

반응행위에 미치는 언어자극의 간섭효과: 사건관련전위 연구*

리 창 립 정 명 영 이 동 훈†

부산대학교 인지메카트로닉스공학과

본 연구에서는 행위를 기술하는 언어적인 표현을 이해하는 과정에서 일어나는 운동 모사(motor simulation)가 실제 운동 산출에 미치는 영향을 행동 반응 분석 및 뇌파 분석을 통해 알아보고자 하였다. 본 실험에 참가하기 전, 실험 참가자는 시각적 자극의 색깔에 따라 두 가지 행동 반응(노란색-버튼 누르기, 파란색-페달 밟기)을 산출하도록 학습하였다. 본 실험에서는 각각의 행동 반응을 요구하는 시각적 자극은 각각 두 색깔로 표시된 반응 행동을 지시하는 명령문(버튼을 눌러라, 페달을 밟아라)과 중립자극(***&&& &&&*)으로 제시되었고, 실험 참가자는 자극의 내용을 무시하고, 오직 자극의 색깔에 의해 결정된 행동 반응을 수행하도록 지시 받았다. 실험 조건은 자극의 색깔에 의해 결정된 반응 행동과 자극의 내용의 일치성 유무에 따라 일치 조건, 불일치 조건, 중립 조건으로 구성되었다. 행동 데이터 분석 결과, 반응시간 및 오류율에서 자극-반응 일치성 여부에 따른 일반적인 스트룹 효과를 확인할 수 있었고, 각각의 행위 조건에 따라 중립조건을 기준으로 촉진 및 방해효과를 관찰하였다. 측정된 뇌파 자료는 자극제시 시점을 기준으로 -100ms에서 800ms 구간에 대하여 운동 피질 부위의 사건관련전위(event-related potential, ERP)를 구한 다음 통계 분석을 실시한 결과, 중립 자극에 비해, 행위 지시어의 효과는 자극제시 후 150-250 ms 구간에서는 보다 적은 정적 파형으로, 450-550 ms 구간에서 보다 큰 부정적 파형으로 나타났다. 행위 지시어와 요구되는 행동 반응의 일치 정도에 따른 간섭효과는 N400 구간에서 각각의 운동 피질 영역에서 관찰되었다. 본 연구의 결과는 행위를 기술하는 언어자극 이해과정에서 생기는 운동 모사(motor simulation)는 운동 피질의 활성화를 비교적 빠르고 자동적으로 일으키며, 이후 뒤따르는 반응 행위와 일치 여부에 따라 촉진 및 방해효과를 일으킴을 보여주었다. 이러한 연구 결과는 언어의 이해가 감각-운동 정보의 모사를 통해 이루어지며, 따라서, 현재의 감각-운동 행위와 역동적으로 상호작용한다는 체화된 인지(Embodied Cognition) 이론을 지지하는 증거로 해석될 수 있다.

주제어 : 운동 피질, 뇌파, 사건전위분석, 스트룹 효과, 체화된 인지

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)으로부터 지원받아 수행되었습니다(신청과제번호.R31-20004).

이 연구의 일부는 2011년도 한국인지과학회 춘계학술대회에서 발표되었음.

† 교신저자: 이동훈, 부산대학교 인지메카트로닉스 공학과, 부산 금정구 장전동 산 30

E-mail : dhlee@pusan.ac.kr

1996년 이탈리아의 신경과학자 Giacomo Rizzolatti와 그의 동료들은 Macaque 원숭이의 전운동피질의 일부분인 F5 영역의 신경세포가 그 원숭이 자신이 먹이를 집어먹는 행위를 수행할 때 뿐만 아니라, 다른 원숭이 혹은 실험 진행자가 먹이를 집어먹는 모습을 관찰할 때도 발화하는 것을 관찰하고는 이러한 신경세포들을 거울 신경(Mirror Neuron)이라고 명명하였다(Rizzolatti et al., 1996). 이러한 거울 신경의 존재를 근거로 Rizzolatti와 그의 동료들은 행위의 의미를 이해하는 과정이 관찰된 행동을 자신이 그 행위를 실행한 것과 같이 모사(simulation)함으로써 이루어진다고 주장하였다. 즉, 행위의 개념적 이해가 추상적인 의미 코드나 심볼에 의해 이루어지는 것이 아니라, 자신의 행동 경험을 바탕으로 이에 관한 운동계획이나 양식에 대한 심적 모사(mental simulation)를 통해 이루어진다는 것이다. 이러한 거울 신경 시스템의 발견은 행위 이해에 대한 신경생리학적인 메커니즘을 밝히는 동시에, 공감(empathy), 따라하기(imitation), 마음 이론(theory of mind) 등 사회적 행동(social behavior)의 이해가 어떻게 두뇌에서 일어나는가에 대한 신경과학적 단초를 제공함으로써, 많은 연구 분야에 영향을 미치고 있다(Rizzolatti & Craighero, 2004).

무엇보다 중요한 점은 인간의 인지, 마음의 작용을 정보의 입력과 출력, 그리고 사이에서 일어나는 계산 과정으로 보아왔던 전통적인 인지심리학의 정보처리적 접근법에 심각한 오류가 있을 수 있음을 지적하고 있다는 것이다. 즉, 지각과 운동에 동시에 반응하는 신경기제의 존재를 밝힘으로써, 지각과 운동이 정보

처리 단계의 초기 입력(input)과 마지막 산출(output) 단계로 각각 독립된 과정이 아니라, 서로 실시간으로 상호작용하며, 인간의 인지 과정에 영향을 미친다는 것이다. 뿐만 아니라, 의미의 이해과정이 감각-운동 양식으로부터 독립된 추상적인 기호 체계(amodal symbolic system)에 근거하여 이루어지는 것이 아니라, 바로 그 감각과 운동 정보를 바탕으로 이루어진다는 체화된 인지(Embodied Cognition), 근거된 인지(Grounded Cognition)적 접근을 지지하는 강력한 신경과학적 증거로 받아들여지고 있다(Barsalou, 2008; 2009, Gallese & Lakoff, 2005).

거울 신경 시스템의 발견과 더불어, 최근 많은 뇌영상기법을 활용한 연구들은 대뇌 감각, 운동 피질이 의미 처리의 중요한 역할을 한다는 것을 거듭 밝히고 있다. 단어나 문장 이해 과제와 같이 언어적인 심볼들을 이해하는 과정에서도 감각, 운동 피질 영역이 언어 자극의 의미 내용에 따라 감각, 운동 영역의 각각 다른 위치에서 활성화됨을 보여주는 연구들이 등장하였다. 예를 들면, Hauk et al. (2004)는 기능성 자기공명 영상(fMRI)를 이용하여, 실험참가자들이 손, 발, 입 운동과 관련된 행위동사들(예, 마시다, 밟다, 물다)을 수동적으로 눈으로 읽고 이해하는 과정 중에 운동 피질의 활성화가 각 동사가 의미하는 행위를 수행할 때 사용되는 신체 부위의 운동 영역에서 선택적으로 활성화되는 것을 관찰하였다. 이와 유사하게 Tettamanti et al.(2005)는 손, 발, 입 운동 행위를 각각 기술하는 문장들(예, 야구공을 던지다, 축구공을 차다, 이야기를 하다)을 듣고 이해하는 과정에도 운동 피질의 활성화가 신체 운동 부위에 선택적으로 활성화

화되는 것을 보고하였다. Aziz-Zadeh et al.(2006)는 위와 같이 행위를 기술하는 언어적인 표현들을 이해하는 과정에서 나타나는 운동피질의 선택적인 활성화가 각 신체 부위의 운동을 관찰하는 과정에서 나타나는 운동 피질의 활성화와 중첩되는지를 기능성 자기공명 영상 방법을 이용하여 조사하였는데, 그 결과 상당부분 중첩되는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 Aziz-Zadeh와 Damasio(2008)는 행위를 기술하는 언어적인 표현을 이해하는 과정 중에 나타나는 운동 피질의 활성화는 행위를 지각하거나 산출하는 과정에 모두 활성화되는 거울 신경 메커니즘에 기반하며, 이는 행위에 대한 개념적 지식이 전운동 피질(premotor cortex)에 존재한다고 주장하였다.

