포의 저주파수 대역부터 누적한 면적이 전체 영역에 대한 면적의 90%에 해당되는 시점에 해당하는 주파수(Hz)를 의미한다[16]. SEF 90% 산출 값이 높을수록 각성수준이 높아졌음을 의미한다.

### 2.3 측정 절차

대상자의 모집과 측정은 해당 복지관에 모집 공고와 선별, 뇌파 측정을 포함하여 총 80명을 10주간에 걸쳐 진행하였다. 뇌파 측정 장소는 해당 복지관에 외부의 빛과 소음을 차단할 수 있고, 온도( $23 \pm 1^\circ C$ )와 습도( $50 \pm 1\%$ )를 조절할 수 있으며, 목 받침과 팔걸이가 있는 편안한 의자에서 측정 준비를 하였다. 그런 다음 뇌파 측정 경험이 많은 전문가에 1명과 보조연구원 1명에 의해 측정전극을 부착하고 양질의 뇌파 신호가 나오는지 확인하였다.

모든 대상자들의 동일하고 일관성 있는 측정환경을 위하여 측정 멘트 및 시간을 뇌파 측정시스템과 연동하여 사전 설정하였고, 모든 피험자가 사전 설정한 측정환경에 따라 동일한 환경과 조건에서 측정을 실시하였다. 측정은 사전 설정한 측정 멘트에 따라서 스피커를 통해 측정 순서를 안내하고 편안한 안정상태를 유도한 후, 눈을 뜬 상태 1분, 눈을 감은 상태 4분, 측정 자료의 기록 및 전극 제거 등의 절차로 진행하였다.

### 2.4 자료 분석 방법

본 연구에서 얻어진 자료들은 먼저 파워스펙트럼 분석에 의한 각 지표 값을 산출한 후, 통계프로그램 SPSS 23.0을 이용하여 통계 처리하였다. 정량화 뇌파 지표들 간의 관련성을 알아보기 위하여 Pearson의 상관 분석을 실시하였으며, 뇌파 지표들의 집단 간 차이를 알아보기 위하여 독립 t-검정(independent samples t-test)을 실시하였다.

## 3. 결과

### 3.1 뇌파 지표 간의 상관관계

전체 대상자 72명에 대한 뇌파 지표 간 상관관계는 Table 2와 같다. Alpha 진폭은 Alpha 평균주파수( $r = -0.472, p < .001$ ), SEF 90%( $r = -0.315, p < .01$ )와 부적 상관이 있는 것으로 나타났다. 반면에 Alpha 진폭은 Alpha/Delta( $r = 0.711, p < .001$ ), Alpha/H-Beta( $r = 0.708, p < .001$ ) 비율과 강한 정적 상관이 있는 것으로 나타났다.

Alpha 평균주파수는 Alpha/Delta( $r = -0.337, p < .01$ ), Alpha/H-Beta( $r = -0.519, p < .001$ )와 부적 상관이 있는 것으로 나타났다. 반면에 Alpha 평균주파수는 SEF 90%( $r = 0.358, p < .01$ )와 정적 상관이 있는 것으로 나타

Table 2. Correlation for Alpha intrinsic rhythm quantification indicators

(n=72)

Variables		Alpha Amplitude	Alpha mean frequency	Alpha asymmetry	Alpha/Delta ratio	Alpha/H-Beta ratio	Alpha Coherence	SEF 90%
Alpha Amplitude	<i>r</i> <i>p</i>	1						
Alpha mean frequency	<i>r</i> <i>p</i>	-.472** .000	1					
Alpha asymmetry	<i>r</i> <i>p</i>	.114 .340	-.120 .315	1				
Alpha/Delta ratio	<i>r</i> <i>p</i>	.711** .000	-.337** .004	.105 .378	1			
Alpha/H-Beta ratio	<i>r</i> <i>p</i>	.708** .000	-.519** .000	.158 .184	.566** .000	1		
Alpha Coherence	<i>r</i> <i>p</i>	.455** .000	-.218 .066	-.233* .049	.325** .005	.372** .001	1	
SEF 90%	<i>r</i> <i>p</i>	-.315** .007	.358** .002	-.072 .549	-.258* .028	-.720** .000	-.264* .037	1

