

이중언어의 습득 시기와 산출: fMRI 연구1)

이승복, 연은경, 윤효운, 정관진

충북대학교 심리학과,

한국교육개발원

한국과학기술원 뇌과학연구센터, 피츠버그 대학교 뇌영상연구센터

기능적 자기공명영상을 이용한 두 실험에서, 한국어-영어의 이중언어자들의 내현적 언어산출 과정을 조기습득자(실험 1)와 후기습득자(실험 2)에게서 검토하였다. 일상적인 생활과 가까운 과거에 관한 질문을 주고, 그에 대한 이야기를 속으로 말하도록 하였다. Kim 등(1997)의 과제와는 달리, 촬영 전에 말할 것을 미리 연습시키지는 않았다. 영상 분석은 SPM 99를 사용하였다. 실험 1에서는 조기 습득자 6명을 대상으로 하였다. 결과, 두 언어의 산출 모두에서, 주로 전중심회 (precentral gyrus)와 중전두회(middle frontal gyrus)의 활성화가 관찰되었으며, 한국어(L1)를 말할 때나 영어(L2)를 말할 때, 비슷한 영역이 활성화되는 것을 볼 수 있었다. 실험 2에서는 사춘기 이후 학교에서 영어를 습득한 후기 습득자 6명을 대상으로 같은 실험을 실시하였다. 후기 습득자의 활성화 영역은 조기 습득자와 상당히 달랐다. 한국어(L1)의 산출에는 좌반구 하전두회, 좌반구 precuneus, 좌반구 putamen, 좌측 시상과 후 대상회와 우반구의 상 전두회 등 다양한 영역이 포함되는데 반하여, 영어(L2)의 산출은 주로 좌반구 중 전두회과 대상회(cingulate gyrus)에서의 활성화가 관찰되었다. 전반적으로 두 언어를 구사하는데 사용되는 뇌 영역이 상당히 다른 것으로 나타났다. 또한 후기 이중언어자의 L2의 산출에는 전두엽 영역이 좀더 관여함을 알 수 있었다. 조기 습득자의 경우에는 두 언어의 산출에 비슷하거나 동일한 영역이 관여하며 말하기 행위 자체에 좀더 초점을 둔다고 보인다. 후기습득자의 경우에는 두 언어의 활성화 영역이 상당히 달라서, L2를 말할 때 전두엽이 좀더 관여하였다. 이러한 결과는 전두엽이 후기습득자에서 L2의 산출에 좀 더 중요한 역할을 한다는 사실을 시사한다.

주요어: 이중언어, 습득시기, 전두엽, 전중심회, 언어산출

원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

1) 이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지

2) 본 연구의 실험은 한국과학기술원 뇌과학 연구

굳이 세계화(globalization)나 지구촌이라는 용어로 이야기를 꺼내지 않더라도, 우리가 사는 세계가 점차 한 가지 이상의 언어를 습득하여 사용하는 경향으로 나가고 있음을 분명하다. 한 사람이 나름대로의 체계를 갖춘 두 가지 이상의 언어를 사용하는 경우를 이중언어라 정의 한다(Owens, 2001). 이중언어 습득에 영향을 미치는 변인으로는 각 언어를 습득한 연령이나 습득 방식을 들 수 있다. 습득 연령에 따라서는 언어습득의 결정적인 시기라 보이는 사춘기 이전에 습득하는 조기습득자와 사춘기 이후에 주로 학교 교육을 통해 학습하는 후기습득자로 나눈다(Johnson & Newport, 1991). 또한 습득 방식에 있어서는 두 언어를 동시에 습득하는 동시적 습득과 모국어를 먼저 습득하는 순차적 습득으로 나누어 볼 수 있다(Grosjean, 1982).

이중언어라는 연구주제는 각기 변별적인 규칙 체계와 어휘집을 갖춘 두 가지 언어를 어떻게 표상하고 사용하는가 하는 문제와 연결된다. 주로 반응시간 연구로 이루어진 인지심리학적 이중언어 연구에서는 주로 심성 어휘집에서 두 언어가 어떤 관련으로 표상되어 있는지를 행동 자료로 추론하여 왔다(김미라, 정찬섭, 1998; Green, 1986; Kroll & Stewart, 1990; Grainger, 1993). 이들 연구를 통하여, 두 언어의 어휘집이 단어의 개념과 연결되어 있는 방식에 대한 몇 가지 가설들이 제시되어 왔다. 그러나 이러한 반응시간 연구는 실제 인간 뇌에서 일어나고 있는 과정을 보는 것이

아니라, 그 내적 과정을 행동을 통하여 간접적으로 추리하는 것이다. 이에 비해 최근의 뇌영상 기법으로 인지적인 과제를 하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 확인할 수 있게 되면서, 이중언어의 문제도 뇌영상을 통한 연구로 이루어지기 시작하였다.

사실 이중언어자의 뇌(bilingual brain)라는 주제는 뇌가 손상된 실어증 환자들을 대상으로 하는 연구에서 먼저 다루어졌다 (Fabbro, 2001a). 이중언어를 사용하다가 뇌 손상으로 인하여 실어증을 겪는 경우, 한 가지 언어는 손상되면서 다른 언어는 사용할 수 있는 경우도 있고, 한 언어에서 다른 언어로의 번역에 일방적인 손상이 일어나는 경우 등, 그 손상 방식이나 그 회복 방식이 아주 다양하게 나타난다. 이러한 손상과 회복 방식의 차이가 두 가지 언어의 표상이 독립적임을 보여주는 증거로 채택되어 온 것이다. 이에 대해 언어에 따른 해부학적 구조의 차이가 아니라, 뇌 손상에 따른 병리학적 요인 때문이라고 하는 주장도 있었다(Paradis, 1992; Fabbro, 1999).

그러나, 임상 사례 연구는 뇌 손상 이전의 언어에 관해서는 언어적 보고에 의존할 수밖에 없으며, 이러한 손상이 언어의 어떤 측면에 영향을 미친 것인지에 관해서는 구분할 수가 없다는 문제점이 있었다.

최근에는 fMRI나 PET 등 신경영상 기법으로 정상인이 이중언어를 사용할 때 활성화되는 뇌 영역을 확인할 수 있게 되어, 이중언어자의 두 언어가 별도로 표상 되어 있는 것인지, 공통적인 활성화 영역을 사용하는지를 검토하는 연구가 나오기 시작하였다.

뇌 영상기법을 이용한 선행 연구들은 주로 영어와 불어, 또는 스페인어, 독일어, 네덜란드어 또는 러시아어 등 인도유럽어의 두 언어에서 단어 과제를 중심으로 이루어져 왔다. 영어와 스페인어를 사용하는 유창한 이중언어자에게 의미판단 과제를 시키고 fMRI 뇌 영상을 비교한 Illes, Francis, Desmond, Gabrieli, Glover, Poldrack, Lee, & Wagner (1999)의 연구에서는 두 언어가 공통적인 의미 체계에 접근하고 있음을 보여주었다. 이와 비슷한 결과로 이중언어자의 두 언어 활성화 패턴에 별다른 차이가 없음을 보여주는 fMRI 연구들로는 Hernandez, Martinez, Kohnert.(2000), Rodriguez-Fornells, Rotte, Heinze, Nosselt, Munte (2002) 등을 들 수 있다. Sinai와 Pratt (2002)와 Rodriguez-Fornells 등(2002)는 ERP 측정으로 두 언어의 단어 과제에서 공통적인 활성화를 보고하고 있다.

