한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2015, Vol. 27, No. 3, 481-504

초등학교 2학년 아동의 대략적 수 민감도와 영역 별 수학 성취도 간의 관계에 대한 단기 종단 연구*

장 세 림 김 나 래 조 수 현†

중앙대학교 심리학과

대략적 수 민감도(이하 수 민감도)는 수량을 대략적으로 추정, 비교 및 조작할 수 있는 인지적 능력을 의미한다. 수 민감도가 수학 성취도의 근간이 된다는 이론이 제기되어 이를 검증하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 이론을 지지하는 여러 선행 연구에서는 아동의 수 민감도가 수학 성취도와 유의미한 상관관계가 있음을 보고하였다. 하지만, 수 민감도와 아동의 수학 성취도의 관계성에 대한 연구들은 주로 수 개념과 산술 영역을 중심으로 이루어졌으며 기하학 등 다양한 수학의 하위 영역들을 고려하지 않았다. 따라서 이 이론이 수학의 다양한 영역으로 일반화될 수 있는지 확인되어야 한다. 또한 일부 연구자들은 수 민감도와 수학 성취도의 관계성이 온전히 인지 억제 능력에 의해 매개된다고 주장하고 있어 이러한 반론에 대한 검증 작업이 필요하다. 본 연구에서는 아동의 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성을 영역 별로 나누어 단기 종단적으로 분석하였다. 연구 대상은 수에 대한 이해와 수학적 인지 기능이 급속도로 발달하는 초등학교 2학년 학생들로, 3개월의 간격을 두고 두 차례 실험을 실시하였다. 실험 결과, 두 검사 시기에서 모두 수 민감도와 '수 개념 및 산술' 영역 측정치는 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다. '도형' 영역의 성취도는 2차 검사 시기에서만 수 민감도와 유의한 상관관계를 나타냈다. 한편, 인지 억제 능력에 대한 요구가 높았던 과제를 통해 측정된 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성은 유의하지 않았다. 이러한 결과는 수 민감도와 수학 성취도와의 관계성이 비단, '수 개념과 연산' 뿐 아니라, '기하학' 등 다양한 수학의 영역으로 일반화될 가능성을 제시하며 일부 연구자들의 주장과 달리 수 민감도와 수학 성취도의 관계성은 인지 억제 능력에 의해 매개되는 것이 아님을 확인시켜 준다.

주제어 : 대략적 수 민감도, 수량, 수학 성취도, 개인차, 인지 억제, 단기 종단 연구

---

* 이 연구는 2014-2015년도 정부(미래 창조 과학부)의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2012R1A1A1011872, 2014R1A1A3051034).

† 교신저자 : 조수현, 중앙대학교 심리학과, (156-756) 서울특별시 동작구 흑석로 84
E-mail: soohyun@cau.ac.kr

대략적 수 감각 혹은 대략적 수 민감도(approximate number sense, 이하 수 민감도)는 많은 수량을 세지 않고도 대략적으로 추정, 비교 및 조작할 수 있는 능력을 의미한다(Brannon, 2006; Dehaene, Molko, Cohen, & Wilson, 2004). 신생아는 물론, 비둘기, 원숭이 등 여러 동물들도 기초적인 수준의 수량 변별 능력이 있으며, 수학 교육을 전혀 받지 않는 토착 부족민들도 서구 문화권의 성인들과 유사한 민감도의 수 감각을 지닌다고 한다(Hauser, Tsao, Garcia, & Spelke, 2003; Izard, Sann, Spelke, & Streri, 2009; Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004; Xu, Spelke, & Goddard, 2005). 물체나 개체의 수량을 대략적으로나마 빠르게 판단할 수 있는 능력은 사냥이나 채집, 영역 싸움 등 생존에 필수적인 능력으로 진화되어 왔을 것으로 추측되고 있다(Halberda, Mazzocco, & Feigenson, 2008; Pica et al., 2004). 인간의 수 민감도는 태어나면서부터 성인기에 이르기까지 점차 예리해지며 개인차가 매우 크다. 정상적으로 발달하는 인간의 경우, 구별 가능한 수량 차이가 평균적으로 신생아 때 1:3, 6개월 경에는 1:2, 9-12 개월 경에 2:3 정도라고 한다. 예를 들어, 신생아가 1:3의 비율 차이가 나는 수량을 비교할 수 있다는 의미는 한 개와 세 개의 사탕, 두 개와 여섯 개의 사탕, 세 개와 아홉 개의 사탕 등 수량 비율이 1:3 이상 차이가 나면 둘 중 더 많은 쪽을 고를 수 있다는 것이다. 그 이후 초등학교 입학 시기에는 5:6 그리고 20 대에는 7:8 이하의 비율로 표현되는 수량 차이를 구별할 수 있다(Halberda & Feigenson, 2008; Izard et al., 2009; Libertus & Brannon, 2010; Lipton & Spelke, 2003; Piazza et al., 2010; Xu & Spelke, 2000).

수량의 많고 적음에 대한 판단은 비교되는 수량들 간의 거리가 클수록 더 정확하고 빠르게 이루어진다. 예를 들어, 3개와 5개를 구별하는 것(수량 간 거리: 5-3=2)은 3개와 9개를 구별하는 것(수량 간 거리: 9-3=6)보다 어렵다. 이것을 거리 효과(distance effect)라 한다. 한편, 같은 거리라 하더라도, 많은 수량 간의 비교는 적은 수량 간의 비교보다 어렵다. 예를 들어, 15개와 17개를 구별하는 것(수량 간 거리=17-15=2)은 1개와 3개를 구별하는 것(수량 간 거리=3-1=2)보다 어렵다. 이를 크기 효과(size effect)라 한다(Van Opstal, Gevers, De Moor, & Verguts, 2008). 거리 효과와 크기 효과를 종합해보면, 수량 간 비교 판단은 비교되는 수량의 절대값과, 수량 간 거리가 더 커질수록 수월해진다는 것을 알 수 있다. 즉, 수량 변별도 물리적 자극에 대한 변별과 마찬가지로 베버의 법칙(Weber's law or Weber-Fechner's law)을 따른다는 것이 밝혀졌다(Pica et al., 2004). Dehaene 등의 연구자들은 선천적인 대략적 수 처리 체계는 수/수량의 많고 적음에 대한 아날로그적인 일차원 표상 즉, "정신적 수직선(mental number line)"을 포함하며, 상징적인 숫자는 정신적 수직선 상의 적절한 위치에 대응됨으로써 그 의미가 학습된다고 주장한다(Dehaene, 2009, 2011). 뇌 영상 기법을 사용한 선행 연구들에서는 두정 내 고랑(intraparietal sulcus, IPS) 영역이 상징적 수나 비상징적 수량과 관련한 정보처리에 일관되게 활동성이 높아질 뿐 아니라, 뇌 활동에서 크기 효과나 거리 효과가 관찰되어, 정신적 수직선을 표상하는 신경세포들이 존재할 것으로 추측하고

있다(Dehaene, 1996; Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu, & Tsivkin, 1999; Pinel et al 1999). 구체적으로, 비교되는 수량 간의 거리가 멀수록 두정 내 고랑 영역의 활성화 정도가 더 작게 나타나, 행동적 거리 효과에 대응되는 뇌 활동 신호에서의 거리 효과가 관찰되었다(Ansari, Dhital, & Siong, 2006; Cohen Kadosh et al, 2005; Pinel et al., 1999). 또한, 비교되는 두 수량이 클수록 두정 내 고랑의 활동성이 증가하여 행동적 크기 효과에 대응되는 뇌 활동 신호에서의 크기 효과가 관찰되었다(Dehaene et al., 1999; Stanescu-Cosson, Pinel, Le Bihan, Cohen, & Dehaene, 2000). 또한 발달적 수학 학습 장애(Developmental Dyscalculia) 아동들의 경우, 수 민감도의 향상 속도가 정상 아동들에 비하여 매우 느리며(Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011a; Piazza et al., 2010), 두정 내 고랑의 해부학적 구조가 정상 아동들과 다르다는 연구 결과가 보고되어 Dehaene 등의 이론을 뒷받침하고 있다(Mussolin, Mejias, & Noël, 2010; Price, Holloway, Räsänen, Vesterinen, & Ansari, 2007).

