

# 뇌 비대칭 계산방법의 비교 분석: 정량적뇌파(QEEG)와 뇌활용척도, 인지사고력검사를 중심으로

이건형, 원희욱\*  
서울불교대학원대학교 뇌인지과학

## Comparative analysis of brain asymmetry calculation method: focusing on QEEG and brain Survey scale, cognition aptitude test

Gun Hyoung Lee, Hee Wook Weon\*  
Division of Brain & Cognitive Science, Seoul University of Buddhism

**요약** 본 연구는 정서·인지·성격·학습 등 다양한 분야에서 비교평가의 지표로 활용되고 있는 뇌 비대칭성의 다양한 계산방법들을 비교하고 서로 그 일치도를 파악하여, 뇌 비대칭을 주제로 한 연구에서 실험의 조건과 목적에 따라 소스(source)와 계산방법을 선택하는 데 활용할 수 있는 기초정보를 제공하기 위한 목적으로 시행되었다. 이를 위해 2021년 5월 1일부터 2개월 간 성인 남녀 97명을 대상으로 개안(EO-Eyes Open)과 폐안(EC-Eyes Close)상태의 뇌파를 측정하였으며, 뇌활용성향척도와 인지사고력검사를 시행하였다. 측정된 뇌파 데이터는 Alpha, Beta, Gamma 주파수 영역의 PSD(Power Spectrum Density)와 iCoh(Imaginary Coherence), PLV(Phase Locking Value)를 산출하였으며, 뇌활용성향척도와 인지사고력검사의 결과를 종합하여 총 20종류의 비대칭 값을 계산하였다. 이를 조합하여 구성한 총 190개의 쌍을 ICC(내적상관계수)와 Bland-Altman Plot 등 '평정자간 일치도'로 평가하였다. 일치도 분석 결과 모두 29개의 쌍에서 유의한 결과가 나왔다. EO와 EC 간의 비교는 유의한 결과가 많지 않았으며 일치도 또한 낮았다. 같은 EO/EC끼리의 비교는 주파수 대역이 달라도 높은 일치도가 나타났다. 파워(Power)와 iCoh/PLV의 비교는 낮은 일치도를 보였으나 다양한 종류와 일치도가 유의하여 활용의 발전 가능성이 확인되었다. 설문척도는 어떠한 종류의 계산법과도 유의한 결과가 없었으며, 인지사고력검사는 iCoh와 낮은 일치도를, PLV와 중간의 일치도를 일부 확인하였다. 본 연구의 결과는 실험의 목적과 상황에 맞춰 비대칭성 계산방법을 선택하고 적용하는데 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** The purpose of this study was to compare various calculation methods of brain asymmetry, which are used as indicators of comparative evaluation in various fields, such as emotion, cognition, personality and learning, and to calculate their coefficient of agreement. We assessed EEG in eyes opened (EO) and eyes closed (EC) and conducted a brain preference survey and cognitive aptitude test on 97 adults for two months (May 1 to July 1, 2021). We calculated the power spectrum density (PSD), imaginary coherence (iCoh) and phase locking value (PLV) from the measured electroencephalography (EEG) data of alpha, beta and gamma bands. Consequently, 20 types of asymmetric values were produced. By combining those values, 190 pairs were evaluated by interclass correlation coefficient (ICC) and Bland-Altman plot. According to paired comparison results, 29 pairs showed significant results. A few values of significant results and a low agreement in the comparison between EO and EC were observed. Comparison between the same EO/EC represented a high agreement, although the frequency bands were different. The comparison between Power and iCoh/PLV represented a low agreement, but significant results with various kinds confirmed the potential for development. The survey scale represented no significant results for others, and the cognitive aptitude test described a low agreement in iCoh and a moderate agreement in PLV. Our results could provide fundamental information that could be used to select sources and calculation methods based on the conditions and purposes of brain asymmetry studies.

**Keywords** : Brain Asymmetry, QEEG, Laterality, Coherence, PLV, Cognitive Test, ICC, Bland-Altman

\*Corresponding Author : Hee Wook Weon(Seoul University of Buddhism)  
email: soojiwon@hanmail.net

Received July 29, 2021

Revised August 30, 2021

Accepted September 3, 2021

Published September 30, 2021

## 1. 서론

### 1.1 연구의 필요성

뇌 비대칭(cerebral asymmetry)은 인간의 구조, 기능, 행동 면에서 지속적으로 관찰되고 분석되어져 왔으며, 이러한 편측화(laterality)는 진화적, 유전적, 병리학적 요인을 반영하는 것으로 여겨진다[1]. 해부학적으로도 인간의 뇌는 크기가 비슷한 두 개의 반구(hemisphere)로 나누어져 있으며, 뇌량을 통해 서로 연결되어 있다. 좌반구와 우반구는 상호교류를 통해 통합적 기능을 수행하며, 기능적으로 서로 다른 특성을 갖는다[2]. 뇌의 기능적 비대칭은 특히 언어를 생산하고 이해하는 데 필요한 독특한 처리시스템으로 인해 일반적으로 좌반구에 편중되어 있다. 이는 언어와 관련된 근육을 제어하고 필요한 영역에 정보를 전송하는 것에 있어 반구 간의 경쟁을 피하고 효율성을 높이기 위한 구조적 전략으로 여겨진다[1].

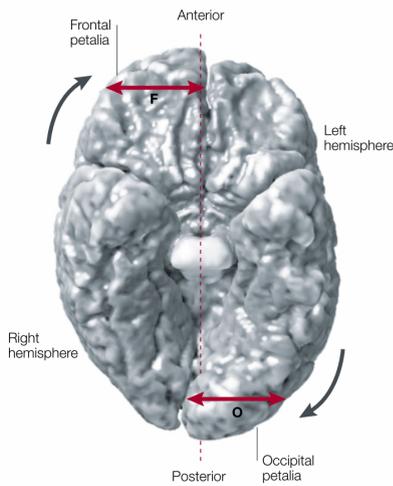


Fig. 1. Petalia and Yakovlevian torque (Toga & Thompson, 2003).

잘 알려진 해부학적 뇌 비대칭으로 'Petalia & Yakovlevian torque'가 있다[3]. 'Petalia'는 대뇌 반구 중 하나가 다른 반구를 향해 돌출되어지는 형태에 대한 비대칭의 해부학적 설명이며, 'Yakovlevian torque'는 비대칭으로 인한 반구의 기하학적 비틀림이다[1]. 뇌신경영상 이미지를 통해 이를 확인할 수 있는데 Fig. 1에서 보는 바와 같이 전두부(frontal)와 후두부(occipital)가 폭의 차이 뿐만 아니라 돌출된 형태에서도 차이를 명확하게 관찰할 수 있다.

두뇌의 해부학적 비대칭과 기능적 비대칭을 정서, 행동, 성격적 특성에 비추어 비교한 연구도 활발하게 진행이 되었는데, 해부학적으로 확인된 뇌 구조적 비대칭의 정도는 기능적 편측화(lateralization) 정도와 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다[4]. 기능적 비대칭에 대한 연구는 주로 뇌파분석을 통해 이루어지는데, 뇌파는 다른 신경영상술에 비해 공간해상도가 낮은 단점이 있지만, 시간해상도가 뛰어나고 비침습적이며 같은 사람을 반복측정 했을 때에도 변이가 크지 않아 매우 안정적인 신호이다[5].

Thatcher(2005)는 지능과 EEG 측정 간의 상관관계에서 비대칭성(asymmetry)의 중요성을 강조하였으며[6], Blackhart(2006)는 EEG 비대칭의 패턴분석을 통해 전두피질의 기능적 비대칭이 우울과 불안 등 정서적인 행동과 관련이 있다고 보았다[7]. Coan & Allen(2004)은 뇌파 비대칭이 감정 및 동기와 관련된 구조모형에서 매개변수와 조절변수의 역할이 가능함을 확인하였다[8]. 국내 연구에서도 뇌의 비대칭 정도는 정서적 곤란과 인지적 곤란에 대한 증거로서 사용이 될 수 있음을 확인하였으며[9], 우울과 무기력, 수면 장애 등의 증상에서 비대칭이 발견되었다고 보고하고 있다[10].

뇌 비대칭성에 대한 연구는 뇌파의 전기생리학 뿐만 아니라 인지과학과 심리학, 행동과학의 연구 등에서 폭넓게 진행되어 왔는데, 주로 성격적 특성과 심리·정서적 특성, 행동적 특성 등과의 상관관계를 통해 연결점을 찾는 목적이었다. 정희금(2003), 김윤희(2004), 정봉교(2007), 홍승현(2013) 등은 감정·정서와의 관련성을 분석하였으며[11-14], 곽형식(1999), 김수연(2000), 서연수(2010), 김미영(2012) 등은 학습효과를 뇌의 균형적 발달을 통해 평가하려고 시도하였다[15-18]. 이 같은 연구들은 대부분 뇌파를 통해 비대칭 정도를 계산하거나, 자기보고식 설문척도를 통해 비대칭 정도를 평가하여 학제 간 비교·분석한 공통점을 갖고 있다.

이처럼 뇌의 비대칭은 정서·인지·성격·학습 등 다양한 분야에서 증상의 정도를 평가하거나 개입·처치의 효과를 검증하는 데 폭넓게 활용되고 있다. 또한 뇌 비대칭은 각 연구들에서 다양한 소스(source)와 방식을 통해 계산도 출되고 있는데, 주로 뇌영상술(fMRI, PET 등), 정량적 뇌파(QEEG), 자기보고식 척도, 인지능력검사 등으로 분석되고 있다. 그러나 이렇듯 다양한 계산방법들을 통하여 뇌비대칭 실험연구가 활발하게 진행되고 있으나 사용된 각각의 방법들이 갖는 장단점과 서로 얼마나 일치한 결과값을 보이는지, 혹은 어떠한 계산 방법의 결과값이

더 실제와 근사한 수준을 보이는데 대한 연구는 미비한 실정이다.

