

# 한글 시각단어재인의 초기처리과정에 대한 대뇌 활성화 양상 : “VWFA(visual word from area)”를 중심으로

손효정<sup>1</sup>, 정재범<sup>1</sup>, 편성범<sup>2</sup>, 송희진<sup>3</sup>, 이재준<sup>3</sup>, 민승기<sup>4</sup>, 장용민<sup>3</sup>, 남기춘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 심리학과

<sup>2</sup>고려대학교 의과대학 재활의학과

<sup>3</sup>경북대학교 의과대학 의용생체공학과

<sup>4</sup>영남대학교 심리학과

(kitty@korea.ac.kr)

## The Cerebral activation of Korean visual word recognition in Ventral stream

Hyojeong Sohn<sup>1</sup>, Jaebum Jung<sup>1</sup>, Sung Bum Pyun<sup>2</sup>, Sungki Min<sup>4</sup>, Hui-jin Song<sup>3</sup>, Yongmin Chang<sup>3</sup>,  
Kichun Nam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Psychology, Korea University

<sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Korea University College of Medicine

<sup>3</sup>Department of Biomedical Engineering, Kyungpook National University College of Medicine

<sup>4</sup>Department of Psychology, Yeungnam University

(kitty@korea.ac.kr)

### 요약

문자는 의사소통의 중요한 매개체 중 하나로 사람이 문자를 인식할 때, 글자의 크기나 모양, 위치, 글자체 등의 매우 다양한 지각적인 변화에 의한 영향을 크게 받지 않는다. 이는 문자에 대한 처리가 다른 사물과는 다소 다르게 일어나며 머릿속에 추상적인 형태(abstract form)로 저장되어 있음을 의미한다. 이러한 처리과정은 시각단어재인 과정에서 어휘 지식에 접근하기 위한 중요한 단계로 여겨지면서 이와 관련된 대뇌 영역의 국제화 양상에 대한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 한글 시각단어재인에 있어 Cohen과 Dehaene 등이 “visual word form area”주장하고 있는 좌측 ventral occipito-temporal region의 대뇌 활성화 양상을 살펴보았다. 실험 결과, 좌측 “VWFA”는 어휘의 친숙성에 우뇌의 대측 지점은 어휘성(lexicality)에 민감한 것으로 나타났다.

### I 서론

문자언어는 음성언어와 비교하여 인류 역사상 최근에 습득되었으나 출생 후 교육의 중요한 수단으로 강력히 학습되어 음성언어와 더불어 중요한 의사소통 체계로 자리 잡는다. 이렇게 학습된 문자는 크기, 모양, 위치, 글자체, 하위 시각 요소

의 결손에 상관없이 일정한 패턴으로 인식되는데, 이러한 처리 과정은 시각단어재인 과정에서 단어의 의미와 음운 정보에 접근할 수 있도록 한다. 문자에 대한 처리과정은 일반 사물에 대한 형태 인식과는 다소 다른 과정을 거치는 것으로 여겨진다. Warrington과 Shallice(1980)는 좌뇌의

## 한글 시각단어재인의 초기처리과정에 대한 대뇌 활성화 양상 : “VWFA(visual word from area)”를 중심으로

occipito-temporal region의 손상으로 문자를 읽는데 어려움을 겪는 환자를 “word form dyslexia”라 하고 이 환자들은 시각단어재인 과정에서 초기 시각자극 처리 이후 단어의 형태를 분석해내는 시스템에 문제가 있는 것으로 보았다.

Cohen 등(2000)은 좌측 occipito-temporal region에 포함된 방추상회(midfusiform gyrus)의 일부분(Talairach 좌표  $x=-42, y=-53, z=-12, \pm 5$ , McCandliss et al. 2003)을 문자형태의 자극을 특정적으로 처리하는 국소적인 영역으로 보고 “visual word form area(VWFA)”라 칭하였다. Cohen는 Dehaene(2004)와 함께 난독증 환자와 일반인에 대한 뇌영상 결과를 통해 “VWFA”에 대해 functional specialization, reproducible localization, regional selectivity를 논의하며 ventral stream에 있어 “VWFA”의 역할을 강조해 오고 있다. 이에 대해 Price 등(2003, 2003b)은 “VWFA”는 그림이나 색을 명명할 때와 청각단어 자극에도 반응하는 영역으로 시각단어재인에 특성화되어 있지 않음을 보였고, Kronbichler 등(2004)은 “VWFA”가 문자에 특화된 영역이 아니라 시각적 대상의 친숙성에 의존한 추상적인 패턴(abstract pattern)의 처리 영역이라고 주장하며 논쟁을 지속하고 있다.

