

## 간격효과의 부호화 기전: An event-related fMRI 연구\*

Encoding Mechanisms of Spacing Effect: An event-related fMRI Study

박 태 진\*\*

(Tae-jin Park)

요약 항목이 연달아 반복되는 경우(집중반복)보다 간격을 두고 반복되는 경우(간격반복) 기억 수행이 더 우수한 현상을 간격효과라 한다. 단서기억과제(재인과제)의 간격효과 및 성공적 부호화와 관련된 신경기전을 밝히기 위해 event-related fMRI 연구를 수행하였는데, 부호화단계에서 단어의 반복제시 간격을 조작하고 서 fMRI 영상을 구하였다. 그 결과, 재인 수행에서 전형적인 간격효과가 관찰되었고 집중반복조건에 비해 간격반복조건 뿐만 아니라 비반복조건에서 좌반구의 배외측 전두피질(DLFC), 복외측 전두피질(VLFC)의 높은 활성화가 관찰되었다. 이러한 결과는 간격효과 및 이와 관련된 성공적 부호화가 높은 수준의 주의통제와 의미적 처리에 기인한다는 것을 시사한다.

주제어 간격효과, 부호화, 배외측 전두엽(DLFC), 복외측 전두엽(VLFC), event-related fMRI

**Abstract** Memory for repeated items is better if they are repeated in a spaced than in a massed fashion (Spacing effect). To investigate the neural mechanisms of spacing effect and successful encoding, lags of repetition were manipulated at encoding stage in an event-related fMRI study. The behavioral data showed typical spacing effect on recognition judgment, and greater activity for items that were repeated in a spaced fashion than for items that were repeated in a massed fashion has been observed in dorsolateral frontal cortex(DLFC) and ventrolateral frontal cortex(VLFC) of left hemisphere. These cortical regions also showed greater activity for novel items than for items that were repeated in a massed fashion. These findings suggest that spacing effect and its relevant successful encoding are attributed to higher level of attentional control and semantic processing.

**Keywords** spacing effect, encoding, dorsolateral frontal cortex(DLFC), ventrolateral frontal cortex(VLFC), event-related fMRI

\* 이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2004-000-12776-0). 연구 수행에 도움을 준 박선희, 김정희 대학원생에게 감사드립니다.

\*\* 전남대학교 심리학과, 연구 세부분야: 인지심리학, 인지신경심리학

광주시 북구 용봉동, 전남대학교 심리학과, 전화: 062-530-2653, E-mail: tpark@chonnam.ac.kr

사건이나 항목에 관한 기억은 반복 노출에 따라 증진되는데, 이를 반복효과(repetition effect)라 한다. 그러나 반복효과는 사건이 연달아 반복되는 집중반복(massed repetition)보다는 시간이나 다른 사건에 의해 분리되어 반복되는 간격반복(spaced repetition)에서 더 크게 나타나는데, 이를 반복 간격효과 또는 줄여서 간격효과(spacing effect)라고 한다. 간격효과는 일반화 범위가 매우 크기 때문에 커다란 관심의 대상이 되어왔다.

간격효과에 대한 대표적 설명으로서 먼저 Greene(1989)이 제안한 2종 처리가설을 들 수 있다. 그에 따르면 자유회상과 단서회상과제(예, 재인, 단서 회상 등) 각각에서 관찰된 간격효과 기저의 기전은 상이하다. 자유회상의 간격효과는 자동적인 부호화-변산성 기전에 기인한다. 이 관점에 따르면 항목을 기억할 때 맥락정보가 함께 자동적으로 부호화되는데, 시간 경과에 따라 맥락정보가 변화할 것으로 가정된다. 따라서 반복된 항목이 두 번째 제시될 때 집중 반복된 항목보다 간격을 두고 반복된 항목의 경우 보다 상이한 맥락 요소가 함께 부호화될 가능성이 크다. 자유회상은 인출시 맥락정보에 크게 의존하므로 더 많은 인출단서를 이용할 수 있는 간격반복이 집중반복보다 기억 수행이 더 우수한 것이다. 반면 단서회상과제의 간격효과는 수의적 결핍-처리 기전에 기인한다. 학습자는 반복된 항목 가운데 덜 학습했다고 판단한 항목에 대해 더 많은 처리를 할 것으로 가정된다. 간격을 두고 반복된 항목보다 집중 반복된 항목을 더 친숙한 것으로 생각하고 따라서 더 잘 학습된 것으로 판단한다. 따라서 전자에 비해 후자는 더 적은 처리를 받게 되어 단서기억과제에서

간격효과가 나타나게 된다.

Greene(1989)은 부호화 기전의 수의적 특성과 불수의적 특성을 검증하고자 의도학습조건과 우연학습조건이 간격효과에 미치는 효과를 비교하였다. 자유회상에서 간격효과가 불수의적 기전에 의해 일어난다면 의도학습과 우연학습 모두 간격효과를 일으킬 것으로 예상하였는데, 실험 결과 이러한 예상이 입증되었다. 한편, 단서기억과제에서 간격효과가 수의적 기전에 의해 일어난다면 간격효과가 의도학습에서는 일어나지만 우연학습에서는 일어나지 않을 것으로 예상하였는데, 실험 결과 이 예상 역시 지지되었다. 이러한 결과들은 불수의적(자동적) 부호화-변산성 처리(자유회상)와 수의적 결핍-처리(단서기억과제)라는 2종 처리이론을 지지해주는 것이라 하겠다.

그러나, Challis(1993)는 단서기억과제의 간격효과가 자동적(불수의적)인 의미적 처리에 기인하며, 의미적 처리의 크기는 의미 점화의 크기와 역으로 관련된다고 주장하였다. 반복된 항목이 두 번째 제시될 때 이는 첫 번째 제시에 의해 의미적으로 점화되는데, 의미적 점화의 크기가 클수록 그 항목은 의미적 처리를 적게 받게 된다. 의미 점화는 시간 경과에 따라 감소하므로 집중 반복된 항목보다 간격을 두고 반복된 항목이 점화를 더 적게 받게 되고, 따라서 후자가 전자보다 의미적으로 더 많이 처리되므로 간격효과가 나타난다. 이 설명에 따르면 의미 점화는 자동적으로 일어나므로 우연학습조건에서도 간격효과를 관찰할 수 있어야 한다. Challis(1993)에 따르면, Greene(1989)이 우연학습조건의 단서기억과제에서 간격효과를 관찰하지 못했던 것은 의미 점화를 억제하는 비의미적 정향과제를 사용했기 때문

이다. Challis(1993)는 우연학습조건에서 의미적 정향과제를 사용하여 단서회상과제에서 간격 효과를 보고하였으며, Greene과 Stillwell(1995) 역시 유사한 결과를 보고하였다. 이러한 결과는 Greene의 수의적 결핍-처리가설과 배치되는 것으로서, 불수의적으로 일어나는 의미적 점화에 의한 결핍-처리가설을 지지해준다<sup>1)</sup>.