이러한 비교연구의 필요성은 뇌 비대칭에 대한 재현연구에서 보다 선명해지는데, Coan & Allen(2003)은 BIS/BAS와의 상관성 연구에서 EEG 비대칭 특성이 BIS/BAS와 모두 강하게 관련되어 있음을 발견한 Sutton & Davidson(1997)의 연구 결과와 일치하지 않거나 부분적으로만 일치하였다고 보고하였다[19]. 휴식 상태(Resting state)에서의 EEG 비대칭에 대한 메타분석 결과를 보면 외향성(Extraversion), 신경증(Neuriticisim), 충동성(Impulsivity), 분노(Anger)로 분류된 연구결과들에서 높은 이질성이 나타났으며 연구결과도 상이하였다[20]. 이 같은 이질성에 대해 뇌 비대칭과 성격적 특성간의 관계에 영향을 미칠 수 있는 상황변수들의 잠재적 영향이라고 보았다[20]. 개인차 변수의 잠재적 영향력을 고려한다면, 개인의 상태와 환경, 연구목적에 따라 그에 맞는 EEG 비대칭 계산방법을 다르게 적용하지 않는 것은 매우 이상한 일이다. 그러나 비대칭성을 계산하는 방법에 있어 표준화된 방법이나 절차가 존재하지 않으며, 각 방법이 갖는 일치성과 상이성에 대한 연구가 미흡하여 실제 연구에서 고유의 상황과 목적에 맞는 계산방법을 찾아 적용하기는 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 뇌 비대칭을 주제로 한 실험연구에서 실험의 조건과 연구목적에 따라 소스(Source)와 계산방법을 올바르게 선택하는 데 필요한 기초 정보를 제공하기 위한 목적으로, 뇌 비대칭 정도를 계산하는 다양한 방법들을 분류하여 각각 그 결과값이 어느 정도 일치하는가를 알아보았다. 세부적으로는 정량적 뇌파(QEEG)를 중심으로 자기보고식 뇌활용선호척도와 인지능력검사를 비교대상으로 하였다.

EEG를 통한 비대칭성 계산에는 주로 주파수와 진폭을 토대로 계산하는 방식이 많이 사용되었는데, 그 중에서도 전두부의 폐안(EC-Eyes Close)시 알파 파워값을 통한 연구가 가장 많았다. 반면 EO와 EC의 평균값을 통한 계산방법과[21], 일관성(Coherence)을 통한 뇌 비대칭값의 사용[22], 영역별 효율성(Regional efficiency)를 통한 비대칭성 지수 등의 방법이 새롭게 제안되기도 하였다[23].

본 연구에서는 주파수 대역별 파워(power)를 통한 계산방법과 점차 중요성이 강조되고 있는 연결성(connectivity)을 통한 계산방법, 그리고 간편하게 사용이 가능한 자기보고식 설문척도와 교육현장에서 많이 사용되고 있는 인지능력 최대수행검사 방식 등 20가지의

방법을 각각 쌍비교(총 190개의 쌍)하여 그 일치도를 평가하였다. Table 1.은 연구에 사용된 20가지 종류를 배열한 것이다. 뇌파 데이터는 개안(EO-Eyes Open)상태와 폐안(EC-Eyes Close)상태 모두를 포함하였으며, 주파수 영역(band)은 Alpha, Beta, Gamma의 파워를, 연결성은 가상일관성(iCoh-Imaginary coherence)과 위상고정값(PLV-Phase Locking Value)을 분석대상으로 하였고, 뇌활용선호척도와 인지능력검사를 추가하였다.

Table 1. Compared subject of asymmetry

Method	
Alpha	EC (Eyes Close)
Power	EO (Eyes Open)
Beta	EC (Eyes Close)
Power	EO (Eyes Open)
Gamma	EC (Eyes Close)
Power	EO (Eyes Open)
Alpha	EC (Eyes Close)
Imaginary Coherence	EO (Eyes Open)
Beta	EC (Eyes Close)
Imaginary Coherence	EO (Eyes Open)
Gamma	EC (Eyes Close)
Imaginary Coherence	EO (Eyes Open)
Alpha	EC (Eyes Close)
Phase Locking Value	EO (Eyes Open)
Beta	EC (Eyes Close)
Phase Locking Value	EO (Eyes Open)
Gamma	EC (Eyes Close)
Phase Locking Value	EO (Eyes Open)
Brain Preference Survey	
Overall Cognition Test	

## 1.2 연구 문제

본 연구는 뇌의 비대칭성을 계산하는 다양한 방법들을 서로 비교하여 '일치성'과 '상이성'을 알아보고 이를 통해 피험자의 조건과 연구목적 등이 달라지는 경우 선택할 수 있는 뇌 비대칭 계산방법의 기초정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 다음과 같이 다섯 가지 연구문제를 설정하였다.

첫째, EO상태와 EC상태의 비대칭성은 얼마나 일치하는가?

둘째, 파워값을 통해 계산된 비대칭성들은 서로 다른 주파수 대역에서 얼마나 일치하는가?

셋째, 연결성을 통해 계산된 비대칭성들은 서로 얼마나 일치하는가?

넷째, 파워 비대칭성과 연결성의 비대칭성 간의 일치도는 어떠한가?

다섯째, 뇌파를 통한 비대칭성과 자기보고식 척도, 인

지능력검사의 비대칭성은 얼마나 일치하는가?

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 대상

본 연구는 온라인 모집공고를 통해 지원한 성인 남녀 99명을 대상으로 2021년 5월 1일부터 2개월 동안 서울 강서구 소재 상담센터에서 진행되었으며 측정된 데이터가 부실한 2명을 제외한 97명의 데이터를 최종적으로 연구분석에 사용하였다. 연구 대상자는 사고성 뇌손상이나 정신지체 질환, 항정신성 약물복용 경험 등이 없는 사람으로 제한하였으며, 코로나19 방역을 위해 해외활동 및 집단활동 경험이 있는 사람은 제외하였고, 사전에 이를 조사하여 점검하였다. 본 연구는 생명윤리심의위원회(IRB: Institutional Review Board)의 승인(승인번호 : 제27004121AN01-202105-HR-068-02)을 받아 진행하였으며, 실험 측정 전에 피험자에게 연구목적과 절차, 위험요소, 개인정보 보호, 주의사항 등에 대해 충분히 설명하여 이를 숙지하고 이해하도록 하였다. 피험자(n=97)는 남성이 42명, 여성이 55명이었으며, 연령대는 20대가 12명, 30대 13명, 40대 41명, 50대 이상이 31명이었다. 수면상태와 관련하여 대체로/항상 숙면을 취한다는 비율이 67%(65명)였으며, 가끔 잠을 설친다고 응답한 비율은 25.8%(25명), 거의 제대로 숙면이 어렵다고 응답한 비율이 7.2%(7명)였다. 선호하는 손 사용은 왼손사용 3명(3.1%), 양손사용 8명(8.2%)를 제외한 86명(88.7%)이 오른손 사용을 선호하는 것으로 나타났다.

Table 2. The characteristics of subjects (N=97)

	Spec.	n	%
Gender	Male	42	43.3 %
	Female	55	56.7%
Age group	20s	12	12.4%
	30s	13	13.4%
	40s	41	42.3%
	50s / older	31	31.9%
Education	High school	13	13.4%
	Bachelor	49	50.5%
	Master	34	35.1%
Sleep condition	Bad	7	7.2%
	Poor	25	25.8%
	Good	49	50.5%
	Excellent	16	16.5%
Handed	Left-handed	3	3.1%
	Ambidextrous	8	8.2%
	Right-handed	86	88.7%

## 2.2 연구 도구

### 2.2.1 뇌파 측정기기

본 연구에 사용된 뇌파 측정기기는 무선-블루투스 연결방식을 지원하는 14채널 장비 (Emotiv사 社, 미국) EPOCX로써, 각 센서에 압축 펠트를 부착하여 식염수를 전해질로 사용하는 습식기이다. 14개의 채널은 Fig. 2와 같이 AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4이며, 참조 전극은 P3와 P4이다. 측정된 뇌파 데이터의 실시간 모니터링과 데이터 저장을 위해 자체 소프트웨어가 지원되며, 측정된 EEG 데이터는 EDF(European Data Format 파일로 저장된다[24]. EDF 파일의 편집과 분석은 EEGLAB과 Brainstorm 등 GNU 오픈소스 프로그램과 NeuroGuide, Besa 등의 상용 프로그램에서 모두 가능하다.

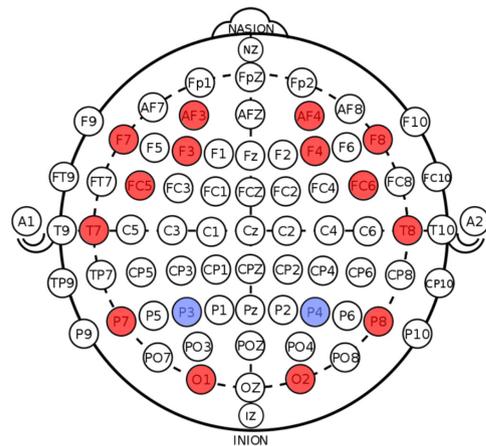


Fig. 2. 14 Channel of EPOCX

### 2.2.2 뇌파의 비대칭성 (Asymmetry of EEG)

EEG를 통한 비대칭성 계산은 주파수 별로 알파(Alpha, 8~12Hz), Beta(Beta, 13~30Hz), Gamma(Gamma, 31~59Hz) 대역을 선택하였으며, 연결성은 일관성(Coherence)과 위상고정값(PLV-Phase Locking Value)를 선택하였고, 각각 개안(EO, Eyes Open)과 폐안(EC, Eye Close)상태에서 3분간 측정된 원시데이터(raw data)를 사용하여 계산하였다.

