

한글 및 영어 단어의 시각적 인지 시 N400 사건관련 뇌전위 및 감마대역 활성화

윤 진, 최정우, 김자현, 김경환

연세대학교 보건과학대학 의공학부

N400 Event-related Potential and Gamma Band Activities during Visual Perception of Korean/English Words

Jin Yoon, Jung Woo Choi, Ja Hyun Kim, Kyung Hwan Kim

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University

(Received October 9, 2008. Accepted December 10, 2008)

Abstract

The observations of difference and similarity in brain activities involved in processing different languages have fundamental importance in cognitive neuroscience. The purpose of this study was to investigate the difference and similarity in temporal brain activation patterns due to the language difference during visual perception of Korean and English words under priming. Especially, we tried to find the difference in evoked spectral power in gamma-band, which is known to reflect feature binding. The stimulation was visually presented as word pairs belonging to same or different categories so that N400 event-related potential (ERP) was evoked. Average ERP analysis and spectral analysis of gamma-band activity (GBA) were performed on 12 normal Korean subjects. Several ERP components such as P1, N1, N400, and P600 could be identified consistently, and the differences in N1, N400, and P600 were observed. From the spectral analysis, we found that the evoked GBA (eGBA) was significantly larger for English at ~100 ms poststimulus. The latency of the eGBA was also considerably delayed for English. Overall, the results on the ERP components and eGBA analyses seem to be commensurate with subjects' familiarity of each language, and the difficulty of perceiving words of each language. The methods of this study can also be applied for clinical purposes considering that the language-related processing can be greatly altered for the patients with neurological or psychiatric diseases.

Key words : Event-related potential (ERP), Visual word perception, Korean, English, N400, Gamma-band activity

1. 서론

인지 신경과학의 중요 연구분야인 뇌의 언어인지 메커니즘에 대한 이해를 위하여 단어 또는 문장을 시각적으로 피험자에게 제시하고 사건관련 전위(event-related potential, ERP)를 측정하여 분석하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있다[1-3]. ERP는 측정된 뇌파(electroencephalogram, EEG)로부터 일정 시간 동안 주어진 자극에 반응하는 성분을 추출함으로써 얻을 수 있으며, 시각적 단어인지과정 중 측정된 ERP는 시각인지 및 언어 정보 처리 과정을 반영하는 대뇌피질 내 여러 영역들의 전기적 활동을 반영한다. 순차적으로 발생하는 ERP요소파형들로부터 단어의 형태를 시각하고 이로부터 의미를 이끌어내는 과정, 문법 및 의미를

판단하는 과정 등 시각적 단어인지를 구성하는 여러 정보처리 단계를 구체적으로 해석할 수 있다. 시각적 단어를 자극으로 제시할 때 관찰되는 대표적인 ERP요소들로는 자극제시 후 약 100 ms에 후두부(occipital region)를 중심으로 관찰되는 P1요소와 자극제시 후 약 150 - 200 ms에 측두엽후반부(posterior temporal region)와 두정부 및 후두부(parietal and occipital region) 영역을 중심으로 발생하는 N1요소 등 초기 시각인지를 반영하는 것들이 있다. 또한 언어의 의미적 처리과정을 반영하는 대표적인 후기 ERP요소들로 자극제시 후 약 400 ms에 중앙부(central region)와 두정부(parietal region)를 중심으로 관찰되는 N400 요소와 자극제시 후 약 500 ms 후에 관찰되는 P600요소 등이 발생한다[2,3].

이중 특히 N400요소의 분석을 통하여 단어 인지 과정의 난이도와 의미의 부적절성과 관련된 언어정보 처리과정에 대한 해석을 수행할 수 있다. N400요소의 크기는 자극으로 제시되는 목적단어(target word)와 접화단어(priming word) 쌍의 사용빈도, 반복

Corresponding Author : 김경환
(220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 연세대학교 원주캠퍼스 백운관 208호
Tel : +82-33-760-2364 / Fax : +82-33-760-2197
E-mail : khkim0604@yonsei.ac.kr
본 연구는 교육과학기술부 지역대학우수과목자 지원사업의 연구비 지원으로 수행되었음 (grant no. KRF-2007-H00008).

(repetition), 의미적 관련성(semantic relatedness) 및 부합(congruity) 등에 따라 민감하게 달라지는 것으로 알려져 있으며 이에 따라 의미적 기억(semantic memory)과정의 활성화 정도를 추정할 수 있다[4,5]. 친밀도가 서로 다른 언어의 단어나 문장을 동시에 제시하는 실험결과, 친밀도가 낮은 언어에서 발생하는 N400요소의 크기가 작고 잠복기와 반응시간(response time)이 지연되었음이 보고된 바 있다[6,7]. 2개 이상의 언어를 사용할 수 있는 사람들에게 대해서는 환경에 따른 언어사용 빈도에 따라 언어간 숙련도가 달랐으며 숙련도가 낮은 언어에서 N400요소의 잠복기와 응답시간이 숙련도가 높은 언어보다 지연되었음이 보고되었다[8-10]. 이러한 사실들로부터 중등학교 이상에서 영어를 학습하여 단어수준에서의 영어인지가 능숙한 한국인에게 한글 및 영어 단어를 동시에 제시하여 기록된 ERP파형을 통계적으로 비교함으로써 한글과 영어 단어 인지 시 뇌 활성화 패턴 차이를 관찰할 수 있을 것으로 기대된다.