본 연구에서는 시각적 구성형태가 알파벳 체계의 언어와 달리 자모음이 상하좌우로 배열된 특징을 갖는 한글에 대한 기능적 자기공명영상 결과가 알파벳 체계의 언어에 대한 결과와 어떠한 차이점을 나타내는지 알아보았다. 특히, 어휘성과 친숙성(빈도)에 따라 “VWFA”으로 불리는 영역의 활성화 양상을 살펴봄으로써 한국어 시각단어재인의 초기처리 과정의 neural substrate의 특성을 추론해 보았다.

## II 실험

### 1. 실험대상

정상 교정시력을 갖춘 오른손잡이 남자 8명의 대학생을 대상으로 하여, 연습시행을 통해 실험과정을 숙지한 후, 실제 실험에서 fMRI scanning이 이루어지는 동안 시각자극을 속으로 읽거나 응시

하도록 했다.

### 2. 실험재료 및 방법

실험은 블록 디자인으로 설계되었으며 각 조건마다 세 블록씩 할당되고 각각의 블록들은 랜덤하게 제시되었다. 실험자극은 고빈도 단어, 저빈도 단어, 비단어, 초점자극(cross fixation), 자음열, 체크판을 각 블록당 30개씩 총 30초 동안 제시하고 9분간 2주기의 기능적 자기공명영상단층촬영을 실시하였다. 영상 획득 장비는 경북대학교 병원의 GE 3.0 Tesla MRI scanner를 이용하였고, EPI sequence (TR/TE=3000/40msec, 4mm no gap 31 slices, 64×64 Matrix, FOV 220mm, flip angle 90°)를 사용하여 영상을 획득하였다.

## III 실험결과

획득한 영상 데이터는 SPM(statistical parametric mapping)2로 분석하였다.

각 결과는 초점자극의 활성화 정도에 비례한 것으로, 고빈도 단어 읽기보다 저빈도와 비단어 읽기에서 강한 활성을 보였다. 특히, “VWFA(visual word form area)”로 논쟁의 대상이 되고 있는  $x=-44, y=-58, z=-15$  ( $r=5$ , Jobard et al., 2003) 지점에 대한 각 조건의 활성화 결과는 매우 흥미롭다. 고빈도 단어의 경우가 지점의 활성화가 나타나지 않은 반면에 저빈도 단어( $x=-44, y=-58, z=-14, z$  score=3.46)와 비단어 조건( $x=-44, y=-58, z=-14, z$  score=3.11)에서는 정확히 이 지점에서 강한 활성화를 보였으며, 비단어의 경우 대측 영역인 우측 VWFA( $x=44, y=-58, z=-14, z$  score=3.39)의 활성화도 함께 나타났다. 초점 자극에 대한 자음열과 체크판의 시각처리는 비교적 약한 활성화를 보였다.

저빈도 단어와 비단어 읽기 조건에서는 고빈도 단어 조건에서보다 precentral gyrus의 활성이 강하게 나타났는데, 비단어 조건에서 더 큰 활성화를 보였다. 이는 단어나 문장을 읽을 때 관여하는 영역으로 실제로 소리를 내어 읽지 않아도 활

성화 되는 것으로 보고되고 있다.

이러한 결과는 좌측 ventral occipito-temporal 영역의 국소적인 부분이 시각단어의 빈도효과에 민감하고, 우측 대측 지역은 어휘성(lexicality)에 민감한 것으로 추론할 수 있게 한다.

