

ERP로 확인된 한국어 문장 이해과정에서의 통사 및 의미 처리특성 연구¹⁾

김충명*, 이경민†

*고려대학교 행동과학연구소

† 서울대학교 의과대학 신경과학교실/서울대학교대학원 인지과학협동과정
czykim@korea.ac.kr

Syntactic and Semantic Integration Processes during Korean Sentence
Comprehension: using ERPs as an neurophysiological index

Choong-Myung Kim*, Kyoungmin Lee□

*Behavioral Science Research Center, Korea University

† School of Neurology, College of Medicine, Seoul National University / Graduate Program of Cognitive Science,
Seoul National University

요 약

본 연구는 머리어-후행언어(head-final language)로 분류되는 한국어의 통사 및 의미 처리 과정의 언어간(cross linguistic) 일반성과 언어내(intra-language) 특이성을 ERP (event-related potentials) 실험결과를 통해 알아보 고자 하였다. 한국어 문장처리 과정에서의 통사 및 의미 처리특성은, 우선 이들을 지표하는 각각의 오류문을 통해 P600과 N400 이라는 언어일반의 처리과정을 보이면서도 각 성분의 영역분포는 오류가 출현된 위치에 따 라 분기하고 있음을 관찰할 수 있었다. 곧, 문미위치의 술어오류에서 중심-두정 부위의 활성화 우세로 각 오류 간 영역분화를 보이는 패턴을 새롭게 확인하였다. 이로써 오류의 유형별 재분류과정으로 드러난 오류출현 위치 가 오류의 유형 내에 영향을 끼치는 한 변수가 될 수 있으며, 이는 이들 보어 및 술어를 구성하는 고유의 범주 특성으로 해석할 수 있는 근거가 될 수 있음도 아울러 확인하였다.

1. 서 론

한국어는 머리어-후행(head-final) 언어로 분류된다. 이러한 특징은 머리어-선행(head-initial) 언어의 처리과 정과는 다른 통사 및 의미처리 특성을 가지리라는 가정을 가능하게 한다. 본 연구는 ERP(event-related potentials) 실험을 통해 이 과정을 검증하면서 아울러 언어간 처리의 공통성 혹은 일반성도 고찰하고자 하였다. 유형이 다른 언어간에는 특정 처리단위의 개념화 과정 등 공유할 수 있는 측면도 있지만 형식적 차이에서 비롯하는 개별성이 나타나기 마련이다. 그런데 이러한 특성을 검증하는 데는 기존의 실험심리학적 설계 외에 자극 자체의 속성에 주의를 기울이도록 하는 설계가 필요하다. 따라서 예의 실험방법으로는 실시간 처리중(online processing)의 심리과정(mental process)에 접

근하기 어려운 측면이 있다. 이를 위해 본고에서는 신경과학적 방법론에 입각한 ERP 지표를 통해 논란이 되는 문제들을 확인해 보고자 한다.

2. 본 론

먼저 언어처리과정 내의 통사적, 의미적 처리간 해리(dissociation) 현상이 기존의 구미어에서 확인된 ERP 지표와 동일하게 나타나는지를 알아본다. 동시에 한국어 특징 중의 하나로서 문미 술어의 최종 확인과정 이후에 통사·의미 구조의 적절성이 판단되는 문장 이해 방식의 고유성을 관찰하기 위해 기존의 언어이해과정에서 판단 기준이 되어 온 오류제시 방식(violation paradigm)의 유형을 재검토하였다. 동일 종류의 오류라 하더라도 보어(complement) 및 술어(predicate) 위치에서 각기 달리 나타날 수 있다는 것이다. 즉, [주어-보어] 결합이 선호되는 술어위치의 문미오류와 [주어-술

1) 본 논문은 김충명(2003) 박사학위논문 중 일부임.

