

신경심리학적 이론에 근거한 수학학습장애의 유형분류 및 심층진단검사의 개발을 위한 기초연구

김 연 미 (홍익대학교)

수학 학습장애는 정상적인 수학적 역량 획득을 저해하는 학습 장애의 한 유형으로, 아동, 청소년의 5- 10% 정도가 겪는 학습 장애의 한 분야이다. 현재 수학학습장애를 진단하기 위하여 기초학력평가나 표준화된 검사가 사용되고 있다. 검사 결과를 토대로 아동의 사전지식을 파악하고, 취약한 영역을 찾는 것 역시 중요하다. 본 연구는 수학학습장애의 유형을 파악하고, 중재의 출발점을 알려줄 수 있는 포괄적인 진단 검사가 포함해야 하는 구성요소를 찾는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 신경심리학적 이론에 근거하여 수학학습에 영향을 주는 기본적인 인지적 요인들을 찾고, 관련되어 활성화 되는 두뇌 영역과 그들의 세부적 기능을 살펴본다. 또 수학학습장애 아동의 신경심리학적 특징을 살펴 본 다음 수학학습장애의 유형을 분류한다. 그 결과를 바탕으로 교육현장에서 사용될 수 있는 심층 진단 검사의 개발을 위한 기초연구를 수행하고자 한다.

I. 서론

1. 연구의 필요성

우리나라는 수학학습장애의 선별, 진단을 위해 기초학력 평가에 주로 의존하므로 3학년이 되어서야 수학 학습의 문제점이 드러난다. 그렇지만 현장의 교사들은 1, 2학년의 경우에도 수학학습장애를 보이는 학생들이 분명히 존재하며, 5, 6학년 정도가 되어서도 학습 부진이 계속되는 아동은 누적된 결손으로 인하여 일반 아

동을 따라가기에는 늦다고 느끼게 된다. 한편 수학학습장애는 원인진단을 내리는 것이 쉽지 않다. 그 이유는 수학이 매우 광범위한 영역들로 이루어져 있고, 수학이 타 교과에 비하여 위계적이므로, 수학에서의 낮은 성취도가 동기의 문제인지, 불충분한 학습의 결과인지, 자신감 결여나 수학 불안증, 또는 인지적 문제인지를 판단하는 것이 어렵기 때문이기도 하다. 수학학습장애를 포함한 부진 판별을 한 후의 다음 단계는 그 원인을 파악하고, 적절한 개별화된 중재를 제공하는 것이다. 학습능력 향상 프로그램을 설계하기 위해서는 진단 검사의 결과를 해석하고 아동의 수학학습장애를 유형별로 구분하는 작업도 필요하다. 그러나 현재 이러한 단계 및 절차는 매우 간단한 심리검사 실시가 전부인 상황이다. 그러므로 수학학습장애 아동을 대상으로 하는 심층진단검사의 개발이 절실하다. 이런 이유로 한편에서는 수학학습장애 위험 아동을 조기에 예측하여 조기 중재를 제공하는 중요성이 부각되고 있고, 또 다른 방향에서는 수학학습장애의 원인을 찾고, 유형을 분류하는 작업도 활발하다(Geary, 2011; Mazocco, 2001). 한편 최근의 신경심리학과 뇌 영상 기술의 발달은 수학인지 및 수학학습과 관련하여 많은 정보를 제공한다. 예를 들면 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI) 촬영을 통하여 수학적 활동과 관련하여 활성화되는 뇌 영역을 상세히 관찰할 수 있는데, 이 영역들을 수 처리나 공간 지각력 등의 기능과 연결시킬 수 있다. 그 외에도 학습과 훈련에 따른 처리 영역의 변화, 성장에 따른 변화, 수학적 능력이 뛰어난 그룹과 낮은 성취도 그룹간의 신경학적 차이 등에 대해서도 많은 지식이 축적되었다. 이와 같은 신경학의 발달은 수학교육에 직, 간접적인 도움을 줄 수 있으며, 수학교육분야도 이러한 지식을 적극 수용할 필요성이 대두되고 있다.

* 접수일(2011년 10월 22일), 수정일(2011년 11월 14일), 게재 확정일(2011년 11월 27일)
* ZDM 분류 : C32
* MSC2010 분류 : 97C30
* 주제어: 수학학습장애, 작업기억, 수감각, 역행숫자주의력, 중심실행기능, 발달적 난산증
* 본 연구는 2010년도 홍익대학교 학술연구조성비의 지원을 받아 수행되었음.

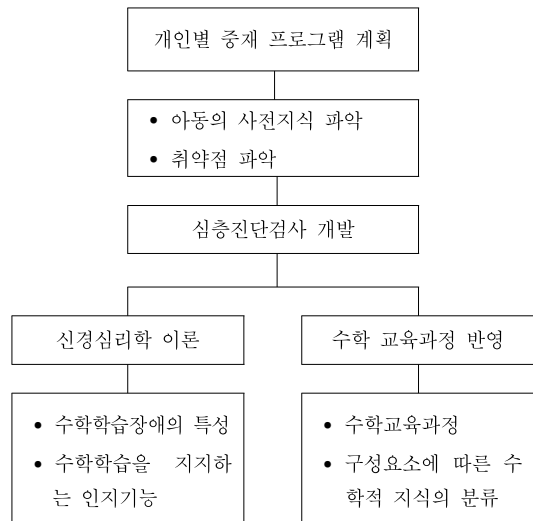
2. 연구 목표 및 방법

본 연구는 수학학습장애로 진단된 아동을 대상으로 한 심층 진단검사의 개발과 관련된 연구이다. 즉 진단검사의 하위 영역과 수준, 시행 횟수 및 소요 시간 등의 결정을 목표로 하고 있다. 한 아동이 수학학습장애 또는 부진으로 선별된 후에는 아동의 사전지식을 철저히 점검하고, 취약한 영역을 찾아야 그 아동에게 맞는 학습능력 향상 프로그램을 계획할 수 있다. 개념 이해가 안 된 아동에게 연산 훈련을 강요한다든가, 곱셈구구를 어려워하는 아동에게 해당 학년의 나눗셈 단원을 가르친다면 그런 수업은 시간낭비일 가능성이 높다. 그러므로 아동의 사전지식을 점검해서 출발점을 찾을 수 있는 심층 진단 검사는 반드시 필요하다. 위의 목표를 실현하기 위해서 신경심리학 또는 인지심리학의 이론들로부터 도움을 받을 수 있다. 수학인지에 관한 연구들은 수학학습을 지지하는 기본적인 인지기능을 확인해 주고, 수학 활동 중 활성화되는 두뇌 영역들과 그들의 기능을 알려주기 때문이다. 그러한 인지 기능들에는 장기기억의 저장 및 인출 능력, 작업 기억의 구성요소들인 중심실행기능, 시-공간적 지각, 읽기 능력 등이 포함된다. 또한 수학학습장애 아동들의 신경심리학적 특성을 선행연구들을 통하여 살피는 작업도 요구된다. 이러한 특성이 반영된 진단검사를 통해 수학학습장애의 원인 분석과 유형 분류가 가능하기 때문이다. 국내 학습장애 연구의 동향 분석에 의하면 수학 학습장애에 대한 진단·판별 및 정의와 관련된 연구는 총 4편으로 그 수가 비교적 적은 것으로 나타났다(김동일·고은영·정소라·이유리·이기정·박중규·김이, 2009b). 이들 중 1편은 조기선별검사를 위한 예비 검사이고, 기타 연구들에서는 교육과정 중심 측정(curriculum based measurement)이 교육 현장에의 활용 가능성이 높다고 판단하였다. 그 이유는 교사가 제한된 시간 동안에 체계적 절차에 의해 평가를 실시할 수 있기 때문이다(김애화, 2006). 현재 국내에서는 아직 수학학습장애 만을 위한 진단/판별을 위한 완벽한 검사는 없으며 대부분은 표준화된 검사의 하위 검사에서 수학 영역을 측정하고 있다. 미국에서는 수학학습장애 진단검사로 Woodcock-Johnson III (Woodcock, McGrew & Mather, 2001)를 비롯해 다양한 수학 성취도 검사(Iowa Test of Basic Skills, Stanford Diag-

nostic Math Test 등)와 지능검사들을 사용하고 있다. Woodcock-Johnson III는 많은 연구자 그룹에서 사용되었는데, 이 검사의 경우에도 아동의 취약한 부분을 잡아내지 못하는 경우가 있다고 보고된다(Geary, Bailey, Littlefield, Wood, Hoard & Nugent, 2009; Jordan, Hanich & Kaplan, 2003b).

그동안 수학학습장애 아동들의 특성을 다룬 연구들은 주로 연산능력, 기억 인출과 관련된 전략의 문제들, 그리고 저학년 아동들의 수 감각을 주로 다루었다(Geary 외, 2009; Jorsan 외, 2003a; Murphy, Mazzone, Hanich, & Earl, 2007). 고학년 아동들의 연산 개념과 관련된 지식이나 시공간 지각을 다루기 시작한 것은 최근의 경향이다. 연구자의 견해는 저학년의 경우에도 이러한 능력을 점검할 필요성이 있다는 판단이며 그 방법을 모색할 것이다. 또 아동의 사전 지식을 점검하려면 해당 학년보다 낮은 수준에서부터 점검해야 한다. 그러므로 심층 진단검사의 개발을 위해서는 검사가 포함해야 하는 하위영역과 문항 수 및 수준, 문항별 시간 배정 등에 대한 논의가 선행되어야 하며, 본 연구는 그러한 주제들에 대한 합의점을 찾기 위한 첫 시도라 사료된다. 다음 표는 연구과정 및 방법을 나타낸 것이다.

<표 1> 흐름도



II. 본론

1. 수학학습장애의 진단 및 특징

1) 수학학습장애의 정의 및 진단

미국정신과협회의(American Psychiatric Association, 2000)의 분류기준(DSM-IV, Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders, 4th edition)과 같은 전통적인 정의에 의하면, 수학 학습장애는 아동이 나이와 교육, 그리고 지능에서 기대되는 것보다 표준화된 성취도 검사에서 현저히 낮은 성취도를 보이는 경우라고 명시하고 있다. 이 불일치 기준의 신뢰성에 대하여 오랫동안 논란이 진행 중인데(Francis, Fletcher, Stuebing, Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2005; Siegel, 1989), WHO(1996) 등의 기구와 우리나라에서는 현재까지 이 기준을 사용하고 있다(김동일·허상·김이내·이기정, 2009a). 이 기준의 약점 중 하나는 수학 학습 장애인 경우 IQ 점수가 평균 이상일 수도 이하일 수도 있다는 사실 때문이다. 두 번째 이유는 IQ 검사와 성취도 검사가 완벽하게 독립적이어야 하지만 실제로는 그렇지 못하기 때문이다(von Aster & Shalev, 2007). 이러한 이유로 IQ가 낮은 평균(80)이상이면서 수학 성취도에서 20 - 25% 이하의 수준이고, 이 상황이 2년 연속 유지될 때 이를 수학학습장애로 판정한다(Murphy 외, 2007). 그 외에도 절대적인 기준을 적용하여 수학 성취도가 하위 10% 이하인 상태가 2년 이상 지속되는 경우를 기준으로 삼을 것을 제안하기도 한다(Geary 외, 2009).

2) 수학학습장애의 특징

본 단원에서는 수학학습장애의 특징을 수 감각, 산술적 사실의 인출능력, 개념적 지식과 연산 능력의 부진을 중심으로 고찰한다.

