

## Difference of working memory according to academic achievement with college students; functional Magnetic Resonance Imaging

Jaeran Hong, Jungha Hwang, Eunjung Kim

*Dept. of Occupational therapy, Gwangyang Health college*

### 대학생의 학업성취도에 따른 시각적 작동 기억 차이; 기능적 자기공명영상법

홍재란, 황정하, 김은정

광양보건대학교 작업치료과

#### Abstract

It was well known that working memory highly related with academic achievement. The aim of this study was to investigate the differences of brain activation which visually evoked working memory(encoding and retrieval) through functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI) in Higher Academic Achievement Group(HAAG) and Lower Academic Achievement Group(LAAG) of college students.

20 assigned college students participated in fMRI studies. They underwent totally 210 seconds repeated paradigm. Stimulation paradigm composed with resting time and encoding and retrieval seeing the figures from the mirror with head coil. The brain activation maps and their quantification were analyzed by the statistical parametric mapping(SPM99) program from level of significance 95%.

HAAG was more significantly higher than LAAG in bilateral prefrontal lobe(brodmann 46) associated with working memory, inferior parietal lobe associated with attention, and visual association area in encoding figures test. Right dorsoprefrontal lobe(BA 44), right fusiform gyrus associated with decision of figure and, lingual gyrus were more activated in retrieval test with HAAG. On the other hand, LAAG was more significantly higher than HAAG in cingulate gyrus during encoding test. Thalamus, basal ganglia, cerebellum were more activated in retrieval test. Consequently, We could guess from these results HAAG more effectively executed than LAAG in visual working memory test.

Key words : functional magnetic resonance imaging, working memory, prefrontal lobe

#### 요약

작동 기억력은 학업성취도와 높은 상관을 보이는 요인으로 알려져 있다. 본 연구에서는 정상 대학생중 학업성취도 상위군과 하위군 학생들이 시각적 작동 기억의 부호화와 인출과제를 수행함에 있어 대뇌 활성화에 어떠한 차이가 있는지를 기능적 자기공명영상법을 이용하여 알아보려고 하였다.

실험에 동의한 20명의 대학생들을 학업성취도 상위군 10명과 하위군 10명으로 나눴다. 십자가를 응시하는 휴지기 와 도형을 기억하고 인출하는 활성화가 2번 반복되는 210초 프로토콜을 적용하였고, 유의수준 95%에서 두 군의 대뇌 활성화 차이를 알아보았다. 부호화의 경우 작동 기억을 담당하는 양측 배측 전전두엽(BA 46)과 주의력과 관련 있는 하두정엽과 시각 연합영역에서 상위군이 하위군에 비해 높은 활성화를 보였고, 인출의 경우 우측 배측 전전두엽(BA 44)과 모양의 판단과 관련 있는 우측 방추 상회와 실상회 등에서 우세를 보였다. 반면 하위군은 부호화의 경우 대상회에서 인출의 경우 시상과 기저핵 그리고 소뇌 등에서 상위군에 비해 높은 활성화를 보였다. 결론적으로 학업성취도 상위군이 부호화의 경우 작동 기억과 주의력에 관여하는 영역에서 인출의 경우 판단에 관련된 영역에서의 활성화가 높아 하위군에 비해 효과적인 작동 기억이 이루어짐을 알 수 있었다.

중심단어: 기능적 자기공명영상법, 전전두엽, 작동 기억

## I. 서론

기억이란 인간이 정보를 얻고, 저장하며, 활용하는 데 있어 매우 중요한 기능으로 기억 과정은 감각이 입력되는 것으로 시작된다. 인간은 외부로부터 감각이 입력되는 순간 얼마나 큰 관심을 갖느냐에 따라 환경에 선택적으로 주의를 기울인다. 감각 기억(sensory memory)은 반복에 의해서 정보가 유지되는 작동 기억(working memory)으로 이어진다. 작동 기억은 한번에 일정한 단위 수의 정보를 저장하고 처리할 수 있는 인지체제 구성요소이다<sup>[1]</sup>. 작동 기억으로부터 항목이 부호화(encoding)되면 장기 기억(long term memory)에 저장된다. 작동 기억은 정보처리과정에서 핵심적 역할을 수행하는 부분으로 정보가 일시적으로 저장되는 곳이란 점에서 단기 기억(short term memory)으로 불려졌으나, 새로운 정보를 처리하는 역할을 한다는 점이 강조되면서 작동 기억이라는 개념으로 연구되고 발전되고 있다<sup>[2-4]</sup>.

작동 기억에 관한 이론을 체계화한 Baddeley는 작동 기억을 인지 과제 수행에 필요한 정보를 일시적으로 저장하고 조작하는 기억 체계로 정의 하면서 작동 기억이 3가지 요소로 구성되어 있다고 주장하였다. Baddeley의 작동 기억이론에 의하면<sup>[5-14]</sup> 인간의 작동 기억을 언어적 작동 기억(phonological loop), 시·공간적 작동 기억(visuo-spatial sketchpad) 및 중앙집행장치(central executive)로 구분한다. 중앙집행장치는 주의의 할당, 정보 처리의 조절 및 통제에 관여하는 한편, 조음 회로와 시공간 작동 기억은 각각 언어적 정보와 시공간적 정보의 저장에 관여하는 것으로 알려져 있다. 이 중 시·공간 작동 기억은 그림, 사진, 애니메이션,

비디오 정보 등의 시각적·공간적 정보를 일시적으로 저장하여 처리하는 영역이다. 시·공간 작동 기억은 시각적 이미지를 일시적으로 기억하는 과제뿐만 아니라 텍스트를 읽고 시각적 이미지를 떠올릴 때<sup>[15]</sup>, 텍스트를 읽고 상황모형(situation model)을 구성할 때도<sup>[16]</sup> 작용하는 것으로 나타났다. 이러한 시·공간 작동 기억은 언어적 작동 기억과 마찬가지로 개인차가 있다.