최근에는 수 민감도가 수학적 인지 발달의 근원적 요소라는 이론이 제기되어 이를 검증하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Dehaene, 2009, 2011; Geary, 2007; Piazza, 2010). 이를 지지하는 증거로, 대략적 수 민감도의 개인차가 아동 혹은 청소년의 수학적 성취와 유의미한 상관관계가 있다는 보고가 이어지고 있다(Agrillo, Piffer, & Adriano, 2013; Bonny & Lourenco, 2013; Gilmore, McCarthy, & Spelke, 2010; Halberda et al., 2008; Libertus, Feigenson, & Halberda, 2011). 또한 수 민감도가 미래의 수학 학습 능력을 예측한다는 종단적 연구 결과들이 보고되고 있다. 예를 들어, 신생아 시기에 측정한 수 민감도가 3년 후 유아기의 수학 성취도를 예측한다는 결과도 발표되었다(Starr, Libertus, & Brannon, 2013). 또, Mazzocco 외의 연구에서는, 학령기 전에 측정한 아동의 수 민감도가 6세의 수학적 학습 성취도를 예측하였다(Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011b). 또한 Halberda 외의 연구에 의하면 14세에 측정한 수 민감도가 유치원 시기부터 6학년에 이르기까지 매년 측정한 수학 성취도 검사 점수와 일관된 상관관계가 있었다(Halberda et al., 2008). 특히, Libertus 외의 연구에서는 약 4세 아동의 수 민감도와 수학 성취도를 약 6개월의 간격을 두고 측정하였는데, 두 변인의 점수가 6개월 만에 유의하게 향상되었을 뿐만 아니라, 처음에 측정한 수 민감도의 개인차가 이후에 측정한 수학 성취도의 변화량을 예측하였다. 이는 수 민감도가 아동기에 매우 빠른 속도로 발달하며, 수 민감도가 수학 학습 능력에 지속적으로 영향을 미친다는 것을 의미한다. 종합하면, 이러한 선행 연구 결과들은 수 민감도가 대략적 수 체계에 존재하는 수 표상의 정확도를 반영하며, 상징적 수의 의미에 대한 초기 학습이 대략적 수 표상의 정확도에 의해 영향을 받았기 때문인 것으로 해석할 수 있다(Barth, La Mont, Lipton, & Spelke, 2005; Brannon, 2006; Dehaene, 2007). 즉, 아날로그 수표상이 정확한 사람은 상징적 수의 의미를 보다 정확하게 학습할 수 있으며, 나아가 상징적 수에 기반한 연산 등 수학적 정보 처리를 더 잘 할 것으로 예측할 수 있다(Barth et al., 2005; Brannon, 2006; Dehaene, 2007). 고등한 인지 능력의 발달에 기여하는

기초적인 인지 과정에 대한 연구는 수학뿐만 아니라 언어 분야에서도 유사한 결과를 보고하고 있다. 예를 들어, 영아기의 음소 변별 능력이 이후 단어 습득, 읽기 등 언어 능력을 예측할 수 있다고 한다(Kuhl, 2004; Tsao, Liu, & Kuhl, 2004).

하지만, 수 민감도와 수학 학습에 대한 선행 연구들에서는 수학의 여러 하위 영역을 구분하지 않거나 주로 수 개념과 산술 영역만을 고려하였다는 한계가 있다(Halberda et al., 2008; Inglis, Attridge, Batchelor, & Gilmore, 2011; Libertus et al., 2011; Libertus, Feigenson, & Halberda, 2013; Mazzocco et al., 2011b; Sasanguie, Göbel, Moll, Smets, & Reynvoet, 2013). 즉, 수 민감도가 모든 영역에 걸친 수학 성취도와 상관관계가 있는지 아니면 수 개념이나 산술 영역에 국한하여 상관관계가 있는지 확인되지 않았다. 따라서, 아동의 수학 학습 능력이 발달함에 따라 다양한 하위 영역의 수학 성취도와 수 민감도의 상관관계를 영역 별로 조사할 필요가 있다. 특히, 기존에 많이 연구된 '수 개념과 산술' 영역 외에, 초등학교 수학 교과 과정의 중요한 영역인 '도형' 등 '기하학' 관련 성취도가 포함된 연구가 필요하다. 대략적 수 표상이 정확한 아동이 상징적 수의 의미를 보다 정확하게 학습할 수 있으며, 상징적 수를 이용한 연산을 더 잘 할 것으로 기대할 수 있으나(Barth et al., 2005; Brannon, 2006), 대략적 수 표상이 정확한 아동이 시공간적 주의와 정보처리를 요하는 '도형' 등 '기하학' 영역의 문제 해결을 더 잘 할 것인지는 확인해 볼 필요가 있다. 성인 대상 연구 중 Lourenco와 동료들(2012)에 의하면 성인의 수 민감도는 '산술'과 '기하학' 영역의 성취도와 모두 유의한 상관관계가 있었지만, 수 민감도는 '기하학'보다 '산술' 영역 성취도와 상관관계가 높았고, '기하학' 영역의 성취도는 수 민감도보다 면적 민감도와 상관관계가 더 높았다(Lourenco, Bonny, Fernandez, & Rao, 2012). 이는 수와 공간 정보 처리 능력이 각기 '산술'과 '기하학' 영역과 매우 밀접한 관계가 있지만, 수 정보처리가 공간 정보 처리 및 기하학적 능력과도 관계가 있음을 보여준다. 물론, 이러한 결과가 아동에게서도 동일하게 나타나는지는 확인되지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 인지 능력이 급속하게 발달하는 아동들의 수 민감도가 '수 개념과 산술' 영역 뿐 아니라 '기하학' 영역에서의 성취도와 일관된 관계성이 있는지를 종단적으로 확인하였다. 만약 수 민감도와 '도형' 영역 성취도 간에 상관관계가 관찰된다면, 대략적 수 표상 즉, 아날로그 수 표상의 정확도가 비단 정확한 숫자 개념의 정립과 연산을 도울 뿐 아니라, 크기, 길이, 각도 등 시공간 정보를 보다 정확하게 처리할 수 있는 능력과도 관계될 가능성을 시사하며, 나아가 수, 공간, 시간 등 연속적인 양 혹은 규모(magnitude)에 대한 정보는 공통의 체계에 의해 처리된다는 이론(A theory of Magnitude; 매그니튜드 이론)을 뒷받침하는 증거가 될 것이다(Bueti & Walsh, 2009; Walsh, 2003). Walsh와 동료들의 '매그니튜드 이론'에 의하면 수, 공간, 시간은 동물들의 효율적인 감각-운동 변환(sensorimotor transformation)을 위해 동시에 처리해야 하는 정보이므로 이들을 공통적으로 처리하는 체계가 존재해야 할 것이라고 주장한다. 예를 들어, 동물이 눈 앞에 지나가는 먹이를 잡을 때,

대상의 공간적 크기, 수량, 이동 속도, 대상과의 공간적 거리 등에 대한 정보를 한꺼번에 처리해야만 정확한 운동 반응을 산출할 수 있다. 따라서, Walsh와 동료들은 수, 공간, 시간 정보를 종합적으로 처리할 수 있는 공통의 기제가 진화되어 왔을 것으로 가정하고 있으며, 이들의 이론에 따르면, 수량 정보 처리를 잘 하는 동물이나 사람은 시공간적 정보처리도 잘 할 것으로 예측한다.

본 연구의 또 다른 목적은 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계가 인지 억제 능력에 의해 매개된다는 Gilmore 등 연구자들의 주장을 체계적으로 검증하는 것이었다. 몇 몇 선행 연구에서는 점 집합을 이용한 수량 비교 과제에서 인지 억제 능력이 강하게 요구되는 조건에서 측정된 수 민감도만이 수학 능력과 높은 상관관계를 가진다고 보고하였다(Fuhs & McNeil, 2013; Gilmore et al., 2013; Szűcs, Nobes, Devine, Gabriel, & Gebuis, 2013). 이들의 주장에 따르면, 수 민감도 측정 시에 인지 억제 기능에 대한 요구가 클 경우, 집행 기능이 좋은 사람일수록, 수 민감도와 수학 검사 점수가 모두 높게 측정되어, 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계가 높게 나타난다고 한다. 또한 스트룹(Stroop) 과제 등을 사용하여 측정한 인지 억제 능력의 영향이 통제된 이후에는 수 민감도와 산술 능력 간의 상관관계가 사라졌다고 보고하였다. 이 연구자들은 수 민감도와 수학 성취도 간에 상관관계가 나타난 이유는 수량 판단 시에 연속적 변인(예를 들어, 점들의 총면적, 둘레 등)의 영향이 수행을 방해할 경우 이를 억제하는 능력이 우수한 피험자(즉, 집행기능이 우수한 피험자)가 수 민감도와 수학 성취도 검사 점수가 모두 높게 측정되기 때문이라고 주장한다. 그러나 또 다른 선행 연구들에서는 수량 판단 시 연속적인 변인들의 영향을 통제한 조건들에서 측정된 수 민감도와 수학 성취도와의 유의한 상관관계를 보고하여(Agrillo et al., 2013; Halberda et al., 2008; Libertus et al, 2011, Lourenco et al, 2012) 선행 연구 간에 결과가 불일치하고 있다.

