

영역 특수성에 따른 작업기억의 훈련 효과: 메타분석*

서 회 영

김 초 복†

경북대학교 심리학과

작업기억은 다양한 인지 과제에서 핵심기능을 담당한다. 이로 인해 인지 기능 향상을 목적으로 작업기억 훈련 프로그램들이 개발되어 왔다. 그러나 그 훈련 효과에 대해서는 논란이 제기되고 있다. 이에 본 연구에서는 작업기억의 영역 특수성을 바탕으로 하여 메타분석을 수행하여 기존 훈련들의 효과성을 검증하고자 하였다. 이를 위해, 선행 연구들에서 사용된 훈련 프로그램에 포함된 작업기억 영역과 측정 도구들이 요구하는 영역의 일치 여부에 따라 연구들을 분류하였다. 이 때, 작업기억 과제뿐만 아니라 주의, 억제, 언어능력, 지능과 같은 일반 인지 능력을 측정하는 과제도 작업기억 영역 특수성에 따라 분류하여, 일반 인지 능력이 포함하고 있는 작업기억을 구체적으로 훈련시키는 것이 인지 능력 향상에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보았다. 이 후, 각 연구들이 보고한 통계치를 바탕으로 효과크기를 구하고, 측정 시기와 참가자 특성을 고려하여 메타 분석을 실시하였다. 추가적으로 교차분석을 수행하여, 영역 일치 여부가 훈련 효과에 큰 영향을 미칠 변인이 될 수 있음을 확인하고자 하였다. 연구 결과, 작업기억의 영역들의 일치 여부가 훈련 효과에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 훈련한 영역과 측정된 영역들이 일치하지 않는 경우보다 일치할 때 더 큰 효과크기를 보였으며 이는 지연 측정을 수행했던 연구들에서도 나타났다. 또한 영역 일치에 따른 효과성의 차이는 환자 군에서 더 큰 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 작업기억의 영역 특수성이 훈련 효과에 영향을 미치는 요인임을 시사한다.

주제어 : 작업기억, 작업기억 훈련, 영역 특수성

* 이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비와 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2012R1A1A1039369).

† 교신저자 : 김초복, 경북대학교 심리학과, (702-701) 대구광역시 북구 대학로 80

E-mail : ckim@knu.ac.kr

작업기억(working memory)은 과제를 해결하는데 필요한 정보를 일시적으로 저장하고, 조작하는 제한된 용량 체계를 말하며, 계획, 문제 해결, 추론, 이해와 같은 고차 인지 기능을 수행하는데 중요한 역할을 한다(Baddeley, 1992, 2003). 작업기억의 손상은 광범위한 인지 기능에서 손상을 발생시킬 수도 있는데, 예를 들어 읽기 장애(McLean & Hitch, 1999), 저조한 학업 성취(Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004), 사회적 상호작용 능력의 부족(Alloway et al., 2005) 등의 현상으로 나타날 수 있다. 또한 주의력 결핍 과잉 행동 장애(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD) 진단을 받은 아동의 경우에도 작업기억의 손상을 보이는 것으로 보고되었다(Martinussen, Hayden, Hogg-Johnson, & Tannock, 2005; Rapport et al., 2008; 김지연 & 백용매, 2007). 이는 작업기억이 다양한 인지 과정에서 핵심적인 역할을 담당하며, 작업기억의 능력의 향상이 여러 인지 기능의 수행의 증가로 연결될 수 있음을 시사한다.

이와 같은 관련성으로 인하여, 많은 연구들에서 작업기억 훈련을 통한 인지 기능의 향상을 확인하고자 하였다. 구체적으로, Klingberg 등(Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002)은 개인용 컴퓨터에서 손쉽게 반복훈련을 할 수 있는 작업기억 훈련 프로그램을 개발하였다. 이후 컴퓨터를 사용하는 반복 훈련을 통해 작업기억 능력을 향상시키고자 하는 많은 인지 훈련 프로그램이 출시되었는데, 대표적으로, Cogmed(<http://www.cogmed.com/>), Jungle Memory(<http://www.junglememory.com/>), Cognifit(<http://www.cognifit.com/>),

Mindsparke(<http://www.mindsparke.com/>), Lumosity(<http://lumosity.com>) 등의 프로그램들이 학교, 병원 및 가정에서 폭넓게 사용되고 있다.

이러한 훈련 프로그램들의 효과성을 검증하고자 많은 연구들이 수행되었다. 구체적으로, Cogmed를 이용한 작업기억 훈련 연구들은 작업기억 훈련을 통해 참가자들의 작업기억 용량이 증가되고 학업 성취가 향상되며, 주의 통제의 수준이 증가됨을 보고하였다(Brehmer et al., 2011; Brehmer, Westerberg, & Backman, 2012). 또한 Jungle memory나 Cognifit를 사용한 연구에서도, 반복적인 작업기억 훈련을 통해 언어기능, 주의, 지능 등이 향상될 수 있음을 제안하였다(Alloway, Bibile, & Lau, 2014; Shiran & Breznitz, 2011). 이외의 많은 연구들에서 자체적인 작업기억 훈련 프로그램들을 개발하고, 작업기억 훈련 이후에 인지 기능 전반에서 향상됨을 주장하였다(Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; St Clair Thompson, Stevens, Hunt, & Bolder, 2010)

그러나 작업기억 훈련이 인지 기능의 향상에 도움이 되지 않는다는 반론이 제기되기 시작하면서, 훈련 효과에 관해서는 최근 까지도 논란이 계속 되고 있다. 예를 들어, Dahlin(2011)의 연구에서는 Cogmed 프로그램을 사용하여 일정 기간 이상 반복하여 훈련을 하였지만 기존 연구자들이 주장한 지능의 향상을 보이지 않았고, Van der Molen 등(Van der Molen, Van Luit, Van der Molen, Klugkist, & Jongmans, 2010)은 자체적으로 개발한 작업기억 훈련 프로그램을 사용하여 반복 훈련을 하였지만, 인지 기능에 거의 영향을 미치지 않

음을 주장하였다. 이러한 논란이 제기됨에 따라 최근 한 연구는 기존 작업기억 연구들이 제시한 훈련 효과를 종합하고자 메타분석을 실시하였다(Melby-Lervag & Hulme, 2013). 그 결과에 따르면 지능, 억제, 언어 기능, 수학 기능 등 여러 인지기능에서 훈련 효과가 없는 것으로 나타났다. 연구자들은 그 이유 중 하나로 작업기억의 영역 특수성을 지적하였는데, 이에 대해 명확히 규명하지는 않고 추후 연구를 제안하는데 그쳤다.

작업기억의 영역 특수성을 고려하기 위해서는 먼저 작업기억의 구조적 측면을 살펴볼 필요가 있다. Baddeley (2003)가 제안한 작업기억 모델에 따르면, 작업기억은 음운 고리(phonological loop), 시공간 잡기장(visuospatial sketchpad), 중앙 집행기(central executive), 일화 등록기(episodic buffer)로 구성된 다중요인 체계이다. 구체적으로, 음운 고리는 언어적 정보를 일시적으로 저장하는데 관여하고, 시공간 잡기장은 시각적 및 공간적 정보를 유지하는 기능을 담당한다. Baddeley 모형에서는 시각과 공간 정보가 시공간 잡기장에서 구분 없이 제안되었지만, 이후 행동 및 신경학적 연구들에 따르면, 보다 구체적으로 시각과 공간 정보를 유지하는 작업기억이 분리되어 있음이 밝혀졌다 (Courtney, Ungerleider, Keil, & Haxby, 1996; Ricciardi et al., 2006). 또한, 중앙 집행기는 음운 고리와 시공간 잡기장에서 유지된 정보를 조작하고 통합하는, 집행적 기능을 담당하는 인지적 처리 과정의 핵심적 요소이며, 일화 등록기는 다양한 유형의 정보들을 통합하여 일시적으로 저장한다(Baddeley, 2000, 2003).

