

인지에 관한 뇌 연구의 개괄적 고찰, 평가, 및 전망

도 경 수[†] 박 창 호 김 성 일
성균관대학교 심리학과 전북대학교 심리학과 고려대학교 교육학과

뇌와 인지 과정간의 관계에 대한 기존 연구들을 지각과 주의, 기억, 언어, 수, 추리, 범주판단, 계획하기, 교육의 측면에서 개관하였다. 이어서 뇌 연구를 인지 이론과 연결할 때 생길 수 있는 단원성의 개념, 감산법의 논리 등의 문제들에 대해 살펴보았다. 그리고 마지막으로 앞으로 연구 방향에 대해 논의하였다.

주제어 인지신경과학, 인지신경심리학, 단원성, 뇌영상연구

머리말 능력간의 관계를 탐구하는 골상학(phrenology)을 통하여 뇌와 정신능력간의 관계를 탐구하였다.
1790년대 Gall은 두개골의 모양 및 크기와 정신 현재 골상학에 대한 관심은 실질적으로 사라졌지

* 이 연구는 과학기술부의 2002-2003 Braintech 21 뇌과학연구개발사업의 지원을 받아 수행되었다.
세 사람의 공동작업이라서 저자 순서는 연령순으로 기재하였다. 세심하게 읽어준 심사위원에게 감사한다.
† 교신저자 : 도 경 수, (10-745) 서울 종로구 명륜동 3가 53, 성균관대학교 심리학과,
E-mail : ksdo@yurim.skku.ac.kr

만(영국의 골상학회는 1967년에 해체되었다), 뇌와 정신(마음)에 대한 관심은 뇌과학(brain science)이란 이름으로 21세기를 대표하는 학문으로 다시 부각되고 있다. 뇌과학이 부각되고 있는 것은, 그것이 뇌의 해부적 구조나 생리학에 관심을 두기 때문이 아니라 뇌의 정신 기능에 관심을 두기 때문이다. 즉 뇌과학은 인간 인지의 본질을 종합적으로 규명하고자 하는 인지과학을 기반으로 한다고 볼 수 있다. 따라서 인지과학의 한 핵심 분야를 이루는 인지심리학과 뇌과학의 연계성을 따지는 것은 양 학문의 발전과 더불어 필연적으로 제기되는 질문이다.

이제 인간의 정신과 활동중인 뇌 사이의 상관성은 어떤 철학적 논거(예, 유물론, 유심론 등)의 받침도 필요 없을 만큼 자명해 보인다. 그렇지만 뇌와 정신은 동일하지 않다. 뇌와 정신이라는 서로 다른 두 복합체계 사이의 동일성을 발견하려는 노력은 과학이 일반적으로 보이는 환원주의를 함축한다. 물리학, 화학, 생물학 등의 자연과학 분야에서 환원주의는 많은 성과를 올렸으나, 신경생리학의 대상으로서의 뇌와 정신 사이에는 환원주의라는 다리로는 건너기 어려운 심연이 여전히 존재한다. 즉, 뇌 현상을 정신 현상으로, 그리고 정신 현상을 뇌로 번역할 수 있는 공식화(formulation)는 요원한 듯하다. 대신에, 뇌신경생리에 관한 그 동안의 많은 연구들이 뇌 현상과 정신 현상간의 '상관성'을 보여 왔다. 다시 말하자면 뇌 현상과 정신현상사이에 정확한 대응관계자들 간의 인과관계가 규명되지 않고 있다.

인지심리학은 인지과정을 여러 처리단계로 이루어진 정보의 공정/처리 체계(processing system) 혹은 여러 성분 단위들로 이루어진 계산 체계(computational system)로 본다. 뇌과학에서는 뇌를 해부적 구조들 및 그들간의 네트워크로 본다. 뇌의 체계에 대해 인지심리학적 모형들은 각기 여

러 수준의 유비 관계를 상정해 왔으며, 인지신경과학적 연구들은 이 유비 관계를 확인하려고 애써 왔다. 이러한 노력은 양면의 위험을 내포할 수 있는데, 첫째는 인지심리학적 모형을 신경생리적인 상관물을 발견함으로써 정당화하고자 하는 것이며, 둘째는 뇌과학 현상들을 인지심리학적 창을 통해서 보도록 유도한다는 것이다.

뇌 현상과 정신 현상간의 상응성이 분명하지 않은 상태에서, 양자간의 일대일 대응을 찾으려는 노력은 많은 논리적 비약을 범하게 된다. 예컨대, 뇌 활성화의 양과 심리 작용간에 어떤 유효한(공식화할 수 있는) 관계가 있는가? 뇌 활성화의 시, 공간 패턴으로부터 심리 과정에 대한 어떤 인과성 혹은 (제어)체계를 알 수 있는가? 뇌 활성화의 의미를 일관되고 일반성있게 파악할 수 있는 해석 체계가 있는가? 이와 같은 질문에 대해 제대로 답을 할 수 없다면, 뇌 현상을 통해 인지적 체계를 정당화하는 것은 선부른 것이다.

다음으로, 인지심리학자들이 가지고 있고 생각할 수 있는 모형들의 대안들에 비해 뇌에 있는 신경조직과 신경원의 수, 결과적으로 가능한 네트워크의 수는 너무나 많다. 그러므로, 뇌 연구를 통해 어떤 인지 모형을 지지하는 신경 조직 혹은 네트워크를 찾음으로써 해당 인지모형을 지지하기는 쉬워도 그 모형의 타당성을 부정하는 결과를 얻기는 일반적으로 매우 어렵다(뇌 측정의 해상도 문제도 관련될 것이다). 즉, 어떤 인지현상 혹은 모형에 상응하는 것이 뇌 현상으로 지금까지 발견되지 않았더라도 그에 상응하는 뇌 현상이 존재하지 않는다고 말하기는 곤란한 것이다.

이러한 문제점들을 가중시키는 것으로, 뇌과학 연구들이 뇌라는 고유한 연구 대상을 가지고 있는 반면에, 뇌의 현상을 분석하고 그 결과를 정신 현상과 연결짓는 데에 독자적인 방법론과 개념 체계를 가지고 있지 않다는 문제도 있다. 그

결과, 뇌과학 연구와 논의는 뇌의 영역에 인지심리학적 논쟁을 옮겨와 전개하는 것처럼 보인다. 이런 상황에서, 뇌과학 연구가 기존의 신경생리학적 연구 및 인지심리학적 연구들에 더하여 얼마나 상승적인(synergistic) 효과를 낼 것인가에 대해 회의적인 견해가 등장한다. 다시 말해, 일부 뇌과학 연구들이 뇌와 정신의 이해라는 측면에서 얼마나 생산적인가에 대해서 전반적인 검토가 필요하다라는 것이다.

이러한 문제점과는 별개로, 뇌의 구조와 활동을 측정할 수 있는 새로운 기술들이 하나씩 등장함에 따라, 이 기술들은 뇌과학 연구에 적용되어 왔다. 뇌에 대한 연구 기법은 약물 처치와 해부 같은 고전적인 방법에서부터 뇌파 및 사건유발전위(ERP)와 같은 전기적 측정법, 그리고 비교적 최근에 발전한 PET, fMRI와 같은 뇌 영상화(brain imaging)에 이르기까지 다양하다. 본 논문에서는 앞의 개관 논문들에서 미흡하게 다룬 부분들에 대해 살펴보고, 이어서 인지심리학에서 뇌 연구를 이용하는 것과 관련된 몇 가지 문제들에 대해 살펴보기로 한다.

인지과정에 관한 뇌과학 연구들

지각과 주의

뇌의 여러 신경체계들과 비교해서 시각 체계에 대해서는 비교적 많은 연구가 수행되어 망막에 있는 시각 수용기로부터 대뇌의 시각 피질에 이르는 신경 경로 및 시각 피질에서부터 대뇌의 여러 시각 모듈로 이어지는 경로들에 대해 상당히 많은 정보가 수집되어 있다(기초적인 내용은 Goldstein, 2002 참조). 특히, Hubel과 Wiesel(1979)은 고양이의 시각 피질에서 자극의 시각적 특징

들에 선택적으로 반응하는 여러 탐지기들을 발견함으로써 시각 체계의 규명에 중요한 업적을 남겼다. 이들의 연구에 따르면, 시각 탐지기들은 아무렇게나 배치되어 있는 것이 아니라 시각 특징의 장소와 방위에 따라, 피질 표면에서 수직으로 내려가는 열주(column)로 집단화되어 있으며, 이런 열주는 신경 흥분이 입력되는 눈의 배치(좌 혹은 우)에 따라 교차하며 배치되어 있다. 이러한 사실은 초기 시각 처리를 담당하는 뇌 장치가 매우 치밀하게 조직되어 있음을 보여 준다. Hubel과 Wiesel이 첫 연구를 발표한 1959년에 Selfridge는 형태 재인을 특징의 추출과 결합 단계로 설명하는 만신전 모형(pandemonium model)을 제안하였다. 이러한 것들은 뇌과학 연구와 인지과학 연구에서 병행적인 발견이 일어나고 있음을 보여 준다. 그러나, 만신전 모형에서 단순하게 특징의 추출로 상정한 단계가 시각 피질에서는 엄청나게 많은 뇌 자원을 소요하는 작업인 것으로 드러남에 따라, 인지과학 모형과 뇌과학 모형 사이에는 커다란 차이가 있다는 것도 알려 주었다. 즉, 심적 조작의 단계들 혹은 심적 요소들간의 관련성에 주된 관심을 가진 인지과학적(인지심리학적) 모형은 물체로서의 신경 조직에 기반을 두는 뇌과학 모형과 차이가 있다는 것을 보여주었다.

