

입 움직임 시각 단서가 청각 언어 지각에 미치는 영향: 구조 방정식 모델 연구

김 회 정¹² 이 동 수¹² 강 은 주³

¹서울대학교 인지과학 협동과정 ²서울대학교 의과대학 핵의학과 ³강원대학교 심리학과

본 연구는 시청각 언어 지각 중에 관여하는 우반구의 두뇌 영역들의 신경망을 제안하고, 그 신경망 내의 연결 관계가 청각 문장과 함께 제시되는 화자의 입 움직임 시각적 단서들의 속성에 따라 어떻게 변화하는지를 탐색한 연구이다. 이 신경망 연구는 정상 청력을 가진 성인(N=12)이 청각 문장의 진위를 판단하는 과제를 수행하는 중에 청각 언어 자극과 함께 제시되는 서로 다른 시각 자극 조건(다문 입 모양, 껌 씹는 입 움직임, 청각 문장 자극과 일치하는 입 움직임)에 따라 다르게 활성화 되는 영역을 관찰한 사전 fMRI 연구 결과를 자료로 하였다. 우반구의 전측 및 후측의 상 측두구, 좌측 Broca에 대응되는 우측 Broca영역, 그리고 우측 V5/MT 영역들과 시각피질 영역이 본 연구의 관심영역으로 선택되어 경로 분석에 사용되었으며, 구조방정식모형(Structural Equation Modeling)을 이용하여 영역들 간의 경로 관계를 분석한 결과 시각 피질에서 V5/MT영역이 시각 조건과 무관하게 늘 유의한 반면, 입 움직임이 있는 두 조건에서는 V5/MT영역에서 후측 상 측두구로의 경로가, 청각문장과 일치한 입 움직임 조건에서는 후측 상 측두구에서 전측 상 측두구로의 경로가 유의한 것으로 나타났다. 특히 V5/MT영역과 Broca영역 사이의 경로가 조건에 따라 역동적 변화를 보였는데, 입 움직임이 없는 조건에 비해 화자의 무의미한 입 움직임이 제시된 조건에서는 V5/MT영역에서 Broca 영역으로의 경로가 부적에서 정적인 연결로 바뀌는 반면, 그 반대 방향(Broca에서 V5/MT)으로의 경로는 정적에서 부적 연결로 변화하였다. 특히 청각문장과 일치하는 입 움직임 조건에서는 위의 경로들의 연결 강도는 더욱 유의하게 증가하였다. 시청각 문장의 교차양상(cross-modal) 처리 시에 활성화되는 우반구 영역들 간의 네트워크간의 이러한 역동적 변화는, 우반구 회로 내의 선택적 억제과정이 존재할 가능성을 의미한다.

주제어 : 교차양상 처리, 구조방정식 모형 (SEM), 입술 읽기, 언어, fMRI

* 본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어연구개발사업 (M103KV010016-08K2201-01610)의 지원으로 수행되었음

† 교신저자 : 강은주, 강원대학교 심리학과, (200-701) 강원도 춘천시 강원대학길 1번지
E-mail: ekang@kangwon.ac.kr

인간에게 있어 의사소통을 하는 중요한 수단인 언어다. 우리가 언어라 함은 귀로 들리는 청각적인 언어 정보뿐 아니라 말하는 입 움직임 같은 시각적인 언어 정보를 포함하기도 한다. 정상적인 상황에서는 서로 다른 두 개의 감각 기관으로 들어오는 감각 정보가 일치하게 된다면 두뇌 속에서 하나의 정보로 통합하여 처리하게 된다. 실험적으로 조작된 상황에서 화자의 입 모양과 청각 소리가 일치하지 않게 제시할 경우 청각 음절의 지각이 왜곡되는 현상이 있는데 이것이 잘 알려진 McGurk 효과이다. 이는 화자의 입 모양이 주는 시각 단서와 청각 정보의 통합이 자동적으로 일어나기 때문에 청각 언어 지각 왜곡이 야기될 수 있음을 증명하는 현상이다(McGurk와 MacDonald, 1976). 정상 청력을 가진 성인의 경우 두 개의 감각 기관으로 들어오는 언어적인 정보가 일치할 경우에는 상대방의 입술 움직임으로부터의 시각 단서(visual cue)가 중요한 역할을 하지 않는 것처럼 보이지만 배경소음이 시끄러운 상황에서는 화자의 입 움직임으로부터 보이는 시각 단서가 정상인의 청각 언어 지각을 향상시킨다는 것도 알려져 있다(Calvert 등, 1997). 정상인을 대상으로 단음절을 지각하는 동안에 fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)를 사용하여 시각과 청각의 교차양상(cross-modal) 처리과정을 연구한 결과에 의하면, 좌반구 상 측두영역(superior temporal gyrus, STG, superior temporal sulcus, STS)은 청각 언어 정보를 처리할 때 활성화되는 영역이면서 동시에 청각 언어 정보 없이 화자의 입술 움직임을 읽는 동안(lip-reading)에 활성화 되는 영역으로 알려져 있다. 이는 이

영역이 언어 지각에 청각과 시각, 두 감각 정보의 통합이 일어나는데 관여할 가능성을 시사한다. 이 상 측두영역은 화자(speaker)의 비언어적인 입 움직임, 즉 입 씹룩거리는 움직임(chewing motion)에 대해서는 활성화되지 않지만 화자의 유사단어(pseudo-word) 발화시의 언어적인 입 움직임일 경우에는 활성화된다고 보고되고 있다. 좌반구의 후측 상 측두영역에 대응하는 우반구의 후측 상 측두영역 또한 다른 물체의 움직임보다도 얼굴이나 손 등의 움직임에 민감한 반응을 한다는 보고도 있다(Thompson 등, 2007; Pelphrey 등, 2006). 본 연구에 포함된 입 모양 움직임은 생물학적 움직임(biological movement)이라는 광의의 범주에 속한다. 생물학적 움직임이란 걷는 행동이나 눈을 깜박임, 손의 움직임 또는 입을 움직이는 등의 행동과 같이 생물학적인 실체의 시각적인 지각에 관여하는 움직임을 의미한다(Pelphrey와 Morris, 2006; Wheaton 등, 2004). 운동지각에 관여한다고 알려진 V5/MT 영역이 이런 생물학적인 시지각에 반응한다고 알려졌지만 이 외에도 어둠 속에서 사람의 동작을 묘사하는 불빛 점(point-lights)의 움직임의 지각과 같은 생물학적인 움직임의 시지각에 청각 언어 처리에 관여한다고 알려진 양쪽 반구의 상측두회나 상측두구의 활성화도 보고되고 있다(Howard 등, 1996; Allison 등, 2000; Gallese 등, 1996; Puce 등, 1998).

특히 청각 언어 정보와 일치하는 (동시성을 지니는) 말하고 있는 입 움직임의 시각 자극은 생물학적인 움직임의 시각적인 속성과 함께 말하는 데 관여하는 언어적인 요소도 함께 포함하고 있다. 말하는 입 모양을 보는 동안

에 STS 영역의 활성화가 관찰되며 이 STS(상측두구) 영역 이외에도 Broca 영역 역시 생물학적인 움직임의 시각 자극에 의해 활성화된다고 알려져 있다(Buccino 등, 2001; Rees 등, 1999). 특히 Broca 영역은 원숭이의 F5 영역과 종간의 유사성이 논의되는 부분으로서 원숭이의 F5 영역은 타자의 행동을 관찰할 때와 자신이 타자의 행동을 모방할 때 모두 활성화되는 거울뉴런(mirror neuron; Gallese 등, 1996)이 발견된 영역이다. 이 원숭이의 F5 영역과 상응하는 인간의 두뇌 부위인 Broca 영역이 실행 행동을 모방하려는 지각적 특성 때문에 생물학적 움직임의 지각적 정보처리에도 관여할 가능성이 제시되고 있다(Knutson 등, 2008). 또한 V5/MT 영역 역시 얼굴이나 몸의 움직임 같은 생물학적인 움직임에 관여한다고 알려져 있다(Kilts 등, 2003; Peuskens 등, 2005; Puce 등, 1998). 특히 이 영역은 여러 감각의 통합 영역으로 알려져 교차 양상에 관한 연구에서 잘 언급되는 영역이기도 하다(Beauchamp 등, 2005).

본 연구는 위에 언급한 교차 양상 언어 지각에 관여하는 두뇌 영역을 중심으로 입 움직임의 시각 단서 조건 간의 차이가 청각 언어 처리 시에 미치는 효과를 신경망 모형으로 수행한 연구이다. 본 신경망 연구에는 fMRI 연구 결과 중 세 가지 조건의 활성화 결과가 선택되어 사용되었다. 첫째, 정상적인 청각 문장이 제시되는 중에 화자(speaker)의 입 움직임의 시각 단서가 있는 두 개의 조건이 선택되었다. 그 중 하나는 청각 문장과 일치하지 않는 비언어적 입 움직임의 조건(껌 씹는 입 움직임 조건)이고, 다른 하나는 청각 문장과 일치하는

언어적 입 움직임이 있는 조건이었다. 마지막으로 청각 문장이 제시되는 동안 화자의 입이 전혀 움직이지 않는 조건(다문 입 모양 조건)이 기저 비교 조건으로 선택되었다. 이 조건은 생물학적 입 움직임도 언어적 정보도 전혀 존재하지 않는 화자의 얼굴에 대한 시각 정보만이 제시된 조건이다.