시각적 단어인지 과정을 위해 필요한 여러 기능의 수행을 위해서는 이에 관여하는 신경회로망 내의 여러 신경세포들 간의 결합을 통한 정보통합이 필요하다. 따라서 여러 뇌 영역들의 순차적인 활성화뿐만 아니라 신경세포들의 간의 결합 정도 또한 분석되어야 한다. 이를 위하여 약 30 Hz - 50 Hz의 gamma 대역의 주파수를 갖는 리듬에 따라 신경세포들의 발진이 동기화되는 특성을 분석하는 방법이 최근 활발히 적용되고 있다[11,12]. 이는 특정 정보의 통합을 위하여 여러 신경세포들의 활동이 이 주파수 대역에서 서로 리듬 있게 동기화되어 결합(binding)되는 현상에 기인한 것으로 판단되고 있다[12]. 따라서 스펙트럼 분석에 의한 감마대역 활성화(gamma band activity, GBA)의 관찰을 통하여 신경회로망 내 신경세포들의 통합적 정보처리 정도에 대한 정량적 분석을 수행할 수 있을 것이다. 초기 감각 정보처리 과정 시 발생하는 유발 감마대역활동(evoked gamma-band activity, eGBA)은 약 100 ms에서 활성화되는 것으로 알려져 있으며 자극처리 시 작업난이도와 자극종류에 의해 달라지며 자극의 전후 관계에 따라 의미기억(semantic memory)내의 관련정보와 비교하여 부합되는지를 판단하고 선택하는 과정에서 eGBA가 발생한다[13,14].

본 연구에서는 한글과 영어단어의 인지 과정에서의 대뇌 정보처리 과정을 이해하는데 기여하기 위하여 언어에 대한 친밀도에 따라 시각적 단어인지 과정 시 뇌 활성화 패턴 간 차이가 있을 것이라는 가정을 세우고 이를 검증하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 최초로 단어 쌍에 의한 점화(priming)이 있는 상황에서의 한글과 영어단어 인지에 있어서의 뇌전위 활동 상의 차이점 및 eGBA 상의 차이점에 대한 분석을 제시하고자 하였다.

12명의 정상인 피험자들에게 동일 범주에 해당되거나 해당되지 않는 사물을 나타내는 두 개의 단어 쌍으로 구성된 자극을 시각적으로 제시하여 N400 요소가 발생되도록 유도하여 ERP요소파형들을 관찰하고 이들의 통계적 비교를 수행함으로써 순차적인 뇌 활성화 패턴에 있어서의 차이점을 분석하고 또한 신경회로망 내 신경세포들의 통합적 정보처리 정도의 비교를 위해 eGBA의 차이를 통계적으로 분석하였다.

II. 방법

A. 피험자 정보 및 실험 설계

한국어를 모국어로 사용하며 과거 신경과 및 정신과적 질환 병력이 없는 12명의 연세대학교 의공학부 학생(남성 7명, 여성 5명, 23.4 ± 2.1세)이 실험에 참여하였다. 피험자들은 모두 정규교육과정을 통해 10년 이상 영어 교육을 받아왔으며 제시되는 영어단어의 의미를 이미 숙지하고 있는 상태였다.

ERP 측정을 위한 자극은 자극제시용 소프트웨어 (Presentation, Neurobehavioral systems, Berkeley, CA) 17 inch LCD 모니터로 제시하였다. 피험자의 눈과 모니터 사이의 거리는 약 70 cm가 되도록 하였다. 그림1은 자극제시 방법에 대한 설명을 위한 그림이다. 자극에 대한 지속적인 주의 집중을 유도하기 위하여 ‘+’ 형태를 갖는 고정기호 (fixation mark)를 첫 번째 단어 자극제시 전 1000 ms로부터 400 ms 동안 제시하였다. 그 후 빈 검정색 화면 (blank screen)을 600 ms 동안 제시 한 다음 첫 번째 단어를 400 ms 동안 제시하였다. 또 600 ms 동안 빈 화면을 제시한 다음 다시 두 번째 단어를 400 ms 동안 제시하였다. 이와 같이 두 단어의 제