이렇게 작업기억은 세부 구성 요소들로 이

루어진 체계임에도, 기존의 작업기억 훈련에 관한 연구들에서는 작업기억의 세부 영역을 훈련 효과에 영향을 미치는 요소로 고려하지 않았다. 이는 지능과 같은 복잡한 인지 능력이 받아들인 정보를 조작하고 통합하는 영역 일반적인 작업기억 수행과 높은 관계를 보였기 때문이다(Conway, Kane, & Engle, 2003). 그러나 다양한 인지 기능을 수행하기 위해서는 영역 특수적인 작업기억 역시 필수적이다(Haavisto & Lehto, 2005; Logie, 2011). 예를 들어, Carretti 등의 연구(Carretti, Borella, Cornoldi, & De Beni, 2009)에서는 이해력 수준이 낮은 참가자들이 언어 작업기억에 특징적인 손상을 보였고, Wilson과 Swanson의 연구(Wilson & Swanson, 2001)에서는 비언어적 작업기억보다 언어적 작업기억이 수학 능력에서의 수행과 더 높은 정적 상관이 있음을 보고하였다. 수학 능력은 숫자를 잠시 유지 능력이 포함되는데, 숫자를 유지하고 조작하는 기능은 언어적 작업기억에 속한다고 설명할 수 있다. 즉, 중앙 집행기가 담당하는 영역 일반적인 작업기억이 여러 인지 기능과 관련하여 포괄적 기능을 하지만, 인지 과제의 종류에 따라 영역 특수적인 작업기억이 존재하는 것 또한 분명한 사실이다. 이와 같은 이유로, 다음과 같이 작업기억 훈련 연구에서 영역 특수성을 고려하는 것이 중요한 변수가 될 수 있다.

첫째, 작업기억 훈련에 관한 연구에서 작업기억의 영역 특수성을 고려해야 할 부분은 우선 작업기억 훈련 프로그램의 내용이다. 앞서 언급했던 것처럼, 작업기억 훈련 연구들은 다양한 프로그램을 사용하였는데, 이로 인해 각 프로그램에 포함된 작업기억 영역이 서로 다

를 수밖에 없다. 예를 들어, 한 연구에서는 언어, 시각, 공간 작업기억의 유지와 조작 기능을 모두 훈련시켰지만(Brehmer et al., 2012), 다른 연구에서는 시공간 작업기억만을 훈련시켰다(Bergman Nutley et al., 2011). 두 연구 모두 공통적으로 언어 유지 및 조작 기능을 측정하는 숫자 폭 과제의 점수 변화를 훈련 효과로서 제시하였는데, 언어 작업기억을 훈련시킨 Brehmer의 연구에서만 효과가 있는 것으로 나타났다. 다시 말해, 서로 다른 작업기억을 훈련 시켰음에도 불구하고 같은 인지 기능을 측정한다면, 그 효과가 서로 상이할 수 있음을 의미한다.

둘째, 측정도구에 포함된 작업기억 영역을 구분할 필요가 있다. 같은 인지 기능 측정할 때에도 서로 다른 작업기억을 포함하는 측정도구를 사용한 다수의 연구들이 존재한다. 예를 들어, ‘억제’ 기능을 측정한 연구들에서는 언어와 시각 작업기억과 관련이 있는 색상-단어 스트룹 과제(color-word Stroop task)를 사용하기도 하였고(Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010), 공간 작업기억과 관련이 있는 수반 자극 과제(flanker task)를 사용하기도 하였다(Diamond, Barnett, Thomas, & Munro, 2007). 또한 ‘주의’를 측정하는 경우에도, 언어 작업기억과 관련이 있는 PASAT(Paced Auditory Serial Addition Test)를 사용하거나(Brehmer et al., 2012), 시각 작업기억과 관련이 있는 시각 반응 무반응 선택 과제(go/no-go task)를 사용하기도 하였다(Thorell, Lindqvist, Bergman Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009). 이처럼 다양한 측정도구가 훈련 후의 효과를 측정하는데 사용되는데도 불구하고, 각각의 측정도구마다 서로

다른 작업기억 영역과의 관련성은 고려하지 않은 것이 작업기억 훈련 효과를 제대로 확인하지 못한 이유가 되었을 수 있다. 다시 말하자면, 훈련한 작업기억 영역 이외의 인지 기능을 측정한 경우 그 효과가 나타나지 않았을 수 있기 때문에, 훈련 프로그램과 측정 도구에 포함된 작업기억의 영역을 세부적으로 고려할 필요가 있다.

이러한 영역 특정한 관점은 훈련 효과의 일반화의 정의에 있어서도 영역 일반적인 견해와 차이가 있다. 앞서 언급된 Melby-Lervag & Hulme(2013)의 연구에서는 작업기억의 훈련 여부를 크게 두 가지로 나누어 살펴보았다. 주의, 수학능력, 언어 유창성, 지능과 같은 일반 인지 과제에서 훈련 효과를 살펴보고자 한 ‘far transfer effect’와 작업기억 과제에서의 훈련 효과를 본 ‘near transfer effect’로 구분하였다. 이들은 영역 일반적인 작업기억을 중시한 연구들의 입장을 따르고 있으며, 결과적으로 ‘far transfer effect’에서 효과가 나타나지 않았고, 이를 작업기억 훈련의 일반화가 불가능한 것으로 해석하였다. 그러나 앞서 살펴본 것처럼 ‘far transfer effect’에 포함되는 여러 일반 인지 과제들은 서로 다른 인지 기능과, 그 기능을 측정하는 도구에 따라 포함하고 있는 작업기억 영역에 차이가 있다. 이와 같은 차이는 영역 특수성을 깊이 고려할 때에 메워질 수 있다. 영역 특수적인 작업기억의 역할을 중시할 때에 인지 기능으로의 일반화 효과를 도출하기 위해서는 각 인지기능에 포함되어있는 작업기억에 대한 구체적인 훈련이 중요함을 전제로 한다. 다시 말해, 영역 일반적인 작업기억 용량을 중시하는 입장에서는 일반화를

훈련하지 않은 영역에 대한 효과라고 정의한다면, 영역 특수적인 작업기억을 강조할 때에는 훈련 영역을 포함하는 다른 영역으로의 훈련 효과를 일반화라고 할 수 있다.

이에 본 연구는 훈련 시 작업기억 영역과 측정 시 영역이 일치할 때와 그렇지 않을 때 작업기억 훈련 효과에서 어떠한 차이를 보이는지 메타분석을 통해 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 먼저, Baddeley의 모형을 기반으로 하여 작업기억의 기능을 크게 ‘유지’와 ‘조작’으로 나누고, 정보의 유형을 ‘언어’, ‘시각’, ‘공간’으로 구분하였다. 결과적으로 6개의 영역(언어 유지, 시각 유지, 공간 유지, 언어 조작, 시각 조작, 공간 조작)으로 작업기억을 세분화하여 기존 연구들에서 훈련 프로그램과 측정 도구의 영역의 일치 여부를 분류하고, 이 분류에 따라 훈련 효과가 어떤 차이를 보이는지를 확인해 보고자 하였다. 추가적으로 작업기억 훈련에 주 대상이 된 환자 특성이 작업기억 영역 특수성에 어떠한 영향을 받는지 알아보기 위해, 참가자 특성을 환자 집단과 정상 집단으로 나누어 각각 살펴보았다.

방 법

분석 대상 본 연구에서 분석할 자료에는 먼저 기존의 메타 연구(Melby-Lervag & Hulme, 2013)에서 사용한 논문들을 기본적으로 포함하였다. 그러나 이전 메타 연구에서는 2011년까지의 연구들만을 다루고 있고, 또한 기존 메타연구에 누락된 연구들도 있을 가능성이 있기 때문에 다양한 전자저널(PsychInfo, APA PsychNET 등)의 데이터베이스 검색을 통해

‘working memory training’ 등의 검색어를 이용하여 작업기억 훈련 논문들을 추가하였다. 2000년부터 2014년 까지 발행된 논문 중에서 총 25편의 자료를 수집하였으며, 최종적으로 본 연구에서 다뤄질 논문을 선정할 때에는 작업기억의 어떠한 측면을 훈련시키는 프로그램을 사용하였는지를 구체적으로 밝힌 연구들만을 포함시켰다. 또한 작업기억을 측정하는 도구를 구체적으로 명시하였는지, 통제치들을 구체적으로 제시하였는지, 최소한 2주 이상 훈련 기간을 가졌는지의 기준에 따라 연구들을 선정하였다. 훈련 기간의 경우, 일정 기간 이상 훈련을 해야만 효과를 보이므로 그 기준을 최소 2주 이상으로 설정하였다(Jaeggi et al., 2008). 작업기억의 세부 항목을 측정하지 않아 다른 논문과 결과를 통합하기 어려운 논문 2편을 제외하고 결과적으로 총 23편의 논문을 분석 대상으로 삼았다. 분석 대상으로 포함된 논문들의 세부 사항은 부록 1에 제시하였다.

