

## 작업기억과 수학학습 수행과의 관계

김 억 곤\*      최 경 숙  
성균관대학교 아동학과

본 연구는 수 연산과 도형 부문에서 문제 해결력이 떨어지는 아동들의 낮은 수행이 작업기억의 하부 영역과 갖는 관련성을 알아보려고 하였다. 이를 위해서 137명의 아동을 대상으로 작업 기억의 하부 영역(음성영역, 시공간 영역)과 수학학습의 수 연산, 도형 영역과의 관계를 분석하였다. 실험은 음성 고리 수행별 3 집단, 시공간 수행별 3 집단 각각을 대상으로 수 연산과 도형 부문에서 성취한 수행을 분석하였다. 음성 고리 폭의 측정은 음성으로 제시되는 8단계의 연산식을 사용하였고 각 단계는 3가지 형태(쉬운 항목, 어려운 항목, 매우 어려운 항목)로 구성 되었다. 시공간 폭의 측정은 단계가 올라갈수록 기억해야 할 내용이 커지는 회상 과제, 연속적으로 제시되는 일정한 크기의 작은 직사각형의 점멸을 회상하는 과제였다. 본 실험의 결과를 살펴보면, 작업기억의 음성 고리 영역은 수 연산 영역과 밀접한 관련이 있었으며 시공간 영역은 도형 영역과 통계적으로 유의미한 결과가 도출되었다. 이러한 결과는 수학학습의 낮은 수행이 작업기억의 하부 영역 수행과 관련되어 있음을 밝히고 있다.

주요어 : 작업기억, 음성 고리, 시공간 패드, 수 연산, 도형

수학학습의 어려움에 대한 원인을 밝히고자 하는 많은 연구들이 작업기억과 관련되어 이루어져 왔다(Siegel & Ryan, 1989; Geary & Brown, 1991; Geary, Brown, & Smaranayake, 1991; Hitch & McAuley, 1991; Bull & Johnston, 1997). 그 결과 작업기억이 수학 문제해결 과정에서 중요한 역할을 한다는 것이 입증되었다(Hitch & McAuley, 1991; Swanson, 1993). 비록 수학적으로 무능력한 어린이

들이 문제풀이 과정에 관한 지식의 인출이나 문제 해결 전략선택에서 어려움이 있을 수 있으나 문제풀이 과정에서 생길 수 있는 작업기억 부하량을 줄이지 못하는 것도 낮은 문제 수행의 원인이 될 수 있음을 밝히고 있다(Geary, 1993).

Baddeley와 Hitch(1974)가 제안한 작업기억의 다 구성요소 모델에 의하면 작업기억은 언어기반 정보의 저장과 시연을 담당하는 음성 고리 영역

\* 교신저자: 김억곤, E-mail: nandadevi@daum.net

(phonological loop), 시공간 자료의 유지를 담당하는 시공간 영역(visuo spatial pad)으로 구성되어 있다. 음성 고리 영역은 연산 과제 측정을 통하여 이루어지고 시공간 영역은 위치에 대한 시공간적 지식을 필요로 하는 과제로 각각 특화된 역할을 하고 있는 것으로 밝혀졌다(Baddeley, 1986). 그러나 이러한 작업기억 모형에서 이들 하부 요소들 간의 상호관련성에 대한 부분은 제시되지 않았는데 그 이유는 작업기억의 하부영역들의 독립성을 인정했기 때문이다. 작업기억은 정보를 일시적으로 저장할 뿐만 아니라 처리도 하기 때문에 일종의 제한된 작업공간이며 한 하위체계가 다루는 입력은 음성적, 시각적, 공간적으로 다양하나 이 다양한 입력이 한 체계에서 함께 단독으로 처리되지 않는다는 것이다.

이와 같은 작업기억 하부 영역 수행 결함들이 수학학습 특정 영역의 수행에 다르게 작용할 수 있다는 것이 Siegel과 Ryan(1989)의 음성 고리 영역의 연구에 의해서 대두되었다. 이들의 연구는 7세, 9세, 11세 연령에서 독해에 어려움을 가진 어린이 집단, 수학에 어려움을 가진 어린이 집단을 대상으로 문장과제, 연산과제를 제시하여 작업기억 수행을 비교하였다. 연구 결과, 모든 연령에서 수학적 어려움을 가진 어린이 집단과 어려움이 없는 집단간에 문장 과제 수행에는 차이가 없었으나 연산 과제에서는 수학적 어려움을 가진 집단이 어려움이 없는 집단보다 모든 연령대에서 낮은 문제 수행을 보였다. 또 수학에 어려움을 가진 어린이 집단과 독해에 어려움을 가진 집단을 비교했을 때 문장과제에서의 수행에서는 독해에 어려움을 가진 집단이나 수학에 어려움을 가진 집단의 작업기억 수행에 차이가 없었으나 연산과제에서는 수학에 어려움을 가진 어린이 독해에 어려움을 나타내는 집단의 어린이들보다 비언어적 작업기억 수행이 낮아 수학학습과 작업기억의 음성 고리와의 관련성을 제기하였다.

한편 시공간 영역에 있어서의 연구는 Hitch와 McAuley(1991)에 의해서 이루어졌다. 이들은 7세에서 12세에 이르는 어린이를 대상으로 수학 학습 전체 영역에 어려움을 느끼는 집단과 어려움을 보이지 않는 통제 집단을 비교하였다. 이들은 방향의 연속성을 기억할 수 있는 과제와 카드의 공간적 구조를 기억해야 하는 시공간 과제로 작업기억의 시공간 영역의 수행 정도를 측정해 본 결과 수학학습 전체에 어려움을 느끼는 집단이 어려움을 느끼지 않는 통제 집단보다 낮은 수행을 보였다. 이와 같은 결과는 수학학습 전체 영역에서 낮은 수행을 보이면 작업기억의 시공간 영역에서도 낮은 수행을 보인다는 것이다(Hitch & McAuley, 1991).

