

한국 아동의 실행기능 발달과 수학능력의 관련성: 측정과 그래프 이해를 중심으로*

맹 세 호 정 윤 경[†] 권 미 경

가톨릭대학교 심리학과

University of California at Davis

본 연구는 학령기 한국 아동의 실행기능 발달과 수학적 능력 중 측정과 그래프 해석능력 간의 관계를 탐색하는데 목적이 있다. 특히, 본 연구에서는 억제와 전환 기능을 중심으로 실행기능과 수학적 능력의 관계를 살펴보았다. 이를 위해 서울 및 경기도 지역 만 8세에서 만 11세 사이 아동 195명을 대상으로 측정과 그래프 이해 과제 및 단순 구획과 복잡한 구획으로 나누어 구성된 Munro 등(2006)의 실행 과제를 실시하였다. 그 결과 전환에서는 9세와 10세 사이에 유의미한 수행 증가가 발견되었으나 억제에서는 유의미한 수행 증가가 발견되지 않았다. 또한, 아동의 전환 기능은 측정과 그래프 이해 과제 수행 모두와 높은 관련성을 보였으나, 억제 기능은 두 수학 과제 모두에서 유의한 상관이 나타나지 않았다. 이러한 결과는 전환 기능이 수학 능력에 중요한 역할을 한다는 기존의 이론을 지지하며, 만 8세에 이미 상당한 수준에 이른 억제 기능보다 그 이후까지 계속해서 발달하는 전환 기능이 한국 아동의 수학 능력을 예측하는 데 보다 중요한 역할을 함을 시사한다.

주요어 : 실행기능, 수학능력, 억제, 전환, 측정, 그래프

* 본 연구는 2012년도 가톨릭대학교 교비 연구비의 지원을 받아 수행되었음(M2012b000200006).

† 교신저자: 정윤경, 가톨릭대학교 심리학과, 경기도 부천시 원미구 지봉로43

E-mail: benijeong@catholic.ac.kr

연령이 증가하면서 아동은 자신의 생각과 행동을 유연하게 조절할 수 있게 되는데(Diamond, 2002), 이러한 변화는 다양한 인지적 과정을 포함하는 실행기능(executive function: EF)의 발달과 관련된다(Luria, 1966; Miller & Cohen, 2001; Shallice, 1982). 이러한 실행기능은 많은 연구들을 통해 아동 초기에서 청소년기까지 오랜 기간 발달한다고 밝혀져 왔다(Huizinga, Dolan & Van der Molen, 2006). 또한 지금까지 대부분의 실행기능연구들은 발달장애 아동들이나 심각한 ADHD 혹은 자폐아동들을 대상으로 실행되어 온 반면(Hughes & Graham, 2002), 최근 들어 정상발달 아동의 실행기능으로 연구의 초점이 바뀌고 있다. 특히 전반적 실행기능 뿐만 아니라 특정 하위 요소들의 출현과 발달 그리고 이와 관련을 맺는 인지 수행 능력에 대한 연구 등, 지금까지 간과되고 있던 주제들이 다뤄지고 있다(Best, Miller & Jones, 2009). 더불어 국내의 실행기능 연구들도 ADHD 장애, 자폐아, 뚜렛장애, 정신분열증 집단과 같은 특수 집단의 실행기능 비교분석 위주에서(송찬원, 변찬석, 2007) 벗어나 정상 아동의 마음이론과 실행기능의 관계(신은수, 2005; 이유미, 박영신, 2008), 언어습득에서의 실행기능의 역할(최영은, 2009), 읽기능력과의 실행기능과의 관계(안제원, 방희정, 박현정, 2013), 사회경제적 지위와 실행기능 발달간의 관계(최영은, 최미혜, 남민지, 2013) 연구 등으로 다각화가 시도 되고 있다.

실행기능은 사고와 행동을 관리하고 통제하는 인지적 조절과정이다. 실행 기능을 구성하는 하위 요소에 대해서는 아직 논쟁이 있으나(Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen & van Luit, 2013), 작업기억(working memory), 반응억제(inhibition), 그리고 전환능력(shifting)의 3

요소가 실행기능의 분리 가능한 하위요인이라는 Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter와 Wager(2000)의 주장이 많은 다른 연구자에 의해 받아들여지고 있다(Diamond, 2013; Yeniad, Malda, Mesman, Van Ilzendoorn, & Pieper, 2013). 본 연구에서도 Miyake의 정의를 사용하여 실행 기능의 하위 영역을 기술하였다.

작업기억은 마음속에 정보를 유지하면서 이를 심리적으로 조작하는 능력이다. 암산, 아이디어를 확장하는 것, 그리고 추상적 규칙을 상기하면서 이를 구체적인 행동으로 옮기는 것 등을 작업기억의 예로 들 수 있다(Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2007). 반응억제는 자동적인 혹은 우세한 반응을 억압하는 능력이며(Nigg, 2000), 주의를 선택적이고 지속적으로 집중할 수 있게 하며, 행동경향성, 정서, 활동 혹은 주의를 통제하는 지표가 될 수 있다(Diamond, Barnett, Thomas & Munro, 2007). 실행기능의 마지막 핵심요인은 심적 상태, 혹은 과제 사이를 전환할 수 있는 능력으로 '과제 전환능력' 혹은 전환능력으로 불린다(Miyake et al., 2000). 자극의 양상에 따라 규칙을 바꿔 선택하는 주의전환, 규칙변화가 관련 있는 운동반응을 선택하는데 영향을 주는 반응전환 혹은 과제전환능력 등이 여기에 포함된다(Rushworth, Passingham & Nobre, 2005).

실행기능의 하위 요소는 아동 초기부터 청소년에 이르기 까지 체계적인 향상을 보인다(Zelazo & Muller, 2002). 서구 아동의 경우, 작업기억 능력은 만 4세에서 만 15세까지 선형적 증가 양상을 보인다(Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004). 또한, 억제능력은 만 5세에서 만 8세 사이에 의미 있는 향상이 나타나며(Romine & Reynolds, 2005), 전환능력은 약 만 12세경에 성인 수준의 수행이 나타나는

것으로 보고되었다(Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001; Kray, Eber. & Lindenberger, 2004). 요컨대 실행기능의 세 요소 모두 학령 전기와 학령기에 걸쳐 급격히 향상되나, 성인 수준에 미치는 기간은 조금씩 차이가 있는 것으로 정리할 수 있다(Mayr, Spieler & Kliegl, 2001; McDowd & Shaw, 2000; Dempster, 1992).

한편 실행기능과 관련된 최근 연구 동향 중 하나는 실행기능과 학업성취와의 관련성을 주제로 하여 많은 연구들이 이루어진다는 것이다. 실행기능이 많이 요구되는 과제의 수행은 표준화된 학업성취측정치와 강한 관련이 있는 것으로 나타났으며(Diamond, Barnett, Thomas & Munro, 2007) 특히 현재의 수학능력 뿐만 아니라 이후의 수학 능력을 예측할 수 있는 변인으로 연구되고 있다(van der Ven, Kroesbergen, Boom, & Leseman, 2012). 예를 들어, 뉴질랜드의 초등학생을 대상으로 한 Clark, Pritchard와 Woodward(2010)의 연구에서 4세의 실행기능 능력이 6세의 수학능력을 예측하는 변인으로 나타났으며, Bull과 Scerif(2001)는 지능지수의 효과를 통제한 후에도 실행기능의 하위 요소들이 7세의 수학성적을 유의하게 예측하는 변인임을 밝혔다.