이와는 달리, 청각적으로 제시되는 단어를 따라 말하기를 시킨 Klein과 동료들 (Klein, Zatorre, Milner, & Meyer, 1994; Klein, Milner, Zatorre, Meyer, & Evans, 1995)의 PET 연구에서는 L2(Second Language, 이중언어자에게 모국어 이외의 다른 사용언어)인 영어 사용에서 L1(First Language, 모국어)인 불어 사용에 비해 left putamen의 활성화가 더 크게 나타남을 보고하였다. 그러나 비슷한 단어 산출 과제라 하더라도 Hernandez 등(2000)의 이름대기 과제에서는 두 언어에서 겹치는 영역의 활성화를 보고하고 있다. 결론적으로, 이중언어자의 두 언어가 별도로 표상되

어 있는가, 공유된 표상을 지니는가 하는 문제는 정상인에게서는 주로 공통된 영역을 지지하는 결과가 대부분이고, 손상된 뇌에 관한 연구에서는 별도의 표상을 보고하는 연구들이 많았다고 볼 수 있다.

이중언어 연구에서 주로 단어 과제를 하는 이유는 과제를 만들기가 비교적 편할 뿐만 아니라, 또한 가장 통제하기가 쉽기 때문일 것이다. 그러나 언어의 가장 본질적인 특성은 문장 사용일 뿐 아니라, 특히 이중언어 습득에서 중심이 되는 문제는 문장 산출이나 문장 이해에 관한 것이다. 이중언어 사용에서의 문장 수준의 과제를 실시한 연구로는 불어-영어 이중언어자에게 두 언어로 수동적으로 이야기를 듣게 하고 fMRI 영상을 측정한 Dehaene, Dupoux, Mehler, Cohen, Paulsesu, Perani, Moortele, Lehericy, Le Bihan.(1997)의 연구와 주어진 주제에 대해 속으로 말하게 하고 뇌 영상을 측정한 Kim, Relkin, Lee, & Hirsch(1997)의 fMRI 실험을 들 수 있다. Dehaene 등은 7세 이후에 습득한 L2에서 좌, 우측 전두엽과 측두엽 영역이 더 광범위하게 활성화된다고 보고하였다. 또한 Kim 등은 L2의 습득시기에 따라 조기 이중언어습득자와 후기 이중언어습득자 각 6명씩에게서 두 언어의 산출에 관여하는 뇌 영역을 fMRI 영상으로 측정한 결과, 습득시기에 따라 두 언어의 표상 영역이 달라진다고 보고하였다. L2를 사춘기 이전에 습득한 조기습득자의 경우, 두 언어 사용에서 활성화되는 뇌 피질영역이 구분되지 않지만, 후기습득자의 경우에는 두 언어 모두 Broca 영역에서 활성화가 관찰되지만, 초

점 영역이 별도의 영역으로 떨어져 있다고 보고하였다. 그러나 이들은 L1(모국어)이 다양한 사람들을 대상으로 실험하였다. 실험 대상자의 L2는 모두 영어였지만, L1은 한국어, 불어, 스페인어 등으로 다양했다. 이들은 L1 언어 차이로 인한 효과를 배제하려고 다양한 L1 사용자를 대상으로 하였으나, 영어와 이를 언어간의 차이를 볼 수 없었다는 문제가 있다.

이 점에서 한국어 사용 이중언어자는 가장 좋은 언어간 비교 대상이 된다. 이중언어 연구에서 주로 인도유럽어 계통의 두 언어 사용자를 대상으로 하고 있지만, 이들 언어들은 서로 그 구조가 기본적으로 유사하여, 문장을 구성하는 통사 정보의 처리에서 두 언어의 비교가 힘들다. 반면에, 한국어는 그 기본 통사구조가 영어와 가장 다른 언어에 속하기 때문에 문장을 산출하는 과정에서 활성화되는 뇌 영역을 언어에 따라 검토해보는 이중언어 과제에 가장 적합한 언어가 될 수 있다. 본 연구는 한국어를 모국어로 하고, 영어를 L2로 습득한 이중언어 습득자를 대상으로 하였다.

또한 Kim 등의 연구에서는 전날 일어났던 일상적 사건에 대한 말하기 과제를 미리 연습을 시킨 후에 실험하였으므로, 진정한 언어산출을 보지 못했다는 문제점이 있다. 어떤 주제가 제시될 것인지, 그에 대해 어떤 내용을 말할 것인지를 미리 연습한 후에 실험을 진행하였으므로, 언어산출 단계에서 산출 계획에 해당하는 부분은 빠뜨리고 발성하기(articulation)에 치중하여 과제를 실행한 것으로 보인다. 그러나 언어산출이라는 과정에 가장 핵심적인 국면은

미리 계획된 말을 발성하는 과정이 아니라, 말할 내용을 생각하고, 이에 알맞는 단어를 인출해내는 과정이며, Kim 등의 연구에서는 이 과정이 빠진 것으로 보인다.

Indefrey와 Levelt(2004)는 단어산출의 여러 요소들을 구분하여 모형으로 제시하면서, ERP와 fMRI, 또 PET으로 측정한 선형연구들에서 나온 결과들을 종합하여 각 단계에 따른 뇌 활성화 영역을 시간별 과정으로 보여주고 있다. 이들에 따르면 단어가 개념에서 인출되고 선택되는 초기 단계와 선택된 단어가 음운 정보의 인출을 거쳐서 실제 발성에 이르는 후기 단계가 구분된다. 물론 이들의 산출 단계 모형은 단어 산출에 관한 것이지만, 문장 산출에 있어서도 동일한 산출 모형을 적용해본다면, Kim 등의 연구는 후기 단계인 발성 단계에 해당되는 부분에 초점을 맞춘 것이라 볼 수 있다. 이러한 후기 단계의 활성화 부위로는 전두엽과 두정엽 중간 영역이 보고되며, 개념에서 단어를 인출하고 선택하는 단계에 활성화를 보이는 부위는 주로 측두엽과 측두엽과 후두엽의 중간 영역이 지적된다(Indefrey & Levelt, 2004, p.126; Damasio, Tranel, Grabowski, Adolphs, & Damasio, 2004). 이들의 개관은 주로 그림을 보고 이름을 말하는 이름대기 과제를 중심으로 보는 것이었다. 한편 Levelt, Schreifers, Vorberg, Meyer, Pechmann, Havinga (1991)는 언어산출을 하면서 스스로를 감시하는 감시체계(self-monitoring)가 작동하고 있으며, 이 체계에서 통사적, 의미적 관련성에 적합한 단어를 선택한다고 한다. 이러한 감시체계는 단어 선택에

있어서는 발성에 치우치는 후기보다는 개념에서 단어를 인출하고 선택하는 초기 단계의 기능이라고 보고 있다. 따라서 언어 산출의 더 핵심적인 단계는 역시 산출의 초기 단계인 산출 계획, 단어 인출, 선택과 감시체계가 이루어지는 초기 단계라 할 것이다. Damasio 등(2004)도 단어산출과 개념인출은 별도로 구분되어야 한다고 한다. Kim 등의 연구에서는 이러한 초기 단계를 가능한 배제하기 위해 미리 말할 것을 연습을 시키고 뇌 영상을 측정하여, 발성에 관련된 후기 단계만 보았다는 한계점이 있다.

본 연구에서는 한국어-영어 사용 이중언어자들을 대상으로 두 언어로 속으로 말하기를 할 때, 활성화되는 뇌 영역을 검토해 보고자 하였다. 또한 말하기 할 주제를 미리 연습하지 않고, 주어진 단서를 보고 그에 관해 말하게 함으로써, 언어산출의 핵심적인 초기 단계에 활성화되는 뇌 영역을 살펴보고자 하였다. 또한 Kim 등과는 달리 단서를 일정 시간 주고 말하기를 하고, 뇌 영상이 측정되는 시간에는 보이지 않게 함으로써, 단서를 계속 보기 때문에 생기는 단어 지각에 관련된 활성화는 배제하고 말하기에 관련된 부분에 초점을 맞추고자 하였다.