Swanson(1993)은 이전의 연구(Hitch & McAuley, 1991)에서와는 다른 과제로 작업기억의 시공간 영역을 측정하여 수학학습 전체 영역에 어려움을 느끼는 집단과 어려움을 보이지 않는 통제집단을 비교하였다. 그 결과 수학에 어려움을 느끼는 어린이 집단은 시각적 연속성을 기억하는 과제와 순서에 따라 증가하는 모양의 연속성을 기억하는 과제에서 수행이 떨어진다고 보고하였다. Hitch와 McAuley(1991)의 연구에서와 같이 수학학습 전체 영역에서 낮은 성취를 보인 집단이 시공간 영역의 측정에서도 낮은 수행을 보임으로써 수학학습과 시공간 영역의 관련성을 밝히고 있다.

또한 Hitch와 Janet(1999)은 4학년 어린이 집단을 대상으로 수학수행 상, 중, 하 집단과 4학년의 하위 집단과 같은 능력을 지닌 3학년 능력 집단을 대상으로 음성 고리 영역과 시공간 영역 폭을 측정하기 위하여 작업기억 검사 도구를 사용하여 수행 정도를 서로 비교하였다. 이 연구에서 4학년 상위 집단에 속한 어린이들이 시공간 영역의 비교에서 다른 집단들보다 유의미하게 높은 점수를 획득하였고 음성 고리 영역의 비교에서도 4학년 상위집단에

속한 어린이들이 다른 집단의 어린이들보다 높은 점수를 획득하여 수학 성취가 뛰어난 집단에서 작업기억 과제 수행이 높았음을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 연구들을 보면 Siegel과 Ryan (1989)은 연산 과제와 문장 과제를 통해 수학적 어려움을 느끼는 어린이 집단이 작업기억의 음성 고리 영역과 유사한 연산 과제에서 낮은 수행을 나타내었음을 시사하긴 하였으나 수학 특정 영역과의 관련성은 언급하지 않았다. 또한 시공간 영역의 연구(Swanson, 1993)에서도 수학교습의 특정 부분에 대한 연구가 이루어지지 않았다.

Baddeley와 Willson(2002)은 작업기억의 하위 성분들에서 나타나는 효과를 검증하기 위하여 이중과제 패러다임을 소개하였다. 이중과제 상황은 언어적으로 문제를 파악하고 문제의 답을 찾기 위해 도형이나 물체의 길이나 높이를 산출하여야 함으로써 음성 영역과 시공간 영역을 통합해야만 해답을 찾을 수 있는 수학 문장제 문제에서 나타난다. 예를 들면, “가로 세로가 모두 4m인 정사각형 모양의 정원에 2m 간격으로 정원수를 심는다면 몇 그루의 정원수를 심어야 하는가”와 같은 문제 형태에서 언어적 이해와 함께 머리속에 정원의 시공간적 구상을 함께 처리하여 단일한 표상을 형성하여야만 하는 문제 형태이다.

그러나 그들의 연구(Baddeley & Willson, 2002)가 소개한 이중과제는 작업기억의 하부영역들이 동시에 소용되는 과제지만 수 연산은 수식으로 표현되고 도형 영역은 그림으로 문제가 제시되기 때문에 작업기억의 하부 영역들이 독립적으로 영향을 미칠 것으로 여겨진다.

수학의 수 연산과 도형 영역이 작업기억의 하부 영역인 음성 고리 영역과 시공간 영역 중 어느 부분과 관련되어 있는지를 밝혀낼 수 있다면 영역 특정한 작업기억 수행 증진을 통하여 수학 하부 각

영역의 수행 증진에 도움을 줄 수 있을 것이다. 수학교습 수행 정도가 모든 영역에서 고르게 높은 성취를 보이는 아동이 있기도 하지만 특정 영역에서 높은 성취를 나타내거나 특정 영역에서 특별히 낮은 수행을 보이는 아동도 있어 영역별 수행과 관련된 기제에 대한 고찰의 필요성이 제기된다.

언어 정보의 저장 및 시연과 관련된 음성 고리 영역은 숫자 폭 과제와 같은 검사 도구를 사용하고 있기 때문에 수 연산 영역의 교수 요소와 일치한다. 작업기억의 또 다른 하부영역인 시공간 영역의 측정 도구들은 시각적 연속성을 기억하는 능력과 순서에 따라 증가하는 모양의 연속성을 기억하는 공간 기억 과제로 수학의 도형 영역도 많은 관련성을 함의하고 있다.

따라서 본 연구는 음성 고리 영역의 수행이 높으면 수적 정보 처리 능력을 나타내는 수 연산 영역의 성취도가 높은지와 시공간 영역의 수행이 높으면 도형 영역의 성취도가 높은지를 알아보고자 하였다.

## 방 법

### 연구대상

본 연구는 서울시내에 소재한 초등학교에 다니는 4학년 137명의 아동들을 대상으로 하였다. 초등학교 4학년 남자 아동 70명과 여자 아동 67명이며 평균연령은 9.4세였다. 음성 고리와 시공간 영역의 선행 연구들이 4학년 아동들을 주요 연구대상으로 하였기에(Swanson, 1993; Hitch & Janet, 1999), 본 연구에서도 초등학교 4학년 아동들을 대상으로 하였다.

