

실행기능의 차원과 영역별 발달

이 명 주[†]

김원목 기념 봉생병원 임상심리실

홍 창 희

부산대학교 심리학과

이 연구에서는 실행기능의 하위 구성을 살펴보고, 한국의 정상아동의 실행기능 성장 패턴을 알아보고자 하였다. 101명의 아동을 대상으로 고노고 과제, CCIT-2, 숫자 더하기, 숫자 거꾸로 따라하기, 런던탑, 미로 검사, 국소-전체 과제, 그리고 스트룹 과제의 8가지 실행기능검사를 실시하였다. 확증적 요인분석 결과, 작업기억, 제지능력, 전환능력의 3요인 모형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 1학년에서 6학년까지 초등학생의 실행기능 수행차이를 비교한 결과 3가지 실행기능에서 명백한 발달을 보였고, 나이에 따라 유의한 향상이 있었다. 이 연구는 실행기능을 3가지 하위 영역으로 나누어 측정하였으며, 한국 아동의 실행기능 성장패턴을 보여 주었다. 끝으로 이 연구의 의의와 제한점에 대해서 논의하였다.

주요어 : 실행기능, 작업기억, 제지, 전환

[†] 교신저자(Corresponding Author) : 이명주 / 김원목 기념 봉생병원 임상심리실 / 부산시 동구 좌천동68-11
FAX : 051-631-8054 / E-mail : 05mju@hanmail.net

최근 들어, 아동기의 행동장애가 실행기능 즉 전두엽의 발달 부진과 관련 있다는 주장이 각광을 받고 있다. 실행기능 가설에 따르면, 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)의 특징인 충동성, 과잉행동, 부주의 증상은 실행기능 결핍의 결과이다(Barkley, 1994, 1997; Pennington & Ozonoff, 1996). 아동기의 가장 흔한 장애인 ADHD가 실행기능의 손상과 관련 있다고 보고하고 있다(Berlin, Bohlin, & Rydell, 2003). 또한 유아기부터 아동기, 성인기에 이르기까지 사회성에 심각한 손상을 초래하는 자폐증이나 틱장애도 실행기능과 관련되어 있다는 연구도 상당하다(Sergeant, Geurts, & Oosterlaan, 2002). 하지만, 우리나라의 경우 유아나 아동의 인지 발달에 맞는 실행기능 측정도구가 부족한 실정으로 이에 대한 연구가 필요하다.

실행기능은 다차원적인 행동개념으로, 목표 지향적인 행동, 주의의 통제, 계획능력 등과 같은 고차적인 중요한 기능을 담당한다. 실행기능은 매우 복잡하고, 기억이나 학습, 주의와 상호 관련되어 있어 한 마디로 정의하거나 개념화하기 어렵다. 여러 문헌에서 일관되게 동의하고 있는 바를 근거로 이 연구에서는 미래의 목표를 달성하기 위해 적절한 문제해결 방식을 유지하는 능력으로 실행기능을 정의하였다.

실행기능은 나이가 들수록 발달해 나간다. 나이가 들면서 인간은 더욱 주의를 잘 통제하고 계획적이고 목표 지향적으로 행동하게 된다. 후기 아동기나 청소년기쯤이 되어야 실행기능을 발휘할 수 있다고 여겨진 적도 있으나 발달연구 분야가 활기를 띠면서, 실행기능은 전두엽 기능이 급등적으로 발달하는 속도에 맞게 연속적으로 성장해 나간다고 밝혀졌다(Anderson, 2002). Anderson(2001)에 따르면 실행기능은 단계적인 방식으로 발달해가며, 실행

기능의 발달 단계는 중추신경계에서 밝혀진 성장급등(growth spurt)과 일치한다.

실행기능의 차원에 대해서는 크게 두 가지 입장이 있다. 하나는 실행기능의 단일성을 주장하는 입장이고(Duncan, Johnson, Swales, & Freer, 1997; Engle, Kane, & Tuolski, 1999), 다른 하나는 실행기능을 다차원적인 구성체로 보는 입장이다. 먼저, 실행기능이 하나의 공통된 기제로 이루어져 있다는 최근 주장은 Zelazo(2003)의 복합성 이론이다. 복합성 이론에 따르면, 문제를 해결할 때 아이들이 사용하고 형성할 수 있는 규칙의 복잡성이 나이가 들면서 발달해 가기 때문에 실행기능도 나이가 들면서 발달해 나간다. Zelazo(2003)는 실행기능을 기능적 구성체로 정의하면서 실행기능의 공통적인 측면을 측정하는 지표로 차원적 변화 카드분류(Dimensional Change Card Sort) 점수를 들고 있다. 실행기능의 단일성 주장은 전두엽이 손상된 환자나 주의력 결핍 과잉행동장애, 그리고 전반적 발달 장애 등의 상이한 질환에 따라 실행기능 하위 영역별로 수행에 차이를 보인다는 점을 잘 설명하지 못한다. 정신병리의 유형에 따라 실행기능 하위 소검사의 수행에는 차이가 있다(Pennington, & Ozonoff, 1996; Welsh, Pennington & Grosser, 1991).