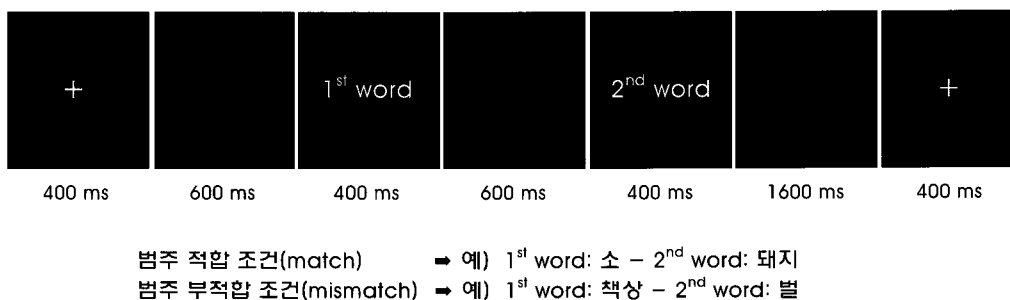


그림 1. 한글과 영어단어인지실험에 사용된 자극 제시 방법을 나타낸 개략도. 동일 범주에 속하는 단어 쌍과 그렇지 않은 단어 쌍의 예시.
Fig. 1. The procedure of visually presenting words pairs. Two examples of word pairs, belonging to same category and different categories.

시를 1 trial로 하여 총 80 trial 을 1 set으로 하였고 각 trial 사이의 시간 간격은 1600 ms가 되도록 하였다. 제시된 한글 영어 단어는 각각 총 160쌍으로 구성되었다. 그림1의 예시와 같이 한 trial 내의 첫 번째 단어와 두 번째 단어가 동물범주인 소 - 돼지와 같이 서로 같은 범주(category)에 속할 경우 적합조건(match condition)에 해당하며 이 때 오른쪽 마우스 버튼을 눌러 응답하도록 요구하였다. 또한 두 단어가 같은 범주에 속하지 않을 경우 그림1의 예시로 책상-벌과 같은 조건에서는 부적합(mismatch condition)에 해당하며 왼쪽 마우스 버튼을 클릭하도록 피험자에게 주문하였다.

B. EEG 기록 및 ERP분석 방법

64개의 Ag/AgCl 전극이 부착되어 있는 뇌파 측정용 전극모자 (EASYCAP, FMS, Munich, Germany)를 사용하여 확장된 10/10 시스템에 따라 60 채널에서 500 Hz의 샘플링율로 뇌파신호를 기록하였다. 잡음의 영향을 일차적으로 줄이기 위해 0.03 Hz

~ 100 Hz의 통과대역을 갖는 대역 통과필터와 60 Hz의 노치필터를 적용하였다.

ERP 분석을 위하여 기록된 뇌파를 먼저 20 Hz 저역통과 필터로 처리한 후 두 번째 자극 단어의 제시 시점을 기준으로 ± 100 ms 구간의 평균값을 이용하여 기준점 보정 (baseline correction)을 수행한 후 두 번째 자극 단어 제시시점을 기준으로 0 ~ 1500 ms 구간에서의 단일 시행 ERP를 추출하였다. 아티팩트 제거를 위하여 우선 단일시행 ERP들 중에서 크기가 $\pm 100 \mu V$ 이상인 신호가 관찰되는 구간과 드리프트 (drift)나 고주파 잡음으로 오염된 정도가 심한 구간을 육안으로 관찰하여 제외하였다. 전처리 과정을 거친 단일시행 ERP 파형들을 자극 종류별로 두 번째 단어 자극 제시시점 후 1000 ms 동안 정렬하여 앙상블 평균 (ensemble averaging)을 수행함으로써 평균 ERP 파형을 얻었다.

얻어진 평균 ERP 파형의 global field power(GFP)와 토포그래피(topography)를 이용하여 평균 ERP 파형의 정점(peak)들의 시간