## 측정 도구

### 1) 수학 성취도 측정 도구

본 연구에서 수학학습 성취도를 측정하기 위해 사용된 검사 도구는 한국교육과정 평가원의 제 7차 교육과정에 따른 초등학교 수학과 성취기준과 평가 기준(2001)을 근거로 제작한 후 예비실험을 통하여 수 연산 영역 10 문항(부록 2번)과 도형 영역 문제 10 문항(부록 1번)을 선정하였다. 수 연산 문제는 객관식 문항의 형태로 몫의 크기 비교, 몫의 나머지, 자연수의 사칙 연산, 소수의 덧셈과 뺄셈 등을 다루는 문제였으며 도형 영역의 문제는 이등변삼각형, 예각삼각형의 각도와 길이, 이등변삼각형, 예각삼각형의 개념을 묻는 문제가 포함되었다. 각 영역의 문제는 영역별교수 목표 달성을 위해 필요한 항목들이었다.

### 2) 음성 고리 영역 측정 도구

음성 고리 영역을 측정하기 위해 사용된 과제는 연산 폭 과제로써 Groen과 Parkman(1972)에 의해 제작되었던 RT(the cuve for reaction time) 자료에서 예비실험을 통해 선정하였으며 단계별로 쉬운 항목, 어려운 항목, 매우 어려운 항목으로 구성되었다(부록 3번). 1단계에서부터 8단계까지의 항목으로 구성되었으며 단계가 올라갈수록 난이도가 높아졌다. 연산 폭 과제의 자료들은 음성으로 제시되었으며 각 단계의 수행 시간은 10초로 제한하였다. 한 단계의 수행이 끝나면 다음 단계의 과제가 주어졌으며 총점으로 음성 고리 영역의 수행을 측정하였다.

### 3) 시공간 영역 측정 도구

시공간 영역을 측정하기 위해 사용된 코사이 폭 과제는 De Renzi와 Nichelli(1975)에 의해 사용된 위치 연속성 회상과제(부록 4번)이며 컴퓨터 화면

에 연속적으로 제시되는 작은 직사각형들의 점멸의 순서와 위치를 회상하는 수행을 측정하였다. 자주색 바탕의 직사각형 8개(2.5cm×0.5cm)로 구성되었으며 1/100 초 동안 자주색의 직사각형이 노란색으로 깜박거리게 된다. 피험자는 어느 위치에서 어떤 순서로 점멸되었는지를 기억했다가 점멸된 위치, 점멸된 순서대로 직사각형을 클릭하게 되면 정확한 과제 수행으로 인정된다. 단계가 올라갈수록 점멸되는 직사각형의 수가 많아지고 점멸 위치가 좌우, 상하로 복잡하게 바뀌어 과제 수행에 어려움을 겪는다. 과제의 난이도는 최저 1단계에서부터 9단계까지이다.

한 단계의 정확한 수행이 이루어지면 자동적으로 성공 메시지가 나타나고 그 다음 단계의 과제가 제시되었다. 한 단계에서의 수행에 실패하면 오류 메시지가 뜨게 되고 처음 1단계부터 과제 수행이 다시 이루어지도록 설계된 도구였다.

## 연구절차

본 연구는 예비실험과 본 실험으로 이루어졌으며 예비실험은 서울시내의 Y초등학교 4학년 아동 15명을 대상으로 실험자와 일대일로 이루어졌다.

### 1) 예비 실험

먼저 코사이 폭 과제의 적절성을 검토하기 위하여 아동 15명을 대상으로 측정 방법과 답안 작성요령을 전체적으로 설명하였다. 컴퓨터 화면으로 수행 방법을 제시하였고 오답을 제시하여 단계 수행이 멈추면 작업을 끝내도록 교육하였다. 설명이 끝난 후 각 아동들을 개별적으로 컴퓨터실로 안내하여 일대일 측정을 실시하였다.

코사이 폭 과제 검사가 끝난 후 5분간의 휴식을 취한 후 연산 폭 과제 검사를 실시하였는데 컴퓨터

실 옆의 특별실에서 대상 아동 15명을 대상으로 측정 방법과 답안지 작성요령을 설명한 후 5명씩 컴퓨터실로 안내하여 측정을 실시하였다.

예비실험의 결과 코사이 폭 과제 측정 방법이 서툴러 적극적으로 참여하지 못하는 아동이 있어 본 실험에서는 측정과제에 대한 그림을 제시하면서 설명 하였다. 연산 폭 과제 측정에서는 대부분의 아동들이 어려움 없이 측정에 임하여 별다른 문제점을 발견하지 못하였다.

## 2) 본 실험

본 실험은 예비실험을 실시한 후 실시되었다. 작업기억의 측정은 본 연구자와 보조 연구자에 의해 측정되었으며 수학학습 성취도 평가는 4명의 4학년 담임교사가 보조 연구자로 참여하였다.

코사이 폭 과제 검사의 측정 방법과 컴퓨터 조작 방법에 대한 설명은 측정 대상 아동들의 반에서 TV 모니터를 통해 이루어졌다. 설명이 끝난 후 출석 번호 순으로 보조 연구자가 5명씩 측정 장소인 컴퓨터실로 이동시켰다. 측정 대상 아동을 제외한 나머지 4명의 아동은 과제와 상관없는 컴퓨터 조작을 하도록 하였고 1명의 측정 대상 아동은 연구자가 앉아있는 컴퓨터에서 일대 일 측정을 실시하였다.

연구자가 지켜보는 가운데 시작 버튼을 클릭하면 1단계 수행(좌→우→상 순서로 점멸)이 시작되고 성공 메시지가 나타나면 좀 더 복잡한 그 다음 단계(좌→우→우→상 순서로 점멸)의 과제가 제시되었다.

단계가 올라갈수록 점멸되는 직사각형의 수가 많아지고 점멸 위치가 좌우, 상하로 복잡하게 바뀌어 오류메시지가 나타나면 측정을 마쳤다.

