기능적 자기공명영상(Functional MRI)에 나타난 한글과 한자 단어재인의 차이*

이동훈** · 이홍재** · 이은정*** · 문찬홍***
유재욱*** · 나동규*** · 남기춘**
(**고려대학교 심리학과, ***성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 영상의학과)

이동훈 · 이홍재 · 이은정 · 문찬홍 · 유재욱 · 나동규 · 남기춘. 기능적 자기공명영상(Functional MRI)에 나타난 한글과 한자 단어재인의 차이. 『언어청각장애연구』, 2001, 제6권, 제1호, 105-130. 한글과 한자는 문자규칙 심층성 정도가 다른 문자이다. 즉, 한글은 문자규칙 심층성이 얕은 문자이며, 한자는 문자규칙 심층성이 깊은 문자이다. 언어심리학적 연구에서는 문자규칙 심층성에 따라 시각적 단어 재인과정이 다르다는 것이 보고되었다. 즉, 문자규칙 심층성이 낮은 한글과 같은 문자는 어휘경로 및 음운경로 모두를 사용하며, 한자의 경우 어휘경로에 의존하여 단어재인이 이루어진다는 것이다. 본 연구에서는 이러한 문자에 따른 시각적 단어재인과정의 차이가 대뇌 활성화 영역에서의 차이를 가져오는지를 기능적 자기공명영상으로 알아보고자 하였다. 실험1에서는 휴식기 없이 한글읽기과제와 한자읽기과제를 번갈아 제시하여 대뇌 활성화 정도를 직접 비교하여 활성화 영역을 찾아보았다. 실험 결과, 한자에 비해 한글 읽기과제 수행시 보다 많은 활성화를 보인 영역은 음운적인 처리에 관여한다고 보고된 SMG (supramarginal gyrus) 영역 등이었으며, 한글에 비해 한자읽기과제 수행시 보다 많은 활성화를 보인 영역은 브로카 영역이라 알려진 하전두회(BA44)와 방추상회(fusiform gyrus) 영역 등이었다. 실험2에서는 한글과 한자 읽기 과제 수행에 따른 각각의 대뇌 활성화 영역을 찾아보고 또한 추가적인 분석으로 통계적인 감산법을 사용하여 실험1의 결과와 비교하여 한글과 한자 읽기에 따른 활성화 영역의 차이를 알아보았다. 실험결과 한글과 한자는 거의 공통된 대뇌영역을 활성화 시켰다. 감산법을 사용한 분석에서 실험1의 결과와 유사한 영역에서 활성화 차이를 보였으나, 활성화 신호는 급격히 감소하였다. 이러한 결과는 문자규칙 심층성에 따른 문자의 차이가 대뇌 영역 활성화 정도에서 차이를 가져온다는 것을 말해준다. 그러나 두 문자가 각각 활성화시키는 영역이 유사함을 볼 때, 각각 다른 경로를 사용하는 것으로 보기 어렵고, 한글과 한자의 문자규칙 심층성 정도에 따른 주된 경로에서 활성화 정도가 다르다는 것을 시사한다.

* 위 논문은 보건복지부에서 실시하는 보건의료기술연구개발사업 중 "기능적 자기공명영상(Functional Magnetic Resonance Imaging)을 이용한 언어 및 기억기능의 기능적 뇌 지도화(Functional Brain Mapping) 및 뇌 기능 연구"의 일환으로 수행되었음.

Ⅰ. 서 론

1. 문자규칙 심층성과 이중통로가설

우리 나라에서는 한글과 한자를 혼합해서 쓰고 있다. 그러나 언어학적, 언어심리학적인 관점에서 보면 두 문자는 상당히 다른 특성을 가지고 있다. 한글은 말소리의 음소를 낱자로 나타낸 알파벳 문자체계(alphabetic writing system)이고, 한자는 각 단어나 형태소에 독특한 상징을 사용한 표의문자체계(logographic writing system)이다. 언어심리학에서는 문자규칙 심층성(orthographic depth)으로 문자들의 특성을 구분하는데, 즉, 문자규칙 심층성이란 철자단위(orthographic unit)와 음운단위(phonological unit)사이의 일치성 정도를 말하는 것으로, 한글, 핀란드어, 세르보 크로아티아어 등은 심층성 정도가 작고, 한자, 히브리어 등은 심층성 정도가 크고, 영어는 그 중간정도가 된다. 이러한 문자규칙 심층성을 고려해 볼 때, 한글은 낱자와 음소의 대응관계가 상당히 규칙적인 표면문자체계(shallow orthography)를 갖고, 한자는 문자의 단위와 말소리 단위의 대응관계가 불명확한 심층 문자체계(deep orthography)를 갖는다고 할 수 있다. 이러한 문자규칙 심층성에 따른 문자간의 차이는 시각적 단어재인과정에서도 차이를 가져온다.

인지신경 심리학의 정보 처리적인 접근에 따르면, 글로 쓰여진 문자를 읽는 과정은 크게 초기 시각처리과정(visual processing), 철자를 처리하는 과정(orthographic processing)을 거쳐 심성어휘집(mental lexicon)에 접근하는 과정과 음운적인 정보를 인출하여 조음(articulation)과정을 거친 후 발화(generation of sound)하는 단계로 이루어진다. 그런데, 심성어휘집에 접근하는 방법에는 크게 두 가지 경로가 존재할 수 있다고 보는데, 첫째, 단어의 음운적인 정보의 매개 없이, 시각적인 형태에 의해서 어휘집에 접근하는 경로를 어휘경로(lexical route) 혹은 직접경로(direct route)라고 하며, 둘째, 철자를 처리한 후 철자에 상응하는 말소리, 즉 음운적인 정보를 사용하여 어휘집에 접근하는 경로를 음운재부호화경로(phonological recoding route) 혹은 간접경로(indirect route)라고 한다. 이 두 가지 경로 모두를 사용하여 어휘집에 접근할 수 있다고 보는 것이 Coltheart(1978)의 이중경로모형(dual-route model)이다. 이중경로모형을 지지하는 증거로는 단어규칙성 효과(word regularity effect), 난독증 사례연구 등에서 찾을 수 있다(남기춘 외, 1999; 박권생, 1996; 이광오, 1996; Bauer & Stanovich, 1980; Parkin, 1982; Hayashi, Ulatowska & Sasanuma, 1985). 또한 여러 언어에서의 단어재인에 대한 차이 연구에서도 나오는데, 앞서 설명한 문자규칙 심층성 정도의 차이를 통해 특정 언어에서 어떤 경로가 더 지배적인지를 비교하는 것이다. 즉, 한글과 같은 표면규칙문자는 직접경로 및 간접경로 모두를 사용하여 발음할 것이고, 한자나 모음을 제거한 히브리어와 같은 심층규칙문자는 직접경로를 통해 심성어휘집에 접근한 후 발음할 것이라는 것이다. 문자규칙 심층성이 단어재인에 어떤 영향을 주는지를 조사한 대표적인 연구로 Frost, Katz & Bentin(1987)을 꼽을 수 있다. Frost, Katz & Bentin은 히브리어(Hebrew), 세르보 크로아티아어(Serbo-Croatian), 영어 등의 세

가지 문자 체계를 이용해 문자규칙 심층성의 위와 같은 가능성을 조사하였다. Frost, Katz & Bentin은 자음열로 구성된 히브리 단어를 문자규칙 심층성이 가장 큰 문자로, 세르보 크로아티아문자는 철자와 음소가 거의 일대일로 대응하는 문자규칙 심층성이 가장 작은 문자로, 영어 문자는 이 두 문자의 중간정도로 가정하였다. 그들은 이들 세 문자에서 단어와 가짜단어(pseudoword)간의 단어명명 시간의 차이를 비교하였다. 일반적으로 단어가 가짜단어보다 빨리 명명되는데 이를 어휘성 효과(lexicality effect)라고 부른다. 이러한 시간 차이는 그 자극에 해당되는 어휘표상이 심성어휘집에 존재하는지에 의해 결정된다. Frost와 그의 동료들은 히브리어에서 단어와 가짜단어간의 시간차이가 가장 크고, 영어에서 두 번째로 크고, 세르보 크로아티아어에서 가장 작었다고 보고하였다. 이는 문자규칙 심층성에 따라 심성어휘집에 접근하는 경로가 다르다는 것을 나타낸다. 즉, 문자규칙 심층성이 가장 큰 히브리어에서 시각적 단어재인과정은 주로 직접적인 어휘경로를 통해 일어나기 때문에 단어와 가짜단어사이의 어휘접근 시간이 가장 큰 차이를 보이며, 이에 반해 문자규칙 심층성이 가장 작은 세르보 크로아티아어에서는 시각적 단어재인이 주로 간접경로 즉, 음운 재부호화 경로를 사용하여 일어나기 때문에 단어와 가짜단어사이의 어휘접근 시간이 가장 작은 차이를 보인다는 것이다. 또한 영어의 경우 두 언어의 중간정도의 문자규칙 심층성을 가지고 있기 때문에 그 중간에 있다는 것이다.

