

A Study on Developing a Working Memory Assessment Tool

Tae-Kwon Son¹⁾, Kwang-Ho Lee^{*1)}, Chang-Keun Sung²⁾

¹⁾Korea National University of Education · ²⁾SunChang Elementary School

작업기억 검사도구 개발에 관한 소고

손태권¹⁾ · 이광호¹⁾ · 성창근²⁾

¹⁾한국교원대학교 · ²⁾선창초등학교

<ABSTRACT>

The purpose of this study is to suggest the direction of the development of the working memory assessment tool based on Baddeley(2018)'s working memory multicomponent model. To do this, we first examined the concept of working memory and neurological basis through literature review, and selected measurement factors for development of working memory assessment tool. Based on the selected measurement factors, we analyzed the developed tasks of working memory tools and revealed its characteristics and limitations. We suggest the points to be considered by the developer and the assessment tool user when developing or using the work memory assessment tool and suggested suitable tasks for each work memory measurement factors. This study is significant in that it establishes the neurological basis of working memory and suggests the points to be considered by the developers and the authors, thereby providing a basis for the development of the working memory assessment tool.

Keywords : Working memory, short-term memory, assessment tool, central executive, phonological loop, visuospatial sketchpad, episodic buffer

I. Introduction

인지과학(Cognitive Science)이 도입된 이래로, 뇌에서 일어나는 신경계의 작용과 인간의 사고과정간의 관계를 이해하려는 연구들이 활발하게 이루어져 왔다. 이러한 흐름은 신경 촬영법(Neuroimaging)의 발달로 더욱 촉진되었으며, 교육 분야에도 새로운 관점과 활용 가능성을 제시하고 있다. 이에 따라

국내외의 다양한 뇌기반 교육 연구들을 통해 뇌의 신경활동이 기억이나 행동, 학습과 같은 의식적 활동과 밀접한 관련이 있음이 조금씩 밝혀지면서 뇌에 대한 관심은 지속적으로 커지고 있다.

그 중 인간의 의식과 가장 밀접한 관련이 있는 개념이 작업기억(Working Memory)이다(Velichkovsky, 2017). 작업기억은 제한된 용량을 가진 인지 시스템(Miyake & Shah, 1999)으로서 주변 환경으로부터

* Corresponding author : Kwang-Ho Lee, paransol@knue.ac.kr

Received July 8, 2019; Reviewed August 9, 2019 Corrected September 10, 2019; Accepted September 16, 2019

© 2019. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

들어오는 수많은 정보를 짧은 시간 동안 처리하고 저장하는 뇌의 ‘작업대(Worktable)’이다.

작업기억은 인지심리학적으로 복잡한 과제를 해결하는데 핵심적인 역할을 수행하며, 관련 정보를 유지하거나 쓸모없는 정보를 억제한다(Conway & Engle, 1994). 게다가 주의집중을 조절하고 목표 정보를 받아들이는 역할뿐만 아니라 다른 과제로의 전환에도 효과를 미친다(Kane, Bleckley, Conway & Engle, 2001). 이러한 이유로 그동안 작업기억과 학업 성취와의 상관관계를 밝히려는 연구가 활발하게 이루어져 왔다.

Alloway(2009)가 실시한 대규모 선별 조사에 따르면, 작업기억 용량이 낮은 학생들은 IQ와 상관없이 학업 성취도가 매우 낮았다. 더욱이 작업기억 용량은 연령에 따라 점진적으로 증가하지만 또래들과의 상대적인 작업기억의 차이는 지속적으로 유지되므로, 여러 연구자들은 아동의 작업기억을 조기에 진단하여 성공적인 학업성취를 위한 빠른 개입(intervention)을 강조하였다(Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006). 작업기억 용량은 훈련을 통해 늘어날 수 있으며(Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Perrig, 2008; Verhaeghen, Cerella & Basak, 2004), 훈련의 효과가 학업 성취로 이어질 수 있기 때문이다(Holmes & Gathercole, 2014; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Shah, 2011).

이처럼 작업기억의 중요성이 여러 연구들을 통해 밝혀지면서, 국외에서는 작업기억 측정을 위한 다양한 도구들이 개발되어 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 아동과 성인의 작업기억을 정확하게 측정할 수 있는 검사도구가 거의 없으며, 대부분 국외에서 개발된 작업기억 검사도구를 번역하여 사용하고 있다. 하지만 작업기억을 측정하는 많은 과제들은 해당 국가의 고유한 특징을 반영하여 제작되므로, 국외 검사도구를 그대로 번역하여 사용할 경우 측정 결과의 해석에 오류를 가져올 수 있다(Pickering, 2006). 따라서 국내의 고유한 문화와 교육 환경을 반영한 작업기억 검사도구를 개발할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 작업기억 모델 중 가장 널리 사용되고 있는 Baddeley(2018)의 작업기억 모델을 기반으로 4개의 하위 체계(중앙집행기, 음운루프, 시공간 스케치패드, 일화적 완충기)를 각각 측정할 수 있는 검사도구 개발의 요건을 제시하고자 한다. 이를 위해,

먼저 작업기억의 개념과 신경학적 근거를 살펴보고 검사도구 개발을 위한 기준을 마련한다. 그리고 기준에 따라 개발된 작업기억 검사도구를 고찰하여 이들의 특징과 한계점을 살펴보고, 작업기억 모델의 하위 체계별 과제 개발의 방향을 제시하고자 한다.

II. Theoretical Background

1. Working Memory

1) Working Memory and Short-term Memory

작업기억(Working Memory)은 정보의 조작과 임시적인 저장을 통합한 개념이다. 작업기억은 상호작용적인 처리과정을 위한 체계이며(Baddeley, Allen & Hitch, 2011), 의사결정, 추론, 행동의 가이드 역할을 수행한다(Hyman, Malenka & Nestler, 2006). 최근까지도 작업기억은 짧은 시간 동안 정보를 저장한다는 점에서 종종 단기기억(Short-term Memory)과 동의어로 사용되어 왔다. 하지만 단기기억이 특정 영역의 정보를 단기간에 기억하는 능력(Diamond, 2013)인 반면, 작업기억은 정보의 저장과 저장된 정보의 조작을 모두 포함한다. 따라서 작업기억은 단기기억과는 구분되는 개념이며(Cowan, 2008), 단기기억의 구성요소에 대한 감독 역할을 수행한다(Baddeley, 1986).

저장과 처리라는 기능적인 관점에서 보면 단기기억이 작업기억의 하위 시스템으로 보인다. 하지만 구두 단기 기억과 중앙집행기 사이의 상관관계가 낮으며(Pennington & Ozonoff, 1996; Swanson, 1994), 기억 수행에 대한 요인 분석 연구에서 단기기억과 작업기억이 서로 독립적으로 작동하므로(Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999; Swanson & Howell, 2001), 단기기억과 작업기억은 서로 구별된다고 할 수 있다.

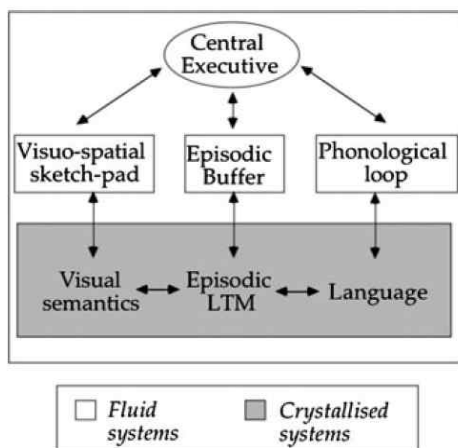
2) Baddeley's a Model of Working Memory

작업기억의 기능을 설명하는 여러 모델들은 많지만, 가장 영향력있는 모델은 Baddeley가 제안한 다중

요소 모델(The multicomponent model; Baddely & Hitch, 1974; Baddeley, 2000; Baddeley, 2018)이다.

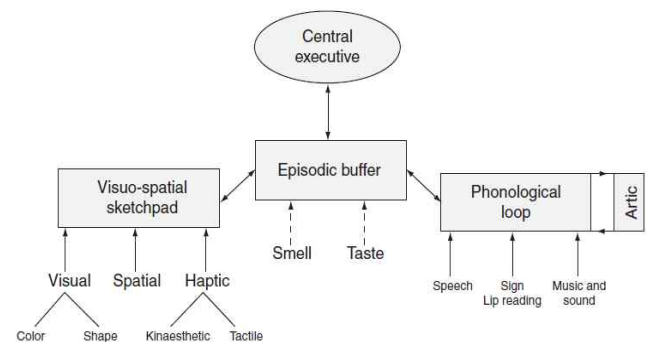
Baddeley가 제안한 최초의 작업기억 다중요소 초기 모델(Baddely & Hitch, 1974)은 3가지의 구성 요소로 이루어져 있다. 두 개의 봉사 체계(Slave system)인 음운루프(Phonological loop)와 시공간 스케치패드(Visuospatial sketchpad), 그리고 봉사 체계를 관리하고 제어하는 중앙집행기(Central executive)이다.