(1) 파워값(Power value)에 의한 비대칭 계산

파워 값을 통한 비대칭 계산을 위하여, 측정된 뇌파 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)의 welch method를 통해 주파수별로 분류하여 PSD(Power

Spectrum Density)를 생성하였다. PSD는 신호의 ‘주파수 함량’ 또는 ‘주파수 파워의 분포’를 반영하며, ‘전체 파워(Total power)’와 ‘스펙트럼의 대역파워(Spectral band power)’, ‘중앙값(Median)’, ‘스펙트럼 극 주파수(Spectral edge frequency)’ 등의 매개변수들을 도출한다[25].

주파수 별로 각각의 채널들이 갖는 파워 값을 우측과 좌측으로 나누어 합산한 후 평균을 내었다. 일반적으로 좌-우뇌의 비대칭의 계산에서 좌반구의 파워값을 우반구의 파워값을 뺀 수치로 계산하므로 (R-L)/(R+L)의 공식을 적용하여 계산하였다[26].

(2) 연결성을 통한 비대칭 계산

인간의 고차원적 인지기능은 여러 뇌 영역의 통합능력(Global intergration)의 향상에 의해 발달하고 발현되며, 이러한 통합능력을 평가하는 데 뇌네트워크(Brain network)의 여러 속성을 분석하는 방법이 사용된다[23]. 이때 이러한 뇌 네트워크의 다양한 속성을 연결성(connectivity)이라고 한다. 본 연구에서는 뇌 네트워크의 다양한 연결성 지표 중 일관성(Coherence)과 PLV(위상고정값, Phase Locking Value)를 비교대상으로 포함하였다.

일관성은 뇌파 신호들의 위상각(Phase angle)의 일관성(Consistency)과 변동성(Variability)를 측정하는 위상 간의 상호 연관성의 지표이지만 두 시계열 사이의 평균 위상각(Mean phase angle)이나 평균 위상변화(Mean phase shift)와는 독립적이다[6]. 또한 상관성(Correlation)이 신호들의 위상이 일치하지 않더라도 주어진 자극에 따라 상호 관련성을 갖고 ‘함께 변화한다’는 의미를 갖는 것에 반해, 일관성(Coherence)은 신호의 위상들이 자극이 주어진 시점을 기준으로 상관성은 물론 동일하게 공조하는 현상을 의미한다[5].

그러나 두피 센서 수준의 뇌파 데이터에서 전통적인 방법으로 계산된 연결성 값들은 전류가 두피 전역으로 퍼지게 되는 볼륨전도(volume conduction)의 영향으로 값이 심각하게 왜곡될 우려가 있다[27]. 또한 전극센서는 측정된 신호의 합계에 포함된 인접 영역의 전자기 신호를 갖게 되므로 계산된 값을 특정한 뇌 위치에 대한 일관성으로 간주하기 어려우며 특히 상호작용의 방향성에 대해서는 알 수가 없다[28]. 따라서 연결성을 분석할 때는 반드시 볼륨전도에 의한 영향을 제거하거나 줄이는 방안으로 이를 해소해야 한다. 볼륨전도의 영향을 줄이기 위해서는 위상의 시간차가 없는(zero-phased) 연관

정보다는 시간적으로 지연이 있는(phase lagged) 연관성을 분석해야 하며, 가상일관성(Imaginary coherence)이나 위상지연 인덱스 (phase-lag index), 지연된 일관성(lagged coherence) 등 볼륨전도에 민감하지 않은 방법을 사용하는 것이 좋다[29]. 본 연구에서는 iCoh(가상일관성, imaginary Coherence)와 PLV(위상고정값, Phase Locking Value)를 계산하여 각 반구 별로 평균을 구한 후 비대칭값을 도출하였다.

iCoh는 공식(1),(2)와 같이 복소수 일관성의 허수부로부터 직접 구할 수 있다[30].

$$iCoh_1(f) = \Im\{C_{uv}(f)\} \tag{1}$$

$$iCoh_2 = E[\Im\{U(f)V^*(f)\}]/E[|H(\Im\{U(f)V^*(f)\})|] \tag{2}$$

수정된  $iCoh_2$  는 Hilbert 변환을 사용하여 계산된 분모를 통해 쉽게 정규화될 수 있으며, 볼륨전도에 의해 왜곡되지 않은 허수부(imaginary part)를 사용하여 상호작용 소스(interacting source)의 실수부 내용(real part content)을 복구한다[30].

PLV는 일련의 두 개 신호의 관심 주파수 대역에서 각 지연시간에 대해 위상이 고정된 측정값을 말하며, 이를 위해 관심 주파수에서 모든 순간 위상을 추출한다[31]. PLV는 연결성 측정에서 매우 유용한 방법으로 알려져 있으며, 다음과 같이 공식(3)을 통해 구할 수 있다. PLV는 n개의 시행(trial)과 시간 t에서 평균값으로 정의되며, 각 시행(trial)간의 변동성으로 측정된다[31]. 시간 t에서 위상차가 거의 변하지 않으면 PLV는 1에 가깝고, 그렇지 않으면 0에 가깝다[31].

$$PLV_t = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N \exp(j\theta(t,n)) \right| \tag{3}$$

PLV 값의 통계적 유의성 검증은 몬테카를로(Monte Carlo) 접근법이 사용되는데, 측정된 데이터들을 잘 혼합/추출하여 구한 대리값(surrogate value)을 구하고, 통계적으로 균일한 분포의 가정을 유의수준(보통 p=.05)에서 위반하면, 통계적으로 이를 의미 있는 위상 동기화라고 변별하는 방법이다[31].

2.2.3 뇌활용 성향 척도

본 연구에서 뇌활용에 대한 성향을 측정하기 위하여 사용한 자기보고식 척도는 이홍 등(2005)이 개발한 ‘뇌활용 성향 척도’이다. 뇌활용 성향은 좌반구와 우반구의

뇌가 각각 다른 기능적 특성을 갖는다는 연구결과를 바탕으로 질문 문항이 구성된다. 좌뇌와 우뇌의 서로 다른 기능에 대한 연구결과에 따르면 좌뇌가 언어적, 분석적, 논리적, 계열적, 수리적 정보를 받아들이고 처리하는 반면, 우뇌는 비언어적, 종합적, 공간적, 창의적, 유추적인 방식으로 정보를 받아들이고 처리한다[32]. 좌·우뇌의 비대칭적 특성을 정리하면 좌뇌 기능에는 ‘언어적’, ‘논리적’, ‘계열적’, ‘계획적’, ‘분석적’, ‘완벽성/세밀함’, ‘합리적/계산적’, ‘규칙적’, ‘수리적’ 등에 대한 행동특성이 해당되고, 우뇌 기능에는 ‘통합적’, ‘상상적’, ‘호기심’, ‘변화지향적’, ‘즉흥적/충동적’, ‘심상적’, ‘직관적’, ‘전체적’, ‘시·공간적’ 등의 행동특성이 포함된다[32].

Table 3. Description and reliability of brain preference scale

Brain hemisphere	Tendency	n	M(SD)	Cronbach' $\alpha$
Left Brain	language/ logical	6	3.16(.88)	.873
	premeditated	6	3.62(.77)	.880
	Regular	3	3.59(.76)	.548
	perfectionism	3	3.23(.86)	.647
Right Brain	numerical	3	2.67(.93)	.507
	integrating	6	3.12(.83)	.860
	change-directed	6	3.49(.66)	.688
	extempore	4	2.80(.75)	.617
	imaginative	3	3.03(.88)	.526
	intuitional	2	3.53(.88)	.744

Table 4. Description of cognition test

Brain hemisphere	Cognition Aptitude	Assess contents	Excerpt
Left Brain	Language Thinking	vocabulary & grammar	· <a href="https://www.areame.com/korean-vocabulary-size-test/ko/">https://www.areame.com/korean-vocabulary-size-test/ko/</a> [34] · make on researcher's own
	Abstract Thinking	finding homogeneity	· Brain BUSTERS-Test your intelligence [35] · Brain Twisters-Test your intelligence [36]
	Numerical Thinking	calculate	· Ultimate IQ test Series [37] · IQ Brainteasers [38]
	Inference Thinking	prediction from pattern	· Brain-Flexing IQ Tests [39]
Right Brain	Spatial Thinking	folding paper	· Dental Admission Test [40]
	Constructional Thinking	finding components of fragmented image	· Beef up your brain [41] · make on researcher's own
	Visual Thinking	maze test	· Dazzling Mazes [42]
	Perceptual Thinking	finding another picture	· Beef up your brain [41]

뇌 활용성향 척도의 신뢰도는 원 논문에서 .556 ~ .865 의 내적일관성을 보였다. 본 연구에서의 하위변인들의 내적 신뢰도는 Table. 3 과 같으며 전반적으로 .507 ~ .880 의 내적 일관성을 보이고 있다.

### 2.2.4 인지능력검사

인지능력을 측정된 점수결과를 바탕으로 두뇌 발달 정도와 비대칭 정도를 파악하는 도구는 주로 유아/초등 교육분야를 중심으로 사용되어왔다. 성인을 대상으로 점수를 부여하여 좌·우뇌기능의 수행능력을 평가하기 위한 도구로써 H.W Gordon(1978)이 제작한 CLB(Cognitive Laterality Battery)를 고영희(1982)가 변안한 도구(BPI-Brain Preference Indicator)가 있으며, 정희금(2003), 서연수(2010), 김보배(2016) 등의 연구에 사용되었다[11,17,33]. CLB는 좌뇌 및 우뇌의 기능을 측정하는 6개의 하위 검사로 구성되었는데, 슬라이드로 제시되는 그림자극 및 청각자극에 응답하는 방식으로 측정된다[32]. 좌뇌의 측정은 ‘연속된 소리 기억하기’, ‘연속된 숫자 기억하기’, ‘낱말 만들기’ 등 3가지 하위검사로 이루어지며, 우뇌의 측정은 ‘같은 모양 찾기’, ‘그림 완성하기’, ‘조각맞추기’ 등으로 구성된다[32].