자료의 입력 및 분류 기준 작업기억 훈련 프로그램의 훈련 영역과 효과 측정 도구 영역의 일치 여부를 주요 변수로 하여 자료를 입력하였다. 우선, 훈련 프로그램이 포함하고 있는 작업기억 영역을 세분화 하였다. 훈련 프로그램에는 CogMed와 같이 상용화 된 프로그램 외에도 자체적으로 개발한 프로그램이 포함되어 있다. 상용화 된 프로그램은 개발자들이 제공하는 웹페이지 및 설명서에 따라 포함된 작업기억 영역을 분류하였고, 자체 개발 프로그램은 해당 연구 논문을 참고하여 세분화 하였다. 예를 들어, Jaeggi 등(2008)의 연구는 작업기억 과제로 알려져 있는 n-back 과제의 형식

을 빌려 훈련 프로그램을 구성하였는데 언어와 공간 정보를 유지하다가 n번 전의 단어를 응답한다. 이 경우 정보에 대한 유지와 조작을 모두 요구하기 때문에, 해당 훈련 프로그램에 포함된 작업기억 영역은 언어 유지, 언어 조작, 공간 유지, 그리고 공간 조작이 된다. 이러한 훈련 프로그램에 대한 분류를 바탕으로 측정 도구 역시 작업기억 영역에 따라 세분화 하여 일치 여부를 판단하였다. 예를 들어, Borella 등(2013)의 연구에서 수행된 작업기억 훈련 프로그램도 연구자들이 자체 개발한 프로그램인데, 구체적으로 불러주는 단어를 듣고 그 중 동물 단어를 구별(언어 조작)하면서, 동시에 각 목록 마지막 단어를 외우는 것(언어 유지)이었다. 효과 측정 과제 중 숫자 바로 따라 외우기 과제(forward digit span task)의 작업기억 측정 영역(언어 유지)과 숫자 거꾸로 따라 외우기 과제(backward digit span task)의 작업기억 측정 영역(언어 조작)은 훈련 프로그램의 훈련 영역과 “일치함”으로 분류하였다. 반면, 동일한 연구에서 공간 위치에 대한 기억 유지 능력(공간 유지)을 측정하는 점행렬 과제(dot matrix task)는 훈련 영역과 “불일치함”으로 분류하였다. 또한 유동 지능을 측정하기 위해 많이 사용되는 Raven, Cattell, BOMAT 과제는 시각과 공간 자극을 유지 및 조작하는 측정 도구이므로(시각 유지, 시각 조작, 공간 유지, 공간 조작), 이에 포함된 작업기억을 모두 훈련 하였을 경우에 “일치함”으로 분류하였다(Bergman Nutley et al., 2011). 그러나 Borella 등(2013)의 연구에서는 Cattell로 지능을 측정하였으나 언어 유지와 언어 조작만을 훈련하였기 때문에 “불일치함”으로 분류하

였다. 이와 같은 방식으로 전체 296개의 자료에 대해 훈련 영역과 측정 도구의 영역을 상호 영역 일치 여부에 따라 분류하였다(부록 2, 3 참조).

또한 영역 일치 여부에 의한 훈련 효과가 훈련의 지속 여부와 참가자 특성에 따라 차이가 있는지를 분석하기 위해 측정 시기 및 참가자 특성에 따른 분류를 추가적으로 수행하였다. 훈련 후 측정 시기는 즉시 및 지연 측정으로 분류하였다(“즉시”는 대부분의 연구들에서 사후(post) 측정의 방식으로 표기하였고, “지연”의 경우 대부분의 연구들에서 사후 측정 이후 최소 약 10주 이상 지연된(follow up) 측정을 한 것으로 표기하였음). 또한 참가자 특성은 정상 군과 환자 군으로 분류하였는데, 이는 작업기억 훈련의 주 대상이 인지 기능에 손상이 있는 환자 집단이므로 영역 일치 여부의 효과가 두 집단 간 차이가 있는가를 확인하기 위함이었다.

효과 크기의 산출 및 해석 본 연구에서는 각 측정 검사 별 사전·사후 점수 차를 효과 크기 Cohen's d로 산출하였다. 구체적인 절차는 다음과 같다. 논문들에서 제시한 효과크기 d를 제시한 경우는 그 값을 그대로 사용하였으며, 그렇지 않은 경우에는 각 논문들로부터 얻은 기술 통계치와 검증 통계치를 기초로 하여 다음의 공식을 이용하여 효과크기로 변환하였다(Hedges & Olkin, 1985).

$$ES(d) = \frac{\overline{X_{G1}} + \overline{X_{G2}}}{S_{pooled}} \quad \{\text{공식 1}\}$$

($\overline{X_{G1}}$: 통제 집단의 사전-사후 측정치 차,

\overline{X}_{G2} : 처치 집단의 사전-사후 측정치 차,
 S_{pooled} : 통제 집단과 처치 집단의 사전 측정
 통합 변량)

이후, 개별 연구 결과들의 효과크기들이 동
 일 모집단으로부터 추출되었는지를 확인하기
 위해 동질성 검정량 Q값을 산출해야 하므로
 다음의 계산 공식을 사용하였다.

$$Q = \sum (w \times ES^2) - \frac{[\sum (w \times ES)]^2}{\sum w} \quad \{\text{공식 2}\}$$

(w : 가중치, ES : 효과크기 d)

이 때, 각 연구의 사례 수에 따라 가중치를
 부여해야 하는데, 이 가중치는 다음과 같은
 절차를 통해 구하였다.

$$se = \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} + \frac{ES^2}{2(n_1 + n_2)}} \quad \{\text{공식3}\}$$

$$w = \frac{1}{se^2} \quad \{\text{공식4}\}$$

본 메타분석에 포함된 연구들이 다양한 과
 제들을 사용하여 효과를 측정하였기 때문에
 고정효과 모형을 가정하는 것은 타당하지 않
 다. 또한, 동질성 검정 결과, 효과크기들의 분
 포가 동질적이지 않은 경우에는 무선효과 모
 형(random effect model)을 사용하여 평균 효과
 크기를 산출하였다. 무선효과 모형에 근거하
 여 개별 효과 크기를 통합해 평균 효과 크기
 의 평균을 구할 경우, 다음의 가중치 공식을
 사용하여 평균 효과크기를 계산하였다.

$$w_i = \frac{1}{se^2 + \hat{v}_\theta} \quad \{\text{공식5}\}$$

$$\hat{v}_\theta = \frac{Q - k - 1}{\sum w - \frac{\sum w^2}{\sum w}} \quad \{\text{공식6}\}$$

(k : 연구 수)

이를 토대로 평균 효과 크기를 다음과 같
 은 공식에 의해 산출하였다.

$$\overline{ES} = \frac{\sum (w \times ES)}{\sum w} \quad \{\text{공식7}\}$$

이러한 과정을 통해 Lipsey와 Wilson(2001)의
 메타분석 프로그램을 이용하여 효과크기를 산
 출하였고, 유의도 검증은 Wilson의 SPSS Macro
 for Meta-Analysis를 이용하여 분석하였다(Lipsey
 & Wilson, 2001). 이후 효과크기의 해석은
 Cohen(1992)의 해석을 기준으로 .20 이하이면
 작은 효과 크기로, .50 전후 값을 가지면 중
 간 효과 크기, .80 이상이면 큰 효과크기로
 보았다.

교차 분석 측정 영역별로 각각의 효과크기를
 제시하지 않았거나 각각에 대한 통계치를 제
 시하지 않은 논문들의 경우, 본 연구에서 세
 분화 한 작업기억 영역에 따른 일치 여부를
 구분할 수 없었다. 이를 보완하기 위해 개별
 연구에서 언급한 효과 여부를 바탕으로 각 자
 료들을 분류한 후 교차분석을 수행하였다. 즉,
 “효과 있음”과 “효과 없음”으로 분류된 자료
 들에 대한 χ^2 검증을 실시하였다. 이를 통해 영

역 일치 여부에 따라 작업기억 훈련 프로그램의 효과가 실제로 차이가 있는지를 확인하고자 하였다.

결 과

영역 일치성에 따른 효과 크기 작업기억 훈련 관련 논문 23편들로부터 총 296개의 효과 크기들을 추출하였으며, 이를 바탕으로 영역 일치성에 따른 작업기억 훈련효과에 관한 메타분석을 실시한 결과를 표 1에 제시하였다. 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서, 영역이 일치할 때의 평균 효과크기는 .72[Q(91)=528.41, $p < .001$, $I^2 = 82.8\%$], 영역이 일치하지 않을 때에는 .22[Q(106)=251.34, $p < .001$, $I^2 = 57.8\%$]로 나타났다. 영역이 일치할 때에는 작업기억의 효과가 중간 정도의 효과크기를 보였고, 영역이 불일치할 때에는 작은 효과크기만을 나타냈다. 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치하는 경우 평균 효과크기는 .74[Q(35)=132.43, $p < .001$, $I^2 = 73.6\%$], 영역이 불일치하는 경우는 .16[Q(60)=60.92,

$p > .05$]이었다. 영역이 일치하는 경우에는 중간 정도의 효과크기를 보였고, 영역 불일치의 경우에는 효과크기가 유의하지 않았다.

