

The Acuties for Number, Area and their Relationships with Math Achievement in 4th and 6th Grade Korean Children*

Minkyung Kim¹, Yunji Park¹, Soohyun Cho^{1†}

¹Department of Psychology, Chung-Ang University

This study compared number and area acuity between 4th and 6th graders, and examined whether number and area acuity predicts mathematical achievement after controlling for domain-general cognitive abilities. Participants were presented with a pair of dot arrays and were asked to choose the array with either larger set size (numerosity comparison) or cumulative area (area comparison). Within each grade, number and area acuity were significantly correlated. Although, number acuity was significantly higher in 6th compared to 4th graders. area acuity did not differ between grades. Math achievement was significantly predicted by number acuity in 4th, but not in 6th grade. The present study supports the idea that the acuity for continuous magnitude matures earlier than that for numerosity. Taken together with previous studies, our results suggest that number acuity may contribute to earlier mathematical achievement, but not to higher level, mathematical problem solving which requires more domain-general cognitive abilities such as working memory.

Keywords: number acuity, area acuity, math achievement, magnitude, differentiation theory

1차원고접수: 24.04.05; 수정본접수: 24.08.08; 최종게재결정: 24.10.15



Copyright: © 2024 The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited and the use is non-commercial.

물체의 크기, 길이, 부피와 수량 등의 양적 차원을 통틀어 매그니튜드(magnitude)라 한다. 매그니튜드는 사탕의 개수처럼 몇 개인지 셀 수 있는 불연속적 매그니튜드인 '수량'과 물의 양처럼 (불연속적인) 개수로 셀 수 없는 연속적 매그니튜드로 구분된다. 일상생활 속에서 매그니튜드를 파악하고, 비교하는 능력은 매우 중요하다. 예를 들어, 빵 하나를 고를 때에도 조금 더 큰 것을 선택하는 것이 이익이며, 마트에서 줄을 설 때에도 되도록 사람들이 적은 쪽에 줄을 서야 시간을 절약할 수 있다.

수량을 대략적으로 추정하고 많고 적음을 비교하는 능력(이하, 수 민감도)은 갓난 아기들뿐 아니라 물고기, 새, 원숭이, 돌고래 등 다양한 동물 종에서도 관찰된다(Brannon et al., 2010; Brannon & Terrace, 1998; Dehaene, 2011). 동물들이 먹이를 구하거나, 포식자를 피할 때 수량 정보처리가 필수적이기 때문에 많은 연구자들은 수 민감도가 생존에 필수적인 능력으로 진화되었다고 믿는다(Halberda et al., 2008). 최근 수 민감도에 대해 보고된 흥미로운 발견들을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 수량 변별은 무게, 밝기 등 다른

* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며(2014R1A1A3051034, 2021R1F1A1054858), 2022년도 중앙대학교 CAU GRS 지원에 의하여 작성되었음. 본 논문은 2저자 박윤지의 석사 학위 논문의 원자료를 새로 분석한 연구임.

† 교신저자: 조수현, 중앙대학교 심리학과, (06974) 서울특별시 동작구 흑석로 84, E-mail: soohyun@cau.ac.kr

여러 물리적 차원의 변별에서와 같이 베버의 법칙¹⁾을 따른다(Pica et al., 2004). 둘째, 수 민감도는 연령의 증가에 따라 점점 향상된다(Brannon et al., 2006; Xu & Spelke, 2000). 셋째, 수 민감도의 개인차는 고등한 수학 성취와 상관관계가 있다(Inglis et al., 2011; Libertus et al., 2012).