시각적으로 사물을 알아보지 못하는 사람이 장애물을 피해 갈 수 있다는 것은 일반인의 상식으로는 잘 납득되지 않는 것이지만, 이것은 가능하다. 우리는 늘 특정한 위치에 있는 특정한 물체(의 정체)를 지각하기 때문에, 위치와 정체가 분리될 수 있다는 생각을 하기 어렵다. 그러나 Ungerleider와 Mishkin(1982)은 망막에 있는 두 종류의 신경절 세포로부터 시작하는 두 개의 시신경 경로가 외측상행과 시각 피질의 서로 다른 층을 거쳐 각각 하측두엽(IT: 복측)과 중앙측두엽(MT: 배측)으로 이어지며, 이 복측(dorsal) 경로와

배측(ventral) 경로가 각각 형태 인식과 운동 인식과 관련됨을 보였다. 따라서 이 두 부위 중 어느 한 곳에 문제가 생기면, 다른 이상은 없이 형태만을 인식하지 못하거나 아니면 운동만을 인식하지 못하는 장애가 생길 수 있다. 이와 관련하여 Livingstone과 Hubel (1987)은 물체의 형태, 색, 운동, 및 깊이 등이 독립적인 경로로 처리됨을 시사하는 정신물리학적 실험 결과를 얻었다. 이것은 뇌과학 연구와 인지심리학적 연구가 종합된 이해를 향해 수렴할 수 있음을 보여주는 좋은 예이다(그러나, 사실은 그렇게 단순하지 않다. 두 신경 경로가 완전히 분리되는 것이 아니라 부분적으로 연결되어 있으며, 따라서 한 영역의 손상은 여러 영역에 기능적 결함을 일으킬 수 있다. 김민식, 2002 참조).

지각과 주의 과제 수행에서 여러 가지 장애 혹은 기능저하를 보이는 증상들은 지각 및 주의 체계에 대한 중요한 통찰을 제공한다. 그 대표적인 예가 시각적 인식불능증(visual agnosia)이다 (Farah, 1990). 이 증후군에는 시각 기능에는 이상이 없으나, 형태를 아예 알아보지 못하거나 장면 속의 한 물체만 알아볼 수 있는 경우에서부터 얼굴이나 문자, 혹은 그 밖의 특정 범주의 물체를 알아보지 못하는 여러 증상들이 포함된다. 김민식 (2002)의 연구에서 언급된 베일린트 증상(Balint's syndrome)은 동시 인식불능증(simultanagnosia)의 한 예로서, 한 장면 속에 있는 여러 사물을 동시에 인식하지 못할 뿐만 아니라 그 위치를 파악하여 손으로 붙잡지 못한다. 베일린트 증상을 가진 환자들(의 일부)은 지각 처리 외에도 주의의 전환에도 장애가 있는 것처럼 보인다. 이 환자들은 자극의 세부특징들을 공간적으로 암묵적으로 표상할 수 있는 듯이 보이나 특징들을 위치 중심으로 결합하는 데에는 어려움이 있는 듯이 보인다. 이는 베일린트 증상 환자들이 주의의 이탈, 전환,

개입과 같은 공간적 주의 과정에서 더 큰 문제를 가지고 있을 가능성을 시사하는 것이다(김민식, 2002 참조).

시각적 인식불능증 환자들은 심상 과제에서도 비슷한 증상을 보임으로써 시지각 과정과 심상 과정이 공통된 기제를 가짐을 짐작케 한다. Levine, Warach, 및 Farah(1985)에 따르면, 우반구 두정엽에 손상을 입은 환자들이 왼쪽 시야에 제시된 자극을 지각하지 못할 뿐만 아니라 시각적 심상의 왼쪽 부분을 묘사하는 것도 어려워 하였다. 그런데, Kosslyn(1994)은 우반구와는 달리 좌반구가 이미지의 생성에 관여함을 보임으로써, 이미지 처리에서 좌우반구의 기능적 분화의 가능성을 시사하였다. 이러한 결과가 시지각 과정의 이해에 어떤 의미를 갖는가는 좀더 연구되어야 하지만, 그 동안 별개의 영역으로 간주되어 왔던 시지각과 심상 문제가 종합적으로 파악될 수 있음을 보여주었다는 점에서 뇌과학 연구의 유용성을 보여주었다.

주의는 여러 인지 활동에 관여하는 다양한 면모를 가지고 있는 심리과정인데, 주의과정에 대한 사건유발 전위 연구는 자극 출현에 대한 기대의 적중 여부에 따라 사건유발전위(ERP) 패턴이 달라진다는 것을 보여 주었다(Mangun & Hillyard, 1995). 이제 사건유발전위인 N100, P300의 패턴에 따라 초기단계의 심리과정의 차이를 알 수 있는 수단을 갖게 되었다(김정오, 2002 참조). 그러나, 이러한 추론에도 논리적 비약이 있다. 또한 현재까지 사건유발전위의 패턴으로 분석할 수 있는 심리과정은 비교적 초기 단계에 국한되는 것으로 보인다. 주의 현상은 매우 광범한 다양성을 가지고 있으며(Pashler, 1998 참조), 동적 특성을 가지고 있다. 뇌 영상화 연구는 이 점을 많이 시연해 보였음에도 불구하고(요즘 많은 인지심리학 교재에 등장하는 뇌 영상 사진을 보라), 뇌 측정 자료

를 주의 모형들과 정교하게 결부시키는 데에는 아직 한계를 보이고 있다고 생각된다.

다른 영역들과 비교할 때 시각 및 주의 영역과 관련된 뇌 기능에 대해 비교적 많은 것이 연구되었다. 주로 동물을 대상으로 한 연구들에 이어, 최근에는 뇌가 손상된 환자 혹은 정상인을 대상으로 하는 뇌 전위 측정 혹은 뇌 영상화 연구들이 활발해지고 있다. 주로 동물들을 대상으로 한 신경조직학적 및 단일세포 측정법 연구들은 뇌의 체계에 대해 엄연한 사실적 자료를 제공해 주었다. 이에 비해, 최근의 뇌전위 측정 혹은 뇌 영상화 연구들의 방법론적인 논리에는 아직 해결해야 할 문제가 많이 있다.

기억

PET와 fMRI 등을 사용한 뇌영상화 연구 기법이 발달하기 전에는 기억과정의 신경생리학적 기제를 밝히기 위한 연구방법으로 동물의 손상 연구와 뇌손상 환자나 기억상실증 환자의 사례연구가 중심이 되어왔다. 이러한 방법을 통해 밝혀진 기억과정에 대한 주요 연구 결과를 살펴보면, 서술적 기억은 내측두엽과 간뇌 부분이 관여하고 있으며, 편도체는 기억의 정서적 조율과 관련되며, 기저핵은 기술학습과, 소뇌는 조건형성과, 그리고 신피질 부위는 반복점화와 관련이 있는 것으로 밝혀졌다.

그러나 뇌 영상화 기법의 발달로 인해 정상인의 건강한 뇌의 특정영역에서의 순간적 활성화 패턴을 관찰할 수 있게 됨으로써 기억에 관한 새로운 결과들이 계속 밝혀지고 있다. 예를 들면, 기억상실증은 새로운 기억의 부호화와 인출을 담당하는 전두엽과 관련되어 있으며, 해마는 서술적 기억과는 관련이 없으나 지연 조건형성에는 결정적인 역할을 하는 것으로 알려졌다(Gabreili,

1998). Cabeza와 Nyberg(2000)은 275개의 PET와 fMRI 연구를 개관한 결과 다음과 같은 일관된 결과가 밝혀졌음을 보고하고 있다. (1) 주의와 작업 기억은 전전두엽과 두정엽이 담당하고 있으며, 언어와 의미적 기억의 인출은 좌뇌의 전전두엽과 측두엽이 담당하고 있다. (2) 일화적 기억의 부호화 과정에는 좌뇌의 전전두엽과 내측 측두엽이 관여하는 반면, 일화적 기억의 인출과정에는 전전두엽, 내측 측두엽, 그리고 후중간핵(*posterior midline*)이 담당하고 있는 것으로 나타났다. (3) 그리고 시각적 점화과정에는 선조체외(*extrastriate*) 영역이, 개념적 점화과정에는 전전두엽이 각각 관여하고 있으며, 절차적 기억은 운동영역과 비운동영역 모두 활성화되는 것으로 나타났다.

기억과 관련된 인지신경학적 연구는 아직까지는 기억유형과 기억과정에 대한 인지심리학적 구성개념과 이론에 의존하여 기억유형과 상관이 높은 특정 뇌의 영역을 확인하는 뇌의 국제화 수준의 연구가 주종을 이루고 있다. 하지만 최근에는 뇌신경망의 기능적 연결성을 측정하려는 다양한 접근방법들이 시도되고 있다. 예를 들어, 기억과 관련된 뇌영상화 연구 중에서 가장 신뢰로운 결과중의 하나는 일화적 기억의 인출 동안 관찰되는 우측 전전두엽(RPFC)의 활성화이다. 그러나 만약 일화적 기억과는 상이한 인출과제에서도 전전두엽의 활성화가 관찰된다면, 이는 다른 뇌영역에서의 활동이나 관련영역과의 상호작용에서의 차이가 인출과정에 결정적인 역할을 한다는 것을 보여주는 셈이다. McIntosh(1999)는 신경계의 작동의 기능적 네트워크를 살펴보기 위해 공변량 분석의 일종인 구조방정식 모형(*Structural Equation Modelling*)과 부분최소자승화(*Partial Least Square*)라는 분석방법을 적용하였다. 그 결과 단기지연 기억과제에서는 우반구에서 해마와 하측 전전두엽 그리고 전대상회간의 강력한 상호작용이 발견되

었으나, 장기지연에서는 동일한 세 영역에서의 상호작용이 좌반구에서 발견되었다. 이러한 결과는 시간이 경과함에 따라 시각적 부호화에서 정교화된 부호화로의 전략변화가 일어난다는 것을 시사한다. 뇌의 특정 영역이 여러 가지 인지기능을 담당하는 역할을 하기도 하지만, 각 역할은 해부학적으로 관련된 다른 영역과의 상호작용 방식에 의해 결정된다. 따라서 학습과 기억과정을 여러 하위 과정들의 역동적 조합으로 가정하고, 뇌 신경망의 상호작용에 의한 창발적 속성을 지니는 과정으로 간주하는 관점이 별개의 기억체계를 가정하는 관점보다 더욱 나은 설득력을 지닌다고 하겠다.