Baddeley가 작업기억 다중요소 초기 모델을 제안한 이래로 이 모델은 많은 실험 결과를 설명해 왔다(Baddely, 2000). 그러나 이 모델은 인간의 복잡한 인지과제의 수행을 모두 설명하기에는 부족했다(Baddeley, 2007, p.141). 초기 모델의 한계는 음운루프에 손상이 있는 환자들에게서 살펴볼 수 있다. 이들은 음운루프가 손상되었음에도 불구하고 의미론적 요인들이 단어 회상에 기여했으며(Baddeley, 1966), 상당한 양의 문장 폭(sentence span)을 표현할 수 있었다(Baddeley & Wilson, 2002). 또한 여러 단어를 묶어서 표현하는 청킹(chunking)을 통해 음운루프의 저장 용량의 한계를 넘는 현상이 나타났으며(Baddeley, 2000; Baddeley, Hitch & Allen, 2009; Miller, 1956), 작업기억 용량의 개인차(Daneman & Carpenter, 1980)가 드러났다. 이러한 문제점들로 인해 Baddeley(2000)는 네 번째 작업기억 요소인 일화적 완충기(Episodic buffer)를 포함한 수정 모델을 제안했다[Figure 1]. 이 모델은 하위 체계인 음운루프와 시공간 스케치 패드의 분리보다는 정보를 통합하는 처리 과정에 초점을 두고 있다.



[Figure 1] Baddeley's working memory model
(from Baddeley, 2000)

그 후 Baddeley와 그 동료들은 모양과 색상의 특징을 통합하는 구속(binding) 연구(Allen, Hitch & Baddeley, 2009)를 통해 구속력에는 중앙집행기의 핵심 역할인 주의력의 영향이 없다는 것을 발견했다. 이로 인해 기존 모델(Baddeley, 2000)에서 제시한 작업기억 요소들의 수정이 불가피해짐에 따라 Baddeley(2018)는 기존에 제시했던 작업기억의 뼈대(frame work)를 포기하고 작업기억 모델의 개념적 지도를 제시하여 모델의 지속적인 성장을 꾀했다[Figure 2]. 수정된 모델에서는 음운루프와 시공간 스케치패드에 대한 의식적인 접근이 일화적 완충기를 통해 작동한다고 가정한다(Baddeley, 2018, p.327). 시공간 스케치패드와 음운루프는 낮은 수준의 완충기 역할을 하며 시각, 공간, 운동, 촉각 정보를 결합할 수 있다. 현재 모델에서 작업기억 요소들의 구체적인 특징은 다음과 같다.



[Figure 2] Baddeley's a revised model of working memory(Baddeley, 2018)

첫째, 음운루프는 언어뿐만 아니라 수화, 독순술, 쓰기, 말하기를 포함하여 여러 출처의 언어 정보를 결합한다. 중요한 특징은 음성 시연(rehearsal)을 위한 능력으로써 숫자, 문자 그리고 장기 기억에서 쉽게 검색할 수 있는 단어와 같이 잘 학습된 항목의 순서가 완벽하게 유지될 수 있는 체계를 제공한다. 음운루프는 짧은 시간동안의 음향 정보를 저장하고 유지하는 역할을 수행하며, 청각 정보를 저장하는 음운 저장소(Phonological storage or Acoustic store)와 시연을 통해 기억 흔적(memory trace)을 유지하는 조음루프(Articulatory loop or Subvocal rehearsal)로 구성되어 있다.

둘째, 시공간 스케치패드는 시·공간적 정보를 저장하고 유지하는 역할을 수행하며, 색과 모양, 질감 등의 정보를 처리하는 시각적 하위 시스템과 위치 정보를 처리하는 공간 하위 시스템, 그리고 운동 요소들로 나누어질 수 있다.

셋째, 중앙집행기는 저장용량이 없는 순수한 주의 집중 체계(pure attentional system)이다(Baddeley, 2018, p104). 따라서 중앙집행기의 기능은 주의집중(focus attention), 주의 분할(divide attention), 주의 전환(switching attention)의 3가지로 분류할 수 있다.

마지막으로, 일화적 완충기는 작업기억 내에서 다차원(음운루프, 시공간 스케치패드)의 표현을 수용하며(Repovš & Baddeley, 2006), 장기기억과 시각 그리고 운동기능과 밀접하게 연결된 제한된 용량을 가진 분리된 체계이다(Baddeley, 2018, p.308).

Baddeley(2000)는 중앙집행기가 다차원의 정보를 통합하고 유지하는 기능을 수행한다고 가정했으나, 이후 다른 연구들(Gooding, Isaac & Mayes, 2005; Jeffries & Everatt, 2004; Rossi-Arnaud, Pieroni, Spataro & Baddeley, 2012)을 통해 일화적 완충기가 이 역할을 수행하며 중앙집행기에 의존하지 않는다는 것이 밝혀졌다(Allen, Hitch & Baddeley, 2009).

3) Limited Working Memory Capacity and Age-Related changes

Miller(1956)는 기억 폭(memory span)의 측정을 통해 인간의 단기 기억 용량은 덩어리(chunk)의 수에 따라 결정되며, 문자와 수 등에 관계없이 ‘마법의 수 7’로서 정량화되어 있다고 제안하였다. 여기서 덩어리(chunk)는 주관적인 단위를 의미한다(Baddeley, 2018). 즉, 모르는 언어는 글자 하나하나가 덩어리(chunk)이지만 모국어의 경우 단어 하나가 덩어리(chunk)를 이루기 때문에 7개의 단어도 기억할 수 있다.

이 후 여러 연구들이 Miller의 ‘마법의 수 7’을 인용하면서 작업기억 용량을 7개 혹은 7초로 제한하였다. 그러나 다른 연구들(Baddeley, 1996; Conrad, 1964; Cowan, 2001; Craik, Gardiner & Watkins, 1970; Levy, 1971)을 통해 이 수치는 사용된 청킹의 범주에 따라 다르다는 것이 밝혀졌다.

Cowan et al.(2005)은 작업기억의 용량이 7이 아니

라 4에 오히려 가깝다는 광범위한 증거를 제시했으며, Baddeley(1975)는 단어 길이 효과(The word length effect)에 대한 연구를 통해 구두 기억(Verbal Memory)은 2초 동안 발음할 수 있는 단어의 수만큼 기억할 수 있다고 보고하였다. 그러나 시연, 장기 기억의 검색(long-term retrieval), 처리 부하(processing load)에 따라 기억할 수 있는 범위가 달라지기 때문에 정상적인 작업기억 보존 간격을 초 단위로 지정할 수 없다(Dehn, 2015, p15). 그럼에도 불구하고 단기 기억으로 들어가고 작업기억에서 처리되는 대부분의 정보는 7~15초 내에 크게 저하되고 20~30 초 내에 단기 기억 저장소에서 완전히 지워지게 된다(Cowan et al., 2005). 유일한 예외는 저장된 정보가 지속적으로 처리되거나 시연되는 경우이며, 이 경우 보존 간격을 무기한 연장할 수 있다(Baddeley, 2000).

작업기억 용량은 일정한 것이 아니라 개인차가 존재하며 전 생애에 걸쳐 지속적으로 변화한다(Jarvis & Gathercole, 2003; Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne & Engle, 2004; Kosinski et al., 2003). Alloway, T. P. & Alloway(2013)는 5~80세를 대상으로 한 작업기억 발달 양상 연구를 통해 작업기억 용량이 10대 전·후에 가장 빠른 속도로 발달하고 길게는 30대까지 그 용량이 증가한다고 보고하였다.

2. Neuroanatomical Perspective on Working Memory

뇌 영상 연구(Brain image research)는 작업기억이 하나 이상의 해부학적 위치와 관련되어 있음을 밝히고 Baddeley의 작업기억 모델을 지지하는 신경학적 근거를 제공하였다(Reuter-Lorenz et al., 2000; Parkin, Yeomans & Bindschaedler, 1994; Ruchkin, Berndt, Johnson, Grafman, Ritter & Canoune, 1999; Baddeley, 2018). 하지만 이 주장이 작업기억 구성요소에 해당하는 명확한 뇌 영역이 있다는 것을 의미하지는 않는다. 단기 기억 저장 과정을 수행하는 동안의 뇌 활성화는 주로 내용 양식과 관련된 영역에 제한되며(Prabhakaran, Narayanan, Zhao & Gabrieli, 2000), 단기 기억이나 작업기억 과제에 따라 여러 뇌 영역이 동시에 활성화 될 수 있기 때문이

다. 이러한 제한점에도 불구하고 여러 연구들이 작업기억 과제를 수행하는 동안 주로 활성화되는 뇌 영역을 구분하였다.

Hedden & Yoon(2006)은 음운론적 단기기억과 시공간적 단기기억이 각각 두정엽(parietal lobe)과 측두엽(temporal lobe)과 관련되어 있음을 확인하였다.

Prabhakaran et al.(2000)은 전두엽이 시공간과 구두 자료의 보존 및 처리에 관여하는데, 좌측 전두엽 영역(Broca's area)은 구두 자료를 처리하고 우측 전두엽 영역은 음운론적이고 시공간적인 정보를 처리한다고 하였다.

Smith & Jonides(1998)는 전두엽 피질이 언어적이고 시공간 정보가 모두 처리 될 때 주로 활성화되며, 복잡한 작업기억 활동(저장 및 처리 작업)을 하는 동안 배외측전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex)과 전대상피질(anterior cingulate cortex)이 활성화되었다고 보고하였다.

이러한 연구 결과들은 작업기억과 단기기억이 신경적으로 분리되어 있다는 것을 의미할 뿐만 아니라, Baddeley가 주장한 바와 같이 음운루프와 시공간 기억이 분리되어 있다는 신경학적 증거를 제시한다.

1) Phonological Loop

음운루프의 음운론적 단기기억과 그 시연 처리과정은 좌반구(left hemisphere)에서 주로 작동된다. 특히 음운 저장소는 브로드만 영역(Brodman area) 40(supramarginal gyrus; Wernicke's area)과 관련되어 있으며, 조음루프는 브로드만 영역44(Broca's area)와 관련되어 있다(Baddeley & Wilson, 2002). 다른 연구에서는 음운 정보를 저장하고 시연을 제공하는 넓은 영역을 보고하였다.