한글과 한자는 세르보 크로아티어와 히브리어처럼 문자규칙 심층성에 큰 차이를 보이는 문자이다. 따라서 이러한 문자규칙 심층성이 단어재인에 끼치는 영향력을 조사하기에 좋은 실험재료이다. Nam(1995)은 한글과 한자를 사용하여 문자규칙 심층성에 따른 이중경로 모형의 타당성을 조사하였다. Nam(1995)은 단어명명과제(naming task)와 의미점화 단어명명과제(primed-naming task)를 사용하여 이를 검증하였다. 단어명명과제에서는 단어빈도효과와 단어길이효과가 한글과 한자단어명명에서 다른지를 조사하였는데, 그 결과 한자단어명명이 한글단어명명보다 단어빈도와 단어길이에 의해 더 크게 영향을 받음을 보여주었다. 또한 의미점화 효과를 이용한 단어명명과제의 경우 한자단어명명이 한글단어명명보다 더 크게 의미점화에 의해 영향을 받음을 보여주었다. 이러한 결과는 문자규칙 심층성이 깊은 한자는 단어빈도, 단어길이, 의미와 같은 어휘접속변인(lexical access variable)에 의해 민감하게 영향을 받으며, 반면에 한글은 어휘접근 없이도 음운 재부호 경로를 통해 단어의 음운표상을 생성할 수 있기 때문에, 단어빈도, 단어길이, 의미와 같은 어휘접속변인에 한자보다 더 적게 영향을 받는다는 것이다.

이런 가능성은 뇌손상 환자를 대상으로 한 연구에서도 지지된다. 예를 들어, 권미선 외(2000)는 획득성난독증(acquired dyslexia) 환자 연구에서 대졸의 한 남자 환자는 한자만 읽을 수 있고, 한글은 읽지 못하는 반면에 고졸의 어떤 여자 환자는 한글만 유창하게 읽을 수 있는 사례를 발표하였으며, 표층문자인 가나와 심층문자인 간지를 사용하는 일본의 경우에도 권미선 외(2000)와 유사한 결과를 보고하였다(Hayashi, Ulatowska & Sasanuma, 1985; Kawahata, Nagata & Shishido, 1988; Sasanuma, 1974; Yamatori, 1975). 뇌손상 환자 연구결과는 문자의 특성에 따라 담당하는 뇌 영역이 다를 것이라는 가설을 강력하게

시사한다.

그러나, 문자규칙 심층성에 따라 단어를 명명하는 방법이 다르다는 입장에 모든 학자가 동의하는 것은 아니다. 예를 들어, Seidenberg와 그의 동료들은(Seidenberg, 1985; Seidenberg & McClelland, 1989; Waters, Seidenberg & Bruck, 1984) 연결주의 모형(connectionist model)을 이용해 단일경로만으로도 단어규칙성 효과와 문자간의 차이에 따른 효과를 설명할 수 있다고 주장하였다. 대표적인 연구로 Seidenberg(1985)는 한자를 이용하여 문자규칙 심층성 가설의 타당성을 조사하였다. 기존의 영어단어 실험에서는 글자와 발음정보간에 규칙성이 있는 단어를 명명할 때 보다 그 관계가 불규칙한 단어를 명명할 때 더 큰 단어빈도 효과가 나타났다(즉, 규칙성 효과). Seidenberg(1985)의 실험 결과는 발음정보가 있는 한자를 명명할 때보다 발음정보가 없는 한자를 명명할 때에 더 큰 단어빈도 효과를 보였다. Seidenberg(1985)는 문자의 음운정보 표현정도에 따라 단어재인과정이 달라지는 것이 아니라 단어빈도에 의해 단어재인과정이 결정된다고 주장하였다.

정상인을 대상으로 한 기능적 자기공명영상(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging) 연구에서도 문자의 특성과 관련된 뇌 영역에서 일관된 결과를 보이지 못하고 있다. 이경민(1998)에 따르면, 한자에 비하여 한글을 읽을 때 보다 많이 활성화되는 부분은 음운부호생성에 관여하는 것으로 보고되는 SMG(Supramarginal gyrus) 등에서 차이를 보였고, 한글에 비해 한자를 읽을 때 보다 많은 활성화를 보이는 부분은 초기 시각적 정보처리에 관련된다고 보고되는 방추상회(紡錘象回:Fusiform gyrus)등에서 차이가 나타난다고 보고하였다. 그리고 이경민(1998)은 이러한 뇌 영역의 차이가 이중경로모형을 반영하는 것이라고 제안하였다. 그러나, 다른 연구에서는 한자와 같은 문장 처리시에 활성화되는 뇌 영역이 영어와 같은 알파벳 문자를 처리할 때와 차이가 나지 않는다는 보고도 있다(Chee et al., 2000; Koyama et al., 1998; Tzeng & Hung, 1984). Chee et al.(2000)은 중국문자와 그림을 처리할 때 활성화되는 뇌 영역 비교와 중국문자와 영어문자를 처리할 때 활성화되는 뇌 영역 비교를 통해 중국문자의 처리양상이 그림을 처리할 때보다 영어를 처리할 때와 유사하다는 것을 보고하였다. 이런 결과는 중국문자가 기존에 주장되어 오던 것처럼 글자의 모양으로 의미를 이해하는 것이 아니라 알파벳 문자를 인식할 때와 같은 방식을 통해 인식된다는 것을 암시한다.

이처럼 이중통로가설과 단일통로가설 중 어느 것이 더 적합한지를 결정하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요하겠지만, 현재까지의 여러 연구결과를 종합해 볼 때 시각적-어휘적 연결과 시각적-음운적 연결이 모두 있다는 사실에는 어느 정도 동의를 보이고 있는 것 같다. 본 연구에서는 최근 그 영역을 넓히고 있는 기능적 뇌영상촬영방법인 fMRI를 사용하여 언어심리학의 단어재인 모형에서 제안하는 것처럼 문자의 특성에 따라 단어재인과정이 다른지를 조사하고, 과련된 뇌 영역이 어디인지를 알아보기 위해 수행되었다.

2. 기능적 자기공명영상: fMRI

현대 인지신경 심리학에서는 인간의 인지적인 활동들은 뇌에 의해서 이루어지며, 신경

심리학적 증거들과 손상된 뇌의 해부학적인 연구를 통해 이러한 뇌의 활동은 기능적으로 분화되어(segregation) 있으며, 또한 하위 기능들은 기능적으로 상위인 하나의 모듈(module)을 이루며 집적(integration)되어 있음을 밝히고 있다(Firth, 1997). 기능적 자기공명영상은 위와 같은 인지신경 심리학의 가정을 토대로 기능적으로 다른 과제수행에 따른 뇌 활동 양상을 영역상의 차이로 알아볼 수 있는 뇌 영상 촬영기법이다. 즉, 특정한 인지기능을 수행하는 뇌 영역은 그러한 인지적 활동에 따라 혈류량의 변화와 혈액내 산소 포화도의 변화, 신진대사활동의 변화 등 생리적인 변화가 일어나는데, 기능적 자기공명영상법은 이러한 변화양상을 영상으로 구현하는 방법이다.

기능적 자기공명영상은 임상영역에서 뇌종양 환자나 혈관질환, 간질환자의 특정영역 뇌손상에 따른 기능저하 및 마비의 원인을 파악하는데 중요한 정보를 제공할 뿐 아니라, 기존의 뇌 영상 촬영방법인 양성자방출단층촬영법(PET: Positron Emission Tomography)보다 안전하며, 공간적인 해상도(resolution)가 뛰어나 정상인을 대상으로 기억, 언어활동 등 인지활동에 따른 영역을 규명하기 위해 인지신경 심리학의 중요한 실험방법으로 쓰이고 있다.