본 연구의 목적은 단서기억과제에서 관찰되는 간격효과의 뇌 신경상관물을 조사함으로써 간격효과의 신경기전을 밝히고 이를 바탕으로 수의적 결핍-처리가설과 자동적 결핍-처리가설을 평가하는데 있다. 그런데 간격효과를 다룬 행동 연구들은 다수 있음에도 불구하고 간격효과의 신경기전을 직접 다룬 뇌 영상 연구는 아직 찾아보기 힘들다. 하지만 본 연구 목적과 직접 관련된 연구영역으로서 성공적 기억 부호화의 신경기전에 관한 연구들 및 작업기억의 집행기능에 관한 연구들을 들 수 있다. 이러한 연구 성과들 가운데 본 연구와 관련된 주요 연구들을 소개하면 다음과 같다.

의도적 기억 부호화를 다룬 초기 연구들은 기억 부호화에 좌반구 전두피질이 관여함을 밝혔으며, 이러한 연구들을 기초로 하여 일화적 부호화에는 좌반구 전두피질이, 일화적 인출에는 우반구 전두피질이 관여한다는 HERA (hemispheric encoding-retrieval asymmetry) 모형이 제안되었다(Tulving 등, 1994a). 의도적인 기억 부호화 연구로서 Shallice 등(1994)을 들 수 있는데, 그들은 쌍대연합학습패러다임에서 의도 학습과제 수행 도중의 뇌 활성화 영역을 밝히기 위해 수동적 듣기과제 수행과 대비시켰다.

1) Russo 등(1998, 2002)은 Challis(1993)의 자동적 결핍 처리이론을 확장하여 의미적 점화와 비의미적(구조적) 점화를 함께 포함하는 이론을 제안하였다.

그 결과 의도적 부호화 도중 좌반구 전두피질(주로 VLFC(ventrolateral frontal cortex: 복외측 전두피질))이 활성화되며, 의도적 부호화가 간접 운동과제와 동시에 이루어질 때는 단서회상 정확도가 떨어지는 동시에 이 영역의 활성화 역시 감소함이 드러났다. 이러한 결과는 좌반구 전두피질 활성화가 성공적 부호화에 중요하다는 것을 시사한다.

좌반구 전두피질과 성공적 부호화의 관계는 사건 유관 분석(event-related fMRI 패러다임)을 통해 보다 정확하게 밝힐 수 있는데, 이 분석에서는 학습과제 도중의 뇌 활동을 후속 인출 수행과 상관시켜 분석함으로써 기억된 항목과 망각된 항목이 부호화 도중의 뇌 활성화에 있어 서로 어떻게 다른지 알 수 있게 해준다(후속 기억효과). Wagner 등(1998)에 따르면 확신 있게 기억된 언어항목들의 경우 망각된 항목들에 비해 부호화 도중 좌반구 VLFC가 더 크게 활성화되었다.

언어 자료의 성공적 부호화가 좌반구 전두피질과 관련되었다고 볼 때 성공적 부호화에 기여하는 처리과정으로서 의미적 처리를 들 수 있다. Tulving 등(1994a)에 따르면 좌반구 전두피질 활성화는 학습 자료의 의미적 속성이나 연상어의 생성/인출과 관련되어있다. Gabrieli 등(1998)은 음운적 판단에 비해 의미적 판단을 할 때 좌반구 전두피질의 광범위한 활성화가 일어남을 관찰하였다. Vandenbergh 등(1996)에 따르면 단어 뿐만 아니라 그림 자극의 경우에도 의미적 판단을 할 때 좌반구 VLFC가 활성화된다. Demb 등(1995)은 얇은 처리(대문자/소문자 판단)에 비해 깊은 처리(구체어/추상어 판단)를 할 때 VLFC가 더 활성화된다는 것을 밝혔는데, 특히 이러한 활성화는 과제 난이도

와는 무관하였다. 이러한 연구들은 언어 자료의 성공적 부호화에 기여하는 의미적 처리가 좌반구 전두피질 가운데 특히 VLFC의 활성화와 관련되어 있음을 보여주었다.

성공적 부호화와 관련된 뇌 영역으로 전두피질 외에 내측두엽을 들 수 있다. 해마방회와 해마를 포함한 내측두엽의 손상은 심각한 순행성 기억상실증을 유발한다(Scoville & Milner, 1957). 앞서 언급한 Wagner 등(1998)의 뇌 영상 연구에 따르면 언어자료에 대한 후속 기억효과는 좌반구 VLFC 외에 좌반구 해마방회에서도 관찰된다. Brewer 등(1998)은 자연 장면 그림을 우연 학습시킨 결과 우반구 VLFC 외에 양반구 해마방회에서 후속 기억효과를 관찰하였다. Fernandez와 Tendolkar(2001)는 후속 기억효과와 관련된 전두엽과 내측두엽의 활성화 패턴에 주목하여 두 영역이 병렬적이고 양방향적인 방식으로 상호작용하여 성공적 부호화가 가능하다는 모델을 제안하기도 하였다. 한편, Cameron 등(2001)은 단일세포 전기활동기법을 사용하여 내측두엽 뉴론의 전기활동을 쌍대연합학습 도중 측정한 결과, 부호화 도중의 해마 뉴론의 반응이 성공적 기억 여부를 예언해 준다는 것을 발견하였다. 이러한 연구들은 성공적 부호화에 전두피질과 내측두엽이 함께 관련된다는 것을 보여주었다.

한편, 일화기억의 성공적 부호화기전은 작업기억 기전과 밀접하게 관련되어 있다. 작업기억은 비교적 짧은 기간 동안 일시적으로 정보를 유지하는 능력을 뜻하는 반면 장기기억은 훨씬 더 긴 기간 동안 정보를 파지하는 능력인데, 이 두 유형의 기억을 매개하는 신경과정은 상당 부분 중복되어 있다. 장기기억의 부호화와 인출 과정은 흔히 작업기억에서 정

보의 유지와 조작을 수반하며, 작업기억에 유지된 정보는 장기기억에 부호화될 수 있다. 따라서 장기기억 부호화와 관련된 신경기전은 작업기억 관련 신경기전과 상당 부분 중복되어 있다. 작업기억은 흔히 단기적 저장과 집행 과정이라는 두 하위 성분을 가진 것으로 간주된다.