Note) *r*= Correlation coefficient, *p*= *p*-value

났다. Alpha Coherence는 Alpha 진폭( $r=0.455, p<.001$ ), Alpha/Delta( $r=0.325, p<.01$ ), Alpha/H-Beta( $r=0.372, p<.001$ )와 정적 상관관이 있는 것으로 나타났다. 반면에 Alpha Coherence는 Alpha 비대칭( $r=-0.233, p<.05$ )과는 약한 부적 상관관이 있는 것으로 나타났다.

각성수준을 반영하는 SEF 90%는 Alpha/Delta( $r=-0.258, p<.05$ ), Alpha/H-Beta( $r=-0.720, p<.001$ ), Alpha Coherence( $r=-0.264, p<.05$ )와 부적 상관관이 있는 것으로 나타났다. 특히, 각성 수준을 반영하는 SEF 90%는 Alpha/H-Beta와 강한 부적 상관( $r=-0.720, p<.001$ )이 있는 것으로 나타났다.

### 3.2 진폭 기준으로 분류한 집단 간 차이

Table 3은 Alpha 진폭의 평균값을 기준으로 진폭이 높은 집단과 낮은 집단으로 구분한 각 지표들의 평균 비교로 Alpha 진폭은 높은 집단(2.862)이 낮은 집단(0.354)에 비해 유의한 차이로 높게 나타남을 보여주고 있다.

Alpha 평균주파수에서는 Alpha 진폭이 높은 집단(9.117)이 낮은 집단(9.741)에 비해 평균값이 유의하게( $t=-4.698, p<.001$ ) 낮게 나타났다.

육체적 항스트레스를 반영하는 Alpha/Delta 비율에서는 Alpha 진폭이 높은 집단(7.461)이 낮은 집단(2.374)에 비해 평균값이 유의하게( $t=4.711, p<.001$ ) 높게 나타났다. 또한 정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서도 Alpha 진폭이 높은 집단(7.461)이 낮은 집단(3.266)에 비해 평균값이 유의하게( $t=4.427, p<.001$ ) 높게 나타났다.

Table 3. Difference between groups classified by alpha amplitude

Variables	High group (n=36)	Low group (n=36)	<i>t</i> -test	
	Mean(SD)	Mean(SD)	<i>t</i>	<i>p</i>
Alpha Amplitude	2.862(1.87)	0.354(0.22)	8.000	.000
Alpha mean frequency	9.177(0.47)	9.741(0.54)	-4.698	.000
Alpha asymmetry	-0.015(0.07)	0.016(0.9)	0.026	.980
Alpha/Delta ratio	7.461(6.30)	2.374(1.52)	4.711	.000
Alpha/H-Beta ratio	8.551(6.85)	3.266(2.09)	4.427	.000
Alpha Coherence	0.969(0.02)	0.917(0.06)	4.810	.000
SEF 90%	21.491(5.04)	24.811(4.97)	-2.816	.006

Alpha Coherence에서는 Alpha 진폭이 높은 집단(0.969)이 낮은 집단(0.917)에 비해 평균값이 유의하게( $t=4.810, p<.001$ ) 높게 나타났다. 또한 뇌파의 각성수준을 반영하는 SEF 90%에서는 Alpha 진폭이 높은 집단(21.491)이 낮은 집단(24.811)에 비해 평균값이 유의하게( $t=2.816, p<.01$ ) 낮게 나타났다.

### 3.3 비대칭 기준으로 분류한 집단 간 차이

Table 4는 Alpha 비대칭 평균값을 기준으로 비대칭이 높은 집단과 낮은 집단으로 구분한 각 지표들의 평균 비교로 Alpha 비대칭은 높은 집단(0.031)이 낮은 집단(-0.062)에 비해 유의한( $t=7.789, p<.001$ ) 차이로 높게 나타남을 보여주고 있다.