최근 들어 집중적으로 사용되고 있는 EEG (electroencephalography), MEG(Magnetoencephalography), fMRI, PET, SPECT(Single Photon Emission Computerized Tomography), NIRS(Near-Infrared Spectroscopy) 등의 다양한 뇌영상화 방법은 혈류반응의 느린 속도로 인해 시간적 해상도에서 제한점을 지니고 있다. 결국 이러한 방법을 통해 관찰된 뇌 영역간의 상관성이 기능적 연결을 보장하지 못하기 때문에 기능적 해상도(functional resolution)에 있어서도 많은 제약이 있게 된다. 이러한 제한점을 보완하기 위한 한 가지 방법으로 주로 우울증환자의 치료 등의 임상적 장면에서 사용되어 오던 TMS(Transcranial Magnetic Stimulation)와 rTMS(Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation) 방법이 새로이 개발되어 사용되고 있다. TMS 방법은 피질의 국지적인 반응과 기능적 연결을 연구하기 위해 자극코일에 의해 생성되는 강력한 자장으로 특정 신경조직을 자극하여 뇌의 인지적 기능의 순간적 손상을 가져오는 방법이다(Bailey, Karhu, & Ilmoniemi, 2001). 이러한 자극과 뇌 촬영기법을 병행하여 특정 뇌 영역에서의 부분적이고 일시적인 손상으로 인해 특정과제의 수행과 관련되는 영역을 탐색가능하

도록 하여 특정 뇌영역의 인지기능적 역할을 확인한다. TMS를 변형한 rTMS 방법은 짧은 시간간격 동안 자기장을 반복적으로 발생하게 함으로서 불용기의 신경조직을 자극할 수 있다는 강점이 있다(Paus et al., 1997; Walsh & Rushworth, 1999). 한 예로 Pascual-Leone와 Hallett(1994)는 작업기억 과제에서 지연시간에 따른 배내측 전전두엽의 기능적 효과를 살펴보기 위해 rTMS 방법을 사용하여 전전두엽을 자극한 결과, 과제수행에서의 오류율이 증가하는 것을 발견하고 전전두엽이 유지형 시연과 관련이 있음을 주장하였다.

언어

기억 및 학습 과정에 관한 연구와는 달리 인간의 통사적 처리 및 언어이해과정과 산출과정에 대한 인지신경학적인 연구는 동물 연구가 거의 없는 관계로 뇌손상 환자의 사례연구와 ERP 연구가 대부분이었다. 뇌손상 연구는 실어증환자의 사례에 관한 연구가 주류를 이루고 있으나 손상의 범위와 실어증의 증세가 다양하여 손상된 뇌영역과 언어기능간의 상관관계 파악에는 Broca와 Wernicke 영역과 관련된 수준을 크게 벗어나지 못하고 있다. ERP 연구에서는 문법적으로 잘못된 문장은 P600이라는 전위를 발생시키는 반면 의미적으로 잘못된 문장은 N400이라는 전위를 발생시킨다는 연구결과를 통해 언어이해과정과 특정 뇌영역에서 발생하는 전위와의 상관관계를 밝혀내고 있다(Neville, Nicol, Barss, Forster, & Garrett, 1991). 뇌영상화를 통한 최근 연구는 점자 읽기와 시각적 읽기의 뇌활성화 비교(Buchel, Price, & Friston, 1998), 입모양 읽기와 글자 읽기의 비교(Calvert et al., 1997), 수화와 청각언어 이해의 비교(Soderfeldt et al., 1997) 등의 다양한 양태를 통한 언어처리 과정간의 비교를 통해 근본적인 언

어이해 과정을 밝혀내고 있다.

그러나 언어이해 및 산출 과정에 대한 뇌 영상화 연구에서는 시간적 해상도의 제약 때문에 실험 디자인에서 block-design을 사용해야 하는 것이 심각한 제한점으로 작용한다. 문장의 통사적, 의미적 처리와 관련된 뇌기제를 이해하기 위해서는 문장단위의 자극이나 덩이글을 사용하여야 하는데 기존의 block-design을 사용하는 뇌영상화 방법으로는 문장이나 덩이글 자극의 처리 양상을 처리시행마다 관찰하기 어렵다. 특히 언어산출 연구에서는 머리, 입술, 혀, 그리고 후두 등의 운동기제가 관여되므로 뇌활성화 패턴에 심각한 노이즈를 수반할 가능성이 높다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 최근에는 사건관련(event-related) fMRI라는 연구 기법이 사용된다(Buckner et al., 1996; Josephs, Turner, & Friston, 1997). 이 방법은 문장 수준의 언어정보를 무선적으로 섞어서 제시할 수 있다는 강점이 있을 뿐만 아니라 시행별로 수행의 정도에 따른 뇌활성화 패턴을 볼 수 있으므로 언어처리과정에 대한 뇌영상화 연구에 획기적인 전환을 가져왔다고 평가받고 있다(D'Esposito, Zarahn, & Aguirre, 1999; Ni et al., 2000).

언어처리와 관련된 하위기제들은 뇌의 여러 영역에 걸쳐 분산되어 있으므로 특정 언어기능과 관련된 단원의 기능을 담당하는 특정 뇌 영역을 찾아내는 연구보다는 언어처리와 관련된 뇌의 네트워크를 밝혀내는 연구로 방향을 전환하고 있다. 그 주된 이유는 언어처리가 단순히 형태소, 통사, 의미 등의 수준으로 모듈화되어 있다기보다는 상호작용하는 기제이기 때문이다. 이러한 연구방향의 전환은 지각, 기억, 이해, 사고 등의 과정이 상호작용한다고 가정하면 지극히 당연한 결과라 할 수 있으며, 기존의 국제화 연구에서 보다 복잡한 네트워크의 발견을 목적으로 하는 최근 연구동향에서도 잘 알 수 있다(Dogil et al.,

2002). 한편, 언어처리 과정이 언어 이외의 시각적 자료를 활용하는 인지적 과정과 어떻게 상호작용하는지와 함께 다른 유형의 인지활동과는 어떠한 관련이 있는지도 연구하여야 할 문제로 남아있다.

수 계산과 숫자 비교

수와 관련해서 여러 가지 인지신경심리학연구와 인지신경과학연구가 수행되었으나, 여기에서는 수 계산과 숫자 크기 비교에 관한 연구들을 토대로 수와 관련된 뇌 영역을 알아보기로 한다. Moyer와 Landauer(1967)는 3과 4와 같이 두 개의 수를 주고 어느 것이 더 큰지 판단하는 숫자 비교를 시켜서, 크게 두 종류의 결과를 얻었다. 하나는 비교하는 숫자간의 차이가 클수록 반응이 빠르고 정확한 거리 효과이고, 다른 하나는 두 숫자 쌍의 차이가 같을 경우 숫자가 작은 쌍의 숫자 비교가 빠르고 정확한 크기 효과이었다. 이 연구는 정상인을 대상으로 수행한 것이었는데, 뇌량을 절단한 분할 뇌 환자를 대상으로 한 일련의 실험에서도 같은 현상을 발견할 수 있었다(Cohen & Dehaene, 1996; Gazzaniga & Smylie, 1984). 분할 뇌 환자들을 대상으로 한 연구에서 특히 관심을 끈 것은 반구화의 문제이었는데, 숫자는 두 반구에 다 표상되어 있다는 것을 시사하는 결과를 얻었다. 즉 비교할 두 숫자가 같은 반구에 주어질 때에는 별 어려움없이 숫자 비교를 하였으며 숫자 쌍이 좌반구에 제시되는 경우와 우반구에 제시되는 경우간에 차이가 없었다. 그러나 하나는 좌반구에 제시되고 다른 하나는 우반구에 제시되는 반구간 제시에서는 많은 어려움을 보고하는 것을 관찰하였다. 이 결과들은 비교적 작은 수들은 두 반구에 상사적인(analogical) 방식으로 표상되어 있을 가능성을 보여준다.

그러나 Gazzaniga와 Smylie(1984)의 연구를 보면 수의 표상과 수 계산은 별개임을 알 수 있다. 분할 뇌 환자들은 숫자 비교 외에도 숫자를 가리키거나 손으로 숫자를 표시하는 등의 과제를 수행할 때에는 반구간에 차이가 없었으나, 숫자를 소리내어 읽기와 수 계산에서는 반구화를 보여주었다. 즉 문제가 좌반구에 제시될 때에는 읽기나 더하기 등을 할 수 있었지만, 우반구에 문제가 주어지면 거의 하지 못하였다. Dehaene와 Cohen(1997)은 수 계산을 못하는 Gerstmann 유형의 실산증 환자들이 익숙한 문제라서 기억에서 답을 인출하면 되는 간단한 수 계산(예, 2×3)은 할 수 있지만, 그렇지 못한 수 계산에서는 어려움을 겪는 것을 확인하였다. 그리고 이 환자들이 공통적으로 손상을 보이는 부위가 지배 반구의 두정내구(intraparietal sulcus) 부근의 내소엽(inferior lobule)이라는 것을 발견하여, 수 계산이 이 영역과 관련되었음을 시사하였다. 아울러 양 반구의 하두정피질(inferior parietal cortex)에 상사적인 수 표상이 있을 것이라고 제안하였다.

이러한 인지신경심리학적 주장들은 뇌 영상연구를 이용한 인지신경과학연구에서 확인되었다. 수의 표상과 계산이 주로 양 반구의 하두정피질에서 일어난다는 것을 fMRI, PET 등을 이용해 확인하였고(Dehaene et al., 1996; Roland & Friberg, 1985; Rueckert et al., 1996), Kiefer와 Dehaene(1997)는 ERP를 이용한 연구에서 곱셈을 할 때에는 좌반구의 하두정피질에서 더 많은 활동이 일어나지만, 숫자 비교를 할 때에는 우반구의 하두정피질에서 더 많은 활동이 일어난다는 것을 확인하였다.

범주판단

범주 판단에 대해서는 여러 가지 방안들이 제

기되어 왔다. 범주를 구성하는 필요충분 조건이 있어 그 조건들을 갖추었는지를 가지고 범주 여부를 판단한다는 규칙 이론, 범주에 속한 사례들과의 유사성을 기준으로 판단한다는 본보기 이론, 그리고 범주의 원형과 비교해서 범주 소속 여부를 가린다는 원형 이론 등이 제기되어 왔다. 임상사례를 이용한 인지신경심리학적 연구들과 뇌 영상을 이용한 인지신경과학연구들은 재인과 범주화는 질적으로 다른 과정이며, 범주화에는 여러 가지 처리 방식이 사용된다는 것을 보여 주었다(Smith & Jonides, 2000).