어] 결합이 우세한 보어위치의 문중오류로 분류될 수 있다는 것이다.²⁾ 이는 통사 및 의미오류의 유형별 차이에서 비롯하는 처리내용 간 개별성 외에도 특정한 오류 내의 해당 오류 위치별 특성도 문장 이해과정에 적절히 반영되리라는 생각에서다. 우선, 논항결합시 하위범주화(sub-categorization) 요건과 선택제한(selectional restriction)을 위배하는 경우를 각각 통사 및 의미오류로 상정한 후, 각 오류 내에서도 문장성분 위치별 오류를 다시 분류하여 이들 조건간의 실시간 처리과정을 시간추이적 관점에서 분석하였다.

2.1 오류문 구성을 위한 행동반응 실험설계

실제로 문장 처리과정의 조건화된 오류를 구성하는데 있어서, 동일조건 내에 위치별 혼재오류는 물론, 오류간 경계를 넘나드는 메타오류를 배제하지 않으면 안 된다. 50명의 대학생을 대상으로 사전 평정을 하였는데, 술어오류로 보이는 '어제 말썹꾸러기 동생을 혼났다'에서는 보어오류('동생을' -> '동생이')의 지적 보다는 술어오류('혼났다' -> '혼냈다')를 지적한 경우가 더 많았고[27%:73%], 보어오류로 설정된 '임신부의 흡연은 태아를 해롭다'에서도 술어오류('해롭다' -> '해롭게 한다')보다는 보어오류('태아를' -> '태아에게') 쪽으로 편중[25:75] 되는 경향을 보여 예상되는 오류와 부합되는 결과를 보였다.

그러나 위의 결과처럼, 동일 문장 내에 동일 종류(통사오류)의 오류가 보어와 술어 양쪽으로 나타날 개연성이 있지만 어느 한 쪽으로 기울어 편향성 혹은 우세성을 보인 예와는 달리, '이 TV프로는 유아에게 좋아한다'의 경우는 당초의 술어오류 설정의 취지와는 달리, 보어오류('유아에게' -> '유아들이')와 술어오류('좋아한다' -> '좋다')가 백중[43:57]한 결과의 예들이 나타남으로써 오류유형(통사오류) 및 그 토큰(보어의 조사 및 술어의 접사/어미)에 대해 특정한 한 조건으로의 구성이 적절치 못하다는 사실이 밝혀졌다.

특히 애초의 기대와는 달리 오류 유형간 혼재 현상도 발견되어 메타 오류로까지 확장된 예도 있었다. '가출한 동생이 돌아와서 궁금하다' 혹은 '나는 주말이면 집에 나간다' 등의 경우는 '돌아왔는지', '집을/집에서'처럼 통사 처리관련 보어오류를 상정 했지만, '좋다/기쁘다', '있

는다/없다' 등의 의미처리 관련 술어의 교체현상도 함께 나타났다는 점을 주목하지 않을 수 없었다. 마찬가지로 의미오류에서도 보어 및 술어에서의 오류 역전은 물론, 오류간 혼재 현상도 확인할 수 있었다. 요컨대 특정오류 내의 위치 가변성은 동일 오류로 묶일 수 있는 반면, 상기 예와 같은 오류 내 동일성을 넘어 오류종류간 혼재 현상을 보이는 경우는 오류의 조건화를 왜곡할 수 있는 여지가 있어 문장의 오류 구성 시 배제해야 할 최우선 고려 사항임을 확인하였다.

따라서 본 실험에서는 동일 오류의 경우를 제시 단기간 어휘의미의 결합정도를 기준으로 [주어-보어]간 친숙성 내지 고빈도의 결합관계를 보이는 경우는 술어 교체의 문미오류로, [주어-보어]³⁾간 결합관계의 괴리 또는 부적절성이 드러나면 보어 교체의 문중오류⁴⁾로 분류하여 실험을 진행하였다.