Baddeley(1996)에 따르면 집행기능은 인지과제에 주의자원을 배당하고 일시적으로 유지된 정보를 조정 통합하는 주의 통제를 뜻한다. 뇌 영상연구들에 따르면 집행적 통제 처리와 관련된 신경구조물은 전두피질과 전측 대상회로서, 작업기억과제 요구가 증가함에 따라 전두피질의 활성화가 증가한다. D'Esposito 등(1995)는 단일과제 수행 도중과는 달리 이중과제 수행 도중에는 DLFC가 활성화됨을 보고하였으며, Bunge 등(2000)은 읽기폭 과제 수행 도중에 이 영역이 활성화됨을 보고하였는데 이 과제는 문장 읽기와 표적어 파지를 동시에 수행해야하는 이중과제이다. Rypma 등(1999)은 읽기폭과제에서 기억부담이 작은 조건(3개 숫자)에서는 좌반구 VLFC가 활성화되지만 기억부담이 큰 조건(6개 숫자)에서는 좌반구 DLFC가 추가적으로 활성화됨을 보고하였다. 이는 기억부담이 작은 경우 제한된 용량을 가진 단기적 저장만 요구되지만 기억부담이 큰 경우에는 단기적 저장 용량을 초과하므로 주의 통제나 조직화와 같은 집행기능이 요구된다는 것을 시사한다. Rypma와 D'Esposito(2003)는 변형된 Sternberg과제를 사용하여 정확 반응 항목과 부정확 반응 항목의 부호화단계에서의 활성화를 비교하였는데, 성공적 부호화의 효과가 DLFC에서는 관찰된 반면 VLFC에서는 관찰되지 않았다. 이러한 결과들은 VLFC와 DLFC가

상이한 작업기억 관련 기능을 수행한다는 가설을 지지해주는 것으로서, 이에 따르면 VLFC는 제한된 용량을 가진 단기 저장과 관련된 반면 DLFC는 책략적 조직화나 청킹과 같은 집행기능과 관련된다(Rypma & D'Esposito, 2003). 이러한 연구들은 집행기능의 주의 통제체계에서 DLFC가 주된 역할을 수행함을 시사한다.

본 연구에서는 단서기억과제에서 관찰되는 반복 간격효과의 신경기전을 밝히기 위해, 부호화단계에서 항목이 간격을 두고 반복될 때 활성화되는 뇌 영역과 집중 반복될 때 활성화되는 뇌 영역을 event-related fMRI 연구를 통해 비교하고자 하였다. 만약 간격 반복 항목이 집중 반복 항목에 비해 더 많은 주의 통제나 의미적 처리를 받는다면 전자에서 후자보다 DLFC나 VLFC의 활성화가 더 크게 일어날 것으로 예상하였으며, 아울러 성공적 부호화와 관련된 내측두엽의 활성화 역시 더 크게 일어날 것으로 예상하였다. 또한, 이러한 설명을 뒷받침하는 수렴적 증거를 구하기 위해 항목이 처음 제시될 때(비반복 항목) 활성화되는 뇌 영역과 집중 반복될 때 활성화되는 뇌 영역을 비교하고자 하였다. 간격효과에 대한 주의통제/의미처리 설명에 따르면 비반복 항목은 간격 반복 항목 못지않게 집중 반복 항목 보다 더 많은 주의통제나 의미적 처리를 받을 것이며, 이는 DLFC나 VLFC의 더 큰 활성화로 반영될 것이다. 그밖에, 간격효과와 관련된 후속 기억효과의 신경기전을 검증하기 위해, 재인과제에서 성공적으로 인출해낸 항목들의 부호화 도중 활성화되는 뇌 영역과 인출에 실패한 항목들의 부호화 도중 활성화되는 뇌 영역을 비교하고자 하였다. 주된 관심 뇌 영역(ROI: region of interest)은 전두피질에서 DLFC

와 VLFC, 그리고 내측두엽의 구조물들이다.

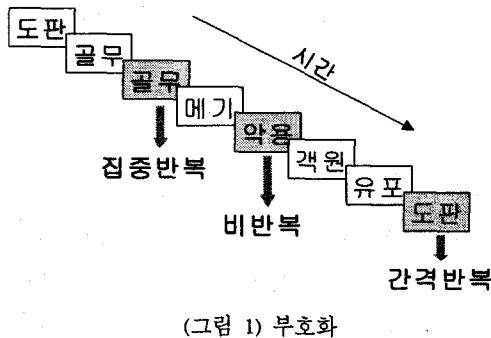
## 방 법

참가자 오른손잡이 젊은 성인 15명의 데이터가 최종 결과 분석에 사용되었다. 이들은 모두 실험참가 동의서에 서명하였고 참가비를 받았다.

독립변인 부호화조건으로서 비반복, 집중반복, 및 간격반복의 3개 수준이었다.

실험자료 두 글자 한글 단어 540개(부호화 단계에서 3개 독립변인조건 각각에 60개씩 포함 180개 학습단어, 충전어 180개, 그리고 인출검사단계에서 비학습단어 180개)로서 사용빈도는 50에서 500까지였다. 180개 학습단어들을 60개씩 3개 목록으로 나누어 각 목록이 3개 부호화조건에 동일한 횟수만큼 배정될 수 있도록 3개 학습단어목록들을 3개 부호화조건에 역균형화시켜 3개 조합을 만들었고 이 3개 조합 각각을 동일한 수의 참가자들이 학습하였다.

절차 부호화단계에서는 특정 단어가 한번만 제시되는 비반복조건, 연이어 두 번 제시되는 집중반복조건, 6개 삽입항목을 간격에 두고 반복되는 간격반복조건이 조작되었는데, 각 조건에 60개의 단어, 그리고 충전어로 180개의 단어를 제시하였다. 시행간 SOA는 4.8초로서, 집중반복조건에서는 4.8초였고 간격반복조건에서는 33.6초였다(그림 1). 참가자에게 후속 기억검사가 있음을 알려주고 제시된 단어를 잘 학습하도록 요구하였다. 인출검사단계에서는 3개 부호화조건의 전체 학습단어 180개 및 비학습단어 180개를 제시하고서 예-아니오 재



(그림 1) 부호화

인판단을 요구하였는데 각 시행간 SOA는 3.7초였다(그림 2). fMRI 영상은 부호화단계에서만 구하였고 약 20분이 경과한 후 다른 실험실에서 재인과제를 실시하였다.

fMRI 영상 획득 및 분석 3.0T 스캐너를 사용하여 T2\*-weighted echo-planar images with BOLD contrast (TR=2.85초, TE=35ms, 20 axial slices, 6mm 두께, flip angle=80°, FOV=22×22cm, 64×64 pixel matrix)를 구하였다. 해부학적 coregistration을 위해 spin echo pulse sequence (TR=3.2초, TE=16ms, flip angle=60°, FOV=22×22cm, 256×192 pixel matrix)를 사용하여 T1영상 을 구하였다. 스캐너의 시퀀스는 자극 제시와 동기화되었다. 데이터는 SPM99를 사용하여 분석 하였는데, realignment, coregistration, normalization, smoothing을 거쳐 GLM에서 canonical haemodynamic