본 연구에서는 이러한 활성화 연구의 결과(Kang 등, 2002; Kim 등, 2002)를 근거로 신경망의 경로 모형을 구성하고 시각 단서 조건별 경로 변화를 분석하고자 하였으며 특히 우반구가 입 움직임과 같은 생물학적 움직임에 민감할 것이라는 가정 하에(Thompson 등, 2007; Freitag 등, 2008) 우반구의 관심 영역들로 이루어진 신경망 내에서 청각 언어 처리에 시각 자극이 어떠한 신경망의 변화를 야기할 수 있는지를 연구하였다. 본 신경망 연구에 선택된 영역을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 교차 시각 영역과 교차 청각 영역이 교차 양상 모델에 포함되었다. 그 중 시각 경로의 시작점인 교차 시각 영역에서는 화자의 입에 대한 시각 정보가 시작되는 영역으로 간주되며 빈 화면에 '+' 모양의 응시점을 바라보는 기저 조건에 비해서 화자의 얼굴이 동영상으로 제시되는 조건에서 활성화가 관찰되었고 그 교차 시각 영역인 설상회(lingual gyrus)를 교차 시각 영역의 관심영역으로 선정하였다. 다음으로 V5/MT 영역이 선택되었다. 이는 운동지각, 특히 생물학적 운동 지각에 관여하리라 간주되는 영역으로 후엽의 교차시각 영역에서 바로 입력을 받는 영역으로 설정되었다. 본 연구에서 제시되는 시각 자극이 청각 언어 정보와 만나게 되는 가능한 영역으로 교차 양상

연구(Wheaton 등, 2004; Sekiyama 등, 2003)에서 자주 제시되는 영역인 좌반구의 Wernicke 영역에 대응하는 우반구 영역인 후측 상측두구 영역(pSTS)이 선택되었다. 그리고 청각 언어 정보 처리의 흐름이 시작되는 영역으로 1차 청각 피질과 근접한 영역인 전측 상측두구 영역(anterior superior temporal sulcus, aSTS)이 선택되었다. 다섯 번째 영역으로 좌반구의 Broca 영역에 대응되는 우반구의 하 전전두 영역(inferior prefrontal region)이 선택되었다. 우반구의 하 전전두 영역은 기존의 교차 양상의 언어에 대한 PET 연구(Kang 등, 2006) 결과에서 청각 언어 없이 화자의 말하는 입 움직임을 읽는데 가장 많은 활성화를 보였던 영역으로 좌반구의 전운동 영역(premotor)과 Broca 영역임을 관찰하였고 fMRI를 이용한 입술 읽기 연구(Campbell 등, 2001)에서도 유사한 좌반구 영역이 관찰되었기에 이들 결과를 고려하여 대응되는 우반구 영역을 관심 영역으로 선택하였다. 두뇌 활성화 정도에 대한 원 자료 선택을 위해 이 관심 좌표가 선택되게 된 상세한 조건 간 비교대비(contrast)에 대한 내용이나 정확한 좌표는 본 논문의 방법에서 기술하였다.

이렇게 선택된 영역들 간에 어떤 신경망이 존재할 수 있으며 이 신경망 내의 ‘관계성’에 입 움직임 여부, 그리고 입 움직임을 언어적 특성이 어떤 영향을 미치는 지 알아보고자 본 연구에서는 ‘효과적 연결성(effective connectivity)’이 조사되었다. ‘효과적 연결성’이란 특정 조건이나 특정 그룹에서 두뇌 영역들을 연결하는 신경망 모형 내에서 한 영역이 다른 영역으로 미치는 직접, 간접적인 영향을 의미하는 것으로 신경망 연구(Krause 등, 1999,

2000)에 자주 사용되는 개념이다(Frackowiak 등, 2004 참조). 이는 기존의 가감법(subtraction analysis)을 이용하여 활성화된 두뇌의 영역을 확인하는 두뇌의 국재화(localization) 연구에서는 확인할 수 없는 두뇌 영역 간의 연결성과 특정 조건에서의 그 연결의 강도와 속성의 변화를 연구할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 효과적 연결성 모델 구성 및 검증을 위하여 구조 방정식 모형(structural equation model; SEM) 방법이 사용되었다. 구조 방정식 모형은 인과모형(causal model), 공분산구조분석(covariance structure analysis) 등의 이름으로 지칭되기도 한다. 구조 방정식을 이용한 경로 분석(path analysis)은 경험적 데이터를 통해 통계적 적합도(goodness of fit)를 확인하고 조건 간 이 영역들의 연결의 강도를 수치적 가중치로 표현할 수 있다. 이것이 경로 분석에서 추정하는 파라미터인데 신경망 연결 모델에서 효과적인 연결 특성을 반영하는 두뇌 영역들 간의 연결 강도(connection strength) 즉 경로계수(path coefficient)라 할 수 있다. 이 경로계수는 두뇌 영역을 연결하는 관심 영역들 간의 정보 흐름의 방향도 제공할 수 있다. 이 방법은 실험 조건 간 또는 연구 대상자 집단 간에 이런 효과적 연결성의 차이를 비교할 수 있다는 장점이 있다. SEM을 이용한 경로 분석은 기존의 해부학적인 연구 결과와 특정 조건에서 활성화된 영역들의 활성화 정도의 상관관계에 근거하여 두뇌 영역들 간의 연결을 특정 신경망의 형태로 가정하는 것이 가능하며, 두뇌 관심 영역의 영역 간 상관관계(interregional correlation)를 바탕으로 기능적 연결 경로를 연구할 수 있기 때문에 인지신경과학 연구에

서 넓게 사용되고 있다(McIntosh 등, 1994a,b; Horwitz 등, 1995; Friston 등, 1993). 이 방법은 서로 다른 조건에서 활성화되는 두뇌 영역이 유사하다 하더라도 그 영역들 간의 연결 관계가 조건마다 혹은 집단마다 다를 수 있다는 것을 직접, 간접적으로 표현하고, 통계적으로 그 차이의 유의성을 검증할 수 있는 방법이다. 따라서 본 연구에서 이 구조 방정식 모형을 교차 양상의 우반구 신경망의 속성을 확인하는 분석 방법으로 선택하였다.

실 험

실험참가자 오른손잡이 정상 성인 12명(여자 7명, 남자 5명)이 본 실험에 참가하였으며 이들의 평균연령은 24.9세이며 모두 과거에 정신질환이나 뇌수술을 받은 적이 없는 참여자로 정상의 청각과 교정시력을 가지고 있었다. 본 연구에 사용된 fMRI 자료는 해당연구기관의 임상시험심사위원회(IRB, 삼성서울 병원)의 사전 승인을 통과하여 얻어졌으며 모든 실험 참가자들은 실험에 대한 설명을 들은 후 실험 참여 동의서를 작성하고 fMRI 실험에 참여하였다. 이 중 기술적인 이유로 1명의 참여자로부터 행동 자료는 얻어지지 못하여 행동결과치는 11명의 결과만이 포함되었다.

자극 및 행동과제 본 연구에서는 단순한 문장을 말하는 화자의 동영상 필름이 자극으로 사용되었다. 시각 자극은 컴퓨터에 연결된 LCD 투사기로 MRI 기기 전면에 설치된 반 투명막 스크린에 역 투사되어 피험자는 스캐너에 연결된 거울을 통하여 동영상 시각 자극을

볼 수 있었고 스캐너에 연결된 헤드셋을 통해 청각 자극을 들을 수 있었다. 모든 조건에 시 청각 자극을 동시에 제시하게 되는데 입 움직임에 따른 시각 자극의 종류에 따라 실험 조건이 세 조건으로 나뉘었다. 청각 언어 자극으로 단순한 문장(예를 들면, ‘누나는 남자다’, ‘소는 동물이다’)이 제시되었고 실험 참가자들은 청각으로 들려주는 언어 자극(문장)에 대한 진위 판단을 하였다. 모든 실험을 통하여 조건 간 반복이 없이 항상 새로운 문장이 제시되었다. 화자의 입 움직임의 차이에 따라 다양한 시각 조건이 가능하지만 본 연구에서는 세 가지 시각 조건에서 얻어진 결과만을 사용하였기 때문에 세 가지 조건만 보고하기로 한다. 첫 번째는 입을 움직이지 않고 고정하여 다물고 있는(Closed mouth; CM) 실제 얼굴이 제시되는 조건, 두 번째는 껌 씹는 입 모양의 얼굴 자극이 시각자극으로 제시되는 조건(Twitching mouth; TM), 세 번째는 들려주는 청각 문장과 일치하는 말하는 입 모양(Speaking mouth; SM)이 제시되는 조건이며 이 때 화자의 얼굴에 대한 시각 자극은 동영상으로 음성 자극과 함께 제시되었다. 그리고 위 모든 조건들의 활성화는 기저 조건으로 사용된 화면의 ‘+’ 을 응시하는 응시 조건(fixation; F)에 상대적으로 비교한 것이 사용되었다. 이 모든 조건들에서 참여자는 제시되는 청각 문장의 진위 여부에 따라 들려주는 문장의 내용이 맞을 경우에만 왼쪽 마우스 버튼을 누르게 하여 그 반응 여부를 수집하였으며, 실험 참가자들의 반응을 받기 위해 상용 컴퓨터 소프트웨어(SuperLab, Cedrus, 1998)가 사용되었다. 단 반응 시간은 자극으로 사용된 동영상과 시행 시각

점을 확인하는 데 따르는 기술적 문제로 본 연구의 분석에는 사용되지 않았다. 본 연구에 사용된 SM 조건과 TM 조건은 첫 번째 스캔과 두 번째 스캔에서만 제시되었던 조건으로 분석이 되었으며 이 때 문장 진위 판단의 정확률은 SM 조건은 74.6%, TM 조건에서는 57.1%로 시청각이 일치하는 SM 조건에서 TM 조건보다 높은 정확률이 관찰되었다. CM 조건은 마지막 스캔에서만 제시되었으며 이 때 CM 조건의 정확률은 한 회기 내의 연습효과로 인하여 76.8%였으며 이는 동일 스캔에서 제시되었던 TM 조건의 정확률(80.7%)과 유의한 차이가 없는 수행이었다.

fMRI 디자인 본 fMRI 연구는 3개의 스캔에서 측정되었고, 각 스캔은 모두 5조건으로 구성되었고 각 조건은 4회씩 반복되었다. 첫 번째와 두 번째 스캔에서의 조건은 SM, TM, F 조건 외에 SM, TM 조건과 비슷하나 청각 문장이 아니라 백색 잡음이 청각 자극으로 주어지는 두 조건(SM_white noise, TM_white noise)이 더하여 모두 다섯 조건이 제시되었다. 마지막 스캔에서는 위에 언급한 TM, CM, F 조건 외에 TM, CM 조건과 시각적으로는 동일하지만 아무런 청각 자극이 제시되지 않는 두 조건(TM_no sound, CM_no sound)이 추가로 존재하였다. 본 연구에서는 이 여러 조건들 중에서 청각 자극이 문장으로 주어진 조건만을 사용하였다. 이 중에서 청각 문장이 제시되는 동안의 입 모양이 일치하는 SM(말하는 입 모양) 조건과 TM(껌 씹는 입 모양) 조건이 실험 조건으로 사용되었고 CM(다문 입 모양) 조건이 실험 조건에 대한 기저 조건으로 사용되었다.