곽형식(1998)은 Munzert(1980)가 표준화한 ‘Test your I.Q left brain right brain’을 국내 실정에 맞게 변안 수정하여 좌뇌·우뇌의 우세성을 평가하였는데, 좌뇌 문항은 대체로 논리적, 수리적, 추리적인 내용이며, 우뇌 문항은 그림이나 모양의 유사성과 차이를 발견하거

나 직관적인 판단을 요구하는 내용으로 구성하였다[15].

본 연구에서는 성인의 인지능력의 점수 결과를 바탕으로 비대칭성을 측정하기 위하여 연구의 독창성과 목적에 맞게 검사도구를 따로 제작하여 사용하였다. 항목의 대부분은 IQ 테스트북 등에서 기존의 개발된 문항을 그대로 사용하였으나, 일부 영역은 연구자가 사고력의 기능적 정의에 맞게 직접 개발·보완하였다. 제작된 검사는 좌뇌의 사고력 4가지와 우뇌의 사고력 4가지를 합쳐 모두 8개의 하위검사로 이루어져 있으며, 각 사고력 영역의 난이도가 이질적인 점을 고려하여 문항의 수를 고정하지 않고, 5분 동안 최대한 많은 문제의 정답을 선택하도록 하였다. Table. 4는 인지능력검사의 8가지 사고력에 대한 전반적인 내용을 정리한 것이다.

좌뇌 영역에서 언어사고력은 어휘력과 문법, 언어논리력 등으로 평가하였으며, 추상적 사고력은 제시된 그림이나 도형의 차이점 및 공통점 등 본질과 특성을 파악할 수 있는 능력으로 평가하였다. 수리력은 일련의 숫자 집합에 대한 계산법칙을 파악하는 능력으로 평가하였으며, 추리/추론사고력은 일련의 변화를 나타내는 패턴에서 다음 이미지를 예측하는 능력을 평가하였다.

우뇌 영역에서 공간사고력은 2번 접혀있는 종이의 펼침을 형태적으로 재현하는 능력을 평가하였으며, 구성사고력은 조각난 그림의 구성요소를 파악하여 재구성하는 능력을 평가하였다. 시각 사고력은 ‘미로찾기’로 평가하였고, 지각/분별 사고력은 ‘다른 그림 찾기’를 통해 평가하였다.

정답으로 인정된 문제는 그 수를 합산하여 각 사고력 별로 점수를 계산하였다. 일반적으로 계산된 점수를 표준화하는 방법은 평균과 표준편차를 사용하는 방법과 최소값과 최대값의 범위를 이용하는 방법과 중앙값을 이용하는 방법, 사분위 점수를 이용하는 방법 등이 있다[43]. 본 연구에서는 각 사고력의 난이도가 다른 점 등을 고려하여 최소값과 최대값의 범위를 산정하여 10개의 등급으로 나눈 후 등급점수를 부여하는 방법으로 최종 점수를 계산하였다.

## 2.3 자료의 분석

측정된 EEG 데이터는 EEGLAB과 Brainstorm으로 분석하였다. 뇌활용 선호척도와 인지능력 검사의 통계처리는 SPSS 25.0을 사용했고 엑셀(MicroSoft)을 통해 비대칭값을 계산하고 집계하였다. 최종적으로 급내상관계수(ICC)와 BlandAltman plot을 통한 일치도 평가는 R의 ‘ICC’와 ‘BlandAltmanLeh’ 패키지를 사용하였다.

### 2.3.1 EEG 데이터의 분석

EEG 데이터의 모든 전처리 작업(Preprocessing)은 EEGLAB(“<https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>”)으로 수행하였다[44]. 측정기기의 기본 측정 소프트웨어인 Emotiv Pro S/W에서 생산된 EDF 파일을 EEGLAB으로 불러들여, 14개 채널을 제외한 불필요한 정보채널과 DC offset을 제거하였다. 노치필터(60Hz)와 High pass filter(1Hz)를 적용하였으며, 데이터의 견고함을 위해 평균값으로 재참조(re-Reference)하였다. 아티팩트(Artifact)의 제거는 EEGLAB이 기본으로 제공하는 Clean Rawdata 기능과 ICA(독립성분분석, runica process), Sasica plug-in 프로그램을 사용하였다[45].

전처리 작업을 거친 데이터는 Brainstorm(“<https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/Introduction>”)을 통해 폐안(EC)/개안(EO) 상태의 알파와 베타, 감마의 PSD, iCoh, PLV 값을 계산하였으며[46], 엑셀(MicroSoft)을 통해 97명 분의 데이터를 정리하여 18개의 EEG 비대칭 수치가 산출되었다.

### 2.3.2 일치도 평가

새로운 측정방법에 대한 평가는 기존에 이미 신뢰성과 타당성을 인정받은 검사법(표준검사)과 새로운 검사법이 동일한 결과를 보이는지를 가지고 평가하게 된다[47]. 그러나 질병의 유/무와 같은 범주형 자료와는 달리 연속형 자료의 경우와 특히 표준검사가 부재한 경우에는 두 측정 방법 간의 일치도를 평가하는 것이 타당한 방법이다[48]. 일치도란 한 표본을 여러 번 반복하여 측정한 결과가 어느 정도 일치하는가를 알아보는 신뢰도 평가의 척도로써, 연속형 변수의 경우 급내상관계수(Intra-class Correlation Coefficient)의 수치를 평가하는 방법과 Bland & Altman plot을 활용하여 시각적으로 평가하는 방법이 활용된다[48]. 본 연구에서는 여러 가지 상태/종류 별로 계산된 뇌 비대칭성(Cerebral asymmetry)을 평가하기 위해 ICC와 Bland-Altman plot 두 가지 방법을 모두 사용하였다. 2개의 데이터를 묶음으로 비교하였으므로 총 190개의 쌍을 비교·평가하였다.

ICC는 분산분석의 원리에 따라 측정값들의 총 변량 중 개인 간 변량에 의해 야기된 부분에 대한 추정값이며, ‘0’(전혀 일치하지 않음)부터 ‘1’(완벽하게 일치함) 사이의 값을 갖는다[49]. ICC는 분산분석의 종류와 평가자 효과의 고려 여부 등에 따라 모형 종류를 잘 선택해야 한다. 본 연구에서는 ‘Two-way Random-Effects Model’에 해당하는 “average random rater, ICC2k”를 선택하여

계산하였다. 일반적으로 'Two-way Random-Effects Model'은 유사한 특성을 가진 평가자 모집단에서 무작위로 평가자를 선택하는 경우이며, 신뢰성 연구에서 선택된 평가자와 동일한 특성을 가진 평가자에게 신뢰도 결과를 일반화할 수 있다[50].

Bland-Altman plot은 두 세트의 측정값의 평균(mean)을 X축으로 놓고, 차이(difference)를 Y축으로 하여 산점도를 표시한 것이다. 검사법에 의한 측정값들 간의 불일치의 양상을 살펴보기에 매우 유용한 방법으로 검사법 비교연구에서 많이 사용되고 있으며 권고되는 방법이다[49].

### 3. 결과

#### 3.1 ICC(급내 상관계수) 결과

총 190개 쌍의 ICC를 분석한 결과 29개의 쌍이 유의

수준 내에서 일치하는 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 일치도를 보인 29개의 ICC 분석결과는 Table. 5와 같으며 ICC(급내상관계수)와 F-value, P-value, 95% 신뢰구간의 하한과 상한을 표시하였다. 일반적으로 급내상관계수는 .40보다 작으면 '좋지 않음(poor)', .40~.60은 '보통/중간(fair)', .60~.74는 ' 좋음(good)', .75~1.00은 '매우 좋음(excellent)'으로 해석하므로 본 연구에서도 그 기준에 따라 평가하였다[51].

#### 3.1.1 EO와 EC상태 간의 일치도

같은 항목(주파수/연결성) 안에서 EO상태의 값과 EC상태의 값의 일치도는 Beta iCoh와 Gamma iCoh 유의하게 나타났다. 그러나 ICC 수치가 각각 .32와 .39에 그쳐 낮은 일치도를 보였다.