영상을 얻는 과정은 다음과 같다. 피험자가 자기공명영상 장비내에서 과제를 수행하는 동안 그에 따른 뇌생리적인 변화를 EPI-BOLD(Echo Planner Imaging-Blood Oxygen Level Dependent)기법을 통해 신호로서 측정한다. 이러한 신호는 영상후처리(postprocessing)를 통해 최종적인 영상으로 얻어진다. 영상처리는 과제를 수행하는 활성기의 신호에서 과제를 수행하지 않는 휴식기의 신호를 감산(subtraction)하여 얻어지는데, 이러한 감산을 통해 얻어진 데이터는 인지기능에 따른 활성화 신호뿐만 아니라 불필요한 신호 잡음도 함께 존재하므로 이러한 잡음(noise)을 제거하기 위해 통계적인 방법이 이용된다. 이러한 방법을 통해 영상의 각 화소(pixel)에서 신호의 통계값(예: z-value, *t*-value)을 얻을 수 있으며, 잡음을 억제하고 유의미한 활성화 신호만을 나타낼 수 있는 역치(threshold)를 사용하여 최종 영상을 얻는다.

뇌 기능 영상 촬영방법은 기존의 뇌손상 환자를 대상으로 하여 규명한 언어영역을 검증하고, 인간의 언어활동의 인지적인 과정들을 세분하여 그 각 과정의 지배적인 영역을 규명하는 연구방법으로 쓰이고 있다. 뇌 기능 영상 촬영방법을 통해 언어영역을 규명하려는 연구는 Petersen et al.(1988)이 정상인 피험자를 대상으로 시청각 단어과제를 수행하는 동안 양성자방출단층촬영법(PET)을 사용하여 뇌 기능 영상을 얻어 비교한 것을 기점으로 하여 다양한 방법과 실험설계로 이루어지고 있으며, 근래에는 PET보다 안전하고 해상도가 뛰어난 기능적 자기공명영상을 이용하는 연구가 주류를 이루고 있다.

II. 본 론

본 연구는 문자규칙 심층성이 다른 한글과 한자를 재료로 기능적 자기공명영상을 이용

하여 대뇌 영역에서 활성화 정도를 비교해 보았다. 이중경로모형에 따르면 한글을 읽을 경우 음운재부호화에 따른 영역이 한자를 읽을 때보다 많이 활성화될 것이며, 한자를 읽을 경우 주로 어휘경로만을 사용하여 심성어휘집에 접근하므로 상대적으로 한글을 읽을 때보다 이 과정에서 보다 많은 활성화가 있을 것이다. 이런 연구목적을 달성하기 위해 두 개의 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서는 이경민(1998) 등이 사용한 방법과 동일한 한글제시 블록과 한자제시 블록이 번갈아 나타나는 실험절차를 사용하였고, 두 번째 실험에서는 휴식기와 자극제시 블록이 번갈아 나타나는 실험절차를 사용하여 한글과 한자 각각의 조건을 다른 세션에 실시하였다. 이처럼 두 종류의 실험을 실시한 이유는 방법 및 절차와 실험자료의 분석방법에 따라서 다른 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 두 번째 실험에서는 한글과 한자 각각에 따른 활성화 영역을 구할 수 있고, 또한 구해진 자료를 통계적으로 감산하여 첫 번째 실험의 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 만일 이와 같이 다른 실험절차를 이용하여 동일한 결과를 얻을 수 있다면, 그 결과는 상당히 신빙성있는 것으로 해석할 수 있을 것이다.

1. 기능적 자기공명영상 획득과 데이터 분석

자기공명영상 장치는 1.5T 초전도 자기공명영상 장치(GE medical system, Milwaukee, USA)를 사용하였다. 피험자가 헤드코일에 부착된 거울을 통해 제시되는 자극을 보며 과제를 수행하는 동안 EPI-BOLD(Echo Planner Imaging-Blood Oxygen Level Dependent)기법을 사용하여 영상을 획득하였다(TR/TE 3000/60msec, 64×64Matrix, FOV 24×24cm, flip angle 90°). 영상은 매 3초마다, 전교련과 후교련을 연장한 AC-PC(Anterior Commissure-Posterior Commissure) line을 기준으로 뇌의 아래에서부터 위로 횡단면 20절편(slices)이 획득되었다. 각 실험마다 총 체적(volume)영상은 282초(3초×94 phases) 동안 총 94개(phases)를 얻으며, 첫 12초(4 phases)동안 dummy image(모조영상)를 이중고속으로 검사가 가능한 EPI(Echo Planer Image)영상이 평형기(equilibrium state)를 이루기 전의 신호를 보정하기 위해 얻었다. 이후 총 90개의 영상은 각각 30초 동안 10개의 영상이 5번의 휴식기와 4번의 활성기를 구성하였다.

데이터 분석은 SPM 99(Statistical Parametric Measure 99)를 off line으로 이용하였다. 데이터 처리의 과정은 90개의 영상(image) 중 첫번째 영상을 기준으로 움직임(motion)이나 기타 호흡, 맥박 등으로 인한 움직임을 보정하였고(realignment), 각 피험자의 뇌를 표준화하기 위해 SPM 99와 함께 제공되는 template image(ICBM: International Consortium for Brain Mapping, NIH P-20 Project)의 공간에서 정의된 영상을 이용하였으며, 이 템플레이트 영상은 Talairach-Tournoux(1988)의 뇌지도(atlas)와 매우 유사한 것이었다. 이후 noise 제거 및 Gaussian field를 만들기 위해 영상 다듬기(smoothing: FWHM 7mm)를 수행하였다.

이렇게 준비된 각 실험참가자의 체적영상(volume data 혹은 image)들에 대한 통계분석은 실험시 자극을 주었던 패턴(stimulation time pattern, 즉, box car pattern)을 대상으

로 일반선형회귀분석(general linear regression)을 수행하였고, 유의수준 $p<0.00001$을 가지고 t-검정을 수행하였다. 각 개별피험자의 영상을 얻은 후, 공통된 유의한 활성화된 영역을 얻기위해 모든 피험자의 영상을 통계적으로 합산(conjunction)하였다. 최종활성화 영상화지도(Parametric Mapping Image)를 표준화된 3D T1 영상에 중첩하여 기능적 자기공명영상을 얻었다.

2. 실험1

가. 방법

(1) 피험자

신경심리검사(Oldfield, 1971)를 이용하여 오른손잡이로 판정된 정상인을 대상으로 실험하였다. 한국어를 모국어로 사용하는 남성 6명을 대상으로 하였고 연령은 평균 25세, 교육수준은 대학재학 이상이었다.

(2) 실험재료

빈도와 난이도를 통제한 한글 2음절 단어 30개(예: 사람, 자신 등)로 이루어진 5개의 목록과 한자 2음절 단어 30개(예: 名曲, 價格 등)로 이루어진 4개의 목록(묶음)을 실험재료로 사용하였다.

(3) 실험방법

한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 활성화 정도를 비교하기 위해 한글읽기과제와 한자읽기과제를 번갈아 실시하였다. 일반적인 과제제시방법은 휴식기와 활성기로 이루어지는 box-car 형식이지만 직접적인 비교를 위해 휴식기에 한글읽기과제를 제시하였고 활성기에는 한자읽기과제를 제시하였다. 한번의 과제는 1초에 한 개씩 제시되는 30개의 단어목록을 읽는 것이었다. 피험자가 head coil에 부착된 거울을 통하여 LCD 영사기를 통해 반투명의 스크린에 투영되는 시각적인 자극을 보면서 과제를 수행하는 동안 기능적 자기공명영상을 획득하였다. 일반적인 기능적 자기공명영상 실험에서 행하는 것처럼, 반응시 머리 움직임을 최소화하기 위해 단어를 소리내어 읽지 않고 속으로 읽도록 지시하였다.