Gathercole et al.(2004)은 좌반구(left hemisphere)의 하측 두정엽 영역(inferior parietal area)이 짧은 음운 정보를 저장하고 앞측전두엽 영역(anterior temporal frontal area)은 시연(rehearsal)과 관련이 있다고 하였으며, Baldo & Dronkers(2006)는 모서리위이랑(supramarginal gyrus)이 음운 기억을 보조하는 역할을 한다고 보고했다.

이러한 결과는 음운론적 단기기억이 음운 저장소와 시연으로 분할되었다는 것을 지지하는 신경학적

증거이며, 음운루프가 두 개의 하위 요소로 구분되어 있다는 Baddeley의 주장을 뒷받침한다.

2) Visuo-spatial Sketchpad

신경과학적 연구는 시공간 단기기억과 작업기억이 주로 우반구(right hemisphere)의 브로드만 영역 6(secondary motor corex), 19(visual association cortex), 40(supramarginal gyrus), 47(orbitofrontal area)과 연관이 있음을 발견하였다(Baddeley, 2018).

Bunge & Wright(2007)는 위이마고랑(superior frontal sulcus)과 두정엽속고랑(intraparietal sulcus)이 시공간 작업기억 기능에 기여함을 확인하였으며, Smith & Jonides(1997)는 시공간 하위 구성 요소를 이루는 정보의 저장과 시연은 별도의 신경 시스템을 가지고 있다고 하였다. 이처럼 시각적 정보의 처리와 저장은 주로 후두엽(occipital lobe)에서 담당하고 공간적 측면은 두정엽(parietal lobe)에서 담당한다(Dehn, 2015, p55).

이러한 연구 결과들은 시공간 단기기억과 작업기억이 신경 해부학적으로 분리되어 있으며, Baddeley의 시공간스케치패드가 시각적 하위 체계와 공간적 하위 체계 그리고 운동요소들이 서로 분리되어 있다는 주장을 뒷받침한다.

3) Central Executive

중앙집행기는 주로 배외측 전전두엽피질(dorsolateral prefrontal cortex)과 관련이 있으며(Rypma & D'Esposito, 1999), 억제(inhibiting), 갱신(updating), 전환(shifting) 등이 발생할 때 활성화된다(Kane & Engle, 2002). 전전두엽 영역(prefrontal area)은 작업기억에서 언어와 시공간 정보를 통합할 때 활성화되는 것처럼 보이며, 중앙집행기의 요구가 증가하면 배외측 전전두엽 피질(dorsolateral prefrontal cortex)이 더 활성화된다(Dehn, 2015, p55). 그러나 중앙집행기 기능이 전두엽에만 국한된 것은 아니다. 전두엽이 자극 표현을 유지하기 위해 뇌의 다른 신경 체계를 활성화한다는 Cowan(1995)의 연구 결과와 같이 뇌의 다른 부분들 또한 집행 조절에 관여한다(Badeley, 2018). 결국, 집행 처리과정은 단일과정이

아니라 다각적인 뇌 영역을 나타내며(Wilson & Baddeley, 1988), 과제를 수행할 때 주의를 조절하는 주의 체계(attentional system) 역할을 수행한다.

4) Episodic Buffer

Baddeley(2018)는 일화적 완충기가 하나의 해부학적 위치를 가지지 않으며, 활성화되는 뇌 영역에서 일부 중복을 나타낼 것이라 보았다. 이러한 추측의 신경학적 증거는 Prabhakaran과 그 동료들의 연구에서 찾아볼 수 있다. Prabhakaran et al.(2000)은 통합된 형태와 비통합 형태의 시공간적 정보의 보존성을 비교한 fMRI 연구를 수행하였다. 그 결과 통합 정보는 우측 전두엽에서 더 큰 활성화를 나타냈으며, 비통합 정보는 구두와 공간 작업기억이 활성화되는 영역보다 후방 영역에서 활성화를 나타냈다.

결국, 전두엽 영역은 중앙집행기와 일화적 완충기 모두에게 중요한 역할을 수행하며(Baddeley, 2018), 여러 차원의 정보를 통합하고 일시적으로 보존할 수 있는 일화적 완충기 역할을 수행한다 것에 대한 신경학적 증거를 제공한다(Prabhakaran et al., 2000).

이러한 연구 결과는 일화적 완충기가 중앙집행기와 상호작용한다는 Baddeley(2018)의 작업기억 모델을 지지하며, 본 연구에서 일화적 완충기를 측정해야 하는 필요성을 제공하고 있다.

3. Implication

작업기억 검사도구 개발을 위해 작업기억의 개념, Baddeley의 작업기억 모델 그리고 신경학적 근거를 살펴보았다. 이를 통한 작업기억 검사도구 개발의 시사점은 다음과 같다.

첫째, 단기기억은 작업기억의 기능을 공유하지만 그 기능과 신경학적 근거는 작업기억과 다르다. 이는 언어적 단기기억과제와 작업기억 과제가 본질적으로 다르다는 Swanson & Ashbaker(2000)의 주장과 일치하며, 단기기억과 작업기억이 독립적으로 작동한다는 것을 의미한다(Baddeley, 2018). 따라서 단기기억과 작업기억을 별도로 측정할 수 있는 하위 과제를 제작할 필요가 있으며, 측정 결과를 비교함으로써 피험자의 약점(weakness)이 정보의 저장(store)인지 정보의 처리(processing)인지 판단할 수 있다.

둘째, 작업기억은 단일 요소가 아니라 다중 구성요소로 조직되어 있다(Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 2000). 게다가 각 요소들은 서로 연관되어 있으나 각자 고유한 기능을 보유하고 있기 때문에 작업기억 요소들을 각각 측정할 수 있는 과제의 개발이 필요하다. 신경해부학적 선행 연구들에서 밝힌 Baddeley(2018)의 작업기억 모델 요소들과 관련된 뇌 영역은 <Table 1>과 같으며, 신경학적 관점에서 보았을 때 작업기억 요소들은 구분되어 있다.

<Table 1> The brain activation region primarily associated with working memory components

Working Memory Components		Hemisphere	Brain Primarily Activation Region	
Phonological Loop	Phonological Storage	Left	• supramarginal gyrus	• Inferior parietal
	Articulatory Loop		• Broca's Area	• anterior temporal frontal
Visuo-spatial Sketchpad	Visuo-Spatial STM/WM	Right	• secondary motor cortex	• orbitofrontal
			• visual association cortex	• superior frontal sulcus
			• supramarginal gyrus	• intraparietal sulcus
	Visuo System		• occipital lobe	
	Spatial System		• parietal lobe	
Central Executive		Bilateral	• dorsolateral prefrontal	• prefrontal
Episodic Buffer		Right	• frontal lobe	

셋째, 작업기억 요소들은 한 가지 기능만을 가지고 있지 않으므로, 검사도구의 정확성을 고려하여 작업기억 요소를 측정할 때 단일 과제가 아닌 여러 과제를 사용하여 작업기억 용량을 측정할 필요가 있다. 여러 검사 결과의 평균값을 이용하여 개인의 작업기억 용량을 평가함으로써(Waters & Caplan, 2003), 인위적인 변인을 줄일 수 있다.

넷째, 단기기억과 작업기억의 구별성과 작업기억 모델 요소들의 기능을 고려할 때 검사도구의 측정 요인은 <Table 2>와 같이 6개로 구분할 필요가 있다.

음운루프를 측정할 수 있는 음운 단기기억(Phonological Short-term Memory), 구두 작업기억(Verbal Working Memory)과 시공간스케치패드를 측정할 수 있는 시공간 단기기억(Visuo-Spatial Short-term Memory), 시공간 작업기억(Visuo-Spatial Working Memory) 그리고 중앙집행기(Central Executive)와 일화적 완충기(Episodic Buffer)이다

Baddeley(2018)의 작업기억 모델에서 음운루프와 시공간스케치패드를 장기기억에서 검색할 수 있는 정보 유지의 역할을 한다고 가정했으나, 그 단계는 붕괴되기 전에 반복될 만큼 짧아야하므로(Baddeley, 2018, p.327), 측정 범위를 짧은 시간에 정보를 저장하는 역할로 한정할 필요가 있다. 또한 일화적 완충기는 냄새와 맛을 측정할 수 있다고 가정되긴 하나 아직까지는 이에 대한 직접적인 증거가 없으므로(Baddeley, 2018, p.327), 다차원의 정보 통합 역할만을 그 측정 기능으로 제한하고 개발 요건을 제시하도록 한다.

이러한 시사점을 바탕으로 <Table 2>의 작업기억 검사도구 측정 요인을 검사도구 개발의 기준으로

로 설정하였다. 이를 바탕으로 개발된 검사도구들을 살펴보고, 측정 요인별로 그 기능과 용량을 측정할 수 있는 작업기억 검사도구의 과제 개발 방향을 제시하고자 한다.