실험 1은 우선 조기 습득자를 중심으로 연구하였다. 실험 1에서 나온 결과를 후기 습득자에게서 비교하기 위하여, 영어 유창성을 통제하여 공인 영어 성적이 조기 습득자 집단과 비슷한 후기 습득자를 모집하여 실험 2를 시행하였다.

실험 1: 조기습득자의 이중언어 산출

방법

실험참가자. 대전 외국어 고등학교 학생 6명을 대상으로 하였다. 실험에 참가한 여섯 명은 모두 12세 이전에 외국에서 2년 이상 체류한 경험이 있는 조기 이중언어 습득자였다. 6명의 학생들 모두 오른손잡이였으며, 평균 나이는 17.7세(16세-22세)였다. 제2언어(영어) 성적의 평균 TOEIC 점수는 875점(815점-975점)이었다. 실험참가자에게는 일정액의 사례금이 지급되었다.

실험 절차. 실험의 독립변인은 크게 두 가지로 언어의 종류(한국어(L1), 영어(L2))와 언어산출과정(휴식, 단서, 말하기)이었다.

실험에 사용된 과제는 LCD 프로젝터로 MR 스캐너 안에 위치한 거울을 통해 제시되었다. 실험이 시작되면 '휴식(Rest)'라는 단어가 21초 동안 제시되었다. 휴식(Rest) 조건은 기저상태로 한국어(L1) 말하기 또는 영어(L2) 말하기 조건과 같이 뇌가 활성화된 상태에서 활성화되지 않은 상태를 빼어 비교하기 위한 기저 조건이었다. '휴식(Rest)'이라는 단어가 21초 제시된 후에는 단서(cue)가 6초 동안 주어졌는데, 이는 영어(L2) 또는 한국어(L1)로 된 문장 형태로 말하기 조건에서 산출할 내용을 준비시키기 위한 것이었다. 단서에 제시된 주제는 영어, 한국어에서 각기 6가지였으며, 무선회하여 제시하였다(단서는 예를 들어, 한국

어(L1)조건에서는 “가족 소개”라고 주었고, 영어(L2)조건에서는 “Introduce your family” 등으로 주었다). 단서 제시가 끝나면 바로 ‘말하기’, 또는 ‘speaking’이라는 단어가 제시되었다. ‘말하기’라고 제시되면 주어진 주제에 대해 21초 동안 한국어(L1)로 말하도록 했으며, ‘speaking’이라고 제시되면 주어진 주제에 대해 21초 동안 영어(L2)로 말하도록 하였다. 언어를 말하는 경우에는 입의 움직임으로 인해 영상에 artifact가 생기는 것을 막기 위해 이전 연구(Kim et al., 1997)에서와 같이 소리내지 않고 속으로 말하도록 지시하였다(그림 1 참조).

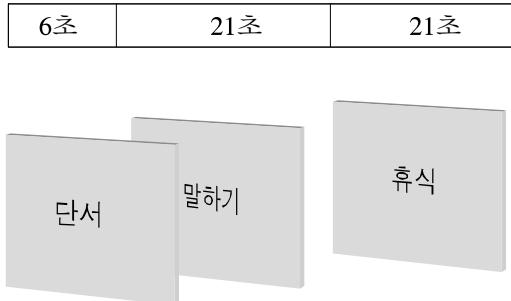


그림 1. 실험 절차(한국어(L1) 말하기)의 도식

fMRI 자료 획득과 분석 방법³⁾. 전체 실험 자료는 3 테슬라 세기를 가진 MR 기기(Oxford magnet, Varian console, 국내업체 ISOL 제작)를 통해 이루어졌고 Echo planar image sequence (EPI)가 사용되어졌다. 각 영상 슬라이스 두께는 5 mm이고 그 사이의 간격은 주어지지 않았다. MR parameter는 TR 3000 msec, TE 35 msec, flip angle 70°, matrix size 64 x 64, Field

³⁾ 본 실험의 분석은 충북대 심리학과 윤소정 학생이 맡아 해주었습니다. 수고에 감사드립니다.

of View(FOV) 220 x 220 mm 였으며, 20 장의 axial 방향 (머리위에서 밑으로의)의 슬라이스가 얻어졌다.

얻어진 자료는 SPM99 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)라는 소프트웨어를 이용하여 분석되었다. 얻어진 자료들은 움직임에 대한 수정작업(motion correction)과 동시기록화(co-registration: 기능적 영상자료를 얻기 전에 촬영되었던 해부학적 영상과 기능적 영상의 평균값들을 같이 기록(registration)하는 과정, 그리고 기능적 영상의 해부학적인 위치를 파악하기 위해 표준 뇌의 좌표와 실험에서 얻어진 영상 자료를 일치시켜주는 표준화(normalization)과정을 거쳐, 그 해부학적인 위치를 분석하였다. 마지막으로 얻어진 영상자료들은 고르기(smoothing)이라 불리는 과정을 거쳐 분석되었다. 집단분석에는 각 개인의 통계 결과들을 무선 효과 모형(random effect model)으로 분석하였다. 통계적 계산에 사용된 대비값(contrast)은 각각의 조건들에 대해 단순 비교검증(simple t-test)을 이용하여 나오는 것이다. 본 연구에서는 한 부피소 수준에서 uncorrected $p < 0.001$ 의 역치를 넘고, 10개 부피소의 범위를 넘는 활성화 영역(cluster)을 결과로 분석하였다.

이렇게 처리된 영상 자료를 실험 참가자 개개인에게서 각 언어로의 말하기 과정을 할 때와 휴식 상태의 활성화를 비교하였다. 개인 자료를 함께 집단 분석한 후, 주요 부위의 신호 강도 차이를 통계적으로 비교 분석하여 Z 점수에 따라 색채 부호화하여 집단별 뇌 지도를 얻었다. 집단분석 결과로

나오는 활성화 위치를 Talairach 좌표로 변환하여, 그 위치를 Talairach Deamon Database를 이용하여 확인하였다. 감산법을 이용하여, 영어(L2) 말하기 조건과 기저(rest)상태, 한국어(L1) 말하기 조건과 기저(rest)상태를 대비 분석하였다.

상태(rest)로 대비 분석을 하였다. 또한 두 언어조건 사이의 비교를 위하여 한국어(L1) 조건에서 영어(L2)조건을 감산한 결과와, 반대로 영어(L2)조건에서 한국어(L1) 조건을 감산한 접속 대비 분석을 하였다.

표 1. 조기 이중언어습득자가 두 언어를 말할 때 활성화되는 영역

(* $P <.001$ uncorrected, cluster size > 10)

한국어(L1)				영어(L2)									
L/R	Region	BA	Talairach 좌표			Z 값	L/R	Region	BA	Talairach 좌표			Z 값
			x	y	z					x	y	z	
L	Thalamus	VNL	-12	-11	8	3.7	L	Middle Frontal G	6	-32	5	59	4.01
L	Precentral G	6	-46	-3	48	4.09	L	Thalamus	MDN	-4	-17	10	3.81
L	Middle Frontal G	6	-36	-8	43	3.33	L	Precentral G	6	-46	-3	48	3.75
L	Precentral G	6	-51	2	44	3.2	L	Precentral G	6	-38	-6	33	3.67
R	Precentral G	6	42	-6	32	4.05	R	Posterior Cingulate	30	12	-63	12	3.42
							R	Precentral G	6	38	-8	30	3.68

G: gyrus; N: nucleus

결과

기능적 자기공명영상 촬영으로 나온 영상을 분석한 결과, 한국어(L1)를 말할 때 와 영어(L2)(L2)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역은 주로 전중심회(precentral gyrus)와 중전두회(middle frontal gyrus)로 관찰되었으며, 한국어(L1)를 말할 때나 영어(L2)를 말할 때, 비슷한 영역이 활성화되는 것을 볼 수 있었다(표 1 참조).