또한, 전반적인 실행 능력과 수학 능력의 관련성뿐만 아니라 실행 능력의 각 하위 요소가 독립적으로 수학 능력을 예측할 수 있는지에 관한 연구들이 다양하게 진행되고 있다(Diamond, 2013). 예를 들어, 작업기억은 암산이나 복잡한 연산처럼 숫자나 기호 등의 정보를 언어적 혹은 시각적으로 저장하거나 문제 풀이의 중간 과정을 기억하고 다음 문제 풀이 단계에서 필요할 때 인출하는 등의 역할을 함으로써 수학 능력과 큰 관련성을 가질 것으로 제안되었으며(Dehaene, 2007), 언어적 작업기억

혹은 시각적 작업기억이 높은 아동이 높은 수학 능력을 보인다는 연구 결과 등이 이러한 가설을 지지하고 있다(Gathercole & Pickering, 2000; Passolunghi, Mammarella, & Altoe, 2008; Swanson, 2006). 또한, 실행 기능의 두 번째 요소인 억제력은 평소 다른 수학 과제에 많이 쓰이나 현재 풀어야 할 수학 과제와는 관련이 없는 부적절한 문제 해결 방법이나 전략 또는 불필요한 정보를 억제하고 문제 해결에 적합한 방법과 정보에 선별적으로 집중하게 도와줌으로써 아동의 수학 능력과 관련이 있을 수 있다(Rotzer et al., 2009). 실제로 억제 능력은 일반 아동의 수학 성취도와 높은 관련성이 있는 것으로 나타났으며(Bull and Scerif, 2001; Espy et al., 2004). 수학 저 성취 아동은 일반 아동보다 억제 능력이 유의하게 낮은 것으로 나타났다(Rotzer et al., 2009). 전환 기능은 수학 시험에서 일변 문제에서 연산 문제를 풀고 다음에는 기하 문제를 푸는 것처럼 다른 계산 방식 혹은 문제 해결 방법의 신속한 전환이 요구될 때 중요한 역할을 할 수 있으며, 동일한 문제 내에서 여러 가지 복잡한 연산을 순차적으로 수행해야 하는 상황에서도 필요할 것으로 가정되고 있다(Andersson, 2008; Bull and Scerif, 2001). Yeniad 등(2013)은 학령전기 아동과 학령기 아동을 대상으로 한 20개의 기존 연구 결과에 대한 메타 분석을 통해 전환 기능이 수학 능력을 예측하는 가장 중요한 실행 기능 하위 요소임을 주장했다.

그러나 기존 연구는 대부분 3 요소 중 작업기억을 위주로 진행되었으며, 억제와 전환의 수학 능력과의 관계 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다(Friso-van den Bos et al., 2013; Yeniad et al., 2013). 또한, 억제 기능과 수학 능력, 전환 기능과 수학 능력의 관계에 대한

상이한 연구 결과가 보고되었다. 예를 들어, 억제 기능은 Bull과 Scerif(2001)와, Espy와 그의 동료들(2004)의 연구에서는 수학 능력과 유의한 관련성을 보였으나 Andersson(2008), Monette, Bigras, 그리고 Guay(2011)의 연구에서는 그 관련성이 명확하게 나타나지 않았다. 또한, Yeniad 등(2013)의 연구에서는 전환 기능과 수학 능력의 관련성이 나타났으나, Blair and Razza(2007)은 다른 하위 요소를 통제하였을 때 전환 기능과 수학 능력의 관계가 유의하지 않다고 보고하였다. 이러한 상이한 연구 결과는 연구에 사용된 실행 기능 과제와 수학 과제가 동일하지 않기 때문일 가능성이 있으며(Friso-van den Bos et al., 2013), 특정 하위 요소를 측정하기 위해 사용된 실행 기능 과제가 사실상 여러 요소를 반영하기 때문이라는 지적도 있다(Blair and Razza, 2007; Diamond, 2013).

실행 능력과 수학 능력의 관계는 서구에서 뿐만 아니라 국내에서도 최근 시도되고 있다. 예를 들어, 김근영과 김도환(2012)은 태도나 동기 변인을 통제한 후에도 한국 중학생들의 지각된 실행기능 수준이 수학성적에 미치는 영향이 유의미함을 밝혀 실행기능이 수학점수를 유의하게 예측하는 변인임을 밝혔다. 특히 수학성적이 낮은 집단에서 실행기능의 효과가 결정적인 것으로 나타났다. 그러나 이 연구에서는 자기 보고식의 단일 실행 기능 과제만을 사용하여 여러 실행 기능 하위 영역들이 각각 어떤 식으로 수학 능력과 관련을 맺는지에 대한 정보를 주지 못한다. 또한, 중학생만을 대상으로 연구가 진행되었기 때문에, 학령기 초기의 한국 아동에게서도 실행 기능이 수학 능력에 동일한 방식으로 영향을 미칠지에 대해서는 미지수이다. 실제로, 서구 아동을 대상으로 한 연구들은 작업기억, 억제 능력, 전

환 능력이 성숙하는 시기가 각각 다른 것으로 보고하고 있으며(Gathercole et al., 2004; Romine & Reynolds, 2005; Cepeda, et al., 2001), 다양한 연령의 아동을 대상으로 각 하위 능력의 발달과 각각이 수학 능력과 어떠한 관련성을 보이는지에 대한 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 한국 초등학생의 실행기능의 하위 영역 별 발달과 수학능력과의 관련성을 탐색하는데 있다. 한국 아동은 서구 아동보다 전반적으로 높은 실행기능을 가지고 있으며(Oh, & Lewis, 2008) TIMSS시험결과에서도 보여지듯이 타 국가의 아동들에 비해 상대적으로 높은 수학능력을 보이고 있다(한국교육과정평가원, 2013). 따라서 서구의 아동을 대상으로 한 기존 연구결과를 한국 아동에게 그대로 적용하는 것은 무리가 있으며 한국 아동들을 대상으로 한 체계적인 연구가 필요하다.

또한, 본 연구에서는 그 동안 국내에서 다루어지지 않았던 실행 기능의 하위 영역과 초등학생의 수학 능력과의 관계를 알아보고자 한다. 수학능력이 실행기능의 어떤 하위 영역과 관련이 있는가에 대해서는 서구에서도 아직 논란이 되고 있으며(van der Ven, Kroesbergen, Boom, & Leseman, 2012) 특히 실행기능의 하위 영역인 억제, 전환능력과 수학 능력의 관계는 명확히 나타나지 않고 있다(Censabella & Noel, 2008; Rasmussen & Bisanz, 2005; Van der Sluis, De Jong, & Van der Leij, 2004). 따라서 본 연구의 결과는 한국 아동뿐만 아니라 실행기능의 전반적인 연구에도 함의를 가진다.

아동의 실행기능과 그 하위 영역의 수행을 살펴보기 위해 Munro, Chau, Gazarian과 Diamond(2006)의 Flanker Task¹⁾를 사용하였다.