III. Analysing Working Memory Assessment Tools

1. Features of Working Memory Assessment Tools

작업기억 용량의 개인적인 차이를 측정하는 과제들은 인지생리학에서 가장 자주 사용되는 비표준화(non-standardized)된 도구로서(Conway et al., 2005), 인간 능력의 넓은 영역을 예상할 수 있는 과제로 널리 사용되어 왔다(Engle, 2002; Lee & Park, 2005; Schmader & Johns, 2003). 높은 작업기억 용량을 가진 사람은 다중과제 수행, 복잡한 언어 이해, 지시 사항 수행 등 실생활 상황에서 더 나은 능력을 보이기 때문이다(Foster, Shipstead, Harrison, Hicks, Redick & Engle, 2014). 또한 작업기억 용량은 일반적인 유동지능의 핵심 요인(Conway et al., 2005; Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999; Kyllonen, 1996)으로서 새로운 기술과 지식의 습득(Cowan & Alloway, 2009), 인지적 수행의 질(Conway, Cowan & Bunting, 2001) 등 학생들의 학업 성취와 관련된 요소들과 상관관계가 깊다.

<Table 2> Working memory assessment tool's measure factors

Working Memory Components	Measure Factors	Measure Function
Phonological Loop	Phonological Short-term Memory	• Store phonological information
	Verbal Working Memory	• Rehearsal and manipulate on phonological information
Visuo-spatial Sketchpad	Visuo-Spatial Short-term Memory	• Store visuo-spatial information
	Visuo-Spatial Working Memory	• Rehearsal and manipulate on visuo-spatial information
Central Executive	Central Executive	• Attentional controller
Episodic Buffer	Episodic Buffer	• Integration of multidimensional information

작업기억 용량을 측정하는 방법은 다양하며 측정 과제로 주로 알려진 것에는 숫자 폭 과제(digit span task), 작업 폭 과제(operation span task), 읽기 폭 과제(reading span task) 등이 있다(Lee, 2014). 이러한 과제들은 작업기억의 하위 체계와의 관련성, 과제에 제시된 자극을 회상하는 방법, 단일성과 복잡성에 따라 나뉘며, 연구자들은 이러한 과제들을 조합하여 작업기억 검사도구를 개발하여 사용하고 있다.

국외에서 사용되고 있는 작업기억 측정도구에는 KABC-II(Kaufman Assessment Battery for Children Second Edition; Kaufman & Kaufman, 2004), WISC-V(Wechsler Intelligence Scale for Children- V; Wechsler, 2014), WMTB-C(Working Memory Test Battery for Children; Pickering & Gathercole, 2001), AWMA-2(Automated Working Memory Assessment; Alloway, 2012), 주의집중 및 작업기억 연구실의 복합 폭 과제(Attention & Working Memory Lab's Complex span tasks; Conway et al., 2005; Kane & Engle, 2003; Redick et al., 2013; Unsworth, Heitz, Schrock & Engle, 2005), 리버미드 행동 기억 검사(Rivermead Behavioral Memory Test for Children; Aldrich & Wilson, 1991), 기억 및 학습 검사(The test of Memory and Learning; Reynolds & Bigler, 1994), 넓은 범위의 기억과 학습 평가 도구(the Wide Range Assessment of Memory and Learning; Sheslow & Adams, 1990), 아동 기억 척도(Children's Memory Scale; Cohen, 1997) 등이 있다.

이 중 널리 사용되고 있는 대표적인 작업기억 검사도구는 5가지이며, 그 특징은 다음과 같다.

1) KABC-II

만 3세부터 18세의 아동과 청소년을 대상으로 정보처리와 인지능력을 측정하기 위해 개발된 개인지능검사(Individual intelligence test)이다. KABC-II는 Cattell-Horn-Carroll(CHC)의 정신 측정 모델과 Luria의 신경심리학적 모델 처리과정을 기반으로 하며, 단기 기억(Short Term Memory; Gsm) 검사와 시각처리(Visual Processing; Gv) 검사의 얼굴 인식(face

recognition) 과제를 통해 작업기억을 측정한다.

단기 기억 검사는 단어 순서(word order), 숫자 회상(number recall), 손 움직임(hand movements)으로 구성된 3개의 하위 과제로 이루어져 있다. 먼저, 단어 순서는 평가자가 물건의 이름을 읽고, 피험자는 읽은 것과 같은 순서로 물건의 실루엣을 만드는 과제이다. 두 번째로, 숫자 회상은 평가자가 2~9자리로 이루어진 일련의 숫자를 읽으면 피험자가 같은 순서로 반복하는 과제이다. 마지막으로, 손 움직임은 평가자가 손바닥이나 주먹, 손 옆 부분으로 책상을 치는 것을 피험자가 그대로 따라하는 과제이다. 시각 처리 검사의 얼굴 인식 과제는 피험자가 한 명 혹은 두 명의 얼굴 사진을 5초 동안 본 후 올바른 얼굴을 선택하는 과제이다.

2) Wechsler Scale of Intelligence

인간의 종합적인 지능을 측정하도록 개발된 검사 도구로서 세계에서 가장 널리 사용되고 있다. 연령에 따라 사용되는 검사도구 버전이 다른데, 2세 6개월에서 7세 7개월까지 아동은 웨슬러 유아지능검사(Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence; WPPSI), 6세에서 16세의 아동은 아동용 웨슬러 지능검사(Wechsler Intelligence Scale for Children; WISC), 16세에서 90세의 성인은 성인용 웨슬러 지능 검사(Wechsler Adult Intelligence Scale; WAIS)를 이용한다. 이 중 아동용 웨슬러 지능검사의 최신 버전인 WISC-V는 6~15세 아동의 지능을 측정하는 도구로써 5가지 주요 지수 점수(언어 이해력 지수, 시각적 공간 지수, 유체 추론 지수, 작업기억 지수, 처리 속도 지수)를 제공한다.

WISC-V에서 작업기억은 작업기억 지수(Working Memory Index; WMI)를 통해 도출하며 3가지 하위 과제인 숫자 폭(digit span), 그림 폭(picture span), 문자-숫자 단계(letter-number sequencing)로 이루어져 있다. 숫자 폭은 피험자가 구두로 일련의 숫자를 듣고 난 뒤 순서대로, 역순으로, 오름차순으로 이를 반복하는 과제이며, 그림 폭은 책에서 그림을 보고 순서대로 그림을 표시하는 과제이다. 문자-숫자 단계는 평가자가 피험자에게 일련의 숫자와 문자를 제공한 후 검사자가 결정한 순서(문자는 알파벳 순서, 숫자는 오름차순)대로 피험자가 검사자에게 응답하는 과제이다.

3) WMTB-C

Baddely & Hitch(1974)가 제안한 작업기억 다중 요소 초기 모델을 기반으로 제작된 검사도구로서 4세 6개월부터 15세 9개월까지 아동의 작업기억을 측정할 수 있다. WMTB-C는 Baddeley의 작업기억 모델의 3가지 하위 체계(central executive, phonological loop, visuo-spatial sketchpad)를 측정할 수 있는 총 10가지 하위 검사로 구성되어 있다<Table 3>.

<Table 3> WMTB-C's subtests

Working Memory Component	Subtests
Phonological Loop	• Digit Recall
	• Word List Recall
	• Non-Word List Recall
Visuo-spatial Sketchpad	• Word List Matching
	• Block Recall
	• Visual Pattern Test
	• Mazes Memory
Central Executive	• Listening Recall
	• Counting Recall
	• Backward Digit Recall

4) AWMA-2

WMTB-C를 바탕으로 비언어적 중앙집행기 하위 검사를 포함하여 제작된 컴퓨터 기반 작업기억 측정도구이다. 최초 버전인 AWMA(Automated Working Memory Assessment; Alloway, 2008)는 4세부터 22세까지의 작업기억을 측정할 수 있는 도구이며 12개의 하위 검사(Digit Recall, Word List Recall, Nonword List Recall, Dot Matrix, Mazes Memory, Block Recall, Listening Recall, Counting Recall, Backward Digit Recall, Odd~One~Out task, Mr X. task, Spatial Span task)로 이루어져 있다. 이 후 AWMA-2에서는 대상 연령을 5세부터 69세로 조정하고 측정 요소를 구두 작업기억(WM verbal), 구두 단기기억(STM verbal), 시공간 작업기억(WM visuo-spatial), 시공간 단기기억(STM visuo-spatial)으로 측정 요소를 구분하고 하위 검사를 8개로 축소하였다<Table 4>.

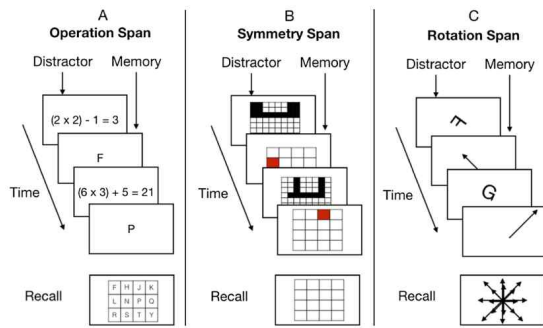
<Table 4> Measure factors and subtests of AWMA-2

Measure Factors	Subtests
WM verbal	• Processing Letter Recall
	• Backwards Digital Recall
STM verbal	• Digital Recall
	• Letter Recall
WM visuo-spatial	• Mr.X
	• Backwards Dot Matrix
STM visuo-spatial	• Dot Matrix
	• Block Recall

5) Attention & Working Memory Lab's Complex Span Tasks

복합 폭 과제는 복잡한 인지 작업을 수행하는 동안 관련 정보를 활성화하고 기억에 접근할 수 있는 기능을 측정하기 위한 과제로서(Conway et al., 2005), 원래 하나의 검사도구를 뜻하는 것이 아니라 정보의 저장과 처리를 동시에 수행하는 과제를 뜻한다. 복합 폭 과제에는 읽기 폭 과제(Reading span task; Daneman & Carpenter, 1980), 작업 폭 과제(Operation span; Turner & Engle, 1989), 계산 폭 과제(Counting span task; Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne & Engle, 2004; Unsworth et al., 2005), 회전 폭 과제(Rotation span; Kane et al., 2004, Harrison, Shipstead, Hicks, Hambrick, Redick & Engle, 2013), 대칭 폭 과제(symmetry span task; Kane et al., 2004) 등이 있는데, Kane & Engle(2003)은 자신들의 작업기억 모델을 기반으로 중 작업 폭 과제, 대칭 폭 과제, 회전 폭 과제를 묶어 컴퓨터 기반으로 작업기억 검사도구를 제작하였다.