Alpha 진폭에서는 Alpha 비대칭이 높은 집단(2.343)이 낮은 집단(1.049)에 비해 평균값이 유의하게( $t=2.683,$

$p < .01$ ) 높게 나타났다. 정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서는 Alpha 비대칭이 높은 집단(7.335)이 낮은 집단(4.482)에 비해 평균값이 유의하게( $t = 2.183, p < .05$ ) 높게 나타났다. 그리고 Alpha Coherence에서도 Alpha 비대칭이 높은 집단(0.956)이 낮은 집단(0.931)에 비해 평균값이 유의하게( $t = 2.045, p < .05$ ) 높게 나타났다.

레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서도 Alpha 평균주파수가 높은 집단(3.655)이 낮은 집단(8.162)에 비해 평균값이 유의하게( $t = -3.640, p < .001$ ) 낮게 나타났다. 반면에 SEF 90%에서는 Alpha 평균주파수가 높은 집단(24.804)이 낮은 집단(21.498)에 비해 평균값이 유의하게( $t = 2.802, p < .01$ ) 높게 나타났다.

Table 4. Difference between groups classified by alpha asymmetry

Variables	High group (n=36)	Low group (n=36)	t-test	
	Mean(SD)	Mean(SD)	t	p
Alpha asymmetry	0.031(0.04)	-0.062(0.08)	7.789	.000
Alpha Amplitude	2.343(2.64)	1.049(1.18)	2.683	.009
Alpha mean frequency	9.458(0.62)	9.460(0.54)	-0.015	.988
Alpha/Delta ratio	5.696(5.03)	4.140(5.36)	1.270	.208
Alpha/H-Beta ratio	7.335(7.37)	4.482(2.68)	2.183	.032
Alpha Coherence	0.956(0.04)	0.931(0.06)	2.045	.045
SEF 90%	22.563(6.13)	23.738(4.18)	-0.950	.345

### 3.4 평균주파수 기준으로 분류한 집단 차이

Table 5는 Alpha 평균주파수 평균값을 기준으로 평균주파수가 높은 집단과 낮은 집단으로 구분한 각 지표들의 평균 비교로 Alpha 평균주파수가 높은 집단(9.899)이 낮은 집단(9.018)에 비해 유의하게( $t = 9.965, p < .001$ ) 높게 나타남을 보여주고 있다.

Table 5. Difference between groups classified by alpha mean frequency

Variables	High group (n=36)	Low group (n=36)	t-test	
	Mean(SD)	Mean(SD)	t	p
Alpha mean frequency	9.899(0.44)	9.018(0.29)	9.965	.000
Alpha Amplitude	0.931(1.21)	2.285(2.09)	-3.363	.001
Alpha asymmetry	-0.019(0.08)	0.012(0.08)	-0.368	.714
Alpha/Delta ratio	4.167(5.60)	5.669(4.77)	-1.225	.225
Alpha/H-Beta ratio	3.655(2.81)	8.162(6.88)	-3.640	.001
Alpha Coherence	0.932(0.05)	0.954(0.05)	-1.813	.074
SEF 90%	24.804(4.68)	21.498(5.31)	2.802	.007

Alpha 진폭에서는 Alpha 평균주파수가 높은 집단(0.931)이 낮은 집단(2.285)에 비해 평균값이 유의하게( $t = -3.363, p < .001$ ) 낮게 나타났다. 또한 정신적 항스트