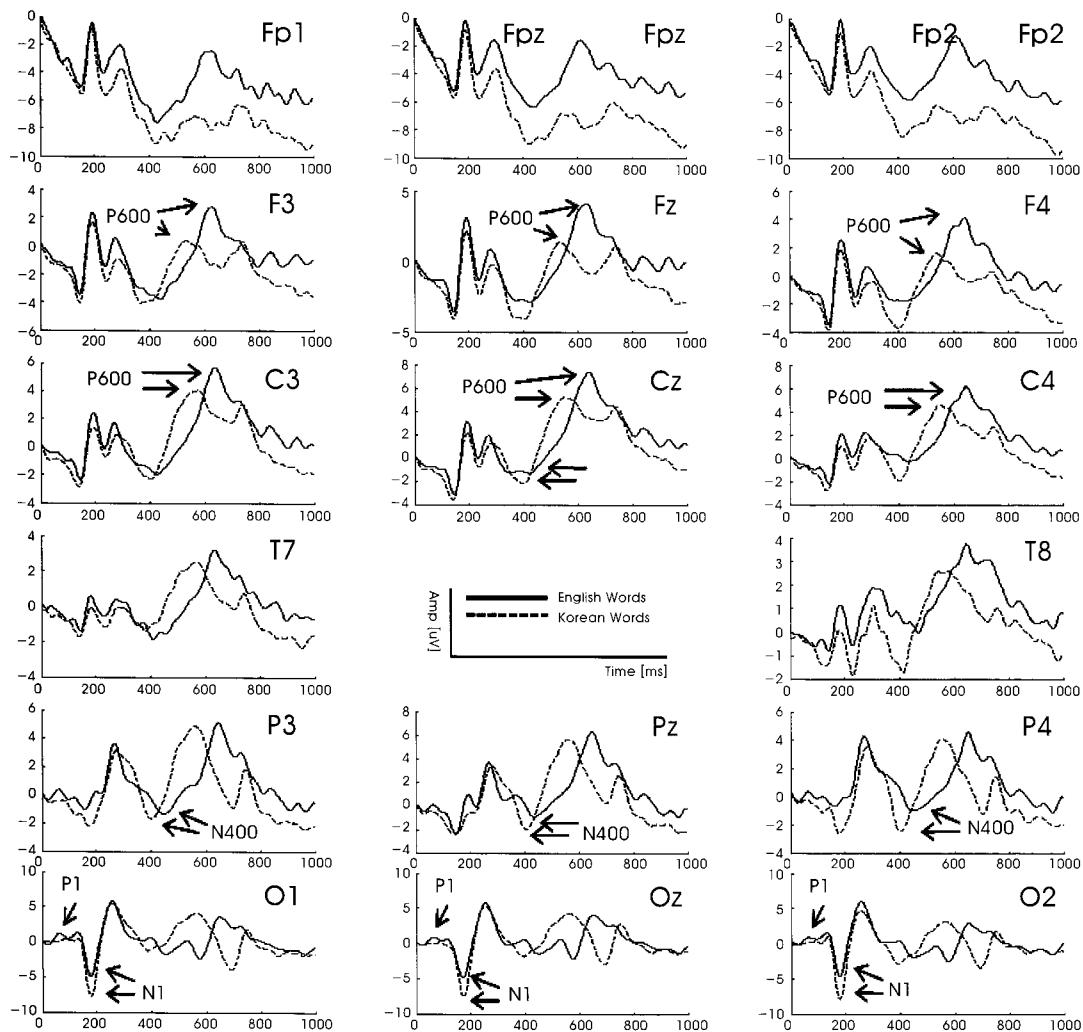


그림 2. 주요 17전극 채널에서 관찰한 두 번째 단어 인지 시의 평균 ERP 파형 (단어 쌍 내 두 단어가 서로 다른 범주에 속하는 경우).
Fig. 2. Grand average ERP waveforms at 17 representative electrodes for the period of perceiving the second words in word pairs of two different categories.

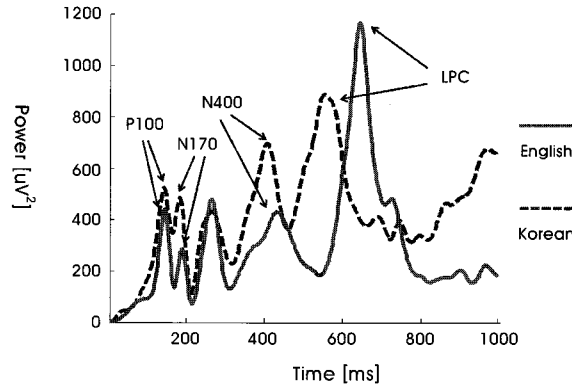


그림 3. 단어 쌍 내 두 단어가 서로 다른 범주에 속하는 경우 두 번째 단어 인지 시 평균 ERP 파형의 global field power (GFP).
 Fig. 3. Global field power (GFP) of grand average ERP waveforms for the period of perceiving the second words in word pairs of two different categories.

적, 공간적 발생특성을 확인하고 이로부터 주요 ERP 요소들을 규명하였다. 각각의 ERP 요소들이 관찰된다고 판단되는 시간적 구간 내에서의 파형 크기(amplitude)의 평균값을 계산하여 각각의 ERP 요소의 크기를 구하였다. 또한 이러한 시간적 구간 내에서 정점(peak)이 관찰되는 시간을 각 요소의 잠복기(latency)로 정의하였다. ERP 요소의 크기 및 잠복기를 한글과 영어 제시 조건 간 비교하기 위하여 쌍표본 T검정 (paired sample t-test)를 수행하였다.