신경심리학적 최근 연구들은 실행기능이 거저하는 공통점을 지닌 다양한 요인들로 구성되어있다는 다차원 구성체 입장을 일관되게 지지하고 있다(Godefroy, Cabaret, Petit-Chenal, Pruvo, & Rousseaux, 1999; Shallice, 1988). 실행기능의 다양성을 주장한 이론들은 주로 전두엽이 손상된 환자들의 신경심리 연구에 역사적 뿌리를 두고 있다. 초기에 Stuss(1922)는 실행기능이란 개인이 목표를 달성하기 위해 필요한 기술들이라고 보았다. 실행기능이란 목표를

활성화된 기억 속에 유지시키고, 수행을 모니터링하고, 이 목표를 실행하기 위해 간섭을 통제하는 능력이다. Pennington(1999)은 정상아동을 대상으로 실행기능을 평가하고 요인분석을 했다. 요인분석 결과, 작업기억, 전환능력, 제지능력, 계획능력의 네 차원이 추출되었다. 성인을 대상으로 한 연구에서(Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000)는 인지적으로 한 영역만을 측정하도록 고안된 단순한 9가지의 과제들을 사용하였다. 구조방정식 모형을 통한 확증적 요인분석에서 제지통제, 전환능력, 그리고 작업기억의 3요인 모델이 가장 유의한 것으로 나타났다. 또한 이 세 기능들은 완전히 독립적이지는 않았으며, 기저에는 얼마간 공유되는 부분이 있었다. 아동을 대상으로 한 유사한 연구에서도 일치하는 결과가 산출되었다(Lehto, Juujarvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003).

요약하면, 신경심리학적 관점에서 시작된 실행기능의 요인분석 연구에서는 일반적으로 제지통제, 작업기억, 전환능력이 공통적인 요인으로 산출되고 있다. 간헐적으로는 계획능력도 포함되고 있지만 계획능력이 제지능력이나 작업능력과 관련성이 높다는 보고도 있다.

아동의 실행기능을 측정하기 위해 흔히 사용되는 검사는 위스콘신 카드분류 검사, 범주 검사, 같은 그림 찾기 검사, 선로 잇기 검사, 복합 도형 그림 검사, 런던탑 과제, 하노이탑 과제, 고노고 과제, 스트룹 과제 등 다양하다(Anderson, Lajoie & Bell, 1995). 하위 영역별 실행기능 측정도구는 연구자마다 약간씩 다르지만 대체로 공통되게 사용하는 영역별 측정도구는 다음과 같다.

먼저, 주요 반응제지는 우세한 반응을 제지하는 능력으로, 부적절한 산만한 자극의 처리

를 억제하는 간섭 반응의 제지와 행동을 억제하는 주요 반응 제지로 구분된다(Nigg, 2001). 주요 반응 제지의 평가 과제로는 고노고 과제 및 멈춤 과제가 가장 많이 사용된다. 메타 분석 연구들은 고노고 과제나 멈춤 과제를 사용한 연구에서 ADHD의 제지결핍 가설이 지지됨을 보이고 있다(Pennington & Ozonoff, 1996; Barkley, 1997; Sergeant, Ooster, & Meere, 1999).

최근의 인지이론적 관점에서는 작업기억이 정보를 표상하고, 최신화하면서 동시에 모니터링하는 능력과 밀접히 관련되어 있다고 본다. 이 기능은 전전두 피질과 연관되어 있다. 작업기억은 세 가지 기능으로 나누어 볼 수 있다(Lehto, 1996). 첫째, 주로 저장 기능을 다루는 단순 작업기억이다. 단순 작업기억은 정확하게 회상한 단어의 총수나 지능검사의 숫자 바로 따라 외우기 등으로 측정된다. 둘째, 저장과 처리기능을 다루는 복합 작업기억이다(Daneman & Carpenter, 1980). 복합 작업기억은 문장이 옳은지를 평가하면서 단어를 기억하기, 계산이 맞는지 평가하면서 같이 제시되는 단어 기억하기 등으로 측정된다. 셋째, 중심적인 실행기능을 직접적으로 측정한다고 가정되는 최신화이다(Morris & Jones, 1990). 최신화는 지능검사의 숫자 거꾸로 따라 외우기, 철자 기억과제(철자가 5개, 7개, 9개, 11개로 제시되고 마지막 4개 철자를 회상하기), 4개의 범주에 해당하는 단어가 제시되고, 지정된 범주에 해당하는 마지막 단어를 회상하는 트랙 유지과제(Keep track task), 일련의 숫자가 무선적으로 하나씩 제시되고 바로 앞에 제시된 숫자와 새롭게 제시된 숫자를 계속 더하는 연속 더하기 과제 등으로 측정된다(Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000).

전환능력이란 주의를 전환하거나 과제를

전환해서 수행하는 능력이다. 전환능력은 실행기능의 주요한 요인이며(Norman & Shallice, 1986), 실행기능과 뇌손상이나 자폐증, 그리고 주의력 결핍 과잉행동 장애 등 정신병리와의 관계를 측정하는 연구에서 많이 사용된 바 있다. 전환능력은 위스콘신 카드분류 검사, 플러스-마이너스 검사(Jersild, 1927), 숫자-철자 과제(Rogers & Monsell, 1995), 선로 잇기 과제 B형, 국소-전체 과제(local-global test) 등으로 측정된다.

마지막으로, 계획능력이란 앞을 내다보고 계획을 세우고 계획에 맞게 수행하고 모니터링하는 능력으로, 전두엽에 의해 중재된다(Luria, 1966). 대부분의 연구에서 계획능력은 하노이탑 과제(Bishop, Leeper, Creswell, McGurk, & Skuse, 2001)나 그 변형인 런던탑 과제(Krikorian, Barton & Gay, 1994), 혹은 복합도형 검사(정은정, 2003)로 측정된다.

실행기능은 연령에 따라 발달하며, 실행기능의 발달에는 성장급등 시기가 있다. 따라서, 그 연령에 적합한 측정도구로 측정할 필요가 있으며, 하나의 실행기능 측정도구가 유아, 아동, 성인을 위해 사용될 수 없다(Anderson, 2001). 하지만, 현재 한국의 경우 실행기능을 측정할 수 있는 아동을 위한 실행기능 도구가 부족하며, 적절한 발달수준을 비교하기가 힘들다. 실행기능이 아동기의 정신장애에서 차지하고 있는 함의에 비추어 볼 때 신경심리학적 관점에서 실행기능의 하위 영역을 구성하

는 요인들을 확인하고 이들 하위 영역이 어떻게 발달해나가는 지를 살펴보는 것은 중요한 과제이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구 결과에 따라 제지능력을 측정하는 소검사로 고노고와 CCTT-2를 사용하였고, 전환능력을 측정하는 소검사로 국소-전체 과제와 스트룹을 사용하였으며, 작업기억을 측정하는 과제로 숫자 계속더하기와 숫자 거꾸로 따라하기를 사용하였다. 또한 계획능력을 측정한다고 주로 보고되고 있는 런던탑과 미로를 사용하여, 계획능력이 제지능력과 작업기억 중 어떤 하위 영역과 더 관련되어 있는지를 살펴보았다.