한 반의 측정이 끝나면 연구자가 다른 반으로 이동하여 반 전체 아동을 대상으로 측정방법과 컴퓨터 조작 방법에 대해 설명하고 실험을 반복 하였다.

연산 폭 과제 측정에 대한 설명은 대상 아동들이 있는 반에서 이루어졌다. 설명이 끝난 후 출석 번호 순으로 보조 연구자가 5명 단위로 측정 장소인 특별 교실로 이동시켰다.

먼저 수준별 항목들이 쉬운, 어려운, 매우 어려운 항목의 순서로 연구자의 음성으로 제시되었으며 한 수준의 각 항목 수행 시간은 10초였다. 음성에 의해 제시되는 문제를 잘 듣고 기억했다가 각 항목의 정답을 기록하도록 하였다.

5명 한 조의 측정이 끝나면 보조 연구자가 5명의 아동들을 본 교실로 이동시키고 동시에 새로운 5명의 아동들을 측정 장소로 입장하도록 하였다. 위의 측정 절차를 반복하여 한 반의 측정이 끝나면 다른 반으로 연구자가 이동하여 전체적으로 설명을 한 후 위의 측정 절차를 반복하였다.

수학학습 성취도 측정은 4학년 4개 반에서 동시에 이루어졌다. 시험 시간은 40분이었고 대부분의 아동들이 정해진 시간 내에 시험을 마칠 수 있었다. 시험은 책상 간격을 최대한 넓히고 가림판으로 가려 자신의 능력 이상의 점수를 얻는 것을 방지하고자 하였다.

## 자료 분석

코사이 폭 과제 검사는 최소 1점에서 최대 9점까지의 점수를 부여하였으며 특정 단계에서 실패하여 수행이 멈추면 그 전 단계의 수준이 획득 점수가 된다. 단계가 올라갈수록 점멸되는 직사각형의 블록수가 많아지고 점멸되는 블록의 위치가 다양하게 변화되기 때문에 컴퓨터의 마우스를 눌러 위치와 순서를 재연하는 과제 수행이 어려워진다. 정확한 수행이 이루어지지 않으면 그 전 수준까지의 수행을 회상점으로 산정하였다.

연산 폭 과제 검사는 1단계의 3항목 모두에서 정

확한 수행이 이루어졌다면 3점이 부여되었다. 모든 단계(8단계)의 모든 항목(쉬운, 어려운, 매우 어려운 항목)에서 정확한 수행이 이루어졌다면 24점의 점수가 부여되었다. 음성으로 제시되는 수식을 기억했다가 모든 항목의 문제가 제시된 후 답을 적도록 하였다.

수학 성취도 검사의 수 연산 영역은 각 문항 당 10점, 도형 영역은 문항 난이도에 따라 8점에서 15점까지의 점수가 부여되었으며 100점 만점이었다.

수 연산 문제는 예비 검사를 통해 문항의 난이도 차이가 나지 않는 문제였기에 모두 10점의 점수를 부여 하였다. 그러나 도형 영역의 문제는 이등변삼각형의 길이를 묻는 문제인 경우 예비검사에서 난이도가 높게 나타나 15점, 각의 크기를 묻는 응용 문제는 12점을 부여하였다.

## 결 과

### 집단의 분류

음성 고리 영역 집단은 연산 폭 과제 수행 결과 상집단 45명(32.8%), 중집단 47명(34.4%), 하집단

45명(32.8%)으로 구성하였으며 시공간 영역 집단은 코사이 폭 과제 수행 결과 상집단 45명(32.8%), 중집단 47명(34.4%), 하집단 45명(32.8%)으로 나누었다. 그러나 집단 분류에서 나눔점 중간에 걸쳐있는 아동들은 음성 고리는 총점과 함께 3항목 모두 완성한 단계를 고려하였고 시공간 영역은 측정시간을 고려하여 단계가 높거나 수행시간이 짧은 아동을 상집단으로 편성하였다. 음성 고리 세 집단과 시공간 영역 세 집단의 음성 고리와 시공간 작업기역에서 성취한 수행 평균과 표준편차는 표 1과 같다.

### 수 연산 영역의 변량분석

작업기역과 수 연산 수행과의 관계를 알아보기 위하여 수 연산 수행을 계산한 결과 음성 고리 세 집단과 시공간 영역 세 집단 각각의 수행 평균과 표준편차는 표 2와 같았다.

음성 고리 집단과 시공간 집단 각각에서 나타난 수 연산 수행 집단 간 평균차이 값을 알아보기 위한 변량분석 결과는 표 3, 표 4와 같다.

변량분석 결과 집단간 차이가 유의한 것으로 나타났다( $F(2, 134)=3.245, p<.05$ ). 이에 대한 Scheffé

표 1. 음성 고리 집단과 시공간 집단의 평균, 표준편차

	음성 고리		시공간	
	N	M	N	M
상	45	22.64	45	7.11
		SD 1.67		SD .32
중	47	18.68	47	5.72
		SD .89		SD .45
하	45	13.07	45	3.56
		SD 3.15		SD .73
전체	137	18.14	137	5.47
		SD 4.44		SD 1.55

표 2. 수 연산 수행 평균과 표준편차

	음성 고리		시공간	
	N	M	N	M
상	45	79.11	45	78.00
		SD 12.40		SD 15.01
중	47	74.47	47	75.74
		SD 14.27		SD 11.56
하	45	72.00	45	71.78
		SD 1.15		SD 13.86
전체	137	75.18	137	75.18
		SD 13.67		SD 13.67

표 3. 음성 고리 집단별 수 연산 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	1174.291	2	587.146	3.245*
집단내	24246.147	134	180.941	
전체	25420.438	136		

\*  $p < .05$

표 4. 시공간 집단별 수 연산 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	893.724	2	446.862	2.441
집단내	24526.714	134	183.035	
전체	25420.438	136		

사후검증 결과 음성 고리 상집단과 하집단에서 유의한 차이가 나타났다( $p < .05$ ).