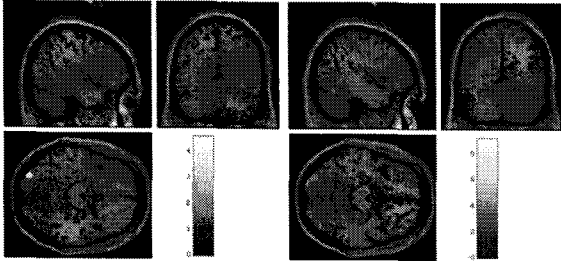


그림 1 초점 자극에 대한 고빈도 단어(왼쪽)와 저빈도 단어의 활성화 양상 ( $z = -15$ )

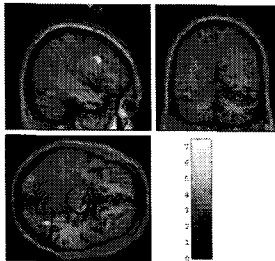


그림 2 초점 자극에 대한 비단어의 활성화 양상 ( $z = -15$ )

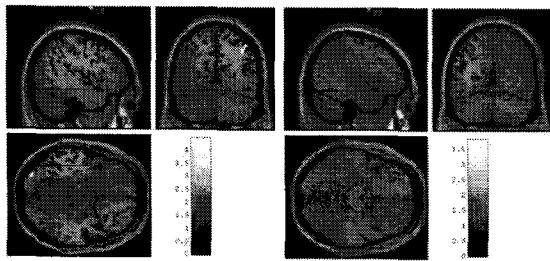


그림 3 초점 자극에 대한 자음열(왼쪽)과 체크관의 활성화 양상 ( $z = -15$ )

#### IV 논의

기능적 자기공명영상 결과는 단어의 특성에 따른 시각단어재인 과정을 신경기체(neural substrate) 차원에서 보여준다.

본 연구의 진행초기에 단어읽기에 대한 일반인

의 기능적 자기공명영상 결과는 좌측 lingual gyrus만의 활성화를 나타냈다. 사전 실험의 문제점은 실험재료가 대부분 고빈도 단어였고 각 단어의 제시시간이 3초로 일반인이 읽기 과제를 수행하기에는 매우 긴 시간이 주어졌다는 점이다. 영어를 대상으로 단어제시시간을 조절한 선행 연구 결과(Price et al. 2003)는 제시시간에 의한 심리적 작업량의 증가가 대뇌의 활성화로 나타남을 보였다. 본 연구에서는 고빈도 단어에 저빈도, 비단어, 자음열의 조건을 추가하고 각 단어의 제시시간을 1초로 하였다.

Cohen et al.(2004) 결과에 의하면, 자음열, 고빈도, 저빈도, 비단어의 순으로 좌측 “VWFA”의 활성정도가 크게 나타났는데 이것은 영어를 대상으로 한 결과이며 시각단어재인과정에서 우측 “VWFA”의 역할에 대한 연구 결과들은 일관되게 수렴하지 않는다. 본 연구 결과는 한글도 영어와 유사하게 초기 시각처리 과정을 거치는 것으로 나타났다. 특히, “VWFA”으로 알려진  $x=-44$ ,  $y=-58$ ,  $z=-15(r=5)$  지점이 국소적으로 단어의 특성에 민감하게 반응하였다. 친숙성이 매우 낮은 저빈도 단어와 비단어에서의 활성이 두드러졌고, 자음열과 체크관 그리고 친숙성이 높은 고빈도 단어에서는 초점자극과 비교하여 활성화가 나타나지 않았다(uncorrected  $p < .01$  at a the single voxel). 이 지점을 비교적 단어 특정한 영역으로 주장할 수 있는 것은 자음열의 활성화 결과이다. 영어의 경우 자음열에서 이 지점의 활성도가 단어에 비해 약하게 나타났다(Cohen et al. 2004). 음소의 배열이 병렬적으로 이루어진 영어와 달리 한글의 음소배열은 상하좌우로 이루어져 있고 글자 하나가 한 개의 음절을 이룬다. 그러므로 본 연구에서 사용된 자음열은 영어의 자음열과는 매우 상이하게 일반적인 단어의 시각적 구성을 완전히 깨뜨린 친숙성이 낮은 시각자극인 것이다. 실험 결과 한글의 자음열에 대한 좌측 “VWFA”의 활성이 나타나지 않았는데(uncorrected  $p < .01$  at a the single voxel), 이러한 결과로 좌측 “VWFA”가 온전한 단어형태에 민감하게 반응하는 영역으로 보인다. 그러나, 이에 대해서는 단어의 자모음을 병렬적으로 늘어 제시하거나 단어를 수직으로 제시하는 등 일반적

**한글 시각단어재인의 초기처리과정에 대한 대뇌  
활성화 양상 : “VWFA(visual word form area)”를 중심으로**

인 단어 제시 형태와 다른 실험 재료로 추가 실험이 요구된다.