## 4. 논의

전체 대상자에 대한 뇌파 지표 간 상관관계를 먼저 살펴보면, Alpha 진폭이 증가하면 Alpha 평균주파수와 SEF 90%는 감소하는 부적 상관을 보였다. Alpha 고유리듬은 10Hz를 중심으로 각성의 방향으로 이동하는 낮은 진폭 및 빠른 주파수 활동과 휴식 및 수면의 방향으로 이동하는 높은 진폭, 느린 주파수 활동 간에 균형을 유지한다. 이 중심은 강력해서 Alpha 고유리듬의 평균인 10Hz에서 평균 0.5Hz 이상을 벗어나지 않는다[17]. 주파수(frequency)는 수 많은 뉴런(neuron)이 함께 활동하는 속도가 빠를수록 헤르츠(Hz)로 표시되는 초당 진동수가 높아진다. 반면에 진폭(amplitude)은 동시에 활동하는 뉴런의 수가 많을수록 마이크로볼트( $\mu$ )로 표시되는 전기진동의 폭(진폭)이 증가한다.

이러한 주파수와 진폭의 특성으로 볼 때, 안정된 폐안시 Alpha 진폭이 증가할수록 Alpha 평균주파수가 낮아진다는 것은 주파수의 평균 위치가 느린 리듬 쪽으로 변화함을 의미한다. 또한 각성 수준을 반영하는 SEF 90%의 감소와 더불어 Alpha 평균주파수는 Alpha 진폭과는 서로 상반된 특성이 있음을 알 수 있다.

반면에 Alpha 진폭이 높아지면 Alpha/Delta, Alpha/H-Beta 비율도 높아지는 정적 상관을 보였다. 선행연구에서 Alpha/Delta와 Alpha/H-Beta 비율은 내·외적 환경요인으로 인한 육체적·정신적 스트레스에 대한 저항도를 반영[10] 한다는 측면에서 Alpha 진폭이 높을수록 피로나 질병 및 스트레스에 대한 저항력도 높아질 수 있음을 의미한다.

그리고 Alpha 평균주파수가 높아지면, Alpha/Delta와 Alpha/H-Beta 비율은 낮아지는 부적 상관을 보였고, SEF 90%와는 정적 상관을 보였다. 이는 Alpha 평균주파수 위치가 빠른 리듬 쪽으로 높아지면 육체적·정신적 스트레스 저항도는 낮아지며, 각성 수준은 높아짐을 의미한다.

Alpha Coherence 수준이 증가하면 Alpha 진폭과

Alpha/Delta, Alpha/H-Beta 비율도 증가하는 정적 상관관을 보였다. Coherence는 뇌 기능의 활동과정을 확인하기 위해 두 지점 간 주파수 성분의 상관관계를 정량화하여 두 채널 사이의 소통 수준을 확인할 수 있는 분석방법이다[15]. 그러므로 Alpha 진폭이 높게 나타나고, 육체적-정신적 스트레스 저항도가 높을수록 좌우뇌 신경회로의 소통수준도 높을 수 있음을 의미한다. 반면에 Alpha Coherence 수준이 증가하면, Alpha 비대칭 수준은 감소하는 부적 상관관을 보였다. 이는 좌우뇌 소통수준이 증가하면, 좌우뇌 비대칭 수준도 감소함을 의미한다.

SEF 90% 수준이 증가하면 Alpha/Delta 및 Alpha/H-Beta, Alpha Coherence 수준은 낮아지는 부적 상관관을 보였다. 이는 각성 수준이 높아질수록 육체적-정신적 스트레스 저항도는 낮아지고, 좌우뇌의 소통수준도 낮아짐을 의미한다. 특히, SEF 90% 지표는 Alpha/H-Beta 비율과 강한 부적 상관관을 보여 각성 지표는 정신적 항스트레스 지표와 깊은 관련이 있음을 암시하고 있다.

두 번째, Alpha 진폭을 기준으로 분류한 집단 간 차이를 살펴보면, Alpha 평균주파수에서는 Alpha 진폭이 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 낮게 나타났다. 전기 진동의 폭인 진폭은 동시에 활동하는 뉴런의 수가 많을수록 파형의 산과 골의 높이가 증가하며, 느린 주파수일수록 동기화 현상에 의해 진폭이 증가하는 특성을 갖는다. 이러한 진폭의 특성으로 볼 때, Alpha 진폭이 높을수록 Alpha 평균주파수 위치가 느린 리듬 쪽으로 이동함을 의미한다.