행위 산출 및 행위의 관찰, 그리고 행위 단어 및 문장 이해 과정에 모두 공통적으로 나타나는 운동 피질의 활성화는 행위 개념의 이해가 지각과 운동 정보로부터 추상화된 어떤 독립적인 기호 체계에 의해 이루어지는 것이 아니라, 행위를 지각하고, 흉내내고, 스스로 실행하는 과정을 바탕으로 이루어짐을 의미한다. 이는 지각과 운동, 그리고 언어 이해과정 이 각각 독립적인 정보처리 모듈들에 의해 처리되는 것이 아니라, 서로 긴밀히 상호작용할 수 있는 인터페이스와 거울 신경과 같이 지각과 운동 정보에 동시에 반응하는 신경 기체에 기반함을 암시한다. 이러한 인터페이스의 존재를 받아들일 때, 우리는 지각과 운동의 상호작용 뿐만 아니라, 언어와 지각/운동 간의 상호작용도 쉽게 예측할 수 있다. 최근 이러한 예측에 부합하는 실험적 증거들이 다양한 분야에서 제시되었다. 그 대표적인 증거로

Glenberg와 Kaschak(2002) 등이 제시한 행위-문장 일치성 효과(action-sentence compatibility effect: ACE)를 들 수 있다.

행위-문장 일치성 효과(ACE)란 실험참가자가 일련의 문장을 읽고 그 문장의 의미가 이상한지 이상하지 않는지를 판단하는 과제에서, 문장이 의미하는 행위의 방향성과 실제 반응 행동의 방향성과 일치할 때 빨라지는 것을 말한다. Glenberg와 Kaschak(2002)는 실험참가자로 하여금 “앤디가 너에게 피자를 전해주었다”/ “네가 앤디에게 피자를 전해주었다”/ 혹은 “앤디가 피자에게 너를 전해주었다” 등의 문장을 읽고, 각 문장들이 의미로운지(sensible) 판단하게 하였는데, 이때, 절반의 실험 참가자는 의미롭다는 판단을 반응 버튼을 앞으로 밀어서 반응하고, 나머지 절반은 반응 버튼을 자기쪽으로 당겨서 반응하게 하였다. 이 실험의 주된 관심은 의미로운 문장의 경우, 문장이 내포하는 행위의 방향성과 반응 행동의 방향성의 일치 여부에 있었다. 실험 결과, “앤디가 너에게 피자를 전해주었다”의 경우, 문장이 기술하는 행위의 방향성은 자기 쪽을 의미하게 되는데, 이때, 반응 레버를 자기쪽으로 당길 경우에 빨라지며, “네가 앤디에게 피자를 전해주었다”의 경우 행위의 방향성은 타인, 즉 자신의 몸 바깥쪽을 의미하게 되며, 이때에는 반응 레버를 앞으로 미는 경우가 빨라진다는 것이다. 흥미로운 점은 이러한 행위-문장 일치성 효과가 앞선 예에서처럼 구체적인 신체 행위를 기술하는 문장 외에도, “수잔이 너에게 이야기를 전해주었다”와 같이 추상적인 행위를 기술하는 경우에도 나타난다는 것이다.

이와 유사하게, Zwann과 Taylor(2006)는 시각

자극의 운동 방향성과 반응 행동의 방향성의 일치여부, 문장이 기술하는 행동의 방향성과 반응 행동의 방향성의 일치 여부를 조작하여, 지각과 운동의 상호작용, 언어내용과 운동의 상호작용을 일련의 실험들을 통해서 검증하였다. Zwann과 Taylor(2006)는 첫 번째 실험에서 화면에 회전하는 블록과 같은 시각적 자극을 제시하고, 블록의 색상이 변환하는 시점에 실험참가자로 하여금 조그 셔틀과 같은 손잡이를 시계방향 혹은 반시계방향으로 돌려 반응하도록 지시하였다. 이때, 손잡이를 돌리는 방향과 화면에 제시한 시각적 자극의 회전 방향이 일치할 때, 반응 속도가 빨라짐을 관찰하였다. 이는 운동 지각(motion perception)이 운동 산출(motor execution)과정에 실시간적으로 영향을 미치는 것을 나타낸다. 이 뿐만 아니라, Zwann 과 Taylor(2006)는 추후 실험에서 “트로이는 맥주병을 돌려 뺐다”와 같은 행위 문장을 제시하고, 첫 번째 실험과 마찬가지로 반응키를 오른쪽, 혹은 왼쪽으로 돌려 반응하도록 하여, 문장이 기술하는 손 행동의 방향성이 반응 행동의 방향성과 일치할 때, 반응 시간이 빨라짐을 확인하였다. 이러한 결과는 Glenberg와 Kaschak(2002)의 연구 결과와 마찬가지로, 문장 이해와 같은 언어처리가 행위 양상과 독립적으로 일어나는 것이 아니라, 문장이 내포하는 감각-운동 정보와 반응 행동의 관련성에 따라 상호작용함을 보여준다.

하지만, 행위 문장을 이용한 이들의 연구는 문장 이해과정에서 운동 정보가 언제 어떻게 정확히 활성화되고, 행위 개념의 활성화가 반응 행동에 미치는 영향이 촉진적인지, 혹은 간섭을 일으키는 것인지, 그 정확한 메커니즘

을 알 수 없다. Boulenger et al.(2006)는 이러한 문제를 해결하기 위하여 특정한 행위를 요구하는 운동 과제를 수행하는 동안 행위의 시발점을 전후로 행위 동사 혹은 구체 명사를 제시함으로써, 행위 개념의 처리 시점에 따른 운동 반응의 변화를 관찰하였다. 이 실험에서 실험참가자는 자신의 앞에 있는 패드에 손을 두고 있다가, 시각적 단서가 주어지면 40cm 앞에 놓여진 물체를 집는 행동을 하도록 요구 받았다. 실험 1에서는 행동의 시작을 알리는 시각적 단서(+)가 먼저 제시되고, 곧바로 구체 명사 혹은 행위동사 혹은 비단어가 제시되었다. 실험참가자는 뒤따라오는 언어자극이 단어인 경우 물건을 집어야 했지만, 비단어인 경우 물건을 집지 말고 다시 원위치로 돌아와야 했다. 실험 2에서는 특별한 시각적 단서 없이, 단어 혹은 비단어가 행동의 시작 혹은 중지를 알리는 단서로 사용되었다. 실험 1의 결과로는 구체 명사가 제시된 경우에 비해, 행위 동사가 제시된 경우 행동 반응이 오히려 늦어져 간섭 효과가 일어났으며, 반면 실험 2에서는 구체 명사가 단서로 주어진 경우에 비해, 행위 동사가 단서로 주어졌을 때, 행동 반응이 더욱 빨라지는 촉진 효과를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 Boulenger et al.(2006)은 행동 반응의 시작 시기로부터 200ms 안에 행위 개념의 처리는 방해효과를 일으키며, 행위 시작 이전에 행위 개념의 처리는 촉진효과를 일으킨다고 주장하였다.