시공간 집단에 따른 수 연산 수행의 변량분석 결과인 표 4에서는 집단간 차이가 나타나지 않았다.

### 도형 영역의 변량분석

음성 고리 수행에 따른 세 집단과 시공간수행에 따른 세 집단이 도형 영역 측정에서 성취한 수행 평균과 표준편차는 표 5와 같다.

음성 고리 집단과 시공간 집단 각각에서 나타난 도형 영역 수행의 집단 간 평균값 표 5에 대한 일원 변량분석 결과는 표 6, 표 7과 같다.

변량분석 표 6 결과 도형 영역 집단간에 유의한 차이가 나타났다( $F(2, 134)=31.695$   $p < .001$ ). 이에 대한 Scheffé 사후검증을 실시한 결과 상집단과 하집단 간에 유의한 집단 차이가 나타났다( $p < .001$ ).

음성 고리 집단에 따른 도형 영역 수행의 변량분석 표 7에서는 집단간 차이가 나타나지 않았다.

표 5. 도형 영역 수행 평균과 표준편차

음성 고리			시공간		
상	N	45	상	N	45
	M	68.27		M	76.84
	SD	15.91		SD	13.00
중	N	47	중	N	47
	M	67.15		M	67.43
	SD	15.42		SD	12.47
하	N	45	하	N	45
	M	64.36		M	55.49
	SD	14.82		SD	12.80
전체	N	137	전체	N	137
	M	66.60		M	66.60
	SD	15.36		SD	15.36

표 6. 시공간 집단별 도형 영역 수행 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	10310.275	2	5155.137	31.695***
집단내	21794.645	134	162.647	
전체	32104.920	136		

\*\*\* $p < .001$

표 7. 음성 고리 집단별 도형 영역 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	365.851	2	182.926	.772
집단내	31739.069	134	236.859	
전체	32104.920	136		

### 음성 고리와 시공간 수행에 따른 4집단 분석

앞에서 음성 고리 집단과 시공간 집단을 분리해서 일원 변량분석을 하였지만 서론에서 언급하였듯이 작업기억에서 두 영역은 수학수행에 동시에 적용할 것이다. 따라서 본 연구에서는 추가분석으로

표 8. 4집단 수 연산 수행 평균과 표준편차

음성 고리	시공간	N	M	SD
상	상	20	81.00	9.68
상	하	11	84.55	15.73
하	상	8	57.50	14.88
하	하	22	71.82	7.95
전체		61	70.76	13.86

표 9. 4집단의 수 연산 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	4391.311	3	1463.770	11.702***
집단내	7130.000	57	125.088	
전체	11521.311	60		

\*\*\* $p < .001$

음성 고리와 시공간 수행 정도를 동시에 고려한 4개의 집단(음성 고리 하, 시공간 하-하하, 음성 고리 상, 시공간 하-상하, 음성 고리 하, 시공간 상-하상, 음성 고리 상, 시공간 상-상상)을 구성하여 수 연산 성취도와 도형 영역 성취에 대한 변량분석을 실시하였다.

먼저 앞에 언급된 4집단의 수 연산 수행의 평균과 표준편차는 표 8과 같다.

표 8에 나타난 집단 간 평균차이 값에 대한 변량분석 결과는 표 9와 같았다.

변량분석 표 9 결과 집단 차이가 유의한 것으로 나타났다( $F(3, 57)=11.702, p < .001$ ). 이에 대해 Scheffé 사후검증을 실시한 결과 상하 집단과 상상 집단, 하하 집단과 하상 집단간에 집단별 차이가 나타나지 않았으나 상하 집단과 하상 집단, 상하 집단과 하하 집단간에 집단별 차이가 유의하게 나타났다( $p < .001$ ). 즉 시공간 수행의 상, 하에 관계없이 음성 고리 수행이 상인 경우가 하인 경우에

표 10. 도형 영역 수행 평균과 표준편차

음성 고리	시공간	N	M	SD
상	상	20	76.10	14.87
상	하	11	56.45	9.96
하	상	8	76.25	7.46
하	하	22	55.45	14.99
전체		61	65.13	16.62

표 11. 4집단의 도형 영역 수행 변량분석 결과

변량원	자승화	df	평균자승화	F
집단간	6283.469	3	2094.490	11.594***
집단내	10297.482	57	180.658	
전체	16580.951	60		

\*\*\* $p < .001$

비해 수 연산 수행이 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또 작업기억 4집단에서의 도형 영역 수행 평균과 표준편차는 표 10과 같았다.

표 10에 나타난 집단 간 평균차이 값에 대한 변량분석 결과는 표 11과 같았다.

변량분석 표 11 결과 집단간 차이가 유의한 것으로 나타났다( $F(3, 57)=11.594, p < .001$ ). 이에 대해 Scheffé 사후검증을 실시한 결과 하상 집단과 상하 집단, 하하 집단과 하상 집단, 상상 집단과 하하 집단간에 유의한 차이가 나타났다( $p < .001$ ). 그러나 시공간 상이면서 음성 고리 하인 집단과 시공간과 음성 모두에서 상인 집단 간에는 차이가 나타나지 않았다.