수 민감도에 대한 관심과 더불어, 수량, 시간, 공간(면적, 길이, 크기, 등)을 포함한 다양한 차원의 매그니튜드들이 공통의 시스템에 의해 처리된다는 이론(A theory of magnitude, 이하 ATOM)이 제기되어 많은 후속 연구가 이어졌다(Libertus et al., 2020; Walsh, 2003). ATOM은 모든 매그니튜드의 변별 민감도가 연령에 따라 유사한 속도로 발달하고 서로 상관관계가 유의할 것을 예측한다(Brannon et al., 2006). 생후 6개월 유아의 수량과 면적 민감도가 유사하고, 서로 다른 매그니튜드 간 발달 속도가 유사하게 관찰된 연구 결과는 ATOM의 예측을 뒷받침한다(Brannon et al., 2006; Xu & Spelke, 2000). 9개월 유아는 넓은 면적에 대해 학습한 규칙을 더 많은 수량과 더 긴 시간에 동일하게 적용시킨다는 결과 또한 유아는 여러 매그니튜드 차원을 통합된 방식으로 이해하는 것으로 해석할 수 있으므로 ATOM을 지지한다(Lourenco & Longo, 2010). 그러나, 다른 여러 연구에서는 ATOM의 예측을 부분적으로만 지지하는 증거들이 보고되었다(Lourenco & Bonny, 2017; Odic et al., 2013). 매그니튜드의 종류에 따라 민감도의 향상 속도가 상이하였고(Kucian et al., 2018), 여러 차원의 민감도 간의 상관관계 유무도 연구 간에 차이가 있었다(Lourenco & Bonny, 2017; Odic et al., 2013). 예를 들어, Kucian과 동료들(2018)의 연구에 의하면 8-12세 아동의 각도와 수량 민감도 간 유의한 상관관계가 있었으나, 두 민감도 간 발달 속도에 차이가 있었다. 또한, Odic과 동료들(2013)의 연구에서는 3-6세 아동의 수와 면적에 대한 민감도 간에 유의한 상관관계가 없었다. 선행 연구들의 자료를 종합하여 Odic과 동료들(2013)은 수와 면적 민감도의 발달 추이를 예측한 결과, 10~12세 경에 면적 민감도는 이미 성인과 거의 유사한 수준에 도달하나, 수량 민감도는 12세 이후에도 계속 향상될 것으로 추정하였다. 이렇듯, ATOM을 지지하는 영아 연구 자료와 더불어, 연령에 따라 서로 다른 매그니튜드 민감도 간 발달 속도의 차이가 관찰된 결과들을 함께 고려하여, 매그니튜드의 분화(differentiation) 이론이 제기되었다(Mix et al.,

2016; Newcombe, 2014). 이 이론에 따르면, 발달 초기에는 개별적 차원에 대한 구별이 없는 단일 매그니튜드 시스템이 존재하나, 발달 과정에서 이 시스템이 수량, 길이, 면적 등 개별 차원을 처리하는 특화된 매그니튜드 시스템들로 분화된다고 한다.

한편, 수량 민감도가 고등한 수학 성취도를 예측한다는 연구 결과가 큰 관심을 받게 됨에 따라 수량뿐 아니라 다른 차원의 매그니튜드 민감도와 수학 성취도가 연령에 따라 어떠한 관계가 있는지에 대한 연구들이 이어지고 있다(Halberda et al., 2008; Tibber et al., 2013). Tibber와 동료들(2013)은 6-71세 참가자의 수량과 방향(orientation) 민감도가 연산 능력을 예측한다고 보고하였고, Lourenco와 Bonny(2017)에 의하면, 5-7세 아동의 수량과 면적 민감도가 수학 능력을 예측하였다. 반면, 성인 참가자를 대상으로 한 Guillaume과 동료들(2013)의 연구에서는 수 민감도가 수학 성취도를 예측한 반면, 면적 민감도는 그렇지 않았다고 보고하였다. 종합하면, 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성은 반복적으로 확인되는 반면, 면적, 길이와 같은 연속적 매그니튜드에 대해서는 서로 불일치하는 결과들이 혼재되어 있다. 이러한 불일치는 연구 대상의 연령대, 연속적 매그니튜드의 종류와 수학 성취도 측정을 위해 사용한 검사의 종류, 특히 측정된 수학 영역의 차이에 기인할 가능성이 있다(Lourenco & Bonny, 2017; Tibber et al., 2013).

매그니튜드 민감도의 발달 양상과 수학 성취도와와의 관계성을 명확히 파악하기 위해서는 선행 연구들에서 나타난 몇 가지 방법론적인 문제점을 개선해야 한다. 첫째, 여러 매그니튜드 민감도를 비교하기 위해서는 과제 간에 자극의 복잡성이나 난이도가 통일되어야 한다. 예를 들어, Odic과 동료들(2013)은 수량 자극으로 점 집합을 사용한 반면, 면적 자극으로는 얼룩 모양의 자극을 사용하여 과제 간 난이도 차이가 발생한 한계점이 있다. 둘째, 대부분의 선행 연구에서 주로 연산 능력만을 측정하였으나, 수학은 다양한 영역(수 개념, 기하학, 연산, 등)을 포함하고 있어 포괄적으로 수학 성취도를 측정하는 것이 중요하다(Guillaume et al., 2013; Tibber et al., 2013). 셋째, 대부분의 선행 연구에서 매그니튜드 민감도와 수학 성취도 간의 관계성을 분석할 때, 영역-일반적(domain-general)인 인지 능력의 영향을 통제하지 않아 명확한 결과 해석이 어려운 경우가 많다(Guillaume et al., 2013; Nys & Content, 2012). 이러한 한계점들을 개선하고자, 본 연구에서는, 동일한 점 집합 자극을 사용하여 4, 6학년 아동의 수량과 면적 민감도를 비교하고, 일반 인지 능력의 개인차를 통제한 채로, 수량/면적에 대한 민감도가 각기