Flanker Task에서는 자동 반응성을 극복하면서 목표자극과 방해자극을 구분하여 선별적으로 주의를 주어 반응해야 하기 때문에 억제 기능을 측정하는 데 보편적으로 사용되고 있다 (Diamond, 2013).

Munro 등(2013)의 Flanker Task는 단순히 억제 기능을 측정하는 것 이외에 다음의 추가적 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 첫째, 단일 규칙을 가진 기존의 Flanker Task와 달리 Munro 등의 Flanker Task는 복수의 규칙을 가진 시행을 추가하여 천장 효과를 피하고 억제 기능을 6-10배 정도 민감하게 측정하여(Munro et al., 2006) 아동의 억제 능력을 측정하는 데 단일 규칙 방법보다 높은 변별력을 가지는 방법으로 알려져 있다(Diamond, 2013; Diamond, Barnett, Thomas, Munro, 2007). 본 연구에서는 서구의 아동보다 높은 억제 능력을 가진 것으로 알려진 한국 아동(Oh, & Lewis, 2008)을 대상으로 하기 때문에, 복수의 규칙을 가진 Munro 등의 방법이 기존의 단일 규칙 시행만을 사용한 방법보다 더 적합할 것으로 예상하였다.

한편, 대부분의 실행기능 과제는 측정하고자 하는 하위 요소 외에도 다른 하위 요소들 중 하나 이상을 요구하게 된다. 예컨대, Flanker Task에서의 첫 번째 구획의 일치 조건(목표자극과 주변 방해 자극이 모두 같은 방향을 가리켜 가장 쉬운 조건)은 가장 인지적 부담이 적으며 최소한의 억제능력과 규칙을 유지하면서 이를 심리적으로 조작하는 작업기억의 요소도 부분적으로 포함하고 있다. 동일한 구획(첫 번째 구획)의 불일치 조건(목표 자

극과 주변 방해 자극이 다른 방향을 가리키는 조건)은 일치 조건과 동일한 규칙이 적용되므로 작업기억의 부담은 이론적으로 동일하지만 주변 자극에 대한 반응을 억제해야 하는 부담은 일치 조건보다 더 높다. 따라서 실행기능 하위 요소(억제, 작업기억, 전환)의 계산은 한 시행에서 다음 시행, 혹은 한 과제에서 다음 과제로 전환되었을 때 추가된 요소를 확인하는 것을 통해 가능하다(Diamond, 2013) 예를 들어 억제능력의 경우 동일 구획 내에서 일치 조건과 불일치 조건에서의 수행의 차이로 계산할 수 있다. 이러한 방법은 작업기억의 부담이 다른 단일 시행과 복합 시행 내에서 작업기억 요소를 통제하면서 억제 기능을 분리해 낼 수 있도록 함으로써 보다 정확하게 실행 기능을 측정할 수 있도록 하는 장점이 있다.

마지막으로, 이 Flanker Task의 복합 시행은 다른 규칙을 가진 시행들이 무선적으로 제시되기 때문에 이 구획을 성공적으로 수행하기 위해서는 새로운 규칙으로의 빠른 전환 능력이 필요하다. 이러한 맥락에서(Munro et al., 2006)의 Flanker Task의 복합 시행의(일치, 불일치 조건을 합한) 반응 시간 평균은 억제 기능과 별도로 전환 기능을 측정하는 도구로도 사용되고 있다(e.g. Röthlisberger, Neuenschwander, Cimelia, Michelb & Roebersa, 2011). 본 연구에서도 Munro 등(2006)과 Röthlisberger 등(2011)의 방법을 적용하여 보다 정확하게 실행기능의 하위 영역과 수학능력간의 관련성을 기술하고자 한다.

본 연구에서는 기존의 전반적 수학 능력(e.g. 김근영과 김도환, 2012) 혹은 연산 능력을 위주로 한 연구와 달리(e.g. Andersson, 2008) 측정과 자료해석 능력을 중심으로 수학 이해 능

1) 실행기능 과제인 Flanker Task에 대한 보다 자세한 내용은 연구절차 및 연구도구에 기술되어 있음.

력과 실행 기능의 관계를 살펴봄으로써 기존 연구와 차별성을 두고자 한다. 측정과 자료 해석능력은 초등학교 한국 수학 교육과정에서 주요한 영역으로(교육과학기술부, 2008, 2011), 다른 수학 능력과도 관련성이 있으며 서구의 수학 교과과정에서 최근 들어 가장 강조되고 있는 분야이기도 하다(Reys, Lindquist, Lambdin, & Smith, 2009).

측정이란 사물의 길이, 넓이, 부피 등과 같은 연속적 속성을 비교하며 사물간의 관계를 수량화하고 양, 공간개념을 구체화하는 과정이다(Spodek & Walgerg, 1977). 측정의 과정은 사물간의 길이, 넓이 등을 직접적으로 비교하는 과정뿐만 아니라 공간개념, 수 세기, 문제 해결 등의 여러 다른 능력을 복합적으로 요구하며(Althouse, 1994). 적절한 방법을 선택하여 측정 문제를 해결하고 한 가지 측정 상황에서 벗어나 사고를 유연하게 확장시키지 위해서는 실행 기능의 발달이 뒷받침되어야 할 것이다.(Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson & Grimm, 2009). 예를 들어, 그림 2의 좌측에 제시된 단위 전환 길이 측정의 문제의 경우, 아동은 열쇠 하나의 길이가 2cm라는 사실을 작업기억을 통해 머릿속에 기억하면서, 상단의 열쇠의 길이를 답으로 선택하려는 반응성을 억제하면서 하단의 문제로 넘어가 열쇠 3개에 해당하는 길이를 '2 곱하기 3' 혹은 '2+2+2'등과 같은 연산이라는 새로운 규칙을 사용하는 전환 능력을 필요로 할 것이다.

자료 해석 능력에 대한 연구들은 대부분 그래프 이해에 대한 내용을 담고 있다(Gattis & Holyoak, 1996). 자료를 그래프로 표현하는 것은 많은 양의 정보를 간결하고 시각적인 형태로 요약함으로써 의사전달을 촉진시킬 수 있고, 문제를 해결하거나 예측하는데 도움을 줌

으로써(Baroody & Coslick, 1998) 정보의 전달 능력이 중요한 현대 사회에 꼭 필요한 능력이다. 또한, 그래프의 해석과정은 그래프의 구체적인 내용이 나타내는 값들 사이에서 관계를 찾는 공간적 추론과제(spatial reasoning)(Speier et al., 2003)이며, 그래프의 막대와 선과 같은 구체적인 시각적 내용을 읽고 모든 눈금이 아니라 막대와 선의 끝에 해당하는 정보를 선별적으로 주의를 주어 처리하고 그 정보를 작업기억 속에 보관하며, 읽어진 값을 계산하거나 시각적 내용사이의 공간적 비교하는 단계로의 전환 하는 능력 등이 필요하다(Gillan & Lewis, 1994). 이러한 특성 때문에 그래프 이해 능력은 수학의 여러 영역에서 수학적 개념의 이해를 높이고, 수학능력을 더 높은 수준으로 발달시키기 위한 핵심적인 능력으로 알려져 있다(송정화, 권오남, 2002).