실험 1에 참여한 조기 이중언어 습득자의 경우, 각각의 언어를 구사하는데 사용되는 뇌 영역은 왼쪽 전두엽의 일부 영역(중전두회)을 제외하고는 왼쪽 전중심회(precentral gyrus)를 중심으로 많이 활성화되었다(표 1 참조).

영어(L2)로 말하는 조건에서도 한국어

(L1)를 말하는 조건과 비슷하게 중전두회와 전중심회가 주로 활성화되었고, 왼쪽 후대상회(posterior cingulate) 영역에서도 활성화를 보았다. 전반적으로, 영어(L2)를 말할 때 활성화 영역이 더 크게 나타났다(그림 2, 3 참조).

두 언어조건의 특성을 좀더 명확히 알아보기 위해서, 한국어(L1) 말하기 조건에서 휴식을 뺀 활성화 영역에서, 영어(L2) 말하기 조건에서 휴식을 뺀 영역을 접속 분석(conjunction analysis)으로 대비하여 보았다. 결과, 한국어(L1)에서만 활성화되는 영역은 양측 precuneus와 오른쪽 paracentral lobule, 영어(L2)에서만 활성화되는 영역은 양측 culmen과 declive로 나타났다(표 2 참조).

표 2. 조기 이중언어습득자들의 언어간 대비 접속분석 결과로 나타난 활성화 영역

(* $P <.001$ uncorrected, cluster size> 10)

한국어(L1)-영어(L2)			영어(L2)-한국어(L1)										
			Talairach 좌표				Talairach 좌표						
L/R	Region	BA	x	y	z	Z 값	L/R	Region	BA	x	y	z	Z 값
L	Precuneus	7	-2	-38	44	4.24	L	Declive	*	-10	-59	-14	3.94
R	Precuneus	7	4	-44	45	3.78	L	Culmen	*	-10	-66	-5	3.71
R	Paracentral Lo	6	5	-26	49	3.99	R	Culmen	*	10	-55	-17	3.91

Lo: lobule

논의

실험 1에 참여한 조기 이중언어 습득자가 모국어인 한국어(L1)와 제 2언어인 영어(L2)로 일상적인 내용을 속으로 말하게 할 때, 활성화를 보이는 뇌 영역은 전중심회를 중심으로 나타났다. 전중심회와 중전두엽의 일부 영역에서 두 언어에서 활성화 되는 영역이 서로 겹치는 현상을 보여주었다. Kim 등의 연구에서는 주로 Broca 영역과 Wernicke 영역에 초점을 맞추어 관찰하였으나, 이들도 역시 조기 습득자의 경우 두 영역에서 모두 겹치는 영역이 활성화됨을 보고하였다. 이들의 연구와 본 연구를 비교해보면, 활성화를 보인 영역은 서로 다르지만, 조기 습득자의 경우 두 가지 사용 언어에서 활성화되는 영역이 비슷하다는 점은 일치한다. Kim 등의 연구와는 달리, 본 연구에서 전중심회가 가장 많이 활성화되었다는 사실은, 시각적인 단서보다는 말하기 과제 자체에 초점을 맞춘 것이라 해석할 수 있겠다. Indefrey 등 (2004)의 산출모형에서 미루어본다면, 이 영역은 말하기의 후기 단계인 발성에 관

련되는 영역이기 때문이다.

또한 L2인 영어로 말하는 조건에서는 왼쪽 후대상회 영역에서의 활성화가 관찰되었는데, 이 부위는 각회(angular gyrus)와 셜소엽(cuneus)과 함께 시각적 단어 제시 이후에 개념에서 단어를 인출, 선택하는 과정에 관여하는 구조로 보인다 (Indefrey et al., 2004).

전반적으로, 영어(L2)를 말할 때 활성화 영역이 더 크게 나타났다. 이는 조기 이중언어 습득자의 경우에도 L1인 한국어 말하기 과제보다는 L2인 영어 말하기가 더 어려워 인지적인 부담이 좀더 커기 때문인 것으로 해석할 수 있겠다.

한국어(L1) 활성화 영역에서 영어(L2)를 빼어보거나, 거꾸로 영어(L2) 활성화 영역에서 한국어(L1)를 뺀 접속 분석의 결과, 두 조건에서 중요한 부위의 차이는 나타나지 않았다. 한국어(L1)에서만 나타난 precuneus 부위는 주의(attention)에 관련된 부위로 알려져 있다. 한국어(L1) 조건에서 과제에 주의를 더 기울인 것으로 볼 수 있겠다. 굳이 구별한다면 영어로 말할 때는 말하기에 좀더 부담을 느꼈지만, 한국어로 말하기를 하라고 하면 과제의 내

용에 좀더 주의를 기울인 것으로 해석해 볼 수 있겠다. 실험 1의 결과를 전반적으로 조기 이중언어 습득자는 두 언어를 사용하는데 사용하는 데 영역이 비슷하게 나타난 것이라 해석할 수 있다.

조기 이중언어 습득자가 언어 산출에서 보이는 이러한 뇌 활성화 방식은 사춘기 이후에 L2를 습득한 후기 습득자와 비교해 보아야 그 의미가 더 분명히 살아날 것이다. 따라서 실험 2에서는 후기 이중언어 습득자에게 실험 1과 동일한 언어 산출 과정을 실시하였다.

실험 2: 후기 습득자의 이중언어 산출

방법

실험 참가자. 실험 참가자는 한국과학기술원에 재학 중인 학생 중에서 한국어(L1)를 모국어로 하는 후기 이중언어 습득자 6명을 대상으로 하였다. 실험 참가자는 모두 오른손잡이였으며, 고등학교까지 한국에서 졸업한 후기 습득자이었다. 참가자의 평균 연령은 22.8세로, 19세에서 27세 사이였다. 영어 유창성을 통제하기 위하여 공인 영어 성적을 제한하여, TOEFL이나 TOEIC의 성적이 일정 수준(TOEFL 550; TOEIC 750) 이상인 학생들을 자원자로 모집하였다. 실험에 참가한 학생들의 영어 성적을 TOEIC으로 환산하면 평균 845점(775점~956점)이었다. 실험 1에 참가한 조기 습득자와 실험 2의 후기 습득자들의 영어 성적을 비교한 결과, 통계적인 차이가

나타나지 않았다($F(1,5)=2.13, p > .43$). 실험 참가자에게는 일정액의 사례금이 지급되었다.

실험 절차. 실험 2의 모든 절차는 실험 1과 동일하게 시행하였다.

fMRI 자료 획득과 분석 방법. 실험 1과 동일하게 수행되었다.

결과

기능적 자기공명영상 촬영으로 나온 영상을 분석한 결과, 한국어(L1) 산출에는 좌반구에서는 하전두회(left middle frontal gyrus), precuneus, 렌즈핵(lentiform nucleus), 시상(thalamus), 전중심회(precentral gyrus), 후대상회(posterior cingulate gyrus)와 parahippocampal gyrus가 활성화되었고, 우반구에서는 상전두회(superior frontal gyrus), 미상핵(caudate)의 활성화가 관찰되었다. 반면, 영어(L2) 산출에는 좌반구에서는 대상회(cingulate gyrus), 중전두회(middle frontal gyrus), 설소엽(cuneus), 상측두회(superior temporal gyrus), 그리고 우반구 시상(thalamus)의 활성화가 나타났다. 전두엽 영역은 L2의 산출에서 좀더 활성화되었다. 두 언어의 활성화 영역은 상당히 달라, 활성화되는 부위로 비교하여 보아도 공통적인 부위가 거의 없었다(표 2 참조). 좌반구 전두엽을 비교해본다면, L1 산출보다는 L2 산출에서 더 광범위한 영역이 더

높은 강도로 활성화됨을 알 수 있었다(표 3, 그림 4, 5 참조).