Kolodny(1994)는 정중 측두엽(medial temporal lobe)에 손상을 입은 기억상실증 환자와 코르사코프 기억상실증 환자를 대상으로 두 가지 유형의 자극에 대한 기억과 범주화 양상을 연구하였다. 이는 정중 측두엽이나 간뇌(diencephalic)에 손상을 입은 기억상실증 환자들이 새로운 정보를 외현적으로 기억하지 못한다는 점에서 착안한 것으로, 만약 범주화가 외현적인 기억에 의존하는 것이라면 범주화의 대상이 어떤 유형인가에 상관없이 범주화에 장애를 겪어야 할 것이었다. 그러나 결과는 범주화할 대상에 따라 달랐다. 무선적인 점 패턴을 범주화하는 경우에는 학습단계와 검사 단계 모두에서 기억상실증 환자와 정상인간에 차이가 없었으나, 자극에 대한 외현적인 기억에서는 정상인에 비해 기억상실증 환자의 기억 수행이 나빴다. 반면에 그림에 대한 범주화에서는 외현적 기억뿐만 아니라 학습단계와 검사단계에서도 정상인에 비해 수행이 나빴다. 이는 한 가지 기제에 의해서 범주화가 일어나는 것이 아니라 두 가지 이상의 다른 기제가 범주화에 작용한다는 것을 실험적으로 보여주는 것이다. 보다 구체적으로, 무선적인 점 패턴과 같은 자극들에 대해서는 그 범주의 원형과 비교해서 판단하는 원형 이론적인 기제가 작용하며, 이 원형은 암묵적일 가

능성을 보여주는 것으로 해석된다. 반면에, 그림과 같은 자극에 대해서는 그 범주에 속한 사례들과의 유사성을 기준으로 판단하는 본보기 이론적인 방식으로 범주화가 진행되며, 범주에 속한 사례들은 외현적으로 표상되는 것으로 해석된다. 이러한 해석은 아주 심한 기억상실증 환자인 E.P의 사례에서 극적으로 확인되었다(Squire & Knowlton, 1995). E.P는 무선 점 패턴을 사용한 범주화는 정상적으로 수행하였지만, 점 패턴에 대한 외현적 기억은 전혀 없었다.

범주화를 하는 또 다른 기제는 홀수는 2로 나누었을 때 나머지가 있는 정수라고 정의하는 것과 같이 규칙에 의한 범주판단 기제이다. 그리고 규칙을 적용하는 데 관련된 부위로는 배측 전전두피질(dorso-lateral prefrontal cortex)이라는 것이 알려져 왔다. 즉 배측 전전두피질에 손상을 입은 경우 계획하기, 의사결정, 그리고 복잡한 규칙 적용하기 등에 장애를 보였다(Luria, 1969). 한 예로 색, 크기 등 여러 가지 속성으로 구성된 카드에서 규칙에 따라 범주에 해당하는 카드를 고르게 하는 Wisconsin card sorting 과제에서 범주를 학습한 후 범주의 규칙을 변경하면 이 부위에 손상을 입은 환자들은 어려움을 겪었다(Milner, 1964). 특히 이 부위에 손상을 입은 환자들은 두 가지 규칙을 교대로 수행하는 데에도 많은 어려움을 보고하였다. 배측 전전두피질이 단순히 규칙을 적용하는 것보다는 규칙이 변경될 때 관련된다는 것은 정상인을 대상으로 범주화 과제를 수행할 때 뇌의 활동양상을 fMRI로 측정된 연구에서도 지지되는 결과를 얻었다(D'Esposito et al., 1995). 두 가지 규칙을 교대로 적용해야 하는 조건에서는 배측 전전두피질의 활동이 왕성했으나, 한 가지 규칙만 이용해서 과제를 수행하는 조건에서는 이 부위의 활동이 관찰되지 않았다. Smith, Patalano, 및 Jonides(1998)도 이를 지지하는 증거를

PET 연구에서 보고하였다. Smith 등은 정상인을 대상으로 규칙이 적용되는 범주화와 사례에 의존하는 범주화를 피험자간 요인으로 조작한 다음, 범주화를 하는 동안 뇌의 활동 부위를 관찰하였는데, 사례에 의존하는 범주화에서는 배측 전전두피질이 활성화가 되지 않고 규칙이 적용되는 범주화에서만 통제조건에 비해 활성화된다는 것을 PET 연구에서 발견하였다. 이 연구들은 범주화에는 적어도 세 가지의 기제가 작동하며, 이 기제는 각기 뇌의 다른 부위와 관련이 있다는 것을 보여 준다.

추리

연역추리에 대한 뇌 연구는 2어 추리, 3어 추리, Wason의 카드 선택과제 등을 이용하여 수행되었다. 분할 뇌 환자들을 대상으로 한 연구에서는 연역추리가 주로 좌반구에서 일어난다는 것을 알 수 있었다(Gazzaniga & Smylie, 1984). 또 임상사례와 뇌 영상 연구들은 뇌의 여러 부위가 연역추리와 관련되어 있는데, 그 중 배측 전두엽(dorsolateral frontal) 부위가 관련이 많은 것을 보여준다. 보다 구체적으로, 좌반구에 손상을 입은 환자들은 '누가 누구보다 크다. 누가 크냐'와 같은 2어 추리문제에서도 많은 어려움을 호소했고(Caramazza et al., 1976), 좌측두엽 절제수술(left temporal lobectomy)을 받은 환자들은 '철수가 영수보다 크다. 민호가 철수보다 크다. 누가 가장 큰가?'와 같은 3어 추리에서 장애를 보였다(Read, 1981). 조건문의 진위를 판단하려면 어떤 경우를 조사해야하는지를 묻는 Wason의 카드 선택과제에서 우반구 손상을 입은 환자들은 정상인이나 좌반구 손상을 입은 환자들과는 달리 임의적인 내용에서도 50% 정도가 전건 긍정과 후건 부정 에 해당하는 카드를 선택하였다. 이는 아마도 우

반구 손상 환자들이 시각 처리의 장애 때문에 시각적인 방해를 적게 받은 탓으로 보여진다(Adolphs et al., 1996). 또 배측 전두엽 손상환자와 정상인은 친숙한 내용의 조건명제가 주어졌을 때에는 전건 긍정과 후건 부정을 고르는 내용효과를 보였으나, 복내측 전두엽 손상(ventromedial frontal lesion) 환자에게는 내용효과가 관찰되지 않았다. 논쟁의 여지는 있지만 Adolphs 등은 사람들이 친숙한 내용의 조건 명제가 주어졌을 때에는 기억에서 관련된 사례를 인출해서 선택과제를 수행하는데, 바로 이 인출이 복내측 전두엽과 관련이 있는 것으로 해석하였다. 종합해보면 이 결과들은 상당 부분 언어적인 방식으로 연역추리를 수행하는 것을 시사하는 것으로 해석될 수 있다.

이런 해석은 뇌 영상연구에서 어느 정도 지지되고 있다. Goel 등(1997)은 범주 삼단추리문제를 수행하는 동안의 뇌를 PET을 이용하여 관찰하였는데, 연역추리를 하는 동안 언어처리에 관련된 것으로 알려진 좌측 하전회(inferior frontal gyrus)와 좌측 상후두회(superior occipital gyrus)가 활동하는 것을 보고하였다. 보다 공간적인 처리가 요구되는 연역추리문제를 이용한 후속 연구에서도 좌반구에서만 배측 전전두엽을 비롯한 부위에서 활동이 관찰되었다(Goel et al., 1998). 이는 연역추리에서 언어적인 추리 방식이 매우 강력한 처리 방식이라는 것을 보여준다. 그러나 Goel 등(2000)은 연역 추리의 내용이 친숙한 경우에는 주로 좌반구의 측두부위가 활동하지만, 친숙하지 않은 내용일 때에는 좌반구와 우반구의 두정체계(parietal system)에서 많은 활동이 일어나는 결과를 보고하였다. 또 믿음직함 효과와 같이 논리적인 판단과 일상적인 지식이 상반되는 문제가 주어질 때에는 우측 전전두엽도 활동하는 것을 보고하였다. 이 결과들은 연역추리가 하나의 방식에 의해 진행되

는 것이 아니라 두 개 이상의 별도의 처리체계에 의해 처리된다는 것을 보여준다. 즉 이 결과들은 추리할 내용과 상관없는 형식적인 연역 추리 단원이 있을 것이라는 생각은 적어도 신경생리학적으로는 지지받지 못한다는 것을 보여준다(Grafman & Goel, in press).

귀납추리는 가설 생성과 가설 검증의 두 단계로 나누어 볼 수 있는데, Goel과 Dolan(2000)은 세 개의 도형이 같은 범주에 속하는지 판단하는 과제를 수행하게 하면서 fMRI로 뇌의 활동을 관찰하였다. 규칙을 알려준 조건과 규칙을 찾아내야 하는 조건을 수행하는 동안의 뇌 활동 양상을 비교한 결과, 규칙을 찾아내야 하는 조건에서 두 반구의 해마의 활동에서 차이가 났다. 이는 가설 생성이 양 반구의 해마와 관련되어 있다는 것을 보여주는 결과로 해석된다.

계획하기

계획하기와 뇌와의 관련성을 다룬 연구는 별로 많지 않지만, Tower of Hanoi와 Tower of London과 같은 잘 정의된 문제들을 이용한 뇌 손상 환자에 관한 연구와 뇌 영상 연구들은 뇌의 여러 영역들이 계획하기와 관련되어 있음을 보여주는데, 공통적으로 전전두엽 피질이 관련되어 있다는 결과들을 보여준다(Goel, in press a). 그리고 잘 정의되지 않은 문제에서도 전전두엽 피질이 계획하기와 관련되어 있다는 결과들이 보고되고 있다. 예컨대 정상인 건축설계사와 우측 전전두피질을 손상 받은 건축설계사 PF에게 집을 설계하는 과제를 주고 비교해 보면, PF는 문제를 이해하고 구성하는 단계에서 많은 어려움을 느끼며, 설계 초안이 부실할 뿐만 아니라 수정도 거의 하지 못하는 행동상의 차이를 보여 주었다. 이런 결과를 토대로 Goel(in press a)은 잘 정의된 문제는 좌반구가, 그

리고 잘 정의되지 않은 문제는 우반구, 특히 우측 반구의 배측 전전두 피질이 많이 관여하며, 계획을 세우는 것은 배측 전전두피질이, 그리고 수립된 계획을 실행하는 것은 복내측 전전두피질이 관여하는 것을 의미하는 것이라고 해석하였다.