작업 폭 과제는 간단한 수학 방정식을 풀면서, 동시에 순차적으로 제시된 단어를 정확한 순서대로 기억하는 과제이며, 대칭 폭 과제는 제시된 모양이 수직선을 대칭축으로 하는 선대칭 도형인지 판단하면서 붉은 사각형의 위치를 순차적으로 기억하는 과제이다. 회전 폭 과제는 회전된 문자가 정확하게 나타났는지 혹은 거울에 반사된 이미지인지 판단하면서 짧거나 긴 화살표가 8방향으로 가리키는 위치를 순차적으로 기억해야 하는 과제이다[Figure 3].



[Figure 3] Examples of operation span, symmetry span, rotation span(from Foster et al., 2014)

2. Limitation of Working Memory Assessment Tools

작업기억 검사도구들 중 대표적인 작업기억 검사 도구 5가지를 분석한 결과는 <Table 5>와 같다.

작업기억 검사도구들의 분석 결과, 작업기억 용량을 측정한다는 점에서 그 목적이 같지만 과제들 간 경계가 희미하며, 측정하려는 대상 연령이나 과제의 수와 종류, 이론적인 근거 등이 서로 달랐다. 그 결과를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 음운루프와 시공간 스케치패드를 측정하는 음운루프를 측정하는 과제들은 자극 양식에 따라 명확하게 구분된다. 예를 들어, 음운 단기기억과 음운 작업기억을 측정과제는 과제들(Digit Recall, Number Recall, Letter Recall etc)은 문자, 숫자, 비단어 등의 언어적 자극으로 구성되어 있고, 시공간 단기기억과 시공간 작업기억을 측정하는 과제들(Face Recognition, Picture Span, Block Recall etc)은 얼굴, 그림, 블록, 점 등의 시공간 자극으로 구성되어 있다.

둘째, 단기기억과 작업기억을 측정하는 과제는 그 특징이 명확하게 구분된다. 예를 들어, 음운 단기기억과 시공간 단기기억을 측정하는 과제들(Digit

<Table 5> Analysis result on working memory assessment tools

Tools Criteria	KABC-II	WISC-V	WMTB-C	AWMA-2	Complex span
Phonological Short-term Memory	• Number Recall • Word Order	• Digit Span Forward	• Digit Recall • Non Word List Recall	• Digital Recall • Letter Recall	
Verbal Working Memory				• Processing Letter Recall • Backwards Digital Recall	
Visuo-Spatial Short-term Memory	• Face Recognition • Hand Movements	• Picture Span	• Word List Recall • Block Recall • Visual Pattern Test • Mazes Memory	• Dot Matrix • Block Recall	
Visuo-Spatial Working Memory				• Mr.X • Backwards Dot Matrix	
Executive Working Memory		• Letter-Number Sequencing • Digit Span Backward	• Counting Recall • Listening Recall • Backward Digit Recall		• Operation span • Rotation span • Symmetry span
Episodic Buffer					
Target Age	3~18	6~16	4.5~15.75	5~69	
Number of Task	3	5	10	8	3
Theoretical Basis	CHC Theory and Luria's Model		Baddeley Working Memory Model(1974)	Baddeley Working Memory Model(1974)	Engle's Working Memory Model
Automation of Measurement		Non-Automation		Automation	

Span Forward, Letter Recall, Dot Matrix etc)은 수동적이고 변경이 없으며 일련의 정보를 필요로 하는 반면 구두 작업기억과 시공간 작업기억을 측정하는 과제들(Processing Letter Recall, Backwards Digit Recall, Mr.x etc)은 저장과 처리가 동시에 요구되거나 정보의 조작과 변경이 필요한 경우, 구두 정보와 시각 정보의 통합이 필요하거나 과제를 방해하는 산만함(distractor)이 포함되어 있다. 이는 Dehn(2015)의 ‘단기 기억과 작업 기억의 분류’ 기준과도 일치하는 결과이다.

셋째, 중앙집행기와 음운적·시공간 작업기억 과제들 간 분류의 경계가 희미하다. 예를 들어 WISC-V는 역순으로 숫자를 회상하기(Digit Span Backward) 과제를 중앙집행기 측정 과제로 분류하고 있으나 AWMA-2의 경우 구두 작업기억으로 분류하고 있다. 이는 두 가지 이유로 추측해볼 수 있다. 첫째, 검사자가 어떤 기능을 측정하고자 하는지에 초점을 두는가이다. 역순으로 숫자 회상하기 과제는 숫자 정보를 유지하면서 역순으로 숫자 정보를 조작해야 하므로 음운 자극 양식의 작업기억으로 볼 수 있지만 중앙집행기의 기능인 주의 조절 및 분할에 초점을 맞춘다면 중앙집행기 측정 과제로 볼 수 있는 것이다. 둘째, 작업기억의 기능이 신경학적으로 봤을 때 서로 상관성이 있기 때문이다. 모든 인지 검사와 기억 검사의 하위 과제들은 여러 가지 인지와 기억 능력을 측정하며(Dehn, 2015, p100), 작업기억을 측정하기 위해 개발된 하위 검사들은 자체의 구조와 내용에만 의존하는 것이 아니라 두뇌의 통합된 기능을 반영하므로, 측정하고자 하는 작업기억 요소만을 측정하는 것이 아니다.

넷째, 모든 작업기억 요소를 측정한 검사도구는 없다. <Table 5>에서 보았을 때 KABC-II는 음운 단기 기억과 시공간 단기 기억만을 측정하며, WISC-V와 WMTB-C는 음운적 단기 기억과 시공간 단기 기억, 중앙집행기만을 측정하고 있다. 또한 AWMA-2는 음운 단기 기억과 구두 작업기억, 시공간 단기 기억과 시공간 작업기억만을 측정하고 있으며, 복합 폭 검사는 중앙집행기만을 측정하고 있다. 게다가 WMTB-C는 중앙집행기의 기능을 측정하기 위한 하위 과제를 제시했으나 중앙집행기의 핵심 역할인 주의 기반 기능(attention-based function)을

측정하지 못하고 있다(Pickering, 2006). 결국, 작업기억 요소들이 가지고 있는 모든 기능을 측정하는 검사도구는 없으며, 어떤 작업기억 검사도구를 사용하더라도 작업기억 용량 전체를 측정한 것이 아니므로 작업기억 기능 전체를 대표한다고 볼 수 없다(Kaufman & Kaufman, 2004).

다섯째, Baddeley의 작업기억 모델을 기반으로 하는 검사도구 중 일화적 완충기를 측정하고 있는 검사도구는 없다. WMTB-C와 AWMA-2는 Baddeley(1974)의 작업기억 초기 모델을 기반으로 제작되었는데, 일화적 완충기(episodic buffer)를 추가하여 제안한 수정 모델을 반영하지 못하고 있다(Engle, 2015). 비록 일화적 완충기가 아직까지 알려지지 않은 면이 많지만, Baddeley(2018)의 수정 모델에서 핵심적인 역할을 한다는 점을 고려할 때 측정 요소로서 포함될 필요가 있다.

여섯째, 피험자의 대상 연령이 검사도구들마다 다르게 나타난다. 이는 자극 난이도에 따라 달라지는 것으로 보이는데, 어려운 단어를 제시하거나 계산을 해야 하는 과제의 경우 난이도가 높으면 낮은 연령의 피험자에게 적합하지 않다. AWMA-2의 경우 대상 연령이 5~69세로 매우 넓다. 이는 과제의 질차가 매우 간단하고 알파벳, 점, 블록 등으로만 과제가 구성되어 있으므로 연령의 제한이 최소화된 것으로 보인다. 이처럼 작업기억 검사도구를 제작할 때, 측정하고자 하는 연령에 맞는 내용과 주제를 선정할 필요가 있다.

일곱째, <Table 5>를 살펴보면 WISC-V를 포함하여 Rivermead Behavioral Memory Test, Wechsler Memory Test, the Test of Memory and Learning, the Wide Range Assessment of Memory and Learning, the Children's Memory Scale 등의 검사도구들은 이론적인 근거가 명확하지 않다(Pickering, 2006). 이 검사도구들은 작업기억 용량을 측정할 수 있는 하위 과제들을 제시하고 있으므로 측정은 가능하지만, 측정 결과를 해석할 때 이론적으로 어떤 영역이 약점인지 강점인지를 설명할 수 없기 때문에 검사도구로서 제한적으로 이용된다고 볼 수 있다.

여덟째, WISC-V와 WMTB-C의 경우 자극 양식이 음운정보에 편중되어 있다. 이 검사도구들은 중

양집행기를 측정하기 위한 하위 과제가 문자와 숫자를 사용한 자극 양식으로 구성되어 있다. 그러나 Baddeley의 수정 모델(Baddeley, 2018)에 따르면 중앙집행기는 순수한 주의 조절 체계이므로 이 과제들은 음운루프를 측정하는 과제로 변경되어야 할 필요가 있다. 게다가 음운 정보 처리에 어려움이 있는 피험자의 경우 과제 사용에 제한이 있다.