각 스캔에서 조건들은 무작위 순서로 제시되었으며 매 스캔 당 한 조건 구간(block)의 제시 시간은 28.5초로 그 동안 4개의 문장이 제시되었다. 또한 제시된 문장의 진위 비율은 참인 문장 50%, 거짓인 문장 50%였다. 각 fMRI 스캔은 앞의 dummy 프레임(5 프레임/15초)을 포함하여 총 9분 45초가 소요되었고, 15초를 제외한 9분 30초의 영상이 분석에 사용되었다.

기능영상 해부학적 영상을 얻기 위한 MRI 촬영과 기능영상을 얻기 위한 fMRI 촬영은 임상용 1.5 T MRI 기기(General Electric, Milwaukee, USA)를 이용하여 이루어졌으며(삼성의료원, 서울), fMRI 영상 획득에 사용된 Gradient Echo Planar Imaging (EPI)의 연속 촬영 변수는 다음과 같다. TR = 3000 ms, TE = 60 ms, flip angle = 90°, 영상 획득 수 = 195 frame, 단편 수 = 20, 단편두께 = 간격 없이 5 mm, 시야 = 24 cm, 영상 매트릭스 = 64 x 64, 평면 내 해상도 = 3.75 x 3.75 mm. fMRI의 촬영 전에 T1 MRI 영상을 시상면(sagittal plane)으로 촬영하였고, 이로부터 AC-PC (anterior commissure posterior commissure) 평면에 평행하게 단편의 위치를 정하되 아래에서부터 6번째 단편에 AC-PC 평면을 통과하도록 단편의 위치를 조절하였다. 이러한 위치에서 20개의 수평 단편의 T1 MRI 영상(해부학적 영상)이 촬영되고, 이어서 과제의 시작과 동시에 EPI 방식으로 기능영상을 위의 변수로 촬영하였다. 그리고 과제가 끝난 후에는 고해상도 T1 MRI 부피 영상을 촬영하였다.

분석 방법

영상분석 수집한 영상은 MATLAB (Mathworks, Inc., USA) 환경에서 구현되는 SPM99 (Statistical Parametric Mapping, 99 version, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) 소프트웨어를 적용하여 처리하였다. 개개의 피험자 및 집단의 활성화 분석 방법은 기존의 연구와 동일하기에 자세한 기술은 생략하였다 (강혜진 등, 2005년). 본 연구에서는 집단 분석 결과, 각 실험 조건을 응시기저 조건과 비교하는 분석에서는 $P < 0.001$ ($T=4.02$)의 통계적 준거를 사용하였고 서로 다른 실험 조건 간의 차이를 비교하는 분석에서는 $P < 0.01$ ($T=2.72$)의 준거를 사용하여 통계적으로 유의한 부피소(voxel) 덩어리(cluster)의 국소 최고점

의 좌표점 중심으로 보고하였다.

관심 영역의 선택 응시기저 조건과 청각 문장이 제시될 때 얼굴 자극이 제시되었던 세 조건 모두에서 시각 영역인 우측의 설상회(Lingual Gyrus, BA 18/19)와 양측의 상측두 영역(Superior Temporal Sulcus, BA 42/22)과 좌측의 Broca 영역(Broca's area, BA 44/45)이 공통적으로 활성화되었다(표 1). 특히 껌 씹는 입 모양인 TM 조건에는 우측의 Broca 영역과 두정엽(BA 40)의 약간의 활성화를 보였고, 입 움직임이 청각 문장 정보와 일치하는 말하는 입 움직임이 있는 SM 조건에서는 후두/측두 영역(V5/MT, BA 19/37)이 활성화하였다. 또한 청각

표 1. 각 실험 조건이 기저 조건보다 활성화된 영역

Region	L/R	Talairach Coordinates												
		SM					TM				CM			
		BA	x	y	z	T	x	y	z	T	x	y	z	T
Superior Temporal Sulcus	Left	22/42	-50	-21	-1	9.55	-51	-25	9	8.8	-50	-21	-2	11.25
	Right	22/42	57	-27	-2	15.79	53	-35	-2	9.36	61	-14	-8	11.19
Lingual Gyrus	Right	18/19	22	-78	-6	7.52	10	-76	-6	7.16	0	-84	-1	10.5
Inferior Prefrontal Cortex(Broca's area)	Left	44/45	-48	14	18	6.41	-50	15	21	5.77	-44	9	29	8.08
	Right	44/45					36	11	25	5.21				
Occipito-Temporal Junction(V5/MT)	Right	19/37	48	-70	0	7.02								
Cingulate Gyrus	Left	32	-12	14	40	5.54					-8	18	42	6.51
Insula	Left		-30	20	10	6.35								
	Right						42	16	1	6.03				
Thalamus	Right										4	-15	10	5.41
Superior Parietal Cortex	Right	40					53	-50	41	5.44				

Bold: 경로 분석의 관심 영역, BA: Broadmann area

표 2. 경로 분석을 하기 위해 최종 선택한 영역과 좌표

Region	BA	Talairach Coordinates			
		x	y	z	T
Anterior Superior Temporal Sulcus	21	57	-27	-2	15.79
Posterior Superior Temporal Sulcus	22	61	-44	11	6.57
Lingual Gyrus	18/19	22	-78	-6	7.52
Broca's Area	44/45	46	6	38	6.45
V5/MT	19/37	50	-68	0	8.41

언어 정보를 지각할 때에 함께 제시되는 시각 자극으로 껌 씹는 입 모양(TM)과 입을 움직이지 않을 때(CM)를 비교해 본 결과 양측의 V5/MT 영역이 TM 조건에서 더 많이 활성화되었다. 반면 시각 단서가 언어 정보를 나타낼 때인 SM 조건과 TM 조건을 비교한 결과 우측의 하측 두정엽(BA 40), 방추이랑(Fusiform Gyrus), 그리고 좌측의 전대상회(Anterior Cingulate)가 SM 조건에서 더 높은 활성화를 보였다. 활성화 영상 분석 결과 우반구에서 다음과 같은 영역이 최종적으로 사용되었다. Broca 영역 (Talairach 좌표(x, y, z): 46, 6, 38), 후측 상 측두영역 (61, 44, 11), 전측 상 측두영역 (57, 27, 2), 설상회 (22, 78, 6), V5/MT 영역(50, 68, 0), ($p < 0.001$ uncorrected)을 선택하여 경로 분석에 사용하였다(표 2).

경로 분석(Path Analysis) 경로 분석의 기존 연구들(Macintosh 등, 1994a,b; Nyberg 등, 1996, Cabeza 등, 1997; Seminowicz 등, 2004)에서 사용된 4가지 단계적 절차가 적용되었으며, 아래에 기술한 구조 모형 분석을 위해 AMOS 4.0 (SmallWaters Corp., USA)가 사용되었다.

두뇌 영역 선택(Region selection): 첫 번째 단계는 경로 분석을 위한 관심 영역의 선택이다. 관심 영역으로는 조건에서 유의한 활성화를 보인 영역과 연구에 사용된 데이터가 추출된 조건에서는 유의한 활성화를 보이지 않았으나 연구자의 가설에 포함된 영역을 선택할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 가감 분석 결과를 토대로 조건들에서 활성화된 영역들을 위주로 관심 영역을 선택하였다. 본 연구에서는 SM, TM 조건과 CM 조건의 세 조건과 응시기저 조건 간의 차이 영상의 결과(표1)로 활성화된 영역이 양쪽 반구에서 주로 관찰되었다. 그러나 실험 조건들 간의 조건 간 활성화된 영역의 큰 차이는 없었고 우반구가 생물학적 움직임에 활성화되는 영역이 발견되었던 기존 논문(Thompson 등, 2007; Freitag 등, 2008)이 있었기에 본 연구에서는 오른쪽 반구의 영역에서 관심 영역을 선택하였다. 본 연구에 사용된 우반구 관심영역으로는 전측의 상측두구(aSTS, anterior Superior Temporal Sulcus)와 후측의 상측두구(pSTS, posterior STS)영역, 고차 시각 영역인 설상회(lingual gyrus), 우반구의 Broca영역(rBroca), 그리고 V5/MT 영역이 선정

되었다. 그러나 그 관심 영역들 중에서 실제로 어느 부피소(voxel)에서 fMRI BOLD신호를 읽어낼 것인가를 결정하기 위해서는 다음과 같은 조건 간 비교가 활용되었다. 전측의 상측두구와 설상회는 말하는 입 모양에 가장 민감하게 반응하리라 생각되는 영역으로, 선별하기 위하여 SM 조건과 응시기저 조건의 차이에서 가장 높은 통계 값의 활성화를 보였던 좌표를 선택하였고 후측의 상측두구와 rBroca 영역은 생물학적 움직임인 입 모양에 잘 반응하는 영역을 선별하기 위해 TM 조건이 응시기저 조건에 비하여 가장 높은 활성화를 보인 좌표에서 선택되었다. 단 V5/MT 영역은 TM 조건이 CM 조건에 비해서만 차별적 활성화를 보였던 영역에서 좌표가 선택되었다. 그런 다음 선택된 영역의 local maxima로부터 직경 2mm 내의 영역을 관심영역(Volume of Interest; VOI)으로 규정하고 그 영역 안의 모든 통계값을 모든 피험자의 각각의 이미지로부터 추출하였다. 이 때 fMRI 데이터에서 문제가 되는 hemodynamic 지연(delay)와 조건의 구간(block) 간의 이행기의 영향을 최소화하기 위해 데이터를 추출하는 시점이 조건 간 과제가 시작하는 시점으로부터 6s 지난 뒤의 데이터를 추출하게 되었다(Winder 등, 2007).