작동 기억에 들어온 정보는 시각적, 청각적으로 부호화 되어 입력되다가, 후에는 언어 의미적 부호로 변화된다. 작동 기억은 구성요소별로 기억용량과 기억시간이 제한되어 있기 때문에 작동 기억에 들어온 정보는 자연적으로 약화되어 소멸되거나, 새로 들어오는 다른 정보에 의해 간섭(interference)을 받아 밀려서 탈락된다<sup>[1][8]</sup>.

요즘 일선 교육 현장에서 교수 학습법을 살펴보면 멀티미디어를 이용한 학습방법들이 점차 많아지고 있어 학생들의 시공간적 작동 기억 용량 차이가 학업성취도에 미치는 영향이 점차 커질 것으로 예상된다. 작동 기억과 학업성취도에 관한 연구를 살펴보면 작동 기억 용량이 높은 학생이 낮은 학생에 비해 학업성취도가 높다는 연구 결과들이 이를 뒷받침하고 있다<sup>[3]</sup>. 작동 기억 용량이 학업성취도에 미치는 영향에 관한 연구를 살펴보면 초등학생을 대상으로 중앙집행장치 작동 기억 용량이 높은 군이 낮은 군에 비해 수학 학업성취도가 높다는 연구결과가 있다<sup>[17]</sup>. 또한 대학생을 대상으로 시각적 작동 기억 용량의 차이가 학업성취도에 영향을 미친다는 연구 결과가 있는데<sup>[3]</sup> 이런 연구 결과들은 오로지 신경인지 검사를 통한 연구 결과들이고, 이를 정량·정성적으로 가시화 할 수 있는 뇌 영상연구 결과는 현재까지 전무한 실정이다.

인지능력을 측정하고 그 이상을 평가할 수 있는 도구로는 신경인지검사도구와 기능적 자기공명영상법과(functional magnetic resonance imaging: fMRI), 양전자단층촬영(positron emission tomography: PET)등과 같은 뇌영상 연구 도구들이 있는데, 최근 이와 같은 검사도구들을 이용하여 뇌 손상환자나 정신분열증환자 등에서 특정한 뇌 기능의 이상을 발견할 수 있게 되었다. 그러나 신경인지도구만을 가지고 어떤 부위에 어느 정도 이상이 있는지를 확인하는 데는 한계가 있다.

오늘날 뇌기능을 담당하는 대뇌 영역을 알기 위한 방법으로 수술 도중에 직접 대뇌피질을 자극하거나, 또는 Wada 검사 등을 통한 침습적인 방법이 있으나 이는 극히 제한된 방법이고 정상인을 대상으로 하기에는 어려움이 많다. 인간이 능동적인 신경활동을 수행할 때 뇌에서 일어나는 생리적 변화를 이용하여 비침습적으로 뇌기능 중추의 위치를 파악하고자 하는 연구 방법 중 가장 대표적인 것이 1990년 후반에 등장한 기능적 자기공명영상법(functional magnetic resonance imaging:fMRI)이다<sup>[18][19]</sup>.

기능적 자기공명영상법은 양전자방출단층촬영법(positron emission tomography: PET)등에 비하여 영상의 공간 분해능이 뛰어나고, 방사선 동위원소의 주입이 불필요하며, 따라서 반복검사가 가능하고, 또한 이미 널리 보급되어 있는 자기공명장치를 수월하게 이용할 수 있다는 장점 때문에 특히 선진국을 중심으로 기초연구가 활발하게 진행 중에 있다<sup>[20]</sup>. 기능적 자기공명영상법은 약물을 사용하지 않고 비침습적으로 대뇌피질을 정확히 국지화(localization)할 수 있는 유일한 방법으로서 수술도중에 시행하는 뇌기능의 평가와 정확히 일치한다고 학계에 보고되고 있다<sup>[19]</sup>.

기능적 자기공명 영상법이 임상분야에 도입되면서 초기에는 일차적인 시각피질(primary visual cortex) 및 운동피질(motor cortex)의 지도화에서 시작하여 최근에는 언어기능(language cortex)을 포함한 인지기능(cognitive function)에 관한 연구가 진행 중에 있다. 특히, 인지 분야에서는 정상인뿐만 아니라 뇌손상환자나 중추신경계 질환이 있는 환자를 대상으로 정상인과의 인지 능력의 차이를 비교한 연구 결과들이 발표되고 있으며, 그 중 정신분열증 환자들에서 작동 기억을 담당하는 전전두엽의 활성화가 정상인에 비해 떨어진다는

많은 연구결과 등이 있다<sup>[21]</sup>. 특히 정신분열증 환자는 언어적 작동 기억에는 정상군과 차이가 없으나 시각적 작동 기억력의 저하가 두드러진다는 보고가 있다<sup>[22]</sup>. 이러한 연구는 비록 환자군 이기는 하나 정상인에서는 특히, 학업성취도에 따라 어떠한 차이가 있는지 흥미로운 대목이다.