의사결정이 뇌의 어떤 부위와 관련되어 있느냐는 범주화를 다른 부분에서도 간략하게 나왔는데, 최근에는 의사결정이 생물학적 통제체계와 관련이 있다는 연구가 보고되기도 하였다. 보다 구체적으로, 의사결정은 복내측 전전두엽 피질(ventromedial prefrontal cortex)과 관련이 있다는 연구 결과가 보고되었다. Bechara 등(1994)은 이익을 최대로 남겨야 하는 도박 상황에서 장기적인 이득 정도를 조작한 여러 개의 카드 더미를 주고 사람들이 어떤 카드 더미를 선택하는지 세 집단의 사람들을 관찰하였다. 복내측 전전두엽피질에 손상을 입은 사람들은 이 카드 게임을 100번 반복해도 이득이 큰 카드 더미를 우연 수준 이상으로는 선택하지 않았으나, 뇌의 다른 부위에 손상을 입은 사람이나 정상인들은 시행이 반복될수록 이득이 큰 카드 더미를 선택하였다. 또 Bechara 등(1995, 1997)은 양측 편도체(amygdala)이나 우반구의 신체감각/섬 피질(right somatosensory/insular cortex)에 손상을 입은 환자들도 이득이 큰 카드를 우연 수준으로만 선택하는 것을 발견하였다. 그런데 이들 부위들은 정서적인 반응과 관련된 부위이다. 예를 들어, 복내측 전전두엽 피질에 손상을 입은 사람들은 정상인이나 뇌의 다른 부위에 손상을 입은 사람들과는 달리 정서적인 자극에 대해 피부전도반응(skin conduction response)을 별로 보이지 않았다. 이 결과는 놀랍게도 의사결정이 정서적인 처리와 관련이 있다는 것을 보여주는 결과이다.

이제까지 살펴본 바와 같이 고등정신작용에 있

어서는 신경생물학적으로는 처리방식이 한 가지만 있다는 주장은 전혀 지지되지 못한다. 오히려 수 계산뿐만 아니라 범주화, 추리, 계획하기 등 거의 모든 고등 정신 작용에서는 두 가지 이상의 처리 방식이 있는 것으로 해석해야 하는 결과들을 보여주고 있다.

학습/교육

모든 학습은 뇌에서 이루어진다. 주로 동물연구를 통해 밝혀진 환경과 뇌신경세포의 발달 관계에 관한 연구는 풍요한 환경이 뇌신경세포들의 수상돌기 수, 모양의 변화, 및 혈관의 두께 변화 등을 가져와 대뇌피질을 더욱 두껍게 만든다는 사실을 밝혀냈다(예, Diamond & Hopson, 1998/2002). 최근 뇌영상화 기법의 발달은 인지신경학자들의 연구영역을 학습과 교육장면에서의 응용 가능성에까지 확장시키고 있는 추세이다. 실례로 미국에서는 뇌기반 학습(brain-based learning)이나 뇌맞춤 교과과정(brain-compatible curriculum) 개발과 같이 뇌와 학습을 연결하는 새로운 접근이 시도되고 있다(예, Jensen, 1995; Caine & Caine, 1997). 물론 현재로서는 뇌의 인지/사고 기능에 대한 인지신경과학적 연구결과를 토대로 실제 교육장면에 바로 적용할 수 있는 구체적인 학습 환경 디자인 원리를 도출해 낼 수 있는 수준은 아니다. 그러나 뇌에 대한 이해를 바탕으로 학습과 교육 환경을 디자인하려는 시도는 교과과정의 구성, 학습재료 및 교육방법의 개발, 그리고 학습과 관련된 진단과 평가 도구의 개발 등에 커다란 변화를 가져올 것임이 분명하다. 언어학습과 관련된 예를 들면, Kim 등(1997)은 아동기에 제2외국어를 습득한 사람은 모국어와 외국어 처리동안의 Broca 영역 내에서 활성화되는 부분이 동일한 것으로 나타난 반면, 성인기에 외국어를 습득한 사람은

모국어와 외국어의 처리영역이 구분되어 있다는 사실을 발견하였다. 이러한 결과는 발달 수준에 따른 외국어 교육과 관련하여 많은 시사점을 가진다.

뇌와 학습의 관계에 대한 연구는 특정 학습과제를 수행하는 동안 뇌의 변화를 살펴보는 것을 가능하게 하므로 학습, 기억, 및 언어장애를 비롯하여 각종 장애를 진단하고 치료하는 과정에서도 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다(Bigler, Lajiness-O'Neill, & Howes, 1998). 뿐만 아니라 뇌 연구의 발달과 함께 학습자 개인의 학습 양식이나 인지과정 및 학습전략 사용에서의 개인차를 측정하고 평가할 수 있으므로 개인의 뇌/인지기능을 극대화하는 교육/훈련/학습전략 프로그램 등의 개발에 공헌할 수 있을 것이다. Shaywitz 등(1995)은 동일한 음운 처리 과정동안 남녀의 대뇌 반구의 편재화를 비교한 결과, 여성의 경우 좌우 반구를 모두 활성화시키는 반면, 남성은 좌반구의 편재화가 심하게 나타나는 것을 발견하였다. 이와 같은 개인차 연구는 성차를 넘어서 주의력, 쓰기, 읽기, 셈하기, 이해, 문제해결 등에서 장애를 보이는 학습자들과 정상수행을 보이는 학습자들과의 뇌 기능차이의 비교를 통해 장애의 원인을 파악하는데 많은 기여를 할 수 있다. 또한 특정 학습방법과 교수방법을 사용하기 전과 후의 뇌활성화 패턴을 비교하여 그 효과성을 파악할 수도 있을 것이다. 뇌 연구 결과의 교육적 장면의 활용을 위해서는 특정 인지과제 수행에서 성취도가 높은 학생과 낮은 학생들의 뇌 활성화 영역을 비교하거나 특정영역에서 전문가와 초보자의 뇌 활성화 차이를 비교하는 방식의 연구를 통해 효율적인 학습방법이나 교수방법에 대한 구체적인 제안을 할 수 있어야 한다.

학습자의 인지적 기능뿐만 아니라 정서적/동기적 기능 역시 뇌에서 이루어진다는 점을 고려할

때, 학습과 관련된 인지신경심리학적 연구는 뇌의 인지적 기능과 정서적/동기적/실행적 기능과의 관계성에 초점을 맞추는 연구가 활성화되어야 할 것이며, 뇌의 발달적인 특성을 고려하는 인지신경과학적 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

인지이론과 뇌 연구에 대한 평가

앞 절에서는 인지 과정에 대한 이해를 넓혀 주는 것과 관련된 뇌 연구들 중 다른 개관 논문에서 덜 다루었던 부분들에 대해 간략하게 살펴보았다. 이 절에서는 뇌 연구가 인지과정에 대해 얼마나 새로운 이해의 틀이나 연구방법을 제공할 수 있는지와 뇌 연구의 문제점 및 제한점에 대해 살펴보는 것으로 이 논문을 마무리하고자 한다.

뇌 연구가 인지 과정에 대한 이해에 얼마나 기여했는지를 평가하려면 우선 평가기준을 정해야 하는데, 추리에 대한 이론의 평가기준으로 Johnson-Laird(1983)가 제안한 기준을 참고할 수 있을 것으로 보인다. Johnson-Laird가 제안한 기준 중에 뇌 연구에 적용할 수 있는 기준은 네 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 이론은 기술적으로 적합해야(descriptively adequate) 한다. 즉 인지 과정에서 나타나는 여러 가지 현상들에 대해 설명할 수 있어야 한다. 둘째, 개인차를 설명할 수 있어야 한다. 셋째, 발달에 관한 현상들을 설명할 수 있어야 한다. 넷째, 개선 방안, 교수 등에 대한 함의를 가져야 한다. 이중 첫 번째 기준이 가장 중요하고, 이를 토대로 나머지 기준에 부합하는 연구를 수행할 수 있는데, 안타깝게도 정상인의 인지활동과 관련한 뇌 연구는 아직 걸음마 단계에 머물러 있기 때문에 나머지 기준에 대해 평가하는 것은 시기상조로 보인다. 즉 뇌 연구 전반을 논

고 보면 아직 개인차, 발달, 교육적 함의 등을 본격적으로 다룰 수준에 도달해 있지 않다. 물론 뇌 손상과 인지 장애를 다룬 인지신경심리학적 연구들을 넓은 의미에서의 개인차라고 볼 수도 있고, 수학 등에서의 남녀간의 성차를 보여주는 뇌 영상연구, 이중언어자의 뇌 영상 연구 등이 없는 것은 아니지만 정상인의 인지 과정에 관련된 뇌 영역이나 뇌 활동 양상을 잘 모르는 상태이기 때문에 개인차나 발달, 응용의 함의 등에 대해 본격적으로 평가하는 것은 시기상조이다. 따라서 여기에서는 보다 기본적으로 뇌 연구가 인지과정에 대해 적용가능한지에 초점을 맞춰 논의해 보기로 한다.

Marr의 설명수준 분류를 적용해보면 인지이론은 주로 표상과 연산법적 수준(이하 연산 수준)의 이론인데 반해, 뇌 연구에서 채택하는 이론은 주로 구현 수준의 이론이고, 일부가 연산 수준과 구현 수준을 겸비하는 이론이다. 즉 인지 이론은 주로 기능 분석(functional analysis)을 통해 처리이론과 처리 단위 등을 밝혀내는데 반해 신경과학에서는 구조 분석(structural analysis)을 통해 인지처리와 관련된 해부학적 구조를 밝혀려 한다(이정모, 2001). 만일 인지이론가들과 뇌 연구자들이 공통의 개념과 논리를 사용한다면, 둘 사이의 간극을 좁히는 것이 문제가 되지 않겠지만, 안타깝게도 이들이 가정하는 단원성의 개념, 단계간의 관계, 이들이 사용하는 논리 등에서 많은 차이가 있다.

첫째, 뇌 연구와 인지이론은 모두 단원성을 가정하지만 이들이 가정하는 단원성의 내용에서는 차이가 난다. 단원성이 중요한 이유 중의 하나는 확인(identification) 문제 때문이다. Marr의 세 설명수준간의 관계는 일 대 일의 관계가 아니고 비대칭적이다. 하나의 계산 이론에 대해 여러 개의 연산수준 이론이 가능하고, 마찬가지로 하나의

연산 수준 이론에 대해 여러 가지 구현 수준 이론이 가능하다. 따라서 연산 수준 이론이 확정되어도 그것을 토대로 유일한 구현수준 이론을 결정할 수는 없다. 그러나 그 반대의 경우는 논리적으로는 가능하다. 즉 구현 수준 이론이 명세되면 연산 수준 이론이 명세되는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이는 뇌 연구자들이 암묵적으로 수용하고 있는 국재화 가정(localization assumption)과 단원성(modularity) 가정 외에 하나의 신경 단위는 한 가지 기능과만 관련되어 있다는 가정하에서만 타당한데, 어떤 한 신경 단위가 한 가지 기능에만 관여하는 경우는 오히려 예외적이다. 여하튼 뇌 연구의 근저에는 구조의 단원성이라는 것이 중요하게 자리잡고 있으며, 이는 암묵적으로 인지이론가들이 주장하는 단원성과 관련이 있다고 들 생각한다. 그러나 인지이론가들이 가정하는 단원성과 뇌 연구자들이 가정하는 단원성은 상당한 차이를 보여주고 있다(Goel, in press b).