경로 모형 구성(Path model construction): 두 번째로 그 영역들 간의 영역 간 상관관계(interregional correlation)와 기존 연구에서 밝혀진 해부학적인 영역 간 연결 관계(anatomical network)를 바탕으로 영역 간 연결 경로 신경망을 확정하였다. 이를 위해, 각 조건들에서 추출한 데이터들을 하나의 데이터로 만든 후

에 이 모든 데이터를 가장 잘 설명할 수 있고 모든 집단에 적용하려는 경로 구조 모형을 만들었다. 이렇게 확정된 모형은 실제 관측된 데이터를 가장 잘 설명한다고 할 수 있다. 이때 모형의 경로는 각 영역 간에 경로가 있는지 이 때 존재하는 경로의 방향성이 양쪽 방향인지 아니면 특정 방향인지를 경로를 더하고 빼는 작업을 통해 수정하여 검증한 후에 모형의 안정성(model stability)를 재검증하였다. 이렇게 가장 적절한 경로를 포함하는 하나의 구조 모형을 설정해가는 절차를 사용하여 구조 모형과 데이터간의 일치 여부를 적합도를 통해 확인하고 연구 가설에 가장 최적의 모형을 결정하였다. 그래서 실제 측정된 데이터를 가장 잘 설명한다고 할 수 있는 최종 구조 모형을 찾게 되는 것이다. 이 때 어느 다른 영역으로부터 영향을 받는 연결을 가지고 있는 영역의 잔차(residual)는 그 가중치를 0.5로 고정시키고 다른 영역으로부터 입력을 받지 않는 영역의 잔차는 1로 고정함으로써 그 영역의 잔차가 모형에서 설명할 수 있는 부분을 고정하였다(Mcintosh 등, 1994.a; Seminowicz 등, 2004; Protzner 등, 2006).

모형의 조건 간의 전반적 비교(Overall fit):

세 번째 단계로는 경로 모형의 연결 경로나 경로의 강도에 조건 간 차이가 있는지를 전반적으로 검증하는 절차가 따랐다. 모든 조건을 통틀어 전반적인 연결 경로의 강도 변화에 유의한 차이가 있는지의 여부를 확인하기 위한 방법으로 스택 모형(Stack model) 접근 방법이 사용되었다(Mcintosh 등, 1994.a; Seminowicz 등, 2004). 이 때 모든 조건 간의 두뇌 영역들

을 연결하는 경로의 연결 강도가 조건에 상관 없이 모두 같다고 고정을 시킨 영가설에 해당하는 모델(null model)과 경로의 연결 강도가 모든 조건 간에 다르다는 그 대안가설에 해당하는 모델(alternative model)이 사용되어 모델과 데이터의 적합성 정도를 나타내는 것을 두 모델에서 산출하고 그 결과인 두 χ^2 값의 차이가 유의한가를 다시 통계적으로 검증(χ^2_{diff})하였다. 만약 두 모델 간(영가설 모델과 대립가설 모델)의 차이가 유의하다면($p < 0.05$) 연결 경로의 강도가 조건의 영향을 받아 조건 간에 달라졌을 것이라는 결론에 도달하고 대안 모형으로 조건 간 경로들의 어딘가에 차이가 있을 것이라는 가설을 받아들인다. 그리고 각각의 조건에서 경로의 추정치를 확인한다. 이때 결과적으로 나온 연결 경로계수(path coefficient)가 정적(positive)이라면 이는 한 영역의 활성화가 증가하면 그 영역으로부터 연결된 다른 뇌 영역의 활성화가 증가한다는 것을 의미하며, 반대로 연결 경로계수가 부정(negative)이라면 한 영역의 활성화가 증가하면 그 영역으로부터 연결된 다른 영역의 활성화가 감소한다는 것을 의미하는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 절차를 거쳐 경로모형을 찾은 후 각 경로의 강도에 대한 유의성 검증이 각각 행하여졌다. 각 경로는 경로의 추정치(Estimate), 그 경로의 표준오차(S.E, Standard Error)와 자유도를 고려한 통계치(Critical Ratio, CR)를 근거로 부정적이거나 정적으로 경로의 강도의 유의성을 파악할 수 있다. 이 결과는 표 4와 그림 1에 제시되었다.

조건 간의 경로 변화 비교 해석(Path

difference): 그리고 마지막으로 위의 단계에서 신경망의 경로들이 조건들 간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타난다면 구체적으로 어느 경로(path)가 대안가설 모델을 받아들일지(조건 간 경로 차이 인정) 확인하는 과정이 따랐다. 이를 위해 각각의 경로를 두 모델 신경망에서 비교하여 유의한 차이가 있는 경로를 확인하는 과정을 거쳤다. 각각의 경로마다 세 조건 중 두 조건을 택하여 그 두 조건 간에 그 경로가 유의한 차이가 있는가를 알아보았다. 이 과정에서 모든 경로를 고정시킨 모델과 한 개의 경로만을 자유롭게 한 모델을 비교하며 비교하고자 하는 두 조건 간에 유의한($p < 0.05$) 차이를 보이는 경로를 확인하였다. 이런 비교는 모든 경로마다 시행되었다.

결 과

영역 간 상관관계 경로 모형을 위한 영역의 영역 간 상관관계는 각각의 조건 간에 수행되었으며 상관관계수 매트릭스는 <표 3>에 나타내었다.

모델 적합도와 전반적인 조건 차이 상관 매트릭스와 기존 연구에서 알려진 해부학적인 모델을 바탕으로 모든 조건을 만족시키는 두 뇌 영역 간의 경로 모형을 하나로 만들어 각 조건에 같은 구조적 모델을 적용하고 그 모델의 전반적인 모델 적합성을 비교하였다. 그 모델의 적합도를 근거로 최적의 모형이 선택되었다($\chi^2=3.296$, $df=2$, $p=.192$ RMSEA<0.05, CFI=0.998, TLI=0.989). 이어서 세 조건의 모든 경로의 파라미터 추정치가 세 조건 간에 다르

표 3. 각 조건 별, 관심 영역들 간의 Pearson 상관관계 매트릭스

CM	V5/MT	LG	rBroca	aSTS	pSTS
V5/MT	1	-	-	-	-
LG	0.145**	1	-	-	-
rBroca	0.156*	-0.128**	1	-	-
aSTS	-0.125**	0	-0.051	1	-
pSTS	0.072	0.052	0.057	0.295**	1
TM	V5/MT	LG	rBroca	aSTS	pSTS
V5/MT	1	-	-	-	-
LG	0.226**	1	-	-	-
rBroca	0.051	0.016	1	-	-
aSTS	0.045	0.105**	-0.018	1	-
pSTS	0.080*	0.043	0.004	0.502**	1
SM	V5/MT	LG	rBroca	aSTS	pSTS
V5/MT	1	-	-	-	-
LG	0.083*	1	-	-	-
rBroca	0.056	0.080*	1	-	-
aSTS	0.061	0.142**	0.027	1	-
pSTS	0.112**	0.046	0.047	0.444**	1

Abbreviations: V5/MT, Occipito-Temporal Junction (후-측두 연결영역); LG, Lingual Gyrus (설상회); aSTS, anterior Superior Temporal Sulcus (전측 상 측두구); pSTS, Posterior Superior Temporal Sulcus (후측 상 측두구); rBroca, Broca's area (우측 브로카 영역);

* p < 0.05에서 유의; ** p < 0.01에서 유의

지 않다는 영 모델(null model)과 경로 추정치가 조건 간에 서로 다르다는 대안 모델(alternative model)을 비교하여 그 결과 조건 간 경로 추정치가 유의하게 다르다는 대안 모델이 채택되었다($\chi^2_{diff} = 51.124, df = 14, p < 0.001$). 이렇게 확인된 모델에 각 조건에서 산출된 표준화 경로계수 매트릭스를 <표 4>에 제시하였다.

조건에 따른 경로 변화 CM 조건에서 활성화된 영역은 설상회 영역과 전측 상 측두 영역이며 이 외의 세 영역에서는 직접적인 활성화를 보이지 않았다. 그러나 표 4에 제시하였듯이 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로의 강한 정적(positive) 연결이 있었고, 그 반대의 경로는 부적 연결이 관찰되었다. 또한 청각 자극이 들어오는 상 측두영역의 전측에서 후측 부분

표 4. 세 조건의 표준화 경로계수

	CM		p	path coefficients	C.R
LG	→	V5/MT	**	0.262	3.671
V5/MT	→	pSTS		0.179	1.708
pSTS	→	aSTS		-1.101	-0.875
aSTS	→	pSTS		1.060	1.638
aSTS	→	rBroca		-0.067	-0.659
rBroca	→	V5/MT	**	0.912	2.692
V5/MT	→	rBroca		-0.888	-1.925
	TM			E	C.R
LG	→	V5/MT	**	0.226	7.042
V5/MT	→	pSTS	*	0.083	1.997
pSTS	→	aSTS		0.566	1.571
aSTS	→	pSTS		-0.089	-0.169
aSTS	→	rBroca		-0.020	-0.609
rBroca	→	V5/MT		-0.021	-0.147
V5/MT	→	rBroca		0.073	0.504
	SM			E	C.R
LG	→	V5/MT	*	0.160	2.367
V5/MT	→	pSTS	*	0.150	2.034
pSTS	→	aSTS	*	0.686	2.158
aSTS	→	pSTS		-0.345	-0.662
aSTS	→	rBroca		0.044	0.665
rBroca	→	V5/MT		-0.968	-1.602
V5/MT	→	rBroca		0.968	1.784

Abbreviations: V5/MT, Occipito-Temporal Junction (후-측두 연결영역); LG, Lingual Gyrus (설상회); aSTS, anterior Superior Temporal Sulcus (전측 상측두구); pSTS, Posterior Superior Temporal Sulcus (후측 상측두구); rBroca, Broca's area (우측 브로카 영역);