지금까지 소개한 연구들은 문장 혹은 단어의 의미와 반응행동의 관계성에 따라 반응 행동의 속도가 달라짐을 보여주었다. 이러한 연구들은 문장의 문법적 구조(syntactic structure)

나, 단어 길이(word length), 단어 빈도(word frequency) 혹은 친숙성(familiarity) 등을 엄밀히 통제하여, 관찰된 상호 작용이 언어의 형식적 요인이나, 언어 자극 자체의 특성에 의한 것이 아닌, 언어 자극과 반응 행동 간의 감각-운동 정보의 유사성에 기인한다고 보았다. 이러한 결과들을 바탕으로, 위 저자들은 언어의 이해가 추상적인 기호 체계를 기반으로 계산되는 독립적인 언어 모듈의 처리가 아니라, 단어나 문장이 표현하는 물건이나, 행위, 사건에 관련된 감각, 운동 정보가 두뇌에서 재연(re-enactment) 혹은 모사(simulation)됨으로 인해 이해가 일어나고, 그 이해 과정에서 이루어지는 감각-운동 정보의 모사 내용이 뒤따라 일어나는 반응 운동과 일치하거나 유사할 때, 일종의 점화 과정이 일어남으로 인해 결과적으로 촉진 효과가 일어난다고 주장한다. 뿐만 아니라, 이러한 점화 효과는 거울 신경 시스템과 같이 행위 개념의 이해와 운동 산출 과정에 공통적으로 관여하는 신경 기제가 존재하기 때문이라고 주장한다(Chersi et al. 2010, Gallese et al. 2009).

그러나, 앞서 살펴본 바와 같이, 현재까지 fMRI를 이용한 연구들은(예, Hauk et al., 2004) 행위 단어나 문장의 이해 과정에서 운동 피질이 활성화됨을 보여준 것이지, 이러한 활성화가 실제 행위를 산출하는 운동 뉴런의 활동을 점화(혹은 촉진)하거나 방해하는 지를 직접적으로 보여준 경험적 증거는 제시되지 않았다. 이러한 증거가 쉽게 발견되지 않는 이유 중 하나는 방법론적인 제약이다. fMRI의 경우, MRI 영상이 피실험자의 움직임으로 인한 노이즈에 취약하기 때문에, 팔이나 다리 운동을

하는 운동 과제를 실행하여 깨끗한 데이터를 얻기 힘들다. 뿐만 아니라, 상대적으로 낮은 시간적 해상도로 인해, 뉴런 수준의 점화효과를 관찰하기 힘들다. 이에 반해, EEG의 경우, 높은 시간적 해상도와 상대적으로 움직임에 덜 민감한 장점이 있다. 하지만, EEG는 낮은 공간적 해상도와 신호의 정확한 위치 추적이 힘든 단점이 있다. 그러나, 최근 다량의 채널을 이용한 고밀도 뇌파(high-density EEG) 장치와 전류원밀도(current source density, CSD)분석, 신호 근원지 위치분석(source localization) 등의 새로운 뇌파 분석 방법을 통해 공간적 해상도와 신호의 근원지를 추적할 수 있는 방법들이 등장하였다. 예를 들어, Pulvermüller, Härle & Hummel(2001)는 고밀도 뇌파 장치를 이용하여, 신체의 반응부위(팔, 다리)를 나타내는 행위동사를 이해하는 과제를 수행하는 동안, 운동피질 부위에서 전류원밀도(Current source density, CSD)가 자극 제시 후 약 170ms-250ms 사이에 각각의 신체부위 별로 다르게 분포됨을 보여주었다. 이러한 결과는 행위 동사의 이해 과정에 나타는 운동 피질의 활성화가 상당히 빠른 시간에 일어남을 나타냄과 동시에 EEG를 통해서도 운동 피질의 선택적인 활동을 측정할 수 있음을 보여준다(Pulvermüller, Härle & Hummel, 2001; Hauk et al., 2008).

따라서, 본 연구에서는 실험 참가자가 버튼 누르기와 페달 밟기라는 두 가지 행위반응을 수행하도록 요구하는 과제에서 언어적 자극의 효과를 운동 피질 주변의 뇌파를 측정함으로써 알아보고자 하였다. 실험 전체에 걸쳐, 실험 참가자는 자극의 색깔에 따라 두 가지 반응 행동을 실행하도록 요구 받았다(노란색-버

튼 누르기, 파랑색-페달 밟기). 실험참가자는 색깔에 따라 반응 행동을 정확히 수행할 수 있도록 연습한 후 본 실험에 참가하였다. 본 실험에서는 각각의 반응 행동을 요구하는 두 가지 색상의 자극을 반응 행위를 지시하는 명령문(‘버튼을 눌러라’, ‘페달을 밟아라’)과 무의미한 심볼들(‘&&& &&&’)로 제시하였다. 실험참가자는 자극의 내용과 상관없이 연습한 것과 같이, 색상이 노란색의 경우 버튼을 누르고, 파랑색의 경우 페달을 가능한 재빨리 밟아야 했다. 자극이 노란색으로 제시될 경우, ‘버튼을 눌러라’는 자극의 의미와 요구되는 행동 반응이 일치되는 경우이며, ‘페달을 밟아라’의 경우 불일치 조건이 되며, ‘&&& &&&’의 경우, 통제조건이 된다. 이와 같은 실험 과제로 자극의 내용과 반응 행동간의 관계를 일치/불일치/무관련(중립) 조건으로 언어적 자극이 반응 행동에 미치는 촉진 혹은 간섭효과를 알아보 고자 하였다.

종합하자면, 본 연구의 목적과 연구 가설은 다음과 같다. 첫째, 행위를 지시하는 언어적인 표현이 자극으로 사용될 경우, 실제 운동피질의 뇌파가 변화하는가를 알아보 고자 한다. 즉, 자극이 무의미한 심볼들(‘&&& &&&’)인 경우에 비해, ‘버튼을 눌러라’ 혹은 ‘페달을 밟아라’인 경우 운동 피질의 뇌파가 달라지는가 하는 것이다. 선행 연구를 고려해 볼 때, 무의미한 심볼들에 비해 행위 지시어가 제시될 경우, 운동 피질의 뇌파의 파형이 비교적 빠른 시간(170-250ms)간에 변화할 것으로 예측하였다(Pulvermuller, Härle & Hummel, 2001; Hauk et al., 2008). 둘째, 행위 지시어의 의미가 반응 행동과 일치하는 경우와 불일치하는 경우의

뇌파를 비교하는 것이다. 일반적으로 알려진 자극과 반응의 일치성 여부에 따른 간섭 및 촉진 효과(즉, 스트룹 효과)가 운동 피질에서 관찰되는가 하는 것이다. 일반적인 색상 스트룹 과제를 실시하면서 EEG 파형을 관찰한 선행 연구들을 살펴보면, 자극과 반응이 불일치한 조건(‘빨강’이 파란색으로 제시)일 때, 자극 제시 후 약 400~500ms 구간의 부적 진폭 값이 더 크게 나타나는 것으로 보고되었다(Ilan & Polich, 1999; Liotti, Woldorff, Perez and Mayberg, 2000; Rebai, Bernard & Lannou 1997). 따라서, 본 연구에서는 행위 지시어와 반응 행동의 일치/불일치 조건에서 생기는 간섭효과가 운동 피질 부위의 뇌파에서도 나타나는지, 그리고 시간 상에서 언제 나타나는 지를 알아보 고자 하였다. 그리고, 연구 결과를 바탕으로 행위 개념의 처리와 실제 행위의 수행간의 다 이너믹한 관계성, 행위 개념의 체화(embodiment)에 관해 논의하고자 한다.