나. 결과 및 논의

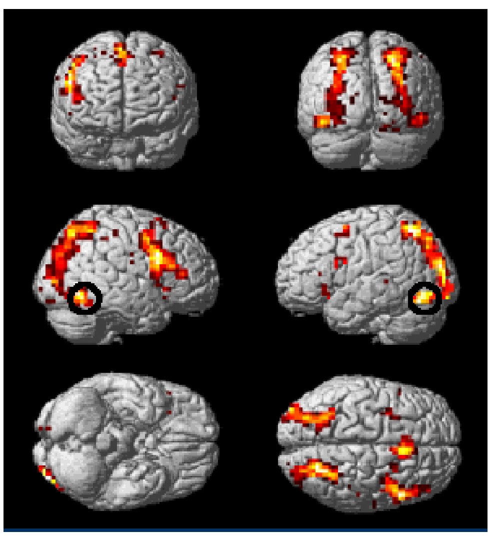
<그림 - 1>에는 한글을 읽을 때보다 한자를 읽을 때 우세한 활성화 신호가 나온 영역을 표시하였다. 또한 <그림 - 2>에는 한자를 읽을 때보다 한글을 읽을 때 우세한 활성화 신호가 나온 영역을 표시하였다. <그림 - 1> 및 <그림 - 2>에 신호가 나타난 영역에 대한 대뇌 피질 명칭과 그에 해당하는 Brodmann 영역, 그리고 Talairach-Tournoux 좌표 및 각 영역별로 활성화된 cluster의 voxels 개수를 <표 - 1> 및 <표 - 2>에 정리하여 제시하였

다.

<표 - 1>에서 제시한 바와 같이 한글을 읽을 때에 비하여 한자를 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 영역은 Broca 영역이라 알려진 좌반구 하전두회(Inferior Frontal Gyrus, BA 44)와 일차 시각피질로 알려진 후두엽(Occipital lobe), 복측 시각경로에 해당하는 상두정소엽(Superior Parietal lobule, BA 7)부위와 배측 시각경로에 해당하는 lingual gyrus, Fusiform gyrus(BA 19, 37), 측두엽(Temporal gyrus)부위 등이 활성화되었음을 볼 수 있다. 흥미로운 것은 언어영역과 시각처리영역이 반구에 따라 차이가 난다는 것이다. 즉 언어영역인 좌반구 하전두회영역은 좌반구에서 훨씬 우세한 활성화를 보였으며, 시각처리에 관여하는 영역 즉 복측 시각경로(dorsal visual pathway) 및 배측 시각경로(ventral visual pathway)로 알려진 영역에서는 전반적으로 우반구에서 우세한 활성화 신호를 보였다는 것이다.

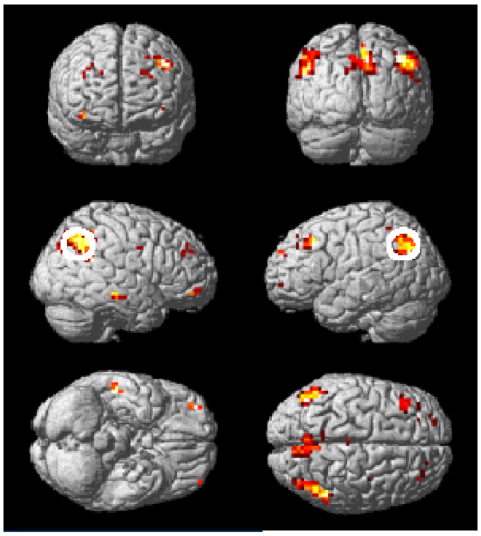
<표 - 2>에서는 한자를 읽을 때에 비하여 한글을 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 영역을 나타내었다. Bilateral SMG(Superior Marginal gyrus)에 해당하는 하두정회(inferior parietal lobule, BA 40)와 Precuneus(BA 7)등에서 강한 신호가 나타났으며, Bilateral Superior Frontal gyrus, Middle Frontal gyrus(BA 8, 9) 등에서도 신호가 나타났음을 알 수 있다.

<그림 - 1>에서 동그라미로 표시된 부분은 선행연구(이경민, 1998)에서 한글에 비해



한자를 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 부분 중 유의미한 영역이라 보고된 Bilateral Fusiform gyrus 영역이다. <그림 - 2>에서 동그라미로 표시된 부분은 마찬가지로 한자에 비해 한글을 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 부분 중 유의미한 영역이라 보고된 Bilateral Superior Marginal Gyrus 영역이다. 선행연구에서 보고된 바와 같이 한글을 읽을 때에 비해 한자를 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 영역 중 Fusiform gyrus에서 유의미한 차이를 보이고 있으며, 한자를 읽을 때에 비하여 한글을 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 영역에서 SMG에서 유의미한 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 선행연구의 결

과를 지지하는 것으로 보인다. 그러나 각 문자에 대해 활성화 영역에 대한 규명이 없었으므로 그러한 차이가 영역상에서의 차이인지 활성화 정도의 차이인지를 구분하기 힘들다. 따라서 실험2에서는 한글과 한자를 읽을 때 활성화되는 영역을 각각 알아보고, 각각의 영역에서 활성화 정도의 차이를 살펴보고자 하였다.



<표 - 1> 실험1 결과1. 한글에 비해 한자를 읽을 때 우세한 활성화를 보이는 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	Superior Parietal Lobule	BA 7	-24	-63	51	16.41	419
	Sub-Gyral	*	-44	-59	-7	10.64	
	Lingual Gyrus	*	-28	-74	-6	9.35	
	Superior Frontal Gyrus	BA 8	-4	18	51	13.09	100
	Inferior Frontal Gyrus	*	-51	13	29	12.12	220
	Middle Frontal Gyrus	BA 6	-48	6	44	10.97	
	Inferior Frontal Gyrus	BA 44	-55	12	14	9.65	
	Inferior Frontal Gyrus	*	-32	23	-5	7.2	10
	Fusiform Gyrus	*	-20	-86	-9	6.62	5
	Inferior Parietal Lobule	*	-40	-33	42	5.95	6
	Sub-Gyral	*	-24	6	48	5.8	7
	Cuneus	*	-16	-97	1	5.66	1
	Cuneus	*	-16	-81	15	5.58	9
	Postcentral Gyrus	*	-59	-11	23	5.43	1
	Postcentral Gyrus	BA 1	-51	-25	53	5.2	2
	Middle Frontal Gyrus	BA 6	-28	11	58	4.95	1
	Postcentral Gyrus	BA 3	-63	-11	23	4.84	1
	Lentiform Nucleus	Putamen	-20	8	-4	4.81	1
우반구	Superior Parietal Lobule	BA 7	24	-59	55	11.87	278
	Middle Occipital Gyrus	BA 19	40	-89	15	10	
	Middle Occipital Gyrus	*	48	-67	-10	9.9	
	Declive	*	32	-55	-17	7.66	2
	Middle Frontal Gyrus	*	32	7	55	7.57	14
	Middle Frontal Gyrus	BA 6	28	14	47	5.87	
	Inferior Frontal Gyrus	*	44	5	22	6.44	4
	Inferior Frontal Gyrus	*	36	23	-5	6.08	6
	Inferior Frontal Gyrus	*	51	13	21	5.87	5
	Cuneus	*	16	-81	15	5.72	9
	Lingual Gyrus	*	32	-74	-10	5.48	8
	Lingual Gyrus	*	28	-70	-3	5.05	
	Cingulate Gyrus	*	8	29	28	5.28	2
	Inferior Frontal Gyrus	*	48	28	10	5	1
	Middle Temporal Gyrus	BA 22	63	-35	5	4.81	1

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 p<0.00001로 각 voxel(2×2×2mm^3)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

<표 - 2> 실험1 결과2. 한자에 비해 한글을 읽을 때 우세한 활성화를 보이는 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-40	-64	47	8.6	86
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-51	-44	43	7.81	
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-44	-56	43	7.56	
	Precuneus	BA 7	-8	-68	48	7.63	116
	Precuneus	BA 7	-4	-56	54	6.89	
	Middle Frontal Gyrus	*	-36	50	-13	6.79	5
	Precuneus	BA 7	-4	-37	46	5.26	
	Middle Temporal Gyrus	*	-55	-28	-9	6.09	11
	Posterior Cingulate	BA 23	-4	-38	24	5.69	2
	Precentral Gyrus	*	-44	-2	33	5.48	3
	Superior Frontal Gyrus	*	-20	48	27	5.18	1
	Middle Frontal Gyrus	*	-36	40	27	5.07	2
	Superior Frontal Gyrus	*	-32	44	31	4.97	2
	Precentral Gyrus	*	-36	-5	48	4.96	1
	Precuneus	BA 7	4	-60	40	6.66	
우반구	Inferior Parietal Lobule	BA 40	44	-63	51	7.54	66
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	48	-68	40	7.3	
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	51	-52	47	7.26	
	Postcentral Gyrus	BA 2	40	-25	42	7.43	18
	Cingulate Gyrus	*	4	-21	42	6.5	24
	Paracentral Lobule	*	0	-29	46	6.07	
	Cingulate Gyrus	*	8	-41	28	6.33	3
	Superior Frontal Gyrus	*	28	52	23	5.43	1
	Superior Frontal Gyrus	BA 9	24	56	27	5.41	2
	Precuneus	*	24	-60	40	5.33	1
	Superior Frontal Gyrus	BA 8	24	41	42	5.27	1
	Paracentral Lobule	*	12	-32	50	4.93	2
	Middle Frontal Gyrus	*	40	54	-6	4.9	1
	Middle Frontal Gyrus	BA 9	36	41	35	4.9	2