따라서 본 연구에서는 인지 억제에 대한 요구도가 다른 다양한 조건의 수량 비교 과제를 통해 측정한 수 민감도가 기하학, 수 개념, 산술 등의 수학 영역과 상관관계가 있는지를 단기 종단적으로 조사하였다. 조사 대상 집단은 공교육을 통한 수학 학습을 1년 이상 이수한 초등 2학년 아동으로 설정하였으며, 3개월의 간격을 두고 두 차례에 걸쳐 수 민감도와 수학 성취도가 얼마나 향상되는지, 수 민감도와 여러 영역의 수학 성취도가 어떠한 관계가 있으며 그 관계성이 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 단기 종단적으로 추적하였다. 또한, 초등학교 시기에는 인지 발달이 급속도로 이루어지며, 6개월이라는 짧은 기간에도 수 민감도가 유의하게 증가하였다는 선행 연구 결과를 참고하여(Libertus et al, 2013), 그보다 짧은 3개월이라는 기간 동안에도 행동적으로 관찰 가능한 수행의 향상이 일어나는지를 확인하여 아동기 수 민감도의 발달 속도에 대한 새로운 정보를 얻고자 하였다. 횡단 연구가 아닌 종단 연구를 수행한 이유는 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성이 시간에 따라 지속적으로 일관되게 관찰되는지를 확인할 수 있을 뿐 아니라, 추가적으로 수 민감도의 향상도와 해당 영역의 수학 성취도의 향상도 간의 상관관

계를 확인하여 두 변인 간의 직접적인 관계성을 더 명확하게 검증할 수 있기 때문이다.

방 법

연구 대상 본 연구는 서울과 경기도 안양, 안산 지역에 거주하는 22명의 초등학교 2학년 아동(1차 검사 시 연령: 평균 8.18세, 표준편차 .29)을 대상으로 이루어졌다. 1차 검사는 2학년 여름방학 중에 실시되었으며, 2차 검사는 2학년 2학기 중반에 실시되었다. 초등학교 2학년 1학기까지의 교과과정은 덧셈, 뺄셈과 곱셈, 세 자리 수, 도형과 길이에 대한 기초 개념 학습으로 이루어져 있다. 2차 검사가 이루어진 2학년 2학기 초반의 교과과정은 네 자리 수와, 곱셈 및 구구단에 대한 학습으로 이루어져 있다. 그러므로 1차와 2차 검사 사이에 연구 대상 아동들은 2학년 1학기의 수학 교과과정인 수 개념 및 연산(세 자리 수, 덧셈, 뺄셈, 곱셈) 그리고 기하학(도형과 길이에 대한 개념) 영역의 학습 내용을 복습하고, 2학기에 학습하는 수 개념 및 연산(네 자리 수, 곱셈, 구구단) 및 기하학(길이 재기 등)적 개념을 새롭게 학습한다. 따라서 초등 2학년은 본 검사에서 사용하는 수학 성취도의 하위 영역(수, 도형, 연산)에 대한 본격적인 교육이 이루어져 급속한 수학 성취가 이루어지는 시기로 단기 종단적 변화를 관찰하기에 적합하였다. 피험자와 그 보호자는 실험자로부터 연구 방법 및 절차에 대하여 충분한 설명을 들은 후에 실험 참가 동의서를 작성하였다. 본 연구는 중앙대학교 생명윤리위원회(IRB)의 심의를 통과했다.

측정 도구 및 실험 절차 연구에 포함된 실험 및 검사는 수 민감도를 측정하기 위한 수량 비교 과제와 수학 성취도 검사로 구성되었다. 수 민감도는 점집합을 이용한 수량 비교 과제를 통해 측정되었다. 수학 성취도는 국립특수교육원에서 발행한 기초학력 검사(KISE-BAAT)의 수, 산술, 도형 영역에 해당하는 소검사들을 사용하여 측정했다(이 밖의 소검사들이 제외된 이유는 예비 연구 결과, 초등학교 2학년 아동의 경우 수 개념, 산술, 기하 영역을 제외한 이외의 영역에서는 성취도의 개인차가 크게 나타나지 않았기 때문이었다.) 실험 및 검사는 대략 3개월의 간격(평균 86일)으로 두 차례에 걸쳐 실시되었으며 1차 검사 시기는 2학년 1학기 여름 방학이었으며 2차 검사 시기는 10월 말에서 11월 초 사이였다. 모든 검사는 실험자가 피험자의 자택을 방문하여 실시되었다. 실험자는 총 11명으로, 3명의 심리학 석사급 연구원이 주요 실험자로, 연구실 소속 인턴 대학생 8명이 보조 실험자로 참여하였다. 실험 실시 전에 모든 실험자들은 숙련된 연구원들로부터 각 검사도구의 사용법에 대한 훈련을 받았다. 실험자들은 실험 및 검사 실시 전에 피험자 및 피험자의 보호자들에게 실험 및 검사에 대해 충분히 설명하고 질문을 받았다. 피험자들은 실험 중에 언제든지 실험을 중단하고 휴식을 취하거나 실험을 종료할 수 있었다. 피험자들은 독립된 조용한 공간에서 1600×900 픽셀 해상도의 컴퓨터 모니터를 통해 수량 비교 과제를 수행했다. 수학 성취도 검사는 실험자가 문제를 보여주면 피험자가 직접 종이에 문제를 풀거나, 실험자가 묻고 피험자가 답하는 형식으로 진행되었다. 모든

검사가 종료된 후에 피험자의 보호자와 피험자에게 소정의 사례금과 선물이 지급되었다.

수량 비교 과제 수량 비교 과제는 화면의 중심을 기준으로 왼편과 오른편에 제시된 두 점 집합의 수량을 비교하여 더 많은 수량의 점 집합을 선택하는 과제이다(그림 1). 본 시행에 앞서 피드백이 제공되는 5번의 연습 시행이 있었으며, 본 시행에서는 피드백이 제공되지 않았다. 본 시행에서는 먼저 1000ms동안 응시점이 제시된 후 점 자극이 1000ms동안 나타난 뒤 사라졌으며 피험자의 반응을 기다리는 화면이 최대 10초 동안 제시되었다(그림 1). 피험자는 왼편에 제시된 집합의 수량이 더 많았다면 키보드의 3번을 누르고, 오른편에 제시된 집합의 수량이 더 많았다면 키보드의 8번을, 그리고 둘 중 어느 집합의 수량이 더 많은지 결정하지 못할 경우 키보드의 0번을 누르도록 지시 받았다. 0번으로 반응한 경우에는 오답으로 처리되었다. 또한 키에 적힌 숫자의 영향을 배제하기 위해 3번과 8번, 0번 키에 각각 왼쪽, 오른쪽, X자가 적힌 스티커를 부착하였다. 각 점 집합의 수량은 최소 6개부터 최대 49개였으며 변별의 난이도는 두 집합의 점들의 수량 간 비율(1:2, 3:4, 5:6, 6:7, 7:8, 8:9, 표 1)로 조절되었다. 각 점은 217 x 290의 픽셀(pixel)의 범위의 가상의 사각형 안에 무선적으로 배치되었으며, 두 집합의 중심 간 거리는 65 픽셀이었다. 모든 점 자극은 MATLAB 소프트웨어를 사용하여 제작되었으며, 과제의 제작 및 실시는 E-Prime 소프트웨어를 이용하여 진행되었다. 시행 수는 세 개의 통제 조건 당 각각 6개의 비율이 10시행씩 제시되어 총 180시행이었다. 조건과 난이도(수량 제시 비율)는 모두 무선적인 순서로 제시되었다. 모든 세션에서 피험자가 24시행을 마칠 때마다 쉬는 시간이 제공되었다. 또한, 화면 왼쪽 집합의 수량이 많았던 시행과 오른쪽 집합의 수량이 많았던 시행의 수는 동일하게 반씩 나뉘었다. 수량 변별의 난이도 별 정확도와 반응시간을 종속 변인으로 분석하였다.

수량 비교 과제는 세 가지 조건으로 구성되었다. 수량 이외의 연속적인 시각적 속성의 영향을 통제한 1) 평균 크기 통제 조건, 2) 총면적 통제 조건과, 시각적 속성을 적극적으로 억제하는 능력을 요하는 3) 총면적 2/3배 조건이 사용되었다. 점 집합을 이용한 수량 비교 과제에서 수량을 제외한 모든 연속적 변인의

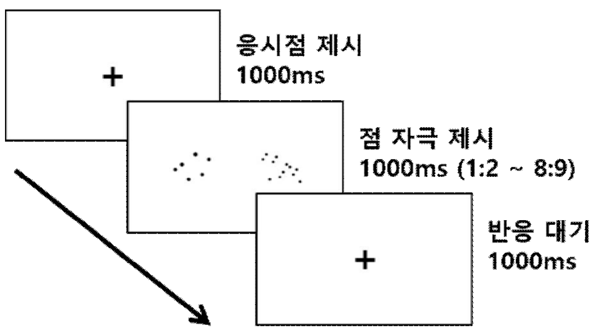


그림 1. 수량 비교 과제의 시행 절차.