육체적 항스트레스를 반영하는 Alpha/Delta 비율과 정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율은 두 지표 모두 Alpha 진폭이 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다. Alpha/Delta 비율에서 Delta파는 수면상태가 아니기 때문에 눈의 움직임이나 신경의 흔들림 등 인공물의 영향력을 반영하므로 측정 당시의 심신상태가 좋을수록 Delta파는 억제되고 Alpha파는 증가되어 Alpha/Delta 비율은 높아지게 된다.

또한 Alpha/H-Beta 비율에서 20~30Hz의 High-Beta파는 긴장, 흥분, 스트레스 및 높은 집중상태 등의 정신적 스트레스를 반영하는 주파수이다. 그러므로 측정 당시의 정신적 스트레스가 낮을수록 High-Beta파는 억제되고 Alpha파는 증가되어 Alpha/H-Beta 비율은 높아지게 된다. 그러므로 Alpha 진폭이 높게 나타날수록 Alpha/Delta 비율과 Alpha/H-Beta 비율도 높아져 육체적-정신적 스트레스 저항도가 높게 나타날 수 있다.

Alpha Coherence에서는 Alpha 진폭이 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다. Alpha Coherence는 뇌파 신호를 측정하는 두 지점 간의 정보 전달 또는 기능적 상호협력(functional cooperation) 정도를 해석할 수 있는 효율적인 뇌파분석 척도가 될 수 있다[18]. 즉, 두 부위의 뇌파 신호 사이의 상관관계가 증가하였다면 두 부위의 뇌파는 서로 관련성 및 소통수준이 높아진 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 Alpha 고유리듬 진폭이 높을수록 전전두엽 측정 부위인 두 지점 간 신경회로의 소통수준이 높게 나타나고, 진폭이 낮을수록 소통수준은 감소할 수 있음을 의미한다.

각성 수준을 반영하는 SEF 90%에서는 Alpha 진폭이 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 낮게 나타났다. 이는 Alpha 고유리듬 진폭이 높을수록 각성 및 스트레스 수준은 감소함을 의미한다. 이상과 같이 Alpha 진폭이 높아지면 육체적-정신적 항스트레스 수준과 좌우뇌의 소통 수준은 높아지고, Alpha 평균주파수 위치와 각성 수준은 낮아지는 관련성이 있음을 알 수 있었다.

세 번째, Alpha 비대칭 기준으로 분류한 집단 간 차이를 살펴보면, Alpha 진폭에서는 Alpha 비대칭 점수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다. 우뇌의 Alpha 파워 값에서 좌뇌의 Alpha파 파워 값을 뺀 점수인 Alpha 비대칭 값은 점수가 높을수록 스트레스에 저항하여 정서적으로 균형 잡힌 상태를 의미한다[19]. 즉 Alpha 진폭의 출현이 높게 나타날수록 우뇌의 Alpha 파워 값도 높게 나타남을 의미한다. 뇌파의 Alpha파는 전형적으로 좌측보다 우측 반구에서 강도가 높은 경향을 보이며, 우반구에서 Alpha파가 낮으면 사회적 위축 패턴에 따른 부정적 행동과 관련된다[20].

정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서는 Alpha 비대칭 점수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다. 이는 우뇌의 Alpha 파워 값이 높을수록 정신적 스트레스 저항도도 높아질 수 있음을 의미한다. 그러나 육체적 항스트레스를 반영하는 Alpha/Delta 비율에서는 의미있는 차이가 나타나지 않아 좌우뇌 비대칭의 증감은 육체적 스트레스 저항도보다는 정신적 항스트레스와 관련이 있음을 암시하고 있다. Alpha Coherence에서도 Alpha 비대칭 점수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다. 이는 두 측정 지점 간 소통수준이 높을수록 우뇌의 Alpha 파워 값도 높게 나타남을 의미한다.

