

Temporal locus of phonological information processing during Korean visual word recognition: ERP evidence of the irregular words*

Youan Kwon¹, Seonkyoung Lee², Yoonhyoung Lee^{2†}

¹Daegu Catholic University, ²Yeungnam University

The purpose of the current study was to investigate whether phonological information of the visually presented word is activated before lexical access. To do so, the present study compared ERPs of the irregular words and regular words. Since N320 component has been known as an ERP component reflecting grapheme to phoneme conversion, we would expect different N320 waves between irregular and regular words if phonological information is activated before lexical access. As expected, the results showed larger N320 for irregular words than regular words. The present study supported the idea that phonological information is activated from the sublexical level during visual word recognition processing.

Keywords: Korean word recognition, ERP, phonological information, regularity, N320 component

1 차원고접수 18.05.21; 수정원고접수 18.07.16; 최종게재결정 18.07.18

단어재인을 위해서는 표기, 음운, 의미부호의 활성화가 수반되어야 한다(Grainger & Jacobs, 1996; Seidenberg & McClelland, 1989). 이중 음운부호의 활성화와 관련하여서는 음운부호의 활성화가 의미 파악에 필수적인 어휘접근(lexical access) 이전 단계에서부터 이루어지는지 아니면 어휘접근 이후에 이루어지는지에 대해서 많은 연구자들이 관심을 가져왔다(Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001; Frost, 1994). 최근에는 사건관련 뇌전위(ERP)의 측정을 이용한 연구들이 음운부호의 활성화 시점에 대한 다양한 증거들을 제시하고 있는데, 이는 뇌파 측정이 시간적 해상도가 매우 높아 음운부호가 언제 활성화되는지와 같은 논의에 적합한 방법론이며 많은 뇌파 측정 연구를 통해 표기, 음운, 의미부호들의 활성화 시점을 반영하는 특정 뇌파 성분들이 잘 규명되어 있기 때문이다(Carreiras, Armstrong, Perea, & Frost, 2014; Kwon & Lee, 2016). 예를 들어, 표기부호의 처리는 N/P150 성분(Grainger & Holcomb, 2009), 음절

처리 P200 성분(Kwon, Lee, & Nam, 2011), 자소-음소 변환은 N250 성분과 N320 성분(Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 2006; Simon, Bernard, Lalonde, & Rebai, 2006)에 그리고 단어의 어휘접근 및 의미적 처리는 N400 성분(Kutas & Federmeier, 2011)이 반영한다고 알려져 있다.

한국어 단어재인 시 음운부호의 영향과 관련하여서도, 최근에는 뇌파 측정을 이용한 연구가 다양하게 진행되고 있는데 이러한 연구들은 일관되게 음운부호가 단어재인 초기에 자동적으로 활성화된다는 주장을 뒷받침하고 있다. 예를 들어 Kwon, Lee와 Nam(2011)은 음절빈도효과(첫 음절의 사용빈도가 높은 단어가 낮은 빈도의 단어에 비해 어휘판단 시간이 느려지고 오류가 증가하는 현상)가 ERP 성분 중 하나인 P200 성분(자극 제시 후 약 200ms대에 양극방향으로 파형의 정점이 나타나는 성분)에 반영된다는 기존 결과를 이용하여, P200 성분이 표기부호가 아닌 음운부호에 의해 유발

* 이 논문은 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A5A8020283).

† 교신저자: 이윤형, 영남대학교 심리학과, (38541) 경북 경산시 대학로 280, Email: yhlee01@yu.ac.kr

된다는 것을 보여주었다. 또한 한국어 점화과제를 이용한 연구에서도 점화어와 표적어의 발음이 겹칠수록(‘농말’-‘녹말’) 자소-음소 변환과정을 반영하는 N250 성분의 파형이 표기일치 조건(‘녹알’-‘녹말’)이나 무관련 조건(‘적감’-‘녹말’)에 비해 더 크게 나타남을 관찰하였다(Kwon, Nam, & Lee, 2015). 이와 유사하게 점화어를 한 음절만 제시했을 때에도 음운일치 조건(예, ‘총’-‘축망’)이 무관련(‘범’-‘축망’) 및 표기일치 조건(‘축’-‘축망’)에 비해 N250 성분이 더 크게 나타났다(Lee, Kwon, & Lee, 2015).