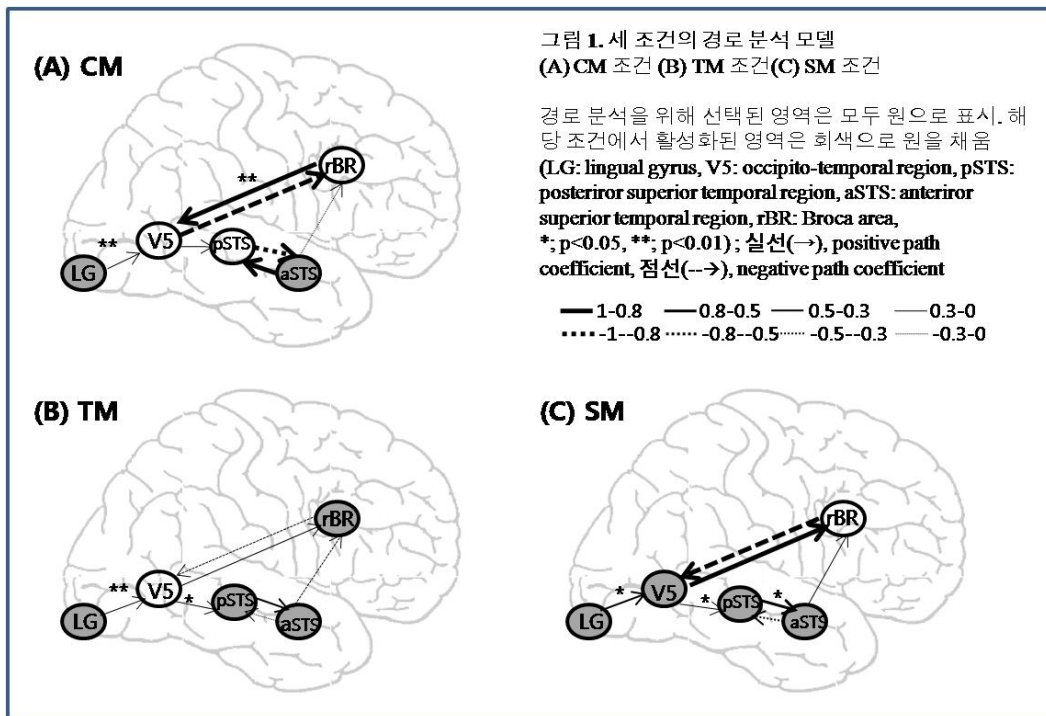
* $p < 0.05$ 에서 유의; ** $p < 0.01$ 에서 유의; C.R, critical ratio

으로 강한 정적 연결이 관찰되었다. 역시 그 시각 영역에서 시작된 시각 자극 정보가 반대의 경로는 부적 연결이 관찰되었다. 특히 V5/MT 영역으로 가는 경로와 rBroca 영역에서

V5/MT 영역으로의 연결이 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$). 즉 우측 rBroca 영역에서 동측 V5/MT 영역으로의 강한 연결 경로가 입 모양의 시각 자극이 없으면서 청각 언어 자극만 제시되는 동안 강하게 존재하는 것으로 나타났다(그림 1A).

TM 조건에서는 CM 조건과 마찬가지로 시각 자극이 들어오는 시각 영역과 전/후측 상측두영역의 활성화가 발견되었을 뿐 아니라 우반구 임에도 rBroca 영역의 유의한 활성화가 발견되었다. 이 조건에서는 후측 상측두영역에서 전측 상측두영역으로의 경로만이 비교적 강한 연결을 보였다. 그러나 시각 영역에서 V5/MT 영역으로의 경로가 유의하였고($p < 0.01$), V5/MT 영역에서 후측 상측두영역으로의 연결이 유의하였다($p < 0.05$)(그림 1B).

SM 조건에서는 우반구의 rBroca 영역을 제외하고는 경로 분석에 사용된 나머지 4개의 관심영역(ROI: region of interest)에서 활성화가 관찰되었다. 그러나 시각 피질에서 V5/MT 영역으로, V5/MT 영역에서 후측 상측두영역으로, 그리고 다시 후측 상측두영역에서 전측 상측두영역으로 이어지는 경로 모두가 정적 연결을 가지면서 유의하였다($p < 0.05$). 특히 후측 상측두영역에서 전측 상측두영역으로의 연결이 시각 언어 정보와 청각 언어 정보가 함께 제시될 때 유의하게 중요해짐을 의미한다. 물론 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로의 경로가 부적으로 높은 연결 강도를 보이고 역방향의 경로가 정적으로 높은 강도를 보이기는 했으나 통계적으로 이 조건 내에서 유의하지는 못하였다(그림 1C).



세 조건 사이에 유의한 차이를 보이는 경로 청각 언어 정보를 처리할 때 주어지는 시각 단서인 입 모양이 청각 언어 정보와 일치하는 조건과(SM) 일치하지는 않지만 생물학적인 입 움직임이 있는 조건(TM) 간에 두 모델의 각각의 경로의 강도를 나타내는 경로계수 간에는 유의한 차이가 우측 rBroca 영역과 V5/MT 영역 사이의 경로에서 발견되었다. 입 움직임이 없었던 CM 조건과 비교하여 볼 때 TM 조건과 SM 조건에서는 V5/MT 영역에서 rBroca 영역으로 가는 경로(V5/MT -> rBroca)의 연결 강도가 변화하면서 그 연결 강도의 속성도 부적(negative)에서 정적(positive)으로 유의하게 바뀌었다. 즉 TM 조건과 CM조건 간에 이 경로에서 유의한 차이가 발견되었으며($\chi^2_{diff} = 7.1, df = 1, p < 0.01$), SM 조건과 CM조건 간에도 이 경로가 유의한 차이를 보이는 것으로 발견되

었다($\chi^2_{diff} = 11.2, df = 1, p < 0.001$). 반대로 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로 가는 경로(rBroca -> V5/MT)의 연결 강도가 변화하면서 TM이나 SM 조건에서 연결의 속성 또한 정적에서 부적으로 바뀌었다. 즉 CM과 TM 조건 간에 rBroca 영역에서 V5/MT 영역의 경로에 유의한 조건 간 차이가 발견되었으며($\chi^2_{diff} = 9.1, df = 1, p < 0.001$) CM과 SM 조건 간에서도 유의한 차이가 발견되었다($\chi^2_{diff} = 11.4, df = 1, p < 0.001$). 이렇게 CM조건에 비해 TM이나 SM 조건에서 유의한 차이를 보인 경로는 그림 2에 표시하였다.

이 두 경로 모두 TM 조건보다 입 움직임이 언어적 요소를 포함하고 있는 SM 조건에서 연결 강도가 증가하였고 TM과 SM 조건 간에 V5/MT 영역에서 rBroca 경로로의 유의한 차이가($\chi^2_{diff} = 4.2, df = 1, p < 0.05$) 또한, rBroca 영

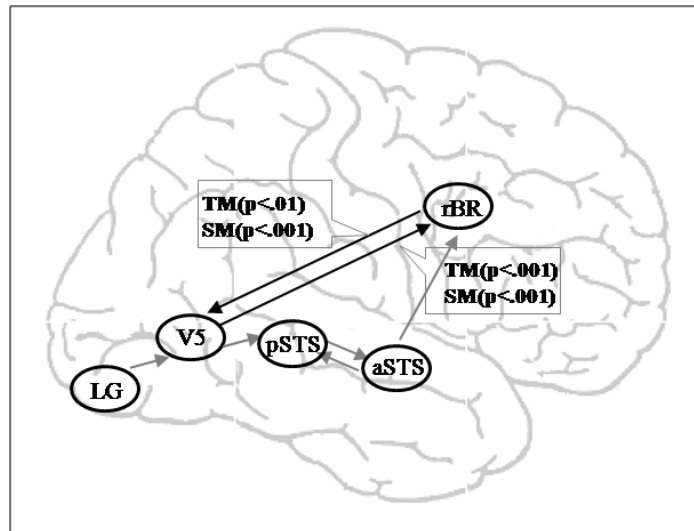


그림 2. 신경망 중에서 입 움직임이 있는 TM, SM 조건이 각각 CM 조건과 유의한 차이를 보이는 경로 및 유의도 수준을 표시함. 검은 선은 유의한 차이가 있는 경로를 의미함. 회색선은 영역간의 연결이 있음을 의미.

역에서 V5/MT 영역으로의($\chi^2_{diff} = 4.4, df = 1, p < 0.05$) 두 조건 간의 유의한 차이가 발견되었다.

논 의

본 연구는 시각적인 자극인 입 움직임의 여부와 입 움직임의 언어적인 속성 여부가 청각적 언어(문장)를 처리할 때 두뇌에서 활성화되는 두뇌 영역들 간의 연결성에 어떠한 영향을 미치는지, 또한 조작된 조건에서 두뇌의 한 영역이 다른 영역에 직접 혹은 간접으로 미치는 영향이 어떠한지를 효과적 연결성을 통하여 조사하였다. 이를 위해 서로 다른 입 움직임의 시각적인 단서가 사용된 세 조건이 비교되었다. 이 세 조건들은 청각적으로 들려주는 문장 수준의 진위 판단 과제를 수행하는 동안에 fMRI로 두뇌 활성화가 측정되었으며 본 연구는 이때 관찰된 두뇌 영역으로부터 신경망 연구가 이루어졌다. 입 움직임 없이 입을 다문 단순한 실제 얼굴만을 동영상으로 청각 문장과 함께 제시한 조건(CM)은 생물학적 움직임이 존재 하지 않는 시각 정보였기에 움직이는 입에 주의를 기울일 필요도 없었으며 청각 문장 처리를 방해할 만한 시각 정보도 없는 조건이었다. 껌 씹는 입 움직임이 있는 얼굴 조건(TM)은 생물학적인 움직임의 시각적인 요소가 포함된 조건이었다. 특히 참여자가 청각 문장의 제시와 동시에 시작하는 입 움직임 자극에 자동적으로 주의를 가는 반면 청각 언어 이해에 도움이 되지 않는 입 움직임은 동시에 과제 무관 자극(task irrelevant stimulus)일 것이므로 이 시각 자극에 주의를 기울이지 않는