이상과 같이 좌뇌에 비해 우뇌의 Alpha 파워가 높아지면 Alpha 고유리듬의 진폭과 정신적 항스트레스, 좌

우뇌 소통 수준도 높게 나타나고 각성 수준은 낮아지는 관련성이 있음을 알 수 있었다. 우울증의 경우, 전두엽 Alpha파는 우반구보다 좌반구에서 더 우세하게 출현하며, 8Hz 범위의 높은 진폭의 Alpha파 비대칭 패턴이 나타난다[17]. Alpha 비대칭을 기준으로 분류한 이 결과에서는 두 집단 모두 Alpha 평균주파수가 9.5Hz 범위에서 나타나고 있어 우울증의 주파수 범위와는 차이가 있다. 그러나 좌반구의 Alpha 파워수준이 우반구보다 높은 상태가 지속되면 정서적 균형상태가 무너져 뇌건강 상태에 부정적 영향을 미칠 가능성이 있다. 그러므로 뇌파 지표들 간 변화를 함께 파악하는 것은 노인들의 건강 위험상태에 대한 조기 발견 가능성을 평가하는 기초자료로서 도움을 줄 수 있을 것이다.

네 번째, Alpha 평균주파수 기준으로 분류한 집단 간 차이를 살펴보면, Alpha 진폭에서는 Alpha 평균주파수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 낮게 나타났다. 이는 Alpha 진폭이 높을수록 Alpha 평균주파수 위치는 느린 리듬 쪽으로 변화함을 의미한다. 또한 정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서도 Alpha 평균주파수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 낮게 나타났다. 반면에 SEF 90%에서는 Alpha 평균주파수가 높은 집단이 낮은 집단에 비해 평균값이 높게 나타났다.

이러한 결과는 Alpha 평균주파수 위치가 빠른 리듬 쪽으로 높아지면 Alpha 진폭과 정신적 항스트레스 수준은 낮아지고, 각성수준은 높아짐을 의미한다. 그러므로 Alpha 평균주파수의 증가는 각성상태, 감소는 이완상태와 관련 있음을 알 수 있었다.

Alpha 평균주파수를 기준으로 분류한 두 집단의 평균은 9.46Hz이며, 낮은 집단은 9Hz를 보이고 있다. 정상 노인과 인지 손상단계의 노인 그룹별로 고유리듬피크 주파수와 MMSE 지수와의 관계 연구에서 정상에서 심각한 치매수준으로 갈수록 MMSE 지수도 낮아지면서 고유리듬 주파수 위치도 9.5Hz에서 6Hz 수준까지 낮아졌다 [21]. 본 연구의 대상자의 평균 나이가 73세임을 고려한다면 9Hz도 정상범위로 볼 수 있다. 그러나 지속적으로 더 느린 주파수 범위로 평균주파수 위치가 낮아지고 비대칭도 심해진다면 뇌건강 상태에 부정적 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있다. 그러므로 예방적 측면에서 앞서 제시한 뇌파 지표 간 관련성과 특성은 노인들의 뇌건강 진행상태를 평가할 수 있는 기초적인 단서로서 활용할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

이 연구는 노년기 뇌건강 상태를 반영할 수 있는 뇌파 지표로서 Alpha 고유리듬의 진폭, 비대칭 및 평균 주파수의 관련성 및 특성을 파악해보고 임상적 활용 가능성을 모색해보고자 하였다. 의미있는 결과는 다음과 같다.

첫 번째, 뇌파 지표 간 상관관계에서 Alpha 고유리듬 진폭이 높아지면 육체적·정신적 스트레스 저항도와 좌우뇌 소통수준은 높아졌으며, Alpha 평균주파수의 위치와 각성 수준은 낮아지는 상관관계를 보였다. 그리고 Alpha 평균주파수 위치가 빠른 리듬 쪽으로 높아지면, 육체적·정신적 스트레스 저항도는 낮아지고, 각성 수준은 높아지는 상관관계를 보였다. 또한 Alpha 비대칭 수준이 증가하면 좌우뇌 소통수준은 감소하는 상관관계를 보였다.