아홉째, 작업기억 검사도구의 자동화(automation)여부가 다르다. 작업기억 검사도구들 중 자동화된 검사도구는 AWMA-2와 Complex span tasks가 있었다. 작업기억 검사도구가 자동화된 까닭은 기존 검사들이 가지고 있는 인위적 변인과 평가 절차의 오류 및 피험자와 검사자의 피로도를 줄이기 위함이다(Unsworth et al., 2005). 따라서 작업기억의 정확한 측정을 위해 검사도구를 자동화할 필요가 있다.

작업기억 검사도구들은 각자 다양한 방법으로 작업기억 용량을 측정하고 있었지만 여러 가지 제한점들이 있었다. 본 연구의 목적을 고려할 때 전자에서 언급한 여러 특징과 제한점들을 반영하여 검사도구를 개발할 필요가 있다.

IV. The Development Direction of Working Memory Assessment Tool

1. Methodological Aspects of Development Working Memory Assessment Tools

1) Number of Tasks

작업기억 용량을 측정하기 위한 과제의 수는 검사도구의 정확성과 관련이 깊다. 과제의 수가 많아지면 검사의 정확성은 높아지겠지만 피험자의 피로도도 높아지면서 인위적인 변수가 발생하므로 측정 결과의 신뢰성은 낮아지게 된다. 반면 과제의 수가 너무 적으면 작업기억 요소 중 일부만을 측정하게 되어 검사도구의 과제들이 작업기억의 요인을 대표한다고 말하기 어렵다. 이러한 딜레마에도 불구하고

여러 연구자들은 작업기억 용량을 측정할 때 정확성의 중요함을 지적해왔다.

Dehn(2015)은 검사도구의 안정성을 고려하여 작업기억의 요소 각각을 최소 2개의 하위 과제를 통해 검사해야 한다고 하였고, Waters & Caplan(2003)는 작업기억 용량을 측정할 때 자극 양식이 다른 3가지 검사를 실시하고 결과의 평균값을 이용하여 개인의 작업기억 용량을 평가하도록 제안하였다. 이러한 정확성을 강조한 선행연구를 고려하여, 작업기억의 4개 요소(중앙집행기, 음운루프, 시공간스케치패드, 일화적 완충기)를 측정할 수 있는 과제를 각각 2개씩 제작하고 측정 결과의 평균값을 산출하는 것이 적절하다고 판단된다. 만약 작업기억 요소별로 3개씩 과제를 개발한다면 총 12개의 과제를 수행하게 되므로 피험자의 피로도가 높아지고, 요소별로 1개씩 개발한다면 과제 측정 시 변인의 영향을 크게 받게 될 것이기 때문이다.

신경학적 근거에 따라 분류한 6가지 작업기억 요소들을 측정하기 위해 음운루프의 음운 단기기억과 구두 작업기억, 시공간 스케치패드의 시공간 단기기억과 시공간 작업기억을 측정할 수 있는 각각 1개씩의 과제를 개발하고, 중앙집행기와 일화적 완충기를 측정하는 과제를 각각 2개씩 개발하여 총 8개의 과제를 개발할 필요가 있다고 판단된다.

2) Scoring Method

작업기억 용량을 측정할 때 채점 방식은 중요한 문제이며(Conway et al., 2005), 부분 점수를 매기는 방식과 절대 점수를 매기는 방식이 있다. 일반적인 작업기억 과제들은 시도(trial) 횟수가 늘어남에 따라 과제의 난이도가 높아지게 된다.

부분 점수 방식은 전체 시도 중 올바른 응답을 한 개수를 점수화하는 방법이고 절대 점수는 특정 단계에서 과제 도전이 실패한다면 그 전 단계를 작업기억 용량으로 채점하는 방법이다. 예를 들어 일곱 단계의 난이도와 단계마다 네 번의 시도로 구성된 과제를 수행한다고 하자. 부분 점수 방식을 채택한다면 피험자가 28번의 시도 중 15번의 올바른 응답을 했을 때 피험자의 점수는 15가 된다. 반면에 절대 점수 방식을 채택한다면 피험자가 여섯 번째 단계에

서 실패했을 때 피험자의 절대 점수는 5가 된다.

부분 점수 방식은 피험자 간 비교가 쉽다는 장점이 있지만 과제 수행 시 하위 단계의 시도가 실패했음에도 상위 단계의 시도를 성공할 수 있으므로 우연성의 효과를 제거하기 힘들다. 게다가 피험자가 과제의 모든 과정을 수행해야하므로 과제 수가 많을 경우 피로도로 인해 측정 결과의 변수가 발생할 수 있다. 만일 단일 과제로 작업기억 용량을 측정한다면 부분 점수 방식이 피험자 간의 비교 결과를 쉽게 얻을 수 있겠지만, 본 연구에서 채택한 검사도구의 과제 수는 8개이므로 절대 점수 방식을 채택하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

3) Automation of Assessment Procedure

작업기억 검사도구의 제한점에서 살펴본 바와 같이 작업기억 검사도구들은 그 이론적 배경이 서로 다르고 검사자의 판단에 따라 측정하는 요소를 다르게 해석할 수 있다. 하나의 과제에 여러 작업기억 요소가 포함되어 있거나 검사자마다 작업기억 요소의 기능을 다르게 정의할 수 있기 때문이다. 따라서 작업기억을 측정할 때 검사자의 역량이 매우 중요하며, 검사자는 사용하는 검사도구의 제한점과 측정하려는 목적을 명확히 인식하고 있어야 한다. 그러나 작업기억 검사도구가 일반화되려면 검사자 간의 해석 오차를 줄이고 평가 절차를 표준화할 필요가 있다. 따라서 검사 절차와 측정 결과 해석의 오류를 줄이고 검사도구의 신뢰도를 높이기 위해 컴퓨터 기반의 표준화된 작업기억 검사도구 제작 방식을 택할 필요가 있다.

4) Cautions When Refer Developed Assessment Tasks

기 개발된 작업기억 과제를 참고하여 새로운 과제를 개발할 때는 언어와 문화의 차이를 고려해야 한다. 작업기억을 측정하는 많은 과제들은 해당 국가의 고유한 특징을 반영하여 제작되었으므로, 번역하여 사용할 경우 측정 결과의 해석에 중요한 영향을 미친다(Pickering, 2006). WMTB-C의 국외 사용 사례를 살펴보면, 중국어로 측정했을 때 영어보다 점수가 더 높게 나타났으며(Hoosain & Salili, 1987), 웨일즈어

(Welsh)에서는 영어보다 점수가 낮게 나타났다(Ellis & Hennelly, 1980). 이는 중국어가 숫자를 말할 때 영어보다 발성의 길이가 짧고 웨일즈어는 영어보다 길기 때문이다. 또한 미로 기억(Maze memory) 검사의 경우 미로를 교육과정에서 자주 다뤄본 나라의 학생과 그렇지 못한 나라의 학생 간의 경험적 차이가 변수로 작용할 수 있다(Pickering, 2006).

이러한 맥락에서 기 개발된 작업기억 과제를 그대로 번역하여 사용하는 것은 주의를 요하며, 작업기억 과제를 참고할 때 원래 과제와의 음절 길이를 비교하고 주제가 교육과정에 적합한지 살펴볼 필요가 있다.

2. Development Direction of Phonological Loop

1) Considerations for Phonological Loop Measurements

음운루프는 수동적인 음운 저장소(phonological storage)인 음운 단기기억과 구두 작업기억으로 나눌 수 있는데, 이 둘은 음운정보의 일시적 저장소라는 측면에서 동일하지만 적극적 처리(processing)가 동반되었는지에 따라 그 역할이 구분된다(Archibald & Gathercole, 2006). 따라서 음운 단기기억의 정보는 저장 역할만을 수행하므로 그 정보는 금방 사라지게 된다. 반면 구두 작업기억은 적극적인 시연과정(subvocal rehearsal)을 통해 사라지는 음운정보를 반복적으로 되뇌므로써 보다 오랫동안 정보를 유지할 수 있고, 결과적으로 해당 정보를 장기기억 속에 표상으로 저장하는데 기여하는 바가 크다. 이러한 점을 고려하여, 음운루프를 측정할 때는 다음과 같은 사항들을 반영할 필요가 있다.

(1) The Phonological Similarity Effect

비슷한 소리(운율)나 문자, 단어들은 비슷하지 않은 단어들에 비해 정확하게 기억하는 것이 더 어려운 것을 말한다. 예를 들어, f와 p, m와 n, k와 c 등 유사한 음운을 가진 단어나 철자가 기억에 부정적인 영향을 미치는 것을 의미한다. 따라서 음운루프를 측정하고자 할 때는 음운적 유사성 효과를 제거하기 위해 제한된 세트를 정해놓고 반복적으로 사용할 필요가 있다(Baddely, 2012).

(2) The Word Length Effect

음절(syllable) 길이에 따라 수행의 효과가 선형적으로 떨어지는 것을 말한다. 참가자에게 주어진 단어를 빠르고 큰소리로 말하도록 했을 때, 단어 길이와 발성시간에 사이에는 밀접한 관련성이 있으며 보통 2초 안에 말할 수 있는 만큼의 단어를 기억할 수 있다(Baddeley, 2018). 따라서 음운루프 측정 과제에 포함되는 단어들은 같은 길이로 제한할 필요가 있다.