연구방법

실험참가자 부산대학교에 재학 중인 21명의 대학/대학원생(남자: 15명, 여자6명, 평균연령만 28세, 표준편차=3.3)이 실험 참가 동의를 제출하고 실험에 참여하였다. 참가자는 모두 오른손잡이였으며 뇌 손상과 심리적 장애가 없고 신경학적인 문제가 없었다. 이중 2명의 데이터는 높은 행동 반응 오류율 때문에, 뇌파 및 반응시간 분석에서 제외되었고, 또 다른 1명의 뇌파 데이터는 잦은 눈 깜박임으로 인한 노이즈 때문에 뇌파 분석에서 제외되었다.

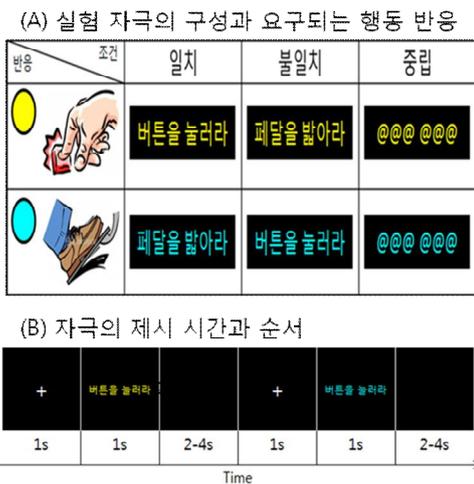


그림 1. 실험설계 및 자극제시

실험 절차 및 자극 실험참가자는 실험 전체에 걸쳐, 화면 중앙에 제시되는 자극의 색깔에 따라 버튼을 누르거나, 페달을 밟는 두 가지 반응행동을 가능한 정확하고 빠르게 실행하도록 요구되었다(노란색-버튼, 파란색-페달). 실험 참가자는 안정된 EEG 측정을 위해 머리 움직임 최소화할 수 있도록 책상 위에 고정된 턱받이에 턱을 편 상태에서, 오른손 검지 손가락을 책상 오른 편에 위치한 반응 상자에 표시된 버튼 위에 올려놓고, 오른발 엄지발가락 부위를 바닥에 고정된 반응 페달 위에 각각 올려놓은 상태에서 제시되는 자극의 색깔에 따라 반응 행동을 하도록 지시받았다. 색깔에 따른 반응행동을 숙지할 수 있도록, 무선적으로 제시되는 노란색 원과 파란색 원에 대하여 해당되는 반응을 약 30회 간 연습하였다.

본 실험에서는 반응 행동을 나타내는 색상이 그림 1(A)에서와 같이 반응행위를 지시하는 행위구절과 무의미한 심볼들에 의해 표현되었

다. 행위 구절은 두 가지 요구되는 반응행동을 지시하는 단어들로 구성되었으며(버튼을 눌러라/, /페달을 밟아라), 각각 색깔이 지시하는 반응행위와 일치되거나, 불일치되게끔 교차적으로 짝지워졌다. 즉 ‘버튼을 눌러라’가 노란색으로 제시되면 제시되는 자극의 내용과 동일하게 버튼을 누르는 행위가 요구됨으로 일치조건이고, ‘페달을 밟아라’가 노란색으로 제시되면 제시되는 내용과 다른 반응행동이 요구됨으로 불일치조건이다. 무의미한 심볼들의 나열(@@@ @@@, /### ###/, /\$\$\$ \$\$\$/, /%% %%%/, /&& &&&))은 5가지로 이루어졌는데 무작위로 제시되며 요구되는 반응행위에 영향을 미치지 않으므로 무간섭조건으로 간주되었다. 따라서, 전체 실험은 요구되는 반응행동(버튼, 페달)과 자극의 내용과 반응행동의 일치, 불일치, 무관련(중립) 여부에 따라 실험참가자내 2by 3 요인 설계(within subject 2x3 factorial design)로 구성되었다.

실험참가자는 무선적으로 제시되는 자극에 대해 각 실험 조건당 60개의 시행을 실시하여 전체 360개의 시행을 12번의 세션에 걸쳐 실시하였고, 각 세션이 끝나면 약 1분간의 휴식이 주어졌다. 각 시행은 1초간의 플러스 사인(+)으로 시작되었고, 반응행동을 요구하는 자극은 1초간 제시되었으며, 2-4초 사이의 시행간 간격이 무작위적으로 빈 화면으로 삽입되었다(그림 1(B)). 자극의 제시는 미국 PST사의 E-prime 2.0 professional version을 사용하여 이루어졌으며, 행동 반응은 같은 회사의 반응 버튼 박스(response button box)와 반응 페달(foot pedal)을 이용하여 기록되었다.

뇌파 측정과 분석 뇌파신호는 오스트리아 gTec사의 gUSBamp로 기록하였고, 뇌파수집은 MATLAB의 Simulink를 사용하였다. 본 측정 장비는 뇌에서 유발하는 미약한 전기신호를 증폭하여 모니터에 신호를 표시해줄 뿐만 아니라, 디지털 신호로 전환시켜 컴퓨터에서 소프트웨어를 통한 다양한 분석을 가능하게 해준다. 국제10-20전극배치법에 따라 74개의 전극을 부착할수 있는 gGAMMAcap을 이용하여 14개의 active electrodes는 각각 F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, CP3, CPz, CP4, Oz에, 기준전극은 오른쪽 귓볼에, 접지전극은 이마에 부착하였다. 전극부착위치는 대체로 운동피질 영역과 그 주변영역으로 체감각지도에 의하여 선정되었다(그림 2). 눈깜빡임과 구운동을 측정하기 위하여 2개의 EOG(F9, FP1)도 같이 측정하였다. 뇌파 신호는 256Hz로 샘플링 되었고, 잡음을 제거하기 위하여 0.1-60Hz의 on-line 필터가 사용 되었으며 피부저항은 5k Ω 이하로 유지하였다.

측정된 뇌파 자료는 gTec사의 gbsanalyze에 의해 분석되었으며 이 과정에서 off-line 필터는 사용하지 않았다. 측정된 뇌파 자료에 대하여 Remove drift, DC correction, Detrending 등의 전처리 과정을 실행하였다. 전처리과정을 거친 데이터는 자극 제시전 100ms에서 자극 제시 후 800ms까지의 분석구간 단위에서 VEOG, HEOG를 사용해 측정한 눈 깜빡임에 의한 안구운동 노이즈와 전압이 100 μ V 이상이거나-100 μ V미만인 경우, 또는 최대와 최소전압 차이가 100 μ V가 넘는 경우에 분석에서 제외하였다. 자극 제시 전 200ms 동안의 평균 진폭을 기저선(baseline)으로 삼아 EEG 데이터를 영점

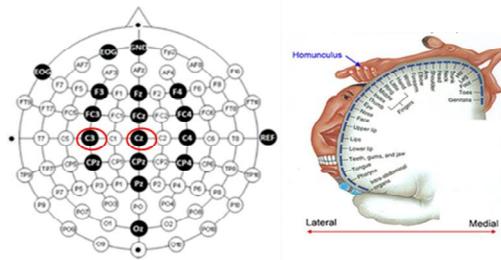


그림 2. 전극 부착 위치 및 체감각 지도에 따른 손/발 운동 피질에 해당하는 전극위치

교정한 후 조건별로 평균화 하여 사건관련전위 ERP 파형을 구하였다.

개인의 ERP 파형에 대해 각 전극 위치에서 그룹 ERP 파형을 산출하였고, 각 실험 조건에 대한 통계 분석은 체감각지도 상 손, 발 운동 피질에 해당하는 C3(오른손)와 Cz 전극의 ERP 파형의 자극 제시 후 150ms-250ms 구간과 450ms-550ms 구간에 대해 평균 진폭(mean amplitude) 구한 다음반응행위(버튼 누르기, 페달밟기) x 행위 지시어와 반응 행위의 일치성 여부(일치, 불일치, 무간섭)에 대하여 2요인 반복측정 변량분석(2way repeated measure ANOVA)을 실시하였다.