## 논 의 및 결 론

본 연구는 작업기억의 수행이 영역 특정적이라는 작업기억 모델(Hitch & Janet, 1999)을 근거로

음성 고리 영역의 수행이 높으면 수적 정보 처리 수행을 나타내는 수 연산 영역의 성취도가 높은지와 시공간 영역의 수행이 높으면 도형 영역의 성취도가 높은지를 알아보고 작업기억 하부 영역의 회상력 증진으로 적절한 수학학습 교수의 방향을 설정하는데 그 목적이 있다.

수학 문제 수행과 작업기억과의 관계를 밝히기 위한 연구들이 작업기억의 음성 고리 영역(Siegel & Ryan, 1989)과 시공간 영역(Swanson, 1993; Hitch & Janet, 1999)을 중심으로 이루어져 왔으나 수학의 특정 부문과 이러한 작업기억의 하부 영역들이 갖는 관련성에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 작업기억이 영역 특정적이며 자료의 특성이 기억 회상의 효율성을 결정할 수 있기 때문에(Siegel & Linder, 1984), 작업기억 하부 영역은 수학 하부 영역 특정 부문(수 연산, 도형)의 교수 요소에 따라 다르게 영향을 미칠 수 있을 것이다. 이러한 연구 목적에 따라 결과를 살펴보고 그에 대하여 논의를 하면, 첫째, 음성 고리 수행별 집단(상, 중, 하)을 대상으로 수 연산 부문의 수행을 종속변인으로 하여 변량 분석을 실시해 본 결과, 음성 고리 집단간에 유의한 차이가 나타났다. 그러나 시공간 집단간에는 수 연산 수행에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 수 연산 수행이 작업기억의 음성 고리 영역의 수행 정도에 따라 다르게 나타난 것으로, 음성 고리 수행이 뛰어나면 수 연산 성취도가 높다는 것을 의미한다. 특히 사후 검증에서 나타난 상위 집단과 하위 집단 간의 유의미한 차이는 음성 고리 영역의 수행과 수 연산 부문이 갖는 관련성을 강하게 시사하고 있다.

수학적 재능을 나타내는 조숙아들이 음성 고리 영역의 수행이 높다는 연구 결과(Dark & Benbow, 1990, 1991)나 수학적 어려움을 가지고 있는 아동들의 작업기억 수행이 음성 고리 영역에서 떨어진다

는 연구 결과(Fletcher, 1985)들은 음성 영역의 수행이 높은 아동이 전체적인 수학학습이 뛰어나다는 것을 암시하고 있다. 그러나 본 연구에서는 음성 영역의 수행이 전체적인 수학학습 수행보다는 수학 학습의 하부 영역인 수 연산과 밀접하게 관련되어 있음을 밝히고 있다. 음성 고리 영역과 수 연산 부문이 갖는 관련성은 초등학교 4학년 과정의 수 연산 부문에서 다루어지고 있는 나눗셈에서의 몫 크기 비교와 나머지 찾기, 자연수의 사칙연산 문제 수행이 연산 폭 과제의 회상력에 따라 달라질 수 있음을 의미한다. 작업기억의 음성 고리에서의 기억 회상 효율성이 수 연산 문제의 높은 수행과 관련되어 있음을 시사하는 것이다.

또한 음성 고리와 시공간 과제 수행 정도를 함께 고려한 집단 분석에서 나타난 결과 작업기억 하부 영역인 음성 고리 수행 정도가 수 연산 영역의 성취와 많은 관련성이 있음을 보이고 있다. 4개의 집단별 사후검증에서, 음성 고리 영역의 수행이 높으면 시공간 영역의 수행 정도와 무관하게 수 연산에서의 성취가 높은 것으로 나타났다. 상하 집단과 상상 집단의 수행 차이가 통계적 유의미성을 갖지 못하는 것은 음성 고리의 수행이 시공간 영역의 성취와 무관하며 음성 고리 수행이 결정적 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 하하 집단과 하상 집단의 비교도 통계적으로 유의미하지 않았는데 이는 음성 고리가 하위인 집단은 시공간 영역의 수행이 상위이거나 하위이더라도 수 연산 수행에 영향을 미치지 못함을 나타낸다. 상하 집단과 하상 집단은 서로 한 영역에서는 상위이나 다른 영역에서는 하위인 집단으로 관련성 있는 영역의 작업기억이 상위였을 때 집단별 차이가 두드러져 작업기억 하부 기능의 독특한 역할을 짐작해 볼 수 있다.

둘째, 시공간 수행별 집단(상, 중, 하)을 대상으로 도형 영역의 수행을 종속변인으로 하여 변량 분석

을 실시해 본 결과 집단 차이가 유의한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 도형 부문의 성취가 시공간 영역의 수행 정도에 따라 다르게 나타나, 시공간 영역의 수행이 우수하면 도형 문제 해결력이 뛰어나다는 것을 의미한다. 시공간 집단별 수행 차이를 알아보기 위한 사후 검증에서 나타난 상위 집단과 하위 집단 간의 통계적 유의성은 상위 집단의 도형 영역의 성취도가 하위 집단에 비해 유의하게 뛰어남을 말해 준다.

또한 음성 고리와 시공간 과제 수행 정도를 동시에 고려한 집단에서 나타나는 수학의 도형 영역에서의 수행 정도를 알아보기 위한 분석에서 나타난 집단별 차이는 시공간 작업기억 수행 정도와 도형 부문의 수행이 많은 관련성이 있음을 나타내고 있다. 4개 집단의 도형 영역 성취도 차이를 알아보기 위한 사후검증에서, 시공간 영역의 수행이 높으면 음성 고리 영역의 수행 정도와 무관하게 시공간 영역이 낮은 집단과의 수행 차이가 나타났다. 하상 집단과 상상 집단의 수행 차이가 통계적으로 유의미하지 않았는데 이는 시공간 영역의 수행이 높으면 음성 고리 작업기억 수행 정도에 따라 도형 성취도가 달라지지 않음을 알 수 있다. 하하 집단과 하상 집단에서 나타난 통계적 유의미성은 시공간 영역의 수행이 높으면 음성 고리 수행이 두 집단 모두 낮다하더라도 도형 부문에서의 성취가 다르게 나타남을 알 수 있다. 상하 집단과 하상 집단간 차이가 통계적으로 유의미하였던 것은 시공간 영역의 수행이 음성 고리 수행보다 수학학습의 도형 부문과 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다.