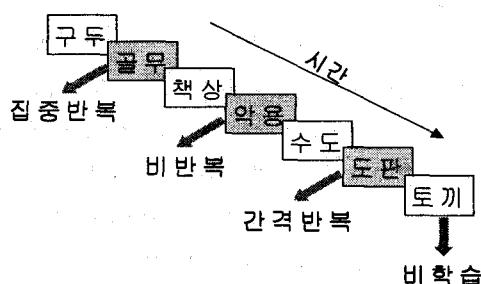
response function을 공변인으로 사용하여 분석 하였고 모수추정치에 대해 계획적 비교를 수행하였다(uncorrected  $p < .001$ ). 모든 비교에서 간격반복조건과 집중반복조건은 두 번째 제시된 항목들만을 분석하였다. 각 피험자의 데이터는 고정효과 모델로 분석하였고 그 다음 집단 데이터는 무선효과 모델로 분석하였다.

주된 분석 관심사는 간격효과(간격반복 대 집중반복, 비반복 대 집중반복)와 후속기억효과(기억된 항목 대 망각된 항목)였는데, 기억된 항목과 망각된 항목을 간격효과 분석에서는 구분하지 않고 분석하였으며 후속기억효과 분석에서는 구분하여 분석하였다.

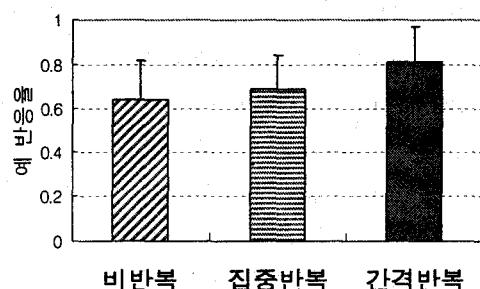
## 결과 및 논의

### 행동 수행 결과

각 부호화조건별 재인반응(그림 3)의 예-반응율(Hit)을 변량 분석한 결과 부호화조건의 효과가 유의미하였다 [ $F(2, 34) = 25.59, MSe = .003, p < .001$ ]. 부호화조건들간 차이를 알아보기 위해 t검증을 한 결과 모든 쌍 조건들간의 차이 가 유의미하였는데 (집중반복-비반복,  $t(14) =$



(그림 2) 인출(재인과제)



(그림 3) 부호화조건에 따른 재인 정확도(예-반응율: Hit)

3.19; 간격반복-비반복,  $t(14)=7.19$ ; 간격반복-집중반복,  $t(14)=3.80$ ; 모두  $p<.05$ ), 간격을 두고 반복된 항목들이 가장 잘 기억되었고 한번만 제시된(비반복) 항목들의 기억 수행이 가장 저조하였다. 특히 집중 반복된 항목들보다 간격을 두고 반복된 항목들의 기억 수행이 더 우수하였는데 이는 전형적인 간격반복효과를 증명하는 결과이다.

### fMRI 분석 결과

간격효과와 관련된 뇌 영역을 알아보기 위해 [간격반복항목-집중반복항목] 대비를 분석하였다 (표 1, 그림 4). 그 결과, 전두피질 영역 가운데 좌반구의 DLFC(BA 9/46)와 VLFC(BA 44/45)에서 더 큰 활성화가 관찰되었으며, 그 밖에 양반구의 운동피질(BA 4), 좌반구의 보조운동피질(BA 6) 및 상측 전두피질(BA 8) 영역에서 더 큰 활성화가 관찰되었다. 내측두엽 영역 가운데 우반구 해마방회에서 더 큰 활성

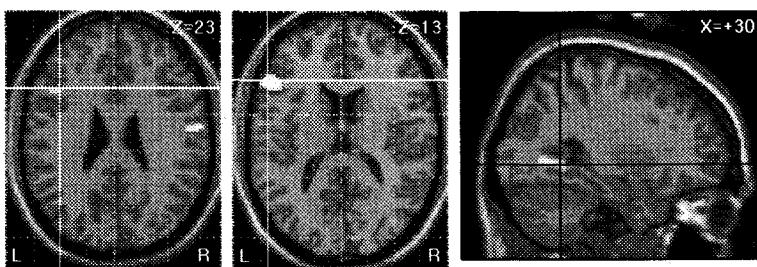
화가 관찰되었는데 이 영역의 활성화는 후측 대상회의 활성화와 함께 관찰되었다(*uncorrected p<0.001*). (보다 낮은 유의도수준(*uncorrected p<0.005*)에서는 우반구 뿐만 아니라 좌반구 해마방회(최대 활성화 voxel:  $x=-22$ ,  $y=-37$ ,  $z=6$ ;  $z$  score=3.03)에서도 높은 활성화를 관찰할 수 있었다.)

여기서 관찰된 좌반구 DLFC와 VLFC의 활성화는 간격효과에 대한 주의 통제/의미처리 설명을 지지해주는 결과로서, 집중 반복 항목에 비해 간격 반복 항목에 대해 주의 자원의 배정과 의미적 처리가 더 많이 이루어져서 성공적 부호화 가능성이 더 컼다고 볼 수 있다. 아울러 내측두엽 가운데 해마방회에서 관찰된 높은 활성화 역시 성공적 부호화와 관련된 뇌 활동을 시사해주는데, 상세한 추론은 논의에서 다룰 것이다.

간격효과의 주의통제/의미처리 설명에 대한 수렴적 증거를 구하기 위해 [비]반복항목-집중반복항목] 대비를 분석하였다(표 2). 비반복항

<표 1> 집중반복 항목에 비해 간격반복 항목에서 더 큰 활성화를 보인 뇌 영역 [간격반복항목-집중반복항목 대비]

뇌 영역	z 값	Talairach 좌표			cluster 크기
		x	y	z	
좌반구 배외측 전두피질(DLFC) (BA 9/46)	3.47	-40	21	23	18
복외측 전두피질(VLFC) (BA 44/45)	3.25	-53	26	13	19
상측 전두피질 (BA 8)	3.97	-6	33	41	50
보조 운동피질 (BA 6)	3.62	-38	6	51	8
운동피질 (BA 4)	3.24	-42	-17	47	6
시각피질 (BA 19)	3.75	-28	-77	15	9
우반구 후측 대상회 (BA 30)	3.75	22	-68	5	111
해마방회 (BA 30)	3.50	30	-52	1	
운동피질 (BA 4)	3.87	63	-6	26	52