그러나 이러한 중요성에도 불구하고 국내 아동을 대상으로 측정과 자료해석능력을 심도 있게 살펴 본 연구는 상대적으로 미비한 실정이며(송정화, 권오남, 2002), 국내 아동의 실행 기능과의 관련성 또한 알려진 바가 없어 체계적인 연구가 필요하다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 한국 초등학생의 실행기능과 수학능력, 특히 측정과 자료 이해 능력 간의 관계에 대해 살펴보고자 하였다. 구체적으로 다음과 같은 연구문제를 다루고자 한다.

첫째, 국내 학령기 아동들의 수학 능력과 실행 기능 간에 유의미한 관계가 있는가? 본 연구에서는 국내외의 수학교육에서 공통적으로 강조되고 있는 측정과 자료이해 능력을 중심으로 이를 살펴 볼 것이다.

둘째, 학령기 아동의 수학 능력을 예측하는 실행 기능의 세부 요인은 무엇이며 연령이 높

아집에 따라 그 예측력이 어떻게 달라지는가? 본 연구에서는 실행기능의 억제와 전환능력 중 어느 요인이 수학 능력의 관련성을 보이는지를 살펴보았으며, 만 8세에서 만 11세에 걸쳐 그 관련성이 어떻게 발달적으로 변화하는지를 검증하였다.

마지막으로 본 연구에서는 Munro 등(2006)의 복합 시행 구획이 기존의 단일 시행 구획보다 한국 아동의 실행 기능과 수학 능력의 관계를 측정하는 데 적절한 검사 방법인지를 살펴보고자 하였다.

방 법

연구대상

서울과 경기도에 소재한 초등학교의 초등학생 199명(남아: 108명, 여아: 91명)을 대상으로 각 학년의 2학기 초에 실험을 실시하였다. 이 중 실행 기능 과제의 가장 쉬운 구획인 첫 번째 구획에서 모두 오답을 선택한 2학년 남아 2명과 3학년 남아 2명은 실행 기능 과제를 제대로 이해하지 못하는 것으로 해석하여 제외하였다. 그 결과 총 195명의 아동이 결과 분석에 포함되었다. 연령별로 만 8세(초등학교 2학년)집단 42명, 만9세(초등학교 3학년)집단 57명, 만10세(초등학교 4학년) 집단 43명, 만11세(초등학교 5학년) 53명이었다.

연구절차 및 연구도구

실행기능

실행기능을 측정하는 도구로 Munro, Chau, Gazarian과 Diamond(2006)의 Flanker 효과에 관



그림 1. Computer based Flanker Task

한 연구에서 사용되었던 자극들을 Python 2.5를 이용해 CBT(computer based tasting) 형식으로 제작하였다. Flanker Task는 다음과 같이 세 단계로 이루어져 있다. 첫 번째 구획에서는 파란색 물고기 자극이 제시되는 단일시행 구획이며 총 12번의 자극이 제시되며 최초 4개의 자극은 연습시행으로 이는 결과분석 자료로 사용하지 않았다. 그림 1에서와 같이 첫 번째 구획에서는 중앙에 있는 파란색 물고기가 가리키는 화살표 방향으로 키보드의 방향키 버튼을 눌러 물고기에게 먹이를 주는 것이 아동이 수행해야 할 과제이다. 두 번째 구획에서는 분홍색 물고기가 제시되는데, 첫 번째 구획과 달리, 주변 물고기에 제시된 화살표 방향의 버튼을 눌러서 물고기에게 먹이를 주어야 한다. 총 8번의 자극이 제시되었다. 마지막으로 세 번째 구획에서는 파란색 물고기와 분홍색 물고기가 무선으로 번갈아 화면에 나타난다. 따라서 아동은 물고기 색깔에 근거하여 규칙을 전환하여 반응해야 하며, 이러한 복합 시행 구획은 앞서 제시된 단일 시행 구획보다 높은 수준의 인지적 통제가 요구된다. 총 32개의 자극이 제시되었다²⁾. 세 구획 모두 시행

2) 초등학교 4학년 20여명을 대상으로 예비연구를 시행한 결과 단일시행에서의 수행이 연습효과에 의해 극적으로 향상되었기 때문에 복합시행 구

의 절반은 중앙과 주변의 물고기가 모두 같은 방향을 향하는 일치 조건이었으며 나머지 절반은 주변과 중앙의 물고기의 방향이 일치하지 않는 불일치 조건이었다. 불일치 조건에서는 주변 혹은 중앙의 물고기에 대한 반응을 억제하고 목표 자극(파란색 물고기가 나올 때에는 중앙, 분홍색 물고기가 제시될 때에는 주변의 물고기)의 방향에 선별적으로 반응을 해야 하기 때문에 일치 조건보다 더 높은 억제 기능이 요구된다(Diamond 2013, Diamond et al., 2007).

Munro 등(2006)의 연구와 마찬가지로 반응 시간을 종속 변인으로 사용하였다. 연령별로 각 구획과 일치/불일치 시행별로 반응시간의 평균을 계산하였으며, Diamond(2007, 2013)와 Munro 등(2006), Röthlisberger 등(2011)에서 사용한 방법에 따라 실행 기능의 요소별 점수를 환산하였다. 구체적으로, 실행 기능의 억제는 각 구획 별로 불일치 조건에서의 반응 시간과 일치 조건에서의 반응 시간의 차를 계산하여 환산하였다. 한국 아동의 전반적으로 높은 실행 기능을 고려하여 가장 어려운 복합 시행의 억제 점수가 주 관심사이나, 복합 시행 구획이 단일 시행 구획보다 억제 기능을 더 민감하게 측정한다는 Munro 등(2006)의 연구 결과를 한국 아동을 대상으로 추가적으로 검증하기 위해 첫 번째 구획을 중심으로 단일 시행 점수 억제 점수를 계산하고, 세 번째 구획을 중심으로 복합 시행 억제 점수를 계산하였다. 마지막으로, 전환 점수의 경우 특정 과제가 '전환' 혹은 '억제'와 같은 단일 하위 요소를 순수하게 측정하는 것이 가능한 지 등의 문제가 생길 것으로 예상되어(Diamond, 2013),

획에 비해 단일시행 구획의 자극을 적게 제시하였다.

본 연구에서는 단일한 과제 내에서 구획과 조건 별 반응 시간 차이를 이용하여 전환과 억제 의 두 요소를 구분하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 Röthlisberger 등(2011)의 방법에 따라 두 가지 규칙이 무선적으로 제시되는 복합 구획(즉, 세 번째 구획)의 일치와 불일치 조건의 반응 시간을 모두 포함하여 평균을 구한 값을 사용하였다. 한편 Röthlisberger 등(2011)이 사용한 점수 환산 방법은 세 번째 구획의 반응속도만을 나타낼 가능성이 있으나 본 연구에서는 Diamond(2010, 2013)의 논리에 근거하여 단일구획 반응시간을 통제하였을 때에도 같은 발달적 차이가 발생하는지 재검토 하였다. 이를 통해 본 연구에서 산출한 전환 점수가 단순히 세 번째 구획에서의 반응 속도만을 반영할 가능성을 최소화 하였다.

수학 이해 능력

아동의 본 연구에서는 다음과 같은 측정 과제와 그래프 과제를 고안하여 아동의 수학 이해 능력을 수량화 하였다.