1) 베버의 법칙에 의하면, 두 물리적 자극의 강도(intensity, I)를 변별할 수 있는 최소한의 강도 차이(ΔI)는 자극의 강도(I)에 비례하며, 변별의 민감도(k)는 $\Delta I/I$ 로 표현 가능하다. 이 법칙에 따르면, 변별 수행은 비교되는 두 물리적 자극의 강도 간의 비율에 의해 결정된다.

수학 성취도를 유의하게 예측하는지를 알아보았다. 본 연구는 기존에 연구되지 않은 연령과 문화권의 매그니튜드 민감도와 수학 성취도의 관계성을 분석하고, 선행 연구의 문제점을 개선한 방법을 사용한 연구로서의 의의가 있다.

방 법

참가자

4학년과 6학년에 재학 중인 초등학교생 69명(평균 나이 = 11.14, SD=1.08)이 실험에 참여하였다. 본 실험은 연구자가 속한 기관의 연구윤리센터의 승인을 받은 후 진행하였다. 실험을 제대로 완료하지 못한 8명과 정확도가 0.5 이하이거나 평균으로부터 3 표준편차를 벗어난 수행을 보인 9명의 아이들은 분석에서 제외하였다. 또한, 작업기억 검사 점수가 없는 2명의 데이터는 다중회귀분석에서 제외되었다.

자극

본 실험의 자극으로 6-49개 수량 범위의 점 집합이 사용되었다.

절차

자료 수집을 위해 행동 과제로는 수량과 면적 비교 과제, 심리 검사로는 기초학력검사(KISE_BAAT), 아동용 카우프만 검사(K-ABC)가 사용되었다(Park et al., 2005, Kaufman & Kaufman, 2013). 모든 과제와 검사의 실시 순서는 참여자간에 역균형화하였다.

수량 비교 과제. 수량 비교 과제에서는 참여자들이 나란히 제시되는 두 개의 점 집합 중 점의 수량이 더 많은 집합을 10초 이내에 선택하였다. 점의 수량을 세지 않고 대략적으로 추정하도록 하기 위해 자극의 제시 시간은 최대 1000ms였다. 수량의 비율은 1:2, 3:4, 5:6, 6:7, 7:8, 8:9였으며, 수량 외 점 집합의 시각적 특성의 영향을 통제하기 위해 모든 시

행은 두 가지 통제 조건으로 나뉘어 실시되었다. 면적 통제 조건에서는 점들의 총면적이 두 집합 간에 동일하도록 제작되어 점들의 총면적을 수 추정을 대신하는 단서로 사용하지 못하도록 하였다. 크기 통제 조건에서는 점 크기의 평균을 점 집합 간에 동일하도록 제작하여 점의 평균 크기를 수 추정을 대신하는 단서로 사용할 수 없도록 하였다. 총 시행 수는 120회(비율 6개 × 통제 조건 2개 × 시행 10회)였으며, 비율과 조건은 무작위 순서로 실시되었다. 실험 전 6번의 연습 시행이 있었으며 실험이 진행되는 동안 4번의 휴식 시간을 제공하였다.

면적 비교 과제. 면적 비교 과제에서는 참가자들이 나란히 제시되는 두 개의 점 집합 중 점의 누적 면적이 더 넓은 집합을 10초 이내에 선택하였다. 점의 누적 면적을 대략적으로 추정하도록 하기 위해 자극의 제시 시간은 최대 1200ms로 설정하였다. 예비 연구 결과에 따라, 수량 비교 과제와 유사한 수준의 수행을 달성하기 위해서 면적 비교 과제에서는 자극 제시 시간을 200ms를 더 길게 제시하였다. 면적의 비율은 2:3, 3:4, 4:5, 5:6, 7:8, 8:9였으며, 두 가지 통제 조건을 설정하였다. 수량 통제 조건에서는 점의 개수가 집합 간에 동일하게 제시되었고, 크기 통제 조건은 점 크기의 평균을 점 집합 간에 동일하게 제작하였다. 그 외의 절차는 수량 비교 과제와 동일하게 진행하였다.