본 연구에서는 한국의 정상아동들도 실행기능 발달에서 성장급등 시기가 있고, 연령에 따라 발달하는지를 실행기능 도구를 통해 측정하였다. 먼저, 실행기능의 하위 구성요인을 확증적 요인분석을 통해 분석하였고, 한국아동의 정상발달 패턴을 알아보았다.

방 법

실험참가자

부산시내 초등학교 1학년에서 6학년에 재학 중인 아동 101명이 실험에 참가하였다. 지능 검사의 대표적인 소검사인 어휘와 토막짜기를 실시하여 추정되는 지능이 80이하이거나 130 이상에 해당하는 아동은 실험에서 제외시켰다.

표 1. 아동의 나이분포와 지능지수

나이	7세	8세	9세	10세	11세	12세	전체	F
N	13	16	21	11	21	19	101	
추정지능	M	106.9	107.4	110.1	106.2	101.3	102.7	105.6
	(SD)	(14.2)	(18.9)	(22.6)	(14.2)	(14.7)	(13.1)	(16.9)

전체 101명 중 7세는 13명, 8세는 16명, 9세는 21명, 10세는 11명, 11세는 21명, 12세는 19명으로 모든 실험참가자의 평균 나이는 9.76세(SD=1.70)였다. 각 나이별로 추정된 지능지수를 비교해 보았을 때 평균 지능은 105.6이였다. 표 1에서 보는 바와 같이 추정된 지능지수는 연령별로 유의한 차이가 없었다.

고노고 과제 검사 (Go no Go)

실험에 사용된 프로그램은 Superlap Pro 1.05를 이용하여 작성되었다. 컴퓨터 모니터에 표적이나 방해자극이 제시되었다. 이 연구에서는 한글 자음 ‘ㄱ’을 표적으로, 한글 자음 ‘ㄴ’을 방해자극으로 사용했다. 아동들은 표적이 나오면 지정된 1번 자판을 누르고, 방해자극에 대해서는 어떠한 자판도 누르지 말도록 지시를 받았다. 표적과 방해자극은 1500msec동안 무선적인 순서로 제시되었다. ISI는 500msec였고, 총 360회 제시되는 자극 중 표적의 총수는 270개, 방해자극의 총수는 90개였다. 총 소요시간은 12분 정도였으며, 이 연구에서는 종속변인으로 오경보 오류수를 측정했다.

Children's Color Trails Test(CCTT)

선로 잇기 검사와 유사하며, 아동들이 수행하기 쉽도록 철자 대신 색깔을 사용한 검사이다. 특히, 철자 대신 숫자를 사용하여 언어의 영향력을 최소화시키도록 되어 있다. 단순형(CCTT-1)과 복잡형(CCTT-2)으로 구성되어 있는데, 이 연구에서는 복잡형(CCTT-2)만 사용하였다. 이 검사는 운동속도, 주의, 시각적 주사를 요구하며, 빠르고 정확하게 수행해야 한다. 한국의 경우는 표준화 되어 있지 않으나, 미국 등에서는 표준화 되어 있다. CCTT-1, CCTT-2의 신뢰도는 각각 .85에서 .90이다

(Williams, Rickert, Hogan, & Zolten, 1995).

런던탑 과제

런던탑 과제는 Shallice(1982)가 고안한 과제로 전두엽 손상 환자들의 실행 기능을 측정하기 위해 만들어진 과제이다. 아동은 목표자극의 모양대로 정확하게 만들기 위해서 원반을 옮기기 전에 미리 계획하고 전략을 생성해야 한다.

런던탑은 3개의 길이가 다른 막대와 색깔이 다른 3개의 공으로 구성되어 있으며, 아동은 다음의 3가지 규칙을 지켜서 수행해야 한다. 1. 그림과 같이 되도록 막대 위에 공을 나열한다. 2. 한번에 한 개씩만 옮긴다. 3. 정해진 횟수 만에 공을 끼워야 한다. 4. 가장 긴 막대에는 3개까지, 중간 막대는 2개까지, 작은 막대는 1개를 끼울 수 있다. 5. 시작하기 전에 어떻게 해결할지 생각해보고 빠르고 정확하게 한다. 각문제마다 3회 시행 가능하며, 첫 시행에서 성공하면 3점, 두 번째 시행에서 성공하면 2점, 세 번째 시행에서 성공하면 1점을 주어, 총점을 구한다(Krikorian, Barton & Gay, 1994). 아동이 받을 수 있는 최대점수는 36점이다.

미로 검사

KEDI-WISC의 보충 소검사로 9개의 문항으로 구성되어 있다. 제한시간은 30초에서 120초까지이며, 계획능력과 지각 구성능력을 측정하는데 이용된다.

숫자 거꾸로 따라 외우기

숫자 따라 외우기는 Binet가 처음으로 지능 검사 배터리에 포함시킨 이래 여러 검사에 포함되었다. 이 과제는 주로 청각적 자극에 대

한 기억, 모델에 대한 재생능력, 작업기억을 측정하는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 한국 웨슬러 아동용 지능검사 3판에 포함되어 있는 숫자 거꾸로 따라 외우기 소검사를 사용하였다.