L DLFC(BA 46) L VLFC(BA 45) R 해마방회와 대상회

(그림 4) 집중반복 항목에 비해 간격반복 항목에서 더 큰 활성화를 보인 뇌 영역

&lt;표 2&gt; 집중반복 항목에 비해 비반복 항목에서 더 큰 활성화를 보인 뇌 영역 [비반복항목-집중반복항목 대비]

뇌 영역	z 값	Talairach 좌표			cluster 크기
		x	y	z	
좌반구 배외측 전두피질 (DLFC) (BA 9/46)	5.24	-51	15	25	700
복외측 전두피질 (VLFC) (BA 44)	4.79	-53	14	16	
복외측 전두피질 (VLFC) (BA 45)	3.27	-53	29	4	5
상측 전두피질 (BA 8)	3.49	-8	31	41	35
보조 운동피질 (BA 6)	4.04	-40	0	44	97
전측 대상회 (BA 32)	3.83	-8	18	43	120
시각피질 (BA 19)	3.58	-4	-56	-2	14
변연계 유두체	3.25	-4	-10	-5	7
렌즈핵	3.73	-12	0	6	9
양반구 시상	3.67	-2	-11	6	37
뇌간 (적핵)	3.78	2	-24	-12	27
미상핵 머리	3.92	2	14	7	29

목은 처음 제시된 항목이기 때문에 간격반복 항목 못지 않게 집중반복 항목에 비해 주의 자원의 배정과 의미적 처리가 더 많이 이루어질 것으로 예상된다. 그 결과, 전두피질 영역 가운데 좌반구의 DLFC(BA 9/46)와 VLFC(BA 44/45)에서 높은 활성화가 관찰되었으며 그밖에 좌반구의 보조 운동피질(BA 6)과 상측 전

두피질(BA 8), 전측 대상회, 그리고 시상과 인접 부위 등에서 높은 활성화가 관찰되었다 (*uncorrected p<0.001*). 이러한 활성화 패턴은 전반적으로 [간격반복항목-집중반복항목] 대비에서 관찰된 활성화 패턴과 유사한 것으로서 특히 좌반구 DLFC와 VLFC의 활성화가 두 대비에서 공통적으로 관찰되었다. (해마방회의 경우 보

<표 3> [간격반복항목-집중반복항목 대비]와 [비반복항목-집중반복항목 대비]의 공통 활성화 영역 (내포적 차폐 분석 결과)

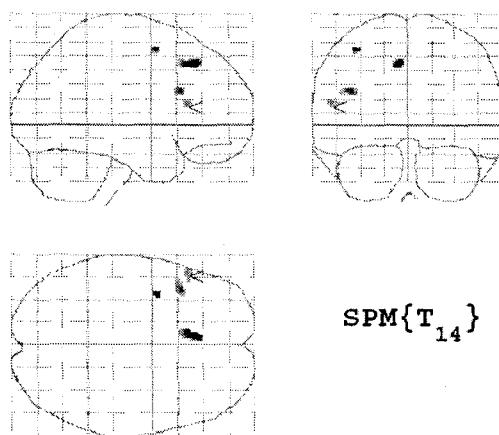
뇌 영역	z 값	Talairach 좌표			cluster 크기
		x	y	z	
좌반구 배외측 전두피질 (DLFC) (BA 9/46)	3.47	-40	21	23	18
복외측 전두피질 (VLFC) (BA 44/45)	3.25	-53	26	13	15
상측 전두피질 (BA 8)	3.97	-6	33	41	45
보조 운동피질 (BA 6)	3.62	-38	6	51	5

다 낮은 유의도수준(*uncorrected p*<0.005)에서 좌반구(최대 활성화 voxel: x=-30, y=-15, z=-21; z score=3.19)와 우반구(최대 활성화 voxel: x=32, y=-54, z=5; z score=3.04) 모두 높은 활성을 관찰할 수 있었다.)

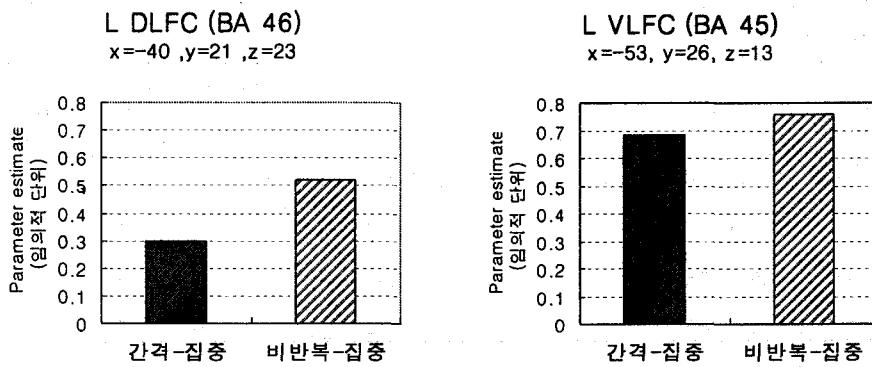
두 대비에서 공통적으로 활성화된 영역을 정확하게 밝히기 위해 [간격반복항목-집중반복항목] 대비에 대해 [비반복항목-집중반복항목] 대비에 의한 내포적 차폐(inclusive masking, *uncorrected p*<0.001) 분석을 수행하였다(표 3, 그림 5). 이 분석은 후자 대비에서 활성화된 영

역 가운데 전자 대비에서 활성화된 영역을 보여준다. 그 결과, 좌반구 전두피질 영역에서만 활성화가 관찰되었는데, DLFC(BA 9/46)와 VLFC (BA 44/45), 그리고 보조 운동피질(BA 6)과 상측 전두피질(BA 8) 영역이 두 대비 양자에서 공통적으로 활성화됨이 확인되었다. 이는 앞서의 분석 결과와 함께 간격효과에 대한 주의 통제/의미처리 설명을 지지해주는 것이라 할 수 있다. (해마방회의 경우 보다 낮은 유의도 수준(*uncorrected p*<0.005)에서 우반구 해마방회(최대 활성화 voxel: x=32, y=-52, z=3; z score=3.22)에서만 두 대비 양자의 공통적 활성을 관찰할 수 있었다.)