표 1. 수량 비교 과제 제시 수

1:2	2:3	5:6	6:7	7:8	8:9
6:12	9:12	10:12	6:7	7:8	8:9
8:16	12:16	15:18	12:14	14:16	16:18
10:20	15:20	20:24	18:21	21:24	24;27
12:24	18:24	25:30	24:28	28:32	32:36
14:28	21:28	30:36	30:35	35:40	40:45
16:32	24:32	35:42	36:42	42:48	
18:36	27:36	40:48	42:49		
20:40	30:40				
22:44	33:44				
24:28	36:48				

영향을 완벽하게 통제하는 것은 가능하지 않다(Gebuis & Gevers, 2011; Gebuis & Reynvoet, 2011; Leibovich & Henik, 2014). 따라서 선행 연구들에서는 통제 가능한 변인을 통제하는 조건을 고안하는 동시에 통제하지 못한 변인들이 수량 판단을 일관되게 방해하거나 도와주지 못하도록 이들을 무선적으로 변화시키는 방법을 사용하며, 모든 통제 조건의 수행 평균으로 수 민감도를 계산하는 것이 일반적이다(Halberda & Feigenson, 2008; Halberda et al, 2008; Libertus et al., 2011; Libertus et al, 2013; Lourenco et al, 2012; Mazzocco et al., 2011a,b). 본 연구에서도 선행 연구를 참고하여 두 가지 통제 조건을 사용하였다. 총면적 통제 조건과 평균 크기 통제 조건은 비교되는 두 점 집합 간에 각기 총면적과 평균 점 크기를 동일하게 맞춘 조건들이다(그림 2). 각 집합의 점들은 일정한 면적 내에서 무선적으로 제시되었기 때문에 점들의 밀도와 전체 둘레는 여러 시행에 걸쳐 두 집합 간에 동일하게 통제되었다(Halberda & Feigenson, 2008). 평균 크기 통제 조건의 경우, 두 집한 간에 개별 점의 평균 크기를 동일하게 통제했기 때문에 부득이하게 점의 총면적이 수량과 정비례하여 총면적이 수량을 판단하는데 도움을 주는 단서가 될 수 있다. 총면적 통제 조건의 경우 점 집합 간에 총면적이 서로 동일하기 때문에 부득이하게 수량이 더 많은 집합의 점들의 평균 크기는 더 작아서, 점의 크기가 수량에 반비례한다. 평균 크기 통제 조건에서는 개별 점의 크기가 지름 약 8픽셀(pixel)을 기준으로 80% ~ 120% 범위 안에서 제시되었으며, 두 집합의 평균 점 크기는 수량과 무관하게 지름 약 8 픽셀로 동일하였다. 평균 크기 통제 조건에서 제시된 점 배열의 총면적 범위는 약 96 ~ 784π픽셀이었다. 총면적 통제 조건에서는 두 점 배열의 총면적이 점의 수량과 무관하게 동일하였다. 총면적 통제 조건에서 제시된 점의 크기

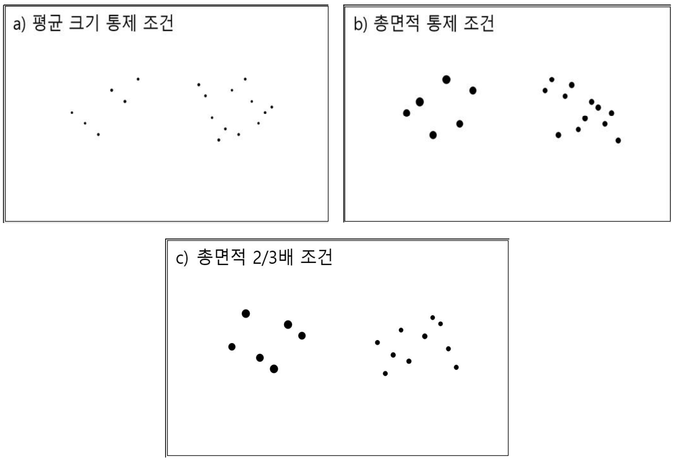


그림 2. 수량 비교 과제에 사용된 자극. a) 평균 크기 통제 조건: 두 집합 간에 평균 점 크기를 동일하게 통제한 조건, b)총면적 통제조건: 두 집합 간에 점들의 총면적을 동일하게 통제한 조건, c) 총면적 2/3배 조건: 수량이 많은 집합의 총면적이 수량이 적은 집합의 총면적의 2/3배인 조건.

는 지름 약 8 ~ 23픽셀이었다. 수량 비교 과제를 실시한 선행 연구에 따르면, 수량과 현저하게 정비례하는 시각적 속성이 많을수록 수행이 좋아지고, 수량과 현저하게 반비례하는 시각적 속성이 많을수록 수행이 저조해지는 경향을 보고하고 있다(Gilmore et al, 2013, Hurewitz, Gelman, & Schnitzer, 2006). 총면적 통제 조건에서는 개별 점의 크기가 수량과 반비례하므로 점의 크기 정보를 억제해야할 필요가 있을 것으로 생각할 수 있으나, 본 연구실에서의 예비 연구 결과, 피험자들은 대부분 총면적 조건에서 점의 평균 크기가 수량과 미묘하게 반비례함을 알아차리지 못했으며, 점의 크기 정보에 별로 주의를 기울이지 않고 수량에 집중하여 과제를 수행했다고 보고했다. 한편, 평균 크기 통제 조건에서는 수량과 반비례하는 시각적 속성이 없었으며, 총면적이 수량과 비례하여 수량 판단을 도와주는 단서로 작용할 수 있어 인지적 억제에 대한 요구가 매우 작다고 볼 수 있다. 한편 총면적 2/3배 조건에서는 수량이 더 많은 집합의 점들의 총면적이 수량이 더 적은 집합의 총면적보다 항상 2/3배 작았다. 즉, 총면적 2/3배 조건에서는 점 집합의 총면적과 점의 개별 크기가 모두 수량과 현저하게 반비례하기 때문에, 인지 억제에 대한 요구가 매우 높다. 따라서 총면적 2/3배 조건에서 피험자들은 수량 판단 시 총면적 및 점의 개별 크기에 대한 정보 처리를 억제하면서 수량을 판별해야 했다(그림 2). 본 연구에서는 인지 억제에 대한 요구가 적은 평균 크기 통제와 면적 통제 조건의 수행 정확도의 평균치를 이용하여 피험자의 일반적인 수 민감도를 측정하였다. 한편, 현저한 시각적 변인을 억제해야 하는 총면적 2/3배 조건의 수행 정확도를 통하여 인지 억제 능력을 반영한 수 민감도를 측정하여 일반적인 수 민감도와 비교하였다.

수학 성취도 및 지능 검사 수학 성취도 검사는 국립특수교육원에서 제작한 기초 학력 검사(KISE-BAAT; 박경숙 외, 2008) 중 수학 검사를 사용하였는데, 이 검사는 만 5세에서 만 15세 미만까지의 아동 청소년을 대상으로 하여 수학 능력을 평가하는데 필요한 기초적인 요소들을 포함한 표준화된 수학 기초 학력 평가 도구이다. 본 연구에서는 가형, 나형의 동형 검사를 1차, 2차 검사에 나누어 사용하여 연습 효과를 최소화했다. KISE-BAAT는 크게 6가지의 평가 영역(수, 도형, 산술, 측정, 확률과 통계, 문제해결)로 이루어져 있는데 본 연구에서는 그 중 수, 산술, 도형 영역을 사용하였다(이 밖의 소검사들이 제외된 이유는 예비 연구 결과, 초등학교 2학년 아동의 경우 수 개념, 산술, 기하 영역을 제외한 영역에서는 성취도의 개인차가 크게 나타나지 않았기 때문이었다.) 수 영역은 범 자연수, 분수와 소수, 비율과 백분율로 나뉘어 수에 대한 기본적인 이해도를 측정하는데, 가장 먼저 범 자연수 영역은 10, 100, 1000자리수의 범위에 따라서 난이도가 상승한다. 분수와 소수, 비율과 백분율의 문제에서는 기본적 이해와 표현 형식 간의 차이에 대한 이해를 측정한다. 산술 영역은 사칙 연산에 대한 구술, 지필, 암산 문제를 통해 기본적인 연산 능력을 측정한다. 도형 영역은 도형에 대한 기본적 지식, 입체 도형에 대한 시점 변환, 좌표 처리 등을 이용하여 공간 정보에 대한 처리 능력을 요구한다(표 2). 검사의 실시 방법은 다음과 같았다. 조용한 공간에서 실험자가 피험자에게 문제 풀이에 필요한 지시문을 읽어주며 문제들을 직접 보여주었다. 검사자는 정답 여부를 아동에게 알려주지 않고 아동의 응답과 함께 답안지에