숫자 연속 더하기

실험에 사용된 프로그램은 Superlap Pro 1.05를 이용하여 작성되었다. 숫자는 컴퓨터 화면에 2.8초 당 하나씩 제시되었다. 아동의 과제는 앞의 숫자와 현재 제시되는 숫자를 계속 더해서 해당 숫자자판을 누르는 것이다. 측정 변인은 전체 오류수이며, 오류수가 많을수록 수행이 나쁜 것으로 간주된다.

국소-전체과제 (local-global test)

실험에 사용된 프로그램은 Superlap Pro 1.05를 이용하여 작성되었다. 컴퓨터 화면에 흑색과 청색으로 그려진 도형이 무선적으로 제시되었다. 하나의 도형은 작은 여러 개의 도형으로 구성되어 있다. 흑색으로 그려진 도형은 큰 도형의 선의 수를 누르고, 청색은 작은 도형의 선의 수를 누른다(원은 1, X는 2, 삼각형은 3, 사각형은 4). 총 소요 시간은 5분 정도이며, 오류 수를 종속변인으로 측정하였다.

스트룹 과제

스트룹 과제는 Stroop(1935)이 창안한 과제로 이후에 여러 변형들이 사용되고 있다. Perret (1974)가 수정하여 사용한 과제를 국내 실정에 맞게 김홍근(2001)이 수정하여 성인용으로 표준화한 과제를 사용하였다. 스트룹 과제는 단 순시행과 중간, 간섭시행으로 나누어져 있다. 이 연구에서는 현저한 글자자극은 무시하고 자극의 색깔을 말해야하는 간섭과제를 사용하

였으며, 완수하기까지 걸린 시간을 종속변인으로 하였다.

실험 절차

부산시내 초등학교에서 담임교사의 면담을 통해 선발된 아동을 대상으로 하였으며, 임상심리 석사과정 중이거나 1년 정도의 수련을 마친 임상심리사에 의해 1대 1로 학교의 조용한 장소에서 실시되었다.

분석방법

확인적 요인분석을 위해 AMOS(Analysis of Movement Structure) 4.0을 이용하여 분석하였다. 상대적 부합도 지수로는 CFI(Comparative Fit Index)와 TLI(Tucker-Lewis Index), 그리고 NFI(Bentler-Bonett normed fit index)가 있다. CFI와 TLI, 그리고 NFI는 .90 이상이면 좋은 모델이라고 평가한다. 대표적인 절대적 부합도 지수인 RMSEA(Root Mean Square Error Approximation)는 .05이하이면 좋은 부합도, .08이하이면 괜찮은 부합도, .10 이하면 보통 부합도이고 .10보다 크면 나쁜 부합도를 보이는 모델로 평가된다(홍세희, 2000). 마지막으로, 나이에 따른 각 실행영역 별 발달패턴을 알아보기 위해서 변량분석을 실시하였고, 사후검증으로 Scheffe의 중다 비교를 하였다.

결 과

실행기능 간의 상관분석

표 2는 실행기능을 측정하는 검사들 간의

표 2. 실행기능 하위 소검사간의 상관관계

	1	2	3	4	5	6	7
1. 고노고 오류	-						
2. CCTT-2	.62**	-					
3. 국소-전체	.23	.34*	-				
4. 스트룹 과제	.18	.50**	.56**	-			
5. 런던탑	-.22	-.57**	-.23	-.45**	-		
6. 미로 검사	-.19	-.46**	-.27*	-.31*	.63**	-	
7. 숫자	-.06	-.15	-.14	-.15	.24	.26*	-
8. 숫자 더하기	-.35**	.48**	.52**	.46**	-.50**	-.44**	-.34**

상관관계를 나타낸 것이다. 표 2에서 보는 바와 같이, 고노고 과제 오류수는 CCTT-2와 가장 높은 상관을 보였다. 이외에도 고노고 오류수는 숫자 연속 더하기와 유의한 상관을 보였고, CCTT-2는 숫자 거꾸로 따라 외우기를 제외한 대부분의 소검사와 유의한 상관을 보이고 있다. 런던탑은 미로와 상관이 가장 높았으며, 다음으로 숫자 연속 더하기와 상관이 높았다. 이외에도 런던탑과 미로는 다른 하위 실행기능과도 경미한 정도의 유의한 상관을 보이고 있다. 국소-전체 과제는 스트룹과 가장 높은 상관을 보이고 있으며, 미로와 숫자 연속 더하기와도 경미한 정도의 유의한 상관을 보이고 있다. 요약해서 보면, 고노고 오류수와 CCTT-2 반응시간이 가장 높은 상관을 보이고 있고, 런던탑, 미로, 숫자 연속 더하기, 그리고 숫자 거꾸로 따라하기가 높은 상관을 보이고 있으며, 국소-전체 과제 오류와 스트룹 반응시간이 가장 높은 상관을 보이고 있다. 이외에도 대부분의 실행기능 하위 소검사들은 경미한 정도의 상관을 보이고 있다.

확증적 요인분석

확증적 요인분석을 사용하여, 제지능력, 전환능력, 그리고 런던탑과 미로가 포함된 작업 기억으로 구성된 실행기능의 3요인 모형을 검증해 보았다. 총 101명의 자료로 3요인 모형의 적합도를 검증한 결과 NFI .99, TLI 1.00, CFI 1.00로서 상대적 적합도 높으며, 절대적 적합도 지수에서도 RMSEA .00으로 적합도는 매우 잘 부합되는 것으로 나타났다.

다음으로, 런던탑과 미로가 제지능력에 포함되는 실행기능의 3요인 모형을 검증한 결과 NFI .98, TLI .99, CFI .99로서 상대적 적합도 높으나, 절대적 적합도 지수에서는 RMSEA .066으로 적합도는 보통수준으로 런던탑과 미로가 작업기억에 포함되는 3요인 모형에 비해 적합도는 낮은 편이었다.