표 3. 후기 이중언어습득자들이 두 언어를 말할 때 활성화되는 영역

($P <.001$ uncorrected, cluster size > 10)

한국어(L1)			영어(L2)										
L/R	Region	BA	Talairach 좌표				Talairach 좌표						
			x	y	z	Z 합		L/R	Region	BA	x	y	z
L	Inferior Frontal G	47	-36	29	-6	3.72		L	Cingulate G	32	-14	29	26
L	Precuneus	31	-2	-69	24	3.76		L	Cingulate G	32	-6	25	32
L	Lentiform N	Putamen	-22	4	3	3.58		L	Middle Frontal G	6	-46	6	46
L	Lentiform N	Putamen	-24	14	-1	3.55		L	Middle Frontal G	6	-44	5	53
L	Thalamus	Pulvinar	-8	-27	12	3.58		L	Cuneus	17	-8	-95	5
L	Precentral G	6	-57	0	42	3.53		L	Superior Temporal G	22	-48	11	-6
L	Posterior Cingulate	29	-12	-50	6	3.39		R	Thalamus	*	18	-11	12
L	Parahippocampal G	28	-18	-16	-16	3.33							
R	Superior Frontal G	6	10	7	57	3.35							
R	Caudate	Caudate Body	16	-12	23	3.79							

G: gyrus, N: nucleus

표 4. 후기 이중언어습득자들의 언어간 대비 접속분석 결과로 나타난 활성화 영역

(* $P <.001$ uncorrected, cluster size > 10)

한국어(L1)-영어(L2)			영어(L2)-한국어(L1)										
L/R	Region	BA	Talairach 좌표			Talairach 좌표							
			x	y	z								
L	Supramarginal G	40	-53	-55	32	4.09	L	Inferior Frontal G	9	-53	11	33	4.18
L	Medial Frontal G	9	-4	50	20	3.44	L	Lingual G	18	-10	-68	-2	3.88
L	Precuneus	31	-6	-47	34	3.38	L	Cingulate G	32	-6	21	41	3.84
R	Middle Frontal G	9	48	35	31	4.35	L	Medial Frontal G	9	-8	29	32	3.63
R	Middle Frontal G	9	46	29	37	3.52	L	Middle Frontal G	6	-30	-6	43	3.72
R	Inferior Frontal G	47	44	30	-12	-3.3	R	Fusiform G	37	30	-43	-11	4.14
R	Medial Frontal G	10	4	53	12	3.66	R	Medial Frontal G	9	10	29	32	4.39
							R	Cingulate G	32	12	21	38	3.56

G: gyrus, N: nucleus

실험 1과 마찬가지로, 한국어(L1) 조건에서만 활성화되는 영역과 영어(L2) 조건에서만 활성화되는 영역을 알아보기 위해

서 한국어(L1) 말하기에서 휴식 조건을 뺀 영역을 다시 영어(L2) 말하기에서 휴식 조건을 뺀 경우로 감산하고, 거꾸로 영어

(L2)에서 한국어(L1) 영역을 뺀 감산으로 접속 분석으로 대비하여 보았다. 결과, 실험 1의 조기 이중언어습득자와는 상당히 다른 결과가 나타났다. 한국어(L1)에서만 활성화되는 영역으로는 좌반구 상면연회, 내전두회, precuneus와 우반구 중전두회, 하전두회와 내전두회가 나타났다. 영어(L2)에서만 활성화되는 영역으로는 좌반구의 하전두회, 내전두회, 중전두회가 모두 활성화되었고, 좌반구의 lingual gyrus와 대상회 역시 활성화 영역으로 나타났다. 우반구에서도 Fusiform gyrus와 내전두회, 대상회의 활성화가 보였다(표 4 참조).

논의

실험 2에 참여한 후기 이중언어 습득자의 경우, 두 언어를 구사할 때 활성화되는 뇌 영역은 상당히 다르게 나타났다(표 2 참조). L1의 산출에는 precuneus, 전중심회, 렌즈핵 등 다양한 영역이 포함되는데 반하여, L2의 산출은 주로 좌반구 전두엽과 대상회에서의 활성화가 뚜렷하게 관찰되었다(그림 4, 5 참조). 이는 실험 1에서 조기습득자들이 두 언어에서 전반적으로 비슷한 영역의 활성화를 보였다는 점과 뚜렷이 대조되는 결과이다. 곧, 조기 습득자들에게는 두 언어 산출에 비슷한 뇌 영역이 관여하지만, 후기 습득자들의 경우에는 언어에 따라 서로 다른 영역이 산출에 관여하고 있음을 보여주는 것이다. 접속 분석 결과를 보면, 한국어(L1)에만 활성화

되는 영역에 비해 영어(L2)에만 활성화되는 영역이 더 광범함을 알 수 있다. 특히 좌반구 전두엽의 여러 영역들의 활성화가 좀더 분명히 보인다. 이렇게 영어(L2)의 산출에 한국어(L1)의 산출에 비해 좌반구 전두엽의 여러 영역이 포함되는 것으로 보아, 영어(L2)의 산출은 자동적인 언어처리 과정이라기 보다는 통제적 처리과정이 좀더 관여하고 있는 것이라 해석할 수 있겠다.

전체 논의

본 연구에서는 한국어-영어 이중언어의 조기 습득자와 후기 습득자를 대상으로 속으로 말하기(내현적 언어산출) 과제를 하는 동안 자기공명영상 기법을 이용하여 뇌 활성화 부위를 알아보았다. 조기 습득자를 대상으로 시행한 실험 1에서는, 두 언어 산출에서 모두 좌반구의 중전두회와 양반구의 전중심회(precentral gyrus)의 활성화가 특징적으로 관찰되었다. 곧, 전중심회의 말하기 운동과 관련된 영역의 활성화가 주로 관찰되었다. 또한 L1, L2에 활성화되는 부위가 상당히 공통적이었다.

실험 2는 영어 유창성이 중상 정도인 후기 습득자를 대상으로 역시 속으로 말하기 과정에서의 뇌 활성화를 자기공명영상으로 검토해보았다. 결과, 한국어(L1)의 산출에는 precuneus, 전중심회, 렌즈핵 등 다양한 영역이 포함되는데 반하여, 영어(L2)의 산출은 주로 좌반구 전두엽과 대상회에서의 활성화가 뚜렷하게 관찰되었다

(그림 4, 5 참조). 전반적으로 두 언어를 구사하는데 사용되는 뇌 영역이 상당히 다른 것으로 나타났다.

두 실험을 시행한 시점은 서로 다르지만, 실험 방식과 실험 장치, 그리고 분석 방법은 동일하였다. 두 실험의 결과로 나온 조기습득자와 후기습득자의 이중언어의 산출 과정에 대한 비교를 해보면 다음과 같다(그림 6 참조).

우선, 실험 1의 조기 습득자는 달리, 실험 2의 후기 습득자의 경우에는 이중언어의 두 언어에 대한 처리 부위가 상당히 다르게 나타났음이 주목된다. 이는 Kim et al.(1997)이 지적한 바 있는 사실이다. 이들도 조기 이중언어 습득자에게서는 두 언어의 산출에 같은 영역이 사용되는 것으로 보이지만, 후기 습득자의 경우에는 사용 영역이 분리되어 있다고 주장하였다. 이들은 고전적 언어 영역인 Broca 영역을 중심으로 활성화 초점을 분석하여, 후기 습득자의 경우 중심초점(centroid)의 거리가 유의미하게 떨어져 있지만, 조기 습득자의 경우에는 유의미한 차이가 나지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서는 이러한 차이를 활성화 영역에서의 차이로 확인해 볼 수 있었다. 실험 1의 조기 습득자의 경우에는 두 언어에서 모두, 실험 2의 후기 습득자에게서는 L2의 산출에서는 Kim et al.(1997)이 보고한 Broca 영역의 활성화는 오히려 관찰되지 않았다. 실험 2의 후기 습득자의 L1 산출에서만 하전두회(Broca 영역)의 활성화가 보였다.