(3) Articulatory Suppression

조음 억제는 피험자가 기억해야 할 항목을 연습하지 못하게 하는 것을 말한다. 이는 마음 속으로 소리 없이 말하는 내재적 억제와 발성을 통해 소리 내어 말하는 외재적 억제로 나뉜다. 만약 단어의 길이 효과가 내재적 억제를 하는 하위발성(sub vocalization)에 의존한다면 이 과정을 못하게 막음으로써 단어 길이 효과를 제거할 수 있다(Baddeley, Thomson & Buchanan, 1975).

음운루프 측정 중에 ‘the’ 나 ‘123’과 같은 단어를 지속적으로 말하는 것은 음운적 동질성 효과를 제거하며, 단 청각 자극이 아니라 시각적 자극만을 제거한다.(Baddeley, Lewis & Vallar, 1984). 왜냐하면 말한 정보는 음운적 저장소로 의무적으로 접근하지만 시각적 자료가 음운루프로 등록되려면 하위발성이 필요하기 때문이다(Baddeley, 2012). 따라서 음운 단기기억을 측정할 때, 시각적 언어 자극을 제시한다면 조음 억제를 사용하여 시연을 막을 필요가 있다. 이 때 조음 억제 단어가 너무 쉬운 경우 자동적으로 되뇌며 시연이 가능하게 되는 자동화 효과가 발생하므로 ‘the’와 같은 너무 쉬운 단어의 사용을 제한해야 할 필요가 있다(Jung, Park, J. Y, Park, 2015)

(4) Long-term Memory Effects

Hulme et al.(1991)은 훈련 과정을 통해 항목이 익숙해지면 비 단어 순서에 대한 기억 범위가 증가하는 반면, 이미 익숙한 단어를 사용하면 수행이 더욱 향상되는 것을 발견했다. 이처럼 숫자나 친숙한 단어를 사용한 과제는 자극 양식이 언어 정보로 제한되며, 측정되는 결과는 음운루프만의 척도가 아니라 숫자와 단어가 장기기억 속에서 잘 정립되어 있다는

것을 의미한다(Pickering, 2006, p245-246). 이 과정을 과거 경험의 복구(redintegration)라 하며 단기기억이 부분적으로 쇠퇴된 기억을 추적하기 위해 장기기억의 패턴과 비교하는 것을 의미한다(Hulme, Maughan & Brown, 1991). 따라서 음운루프의 과제에서 장기기억의 영향을 최소화하기 위해 비 단어나 음소를 피험자에게 자극으로 제시할 필요가 있다.

2) Phonological Short-term Memory

음운 단기기억을 측정하기 위한 과제를 개발할 때 필요한 요건은 다음과 같다.

첫째, 과제의 자극 양식은 음운 정보만으로 제한하고 순서대로 회상하도록 한다. 시각적인 자극을 제공할 경우 정보가 음운루프로 저장되려면 시연이 필요하며, 역순으로 회상할 경우 정보를 유지하며 처리하는 과정이 포함되므로 작업기억이 간섭하게 된다.

둘째, 피험자에게 제공하는 음운 정보는 운율 자극이 없어야 하며, 장기기억의 영향을 배제하기 위해 비 단어 또는 음소를 자극으로 이용해야 한다.

셋째, 과제와 관련이 없거나(irrelevant) 산만함(distracting)으로 인한 간섭(interference)이 없어야 한다. 간섭이 있을 경우 피험자는 간섭을 억제하며 과제를 수행해야 하므로 중앙집행기의 영향을 받게 된다.

필수 요건들을 고려했을 때 음운 단기기억의 측정과제로 적합한 과제는 비 단어 회상하기(Non- word recall)와 순서대로 문자 회상하기(Forward letter recall)이다. 문자는 단어보다 의미 기반(meaning-based) 장기기억의 영향을 더 적게 받으므로 음소에 가까운 처리가 유지되기 때문이다(Dehn, 2015, p97).

3) Verbal Working Memory

구두 작업기억을 측정하기 위한 과제를 개발할 때 필요한 요건은 회상하는 순서를 제외하고 음운 단기기억과 같다. 다만 구두 작업기억 과제 개발을 위해 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

첫째, 구두 작업기억은 정보를 유지하는 동시에 처리하는 작업기억이 작동하므로 역순, 오름차순, 내림차순, 질문에 응답한 후 회상하기 등 여러 가지 회상 방법을 적용될 수 있다.

둘째, 문장 과제는 음운 단기기억이 아니라 구두 작업기억으로 분류된다(Dehn, 2015, p98). 문장을 기억할 때 단어들을 그룹화하는 청킹(chunking) 현상이 발생하므로 의미 기반 처리(Meaning-based process)를 촉진하기 때문이다. 그러나 청킹은 일화적 완충기가 담당하는 역할이므로 음운루프 과제로 적합하다고 볼 수 없다.

이러한 요건들을 고려할 때 구두 작업기억으로 적합한 과제는 역순으로 문자 회상하기(Letter recall backward), 질문에 응답하며 문자 회상하기(Processing letter recall)가 있다.

3. Development Direction of Visuo-spatial Sketchpad

1) Visuo-spatial Short-term Memory

시공간 단기기억을 측정하기 위한 과제를 개발할 때 필요한 요건은 다음과 같다.

첫째, 과제의 자극 양식은 시공간 정보만으로 제한하고 시공간 정보를 처리하거나 조작하거나 산만함이 포함되지 않아야 한다.

둘째, 시공간 스케치패드에는 순차적인 회상(Serial recall)이 부적합하다(Baddeley, 2018). 대표적인 시공간 스케치패드 측정과제는 블록 선택 과제(Block tapping task)이다. 이는 검사자가 블록을 선택한 순서대로 피험자가 블록을 차례대로 선택하는 과제이다. 그러나 이러한 과제들은 순차적인 회상을 요구하지만 현실 세계의 시공간 처리의 대부분은 순차적이지 않기 때문에 적합하지 않다(Dehn, 2015, p98).

셋째, 음운 단기기억 과제와 마찬가지로 중앙집행기의 주의 조절 기능을 측정하는 간섭(interference)이 과제에 포함되지 않아야 한다.

넷째, 그림이나 특정 주제를 가진 과제의 사용을 피해야 한다. WISC-V의 그림 폭(Picture span) 과제의 경우 피험자가 과제로 제시하는 그림을 이미 알고 있다면 장기기억의 영향을 받게 된다. 또한 작업기억 검사도구의 제한점에서 살펴본 바와 같이 WMTB-C의 미로 기억(Maze memory) 과제는 미로를 경험한 정도에 따라 검사 결과에 영향을 미친다. 따라서 추상적인 자극(dot, simple blocks)을 사용한 과제를 제작할 필요가 있다.

자극 양식을 고려했을 때 시공간 단기기억을 측정하는데 적합한 과제는 점 회상하기(Dot matrix)와 블록 회상(Block recall)이다. 그러나 두 과제 모두 순차적인 회상(serial recall)을 요구하므로 동시에 자극을 제시하고 기억하는 자극을 모두 선택하는 방식으로 과제를 변형할 필요가 있다.

2) Visuo-spatial Working Memory

시공간 작업기억을 측정하기 위한 과제를 개발할 때 필요한 요건은 구두 작업기억과 같으나, 시공간 정보를 회전하거나 정신적 이미지를 조작하고 처리하는 작업이 포함된다. 따라서 회전 중의 방향을 기억하거나 카드 순서를 기억할 때 자극의 수를 계산하거나, 블록 선택 과제에서 순서를 역으로 기억하는 것들이 포함될 수 있다.

이러한 요건들을 고려했을 때 시공간 작업기억을 측정하는데 적합한 과제는 AWMA-2의 역순으로 블록 회상하기(Block recall backward), 역순으로 점 회상하기(Backwards dot matrix), Mr.X가 있다.

4. Development Direction of Central Executive

중앙집행기의 과제가 바르게 설계된 경우 현실 세계에 대한 생태학적 타당성(ecological validity)을 갖는다(Dehn, 2015, p98). 특히 교실 상황에서 보았을 때, 학생들은 과제 수행을 방해하는 여러 종류의 간섭을 지속적으로 처리해야 하므로 중앙집행기의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다. 중앙집행기의 기능을 구두 작업기억이나 시공간 작업기억과 구별하기 위해서는 Pickering(2006)이 언급한 바와 같이 중앙집행기의 핵심 역할인 주의 기반 기능에 초점을 맞출 필요가 있다. 따라서 과제 내에 산만하거나 관련 없는 정보의 처리가 포함된 간섭과 지속적인 억제(inhibition), 갱신(updation), 전환(switching)이 필요하다.

이러한 요건을 고려했을 때, 중앙집행기를 측정하기에 적합한 과제로는 위스콘신 카드 분류 검사(Wisconsin card sorting task; Heaton & Staff, 1993)와 Stroop 색상 및 단어 테스트(The stoop color and word test; Stroop, 1935)가 있다.

1) Wisconsin Card Sorting Task

위스콘신 카드 분류 검사는 신경심리검사의 일종으로 집행기의 기능을 측정하는 과제이다(Drewe, 1974; Mountain & Snow, 1993). 세 가지 차원(색, 형태, 수)을 이용하여 카드를 분류하는 과제로서 네 개의 키 카드가 피험자에게 지시되며 각각의 카드는 다른 형태(삼각형, 별, 십자가, 원), 서로 다른 수(1, 2, 3, 4), 서로 다른 색(빨간색, 녹색, 노란색, 파란색)을 띠고 있다. 피험자가 첫 번째 카드를 뽑으면 키 카드와 매칭 시키라는 지시를 받는다. 실험자는 일치 기준을 제시하지 않으며, 피험자의 시도가 옳은지 혹은 틀렸는지를 매 시도마다 알려준다. 만약 피험자가 10번의 연속적인 시도 동안 카드를 올바르게 분류한다면 실험자는 매칭 기준을 변화시키고 이를 피험자에게 명시적으로 알려주지 않는다. 이 과정은 128장의 카드가 다 떨어지거나 피험자가 6개의 카테고리를 변화시킬 때까지 이어진다. 이러한 과제 단계를 통해 피험자의 행동, 자기 모니터링(self-monitoring), 보속성(perseveration)을 판단하며 중앙집행기의 과제 전환, 검색 전략, 억제 기능을 측정할 수 있다.