수학 성취도 검사. 국립특수교육원 기초학력검사(KISE-BAAT)의 소검사 중 4개의 소검사(수 개념, 연산, 기하학, 응용 문제)를 사용하였다(Park et al., 2005).

작업기억 검사. 작업 기억 능력을 측정하기 위해 아동용 카우프만 검사(K-ABC)의 4가지 소검사(단어배열, 수 회상, 삼각형, 공간 작업기억 용량)를 사용하였다(Kaufman & Kaufman, 2013). 작업기억 점수는 월령을 고려하여 하나의 표준화된 점수로 합산하였다.

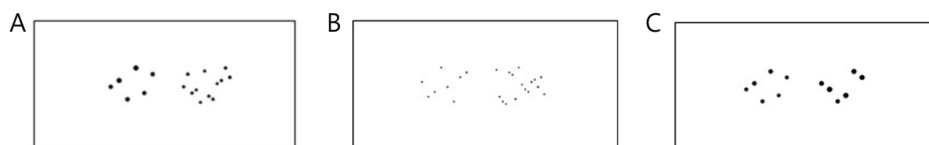


Figure 1. Example stimuli of the magnitude comparison tasks. (A) Number task (area controlled condition), (B) Number/Area task (size controlled condition), (C) Area task (number controlled condition)

결 과

수량과 면적 비교 과제 수행 결과

4학년과 6학년 아동의 과제 별, 비율 별 수행의 평균과 표준 편차는 Table 1에 제시된 바와 같다. 과제 간 정확한 수행의 비교를 위해 모든 분석은 두 과제에서 공통적으로 사용된 4 개의 비율만 포함하여 실시하였다.

학년, 과제, 비율에 따른 수행 차이 분석 결과

과제 종류(수량, 면적), 비율(3:4, 5:6, 7:8, 8:9)은 피험자 내 변인으로, 학년(4, 6)을 피험자 간 변인으로 설정하여 정확도와 반응시간에 대한 2×2×4 혼합설계 분산분석을 실시하였다. 정확도가 종속변수인 경우, 비율의 주효과만 유의하였으며($F(3, 150)=82.336, p<.001, \eta_p^2=.622$), 그 외 모든 효과는 유의하지 않았다($ps>.05$). 반응시간이 종속변수인 경우, 과제 종류($F(1, 50)=4.682, p<.05, \eta_p^2=.086$), 학년($F(1, 50)=4.074, p<.05, \eta_p^2=.075$), 비율($F(3, 150)=8.335, p<.001, \eta_p^2=.143$)의 주효과가 유의하였으며, 그 외 모든 효과는 유의하지 않았다($ps>.05$). 과제 별로, 학년의 단순 주효과 분석 결과, 수량 과제에서 학년의 단순 주효과는 유의하였지만($F(1, 50)=5.109, p<.05, \eta_p^2=.093$), 면적 과제에서 학년의 단순 주효과는 유의하지 않았다($p>.05$). 학년 별, 과제의 단순 주효과를 분석한 결과, 4학년에서 과제의 단순 주효과가 유의하였지만($F(1, 50)=5.442, p<.05, \eta_p^2=.098$), 6학년에서는 유의하지 않았다($p>.05$). 정리하면, 수량보다 면적 비교 과제 수행의 반응시간이 유의하게 짧았다. 단순 주효과 분석 결과, 6학년이 4학년보다 수량 비교 과제를 더 빠르게 수행하였고, 4학년은 면적에 비해 수량 비교 과제에서 반응시간이 유의하게 길었다.

수량과 면적 비교 수행 간 상관관계

수량과 면적 민감도 간의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같았다. 종속변수가 정확도인 경우, 4학년에서는 수량과 면적 비교 과제 간 상관관계가 유의하였으나($r(25)=.382, p<.05$), 6학년에서는 유의하지 않았다($p>.05$). 종속변수가 반응시간인 경우, 수량과 면적 비교 과제 간 상관관계가 4학년에서는 유의하지 않았으나($p>.05$), 6학년에서는 유의하였다($r(21)=.546, p<.01$). 정리하면, 4학년의 경우 정확도에서 두 과제 간 상관관계가 유의하였고, 6학년에서는 반응시간에서 두 과제 간 상관관계가 유의하였다.