실행기능이 단일한 요인으로 이루어져 있는 단일 요인 모형이 적합한지를 확증적 요인 분석을 통해 살펴보았다. 표 4에서 보는 바와 같이, $\chi^2(20, N=101)=37.76$ $p<.001$ 으로 단일 모형은 기각되었으며, 상대적 적합도 지수와 절대적 적합지수인 TLI .98, CFI .99, RMSEA

표 3. 모형의 적합도 지수

모형	χ^2	자유도	TLI	CFI	RMSEA
3 요인 모형1)	15.94	17	1.00	1.00	0.00
3 요인 모형2)	24.38	17	.99	.99	.066
단일 요인 모형	37.76 ***	20	.98	.99	.094
2 요인 모형1)	25.66	19	.99	.00	.059
2 요인 모형2)	29.86 *	19	.99	.99	.076

주. 3요인 모형(1): 작업기억(숫자계속더하기, 숫자거꾸로 따라하기, 런던탑, 미로)+ 제지능력 + 전환능력

3요인 모형(2): 작업기억+제지능력(고노고, CCIT-2, 런던탑, 미로)+ 전환능력

2 요인 모형(1): 작업기억 + 제지능력

2 요인 모형(2): 작업기억 + 전환능력

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

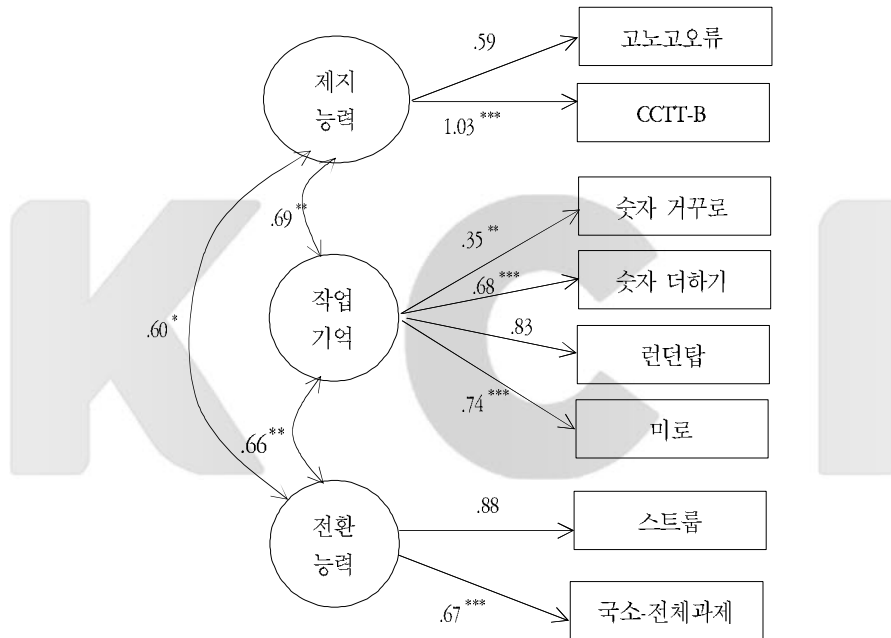


그림 1. 실행기능의 3요인 모형1 (표준화 계수)

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

.94로 3요인 모형에 비해 낮았다. 또한 2요인 모형이 3요인 모형에 비해 더 적합한지를 보기 위해 2요인 모형을 검증한 결과, 표 3에서 보는 바와 같이, 3요인 모형에 비해 적합도는

낮은 편이었다. 그림 1은 실행기능의 3요인 모형을 도식화 한 것이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 실행기능은 제지능력, 전환능력, 작업기억으로 구성되며, 이 요인들은 완전히 독

립적이지는 않으며, 기저에는 공유되는 부분이 있음을 보여준다.

나이에 따른 실행기능 성장을 보기 위한 변량 분석 결과

표 4에는 7세부터 12세 나이에 따른 실행기능 각각의 평균 및 표준편차가 제시되어 있다.

각각의 평균을 살펴보면, 나이에 따라 수행에 향상을 보이고 있다. 먼저, 제지능력인 고노고 과제 오류수($F(5,95)=5.22, p<.001$)와 CCTT-2 반응시간($F(5,89)=14.72, p<.001$)의 나이별 변량 분석 결과 유의한 차이를 보이고

있다. 사후 검증 결과, 고노고 과제 오류수에서 보면, 7세에서 8세로 가면서 급격한 향상을 보이고 있으며, 다시 9세에서 10세 사이에 급등기를 보이고 있고, 이후에는 안정된 성장 곡선을 나타내고 있다. CCTT-2 반응시간에서도 고노고 과제 오류수에서와 비슷한 성장패턴을 보이고 있다.

다음, 작업기억으로 분류된 숫자 계속 더하기($F(5,95)=8.12, p<.001$), [$F(5,94)=5.22, p<.001$], 런던탑($F(5,95)=10.83, p<.001$), 그리고 미로 검사($F(5,95)=7.39, p<.001$)의 나이별 변량 분석 결과 유의한 차이를 보였다. 사후 검증 결과, 숫자 계속 더하기 과제에서는 7세에서 8