좌반구 DLFC와 VLFC 영역에서 집중반복항목에 비해 간격반복항목과 비반복항목 각각의 활성화 크기에 있어 차이가 있는지 여부를 확인하기 위해, [비반복항목-집중반복항목] 대비와 [간격반복항목-집중반복항목] 대비의 공통 활성화 영역 가운데 최대 활성화 voxel에서 두 대비 각각의 신호강도 값을 구한 후 두 대비의 차이를 t검증을 통해 분석하였다(그림 6). 그 결과, DLFC에서는 간격반복항목에 비해 비반복항목의 활성화 수준이 유의미하게 더 높았지만 (*p*<.05), VLFC에서는 유의미한 차이가



(그림 5) [간격반복항목-집중반복항목 대비]와 [비반복항목-집중반복항목 대비]의 공통 활성화영역



(그림 6) 좌반구 DLFC와 VLFC에서 [간격반복-집중반복]과 [비반복-집중반복]의 평균 신호강도(임의적 단위)

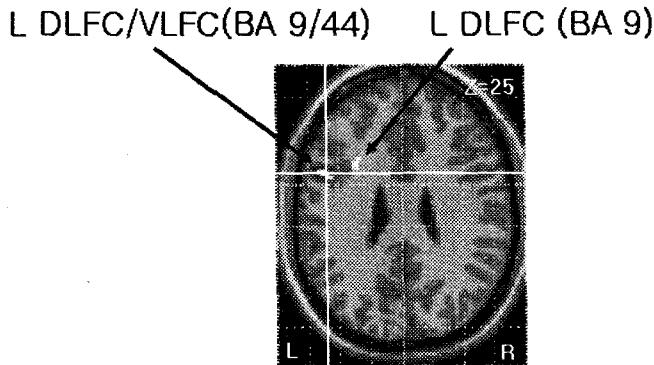
없었다. 이는 간격효과에 대한 주의 통제 설명을 뒷받침해주는 결과로서, 자세한 설명은 논의에서 다를 것이다.

후속기억효과와 관련된 뇌영역을 알아보기 위해 세 부호화조건을 구분하지 않고 [정확재인 항목-망각된 항목] 대비를 분석하였다. 즉 재인파제 수행 결과에 따라 정확 재인 항목과 망각된 항목을 구분하고서, 망각된 항목

이 부호화될 때보다 정확 재인된 항목이 부호화될 때 더 크게 활성화된 뇌 영역을 조사하였다. 그 결과, 좌반구 DLFC와 VLFC(9/44), 하측 두정피질(BA 40) 및 상측 측두피질(BA22) 등의 활성화가 관찰되었다(표 4, 그림 7). (해마방회의 경우 보다 낮은 유의도수준(*uncorrected p*<0.005)에서는 좌반구 해마방회(최대 활성화 voxel:  $x=-16, y=-36, z=-12$ ;  $z$  score=2.85)에서

<표 4> 기억된 항목이 망각된 항목에 비해 더 큰 활성화를 보인 뇌 영역

뇌 영역	z 값	Talairach 좌표			cluster 크기
		x	y	z	
좌반구 배외측/복외측 전두피질 (DLFC/VLFC)(BA 9/44)	3.30	-48	9	25	23
배외측 전두피질 (DLFC) (BA 9)	3.25	-4	42	31	9
배외측 전두피질 (DLFC) (BA 9)	3.68	-28	17	25	18
배외측 전두피질 (DLFC) (BA 9)	3.31	-42	19	34	5
상측 측두피질 (BA 22)	3.91	-48	6	3	35
하측 두정피질 (BA 40)	4.65	-46	-44	43	31
담장	4.40	-32	12	5	57
기저핵 담창구	3.82	-22	-10	0	20
기저핵 피각	3.36	-20	0	6	7



(그림 7) 망각된 항목에 비해 정확 재인된 항목에서 더 큰 활성화를 보인 뇌 영역

활성화를 관찰할 수 있었다.)

## 논 의

부호화단계에서 항목을 반복하지 않고 한번만 제시하거나(비반복조건) 간격을 두고 반복제시하거나(간격반복조건) 연달아 반복 제시하면서(집중반복조건) fMRI 영상을 구한 후 재인과제를 실시하였다. 행동 분석 결과 간격반복 항목이 집중반복 항목보다 우수한 기억 수행을 보임으로써 전형적인 간격효과가 확인되었다.

event-related fMRI 영상 분석을 통해 간격효과 기저의 신경기전을 밝히고자 하였다. 이를 위해 첫째, 집중반복 항목의 부호화 도중보다 간격반복 항목의 부호화 도중 더 크게 활성화된 뇌 영역을 분석한 결과, 좌반구 DLFC(BA 9/46), VLFC(BA 44/45), 그리고 우반구 해마방회 등의 활성화가 관찰되었다. 좌반구 전두피질 가운데 특히 DLFC의 활성화는 주의 통제나 조직화와 같은 집행기능과 관련되어 있으며(Rypma 등, 1999; Rypma와 D'Esposito, 2003)

VLFC의 활성화는 언어 자료의 성공적 부호화에 기여하는 의미적 처리와 관련되어 있다(Kopelman 등, 1998)는 선행 연구 결과들로 미루어 볼 때, 본 연구에서 관찰된 DLFC와 VLFC의 활성화는 간격효과가 주의 통제와 의미적 처리 양자에 기인함을 시사해준다. 간격을 두고 반복된 항목의 경우 집중 반복된 항목에 비해 주의 자원이 더 많이 배정되고 그 결과(또는 동시에) 의미적 처리가 더 활발하게 이루어졌다고 볼 수 있다. 해마방회에서 관찰된 높은 활성화는 새로운 자극의 부호화(신기성; novelty)와 관련된 신경활동(Tulving 등, 1994b; Dolan & Fletcher, 1997) 그리고 또는 기억 결합(binding)이나 응고화(consolidation)와 관련된 신경활동(Kopelman 등, 1998; Cameron 등, 2001)을 반영하는데, 신기성과 기억 형성의 두 가지 가능성에 대한 논의는 다른 분석 결과와 함께 다시 다룰 것이다. 그런데 통상 언어자료의 경우 새로운 자극의 부호화와 관련하여 활성화된 내측두엽은 좌반구에 편재된 것으로 보고되었는데, 본 연구에서는 양반구 해마방회의 활성화가 관찰되었다(보다 엄격한

유의도 수준( $p<0.001$ )에서는 우반구 해마방회의 활성화만 관찰되었지만 덜 엄격한 유의도 수준( $p<0.005$ )에서는 양반구 해마방회의 활성화를 관찰할 수 있었다.).