측정 과제. 자극을 측정하고 비교하는 능력을 측정하는 도구로 최병훈 등(2006)의 연구를 참고하여 과제를 제작하였다. 측정과제의 내용은 직접비교, 상대적 비교, 단위의 이해로 구성되어있다. 직접비교는 대상의 길이나 넓이를 비교할 수 있는 기준이 제시되어있거나 대상의 위치를 바꾸지 않아도 길이나 넓이를 비교할 수 있는 것이다. 상대적 비교는 자극을 심리적으로 상하 혹은 좌우로 움직여야만 길이나 넓이를 비교할 수 있는 문제들로 구성하였다. 마지막으로 단위의 이해는 단위를 제시해 주고 전체의 개수나 길이를 찾는 문제들로 구성되어있다. 만 10세와 11세

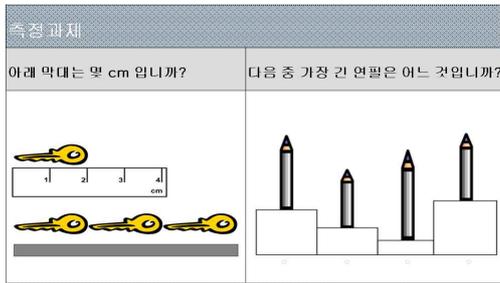


그림 2. 측정과제의 예

아동은 10문항을 실시하였고 만 8세와 9세 아동은 기본14문항과 이전과 이후 연령대의 수행을 확인하기 위해 이전 연령대의 과제 3문제와 이후 연령대 과제 3문제를 포함하여 총 20문항을 실시하였다. 각 문항 당 1점씩 배점했으며 100점으로 환산하여 분석에 사용하였다.

그래프과제. 그래프로 제시된 자료를 읽고 이에 근거하여 해석하는 능력을 측정하는 과제로 황현미와 방정숙(2007)의 연구를 참고하여 과제를 제작하였다. 그래프 과제의 내용은 자료읽기, 자료변환, 자료해석으로 구성되어있으며 자료읽기는 그래프에 제시되어있는 값을 찾는 문제로 구성되어있다. 자료 변환은 자료의 제시를 다른 유형으로 그래프로 전환하는 문제들로 구성하였다(가령, 막대그래프를 파이

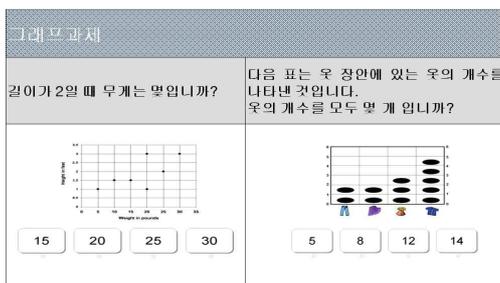


그림 3. 그래프과제의 예

그래프로). 마지막으로 자료 해석은 자료읽기와 자료 변환과 달리 두 개의 축을 사용해 자료를 나타내며 축 사이의 관계나 자료의 양상을 해석하는 문항들로 구성되어있다. 측정과제와 마찬가지로 만 10세와 11세 아동은 10문항을 실시하였고 만 8세와 9세 아동은 15문항씩 실시하였다. 측정과제와 마찬가지로 각 문항당 1점씩 배점했으며 100점으로 환산하여 분석하였다.

결 과

연령차에 따른 실행기능의 발달

아동의 실행 기능의 발달과 수학 능력 간의 관련성을 알아보기 이전에, 먼저, 아동의 실행 기능의 하위 요소-억제와 전환-이 어떻게 발달하는 지에 대한 경향성을 알아보았다. 이를 위해, 아동의 구획별, 조건별 평균 반응 시간을 구한 후(표 1), Munro 등(2006)의 방법으로 실행 기능의 억제 점수를, Rötthlisberger 등 (2011)의 방법을 참고하여 전환 점수를 구하였다(표 2).

실행 기능의 억제 요소는 각 구획에서 불일치 조건의 평균 반응 시간과 일치 조건의 평균 반응 시간의 차로 계산되었으며, 그 차이가 양수이고 숫자가 클수록 억제 능력이 낮음을 의미하며 0에 가까울수록 억제 능력이 높음을 나타낸다. 분석 결과, 단일 시행과 복합 시행 모두에서 억제 점수의 연령간 차이는 유의하게 나타나지 않았다, $p > .28$.

전환 요소는 복합 시행 구획의 평균 반응 시간으로 계산하였으며, 숫자가 적을수록 높은 전환 기능을 의미한다. 연령을 독립 변인

표 1. 연령과 구획 및 조건별 반응 시간 평균

		구획1		구획2		구획3	
		M	SD	M	SD	M	SD
전체	만8세	1.28	1.04	1.14	0.63	1.56	0.69
	만9세	0.87	0.54	0.97	0.34	1.28	0.35
	만10세	0.71	0.37	0.79	0.23	1.10	0.22
	만11세	0.61	0.24	0.75	0.2	1.20	0.27
일치	만8세	1.14	0.93	1.16	0.57	1.46	0.69
	만9세	0.77	0.46	0.87	0.35	1.18	0.35
	만10세	0.7	0.43	0.7	0.16	1.03	0.23
	만11세	0.62	0.31	0.71	0.21	1.12	0.27
불일치	만8세	1.38	1.24	1.40	1.02	1.68	0.73
	만9세	1.12	1.73	1.07	0.41	1.41	0.41
	만10세	0.72	0.35	0.88	0.34	1.18	0.28
	만11세	0.61	0.20	0.79	0.24	1.29	0.30

표 2. 연령별 측정 및 그래프 이해 능력 과제 수행의 기술통계

		측정		그래프	
		저학년 (N=99)	고학년 (N=96)	저학년 (N=99)	고학년 (N=96)
쉬운 문제	M	93.23	91.67	96.83	88.54
	SD	13.76	15.29	10.52	23.17
어려운 문제	M	73.74	63.02	85.61	69.79
	SD	26.71	30.99	18.84	24.45
총점(100점 환산)	M	83.49	80.21	90.84	79.17
	SD	18.36	18.18	13.08	21.01

으로, 전환 점수를 종속 변인으로 하여 일원
변량분석을 한 결과, 전환 요소의 연령의 주
효과가 나타났다, $F(3, 191) = 14.027, p$
 $<.001$. 사후검정(Scheffe) 결과, 만 9세와 만 10
세 사이에 연령 간 유의미한 차이가 발견되었

다, $p <.001$.

**실행기능과제와 수학 과제 간 수행간의
상관: 저학년 vs. 고학년**

본 연구에서 사용된 두 가지 수학 과제(측

정과 그래프 해석 능력 과제)의 기술통계를 표 2에 제시하였다. 2학년과 3학년(만 8세와 만 9세), 4학년과 5학년(만 10세와 만 11세)가 동일한 문제를 받았기 때문에, 2학년과 3학년을 저학년, 4학년과 5학년을 고학년으로 묶어 기술통계를 제시하였다.

측정 이해 능력과의 상관성. 측정 이해 능력과 실행 기능의 관련성을 알아보기 위해 변인 간 상관관계를 검증한 결과를 표 3에 제시하였다. 아동의 전환 능력 점수는 학년에 관계없이 측정 문제의 이해 능력과 유의한 정적 상관관계를 보였다. 한 편, 억제 능력은 측정 점수와 유의한 관계를 보이지 않았으며, 이러한 결과는 연령에 관계없이 동일하였다.