C. Evoked Gamma Band Activity (eGBA) 분석 방법

시간에 따른 감마대역 스펙트럼 특성의 변화를 관찰함으로써 eGBA가 발생하는 시점을 확인하기 위해 자극 제시 후 1000 ms 동안의 평균 ERP 파형으로부터 short-term Fourier transform (STFT, 1024 point FFT, 80 point Hanning window, 79 point overlap)을 수행하여 시간 - 주파수 특성을 관찰하였다. eGBA의 분석을 위해 자극 제시 후의 시간 - 주파수 분포로부터 자극 전 200 ms 동안의 평균 스펙트럼을 빼어 표준화한 후 관찰하였다. eGBA의 크기 및 잠복기를 정량적으로 비교하기 위하여 25 Hz - 45 Hz 대역파워 및 이 파워가 최대값을 갖는 시간을 70 - 150 ms 구간에서 계산하였다. 이와 같이 얻어진 eGBA 파워 및 잠복기를 쌍-표본 T검정(paired t-test)을 통하여 분석하여 언어에 따른 통계적으로 유의한 차이가 발생하는지의 여부를 확인하였다.

III. 결과

한글에 대한 응답시간이 영어에 대한 응답시간보다 통계적으로 유의하게 빠른 것으로 확인되었다(한글: 357.58 ± 57.94 ms, 영어: 429.22 ms ± 74.15 ms, t = 6.70, p < 0.0001). 그러나 두 언어 간 정답율에 대해서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다(한글: 94.5 ± 14.2%, 영어: 94. ± 2.9%, t = 0.89, p = 0.388).

그림 2는 한글과 영어 단어가 제시되었을 때 N400이 발생하는 범주 부적합 조건에서의 12명 피험자의 평균 ERP 파형을 주요 17개 채널(Fp1, Fpz, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2, T7, T8)에서 도시한 결과이다. 17개 주요 채널의 대부분에서 N1요소와 N400요소가 관찰되었으며 전반적으로 한글과 영어 조건 간 차이가 보였다. 그림 3은 평균 ERP파형으로부터 얻은 한글과 영어 단어 제시 조건간 GFP를 보여주고 있다. 그림 2의 평균 ERP파형의 공간적 분포로부터 각각의 ERP요소가 현저하게 발생하는 공간적 위치를 파악하고 그림 3의 GFP의 정점(peak)을 기준으로 각 ERP요소가 현저하게 발생하는 시간구간을 정의하였다(표 1 참조). 표 1에 제시된 바와 같이 각각의 ERP요소들이 현저하게 발생하는 것으로 파악된 영역에서 대표전극들을 선정하여 이 전극들에서의 ERP 크기 및 잠복기를 통계적으로 분석하였다.

한글 - 영어 간 P1요소의 크기 및 잠복기는 Oz에서 통계적으로

표 1. 한글과 영어 단어 인지 시 관찰되는 각 ERP요소의 시간적, 공간적 특성.

Table 1. Spatial and temporal characteristics of the ERP components observed during visual perception of Korean and English.

Components	Region	Electrode for analysis	Temporal range of latency (ms)	
			Korean Words	English Words
P1 (P100)	Occipital	Oz	125~145	125~145
N1 (N170)	Parietal, Occipital	Oz	160~190	160~190
N400	Central, Parietal	Pz	350~450	400~550
P600 (LPC)	Frontal, Central	Fz	550~650	600~700

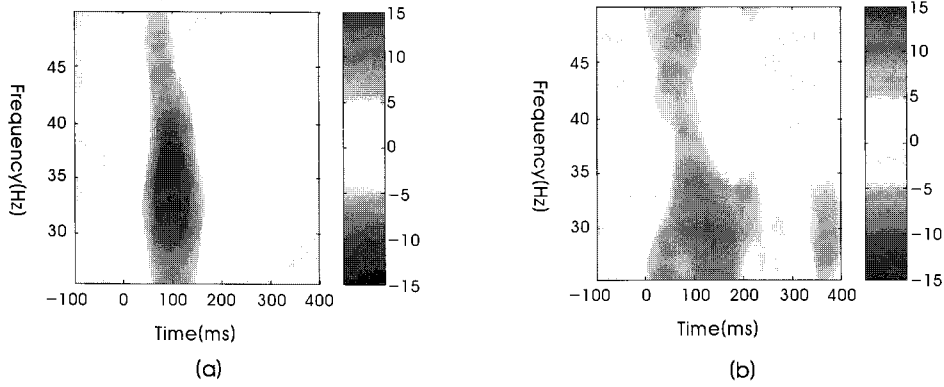


그림 4. Pz전극에서 관찰된 단어 쌍 내 두 단어가 서로 다른 범주에 속하는 경우 두 번째 단어 인지 시의 eGBA 시간-주파수 분석결과 (a) 한글, (b) 영어.
 Fig. 4. Time-frequency analysis of the eGBA during the period of perceiving the second words in word pairs of two different categories. (a) Korean, (b) English.

유의한 차이를 보이지 않았다 (P1 크기: $t = -0.74, p = 0.739$, P1 잠복기: $t = 0.32, p = 0.801$). Oz에서 분석한 결과 N1의 크기는 영어보다 한글에서 통계적으로 유의하게 컸으나 잠복기의 차이는 없었다. (N1 크기: $t = -3.26, p = 0.008$, N1 잠복기: $t = -1.00, p = 0.102$).