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 $p<0.00001$로 각 voxel($2\times2\times2mm^3$)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

3. 실험2

가. 방법

(1) 피험자

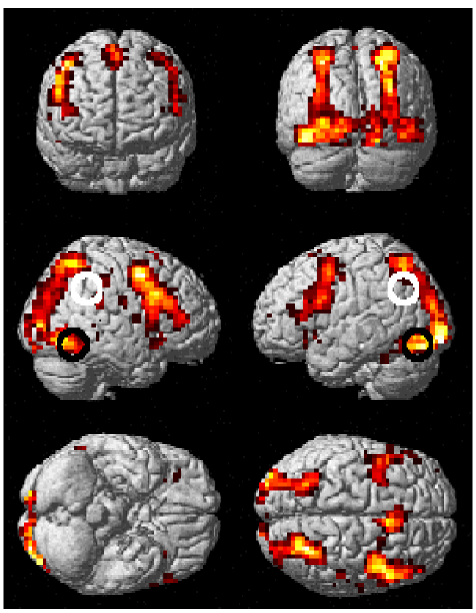
실험1과 동일한 피험자로 실험1 이후 약간의 휴식을 취한 뒤 실험에 참가하였다.

2) 실험재료

실험1에서 사용한 단어와 다른 빈도와 난이도를 통제한 한글 2음절 단어 30개(예: 자랑, 국가 등)로 이루어진 4개의 목록과 한자 2음절 단어 30개(예: 會議, 類推 등)로 이루어진 4개의 목록(묶음)을 실험재료로 사용하였다.

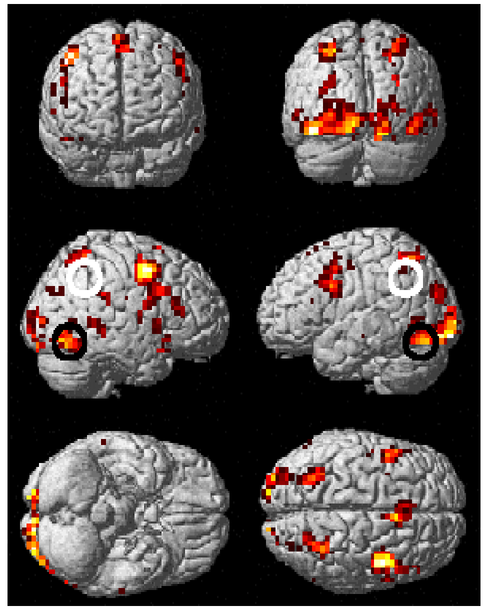
3) 실험방법

한글과 한자를 읽을 때 각각 활성화되는 영역을 알아보기 위하여 한글읽기과제와 한자읽기과제를 각각 실시하였다. 영상획득은 일반적인 Box Car 형식으로 각각 30초로 이루어진 네 번의 활성기(과제수행)와 다섯 번의 휴식기로 번갈아 구성하였으며, 각각의 휴식기에는 + 모양의 중립자극을 제시하였고, 활성기에는 한글읽기과제와 한자읽기과제를 수행하였다. 실험요령과 영상획득 방법은 실험1과 같았다.



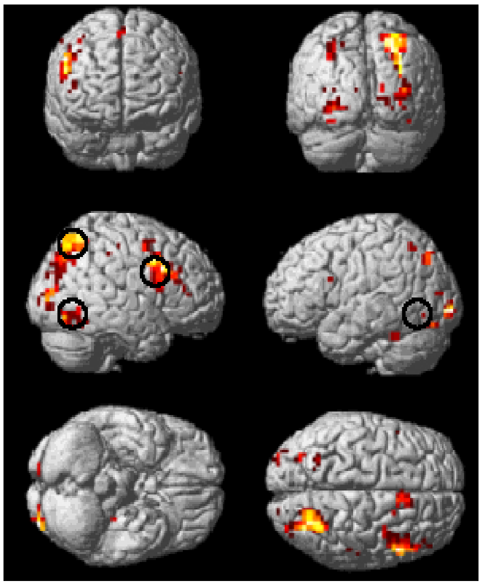
나. 결과 및 논의

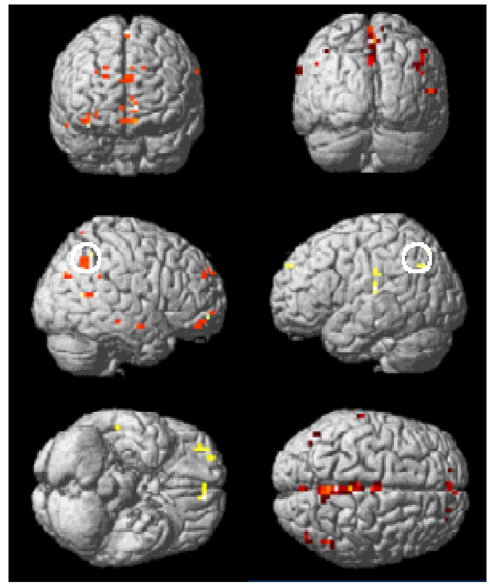
<그림 - 3> 및 <그림 - 4>에서는 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 유의미한 활성화



신호를 보이는 영역을 각각 보여주고 있다. 활성화 신호의 차이는 한글보다 한자를 읽을 때 많은 활성화를 보이는 것은 과제의 어려움에 따른 차이를 나타낸다. <표 - 3> 및 <표 - 4>에 <그림 - 3> 및 <그림 - 4>에서 보이는 활성화 영역에 대한 대뇌영역명칭과 그에 해당되는 Brodmann's Area, 그리고 Talairach-Tournoux 좌표 등을 나타내고 있다. <표 - 3> 및 <표 - 4>를 살펴보면 한자를 읽을 때와 한글을 읽을 때 활성화된 영역 중 좌반구 하전두회(Inferior Frontal Gyrus, BA 44, 45: Broca's Area), 추가운동영역(Supplementary Motor Area, BA 6), 시각피질인 후두엽(Occipital Lobe, BA 17, 19), 상두정소엽(Superior Parietal Lobule, BA 7), 그리고 우반구 중전두회(Medial Frontal Gyrus, BA 9), 상두정소엽(Superior Parietal Lobule, BA 7), 상측두회(Superior Temporal Gyrus), 후두엽(Occipital Lobe, BA 17, 19) 등의 영역에서 활성화 정도는 다르지만 공통적으로 신호가 나타났다.

<그림 - 1> 및 <그림 - 3>을 비교하여 보면 실험1에서 한글에 비해 한자를 읽을 때 유의미한 차이영역이라 보고된 Fusiform gyrus 영역이 한글을 읽을 때도 마찬가지로 활성화되고 있음을 알 수 있다. 그리고 <그림 - 2>, <그림 - 3> 및 <그림 - 4>를 비교하여 보면 실험1에서 한자에 비해 한글을 읽을 때 유의미한 차이영역이라 보고된 SMG 영역이 한자를 읽을 때뿐만 아니라 한글을 읽을 때도 활성화되지 않았음을 알 수 있다. 이러한 결과는 선행연구에서 한글과 한자읽기에 따른 대뇌 활성화가 영역 상에서 차이가 난다는 주장에 반함을 시사하고 있다. 즉, 영역상에는 차이가 없고 활성화 정도의 차이임을 뜻한다.





이를 보다 정확히 알아보기 위해 추가적인 분석으로 한자읽기에 따른 활성화 영역에서 한글읽기에 따른 활성화 영역을 감산해 보았다. 그리고 또한 한글읽기 영역에서 한자읽기 영역을 감산해 보았다.