본 연구는 정상 대학생을 대상으로 학업성취도가 높은 군과 낮은 군을 대상으로 시각적 작동 기억 과제를 수행하게 하여, 두 군 간에 뇌 활성화 영상에서 어느 부위에 얼마만큼의 차이가 있는지를 알아보는데 그 목적이 있다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

2010년 3월부터 2010년 4월까지 G대학 3학년 학생들을 대상으로 하였고, 사전 설문에서 학업 장애요인이 학업성취도에 50%미만의 영향을 미친다고 응답한 학생 중 오른손잡이인 20명을 대상으로 하였다. 이들은 먼저 전반적인 인지능력과 운동능력에 이상이 없는지를 평가하기 위하여 전산화 신경인지검사 중 숫자 폭 검사(digit span test)와 손가락 두드리기 검사(Finger tapping test)를 통하여 정상군의 범위에 포함됨을 확인하였고, 두 군 간의 검사결과에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이들은 모두 신경과, 정신과적 병력, 약물남용, 인지 기능에 영향을 미칠 수 있는 내과 질환, 검사가 불가능할 정도의 시력 또는 청력손상 등에 이상이 없었다. 학업성취도를 기준으로 학업성취도 상위군 ( 학업 성취도 \ 평균 연령 \ 남 여 비 = 3.93±0.27\24.50±2.17\4:6) 10명과 학업성취도 하위군 ( 학업 성취도 \ 평균 연령 \ 남 여 비 = 2.75±0.32\24.10±2.08\6:4) 10명으로 구분하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 기능적 자기공명영상 획득

기능적 자기공명영상을 얻기 위해서 3.0T Forte MR Scanner(Isole technology, KOREA)와 표준 bird cage 형의 head coil을 사용하였다. BOLD 영상을 얻기 위해서

사용된 영상변수로는 TR(repetition time)/TE(time to echo)=3000/30 msec, 숙임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 22×22 cm, matrix 64×64, 절편두께 6 mm, NEX(number of excitation) 1, 절편수 25로 하였고, 이때 사용된 펄스는 경사예코 영상기법(gradient-echo echo planar imaging: GRE-EPI) 펄스파형이었다. EPI 영상이 평형기(equilibrium state)를 이루기 전의 높은 신호를 보정하기 위해 활성화 영상을 얻기 전에 9초(3 phase)의 모조영상(dummy scan)을 추가로 얻었으며, 분석에서는 제외하였다.

## 2.2 대뇌 피질의 활성화 방법

MR scanner를 통하여 대뇌피질을 활성화하기 위하여 beam projector를 이용하여 전산화신경인지검사(Computerized Neurocognitive Function Test)에서 시각제 인검사로 이용된 점과 선으로 구성된 도형 영상을 0.5 초(sec)단위로 동영상 파일로 편집하여 시각 자극으로 제시하였다. 이때 head coil에 부착된 거울을 통하여 반투명 스크린에 투영되는 영상을 보면서 대뇌피질의 활성화를 유도하였다. 기능적 자기공명영상법에서는 손을 움직일 수 없으므로 눈으로만 보고 검사를 수행할 수 있도록 사전에 숙지시켰다.

## 2.3 자극제시 방법

검은 바탕에 십자가를 응시하는 휴지기가 30초 간 제시되었고, 부호화(encoding)는 원과 사각형, 삼각형, 선, 점의 조합으로 이루어진 도형이 0.5초 동안 제시되었다가 사라지며 15개의 도형이 2초에 한 개씩 제시하였다. 바로 연결해서 제시된 도형과 유사하게 도안된 15개의 간섭도형과 함께 30개의 도형을 30초 동안 화면에 보여주며, 보았던 도형을 눈으로 찾게 하는 인출(retrieval)을 하게 하였다. 다시 30초의 휴지기를 준 후 이 과정을 한 번 더 반복하였다. 제시된 프로토콜은 총 210초 동안 70phase를 수행하게 하였다 (Fig. 1).

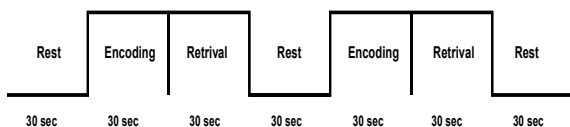


Fig. 1. This picture shows the sequential fMRI protocol consisting of resting, encoding, and retrieval stimulation

## 2.4 영상 후처리 및 분석방법

Fig. 1과 같은 프로토콜로 얻은 기초 MR영상들을 BOLD영상으로 만들기 위해 Matlab 기반에서 운용되는 fMRI분석 소프트웨어인 SPM99 프로그램(statistical parametric mapping99, The Wellcome Department of Cognitive Neurology, University College London, UK)을 이용하였다. 실험 중에 발생하는 움직임에 의한 오류를 보정하고 표준화된 영상을 얻기 위하여 움직임 보정(motion correction)과 재정렬(realignment) 과정을 거친 후, Talairach space 상에서 global normalization을 하였고 다시 신호대잡음비(signal to noise ration: SNR)를 높이기 위해 Gaussian filter를 이용한 smoothing을 하였다. 시간 순서에 따라 휴지기와 활성기의 design matrix를 만들고, 이를 휴지기와 활성기의 영상들의 화소(pixel) 단위로 t-test를 시행하였다. 각 과제별로 유의수준(P<0.05)을 기준으로 하여 활성화 지도(activation map)를 얻은 후 표준화된 T1 강조영상에 중첩하여 최종적인 기능적 자기공명영상을 얻었다. 이때, 활성화된 영역의 해부학적인 위치를 정하기 위해 MRIcro 1.39프로그램을 활용하였다.

## 3. 통계분석

그룹 내 분석은 학업성취도 상위군과 하위군의 부호화와 인출로 나누어 휴지기에 비해 활성화된 뇌 영역을 일표본 t-검정(One sample t-test)을 통해 유의수준 95%로 실시하였다. 이때 50 voxel이하 활성화는 제거하였다. 두 군의 과제별 활성화 차이를 보기 위한 그룹 간 분석은 부호화와 인출의 개인별 활성화 결과들을 독립표본 t-검정(2 sample t-test)을 실시하였고, 두 군 간에 유의한 차이가 있는 대뇌 활성화 영상을 얻었다. 이때 유의수준은 95%로 하였고, 50 voxel이하 활성화는 제거하였다.