(1) 수 감각

수 감각은 유치원 및 저학년 시기에 수학학습장애에 대한 지표가 된다. 연구에 의하면 수학학습장애아동은 이미 어린 나이에서도 수의 크기를 인식하고, 집

합의 크기를 기호로 나타내는 능력에서도 뒤처진다고 보고한다. 유치원 시기에 뒤쳐진 이러한 수 감각은 초등학교 2, 3학년까지도 지속되는 경향이 있다(Mazzocco & Thompson, 2005). 그리고 유치원 시기의 기본적인 수 지식이 초등학교 2, 3학년까지의 수학 성취도를 예측한다는 연구 결과도 풍부하다(Jordan, Hanich & Kaplan, 2003a; Mazzocco & Thompson, 2005). 수 감각이 무엇을 의미하는지, 그 구성 요소는 어떠한지에 대하여는 다양한 해석이 존재한다(김동일 외, 2009a). 본 연구에서는 수 감각이란 수에 대한 직관적 지식으로 작은 집합의 수를 빠르게 파악하기, 수의 상대적 크기 비교, 수의 의미를 이해하기, 추정하기 등의 능력을 의미하는 것으로 사용하고자 한다(Dehaene, 1997; NCTM, 1989). 수 감각을 문제해결을 위한 고차원적 사고로 인식하는 학자들도 있으나(Resnick, Nesher, Leonard, Magnone, Omanson, & Peled, 1989) 본 연구에서 위와 같은 구성요소로 묶은 이유는 위에서 언급한 활동들이 동일한 뇌 영역(두정엽)에서 처리되는 활동이기 때문이고, Resnick 외(1989)가 주장하는 고차원적 사고에는 과제에 따라 광범위한 뇌 영역이 동원되므로 이를 인지기능에 따라 세분화하는 것이 문제 접근을 용이하게 한다는 판단이다. 한편 인간에게 내재한 수 감각은 교육을 통하여 초등학교 저학년에 심적 수직선(mental number line)을 형성하게 되고(<표 2> 참고), 후에 고등 수학적 사고의 기반이 된다고 추측된다.

<표 2> 연령에 따른 기본적 수 개념의 발달 (von Aster & Shalev, 2007)

인지능력	기수개념	구술적 셈하기	인도-아라비아 수 체계	서수개념
예	••••• (구체적 크기)	하나, 둘, 셋 (수 단어 말하기)	10, 11, 12 (숫자)	심적 수직선 (시-공간적 이미지)
두뇌영역	좌우 두정엽	좌뇌 언어영역	좌우 후두-측두엽	좌우 두정엽
기능	집합의 크기	세기, 세기	지필 계산,	어림셈, 산술적

	이해, 비교, 어렵	전략, 기본 사실들의 인출	짝수/홀수 구분하기	사고
시기	영아기	취학 전	학령기	

◦ 심적 수직선 : 심적 수직선을 형성한다는 것은 수직선 위에서 연속하는 두 수 사이의 거리는 수의 위치와 관계없이 일정하다는 사실을 인식하는 것이다. 즉 2와 3사이의 거리는 98과 99사이의 거리와 같다는 것을 알게 되는 것이다. 또한 많은 연구에 의하면 (Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004; Siegler & Booth, 2004) 수의 크기가 커질수록 수는 심적 수직선에서 압축되어 위치 한다는 것이다; 즉 자연로그(ln) 스케일에 따라 수직선상에 위치하는 것으로 지각된다. 100과 101 사이의 지각된 거리가 2와 3사이의 지각된 거리보다 짧게 느껴진다는 사실이다. 그런데 수-양 표상화에 문제가 있는 수학학습장애아동은 심리적 수직선의 형성이 자연로그 모델을 따르지 않거나, 오히려 작은 수에 대하여 더 압축된 거리 지각을 보일 수 있다(Koontz & Berch, 1996). 연구자가 관찰한 고학년 수학학습 부진아동들 중에는 수직선상에서 분수나 소수의 상대적인 위치 파악이 취약한 경우를 종종 목격하였다.

심적 수직선 형성 부진과 관련된 수학학습장애 아동들에게서는 거리효과의 부재라는 특징이 있다. 거리효과란 두 수의 크기를 비교할 때 두 수의 크기 차이가 커질수록 반응 속도가 빠르다는 사실(예를 들어 2와 3을 비교하는 경우보다는 2와 9를 비교할 때 반응 속도가 빠른 것)인데 발달적 난산증(dyscalculia) 아동에게서는 이러한 거리효과가 관찰되지 않는다(Butterworth, 2005b).

(2) 계산 실수

수학학습장애 아동의 공통적 특징이 빈번한 계산 실수이다. 올림이나 내림이 있는 뺄셈, 여러 자리 수 곱셈, 통분이 필요한 분수 계산 등에서 절차적인 실수가 관찰된다.

복잡한 계산에서의 오류는 일반 아동에게서도 자주 발생하기 때문에 그 유형과 원인을 분석하는 시도는 오래되었다. van Lehn(1982)는 절차적인 오류의 유형

을 분류하여 (1) 일관성 있고 체계적인 오류(bugs)는 개념적 지식 부족을 반영하는 것으로, (2) 때때로 발생하는 오류(slips)는 절차의 공고화 부진을 반영하는 것으로, (3) 단순한 수학적 사실의 실수는 장기 기억에서의 인출 능력 부진을 반영하는 것으로 분류하였다.

연구들(Geary, 2004; Raghubar, Cirino, Barnes, Fletcher, & Fuchs, 2009; Russell & Ginsburg, 1984)에 의하면 수학학습장애의 경우 계산 절차상의 실수의 원인은 (1) 개념 이해의 부족과 작업 기억의 용량 부족(Geary, 2004), (2) 시각적 모니터 능력(Raghubar 외, 2009) 부족, (3) 장기기억에서 산수 사실의 인출 능력 부진(Russell & Ginsburg, 1984) 등을 꼽는다. 실제로 수학학습장애 아동들이 일반아동에 비하여 단순 산술적 사실과 관련된 오류를 더 자주 범하고, 수의 정렬과 관련된 실수를 알아차리는 것에서 어려움을 겪는다는 사실은 계산 실수의 원인이 단순 사실의 저장 및 인출 부진이나, 주의력 부족 및 시각적 모니터 능력 부족과 관계있음을 시사한다.

(3) 산술적 사실의 인출(장기 기억)

수학 활동은 무엇보다 이해를 기반으로 이루어져야 하지만 동일한 활동을 반복하여 연습하면 그것은 하나의 수학적 사실로서 장기기억에 저장되고 자동적으로 인출되는 단계에 이른다(Delazer, 2003). 그런데 수학학습장애 아동들은 이러한 단순 산술적 사실들의 인출 능력이 부진하다는 연구결과가 다수 존재한다(D'Amico & Guarnera, 2005; Geary 외, 2009). Geary는 장기 기억에서 단순 산술적 사실의 인출 능력이 수학학습장애를 정의하는 큰 특징이라고 지적한다. 그렇다면 수학학습장애 아동들에게 곱셈구표나 덧셈구표를 주고 암기를 강요하는 것은 대안인가? 만일 아동이 2×4 는 $2 + 2 + 2 + 2$ 를 곱셈 기호를 사용해서 표현한 것이라는 약속의 의미를 이해하지 못한다면 곱셈구표를 외우게 강요하는 것은 고문이고 무의미하다. 장기 기억 형성 부진의 원인이 개념적 이해 또는 연습 부족에서 기인한 것인지 혹은 유전적 요인이 존재하는 것인지는 아직 명확히 밝혀지지 않았고 개인차도 존재하지만 중재에 내성을 보이는 아동에게는 암기 연습 이외의 대안이 필요하다²⁾. 한편 외국의 연구에서는 산

2) 본 연구자의 사례 중 곱셈 구구를 힘들어하는 한 3학년

술적 사실의 인출 확인 과제에 많은 연구자들이 덧셈 구구나 곱셈구구 과제를 선택하였으나 고학년으로 올라가면서 요구되는 수학적 사실 인출 능력에는 도형의 분류/명칭 이해, 측정 단위(m, kg, g 등)의 이해 및 변환 등도 포함될 것이다. 본 연구자의 관찰에 의하면 우리나라는 수학학습부진 아동들은 덧셈/곱셈구구보다는 도형의 이해나 측정 단위와 관련된 사실들의 인출에서 어려움을 갖고 있다.

(4) 개념적 지식 및 문제해결 능력의 부진

지난 15년 간 수학학습장애 아동에 대한 연구의 대부분은 주로 계산 기능이나 기본적 사실의 인출, 단순 문장제 해결 능력들에 초점을 맞추어 왔다(김동일 외, 2009a; Geary 외, 2009; Jordan 외, 2003a; Murphy 외, 2007; Wilson & Dehaene, 2007). 이에 비하여 연산 원리의 이해나 추론 능력과 같은 수학의 다른 영역에 관한 연구가 상대적으로 적게 된 것이 사실이다. 최근에는 고학년 수학학습장애 아동들을 대상으로 할 때는 수학의 다양한 영역에 대한 연구가 수학학습장애의 핵심 원인을 규명하는데 필요하다는 주장이 힘을 얻고 있다(Anderson, 2008; Mabbot & Bisanz, 2008). 수학 인지에서 의미하는 개념적 지식이란 해당 영역의 근간이 되는 원리들과 그들 사이의 상호관계에 대한 지식을 의미한다(Baroody, 2003). 연산의 개념적 지식이 손상된 경우 아동은 자릿수, 추정, 연산의 원리(교환법칙이나 역연산 등)에서 또래 집단보다 낮은 수행력을 보였다(Jordan 외, 2003a). 그러나 Russell & Ginsburg (1984)는 수학학습장애 아동들에게서 별다른 개념적 부진을 발견하지 못하였다. 한편 복잡한 문장제(불필요한 정보가 포함되거나 여러 단계의 절차가 요구되는 경우)의 경우에 수학학습장애 아동들의 수행력이 낮으며, 특히 읽기 장애가 동반되는 경우에는 더욱 현저하게 떨어진 것이 관찰 되었다(Gonzales & Espinel, 2002; Jordan 외, 2003a). 본 연구자가 사례 연구 중인 고학년 수학학습 부진/장애 아동들의 경우에도 곱셈의 교환법칙이나 곱셈과 나눗셈의 관계를 묻는 질문(예: $38 \times 5 = 190$ 일 때 5×38 은 얼마인가? 또 $190 \div 38$ 은 얼마인가?)에 예외 없이 계산을 통하여 답을 구하

는 것을 확인하였다.

이외에 수학학습장애 아동들의 시공간적 지각력 부진과 관련된 연구는 충분치 않고 아직까지는 논란이 되고 있으므로 뒤에서 소개한다.

2. 수학학습장애의 원인 및 오류 유형 분류

1) 수학학습장애의 핵심 원인은 존재하는가?

수학활동에 기여하는 여러 인지기능들의 역할을 살펴보면 수학학습장애의 원인이 다양할 수 있음을 짐작할 수 있다. 인간이 타고나는 직관적 수 감각 외에도 시공간 지각력, 장기기억의 형성 및 인출의 문제, 언어적 능력, 주의 집중을 포함하는 작업 기억(working memory)등 다양한 인지기능이 동원되는 것이 수학활동이므로 수학학습장애는 그 원인을 찾는 것이 단순하지 않다.

<표 3>은 수학학습장애의 원인과 신경심리학적 특성에 대하여 여러 학자들이 연구한 인지 기능 연구를 정리한 것이다. 이들의 연구는 크게 나누면 수학학습장애(특히 발달적 난산증의 경우)에 대한 핵심 원인이 두정엽의 수 처리 능력 부진에서 기인한다고 주장하는 Butterworth, Dehaene 그룹과, 넓은 의미의 수학학습장애(ADHD나 읽기능력 부진이 동반되는 경우까지 포함)는 일반적인 인지기능을 수행한다고 이해되는 전두엽의 중심실행(central executive) 기능 및 작업 기억 용량의 차이에서도 발생할 수 있다고 주장하는 Geary, Hanich, Jordan, Kaplan 등의 그룹이 있다. Rubinsten & Henik(2009)이나 von Aster & Shalev(2007), Hale, Fiorello, Bertin, & Sherman(2003) 등은 두정엽의 수 처리 기능에만 선택적으로 기능부진이 있는 경우에는 순수한 발달적 난산증이 발생할 것이고, 인지 기능을 담당하는 기타 영역에서도 기능 부진이 존재할 경우에는 독서능력 저하나 ADHD와의 동반장애가 공존하는 여러 유형의 수학학습장애가 발생할 수 있다는 제안이다. 많은 연구들이 수학학습장애의 원인을 찾기 위하여 표준화된 검사 뿐 아니라 IQ 검사, 그리고 작업 기억의 검사가 필요하다고 주장한다(Geary 외, 2009; Hale 외, 2003; Murphy 외, 2007; Mabbott & Bisanz, 2008). 수 감각은 정상이지만 전두엽의 중심실행기능이

아동의 경우 뛰어 세기가 부진한 것을 발견하고 뛰어 세기를 원리와 함께 연습한 결과 곱셈구구이해, 암기에서 개선을 보였다.