여기서 감산법이란 한글과 한자자극에 의한 각각 session의 이미지 신호를 사후적으로 감산한 다음, 그에 따른 통계분석을 실시한 것을 말한다. 그에 따른 결과가 <그림 - 5> 및 <그림 - 6>에 제시되어 있다. <그림 - 5>를 살펴보면 실험1의 결과1과 비교해 볼 때, 거의 동일한 영역에서 활성화 신호가 나왔으나 Fusiform gyrus 영역뿐만 아니라 전체적으로 활성화 정도가 현저하게 감소한 것을 볼 수 있다. 또한 <그림 - 6>을 살펴보면 실험1의 결과2와 유사한 영역인 SMG 영역 등에서 활성화 신호가 나타났지만, 거의 모든 영역에서 신호는 미미한 수준이었다.

<표 - 3> 실험2 결과1. 한자를 읽을 때 활성화되는 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	Superior Parietal Lobule	BA 7	-24	-60	47	22.91	1225
	Superior Parietal Lobule	*	-28	-56	54	22.05	
	Middle Occipital Gyrus	*	-40	-70	-10	21.8	
	Middle Frontal Gyrus	*	-44	6	44	22	570
	Superior Frontal Gyrus	*	-8	14	51	18.72	
	Inferior Frontal Gyrus	BA 44	-48	9	33	16.83	
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-55	-34	27	9.57	25
	Postcentral Gyrus	*	-51	-29	42	8.21	16
	Postcentral Gyrus	*	-59	-11	23	7.86	6
	Superior Temporal Gyrus	*	-48	11	-11	6.96	9
	Superior Temporal Gyrus	BA 22	-59	-4	8	6.88	4
	Middle Temporal Gyrus	*	-59	-35	-5	5.64	2
	Postcentral Gyrus	*	-55	-21	49	5.44	1
	*	*	-12	-12	-9	5.28	3
	Cuneus	*	-16	-81	15	5.16	1
	Superior Temporal Gyrus	*	-63	-39	6	4.91	1
우반구	Inferior Frontal Gyrus	BA 44	44	5	26	11.6	229
	Inferior Frontal Gyrus	*	51	13	21	11.33	
	Middle Frontal Gyrus	*	44	6	44	10.95	
	Inferior Frontal Gyrus	BA 45	36	23	-11	6.28	5
	Extra-Nuclear	BA 13	32	15	-7	5.9	3
	Precentral Gyrus	BA 6	48	-5	52	5.29	1
	Inferior Frontal Gyrus	*	44	31	2	5.19	1
	Superior Temporal Gyrus	*	48	11	-11	5.04	1
	Cuneus	BA 18	8	-73	15	4.92	1
	Middle Frontal Gyrus	*	40	55	8	4.87	1

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 $p<0.0001$로 각 voxel($2\times2\times2mm^3$)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

<표 - 4> 실험2 결과2. 한글을 읽을 때 활성화되는 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	**Middle Frontal Gyrus**	*	-44	6	44	15.24	130
	Middle Frontal Gyrus	BA 9	-48	13	29	7.7	
	Sub-Gyral	*	-44	24	14	6.57	
	Cuneus	*	-16	-97	1	14.53	336
	Fusiform,Lingual Gyrus	*	-20	-86	-9	14.37	
	Superior Frontal Gyrus	BA 6	-4	11	58	10.49	65
	Superior Parietal Lobule	*	-28	-56	54	9.83	78
	Sub-Gyral	*	-32	-44	50	8.76	
	Superior Parietal Lobule	*	-24	-59	55	7.93	
	Inferior Frontal Gyrus	*	-55	5	18	8.14	14
	Superior Temporal Gyrus	*	-59	-4	4	6.83	
	Superior Temporal Gyrus	*	-48	15	-18	7.87	10
	Superior Temporal Gyrus	*	-55	12	-1	7.32	7
	Middle Temporal Gyrus	*	-63	-35	-2	7.25	16
	Middle Temporal Gyrus	BA 21	-59	-46	6	6.88	
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-51	-30	24	6.65	12
	Cuneus	*	-28	-80	33	6.05	10
	Inferior Parietal Lobule	BA 40	-40	-29	38	5.4	1
	Inferior Frontal Gyrus	BA 47	-32	15	-18	5.31	2
	Inferior Temporal Gyrus	BA 20	-55	-55	-11	5.03	1
우반구	Lingual Gyrus	BA 17	-4	-93	1	9.35	64
	Inferior Parietal Lobule	*	32	-52	47	9.19	
	Superior Parietal Lobule	*	24	-59	55	9.51	68
	Inferior Frontal Gyrus	*	44	5	26	8.63	
	Middle Frontal Gyrus	*	44	6	44	6.22	
	Middle Frontal Gyrus	BA 8	51	14	40	7.15	23
	Superior Occipital Gyrus	*	32	-80	26	6.69	
	Cuneus	BA 19	24	-84	34	6.2	9
	Middle Temporal Gyrus	*	55	-66	3	5.66	3
	Precentral Gyrus	BA 4	51	-6	44	5.62	1
	Middle Frontal Gyrus	*	32	7	55	5.42	1
	Inferior Frontal Gyrus	*	51	24	17	4.89	1
	Middle Temporal Gyrus	*	63	-20	-9	13.6	

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 $p<0.00001$로 각 voxel($2\times2\times2mm^3$)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

<표 - 5> 실험2 결과3. 한자를 읽을 때 활성화된 영역에서 한글을 읽을 때 활성화된 영역을 감산한 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	**Superior Parietal Lobule**	*	-28	-60	47	11.87	171
	Superior Parietal Lobule	BA 7	-32	-52	54	9.37	
	Precuneus	*	-32	-64	36	9.21	
	Inferior Frontal Gyrus	*	-51	9	33	8.95	88
	Middle Frontal Gyrus	*	-51	28	21	7.14	
	Inferior Frontal Gyrus	*	-51	13	21	6.82	
	Fusiform Gyrus	BA 19	-32	-67	-10	8.24	41
	Middle Occipital Gyrus	*	-40	-70	-10	7.52	
	Superior Frontal Gyrus	*	-8	14	55	7.18	28
	Medial Frontal Gyrus	*	-8	22	47	6.29	
	Medial Frontal Gyrus	*	-8	25	39	5.81	
	Middle Frontal Gyrus	*	-36	2	48	6.68	8
	Cuneus	*	-16	-81	15	6.12	4
	Inferior Frontal Gyrus	*	-32	23	-5	5.89	1
	Inferior Frontal Gyrus	*	-44	35	9	5.47	2
	Cuneus	*	-20	-93	5	5.41	4
	Postcentral Gyrus	*	-51	-29	42	5.37	1
	Middle Occipital Gyrus	*	-24	-85	15	5.35	1
	Superior Frontal Gyrus	*	-20	10	51	5.2	2
	Sub-Gyral	*	-36	-41	43	5.15	1
우반구	**Superior Parietal Lobule**	BA 7	32	-72	44	4.8	9
	Middle Occipital Gyrus	*	28	-93	1	6.23	19
	Inferior Occipital Gyrus	*	36	-89	-2	5.84	
	Middle Occipital Gyrus	*	28	-78	-10	5.94	10
	Precuneus	*	24	-56	51	5.79	7
	Fusiform Gyrus	BA 37	40	-48	-18	5.74	4
	Cuneus	*	8	-85	15	5.2	1
	Cuneus	BA 18	8	-73	15	5.11	1
	Lateral Ventricle	*	28	-27	-5	5.04	1
	Middle Occipital Gyrus	*	36	-85	15	4.98	1

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 $p<0.0001$로 각 voxel($2 \times 2 \times 2mm^3$)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