둘째, 간격효과에 대한 주의통제/의미처리 설명의 수렴적 증거를 구하기 위해 집중반복 항목의 부호화 도중보다 비반복 항목의 부호화 도중 더 크게 활성화된 뇌 영역을 분석하였는데, 비반복항목은 처음 제시된 항목이므로 간격반복 항목 못지않게 집중반복 항목에 비해 주의 자원의 배정과 의미적 처리가 더 많이 이루어질 것으로 예상하였다. 그 결과 좌반구 DLFC(BA 9/46)와 VLFC(BA 44/45) 등의 활성화가 관찰되었는데, 이는 앞서의 [간격반복항목-집중반복항목] 대비 결과와 매우 유사한 활성화패턴으로서 역시 주의 통제/의미처리 설명을 뒷받침해주는 결과라 할 수 있다. 이와 유사한 결과를 보고한 연구로서, Demb 등(1995)과 Kopelman 등(1998)의 연구를 들 수 있는데, 이들은 블록설계를 사용하였다. Demb 등(1995)에 따르면 의미적 처리를 할 때 좌반구 VLFC가 활성화되었는데 이러한 활성화는 의미적 판단을 반복함에 따라 감소하였다. 이러한 좌반구 활성화 감소는 의도적 학습과제에서도 관찰되었는데, 새로운 단어들로 구성된 블록 제시에 비해 동일 단어의 반복으로 구성된 블록 제시에서 좌반구 VLFC 활성화가 더 감소하였다(Kopelman 등, 1998). 한편 해마방회의 경우 보다 덜 엄격한 유의도 수준( $p<0.005$ )에서는 양반구 해마방회의 활성화를 관찰할 수 있었다. 이러한 결과 역시 [간격반복항목-집중반복항목] 대비 결과와 상당히 유사한 활성화패턴이라고 볼 수 있는데, 비반복 항목의 경우 처음 제시된 항목이라는 점 그리

고 궁극적인 기억 수행이 집중반복 항목에 비해 떨어진다는 점으로 미루어볼 때 해마방회에서 관찰된 높은 활성화는 기억 형성보다는 새로운 자극의 부호화와 관련된 신경활동을 반영하는 것으로 짐작된다. 반면, 간격 반복항목의 경우에는 앞서 이미 제시받은 적이 있었다는 점 그리고 간격을 두고 다소 새롭게 반복된 경험이라는 점으로 미루어볼 때 기억 형성 및 새로운 자극의 부호화 양자의 신경활동을 반영하는 것으로 짐작된다.

셋째, 이상 두 활성화패턴을 바탕으로 집중반복 항목이 부호화될 때에 비해 간격반복 항목이 부호화되거나 비반복 항목이 부호화될 때 공통적으로 더 크게 활성화되는 뇌 영역을 분석하였는데, 그 결과 좌반구 DLFC(BA 9/46)와 VLFC(BA 44/45) 영역이 공통 활성화 영역임을 확인할 수 있었다. 또한 이 영역들에서 집중반복 항목을 기준으로 간격반복 항목의 활성화 크기와 비반복 항목의 활성화 크기를 비교하였는데, DLFC에서는 비반복 항목이 간격반복 항목보다 더 큰 활성화를 보였지만 VLFC에서는 차이가 관찰되지 않았다. DLFC에서 관찰된 간격반복항목과 비반복항목간의 활성화 차이는 항목이 처음 제시된 경우 간격을 두고 두 번째 제시된 경우에 비해 주의 자원이 더 많이 배정될 가능성을 시사하는 것으로서, 간격효과에 대한 주의통제 설명을 뒷받침해주는 것이라 할 수 있다. 한편 VLFC에서 차이가 관찰되지 않은 결과는 주의통제와 의미적 처리의 인과적 관계에 대한 추론을 어렵게 하는데, 특히 본 연구에서 사용한 부호화 조작이 주의통제의 크기를 직접 조작한 것이 아니기 때문에 그러하다. 가능한 설명으로서, 주의통제의 유형에 따라 의미적 처리에 미치는

영향이 다르거나, 주의통제의 크기가 의미처리에 영향을 미치지 않거나, 본 연구의 실험 절차가 차이를 밝혀내기에는 검증력이 약했을 가능성 등을 생각할 수 있다.

이상의 연구 결과들을 종합하면, 간격효과와 관련된 신경기전으로서 좌반구 DLFC와 VLFC, 그리고 양반구의 해마방회의 신경활동이 밝혀졌다. 특히 DLFC 활성화는 주의자원의 배정과 관련된 주의 통제를 반영하며, VLFC 활성화는 의미적 처리를 반영하고, 내측두엽 활성화는 새로운 자극의 부호화나 기억 형성을 반영해 준다고 할 수 있다. 이러한 간격효과의 신경 기전을 바탕으로 단서기억과제의 간격효과에 대한 설명으로 제안된 수의적 결핍-처리가설 (Greene, 1989) 및 불수의적 의미처리 가설 (Challis, 1993)을 검토해보겠다. 간격 반복항목과 비반복 항목이 집중 반복항목에 비해 높은 DLFC 활성화를 보인 것으로 미루어 집중 반복항목은 간격 반복항목이나 비반복항목에 비해 주의자원이 상대적으로 적게 배정된다고 하겠다. 이러한 주의 통제 정도의 차이에 따라 의미처리 정도의 차이가 일어나서 집중 반복항목의 경우 간격 반복항목보다 의미적 처리가 상대적으로 덜 일어나는데, 이는 VLFC 활성화의 차이로 반영된다. 결국 주의 통제의 차이에 기인한 의미적 처리의 결핍에 따라 간격효과를 설명할 수 있다. 여기서 신경기전에 근거한 추론만으로는 간격효과와 관련된 주의 통제가 수의적으로 일어나는지 아니면 불수의적(자동적)으로 일어나는지는 확실하지 않다. 다만 이러한 활성화 패턴이 의도적 학습 도중 관찰된 결과라는 점에서 주의통제가 수의적으로 일어났을 가능성이 큰 것으로 짐작된다.

주의 통제가 DLFC의 활성화와 관련되어 있

음을 잘 보여주는 과제로서 Stroop 간섭과제를 들 수 있는데, 이 과제는 작업기억의 집행 기능을 연구하는데 흔히 사용되어 왔다. 이 과제 수행 도중 흔히 DLFC와 ACC(anterior cingulate cortex)의 활성화가 관찰되는데, 이 두 영역의 역할은 해리 가능하다. MacDonald 등(2000)에 따르면, ACC는 색과 색명단어가 불일치한 조건에서는 활성화되지만 일치한 조건에서는 활성화되지 않는데 반해, DLFC는 두 조건 모두에서 활성화된다. ACC는 불일치조건의 수행을 모니터하기 위해 주의통제가 크게 요구될 때 관여하지만 DLFC는 과제에 적합한 행동을 위해 하향적으로 주의 유지를 지원하는데 관여하기 때문이다. 이와 유사하게 Smith와 Jonides (1999)는 ACC가 반응을 억제하는 것을 매개하는데 반해 DLFC는 주의와 억제의 조작을 반영한다고 주장하였다. 결국 이러한 연구들은 주의 통제가 DLFC의 활성화와 관련되어 있음을 보여주는데, 이러한 결과는 간격효과에 대한 DLFC의 주의 통제 기전 설명을 뒷받침해 준다 하겠다.