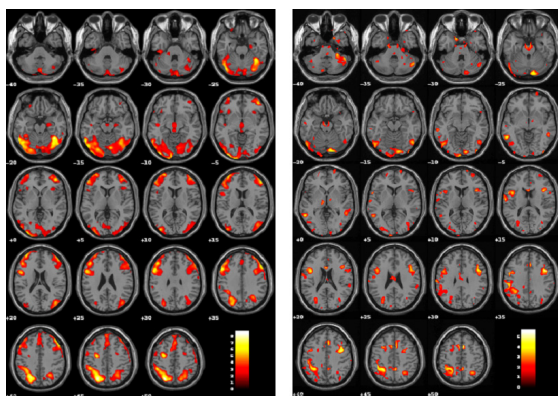
## Ⅲ. 결과

### 1. 그룹 내 분석

부호화의 경우 학업성취도 상위군에서 활성화된 영

역은 양측 전전두엽(prefrontal lobe)과 좌측 중심전회(precentral gyrus, Brodmann Area, 6) 좌측 부운동영역(supplementary motor area, 6), 양측 중전두회(middle frontal gyrus, 46, 44), 양측 하전두회(inferior frontal gyrus, 45) 등 이었고, 두정엽은 좌측 상두 정회(superior parietal gyrus, 7)에서 강한 활성화를 보였고, 후두엽은 양측 중후두회(middle occipital gyrus, 39, 19) 양측 하후두회(inferior occipital gyrus, 19), 방추 상회(fusiform gyrus, 19)등에서 활성화가 나타났다(Fig. 2(a)). 학업성취도 하위군의 경우에도 대체로 상위군과 비슷한 영역에서 활성화가 관찰되었으나 신호강도나 활성화 범위가 상위군에 비해 크게 떨어져 있었다(Fig. 2(b)).

인출의 경우 학업성취도 상위군에서는 양측 전전두엽, 두정엽 그리고 광범위한 후두 영역에서 활성화를 관찰할 수 있었다(Fig. 3(a)). 하위군의 경우 역시 두정엽, 후두엽에서 상위군에 비해 약한 활성화가 관찰되었으나 그 영역에는 큰 차이가 없었다. 그러나 전전두엽의 BA 46번의 경우 우측 활성화만을 보였고, 상위군에서는 관찰되지 않았던 대상회(cingulate gyrus, 32)의 활성화가 관찰되었다(Fig. 3(b)).



(a) HAAG (b) LAAG

Fig. 2. Differential brain activation patterns between HAAG(a) and LAAG(b) in visually evoked encoding fMRI study( $p < 0.05$ )

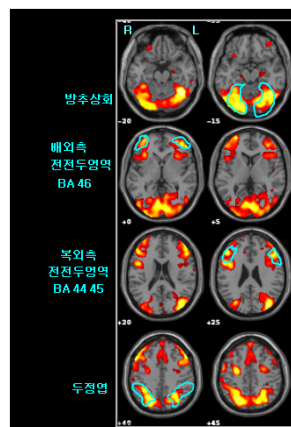
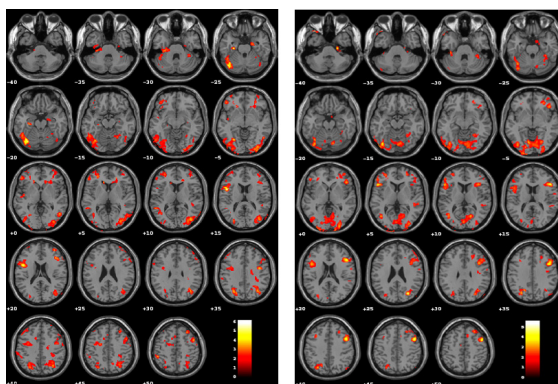


Fig. 3. HAAG were more activated in fusiform gyrus, prefrontal area, dorsolateral prefrontal area, inferior parietal lobe in visually evoked retrieval fMRI study( $p < 0.05$ )



(a) Encoding (b) Retrieval

Fig. 4. Brain activation areas which HAAG more activated than LAAG in encoding(a) and retrieval(b) fMRI study( $p < 0.05$ )

## 2. 그룹 간 분석

학업성취도 상위군과 하위군의 비교에서 활성도가 높은 영역을 부호화와 인출로 구분하여 해부학적 영역과 브로드만 영역, 그리고 x,y,z축으로 나타난 MNI 좌표와 t값을 Table 1, 2에서 나타내었다.

학업성취도 상위군과 하위군의 활성화 비교를 보면 부호화의 경우 전두엽의 부 운동영역(6), 전전두 영역 중 중전두엽과 하전두엽으로 나타났다. 특히 좌측 하전두엽과 뇌섬엽(insula)이 만나는 부분의 활성도가 가장 높게 나타났다. 그러나 전두엽의 가장 앞 부분인

상전두엽(BA 10)에서는 하위군에서 높은 활성화를 보였고, BA 46번의 경우 상위군의 우측에서 더 높은 활성화를 보인 것으로 나타났다. 두정엽의 경우 상두정회(7)와 하두정회(inferior parietal gyrus,40)에서는 상위군에서 높았으나 각회(angular gyrus)의 경우 모두 하위군에서 높은 활성화를 보였다. 후두엽의 경우 주로 중후두회(19)와 하후두회(19)를 포함한 시각 연합영역을 중심으로 상위군의 활성도가 높았으나 전체적으로 우측 반구가 우세한 활성을 보였다. 그 밖에 대상회(23)와 시상(thalamus) 등에서는 하위군에서 더 높은 활성을 나타내었다(Fig. 4(a)).