하지만 이전의 한국어 행동 측정 연구들의 결과는 뇌파 측정 연구의 결과들과는 대조적이다. 예를 들어 Park(1999)은 점화어 ‘가치’와 ‘같이’가 표적어 ‘평가’와 ‘함께’의 어휘판단 시간을 촉진하는지 아닌지를 자극 제시 시간차(SOA)를 변화시켜가며 관찰하였다. 만약 음운부호가 어휘접근 이전에 활성화된다면 짧은 SOA 조건(51ms)에서 ‘같이’와 발음이 동일한 ‘가치’가 ‘함께’의 어휘판단 시간에 영향을 끼쳤을 것이다. 하지만 예상과 반대로 ‘가치’는 ‘함께’의 어휘판단에 영향을 주지 못하였다. 또한 Bae와 Yi(2010)는 점화과제를 이용하여 점화어의 첫 음절의 발음이 표적어의 발음과 동일한 조건(‘승배’-‘숙녀’)과 표기 및 발음일치 조건(‘숙면’-‘숙녀’)을 짧은 SOA 조건에서 비교하였다. 만약 음운부호가 표적어 재인에 영향을 끼친다면 점화어 ‘승배’와 ‘숙면’ 모두 /승-/으로 발음되기 때문에 표적어 ‘숙녀’(/승녀/)를 재인하는데 동등하게 영향을 끼쳤겠지만, 실험 결과는 ‘승배’가 ‘숙녀’의 재인을 억제한 반면 ‘숙면’은 ‘숙녀’의 재인을 촉진시켰다. 행동실험을 이용한 최근의 시각 단어재인 연구들도 이전의 연구들과 유사하게 한국어 단어재인 시 음운정보는 부수적으로 사용되며 주로 표기중심의 처리가 일어난다는 결과들을 보고하고 있다(Tae, Lee, & Lee, 2015). 하지만 Park(2003)과 Tae, Lee와 Lee(2015)가 지적인 바와 같이 한국어 시각 단어재인 시 음운의 역할이 뚜렷하게 나타나지 않는 것은 한국어에서 음운부호가 사용되지 않는다는 것이 아니라 방법론상 상대적으로 역할이 크지 않은 음운정보의 영향을 탐지하기 어려웠기 때문일 수 있다.

따라서 본 연구는 이 가능성을 검증하기 위해 표기-음운 변환(grapheme to phoneme conversion)을 반영한다고 알려진 N320 파형이 발음 규칙성의 정도와 관련 있는지에 초점을 두었다. 우선 N320이 표기-음운 변환과 직접적으로 관련 있다는 증거는 다음과 같다. 각운 찾기 과제(rhyme detection task)를 사용한 Bentin 등(1999)의 연구에서 단어(word) - 유사 비단어(heth) - 비단어(rtgd)를 처리할 때, 단어와 발음이 가능한 유사 비단어에서 발음이 불가능한 비단