환자 특성에 따른 효과크기 참가자 특성별(정상집단과 환자집단) 작업기억 훈련 효과에 관한 메타분석 결과는 표 2에 제시하였다. 정상 집단이 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때의 평균효과크기는 .64[Q(62)=415.27, $p < .001$, $I^2 = 85.1\%$], 영역이 일치하지 않을 때에는 .25[Q(64)=186.45, $p < .001$, $I^2 = 65.7\%$]로 나타났다. 영역이 일치할 때에는 작업기억의 효과가 중간 정도의 효과크기를 보였고, 영역이 불일치할 때에는 작은 효과크기만을 나타냈다. 또한 정상 집단이 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치할 때의 평균효과크기가 .72[Q(24)=83.97, $p < .001$, $I^2 = 72.6\%$], 영역이 일치하지 않을 때에는 .15[Q(33)=33.12, $p > .05$]이었다. 영역이 일치할 경우 중간 정도의 효과크기를 보였고, 영역 불일치에서는 효과크기가 .20이하의 작은 효과크기를 나타내었다.

표 1. 영역 일치성에 따른 훈련효과에 관한 메타분석 결과

	K	d	Q	p-value	I^2	$\pm 95\%$ CI
즉시 측정 검사						
영역 일치	92	0.72	528.41	0.00	82.80	0.57 - 0.87
영역 불일치	107	0.22	251.34	0.00	57.80	0.13 - 0.30
지연 측정 검사						
영역 일치	36	0.74	132.43	0.00	73.60	0.53 - 0.94
영역 불일치	61	0.16	60.92	0.44	1.50	0.09 - 0.24

주. K=효과크기 수; d=효과 크기; Q=동질성 검증 통계량; p-value=유의도 수준; I^2 =이질성 검증; $\pm 95\%CI = \pm 95\%$ 신뢰구간

표 2. 참가자 특성에 따른 훈련효과에 관한 메타분석 결과

	K	d	Q	p-value	I ²	±95%CI
즉시 측정 검사						
정상 집단	영역 일치	63	0.64	415.27	0.000	85.10 0.47 - 0.82
	영역 불일치	65	0.25	186.45	0.000	65.70 0.14 - 0.37
지연 측정 검사						
	영역 일치	24	0.72	83.97	0.000	72.60 0.45 - 0.98
	영역 불일치	34	0.15	33.12	0.461	33.12 0.05 - 0.26
환자 집단						
즉시 측정 검사						
환자 집단	영역 일치	29	0.94	104.69	0.000	73.30 0.64 - 1.24
	영역 불일치	42	0.13	58.48	0.038	29.90 0.03 - 0.24
지연 측정 검사						
	영역 일치	12	0.78	48.45	0.000	77.30 0.44 - 1.12
	영역 불일치	27	0.18	27.70	0.373	6.10 0.07 - 0.28

주. K=효과크기 수; d=효과 크기; Q=동질성 검증 통계량; p-value=유의도 수준; I²=이질성 검증; ±95%CI=±95%신뢰구간

환자 집단의 경우, 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치할 때 평균효과 크기가 .94[Q(28)=104.69, $p < .001$ I²=73.30%], 영역이 일치하지 않을 때 .13[Q(41)=58.48, $p < .05$ I²=29.90%]로 나타났다. 영역이 일치할 때는 큰 효과크기를 보였고, 영역이 불일치에서는 효과크기가 작았다. 또한 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치할 경우 평균 효과크기는 .78[Q(11)=48.45, $p < .001$ I²=77.30%], 영역이 일치하지 않을 때에는 .18[Q(26)=27.70, $p > 0.05$]이었다. 영역 일치에서는 중간 정도의 효과크기를 보였고, 영역 불일치에서는 효과크기가 작았다.

영역 일치성에 따른 효과 비율 방법 절에서 제시한 바와 같이, 이전 연구들에서 효과크기

및 통계치를 제시하지 않아 메타분석에서 제외된 자료를 포함하여, 작업기억 훈련 관련 논문 23편에서 작업기억 훈련효과의 교차 분석을 실시한 결과를 표 3에 제시하였다.

즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때에 효과가 있는 사례수의 비율은 67%였고, 효과가 없는 경우는 33%로 나타난 반면, 영역이 일치하지 않을 때에는 34%만이 효과가 있었던 것으로 나타났다. 즉, 영역이 불일치할 때보다 영역이 일치할 때, 작업기억의 훈련 효과를 보고한 사례수가 유의하게 많은 것으로 나타났다[$\chi^2(1)=22.23$, $p < 0.001$]. 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 경우 효과가 있는 사례수의 비율은 45%였고, 효과가 없는 경우는 55%로 나타난 데 반해, 영역이 일치하지 않을 때에는 27%만이

표 3. 참가자 특성에 따른 훈련효과성에 관한 교차분석 결과

		효과 있음 n (%)	효과 없음 n (%)	합계 n (%)	χ^2	p-value
정상 집단	즉시 측정 검사					
	영역 일치	39(61)	25(39)	64(100)		
	영역 불일치	29(40)	43(60)	72(100)	5.785	0.016
		68(50)	68(50)	136(100)		
	지연 측정 검사					
	영역 일치	16(59)	11(41)	27(100)		
	영역 불일치	9(28)	23(72)	32(100)	5.813	0.016
		25(42)	34(58)	59(100)		
환자 집단	즉시 측정 검사					
	영역 일치	23(82)	5(18)	28(100)		
	영역 불일치	11(25)	33(75)	44(100)	3.986	0.046
		34(47)	38(53)	72(100)		
	지연 측정 검사					
	영역 일치	7(54)	6(46)	13(100)		
	영역 불일치	8(27)	22(73)	28(100)	2.950a	0.085
		15(35)	28(65)	43(100)		

주. a=셀 하나(25.0%)의 기대 빈도가 5보다 작음(최소 기대빈도=4.53)

χ^2 =카이제곱; p-value=유의도 수준

효과를 보였다. 다시 말해, 영역이 불일치 할 때 보다 영역이 일치할 때, 작업기억의 훈련 효과가 유의하게 큰 것으로 나타났다($\chi^2(1)=9.229, p<0.05$).

참가자 특성에 따른 효과 비율 참가자 특성 별(정상집단과 환자집단) 작업기억 훈련 효과에 관해 교차분석을 실시한 결과를 표 4에 제시하였다.

정상 집단이 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때에 효과가 있는 경우

는 61%로 나타났고, 효과가 없는 경우는 39%이었다. 반면, 영역이 일치하지 않는 경우에는 40%만이 효과가 있었다. 즉, 영역이 불일치 할 때 보다 영역이 일치할 때, 작업기억의 훈련 효과를 보인 사례가 유의하게 많은 것으로 나타났다($\chi^2(1)=5.785, p<0.05$). 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때에 효과가 있는 사례수의 비율은 59%이었고 효과가 없는 경우는 41%로 나타났지만, 영역이 일치하지 않을 때에는 28%만이 효과를 보였다. 즉, 영역이 불일치 할 때 보다 일치할 때,

표 4. 영역 일치성에 따른 효과성에 관한 교차분석 결과

	효과 있음 n (%)	효과 없음 n (%)	합계 n (%)	χ^2	p-value
즉시 측정 검사					
영역 일치	62(67%)	30(33%)	92(100)		
영역 불일치	40(34%)	76(66%)	116(100)	22.23	0.000
지연 측정 검사					
영역 일치	23(56%)	17(43%)	40(100)		
영역 불일치	17(27%)	45(73%)	62(100)	9.229	0.002

주. χ^2 =카이제곱; p-value=유의도 수준

작업기억의 훈련 효과가 유의하게 큰 것으로 나타났다($\chi^2(1)=5.813, p<0.05$).

다음으로, 환자 집단이 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치하는 경우, 효과가 있는 비율은 82%로 나타난 데 반하여, 영역이 일치하지 않을 때에는 25%만이 효과가 있었던 것으로 나타났다. 이는 곧 환자집단의 경우, 영역이 불일치 할 때보다 영역이 일치 할 때, 작업기억의 훈련 효과를 보고한 사례 수가 유의하게 많다는 것을 의미한다($\chi^2(1) = 3.986, p<0.05$). 그러나 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때에 효과가 있는 사례수의 비율이 영역이 일치하지 않을 때 보다 유의하게 많은 경향성을 보이긴 하였으나, 최소 기대빈도를 충족하지 못하였다($\chi^2(1)=2.95, p>0.05$).

측정 시기에 따른 참가자 특성별 효과 비율
측정 시기에 따라 참가자 특성 별(정상집단과 환자집단) 효과 차이를 분석한 결과는 표 5와 같다.

즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역

이 일치할 때 정상 집단에서 효과를 보인 비율은 61%인 반면 환자집단에서 효과를 보인 비율은 82%에 달했다. 즉, 영역이 일치할 때에 정상 집단 보다 환자 집단에게서 작업기억 훈련 효과를 보고한 비율이 유의미하게 높은 것으로 나타났다($\chi^2(1)=3.986, p<0.05$). 반면, 영역이 일치하지 않을 때 정상 집단에서 효과를 보고한 비율은 40%, 환자집단에서는 25%로 나타났다. 그러나 이는 통계적으로 차이가 나지는 않았다($\chi^2(1)=2.822, p>0.05$).

지연 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때 정상 집단에서 효과를 보인 사례수의 비율은 59%, 환자집단에서 효과가 있는 사례수의 비율은 54%였다. ($\chi^2(1)=0.105, p= p>0.05$). 영역이 일치하지 않을 때 정상집단의 효과가 있는 사례수의 비율은 28%였고, 환자집단은 27%로 나타나, 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다($\chi^2(1)=0.001, p>0.05$).

일반 인지 과제에서 영역 일치성에 따른 효과 비율
일반 인지 과제에서 영역 일치성에 따라 효과 차이를 분석한 결과는 표 6에 제시

표 5. 측정 시기에 따른 참가자 특성별 훈련 효과성에 관한 교차분석 결과

		효과 있음 n (%)	효과 없음 n (%)	합계 n (%)	χ^2	p-value
즉시 측정	영역 일치				3.986	0.046
	정상군	39(61)	25(39)	64(100)		
	환자군	23(82)	5(18)	28(100)		
		62(67)	30(33)	92(100)		
	영역 불일치					
	환자군	11(25)	33(75)	44(100)		
	40(34)	76(66)	116(100)	2.822	0.093	
지연 측정	영역 일치				0.105	0.746
	정상군	16(59)	11(41)	27(100)		
	환자군	7(54)	6(46)	13(100)		
		23(58)	17(42)	40(100)		
	영역 불일치					
	환자군	8(27)	22(73)	28(100)		
	17(27)	45(73)	62(100)	0.001	0.969	

주. χ^2 =카이제곱; p-value=유의도 수준

표 6. 일반 인지 과제에서 영역 일치성에 따른 효과성에 관한 교차분석 결과

		효과 있음 n (%)	효과 없음 n (%)	합계 n (%)	χ^2	p-value
즉시 측정 검사					6.66	0.012
영역 일치	25(58%)	18(42%)	43(100)			
영역 불일치	15(31%)	33(69%)	48(100)			
지연 측정 검사					1.45	0.336
영역 일치	4(22%)	14(78%)	18(100)			
영역 불일치	11(27%)	17(73%)	28(100)			

주. χ^2 =카이제곱; p-value=유의도 수준

하였다.

일반 인지 과제에의 경우, 즉시 측정 검사를 실시한 자료들에서 영역이 일치할 때 효과를 보인 비율은 58%이었고, 효과가 없다고 보고한 경우는 42%로 나타났다. 반면, 영역이 일치하지 않을 때 31%가 효과를 보였고, 69%는 효과가 없었던 것으로 나타났다. 즉, 일반 인지 과제에서도 각 인지 과제에 포함된 작업기억 영역과 훈련한 영역이 일치할 때에 작업기억 훈련 효과를 보고한 비율이 유의미하게 높음을 의미한다 [$\chi^2(1)=6.657, p<0.05$]. 일반 인지 과제의 지연 측정 검사를 실시한 자료들에서는 영역이 일치할 때 효과를 보고한 경우가 22%, 효과를 보고하지 않은 경우가 78%였으며, 영역이 불일치 할 때는 각각 27%, 73%로 나타났다. 그러나 이는 통계적으로 차이가 나지 않았다. [$\chi^2(1)=1.452, p>0.05$].

논 의

본 연구는 작업기억 훈련의 효과성을 검증한 이전 연구들에서 보고된 결과들이 일관적으로 나타나지 않는 이유를 훈련 영역과 훈련 후 측정 영역이 불일치하기 때문일 것으로 예상하고 이를 확인하기 위해 수행되었다. 이와 더불어 작업기억 훈련의 일반화 가능성을 살펴보았는데 본 연구에서 주장한 일반화 효과는 기존의 연구와 그 정의에서 차이가 있다. 우선 기존의 연구의 경우, 어떤 영역을 훈련시켰을 때 그 훈련하지 않은 영역으로의 전이 효과를 일반화라고 말한다. 이는 작업기억의 영역 일반적인 관점에서의 주장이라 할 수 있다. 본 연구에서는 영역 특수적인 작업기억의

역할을 강조하여, 일반화란 훈련한 영역과 일치하거나 훈련 영역을 포함하는 경우에서 보이는 훈련 효과로 기존 연구 보다 좁은 일반화 개념을 사용하였다. 이를 위해 먼저, 작업기억 영역을 세분화 하고, 이를 바탕으로 이전 연구들에서 사용된 훈련 영역과 측정 도구에 포함된 작업기억 영역을 구분한 후, 각 연구 결과를 훈련 영역과 측정 영역의 일치 여부에 따라 분류하였다. 이후 각 연구들이 보고한 통계치를 바탕으로 효과크기(d)를 구하였고, 측정 시기와 참가자 특성을 고려하여 메타 분석을 실시하였으며, 추가적으로 효과크기 및 통계치를 제시하지 않아 메타분석에서 제외된 자료를 포함하여 교차분석을 수행하였다. 본 연구의 결과를 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

먼저, 전체 자료를 바탕으로 한 분석 결과, 작업기억의 훈련영역과 측정영역의 일치 여부가 훈련 효과에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 두 영역들이 일치하지 않는 경우 보다 일치할 때 더 큰 효과크기를 보였으며 이는 교차분석을 통해서도 확인되었다. 이러한 결과는 훈련한 영역과 동일한 영역의 작업기억이 요구되는 과제를 사용하여 측정할 때, 그렇지 않은 경우보다 더 큰 훈련 효과를 보였음을 의미한다. 이와 같은 영역 일치 효과는 지연 측정을 수행했던 연구들에서도 나타났다. 이는 일정기간 훈련을 거친 작업기억을 활용하는 과제의 측정치는 수개월이 지나도 사전 측정치에 비해 향상된 수준을 유지할 수 있음을 의미한다. 즉, 작업기억 훈련을 받은 후, 훈련 영역과 동일한 영역의 작업기억이 요구되는 측정 도구를 사용한 경우에는 그

렇지 않은 경우 보다 더 큰 훈련 효과를 보였고, 그 효과는 수개월 간 유지되는 것으로 나타났다. 또한 일반화에 대해 구체적인 확인을 위하여, 일반 인지 과제의 결과만을 따로 교차분석 한 결과 즉시 측정에서 일치할 때 훈련 효과가 나타난 경우가 더 많은 것으로 나타났다. 다만, 지연 측정에서는 영역 일치에 따른 훈련 효과를 보이지 않았는데 영역이 일치할 때의 사례수가 최소 기대 빈도와 근사하므로, 보다 많은 사례수를 포함하여 분석할 필요가 있다. 이와 같은 결과는 영역 특이적인 관점에서 일반화를 지지하며, 영역 일치에 따른 훈련 효과가 일반화 될 수 있음을 증명한다.

작업기억의 영역 특수성을 부정한 것은 아니지만, 현재까지 수행된 작업기억 훈련에 관한 연구들은 영역 일반적 관점에서 주의 깊게 다루어졌다. 이러한 연구들은 영역에 관계없이 작업기억의 훈련만으로 참가자의 인지 기능이 향상되었고, 그 결과로서 더 효과적인 정보 인출 및 조작이 가능하다고 설명한다 (Borella et al., 2010; Klingberg, 2010). 이러한 입장을 취하는 연구자들은 작업기억 영역에 관계없이, 훈련을 통해 작업기억 용량을 향상시키고 이로 인해 다른 영역의 작업기억이나 선택적 주의(Klingberg et al., 2005), 억제(Thorell et al., 2009), 읽기 이해(Chein & Morrison, 2010), 지능(Jaeggi et al., 2008)과 같은 일반 인지 기능으로의 전이 효과를 주장하였다. 이러한 견해를 뒷받침하는 뇌영상 연구에 의하면, 작업기억 훈련을 통해, 주의와 같이 집행처리를 담당하는 것으로 알려져 있는 전두-두정 네트워크(fronto-parietal network)의 일부 영역에서

활성화의 증가 혹은 감소를 관찰하였고, 이를 바탕으로 영역 일반적인 관점에서 작업기억의 훈련이 가능하다고 주장하였다(Chein & Schneider, 2005; Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004).