인출의 경우 상위군이 우측 중전두회 BA 46번보다 주변의 하전두회의 판개부(opercular part, BA 44), 삼각부(triangular part, BA 45)에서 더 높은 활성화 우위를 보이고 있다. 후두엽의 경우 우측 설상회(lingual gyrus, BA18), 방추 상회(BA 19) 등에서 더 높은 활성화 우위를 보였다. 그러나 대상회(BA 10), 해마(hippocampus, BA27), 기저핵과 양측 방추상이랑(supramarginal gyrus, BA 48)등에서는 하위군에서 높은 활성을 보였다(Fig. 4(b)).

Table 1. Anatomical areas and T-score from the encoding fMRI study between HAAG and LAAG

| Anatomical Area          | BA | side | HAAG>LAAG |     |    |      | LAAG>HAAG |    |   |      |  |
|--------------------------|----|------|-----------|-----|----|------|-----------|----|---|------|--|
|                          |    |      | X         | Y   | Z  | T    | X         | Y  | Z | T    |  |
| Supplementary Motor Area | 6  | R    | 10        | 14  | 64 | 3.91 |           |    |   |      |  |
| Middle Frontal Gyrus     | 6  | R    | 46        | 8   | 54 | 3.93 |           |    |   |      |  |
|                          | 46 | R    | 13        | 7   | 21 | 3.57 |           |    |   |      |  |
|                          | 46 | L    | -41       | 53  | 8  | 2.75 |           |    |   |      |  |
|                          | 47 | L    | -27       | 46  | 7  | 2.98 |           |    |   |      |  |
| Precentral Gyrus         | 6  | R    | 42        | -2  | 37 | 3.69 |           |    |   |      |  |
| Inferior Frontal Gyrus   | 44 | L    | -44       | 8   | 21 | 4.32 |           |    |   |      |  |
|                          | 6  | L    | -46       | 6   | 18 | 5.70 |           |    |   |      |  |
| Superior Frontal Gyrus   | 10 | R    |           |     |    |      | 8         | 59 | 8 | 5.00 |  |
| Superior Parietal Gyrus  | 7  | R    | 30        | -62 | 47 | 2.88 |           |    |   |      |  |

|                          |    |   |     |     |     |      |     |     |     |      |  |
|--------------------------|----|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|--|
| Inferior Parietal Gyrus  | 40 | L | -47 | -39 | 52  | 3.46 |     |     |     |      |  |
| Angular Gyrus            | 40 | R |     |     |     |      | 62  | -49 | 28  | 4.35 |  |
|                          | 39 | L |     |     |     |      | -45 | -74 | 28  | 4.11 |  |
| Middle Occipital Gyrus   | 19 | R | 36  | -67 | 36  | 3.96 |     |     |     |      |  |
| Inferior Occipital Gyrus | 19 | L | -27 | -67 | 34  | 3.87 |     |     |     |      |  |
|                          | 19 | R | 40  | -78 | 9   | 3.49 |     |     |     |      |  |
| Inferior Occipital Gyrus | 19 | R | 36  | -87 | 5   | 3.40 |     |     |     |      |  |
| Middle Temporal Gyrus    | 37 | R | 52  | -63 | 2   | 3.59 |     |     |     |      |  |
| Fusiform Gyrus           | 19 | L | -26 | -67 | -6  | 3.59 |     |     |     |      |  |
|                          | 19 | L | -36 | -69 | -17 | 4.41 |     |     |     |      |  |
| Parahippocampal Gyrus    | 30 | L | -28 | -22 | -25 | 4.47 |     |     |     |      |  |
| Cingulate Gyrus          | 23 | L |     |     |     |      | -2  | -11 | 35  | 5.05 |  |
| Precuneus                | 23 | R |     |     |     |      | 14  | -51 | 27  | 3.61 |  |
| Thalamus                 |    | L |     |     |     |      | 0   | -2  | -97 | 3.89 |  |

HAAG (Higher Academic Achievement Group),

LAAG (Lower Academic Achievement Group),

BA (brodmann area), t (t-score)

Table 2. Anatomical areas and T-score from the retrieval fMRI study between HAAG and LAAG

| Anatomical Area          | BA | side | HAAG>LAAG |     |    |      | LAAG>HAAG |    |    |      |  |
|--------------------------|----|------|-----------|-----|----|------|-----------|----|----|------|--|
|                          |    |      | X         | Y   | Z  | t    | X         | Y  | Z  | t    |  |
| Supplementary Motor Area | 6  | R    | 2         | 11  | 62 | 3.96 |           |    |    |      |  |
| Precentral Gyrus         | 9  | R    | 88        | -58 | 47 | 4.67 |           |    |    |      |  |
| Inferior Frontal Gyrus   | 44 | R    | 46        | 16  | 34 | 3.65 |           |    |    |      |  |
|                          | 45 | R    | 90        | -9  | 18 | 4.66 |           |    |    |      |  |
|                          | 45 | L    | 90        | -72 | 8  | 4.92 |           |    |    |      |  |
|                          | 45 | L    | -49       | 23  | 8  | 4.28 |           |    |    |      |  |
| Middle Frontal Gyrus     | 46 | R    | 41        | 53  | 0  | 2.48 |           |    |    |      |  |
|                          | 10 | L    | -29       | 50  | 6  | 2.64 |           |    |    |      |  |
| Superior Frontal Gyrus   | 10 | L    |           |     |    |      | -9        | 60 | 29 | 3.36 |  |
| Orbito-frontal Gyrus     | 47 | R    | 44        | 30  | -4 | 2.88 |           |    |    |      |  |
| Inferior Parietal Gyrus  | 7  | L    | -28       | -70 | 43 | 3.14 |           |    |    |      |  |