어보다 더 큰 N320 파형이 나타났으며, 이 파형은 우반구보다 좌반구 측후두 영역에서 더 우세하게 나타났다. 정상인과 실독증 환자를 비교한 Araújo 등(2015)의 연구에서 정상인 집단의 경우 발음이 가능한 유사 비단어와 비단어의 비교에서 N320 파형의 차이가 극명하게 나타났으나, 실독증 환자의 경우 이 차이가 없었다. 이 결과들은 표기-음운 변환 유무에 따라 N320 출현이 결정된다는 것을 의미한다. 다음으로 표기-음운 변환의 난이도에 따라 N320 파형이 변동한다는 증거는 상대적으로 표기-음운 변환이 어려운 저빈도 단어가 고빈도 단어에 비해 좌반구 측후두 영역에서 N320 파형이 더 크게 나타난 Simon 등(2006)의 결과가 대표적이다. 본 연구는 이를 확장 적용하여 표기와 발음이 일치하는 단어에 비해 불일치한 단어의 경우 음변화 규칙에 의존해야하기 때문에 음운부호의 활용이 더 필요하다는 논리를 기반으로 한다. 그리고 이 변환 과정은 하위 어휘 수준(sublexical level)에서 발생하기 때문에 전체 단어(whole word) 표상 처리에 관여하는 N400보다 시간 및 기능적으로 앞선다고 할 수 있다. 따라서 만약 좌반구 측후두 영역에서 음운부호를 더 적극적으로 활용해야하는 불규칙 단어가 규칙 단어에 비해 N320 파형이 더 크게 나타난다면 하위 어휘 수준에서부터 음운부호가 사용된다는 것을 의미한다. 이를 다음과 같은 실험을 통해 검증하였다.

방 법

참가자

영남대학교에서 22명(여:12, 남:10)을 모집하였다. 우세손을 참가자에게 직접 입력하라고 했을 때 1명을 제외한 21명 모두 오른손잡이였으며 평균 연령은 23.8세(표준편차: 1.9세)였다. 모두의 시력은 교정시력을 포함 정상이었으며, 과거 뇌 신경관련 질환이 없다고 보고하였다. 모든 참가자들은 실험 참여에 대한 보상으로 15000원을 지급받았다.

실험 자극

실험에 사용한 단어들은 모두 21세기 세종계획에서 배포된 1500만 어절 말뭉치에서 선별하였다. 총 120개의 2음절 단어를 선별하였으며, 단어 빈도는 2에서 3506까지 다양하였다. 이 단어들 중 표기대로 발음되는 규칙 단어(예, ‘결백’-/결백/)가 60개(평균빈도: 352, 표준편차: 525.91), 표기와 발음이 일치하지 않은 불규칙 단어(예, ‘잡무’-/잡무/)가 60개였다(평균빈도: 353, 표준편차: 579.19). 또한 어휘판단 과제를 위해 원래 단어에서 한 철자만 바꾸어 발음은 가능하

지만 단어가 아닌 유사 비단어(pseudo-word) 60개(예, '지뢰': 원단어 '지뢰')와 한국어 표기법상 불가능한 그래서 발음이 거의 불가능한 음운적으로 비정상적인 자극(phonologically illegal stimuli, 이하 비정상 자극) 60개(예, '택뿔')를 만들어 자극 목록에 추가하였다.

실험 절차

실험에 사용한 어휘판단 과제는 제시된 글자열이 단어에 포함되는지 아닌지를 즉각적으로 판단하고, 만약 제시된 글자열이 단어이면 '단어' 버튼을, 반대로 단어가 아니면 '비단어' 버튼을 눌러 반응하는 과제이다. 본 연구에 적용한 실험 절차 및 자극 제시 순서는 다음과 같았다. 참가자가 뇌파 기록을 위한 전극을 장착하고 자극 제시용 PC앞에 앉으면 실험자는 참가자에게 모니터 중앙에 제시되는 글자가 단어인지 아닌지를 가급적이면 빠르고 정확하게 판단하여 단어인 경우 키보드의 '단어' 버튼을, 단어가 아닌 경우는 '비단어' 버튼을 우세손으로 누르도록 지시하였다. 자극 제시는 화면 중앙에 응시점 '+'이 약 500ms 동안 제시되고 이 응시점이 사라지자마자 같은 위치에 자극 글자가 제시되는 방식이었다. 이때 참가자가 이 글자를 보고 즉각적으로 판단하여 키보드에 미리 표시해 놓은 '단어' 버튼이나 '비단어' 버튼을 누르면 해당 자극이 사라졌다. 이후 약 1500ms의 공백이 제시되고 이어서 다음 시행이 시작되었다. 글자는 모두 검은 바탕에 흰 글씨로 제시되었으며 글자 크기는 35포인트였고 모든 자극들은 무선적으로 제시되었다. 모니터와 실험 참가자 간의 거리는 약 60-70cm로 고정하였다.