부진한 경우, 언어적 작업 기억 능력과 추론 능력이 특히 부진한 경우, 혹은 계산 장애만 존재하는 경우 등 매우 다양한 사례가 관찰되므로, 수학학습장애에 대한 한 가지 핵심원인이 존재한다기보다는 개인에 따라 원인이 다양할 수 있다는 것이 연구자의 잠정적 판단이다.

<표 3> 수학학습장애의 인지적 원인과 관련된 연구 영역¹⁾

연구자	인지 기능 수 처리	언어적 작업 기억	시-공간적 작업기억	중심실행 기능
Mc Lean & Hitch(1999)	0	X		0(억제, switch)
Gathercole & Pickering (2000)	0	0	0	0
Landerl & Butterworth(2004)	0	X	X	X
D'Amico & Guarnera (2005)	0	X(숫자주의력)	0	0
Butterworth(2005b)	0			
Wilson & Dehaene (2007)	0		0	△
Von Aster & Shalev (2007)	0	0	0	0
Kaufmann, Ischebeck, Weiss, Koppelstaetter, Siedentopf, Vogel, Dotwald, Marksteiner & Wood (2008)				0(집중, 억제)
Censabella & Noel (2008)	0			X(억제)

Schuchardt Maehler, & Hasselhorn (2008)	0	X	X 읽기장애가 공존할 경우만 0	0
Geary외 (2007,2009)	0	0	0	0(2007) X(2009)
Finnane (2008)	0	0		
Askenazi & Henik (2010)	0			0

<표 3>을 관찰하면 영역에 따라서 혹은 연구자에 따라서 그 결과가 매우 다름을 알 수 있다. 언어적 작업 기억에 대한 발견들은 <표 3>에서 보는 것처럼 일관되지 못하다. 그 이유는 참여한 학생들이 읽기 장애를 동반했는지의 여부에 따라 언어적 작업 기억 과제 수행 결과가 달라지기 때문이고 학습장애와 부진에 관한 분류 기준 또한 연구자 그룹에 따라 다르기 때문이다. 그 외에도 Geary의 경우처럼 동일한 연구자의 경우에도 실험결과의 해석에 따라 원인분석이 다름을 알 수 있다.

2) 수학학습장애의 오류 유형

다음은 수 처리와 관련된 오류를 유형별로 분류한 것이다.

<표 4> 수 처리와 관련된 오류 유형 분류

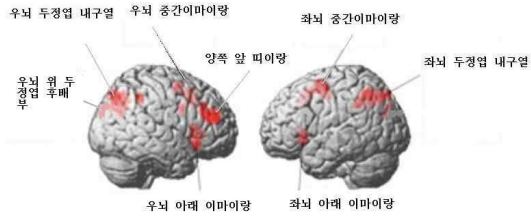
	오류 내용	예
수 생성	<ul style="list-style-type: none"> 문법적 이해(자릿수) 어휘적 이해 	<ul style="list-style-type: none"> 오백 칠십 -> 50070 (받아쓰기) 57 -> 육십 팔
수 이해	<ul style="list-style-type: none"> 집합의 크기 십진법의 이해 	<ul style="list-style-type: none"> 5와 7의 크기 비교의 어려움 2100과 201에서 2의 의미 이해
수 개념	<ul style="list-style-type: none"> 두 수를 더하면 가수보다 커진다 뺄 결과는 피감수보다 작아진다. 	<ul style="list-style-type: none"> 9+6=7 9-6=7 2+3=5이 주어질 때 5-3을 직접 계산함.

	<ul style="list-style-type: none"> • 덧셈의 역연산은 뺄셈이다 • 교환법칙 (덧셈, 곱셈) • 나눗셈은 곱셈의 역연산이다 	<ul style="list-style-type: none"> • $3+4=7$이 주어질 때 $4+3$을 직접 계산함. • $3 \times 4 = 12$이 주어진 경우에 $12 \div 4$을 계산으로 구함.
장기 기억 형성	<ul style="list-style-type: none"> • 간단한 사실과 규칙의 인출 	덧셈구구 및 곱셈구구 인출의 어려움 <ul style="list-style-type: none"> • $n \pm 0 = n, n - n = 0$을 자동적으로 인출 못함
수 변환	<ul style="list-style-type: none"> • 숫자 ↔ 수 단어 	<ul style="list-style-type: none"> • 삼십 칠 → 307 • 205 → 이십 오
시-공간적 지각	<ul style="list-style-type: none"> • 수의 정렬 • 부등호의 사용 • 십적 수직선 • 분수 개념 • 여러 자리 수 곱셈 	<ul style="list-style-type: none"> • 수의 정렬과 관계된 자릿수 이해의 어려움 • 커지는 순서로 배열하거나 작아지는 순서로 배열하는 것을 어려워 함 • 부등호 기호의 사용 ($5 > 7$)
계산 절차	<ul style="list-style-type: none"> • 연산기호의 이해 • 올림/ 내림과 관계된 계산실수 (bugs, slips) • 전략의 이동 (switch) • 수학적 사실의 기억 	<ul style="list-style-type: none"> • 덧셈을 곱셈으로 혼동하거나 곱셈을 덧셈으로 혼동함 $\begin{array}{r} 35 \\ -17 \\ \hline 52 \end{array} \quad \begin{array}{r} 35 \\ \times 17 \\ \hline 663 \end{array}$

이상에서 살펴본 것처럼 수학적학습장애에 대한 핵심 원인을 찾는 작업은 상당한 시간과 더 많은 연구들이 축적 되어야 할 것으로 보인다. 그러나 읽기 장애의 경우 20 여년의 연구 결과 그 원인을 시각/철자적 요인(후두엽), 음운적 요인(측두엽), 말하기 속도 요인(전두엽)으로 구분하는 것처럼(Hale & Fiorello, 2004), 수학적학습장애의 경우도 몇 가지 핵심 원인으로 귀속될 것으로 전망한다.

이제 신경생리학과 뇌 영상촬영을 통해 알려진 수학 활동과 관련된 두뇌 영역을 구성요소별로 살펴보자.

3. 수학 활동과 관련된 두뇌 영역 및 기능



<그림 1> 수학활동과 관련해 활성화 되는 주요 뇌 영역

- 앞 띠 이랑(anterior cingulate gyrus): 목표 설정에 따른 주의집중, 모니터 등의 작업 기억, 고등 사고와 문제 해결을 위해 필요하다.
- 중간 이마이랑(middle frontal gyrus): 시-공간 작업 기억을 담당한다.
- 두정엽 내구열(intraparietal sulcus): 수 감각 핵심 센터. 수의 이해, 수의 비교, 어림, 십적 수직선 형성과 관계있다.
- 위쪽 두정엽 후배부(posterior superior parietal lobe): 시-공간적 주의집중, 물체의 십적 회전, 압산(십적 칠판으로 비유됨) 등에 관여한다.
- 좌 뇌의 각이랑(angular gyrus): 수의 언어적 처리와 관계있는 영역, 곱셈 구구나 단순 산술적 사실의 인출에 관여함. 측두엽의 음운적 고리와 두정엽이 교차하는 곳에 위치한다.
- 아래 이마이랑(inferior frontal gyrus): 음운적 작업 기억, 브로카 언어영역(언어의 이해, 발화)을 포함한다. 특히, 문장제와 복잡한 문제에서 더운 활성화 된다.

1) 전두엽의 중심실행(central executive)기능 및 작업 기억

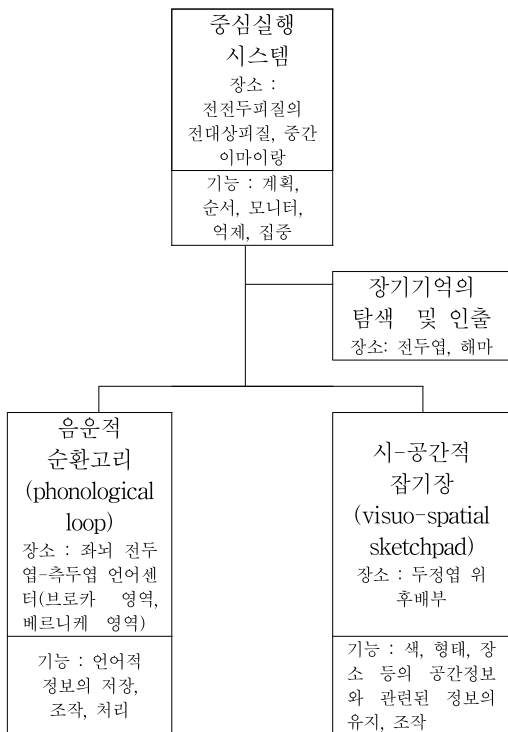
작업 기억이란 짧은 시간 동안 정보를 저장하며 동시에 조작, 처리하는 능력(capacity)을 뜻한다. 인지신경계의 연구에 의하면 작업 기억이 하나의 저장고로 이루어진 것이 아니라, 상호작용하는 분리된 요소들로 이루어진 기억 시스템이라는 것이다. 작업 기억의 구조는 각각 언어적 정보와 시각-공간적 정보를 담당하는 두 개의 영역 특정적(domain specific)인 하부 저장 시스템과, 이들로부터 정보를 수렴 받고, 조절하고, 명

령을 내리는 영역 일반적(domain general)인 중앙집행 시스템으로 이루어진 구조라는 Baddeley & Hitch의 개념이 일반적으로 받아들여지고 있다(Baddeley & Hitch, 1974; D'Amico & Guarneera, 2005; Gathercole & Pickering, 2000).

(1) 중심실행기능

중심실행기능은 하위 시스템으로부터 보고받은 정보에 대한 전반적인 제어를 하는 사령탑의 기능을 한다. 즉 당면한 과제 해결을 위한 전략, 계획의 수립, 주의 집중, 부적절한 반응의 억제, 실수의 모니터링, 과제 사이의 이동, 그리고 제한된 자원의 분배 등이다. 전두엽에 손상을 입은 환자는 100-3은 계산할 수 있지만 100에서 3을 연속적으로 빼는 계산 100-3-3-3...은 수행하지 못하고 1회 계산으로 끝내고 만다(순차적 사고 능력). 전두엽의 역할과 수학 활동의 분산 시스템은 수학적 오류 발생에 대하여도 신경학적 설명을 해준다.

<표 5> 작업 기억의 구조(Kauffmann, 2002 참고)



다음 예를 살펴보자.

· 농부에게 소가 30마리 있다. 농부는 7마리를 제외하고 모두 팔았다. 그에게는 몇 마리가 남았을까?

수학학습부진 아동 뿐 아니라 저학년 학생들 중에 오답을 재빠르게 답하는 경우를 종종 목격한다. 왜 어떤 학생들에게는 '적다'라든지 '제외하고'를 읽었을 때 이것이 자동적으로 뺄셈으로 연결되는 것일까? 일반적으로 전두엽의 성숙은 다른 영역에 비하여 느려서 사춘기 이후까지도 진행된다고 한다. 그러므로 이 시기 이전의 아동들은 계산의 충동을 이길 만큼 다양한 문제를 충분히 다루지 못했을 것이고, 또 전두엽도 다양한 전략을 익히지 못한 상황으로 해석할 수 있다.

이와 같이 중심실행기능은 목표지향적인 행위에서 필요하고, 새로운 과제, 상황에 처했을 때 자신의 행위의 결과를 예측하여 이에 따라 계획을 세우는 데도 필요하다. 그 외에도 개념을 형성하고 추상적으로 사고하는 능력도 실행기능의 요소로 인식된다. 이러한 이유로 중심실행기능은 수학적 사고에서 중요한 역할을 담당한다. 그렇지만 다양한 기능 때문에 개인의 중심실행기능을 단 하나의 과제를 통해서 측정하는 것은 어렵다. 또 중심실행기능에 문제가 있을 경우에는 수학적 학습장애만 독립적으로 나타나기보다는 일반적인 학습장애가 발생할 것이다.