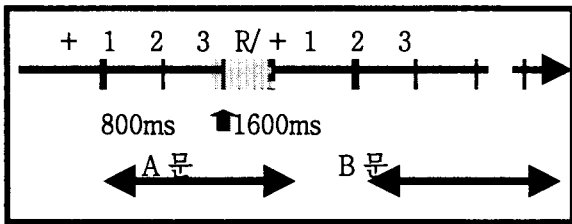
2.2 ERP 실험방법 및 절차

15명의 재학중인 대학생(남7, 여8; 평균나이 26.06세, SD 5.82)이 실험에 참가하였다. 이들은 모두 오른손잡이였으며 정상 및 교정시력 정상의 한국어 모국어 화자였다. 특별한 신경학적, 정신과적 병력이나 소견은 없었다. 두피전극은 전도율이 높은(impedance <5kΩ) 은으로 만들어졌으며, 전극의 위치는 국제표준 10/20 system에 의거하여 19개의 두피 전 극이 좌/우 유양돌기 에 부착된 기준전극(reference electrode)과 연결되었고, 이를 실시간 평균화한 값과 의 차이로 계량화하여 해당전극의 전위치로 측정하였다. 문장을 한꺼번에 제시하는 것과는 달리, 본 실험의 어구 단위 제시 방식은 감각자극에서의 시각적 활성화라는 초기 패턴 및 작업기억 관련부분을 제외하고는, 마치 청각적 제시방식과 그 처리과정의 동일성을 전제할 수 있는 방식을 채택하였다. 이는 문장제시 방식이 갖는 하향식(top-down) 문맥주도의 처리방식과는 달리, 문미에 머리어가 출현하는 한국어의 특성 때문에 자료주도적인 상향식(bottom-up) 처리방식에 가깝게 진행될 것이라는 가정이 작용한 측면도 있다. 자극제시방법을 도해하면 아래와 같다.

2) 오류배치 방식의 예외분류

- [정상] 나는 아들에게 책을 건넸다
- [통사오류] 나는 아들에게책 건넸다(보어오류). / 나는 아들에게 책을건네(술어오류)
- [의미오류] 나는 아들에게책을건넸다(보어오류). / 나는 아들에게 책을받았(술어오류)

- 3) 이 유형의 오류에서는 실시간 처리과정 진행 시 술어가 나타나기 직전이므로 [주어-술어]간 결합관계의 정상성을 논할 수는 없으며, 다만 주어와 보어간 [주어-보어]? 와 같은 예외성 또는 최소성을 기준으로 의문을 가질 수는 있으나 확정적인 단계는 아닌 것이다.
- 4) 본 논문에서 언급된 오류의 위치특성에서 문중 및 문미의 기준은 문어형태로 제시된 문장의 기본어순상의 보어 및 술어의 형태만을 지칭하며, 도치문처럼 구어적으로 가능한 문중 및 문미의 위치를 의미하지는 않는다



[그림 1] 자극제시순서 도해

2.3 결과 및 논의

실험결과, 오류문에서 정상문에 상대적인 각 오류의 특성이 반영된 ERP 지표를 확인하였다. 이는 오류의 본질적 특성이 언어간에 다르지 않음을 반영하는 결과라 하겠다. 먼저 통사오류에서는 중심선(medial line; Fz-Cz-Pz)을 따라 좌우로 분포하는 P600⁵⁾성분을 확인할 수 있었다. 그리고 의미처리 과정에서는 중심-두정엽 부위의 N400성분을 확인 하였다.

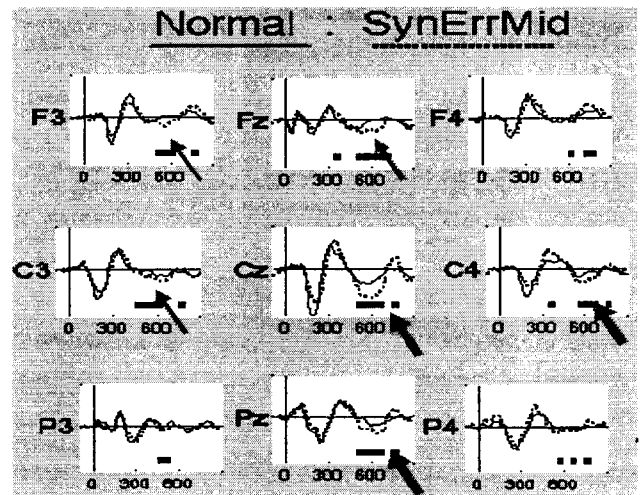
아래 그림들에는 오류처리 유형별 출현성분의 ERP 파형 및 특정 성분의 영역별 분포가 나타나 있다.