Pz에서 분석한 N400요소의 잠복기는 한글보다 영어에서 유의하게 지연되었으며 N400요소 크기 상의 차이는 관찰되지 않았다. (N400 크기: $t = -3.93, p = 0.002$, N400 잠복기: $t = -0.44, p = 0.142$). Fz 전극에서의 분석한 P600의 크기는 한글보다 영어에서 더 크게 관찰되고 잠복기는 한글보다 영어에서 지연되어 관찰되었다 (P600 크기: $t = -3.34, p = 0.007$, P600 잠복기: $t = -2.24, p = 0.044$).

17개 주요 전극 중 가장 큰 eGBA의 활성화가 관찰된 Pz에서 한글과 영어단어 제시 조건 하에서의 시간주파수 분석 결과를 그림 4에 도시하였다. 두 조건 하에서 모두 100 - 200 ms를 중심으로 강한 eGBA가 관찰되었다. eGBA의 잠복기 및 크기를 통계적으로

분석한 결과 한글에 대한 잠복기가 영어에 비해 유의하게 빨랐으며(한글: 91.42 ± 10.74 ms, 영어: 110.50 ± 23.57 ms, $t = -2.984, p = 0.010$) eGBA의 크기는 한글에 대해 유의하게 큰 것으로 확인되었다 ($t = 2.731, p = 0.020$). 그림 5는 전체 주파수 대역에서의 시간주파수 분석 결과를 도시하고 있다. 전반적으로 gamma 대역이 아닌 다른 대역에서는 언어 간 차이가 현저히 관찰되지 않았으며 따라서 그림 4에서와 같이 gamma 대역만을 자세히 관찰했을 경우에 언어 간 차이가 더욱 현저하게 관찰됨을 알 수 있다.

IV. 고찰

P1요소에 대하여 한글과 영어 자극에 대한 크기 및 잠복기의 차이가 관찰되지 않았다. 이는 한글, 영어, 한자 단어의 시각적 제시에서 P1요소의 크기가 언어 종류에 영향을 받지 않았다는 선행연구들과 일치하며 [2,5,6,9] P1요소가 시각중추 경로에서의 초기 정보처리 단계를 반영하며 단순히 시각적 입력의 공간적 패턴분석

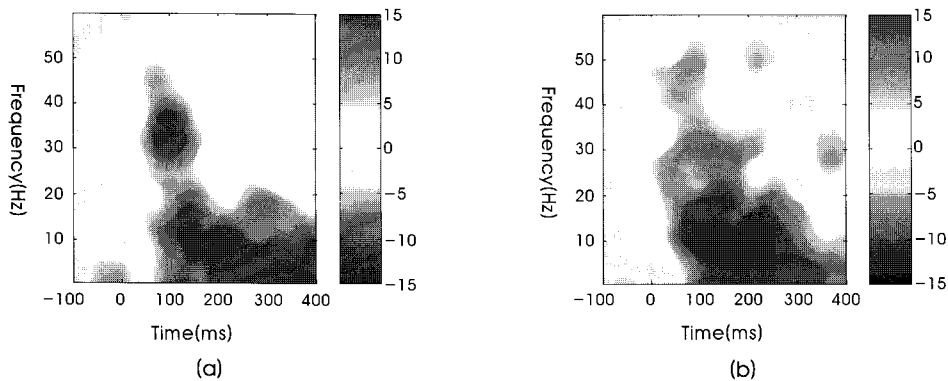


그림 5. Pz전극에서 관찰된 단어 쌍 내 두 단어가 서로 다른 범주에 속하는 경우 두 번째 단어 인지 시의 전체주파수 대역에 대한 시간-주파수 분석결과 (a) 한글, (b) 영어.
 Fig. 5. Time-frequency analysis for overall frequencies during the period of perceiving the second words in word pairs of two different categories. (a) Korean, (b) English.

과정에 관여하는 활동이므로 언어 간 차이가 관찰되지 않는 것이 타당한 것으로 판단된다. 두정엽 및 후두엽에서 약 160 - 190 ms에서 현저하게 관찰되는 N1요소는 한글에 대해 유의하게 큰 특징을 보였으며 N1요소는 단어가 형태를 시각적으로 지각하는 과정에 해당되며 아직까지 의미적 처리과정에 미치지 못한 것으로 해석된다. 본 연구의 피험자들에 대해서는 한글에 대한 친밀도가 훨씬 더 크며 이에 따라 N1요소의 크기가 한글에서 더 크게 관찰되었다고 추정할 수 있으며 다른 종류의 언어를 사용한 선행연구들에서도 친밀도가 높은 언어에서 N1요소의 크기가 크다는 것이 보고된 바 있다[15,16].