인지이론에서 가정하는 단원성은 여러 가지 특성을 가지지만, 그 중에서 가장 중요한 것은 정보적으로 캡슐화되어 있다는 점이다(Fodor, 1983). 즉 다른 입력체계의 자극이나 일반 지식 등의 영향을 받지 않고 해당 입력 체계에서 그때까지 처리된 정보만을 토대로 상향처리가 일어난다는 주장이다. 그리고 이는 행동과 계산과정간에 일 대 일의 대응(one-to-one mapping)이 있다는 것을 의미한다. 반면에 뇌 연구에서 가정하는 단원성은 이와 다르다. 뇌 손상과 인지 기능의 장애간의 관계를 알아본 전통적인 인지신경심리학 연구에서는 해리, 특히 이중해리(double dissociation)를 통해 행동과 뇌 부위와의 일 대 일 대응을 밝혀내려 하였다. 즉 행동과 계산과정과 뇌 부위라는 세 수준간의 대응에서 인지이론가들이 주목하는 대응관계와 인지신경심리학에서 주목하는 대응관계가 다르다. 물론 뇌 영상 연구를 주로 사용하는

최근의 인지신경과학에서는 행동과 계산과정과의 대응과 계산과정과 뇌 부위 간의 대응의 두 가지 대응을 다 만족시켜야 하는 것으로 가정은 한다 (하지만, 아직까지는 해리현상을 통해 계산과정과 뇌 부위와의 대응과 행동과 뇌 부위와의 대응을 찾는 수준에 머물러 있다). 그러나 이 경우에도 정보적으로 캡슐화되어야 한다는 단원성의 기준은 중요하지 않다고 보고 있다(Goel, in press b). 이처럼 인지이론과 뇌 연구의 기저가 되는 단원성이라는 가정이 일치하지 않기 때문에 뇌 연구를 통해 인지 이론이 일방향적으로 도움을 받는다거나 그 반대로 인지이론에서 뇌 연구가 일방향적으로 도움을 받는다는 관계를 기대할 수 없으며, 두 영역의 연구를 종합하는 작업은 특별한 주의가 필요하다는 것을 알 수 있다.

두 번째의 차이는 계산과정 간의 의존관계에 대한 차이이다. 전통적으로 인지이론에서는 단계들간에 선형적인 관계를 가정하였으나, 뇌 연구에서는 선형적인 관계를 고집하지 않는다. 그러나 비선형적인 관계를 가정하는 인지이론들도 나오고 있으므로(Ward, 2002), 이 차이는 그리 중요하지 않을 수 있다. 이와 관련해서 생각해 볼 수 있는 문제는 뇌 측정치에서의 차이가 실제 뇌 사건의 인과관계를 어떻게 반영하는지에 대해 분명한 모형이 없다는 것이다. 말하자면, 어떤 시점에서 뇌 전위의 변화가 있거나 혈류가 증가한다고 했을 때, 이것이 어떤 심적 조작의 선행 사건인지 후행 사건인지가 분명하지 않다.

세 번째 차이는 논리의 차이이다. 인지이론가들은 과제나 자극 등을 조작하여 독립변인과 종속변인간의 인과관계를 찾으려고 하는 반면, 뇌 연구자들은 뇌 손상 부위와 인지기능의 장애의 관계를 알아보거나 특정 과제를 수행하는 동안 뇌의 활동 양상을 알아보는 등 주로 상관적인 연구를 많이 수행하였다. 물론 최근에는 뇌피질 자

극법과 같은 실험 방법을 사용하는 연구도 보고 되고 있어, 이 구분 또한 점점 약해지고 있다.

이와 관련해서 생각해 볼 문제는 뇌 영상연구에서 많이 사용하는 감산법의 논리 문제이다. 뇌 영상화 연구의 기본 패러다임은 각 인지기제의 단원성 가정아래 감산법에 따른 이중해리 논리에 기초하고 있다. 즉, 특정 유형의 정보 A(예, 공간 정보)를 기억할 때만 활성화되고 다른 유형의 정보 B(예, 언어정보)에는 활성화되지 않는 특정 뇌 영역 X가 있다면, 이를 두 유형의 정보에 대한 기억의 해리라고 말할 수 있다. 이와는 대조적으로 다른 뇌 영역 Y는 B를 기억하는 경우에 활성화되고 A를 기억하는 경우 활성화되지 않는다면 이는 또 다른 기억의 해리라고 말할 수 있을 것이다. 이러한 이중해리는 기억의 두 가지 상이한 기제가 존재한다는 강력한 증거로 간주된다. 그러나 정보 A와 B가 각각 뇌의 또 다른 영역 Z와도 관련이 되어 있다면 X와 Y가 별도의 기억체계를 담당하는 영역이라는 주장은 설득력을 잃게 된다(Shallice, 1988). 게다가 신경계에서의 단원성은 주로 감각이나 운동영역에서 관찰되며(물론 감각/운동 영역에서도 연결적 중복성은 나타나지만) 보다 상위의 인지과정에서는 단원성보다 인접영역간의 연결성이 두드러진다. 이러한 신경계의 기능적 중복성은 세상에 존재하는 무수한 대상과 정보와 비교할 때 상대적으로 적은 수의 신경계의 반응에 유연성을 부여한다는 의미를 지니게 된다(McIntosh, 1999).

뿐만 아니라 뇌 측정치에서의(통계학적으로 분석된) 차이를 해석하는 방식도 제각각이다. 뇌의 신경생리적 사건들에서 비교의 준거 조건(C)에 대한 고찰이 필요하다. 조건 A와 조건 B의 차이는 $A - B$ 가 아니라, $(A + C) - (B + C)$ 이며, A, B가 C와 독립적이지 않다면, $A - B$ 는 두 조건(과제)의 차이가 아니기 때문이다. 특히, 뇌 측정이 이

루어지는 실험실 상황은 조건 A, B와 관련된 뇌 사건에 체계적인 영향을 주는 맥락(C)을 제공할 가능성이 있다.

네 번째로 생각해 볼 부분은 지각, 기억, 언어 등 Fodor가 수직 기능(vertical faculty)이라 부른 영역에 대해서는 계산론적 관점에서의 단원성 가정이 수용 가능하지만, 추리와 같은 고등 정신 작용에 대해서 단원성 가정이 적용되기 어렵다는 문제들을 들 수 있다. 앞 절에서 본 바와 같이 인지이론뿐만 아니라 뇌 연구에서도 추리와 같은 고등 인지 과정과 관련된 것으로 보이는 뇌 부위들이 보고되고 있으나, 범주화할 대상의 특성이나 추리할 내용에 따라 처리 방식이 다르다는 인지이론들을 뒷받침하는 뇌 연구들도 보고되고 있다. 게다가 앞서서도 나왔던 계산론 수준에서의 단원성과 뇌에서의 단원성을 연합하는 문제도 여전히 남아 있다.

다섯 번째는 방법상의 문제이다. 공간적 시간적 해상도의 문제점과 이로 인한 실험설계 및 방법에서의 제약은 뇌영상화 기법 등이 방법론의 제한점으로 인해 실험의 디자인이 제약을 받은 것이 사실이나 최근 개발되고 있는 새롭고 다양한 뇌영상화 연구기법의 개발(예, 사건관련 fMRI나 TMS)로 이러한 문제점은 곧 극복될 전망이다. 이러한 기술의 발전으로 다양한 실험이 가능해지게 되면 기존 인지심리학의 이론을 검증하는 것은 물론 나아가 뇌영상화 연구는 인지신경과학의 중심적인 연구방법으로 자리 잡게 될 것이다.

여섯째, 뇌과학 연구와 관련되어 제기되는 흥미로운 문제는 인적 변수에 대한 것이다. 많은 실험참가자를 동원할 수 있는 인지심리학 연구와 달리, 뇌 측정 연구에서는 장비, 시간, 및 대상자의 제한으로 인해 비교적 소수의 피험자만이 참여한다. 그러므로, 개인차가 통계적 분석에서 사

상되기 곤란하며, 결과 패턴에 중요한 영향을 미치게 된다. 같은 시각적 인식불능증의 범주에 드는 환자들도 똑 같은 증상을 보이는 경우는 거의 없을 정도로 많은 다양한 증상과 증상내의 편차가 발견된다 (Farah, 1990). 신체와 뇌 조직에서의 보편성은 아직 입증되지 않았다고 생각되는데, 기능적 조직화의 보편성에 대해서도 동일한 의심을 제기할 수 있다(예컨대, 심장이 오른쪽에 있는 사람도 있으며, 반구의 편재화에도 많은 다양성이 있다). 그러므로, 뇌과학 연구 결과가 인구통계학적 보편성을 어느 정도로 갖는지에 대한 논의가 필요하다. 다른 측면에서 보자면, 일반적으로 고려되는, 장애, 성별 및 나이 등의 변수 외에도 생활 및 장애의 내력(history), 성격 및 인지정서적 특성, 그리고 생물학적 인적 변수에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

일곱번째, 인지신경과학적 연구의 또 다른 문제점은 결과의 수렴성 여부를 판단하기 어렵다는 점이다. 개인간의 차이는 물론 연구간의 분산이 지나치게 크므로 이를 비교/통합하는 노력이 절실하다. 실제로 Cabeza와 Nyberg(2000)가 개관한 275편의 논문들에 나타난 연구 결과를 종합하여 살펴보면, 개략적인 위치에 따른 영역구분에서는 일치한다고도 볼 수 있으나 보다 세부적인 Broadmann의 영역이나 해부학적 구분에 따른 Talairach와 Tournoux(1998)의 아틀라스 매트릭스의 좌표에서 보면 연구 결과간의 일치 정도는 그다지 높지 않다고 볼 수 있다. 감산법을 주로 사용하는 연구에서 실험과제와 실험재료의 조그만 변화에도 관찰되는 뇌활성화 패턴의 차이는 지속적인 반복연구와 엄밀한 과제의 비교분석 및 연구 결과의 비교/통합 방법의 개발로 극복되어야 할 문제로 남아있다.