(2) 언어적 작업 기억

이 기능을 담당하는 전두엽의 아래이마이랑(브로카 센터 포함)은 ① 수학 기호(+, -, ×, ÷)의 의미 파악, 개념들 및 규칙의 언어적 표현을 담당하며, ② 근사적 계산 보다는 정확한 계산 과제에서 활성화 되며 ③ 수 단어의 발화, 수의 문법적 이해 및 처리, 계산과정 중 장기기억에서 산수적 사실들의 인출에 관계하며, 정답과 오답 사이의 차별/분리작업 등에 관여하는 것으로 알려졌다(Thomson-Schill, D'Esposito, Aguirre & Farah, 1997). 또한 복잡한 문제, 사고력을 요구하는 문장제에서 더욱 활성화 된다.

(3) 시-공간 지각력

수학과 시공간 지각력과의 관계에 대한 연구는 언어나 장기기억의 역할 등과 비교해 볼 때 부족한 현실이다. 그렇지만 시-공간 지각력이 부진한 경우 각, 도형, 쌓기 나무, 기하와 관련된 문제들이 나타날 수 있

다. 또 분수를 배울 때 원이나 사각형을 균등하게 몇 조각으로 나눈 후 $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ 등의 개념을 도입하므로 시-공간 지각력이 부진한 아동은 위에서 언급한 영역에서 어려움을 겪는다.

수 인지(number cognition)와 관련된 세 가지 가설을 살펴보자. Rourke & Conway(1997)은 산술 계산에서 자릿수 정렬을 할 때 시-공간 지각력이 이를 후원한다고 주장한다. 숫자를 쓸 때 크기가 일관되지 못한 경우에 자릿수 감각을 상실해서 실수를 한다는 것이다. 그러나 McLean & Hitch(1999)는 그들의 연구에 참여한 수학 학습장애 아동 14명 중 2명만이 수 정렬과 관계된 실수를 저질렀기 때문에 시-공간 지각력이 산술 계산을 지지한다는 근거가 희박하다고 반박하였다. 두 번째로 Heathcote(1994)의 가설에서는 시-공간 잡기장(visuo-spatial sketchpad)을 '심적 칠판(mental black-board)'에 비유하였다. 암산을 할 때 이 심적 칠판에 정보를 일시적으로 저장한다는 가설이다. 이때 저장용량이 떨어지는 개인은 실수를 저지를 확률이 높아진다. 세 번째 가설은 Campbell(1994)과 Dehaene(1997)의 견해다. 시-공간 주의력은 아날로그적으로(공간적으로) 배열된 심적 수직선을 활용하여 두 수를 비교하는 과제에서 중요한 역할을 한다는 것인데 이러한 예는 두 수 사이에 부등호(<, >)를 삽입하거나, 수를 내림차순(혹은 올림 차순)으로 나열하는 작업 등이 있다.

4. 수학학습장애의 유형(subtype) 분류 및 공존장애

1) 유형분류

수학활동과 관련된 뇌 영역이 일반적으로 인식되는 것처럼 좌뇌의 한 곳에 집중된 것이 아니라 좌우에 분포되었으며, 수학 활동에 다양한 인지 능력이 요구된다는 사실은 수학학습장애가 좌 우뇌 어느 쪽의 손상으로부터도 야기될 수 있음을 시사한다. 수학학습장애가 있는 경우 수학의 전 영역에 걸쳐 부진을 보이는 것이 일반적이므로, 수학학습장애를 혈액형처럼 유형별로 나누는 것이 항상 가능한 것은 아니다. 그러나 유형별 분류는 아동에게 필요한 중재의 가이드라인으로 유용할 것이다. 수학학습장애와 수학적 인지기능과

관련된 초기의 결과들은 뇌 손상 환자들에 대한 연구로부터 얻어졌는데 좌반구와 우반구 손상 환자들이 다른 특징을 보이는 것에 주목하였다. 예를 들어 좌뇌 측두엽의 언어 영역이 선택적으로 손상된 경우 수학적 사실의 인출에 문제가 발생하지만, 이 경우 우뇌의 두정엽 아래쪽 부위에 이상이 없으면 계산 기능은 보존되는 예를 들 수 있다(Dehaene & Cohen, 1997).

최근에 이르러 축적된 결과들을 바탕으로 많은 연구 그룹들이 수학학습장애를 유형별로 분류하였다(Fuchs, Fuchs, Stuebing, Fletcher, Hamlett, & Lambert 2008; Geary, 2004; Hale 외, 2003; Mazzocco, 2001, Mazzocco & Myers, 2003; Rubinsten & Henik, 2009). 그러나 여기서 유의해야 할 것은 각 유형 간, 유형 내에서도 다양한 변이가 존재한다는 사실이다. 먼저 Geary(2011)와 Mazzocco(2001)는 수학학습장애를 (a) 의미-장기기억형 (b) 절차/작업 기억형 (c) 시-공간 지각형의 세 유형으로 분류한다. (a) 의미-장기기억형은 수량의 인식, 개념이해 및 구구단과 같은 단순 산술적 사실의 자동인출에 어려움을 겪는다. D'Amico & Guarnera(2005)에 의하면 장기기억의 문제는 수학 학습장애 아동의 85% 이상이 경험하는 문제다. 이 유형은 읽기 장애와 공존 발생할 확률도 높다. 읽기 장애가 공존하는 경우에는 수 이해와 생성, 문장제에서 어려움을 겪는다. 그러나 이들은 작업 기억의 문제(예를 들면 낮은 역행숫자주의력)는 겪지 않는다고 보고된다(Geary, 2004). (b) 절차/작업 기억형은 수량 관계와 인식, 기호의 사용에서는 문제가 없으나, 부적절한 절차의 사용, 연령에 비하여 성숙하지 못한 전략과 알고리즘에 의존한다. 절차/작업 기억형은 올림, 내림이 포함된 연산에서의 실수와, 계산 순서, 전략의 사용이나 문제 해결력에서 부진을 보인다. 또 느린 처리속도 역시 특징으로 들 수 있다. ADHD 아동 중 주의력 부족 형에서 절차적 계산 부진이 나타날 수 있다. 의미 기억형과의 주된 차이는 주의 집중과 실행 기능이다. 절차/작업 기억형 아동은 작업 기억에 정보를 유지하고 처리하는 데 상당한 어려움을 경험하므로 불필요한 연결이 실수를 높이고, 처리 속도를 증가시킨다. 또 절차/작업 기억형 아동들의 역행숫자주의력이 의미기억형이나 읽기 장애가 동반된 수학학습장애 아동보다 낮은 것이 특징이다. 그 외에도 야스퍼거 증후군(자폐스펙트럼 증후군)이 있는 아동의 경우 이러한 문제점을

보일 수 있다고 한다(Chiang & Lin, 2007). (c) 시-공간 지각형은 우뇌의 기능 부진과 관계 깊다. 세로셈에서 정렬이나 자릿수 개념, 심적 수직선, 연산기호에의 주의 집중력이 미숙하다. 또 고학년이 되면서 도형, 기하 영역에서 어려움을 겪는다. 이 유형에 대한 연구들 중에 수 백 명의 학습장애아동을 대상으로 수행한 Rourke(1994)의 연구가 있는데, 그 결과에 의하면 이 유형의 아동들은 시-공간-조직 문제 외에도 촉각-지각, 개념 형성 기능이 뒤진다. 반면에 기계적, 자동 압기 능력이나 어구적 기능에는 문제가 없다. 그렇지만 현재로는 이 유형이 새로운 문제 해결과 관련 있는 우뇌 전두엽의 문제인지, 시-공간 지각과 관계있는 두정엽 기능에서 비롯된 것인지, 혹은 둘 다인지는 확인되지 않았다.

Hale 외(2003)는 수학학습장애를 (a) 시-공간 지각형 (b) 수학적 추론형 (c) 실행/계산형 (d) 수학적 사실/지식형, (e) 수감각형으로 분류한다. 그들은 시-공간 지각형은 우뇌 두정엽 위 후배부, 수학적 추론형은 전두/측두엽과, 실행/계산형은 전전두피질 하부, 수학적 사실/지식형은 좌뇌 측두엽/두정엽, 그리고 수감각형은 좌뇌 두정엽의 기능 부진과 관계있는 것으로 파악한다. Hale 등의 분류는 Geary의 분류를 좀 더 세분화한 것으로, Geary의 의미적 장기 기억형이 Hale 등의 수학적 사실/지식형 및 수학적 추론형에 대응되고, 절차/작업 기억형은 실행/계산형에 대응 될 것이다. 마지막으로 수 감각 장애는 발달적 난산증과 직접 관련이 있으며, 이는 일반적 인지 기능의 문제라기보다는 두정엽에서 담당하는 선천적인 수 감각 모듈 장애에서 비롯된다는 제안이 받아들여지는 것으로 보인다. 수 개념의 핵심 센터인 두정엽 내구열에 손상이 오면 수의 양적 처리, 대소 비교, 어림, 심적 수직선 형성의 어려움 등과 함께 빨셈 장애를 보이며 수학학습장애 중 심각한 사례에 해당한다(Butterworth, 2005b; Dehaene & Cohen, 1997; Dehaene 외, 2003; von Aster & Shalev, 2007).

Fuchs 외(2008)는 약 1000명의 3학년 아동을 대상으로 한 연구에서 수학적 인지의 두 큰 영역-문제해결과 연산-에서의 부진이 서로 다른 신경학적 기반을 갖고 있음을 밝혔다. 이 중 연산 영역에서 취약한 아동은 집중이나 처리 속도가 떨어지지만 언어 영역은 상대적으로 강하며, 문제해결에서의 부진은 언어능력 부

진, 가정의 사회경제적 수준과 관련 있음을 보였다.

이와 같은 사실들을 종합해보면 수학학습장애는 다양한 경로를 가지고 있고 또 복합적임을 알 수 있다.

2) 공존 장애 및 가족력

수학학습장애와 종종 동반되어 나타나는 장애로 읽기 장애와 ADHD를 꼽을 수 있다. 그렇지만 이러한 증상들이 동반되는 확률도 연구에 따라 편차가 높다. 이것은 위에서 언급한 기준의 차이, 조사 방법, 학년 등의 차이에 기인한 것으로 보인다. 하지만 분명한 것은 수학 학습장애의 경우 읽기 장애나 ADHA가 동반될 확률이 상당히 높다는 것이다(송창원·김길순, 2009; von Aster & Shalev, 2007; Wilson & Dehaene, 2007).

<표 6> 발달상의 계산 장애 아동의 발생률 및 독서 장애의 동반율(Butterworth, 2005a)

연구국가	발생 추정치	기준	RD 동반율
Ostad(1997) 노르웨이	10.9%	보 통 수 업 장기 참석 학생	51% 철자부진
Lewis 외(1994) 영국	3.6%	산수 하위 16% 이하, IQ<90	64% 읽기 장애
Gross-Tsur 외(1996) 이스라엘	6.4%	정상 학년 수준보다 2년 이상 뒤진 경우	17% 읽기 장애

최근의 연구에 의하면(Rubinsten, Bedard, & Tanock, 2008) ADHD 아동의 상당수가 예기치 못한 산수 학습의 어려움을 동반한다고 한다. 수학학습부진과 ADHD와의 관련성은 주의, 집중과 같은 작업 기억의 문제로 생각되는데 ADHD의 치료제로 널리 쓰이는 약물의 하나인 메틸페니데이트(MPH)의 수학 학습에 관한 영향에 대하여 교사와 학부모들이 이해하여야 하는 사실이 있다. MPH는 각성제로 알려져 있으며 전두엽의 활성화를 증진시킨다. 반면에 MPH는 음운적, 혹은 수의 양적 처리와 관련 있다고 여겨지는 부위인 두정엽은 활성화시키지 못한다. Rubinsten 외 (2008)에 의하면 MPH는 아동의 산수 능력 중 전두엽의 사용과 관련된 과제 수행력(예; 덧셈)은 증진시키지만 전두엽과 관계없는 과제(예; 곱셈구구)의 수행력에는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 밝혀졌다.