먼저, 통사처리 관련 성분으로 알려져 SPS(syntactic positive shift)로도 불리는 P600의 오류 위치별 ERP 파형이 제시되어 있다(그림 2, 3). 동일한 정상문에 비해 통사오류의 기본적 특성인 P600의 출현과 분포를 확인할 수 있다. 그러나 동일한 성분의 위치분포는 다르다고 할 만한 특징이 나타난다. 이를 정량적으로 확인하기 위한 당해 성분의 신경신호원 위치추적을 위해 LORETA⁶⁾의 뇌 지도화(topographical mapping) 작업 결과를 함께 제시하였다(그림 4). 아래의 그림에서 볼 수 있듯이 오류 위치별 전위지형도 상의 활성화 중심부위 분포는 서로 일치하지만, 보어 위치의 오류(그림 2.)에 비해 술어 위치의 통사오류 (그림 4.)에서는 좌측 전두-측두 (frontal-temporal)의 차별적 활성화를 볼 수 있으며(그림 4의 점선구역), 이는 실제 3차원 피질 활성화 영역(그림 4의 맨 우측)에서도 확인할 수 있다.

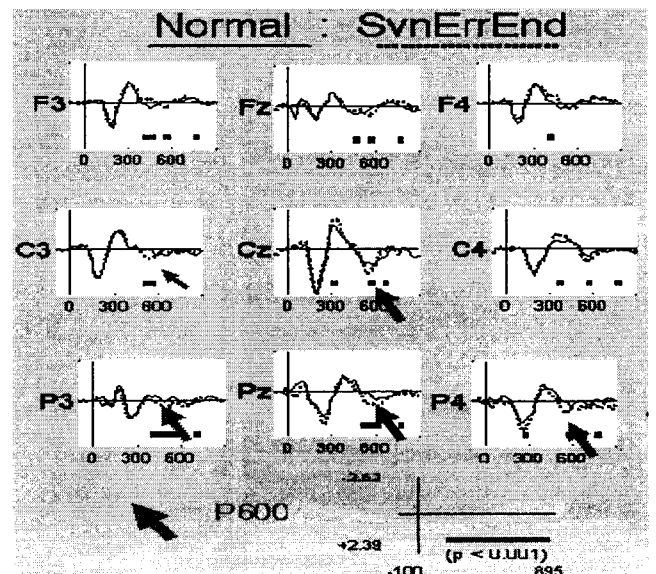
이를 통해 오류의 유형별 재분류과정으로 드러난 오류출현 위치가 오류의 유형 내에 영향을 끼치는 한 변수가 될 수 있음을 확인하였다. 이는 이들 보어 및 술어를 구성하는 고유의 범주특성으로서, 각각 명사가 주종을 이루는 체언류와 동사 및 형용사 구성의 용언류

관련 단어 처리과정으로까지 확대 해석할 수 있는 근거가 될 수 있다. 이는 명사와 동사의 단어 단위의 품사별 처리과정을 연구한 많은 문헌들에서 이들 처리과정간 분리현상 등이 보고[6, 7]된 예를 통해 추론할 수 있다.

한편, 통사처리와 관련된 실험에서 구구조 구성단계의 초기성분[2, 4] 으로 자주 거론되는 LAN (left anterior negativity)은 확인할 수 없었다. 이는 구절구조상의 결합오류를 배제한 실험조건화 과정에서 기인했거나 작업기억의 부담경감으로 해석할 수도 있지만, 술어 출현전의 구 단위에서는 통사기능의 오류를 확인하기 어려운 머리어-후행언어의 특징을 가진 한국어 단문처리의 한 특성으로 볼 수 있다.