수학 성취도에 대한 다중회귀분석

작업기억 점수를 통제한 상태에서 수량/면적 민감도가 수학 성취도를 예측하는지 확인하기 위해 다중회귀분석을 수행하였다. 수량과 면적 민감도 간 유의한 상관관계로 인한 다중공선성의 문제를 해결하기 위해, 두 변수를 서로 다른 모형에 투입하여 분석하였다. 종속변수가 정확도일 때, 4학년의 작업기억과 수량 민감도가 독립변수인 모형에서 작업기억의 예측력은 유의하지 않았으나($p>.05$), 수량 민감도의 예측력은 유의하였다($=.389, t(26)=2.167, p<.05; F(2, 24)=3.571, p<.05, R^2=.229, R_{Adjusted}^2=.165$). 4학년의 작업기억 점수와 면적 민감도가 독립변수인 모형은 유의하지 않았다($p>.05$). 6학년의 경우, 작업기억과 수량 민감도가 독립변수인 모형에서 작업기억의 예측력은 유의하였으나($=.50, t(22)=2.720, p<.05$), 수량 민감도의 예측력은 유의하지 않았다($p>.05; F(2, 20)=5.646, p<.05, R^2=.361, R_{Adjusted}^2=.297$). 작업기억과 면적 민감도가 독립변수인 모형에서 작업기억의 예측력은 유의하였으나($=.595, t(22)=3.501, p<.01$), 면적 민감도의 예측력은 유의하지 않았다($p>.05; F(2, 20)=7.567, p<.01, R^2=.431, R_{Adjusted}^2=.374$). 종속변수가 반응시

Table 1. Descriptive statistics of task performance. Numbers in parentheses represent standard deviations.

ratio	grade	Accuracy		Reaction time (ms)	
		numerosity task	area task	numerosity task	area task
3:4	4 th	.87(.09)	.84(.15)	1339.61(218.95)	1262.94(237.90)
	6 th	.89(.08)	.88(.11)	1222.38(221.22)	1195.51(234.23)
5:6	4 th	.78(.12)	.79(.10)	1385.35(245.97)	1288.60(246.76)
	6 th	.79(.01)	.76(.15)	1211.96(224.24)	1201.96(238.13)
7:8	4 th	.70(.14)	.72(.13)	1427.61(354.89)	1272.76(238.75)
	6 th	.71(.13)	.71(.15)	1261.80(220.75)	1211.51(231.85)
8:9	4 th	.68(.11)	.68(.11)	1419.02(228.18)	1308.06(228.24)
	6 th	.68(.11)	.65(.12)	1289.98(242.02)	1228.81(246.95)

간일 때, 4학년의 작업기억과 수량/면적 민감도가 독립변수인 모형은 모두 유의하지 않았다($p > .05$). 6학년의 경우, 작업기억과 수량 민감도가 독립변수인 모형에서 작업기억의 예측력은 유의하였으나($\beta = .561$, $t(22) = 2.936$, $p < .01$), 수량 민감도의 예측력은 유의하지 않았다($p > .05$; $F(2, 20) = 4.450$, $p < .05$, $R^2 = .308$, $R^2_{Adjusted} = .239$). 작업기억과 면적 민감도가 독립변수인 모형에서, 작업기억의 예측력은 유의하였으나($\beta = .568$, $t(22) = 3.044$, $p < .05$), 면적 민감도의 예측력은 유의하지 않았다($p > .05$; $F(2, 20) = 4.641$, $p < .05$, $R^2 = .317$, $R^2_{Adjusted} = .249$). 요약하면, 모든 학년에서 면적 민감도가 수학 성취도를 예측하지 못하였고, 4학년의 수량 민감도만이 수학 성취도를 유의하게 예측하였다.

논 의

본 연구는 영역-일반적인 인지 능력의 개인차를 통제한 상태에서, 10-12세 아동의 수량과 면적 민감도가 포괄적 수학 성취도를 예측하는지 살펴본 최초의 연구이다. 본 연구는 선행 연구의 방법론적 문제점의 개선을 위해 동일한 점 집합 자극을 사용하여 수와 면적에 대한 민감도를 측정하고, 여러 수학 영역을 포괄하여 수학 성취도를 정밀하게 측정하였다.