두 번째, Alpha 진폭을 기준으로 분류한 집단 간 차이에서 Alpha 진폭이 높은 집단에서 육체적·정신적 항스트레스와 좌우뇌 소통수준이 높게 나타났다. 반면에 Alpha 진폭이 낮은 집단에서 Alpha 평균주파수 위치가 빠른 리듬 쪽으로 높아지고 각성 수준도 높게 나타나는 특성을 보였다.

세 번째, Alpha 비대칭을 기준으로 분류한 집단 간 차이에서는 좌뇌에 비해 우뇌의 Alpha 파워가 높은 집단에서 Alpha 진폭과 정신적 항스트레스, 좌우뇌 소통수준도 높게 나타나는 특성을 보였다.

네 번째, Alpha 평균주파수를 기준으로 분류한 집단 간 차이에서는 Alpha 평균주파수가 빠른 리듬 쪽으로 높아지는 집단에서 Alpha 진폭과 정신적 항스트레스가 낮게 나타났으며, 각성 수준은 높게 나타나는 특성을 보였다.

이상과 같이 Alpha 고유리듬의 진폭, 비대칭 및 평균 주파수의 증감 정도는 정량화 뇌파 지표들과 대부분 일관성 있는 관련성과 상호 보완적 의미를 보여주고 있어 노년기 뇌건강 상태를 반영할 수 있는 생체표지자로서의 가능성을 보여주었다. 그러나 Alpha 비대칭과 평균주파수, Coherence 등의 상관관계와 집단 간 차이에서 일부 유의한 차이가 나타나지 않은 점은 본 연구 집단의 특성 일수 있다. 그러므로 각각의 뇌파 지표가 갖는 속성과 역할에 임상적 의미를 부여할 수 있도록 좀 더 정교한 추가적 연구가 필요하다고 본다. 후후 연구에서는 이 결과를 바탕으로 좀 더 세분화한 집단 구성이나 신체적 체력과 관련된 요인들을 추가하여 뇌파 지표의 임상적 의미를 보완하고 표준화 할 수 있는 연구가 이루어지길 기대한다.