표 2. 수학 성취도 검사의 평가 내용 및 문제 예시

평가영역	평가내용
수 개념 및 산술	수: 범자연수(10 이하, 100 이하, 1000 이하), 분수와 소수, 비와 백분율
	숫자 카드 “9 4 7” 을 보고 수의 크기가 작은 것부터 순서대로 말해 보시오. 100 모형 3개, 10 모형 17개, 1 모형 8개가 있습니다. 모두 몇 개인지 수를 말해 보시오. 네 수를 이용하여 만들 수 있는 가장 큰 네 자리 수를 말해 보시오.
	산술: 사칙연산, 암산
	5 더하기 9는 얼마입니까? 밤 9개를 세 3명이 똑같이 나누어 먹으려고 합니다. 한 사람이 몇 개씩 먹으면 될까요?
도형	공간 감각, 평면도형, 입체도형
	숫자 5를 거울에 비춘 그림입니다. 거울에 비친 모습은 어떤 것일까요? 위의 도형을 정면에서 보면 어떤 모양으로 보일까요? 주어진 다섯 개의 각 중에서 크기가 같은 것을 말해보시오. 그림의 도형에서 쌓기 나무는 모두 몇 개 입니까?

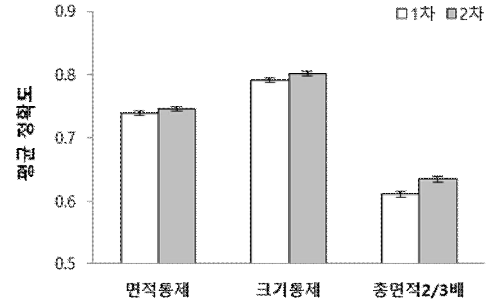
기록했다. 실시 요강에 따라 피험자가 한 영역의 문제를 연속으로 5번 틀리게 되면 다음 영역 검사로 넘어갔다. 이러한 규칙이 적용된 이유는 KISE-BAAT의 문제들이 뒤의 차례로 갈수록 난이도가 올라가도록 출제되었기 때문에, 피험자가 연속으로 5문제를 틀렸을 경우 그 뒤의 더 난이도가 높은 문제들을 해결하기 어렵다고 판단할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 검사 실시 후 원점수를 환산 점수로 변환하여 분석에 사용하였다.

피험자의 지능은 일반적 인지 기능을 반영하는 비언어적 유동 지능 검사인 레이븐 SPM 지능검사(Raven's Standard Progressive Matrices)를 통해 측정하였다(Raven, 2000). 이 검사는 총 60문항으로 문항 번호가 올라갈수록 난이도가 높아지는 구조를 가지고 있다.

분석 방법 먼저, 모든 자료가 평균을 기준으로 ±3 표준편차 이내의 범위에 있음을 확인하였다. 다음, 두 차례에 걸친 수 민감도, 수학 성취도, 유동 지능 검사의 측정치에 대하여 대응 표본 t검증을 하여 약 3개월 동안에 유의미한 변화가 있었는지를 확인하였다. 또한 각 시기에 측정된 수 민감도와 수학 성취도와의 관계를 알아보기 위해 피어슨 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 수학 성취도는 크게 두 영역 즉, '수 개념 및 산술' 영역과 '도형' 영역으로 나누어 분석하였다. 또한 수 민감도와 수학 성취도와의 상관관계가 일반적 인지 능력의 개인차를 통제한 경우에도 유지되는지 확인하기 위하여 유동 지능 검사의 원점수를 통제 변인으로 하여 편상관분석(partial correlation analysis)을 실시하였다. 더불어, 수 민감도와 수학 성취도 간에 유의한 상관관계가 관찰된 경우에 대하여, 1차 측정치와 비교한 2차 측정치의 향상도 간의 상관관계도 함께 분석하였다.

결 과

수량 비교 과제 수행 분석 결과 수량 비교 과제를 통해 측정한 일반적 수 민감도(면적 통제 조건과 크기 통제 조건의 수 민감도의 평균)에 대한 대응 표본 t 검증 결과, 1차와 2차 검사 시기 간의 평균 정확도 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나(1차: .77, 2차: .77, $t(21) = -.45$, $p > .60$; 그림 3), 평균 반응시간은 1차에 비하여 2차 시기에서 더 빨라졌다(1차: 1436ms, 2차: 1314ms; $t(21) = 2.40$, $p < .05$). 1차, 2차 검사 시기의 수량 비교 과제의 통제 조건 별 평균 정확도는 모두 우연 수준보다 높았다($ps < .01$). 통제 조건 별 정확도에 대한 반복 측정 분산 분석 결과, 크기 통제, 면적 통제, 총면적 2/3배의 순서로 수행 정확도가 높았으며, 세 조건 간의 차이가 두 시기에서 모두 통계적으로 유의하였다(1차: $F(2, 20) = 23.85$, $p < .00001$, *partial eta square* = .53, 2차: $F(2, 20) = 16.56$ $p < .00001$, *partial eta square* = .44; 그림 3). 조건 별 정확도에 대한 사후 분석 결과, 총면적 2/3배 조건에서 수행이 가장 저조하였고, 총면적 통제 조건에서의 수행이 그 다음으로 저조하였다($ps < .001$). 즉, 평균 크기 통제 조건에서의 정확도가 나머지 두 조건의 정확도보다 높았다. 반응 시간 측정치의 경우에는 두 검사 시기에서 모두 세 가지 조건 간에 통계적으로 유의한 차이가



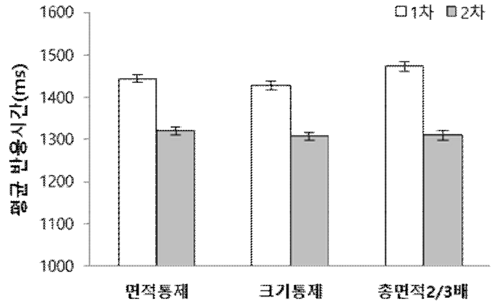


그림 3. 수량 비교 과제 수행 결과. (왼편 그래프 세로축의 최소값인 0.5는 우연 수준의 정확도를 의미함.)

발견되지 않았다(1차: $F(2, 20) = .60$, $p > .60$, *partial eta square*= .05, 2차: $F(2, 20) = .35$, $p > .70$, *partial eta square* = .03; 그림 3).

수학 성취도 및 유동 지능 측정 결과 수 개념 및 산술 영역의 평균 환산 점수는 1차 검사에서 10.98점(표준편차 2.28점), 2차 검사에서 12.07점(표준편차 2.66점), 도형 영역의 평균 환산 점수는 1차 검사에서 11.91점(표준편차 2.91점), 2차 검사에서 13.86점(표준편차 2.25점)으로 전국 학생 표본의 평균인 10점(표준편차 1점)보다 모두 높게 나타났다. 또한 대응 표본 t 검증 결과 '수 개념 및 산술'과 '도형' 영역 모두에서 1차 검사에 비해 2차 검사에서 점수가 통계적으로 유의하게 높았다(수 개념 및 산술: $t(21) = -2.19$, $p < .05$; 도형: $t(21) = -3.00$, $p < .01$; 그림 4). 또한 1차와 2차에 측정된 수학 성취도 측정치는 통계적으로 유의한 상관관계가 있었다($r(21)= .78$, $p < .0001$). 레이븐 SPM 검사로 측정된 피험자의 유동지능의 평균 원점수는 1차 검사 시기에서 34.5(표준편차 6.33)점, 2차 검사 시기에서 36.41(표준편차 5.12)점으로, 두 검사 점수 간에 유의한 차이가 발견되지 않았다($t(21) = -1.61$, $p > .10$).