것이 과제 수행에 도움이 되는 조건이었다. 그리고 마지막으로 언어적인 요소를 포함하는 입 움직임의 시각 정보로서 청각 언어 정보와 일치하는 말하는 입 움직임을 보이는 얼굴 자극을 제시한 조건(SM)이야말로 정상적인 화자의 동영상을 볼 때 우리가 일상적으로 경험하는 교차양상 자극이다. 즉 과제의 내용이 청각 언어의 내용을 판단하는 것일지라도 화자의 입 움직임을 보는 것이 시끄러운 환경에서 청각 언어 지각을 향상시킬 수 있기 때문이다. 실험 참가자들의 문장 진위 판단의 행동 결과를 보면 쉽게 판단할 수 있는 어휘들로 구성되어 문장의 진위 판단이 어렵지 않음에도 불구하고 청각자극과 일치하는 언어적인 입 움직임이 주는 단서가 문장의 진위를 판단하는 데에 훨씬 더 도움이 됨을 알 수 있었다. 특히 처음 스캔 초기에 더욱 그러한 현상이 두드러졌다. fMRI라는 실험 상황이 기본적으로 스캐너 소음으로 시끄러운 환경임을 감안한다면 이 때 얻어진 행동 결과는 청각 자극과 일치하는 입 모양(SM 조건: 74.6% 평균 정확도)은 문장 지각에 도움이 될 수 있는 반면, 무의미한 껌 씹는 입 모양(TM 조건: 57.1%)은 문장의 진위를 판단하는 데에 도움이 안 될 뿐 아니라 오히려 방해가 되었을 가능성을 시사한다. 그러나 이 실험 상황에 익숙해 졌을 세 번째 스캔에서 본 연구에 포함된 TM 조건(처음의 두 스캔)과 동일한 TM 조건(마지막 스캔)의 행동 결과를 보면 판단 정확도가 거의 초기 스캔의 SM 조건에 가깝게 향상되었으며 이 때 처음 제시된 CM 조건의 수행 정도도 마지막 3 번째 스캔의 TM 조건과 별다른 차이가 없음을 알 수 있었기 때문이다. 즉

본 연구에 사용된 초기 스캔(처음 두 스캔)에서 얻어진 TM 조건의 결과는 아직 참여자가 자동적으로 움직이는 입에 주어지는 주의를 의도적으로 통제해야 할 필요가 있을 때 얻어진 자료로 간주되며 이는 본 연구 결과 해석에 중요한 단서로 볼 수 있을 것이다.

입 움직임의 영향과 관련된 영역 본 연구에서 관심영역으로 선택된 상 측두영역은 그 영역의 활성화가 손, 입, 눈 등의 생물학적인 움직임과 관련되어(Allison 등, 2000; Gallese 등, 1996; Puce 등, 1998; Bonda 등, 1996) 보고되어 온 영역이다. 또한 다른 연구에서도 생물학적인 움직임을 나타내는 껌 씹는 입 움직임의 시각 자극의 영향으로 Broca 영역과 하 두정엽 영역의 활성화를 보고하고 있는데(Buccino 등, 2001; Rees 등, 1999), Rees 등(1999)은 이 Broca 영역이 원숭이의 거울뉴런이 발견된 영역과 비교 생물학적으로 상응하는 사람의 뇌 부위로서 실행 행동(executive action)을 모방하려는 지각적 특성이 처리되기 때문이라고 보았다. 이 거울뉴런은 손이나 입의 움직임 같은 운동 기능의 시행 및 지각에 동시에 관여하는 것으로 원숭이의 이 거울뉴런이 발견된 영역은 인간의 Broca 영역과 전 운동 영역에 해당함이 논의되고 있다(Rizzolatti 등, 1996; Gallese 등, 1996). 본 연구에 사용된 활성화 결과에서도 동일한 경향을 볼 수 있었는데 본 실험의 두 번째 조건인 껌 씹는 입 움직임의 시각 자극을 제시한 조건(TM) 동안에 기저 조건에 비하여 오른쪽 반구의 Broca 영역(BA 44/45)의 활성화가 관찰되었다. 그리고 이런 영역들이 후측 상 측두 영역과 더불어 본 연구의 중요한

관심영역으로 선택되었다. SM 조건에서 활성화되었던 후두-측두 영역(V5/MT 영역)은 입술 씹기와도 관련이 있어서 이 영역의 손상이 입술 씹기의 결함을 야기한다는 결과가 보고되었다(Campbell 등, 1997). 이 뿐만 아니라 생물학적 움직임을 처리하는 상 측두 영역과 시각피질로의 관계성에서도 V5/MT 영역이 보고되기도 하여서(Grossman 등, 2000) 본 연구에서 관심 영역으로 선택되었다.

청각 언어 지각과 일치하는 입 움직임 시각 자극의 영향 상 측두 영역의 활성화는 생물학적인 움직임으로 활성화되는 영역이지만 특히 상 측두 영역의 후측 부분은 청각 언어 정보와 일치하는 시각 언어 정보가 주어질 때 더 활성화되는 것을 볼 수 있다. 청각 언어 자극과 일치하는 입 움직임의 시각 자극의 정보 처리를 할 경우 시각 자극이 가지고 있는 요소는 생물학적인 움직임의 지각과는 다른 언어적인 요소의 지각을 포함하는데 이러한 시각 자극이 청각 언어 정보와 일치할 때 일치하지 않을 때보다 청각 언어 판단에 더 효율적이다. 그리고 이 때 후측 상 측두 영역이 더 활성화한다. 이런 결과는 이 영역이 언어의 다중감각(multi sensory) 자극을 처리하는 증거로 제시되기도 하였다(Calvert 등, 2000). 본 연구에서 사용된 fMRI 결과는 청각 언어 정보와 시각 입 모양의 언어 정보가 일치할 때(SM) 언어 지각에 있어서 상 측두 영역이 전측과 후측 부분으로 확장되어 활성화됨을 보였다. fMRI 같이 시끄러운 기계적인 소음이 있는 환경이 청각적 언어 지각을 하는 과정에서 시각적 언어 자극의 도움이 있을 것으로

여겨지며 이것은 본 실험의 행동 결과와 일치한다. 이 때 활성화되는 영역인 상 측두 영역도 시각 특정적 영역인 MT 영역으로까지 넓게 활성화를 보인 것으로 여겨진다. PET (positron emission tomography) 같은 청각적 소음이 없이 청각 언어 지각을 쉽게 할 수 있는 환경에서는 청각 언어 지각을 할 때에 활성화가 측두 영역에 주로 활성화를 보인다는 연구 결과가 있다(Sekiyama 등, 2003, Kang et al, 2006). Single sweep EEG case 연구에서도 시청각 언어를 지각할 때 시청각 단어 자극이 일치할 때와 일치하지 않을 때를 잡음과 함께 제시하면서 연구한 결과 시청각 단어 자극이 일치하지 않을 때에는 소음으로 인한 뇌 활성화에 변화를 보이지 않았지만 시청각 단어 자극이 일치할 때에는 후두/측두엽에서 활성화가 의미 있게 증가함이 보고된 바 있다(Callan 등 2001).

경로 모델 해석 본 연구의 가설적 신경망은 고차 시각피질에서 V5/MT로, V5/MT에서 pSTS로 이어지는 시각 정보 경로와 aSTS에서 pSTS로의 청각 경로를 포함하였으며, 기존의 연구 결과(Kang 등, 2002; Kim 등, 2002)에 근거하여 pSTS가 시각과 청각의 서로 다른 감각이 만나는 교차 양상 영역으로 신경망을 구성하였다. 본 연구의 최종 신경망 구조가 설정되기 이전에 본 연구자들은 rBroca에서 pSTS로의 경로를 가정한 가설적 신경망 모델을 우선적으로 검증하였으나 주어진 경험적 데이터에 의해 지지되지 않았다. 가장 좋은 적합도를 보인 신경망은 rBroca와 V5/MT간의 양방향적 경로를 포함한 것으로 이 경로가 최종적으로 선택되

었다. 물론 aSTS와 pSTS의 관계가 양방향으로 나타난 것도 사전에 예측하지 않았으나 경험적 데이터에 의해 수정되었던 연결 경로이다. 이렇게 형성된 최종 신경망 모델은 조건 별로 다시 검증이 되었다. 조건 별로 검증된 각 경로를 살펴보면 다음과 같다.

시각 자극을 받아들이는 시각피질에서 시각적 운동을 담당하는 V5/MT 영역으로 이어지는 연결 경로는 시각 자극이 달랐던 세 조건(SM, TM, CM)에 모두 공통적으로 유의하였다. 이것은 이 경로가 시각 자극이 있는 실제 얼굴의 영상을 보는 동안에는 자동적으로 관여하는 개인 피험자간의 차이, 변산성이 적은 일관성 있는 경로일 가능성을 의미한다.

V5/MT 영역에서 후측 상 측두 영역으로의 연결 경로가 움직이는 입 모양이 제시되는 두 조건(TM, SM)에서만 유의하게 나타난 것도 개인 간이나 반복 주기간의 변산이 크지 않는 안정적 연결 경로로 간주될 수 있을 것이다.