그래프 이해 능력과의 상관성. 그래프 이해 능력과 실행 기능의 관련성을 알아보기 위

해 변인 간 상관관계를 검증한 결과를 표 3에 제시하였다. 측정과 마찬가지로, 아동의 그래프 이해 점수는 전환 능력과만 유의미한 상관관계를 나타냈으며, 억제 능력과의 관계는 유의미하게 나타나지 않았다. 이러한 경향은 학년에 관계없이 동일하였다.

실행기능과제와 수학 과제 간 수행간의 관련성: 회귀분석

모든 아동이 공통적으로 받은 측정 및 그래프 문제만을 대상으로 평균 정확 수행률을 다시 구한 후 100점 만점 점수로 환산하여 실행 기능의 하위 영역과 수학 능력과의 관련성을 검증하였다. 연령별 측정 및 그래프 이해 환산 점수와 표준 편차를 표 4에 제시하였으며, 표 5와 표 6에 측정 이해 능력과 그래프 이해 능력을 설명하는 회귀 분석 결과의 요약을 제시하였다.

표 3. 연령별 측정 및 그래프 이해 능력과 실행 기능의 상관

		측정		그래프	
		저학년	고학년	저학년	고학년
억제	단일 구획	-0.087	.044	-.094	.023
	복합 구획	-.033	-.066	.024	-.093
전환		-.394**	-.245*	-.263**	-.289**

* $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

표 4. 모든 연령이 공통적으로 받은 측정 및 그래프 이해 능력 과제 수행의 기술통계

		만8세	만9세	만10세	만11세
		측정	M	65.08	88.89
SD	31.19		23.00	26.53	14.23
그래프	M	65.08	85.96	75.19	88.61
	SD	29.40	24.35	31.78	20.61

간을 이용한 실행기능의 전환 점수가 수학 능력과 유의한 관련성을 보이는 지를 검증하였다. 최소한의 실행 기능을 세 번째 반응 시간에서 분리하기 위해 '세 번째 구획 반응 시간 - 첫 번째 구획 반응 시간'을 종속변인으로 사용하였다. 통계 분석 방법은 앞서와 마찬가지로, 저학년과 고학년을 각각 나누어 측정 및 그래프 이해 정확 수행 점수 간의 상관관

계를 분석한 후, 전 학년의 아동이 동일하게 받은 측정 및 그래프 문제를 대상으로 회귀분석을 실시하였다.

표 7에서 보이듯, 최소한의 실행 기능을 통제하였을 때에도 전환 기능과 측정 및 그래프 이해 능력과의 관계는 유의미하게 나타났다. 또한, 표 8, 9에 제시되었듯이, 회귀 분석 결과도 앞에서 시행한 전환 기능 분석과 유사한

표 7. 연령별 측정 및 그래프 이해 능력과 실행 기능의 상관(최소 실행기능 통제)

측정		그래프	
저학년	고학년	저학년	고학년
.256*	.275**	.217*	.190~

* $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

표 8. 측정 점수를 예측하는 회귀 모형 분석 결과 요약(최소 실행기능 통제)

모델	투입순서	변인	R^2	ΔR^2	ΔF	β	t
1	1	나이	.118		25.786**	.343	5.078**
			.179	.061	14.362**		
2	1	나이				.291	4.362**
	2	실행기능: 전환				.253	3.790**

* $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

표 9. 그래프 점수를 예측하는 회귀 모형 분석 결과 요약(최소 실행기능 통제)

모델	투입순서	변인	R^2	ΔR^2	ΔF	β	t
1	1	나이	.048		9.662**	.218	3.108**
			.066	.019	3.868**		
2	1	나이				.196	2.767**
	2	실행기능: 전환				.139	1.967~

* $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

경향을 보였다. 측정의 경우, 전체 모형은 측정 이해 점수를 17.9 % 설명하였으며, 연령은 11.8%의 설명력을 보였으며, 전환 점수는 6.1%를 추가로 설명하였다. 전환 점수는 월령을 통제하여도 여전히 유의한 설명력을 보였다($\beta = .253, p < .05$). 그래프 이해 점수의 경우, 전체 모형은 측정 이해 점수의 6.6 %를 설명하였다. 연령은 4.8%의 설명력을 보였으며, 전환 점수는 1.9%를 추가로 설명하였다. 전환 점수는 월령을 통제하여도 통계적으로 유의한 수준에 근접한 결과를 보였다($\beta = .139, p = .051$).

논 의

본 연구의 목적은 연령에 따른 실행기능 발달적 차이를 확인하고 실행기능과 수학의 두 중요 하위 영역인 측정과 자료해석 능력의 관계를 탐색하는 것이며 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 연령에 따른 실행기능의 억제와 전환 요소의 발달적 차이가 있는지 확인하였다. 전환에서만 유의한 연령 효과가 나타났으며, 사후검증 결과 만9와 10세 사이에 유의미한 향상이 나타났다. 억제의 경우, 단일 시행과 복합 시행에 상관없이 연령간의 차이가 유의미하게 나타나지 않았다. 초등학교 저학년 연령과 고학년 연령 사이의 급격한 전환 기능 발달 양상은 서구의 아동을 대상으로 한 연구와 그 양상이 유사하다(Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001; Kray, Eber. & Lindenberger, 2004). 한 편, 억제 능력의 경우 만 8세부터 만 11세 사이에 유의한 향상이 발견되지 않았는데, 이는 억제 능력의 발달이 학령기 이전

부터 급격히 발달하다가 학령기 중기에 들어 발달의 양상이 둔화됨을 보인 기존의 국·내외의 실행기능의 발달에 대한 연구들의 결과들(Zelazo & Muller, 2002; Garon, Bryson & Smith, 2008; Best, et al., 2009; 이명주, 홍창희, 2006)과 일치한다. 본 연구에서는 과제의 난이도가 너무 쉬워서 아동의 억제 기능이 잘 드러나지 않는 것을 막기 위해 상대적으로 난이도가 높고 서구의 아동을 대상으로 한 연구에서 억제 기능을 보다 민감하게 측정하는 것으로 알려진 복합 시행을 선택하여 단일 시행에서의 아동의 수행과 비교하였으나, 한국 아동의 억제 기능을 측정된 결과는 단일 시행과 복합 시행 모두에서 동일하게 나타났다. 추후 연구에서는 난이도 차이의 폭을 더 넓은 억제 기능 과제를 시행 하여 아동기 전반 발달하는 실행 기능의 특성을 살펴 볼 필요성이 있다.