결 과

행동 반응 결과 그림 3은 자극 색깔에 따라 버튼을 누르는 반응행위와 페달을 밟는 반응행위에 필요한 평균반응시간과 반응정확도를 나타내고 있다. 전반적으로 행위 지시어가 개입되지 않은 무간섭 조건에 비하여, 행위 지시어가 반응행동과 일치하는 조건에서 상대적으로 높은 정확률과 빠른 반응시간을, 행위 지시어가 다른 행동을 지시하는 불일치조건에

서는 상대적으로 낮은 정확률과 느린 반응시간을 보였다. 또한 버튼 누르기에 비해 페달 밟기가 상대적으로 느리고, 정확률에서도 더 많은 오류를 범하는 것을 나타냈다.

정확률에 대해 반응행위(버튼 누르기, 페달 밟기)와 자극 조건(일치, 불일치, 무간섭)에 대한 2요인 반복측정 변량분석(2way repeated measure ANOVA)을 실시한 결과, 반응행동의 주효과($F_{(1,18)}=5.272, p<.05$), 자극 조건의 주효과($F_{(2,36)}=18.533, p<.001$)는 모두 유의미하게 나타났으나, 두 요인간의 상호작용 효과는 유의미하지 않았다($F_{(2,36)}=.390, p=.680$). 반응 행동의 주효과는 상대적으로 익숙하고 편리한 버튼 누르기에 비해, 페달 밟기 반응에서 보다 많은 오류를 범한 것을 나타내며, 자극의 조건의 주효과는 자극의 내용과 반응행동의 일

치/ 불일치/중립 정도에 따라 반응 행동의 정확도가 유의미하게 차이가 나는 것을 나타낸다. 또한 그림 3에서 행위 지시어가 반응 행동과 다를 때, 간섭 효과를 일으켜 더 많은 오류를 일으킴을 나타낸다.

반응 시간 분석은 정반응 시행에 국한하여 각 조건의 중앙값(median)을 대표치로 계산하여 분석하였다. 반응행위(버튼 누르기, 페달 밟기)와 자극 조건(일치, 불일치, 중립)에 대한 반복측정 변량분석(2way repeated measure ANOVA) 결과, 정확율 분석 결과와 유사하게 반응행동의 주효과($F_{(1,18)}=37.915, p<.001$), 자극 조건의 주효과($F_{(2,36)}=20.808, p<.001$)는 모두 유의미하게 나타났으나, 두 요인간의 상호작용 효과는 유의미하지 않았다($F_{(2,36)}=1.598, p=.216$). 이는 반응 정확도 결과와 같이, 버튼 누르기 반응 행동에 비해 페달 밟기 반응 행동이 상대적으로 익숙하지 않음으로 인해 반응시간이 전반적으로 느리나, 자극의 반응 행동 지시의 일치/불일치/중립 조건에 따른 효과는 두 반응 행동에서 모두 영향을 미치는 것을 나타낸다. 또한 상대적으로 익숙한 버튼 누르기 행동의 경우, 행위 지시어가 일치할 때 나타나는 촉진효과(일치 vs. 중립)보다 일치하지 않을 때 나타나는 방해효과(불일치 vs. 중립)가 보다 커 반응시간이 느려진 것으로 보이며, 상대적으로 덜 익숙한 페달 밟기 행동의 경우, 행위 지시어가 일치할 때, 중립 조건에 비해 반응시간이 빨라진 것으로 보인다.

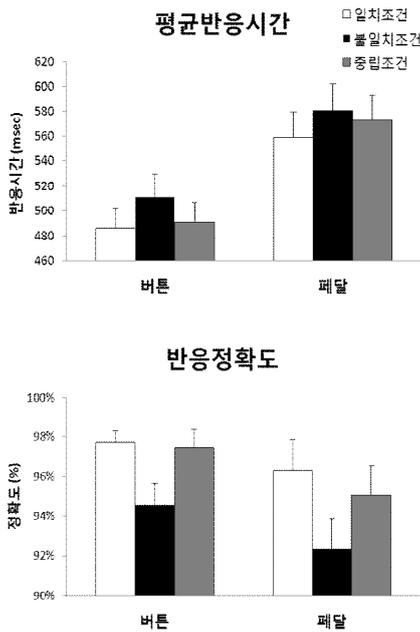


그림 3. 각 자극 조건에서 버튼 누르기와 페달 밟기에 걸린 평균 반응 시간과 반응 정확도(오차막대는 표준오차)

뇌파분석결과 그림 4는 대뇌 운동피질에서 각각 발 운동영역과 손 운동영역에 해당하는 Cz, C3에서 각각의 반응행위(버튼, 페달)에 따

른 사건 관련 전위(ERP) 뇌파를 나타낸다. 전반적으로 무의미한 심볼들을 자극으로 사용한 중립조건(점선)과, 행위 지시어를 자극으로 사용한(일치-가는 실선, 불일치-굵은 실선) 조건을 비교해 보면, 자극 제시 후 약 150ms 이후에 나타나는 정적(positive) 파형과 자극 제시 후 약 450ms 이후에 나타나는 부적(negative) 파형에서 많은 차이가 나는 것을 볼 수 있다. Time window 150-250ms 구간의 정적 파형에서는 중립 조건의 뇌파가 일치, 불일치 조건에 비해 더 크며, 450-550ms 구간의 부적 파형에서는 중립 조건의 뇌파가 다른 조건에 비해 더 적게 나타났다. 각 전극 위치에서 두 구간의 평균 진폭(amplitude)을 각각 피험자별로 구

한 후, 각 자극 조건에 따른 차이를 통계적으로 검증하였다. 그림 5는 각 전극 위치에서 두 반응 행동조건 자극 조건에 따른 구간 별 그룹 평균 전위를 나타낸다.

먼저, 자극 제시 후 150-250ms 구간의 정적 파형에 대하여, 각각의 두 전극에서 반응 행동과 자극 조건에 따른 이원 변량분석을 실시하였다. 먼저, 발영역을 나타내는 Cz위치에서의 분석결과를 보면 자극조건 주효과($F_{(2,34)}=5.759, p<.05$)가 유의미하게 나타났고, 반응행위 주효과와 상호작용효과는 유의미하지 않았다. 이와 마찬가지로, 손영역을 나타내는 C3위치에서의 분석결과를 보면 자극조건 주효과($F_{(2,34)}=4.033, p<.05$)가 유의미하게 나타

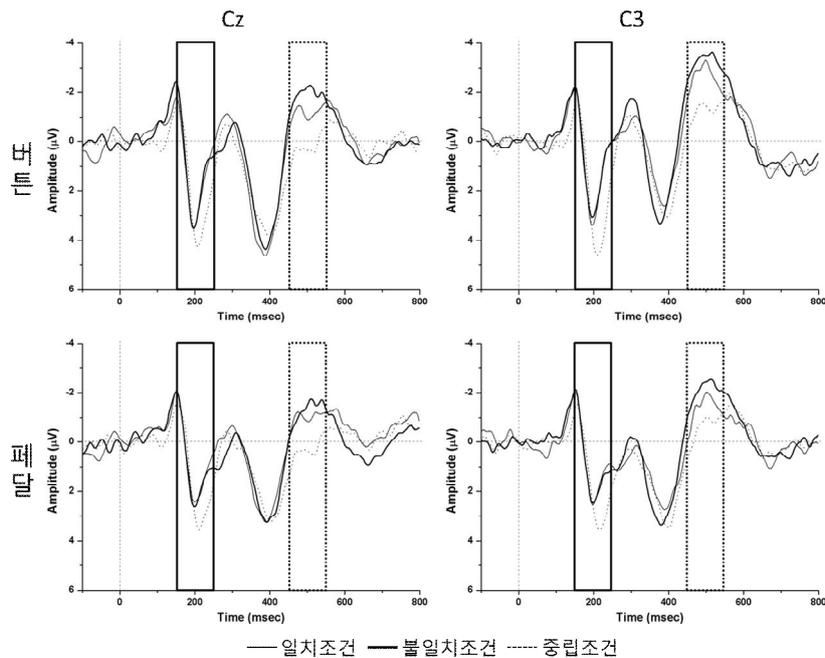


그림 4. Cz, C3 전극 위치에서 측정된 각 자극 조건(일치, 불일치, 중립)에 따른 두 가지 반응행위(버튼 누르기, 페달 밟기)에서의 집단 평균 사건 관련 전위(ERP). 굵은 선 박스로 표시한 자극 제시 후 150-250ms 구간과 점선 박스로 표시한 450-550ms 구간은 각 자극 조건들 간의 차이를 통계적으로 검증한 time-window를 나타낸다.