|                          |    |   |     |     |     |      |     |     |      |
|--------------------------|----|---|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
| Middle Occipital Gyrus   | 19 | R | 30  | -72 | 26  | 5.37 |     |     |      |
|                          | 37 | L | -40 | -67 | 8   | 3.53 |     |     |      |
| Inferior Occipital Gyrus | 19 | L | -35 | -81 | -6  | 3.26 |     |     |      |
| Calcarine Fissure        | 17 | R | 18  | -67 | 9   | 2.89 |     |     |      |
| Lingual Gyrus            | 18 | R | 10  | -81 | -6  | 3.04 |     |     |      |
|                          | 18 | L | -9  | -71 | -6  | 3.30 |     |     |      |
| Fusiform Gyrus           | 9  | R | 26  | -72 | -6  | 2.86 |     |     |      |
|                          | 19 | L | -37 | -78 | -16 | 3.68 |     |     |      |
| Anterior Cingulate Gyrus | 10 | R |     |     |     |      | 3   | 46  | 4    |
|                          |    |   |     |     |     |      |     |     | 2.95 |
| Hippocampus              | 27 | R |     |     |     |      | 18  | -33 | 6    |
|                          | 27 | L |     |     |     |      | -17 | -35 | 4    |
|                          |    |   |     |     |     |      |     |     | 2.73 |
| Putamen                  | 48 | L |     |     |     |      | -28 | 5   | -2   |
|                          |    |   |     |     |     |      |     |     | 3.06 |
| Insula                   | 48 | L |     |     |     |      | -46 | 6   | 2    |
|                          |    |   |     |     |     |      |     |     | 2.98 |
| Supra Marginal Gyrus     | 48 | L |     |     |     |      | -66 | -28 | 22   |
|                          | 48 | R |     |     |     |      | 65  | 18  | 23   |
|                          |    |   |     |     |     |      |     |     | 2.79 |

HAAG (Higher Academic Achievement Group),  
LAAG (Lower Academic Achievement Group),  
BA (brodmann area), *t* (*t*-score)

#### IV. 고찰 및 결론

작동 기억 처리과정 중 조작, 통합, 실행 기능의 조절에 관여한다고 알려진 전전두엽(BA 46)의 활성화 수준을 먼저 살펴보면, 개인별 활성화 결과에서 학업성취도 하위군의 경우에도 BA 46번 영역의 활성화가 관찰되기는 하나 대체로 상위군에 비해 활성화가 약하였다. 그룹 간 분석결과에서는 그 차이가 뚜렷이 나타나는데 상위군이 하위군에 비해 우측 BA 46번영역의 활성화가 부호화와 인출 모두에서 우세한 것으로 나타났다. 특히 부호화에서 활성화 차이가 더 크게 나타났고, 상대적으로 인출에서는 오히려 BA 44영역의 활성화 차이가 더 크게 나타났다. 이와 같이 부호화와 인출에서 전전두엽 부위의 다른 활성화양상을 보이는 것은 Tulving 등이 제시한 부호화와 인출시의 전전두엽의 각기 다른 기능 수행에 관한 이론과 일치하는 부분이다<sup>[23]</sup>. 또한, PET과 fMRI를 이용한 작동 기억의 부호화와 인출 연구에서 활성화된 배측 전전두엽(dorsal lateral prefrontal cortex)이 본 연구에서 활성화된 BA 44, 45, 46번 영역과 일치하는 것을 알 수 있었다. 시공간 자극에서 전두엽의 경우 우반구 우세가 나타

난 본 연구 결과 역시 기존 연구결과와도 일치한다 할 수 있다<sup>[22]</sup>.

두정엽의 경우 부호화에서는 좌측 하두정회의 활성화와 우측 각회 그리고 후두엽의 상부까지에서 상위군이 높은 활성화를 보였고, 인출의 경우는 두 군 간에 유의한 차이를 보이는 영역은 없었다. 이는 부호화 과정에서 감각 기억에 저장된 정보에 대한 선택적 주의력이 학업성취도 상위군이 하위군에 비해 높다고 볼 수 있다. 부호화에서 나타난 학업성취도 상위군의 두정엽과 후두엽의 활성화 우세는 Sperling 등에 의한 정상 대조군과 경미한 치매 군과의 부호화 연구결과와도 일치한다<sup>[24]</sup>.

후두엽의 경우 부호화에서는 상위군이 양측의 BA 18, 19번 영역이 광범위한 활성화를 보였는데 반해, 인출의 경우는 방추 상회와 설상회에서 높은 활성화를 보였다. 뇌 영상 연구에서 후두엽의 활성화는 자극과제와 대조과제 즉 휴지기의 단순한 십자가 응시와 흰색 바탕의 복잡한 도형 사이의 시각 정보량 차이에 의한 것으로 해석할 수 있으나 이는 두 군간의 비교에서 공통으로 배제될 수 있는 부분이다. 학업성취도 상위군이 부호화 과정에서 시각 연합영역의 활성화가 높게 나타난 것은 점과 선으로 이루어진 도형을 다른 정보로 바꾸기 위한 과정에서 시각 연합 피질의 활동이 더 활발했을 것으로 기존의 Iidaka와 Pihlajamaki의 연구결과 등을 통해 추측할 수 있다<sup>[25][26]</sup>. 반면, 인출시 방추 상회와 설상회에서 높은 활성화를 보인 것은 기존의 작동 기억의 인출 시 Liu의 연구<sup>[27]</sup>에서 방추 상회의 활성화가 나타난 결과와 일치하는데 이는 부호화 하였던 정보를 인출하는 과정에서 옳고 그름을 판단하는 기능과 연관이 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 제시된 과제 수행을 정보처리모형(information processing model)을 이용하여 해석해 보면 외부로부터 주어진 자극은 감각 수용기를 통해 감각 기억에 일시 보관되고, 다시 일시 보관된 정보 자극은 주의(attention)와 시연(rehearsal)과 같은 활동을 통해 작동(단기)기억에서 의미화 과정을 거치게 되는데, 기존 지식 기반과 관련해 의미 있게 처리된 정보는 장기 기억에 보관되는 과정을 거치게 된다<sup>[4]</sup>.