3) 수학학습장애 그룹과 수학학습부진(낮은 성취도) 그룹에 관한 종단연구

수학학습장애에 관한 연구에서 빼놓을 수 없는 것이 수학학습부진에 대한 언급이다. 많은 관심에도 불구하고 이 둘은 아직까지 명확한 개념구분이 이루어지지 못한 상태이다. 가장 큰 이유는 연구자 그룹에 따라 수학학습장애와 수학학습부진의 판정기준이 다르기 때문이다. 연구에 따라 수학학습장애는 수학 성취도 하위 10%(Geary 외, 2009; Mazzocco, 2001)에서 35% 이하(Jordan 외, 2003b)까지 다양하다. 그런 이유로 수학학습장애와 수학학습부진 그룹이 동일한 연구에 동원되는 사례가 많았다(Geary 외, 2009). 또 다른 문제는 두 그룹의 수학적 발달이 취약한 것이 과연 동일한 신경심리학적 원인에 기인한 것인지 혹은 다른 요인이 존재하는 것인지를 판단하기 어렵기 때문이다. 실제로 두 그룹 모두 동일한 IQ-수학 성취도 불일치 기준을 이용하여 진단하기도 한다. 우리나라의 경우 한국교육과정 평가원(이화진·나귀수·서동엽·문무경·강혜진, 2000)에서는 학습부진과 학습장애의 개념구분을 위하여 학습장애는 ‘선천적 요인에 의하여 야기되는 현상’으로, 반면에 학습부진은 ‘내재적 원인이 아닌 환경요인이나, 그것의 영향을 받은 개인의 태도, 습관, 혹은 동기부족으로 인한 낮은 성취를 보이는 현상’을 가리킨다고 본다. 두 그룹 사이의 계량적 구별은 현재로서는 그 편차가 심하고 어려운 과제다. Murphy 외(2007)와 Geary 외(2009)는 보수적인 접근을 하여 2년 이상 수학 성취도 하위 10% 이하를 유지할 때를 수학학습장애로, 2년 이상 하위 11~25%를 지속하는 그룹을 낮은 성취도 그룹으로 분류한다. 그렇다면 이들 두 그룹 사이에는 어떤 비슷한 점과 다른 점들이 존재할 것인가? Murphy 외(2007)는 이 두 그룹에 관한 4년간(유치원부터 3학년까지)의 장기추적 연구를 통하여, 두 그룹의 작업 기억 능력에서 차이가 존재함을 발견하였다. 그러나 이 두 그룹을 구별하는 명확한 인지적, 수학적 변수는 존재하지 않고, 두 그룹은 인지적, 수학적 영역에서 부진의 정도가 얼마나 심각하냐에 의해 좌우된다고 결론지었다. 교육과정평가원의 결론과는 다른 판단이다. 한편 Geary 외(2009)는 두 그룹 간에 작업 기억의 능력 차이가 유의미하게 존재함을 발견하였다. 즉, 수학학습부진 그룹의 경우에는 작업 기억 능력이 정상

이지만 수학학습장애 그룹의 경우는 그렇지 않다는 주장이다. 그러나 이에 대한 결론을 위해서는 후속 연구가 좀 더 수행되어야 할 것으로 보인다.

이상으로 수학학습장애의 신경심리학적 특성 및 유형 분류 등을 살펴보았다. 이를 토대로 심층진단검사의 구성요소와 관련된 연구를 진행한다.

5. 심층진단검사의 개발을 위한 기초연구

1) 제작 기준 및 구성요소

일반적인 수학 성취도 평가는 수학학습장애의 원인과 유형을 파악하기에는 충분치 못하다. 수학 성취도 평가에서 다루는 문제들이 복합적인 인지요소들의 결합 가능성 때문에 오류의 원인을 명확히 분석하지 못할 수 있다. 그리고 표준화된 성취도 평가는 수학의 여러 영역을 다루고 결과 역시 평균화 되어 나타나기 때문에 한 영역에서 특별히 취약한 경우를 찾기 못할 수 있다. 즉 성취도 평가가 알려주는 것은 학생의 ‘위치가 어디인가’를 말해주는 하지만 ‘왜’를 설명하지는 못한다. 그러므로 검사의 결과를 통하여 아동의 사전 지식을 파악하고, 출발점을 찾는 것이 수학학습장애 아동에게 개별화된 중재를 제공하는 첫 번째 단계라 할 수 있다(Hale 외, 2003; 이병혁·신현기, 2005). 먼저 사전지식의 점검을 위해서는 교육과정에서 요구하는 가장 기초적인 지식과 기술에서부터 출발해야 할 것이다. 아동이 경험하는 어려움에 포괄적으로 접근하기 위해서는 그 영역이나 유형과 동일한 문제들이 많이 필요하다. 예를 들면 Wong(1996)은 동일 유형의 문제를 다섯 개 제시하여 그 중 세 개 이상에서 오류를 보일 때 이 오류들을 아동의 일관된 오류(bug)로 해석하고 있으며, Lerner(1993)는 하나의 기술에 최소한 세 개 이상의 항목 수를 권장한다(이병혁·신현기, 2005, 재인용). 또한 아동의 사고과정과 오류의 유형을 알 수 있도록 문항은 사지선다형은 배제하고, 교사가 풀이 과정을 관찰할 수 있어야 한다.

많은 연구(Murphy 외, 2007; Schuchardt 외, 2008; Sean, 2009; Sokol, Macaruso, & Gollan, 2004)들이 포괄적인 진단 검사의 장점을 언급하고 있는데 그 이유는 ① 수학학습장애의 경우 개인 간 편차가 매우 다양하기 때문에 1회의 특정 검사만으로 판정하기 어려울

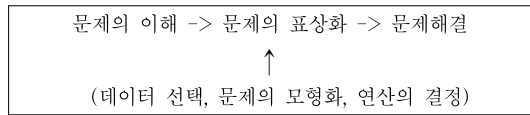
수 있고, ② 올바른 원인을 파악해야 개인에게 맞는 중재 프로그램을 교사가 계획할 수 있기 때문이다. 이러한 사실은 개발에는 일종의 딜레마로 작용한다. 한편으로는 포괄적 검사를 사용해야하므로 다양한 문항 개발이 요구되지만 동시에 수학적학습장애 아동의 낮은 집중력을 고려하면, 1회에 시행할 수 있는 문제 양에 제한이 오기 때문이다. 그러므로 진단 검사는 일정 간격을 두고 몇 회에 나누어 시행해야 한다. 또한 진단 검사를 교육과정에 맞게 제작해야 함은 주지의 사실이다. 그러나 진단 검사가 아동의 사전 지식을 파악해야 한다는 점과, 수학적학습장애 아동의 학력 수준을 고려한다면, 진단검사는 해당 아동의 연령이 속한 교육과정보다 1.5~2년 정도 낮은 수준에서 출발해서 아동이 속한 현재의 교육과정까지 포함해야 한다.

앞에서 살펴본 신경 심리학적 지식들은 진단 검사의 제작과 관련하여 도움을 줄 수 있다. 그 동안 수학적학습장애 아동용 검사들은 연산 능력을 주로 다루었다(이병혁·신현기, 2005). 외국의 경우에도 개념적 지식을 다룬 연구는 아직 미미한 실정이다. 그러나 수학적 지식이 개념적 지식, 절차적 지식, 그리고 사실적 지식으로 구분되고 이들이 각기 뇌에서 독립적으로 처리된다는 사실은 심층진단 검사에 이들을 독립적인 구성요소로 포함시켜야 함을 의미한다. 이 외에도 수학 활동과 관련된 인지기능을 고려해서 수 감각, 추론 및 문제해결 능력, 시공간 지각력, 작업 기억 능력(억제, 집중 등)도 포함되어야 한다. 위와 같은 구성요소별 그룹화를 통하여 수학적학습장애의 유형분류가 가능하다(<표 7> 참고).

<표 7> 구성요소에 따른 수학적학습장애 분류>

취약한 요소	유형	뇌 영역
사실의 인출	의미-장기기억 형 절차-작업기억형	측두엽, 전두엽, 각이랑
절차적 지식	절차-작업기억 형	전두엽, 두정엽
시-공간 지각력	시-공간 지각형 절차-작업기억형	두정엽 뒷부분
작업기억	절차-작업기억 형 및 일반적 학습장애	전두엽 아래 이 마이랑 및 대상 회
수 감각	발달적 난산증	두정엽
문장제 및 추론 능력	읽기 장애 및 고차 적 사고능력	전두엽, 측두엽

한편 학년별 진단 검사는 크게 1, 2학년을 위한 수 처리(number processing) 검사와 문장제, 그리고 3-6학년을 위한 수학 지식 검사로 나누어서 시행하는 것을 고려할 수 있다. 저학년의 경우는 수와 연산 개념을 주로 배우는 단계이므로 수 처리 검사(수 감각, 연산능력, 연산 개념을 포함)와 문장제가 충분하다고 판단한다(Geary 외, 2009; Gersten, Jordan, & Flojo 2005). 수 감각의 중요성에 대하여는 앞에서 언급하였으므로 여기서는 문장제와 관련된 사실들을 먼저 살펴본다. 저학년 아동의 덧셈, 뺄셈과 관련된 문장제는 Riley & Greeno(1988)에서 깊이 다루어졌는데, 문제 상황을 묘사하는 의미적 관계에 따라 결합, 증가/감소, 비교의 3가지 상황으로 분류된다. Hanich, Jordan, Kaplan & Dick(2001)은 여기에 상등(equivalence)을 포함시켰다. 그 중 아동이 가장 어려워하는 것은 비교 문제라고 알려졌다(Pavlin-Bernadić, Vlahovć-Štetić & Arambasić, 2008). 문장제의 해결을 위해서는 무엇보다 개념적 지식을 필요로 하며, 문장의 이해와 해석이 가능해야 한다(Kintsch & Greeno, 1985).



그러나 문제 해결에는 다양한 인지능력이 동원되며, 일반 아동 역시 어려워하는 영역이므로 이 영역에서 취약하다고 수학적학습장애로 단정하기에는 불충분하다. 다른 데이터들을 함께 고려해야 한다는 점이 수감각이나 시-공간 지각력 부진과는 다른 점이라 할 수 있다.

<표 8> 저학년 문장제의 예

분류	예
결합	• 민수와 철수는 9개의 구슬을 가지고 있다. 철수가 가진 구슬의 수가 6개이면 민수가 가진 구슬의 수는 몇 개인가?
비교	• 민수가 가진 구슬의 수는 7개다. 민수는 영호보다 구슬을 4개 적게(많이) 가지고 있다. 영호가 가진 구슬의 수는 몇 개인가?
변화	• 민수는 가진 구슬 중 3개를 영호에게 주었더니 남은 구슬의 수가 9개가 되었다. 민수가 처음에 가지고 있던 구슬의 수는 몇 개인가?

상등	<ul style="list-style-type: none"> • 민수는 구슬을 7개 가졌다. 영호는 구슬을 10개 가졌다. 영호가 가진 구슬과 같아지려면 영호는 구슬 몇 개가 더 필요한가?
----	---

2) 1, 2 학년을 위한 수 처리(number processing) 검사

다음은 여러 연구에서 사용된 수 처리 검사의 하위 영역들이다.

수학습장애 조기 예측과 관련된 종단 연구를 통하여 유치원과 1학년에서는 특히 수 비교와 세기 전략이 수학습장애를 예측하는 주요 변인으로 밝혀졌다 (김동일 외, 2009a; Gersten, 외, 2005; Jordan 외, 2003a; Mazzoco & Thompson, 2005).