났고, 반응행위 주효과와 상호작용효과는 유의미하지 않았다.

자극 조건의 주효과는 그림 4. 5에서 보이는 바와 같이, 중립 조건에 비해, 행위 지시어가 자극으로 쓰인 일치, 불일치 조건의 정적 파형이 이 구간에서 상대적으로 낮았기 때문에 보인다. 이는 행위 지시어가 무의미한 심볼들과 다르게, 이 구간에서 운동 피질 부분의 뇌파에 영향을 준 것을 보인다. 그러나 이 구간에서는 행위 지시어의 내용과 요구되는 반응 행동의 일치 여부에 따른 차이는 전혀 유의미 하지 않았다.

이에 반해, 행위 지시어와 요구되는 반응 행동의 일치성 여부에 따른 차이는 자극 제시

후 450ms 이후에 나타나는 부적 파형에서 관찰되었다. 자극 제시후 450-550ms의 평균 진폭에 대해 각 전극 위치에서 반응 행동과 자극 조건에 따른 이원 변량분석을 실시한 결과, 150-250ms 구간에서와 마찬가지로, 두 전극 위치에서 모두 자극 조건의 주효과가 관찰되었다(Cz: $F_{(2,34)} = 17.575, p < .001$, C3: $F_{(2,34)} = 12.343, p < .001$). 150-250ms 구간과 다르게, 반응 행동의 주효과도 유의미한 것으로 나타났으나(Cz: $F_{(1,17)} = 20.201, p < .001$, C3: $F_{(1,17)} = 6.242, p < .05$), 반응 행동과 자극 조건 간의 상호작용은 두 전극 위치에서 모두 유의미 하지 않았다. 이러한 결과는 그림 4, 5에서 보이는 것처럼, 행위 지시어를 자극으로 사용한 조건에서 무의

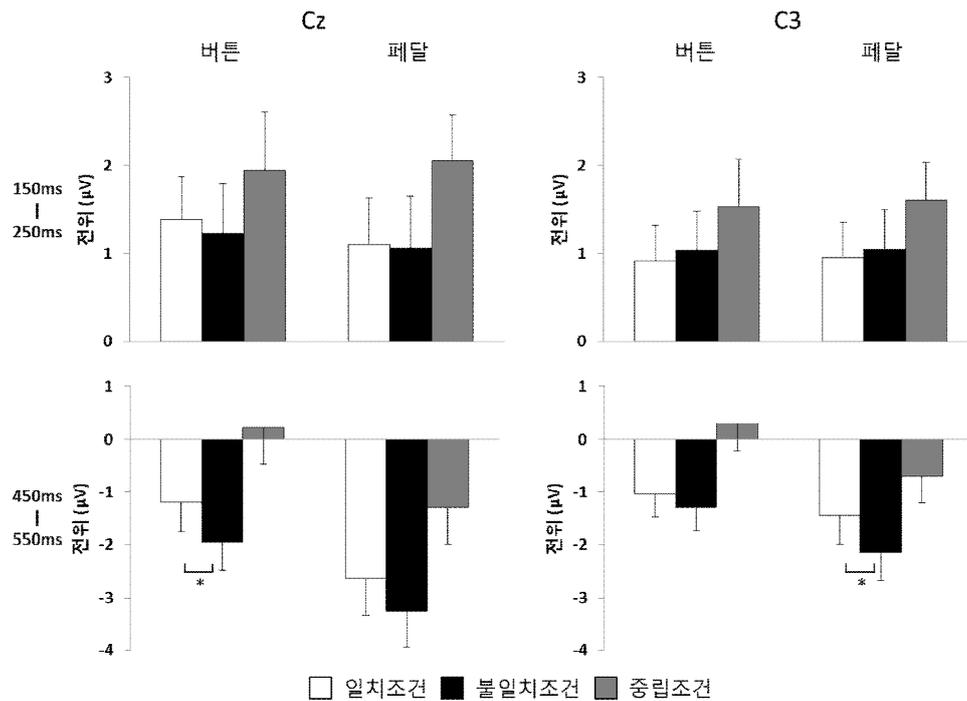


그림 5. 150-250ms 구간과 450-550ms 구간의 Cz, C3 영역의 조건별 평균 전위. (*는 행위 지시어가 제시된 조건에서 반응 행동과의 일치성 효과가 $p < .05$ 에서 유의하게 나타났음을 의미한다.)

미한 심볼들을 자극으로 사용한 중립조건에 비해 보다 많은 부적 파형이 생성되었으며, 이 구간에서는 행위 지시어와 반응 행동의 일치/불일치 여부에 따라 부적 파형에 차이가 관찰되었다. 따라서, 행위지시어와 반응 행동 간의 일치/불일치 여부 및 손, 발 위치의 전극 간의 상호작용을 알아보기 위하여, 행위 지시어가 제시된 일치/불일치 조건에 대하여, 전극 위치, 반응 행위 조건 간의 상호작용, 삼원반복측정변량분석을 실행하였다.

표 1에서와 같이, 전극위치, 반응 행위, 자극-반응의 일치성에 따른 각각의 주효과가 유의미 하였고, 전극위치-반응행위 간의 상호작용효과와 세 요인간의 상호작용효과가 유의미한 것으로 나타났다. 자극-반응 일치성의 주효과가 유의미한 것은 일치조건에 비해 불일치 조건에서 450-550ms 구간의 부적 파형이 전반적으로 더 큰 것을 의미한다. 전극 위치의 주효과는 C3에 비해 Cz에서 보다 큰 부적 파형이 나타났으며, 반응 행위의 주효과는 버튼 누르기 행위에 비해 페달 밟기 조건에서 보다

큰 부적 파형이 나타났기 때문이다. 하지만, 삼원 상호작용 효과가 유의미하다는 것은, 자극-반응 일치성 여부에 따른 효과가 각각의 반응 행위 및 전극 위치에 따라 다르다는 것을 의미한다. 따라서, 각 전극 위치에서 각 반응 행위 조건에서 자극-반응 일치성 효과를 t 검증으로 살펴보았다. 그 결과, Cz위치에서는 발행위를 나타내는 지시어가 제시될 때 버튼을 누르는 행위에 대한 간섭효과가 유의미하게 나타난 반면($t(17)=3.056, p<.05$), 손 행위를 나타내는 지시어가 될 때 페달 밟는 행위에 대한 간섭효과는 그리 크지 않았다($t(17)=1.842, p=0.083$). 이와 반대로 C3위치에서는 손행위를 나타내는 지시어가 제시될 때 페달을 밟는 행위에 대한 간섭효과(일치 vs. 불일치, $t(17)=2.787, p<.05$)가 유의미 하게 큰 반면, 발 행위를 나타내는 지시어가 제시될 때는 버튼 누르는 행위에 대한 간섭효과는 그리 유의미 하지 않는 것으로 나타났다($t(17)=1.375, p=0.187$).