표 4. 나이에 따른 각 실행기능 검사 수행별 변량 분석 결과

	7세 N=13	8세 N=16	9세 N=21	10세 N=11	11세 N=21	12세 N=19	F
	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	M(SD)	
고노고 과제 오류수	24.69 (14.95)	19.27 (14.39)	17.76 (12.24)	11.55 (6.95)	10.05 (6.71)	8.32 (8.75)	5.22 ***
CCTT-2 반응시간	80.33 (22.56)	64.25 (9.66)	57.55 (14.09)	58.27 (9.52)	44.05 (8.44)	45.32 (13.40)	14.72 ***
숫자 계속 더하기	28.38 (1.77)	23.73 (5.42)	17.26 (7.34)	14.75 (4.71)	16.20 (6.64)	14.22 (7.15)	8.12 ***
숫자 거꾸로 따라하기	4.8 (1.92)	4.19 (1.17)	5.60 (1.64)	5.2 (1.30)	5.43 (2.56)	6.08 (1.80)	1.41
런던탑	21.8 (10.83)	25.28 (3.88)	31.27 (2.19)	29.20 (3.42)	33.00 (2.57)	33.38 (3.04)	10.83 ***
미로 검사	15.6 (5.77)	17.00 (4.02)	21.93 (3.24)	22.40 (4.16)	23.57 (3.44)	23.46 (3.20)	7.39 ***
스트룹 과제	48.20 (7.95)	41.88 (8.11)	36.93 (10.15)	36.40 (7.99)	31.14 (11.52)	26.86 (5.20)	6.01 ***
LOCAL	21.5 (14.46)	22.29 (9.25)	15.93 (14.02)	13.50 (4.80)	10.58 (8.35)	10.53 (11.58)	1.65

*** $p<.001$.

세, 그리고 9세까지 계속 급격한 향상을 보이고 있으며, 런던탑과 미로 검사 과제에서는 8세에서 9세 사이에 급격한 향상을 보이고 이후 안정된 성장패턴을 보이고 있다. 숫자 거꾸로 따라하기의 경우, 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있지는 않으나 8세에서 9세, 다시 10세에서 11세 사이에 향상을 보이는 경향을 나타내고 있다.

마지막으로, 전환능력으로 분류된 스트룹 과제 [$F(5,95)=6.01, p<.001$]에서는 나이별 유의한 차이를 보이고 있으며, 국소 전체 검사에서는 통계적으로 유의한 차이는 보이고 있지 않지만, 나이에 따른 성장 패턴은 나타나고 있다. 사후 검증 결과, 스트룹 과제 검사에서는 8세에서 9세 사이에 급격한 향상을 보이고 이후 안정되는 양상이다.

요약해서 보면, 각 실행기능 요인 별로 발달 시기는 약간씩 차이를 보이고 있으나 공통적으로 나이에 따라 유의한 향상을 보이고 있다.

논 의

이 연구는 다양한 아동 정신병리의 실행기능 결함을 살펴보기 위한 예비 연구로써, 한국의 정상아동의 실행기능 성장 패턴을 알아보고자 하였다. 이를 위해서 실행기능의 하위 영역 구성을 살펴보고, 한국 아동의 각 하위 영역별 발달 정도를 알아보려고 하였다.

먼저, 실행기능의 요인 분석 결과 실행기능은 3가지 하위 영역, 즉 제지능력, 전환능력, 작업기억으로 나누어졌으며, 실행기능의 3요인 모형은 적합도가 높은 것으로 나타났다. 실행기능의 단일성 입장과 실행기능의 다차원

적 구성체 입장에서 보면, 실행기능이 3요인으로 분리될 수 있는 것인지 아니면 하나의 구성체로 이루어진 단일한 기능인지가 문제가 된다. 연구결과 모든 3가지 실행기능의 통합성을 가정하는 단일 요인 모형은 기각되었으며, 2요인 모형보다는 3요인 모형의 적합도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실행기능의 3요인 모형을 제안한 Miyake 등(2000)이나 Lehto 등(2003)의 연구결과와 일치한다. Pennington 등(1996)의 연구에서는 요인분석 결과 계획능력이 한 요인으로 추출되기도 했지만, 이 연구 결과 계획능력을 주로 측정한다고 보는 런던탑이나 미로 검사는 작업기억의 영향을 상당히 많이 받으며, 작업기억과 공통된 요인으로 묶이고 있다.

따라서 본 연구 결과 실행기능의 3요인 모형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 하위 영역별 구성을 살펴보면, 제지능력에는 고노고와 CCTI-2가, 전환능력에는 국소 전체 과제, 작업기억에는 숫자 계속 더하기와 숫자 거꾸로 따라하기, 그리고 계획능력을 측정하는데 주로 사용되는 런던탑과 미로가 포함된 모형이 가장 적합한 것으로 나타났다.

실행기능을 구성하는 하위 차원 간의 관계에 대해서도 여러 가지 논란이 있다. 일부 연구자들은 작업기억이 우위적인 기능을 하여 다른 하위 실행기능에 영향을 준다고 보는가 하면, 또 일부 연구자들은 오히려 제지능력이 일차적인 기능을 담당한다고 보고 있다. 초기에는 작업기억의 개념이 많은 연구의 대상이었고, Pennington(1994)은 제지능력이 작업기억의 일부 영역인 것으로 가정하기도 하였다. 하지만 이후 제지능력의 개념이나 중요성에 대한 관심이 확산되면서, Barkley(1994, 1997)는 제지능력에서의 결함이 작업기억, 정서나 동

기의 자기통제, 말의 내면화, 그리고 재구조화 등 다른 실행기능에 이차적인 손상을 초래한다고 보았다. 앞서서도 언급한 바처럼, Nigg(2001)은 제지능력을 더 세분화 시켜 구분하고 있고, 이들 각각이 다른 정신병리와 관련 있을 것으로 가정하고 있다. Nigg(2001)에 따르면, 제지는 크게 실행제지와 동기제지로 구분된다. 실행제지란 목표와 관련 없는 운동 반응이나 대응되는 인지를 제지하는 것이고, 동기제지란 기대치 않은 사건이나 자극이 주어졌을 때 또는 위협이나 처벌의 신호가 주어졌을 때 반응이나 행동을 멈추는 것이다. Nigg의 가정에 따르면, 품행장애 아동은 동기제지에 결함을 보일 수 있으며, 주의력 결핍 과잉행동장애 복합형은 반응제지에, 주의력 결핍 우세형은 인지제지에 결함을 보일 수 있다고 본다. 따라서 실행기능의 차원을 분류하는 작업 뿐만 아니라 각 차원별 하위 요소들과 병리와의 관련성 또한 후속 연구에서 살펴볼 필요가 있겠다.