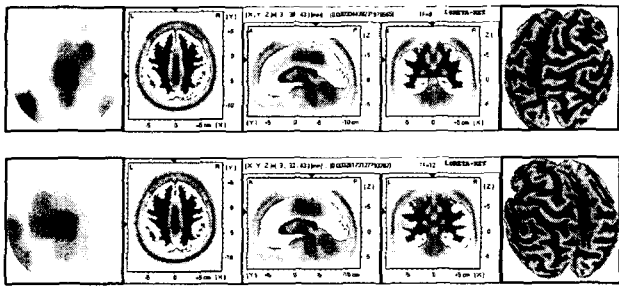


[그림 2] 정상문장과 문중(보어)통사오류(SynErrMid) 문장의 주요 전극위치 별 ERP파형



[그림 3] 정상문장과 문미(술어)통사오류(SynErrEnd) 문장의 주요 전극위치 별 ERP파형

5) P600: 자극제시 후 600ms를 전후하여 나타나는 양극성 파형의 정점(positive peak), N: negative peak
 6) LORETA는 전체 뇌 용적(brain volume)에 걸쳐 전류 밀도(current density)를 직접적으로 추정하는 방법으로서, 유일한(unique solution)을 위해 주변 뉴런 집단들의 동기 활성화(synchronous activation)를 가정한Pascual-Marqui(1994)을 적용, 뇌 내의 3차원 분포를 각 voxel 단위에서의 두피 전위의 선형적인 가중합(weighted summation)으로 계산하게 된다



[그림 4] 통사처리과정의 보어(위) 및 술어위치(아래)에서의 오류관련 영역별 활성화. 차례로 P600성분(area in red)의 전위시정도, 3-plane 영상 및 3D 뇌지정도. 2-3번째 이미지는 해당 ERP 성분의 current density 관련 LORETA 결과임

다음은 의미오류 처리에서의 오류의 출현위치별 ERP 파형 및 활성화분포이다(그림5, 6, 7). 먼저 두 종류의 의미오류 모두 중심-두정(centro-parietal) 영역에서 소위 'N400효과'를 찾아볼 수 있었지만, 보어 의미오류에 비해 술어위치의 의미오류에서의 음극 성분의 활성화는 측두-두정(temporo-parietal) 중심으로 그 분포가 이동[more posterior shift]되어 있음을 알 수 있다(그림 7의 맨좌측 뇌 전위도).

특히, 두 가지 의미오류 모두에서 확인된 STG (BA 22)는 소위 베르니케 영역(Wernicke's area)이라 불리는 통상의 언어이해과정의 의미처리와 관련하여 꾸준히 언급되어 온 영역이다. 이는 전극의 위치만으로는 확인하기 힘들었던 피질 경계간 영역들의 활성화 양상도 함께 관찰함으로써 LORETA를 통한 신경신호원의 위치 정보에 대한 효용성을 확인할 수 있게 되었다(그림 7).

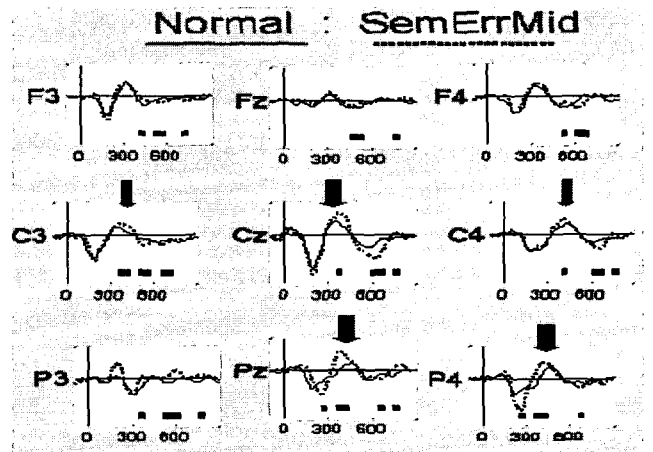
2.4 고찰

오류문 상호간 문장 처리 특성에서는 각 오류의 유형에 따른 ERP 특성 성분 외에도 술어위치의 문미 의미오류에서 P600 성분이, 그리고 보어위치의 문중 통사오류에서 유의미하고 후기 성분(LPC)에 앞서는 초기 'N400'성분(N400-like component)이 발견되었다(그림 8). 이는 차례대로 술어의 출현과 관련된 통사처리과정의 완료단계와 함께, 보어와 관련된 논항 구조 내의 관계속성을 계산하는 어휘-의미 결합 과정 등이 실제 문장처리에 반영되고 있음을 시사하고 있다. 이는 현재 처리중인 오류정보 출현 상황에 대한 술어 주도의 재분석 과정은 물론, 어휘결합 가능성에 대한 의미적 기대(semantic expectancy)를 함께 반영하고 있다는 보고와도 관련된다[3, 8].