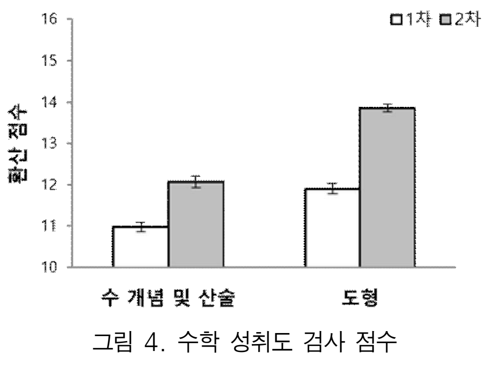


그림 4. 수학 성취도 검사 점수

수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계 1차 검사 시기에는 일반적인 수 민감도(면적 통제 조건과 평균 크기 통제 조건의 평균 정확도)와 '수 개념 및 산술' 영역의 점수 간에 통계적으로 유의한 상관관계가 있었으나($r(21) = .46$, $p < .05$; 표 2), '도형' 점수와는 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다($r(21) = -.02$, $p > .90$; 표 3). 편상관분석을 통해 유동지능의 영향을 통제한 경우에도, 수 민감도와 '수 개념 및 산술' 점수와의 상관관계는 유의하게 나타났으며($r(19) = .46$, $p < .05$; 그림 Ⅰ-1), '도형' 점수와의 관계는 유의하지 않았다($r(19) = -.03$, $p > .80$; 그림 Ⅰ-1). 2차 검사 시기에

표 3. 1차 검사 시기의 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.47*					
3. 수 민감도 정확도	.46*	-.02				
4. 수 민감도 반응시간	-.19	-.35	.14			
5. 총면적 2/3배 조건 정확도	.13	-.11	.38	.10		
6. 총면적 2/3배 조건 반응시간	.12	.20	-.32	.32	-.20	

주. * p < .05

표 4. 2차 검사에서 측정된 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.66**					
3. 수 민감도 정확도	.44*	.56**				
4. 수 민감도 반응시간	.02	-.06	.20			
5. 총면적 2/3배 조건 정확도	.18	.36	.02	.03		
6. 총면적 2/3배 조건 반응시간	.09	-.004	.23	.69**	.24	

주. * p < .05, ** p < .01

는 수 민감도와 '수 개념 및 산술' 영역뿐만 아니라 '도형' 영역 점수 간에도 모두 통계적으로 유의미한 상관관계가 있었다(수 개념 및 산술: $r(21) = .44$, $p < .05$; 도형: $r(21) = .56$, $p < .01$; 표 4). 유동지능의 영향을 통제한 경우에는 수 민감도와 '수 개념 및 산술' 점수와의 상관관계는 $p \leq .05$ 수준에서 유의하게 나타났으며($r(19) = .43$, $p < .05$; 그림 Ⅰ-2), '도형' 점수와의 관계는 유의하였다($r(19) = -.57$, $p < .01$; 그림 Ⅰ-2). 수 민감도의 향상도와 모든 영역의 점수의 향상도 간에 유의미한 상관관계가 관찰되지 않았다('수 개념 및 산술': $r(21) = .22$, $p > .30$; '도형': $r(21) = -.04$, $p > .80$).

한편, 총면적 2/3배 조건에서의 평균 정확도는 1차, 2차 검사 시기에서 어떤 영역의 수학 성취도와도 통계적으로 유의미한 상관관계가 없었다($ps > .10$; 표 2, 표 3). 반응시간 측정치는 1차, 2차 검사의 모든 수학 성취도 점수와 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다($ps > .10$). 통제 조건 별(면적통제/크기통제) 수 민감도와 수학 성취도의 상관관계 분석 및 유동지능을 통제한 편상관관계 분석 결과는 부록 Ⅱ에서 확인할 수 있다.

논 의

본 연구는 초등학생을 대상으로 수 민감도와 다양한 영역('수 개념 및 산술', '도형')의 수학 성취도와의 관계를 단기 종단적으로 분석하였다. 본 연구는 선행 연구들이 수 개념 및 산술 영역에 국한된 수학 성취도만을 측정하였다는 한계점을 보완하여, 기하학을 포함하여 아동의 수 민감도와 수학 성취도의 관계성에 대하여 단기 종단적인 분석을 실시하였다(Halberda et al., 2008; Inglis et al., 2011; Libertus et al., 2011, 2013; Mazzocco et al., 2011b). 본 연구의 첫 번째 목표는 선행 연구에서 보고된 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계가 기하학을 포함한 수학의 다양한 영역으로 일반화될 수 있는지를 확인하는 것이었다. 본 연구의 두 번째 목표는 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성이 인지 억제 능력에 의해 매개된다는 일부 연구자들의 주장을 검증하는 것이었다.

수량 비교 수행과 수학 성취도의 종단적 변화 두 차례의 검사 사이에 수량 비교의 평균 정확도가 소폭 향상되었으나 그 차이는 유의하지 않았다. 수량 비교의 반응 시간은 2차 시기에서 유의하게 빨라졌다. 이는 동일한 검사를 두 번째 실시하였기 때문에 나타난 연습 효과일수도 있으며, 컴퓨터 모니터에 제시된 시각 자극을 보고 빠르게 키보드를 누르기 위해 필요한 시각-운동 협응 능력의 발달을 반영하는 것일 수도 있다. (수량 비교 과제 수행의 반응시간이 2차 시기에서 1차 시기에서보다 빨라진 것이 수 민감도의 향상을 의미한다고 해석하지 않은 이유는 수 민감도의 정의가 수량 추정을 '빠르게' 하기보다는 더 '정확'하게 하는 데에 초점을 두고 있기 때문이다.) 그리고 1, 2차 검사 모두에서 총면적 통제 조건의 수량 비교 과제 수행이 평균 크기 통제 조건에서의 수행보다 유의하게 저조했다(그림 3). 이는 총면적 통제 조건에서 수량과 반비례하는 평균 점 크기의 미묘한 차이보다는 크기 통제 조건에서 총면적의 현저한 차이가 수량 판단 시 유용한 시각적 단서로 활용되었기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 총면적 2/3 배 조건의 수행이 두 통제 조건의 수행에 비해 매우 큰 차이로 저조한 것은 수량과 반비례하는 현저한 시각적 정보에 대한 인지 억제 요구가 컸기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 수학 성취도의 경우, 2차 검사에서 1차 검사에 비해 '수 개념 및 산술'과 '도형' 영역 수학 성취도가 모두 향상되었다.

수 민감도와 '수 개념 및 산술' 영역 성취도 간의 상관관계 1차와 2차 검사 시기에서 수 민감도와 '수 개념 및 산술' 영역 성취도 간의 상관관계가 통계적으로 모두 유의하였다. 이는 수 민감도가 상징적 수(숫자) 개념 및 연산 능력과 밀접한 관련이 있다는 선행 연구 결과와 일치하며 Dehaene의 가설을 지지하는 결과이다(Halberda et al., 2008; Libertus et al., 2011, 2013; Mazzocco et al., 2011b; Dehaene, 2009, 2011). 다시 말해, 수 민감도가 높다는 것은 대략적 수 표상이 정확하다는 의미이며, 대략적 수 표상이 정확한 아동은 상징적 수의 의미를 보다 정확하게 학습할 수 있기 때문에 수 개념이 정확해지고, 상징적 수를 이용한

연산을 더 잘 할 수 있는 기초를 다진 것이라고 해석할 수 있다(Barth et al, 2005; Brannon, 2006; Dehaene, 2007). 수 민감도가 미래의 수학 성취도를 예측한다는 보고와, 수 민감도 향상 훈련을 통한 수학 성취도의 향상을 보고한 연구들이 이러한 해석을 뒷받침한다(Halberda et al., 2008; Kucian, et al., 2011; Libertus et al., 2011, 2013; Mazzocco et al., 2011b; Park & Brannon, 2013, 2014; Räsänen, Salminen, Wilson, Aunio, & Dehaene, 2009; Starr et al., 2013). 한편, 수량 판단 시에 현저한 시각적 변인에 대한 정보처리를 억제해야하는 총면적 2/3배 조건의 수행은 모든 검사 시기의 모든 수학 성취도 점수와 유의한 관계성을 보이지 않았다. 이는 수량 판단 시에 현저한 시각적 정보에 대한 인지 억제 과정이 요구되는 조건에서 측정된 수 민감도가 반영하는 능력은 일반적인 수 민감도와 질적으로 다르며, 이 능력은 '수 개념 및 산술' 뿐 아니라 '도형' 영역의 성취도와의 관계성도 낮다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 일부 선행 연구에서 수 민감도와 수학 성취도의 관계성이 수 민감도 과제에서 요구되는 인지적 억제 능력에 의해 매개된다는 주장을 반박하는 결과이다(Fuhs & McNeil, 2013; Gilmore et al., 2013; Szűcs et al., 2013). 본 연구에서는 점의 총면적과 평균 점의 크기를 통제한 조건에서 측정된 수 민감도가 수학 성취도와 종단적으로 유의한 상관관계를 나타냈기 때문에, 인지 억제 능력보다는 수량을 변별하는 능력이 '수 개념 및 산술' 능력과 더 높은 상관관계가 있음을 분명하게 확인시켜 준다. 수 민감도의 향상도와 모든 수학 성취도 영역들의 향상도 간의 상관관계는 유의하지 않았다. 이는 3개월이라는 짧은 기간 동안 수학 성취도는 향상된 데에 반해, 수 민감도가 행동적으로 관찰 가능한 만큼 향상되지 않았기 때문인 것으로 해석할 수 있을 것이다.