논 의

본 연구에서는 거울 신경의 발견과 함께 행위를 기술하는 언어적인 표현을 이해하는 과정에서 촉발되는 운동 피질의 활성화가 실제 운동 산출에 미치는 영향을 행동 반응 분석 및 뇌파 분석을 통해 알아보려고 하였다. 이를 위하여, 기존의 색상 스트룹 과제를 변형하여, 행위 지시어와 반응 행동들 간의 관계성을 조작한 일종의 운동스트룹 과제를 개발하였다. 이를 바탕으로 행위 지시어와 반응 행동간의 의미 일치성 유무에 따른 효과를 행동 반응 및 대뇌 운동 영역의 뇌파를 통해 관

표 1. 450-550ms 구간에서 측정된 뇌파의 평균 전위에 대한 삼원 반복측정변량분석 결과

효과	자유도	F 값
전극위치(E)	1,17	10.087*
반응행위(R)	1,17	7.181*
자극-반응 일치성(S)	1,17	10.509*
E × R	1,17	14.400**
E × S	1,17	2.660-
R × S	1,17	0.214-
E × R × S	1,17	5.288*

** $p<.01$; * $p<.05$; - No significant.

찰하고자 하였다.

실험 결과, 행동 반응은 언어적 자극이 반응 행동을 정확히 지시하는 경우, 반응의 정확도가 높아지고, 반응 속도가 빨라지며, 불일치하는 경우, 보다 많은 오류를 범하며, 반응 속도가 느려지는 전형적인 스트룹 효과를 관찰하였다(Stroop, 1935; MacLeod, 1991). 이는 행위를 표현하는 언어적 표현의 이해가 반응 행동의 시간을 촉진 혹은 간섭한다는 선행 연구의 결과와 일치한다(Buccino et al., 2005; Sato et al., 2008; Boulenger et al., 2006).

뇌파 분석 결과, 비언어적 자극을 쓴 무간섭 조건에 비하여, 반응 행동을 기술하는 언어적 자극의 효과는 Cz, C3와 같은 전두엽 운동 피질 부위에서 자극 제시 후 150-250ms에서부터 나타났다. 이는 행위를 기술하는 단어의 의미처리 과정에서 운동 피질 영역이 비교적 빠른 시간 내에 활성화 됨을 보여주는 선행연구의 결과와 일치한다(Pulvermuller, Härle & Hummel, 2001; Hauk et al., 2008). 그러나 이 구간에서는 행위 지시어와 반응 행동 간의 일치성 여부에 따른 촉진 및 간섭효과는 나타나지 않았다. 이는 행위 지시어 혹은 행위 단어의 의미처리로 인해 촉발되는 초기 운동 피질의 활성화는 이후 운동 여부나 운동 계획에 상관없이 자동적으로 일어나며, 이 시기에는 반응 행동의 수행에 대한 간섭(interference) 혹은 충돌(conflict)이 아직 일어나지 않은 것으로 해석될 수 있다.

이러한 행위 지시어의 제시 효과는 일반적으로 N400 파형이라 일컬어지는 자극 제시 후 450-550ms 구역의 부적 파형에서도 관찰되었는데, 비언어적인 자극조건이 중립 조건에

비해, 행위 지시어 조건들에서 보다 큰 파형이 나타났다. 행위 지시어 조건에서 비언어적인 자극 조건에 비해 보다 큰 N400 파형이 관찰된 것은 언어처리와 관련한 의미처리 효과라 볼 수 있다(Kutas & Hillyard, 1984). 그러나, 중요한 점은 이러한 N400 파형의 진폭이 행위 지시어와 반응 행동 간의 일치성 여부에 따라 유의미하게 차이가 났다는 것이다. 행위 지시어의 내용이 요구되는 반응행동과 불일치할 경우, 더 큰 N400 파형이 나타났으며, 그 효과의 크기는 발 운동 부위에서는 발 행위 지시어가 손 반응 행동 조건에서, 손 운동 부위에서는 손 행위 지시어가 발을 이용한 반응 행동조건에서 각각 유의미한 간섭효과를 일으켰다. 서론에서 언급한 것처럼, 자극-반응의 일치성에 따른 N400 효과가 관찰되는 것은 다른 스트룹 과제를 사용한 선행 ERP 연구 결과와 일치한다(Rosenfeld and Skogsberg, 2006; Ilan and Polich, 1999; Duncan-Johnson and Kopell, 1981; Markela-Lerenc et al., 2004; Liotti, Woldorff, Perez and May berg, 2000; Rebai, Bernard & Lannou 1997).

그러나, N400에서 관찰된 행위 지시어와 반응 행동 간의 일치/불일치로 인한 간섭효과의 크기가, 발 운동 피질 부위(Cz)에서는 발 행위를 나타내는 지시어(즉, 페달을 밟아라)에 의해, 손 운동 피질 부위(C3)에서는 손 행위를 나타내는 지시어(즉, 버튼을 눌러라)에 의해 각각 상대적으로 크게 나타난 점은 행위 지시어로 인한 운동 피질의 활성화가 각각 신체 운동부위에 특정적이라는 선행연구 결과를 고려할 때 주목할 만하다(Pulvermuller et al., 1999). 그러나 EEG/fMRI 동시 측정을 이용하여, 전통적

인 색상 스트룹 과제에서 관찰되는 N400 파형의 근원지를 살핀 선행 연구에서는 전대상회(anterior cingulate gyrus) 부위가 그 근원지로 보고되었으며(Hanslmayr et al. 2008), 이는 자극-반응 부합성이라는 일반적인 관점에서 반응 충돌이 일어날 때, 이를 지각하고 해소하려는 인지적 통제(cognitive control)과정에서 나타나는 것으로 해석하고 있다(Xiao et al., 2010). 본 실험 결과에서 나타난 N400 구간의 스트룹 효과의 손, 발 운동 영역과 언어 자극 간의 관계성에 대한 상호작용 효과가 각각의 운동 피질 영역이 각 반응 행위를 컨트롤하는 과정에서 생기는 영역 특성적인 효과인지, 아니면, 전대상회에서 기인하는 일반적인 인지적 통제 과정에서 나타난 효과가 각각의 측정 위치에 따라 다르게 관찰된 것인지는 현재 연구 방법으로는 정확히 구분해 낼 수 없었다. 본 연구에 사용된 16 channel EEG 장치로는 정확한 운동 피질 부위를 중심으로 국소적으로 뇌파를 측정하였기 때문에, 정확한 EEG source localization이 어렵다. 최근에 고밀도 EEG로 측정된 신호를 쌍극자를 이용하여 국제화하는 연구들이 많이 진행되고 있는데 노이즈 레벨과 조작의 숙련정도에 많은 영향을 받는다. 또한 MRI 영상구조와 결합하여 분석하는 연구도 진행되고 있다. 따라서 고밀도 EEG나, EEG-fMRI 동시 측정 방법 등을 통하여 정확한 뇌파의 공간적 위치 추적을 바탕으로 한 추후 연구를 통해 보다 세밀한 접근이 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 거울 신경의 발견과 아울러 최근 주목받고 있는 체화된 인지(Embodied Cognition), 근거된 인지(Grounded Cognition)이라는 관점에서 언어 이해 과정이 추상적인 기호체계에 기