N400요소의 언어 간 차이를 분석한 결과 N400 잠복기가 한글에서 유의하게 빠른 것으로 확인되었다. 최근 Moreno 등이 제시한 모국어와 외국어 단어인지 과정의 비교 연구에서 N400 잠복기 및 응답시간이 외국어에 대하여 지연되었고 N400 크기 자체는 유의한 차이를 보이지 않았던 결과와 부합된다 [8]. 이는 외국어 단어 인지 시의 복잡도, 난이도의 증가로 인하여 인지과정이 지연됨으로 인한 것으로 해석할 수 있으며 다른 여러 관련 연구들에서도 확인되고 있다 [2,7,9]. N400요소는 의미적 처리과정을 반영하므로 응답시간과 더불어 N400 잠복기가 영어에서 지연된 것으로 확인된 본 연구 결과는 숙련도가 높고 친밀도가 낮은 한글에 대하여 보다 빠르게 의미적 처리과정이 수행되었음을 의미하는 것으로 해석할 수 있다. 반면 N400 요소의 크기 자체에서는 언어에 대한 유의한 차이가 확인되지 않았으며 이는 피험자들 대부분이 한글과 영어단어의 의미를 인지하는 과정에서의 뇌활성화 강도가 비슷하였음에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. 이는 본 연구에서의 행동 반응 측정 결과 한글과 영어단어 제시 시 정답률 자체에 있어서는 유의한 차이가 없었던 본 연구의 결과와도 부합되는 것으로 설명할 수 있다.

500 - 700 ms의 후기 시간대에 전두부 (frontal region) 및 중앙부 (central region)을 중심으로 관찰된 P600요소는 크기가 영어에 대해 유의하게 컸으며 한글에 대해 유의하게 빠른 잠복기를 보였다. 선행연구들에 의하면 P600요소는 장기간 기억에 기반을 둔 입력 정보의 정밀한 처리과정으로 기억의 재조합과 재집합 과정을 반영하는 것으로 알려져 있다[1,2]. 이는 단어의 의미적 통합에 관한 처리가 보다 덜 친숙한 언어에 대해 지연되는 현상이 P600의 잠복기에 영향을 미친 것으로 해석할 수 있으며 이미 단어의 의미적 통합과정이 끝난 뒤 재분석 과정이 영어에 대하여 보다 강도 높게 이루어졌음에 기인하는 것으로 추정할 수 있다.

eGBA는 시각적 혹은 청각적 자극 후 100 ms 근처에서 발생하는 것으로 알려져 있으며 초기 감각 대뇌영역에 의한 감각정보의 일차적 처리를 반영하는 것으로 해석된다. 여러 언어 간 eGBA의 발생 특성을 비교한 논문은 아직 없었다. 여러 레벨의 난이도를 갖는 시각자극의 분별 실험 수행 시 eGBA를 관찰한 결과 보다 쉬운 난이도에 대하여 eGBA의 파워가 크고 발생시간이 빠르다는 보고가 있다[13]. 시각적 언어처리를 위해서는 여러 단계의 대뇌정보

처리 과정들이 관여하며 관련된 여러 신경세포 및 이들 간의 네트워크들 간 정보통합을 필요로 한다. 뇌전위 중 감마대역 리듬 성분은 이러한 정보통합 과정을 반영하는 것으로 알려져 있으며 eGBA 관찰 결과, 한글에 대하여 eGBA의 파워가 크고 발생시간이 빠르다는 통계적으로 유의하게 확인되었다. 이는 한글 단어 쌍의 범주를 판단하는 것보다 영어 단어 쌍의 범주를 판단하는 과정의 난이도가 크다는 사실과 언어 간 응답시간 차이와 N400의 잠복기 차이를 고려할 때 한글 인지 시의 작업난이도가 eGBA 상에 뚜렷하게 반영되며 작업난이도를 반영하는 뇌파 상의 지표로써 eGBA가 효과적으로 사용될 수 있음을 의미한다.

종합적으로 이상의 연구결과들은 언어 처리의 난이도 증가에 따라 자극 파와 및 기억검색작동, 인지과정 등의 대뇌정보처리 과정이 뇌전위에 반영됨을 의미하는 것으로 해석될 수 있다. 정상인과 치매환자에 대하여 작업난이도를 변화시키면서 oddball 작업을 수행시킨 결과 P300 등 ERP 요소의 크기 및 발생시간의 차이가 정상인과 치매환자에 대해 다르게 나타남을 확인한 선행 연구 [17]를 고려할 때 본 연구에서와 같이 언어처리 과정의 난이도 난이도를 변화시키면서 언어인지 작업을 수행할 때 발생하는 ERP 및 EEG의 gamma-band 스펙트럼을 관찰하는 것은 난이도 변화에 따른 단기 기억, 주의집중 등의 언어처리 관련 인지기능의 변화를 이해하는데 도움이 될 것이며 추후 신경질환에 따른 언어 인지 과정의 변화를 분석함으로써 임상적으로도 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