본 연구에 참여한 대학생들의 경우 학업성취도 상

위군과 하위군 모두 외부자극을 받아들이고 감각 수용기에 도달하는 과정에는 차이가 없다고 본다. 다음으로 감각 기억에 저장된 정보가 작동 기억으로 넘어가는 과정에서 주의를 집중하여야 하는데 여기에 관련된 영역이 두정엽과 시각 연합영역이다. 그 다음 과정은 작동 기억에서 새로운 정보를 효과적으로 처리하기 위한 인지전략의 활용, 즉 메타인지 규제가 관련<sup>[28]</sup>되는데 이러한 인지전략을 사용하였을 때나, 혹은 기존의 장기 기억에 저장된 지식을 활용하였을 때 보다 효과적인 장기 기억으로의 저장이 가능하다. 본 연구에서 제시된 자극은 기존 지식과는 연관이 없으므로 인지전략의 사용 유무가 중요한데 본 실험에 참가한 학생의 실험 후 설문에서 이러한 인지전략을 사용한 학생과 그렇지 않은 학생이 상위군과 하위군에 고루 분포되어있어 본 연구 결과에서는 두 군의 활성화 차이가 이러한 인지전략의 차이와는 관계가 없는 것으로 보인다. 향후 이와 같은 인지전략의 사용 유무에 따른 대뇌 활성화 차이에 대한 연구가 이루어져야 할 필요가 있다.

본 연구 결과는 정상 대학생을 대상으로 학업성취도에 따라 시각적 작동 기억에 차이가 있는지를 뇌기능 영상기법을 이용하여 밝히고자 한 실험적인 연구이다. 따라서 본 연구 결과에 대해서는 몇 가지 확인이 필요한데 첫째, 본 연구의 가설과 일치하는 원인으로 전반적인 인지에는 큰 문제가 없는 정상 대학생들에서도 학업성취도의 차이를 보이는 두 군은 작동 기억에 유의한 차이를 보인다고 생각할 수 있다. 둘째, 본 연구에서 실시한 시각적 작동 기억 과제가 작동 기억을 담당하는 BA 46번 영역을 상당히 자극한다고 할 수 있다. 셋째, 작동 기억에 큰 차이를 보일 만큼 대상군 선정에 문제가 있지 않았는지 의문을 가져볼 수 있다. 먼저 세 번째의 대상군 선정의 문제점은 학업성취도에 영향을 줄 수 있는 여러 요인을 설문을 통해 배제하였으며, 전반적 인지능력이 정상군 범위에 속하는지를 검증하여 두 군 간에 유의한 차이가 없었다. 따라서 대상군 선정에 문제가 없다는 가정 하에 두 번째 제시된 시각적 작동 기억 과제에 관해 살펴보면 전산화신경인지검사로서 시각 재인검사로 이용되는 점과 선으로 이루어진 도형을 30초간 15개를 제시하여 부호화하게 하였고, 다시 30초간 15개의 간섭 도형이 섞인

30개 도형 중 제시된 도형 15개를 고르게 하는 자극이 제시되었다. 자극 제시의 시간과 부하가 도형을 10개 이상 기억하기 어려운 적당한 수준의 과제였으며, 두 번의 반복으로 이를 모두 기억하기란 쉽지 않기 때문에 시각적 작동 기억을 평가하는데 문제가 없었다. 또한 자극 제시 시간과 대뇌 활성화 강도를 살펴볼 때 fMRI를 이용한 시각적 작동 기억 검사에 주로 이용되는 n-back test나 visual span test의 경우 1-2초 미만의 짧은 자극 제시 시간동안 뇌 활성화를 보는 event-related 기법인데 반하여 본 연구에서 이용한 자극의 경우 부호화와 인출을 30초씩 제시하는 block design 패러다임 기법을 선택하여 기존의 연구 결과에 비해 더 높은 대뇌 활성화를 기대할 수 있다. 이상의 문제점들이 통제된 상황에서 본 연구 가설에서 제시한 것과 같이 배측 전전두엽 영역의 활성화 차이는 정상 대학생의 학업성취도의 차이에 따른 작동 기억의 차이를 나타내는 결과라 할 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 시각적 작동 기억 자극이 제시되는 동안 피검자가 몇 개의 정답을 어느 정도 정확히 맞추는지 확인이 불가능하였다는 점이다. 기능적 자기공명영상을 획득하는 동안 기술적으로 피검자가 손을 움직여 정답을 표시할 수 있는 시스템이 갖추어지지 않았고, 또한 시스템이 갖추어진다고 하더라도 손의 움직임과 관련된 대뇌 활성화가 강하게 나타나 관찰하고자 했던 영역의 활성화에 영향을 미칠 수 있는 문제점을 안고 있다. 향후, 실제 fMRI검사 중에 작동 기억용량과 대뇌 활성화를 동시에 측정할 수 있는 방법의 모색이 필요하다.