- Beta iCoh EC & Beta iCoh EO (.39)
- Gamma iCoh EC & Gamma iCoh EO (.32)

Table 5. ICC between asymmetry calculation method

#	Rater 1	Rater 2	ICC	F	P	lower	upper
1	Alpha Power EC	Beta Power EC	.92	12	.00	.88	.94
2	Alpha Power EC	Gamma Power EC	.88	8.6	.00	.83	.92
3	Alpha Power EO	Alpha iCoh EO	.29	1.4	.05	.01	.49
4	Alpha Power EO	Beta Power EO	.95	20	.00	.93	.97
5	Alpha Power EO	Gamma Power EO	.94	16	.00	.91	.96
6	Alpha iCoh EC	Beta iCoh EC	.33	1.5	.02	.07	.53
7	Alpha iCoh EC	Gamma Power EO	.58	2.4	.00	.41	.70
8	Alpha iCoh EO	Beta Power EO	.36	1.6	.02	.10	.54
9	Alpha iCoh EO	Beta iCoh EO	.36	1.6	.02	.10	.54
10	Alpha iCoh EO	Gamma Power EO	.38	1.6	.01	.13	.56
11	Alpha iCoh EO	Gamma iCoh EC	.30	1.4	.04	.03	.50
12	Alpha PLV EC	Beta PLV EC	.87	7.5	.00	.81	.90
13	Alpha PLV EC	Gamma PLV EC	.78	4.5	.00	.69	.84
14	Alpha PLV EO	Beta PLV EO	.94	17	.00	.91	.96
15	Alpha PLV EO	Gamma PLV EO	.90	9.9	.00	.86	.93
16	Beta Power EC	Gamma Power EC	.99	87	.00	.98	.99
17	Beta Power EO	Gamma Power EO	.99	138	.00	.99	.99
18	Beta iCoh EC	Beta iCoh EO	.32	1.5	.03	.05	.51
19	Beta iCoh EC	Gamma iCoh EC	.66	3	.00	.52	.76
20	Beta iCoh EO	Gamma Power EO	.32	1.5	.03	.05	.52
21	Beta iCoh EO	Gamma iCoh EC	.41	1.7	.00	.18	.58
22	Beta iCoh EO	Gamma iCoh EO	.72	3.5	.00	.60	.80
23	Beta PLV EC	Gamma PLV EC	.95	22	.00	.94	.97
24	Beta PLV EC	Cognition Test	.39	1.7	.01	.15	.56
25	Beta PLV EO	Gamma PLV EO	.98	43	.00	.97	.98
26	Gamma iCoh EC	Gamma iCoh EO	.39	1.6	.01	.14	.56
27	Gamma iCoh EC	Cognition Test	.29	1.4	.05	.00	.49
28	Gamma iCoh EO	Cognition Test	.36	1.6	.02	.11	.54
29	Gamma PLV EC	Cognition Test	.40	1.7	.00	.17	.57

### 3.1.2 파워(Power) 간의 일치도

뇌파의 파워를 통해 계산된 비대칭 간의 일치도 평가는 모든 주파수 대역에서 유의한 일치도를 보였다. ICC 수치 역시 .88에서 .99로 매우 높은 수준을 나타냈다.

- Alpha Power EC & Beta Power EC (.92)
- Alpha Power EC & Gamma Power EC (.88)
- Beta Power EC & Gamma Power EC (.99)
- Alpha Power EO & Beta Power EO (.95)
- Alpha Power EO & Gamma Power EO (.94)
- Beta Power EO & Gamma Power EO (.99)

### 3.1.3 연결성 간의 일치도

iCoh와 PLV를 통해 계산된 비대칭 간의 일치도를 평가한 결과 유의한 일치를 보인 것은 모두 12쌍이었다. iCoh를 통한 비대칭에서 Beta iCoh - Gamma iCoh가 EO가 .72, EC가 .66 으로 비교적 좋은 일치도를 보였으나 나머지는 모두 전반적으로 낮은 일치도를 나타냈다. PLV를 통한 비대칭은 모든 주파수 대역에서 매우 높은 일치도가 나타났다.

iCoh 내에서 EO와 EC를 비교한 결과 Beta와 Gamma가 유의한 일치를 보였으나, Alpha의 EO와 EC는 유의한 일치도를 보이지 않았다. PLV에서는 모든 대역에서 EO과 EC의 비대칭성을 비교한 결과가 유의하지 않았다.

- Alpha iCoh EC & Beta iCoh EC (.33)
- Alpha iCoh EO & Beta iCoh EO (.36)
- Alpha iCoh EO & Gamma iCoh EC (.30)
- Beta iCoh EC & Beta iCoh EO (.32)
- Beta iCoh EC & Gamma iCoh EC (.66)
- Beta iCoh EO & Gamma iCoh EC (.41)
- Beta iCoh EO & Gamma iCoh EO (.72)
- Gamma iCoh EC & Gamma iCoh EO (.39)
- Alpha PLV EC & Beta PLV EC (.87)
- Alpha PLV EC & Gamma PLV EC (.78)
- Alpha PLV EO & Beta PLV EO (.94)
- Alpha PLV EO & Gamma PLV EO (.90)
- Beta PLV EC & Gamma PLV EC (.95)
- Beta PLV EO & Gamma PLV EO (.98)

### 3.1.4 파워와 연결성 간의 일치도 비교

파워와 연결성의 비대칭 간의 비교에서 유의한 일치를 보인 것은 5쌍이었으나, Alpha iCoh EC - Gamma

Power EO가 .58로 중간의 ICC를 보였고, 나머지 쌍들은 모두 낮은 수치를 나타냈다.

- Alpha Power EO & Alpha iCoh EO (0.29)
- Alpha iCoh EC & Gamma Power EO (0.58)
- Alpha iCoh EO & Beta Power EO (0.36)
- Alpha iCoh EO & Gamma Power EO (0.38)
- Beta iCoh EO & Gamma Power EO (0.32)

### 3.1.5 뇌파와 설문척도 / 인지능력검사의 비교

뇌파의 비대칭성과 뇌활용 선호척도, 인지능력검사의 비대칭성 간의 비교 결과 인지능력검사가 뇌파 연결성 4개와 유의한 일치를 보였다. 그러나 Gamma PLV

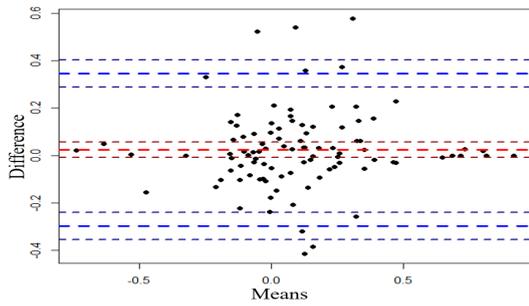
EC - Cognition Test의 쌍(.40-중간 수준)을 제외한, 대부분이 전반적으로 매우 낮은 내적상관관계를 보였다.

뇌활용선호척도에서는 모든 일치도 비교가 유의하지 않았다.

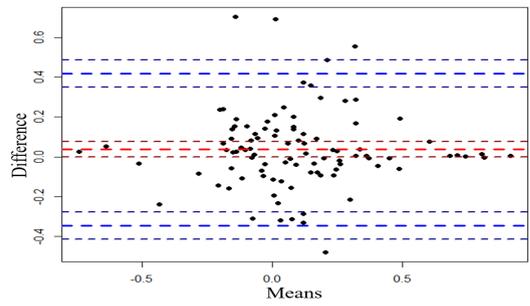
- Beta PLV EC & Cognition Test (.39)
- Gamma iCoh EC & Cognition Test (.29)
- Gamma iCoh EO & Cognition Test (.36)
- Gamma PLV EC & Cognition Test (.40)

Table 6. Bland-Altman stats

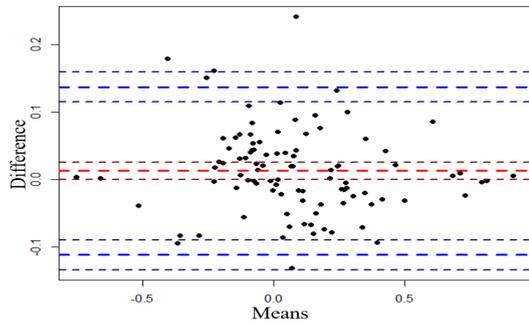
Rater1	Rater2	Lower limit	Mean. diffs	Upper .limit
Alpha Power EC	Beta Power EC	-.298	.024	.347
Alpha Power EC	Gamma Power EC	-.345	.037	.419
Alpha Power EO	Beta Power EO	-.650	-.018	.614
Alpha Power EO	Gamma Power EO	-.274	.012	.297
Alpha PLV EC	Beta PLV EC	-.137	.002	.142
Alpha PLV EC	Gamma PLV EC	-.187	-.001	.185
Alpha PLV EO	Beta PLV EO	-.114	-.008	.097
Alpha PLV EO	Gamma PLV EO	-.143	-.006	.131
Beta Power EC	Gamma Power EC	-.111	.013	.137
Beta Power EO	Gamma Power EO	-.102	.004	.110
Beta iCoh EC	Gamma iCoh EC	-.355	.040	.436
Beta iCoh EO	Gamma iCoh EO	-.351	.003	.357
Beta PLV EC	Gamma PLV EC	-.096	-.003	.089
Beta PLV EO	Gamma PLV EO	-.070	.003	.075