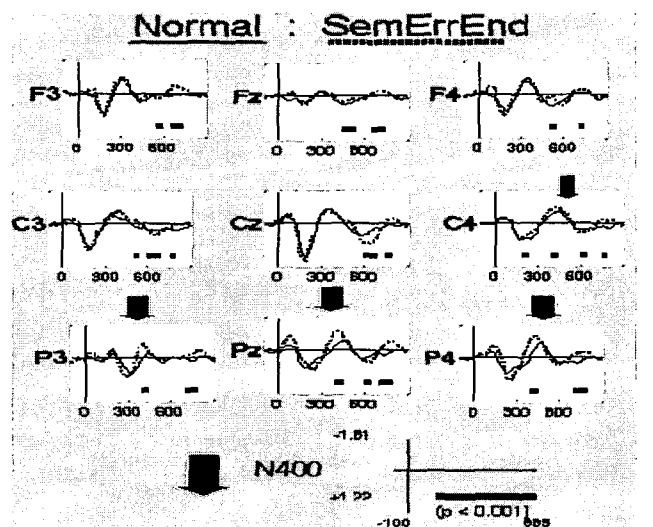
한편, 오류의 유형에 상관없이 통제문장과 대비되는 영역특정적(domain-specific)인 관점에서의 통사 및 의

미오류 문장의 오류처리 자체만의 특성도 확인할 수 있었다. 좌측 두정엽 부위의 오류출현여부 탐지와 관련된 ERP[ERN; error-related negativity]를 들 수 있다[1]. 이 부위에서의 활성화는 오류의 종류를 떠나 오류가 출현하는 조건에서 그 진폭이 우측 동일 위치(right homolog)보다 유의하게 커졌는데, 실제로 우측 두정엽은 오류의 위치에 상관없이 동일한 활성화 수준으로서 변화를 보이지 않아 오류출현에 따른 탐지과정과는 관계없음을 추정할 수 있었다.

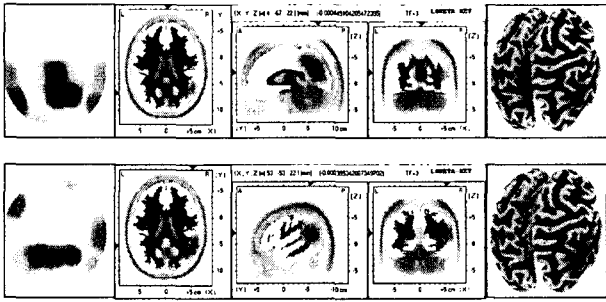
반면, 오류특성에 좌우되는 영역별 차이도 확인할 수 있었다. 즉, 전두엽에서는 통사오류 처리시 유의한 차이의 활성화를 보이지만, 두정엽 부위는 통사 및 의미오류에 관계하는 성분이 모두 나타난다. 이로 보아 전두엽 영역은 의미오류 처리와는 관계가 없이 주로 통사관련 오류처리에만 관련되는 것으로 보였다.



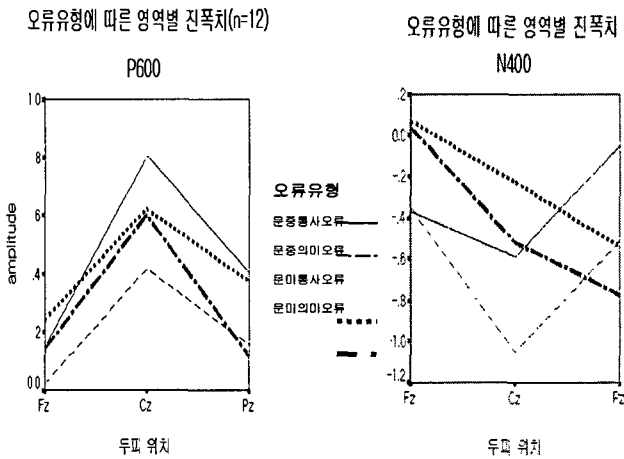
[그림 5] 정상문장과 문중(보어)의미오류(SemErrMid) 문장의 주요 전극위치 별 ERP파형