후측 상 측두 영역에서 전측 상 측두 영역으로의 연결경로의 속성이 입의 움직임이 없는 조건(CM)일 때의 부적(negative) 속성이었던 것이 움직이는 입의 시각 정보가 있는 두 조건의 경우(TM, SM)에는 정적(positive) 속성의 연결로 바뀐 것도 주목할 만하다. 특히 이 연결 경로는 말하는 입 움직임(SM)일 경우에 통계적으로 유의하게 되었으며 강한 정적 연결 성향을 보이고 있다. 이 결과는 청각 언어 지각에 청각 언어와 일치하는 말하는 입 모양의 시각 언어 자극이 제시되는 경우에 V5/MT 영역에서 후측 상 측두 영역으로, 후측 상 측두 영역에서 전측 상 측두 영역까지의 정보의 흐름이 유의할 뿐 아니라 한 영역에서 다른 영

역으로 미치는 영향이 모두 정적임을 알 수 있다. 그러나 무엇보다 입 움직임의 시각 정보의 존재 및 언어성의 여부가 신경망 변화를 일으키는 주요 경로로는 우반구 내에서는 V5/MT 영역과 Broca 영역 간의 경로로 발견되었다. 입 움직임의 시각 단서가 주어지지 않을 때(CM)의 기능적인 네트워크를 보면 특히 V5/MT 영역에서 rBroca 영역으로의 연결 경로가 강하게 부적으로 나타났고 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로는 강한 정적 연결을 보였다. 이는 전자의 경로를 통해 V5/MT 영역이 rBroca 영역을 상향적(bottom-up)으로 억제하는 경향을 보이며, 후자의 경로는 rBroca 영역이 V5/MT 영역의 활성화에 하향적(top-down)으로 흥분시키는 것으로 해석될 수 있을 것이다. V5/MT에서 rBroca의 상향적 연결은 움직이지 않는 입 모양 조건에서 부적인 상관을 가지는 경로이지만, 화자의 입이 움직이면 이 연결 경로는 정적인 영향을 보이며 이 경로의 변화는 통계적으로 유의한 것이다. 이 경로는 입 움직임에 민감할 뿐만 아니라 그 입 움직임이 지니는 청각 언어와의 일치성 여부, 즉 언어적 여부에도 민감하게 반응하여 이 경로가 SM 조건에서 더욱 강한 경로로 바뀌는 것으로 나타났다. 즉 TM와 SM 조건 간에 경로 강도의 차이는 역시 통계적으로 유의하였다. 이는 입 움직임의 여부 자체가 V5/MT 영역이 rBroca 영역의 활성화에 정적으로 영향을 미치고 입 움직임에 언어적 속성이 있을 때에 정적인 영향이 더욱 강해지는 것으로 이해할 수 있을 것이다. CM 조건의 rBroca에서 V5/MT로의 하향적의 연결은 시각 피질에서 V5/MT 영역으로의 경로와 더불어 유의한 경로임을 알

수 있었다. 그러나 이 경로는 V5/MT에서 rBroca 경로와 마찬가지로 입 움직임이 제시된 다른 두 조건(SM, TM)에서 그 연결의 속성이 정적에서 부적으로 변화되었는데 그 두 조건과 CM 조건과의 차이가 역시 통계적으로 유의하였다. 물론 말하는 입 모양일 때 더욱 그 경향이 강해져서 TM 조건과 SM 조건 간에도 유의한 차이가 발견되었다. 이는 입 움직임의 여부로 rBroca에서 V5/MT 경로가 하향적 억제성 경로가 되어 입 움직임에 언어적 속성이 있을 때에 억제하는 성질이 더욱 강해지는 것을 시사하는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 결과에 의하면 우반구에서 입 움직임의 시각적인 언어적 정보에 가장 민감하게 반응한 경로로 V5/MT 영역과 rBroca 영역 사이의 경로를 의미하며 이 경로는 조건에 따라 역동적으로 연결 강도가 변화할 수 있는 경로임을 시사한다.

이 신경망 연구 결과를 활성화 결과와 함께 고려하면 이 경로의 기능이 이해될 수도 있다. 예를 들어, rBroca 영역은 청각 언어 없이 생물학적인 입 움직임이 있으면 활성화되는 영역이어서(Kang 등, 2006), 실제로 청각적인 언어 자극이 함께 제시되는 본 연구에 사용된 SM 조건이나 TM 조건의 활성화 결과를 보면 기저조건에 비해 유의한 활성화는 관찰되지 않았었다. 단지 TM 조건에서 약간의 우측 Broca 영역의 활성화를 볼 수 있었을 뿐이었다. 그러나 경로 모델의 결과에서는 rBroca 영역은 청각 혹은 시각적인 언어와 관련된 자극이 함께 들어오면 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로 이어지는 경로의 연결 경로가 부적 관계를 가지는 것으로 변화하였음을 알 수 있었

다. 그대로 해석하면 rBroca 영역의 활동이 V5/MT 영역의 활성화를 억제하는 경향을 야기할 수 있음을 의미하는 것이다. 그래서 rBroca 영역이 청각 문장 자극을 진위 판단할 때에 입 움직임의 시각 단서와 관련이 있는 V5/MT 영역을 조절하는 것으로 생각된다. 특히 제시되는 입 움직임이 청각 언어와 일치할 때는 rBroca 영역의 활성화가 억제되며 동시에 rBroca 영역에서 V5/MT 영역으로의 억제성 경로의 강도가 더 증가하게 되는 것으로 보이는데 이는 결과적으로 V5/MT 영역의 rBroca 영역으로부터의 하향적 억제의 탈 억제를 의미할 가능성이 있다. 즉 SM 조건에서 rBroca 영역에서 V5/MT 영역의 억제성 효과는 감소되며 그 결과 V5/MT에서 rBroca로의 정적 연결성은 더 증가하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 물론 rBroca가 어느 영역으로부터 입력을 받는가는 후속 연구에서 규명되어야 할 것이다. 현재로는 좌반구의 Broca와 우반구의 Broca 사이에 어떠한 상호작용이 있을 가능성을 생각할 수 있을 뿐이다.

경로 모델 해석의 한계점 먼저 구조방정식 모델을 이용한 경로 모형 분석을 뇌 영역간의 효과적인 연결성을 이해하는데 사용할 경우에 여러 가지 고려하여야 할 한계가 있다. 뇌 영역은 해부학적으로는 모든 영역간의 연결이 있기 때문에 이론적으로 우리 두뇌의 연결성을 구현하려면 많은 영역이 선택되어야 하고 그 영역들 간의 연결이 모든 영역들 간에 이루어져야 할 것이다. 그러나 실제로 SEM에서 구현하려면 모델의 간명성을 고려해야 하고 몇 개의 영역에서 실제 측정된 데이터를 기준

으로 만들어진 구조 모형에 반영해야 한다. 그렇기 때문에 모델을 구성하기 위한 영역을 선택하는데 있어서 참고가 될 만한 기준이 여러 문헌이나 해부학적인 문헌 혹은 가감법을 통한 활성화 연구가 참고가 되어야 할 것이다.

또한 구조 방정식 기법을 이용하여 최종 구조 모형을 확정해 나가는 과정에서 실제로 p 값이 0에 가까워 영가설 모형이 기각되는 경우도 있다. 즉 연구자가 세운 모형 구조가 실제의 데이터를 잘 설명하지 못한다는 것이다. 그 대표적인 이유가 표본 크기인데 표본 크기가 너무 작으면 실제 기각되어야 할 모형이 채택이 되는 경우도 있을 수 있으며 반대로 표본의 크기가 충분하여 실제 받아들여야 할 모형(영가설, 설정한 구조 모형이 실제 데이터를 잘 설명한다)이 기각이 되는 경우도 발생한다. 그러나 fMRI나 MEG 데이터들은 한 개인만으로도 데이터의 수가 많기 때문에 연구자가 실제와 흡사한 연구 모형을 도출해냈다면 모형 적합도의 판정에 어느 정도 자유로워질 수 있을 것이라 생각한다.

본 연구에서는 기본이 되는 경로 모형으로 아무런 입 움직임이 없는 조건인 CM 조건의 경로 모형, 즉 CM 조건의 연결성을 기준으로 보았다. CM 조건의 V5/MT와 rBroca의 관계에 있어서 rBroca 영역이 V5/MT 영역을 정적인 속성으로 연결을 하고 있는 반면 그 역의 연결에 있어서는 부적인 연결의 속성이 있음을 알 수 있었다. 그러나 입 움직임의 시각 정보가 들어오게 되면 그 둘 영역 간의 속성이 반대로 이루어짐을 본 연구의 결과를 통해 알 수 있었다. 본 연구에서 구조 방정식을 적용하여 밝히고자 했던 것은 실제 우리 두뇌의

연결을 완벽히 알 수 없으므로 특정한 조건에서 연결의 속성이 조건을 다르게 하면 그 연결의 변화가 어떻게 일어나는지를 알고자 하였다. 그래서 실제 두뇌의 연결성에 근접하기보다는 세 조건의 같은 경로 모형을 모델링하여 기본이 되는 경로 모형에서 특정 조건이 있을 때에 어떻게 변화하는지에 더 초점을 맞추었다. 경로 분석의 결과가 시간적 선후 관계나 영역 간 활성화의 인과 관계를 설명할 수 없다는 방법론의 제한점 때문에 위의 결과에 대한 조심스런 해석이 요구된다. 특히 경로 분석을 자료 의존적 방법으로 지나치게 탐색적으로 사용하여 결과를 해석할 가능성에 대해서는 특히 조심하여야 할 부분으로 지적될 수 있다. 그러나 이런 제한점은 인지신경과학 분야에서는 구조방정식 이용에 기존의 해부학적 지식을 사용한 다는 점에서 상당히 극복될 수 있다. 예를 들어 본 연구에서 사용된 관심영역은 이미 기존의 PET연구와 fMRI활성화 연구에 근거하여 선별된 것이며, 이 관심 영역들 사이의 경로는 대체로 감각 정보의 흐름(시각 정보의 흐름 및 청각 정보의 흐름)과 관련된 두뇌 부위에 대한 신경해부학적인 기존의 지식을 근거로 하여 모델을 설정하였다. 만일 이후에 청각장애가 있는 환자의 입술읽기 과정에 대한 신경과학적 자료와 비교하여 현 경로분석 모델을 검증할 수 있다면 더욱 좋은 교차 타당화 연구가 될 수 있을 것이라고 생각된다. 무엇보다 이러한 연결성 연구 방법만이 제시할 수 있는 두뇌 신경망의 가설적 구조는 시청각 언어 정보처리의 인지신경과학적 이해에 중요한 시사점을 제공할 수 있다. 본 연구의 이러한 시사점은 언어

기능을 주로 담당하는 것으로 알려진 좌반구 내에서의 회로나 좌우 반구간의 연결성을 고려한 광범위한 후속 신경망 연구로 확대되어야 할 것이다.