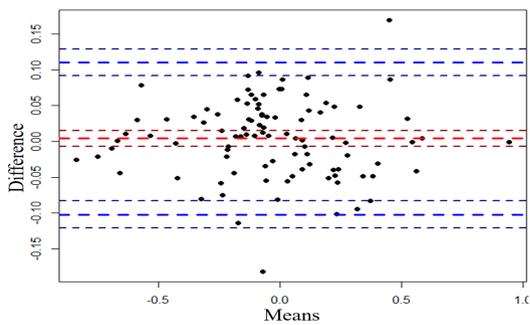
〈Alpha Power EC - Beta Power EC〉



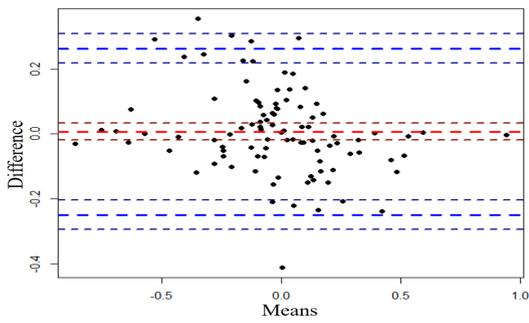
〈Alpha Power EC - Gamma Power EC〉



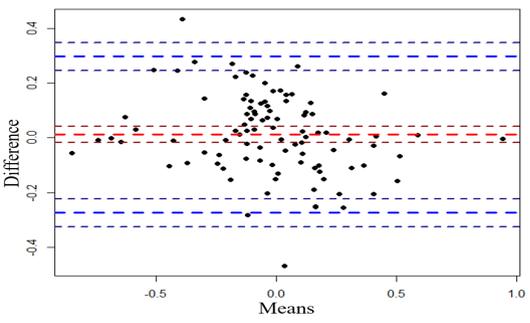
〈Beta Power EC - Gamma Power EC〉



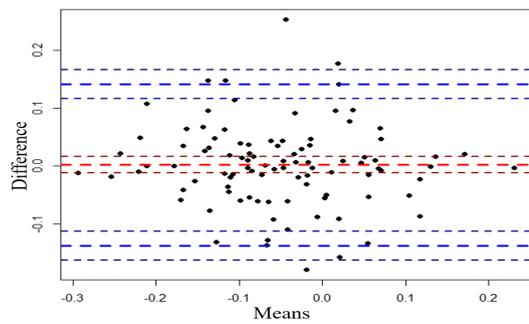
〈Beta Power EO - Gamma Power EO〉



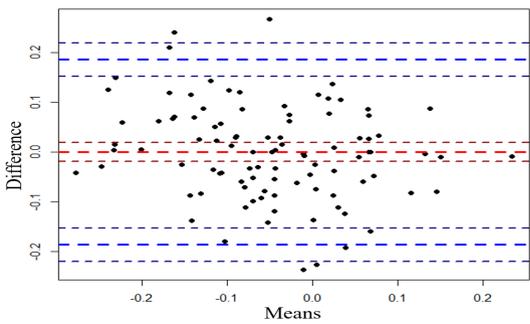
〈Alpha Power EO - Beta Power EO〉



〈Alpha Power EO - Gamma Power EO〉



Alpha PLV EC - Beta PLV EC



Alpha PLV EC - Gamma PLV EC

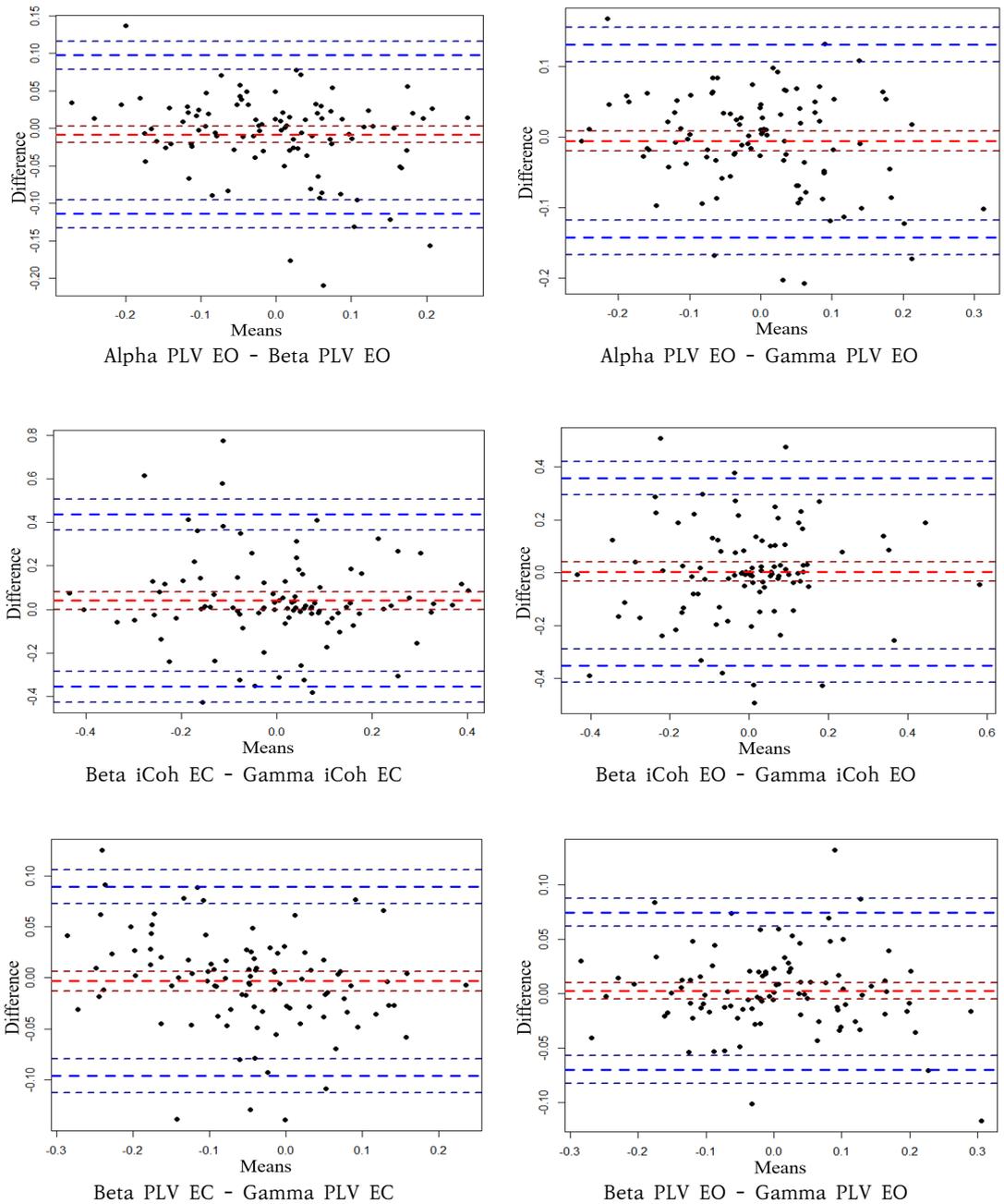


Fig. 3. Bland-Altman plot

### 3.2 Bland-Altman plot 결과

29개의 비교 쌍 중 ICC가 높은 수치를 나타낸 14개 쌍의 Bland-Altman plot을 Fig. 3에 제시하였다. Bland-Altman plot의 X축은 비교의 대상이 되는 두 값의 평균(mean)이며 Y축은 두 값의 차이(difference)이다. Plot에는 X축과 평행하는 세 개의 가로선이 표시되는데 가운데 적색선은 평균의 차이(mean difference,  $\bar{d}$ )이고 상·하로 위치한 파란색선은 95% 일치한계값(LOA-Limits Of Agreement,  $\bar{d} \pm 1.96s_d$ )을 뜻한다[52].

plot들의 산점도를 관찰해 보면 대부분이 가운데 0에 가깝게 뭉쳐 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 산점도가 평균의 음의 방향이나 양의 방향으로 점점 증가하거나 감소하는 등의 분포 경향을 보이지 않고 있다. 비대칭성을 평가하는 측정값 간의 차이들이 정규분포를 따른다면 그 차이들의 95%는 LOA의 상한, 하한 사이에 있을 것이므로 LOA값들과 그 범위가 임상적으로 받아들여질 수준이면 두 계산방법은 서로 교환이 가능하다고 볼 수 있다[49,53].

Table. 6은 Bland-Altman plot의 평균 차이(Mean difference)와 95% LOA의 상한값과 하한값을 수치로 나타낸 것이다.

## 4. 결론

본 연구는 뇌의 비대칭성을 도출할 수 있는 여러 가지 형태의 계산방식을 서로 비교함으로써 어느 정도 일치율 이루는가를 알아보고, 연구목적과 상황 안에서 개인별/집단별 차이변인들의 잠재적인 영향을 최소화할 수 있도록 관련된 기초정보를 제공하기 위함이었다. 분석된 실험결과를 토대로 연구문제를 정리하고자 한다.

첫째, 개안(EO)상태와 폐안(EC)상태의 비대칭성을 비교한 결과에서 대부분의 비교쌍들이 유의한 일치도를 보이지 않았으며 유의한 일치를 보인 Beta와 Gamma의 iCoh 역시 매우 낮은 ICC값을 보였다. 이는 연구와 임상현장에서 EO와 EC 어느 하나의 비대칭 값만을 가지고 비교·분석을 하는 것에 있어 상당한 주의가 필요하며, 목적과 상황에 따라 특정한 방법을 적용해야 하는 경우 반드시 이를 명시할 필요가 있음을 보여준다. 특히 EO와 EC의 상태가 가장 극명하게 달라지는 Alpha band에서 주의를 요하며, EC에서의 Alpha 비대칭의 결과가 EO상태에서는 달라질 수 있음을 시사한다.

둘째, 같은 'EO상태 끼리' 혹은 'EC상태 끼리' 쌍으로 파워의 비대칭성을 비교한 결과, 서로 다른 주파수 대역에서도 매우 높은 일치도를 보였다. 비대칭성과 관련된 국내 연구[13,54]에서 전두부 우뇌의 알파 활성화를 좌뇌의 활성화로 결론 맺으며 이를 Davidson(1988)[26]의 논문을 인용하여 알파의 활성화가 반구의 활성화와 반비례 관계가 있기 때문으로 설명하고 있으나, 본 연구의 결과와는 상반된다. 이러한 해석은 뇌파가 고정된 정량을 가지며, 이를 토대로 서파가 증가하면 속파가 감소하고, 속파가 증가하면 서파가 감소한다는 해석으로도 이어질 수 있어 논란이 있어 보인다. 더욱이 뇌파 비대칭성의 유용함을 처음으로 제기하고 계산원리를 제안하였던 Davidson(1988)은 뇌 비대칭의 연구결과를 일반화하기 전에 반드시 사후검증을 통한 확인작업이 필요하다고 제안하였으며, 뇌 반구(hemisphere)의 기능적 전문화(specialization)와 활성화(activation)는 구별되어야 한다고 하였다[26].