[그림 6] 정상문장과 문미(술어) 의미오류(SemErrEnd)문장의 주요 전극위치 별 ERP파형



[그림 7] 의미처리과정의 보어(위) 및 술어위치(아래)에서의 오류관련 영역별 활성화. 차례로 N400성분 (area in blue)의 전위지형도, 3-plane 영상, 3D cortical map을 가리킴.



[그림 8] 오류유형 및 출현위치별 ERP 성분의 영역별(Fz-Cz-Pz) 진폭의 비교

마지막으로 오류의 위치에 따른 주요 반응성분의 활성화 영역으로서, 전술한 것처럼 통사 및 의미오류의 경우에, 문미오류시 활성화의 중심영역이 후위 이동하였다는 것이다. 이는 각 오류반응 전체의 개형을 변형시키지 않는 범위 내에서 처리되고 있다는 점에서 오류의 유형자체가 아니라 동일 유형내의 문장 구성성분간 처리의 다양성을 보여주는 동시에, 오류의 출현위치가 해당오류의 처리위치 및 반응시간 및 진폭 등의 ERP 특성에 영향을 끼칠 수 있음을 시사하는 결과라 할 수 있겠다.

3. 결 론

한국어 문장처리 과정에서의 통사 및 의미처리 특성은 우선 이들을 지표하는 각각의 오류문을 통해 P600과 N400이라는 언어일반의 처리과정을 겪는 것으로 보인다. 그러나 이들 각 성분의 영역분포는 오류가 출현된 위치에 따라 분기하고 있음을 확인하였다. 즉, 두 성분

모두에서 문중의 보어오류가 전두-중심-두정 (medial line) 주도의 분포였던 반면, 문미의 술어 오류 에서는 중심-두정부 주변의 활성화로 각 오류간 영역분화를 보이는 패턴을 확인하였다. 이는 이들 특정성분의 전류원 밀도를 계산하는 뇌지형도의 결과를 통해 입증되었다. 이로써 서론부에서 제기한 오류의 유형별 재분류 과정의 필요성이 행동과학적, 인지신경학적 근거를 갖고 있음을 확인시켜 주었음은 물론, 보어 및 술어를 구성하는 고유의 범주특성이 있음도 확인하게 되었다.

참고문헌

- [1] Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S. and Hohnsbein, J.(2000). ERP component on reaction errors and their functional significance: a tutorial, *Biol. Psychol.*, 51, 81-107.
- [2] Friederici, A. & A. Mecklinger (1996). Syntactic parsing as revealed by brain responses. First-pass and second-pass parsing processes. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 157-176
- [3] Kutas, M. and Federmeier, K.D. (2000). Electro-physiology reveals semantic memory use in language comprehension, *Trends Cogn Sci.*, 4, 463-470
- [4] Nobre AC, Allison TA, McCarthy G (1994) Word recognition in the inferior temporal lobe. *Nature* 372:260-263.
- [5] Pascual-Marqui, R.D. et al. (1994) Low Resolution Electromagnetic Tomography: A new method for localizing electrical activity in the brain. *Int. J. Psychophysiol.* 7, 49-65
- [6] Tyler L. K., et al (2004). Neural processing of nouns and verbs: the role of inflectional morphology. *Neuropsychologia* 42, p512-523.
- [7] Tyler, L. K., Russell, R., Fadili, J. and Moss, H. E.(2001). The neural representation of nouns and verbs: PET studies. *Brain* 124, p1619-1634
- [8] Weckerly, J. and Kutas, M.(1999). The interaction of noun animacy and grammatical role in the processing of object relative sentences. Submitted for publication.