또한 실행기능 하위 영역과 아동 정신 병리와의 관련성을 본 Pennington과 Ozonoff의 연구(1996)에서는 ADHD는 계획능력, 제지통제, 그리고 언어성 작업기억에서 손상을 보이는 반면, 자폐증과 취약 X염색체 증후군집단은 계획능력과 전환능력에서 결함을 보였다. 자폐아동의 실행기능 연구를 살펴보면, 대부분의 연구에서 자폐아동이 실행기능에서 어려움을 보이는 것으로 나타났다. 자폐아동들은 위스콘신 검사와 같이 주의를 전환하는 능력에서 어려움을 보여, 보속반응을 반복적으로 보이기도 하고, 유연성이 매우 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 런던탑과 같은 계획능력에서도 수행이 저조하다는 결론이 일관적이다. 하지만 연구마다 자폐아동이 제지능력이나 작업

능력도 유의한 어려움을 보이는지에 대해서는 일치하는 결론을 내리지 못하고 있다. 특히, 마음이론과 실행기능 발달과의 연구도 많은 관심의 주제가 되고 있다. 뚜렛 장애의 경우도, 실행기능의 결함을 보고하고 있으나(성형모, 박형배, 2000), 하위 영역별로 어떤 영역의 어려움과 관련되어 있는지는 아직 연구단계이다. 선행연구에서 기술하고 있듯이 아동기에 나타나는 여러 가지 장애와 실행기능 하위 차원 결함과의 관련성 매우 높으며, 이 관련성을 명백히 하기 위해서는 정상아동의 발달과의 비교가 필요하다.

이 연구 결과를 바탕으로 3가지 요인별 정상아동의 발달패턴을 살펴보았다. 정상아동을 대상으로 연령에 따른 실행기능 향상을 살펴본 연구는 다음과 같다. 우선, Levin 등(1991)은 실행기능을 측정하는 모든 과제에서 나이에 따른 향상이 있음을 보고했다. Welsh, Pennington, 그리고 Grosser(1991)도 3-12세의 정상아동을 대상으로 실행기능을 측정했으며, 이전 연구와 일관되게 단계적 발달을 보였다. 즉, 첫 향상은 6세, 두 번째 향상은 10세, 세 번째 급등은 초기 청소년기에 나타났다. 이런 연구결과와 일관되게 7-13세의 아동 376명을 대상으로 한 연구에서도 중기 아동기 동안 실행기능 검사 수행에서 유의한 향상을 보였다(Anderson, 1995).

아동을 대상으로 위스콘신 카드분류 검사를 사용해서 실행기능 수행 발달을 살펴본 연구도 있다. 결과, 아동들은 6세에서 10세 사이에 실행기능 수행이 향상되었고, 12세 무렵에 성인 수준의 수행에 도달했다. 더욱이 6세의 아동은 전두엽이 손상된 성인이 보이는 유사한 어려움을 보였다(Chelune & Baer, 1986). 런던탑 검사에서도 정상아동은 8세에서 9세경 쯤에

성장 급등기가 있고, 10세에서 11세경 쯤에 또 다시 성장 급등 시기가 있었다. 런던탑에서의 평균 수행은 나이가 들면서 선형적인 향상을 보였다(Krikorian, Barton & Gay, 1994). 이런 선행 연구에서의 실행기능 발달 양상은 한국 아동을 대상으로 한 이 연구 결과와 일치하고 있다. 본 연구결과 제지능력은 대체로 7세에서 8세 사이에, 그리고 또다시 9세에서 10세 사이에 높은 향상을 보이고 있고, 전환능력은 8세에서 9세 사이에 높은 향상을 보이고 있다. 작업기억은 각 검사별로 약간씩 다른 패턴을 보이고 있는데 런던탑과 미로는 8세에서 9세 사이에 높은 향상을 보이고 있고, 숫자거꾸로 따라외우기는 8세부터 지속적으로 향상되는 것으로 나타났으며, 숫자계속 더하기는 7세부터 9세까지 계속 향상되는 것으로 나타났다. 하지만 각 학년별로 충분한 수의 아동에게 실행기능을 실시하지 못하였으므로, 각 요인별로 발달에 따른 변화추이를 정확히 알아보기 위해서는 이후 더 많은 아동을 나이별로 구분하여 성장패턴을 살펴볼 필요가 있겠다.

다음으로 이 연구의 의의를 살펴보면, 이 연구에서 사용한 실행기능 검사는 실행기능을 각 영역별로 구분하여 측정하였으며, 이 연구의 결과는 한국 아동의 실행기능 성장패턴을 보여준다는데 의의가 있다. 이 발달지표를 근거로 정신장애 아동의 실행기능 결함을 비교해 봄으로써 각 정신병리와 실행기능 결함과의 관련성을 깊이 있게 살펴 볼 수 있겠다. 그리고 각 하위 실행기능 영역의 결함을 세부적으로 검토함으로써 발달단계에 있는 아동의 치료적인 방향을 계획하는데도 도움이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

이 연구의 제한점과 앞으로의 연구 방향은

다음과 같다. 먼저, 이 연구는 초등학생을 대상으로 나이에 따른 하위 실행기능 영역별 성장 패턴을 살펴보았다. 본 연구에서는 초등학교생을 대상으로 하였으므로 이후 청소년기에는 실행기능이 어떤 패턴으로 발달하고 성인기만큼 안정된 능력으로 발달하는 시기는 언제인지에 대해서는 알려주지 못하고 있다. 이후에는 좀 더 다양한 연령층을 대상으로 지역을 구분하여 각 하위 영역별 실행기능의 수행을 탐색하고, 이에 따른 검사도구의 신뢰도를 연구하는 작업이 필요하리다 여겨진다. 둘째, 이 연구가 실행기능의 나이에 따른 발달을 측정하고는 있으나 횡단적인 연구로 이루어진 관계로, 이러한 결과가 진정한 성숙에 따른 발달인지를 명확히 할 수 없다는 점이다. 실행기능의 발달에 대한 종단적인 연구는 발달정신병리의 관점에서 많은 시사점을 줄 것으로 생각된다. 셋째, 정상아동을 대상으로 실행기능 수행을 살펴 본 관계로, 정신병리와의 관련성에 대해서는 연구되지 못하였다. 이후에는 주의력 결핍 과잉행동 장애, 전반적 발달장애, 뇌손상 아동 등을 대상으로 각 하위 영역별 실행기능 수행의 차이를 비교 분석해 볼 필요가 있겠다.