고전적인 언어영역인 Broca 영역은 일반적으로 언어의 산출과 관련이 있다고

보고되어 왔으나, 최근의 뇌 영상 연구 결과들을 보면, 이러한 고전적인 영역보다는 훨씬 더 광범한 영역들이 포함되어야 한다고 한다(Bookheimer, 2002). 언어처리에 관한 최근의 연구들을 몇 가지 검토해보아도, 이 하전두회가 언어의 통사적인 처리를 담당하는 영역이라는 연구들이 있는가 하면(Just, Carpenter, Keller, Eddy, & Thulborn, 1996; Keller, Carpenter, & Just, 2001; Homae, Hashimoto, Nakjima, Miyashita, & Sakai, 2002; Newman, Just, Keller, Roth, and Carpenter, 2003), 단어의 음운론적인 처리를 담당하고 있다고 보는 연구들도 있다(강은주, 김희정, 김성일, 나동규, 이경민, 나덕렬, 이정모, 2002; Pugh, Shaywitz, Shaywitz, Constable, Skudlarski, Fulbright, Bronen, Shankweiler, Katz, Fletcher, & Gore, 1996; Fiez, Balota, Raichle, Petersen, 1999). 범주 추론에 관한 연구들이나(Goel, Gold, Kapur, Houle, 1997), 심지어는 언어와는 직접 상관이 없는 것으로 보이는 몸짓(gesture)에 대한 표상에도 이 부위의 활성화가 보고되기도 한다(김나영, 2000). 일반적으로 전두엽의 하위부분들인 중전두회나 하전두회의 활성화에 대해서는 언어의 특정 측면과의 관련성을 꼭 집어 말하기는 어려울 것 같다. 그보다는 전반적으로 언어처리에 관여하며, 유창성이 떨어지는 후기 습득자의 외국어 처리에서 활성화가 더 커진다는 정도로 볼 수 있을 것 같다(Vingerhoets, van Borsel, Tesink, Noort, Deblaere, Seurinck, Vandemaele, & Achten, 2003). 본 연구에서 실험 2의

후기습득자가 L1를 산출하는 경우에는 하전두회, L2를 산출하는 경우에는 좀더 광범위한 영역의 중전두회가 활성화된 것도 이러한 맥락에서 해석할 수 있겠다.

실험 1의 조기습득자들은 L1이나 L2를 산출할 때, 전두엽 이외에도 전중심회의 공통적인 활성화를 보였는데, 이 전중심회의 활성화는 단어산출 연구 82편을 메타분석한 Indefrey 등의 개관에 의하면, 전두엽의 중전두회와 하전두회와 함께 산출에 신뢰성 있게 활성화되는 영역에 포함된다(Indefrey et al., 2004, p 121). 본 연구의 결과도 이러한 결론에 일치되는 것이라 볼 수 있다.

실험 2의 후기습득자들의 경우, L1 산출과 L2 산출에 조금씩 다른 영역의 활성화를 보였다. L1의 산출에는 precuneus, 전중심회, 렌즈핵 등 다양한 영역이 포함되는데 반하여, L2의 산출은 주로 좌반구 전두엽과 대상회에서의 활성화가 뚜렷하게 관찰되었다. 실험 1의 조기습득자들에게서 두 언어에 공통적인 영역으로 관찰된 전중심회가 실험 2의 후기습득자들에게서는 L1의 산출에만 나타났다는 사실도 흥미로운 점이다. 조기습득자들은 두 언어를 모두 유창하게 사용할 수 있었지만, 후기습득자들의 경우 모국어인 L1의 사용에서만 조기습득자들의 유창성에 근접하였을 것이다. 따라서 상대적으로 유창하게 말하는 세 경우에서의 전중심회 활성화는 이 구조가 말하는 이의 유창성을 반영해주는 구조이었을 가능성을 시사해준다.

전두엽의 활성화가 L2에서 더 많이 관찰된다는 사실은 앞에서도 지적하였듯이,

이중언어 연구에서 일반적으로 나오는 결론이다. 특히 후기습득자이거나 유창성이 떨어지는 경우에는 이러한 현상이 일관성 있게 보고된다. 나머지 설소엽이나 렌즈핵(lentiform nucleus), 대상회 등은 언어 처리 회로의 일부분으로 보인다. 특히 설소엽 부위는 각회(angular gyrus) 부위와 함께 단어 과제 fMRI, PET 연구에서 신뢰성 있게 보고되는 영역이다(Samelin et al.(2000), Indefrey et al.(2004)에서 재인용; 강은주 등, 2002). Samelin 등은 시각적으로 제시되는 단어 이후에 lemma를 활성화시키는 역할을 하는 부위가 설소엽과 렌즈핵이 포함되는 내측, 외측 후두엽 영역이라고 한다. 후기습득자들의 경우 자동처리가 가능한 L1 산출에는 이들 부위의 활성화가 관찰되었지만, L2 산출에서는 전두엽 부위만 주로 관찰된 사실로 미루어 본다면, 이러한 언어처리 회로는 자동적인 언어처리를 담당하고 있으며, 좀더 통제적인 언어처리에 관여하는 부위가 전두엽일 것이라 해석할 수 있겠다.

본 연구의 실험 절차를 Kim et al.(1997)의 연구와 비교해보면, Kim과 동료들은 촬영장치 안에서 말하게 될 주제를 장치 밖에서 미리 주고, 어떤 내용을 말할 것인지 충분히 연습하고 난 다음에 장치 안에서 이미 연습했던 말을 속으로 산출하도록 하였다. 반면, 본 연구에서는 주제를 미리 주거나 말할 내용을 연습할 기회를 주지 않았다. 따라서 본 연구에서는 말하기와 관련된 좀더 광범위한 뇌 영역의 활성화가 관찰될 것이라 예상되었다. 그러나 일반적으로 말하기와 관련된 언어

산출 영역으로 알려진 고전적인 영역, Broca 영역과 Wernicke 영역의 활성화보다는 전중심회나 설소엽, 또는 대상회 등의 부위가 좀더 일관성 있게 관찰되었다. 이는 언어처리의 자동적인 과정인 초기 단계에 관련되는 회로에 이 부위들이 포함되어야 함을 시사한다.

본 실험과 본 연구의 모델로 삼은 Kim et al.(1997)의 실험은 모두 전체적인 언어 수행에 초점을 맞추어, 의미 과정 뿐 아니라 음운론적, 통사적, 그리고 다른 과정을 포함한 과제이다. 따라서 언어의 어떤 요소가 차이를 보이는 것인지, 어떤 요소 때문에 그러한 차이가 보이지 않는 것인지를 구분하기 힘들다. 후속 연구에서는 이러한 점을 고려하여, 언어의 특정 요소를 분리하여, 개별 요소의 효과를 보는 연구가 수행되어야 이중언어에서의 언어 간 효과를 가려낼 수 있을 것이다. 또한 속으로 말하기 과제는 실험 참여자가 실제로 과제를 수행하고 있는지, 안 하고 있는지를 가려낼 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 후속 연구에서는 실험참여자의 과제수행 여부를 가려낼 수 있는 과제로 진행되어야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구는 조기습득자에 대한 연구부터 이루어지고 난 다음(2002년 3월), 1년 후에(2003년 3월) 이 집단과 비교할만한 영어 유창성을 지닌 후기습득자를 대상으로 실험 2를 추가로 실시한 것이었다. 따라서 실험 조건을 동일하게 통제하였다 하더라도, 1년의 시간 간격은 있었다. 또한 조기습득자의 경우 외국어 고등학교 재학생 중에서 구하였고, 후기습득자

는 대학생 자원자를 대상으로 하였으므로, 연령 통제도 이루어지지 못했다. 그러나 공인 영어성적을 기반으로 영어 유창성은 통제되었다. 앞으로 조기습득자와 후기습득자에 대한 비교를 확실히 할 수 있으려면 유창성 뿐만 아니라, 연령도 통제하여 다른 조건은 동일한 두 집단을 동시에 실시하는 실험을 진행하여야 할 것이다. 또한 조기습득자의 경우, 그 수가 한정되어 있어, 실험에 참여하게 하는 절차가 상당히 까다로웠다. 이중언어 연구가 제대로 이루어지려면 조기습득자와 후기습득자의 비교가 꼭 필요한 문제이다. 이러한 문제에 대한 대책이 학계에서 이루어졌으면 하는 바람이다.