참고문헌

- 강혜진, 강은주, 이정모, 나동규, 나덕렬, 이동수 (2005). 연합기억과제의 특성과 해마 활성화에 대한 fMRI 연구. *한국심리학회지: 실험*, 27, 47-498.
- Allison, T., Puce, A., McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *TrendsCognSci.*, 4, 267-278.
- Beauchamp, M.S. (2005). See me, hear me, touch me: multisensory intergration in lateral occipital-temporal cortex. *Curr Opin Neurobiol.* 15, 145-153.
- Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D., Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *JNeurosci.* 16, 3737-3744.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G., Freund, H.J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *EurJNeurosci.* 13, 400-404.
- Cabeza, R., McIntosh, A.R., Tulving, E., Nyberg, L., and Grady, C.L. (1997). Age-related differences in effective neural connectivity during encoding and recall. *NeuroReport* 8,

- 3479-3483.
- Callan, D.E., Callan, A.M., Kroos, C., Vatikiotis-Bateson, E. (2001). Multimodal contribution to speech perception revealed by independent component analysis: a single sweep EEG case study. *BrainResCognBrainRes. 10*, 349-353.
- Calvert, G.A., Campbell, R., Brammer, M.J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. *CurrBiol. 10*, (11), 649-657.
- Calvert, G.A., Bullmore, E.T., Brammer, M.J., Campbell, R., Williams, S.C., McGuire, P.K., Woodruff, P.W., Iversen, S.D., David, A.S. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science 276*, (5312), 593-596.
- Campbell, R., Zihl, J., Massaro, D., Munhall, K., Cohen, M.M. (1997). Speechreading in the akinetopsic patient, L.M. *Brain 120* (Pt10): 1793-803.
- Campbell, R., MacSweeney, M., Surguladze, S., Calvert, G., McGuire, P., Suckling, J., Brammer, M.J., David, A.S. (2001). Cortical substrates for the perception of face actions: an fMRI study of the specificity of activation for seen speech and for meaningless lower face acts (gurning). *BrainResCognBrainRes. 2*, 233-243.
- Freitag, C.M., Konrad, C., Haberlen, M., Kleser, C., Gontard, A., Reith, W., Troje, N.F., and Krick, C. (2008). Perception of biological motion in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia 46*, 1480 - 1494.
- Friston, K.J., Frith, C.D., Liddle, P.F., Frackowiak, R.S. (1993). Functional connectivity: the principal component analysis of large (PET) data sets. *J Cereb Blood Flow Metab. 13*, 5-14.
- Frackowiak, R.S., Friston, K.J., Frith, C.D., Dolan, R.J., Price, C.J., Zeki, S., Ashburner, J., Penny, W. (2004). *Human brain function, Second edition.*
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain 119* (Pt 2): 593-609
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., Blake, R. (2000). Brain areas involved in perception of biological motion. *J Cogn Neurosci. 12*, (5), 711-720.
- Horwitz, B., McIntosh, A.R., Haxby, J.V., Grady, C.L. (1995). Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood flow data. *Behav Brain Res. 66*, 187-193.
- Howard, R.J., Brammer, M., Wright, I., Woodruff, P.W., Bullmore, E.T., Zeki, S. (1996). A direct demonstration of functional specialization within motion related visual and auditory cortex of the human brain. *Curr Biol. 6*, (8), 1015-1019.
- Kang, E., Lee, D.S., Kang, H., Hwang, C.H., Oh, S.H., Kim, C.S., Chung, J.K. and Lee, M.C. (2006). The neural correlates of cross-modal interaction in speech perception during a

- semantic decision task on sentences: A PET study. *Neuroimage* 32, 423-431.
- Kang, E., Kang, H., Kim, H., Na, DG. (2002). Visual modulation on speech processing in higher auditory cortices. *Society for Neuroscience, abstracts*.
- Kim, H., Kang, E., Na, DG. (2002). Effects of biological motion on speech processing: an fMRI study. *Society for Neuroscience, abstracts*.
- Kilts, C.D., Egan, G., Gideon, D.A., Ely, T.D., Hoffman, J.M. (2003). Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions. *Neuroimage*. 18, 156-168.
- Krause, B.J., Horwitz, B., Taylor, J.G., Schmidt, D., Mottaghy, F.M., Herzog, H., Halsband, U. (1999). Network analysis in episodic encoding and retrieval of word-pair associates: a PET study. *Eur J Neurosci*. 11 (9): 3293-301.
- Krause, J.B., Taylor, J.G., Schmidt, D., Hautzel, H., Mottaghy, F.M. (2000). Imaging and neural modelling in episodic and working memory processes. *Neural Netw*. 13 (8-9): 847-59.
- Knutson, K.M., McClellan, E.M., Grafman, J. (2008). Observing social gestures: an fMRI study. *Exp Brain Res*. 188 (2): 187-98.
- McGurk, H., MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature* 26: 746-748.
- McIntosh, A.R., Gonzalwz-Lima, F. (1994a). Structural equation modeling and its application to network analysis in functional brain imaging. *Human brain mapping*. 2, 2-22.
- McIntosh, A.R., Grady, C.L., Ungerleider, L.G., Haxby, J.V., Rapoport, S.I., Horwitz, B. (1994b). Network analysis of cortical visual pathways mapped with PET. *J Neurosci*. 14, 655-66.
- Mogatty, F.M., Willmes, K., Horwitz, B., Muller, H.W., Krause, B.J., and Sturm, W. (2006). Systems level modeling of a neuronal network subserving intrinsic alertness. *Neuroimage* 29, 225-233.
- Nyberg, L., McIntosh, A.R., Cabeza, R., Nilsson, L.G., Houle, S., Habib, R., and Tulving, E. (1996). Network analysis of Positron Emission Tomography regional cerebral blood flow data: ensemble inhibition during episodic memory retrieval. *J Neurosci*. 16: 3753-3759.
- Pelphrey, K.A., Morris, J.P., Michelich, C.R., Allison, T., and McCarthy, G. (2005). Functional anatomy of biological motion perception in posterior temporal cortex: an FMRI study of eye, mouth and hand movements. *Cereb Cortex*. 15 (12): 1866-76.
- Peuskens, H., Vanrie, J., Verfaillie, K., Orban, G.A. (2005). Specificity of regions processing biological motion. *Eur J Neurosci* 21, 2864-2875.
- Protzner, A.B., and McIntosh, A.R. (2006). Testing effective connectivity changes with structural equation modeling: what does a bad model tell us?. *Human brain mapping* 27, 935-947.

- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J.C., McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *J Neurosci.* 18, 2188-2199.
- Rees G, Russell C, Frith C.D., Driver J. (1999). Inattention blindness versus inattention amnesia for fixated but ignored words. *Science.* 286, 2504-2507.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res.* 3, 131-141.
- Sekiyama, K., Kanno, I., Miura, S., Sugita, Y. (2003). Auditory visual speech perception examined by fMRI and PET. *Neuro sci Res.* 47, 277-287.
- Sekuler, R., Sekuler, A.B., Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature* 385, 308.
- Seminowicz, D.A., Mayberg, H.S., McIntosh, A.R., Goldapple, K., Kennedy, S., Segal, Z., Rafi-Tari, S. (2004). Limbic-frontal circuitry in major depression: a path modeling metanalysis. *NeuroImage* 22, 409-418.
- Shams, L., Kamitani, Y., Shimojo, S. (2000). Illusion. What you see is what you hear. *Nature* 408, 788.
- Thompson, J.C., Hardee, J.E., Panayiotou, A., Crewther, D., Puce, A. (2007). Common and distinct brain activation to viewing dynamic sequences of face and hand movements. *Neuroimage* 37 (3): 966-73
- Wheaton, K.J., Thompson, J.C., Syngienotis, A., Abbott, D.F., Puce, A. (2004). Viewing the motion of human body parts activates different regions of premotor, temporal, and parietal cortex. *Neuroimage* 22 (1): 277-88.
- Winder, R., Cortes, C.R., Reggia, J.A., and Tagamets, M.A. (2007). Functional connectivity in fMRI: A modeling approach for estimation and for relating to local circuits. *Neuroimage* 34, 1093-1107.
- 1 차원 고접수 : 2008. 9. 6.
최종 게재 결정 : 2008. 12. 8.

The influence of visual mouth cue on auditory speech perception: Structural Equation modeling

Heejung Kim¹² Dong Soo Lee¹² Eunjoo Kang³

¹Interdisciplinary program in cognitive science, Seoul National University

²Dept. of Nuclear Medicine, Seoul National University School of medicine

³Department of Psychology, Kangwon National University

Visual cues emitted from a speaker, such as mouth and lip movements, are critical aspects of sensory information that influence auditory speech perception in face to face conversation. The way in which these complex visual cues are processed remains to be elucidated. Here we apply fMRI to a cross-modal speech perception paradigm in order to determine how functional connectivity between brain areas changes depending on the type of visual cue. Data obtained from a previous fMRI study in which three conditions, closed mouth (CM), twitching mouth (TM), or speaking mouth (SM) were delivered during an auditory sentence perception task. Structural Equation Modeling (SEM) was used to estimate functional strengths of links in a network among the brain regions activated in these three conditions. The chosen brain areas, which were modeled only in the right hemisphere, consisted of visual areas (lingual gyrus and V5/MT), both anterior and posterior superior temporal sulci (aSTS and pSTS), and the area equivalent to left Broca's area (rBroca's). Significant differences were found for the functional linkages between V5/MT and rBroca's area across the three conditions. The path from V5/MT to rBroca became positive both during the TM and SM conditions, whereas that in the CM condition was negative. However, the connection from rBroca to V5/MT became negative both during the TM and SM, whereas that in the CM condition was positive. Additional linguistic information, such as the mouth movements of the SM condition, resulted in increased statistical significance of these linkages relative to the TM condition. The dynamic changes in functional connectivity between V5/MT and Broca's area in the right hemisphere may subserve the cross-modal processing of auditory speech by inhibiting irrelevant or interfering visual cues from mouth movement.

Key words : Cross-modal processing, Structural Equation Model (SEM), lip-reading, speech, fMRI