수 민감도와 '도형' 영역 성취도 간의 상관관계 수 민감도와 '도형' 영역의 성취도 간의 상관관계는 1차 검사 시기에서는 유의하지 않았지만, 2차 검사 시기에서는 유의하게 나타났다. 1차 시기에서 수 민감도와 도형 영역 간에 유의한 상관관계가 나타나지 않은 이유에 대한 명확한 해석을 내리는 것은 불가능하나, 본 연구는 적은 수의 아동을 대상으로 실험을 하였기 때문에, 일부 아동의 불규칙한 수행이 자료 분석 결과에 큰 영향을 미쳐 1차 시기에서는 유의한 상관관계가 나타나지 않았을 가능성이 있다. 한편, 2차 시기에서 관찰된 수 민감도와 도형 영역 성취도 간의 높은 상관관계는 대략적 수 표상 즉, 아날로그 수 표상의 정확도가 비단 정확한 숫자 개념의 정립과 연산을 도울 뿐 아니라, 시공간 정보를 보다 정확하게 처리할 수 있는 능력과도 관계가 있다는 것을 보여준다. 다시 말해, 수 민감도가 좋은 아동이 공간적 정보 처리를 요하는 기하학 성취도가 더 높았다는 결과는 '매그니튜드 이론'의 예측과 일치한다고 해석할 수 있다(Bueti & Walsh, 2009; Walsh, 2003). '매그니튜드 이론'은 수, 공간, 시간 정보가 동물의 감각-운동 변환을 위해 한꺼번에 처리되어야 할 정보들로 이들을 공통적으로 처리하는 체계가 진화되어 왔을 것으로 가정한다. 현재, Walsh의 이론을 검증하기 위한 후속 연구가

활발하게 이루어지고 있다(조수현, 2013 개관 참조). 본 연구의 결과 외에도, 수량 변별 능력의 개인차가 공간적인 면적이나 크기 등 연속적인 변인에 대한 변별 능력의 개인차와 상관관계가 있다는 보고들은 매그니튜드 이론을 간접적으로 지지하는 증거이다(DeWind & Brannon, 2012; Guillaume, Nys, & Mussolin, 2013; Lourenco et al, 2012).

인지 억제 능력이 수 민감도와 수학 성취도를 매개한다는 가설에 대한 검증 결과 인지 억제 능력을 요구하는 과제(총면적 2/3배 조건의 수량 비교 과제)를 통해 측정된 수 민감도는 1차, 2차 시기 '수 개념 및 산술' 영역 및 '도형' 영역 성취도와 모두 유의한 상관관계가 없었다. 이러한 결과는 수량 판단 시에 인지 억제 능력이 요구되는 조건에서 측정된 능력은 일반적인 수 민감도와는 구별되며 수학 성취도와의 관계성도 낮은 것으로 해석될 수 있다. 이러한 결과는 일부 선행 연구에서 수 민감도와 수학 성취도의 관계성이 온전히 수 민감도 과제에서 요구되는 인지적 억제 능력에 의해 매개된다는 주장을 지지하지 않는 결과이다(Fuhs & McNeil, 2013; Gilmore et al., 2013; Szűcs et al., 2013). 그러나 본 연구가 인지 억제의 다양한 측면을 모두 측정한 것은 아니므로, 후속 연구에서는 인지 억제 능력에 대한 다양하고 세분화된 측정치를 이용하여 수학 성취도와 인지 억제 능력 간의 관계성을 다각도로 분석할 필요가 있다.

결론 및 제언 후속 연구에서는 더 장기적인 종단 연구를 통해 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성의 변화 추이를 살펴볼 필요가 있다. 또한 더 다양한 연령대와 사회 경제적 배경의 피험자를 대상으로 하여 수 개념 및 산술 그리고 도형 영역 외에 수학적 추론 등을 포함한 더 많은 수학 영역에 대해 연구할 필요가 있다. 또한 본 연구는 모든 검사가 참가 아동의 자택으로 방문하여 이루어졌다는 점으로 인해 환경적인 변인의 통제가 다소 미흡했을 가능성이 있다. 그리고 서울 및 경기 지역에 거주하는 초등학교 2학년 학생들만을 대상으로 했기 때문에 전국 평균에 비해 수학 성취도가 전체적으로 높았다. 따라서 후속 연구에서는 전국을 대표하는 큰 표본을 대상으로 하여 개인차를 더 폭넓게 관찰할 필요가 있다. 단기 종단 연구 실시의 현실적인 어려움으로 인해 본 연구의 피험자 수가 22명밖에 되지 않는다는 점은 본 연구의 또 다른 한계점이다. 그럼에도, 적은 수의 표본으로 아동의 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계를 지속적으로 관찰할 수 있었다는 것은 역으로 생각해보면, 본 연구에서 관찰된 현상이 매우 공고(robust하)다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 본 연구의 결과는 아동의 대략적 수 표상의 정확도(즉, 수 민감도)가 상징적 수 개념의 이해 및 이를 사용한 연산 능력에 핵심적인 역할을 담당한다는 이론을 지지하는 증거가 되며, 나아가 기하학 영역의 성취도와도 무관하지 않음을 새롭게 부각시켰다.

참고문헌

박경숙, 김계옥, 송영준, 정동영, 정인숙 (2008). 기초학력검사(KISE-BAAT). 안산: 국립특

수교육원.

조수현 (2013). 수 감각의 인지신경학적 기반에 관한 연구 개관. 인지 과학, 24(3), 271-300.

Agrillo, C., Piffer, L., & Adriano, A. (2013). Individual differences in non-symbolic numerical abilities predict mathematical achievements but contradict ATOM. *Behavioral and Brain Functions, 9*(1), 26.

Ansari, D., Dhital, B., & Siong, S. C. (2006). Parametric effects of numerical distance on the intraparietal sulcus during passive viewing of rapid numerosity changes. *Brain Research, 1067*(1), 181-188.

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(39), 14116-14121.

Bonny, J. W., & Lourenco, S. F. (2013). The approximate number system and its relation to early math achievement: Evidence from the preschool years. *Journal of Experimental Child Psychology, 114*(3), 375-388.

Brannon, E. M. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current Opinion in Neurobiology, 16*(2), 222-229.

Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1525), 1831-1840.

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*.: Academic press.

Cohen Kadosh, R., Henik, A., Rubinsten, O., Mohr, H., Dori, H., van de Ven, V., ... & Linden, D. E. (2005). Are numbers special?: The comparison systems of the human brain investigated by fMRI. *Neuropsychologia, 43*(9), 1238-1248.

Dehaene, S. (1996). The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method, *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(1), 47-68.

Dehaene, S. (2007). Symbols and quantities in parietal cortex: Elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. In P. Haggard & Y. Rossetti (Eds.) *Attention & performance XXII. Sensori-motor foundations of higher cognition*. (pp. 527-574). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Dehaene, S. (2009). Origins of mathematical intuitions. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1156*(1), 232-259.

Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*: OUP USA.

Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology, 14*(2), 218-224.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. S*cience, 284*(5416), 970-974.

DeWind, N. K., & Brannon, E. M. (2012).

Malleability of the approximate number system: Effects of feedback and training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 68.

Fuhs, M. W. & McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low income homes: Contributions of inhibitory control. *Developmental Science, 16*(1), 136-148.

Geary, D. C. (2007). An evolutionary perspective on learning disability in mathematics. *Developmental Neuropsychology, 32*(1), 471-519.

Gebuis, T., & Gevers, W. (2011). Numerosities and space; indeed a cognitive illusion! A reply to de Hevia and Spelke (2009). *Cognition*, *121*, 248-252.

Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2011). Generating nonsymbolic number stimuli. *Behavior Research Methods*, *43*(4), 981-986.

Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N., ... & Inglis, M. (2013). Individual differences in inhibitory control, not non-verbal number acuity, correlate with mathematics achievement. *PLoS One, 8*(6), e67374.

Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition, 115*(3), 394-406.

Guillaume, M., Nys, J., & Mussolin, C. (2013). Differences in the acuity of the Approximate Number System in adults: The effect of mathematical ability. *Acta Psychologica*, *144*(3), 506-512.

Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the “Number Sense”: The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44*(5), 1457-1465.

Halberda, J., Mazzocco, M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature, 455*(7213), 665-668.

Hauser, M. D., Tsao, F., Garcia, P., & Spelke, E. S. (2003). Evolutionary foundations of number: Spontaneous representation of numerical magnitudes by cotton-top tamarins. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 270*(1523), 1441-1446.

Hurewitz, F., Gelman, R,. & Schnitzer, B. (2006). Sometimes area counts more than number. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(51), 19599-19604.

Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(6), 1222-1229.

Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(25), 10382-10385.

Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., ... & von Aster, M. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia.

Neuroimage, 57(3), 782-795.

Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience, 5*(11), 831-843.

Leibovich, T., & Henik, A. (2014). Comparing performance in discrete and continuous comparison tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(5), 899-917.

Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2010). Stable individual differences in number discrimination in infancy. *Developmental Science, 13*(6), 900-906.

Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental Science, 14*(6), 1292-1300.

Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Is approximate number precision a stable predictor of math ability? *Learning and Individual Differences, 25*, 126-133.

Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense large-number discrimination in human infants. *Psychological Science, 14*(5), 396-401.

Lourenco, S. F., Bonny, J. W., Fernandez, E. P., & Rao, S. (2012). Nonsymbolic number and cumulative area representations contribute shared and unique variance to symbolic math competence. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*(46), 18737-18742.

Mazzocco, M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011a). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child Development, 82*(4), 1224-1237.

Mazzocco, M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011b). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PLoS One, 6*(9), e23749.

Mussolin, C., Mejias, S., & Noël, M. P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition, 115*(1), 10-25.

Park, J., & Brannon, E. M. (2013). Training the Approximate Number System Improves Math Proficiency. *Psychological Science, 24*(10), 2013-2019.

Park, J., & Brannon, E. M. (2014). Improving arithmetic performance with number sense training: An investigation of underlying mechanism. *Cognition, 133*(1), 188-200.

Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(12), 542-551.

Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., ... & Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition, 116*(1), 33-41.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306*(5695), 499-503.

Pinel, P., Le Clec'H, G., van de Moortele, P. -F., Naccache, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (1999). Event-related fMRI analysis of the cerebral circuit for number comparison. *NeuroReport, 10*(7), 1473-1479.

Price, G. R., Holloway, I., Räsänen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology, 17*(24), R1042-R1043.

Raven, J. (2000). The Raven's progressive matrices: Change and stability over culture and time. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 1-48.

Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A. J., Aunio, P., & Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive Development, 24,* 450-472.

Sasanguie, D., Göbel, S. M., Moll, K., Smets, K., & Reynvoet, B. (2013). Approximate number sense, symbolic number processing, or number-space mappings: What underlies mathematics achievement?. *Journal of Experimental Child Psychology*, *114*(3), 418-431.

Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van de Moortele, P. F., Le Bihan, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2000). Understanding dissociations in dyscalculia. *Brain, 123*(11), 2240-2255.

Starr, A., Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2013). Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 110*(45), 18116-18120.

Szűcs, D., Nobes, A., Devine, A., Gabriel, F. C., & Gebuis, T. (2013). Visual stimulus parameters seriously compromise the measurement of approximate number system acuity and comparative effects between adults and children. *Frontiers in Psychology*, *4*, 444.

Tsao, F. M., Liu, H. M., & Kuhl, P. K. (2004). Speech perception in infancy predicts language development in the second year of life: A longitudinal study. *Child Development, 75*(4), 1067-1084.

Van Opstal, F., Gevers, W., De Moor, W., & Verguts, T. (2008). Dissecting the symbolic distance effect: Comparison and priming effects in numerical and nonnumerical orders. *Psychonomic Bulletin* & *Review, 15*(2), 419-425.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483-488.

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74*(1), B1-B11.

Xu, F., Spelke, E. S., & Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science, 8*(1), 88-101.

1차원고접수 : 2015. 04. 06
수정원고접수 : 2015. 07. 23
최종게재결정 : 2015. 07. 24

한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2015, Vol. 27, No. 3, 481-504

A short-term longitudinal study of the relationship between 2nd graders' approximate number acuity and achievement in different domains of mathematics

Selim Jang **Narae Kim** **Soohyun Cho**

Department of Psychology, Chung-Ang University

Approximate number sense (ANS) refers to the ability to approximately estimate and operate upon large numerosity. There have been reports on the correlation between ANS acuity and mathematical achievement supporting the hypothesis that ANS serves as a basic foundation for formal mathematical achievement. However, previous developmental studies mainly focused on 'Number Concept' and 'Arithmetic' scores and did not differentiate between different domains of mathematics. Therefore, the current study investigated whether the relationship between ANS acuity and math ability differs by the domain of mathematics. In addition, we aimed to test the argument raised by some researchers stating that the relationship between ANS acuity and mathematical achievement is entirely mediated by cognitive control ability. Second graders were tested twice on their ANS acuity and math achievement with a 3-month interval. A number comparison task using a pair of dot arrays was used to measure ANS acuity. ANS acuity was significantly correlated with 'Number Concept & Arithmetic' at both testing periods. 'Geometry' was significantly correlated with ANS acuity in the second testing session but not in the first. On the other hand, ANS measured under high requirement for cognitive control did not correlate with any measure of math achievement. These results demonstrate that the correlation between ANS and math achievement can be generalized to mathematical domains including 'Number Concept', 'Arithmetic' and 'Geometry'. Furthermore, the relationship between ANS acuity and mathematical achievement does not seem to be mediated by cognitive control ability in any domain of mathematics.

Key words : approximate number sense, numerical cognition, mathematical achievement, individual difference, cognitive control, short-term longitudinal study

부 록

I. 유동지능을 통제변인으로 둔 수 민감도와 수학성취도와의 편상관관계 분석

표 I-1. 유동지능을 통제변인으로 둔 수 민감도와 수학 성취도 간의 편상관관계(1차 검사)

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.42†					
3. 수 민감도 정확도	.46*	-.03				
4. 수 민감도 반응시간	-.14	-.40†	.14			
5. 총면적 2/3배 조건 정확도	.13	-.12	.38†	.10		
6. 총면적 2/3배 조건 반응시간	.09	.16	-.32	.31	-.20	

주. *p < .05, †p < .10

표 I-2. 유동지능을 통제변인으로 둔 수 민감도와 수학 성취도 간의 편상관관계(2차 검사)

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.69**					
3. 수 민감도 정확도	.43†	.57**				
4. 수 민감도 반응시간	.08	-.10	.25			
5. 총면적 2/3배 조건 정확도	.20	.36	.04	.001		
6. 총면적 2/3배 조건 반응시간	.12	-.02	.25	.68**	.23	

주. *p < .05, **p < .01, †p < .10

Ⅱ. 통제조건별 수 민감도와 수학성취도와의 상관관계 및 유동지능을 통제변인으로 둔 해당 상관관계의 편상관관계 분석

분석에 포함된 피험자의 수가 상대적으로 작음을 고려하여 p 값으로 정의된 유의수준 외에 효과의 크기(effect size)에 대한 Cohen의 기준($r<$ .1: 작은 효과; $.3<r<.5$: 중간 크기 효과; $r>$.5: 큰 효과)을 참고하여 상관관계 계수의 유의미성을 판단할 수 있다(Cohen, 2013).

표 Ⅱ-1. 1차 검사 시기의 통제조건별 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.47*					
3. 총면적통제조건 정확도	.37†	-.03				
4. 총면적통제조건 반응시간	-.09	-.36	.31			
5. 평균크기통제조건 정확도	.44*	-.01	.53*	-.09		
6. 평균크기통제조건 반응시간	-.15	.34	.30	.94**	-.10	

주. *p < .05, **p < .01, †p < .10

표 Ⅱ-2. 2차 검사에서 측정된 통제조건별 수 민감도와 수학 성취도의 상관관계

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.66**					
3. 총면적통제조건 정확도	.34	.47*				
4. 총면적통제조건 반응시간	.10	-.01	-.01			
5. 평균크기통제조건 정확도	.38†	.44*	.31	.37†		
6. 평균크기통제조건 반응시간	-.05	-.11	-.06	.92**	.29	

주. *p < .05, **p < .01, †p < .10

표 Ⅱ-3. 유동지능을 통제변인으로 둔 통제조건별 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계(1차 검사)

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.42†					
3. 총면적통제조건 정확도	.38†	-.03				
4. 총면적통제조건 반응시간	-.10	-.40†	.31			
5. 평균크기통제조건 정확도	.44*	-.03	.53*	-.10		
6. 평균크기통제조건 반응시간	-.18	.40*	.30	.94**	-.11	

주. *p < .05, **p < .01, †p < .10

표 Ⅱ-4. 유동지능을 통제변인으로 둔 통제조건별 수 민감도와 수학 성취도의 상관관계(2차 검사)

변인	1	2	3	4	5	6
1. 수 개념 및 산술						
2. 도형	.69**					
3. 총면적통제조건 정확도	.31	.50*				
4. 총면적통제조건 반응시간	.15	-.03	-.06			
5. 평균크기통제조건 정확도	.38†	.44*	.33	.38†		
6. 평균크기통제조건 반응시간	-.01	-.15	-.01	.92**	.30	

주. *p < .05, **p < .01, †p < .10