여덟 번째, 뇌 전위 측정이나 뇌 영상화와 같은 최근의 뇌과학 연구가 계속 성과를 내고 발전

하기 위해서는(현재 유지하고 있는) 고유한 연구 대상 혹은 연구 주제와 같은 측면뿐만 아니라, 뇌 사건을 독립적으로 조작할 수 있고 직접적으로 관찰할 수 있는 통제 능력이 요청된다고 생각된다. 동물이 아니라 인간을 대상으로 해서 적절한 조작과 통제를 구사하는 것은 쉬운 일이 아니지만, 여기에 요점이 있다고 생각된다. 인지심리학자들은 환경과 과제를 조작함으로써 심리 사건을 조작하여 왔으며, 환경/자극에서부터 (입력의) 신경생리과정, 중추 심리과정, (출력의) 신경생리 과정을 거쳐, 행동으로 이어지는 인과 계열을 설정한다. 이 계열 속의 어느 한 단계(수준)에 뇌과학자가 독자적으로 개입할 수 없다면, 뇌과학 연구의 의의는 인지심리학적 모형과 해석에 의존하게 될 것이며, 새로운 정보 원(source)으로서의 가치가 크게 저하될 것이다. 뇌 전위 측정이나 뇌 영상화 연구가 인지심리학의 아류가 되어서는 뇌과학이나 인지심리학 모두에 진정으로 기여할 수 없다. 앞으로 뇌과학 연구에서 어떤 고유하고 타당한 방법론을 찾느냐가 뇌과학이 21세기의 골상학이 되느냐, 소위 미래 과학으로 나아가느냐를 가르는 중요한 관건이 될 것이다.

뇌과학 연구와 관련된 이쯤 번째 문제점은 생태학적 타당성(ecological validity)이다. 이는 인지심리학 연구에도 제기되는 문제이지만, 그 심각성은 뇌과학에서 더 크다고 생각된다. 뇌라는 실체를 다루면서도 뇌과학 연구는 많은 실험 장비로 둘러싸인 실험 공간 내에서 그리고 짧은 시간에 수행할 수 있도록 비교적 제한된 과제들을 적용함으로써 이뤄진다. 인간 행동이 여러 변수들이 시간상에서 동적으로 상호작용한 결과로 발생한다면, 이러한 상황이 인간의 행동 장면에 대한 대표성을 가진다고 보기는 힘들 것이다. 생태학적 타당성이 뇌과학 연구의 한계로 불가피한 것이라면, 앞으로의 뇌과학 연구는 과정 중심적이

기보다는 기본적 처리단위를 규명하는 데 초점이 주어질 필요가 있다고 생각된다. 정신 작용의 물질적 기반이 되는 독립 단위의 성격이 분명해질 때, 그것을 바탕으로 여러 과정적 모형이 구성될 수 있기 때문이다.

열번째, 뇌 연구 결과 해석에서 확증편파를 보일 가능성이 있다는 점이다. 그 동안 뇌에 대한 여러 연구들이 인지심리학적 이해의 지평을 넓혀 주었다. 뇌의 신경생리적 체계는 매우 정교할 뿐만 아니라 또한 복합적임이 드러났다. 1960년대의 인공지능 연구에서 비롯되어, 정신 작용을 컴퓨터의 정보처리 흐름에 비유하던 접근은 이제 너무 단순한 것으로 드러났다. 그러나, 컴퓨터의 정보처리가 곧 심리 작용일 수 없듯이, 뇌의 신경생리적 작용이 곧 심리 작용으로 이해될 수 없다는 사실은 아직까지 엄연하다. 뇌와 정신간의 간극을 좁히기 위해, 최근의 연구들은 양자간의 대응 혹은 상관관계를 입증하려고 애쓰는 듯하다. 그러나, 이러한 연구들은 확증 편파(confirming bias)를 보이는 면이 있다. 중요한 과학적 진보가 확증에 의해서가 아니라 반증(falsification)에 의해서 이루어진다는 Popper의 주장을 경청할 필요가 있다.

맺음말

이제 앞으로의 발전 방향에 대해 생각해 보자. 인간의 인지과정에 대한 인지신경과학적 접근이 몇 가지 제한점을 지니고 있긴 하지만, 많은 학자들이 인지심리학은 인지신경심리학의 방향으로 이동하게 될 것이라 예측하고 있다(예, Roediger, 1999). Smith(1999)는 다음과 같은 세 가지 이유로 인지신경심리학이 인지심리학적 이론의 발전에 공헌하고 있다고 주장한다. 첫째, 인지신경심리학

은 인지심리학적 이론에 수렴적인 증거를 제공하고 있으며 이론과 구성적 개념의 타당성을 검증하고 있다. 둘째 인지신경심리학은 인지적 과정에 대한 보다 직접적이고 구체적인 자료와 정보를 제공하고 있으며, 셋째 인지신경심리학은 인지 영역을 보다 연구 가능한 주제들로 새롭게 재분류하고 있다. 이미 인지심리학과 인지신경심리학의 경계는 무너지고 있으며, 지금과 같은 추세라면 몇 년 내에 인지심리학도들은 학부에서부터 뇌와 인지에 관한 과목을 필수적으로 배우게 될 것이다. 인지신경심리학이 아직까지는 기존의 인지심리학의 구성개념과 이론을 검증하기 위해 이전의 행동연구의 패러다임에 근거하여 유사한 실험재료와 실험방법을 사용하고 있으나, 지금과 같은 기술적/방법론적 발달을 토대로 엄청난 양의 연구가 진행되고 있는 속도를 감안한다면, 머지 않은 미래에 새로운 인지신경과학적 연구방법과 이론이 기존의 행동연구 기반의 인지심리학적 이론을 대체할 수도 있다고 본다.

그러나 현재 상태에서는 인지심리학의 발전이 뇌과학 연구의 방향을 결정지을 수는 있지만, 뇌과학 연구가 인지심리학의 방향을 결정지을 수 없다는 사실에 주목해야 한다. 뇌의 활성화나 변화를 측정하는 연구방법이 실제로 인지심리학 연구에서의 종속변인의 확장 및 다양화를 가져오게 되고 이를 통한 연구결과의 수렴적 통합을 수반하게 되므로 이는 인지심리학의 이론 검증에 매우 유용한 도구가 된다고 볼 수 있다. 뇌영상화 연구의 당면과제는 인지심리학에서 오랫동안 제안해 왔던 가설적 개념과 이론을 토대로 엄밀한 연구 가설을 세우고 연구의 목적에 적합한 새로운 방법론을 계속 개발하는 한편, 단순한 뇌 인지기능의 국재화 수준을 넘어서는 각종 인지과정과 관련된 뇌신경망을 발견하는 것에 집중하는 것이다.

현재 활발하게 이루어지고 있는 뇌 연구 결과가 새로운 끝상학(neo-phrenology)의 도래 정도로 끝나버리지 않으려면 심리학적 이론에 근거한 가설과 엄밀한 연구방법을 활용하여 체계적인 연구가 진행되어야 한다. 이러한 맥락에서 Cabeza와 Nyberg(2000)는 다음과 같은 뇌 연구의 세 가지 수준의 접근을 제안하고 있다. 첫 번째 접근은 국지적 수준의 연구로 뇌의 각 영역과 각종 인지기능과의 상관을 통해 특정 인지기능을 담당하는 뇌의 영역을 밝히는 것이다. 둘째로는 총체적 수준의 접근으로 각 뇌 영역의 역할과 일반적 인지과정과의 관계를 연구하는 접근방법이다. 즉 상이한 인지기능의 수행과정에서 공통적으로 활성화되는 뇌의 영역을 발견하는 것으로 연구간의 비교분석이 필요하다고 하겠다. 셋째, 네트워크 수준의 접근으로 뇌의 각 영역들간의 기능적 관계에 초점을 맞추는 접근이다. 특정 인지과제를 수행하는 동안의 뇌 영역간의 상호작용 및 상관관계를 찾아내는 것으로 기능적 연결성과 효과적 연결성에 관한 결론을 도출할 수 있게 된다. 이러한 접근은 특정 뇌 영역의 역할을 뇌의 다른 영역들과의 관계적 맥락(neural context)에서 해석하는 것으로 다양한 유형의 인지과정에 내재해 있는 기본 기제를 찾아내는데 크게 공헌할 수 있다(McIntosh, 1999). 예를 들어, 뇌의 각 영역은 상호작용한다는 가정 하에, 특정 과제를 수행하는 동안 특정 뇌의 영역이 활성화된다 하더라도 연결된 뇌의 다른 영역이 활성화되는가 혹은 비활성화되는가에 따라 전혀 다른 설명이 가능할 것이다. 현재 대부분의 뇌 연구는 국지적 수준의 연구에 해당하는 상황이지만 앞으로의 뇌 연구 방향은 단순히 뇌의 국재화나 뇌지도 구축 수준을 넘어서 세 가지 수준의 조화로운 발전에 두어야 할 것이다.

뇌의 인지기능에 관한 연구는 의학분야만의 연

구가 아니라 인지신경과학이라는 학제적이고 새로운 분야의 탄생을 낳았다. 값비싼 의료용 뇌영상화 장비가 연구용 장비로 보급되기 시작한다면, 인간 인지과정에 대한 앞으로의 연구는 인지과학의 전통적 실험연구 방법의 논리와 보다 세련되고 진보된 뇌 관찰 기법의 발달과의 결합에 달려있다고 본다. 인지신경과학 분야에서의 선진국의 경우 막대한 지원과 투자로 인해 고비용이 소요되는 인지신경과학 분야에서의 전문가의 수가 기하급수적으로 늘어나고 있는 추세이다. 이들의 연구결과 축적이 체계적으로 이루어지고 있어 더 이상 새로운 분야가 아닌 이미 확고한 연구영역으로 자리잡았으며 그 설명력과 영향력이 날로 커지고 있다. 현재 인지신경과학과 관련된 국내의 연구인프라와 연구지원으로는 향후 몇 년 내에 선진 연구 수준과 현격한 격차를 보일 것은 자명한 일이다. 이를 위해 인지신경과학분야의 전문연구인력의 양성고 학제적이고 체계적인 커리큘럼의 개발 및 연구지원에 대한 대책이 시급히 마련되어야 한다. 국내의 실험 및 인지심리학자들은 인지신경심리학 연구분야의 활성화에 더욱 많은 관심과 노력을 기울여야 할 것이다.