참 고 문 헌

- 강은주, 김희정, 김성일, 나동규, 이경민, 나덕렬, 이정모. (2002). 그림의 부호화 과정과 신경기제: fMRI 연구. *한국인지과학회지*, 13(1), 23-40.
- 김나영. (2000). 무의미한 동작의 지각과 도방에 관련한 뇌 활성화 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김미라, 정찬섭. (1998). 이중언어자의 위계모형 검증: 암묵기억과제와 외현기억과제의 효과. *인지과학*, 9, 47-60.
- Bookheimer, S. (2002). Functional MRI of Language: New Approaches to Understanding the Cortical Organization of Semantic Processing. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 151-88
- Damasio, H., Tranel, D., Grabowski, T.,

- Adolphs, R., & Damasio, A. (2004). Neural Systems behind Word and Concept Retrieval. *Cognition*, 92, 179–229.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., van de Moortele, P.F., Lehericy, S., & Le Bihan, D. (1997). Anatomical Variability in the Cortical Representation of First and Second Language. *NeuroReport*, 8, 3809–3815.
- Dufour, R., & Kroll, J.F. (1995). Matching Words to Concepts in Two Languages: A Test of the Concept Mediation Model of Bilingual Representation. *Memory and Cognition*, 23, 166–180.
- Fabbro, F. (2001a). The Bilingual Brain: Bilingual Aphasia. *Brain and Language*, 79, 201–210.
- Fabbro, F. (2001b). The Bilingual Brain: Cerebral Representation of Languages. *Brain and Language*, 79, 211–222.
- Fiez, J.A., Balota, D.A., Raichle, M.E., & Petersen, S.E. (1999). Effects of Lexicality, Frequency and Spelling-to-Sound Consistency on the Functional Anatomy of Reading. *Neuron*, 24, 205–218.
- Flege, J.E., Yeni-Komshian, G.H., & Liu, S. (1999). Age Constraints on Second-Language Acquisition. *Journal of Memory and Language*, 41, 78–104.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997). The Seats of Reason: A Localization Study of Deductive and Inductive Reasoning Using PET(O15) Blood Flow Technique. *NeuroReport*, 6, 1741–1746.
- Grainger, J. (1993). Visual Word Recognition in Bilinguals. In R. Schreuder & B. Welters (Eds.). *The Bilingual Lexicon*. Amsterdam: John Benjamins Publishing Co.
- Green, D.W. (1986). Control, Activation and Resource. *Brain and Language*, 27, 210–223.
- Grosjean, F. (1982). *Life with Two Languages*. Cambridge: Harvard University Press.
- Hernandez, A. E., Martinez, A., & Kohnert, K. (2000). In search of the language switch: An fMRI study of picture naming in Spanish–English Bilinguals. *Brain and Language*, 73, 421–431.
- Homae, F., Hashimoto, R., Nakajima, K., Miyashita, Y., & Sakai, K.L. (2002). From Perception to Sentence Comprehension: The Convergence of Auditory and Visual Information of Language in the Left Inferior Frontal Cortex. *NeuroImage*, 16, 883–900.
- Illes, J., Francis, W. S., Desmond, J.E., Gabrieli, J. D., Glover, G. H., Poldrack, R., Lee, C. J., & Wagner, A. D. (1999). Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain and Language*, 70, 347–363.

-
- Indefrey, P., & Levelt, W.J.M. (2004). The Spatial and Temporal Signatures of Word Production Components. *Cognition*, 92, 101–144.
- Johnson, J., Newport, E. (1989). Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Phonology*, 21, 60–99.
- Just, M.A., Carpenter, P.A., Keller, T.A., Eddy, W.F., & Thulborn, K.R. (1996). Brain Activation Modulated by Sentence Comprehension. *Science*, 274, 114–116.
- Kim, K. S., Relken, N. R., Lee, K. M., & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388(10), 171–174.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R.J., Meyer, E., & Evans, A.C. (1995). The Neural Substrates Underlying Word Generation: A Bilingual Functional-imaging Study. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 92, 2899–2903.
- Klein, D., Zatorre, R.J., Milner, B., & Meyer, E. (1994). Left Putaminal Activation When Speaking a Second Language: Evidence from PET. *NeuroReport*, 5(17), 2295–2297.
- Kroll, J.F., & Stewart, E. (1990). Concept Mediation Bilingual Translation. *Paper presented at the 31st Annual Meeting of the Psychonomic Society. New Orleans*.
- Kroll, J.F., & Stewart, E. (1994). Category Interference in Translation and Picture Naming: Evidence for Asymmetric Connections between Bilingual Memory Representations. *Journal of Memory and Language*, 33, 149–174.
- Levelt , W.J.M. Schreifers, H., Vorberg, D., Meyer, A.S., Pechmann, T., & Havinga, J. (1991). The Time Course of Lexical Access in Speech Production: A Study of Picture Naming. *Psychological Review*, 98, 122–142.
- Owens, R.E. (2001). *Language Development: An Introduction*. 이승복 옮김, 언어발달, 시그마프레스.
- Paradis, M. (1992). The Loch Ness Monster Approach to Bilingual Language Lateralization: A Response to Berquier and Ashton. *Brain and Language*, 43, 534–537.
- Pugh, K.R., Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Constable, R.T., Skudlarski, P., Fulbright, R.K., Bronen, R.A., Shankweiler, D.P., Katz, L., Fletcher, J.M., & Gore, J.C. (1996). Cerebral Organization of Component Processes in Reading. *Brain*, 119, 1221–1238.
- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H., Nosselt, T., Munte, T.(2002). Brain Potential and Functional MRI Evidence for How to Handle Two Languages with One Brain. *Nature*, 415, 1026–1029.

- Sinai, A., & Pratt, H. (2002). Electrophysiological Evidence for Priming in Response to Words and Pseudowords in First and Second Language. *Brain and Language*, 80, 242–252.
- Vingerhoets, G., van Borsel, J., Tesink, C., van den Noort, M., Deblaere, K., Seurinck, R., Vandemaele, P., & Achten, E. (2003). Multilingualism: an fMRI Study. *NeuroImage*, 20, 2181–2196.