셋째, 연결성을 통해 계산된 비대칭성을 비교한 결과 iCoh에서 EO-EC 쌍 비교의 유의한 일치도가 나타났으나 ICC수치는 낮았다. 전체적으로 iCoh의 비대칭성은 낮은 일치도를 보였는데, Beta와 Gamma의 EO상태에서의 iCoh와 EC상태에서의 iCoh 비교에서만 비교적 높은 ICC 수치가 나타났다. 이 같은 결과는 향후 iCoh를 통한 비대칭성 연구에서 되도록 높은 주파수 대역을 선택하는 것이 보다 합리적일 수 있음을 시사한다.

PLV는 EO와 EC의 교차비교에서는 유의한 결과가 없었으며, 유의한 일치도를 보인 EO상태에서의 PLV 비대칭성은 서로 다른 주파수 대역에서도 매우 높은 ICC 수치가 나타났다. 대체로 iCoh에서의 일치도보다 PLV에서의 일치도가 높게 나왔으나 iCoh에 비해 PLV가 볼륨전도(Volume Conduction) 현상의 영향을 더 많이 받는다[30] 사실을 감안하면 PLV가 과추정되었을 가능성을 배제할 수 없다. 또한 iCoh와 PLV 간의 비교에서 유의한 일치를 보인 비교쌍이 없으므로 하나만을 선택해서 진행하는 연구에서는 분석과 해석에 주의를 요한다.

넷째, 파워의 비대칭과 연결성의 비대칭의 일치도 분석에서 'EO Alpha'와 'EO Beta'의 iCoh가 Beta, Gamma의 파워와 통계적으로 유의한 일치도를 보였다. 특히 Gamma의 EO파워는 EC의 Alpha iCoh와 중간의 일치도를 나타냈으며, EO Alpha/Beta의 iCoh와 낮은 수치이지만 유의한 결과값을 보였다. 앞선 파워 비대칭의 일치도 비교에서도 Gamma는 우수한 일치도를 보여 다양한 종류의 비대칭성과 높은 일치도를 보인다고 볼

수 있다. PLV에서는 파워 비대칭과의 일치도 비교에서 유의한 결과가 나타나지 않았다.

다섯째, 뇌파를 통한 비대칭성과 뇌활용선호 척도 및 인지능력검사를 통한 비대칭성의 일치도를 평가한 결과 Beta, Gamma 대역에서 4개의 iCoh와 PLV가 인지능력검사와 유의한 결과를 보였으나 대체로 일치도 수준은 낮았다. 뇌파의 비대칭성 가운데 파워의 비대칭은 뇌활용 선호척도와 인지능력검사 모두에서 일치도가 유의하지 않았다. 또한 뇌활용 선호척도 역시 어떤 비교 쌍에서도 유의한 결과가 나타나지 않았다. 비록 낮은 일치도를 보였으나, 인지 과제를 수행하는 것과 같은 유발리듬(evoked rhythm)이 위상의 고정(Phase-locked)과 밀접한 관련이 있는 것이 알려져 있으므로[5] 인지 과제(cognition task)를 비대칭성과 연관짓는 연구에서는 PLV가 주요 고려대상이 될 수 있음을 시사한다.

## 5. 논의 및 제언

뇌의 비대칭성을 계산할 수 있는 전반적인 방법들을 서로 쌍비교하여 그 결과를 제시하였다. 본 연구에는 PET, MRI, fMRI 등의 뇌영상기술의 데이터를 동시에 측정하는 것이 어려워 실험에서 배제되었으며, 뇌파에서는 Delta와 Theta 대역이 제외되었고, iCOH와 PLV 외에 보다 다양한 연결성 계산방식을 함께 고려하지 못한 한계가 존재한다. 또한 본 연구의 대상으로 전체 성인 연령대와 성별 등 피험자 조건들을 모두 포함시켰으나 세부적인 조건에서는 그 결과가 달라질 수 있으므로 후속연구를 제언한다. 그러나 연구현장에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 뇌파분석과 자기보고식 척도, 능력검사를 통해 계산된 다양한 비대칭성을 비교하여 그 일치도를 평가하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

파워를 통한 비대칭성은 EO와 EC의 비교 결과가 일치하지 않았으므로 그 방법을 연구목적에 맞게 선택적으로 적용할 경우 이를 반드시 명시할 필요가 있으며, 연구결과를 일반화하는데 주의가 필요하다. 또한 주파수 대역이 다르더라도 'EO 안에서', 혹은 'EC 안에서'의 비대칭성은 매우 높은 일치도를 보였으므로 특히 Alpha 대역의 활성화를 다른 주파수 대역의 비활성화로 확대해석하는 것에 주의가 필요하며, 사후검증을 통해 반드시 이를 확인하는 작업이 필요하다. 연결성을 통한 비대칭성 계산은 최근 들어 더욱 관심이 높아지고 있는 커넥톰(connectom)과도 연관이 있으며, 향 후 뇌 네트워크에

대한 연구는 더욱 증가하고 발전할 것으로 예측된다. 본 연구에서 사용한 iCoh와 PLV 이외에도 '지연된 일관성(lagged coherence)', '위상지연 인덱스(PLI-Phase Lag Index)'[30] 등의 연결성 계산방법과 그래프이론[55]의 네트워크 지수를 이용한 방법도 검증의 대상이 될 수 있으므로 후속연구를 제언한다.

설문척도와 최대수행능력평가 방식의 비대칭 계산방법은 뇌파의 비대칭성과의 비교에서 일치도가 유의하지 않거나 낮은 일치도를 보였다. 그러나 보다 정교하게 제작된 인지능력검사나 타당도 척도가 잘 마련된 설문척도에 대해서는 다른 비교결과가 나올 수 있으므로 후속연구를 제언한다.

전체적으로 190개의 쌍을 비교한 결과 29개의 쌍(19개의 요소)이 유의한 일치도를 보였다. 19개의 요소 중에서 가장 많은 수의 일치도를 보인 비대칭 계산방법 중 평균 일치도가 가장 높은 것은 'EO Gamma 파워'였다. 이 같은 결과는 비대칭성을 계산하는 데 있어 높은 주파수 대역의 파워가 중요한 고려대상이 될 수 있음을 시사한다. 그러나 특정 방법이 가장 우수한 성능을 가지고 있다는 식으로 일반화하기에는 무리가 따르며 연구참여자의 개인차와 연구목적에 맞게 설계단계에서부터 합당한 계산방식을 선택하는 것이 중요할 것으로 본다. 본 연구의 결과가 보다 정교하게 일반화되기 위해서는 다양한 측정 장비와 채널에서 후속 재현연구가 필요하며 이를 제언한다.

## References

- [1] Toga, A. W. & Thompson, P. M., "Mapping brain asymmetry", *Nature Reviews Neuroscience*, 4(1), 37-48. 2003. <https://doi.org/10.1038/nrn1009>
- [2] Sperry, R. W., "Left-brain, right-brain", *Saturday Review*, 2(23), 30-32. 1975.
- [3] Rentería, M. E., "Cerebral Asymmetry: A Quantitative, Multifactorial, and Plastic Brain Phenotype", *Twin Research and Human Genetics*, 15(3), 401-413. 2012. <https://doi.org/10.1017/thg.2012.13>
- [4] Herzog, N. J., & Magoulas, G. D., "Brain Asymmetry Detection and Machine Learning Classification for Diagnosis of Early Dementia", *Sensors*, 21(3), 778. 2021. <https://doi.org/10.3390/s21030778>
- [5] Min, byungkyoung. "Frequency axis analysis of brain waves", *Korean Journal of Cognitive Science*, 20(2), 155-181. 2009. <https://doi.org/10.19066/cogsci.2009.20.2.003>
- [6] Thatcher, R. W., North, D., & Biver, C., "EEG and

- intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power", *Clinical neurophysiology*, 116(9), 2129-2141. 2005.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.04.026>
- [7] Blackhart, G. C., Minnix, J. A., & Kline, J. P., "Can EEG asymmetry patterns predict future development of anxiety and depression?", *Biological Psychology*, 72(1), 46-50. 2006.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.06.010>
- [8] Coan, J. A., & Allen, J. J., "Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion", *Biological psychology*, 67(1-2), 7-50. 2004.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.03.002>
- [9] Sungwon Choi, Chang-Yil Ahn, & Eun-Ju Jekal., "Depression and Baseline Prefrontal EEG Alpha Wave Asymmetry", *Korean Journal of Clinical Psychology*, 27(4), 1053-1069. 2008.  
<https://doi.org/10.15842/kicp.2008.27.4.016>
- [10] Hee Wook Weon., "Comparison of QEEG between EEG asymmetry and Coherence with elderly people according to smart\_phone game Addiction Tendency", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, 18(11), 644-652. 2017.  
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.11.644>
- [11] Jung, hoi kum. *Effects of the Brain Laterality and Lateral Preferences on the MBTI Psychological Types*, Master's thesis, The Graduate School Yonsei University, Seoul, Korea, pp.2-3. 2003.  
<http://www.riss.kr/link?id=T9256342>
- [12] Kim, yunhee, *Relationship between the integrative brain function and creativity*, Master's thesis, Kwangwoon University, Seoul, Korea, pp.13-14. 2004.  
<http://www.riss.kr/link?id=T9811464>
- [13] Chung, bong kyo. "Frontal brain asymmetry, positive affect and approach motivation", *The Korean Journal of Experimental psychology*, 19(2), 127-147, 2007.
- [14] Hong, seounghyun. *Correlation Analysis Between Competitive Anxiety and Frontal Leaves Left and Right Brain Asymmetric Indicators*, Master's thesis, Ulsan National University Graduate School of Education, Ulsan, Korea, pp. 2-5, 2013.  
<http://www.riss.kr/link?id=T13098255>
- [15] Kwak, hyung sik., "Effects of differential learning of left-brain, right-brain prevalent, sex and type of orner presentation on text learning", *Journal of Education psychology*, 13(1), 21-47. 1999.
- [16] Kim, soo aun. *The effect of physical education on the brain development of the elementary student's*, Master's thesis, The Graduate School of Education Kyong-gi University, Kyong-gi-do, Korea, pp.4-5, 2000. <http://www.riss.kr/link?id=T7931177>
- [17] Seo, yeonsoo. *The effect of dancing education on the balanced development of human brains*, Master's thesis, The Graduate School of Hanyang University, Seoul, Korea, pp.3-5. 2010. <http://www.riss.kr/link?id=T11937994>
- [18] Kim, mi young, & Cho, sun hee. "The Relationship of Brain Dominance with Mathematics and Science Achievement", *The journal of science education*, 36(1), 14-21. 2012.  
<https://doi.org/10.21796/JSE.2012.36.1.14>
- [19] Coan, J. A., & Allen, J. J., "Frontal EEG asymmetry and the behavioral activation and inhibition systems", *Psychophysiology*, 40(1), 106-114, 2003.  
<https://doi.org/10.1111/1469-8986.00011>
- [20] Kuper, N., Käckenmester, W., & Wacker, J. "Resting Frontal Eeg Asymmetry and Personality Traits: A Meta-Analysis", *European Journal of Personality*, 33(2), 154-175. 2019. <https://doi.org/10.1002/per.2197>
- [21] Henriques, J. B., & Davidson, R. I., "Left Frontal Hypoactivation in Depression", *Journal of Abnormal Psychology*, 100(4), 535-545, 1991.  
<https://doi.org/10.1037/0021-843X.100.4.535>
- [22] Beaumont, J. G., Mayes, A. R., & Rugg, M. D., "Asymmetry in EEG alpha coherence and power: Effects of task and sex", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45(3), 393-401.(1978).  
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(78\)90190-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(78)90190-6)
- [23] Changseok Lee, Daegyom Kim, ByeongChang Jeong, Joo Young Lee, Hyun Ju Lee, & Cheol E. Han., "Asymmetric regional efficiency in brain networks of children with autism spectrum disorder", *2020' The institute of Electronics and Information Engineers, IEIE*, Seoul, Korea, 2478-2483. 2020.  
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10448519>
- [24] Pham, T. D. & Tran, D. Emotion Recognition Using the Emotiv EPOC Device. In T. Huang, Z. Zeng, C. Li, & C. S. Leung, *Neural Information Processing*, p 394-399. Springer Berlin Heidelberg. 2012.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-34500-5\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34500-5_47)
- [25] Dressler, O., Schneider, G., Stockmanns, G., & Kochs, E. F. "Awareness and the EEG power spectrum: Analysis of frequencies", *British Journal of Anaesthesia*, 93(6), 806-809. 2004.  
<https://doi.org/10.1093/bja/ae270>
- [26] Davidson, R. J., "EEG measures of cerebral asymmetry: Conceptual and methodological issues", *International journal of neuroscience*, 39(1-2), 71-89. 1988. <https://doi.org/10.3109/00207458808985694>
- [27] Bowyer, S. M., "Coherence a measure of the brain networks: Past and present", *Neuropsychiatric Electrophysiology*, 2(1), 1-12. 2016.  
<https://doi.org/10.1186/s40810-015-0015-7>
- [28] Brunner, C., Billinger, M., Seeber, M., Mullen, T. R., & Makeig, S., "Volume Conduction Influences Scalp-Based Connectivity Estimates", *Frontiers in Computational Neuroscience*, 10. 2016.  
<https://doi.org/10.3389/fncom.2016.00121>
- [29] Hassan, M., and F. Wendling. "Electroencephalography

- source connectivity: toward high time/space resolution brain networks." arXiv preprint arXiv:1801.02549. 2018.
- [30] Sanchez Bornot, J. M., Wong-Lin, K., Ahmad, A. L., & Prasad, G., "Robust EEG/MEG Based Functional Connectivity with the Envelope of the Imaginary Coherence: Sensor Space Analysis", *Brain Topography*, 31(6), 895-916. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10548-018-0640-0>
- [31] Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., Martinerie, J., & Varela, F. J. "Measuring phase synchrony in brain signals", *Human brain mapping*, 8(4), 194-208. 1999. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0193\(1999\)8:4<194::AID-HBM4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0193(1999)8:4<194::AID-HBM4>3.0.CO;2-C)
- [32] Lee, hong, Park, eun-a, & Jun, yoon suk., "Scale development for self-reporting brain-function preference indicator", *Knowledge Management Academic Symposium*, 14, 203-228. 2005.
- [33] Kim, bobae. *Analysis of Four-year College Students' Employment Preparation Behaviors by the Brain Hemisphere and the Personality Trait*, Master's thesis, Department of Education Graduate School Kyungsung University, Busan, Korea, 2016. <http://www.riss.kr/link?id=T13987965>
- [34] A real me, Online Korean vocabulary test, Available from: <https://www.arealme.com/korean-vocabulary-size-test/ko/> (accessed April. 10, 2021)
- [35] Carter, P. J. & Russell, K. A. Brain busters. p.10-367, Ward Lock ; Distributed in the U.S. by Sterling Pub. Co. 1992.
- [36] Sullivan, N. . Brain Twisters. p. 14-128. Ward Lock; Distributed in the U.S. by Sterling Pub. Co. 1992.
- [37] Carter, P. J., & Russell, K. A. Ultimate IQ tests: 1000 practice test questions to boost your brainpower (Third edition). p. 10-315, Kogan Page. 2015.
- [38] Sullivan, N. IQ brainteasers. p. 6-213, Arcturus. 2006.
- [39] Simpson, F. Brain-Flexing IQ Tests. p.7-162. Orient Paperbacks. 2001.
- [40] Online Free DAT Practice Test—Full Length. (2007). Kaplan Test Prep. Retrieved 2021.4.10., <https://www.kaptest.com/dat/free/dat-practice-test-options> (accessed April. 10, 2021)
- [41] Noir, M., & Croisile, B. Beef up your brain: The big book of 301 brain-building exercises, puzzles, and games. p.7-320, McGraw-Hill. 2010.
- [42] Koch, U. Dazzling mazes: 50 inventive puzzles with solutions. p. 2-76, Dover. 1985.
- [43] Min, dae kee, & Jung, ji hyun, "The study of comparisons of standardization methods", *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, 12, 113-120. 2012. UCI : G704-000605.2012.23.1.008
- [44] Delorme, A., & Makeig, S. "EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis", *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9-21. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- [45] Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K., & Makeig, S., "The ICLabel dataset of electroencephalographic (EEG) independent component (IC) features", *Data in Brief*, 25, 104101. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104101>
- [46] Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M., "Brainstorm: A User-Friendly Application for MEG/EEG Analysis", *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, 1-13. 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/879716>
- [47] Pak, sonil, & Oh, taeho. "Statistical Test of Agreement between Measurements in Method-comparison Study", *The Korean society of veterinary clinics*, 28(1), 108-112. 2011.
- [48] Kim, kiyeol. "Statistical methods for accessing agreement between repeated measurements dental research".*The journal of Korean dental association*, 54(11), 2016. <https://doi.org/10.22974/jkda.2016.54.11.005>
- [49] Kong, K. A. "Statistical Methods: Reliability Assessment and Method Comparison", *The Ewha Medical Journal*, 40(1), 9. 2017. <https://doi.org/10.12771/emi.2017.40.1.9>
- [50] Koo, T. K., & Li, M. Y., "A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research", *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155-163. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.icm.2016.02.012>
- [51] Cicchetti, D. V., & Nelson, L. D., "Re-examining threats to the reliability and validity of putative brain-behavior relationships: New guidelines for assessing the effect of patients lost to follow-up", *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(3), 339-343. 1994. <https://doi.org/10.1080/01688639408402644>
- [52] Bland, J. M., & Altman, D. G. "A note on the use of the intraclass correlation coefficient in the evaluation of agreement between two methods of measurement", *Computers in Biology and Medicine*, 20(5), 337-340. 1990. [https://doi.org/10.1016/0010-4825\(90\)90013-F](https://doi.org/10.1016/0010-4825(90)90013-F)
- [53] Giavarina, D. "Understanding Bland Altman analysis", *Biochemia Medica*, 25(2), 141-151. 2015. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>
- [54] Ahn, soyoung. *Depression Diagnosis and Brain Asymmetry Improvement Software*, Master's thesis, The Graduate School of Sejong University, Seoul, Korea, 2016. <http://www.riss.kr/link?id=T14007525>
- [55] Bullmore, E., & Sporns, O. "Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems", *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 186-198. 2009. <https://doi.org/10.1038/nrn2575>

이 건 형(Gun Hyoung Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 단국대학교 전산통계학과 (이학사)
  - 2019년 2월 : 국제뇌교육종합대학원대학교 상담심리학과 (상담심리학석사)
  - 2021년 2월 : 서울불교대학원대학교 뇌인지과학 박사수료
- 2019년 12월 ~ 현재 : 건심리상담센터 대표

〈관심분야〉

뇌인지과학, 인지심리학, 데이터과학

---

원 희 옥(Hee Wook Weon)

[정회원]



- 1984년 2월 : 연세대학교 간호대학
- 2001년 8월 : 한국체육대학교 사회체육대학원대학교 (건강관리학 석사)
- 2008년 7월 : 서울 벤처정보대학원대학교 (뇌과학 박사)

- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울불교대학원대학교 뇌인지과학과 교수
- 2019년 3월 ~ 현재 : 심신치유학회 이사

〈관심분야〉

뉴로피드백, 뇌인지과학, QEEG 측정과 분석

---