실험 결과 매우 흥미로웠던 점은 좌측 “VWFA”의 대측 영역인 우측 방추상회의 활성화이다. 이 영역은 비단어에서만 활성화를 나타냈는데 친숙성이 낮은 저빈도 조건에서는 활성화를 보이지 않았으므로 친숙성보다는 어휘성(lexicality)에 민감하게 반응하는 영역으로 여겨진다. 더불어 낱자단위 읽기(letter-by-letter reading), 전반성 난독증(global alexia) 환자의 행동실험 및 뇌영상 분석 결과는 이러한 주장을 뒷받침 해준다(OHBM2006 proceeding). 전반성 난독증 환자의 경우, 행동 실험 결과, 단어와 비단어를 모두 읽지 못했으나 뇌영상 결과에서는 비단어 조건에서 우측 방추상회의 강한 활성을 보였다. 또 낱자단위 읽기 환자는 시간 경과에 따라 단어 읽기에 대해 우측 방추상회의 활성이 국재화되는 양상을 보였다. 전자의 경우는 제시된 시각 단어에 대한 처리가 암묵적으로 일어나며 어휘성에 따라 활성화 양상이 다름을 뜻하고, 후자는 제시된 단어를 읽을 때 한 글자씩 읽은 후 본인이 발음한 음운 정보에 의해 단어를 재인해 내므로, 단어에 대한 초기 인식과정이 비단어에 대한 인식과정과 동일한 것으로 보인다.

본 연구와 위와 같은 환자의 연구 결과를 종합해보면 한국어 시각단어 재인에 있어 좌측 “VWFA”는 영어에서와 유사하게 단어의 친숙성(빈도)에 민감하고, 대측 영역인 우측 방추상회(midfusiform)는 어휘성에 민감하며 좌측의 시각 단어 분석에 대한 보조적인 역할을 하는 것으로 여겨진다.

본 연구로 “VWFA(visual word form area)”가 시각단어재인의 초기 처리과정에 특정적으로 기능하는 영역으로 단언할 수는 없다. 그러나 단어의 시각적 속성에만 반응하지 않고 어휘적 특성에 의해 다르게 반응함으로써 시각단어재인 과정에서 중요한 처리 기능을 담당하고 있음을 알 수 있다.

**참고문헌**

손효정, 편성범, 김충명, 남기춘 (2005) 주변성 난독증의 특성과 대뇌 활성화 양상, 2005년가을 대한음성학회

Jobard, G., Crivello, F., Tzourio-Mazoyer, N. (2003) Evaluating the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies, *NeuroImage*, 20, 639-712

McCandliss, B. D., Cohen, L., and Dehaene, S. (2003) The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus, *TRENDS in Cognitive Science*, 7:7, 293-299

Kronvichler, M., Hutzler, F., Wimmer, H., Mair, A., Staffen, W., and Ladurner, G. (2004) The visual word form area and the frequency with which words are encountered: evidence from a parametric fMRI study, *NeuroImage*, 21, 946-953

Cohen, L., Dehaene, S. (2004) Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area, *NeuroImage*, 466-476

Cohen, L., Henry, C., Dehaene, S., Martinaud, O., Lehericy, S., Lemer, C., and Ferrieux, S. (2004) The pathophysiology of letter-by-letter reading, *Neuropsychologia*, 42, 1768-1780

Price, C.j., Devlin, J.T. (2003), The myth of visual word form area, *NeuroImage*, 19, 473-481

Price, C.J., Winterburn, D., Giraud, A.L.,  
Moore, C.J.(2003), Cortical localisation of the  
visual and auditory word form area: A  
consideration of the evidence, Brain and  
Language, 86, 272-286