<표 - 6> 실험2 결과4. 한글을 읽을 때 활성화된 영역에서 한자를 읽을 때 활성화된 영역을 감산한 영역

대뇌반구영역별 명칭		Brodmann's Area	X	Y	Z	T-score	cluster-size
좌반구	**Inter-Hemispheric**	*	0	-49	39	8.22	158
	Precuneus	BA 7	-4	-52	54	7.83	
	Angular Gyrus	*	-44	-72	33	6.49	5
	Cuneus	*	0	-76	37	5.83	3
	Inferior Parietal Lobule	*	-48	-52	39	5.74	7
	Superior Temporal Gyrus	BA 22	-55	-46	13	5.73	6
	Superior Temporal Gyrus	BA 22	-51	-58	14	5.35	
	Middle Frontal Gyrus	*	-36	50	-13	5.41	2
	Middle Temporal Gyrus	*	-55	-8	-13	5.32	2
	Superior Frontal Gyrus	*	-28	58	-6	5.25	2
	Superior Frontal Gyrus	*	-28	52	27	5.07	1
	Medial Frontal Gyrus	BA 10	-4	50	-3	5.07	1
	Cingulate Gyrus	BA 24	-8	-6	41	5.03	2
	Inferior Parietal Lobule	*	-51	-41	28	4.99	1
	Superior Frontal Gyrus	BA 9	-20	56	30	4.96	1
우반구	**Medial Frontal Gyrus**	*	8	50	-13	6.57	4
	Cingulate Gyrus	BA 24	4	-6	44	6.18	8
	Postcentral Gyrus	BA 40	63	-23	16	6.09	3
	Medial Frontal Gyrus	BA 10	8	58	1	5.35	
	Superior Frontal Gyrus	BA 9	4	52	31	5.42	1
	Angular Gyrus	*	48	-64	36	5.17	2
	Superior Temporal Gyrus	BA 29	40	-34	16	5.06	2
	Postcentral Gyrus	BA 2	63	-22	31	4.93	3
	Precuneus	BA 31	8	-61	25	4.9	2
	Superior Frontal Gyrus	BA 9	16	56	30	4.87	1

X, Y, Z는 각각 Talairah의 Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain의 좌표(좌+, 우-), (앞+, 뒤-), (상+, 하-)이다. T-점수는 유의수준 p<0.0001로 각 voxel(2×2×2mm^3)에서 활성기와 통제기 신호의 차이를 통계 분석한 값이다. Cluster는 활성화된 voxel의 덩어리를 말하는데, Cluster-size는 덩어리를 이루고 있는 인접한 voxel들의 개수를 말한다.

따라서 이러한 결과를 종합해 볼 때, 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 대뇌 활성화는 영역상 뚜렷한 구분이 없이 공통적인 영역을 사용하고 있으며 단지 부분적으로 활성화 정도의 차이를 보이는 부분이 있다고 할 것이다. 그 활성화 정도가 차이가 나는 영역으로 한글을 읽을 때보다 한자를 읽을 때 더 많은 활성화는 선행연구에서 주장한 Fusiform gyrus뿐만 아니라 좌측 Broca 영역과 시각처리 경로인 두정엽 경로와 측두엽 경로 모두에서 나타났다. 이러한 결과는 한자와 한글을 읽기에 따른 활성화가 영역상의 차이라기 보다 과제의 난이도에 따른 차이로 보인다. 즉, 한글에 비하여 한자가 보다 복잡한 철자구조를 가지고 있기 때문에 대뇌 활성화가 많이 일어났다고 볼 수 있다. 또한 한자를 읽을 때보다 한글을 읽을 때, 선행연구에서 주장한 SMG 영역에서 신호를 보였기는 하지만 이는 그 활성화 강도가 미미하고 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때 모두 유의미한 활성화 신호를 나타내지 못한 점을 보았을 때, 활성화 정도의 차이에서 나타난 것으로 보인다. 한글과 한자의 활성화 영역은 각각의 영역에서 활성화 정도의 차이를 나타내고 있으며, 특정부위에서 뚜렷한 차이를 보이고 있지 않았다.

Ⅲ. 종합논의

본 연구에서는 문자규칙 심층성 정도가 다른 한글과 한자를 가지고 각각 읽기과제를 수행하는 동안 기능적 자기공명영상을 획득하여 대뇌 활성화 영역을 알아보았다. 한글과 한자는 이중경로모형에 따르면 정보처리과정이 다르다. 즉, 한글은 문자가 소리 정보를 잘 반영하기 때문에, 단어재인과정에서 어휘경로와 음운재부호화경로를 모두 사용하는 반면, 한자의 경우 문자에서 소리 정보를 인출하기 어렵기 때문에, 어휘경로에 의존하여 단어를 재인할 것이다. 따라서 이러한 단어재인과정에서의 차이가 대뇌영역 상에서 다른 활성화를 보일 것을 추측할 수 있다.

본 연구의 결과를 보면 실험1에서는 한글을 읽을 때에 비해 한자를 읽을 때 우세한 활성화 신호를 보이는 영역 중 SMG에서 유의미한 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 문자규칙 심층성 가설과 이중경로모형을 지지하는 것으로 볼 수 있다. 그러나, 한글을 읽을 때, 혹은 한자를 읽을 때, 더 많이 활성화되는 영역이 바로 문자의 특성을 반영하는 영역이라고 단정하기는 어렵다. 왜냐하면, 실험1에서 구한 자료는 단지 어떤 문자를 처리할 때, 다른 문자에 비해 상대적으로 더 많이 활성화되는 영역만을 보여주고 있기 때문이다. 이에 실험2에서는 한글과 한자 읽기에 따른 각각의 활성화 영역을 확인하여 보았고, 사후 통계적인 방법을 사용하여 문자에 따라 각각의 우세한 영역을 찾아 보았다. 실험2의 결과에 따르면, 한글과 한자 읽기에 따른 차이는 과제상의 난이도에 따라 활성화 정도의 차이는 있지만, 영역상에서 구분된다고 보기는 어려웠다. 그러나 사후 통계적인 감산법을 사용한 결과를 보면 실험1과 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 한글을 읽을 때와 한자를 읽을 때, 대뇌 영역상에서는 뚜렷한 구분이 없이 거의 공통적인 영역을 사용한다는 것을 보여주

며, 몇몇 영역에서 활성화 정도가 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그 활성화 정도의 차이가 나는 영역으로 한글을 읽을 때보다 한자를 읽을 때 더 많은 활성화를 보이는 영역은 fusiform gyrus뿐만 아니라 시각처리 경로인 두정엽 경로와 측두엽 경로 모두에서 나타났고, 한자를 읽을 때보다 한글을 읽을 때에 더 많은 활성화는 SMG 영역에서 나타났다.

이러한 결과를 종합해 보면, 문자규칙 심층성에 따른 한글과 한자 읽기의 차이는 대뇌 영역상에서 차이가 나타난다고 볼 수 없고, 즉, 한글과 한자 모두 거의 공통된 뇌 영역을 사용하여 시각적인 단어재인을 처리하는 것으로 보인다. 그러나 한글 혹은 한자를 읽는 동안 활성화되는 영역 중에서 각 언어에 따라 활성화되는 정도의 차이, 즉, 각 언어에 따라 특정적으로 사용된다고 볼 수는 없지만, 언어에 따라 더 많이 사용되는 대뇌영역이 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 활성화의 차이는 이중경로가설에 따른 단어재인의 두 가지 처리 과정의 존재를 지지하는 것으로 보인다. 한자의 경우 한글보다 fusiform gyrus 및 시각처리 경로에서 더 많은 활성화를 보이는데, 이는 한자를 재인할 때, 이중경로모형에서 어휘경로를 주로 사용하기 때문으로 해석할 수 있다. 또한 한글의 경우 한자보다 supramarginal gyrus에서 더 많은 활성화를 보이는데, 이는 한글을 재인할 때, 이중경로모형에서 음운재부호화 경로를 더 많이 사용하기 때문으로 볼 수 있다.

요컨데, 한글과 한자 단어 읽기에 따른 정보처리과정은 차이가 있으며, 그 과정은 이중경로 모형에 따른 어휘경로와 음운 재부호화 경로의 존재를 지지하는 것으로 볼 수 있다고 결론을 내릴 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

권미선 박혜숙 심현섭 남기춘 이재홍(2000). 한국어 읽기의 dual system에 대한 고찰. 『한국언어청각임상학회 2000년 학술대회 발표논문 모음집』, 188-193.

남기춘 신윤경 이윤형 황유미 이재욱. Greg, S.(1999). 외국어 단어재인에서의 철자 및 음운 정보처리 특성. 『한국심리학회지: 실험 및 인지』, *11(2)*, 107-129.

박권생(1996). 한글 단어재인과정에서 음운부호의 역할. 『한국심리학회지: 실험 및 인지』, *8*, 25-44.

이광오(1996). 한글 글자열의 음독과 음운규칙. 『한국심리학회지: 실험 및 인지』, *8*, 1-23.

이경민(1998). 한글과 한자 읽기에 연관된 뇌 활성화 양상의 비교. 『1998년도 한국 실험 및 인지심리학회 연차대회 논문집』, 129-137.

Bauer, D. & Stanovich, K. E.(1980). Lexical access and the spelling-to-sound regularity effect. *Memory & Cognition*, *8*, 424-432.

Firth, C. D.(1997). Linking brain and behaviour. In R. S. I. Frackowiak(Ed.), *Human Brain Function*(pp. 3-23). NewYork: Academic Press.