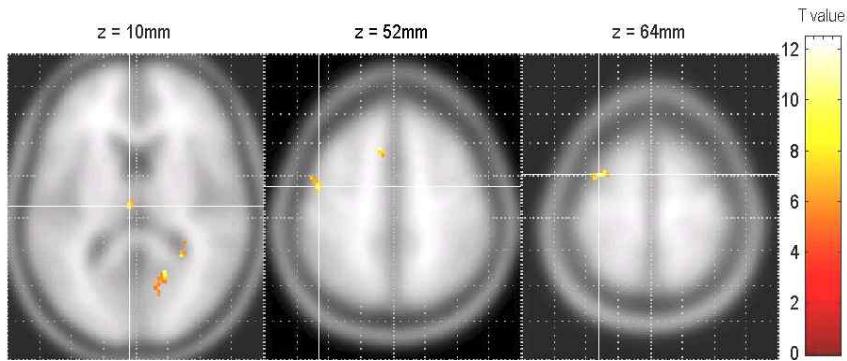


그림 2. 조기 이중언어습득자가 영어(L2)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역

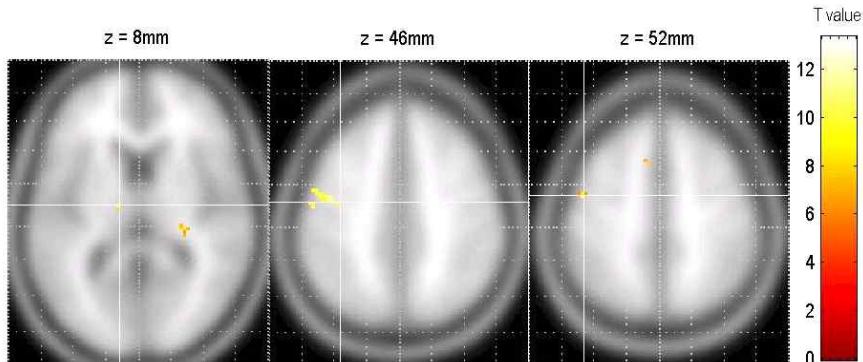


그림 3. 조기 이중언어습득자가 한국어(L1)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역

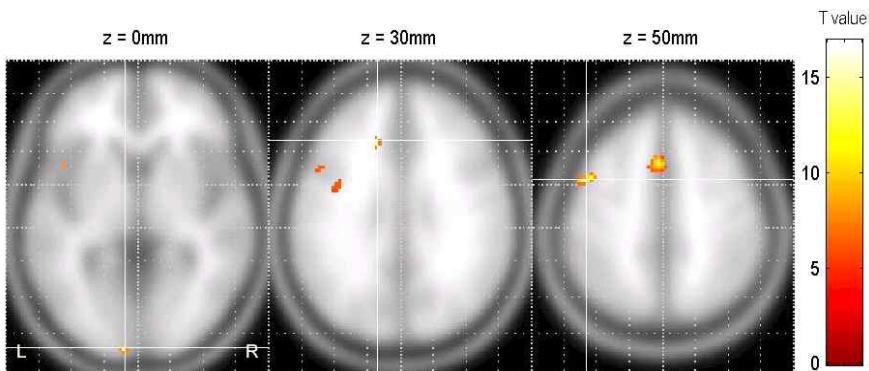


그림 4. 후기 이중언어습득자가 영어(L2)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역

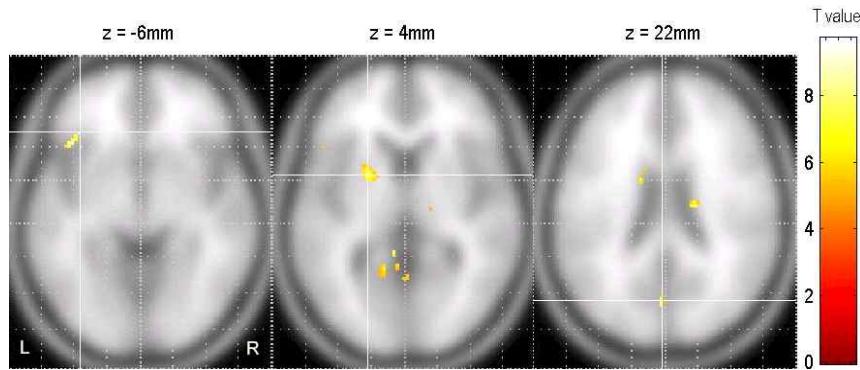


그림 5. 후기 이중언어습득자가 한국어(L1)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역

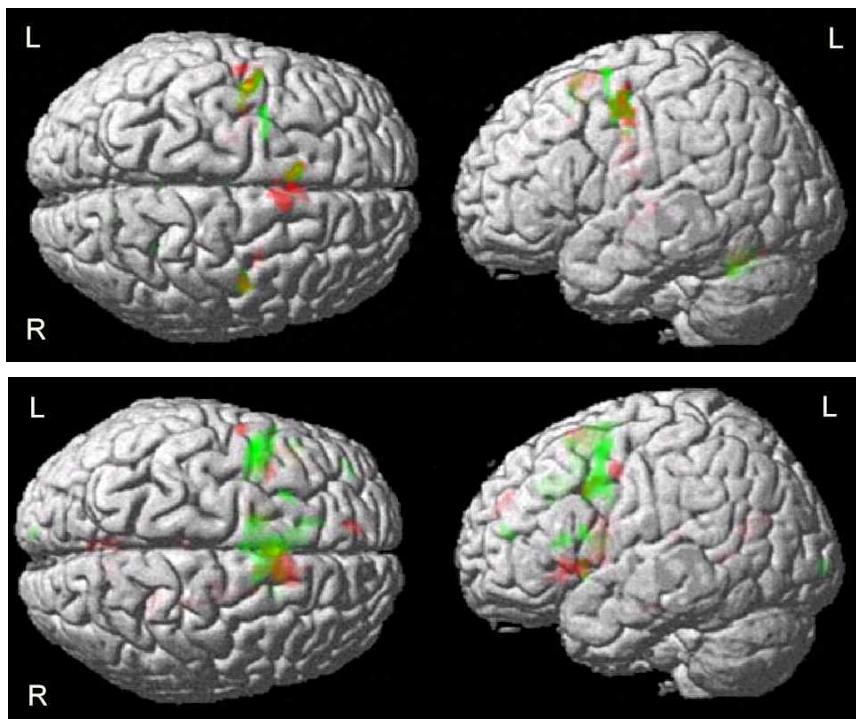


그림 6. 조기 습득자(위)와 후기 습득자(아래)가 한국어(빨간색)와 영어(녹색)를 말할 때 활성화되는 뇌 영역의 비교

Abstract

Bilingual's Brain Activation and the Age of Acquisition: An fMRI Study

Seungbok Lee, Eun-Kyoung Yeon, Hyo-Woon Yoon, Kwan-Jin Jung

Dept. of Psychology, Chungbuk National University,
Korean Education Development Institute, KAIST, U. of Pittsburg

We examined the images on fMRI in early(experiment 1) and late(experiment 2) Korean-English bilinguals during the inherent production task. The subjects were instructed to describe events that occurred during a specified period of the near past. Unlike the Kim et al.(1997)'s task, we did not train the subjects before the scanning sessions, because the planning process itself was emphasized to be important. The SPM99 was used to analyze the results.

The activation area during production in the six early bilinguals(experiment 1) involved the precentral gyrus and the middle frontal gyrus(BA 6) in both languages, and the right posterior cingulate and the right precentral gyrus in English. The activated areas seemed be overlapping in the two languages. To compare this result with the late bilinguals, we recruited the 6 late bilinguals, who were moderately proficient in L2(English), and applied the fMRI scanning while doing the same task as the one used in experiment 1. Quite different regions were activated in these late bilinguals. The left inferior frontal gyrus(BA 47), the left precuneus(BA 31), the left putamen, the left thalamus, left precentral gyrus(BA 6), posterior cingulate(BA 29), the right superior frontal gyrus(BA 6), and the right caudate were involved in their L1(Korean) production. The activated regions during L2(English) production were the left cingulate gyrus(BA 32), the left middle frontal gyrus(BA 6), the left cuneus(BA 17), the left superior temporal gyrus(BA 22), and the right thalamus. The frontal areas were more activated in L2. The involved regions were different in speaking the two languages.

We conclude that in early bilinguals, the same or similar regions were involved in producing the two languages. They seemed to focus more to the speaking act. However, the activated areas were quite different in the late bilinguals. The frontal areas are more involved in these late learners when speaking L2. These results suggest that frontal areas play a more important role in L2 production in the case of the late bilinguals.

Key words: bilingualism, age of acquisition, frontal lobe, precentral lobe, language production