그러나, 최근의 연구들은 영역 일반적인 관점에서의 전이 효과가 일관적이지 않고, 훈련 효과를 설명하기에 충분하지 않음을 주장하고 있다(Melby-Lervag & Hulme, 2013; Redick et al., 2013; Shipstead, Redick, & Engle, 2012). 이러한 주장들 중 하나는 훈련 효과가 비일관적인 것은 작업기억과 인지 기능의 처리과정에서 서로 겹치지 않은 부분이 존재하기 때문이라는 것이다. 영역 일반적인 전이 효과를 주장하는 이전 연구들의 논리에 따르면, 작업기억 훈련을 통해 일반적인 인지 처리 과정을 일관적으로 향상시키기 위해서는 영역 일반적인 작업기억의 단일 처리 시스템의 활용 과정과 측정하고자 하는 일반 인지 기능의 처리 과정이 많은 부분 공유됨을 가정할 수 있어야 한다. 하지만 이러한 작업기억 용량과 일반 인지 기능의 처리 과정은 서로 일부분만을 공유한다 (Kane, Hambrick, & Conway, 2005). 즉, 훈련 효과를 보이지 않은 것은, 공유되지 않은 작업기억에 대한 훈련이었기 때문이라고 설명할 수 있다. 앞서 언급했듯이 작업기억은 세부적인 속성으로 구분될 수 있으므로, 위와 같은 사실은 훈련 시에 인지 기능이 공유하고 있는 작업기억의 속성을 구체적으로 파악하는 것이 중요함을 의미한다.

또 다른 견해로, 영역 일반적인 관점이 전이 효과를 설명하기에 충분하지 않다는 문제점이 제기되었다. Redick et al. (2013)은 작업

기억 과제에서 훈련 효과를 보이지 않았는데도 불구하고 일반 인지 기능으로 전이 효과를 보고한 연구들은 그 결과를 일반화 하는데 논리적 결함을 가진다고 주장하였다. 영역 일반적인 관점에서 보면, 훈련을 통해 영역 일반적인 작업기억 용량이 향상되었기 때문에 일반 인지 기능뿐만 아니라 작업기억 과제에서도 훈련효과를 보여야 한다. 그러나 이러한 입장을 취한 몇몇 연구들에서 작업기억의 훈련 효과는 나타나지 않았으나, 인지 기능으로의 전이효과만을 보고하였다(Jaeggi et al., 2008; Jaeggi, Buschkuhl, Perrig, & Meier, 2010). 이는 오히려 작업기억이 영역 특수적으로 훈련된 결과임을 반증한다고 설명한다(Redick et al., 2013). 영역 특수적인 관점에서는 일반 인지 기능이 요구하는 작업기억 영역이 훈련된 결과로 인한 것으로 해석할 수 있기 때문이다. 요약하면, 영역 일반적인 관점에서 훈련을 통해서 전이 효과가 일관적이지 않을 수밖에 없고, 그 효과에 대해 포괄적인 설명을 제공하는데도 부족함이 있다. 이러한 주장들은 영역 일반적인 관점에서의 훈련의 한계점을 말하는 동시에 본 연구의 결과를 지지한다.

참가자 특성에 따른 메타 분석 결과에서는 영역 일치에 따른 차이가 더 크게 나타났다. 즉시 측정 검사에서 환자 집단은 정상 집단에 비해 영역이 일치할 때 더 큰 효과를 보였고, 영역이 불일치할 때 더 낮은 효과크기를 보였다. 교차 분석에서도 환자 집단과 정상 집단의 차이가 메타 분석의 결과와 유사하였다. 이는 영역 일치 여부가 정상인과 비교하여 환자의 작업기억 훈련 효과에 더 민감한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 이전 연구들에 따르

면, 작업기억 훈련에 주로 포함된 환자들은 특징적인 인지적 결함을 보였고, 훈련을 통해 이러한 손상이 완화되었다(Borella et al., 2014; Holmes et al., 2010; Klingberg et al., 2005; Martinussen et al., 2005). 구체적으로, 주의력결핍장애(ADHD), 알츠하이머(AD), 혹은 경도인지장애(aMCI) 환자들은 둘 이상이 결합된 과제를 수행할 때 구체적인 손상을 보였고, 이를 통해 여러 과제를 적절하게 조화시키고, 각각 영역 특수적인 작업기억을 활용하며, 각각 감각기관으로부터의 신호를 처리하는 능력에 결손을 나타냈다(Logie, Cocchini, Della Sala, & Baddeley, 2004; Sinzig, Morsch, Bruning, Schmidt, & Lehmkuhl, 2008; Wang & Gathercole, 2013). 이러한 환자들의 경우, 영역 특수적인 작업기억보다 영역 일반적인 처리를 담당하는 중앙 집행 기능의 손상이 기능 장애와 더 큰 연관이 있었거나, 손상된 기능의 종류에 따라 특정한 영역의 작업기억 손상만을 보였다(Gooding & Tallent, 2004; Rapport et al., 2008). 이에 관한 한 가지 견해는 환자 집단이 작업기억의 영역 일반적인 기능의 손상으로 인해 정상집단 보다 영역 특수적인 기능을 더 적극적으로 활용하기 때문이라는 것이다(Wang & Gathercole, 2013). 다시 말하면, 환자 집단의 경우에도, 훈련 시에 작업기억 영역에 대한 주의 깊은 고려가 훈련 효과에서 중요한 차이를 낳을 수 있는 변인임을 의미한다.

작업기억의 영역 일치 여부와 더불어 작업기억의 훈련효과를 설명하는 또 한 가지 요인으로 인지양식을 꼽을 수 있다. 최근 한 연구에서 밝힌 결과에 따르면, 인지 양식의 세 양상(대상, 공간, 언어)에 따라 선호하는 인지 양

식과 관련 있는 작업기억 과제 수행을 더 잘 하는 것으로 나타났다(신경희 & 김초복, 2013). 앞서 언급한 작업기억의 하위 요소들이 시각, 공간, 언어의 정보 양상을 구분하여 처리한다는 점에서, 특정 종류의 정보에 대한 선호가 이러한 작업기억 하위 요소들 중에 어느 하나를 특정적으로 활용하는 것을 반영할 수 있다. 이는 개인에 따라 선호하는 인지 양식이 작업기억 훈련 효과의 개인차를 설명하는데 중요한 요인이 될 수 있으며, 결과적으로 개개인 이 선호하는 양식의 자원을 활용하도록 훈련하는 것이 작업기억 능력의 향상을 이끌 수 있음을 시사한다. 다시 말해 작업기억의 영역 일치 여부와 더불어 개개인이 선호하는 인지 양식의 양상을 고려한다면 보다 일정한 훈련 효과를 기대 할 수 있다.

결론적으로, 본 연구에서는 이전 연구들에서 논의 된 작업기억 훈련 효과를 영역 특수적인 관점에서 재조명하였다. 특히 일반 인지 과제에서 영역 일치에 따른 훈련 효과를 통해 영역 특수성의 관점에서 작업기억 훈련 효과가 일반화될 수 있음을 확인하였고, 이는 일반 인지 과제에서 훈련 효과를 높이기 위해서 과제에 포함된 작업기억 하위 영역에 대한 구체적인 분석이 우선되어야함을 의미한다. 영역 일치 여부에 따른 훈련 효과 차이는 집단 특징에 관계없이 나타났으나, 정상집단보다 환자집단에서 더 큰 것으로 나타났다. 이는 요구되는 작업기억의 영역에 대해 구체적인 훈련이 제공될 때, 작업기억의 훈련 효과가 일관적으로 나타날 수 있음을 시사한다. 이러한 시사점에도 불구하고, 메타 분석이라는 방법의 특성상 개별 연구들의 차이와 특징

이 충분히 다뤄지지 못하였을 가능성이 있다. 즉, 연구들에 따라 작업기억의 세부 측정 영역으로 분류하지 않고 모든 측정 도구의 결과를 일치와 불일치로만 분류하여 다루었는데, 추후 연구에서는 실제로 작업기억의 영역 특수성을 고려하여 훈련시키고, 그 효과를 측정하는 실증적 연구가 필요 할 것이다.

참고문헌

- *표가 있는 것은 메타분석에 포함된 참고문헌임.
- 김지연, & 백용매 (2007). 정상아동과 주의력결핍 과잉행동장애아동의 기억결합과 실행기능의 차이. *상담학연구*, 8(1), 333-349.
- 박찬흠, & 이형정 (2009). 작업기억에서의 영역 제한적인 저장 및 처리와 영역 일반적인 영역간 처리. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 21(1), 1-21.
- 신경희, & 김초복 (2013). 대상, 공간 및 언어 인지양식에 따른 작업기억 과제 수행의 개인차. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 25(4), 539-563.
- *Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2009). The efficacy of working memory training in improving crystallized intelligence. *Nature Proceedings*.
- Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2014). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? (vol 29, pg 632, 2012). *Computers in Human Behavior*, 34, 352-352.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E. (2005).

- Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23, 417-426.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- *Bergman Nutley, S., Soderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L. B., Humphreys, K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. *Developmental Science*, 14(3), 591-601.
- *Borella, E., Carretti, B., Cantarella, A., Riboldi, F., Zavagnin, M., & De Beni, R. (2014). Benefits of training visuospatial working memory in young-old and old-old. *Developmental Psychology*, 50(3), 714-727.
- *Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., & De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging*, 25(4), 767-778.
- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Backman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage*, 58(4), 1110-1120.
- *Brehmer, Y., Westerberg, H., & Backman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 63.
- Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 246-251.
- Cattell, R. B. (1940). A culture-free intelligence test. I. *Journal of Educational Psychology*, 31(3), 161.
- Chein, J. M., Moore, A. B., & Conway, A. R. (2011). Domain-general mechanisms of complex working memory span. *Neuroimage*, 54(1), 550-559.
- *Chein, J. M., & Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 193-199.
- Chein, J. M., & Schneider, W. (2005). Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 607-623.
- Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 547-552.
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1996). Object and spatial visual

- working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex*, 6(1), 39-49.
- *Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510-1512.
- *Dahlin, E., Nyberg, L., Backman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 720-730.
- *Dahlin, K. I. E. (2011). Effects of working memory training on reading in children with special needs. *Reading and Writing*, 24(4), 479-491.
- Dang, C. P., Braeken, J., Colom, R., Ferrer, E., & Liu, C. (2014). Why is working memory related to intelligence? Different contributions from storage and processing. *Memory*, 22(4), 426-441.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318(5855), 1387-1388.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1-16.
- Gooding, D. C., & Tallent, K. A. (2004). Nonverbal working memory deficits in schizophrenia patients: evidence of a supramodal executive processing deficit. *Schizophrenia Research*, 68(2-3), 189-201.
- Gruber, O., & von Cramon, D. Y. (2003). The functional neuroanatomy of human working memory revisited - Evidence from 3-T fMRI studies using classical domain-specific interference tasks. *Neuroimage*, 19(3), 797-809.
- Haavisto, M. L., & Lehto, J. E. (2005). Fluid/spatial and crystallized intelligence in relation to domain-specific working memory: A latent-variable approach. *Learning and Individual Differences*, 15(1), 1-21.
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis*. San Diego: Academic Press.
- *Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), F9-F15.
- *Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working Memory Deficits can be Overcome: Impacts of Training and Medication on Working Memory in Children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 827-836.
- *Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829-6833.
- *Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., &

- Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10081-10086.
- *Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394-412.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., & Conway, A. R. A. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 66-71.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317-324.
- *Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD - A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186.
- *Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-791.
- Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2001). *Practical meta-analysis*. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications.
- Logie, R. H. (2011). The Functional Organization and Capacity Limits of Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 20(4), 240-245.
- Logie, R. H., Cocchini, G., Della Sala, S., & Baddeley, A. D. (2004). Is there a specific executive capacity for dual task coordination? Evidence from Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 18(3), 504-513.
- *Loosli, S. V., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Jaeggi, S. M. (2012). Working memory training improves reading processes in typically developing children. *Child Neuropsychology*, 18(1), 62-78.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(4), 377-384.
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 240-260.
- Melby-Lervag, M., & Hulme, C. (2013). Is Working Memory Training Effective? A Meta-Analytic Review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291.
- Nee, D. E., Brown, J. W., Askren, M. K., Berman, M. G., Demiralp, E., Krawitz, A., et al. (2013). A meta-analysis of executive components of working memory. *Cerebral Cortex*, 23(2), 264-282.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory.

- Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
- Pimperton, H., & Nation, K. (2010). Suppressing irrelevant information from working memory: Evidence for domain-specific deficits in poor comprehenders. *Journal of Memory and Language*, 62(4), 380-391.
- Rappport, M. D., Alderson, R. M., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Bolden, J., & Sims, V. (2008). Working memory deficits in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): the contribution of central executive and subsystem processes. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36(6), 825-837.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., et al. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359-379.
- Ricciardi, E., Bonino, D., Gentili, C., Sani, L., Pietrini, P., & Vecchi, T. (2006). Neural correlates of spatial working memory in humans: a functional magnetic resonance imaging study comparing visual and tactile processes. *Neuroscience*, 139(1), 339-349.
- *Richmond, L. L., Morrison, A. B., Chein, J. M., & Olson, I. R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychology and Aging*, 26(4), 813-822.
- *Schmiedek, F., Lovden, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred Days of Cognitive Training Enhance Broad Cognitive Abilities in Adulthood: Findings from the COGITO Study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2.
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is Working Memory Training Effective? *Psychological Bulletin*, 138(4), 628-654.
- Shiran, A., & Breznitz, Z. (2011). The effect of cognitive training on recall range and speed of information processing in the working memory of dyslexic and skilled readers. *Journal of Neurolinguistics*, 24(5), 524-537.
- Sinzig, J., Morsch, D., Bruning, N., Schmidt, M. H., & Lehmkuhl, G. (2008). Inhibition, flexibility, working memory and planning in autism spectrum disorders with and without comorbid ADHD-symptoms. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health*, 2(1), 4.
- *St Clair Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology*, 30(2), 203-219.
- Swanson, L., & Kim, K. (2007). Working memory, short-term memory, and naming speed as predictors of children's mathematical performance. *Intelligence*, 35(2), 151-168.
- *Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106-113.
- *Van der Molen, M. J., Van Luit, J. E., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised

- working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(5), 433-447.
- Wang, S. M., & Gathercole, S. E. (2013). Working memory deficits in children with reading difficulties: Memory span and dual task coordination. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(1), 188-197.
- Wechsler, D. (2008). Wechsler adult intelligence scale-Fourth Edition (WAIS - IV). *San Antonio, TX: NCS Pearson.*
- *Westerberg, H., Jacobaeus, H., Hirvikoski, T., Clevberger, P., Ostensson, M. L., Bartfai, A., et al. (2007). Computerized working memory training after stroke-a pilot study. *Brain Injury*, 21(1), 21-29.
- Wilson, K. M., & Swanson, H. L. (2001). Are mathematics disabilities due to a domain-general or a domain-specific working memory deficit? *Journal of Learning Disabilities*, 34(3), 237-248.
- 1 차원고접수 : 2014. 08. 29
수정원고접수 : 2014. 11. 21
최종게재결정 : 2014. 12. 01

Working Memory Training Effects According to Domain-Specificity: A Meta-Analysis

Huiyeong Seo

Chobok Kim

Department of Psychology, Kyungpook National University

Working memory(WM) plays an important role in various cognitive tasks. Accordingly, WM training programs have been developed in order to enhance cognitive functions. However, it has been under debate on the effects of the training program. In this study, we performed meta-analyses to test whether WM training programs can improve other cognitive functions based on the domain-specificity of WM. In doing so, we classified previous studies as “congruent” or “incongruent” according to whether the domains of training programs were consistent with those of the measurement tools. As categorized general cognitive task involving measurement task about attention, inhibition, verbal ability and intelligence as well as WM task according to domain specificity, we examined improvement of general cognitive ability when the specific WM domain in the cognitive function was trained. Then, effect sizes were calculated based on statistics reported in the previous studies and meta-analyses were conducted in consideration of measurement periods and participants characteristics. Additionally, Chi square analyses were performed in order to confirm that the domain-specificity could be an important variable in the training effects. The results showed that domain congruency had a great influence on the training effects. The effect sizes were greater when training and measurement domains were consistent than when those were inconsistent, for both of the immediate and follow-up measurements. In addition, the effect of the congruency was greater in the patient groups compared to the normal groups. These findings suggest that the domain-specificity of WM training is an important factor in deciding the effects of the WM training programs.