장비

자극의 제시 및 행동 측정은 모두 PC에 설치된 e-prime 2.0 software를 이용하였다. 자극 제시용 모니터는 25인치 LED 모니터였고 해상도는 800 X 600로 고정시켰다. 뇌파의 기록을 위해 Brain Products사의 Brain Recorder software를 사용하였고, 뇌파 측정용 전극은 젤 타입의 32 channel actiCAP를 사용하였다. 뇌파 증폭기는 배터리팩에 연결된 Brain Products사의 actiCHamp를 사용하였다.

뇌파측정 및 분석

Figure 1에 뇌파 기록을 위해 사용한 전극의 이름과 위치를 제시하였다. 눈 깜박임 기록을 위해 오른쪽 눈 아래에 VEOG를, 눈 움직임 기록하기 위해 오른쪽 눈 우측 바깥쪽에 HEOG를 부착하였다. 뇌파 기록용 참조 전극(reference channel)은 Cz전극을 사용하였고, 뇌파 분석 시 재참조 전극

(re-reference channel)은 양쪽 귀 뒤쪽 유양돌기(mastoid)에 부착한 M1과 M2를 사용하였다. 뇌파 기록 시 평균 저항은 10k Ω 이하였다. ERP 분석을 위해 연속된 EEG에 기록된 자극 제시 시점 기록을 중심으로 자극 제시 시점 이전 200ms에서 자극 제시 시점 이후 800ms까지의 뇌파 단위(epoch)들을 선택하고 자극 제시 시점 이전 200ms에서 제시 시점(onset)까지를 기저점으로 사용하였다. 이후 0.01~30Hz의 band-pass filter를 이용하여 비인지적 처리를 반영하는 주파수대를 제거하였다. 또한 각 뇌파 단위에서 눈 깜박임이나 근육의 움직임이 개입된 뇌파 단위를 모두 제거하고(9% 이하) 조건 및 참가자별 평균 뇌파 단위를 계산하여 각 조건별 ERP들을 산출하였다. 그리고 전극 위치에 대한 분석을 위해 T7, P7, O1 전극을 좌반구 측후두 영역으로 통합한 ERP를 계산하였고 우반구 측후두 영역에는 T8, P8, O2 전극을 통합한 ERP를 계산하였다. 마지막으로 관심 ERP 성분인 N320(270-330ms)의 평균전위를 각 영역별, 조건별 그리고 참가자별로 계산하여 통계분석의 종속치로 사용하였다.

결 과

행동측정 결과

오류를 보인 수행의 반응시간은 분석에서 제외하고 정반응만을 분석에 사용하였다. 통계분석은 피험자 내 일원변량 분석을 이용하였다. 반응시간 분석 결과, 자극 유형의 주효과가 유의하였다($F_1(3, 63)=8.43, \eta^2=0.02, p<.001$; $F_2(3, 236)=6.44, \eta^2=0.07, p<.001$). 사후검증 결과, 규칙 단어가 불규칙 단어에 비해 유의하게 반응시간이 빨랐고($p<.05$), 규칙 단어가 유사 비단어에 비해 유의하게 반응시간이 빨랐으며($p<.001$), 규칙 단어가 비정상 자극에 비해 유의하게 반응시간이 빨랐다($p<.01$). 오류율 분석 결과, 자극 유형의 주효과가 유의하였다($F_1(3, 63)=14.66, \eta^2=0.29, p<.001$; $F_2(3, 236)=3.18, \eta^2=0.03, p<.05$). 사후검증 결과, 규칙 단어가 불규칙 단어에 비해 오류율이 낮았고($p<.001$), 유사 비단어가 불규칙 단어에 비해 오류율이 낮았으며($p<.01$), 비정상 자극이 불규칙 단어에 비해 오류율이 낮게 나타났다($p<.001$).