Chee, M. W. L., Weeks, B., Lee, K. M. & Soon, C. S.(2000). Overlap and dissociation of semantic processing of chinese characters, English words, and pictures: Evidence from fMRI. *NeuroImage*, *12*, 392-403.

Coltheart, M.(1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood(Ed.), *Strategies of Information Processing*(pp. 151-216). New York: Academic Press.

Frost, R., Katz, L. & Bentin, S.(1987). Strategies for visual word recognition and orthographical depth: A multilingual comparison. *Journal of Exparimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*, 104-115.

Hayashi, M. M., Ulatowska, H, K. & Sasanuma, S.(1985). Subcortical aphasia with deep dyslexia: A case study of a Japanese patient. *Brain and Language*, *25*, 293-313.

Kawahata, N., Nagata, K. & Shishido, F.(1988). Alexia with agraphia due to the posterior inferior temporal lobe lesion: Neuropsychological analysis and its pathogenetic mechanisms. *Brain and Langauge*, *33*, 296-310.

Koyama, S., Kakigi, R., Hoshiyama, M. & Kitamura, Y.(1998). Reading of Japanese Kanji(morphograms) and Kana(syllabograms): A magnetoencephalographic study. *Neuropsychologia*, *36*, 83-98.

Nam, K. C.(1995). Korean word recognition: Are different orthographies recognized differently? Unpublished doctoral dissertation, University of Texas at Austin.

Oldfield, R. C.(1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, *9*, 97-113.

Parkin, A. J.(1982). Phonological recording in lexical decision: Effects of spelling-to-sound regularity depend on how regularity is defined. *Memory and Cognition*, *10*, 43-53.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M. & Raichle, M. E.(1988) Positron emmission tomographic studies of the cortical anatomy of single word processing. *Nature*, *331*, 585-589.

Sasanuma, S.(1974). Kanji versus Kana processing in alexia with transient agraphia: A case report. *Cortex*, *10*, 89-97.

Seidenberg, M. S.(1985). The time course of phonological code activation in writing systems. *Cognition*, *19*, 1-30.

Seidenberg, M. S. & McClelland, J. M.(1989). A distributed developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, *96*, 523-568.

Tzeng, O. & Hung, D.(1984). Psychololinguistic issues in reading Chinese. In H. Kao & R. Hoosiari(Eds.), *Psychological Issues in Reading Chinese*(pp. 219-237). Hong Kong: Hong Kong University Press.

Waters, G. S., Seidenburg, M. S. & Bruck, M.(1984). Children's and adults' use of spelling-sound information in three reading tasks. *Memory and Cognition, 12,* 293-593.

Yamatori, A.(1975). Ideogram reading in alexia. *Brain, 98,* 231-238.

<부록 - 1> 한글 자극

한글 고빈도 단어	한글 저빈도 단어
사람 한국 서울 정부 자신	겸양 고락 낭송 교묘 데님
사회 세계 이상 국민 가장	눈곱 담백 노획 만담 붕사
생활 현재 사실 학생 관계	삼류 성은 서설 사취 아양
기업 선수 나라 은행 최근	압착 실토 숙면 약골 엽총
방법 모습 내용 지방 시장	위증 이골 장염 일몰 적선
신문 음악 바람 조사 상태	지압 제후 조판 징병 치조
소설 이름 친구 얼굴 필요	축배 출몰 하달 특진 현란
도시 의사 아침 인사 아들	희사 형부 인봉 삼림 배교
경기 교육 작품 대학 인간	경각 도술 방불 연어 독물
지역 시간 여자 회사 운동	청솔 파지 위수 발각 돌진
계획 대표 문학 마음 나무	격노 녹말 새참 자행 흥포
문화 수입 학교 소리 수출	자처 반어 등사 명료 주작
국회 국가 여성 국제 과정	증손 봉인 빈촌 쑥갓 기만
기술 투자 사건 개발 민족	금실 존함 급유 혹사 자만
산업 대표 문제 경제 처음	소일 쇄도 야화 근엄 옹립
생각 작업 활동 선거 정책	촌장 직면 위증 추도 탈옥
상황 가격 자금 이유 오늘	하차 파선 예습 시약 간파
자각 정신 하루 관심 현실	갈급 금실 간결 갈잎 화채
발전 가족 자리 경찰 천국	화관 핀셋 태고 우럭 최면
영화 사업 기간 시대 기록	지필 조망 정혼 종단 준법
단체 변화 역사 시설 대화	육수 적선 자만 잠복 온유
자유 무역 부모 공연 결과	역술 얼레 습자 압정 사취
규모 연구 주책 회담 제품	서자 변심 문상 만담 세면
머리 노력 건설 예술 전화	선남 무풍 단판 외주 연등

<부록 - 2> 한자 자극

한자 고빈도 단어	한자 저빈도 단어
韓國 政府 自身 社會 世界	謙讓 苦樂 朗誦 山莊 系列
理想 國民 家長 生活 現在	具現 原子 淡白 漫談 三流
事實 學生 關係 企業 先手	聖恩 序說 辭趣 實吐 熟眠
銀行 最近 方法 內容 地方	弱骨 僞證 回路 近海 義人
市場 新聞 音樂 調査 狀態	腸炎 日沒 積善 司法 部位
小說 親舊 必要 都市 醫師	原論 角木 指壓 諸侯 組版
人事 三寸 敎育 作品 大學	徵兵 高官 祝杯 出沒 下達
人間 地域 時間 女子 會社	特診 學名 陰凶 證票 古木
運動 計劃 代表 文學 文化	喜捨 印封 森林 背敎 道術
輸入 學校 江南 國會 國家	彷彿 毒物 把持 衛戍 發覺
女性 國際 出世 技術 投資	突進 綠末 恣行 紅袍 自處
事件 開發 民族 産業 代表	反語 明瞭 孔雀 曾孫 封印
問題 經濟 作業 活動 同門	貧村 欺滿 給油 君子 自慢
政策 名曲 價格 資金 理由	消日 殺到 野話 謹嚴 擁立
作家 情神 關心 現實 發展	村長 直面 僞證 脫獄 下車
家族 空軍 天國 映畵 事業	破船 豫習 試藥 看破 渴急
期間 時代 記錄 失手 變化	簡潔 花菜 花冠 太古 紙筆
歷史 生命 對話 自由 貿易	眺望 定婚 終端 遵法 肉水
父母 公演 結果 生物 硏究	積善 自慢 溫柔 習字 押釘
會談 製品 努力 建設 藝術	辭趣 庶子 變心 問喪 漫談
電話 時代 民主 外國 中共	洗面 善男 無風 單板 外注
過去 機能 故鄕 工夫 言語	角逐 生成 原木 元老 民法
知識 靑年 統一 夫婦 情報	鬪犬 表層 抵觸 育種 自服
基本 評價 行動 銀行 必要	耳順 玉碎 牧歌 談論 金塊

ABSTRACT

A fMRI Study of Word Recognition in Chinese and Korean

Donghoon Lee, Hongjae Lee, Kichun Nam*
(Dept. of Psychology, Korea University)

Eunjung Lee, Chanhong Moon, Jaeook Ryu, Donggue Na
(Dept. of Radiology, Samsung Medical Center, School of Medicine, Sungkyunkwan University)

The depth of orthography between Chinese and Korean is different. It has been reported in psycholinguistic research that the difference in word recognition process is due to the difference in the depth of orthography. Korean, which has a shallow depth of orthography, use both lexical and phonological routes; however, Chinese characters depend exclusively on the lexical route. In this research, we investigated whether the difference in word recognition process cause any difference in the brain activation region using fMRI. In Experiment 1, we gave Korean-reading task and chinese-reading task one after the other for several times to find out the brain activation area by comparing the activation rate. We found that the SMG (supramarginal gyrus) region of the brain, which is reported to execute phonological processes, was more activated for the Korean reading task than for the Chinese reading task. However, the Broca's Area(BA 44) and the fusiform gyrus were more activated when executing Chinese reading task. In Experiment 2, we used a statistical subtraction method to investigate the differences in the activating regions between the two languages. The results showed that the activated regions were similar in Korean and Chinese, but a tremendous decrease was found in the activating signals. We were thus able to draw a conclusion that, despite the difference in the activating brain regions between the two languages, we cannot definitively say that the two languages use different routes.

*e-mail: kichun@korea.ac.kr