서로 같은 범주 혹은 서로 다른 범주에 해당되는 사물을 나타내는 두 개의 단어 쌍으로 구성된 자극을 시각적으로 제시하여 N400 요소가 발생되도록 유도하여 측정된 뇌파로부터 평균 ERP요소 파형분석 및 유발 감마대역활동 (eGBA)의 분석을 수행하였다. N400 및 초기 시각반응에 해당하는 P1, N1 등과 후기 정보처리 과정을 반영하는 P600 등의 ERP 요소들이 두 언어에서 모두 발생함을 확인하였으며 초기의 시각인지 과정을 반영하는 N1요소의 크기는 한글에서 영어보다 큰 것으로 관찰되었다. 또한 응답 시간 및 N400 요소의 잠복기(latency)가 영어 인지 시 현저하게 지연됨을 관찰하였다. 한글에 eGBA의 발생시간이 영어에 대해서 보다 빠르고 활성화 정도도 크다는 사실이 통계적으로 확인되었다. 이러한 결과들은 전반적으로 한국인 피험자들의 각 언어에 대한 친밀도 및 숙련도, 작업난이도를 반영하는 것으로 해석될 수 있다.

참고문헌

- [1] P. Hagoort, "Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations", *J. Cog. Neurosc.*, vol. 15, pp.883899, 2003.
- [2] J. W. King, M. Kutas, "Neural plasticity in the dynamics of human

- visual word recognition”, *Neurosci. Lett.*, vol. 244, no. 2, pp. 14, 1998.
- [3] H.A. Barber, M. Kutas, “Interplay between computational models and cognitive electrophysiology in visual word recognition”, *Brain Res. Rev.*, vol. 53, no. 1, pp.98-123, 2007.
- [4] J.T. Baker, A.L. Sanders, L. Maccotta, R.L. Buckner, “Neural correlates of verbal memory encoding during semantic and structural processing tasks”, *NeuroReport*, vol. 12, no. 6, pp.287-295, 2001.
- [5] M. Kutas, S. A. Hillyard, “Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity”, *Science*, vol. 207, no. 4427, pp.203205, 1980.
- [6] J.J. Kim, M.S. Kim, J.S. Lee, D.S. Lee, M.C. Lee, J.S. Kwon, “Dissociation of Working Memory Processing Associated with Native and Second Languages: PET Investigation”, *NeuroImage*, vol. 15, no. 4, pp.879-891, 2002.
- [7] S. Fu, Y. Chen, S. Smith, S. Iversen, P. M. Matthews, “Effects of word form on brain processing of written Chinese”, *NeuroImage*, vol. 17, no. 3, pp. 1538-1548, 2002.
- [8] E.M. Moreno, M. Kutas, “Processing semantic anomalies in two languages: an electrophysiological exploration in both languages of SpanishEnglish bilinguals”, *Cognitive Brain Research*, vol. 22, no. 2, pp.205-220, 2005.
- [9] K.H. Kim, J.H. Kim, “Comparison of spatiotemporal cortical activation pattern during visual perception of Korean, English, Chinese words: An event-related potential study”, *Neurosci. Lett.*, vol. 394, no. 3, pp.227-232, 2006.
- [10] A. Hahne, “What’s Different in Second-Language Processing? Evidence from Event-Related Brain Potentials”, *J. Psycholinguistic Res.*, vol. 30, no. 3, pp.251-266, 2001.
- [11] K.H Kim, J.H Kim, “Analysis of induced gamma-band activity in EEG during visual perception of Korean, English, Chinese words”, *Neurosci. Lett.*, vol. 403, no. 3, pp.216-221, 2006.
- [12] L.A. Hald, M.C. Bastiaansen, P. Hagoort, “EEG theta and gamma responses to semantic violations in online sentence processing”, *Brain Lang.*, vol. 96, no. 1, pp.90-105, 2006.
- [13] D. Senkowski, C.S. Herrmann, “Effects of task difficulty on evoked gamma activity and ERPs in a visual discrimination task”, *Clin. Neurophysiol.*, vol. 113, no. 11, pp.1742-1753, 2002.
- [14] A. Posada, E. Hugues, N. Franck, P. Vianin, J. Kilner “Augmentation of induced visual gamma activity by increased task complexity”, *Eur. J. Neurosci.*, vol. 18, no. 8, pp.2351-2356, 2003
- [15] G. Xue, T. Jiang, C. Chen, Q. Dong, “Language experience shapes early electrophysiological responses to visual stimuli: The effects of writing system, stimulus length, and presentation duration”, *NeuroImage*, vol. 39, no. 4, pp.2025-2037, 2008.
- [16] J.J. Peissig, J. Singer, K. Kawasaki, D.L. Sheinberg, “Effects of long-term object familiarity on event-related potentials in the monkey”, *Cereb. Cortex*, vol. 17, no. 6, pp.1323-1334, 2007.
- [17] J. Polich, J. Corey-Bloom, “Alzheimer’s disease and P300: review and evaluation of task and modality”, *Current Alzheimer Research*, vol. 2, no. 5, pp. 515-525, 2005.