이 중 수 변환(숫자 ↔ 수 단어)은 모든 연구에서 공통적으로 선택된 요소는 아니지만 본 검사는 수 변환을 진단과제에 포함시키고자 한다. 그 이유를 생각해 보면 첫 번째로 한국어와 외국어의 수 단어 구성 체계에서 알 수 있다. 영어의 경우는 10부터 19까지의 수 단어를 각각 외워야하지만(eleven twelve, thirteen, 등) 우리나라를 비롯한 중국어의 경우는 십일(ten one), 십이(ten two),... 등으로 규칙이 있어서 배우기 쉽다. 이런 이유로 아동이 5세 정도까지 배우는 수 단어의 양에는 영어권과 우리나라는 큰 차이가 있고 이

것이 미국 아동이 수학을 못하는 첫 번째 이유라고 종종 설명된다(Campbell, 1994; Devlin, 2002). 특히 불어권의 경우 93은 (quatre-vingt-treize $4 \times 20 + 13$)으로 표현되므로 취학 연령 이전 아동들은 대부분 수 단어를 배우는데 매우 어려움을 겪는 경향이 있으므로 언어권에 따라 선별도구로서의 의미가 다를 수 있다. 두 번째로 읽기장애가 있는 아동의 경우 문법적 기능을 제어하는 브로카 영역에 문제가 있는 경우 또는 어휘적(lexical) 기능에 문제가 있는 경우 등에 따라 실수의 유형이 다르다. 수 변환 과제는 수 개념과, 문법적, 어휘적 언어 영역간의 연결이 정상적인지를 측정하는 도구로 사용될 수 있다는 결론이다.

그밖에 수 인식은 발달적 난산증의 진단에 유용하다. 발달적 난산증 아동이 갖는 근본 문제 중 하나가 집합의 농도(cardinality)와 수(digit, 수 단어)를 빨리 연결시키지 못하는 것이다. 수의 다양한 표상(5, 오,)이해에서 어려움을 경험하는 아동이라면 장기기억의 문제 뿐 아니라 수감과 언어 회로 사이의 연결기능이 부진한 것으로 파악할 수 있다. 그러므로 수 인식 과제는 숫자와 집합과의 연결 뿐 아니라 다양한 표상관계의 이해를 측정하는 방법으로도 구성할 수 있다.


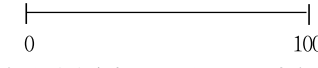
국내 연구에서 김애화(2006)는 수학습장애 위험학생 조기 선별을 위한 수 감각 검사에서 수세기, 수읽

<표 9> 수 감각 지표와 구성 요소 분석

연구자	요소						
	수인식	수 변환	심적 수직선	산수적 사실 인출	수 크기 비교	세기 전략	비교(연령)
Koonz & Berch (1996)			0	0	0		
Landerl & Butterworth (2004)		0		0	0		8, 9세
D'Amico & Guarnera (2005)		0	0	0	0		4,5학년
Mazzoco & Thompson (2005)	0		0	0	0	거꾸로 세기, 뛰어 세기	유치원
김애화 (2006)	0			0	0	거꾸로 세기, 빠진 수 찾기	유치원, 1학년
Desoete & Gregoire (2006)	0			0	0		3학년까지
Wilson & Dehaene (2007)	0	0	0	0	0	뛰어 세기	7-10세
von Aster & Shalev (2007)	0		0	0	0		
김동일 외 (2009a)	0				0	빠진 수 찾기, 추정	
Geary의 (2009)	0		0	0	0	이중세기 오류	

기, 수 의미, 수량변별 등의 12개 하위 영역을 선정하였다. 그 중 숫자규칙 찾기와 색깔 규칙 찾기는 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 또 김동일 외 (2009a)는 소요시간 등을 고려해서 4개 구성요소(수 인식, 수의 비교, 빠진 수 찾기, 추정)를 선정하였다. 그렇지만 김동일 외 (2009a)에서 지적하였듯이 수학학습장애 조기 위험을 예측하기 위한 수 감각 검사는 1회로 한정해서는 안 되며, 시간 간격을 두고 다른 검사지로 평가할 필요가 있다. 수 감각이란 개인의 일생에 걸쳐서 발달하는 것이기 때문에 1회 검사로 장애 발생 여부를 판단하는 것은 선부를 수 있다. 본 연구에서는 위의 사실들을 종합하여 다음과 같은 수 처리 검사를 9개의 하위 영역으로 하여 구성하는 것이 바람직하다는 결론을 도출하였다(<표 10> 참고).

<표 10> 수 감각 검사의 9개 하위 영역과 예시 문항

구성요소	예
대소 관계	· 두 수 중 더 큰 수는 어느 것입니까? (15, 27)
다양한 표상의 이해 (수 인식)	· 더해서 n 이 되는 집합 찾기 (숫자, 점, 사물, 수 단어 등으로 주어지는 표상의 이해)
처리속도	주어진 수를 여러 예시 중에서 찾는 속도를 측정한다.
심적 수직선	·  0 10 또는  0 100 의 수직선에서 중간 수 또는 다양한 수의 위치를 찾게 한다.
수의 정렬	· 다음 수를 커지는 순서로 배열해 보세요. (7, 13, 9, 20, 18)
추정	· 4와 9 중 7에 더 가까운 수는? · 300은 270과 340 중 어떤 수에 더 가까운가요?
세기전략	빠진 수를 채워 넣으시오.

(빠진 수 찾기)	· (9, , 11) · (30, , 50) · (17, 18,)
수 개념	· 덧셈과 뺄셈의 관계 2+3=5이면 5-3은 얼마입니까? · 덧셈의 교환법칙 2+3=5이면 3+2는 얼마입니까? · 덧셈/뺄셈 규칙 $n+0=n$, $n-0=n$, $n-n=0$
수 변환 및 받아쓰기	· 다음 수를 읽고 써보세요. 예) 37 → 삼십 칠 예) 십오 → 15

3) 3-6학년을 위한 수학적 능력 및 지식 검사

수학학습장애/부진 아동을 지도하는 교사들의 어려움 중의 하나가 학습장애나 부진의 출발점을 정확히 파악하는 것이다. 특히 고학년으로 올라갈수록 부진이 누적된 상황이므로 선별된 학생들을 대상으로 중재의 출발점을 알려줄 심층 진단 검사가 반드시 필요하다. Anderson(2008), Mabbot & Bisanz(2008), 그리고 Hanich 외(2001) 등이 수학학습장애 아동의 수행력을 평가하기 위하여 실시한 검사들은 표준화된 척도 검사들과는 달리 수학적 지식과 능력을 포괄적으로 테스트하였다.

수학적 지식은 크게 ①개념적 지식, ②연산과 관련된 절차적 지식 및 기술(skill), ③단순한 산술적 사실의 기억 등으로 나눌 수 있다. 신경심리학에서 알려진 바로는 이들이 뇌의 각각 다른 영역에서 처리되는 독립적 능력이라는 사실이다(Anderson, 2005; Delazer, 2003). 개념적 지식은 장기기억 중 의미기억(semantic memory)으로 분류할 수 있고, 외측 전두 피질(lateral prefrontal cortex)이 기억의 탐색에 동원된다. 단순한 산술적 사실의 인출에는 측두엽과 두정엽이 만나는 곳의 각 이랑과, 언어센터인 브로카 센터 등이 활성화되고, 수학의 절차적 지식과 스킬은 장기기억에서 암묵적 기억으로 분류되고 두정엽과 전두엽, 기저핵의 활성화가 두드러진다. 개념적 지식을 소유한다고 해서 절차적 지식과 기술이 자동적으로 뒤따르는 것이 아니

며, 그 반대의 경우도 마찬가지라는 사실을 종종 관찰할 수 있다.

본 연구에서는 위의 세 가지 외에도 수 감각 검사와 추론 및 문장제 해결능력, 시-공간적 지각능력을 구성요소에 포함시키고자하는데 그 이유는 추론 및 문장제 해결능력을 통하여 고등 사고능력을 측정할 수 있기 때문이고, 읽기 장애의 공존 여부 역시 중요한 변수이기 때문이다. 또 시-공간적 지각능력은 고학년으로 올라가면서 도형, 기하 영역의 성취도와 관련이 있을 뿐 아니라 연산 능력에도 영향을 준다는 사실을 앞에서 언급하였다.

<표 11>은 초등학교 교육과정을 구성요소에 따라 재분류한 것이며, 학년에 따라 시행할 수 있는 측정도구들을 예시하였다. 예시문항개발은 교육과정을 기초로 하였고, 교육과정에서 자주 다루지 않는 추론관련 문항은 선행문헌(Mabbot & Bisanz, 2008; Prabhakaran, Rypma & Garbrieli 2001)을 참고하였다. 문장제의 경우 순수하게 추론 능력만을 측정하는 과제는 실제 계산은 배제된 것으로 문제해결을 위해 필요한 연산을 결정해야 하는 것들이다. 이러한 과제들은 다음

과 같이 학년에 따라 제시할 수 있다.

① 영진이네 반 친구들은 놀이동산으로 소풍을 갑니다. 모두 36명이 4명씩 짝을 지어 꼬마 자동차를 타기로 했습니다. 4명씩 꼬마 자동차를 타려면 차는 몇대가 필요한가요? 이때 어떤 계산이 필요한가? (4학년 이상)

더한다 뺀다 곱한다 나눈다

② 영진이네 학교 5학년 학생 120 명은 현장학습을 가기 위해 버스 한 대에 30 명씩 탔다. 선생님께서 각 버스에 쓰레기봉투를 3장씩 놓으셨다. 쓰레기봉투는 모두 몇 장일까요? 이때 어떤 계산이 필요한가?(5, 6학년)

나눈 다음 곱한다 나눈 다음 더한다
뺀 다음 나눈다 더한 다음 곱한다

수 감각과 산술적 사실의 인출 관련 문항들은 발달적 난산증 진단에서 사용된 문항들을 참고로 하였으며 (Askenazi & Henik, 2010; Geary 외, 2009; Wilson & Dehaene, 2007), 연산 개념이해 문항들은 Delazer (2003)와 Mabbot & Bisanz(2008) 등을 참고하였다.

<표 11> 학년에 따른 수학적 지식의 구성요소 분류

구성(인지기능)		측정	예
수 학 적 개 념 및 추 론 능 력	수학적 개념 (서술적 장기기억, 작업 기억)	<ul style="list-style-type: none"> 덧셈과 뺄셈의 관계 덧셈의 교환법칙 자릿수 개념 곱셈의 교환법칙 (4학년 이상) 곱 $n \times m = n \times (m-1) + n$ (4학년 이상) 곱셈 규칙 나눗셈 개념 (4학년 이상) 연산의 결과 이해 분수와 소수 개념 및 변환 (5학년 이상) 두 수의 크기 비교 	<ul style="list-style-type: none"> $2+3=5$이면 $5-3$은 얼마인가? $63-27=36$일 때 $27+36$은 얼마인가? $10+7=17$이면 $7+10$은 얼마인가? 20, 200, 2000에서 2의 의미 $17 \times 4 = 68$이면 4×17은 얼마인가? $28 \times 4 = 96$이면 28×3은 얼마인가? $13+13+13=39$이면 13×3은 얼마인가? $n \times 1 = n$, $n \times 0 = 0$ $17 \times 5 = 85$이면 $85 \div 5$는 얼마인가? $15-3-3-3-3-3=0$을 나눗셈으로 나타내기 $35 \times 2 = 35$는 올바른 결과일까? $35 \times 4 = 34$는 올바른 결과일까? $\frac{1}{100}$을 소수로 나타내기, 0.01을 분수로 나타내기 $\frac{1}{1000}$을 소수로 나타내기, 0.001을 분수로 나타내기 부등호(<, >) 또는 등호(=)를 사용하여 두 수의 크기를 비교하시오.