한 가지 주목할 만한 연구로서 성공적 부호화가 내측두엽과는 관련되어 있지만 전두피질과는 무관함을 밝힌 드문 연구가 있다. Reber 등(2002)은 event-related fMRI 연구를 통해 부호화단계에서 단어들을 하나씩 제시하면서 기억하거나 망각하도록 지시하였는데, 그 결과 망각지시조건에 비해 기억지시조건에서 좌반구 전두피질영역(DLFC와 VLFC: BA 9, 45, 46, 47)이 활성화되었다. 개인 과제 결과 성공적으로 인출된 항목들과 그렇지 않은 항목들을 구분하여 부호화단계에서의 활성화 영역을 조사한 결과 후자에 비해 전자에서 좌반구 내측두엽(해마방회와 해마 포함)은 활성화되었지만 전

두피질에서는 차이가 관찰되지 않았다. 즉 성공적 부호화와 부호화 노력 각각의 신경상 관물이 해리된 것인데, Reber 등에 따르면 부호화 의도는 전두피질과 관련된 반면 성공적 부호화는 내측두엽과 관련되어 있다. 그러나 이러한 결과는 본 연구의 후속기억효과 분석 결과와는 상이하다.

본 연구에서 후속기억효과를 알아보기 위해 정확 재인된 항목으로부터 망각된 항목을 뺀 대비를 분석한 결과, 좌반구 DLFC와 VLFC (9/44), 하측 두정피질(BA 40) 등의 활성화가 관찰되었다. 이러한 결과는 좌반구 전두피질의 활성화가 성공적 부호화와 관련되어 있다는 것을 밝힌 선행 연구(예, Wagner 등, 1998; Kopelman 등, 1998) 결과들과 나란한 것으로서 Reber(2002) 등의 결과와는 일치하지 않는다. 한편 해마방회의 경우 보다 텔 염격한 유의도 수준( $p < 0.005$ )에서 좌반구 해마방회의 활성화를 관찰할 수 있었는데, 이처럼 활성화 수준이 비교적 낮았던 것은 본 연구에서 사용한 재인판단과제가 단순히 예-아니오 판단만을 요구하였을 뿐 확신-비확신 판단을 요구하지 않은데 기인하는 것으로 짐작된다(후속기억효과에서 내측두엽 활성화를 보고한 연구들은 흔히 고확신-정확재인 항목을 망각 항목과 비교함으로써(예, Wagner, 1998) 정확재인 항목들을 보다 세부적으로 구분하는 방법을 사용하였다.).

요약하면, 간격효과는 주의 통제와 의미적 처리의 차이에 기인하며, 그 신경적 기초는 좌반구 DLFC와 VLFC라고 할 수 있다. DLFC는 주의 자원의 배정과 관련된 주의 통제의 신경학적 기초이며, VLFC는 의미적 처리를 반영하는 신경학적 기초라고 할 수 있다. 결국 간격

효과는 집중 반복된 항목에 비해 간격을 두고 반복된 항목이 주의자원을 더 많이 배정받고 의미적 처리가 더 많이 이루어진데 기인한다고 볼 수 있다

## 참고문헌

- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Brewer, J. B., Zhao, Z., Desmonhd, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1998). Making memories: Brain activity that predicts how well visual experience will be remembered. *Science*, 281, 1185-1187.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B., & Gabrieli, J. D. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 3573-3578.
- Cameron, K. A., Yashar, S., Wilson, C. L., & Fried, I. (2001). Human hippocampal neurons predict how well word pairs will be remembered. *Neuron*, 30, 289-298.
- Challis, B. H. (1993). Spacing effects on cued-memory tests depend on level of processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 389-396.
- D'Esposito, M., Detre, J. A., 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.
- Demb, J. B., Desmond, J. E., Wagner, A. D., Vaidya, C. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity. *Journal of Neuroscience*, 7, 1-13.
- Dolan, R. J., & Fletcher, P. C. (1997). Dissociating prefrontal and hippocampal function in episodic memory encoding. *Nature*, 388, 582-585.
- Fernandez, G., & Tendolkar, I. (2001). Integrated brain activity in medial temporal and prefrontal areas predicts subsequent memory performance: Human declarative memory formation at the system level. [Review]. *Brain Research Bulletin*, 55, 1-9.
- Gabrieli, J. D., Poldrack, R. A., & Desmond, J. E. (1998). The role of left prefrontal cortex in language and memory. [Review]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 906-913.
- Greene, R. L. (1989). Spacing effects in memory: Evidence for a two-process account. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 371-377.
- Greene, R. L., & Stillwell, A. M. (1995). Effects of encoding variability and spacing on frequency discrimination. *Journal of Memory and Language*, 34, 486-476.
- Kopelman, M. D., Stevens, T. G., Foli, S., & Grasby, P. (1998). PET activation of the medial temporal lobe in learning. *Brain*, 121, 875-887.
- MacDonald III, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835-1838.
- Reber, P. J., Siwiec, R. M., Gittleman, D. R., Parrish, T. B., Marsel Mesulam, M., & Paller, K. A. (2002). Neural correlates of successful encoding identified using functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 22, 9541-9548.
- Russo, R., Mammarella, N., & Avons, S. E. (2002). Toward a unified account of spacing effects in explicit cued-memory tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 819-829.
- Russo, R., Parkin, A. J., Taylor, S. R., & Wilks, J. (1998). Revising current two-process accounts of spacing effects in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 161-172.
- Rypma, B., & D'Esposito, M. (2003). A subsequent-memory effect in dorsolateral prefrontal cortex. *Cognitive Brain Research*, 16, 162-166.
- Rypma, B., Prabhakaran, V., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gablieli, J. D. E. (1999). Load-dependent roles of frontal brain regions in the maintenance of working memory. *NeuroImage*, 9, 216-226.
- Scoville, W. R., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 20, 11-21.

- Shallice, T., Fletcher, P., Frith, C. D., Grasby, P., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1994). Brain regions associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory. *Nature*, 368, 633-635.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994a). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings. [Review]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91, 2016-2020.
- Tulving, E., Markowitsch, H. J., Kapur, S., Habib, R., & Houle, S. (1994b). Novelty encoding networks in the human brain: positron emission tomography data. *Neuroreport*, 5, 2525-2528.
- Vandenbergh, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O., Frackowiak, R. S. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 383, 254-256.
- Wagner, A. D., Schacter, D. L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A. M., Rosen, B. R., & Buckner, R. L. (1998). Building memories: Remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. *Science*, 281, 1188-1191.

1 차원고접수: 2005. 10. 8

2 차원고접수: 2005. 12. 6

최종제재승인: 2005. 12. 8