Key words : working memory, working memory training, domain-specificity

부록 I. 메타분석에 포함된 작업기억 훈련 연구

연구 저자	발표 연도	참가자 연령	참가자 수 (실험/통제)	지연검사 (개월)	참가자 특징	훈련 프로그램 종류	훈련기간 (주)
Alloway & Alloway	2009	12.9	8(7)	-	학습 장애	Jungle Memory	8
Borella et al.	2011	69	20(20)	8	-	자체 개발	2
Borella et al.	2013	71.8	10(10)	-	aMCI 환자	자체 개발	2
Brehmer et al. comparison 1	2012	26	29(26)	3	-	CogMed (QM)	5
Brehmer et al. comparison 2	2012	63.8	26(19)	3	-	CogMed (QM)	5
Chen & Morrison	2010	20.1	22(20)	-	-	자체 개발	4
Dahlin, Nyberg et al. comparison 1	2008a	23.7	15(11)	18	-	자체 개발	5
Dahlin, Nyberg et al. comparison 2	2008a	68.4	13(16)	18	-	자체 개발	5
Dahlin, Nyberg et al. comparison 1	2008b	23.7	15(7)	-	-	자체 개발	5
Dahlin, Nyberg et al. comparison 2	2008b	68.3	13(6)	-	-	자체 개발	5
E. Dahlin	2010	10.5	42(15)	6	ADHD	CogMed (RM)	5
Holmes et al.	2009	10.1	22(20)	6	언어 검사 하위 15%	CogMed	5-7
Holmes et al.	2010	9.9	25	6	ADHD	CogMed	8
Jaeggi et al.	2008	25.6	34(35)	6	-	자체 개발	8-19
Jaeggi et al. comparison 1	2010	19.1	21(43)	-	-	이중 n-back훈련	4
Jaeggi et al. comparison 2	2010	19	25(43)	-	-	단일 n-back훈련	4
Jaeggi et al.	2011	9.1	34(35)	-	-	공간 n-back훈련	4
Klingberg et al. comparison 1	2002	23.5	4	-	-	CogMed	5-6
Klingberg et al. comparison 2	2002	11	7(7)	-	ADHD	CogMed	5-6
Klingberg et al.	2005	9.9	20(24) 20(24) 20(23)	3	ADHD	CogMed	5-6
Loosli et al.	2011	10	20(20)	-	-	시각 n-back훈련	2
Nutley et al. comparison 1	2011	4.3	24(52)	-	-	CogMed	5-7
Nutley et al. comparison 2	2011	4.3	25(52)	-	-	Leiter Battery	5-7
Richmond et al.	2011	66	21(19)	-	-	Chen & Morrison(2010)	1
Schmiedek et al. comparison 1	2010	25.6	101(44)	-	-	자체 개발	28
Schmiedek et al. comparison 2	2010	71.3	103(39)	-	-	자체 개발	28
St.Clair-Thompson et al.	2010	6.1	117(137) 69(72) 46(31)	5	-	Memory Booster	6-8
Thorell et al.	2008	4.5	17(14)	-	-	CogMed	5
Van der Molen et al. comparison 1	2010	15.3	41(26)	2.5	IQ 55 - 85	자체 개발	5
Van der Molen et al. comparison 2	2010	15	26(26)	2.5	IQ 55 - 85	자체 개발	5
Westerberg et al.	2007	55	9(9)	-	뇌졸중	CogMed	5

부록 II. 훈련 영역과 즉시 측정 영역 및 효과

연구 저자	발표 연도	훈련 영역 / 측정 영역						기타 측정 효과 유무(○/X)		
		유지			조작					
		언어	시각	공간	언어	시각	공간			
Alloway & Alloway	2009	●		○	●	○	●	-		
Borella et al.	2011	●	○		○	●	○	Cattell(○), Pattern comparison(○), Stroop(○)		
Borella et al.	2013	●	○		X	●	○	Cattell(X), CWMS(X), Pattern Comparison(X)		
Brehmer et al. comparison 1	2012	●	○	●	○	●	○	●	PASAT(○), PAVLT(X), Raven(X), Stroop(X)	
Brehmer et al. comparison 2	2012	●	○	●	○	●	○	●	PASAT(○), PAVLT(X), Raven(X), Stroop(X)	
Chein & Morrison	2010	●	○	●	○	●	○	○	ETS(X), Reading(○), Raven(X), Stroop(○)	
Dahlin, Nyberg et al. comparison 1	2008a	●	○	●	●	○			COWAT(X), Digit(X), Recall(○), Raven(X)	
Dahlin, Nyberg et al. comparison 2	2008a	●	○	●	●	X			COWAT(X), Digit(X), Recall(X), Raven(X)	
Dahlin, Nyberg et al. comparison 1	2008b	●	○	●	●	○			Stroop(X)	
Dahlin, Nyberg et al. comparison 2	2008b	●	○	●	●	X			Stroop(X)	
E. Dahlin	2010	●	○	●	○	●	○	○	Reading(○), Raven(X), Stroop(X), Decoding(X)	
Holmes et al.	2009	●	X	●	○	●	○	●	Following(○), WASI(X), WOND(X), WORD(X)	
Holmes et al.	2010	●	○	●	○	●	○	○	WASI-performance(X), WASI-verbal(X)	
Jaeggi et al.	2008	●		●	●			●	BOMAT(○), Raven(○)	
Jaeggi et al. comparison 1	2010		X	●			●	●	BOMAT(○), Raven(○)	
Jaeggi et al. comparison 2	2010	●	X	●		●	X	●	BOMAT(○), Raven(○)	
Jaeggi et al.	2011	●		●		●		●	BOMAT(○), Raven(○)	
Klingberg et al. comparison 1	2002	●		●	○	●		○	Raven(○), Stroop(○)	
Klingberg et al. comparison 2	2002	●		●	○	●		○	Raven(○), Stroop(○)	
Klingberg et al.	2005	●	○	●	○				Raven(○), Stroop(○)	
Loosli et al.	2011		●				●		SLT(○), TONI(○)	
Nutley et al. comparison 1	2011		X	○	○	X	●	X	Leiter battery(X), Raven(X)	
Nutley et al. comparison 2	2011		X	●	X	X	●	○	Leiter battery(○), Raven(○)	
Richmond et al.	2011	●	○	●		●	X	●	Verbal Learning(○), Raven(X), TEA(X)	
Schmiedek et al. comparison 1	2010	●	○	●	●	X	○	●	X	BIS(○), Raven(X), Word pairs(X)
Schmiedek et al. comparison 2	2010	●	○	●	○	●	X	○	○	BIS(X), Raven(○), Word pairs(○)
St.Clair-Thompson et al.	2010	●	○	●	X	○				Following(○), Reading(X), Arithmetic(X)
Thorell et al.	2008		○	●	X	X	X	○		CPT(X), Stroop(○), Go/No-Go(○)
Van der Molen et al. comparison 1	2010		○	●	X	X	X			Arithmetic(X), Reading(X), Raven(X), Stroop(X)
Van der Molen et al. comparison 2	2010		X	●	X	X	X			Arithmetic(X), Reading(X), Raven(X), Stroop(X)
Westerberg et al.	2007	●	X	●	○	●	○	X	○	PASAT(X), Stroop(○), Raven(X), RUFF 2&7(X)

주. 훈련 여부 ●=훈련 함; 빈칸=훈련 하지 않음
효과 여부 ○=효과 있음; X=효과 없음; 빈칸=측정 하지 않음

부록 III. 훈련 영역과 지연 측정 영역 및 효과

연구 저자	발표 연도	훈련 영역/측정 영역						기타 측정 효과 유무 (○/X)		
		유지			조작					
		언어	시각	공간	언어	시각	공간			
Borella et al	2011	●	X		X	●	X	Cattell(○) Pattern comparison(○) Stroop(X)		
Brehmer et al. comparison 1	2012	●	○	●	○	●	○	PASAT(○) PAVLT(X) Stroop(X) Raven(X)		
Brehmer et al. comparison 2	2012	●	○	●	○	●	○	PASAT(○) PAVLT(X) Stroop(X) Raven(X)		
Dahlin, Nyberg et al. comparison 1	2008a	●	○	●		●	○	COWAT(X) Digit(X) Raven(X) Recall(X)		
Dahlin, Nyberg et al. comparison 2	2008a	●	○	●		●	X	COWAT(X) Digit(X) Raven(X) Recall(X)		
E. Dahlin	2010	●	X	●	●	○	X	●	○	Stroop(X) Raven(X) Reading(○) Decoding(X)
Holmes et al.	2009	●	○	●	○	●		○	●	WASI(X) WORD(X) WOND(○)
Holmes et al.	2010	●	○	●	○	●	○	○		-
Jaeggi et al.	2008			●						Raven(X), TONI(X)
Klingberg et al.	2005	●	○	●	○					Raven(○) Stroop(○)
St. Clair-Thompson et al.	2010	●		●		●				Arithmetic(X) Mathematics(X) Reading(X)
Van der Molen et al. comparison 1	2010		○	●	○		X	X		Arithmetic(○) Stroop(X) Raven(X) Reading(X)
Van der Molen et al. comparison 2	2010		X	●	○		X	○		Arithmetic(○) Stroop(X) Raven(X) Reading(X)

주. 훈련 여부는 다음과 같이 표기함. ●=훈련 함; 빈칸=훈련 하지 않음
 효과 여부는 다음과 같이 표기함. ○=효과 있음; X=효과 없음; 빈칸=측정 하지 않음