		(2011 1999), (삼천 이십오 3025)	
	문장제 및 추론 능력 (언어 능력, 작업 기억)	<ul style="list-style-type: none"> 조건이 부족한 문제의 파악 (5,6학년) 추론 능력(4-6학년) 문장제 (학년에 맞게 제시) 	
수학적 사실 (장기기억에서 직접 인출)	<ul style="list-style-type: none"> 덧셈구구 곱셈구구 곱셈규칙 도형 및 측정 	<ul style="list-style-type: none"> 한 자릿수 덧셈 $8+8(\text{tie})$ 구구단 $7 \times 7(\text{tie})$ $n \times 1, n \times 0$ 삼각형의 내각의 합은 몇 도인가? 직각보다 크고 180도 보다 작은 각의 이름을 묻는다. (5, 6학년) 네 변의 길이가 같은 사각형의 이름을 묻는다. (5, 6학년) 	
	수 감각	<ul style="list-style-type: none"> 숫자 ↔ 수 단어 수직선에 수를 표시 추정 분수와 소수의 비교 (5학년 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> $3498 \leftrightarrow$ 삼천 사백 구십 팔 일반 오백 ↔ 10500 수직선에 주어진 수를 표시한다. 수직선에 주어진 분수와 소수를 나타낸다. 곱셈(예 299×20)의 결과를 추정해본다 나눗셈의 몫(예 $125 \div 20$)의 결과를 추정해본다 분모가 같은 분수를 비교하기 (5, 6학년) 분모가 다른 분수를 비교하기 (6학년) 부등호를 사용하여 소수를 비교한다. (5, 6학년)
	계산절차, 스킬 (중심실행 기능)	<ul style="list-style-type: none"> 가로 셈 세로 셈 곱셈 (교육과정에 따른 여러 자릿수 곱셈) 나눗셈 분수 계산 (5, 6학년) 소수의 덧셈과 뺄셈 (5, 6학년) 혼합계산 (5, 6학년) 	<ul style="list-style-type: none"> 두 자릿수 덧셈 뺄셈 · 세 자릿수 덧셈, 뺄셈 올림과 내림이 각 1회, 2회인 두 자릿수, 세 자릿수 덧셈, 뺄셈 네 자릿수 덧셈, 뺄셈(4, 5, 6학년) (두 자리×한 자리), (세 자리×한 자리) 곱셈 (두 자리×두 자리) 곱셈 (4, 5, 6학년) (두 자리÷한 자리) 나눗셈 (4, 5, 6학년) (세 자리÷두 자리) 나눗셈 (5, 6학년) 간단한 분수의 덧셈, 뺄셈 분수의 통분 · 대분수의 덧셈, 뺄셈, 약분(6학년) 분수의 곱셈 (6학년) 간단한 소수의 덧셈, 뺄셈 혼합계산에서 연산의 순서를 확인한다.
시-공간적 능력	<ul style="list-style-type: none"> 수의 정렬 심적 수직선 	<ul style="list-style-type: none"> 가로셈을 세로셈으로 바꿔 계산해본다. 양 끝의 값이 주어진 수직선에 다양한 수(분수, 소수)를 표 	

	<ul style="list-style-type: none"> · 대칭 도형 그리기 · 회전 	시한다. <ul style="list-style-type: none"> · 선대칭 도형을 그려본다. · 주어진 도형의 회전된 형태를 그려본다.
작업 기억	<ul style="list-style-type: none"> · 역행숫자주의력 	<ul style="list-style-type: none"> · 3 7 2 4 등의 숫자를 읽어주고 거꾸로 말한다. 성공하면 숫자를 하나씩 늘려간다.

이상과 같이 수학적 지식을 6개의 하위영역으로 이루어진 구성요소들로 재조직하여 수학학습장애의 유형과 연결시킬 수 있음을 살펴보았다. 본 연구에서는 작업 기억의 측정과 관련된 과제는 역행숫자주의력 외에는 언급하지 않았는데 그 이유는 인지기능의 측정은 또 다른 독립적인 과제이며, 진단검사와 결부시키는 문제는 후속 연구에서 다루는 것이 옳다는 판단에서이다.

한편 구성요소별 측정 시간 배분은 선행 문헌 Andersson, 2008; Hanich외, 2001)을 참고하고 예비검사를 통하여 결정하였다. 그러나 예비시행의 결과 이 시간 배분은 처리속도를 관찰하기 위한 가이드라인 차원에서 참고하자는 판단이다. 제한된 시간 동안 문제를 푸는 것보다는 그룹화 된 문제를 모두 풀고 난 후에 총 문제수로 나누어 문항 당 소요된 평균 시간을 측정하는 것도 한 방법이다(Askenazi & Henik, 2010). 수학학습부진 아동 중에는 장시간 집중하는 것이 어려운 경우가 많으므로 저학년의 경우 엄격한 시간 배분에 맞춘 시행은 실제로 매우 어렵다. 또 비록 문제를 해결하더라도 <표 12>의 소요시간을 많이 넘기는 경우라면(특히 사실들의 인출이나 수 개념에서) 해당 요소에서 문제점이 있다고 판단해야 할 것이다(Butterworth, 2005b). 연산 개념(예: $34 \times 5 = 170$ 이면 $170 \div 5$ 는 얼마인가?)을 측정할 때에도 대부분의 아동들은 실제 계산을 통하여 답을 구하므로 예상보다 오랜 시간이 걸리므로 단순히 맞다/틀리다 로 판정하고 끝내는 것이 아니고 풀이 과정을 관찰해야 한다. 추론 문제들에서도 주의력이 부족하거나 문장 이해력이 부족한 경우

(혹은 유사한 문제 경험이 없어서)에는 계산을 실제로 수행하는 경우가 있으므로 교사의 사전 지도가 필요하다.

그 외에도 총 검사 횟수는 아동의 집중력을 고려하여 학년에 따라 2~4회로 나누어 실시(각 20~40분)하는 것이 적당하다고 판단한다.

III. 맺는말

본 연구는 수학학습장애의 원인과 유형을 파악하고 증세의 출발점을 판단할 수 있는 포괄적인 진단 검사 개발을 위한 기초연구 수행을 목표로 하였다. 수학학습장애의 원인은 성취도 검사만으로는 쉽게 파악하기 어렵다. 표준화된 검사는 학생의 위치를 알려주지 '왜'를 말해주지는 않기 때문이다. 발달적 난산증의 경우라면 그 원인이 수 처리와 관련 있는 뇌 영역의 기능 부진에서 비롯된 것으로 이해되지만, 일반적인 수학학습장애는 장기기억의 형성 및 인출이나, 언어적 요인, 시공간적 지각력과 같은 일반적인 인지기능상의 문제에서도 비롯될 수도 있다. 그러므로 오류 유형에 따라 수학학습장애를 유형별로 의미-장기기억형, 절차-작업 기억형, 수 감각형, 시-공간 지각형, 추론형 등으로 세분화하는 분류가 최근에 제안되고 있다. 이중 의미-장기기억형은 읽기 장애와 공존 발생할 확률이 높으며, 특징은 작업 기억의 중심실행기능은 정상적이라는 점이다. 한편 절차-작업 기억형은 가장 빈번한 유형이고, 작업 기억의 능력이 부진한 것이 특징이므로, 이 아동들의 역행숫자주의력 등을 확인해 볼 필요가 있다. 이

<표 12> 구성요소별 소요시간

구 성	사실인 출	문 장 제 /추론	연산개념	두수의 비교	두 자리 덧셈 /뺄셈 (가로셈)	세 자리 덧셈/뺄셈 (가로셈)	세로셈(덧셈/ 뺄셈)	곱셈 및 나 눗셈
문항 당 시간	3초	1-1.5분	5초	5초	12분/20문항	8분/10문 항	10분/12문항	1분

유형은 ADHD 중에서 주의력 부족형과 공존할 확률이 높은 것으로 나타난다. 수학학습장애는 유형별로, 또 유형내에서도 다양한 개인차가 존재하는 것이 사실이지만 이와 같은 분류는 위에서 언급한 인지기능들이 독립적인 뇌 영역에서 처리되며 이에 따라 선택적 기능 장애가 발생할 수 있다는 신경학적 이론에 근거한 것이다.

수학학습장애 연구 분야에서 위협이 존재하는 아동을 조기에 선별하고 중재를 제공하는 것이 중요한 과제 중 하나다. 조기 진단을 위한 도구로서 수 감각 검사가 예측성이 높다는 선행 연구가 있다. 본 연구에서는 유치원과 1, 2 학년 아동에게 시행할 9개의 하위 영역으로 이루어진 수 처리 검사와 4가지 유형-비교, 변화, 상등과 결합-의 문장제를 제안하였다. 3학년 이상의 아동을 대상으로 할 때는 연산에 치우친 검사를 지양하고 보다 포괄적인 진단 검사를 제안한다. 이러한 진단검사는 구성요소로 연산의 개념적 지식, 절차적 지식 및 스킴, 인출능력, 수 감각, 시공간 지각력, 문장제 및 추론 능력의 6개 하위영역을 포함하는 것이 바람직하다는 판단이다. 그 외에 문항들을 그룹화하면 구성 요소별 총 소요 시간을 문항 수로 나눈 평균값을 구할 수 있기 때문에 처리 시간을 측정하는데 유리하다. 그렇지만 본문에서 소개한 소요시간은 일종의 가이드라인으로 검사 횟수와 시간은 아동의 상황에 따라서 교사가 적절히 조절해야 할 필요가 있다.

수학 학습 부진과 장애의 개념은 전문 학자들 사이에서도 구분이 애매한 경우가 많은데 그 이유는 표면적으로는 비슷한 현상을 보이며, 동일한 진단도구와 능력-성취도 불일치 기준을 사용해왔고, 판정시의 컷오프 기준이 평가자에 따라 다를 수 있기 때문이다. 그런 이유에서 중재에 대한 강한 내성을 보이는 경우를 수학학습장애로, 중재 효과가 비교적 잘 나타나는 경우를 수학학습부진으로 부르자는 제안(중재-반응 모델)이 설득력을 얻고 있다. 최근의 연구에 따르면 두 그룹 간의 차이는 작업 기억의 용량 차이, 혹은 장기 기억 인출 능력차이라는 견해가 대두되고 있다. 그런 이유에서 표준화된 검사일 경우 진단도구를 둘 이상 사용하고, 일정 시간이 흐른 뒤에 재평가하는 것이 권장된다. 실제로 일선학교에서는 두 그룹을 수학학습부진 아동으로 총칭하고 구태여 분리하지 않는 경향이 있다. 또 수학학습 부진/장애 아동의 경우 저소득층인

경우가 상당하므로 학습 장애/부진의 원인을 생각할 때 이를 고려해야 할 것이다.

현대 사회에서는 수학에서의 성취도가 진로 결정, 직업 선택에 많은 영향을 미치고 있다. 그러나 많은 수학학습 부진/장애 아동에게 수학은 괴물이고, 공포를 야기하며, 삭제하고 싶은 대상이다. 누적된 수학 성적 부진은 그들을 조만간 수학 포기자로 만들 것이다. 그들이 성적을 향상시켜서 자신감을 갖게 하고, 사회의 낙오자가 되지 않도록 돕기 위하여 여러 분야의 전문가들이 아이디어를 교환하고 성공 사례를 확산시키는 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- 김동일·허상·김이내·이기 (2009a). 수학학습장애 위험아동 조기 판별을 위한 수 감각 검사의 적용 가능성 고찰. 아시아 교육연구, **10(3)**, 105-124.
- 김동일·고은영·정소라·이유리·이기정·박중규·김이내 (2009b). 국내 학습장애 연구의 동향분석. 아시아 교육연구, **10(2)**, 283-347.
- 김애화 (2006). 수학 학습장애 위험학생 조기 선별검사 개발: 교육과정중심측정 원리를 반영한 수 감각 검사. 특수교육학연구, **40(4)**, 103-133.
- 송창원·김길순. (2009). 수학학습장애아의 신경 심리적 특성. 학습장애연구, **6(1)**, 67-83.
- 이병혁·신현기. (2005). 학습장애아동의 자연수 연산 수행 평가도구 개발을 위한 기초연구. 학습장애연구, **2(1)**, 115-136.
- 이화진·나귀수·서동엽·문무경·강혜진 (2000). 중학교 학습부진아 지도 프로그램 개발 연구-국어, 수학과 보충 프로그램을 중심으로-. 한국교육과정평가원, 연구보고 RRC 2000.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*, IV. Washington DC: American Psychiatric Press.
- Anderson, J. (2005). Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture. *Cognitive Science*, **29(3)**, 313-341.
- Anderson, U. (2008). Mathematical competencies in children with different types of learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*,