## References

- [1] D. M. Compton, L. D. Bachman, D. Brand, T. L. Avet, "Age-associated changes in cognitive function in highly educated adults: emerging myths and realities", *International Journal of geriatric psychiatry*, Vol.15, No.1, pp.75-85, 2000.  
DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1166\(200001\)15:1<3C75::aid-gps81>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1166(200001)15:1<3C75::aid-gps81>3.0.co;2-m)
- [2] M. G. Sin, "Effects of an exercise program on frontal lobe cognitive function in elders", *Journal of Korean Academy of Nursing*, Vol.39, No.1, pp.107-115, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.4040/jkan.2009.39.1.107>
- [3] Statistics Korea, 2018 Aging statistics. Press Release, Korea, p.21, 2018.
- [4] M. M. Widagdo, J. M. Pierson, R. D. Helme, "Age-related changes in qEEG during cognitive tasks", *International Journal of Neuroscience*, Vol.95, No.1-2, pp.63-75, 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.3109/00207459809000650>
- [5] R. W. McCarley, M. E. Shenton, B. F. O'Donnell, P. G. Nestor, "Uniting Kraepelin and Bleuler: the psychology of schizophrenia and the biology of temporal lobe abnormalities", *Harvard Review of Psychiatry*, Vol.1, No.1, pp.36-56, 1993.  
DOI: <https://doi.org/10.3109/10673229309017055>
- [6] P. M. Rossini, "Implications of brain plasticity to brain-machine interface operation: A potential paradox?", *International Review of Neurobiology*, Vol.86, pp.81-90, 2009.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0074-7742\(09\)86006-6](https://doi.org/10.1016/s0074-7742(09)86006-6)
- [7] J. M. Choi, B. C. Ku, Y. G. You, et al., "Resting-state prefrontal EEG biomarkers in correlation with MMSE scores in elderly individuals", *Scientific Reports*, Vol.9(10468), pp.1~15, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46789-2>
- [8] J. Y. Shim, "A study of intrinsic Alpha rhythm, electroencephalography, and heart rate variability index as indicators of cognitive function and health in elderly adults", *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*, Vol.22, No.3, pp.21-34, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.14695/kisos.2018.22.3.21>
- [9] M. Penttilä, J. V. Partanen, H. Soininen, P. J. Riekkinen, "Quantitative analysis of occipital EEG different stages of Alzheimer's disease", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol.60, No.1, pp.1-6, 1985.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(85\)90942-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(85)90942-3)
- [10] E. G. Peniston, D. A. Marrinan, W. A. Deming, P. J. Kulkosky, "EEG alpha-theta brainwave synchronization in Vietnam theater veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and alcohol abuse", *Medical Advances in Medical Psychotherapy*, Vol.6, pp.37-50, 1993.
- [11] J. S. Lee, B. H. Yang, S. H. Lee, S. M. Lee, "Electroencephalographic alpha asymmetry in major depressive disorder patients with anxiety symptoms", *Korean Journal of Biological Psychiatry*, Vol.14, No.1, pp.42-47, 2007.
- [12] D. B. Kim, E. S. Sohn, "A meta-analysis of the variables related to depression in elderly", *Journal of the Korean Gerontological Society*, Vol.25, No.4, pp.167-187, 2005.
- [13] S. W. Choi, E. J. Jekal, C. I. Ahn, "Depression and baseline prefrontal EEG alpha wave asymmetry", *Korean Journal of Clinical Psychology*, Vol.27, No.4, pp.1053-1069, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.15842/kjcp.2008.27.4.016>
- [14] I. H. Gotlib, C. Ranganath, J. P. Rosenfeld, "EEG alpha asymmetry, depression and cognitive functioning", *Cognition and Emotion*, Vol.12, No.3, pp.449-478, 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/026999398379673>
- [15] M. J. Woo, G. Y. Lee, "The influence of stress on shooting performance and cortico-cortical communication: An EEG coherence analysis", *The Korean Journal of Physical Education*, Vol.52, No.2, pp.139-149, 2013.
- [16] T. E. Inder, L. Buckland, C. Spencer et al., "Lowered electroencephalographic spectral edge frequency predicts the presence of cerebral white matter injury in premature infants", *Pediatrics*, Vol.111, No.1, pp.27-33, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.111.1.27>
- [17] R. Soutar, R. E. Longo, Doing neurofeedback: An introduction, San Rafael, CA: ISNR Research Foundation, 2011, pp.65-120.
- [18] D. Ruchkin, "EEG coherence", *International Journal of Psychophysiology*, Vol.57, No.2, pp.83-85, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.04.001>
- [19] P. W. Park, Interpretation method of EEG. Korea Research Institute of Jungshin Science, 2005, p.76.
- [20] R. J. Davidson, D. C. Jackson, N. H. Kalin, "Emotion, plasticity, context and regulation: Perspectives from affective neuroscience", *Psychological Bulletin*, Vol.126, No.6, pp.890-909, 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.6.890>
- [21] P. N. Prinz, M. V. Vitiell, "Dominant occipital (alpha) rhythm frequency in early stage Alzheimer's disease and depression", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol.73, No.5, pp.427-432, 1989.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(89\)90092-8](https://doi.org/10.1016/0013-4694(89)90092-8)

심 준 영(Jun-Young Shim)

[정회원]



- 1994년 8월 : 조선대학교대학원 체육학과 (체육학석사)
- 2002년 2월 : 조선대학교대학원 체육학과 (이학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국뇌과학연구원 연구위원
- 2007년 9월 ~ 현재 : 국제뇌교육종합대학원대학교 뇌교육학과 교수

<관심분야>

뇌파 및 생체신호연구, 운동과 건강심리