다음으로 본 연구에서는 실행기능과제의 억제와 전환 능력이 측정과 그래프 이해 능력과제의 수행이 어떤 관련을 가지고 그 관련의 양상이 어떻게 전개되는지 확인하였다. 본 연구에서는 실행 기능 중 전환 능력이 아동의 측정과 그래프의 이해 능력과 높은 상관을 보였으며, 이러한 관련성은 연령에 관계없이 동일하게 나타났다. 억제 기능은 측정과 그래프 이해 능력 모두와 유의미한 관련성을 보이지 않았다. 이러한 결과는 전환 능력이 수학 능력을 예측하는 데 중요 변인이며(Yeniad et al., 2013), 억제 능력과 수학 능력의 관련성이 항상 일관적으로 나타나지는 않는다는 기존 연구 결과와도 일치한다(Andersson, 2008; Monette et al., 2011). 그러나 본 연구에서 학령기 아동의 억제 기능과 수학 능력의 낮은 상관을 가진 것으로 나타났으나, 이러한 결과가 학령기 이전의 아동에게도 동일하게 나타날 지에 대

해서는 미지수이다. 즉, 억제 기능은 그 수준이 낮은 아동에게서는 수학 능력을 예측하는데 더 큰 영향을 발휘할 가능성이 있으며, 실제로 억제 기능이 정상 아동보다 낮은 아동들이 현저히 낮은 수학 능력을 보인다는 연구 결과가 있다(Rotzer et al., 2009). 또한, 국내 아동 연구에서도 억제 능력이 낮은 4세 아동의 억제 능력은 비연속적 측정 능력을 유의하게 예측한다는 결과가 보고된 바 있다(김지은, 정윤경, 권미경, 2012).

한편, 본 연구에서는 실행 기능의 전환 능력과 측정 및 그래프 이해 능력 간의 유의한 결과가 나오고 회귀 분석 결과 역시 전환 능력이 유의한 예측력을 가짐을 보였지만, 전체 설명력은 10%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 국내외의 다른 연구(e.g. 김근영과 김도환, 2012; Espy et al., 2004)에서도 실행 능력의 고유 설명력은 비슷한 수준으로 나타났으며, 이러한 결과는 실행 기능 외에도 다른 요인들이 아동의 수학 능력 발달에 함께 영향을 미칠 가능성을 제시한다(김근영, 김도환, 2012). 가령 학습된 지식은 실행기능 외에 시각적 자료해석 능력 과제와 관련을 맺는 요인 중 하나일 것이다. 또한 아동이 정규교육을 받게 되는 학령기에는 형식적 기술(conventional skill)이 발달한다. 형식적 기술을 학교 교육을 통해 습득되며 주어진 과제를 해결하기 위한 방법이나 전략을 체계적으로 사용할 수 있는 기술을 말한다. 이와 같이 형식적 기술이 발달은 실행기능과 측정 및 자료해석 간의 관련성을 둔화 시켰을 가능성 또한 측정 및 자료해석 능력과 관련이 있는 요인을 설정하지 않았기 때문에 이를 확인할 수는 없었다. 따라서 추후 연구에서 실행기능 외에 시각적 자료해석 능력과 관련이 있는 인지적 요인에 대해

확인해볼 것을 제안하는 바이다.

요컨대 본 연구의 결과는 실행기능의 발달이 아동기 전반에서 아동기 후기까지 이루어지며 유의미한 발달의 시기가 학령 전기와 학령기 사이임을 밝혔다. 즉, 실행 기술 능력과 시각적 자료 해석 능력, 구체적으로 측정이해 능력과 그래프 이해능력과의 유의미한 관련성은, 수많은 정보들 중 자신에게 가치가 있고 필요한 정보를 선택하고 반응하는 능력이 학교 현장에서 그리고 실제 상황에서 일어나는 문제를 스스로 해결하며 논리적으로 사고하는 능력과 관련이 있음을 제안할 수 있을 것이다. 실제로 최근의 연구들은 시각적 미디어의 발달로 인한 사회 문화적 현실의 변화는 시각적 정보에 대한 시각적 정보를 활용한 자료해석 능력이 의사소통 능력, 수리능력, 문제해결 능력, 자기관리 및 개발능력 자원 활용능력, 대인관계능력, 정보능력, 등을 신장시키기 위한 기본이 되는 능력이라 주장한다(이영임, 2003).

본 연구의 결과는 이러한 인지적 기능의 발달과 관련하여 실행기능의 역할을 확인하였으며 나아가 실행 기능의 훈련을 통해 인지발달 개입의 가능성을 제안하였다. 가령, 본 연구의 결과는 실행기능이 급격히 발달하기 시작하는 학령 전기 이를 발달시킬 수 있는 훈련 프로그램 통하여 학교에서 요구하는 인지적 수행 능력의 발달을 지원할 수 있음을 제안한다. 많은 아동들이 실행기능이 부족한 상태에서 초등학교로 진학하며 교사들은 실행기능 능력을 증진시킬 수 있는 방법을 잘 모르고 있으며 낮은 실행기능 능력은 ADHD, 교사들의 소진, 중퇴, 약물사용과 범죄들과 관련이 있다(Diamond, et al., 2007). 따라서 위의 잠재된 문제점을 방지하기 위해 실행기능 능력을 향상시켜야 할 필요성이 있다. 따라서 이를 발달

시키는 프로그램을 개입시킨다면 아동의 인지적 통제능력 향상과 더불어 위의 문제들의 예방을 기대 할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구는 실행기능의 발달에 대한 초보적 연구로 다음과 같이 후속연구에서 반드시 다루어야 할 점을 다음과 같이 제안한다. 본 연구에서 실행기능과 관련을 확인한 인지적 능력은 시각적 자료해석 능력에 국한된다. 따라서 다양한 인지적 능력과 실행기능과의 관계를 확인하는 후속연구가 필요할 것이라고 생각된다. 또한 실행기능이 인지적 능력에 미치는 영향이 연령에 따라 차이가 나는지 살펴볼 것을 제안한다. 연령에 따라 실행기능이 인지적 능력에 미치는 영향 혹은 특정 연령의 인지적 능력에 대한 실행기능의 설명 변량 차이를 확인 한다면 실행기능의 발달에 대한 이해를 좀 더 자세히 할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구는 단지 두 변인들 간의 상관연구이므로 인과적 방향성에 대한 증거를 제시하지는 못했다. 따라서 실행기능의 발달이 시각적 자료해석 능력 과제의 수행에 영향을 주는지 혹은 그 반대의 인과적 방향을 가지는지는 알 수 없다. 오히려 둘 간의 관계가 양방향적일 수도 있다. 즉 실행기능의 발달이 인지적 문제 해결 능력을 발달시킬 수 있을 것이고, 다시 이러한 인지적 문제 해결능력을 바탕으로 실행기능 능력이 정교화 될 수 있을 것이다. 따라서 앞으로 이러한 둘 간의 인과적 관계를 밝히는 연구를 통해 구체적인 정보를 얻을 필요가 있을 것이다.

참고문헌

김근영, 김도환 (2012). 시각된 실행기능 수준

이 중학생의 수학성적에 미치는 영향. 한국산학기술학회, 13(5), 2063-2071.

교육과학기술부, (2008). 초등학교 교육과정 해설(IV): 수학, 과학, 실과. 서울: 대한교과서주식회사.

교육과학기술부, (2011). 초·중등학교 교육과정. 서울: 대한교과서 주식회사.

송찬원, 변찬석 (2007). 실행기능 관련 국내 연구의 최근 동향. 정서·행동장애연구, 23(1), 143-162.

송정화, 권오남 (2002). 6차와 7차 교과서 분석을 통한 그래프 지도 방안. 학교수학 4(2), 161-191.