반을 둔 특수한 언어 모듈의 독립적인 계산 작용으로만 이루어지는 것이 아니라, 언어를 통해 표현된 감각-운동 정보를 두뇌를 통해 모사하는 과정으로 이루어진다는 주장을 바탕으로 언어 자극과 행위 간의 간섭효과를 검증하고자 하였다. 연구 결과, 행위 지시어가 요구된 운동 과제를 수행하는데 있어 배제해야 하는 무관한(irrelevant) 자극임에도 불구하고, 행위 지시어의 의미와 반응 행동 간에 관계성에 따라, 촉진 혹은 간섭효과를 자동적으로 일으켰으며, 그 효과가 운동 피질 부위에서 유의미하게 관찰되었다. 또한 무의미한 자극의 제시된 조건에 비해, 행위 지시어가 제시된 조건에서 운동 피질 부위의 뇌파가 변화함을 관찰하였다. 따라서 본 연구 결과를 종합해 볼 때, 언어 이해가 감각-운동 정보로부터 완전히 추상화된 기호들을 바탕으로 이루어지는 독립적인 모듈의 처리에 의해서 이루어지는 것이 아니라, 감각-운동 정보를 기반으로 이루어지며, 언어처리와 감각, 운동 처리는 실시간으로 상호작용한다는 체화된 인지적 접근을 지지하는 증거로 해석해 볼 수 있다(Fischer & Zwaan, 2008). 그러나 본 연구에서 관찰된 효과들이 운동 피질 부위에 특수한 것인지, 혹은 자극-반응 부합성에 따른 일반적인 효과인지는 보다 세밀한 측정 방법과, 일반적인 스트룹 효과 조건과 행위 지시어로 인한 간섭 조건 등을 비교하는 함께 비교하는 식의 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

Aziz-Zadeh L, Iacoboni M, Zaidel E, Wilson S, &

- Mazziotta J (2004). Left hemisphere motor facilitation in response to manual action sounds. *Eur. J. Neurosci*, 19(9), 2609-12.
- Aziz-Zadeh, L., & Damasio, A. (2008). Embodied semantics for actions: Findings from functional brain imaging. *Journal of Physiology-Paris*, 102 (1-3), 35-39.
- Baber H. A., & Kutas M (2007). Interplay between computational models and cognitive electrophysiology in visual word recognition. *Brain Research Reviews*, 53(1), 98-123.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.* 59, 617-645.
- Barsalou, L. W. (2009). Simulation, situated conceptualization, and prediction. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 364, 1281-1289.
- Borghii, A. M., and Scorolli, C. (2009). Language comprehension and hand motion simulation. *Hum. Mov. Sci.* 28, 12-27.
- Boulenger V, Roy AC, Paulignan Y, Deprez V, & Jeannerod M, Nazir TA. (2006). Cross-talk between language processes and overt motor behavior in the first 200 ms of processing. *J Cogn Neurosci*, 18(10), 1607-1615.
- Buccino G, Riggio L, Melli G, Binkofski F, Gallese V, & Rizzolatti G (2005). Listening to action related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Cogn. Brain Res*, 24, 355-363.
- Duncan-Johnson, C. C., & Kopell, B. S. (1981). The Stroop effect: Brain potentials localize the source of interference. *Science*, 214, 938- 940.
- Fischer, M., and Zwaan, R. (2008). Embodied language: a review of the role of the motor system in language comprehension. *Q. J. Exp. Psychol.* 61, 825-850.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 455-479.
- Glenberg M, & Michael P. Kaschak (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 558-565.
- Hanslmayr, S., Pastotter, B., Bauml, K. H., Gruber, S., Wimber, M., & Klimesch, W. (2008). The electrophysiological dynamics of interference during the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 215-225
- Hauk O, Johnsrude I, & Pulvermuller F (2004). Somatotopic Representation of Action Words in Human Motor and Premotor Cortex. *Neuron*, 41, 301-307.
- Hauk O, Keil A, Elbert T, & Muller M.M. (2002). Comparison of data transformation procedures to enhance topographical accuracy in time-series analysis of the human EEG. *J. Neurosci. Methods*, 113(2), 111-122.
- Hauk O, Shtyrov Y, & Pulvermuller F (2008). The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology. *J. Physiol. Paris*, 102(1-3), 50-58.
- Ilan, A. B., & Polich, J. (1999). P300 and response time from a manual Stroop task. *Clinical Neurophysiology*, 110, 367-373.

- Kutas M, & Hillyard SA (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biol Psychol*, 11(2), 99-116.
- Kutas M, & Hillyard SA (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161-163.
- Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, 38, 701-711.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- Markela-Lerenc, J., Ille, N., Kaiser, S., Fiedler, P., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2004). Prefrontal-cingulate activation during executive control: Which comes first Cognitive. *Brain Research*, 18, 278-287.
- Pulvermüller F, Härle M, & Hummel F (2001). Walking or talking? Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain Lang*, 78(2), 143-168.
- Rebai, M., Bernard, C., & Lannou, J. (1997). The Stroop's test evokes a negative brain potential, the N400. *International Journal of Neuroscience*, 91, 85-94.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, & Fogassi L (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res. Cogn. Brain Res*, 3(2), 131-141.
- Rizzolatti, G., and Craighero, L. (2004). The mirror neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 169-192.
- Rosenfeld, J. P., & Skogsberg, K. R. (2006). P300-based Stroop study with low probability and target Stroop oddballs: The evidence still favors the response selection hypothesis. *International Journal of Psychophysiology*, 60, 240-250.
- Sato, M., Mengarelli, M., Riggio, L., Gallese, V., and Buccino, G. (2008). Task related modulation of the motor system during language processing. *Brain Lang.* 105, 83-90.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Tettamanti M, Buccino G, Saccuman MC, Gallese V, Danna M, Scifo P, Fazio F, Rizzolatti G, Cappa SF, & Perani D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J Cogn Neurosci*, 17(2), 273-281.
- Xiao, X., Zhang, Q., Jia, L., Zhang, Y., & Luo, J. (2010). Temporal course of cognitive control in a picture-word interference task. *Neuroreport*, 21(2), 104.
- Zwaan RA, & Taylor LJ (2006). Seeing, acting, understanding: motor resonance in language comprehension. *J Exp Psychol Gen*, 135(1), 1-11.

1 차원고접수 : 2011. 8. 18

수정원고접수 : 2011. 8. 29

최종게재결정 : 2011. 9. 4

Interference Effect of Language Stimuli on Response Action: An ERP study

Changlin Li

MyungYung Jeong

Donghoon Lee

Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University

The purpose of the present study was to investigate the influence of motor simulation during understanding of action phrases on the actual motor execution using behavior response measures and electroencephalogram (EEG). Subjects were trained to produce one of two action responses depending on the color of a cue stimulus (yellow - pressing a button, blue - stepping on a pedal). In the main experiment, the stimuli directing each action response were embedded in the action phrases, “press a button” and “step on a pedal”, or in several meaningless symbols (e.g., &&& &&&), and participants were instructed to disregard the semantic meaning of the stimuli and instead to respond according to their color. Experimental conditions consisted of congruent, incongruent, and neutral conditions regarding the correspondence of the semantic meaning of the stimuli with the action response required by their color. The analysis of behavior responses showed a typical Stroop effect with facilitation for congruent trials and interference for incongruent trials in comparison to neutral trials. For analysis of EEG data, event-related potentials (ERPs) were computed for a time window of -100 to 800ms relative to the presentation time of the stimuli. The ERP results showed that the action phrase decreased positivity during the time window 150 - 250ms and increased negativity from 450 - 550ms. Interference between the congruent condition and the incongruent condition were observed in the time window of 450-550ms. Our results indicate that motor simulation during action understanding occurs very rapidly and automatically, and then evokes facilitation and interference later according to its correspondence to the following action execution. Therefore, our results support the Embodied Cognition theories which claim that language understanding is based on the simulation of sensory-motor information, and dynamically interacts with current sensory-motor behavior.

Key words : motor cortex, EEG, ERP, Stroop effect, Embodied cognition