본 연구를 통하여 얻은 결론은 학업성취도 상위군이 하위군에 비해 부호화과정에서는 주의력과 관련된 있는 두정엽, 작동 기억이 이루어지는 배측 전전두엽에서 활성화 우세를 보였고, 인출과정에서는 우측 전전두엽과 사물의 판단과정의 시발이 되는 후두엽의 방추 상회와 설상회에서 높은 활성화를 보였다. 본 연구의 의의를 살펴보면 학업성취도에 차이에 따른 시각적 작동 기억능력의 차이를 뇌기능 영상을 이용하여 시각화하였고 향후 교육공학적 측면에서 이러한 결과를 의미 있게 이용할 수 있을 것으로 생각한다. 향후 전산화 신경인지도구를 이용한 작동 기억과 대뇌 활성화의 연관성에 관한 연구가 필요하며, 나아가



서는 보다 통제된 동일 집단 내에서 규제 요구 유·무에 따른 대뇌 활성화의 차이에 관한 연구가 수행된다면 작동 기억 기제에 관한 심도 있는 이해가 가능할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] Baddeley, A. Working memory. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA, MITpress; pp.755-764, 1995.
- [2] 김희수, 엄시창, Schller T. 계열적 텍스트 학습에서 사전지식, 작동 기억 및 텍스트 유형이 학습성취도에 미치는 효과. *교육정보방송연구*, Vol. 7, No. 4, pp.5-31. 2001.
- [3] 김희수. 하이퍼텍스트에서 탐색도구들의 작동 기억 부하량과 부하량 감소에 대한 상대적 효과. *교육정보방송연구*, Vol.8, No.3, pp.189-218. 2002.
- [4] 김동일. 학습장애 아동의 이해와 교육. 학지사; 2003.
- [5] Baddeley, A. Working memory. New York: Oxford University Press.1986.
- [6] Baddeley, A. Is Working memory working? The fifteenth Bartlett lecture. *The Quarterly J. of Experimental Psychology*, Vol. 44, No. 1, pp.1-31.1992.
- [7] Baddeley, A. The magic number seven: still magic after all these years? *Psychological Review*. Vol. 101, No .2 .pp.53-356.1994.
- [8] Baddeley, A. Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 8, pp.5-28, 1996.
- [9] Baddeley, A. Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 234-238.1998.
- [10] Baddeley, A. The episodic buffer. a new component of working memory. *Trends Cognitive Science*, Vol. 4, No. 11, pp.417-423. 2000.
- [11] Baddeley, A., & G. J. In G. H.Bower (Ed.). *The Psychology of Learning and Motivation* (vol. 8). New York. Academic Press. 1974.
- [12] Baddeley, A., & G. J. hitch Development working memory. Should the Pascual-Leone and Baddeley and Hitch models be merged? *J. of Experimental Child Psychology*. Vol. 77, pp.128-137.2000.
- [13] Duff, S. What's working in working memory . A role of the central executive. *Scandinavian J. of Psychology*, Vol. 41, pp.9-16, 2000.
- [14] Logie, R. H. Visuo-spatial processing in working memory. *The Quarterly J. of Experimental Psychology*, 38A, pp.29-247, 1986.
- [15] Quinn, G., & McConnell, J. Irrelevant pictures in visual working memory. *Quarterly J. of Experimental Psychology*, Vol. 49, No. A, pp.200-215. 1996.
- [16] Fincher-Kiefer, R. Perceptual components of situation models. *Memory & Cognition*. Vol. 29, No. 2, pp.336-343, 2001.
- [17] 윤미애. 독해력, 고등사고력 및 작동 기억에 따른 수학 학습성취도의 차이. 전남대학교 대학원 석사학위 논문.2006.
- [18] Ogawa S, Lee TM. Magnetic resonance imaging of blood vessels at high field, in vivo and in vitro measurements and image simulation. *Magn Reson Med*, Vol. 16, pp.9-18, 1990.
- [19] Jack CR, Thompson RM, Butts RK, et al..Sensory motor cortex, correlation of presurgical mapping with functional MR imaging and invasive cortical mapping. *Radiology*, pp.85-92, 1994.
- [20] Koutstaal, W., Schacter, D. L., Galluccio, L., & Stofer, KA. Reducing gist-based false recognition in older adults, Encoding and retrieval manipulations. *Psychology and Aging*.. Vol .14, pp.220-237.1999.
- [21] Woods R. P., Cherry S. R., & Mazziotta J. C. Rapid automated algorithm for aligning and reslicing PET images. *Journal of Computer Assisted Tomography*, Vol. 16, pp.620-633, 1992.
- [22] 주라형, 최보영, 서태석, 기능적 자기공명영상을 이용한 단기 기억 뇌기능 매핑 연구. *의학물리*, Vol. 16, No. 1, pp.32-38, 2005.
- [23] Tulving E, Kapur S, Craik FI, Moscovitch M, Houle S..Hemispheric encoding/ retrieval asym-metry in episodic memory, positron emission tomography findings. *Proc Natl Acad Sci USA*, Vol.I. 91, pp.2016-20, 1994.
- [24] Sperling RA, Bates JF, Chua EF, Cocchiarella AJ, Rentz DM, BR, Schacter DL, Albert MS fMRI studies of associative encoding in young and elderly controls and mild Alzheimer's disease. *Neurol Neurosurg Psychiatry*, Vol. 74, No. 1, pp.44-50, 2003.
- [25] Iidaka T, Sadato N, Yamada H, Murata T, Omori M, Yonekura Y An fMRI study of the functional neuroanatomy of picture encoding in younger and older adults. *Brain Res Cogn Brain Res*, Vol. 11, No. 1, pp.1-11, 2001.
- [26] Pihlajamaki M, Tanila H, Hanninen T, Kononen M, Mikkonen M, Jalkanen V, Partanen K, Aronen HJ, Soininen H Encoding of novel picture pairs activates the perirhinal cortex: an fMRI study. *Hippocampus*, Vol. 13, No. 1, pp.67-80, 2003.
- [27] Liu LC, Plomp G, van Leeuwen C, Ioannides AA Neural correlates of priming on occluded figure interpretation in human

fusiform cortex. Neuroscience, Vol. 141, No. 3, pp.1585-97, 2006.

- [28] 진화봉, 리순아, 김희수. 메타인지적 지식과 작동 기억이 메타인지적 규제 요구 과제의 성취에 미치는 영향. 교육정보방송연구, Vol9, No.3, pp119-148. 2003.