신은수 (2005). 3, 4, 5세 유아의 마음이론 발달과 가장놀이, 언어의 표상능력, 실행기능, 그리고 중앙통합 능력과의 관계. *幼儿教育研究*, 25(1), 65-91.

안제원, 방희정, 박현정 (2013). 초등학교 고학년 아동의 빠른 이름대기 및 실행기능과 읽기능력간의 관계. *한국심리학회지 발달*, 26(1), 85-102.

이윤미, 박영신 (2008). 인지발달: 아동들의 틀린 믿음 이해에서 실행기능의 역할. *한국심리학회지 발달*, 21(4), 57-73.

이명주, 홍창희 (2006). 실행기능의 차원과 영역별 발달. *한국심리학회지: 임상*, 25(2), 587-602.

이영임 (2003). 시각적 정보 분석능력을 신장시키기 위한 초등 미술교육 프로그램 개발 연구, 석사학위논문, 경인교육대학교 교육대학원.

최병훈, 방정숙, 송근영, 황현미, 구미진, 이성미 (2006). 한국과 싱가포르의 초등 수학 교과서 비교 분석. *학교수학*, 8(1), 45-68.

최영은 (2009). 아동 언어 처리에서 문장 정보

- 위치 및 실행 기능의 역할- 영어와 한국어 습득 아동의 비교. *한국심리학회지: 발달*, 22(4), 91-109.
- 최영은, 최미혜, 남민지 (2013). 사회경제적 지위에 따른 학령전기 아동의 실행기능 발달. *한국심리학회지: 발달*, 26(4), 107-123.
- 한국교육과정평가원 (2013). TIMSS 2011결과에 나타난 우리나라 학생들의 학력 특성. 서울: 한국교육과정 평가원.
- 황현미, 방정숙 (2007). 초등학교 6학년 학생들의 그래프 이해 능력 실태 조사. *학교수학*, 9(1), 45-64.
- Althouse, R. (1994). Investigating mathematics with young children. NewYork: Teachers College Press.
- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetic skills in children: The importance of executive functions. *British Journal of Educational Psychology*, 78, 181-203.
- Baroody, A. J., Coslick, R. T. (1998). Fostering children's mathematical power: An Investigative approach to K-8 mathematics instruction. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29(3), 180-200.
- Blair, C., Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive functioning, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 87, 647-663.
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of hot and cool executive function to children's academic achievement, learning-related behaviors, and engagement in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, 24(3), 337-349.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Censabella, S., & Noel, M. P. (2008). The inhibition capacities of children with mathematical disabilities. *Child Neuropsychology*, 14, 1-20.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715-730.
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. W., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 46(5), 1176-1191.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12, 45-75.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young

- adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp.466-503). New York: Oxford University Press.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. T. (2007). Preschool program improves cognitive control, *Science*, 318, 1387-1388.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 465-486.
- Friso-Van den Bos, I., van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29-44.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31-60.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Gattis, M., & Holyoak, K. J. (1996). Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(1), 231-239.
- Gillan, D. J., & Lewis, R. (1994). A componential model of human interaction with graphs: 1. Linear regression modeling. *Human Factors*, 36, 419-440.
- Hughes, C., & Graham, A. (2002). Measuring executive functions in childhood: Problems and solutions? *Child and Adolescent Mental Health*, 7, 131-142.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036.
- Kray, J., Eber, J., & Lindenberger, U. (2004). Age differences in executive functioning across the lifespan: The role of verbalization in task preparation. *Acta Psychologica*, 115(2-), 143-165.
- Luria, A. R. (1966). Higher cortical function in man. Oxford, England: BasicBooks.
- Mayr, U., Spieler, D. H., & Kliegl, R. (2001). Aging and executive control: Introduction to this special issue. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 1-4.
- McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp.221-292). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T.

- D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Monette, S., Bigras, M., & Guay, M. C. (2011). The role of executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109, 158-173.
- Munro, S., Chau, C., Gazarian, K. & Adele Diamond (April 9, 2006). Dramatically Larger Flanker Effects (6-fold elevation). Presented at the Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting, San Francisco, CA, April 8-11, 2006.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126, 220-246.
- Oh, S., & Lewis, C. (2008). Korean preschoolers' advanced inhibitory control and its relation to other executive skills and mental state understanding. *Child Development*, 79(1), 80-99.
- Passolunghi M, Mammarella I, Altoe G. (2008) Cognitive abilities as precursors of the early acquisition of mathematical skills during first through second gradts. *Developmental Neuropsychology*. 33(3):229 - 250.
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 137-157.
- Reys, R. E., Lindquist, M. M., Lambdin, D. V., & Smith, N. L. (2009). Helping children learn mathematics. NJ: John Wiley & Sons.
- Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E., & Roebers, C. M. (2012). Improving executive functions in 5- and 6-year-olds: Evaluation of a small group intervention in prekindergarten and kindergarten children. *Infant & Child Development*, 21(4), 411-429.
- Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A model of the development of frontal lobe function: Findings from a meta-analysis. *Applied Neuropsychology*, 12, 190-201.
- Rotzer, S. Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & Von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 47, 2859-2865.
- Rushworth, M., Passingham, R., & Nobre, A. (2005). Components of attentional set-switching. *Experimental Psychology*, 52, 83-98.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments in planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B. Biological Sciences*, 298, 199-209.
- Speier, I. Vessey and J. S. Valacich, The effects of interruptions, task complexity, and information presentation on computer-supported decision-making performance, *Decision Sciences* 34(2003) (4), pp.771-797.
- Spodek, B., Walberg, H. J. (1977). Early childhood education. McCutchan Publishing Corporation.
- Swanson, H. L. (2006). Cross-sectional and incremental changes in working memory and mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 98, 265-281.

- Van der Sluis, S., De Jong, P. F., & Van der Leij, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 239-266.
- van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. M. (2012). The development of executive functions and early mathematics: a dynamic relationship. *The British Journal of Educational Psychology*, 82, 100-119.
- Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., Van Ilzendoorn, M. H. & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences*, 23, 1-9.
- Zelazo, P. D., & Muller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp.445-469). Oxford: Blackwell.
- 1차원고접수 : 2014. 01. 15.
수정원고접수 : 2014. 03. 06.
최종게재결정 : 2014. 03. 10.

Development of Executive Function and its relation to Mathematical Ability: Scale and Graph Understanding

Se Ho Maeng¹⁾

Yoonkyung Jeong¹⁾

Mee-Kyoung Kwon²⁾

¹⁾Department of Psychology, Catholic University of Korea

²⁾University of California at Davis

The present study investigated age-related development in executive functions (EF), specifically, inhibition and shifting factors, and to explore their relationship with children's understanding of two critical mathematical concepts: measurement and graph. Our sample included one hundred ninety-five 8- to 11-year-old children living in Seoul and Gyeonggi-do, South Korea. Given the high performance of Korean students on EF tasks, we used Monro et al.'s (2006) task with easy and difficult phases to measure EF abilities. The major results of our study are as follows. First, shifting ability, but not inhibition ability, significantly improved between 9 and 10 years of age. Furthermore, shifting score was strongly related to both measurement and graph scores, but inhibition was unrelated to both. Our findings support the idea that shifting plays a critical role in learning mathematics.

Key words : *Executive Function, Inhibition, Shifting, Mathematical ability, Scale, Graph*