연구 결과, 수량보다 면적 비교 과제의 반응시간이 유의하게 짧았다. 특히, 4학년은 면적에 비해 수량 비교 과제의 반응시간이 유의하게 길었다. 각 학년 내에서 수량 민감도와 면적 민감도는 유의한 상관관계를 보였는데, 이는 수량과 면적 차원을 처리하는 시스템이 서로 밀접하게 연관되어 있음을 의미하며, 선행 연구 결과와도 일치한다(Kucian et al., 2018; Starr & Brannon, 2015). 한편, 학년에 따른 수행의 차이는 수량 비교에서만 유의하였다. 즉, 수 민감도가 4학년에 6학년까지 계속 발달하는 데에 반해, 면적 민감도는 4학년에 이미 6학년과 유사한 수준에 이르렀음을 의미한다. 이는 선행 연구에서 예측한 수/면적 민감도의 발달 추이와 일치하며, 수량보다 연속적 매그니튜드 변별의 정확도가 높았던 결과와도 일치한다(Kucian et al., 2018; Leibovich & Henik, 2013; Odic et al., 2013). 종합하면, 본 연구에서 관찰한 수량과 면적 민감도의 발달 차이를 고려할 때, 4-6학년 시기에는 수량과 면적 차원을 처리하는 시스템이 여전히 밀접하게 상호작용하지만, 점차 분화되는 단계에 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 다중회귀분석 결과, 4학년에서만 수량 민감도가 수학 성취도를 예측하였다. 6학년에서는 작업기억만이 수학 성취도를 예측하였다. 이는 6학년의 수학 성취도 검사 문항에 난이도가 높은 문제가 많이 포함되어 작업

기억을 더 많이 필요로 하였기 때문일 것으로 추측할 수 있다. 다중회귀분석 결과를 종합하면, 수 민감도는 아동의 초기 수학 학습에 중요한 영향을 미치는데, 연령이 증가함에 따라 수 민감도의 개인차는 감소하는 반면, 작업기억, 학습 전략 등이 수학 학습에 미치는 영향과 그 개인차는 증가하여, 수 민감도와 수학 성취도 간 관계성은 연령의 증가에 따라 점차 약해지는 것으로 이해할 수 있다(Fazio et al., 2014; Inglis et al., 2011).

본 연구는 다음과 같은 한계점을 지닌다. 첫째, 표본 수가 작아 일부 데이터가 분석 결과에 영향을 미칠 수 있다. 둘째, 수학 성취도와 학습 능력에 영향을 미칠 수 있는 어휘력, 독해력 등 언어 능력과 부모의 교육 수준이나 사회경제적 지위를 체계적으로 고려하지 못하였다(Pina et al., 2014; Wang et al., 2023). 매그니튜드 시스템의 본질을 정확하게 이해하기 위해서는 지속적인 후속 연구를 통해 다양한 매그니튜드 차원(부피, 길이, 수량, 등)의 발달 과정을 폭넓은 연령대에 걸쳐 추적 관찰한 결과들을 통합하는 노력이 필요하다.