참고문헌

- 김홍근 (2001). Kims 전두엽 관리기능 신경심리 검사 해설서. 도서출판 신경심리.
- 성형모, 박형배 (2000). 뚜렛 장애와 주의력 결핍 과잉행동장애 아동의 실행기능 비교. 신경정신의학회지, 39, 610-619.
- 정은정 (2003). 주의력결핍 과잉행동장애 아동의 실행기능 결함. 이화여자대학교 대학원

- 박사학위 청구 논문.
- 홍세희 (2000). 구조 방정식 모형의 적합도 지수 선정기준과 그 근거. *한국임상심리학회지: 임상*, 19, 161-177.
- Anderson, V. (2001). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Pediatric Rehabilitation*, 4, 119-136.
- Anderson, V. (2002). Executive function in children: Introduction. *Children Neuropsychology*, 8, 69-70.
- Anderson, V., Lajoie, G., & Bell, R. (1995). Neuropsychological assessment of the school-aged child (Australia: Department of Psychology, University of Melbourne).
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
- Barkley, R. A. (1994). Impaired delayed responding: A unified theory of attention deficit disorder. In: Routh D. K., editor. *Disruptive Behavior Disorders in Childhood*. New York: (pp. 11-57). New York: Plenum.
- Berlin, L., Bohlin, G., & Rydell, A. M. (2003). Relations between inhibition, executive functioning, and ADHD symptoms: A longitudinal study from age 5 to 8 1/2 years. *Child Neuropsychology*, 9, 255-266.
- Bishop, D. V. M., Leeper, A. G., Creswell, C., McGurk, R., Skuse, D. H. (2001). Individual Differences in cognitive planning on the tower of Hanoi task: Neuropsychological maturity or measurement Error?. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42, 4, 551-556.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (1997). Imaging cognition: An empirical review of PET studies with normal subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 1-26.
- Chelune, G. J., & Baer, R. A. (1986). Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of clinical and Experimental Neuropsychology*, 8, 219-228.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J. P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobes: Modularity of the central-supervisory system? *Cortex*, 35, 1-20.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, Whole No. 89.
- Krikorian, R., Barton, J., & Gay, N. (1994). Tower of London procedure: A standard method and developmental data. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16, 840-850.
- Lehto, J. E., Juujarvi, P., Kooistra, L., Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 29-50.
- Levin, H. S., Culhane, K. A., Hartmann, J., Evankovich, K., Mattson, A. J., Harward, H., Ringholz, G., Ewing-Cobbs, L., & Fletcher, J. M. (1991). Developmental

- changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Developmental Neuropsychology*, 7, 377-395.
- Luria, A. R. (1973). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Hove, UK: Erlbaum.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111-121.
- Nigg, J. (2001). Is ADHD a Disinhibitory Disorder?. *Psychological Bulletin*, 127, 571-598.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (pp.1-18). New York: Plenum.
- Pennington, B. F. (1994). The working memory function of the prefrontal cortices. In M. M. Haith, J. B. Benson, R. J. Roberts, & B. F. Pennington(Eds.), *The development of future oriented process*(pp.243-289). Chicago, II; University of Chicago Press.
- Pennington, B. F. (1999). Dimensions of executive functions in normal and abnormal development. In B. L. Miller, & J. L. Cummings(Eds.), *The Human Frontal lobes* (pp.265-281). The functions and disorder.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions of developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37, 51-87.
- Perret, E. (1974). The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behavior. *Neuropsychologia*, 12, 323-330.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioral Brain Research*, 130, 3-28.
- Sergeant, J. A., Ooster, J., & Meere, J. (1999). Information processing and energetic factors in attention-deficit/hyperactivity disorder. in H. C. Quay & A. E. Hogan (Eds.), *Handbook of disruptive behavior disorders* (pp.75-104). New York: Kluwer/Plenum.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Psychological Transactions of the Royal Society Of London*, 298, 199-209.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Cambridge University Press.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reaction. *Journal of Experimental*

- Psychology*, 18, 643-662.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Grosser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7, 131-149.
- Williams, J., Rickert, V., Hogan, J., & Zolten, A. J. (1995). Children's Color Trails. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 10, 211-223.
- 원고접수일 : 2006. 1. 10
게재결정일 : 2006. 3. 29

K C I

Dimensions and development of executive function

Myoung-Ju Lee

Department of Clinical psychology
Bong-Seng hospital

Chang-Hee Hong

Department of Psychology
Pusan National University

The purpose of this study was to explore dimensions of executive function and development of executive function(EF) in 8-year-old to 12-year-old children. One hundred on children performed eight EF: Go no Go, Children's Color Trail Test-2(CCTT-2), Tower of london, Maze, Digit span, Digit plus test, Stroop, Local-global test. Confirmatory factor analyses yielded three interrelated factors, that is labelled working memory, inhibition, and shifting. The scores of EF increased with age and differences between the grades were statistically significant. These data provide initial developmental standards and indicates that EF improve throughout childhood.

Keywords : executive function, working memory, inhibition, shifting