ERP 결과

Figure 1에 규칙, 불규칙, 유사 비단어, 비정상 자극 처리 시 발생한 전체 평균 ERP를 제시하였고 Table 1에 평균전위값을 제시하였다. ERP 분석에서도 정반응을 보인 뇌파 단위만을 선별하였다. 분석은 좌반구와 우반구에서 각각 자극 유형에 대한 일원변량 분석을 실시하였다. 자극 제시 후

단어의 표기처리(Carreiras et al., 2014)와 좌하위 두정 소엽(left inferior parietal lobule)의 음운부호의 처리가 N320 파형을 유발한 것으로 보인다(Simon et al., 2006). 반면 우반구의 경우 이와 같은 기능들이 분포되어 있지 않기 때문에 N320 효과가 좌반구 측후두에서만 나타난 것으로 보인다. 이론적 측면에서 본 연구에서 나타난 N320 파형은 이중경로 모형(dual-route model)에서 간접경로 상의 GPC(grapheme to phoneme conversion) 경로와 병렬분산처리 모형(parallel distributed processing model) 및 상호활성화 모형(interactive activation model)에서 가정하는 OP(orthography to phonology) 경로가 실재할 수 있다는 가정을 지지하고 있으며(Coltheart et al., 2001; Ziegler, Muneaux, & Grainger, 2003), 그 활성화 시점이 하위 어휘 수준일 수 있다는 신경학적 증거를 제시하고 있다(Ferrand & Grainger, 2003; Grainger & Holcomb, 2009). 각 모형들이 가정하는 이 경로의 작동 방식은 다소 다르지만 주요 역할은 표기부호를 음운부호로 변환하는 것이며 또한 이 처리가 하위 어휘 수준이라는 점에서 동일하다. 그러나 본 연구에서 나타난 음운부호의 활성화가 단어재인의 상위 수준으로부터 피드백 정보를 받아 나타났는지 혹은 상향식 처리 과정에서 피드백 정보의 도움 없이 유발되었는지 또는 표기와 음운부호의 처리가 일부 겹치면서 처리되는 캐스케이드(cascade) 방식인지는 본 연구만으로는 추정하기 어렵다. 그리고 과거 행동실험에서 표기부호의 우세성에 대한 주장에 대해 본 연구는 적어도 하위 어휘 수준에서 음운부호의 역할이 미비하지 않다는 신경생리학적 증거를 제시하였다. 추후의 연구에서 단어재인의 처리의 수준별로 음운부호의 역할을 규명한다면 과거 행동실험 결과를 확장할 수 있을 것이다. 추가적으로 음변화의 종류와 단어 출현 빈도에 따라 불규칙 단어의 처리 양상이 다를 수 있다는 기존의 주장(Yi, 1996)을 본 연구에서는 적용하지 못하였기 때문에 추후 단어의 빈도나 음변화 종류를 적용한 추가 연구를 할 필요성이 있다.