References

- Bonny, J. W., & Lourenco, S. F. (2015). Individual differences in children's approximations of area correlate with competence in basic geometry. *Learning and Individual Differences, 44*, 16-24.
- Brannon, E. M., Jordan, K. E., & Jones, S. M. (2010). Behavioral signatures of numerical cognition. *Primate neuroethology, 144-159*.
- Brannon, E. M., Lutz, D., & Cordes, S. (2006). The development of area discrimination and its implications for number representation in infancy. *Developmental science, 9*(6), F59-F64.
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 9 by monkeys. *Science, 282*(5389), 746-749.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. OUP USA.
- Fazio, L. K., Bailey, D. H., Thompson, C. A., & Siegler, R. S. (2014). Relations of different types of numerical magnitude representations to each other and to mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology, 123*, 53-72.
- Guillaume, M., Nys, J., Mussolin, C., & Content, A. (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.
- 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, 1222-1229.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2013). Kaufman Assessment Battery for Children, Second Edition. In *Encyclopedia of Special Education*. John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118660584.esel324/abstract>
- Kucian, K., McCaskey, U., Von Aster, M., & O'Gorman Tuura, R. (2018). Development of a possible general magnitude system for number and space. *Frontiers in psychology*, 9, 371862.
- Libertus, M. E., Odic, D., Feigenson, L., & Halberda, J. (2020). Effects of visual training of approximate number sense on auditory number sense and school math ability. *Frontiers in psychology*, 11, 504464.
- Libertus, M. E., Odic, D., & Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta psychologica*, 141(3), 373-379.
- Lourenco, S. F., & Bonny, J. W. (2017). Representations of numerical and non numerical magnitude both contribute to mathematical competence in children. *Developmental Science*, 20(4), e12418.
- Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2010). General magnitude representation in human infants. *Psychological Science*, 21(6), 873-881.
- Mix, K. S., Levine, S. C., & Newcombe, N. S. (2016). Development of quantitative thinking across correlated dimensions. In *Continuous issues in numerical cognition* (pp. 1-33). Academic Press.
- Newcombe, N. S. (2014). The origins and development of magnitude estimation. *Ecological Psychology*, 26(1-2), 147-157.
- Nys, J., & Content, A. (2012). Judgement of discrete and continuous quantity in adults: Number counts!. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(4), 675-690.
- Odic, D., Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Developmental change in the acuity of approximate number and area representations. *Developmental psychology*, 49(6), 1103.
- Park, K. S., Chung, D. Y., Jeong, I. S., Song, Y. J., & Kim, K. O. (2005). A Study on Reliability and Validity of KISE-Basic Academic Achievement Tests(Math). *The Journal of Special Children Education*, 7(3), 247-267
- Park, Y. J. (2014). *The acuity for continuous magnitude and numerosity, and their relations to mathematical achievement in primary school children* (Master's thesis, Chung-Ang University). RISS.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- Pina, V., Fuentes, L. J., Castillo, A., & Diamantopoulou, S. (2014). Disentangling the effects of working memory, language, parental education, and non-verbal intelligence on children's mathematical abilities. *Frontiers in Psychology*, 5, 415.
- Starr, A., & Brannon, E. M. (2015). Developmental continuity in the link between sensitivity to numerosity and physical size. *Journal of Numerical Cognition*, 1(1), 7-20.
- Tibber, M. S., Manasseh, G. S., Clarke, R. C., Gagin, G., Swanbeck, S. N., Butterworth, B., ... & Dakin, S. C. (2013). Sensitivity to numerosity is not a unique visuospatial psychophysical predictor of mathematical ability. *Vision research*, 89, 1-9.
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in cognitive sciences*, 7(11), 483-488.
- Wang, X. S., Perry, L. B., Malpique, A., & Ide, T. (2023). Factors predicting mathematics achievement in PISA: a systematic review. *Large-Scale Assessments in Education*, 11(1), 24.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.

4학년과 6학년 한국 아동의 수량과 면적에 대한 변별 민감도와 수학 성취도와의 관계

김민경¹, 박윤지¹, 조수현¹

¹중앙대학교 심리학과

본 연구에서는 4, 6학년 아동을 대상으로 수량/면적 민감도를 비교하고, 두 민감도 간 상관관계를 분석하였다. 또한, 영역-일반적인 인지 능력의 개인차를 통제한 후에도 수량/면적 민감도가 수학 성취도를 유의하게 예측하는지 분석하였다. 참가자들은 한 쌍의 점 집합을 본 후, 두 자극 중 점의 수량이 더 많거나 점의 총면적이 더 넓은 자극을 선택하였다. 실험 결과, 각 학년 내에서 수량과 면적 민감도는 유의한 상관이 있었다. 수량 민감도는 4학년에 비해 6학년에서 유의하게 높았지만, 면적 민감도는 학년 간 차이가 없었다. 6학년과 달리, 4학년의 수량 민감도만이 수학 성취도를 유의하게 예측하였다. 본 연구는 연속적 매그니튜드에 대한 민감도가 수 민감도보다 빠르게 성숙한다는 연구 결과들을 뒷받침한다. 선행 연구 결과와 함께 종합하면, 아동의 수 민감도는 초기 수학 학습에 기여하지만, 더 높은 단계의 수학 문제 해결에는 작업기억과 같은 영역-일반적인 인지 능력이 수 민감도보다 더 중요한 역할을 할 가능성을 시사한다.

주제어: 수 민감도, 면적 민감도, 수학 성취도, 매그니튜드, 분화 이론