- 100(1), 48-66.
- Askenazi, A. & Henik, S. (2010). Attentional networks in developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 6(2), 1-12.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* 8, 47-89. New York: Academic Press.
- Baroody, A. J. (2003). *The development of adaptive expertise and flexibility: The integration of conceptual knowledge and procedural knowledge*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Butterworth, B. (2005a). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18.
- Butterworth, B. (2005b). Developmental Dyscalculia. In J. I. D. Campbell (Ed.), *The handbook of mathematical cognition* (pp. 455-467). Hove: Psychology Press.
- Campbell, J. (1994). Architecture for numerical cognition. *Cognition*, 53(1), 1-44.
- Censabella, S. & Noel, M. P. (2008). The Inhibition Capacities of Children with Mathematical Disabilities. *Child Neuropsychology*, 14(1), 1-20.
- Chiang, H. & Lin, Y-H. (2007). Mathematical ability of students with asperger syndrom and high-functioning autism. *Autism*, 11(6), 547-556.
- D'Amico, A. & Guarnera, M. (2005). Exploring working memory in children with low arithmetical achievement. *Learning and Individual Differences*, 15(3), 189-202.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford University Press: London.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double Dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33(2), 219-250.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuro Psychology*, 20(3), 487-506.
- Delazer, M. (2003). Neuropsychological findings on conceptual knowledge of arithmetic. In A. Baroody & A. Dowker(eds.), *The development of arithmetic concepts and skills*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Desoete, A. & Gregorie, J. (2006). Numerical competence in young children and in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 16(4), 351-367.
- Devlin, K. (2002). 수학 유전자(진대호 역), 서울: 까치(2002). *The math gene*. New York: Basic Books.
- Feigenson, L., Dehaene, S. & Spelke, E. (2004) Core systems of number. *Trends in Cognitive Science*, 8(7), 48-60.
- Finnane, M. (2008). Addressing verbal memory weaknesses to assist students with arithmetical learning difficulties. *Proceeding 31st Annual Conference Mathematics Educaion Research Group of Australasia*, 195-202.
- Francis, D. J., Fletcher, J. M., Stuebing, K. K., Lyon, G. R., Shaywitz, F. A. & Shaywitz, S. E. (2005). Psychometric approaches to the identification of LD: IQ and achievement scores are not sufficient. *Journal of Learning Disabilities*, 38(2), 98-108.
- Fuchs, L., Fuchs, D., Stuebing, K., Fletcher, J., Hamlett, C. & Lambert, W. (2008). Problem solving and computational skill: Are they shared or distinct aspects of mathematical cognition? *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 30-47.
- Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at seven years of age. *British Journal of Educational Psychology*, June, 70(2), 177-194.
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 37(1), 4-15.

- Geary, D. C. (2011). Consequences, characteristics, and causes of poor mathematics achievement and mathematical learning disabilities. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, **32**(3), 250-263.
- Geary, D. C., Bailey, D. H., Littlefield, A., Wood, P., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2009). First-grade predictors of mathematical learning disability: A latent class trajectory analysis. *Cognitive Development*, **24**(4), 411-429.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L. & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical disability. *Child Development*, **78**(4), 1343-1359.
- Gersten, R., Jordan, N. C. & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, **38**(4), 293-304.
- Gonzales, J. J. & Espinel, A. I. (2002). Strategy choice in solving arithmetic word problems: Are there differences between students with learning disabilities, G-V poor performance, and typical achievement students? *Learning Disability Quarterly*, **25**(2), 113-122.
- Gross-Tsur, V., Manor, O. & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **38**(1), 25-33.
- Hale, J. & Fiorello, C. (2004). *School Neuropsychology: A practitioner's guide*. New York: NY, The Guilford Press.
- Hale, J., Fiorello, C., Bertin, M. & Sherman, R. (2003). Predicting math achievement through neuropsychological interpretation of WISC-III variance components. *Journal of Psychoeducational Assessment*, **21**(4), 358-380.
- Hanich, L. B., Jordan, N. C., Kaplan, D., & Dick, J. (2001). Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, **93**(3), 615-626.
- Heathcote, D. (1994). The role of visuospatial working memory in mental arithmetic. *Cognitive Psychology*, **10**(3), 302-323.
- Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003a). Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of Experimental Child Psychology*, **85**(2), 103-119.
- Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003b). A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development*, **74**(3), 843-850.
- Kaufmann, L. (2002). More evidence for the role of central executive in retrieving arithmetic facts - A case study of severe developmental dyscalculia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, **24**(3), 302-310.
- Kaufmann, L., Ischebeck, A., Weiss, E., Koppelstaetter, F., Siedentopf, C., Vogel, S. E., Dotwald, T., Marksteiner, J., & Wood, G. (2008). An fMRI study of the numerical Stroop task in individuals with and without cognitive impairment. *Cortex*, **44**(9), 1248-1255
- Kintsch, W. & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, **92**(1), 109-129.
- Koontz, K. L., & Berch, D. B. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition*, **2**(1), 1-23.
- Landerl, K. A., & Butterworth, A. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition*, **93**(2), 99-125.
- Lerner, J. (1993). *Learning disabilities: Theories, diagnosis, and teaching strategies (6th ed.)*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Lewis, C., Hitch, G. J., & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9-year-old to 10-

- year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **35(2)**, 283-292.
- Mabbot, D., & Bisanz, J. (2008). Computational skills, working memory, and conceptual knowledge in older children with mathematics learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, **41(1)**, 15-28.
- Mazzocco, M. M. (2001). Math learning disability and math LD subtypes: Evidence from studies of Turner syndrome, fragile X syndrome, and neurofibromatosis type 1. *Journal of Learning Disabilities*, **34(6)**, 520-533.
- Mazzocco, M. M., & Myers, G. (2003). Complexities in identifying and defining mathematics learning disabilities in the primary school-age years. *Annals of Dyslexia*, **53(1)**, 218-253.
- Mazzocco, M. M., & Thompson, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research and Practice*, **20(3)**, 142-155.
- McLean, J. H., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, **74(3)**, 240-260.
- Murphy, M. M., Mazzocco, M. M., Hanich, L. B., & Early, M. C. (2007). Cognitive characteristics of children with mathematics learning disability (MLD) vary as a function of the cutoff criteria used to define MLD. *Journal of Learning Disabilities*, **40(4)**, 458-478.
- NCTM (1989). *Curriculum and evaluation standards for school mathematics*. Reston, VA: NCTM.
- Ostad, S. A. (1997). Developmental differences in addition strategies: A comparison of mathematically disabled and mathematically normal children. *British Journal of Educational Psychology*, **67(3)**, 345-357.
- Pavlin-Bernadić, N., Vlahović-Štetić, & Arambašić, L. (2008). Children's solving of mathematical word problems: The contribution of working memory. *Review of Psychology*, **15(1-2)**, 35-43.
- Prabhakaran, V., Rypma, B., & Gabrieli, J. D. (2001). Neural substrates of mathematical reasoning: A functional magnetic resonance imaging study of neocortical activation during performance of the necessary arithmetic operations tests. *Neuropsychology*, **15(1)**, 115-127.
- Raghubar, K., Cirino, P., Barnes, M., Fletcher, J., & Fuchs, L. (2009). Errors in multi-digit arithmetic and behavioral attention in children with mathematical difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, **42(4)**, 365-371.
- Resnick, L. B., Nesher, P., Leonard, F., Magnone, M., Omanson, S. P., & Peled, I. (1989). Conceptual bases of arithmetic errors: The cases of decimal fractions. *Journal for Research in Mathematics Education*, **20(1)**, 8-27.
- Riley, M.S. & Greeno, J. G. (1988). Developmental analysis of understanding language about quantities and of solving problems. *Cognition and Instruction*, **5(1)**, 49-101.
- Rourke, B. P. (1994). Neuropsychological assessment of children with learning disabilities. In G. R. Lyon (Ed.) *Frames of reference for the assessment of learning disabilities* (pp. 475-590). Baltimore, MD: Brookes.
- Rourke, B. P., & Conway, J. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning, respectively from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities*, **30(1)**, 34-46.
- Rubinsten O., Bedard, A. C. & Tannock, R. (2008). Methylphenidate has differential effects on numerical abilities in ADHD children with and without Co-Morbid mathematical difficulties. *Journal of Open Psychology*, **1**, 11-17.
- Rubinsten O., & Henik A. (2009). Developmental dyscalculia: Heterogeneity might not mean different mechanisms. *Trends in Cognitive Science*, **13(2)**, 92-98.
- Russell, R. & Ginsburg, H. (1984). Cognitive analysis of children's mathematical difficulties. *Cognition and Instruction*, **1(2)**, 217-244.

- Schuchardt, K., Maehler, C. & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities*, **41(6)**, 514-523.
- Sean, M. (2009). *The relationship between visual-spatial reasoning ability and math and geometry problem solving*. Thesis, American International college.
- Siegel, L. S. (1989). IQ is irrelevant to the definition of learning disabilities, *Journal of Learning Disabilities*, **22(8)**, 469-478.
- Siegler, R. S. & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, **75(2)**, 428-444.
- Sokol, S. M., Macaruso, P. & Gollan, T. H. (2004). Developmental dyscalculia and cognitive neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, **10(4)**, 413-441.
- Thompson-Schill, S. L., D'Esposito, M., Aguirre, G. K., & Farah, M. J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: A reevaluation. *Proceedings of National. Academy of Scencesi. USA*, **97(14)**, 14792-14797.
- Van Lehn, K. (1982). Bugs are not enough: Empirical studies of bugs, impasses and repairs in procedural skills. *The Journal of Mathematical Behavior*, **3(2)**, 3-71.
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, **49(11)**, 868-873.
- Wilson, A., & Dehaene, S. (2007). Number sense and developmental dyscalculia. In: D. Coch, G. Dawson, and K. Fischer(Eds.), *Human behavior, learning and the developing brain: Atypical development* (pp.1-37). New York: Guilford Press
- Wong, B. Y. L.(1996). *The ABCs of learning disabilities*. San Diego, CA: Academic Press.
- Woodcock, R. W., McGrew, K. S., & Mather, N. (2001). *Woodcock-Johnson III. Itasca*. IL: Riverside Publishing.
- World Health Organization. (1996). *Multiaxial classification of child and adolescent psychiatric disorders*. Cambridge: Cambridge University Press.

Neuropsychological Approaches to Mathematical Learning Disabilities and Research on the Development of Diagnostic Test

Kim, Yon Mi

72-1 Ma Po Gu, sang Su Dong, Hong Ik University

e-mail: yonmikim@hongik.ac.kr

Mathematics learning disabilities is a specific learning disorder affecting the normal acquisition of arithmetic and spatial skills. Reported prevalence rates range from 5 to 10 percent and show high rates of comorbid disabilities, such as dyslexia and ADHD. In this study, the characteristics and the causes of this disorder has been examined. The core cause of mathematics learning disabilities is not clear yet: it can come from general cognitive problems, or disorder of innate intuitive number module could be the cause. Recently, researchers try to subdivide mathematics learning disabilities as (1) semantic/memory type, (2) procedural/skill type, (3) visuospatial type, and (4) reasoning type. Each subtype is related to specific brain areas subserving mathematical cognition. Based on these findings, the author has performed a basic research to develop grade specific diagnostic tests: number processing test and math word problems for lower grades and comprehensive math knowledge tests for the upper grades. The results should help teachers to find out prior knowledge, specific weaknesses of students, and plan personalized intervention program. The author suggest diagnostic tests are organized into 6 components. They are number sense, conceptual knowledge, arithmetic facts retrieval, procedural skills, mathematical reasoning/word problem solving, and visuospatial perception tests. This grouping will also help the examiner to figure out the processing time for each component.

* ZDM Classification : C32

* 2000 Mathematics Subject Classification : 97C30

* Key Words : mathematical learning disabilities,
developmental dyscalculia, working memory,
forward/backward digit span, distance effect