시공간 영역 수행과 수학학습이 갖는 관련성에 관한 기존의 연구들(Smyth & Scholey, 1994; Smith & Jonides, 1997)은 음성 고리 영역에서와 같이 시공간 영역의 수행이 높으면 전체적인 수학 학습력이 뛰어나다는 결과들을 발표하였으나 본 연

구에서는 시공간 영역의 수행이 수학학습의 하부 영역인 도형 영역과 밀접하게 관련되어 있음을 밝히고 있다. 이는 시공간 영역의 수행이 높은 아동이 이등변 삼각형과 정삼각형에서 변의 길이를 묻는 문제나 내각의 크기를 묻는 문제에서의 수행이 뛰어나다는 것으로써, 시공간 영역의 효율적 활용 정도에 따라 도형 영역의 수행이 달라질 수 있음을 의미한다.

위와 같은 결과를 바탕으로 본 연구는 다음과 같이 수학학습 지도에 방향을 시사할 수 있다.

첫째, 수 연산 영역의 수행이 낮은 아동들에게 있어 교수자가 계산지식과 전략 선택을 결함 요인으로 간주하여 숙련된 계산을 위한 반복 훈련이나 문제 해결 전략만을 강조하는 교수법에서 벗어나 언어적 제시를 중심으로 하는 음성 고리 영역 증진 프로그램을 적용하여 문제 수행을 증진시킬 수 있을 것으로 보여 진다.

둘째, 도형 영역의 수행에 있어서도 수 연산 영역에서와 같이 문제 수행 증진을 위한 시공간 영역 프로그램을 적용하여 적절한 교수 방안을 마련할 수 있을 것으로 본다.

본 연구에서는 작업기억 증진 프로그램을 제시하지는 않았으나 차후 연구들에서는 작업기억의 전반적인 수행은 물론 각각의 하부 영역들의 수행 증진을 위한 프로그램 개발 및 적용을 통하여 작업기억의 수행 증진이 수 연산이나 도형 영역의 수행에 미치는 영향에 대하여 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서 작업기억의 음성 고리 영역이 수 연산 부문과 시공간 영역이 도형 부문과 밀접한 관련성이 있음을 밝혔다. 그러나 수 연산이나 도형 영역에서 낮은 수행을 나타내는 아동들을 대상으로 프로그램을 적용하였을 때 작업기억의 수행이 높아지는지와 작업기억의 수행이 높아졌다면 작업기억의 하부 영역과 관련된 수 연산 부문과 도형 영역의 수행 증

진 효과가 어느 정도인지에 관한 연구가 필요하다.

본 연구 결과 작업기억과 수학학습 수행과의 관련성이 밝혀지기는 하였으나 수학 학습의 실패 요인은 여러 가지가 있을 수 있음을 전제하지 못했다. 예를 들면 수학에 대한 혐오감, 경험의 부족과 낮은 동기 의식, 독해의 어려움, 신경심리학적 손상 등이다. 그러나 작업기억이 IQ의 대리 기능을 한다는 것에는 동의할 수 없으며 Swanson과 Saez(2003)도 IQ와 학습 수행과의 관계보다 작업기억과 학습 수행의 관계가 더 밀접하게 연관되어 있음을 밝히고 있다. 하지만 이후 연구들에서 작업기억 이외에 수학학습 수행에 직접적 영향을 미칠 수 있는 요인들을 함께 고려하여 실험이 진행된다면 수학학습의 수행력을 높일 수 있는 기제를 찾아낼 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

한국교육과정평가원(2001). 제7차 교육과정에 따른 초등학교 수학과 성취기준과 평가기준 예시 평가도구 개발 연구, 연구보고 PRE 2001-4-4.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working Memory. In G. A. Bower(Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 8, 47-89. San Diego, CA: Academic Press.

Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon press.

Baddeley, A. D., & Willson, B. A. (2002). prose recall and amnesia: implications for the structure of working memory. *Neuropsychological*, 40, 1737-1743.

Bull, R., & Johnston, R. S. (1997). Children's arithmetic difficulties contributions from

processing speed, item identification and short term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24.

Dark, V. J., & Benbow, C. P. (1990). Enhanced problem translation and short term memory: Components of mathematical talent. *Journal of Education Psychology*, 82, 420-429.

Dark, V. J., & Benbow, C. P. (1991). Differential enhancement of working memory with mathematical versus verbal precocity. *Journal of Educational Psychology*, 83, 48-60.

De Renzi, E., & Nichelli, P. (1975). Verbal and nonverbal short term memory impairment following hemispheric damage. *Cortex*, 11, 341-354.

Fletcher, J. (1985). Memory for verbal and nonverbal stimuli in learning disability subgroups: Analysis of selective reminding. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40, 244-259.

Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114, 345-362

Geary, D. C., & Brown, S. C. (1991). Cognitive addition: Strategy choice and speed of processing differences in gifted, normal, and mathematically disabled children. *Developmental Psychology*, 27, 398-406.