참고문헌

김민식 (2002). 암묵적 공간표상: 시각적 무시증으로부터의 증거. *한국심리학회 2002년 연차학술발표대회 논문집*, 16-23.

김정오 (2002). 뇌, 마음 및 행동. *한국심리학회 2002년 연차학술발표대회 논문집*, 3-8.

이정모. (2001). *인지심리학*. 서울: 아카넷.

Adolphs, R., Tranel, D. Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A. R. (1996). Neuropsychological approaches to reasoning and decision-making.

In A. R. Damasio (Ed.), *Neurobiology of decision-making*. Berlin: Springer-Verlag.

Bailey, C. J., Karhu, J., & Ilmoniemi, R. J. (2001). Transcranial magnetic stimulation as a tool for cognitive studies. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 297-306.

Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Andeson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.

Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., & Damasio, A. R. (1995). Double dissociation between conditioning and declarative knowledge relative to amygdala and hippocampus in humans. *Science*, 269, 1115-1118.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275, 1293-1295.

Bigler, E. D., Lajiness-O'Neill, R., & Howes, N. (1998). Technology in the assessment of learning disability. *Journal of Learning disabilities*, 31(1), 67-82.

Buchel, C., Price, C., & Friston, K. (1998). A multimodal language region in the ventral visual pathway. *Nature*, 394(6690), 274-277.

Buchner, R., Bandettini, P., O'Craven, K., Savoy, R., Petersen, S., & Reichle, M. (1996). Detection of cortical activation during averaged single trials of a cognitive task using fMRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93, 14878-83.

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.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.
- Caine, R. N., & Caine, G. (1997). *Unleashing the Power of Perceptual Change: The Potential of Brain-Based Teaching*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Educational Development.
- Caramazza, A., Gordon, J., Zurif, E. B., & DeLuca, D. (1976). Right hemispheric damage and verbal problem solving behavior. *Brain and Language*, 3, 41-46.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (1996). Cerebral networks for number processing: Evidence from a case of posterior collosal lesion. *NeuroCase*, 2, 155-174.
- Dehaene, S. (2000). Cerebral bases of number processing and calculation. In M. S. Gazzaniga (Ed.) *The new cognitive neurosciences* (2nd Ed.) (pp. 987-998). Cambridge: MIT Press.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33, 219-250.
- Dehaene, S., Tzourio, N., Frak, V., Raynaud, L., Cohen, L., Mehler, J., & Mazoyer, B. (1996). Cerebral activations during number multiplication and comparison: a PET study. *Neuropsychologia*, 34, 1097-1106.
- D'Esposito, M., Detre, J., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S., & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378, 279-281.
- D'Esposito, M., Zarahn, E., & Aguirre, G. K. (1999). Event-Related functional MRI: Implications for cognitive psychology. *Psychological Bulletin*, 125(1), 155-164.
- Diamond, M., & Hopson, J. (2002). 매직트리[Magic Trees of the Mind] (최인수 역). 서울: 한울림. (원전은 1998에 출판).
- Dogil, G., Ackermann, H., Grodd, W., Haider, H., Kamp, H., Mayer, J., Riecker, A. & Wildgruber, D. (2002). The speaking brain. *Journal of Neurolinguistics*, 15(1), 59-90.
- Farah, M. J. (1990). *Visual Agnosia*. Cambridge, M.A.: MIT Press.
- Gabrieli, J. D. E. (1998). Cognitive neuroscience of human memory. *Annual Reviews of Psychology*, 49, 87-115.
- Gazzaniga, M. S., & Smylie, C. E. (1984). Dissociation of language and cognition: A psychological profile of two disconnected right hemispheres. *Brain*, 107, 145-153.
- Goel, V. (in press a). Cognitive & neural basis of planning. *Encyclopaedia of Cognitive Science*. Macmillan.
- Goel, V. (in press b). Can there be a cognitive neuroscience of central cognitive systems? In D. Johnson & C. Erneling (Eds.), *Mind as a scientific object: Between brain & culture*. Oxford University Press.
- Goel, V., Buchel, C., Frith, C., & Dolan, R. (2000). Dissociation of mechanisms underlying syllogistic reasoning. *NeuroImage*, 12, 504-514.
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2000). anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-10.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1997).

- The seats of reason: A localization study of deductive & inductive reasoning using PET (O15) blood flow technique. *NeuroReport*, 6, 1741-1746.
- Goel, V., Gold, B., Kapur, S., & Houle, S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 293-302.
- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and Perception* (6th Ed.). Pacific Grove, C.A.: Wadsworth Group.
- Grafman, J., & Goel, V. (in press). Neural basis of reasoning. *Encyclopaedia of Cognitive Science*. Macmillan.
- Hubel, D. H., and Wiesel, T. N. (1988). *Scientific American*, 241 (Sept.), 130 - 144..
- Jensen, E. (2000). *Brain-Based Learning*. San Diego, CA: The Brain Store Publishing.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: harvard University Press.
- Josephs, O., Turner, R. & Friston, K. (1997). Event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, 5, 243-248.
- Kiefer, M., & Dehaene, S. (1997). The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition*, 3, 1-30.
- Kim, K. H., Relkin, N. R., Lee, K-M., & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388 (6638), 171-174.
- Kolodny, J. A. (1994). Memory processes in classification learning: An investigation of amnesic performance in categorization of dot patterns and artistic styles. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7, 428-439.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge, M.A.: MIT Press.
- Levine, D. N., Warach, J., and Farah, M. J. (1985). Two visual systems in mental imagery: Dissociation of "what" and "where" in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions. *Neurology*, 35, 1010 - 1018.
- Livingstone, M. S., and Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience*, 7 (11), 3416 - 3468.
- Luria, A. R. (1969). Frontal lobe syndromes. In P. J. Vinken & G. W. Bruyn (Eds.), *Handbook of clinical neuropsychology* (Vol 2). amsterdam: North Holland.
- Mangun, G. R., and Hillyard, S. A. (1995). Mechanism and models of selective attention. In M. D. Rugg, and M. G. H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition* (Pp 40 -85). New York: Oxford University Press.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- McIntosh, A. R. (1999). Mapping cognition to the brain through neural interactions. *Memory*, 7(5/6), 523-548.
- Milner, B. (1964). Some effects of frontal lobectomy in man. In J. M Warren & K. Akert (Eds.), *The frontal granular cortex and behavior*. NY: McGraw-Hill.
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature*, 215, 1519-1520.
- Neville, H., Nicol, J. L., Barss, A., Forster, K. I., &

- Garrett, M. F. (1991). Syntactically based sentence processing classes: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(2), 151-165.
- Ni, W., Constable, R. T., Mencl, W. E., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Core, J. C., & Shankweiler, D. (2000). An event-related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 120-133.
- Pascual-Leone, A. & Hallett, M. (1994). Induction of errors in a delayed response task by reponse task by repetitive transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex. *NeuroReport*, 5(18), 2517-20.
- Pashler, H. E. (1998). *The Psychology of Attention*. Cambridge, M.A.: MIT Press.
- Paus T, Jech R, Thompson CJ, Comeau R, Peters, T., & Evans A. (1997). Transcranial magnetic stimulation during positron emission tomography: a new method for studying connectivity of the human cerebral cortex. *Journal of Neuroscience*, 17, 3178-3184.
- Read, D. E. (1981). Solving deductive reasoning problems after unilateral temporal lobectomy. *Brain and Language*, 12, 116-127.
- Roediger, H. L. (1999). The future of cognitive psychology? In Solso, R. L.(Ed.), *Mind and Brain Science in the 21st Century*(pp. 175-198). Cambridge: The MIT Press.
- Roland, P.E., & Friberg, L. (1985). Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*, 53, 1219-1243.
- Rueckert, L., Lange, N., Partiot, A., Apollonio, I., Litvar, I., Lebihan, D., & Grafman, J. (1996). Visualizing cortical activation during mental calculation with functional MRI. *NeuroImage*, 3, 97-103.
- Shallice, T. (1988). *From Neuropsychology to Mental Structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Fletcher, J. M., Shankweiler, D. P., Katz, L., & Fore, J. C. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373, 607-609.
- Smith, E. E. (1999). Infusing cognitive neuroscience into cognitive psychology. In Solso, R. L.(Ed.), *Mind and Brain Science in the 21st Century*(pp. 71-89). Cambridge: The MIT Press.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (2000). The cognitive neuroscience of categorization. In M. S. Gazzaniga (Ed.) *The new cognitive neurosciences* (2nd Ed.)(pp. 1013-1022). Cambridge: MIT Press.
- Smith, E. E., Patalano, A., & Jonides, J. (1998). Alternative strategies of categorization. *Cognition*, 65, 167-196.
- Soderfeldt, B., Ingvar, M., Ronnberg, J., Eriksson, L., Serrander, M., & Stone-Elander, S. (1997). Signed and spoken language perception studied by positron emission tomography. *Neurology*, 49(1), 82-87
- Squire, L. R., & Knowlton, B. J. (1995). Learning about categories in the absence of memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 12470-12474.
- Talairach, J., & Tourmoux, P. (1998). *A Co-Planar Stereotactic Atlas of the Human Brain*. Stuttgart,

Germany: Thieme.

Tranel, D., Bechara, A., & Damasio, A. R. (2000). Decision making and the somatic hypothesis. In M. S. Gazzaniga (Ed.) *The new cognitive neurosciences* (2nd Ed.) (pp. 1013-1022). Cambridge: MIT Press.

Ungerleider, L. G., and Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, and R. J. Mansfield (Eds.), *Analysis of Visual Behavior* (Pp. 549-580). Cambridge, M.A.: MIT Press.

Walsh, V., Rushworth, M. (1999). A primer of magnetic stimulation as a tool for neuropsychology. *Neuropsychologia*, 37, 125-135.

Ward, L. M. (2002). *Dynamic cognitive science*. Cambridge: MIT Press.

Brief review on brain studies of cognitive functions

Kyung Soo Do

ChangHo Park

Sung-il Kim

Department of Psychology
Sungkyunkwan University

Department of Psychology
Chonbuk National University

Department of Education
Korea University

Recent brain studies on the cognitive functions were briefly reviewed, especially in the area of perception and attention, memory, language, reasoning, and planning. Possible problems, such as the concept of modularity and subtraction logic of brain studies, when we relate brain studies with cognitive theories were considered. Finally possible strategies for future study were briefly suggested.

Key Words brain imaging, modularity, cognitive neuroscience

원 고 접 수 : 2002. 12. 1.

최종게재결정 : 2002. 12. 22.