References

- Araújo, S., Faisca, L., Bramão, I., Reis, A., & Petersson, K. M. (2015). Lexical and sublexical orthographic processing: An ERP study with skilled and dyslexic adult readers. *Brain and Language, 141*, 16-27.
- Bae, S. & Yi, K. (2010). Processing of orthography and phonology in Korean word recognition. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 22*, 369-385.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution, *11*, 235-260.
- Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M., & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences, 18*, 90-98.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review, 108*, 204-256.
- Ferrand, L., & Grainger, J. (2003). Homophone interference effects in visual word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A, 56*, 403-419.
- Frost, R. (1994). Prelexical and postlexical strategies in reading: Evidence from a deep and a shallow orthography. *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory, and Cognition, 20*, 116-129.
- Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2009). Watching the word go by: On the time-course of component processes in visual word recognition. *Language and Linguistics Compass, 3*, 128-156.
- Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1996). Orthographic processing in visual word recognition: a multiple read-out model. *Psychological Review, 103*, 518-565.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology, 62*, 621-647.
- Kwon, Y., Choi, S., & Lee, Y. (2015). Early use of orthographic information in spoken word recognition: Event-related potential evidence from the Korean language. *Psychophysiology, 53*, 544-552.
- Kwon, Y. & Lee, Y. (2016). Temporal Locus of the Influence of Phonological Information during Korean Visual Word Recognition: Event-Related Potential Evidences of Homophone. *The Journal of Linguistic Science, 76*, 1-21.
- Kwon, Y., Lee, Y., & Nam, K. (2011). The different P200 effects of phonological and orthographic syllable frequency in visual word recognition in Korean. *Neuroscience Letters, 501*, 117-121.
- Kwon, Y., Nam, Y., & Lee, Y. (2015). The Effect of the Phonological Information in Korean Visual Word Recognition: An Event Related Potential Study. *The Journal*

- of Linguistic Science*, 75, 23-42.
- Lee, Y., Kwon, Y., & Lee, C. (2015). The Event Related Potential Evidence for the Orthographic and Phonological Priming in Korean Visual Word Recognition. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 18(4b), 2093-2105.
- Park, K. (1999). Is phonology obligatory in visual access to word meaning? Negative evidence from associative homophone priming in Korean word naming task. *Korean Journal of Experimental and Cognitive Psychology*, 11, 17-28.
- Park, K. (2003). The Role of Phonology in Assessing Word Meaning: Evidence from Semantic Categorization of Hangul Words. *The Korean Journal of Experimental Psychology*, 15, 19-37.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 523-568.
- Simon, G., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebai, M. (2006). Orthographic transparency and grapheme - phoneme conversion: An ERP study in Arabic and French readers. *Brain Research*, 1104, 141-152.
- Tae, J., Nam, Y., Lee, Y., & Kim, T. H. (2015). The Role of Syllable and Antibody in Korean Visual Word Recognition. *The Journal of Linguistic Science*, 73, 205-224.
- Yi, K. (1996). Phonological rules in oral reading of Korean. *Korean Journal of Experimental and Cognitive Psychology*, 8, 1-23.
- Ziegler, J. C., Muneaux, M., & Grainger, J. (2003). Neighborhood effects in auditory word recognition: Phonological competition and orthographic facilitation. *Journal of Memory and Language*, 48, 779-793.

시각적 단어재인에서 음운부호의 활성화 시점: 불규칙 단어재인 시 나타난 ERP 증거

권유안¹, 이선경², 이윤형^{2*}

¹대구가톨릭대학교, ²영남대학교

본 연구의 목적은 시각적 단어재인 과정에서 음운부호가 하위 어휘 수준(sublexical level)에서부터 활성화 되는지를 규명하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 표기와 발음이 일치하는 규칙 단어(예, 결백)와 표기와 발음이 일치하지 않는 불규칙 단어(예, 잡무)를재인할 때 발생하는 사건관련 뇌전위(이하, ERP)를 비교하였다. 만약 어휘접근 이전에 음운부호가 활성화된다면 표기-음운 변환을 반영하는 N320에서 규칙 단어와 불규칙 단어의 차이가 나타날 것으로 예측하였다. 21명의 어휘판단 과제 수행 시 수집된 ERP를 비교한 결과 예상한 바와 같이 불규칙 단어의 N320이 규칙 단어에 비해 더 크게 나타났다. 이 결과는 시각적 단어재인 시에 음운부호가 하위 어휘 수준에서부터 활성화된다는 것을 보여준다.

주제어: 한글 단어재인, 사건관련 뇌전위, 음운부호, 규칙성, N320 성분