Geary, D. C., Brown, S. C., & Samaranayake, V. A. (1991). Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed of processing differences in normal and mathematically disabled children. *Development*

- al Psychology*, 27, 787-797.
- Groen, G. J., & Parkman, J. M. (1972). A chronometric analysis of simple arithmetic. *Psychological Review*, 79, 329-343.
- Hitch, G. J., & Janet, F. M. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260.
- Hitch, G. J., & McAuley, E. (1991). Working memory in children with arithmetical difficulties. *British Journal of Psychology*, 82, 375-386.
- Siegel, L. S., & Linder, B. A. (1984). Short term memory processes in children with reading and arithmetic disabilities. *Developmental Psychology*, 20, 200-207.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, 5-42.
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1994). Characteristics of spatial memory span: Is there an analogy to the word length effect based on movement time? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A, 91-117.
- Swanson, H. L. (1993). Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 87-114.
- Swanson, H. L., & Saez, L. (2003). *Memory difficulties in children and adults with learning disabilities ; Hand book of learning disabilities*, 182-198.

---

1차 원고 접수: 2008. 1. 2  
수정 원고 접수: 2008. 2. 5  
최종 게재 결정: 2008. 2. 6

# The Relationship between Working Memory and Performance of Mathematics

Euk-gon Kim    Kyung-sook Choi  
Dept.of child psychology and education  
Sung Kyun Kwan University

The purpose of this study was to examine the relationship between working memory and performance of mathematics. The subjects were 137 children from elementary school in Seoul. The independent variables were phonological span and visuospatial span. The dependent variables were the performance of arithmetics and geometry. A phonological span was measured in terms of adding together pairs of multi-digit numbers. A visuospatial span was measured in terms of reproducing the sequence. On each trial the participant observed the taps the experimenter made a sequence of blocks and then attempted to reproduce the sequence. Mathematical achievement test consisted of arithmetics and geometry problems. One way ANOVA was applied for each independent variable and for four groups divided by phonological and visuospatial span. The results of this experiment were as follows: First, the phonological loop appeared to operate in solving arithmetic problems. Second, the visuospatial pad appeared to operate in solving geometry problems. Third, different component of working memory took specialized role in mathematics. This result suggest that children with the difficulties in mathematics might have had specific deficit in working memory.

*key words: working memory, phonological loop, visuospatial pad, arithmetics, geometry*

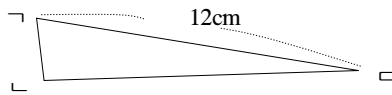
## 부 록

### 1. 도형 성취도 검사지

1. 다음 중 이등변삼각형은 어느 것인가?(            )



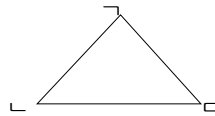
2. 다음은 이등변삼각형이다. 변  $\perp$ 의 길이는 몇 cm인가?



3. 다음 중 예각삼각형은 어느 것인가?(            )



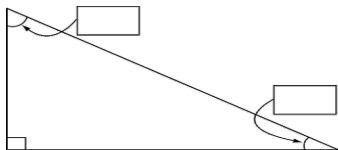
4. 다음은 한 변의 길이가 4cm인 정삼각형이다.  
세변의 길이의 합은 몇 cm인가?



5. 다음 중 예각은 어느 것인가?



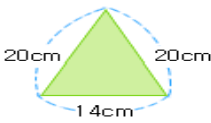
6. 각을 재어  안에 알맞은 각도를 써 넣으시오.



7. 시침과 분침이 이루는 작은 각이 둔각인 것은 어느 것인가?  
 ① 3시                      ② 4시                      ③ 2시                      ④ 10시

8. 예각 삼각형이란?

9. 철사로 다음과 같은 이등변삼각형을 만들었을 때 이 철사를 곧게 펴서 정삼각형을 만든다면, 한 변의 길이는?



10. 이등변 삼각형이란?

## 2. 수 연산 성취도 검사지

1. 다음 곱셈을 하시오.

- (1)  $237 \times 73$                       (2)  $237 \times 13$

2. 몫의 크기를 비교하여 ○안에 >, =, <를 알맞게 써 넣으시오.

$653 \div 21$       ○       $986 \div 30$

3. 다음 중 나머지가 가장 작은 것은 어느 것인가?

- ①  $75 \div 11$               ②  $175 \div 13$               ③  $350 \div 50$               ④  $274 \div 31$

4. 두 수의 크기를 비교하여 >, <를 알맞게 써 넣으시오.

$27 \times 4 \times 69$       ○       $53 \times 12 \times 6$

5. 물 1.5 l가 들어있는 병에서 0.72 l를 마셨다. 병에 남아있는 물은 몇 l인가?

6. 어떤 수를 29로 나누었을 때, 나머지가 될 수 없는 수를 모두 고르시오(      ,      )

- ① 0                      ② 9                      ③ 28                      ④ 19

7. 다음을 계산하시오.

- (1)  $5.76 - 1.937$                       (2)  $10.41 - 0.940$

8. 어떤 가방의 무게는 8.64 kg이다. 가방 안에 0.775 kg의 물건을 넣으면, 가방의 무게는?
9. 진영이는 시장에서 감자 0.67 kg과 당근 0.36 kg을 샀다. 진영이가 산 감자와 당근의 무게는?
10. 0.267과 0.328의 합은 0.418보다 얼마나 큰지 소수로 나타내시오?

### 3. 연산 폭 검사도구

단계	쉬운 항목	어려운 항목	매우 어려운 항목
1	8+1	3+5	5+9
2	21+7	22+6	23+9
3	122+3	123+4	127+4
4	31+26	76+23	51+66
5	231+16	233+45	296+21
6	611+136	574+422	628+931
7	2412+123	2242+527	2834+624
8	4813+1152	3623+5356	1512+5842

### 4. 코사이 폭 검사도구