2) The Stroop Color and Word Test

특정 자극의 처리가 두 번째 자극 특성의 동시 처리를 방해할 때 발생하는 인지 장애를 억제하는 능력을 평가하는데 사용하는 심리 검사이다. 피험자는 세 가지 다른 표를 가능한 빨리 읽어야 하며, 그 중 두 가지 표에서는 피험자가 색상 단어의 이름을 읽고 다른 색의 이름을 읽어야 하는 ‘일치 조건’을 측정한다. 세 번째 표는 색상 단어와 일치하지 않는 색의 잉크로 인쇄된 자극이 제시되며 피험자는 단어를 읽지 않고 잉크 색을 읽어야 한다. 예를 들어 빨간색이라고 쓰여진 색상 카드의 텍스트 글씨가 녹색 잉크로 인쇄되어 있는 경우 피험자는 ‘녹색’이라고 읽어야 한다.

Stroop 색상 및 단어 테스트에서는 참가자가 단어 읽기라는 자동화된 작업(MacLeod & Dunbar, 1988)에서 발생하는 간섭을 억제하면서 잉크의 색 읽기와 같은 덜 자동화된 작업을 수행해야 한다. 이렇듯 자동화된 처리과정을 방해하는 간섭 효과를

‘Stroop 효과’(Stroop effect; Stroop, 1935)라 한다. 이 과제는 주의력, 처리 속도, 인지 유연성(Jensen & Rohwer, 1966), 작업기억(Kane & Engle, 2003) 등을 측정하는 과제로 활용할 수 있다.

5. Development Direction of Episodic Buffer

일화적 완충기는 숫자와 단어들을 통합하는 청킹 역할을 수행하며(Baddeley, 2007, p.150), 이를 통해 개인의 저장 용량이 크게 확장될 수 있다. 따라서 일화적 완충기는 문장이나 산문을 기억하는 것과 관련이 있다(Baddeley, 2007, p. 148). 일화적 완충기가 소개 된지 20년이 지났지만, 여전히 이를 독립적으로 측정하는 방법에 대한 명확한 합의는 이루어지지 않았으며(Henry, Messer & Nash, 2012), 해결할 수 없는 문제처럼 보인다(Baddeley, 2012). 그러나 일화적 완충기를 측정하고자 하는 과제들은 꾸준히 보고되었다. 이 과제들은 다차원의 정보들을 구속(binding)하는 방식에 의해 단일 양상(unimodal)과 통합 양상(crossmodal)의 두 가지로 나눌 수 있다.

단일 양상 과제는 시공간 구속 과제(visuo-spatial binding tasks)와 구두 구속 과제(verbal binding tasks)로 나눌 수 있다. 시공간 구속 과제는 색상, 모양과 같은 자극 요소를 제시하고 조음 억제(Articulatory suppression)를 통해 음운루프의 기능을 제한한 뒤, 지각되거나 기억하고 있는 물체를 결합하여 일화적 완충기를 측정한다(Baddeley, 2018, p.351). 반면 구두 구속 과제는 주로 단어, 문장, 이야기를 자극 요소로 사용하여 시공간 스케치패드의 개입을 막고, 장기기억으로부터의 의미론적 부호화를 촉진하여 일화적 완충기를 측정하는 과제이다.

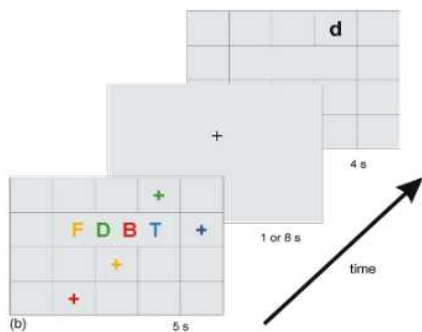
통합 양상 과제는 시공간 자극과 음운 자극을 동시에 제공하는 이중과제로서 구두, 시각, 공간 기능 사이의 연결과 관련된 작업기억을 통합적으로 구속하는 능력을 평가하는 과제이다(Murray, Nobre, Clark, Cravo & Stokes, 2013). 이 과제에서 일화적 완충기는 음운루프와 시공간 스케치패드의 정보를 통합하여 단위화한 표현(chunks)으로 나타내는 역할을 수행한다고 가정한다.

종합하면, 일화적 완충기를 측정하기 위한 과제는 시각 구속 과제(visual binding tasks), 공간 구속 과제(spatial binding tasks), 통합 양상 과제(crossmodal

tasks)의 3가지로 분류할 수 있다. 청각과 시각 정보의 공간 표현은 공통된 저장소를 가지고 있으므로 (Rudner, Fransson, Ingvar, Nyberg & Rönnerberg, 2007), 3가지 과제 중 어떤 과제를 수행하더라도 일화적 완충기를 측정할 수 있다. 과제 선택에 특정한 근거가 없다면, 일화적 완충기의 기능과 신경학적 근거를 기준으로 과제를 선정할 필요가 있다.

1) Selection of Tasks Based on Multidimensional Information Integration

일화적 완충기의 기능에 근거했을 때 적합한 과제는 Quinette et al.(2006)이 제안한 통합 양상 과제이다[Figure 4]. 피험자는 구분된 공간에 있는 자음의 위치를 순서대로 기억해야 하며, 피험자들은 3개에서 11개까지 늘어나는 자음이 사라진 영역을 정확하게 선택하면서 구두로 회상해야 한다. 이 과제는 음운 정보와 시공간 정보를 통합해야 하므로 다차원의 정보 통합 기능을 측정하기에 적합하다.



[Figure 4] Diagram of the working memory binding task(from Quinette, 2006)

2) Selection of Tasks Based on Neurological Evidence

Rudner et al.(2007)는 두 언어로 표현한 어휘 항목의 구축 과제의 신경 활성화를 조사했다. 이를 위해 수화(sign language)와 구두 언어의 두 가지 자극 양식을 2-back 과제로 제시하고 이중언어(수화, 구두 언어) 참가자에게 자극 양식과 같은 양식으로 답하거나 혹은 다른 양식으로 답하도록 하였다. 그 결과 어휘 항목의 음운론적 표현이 우측 중양 측두엽(right middle temporal lobe)을 포함한 후부 영역들(posterior regions)의 연결망(network)을 활성화시켰고, 이 연결망은 항목의 수준 처리(level-processing)와 관련이 있다는 것을 발견했다. 이는 어휘 항목의 음운론적인 표현들의 구축이 작업기억의 음운론적 표현을 기반으로 하며 일화적 완충기의 처리과정의 지표라 볼 수 있다.

Rudner의 과제는 신경학적 근거가 분명하므로 이 과제의 수화를 언어적 부호로 변형하여 일화적 완충기의 측정 과제로 사용할 수 있다.

이상으로 살펴본 작업기억의 측정 요소별 과제 선정의 결과는 <Table 6>과 같다.

V. Conclusion and Suggestion

본 연구는 Baddeley(2018)의 작업기억 모델을 기반으로 작업기억의 개념과 신경학적 근거를 바탕으로 작업기억 검사도구를 개발하기 위한 측정 요소를 결정하고, 기 개발된 검사도구의 특징과 한계를 분석하여 작업기억 검사도구의 개발 방향을 제시하였다. 이러한 연구 과정을 종합하면 다음과 같다.

<Table 6> Selected tasks of developing working memory assessment tool

Phonological Loop		Visuospatial sketchpad		Executive Working Memory	Episodic Buffer
Phonological Short-term Memory	Verbal Working Memory	Visuo-Spatial Short-term Memory	Visuo-Spatial Working Memory		
Non-Word recall or Forward Letter recall	Letter recall backward or Processing Letter recall	Dot Matrix or Block recall (non-serial)	Block recall backward or Mr.X or Backwards Dot Matrix	WSCT task and Stroop task	Quinette's crossmodal task and Rudner's binding task

첫째, 작업기억의 개념은 단기기억과 명백하게 구별되며, 신경학적 근거가 다르므로 작업기억 용량을 측정하기 위해 6가지 측정 요소별로 각각 측정할 필요가 있다. Baddeley(2018)의 작업기억 다중요소 모델에 따르면 4가지 요소(음운루프, 시공간스케치패드, 중앙집행기, 일화적 완충기)는 서로 연관되어 있지만 고유한 기능을 가지고 있다. 또한 신경학적으로 단기기억과 작업기억이 구별되므로 작업기억 검사도구의 정확성을 위해 요소별로 각각 측정할 수 있는 과제를 개발할 필요가 있다.

둘째, 기 개발된 작업기억 검사도구를 사용할 때는 검사도구별 특징과 제한점을 명확하게 인지하고 있어야 한다. 작업기억은 4가지 요소로 이루어져 있으나 기 개발된 작업기억 검사도구들은 몇몇 요소만을 측정하여 작업기억 용량을 도출하고 있었다. 특히 일화적 완충기가 Baddeley의 수정된 모델에서 중요한 역할을 수행하고 있음에도 불구하고, 이를 측정하고 있는 검사도구는 없었다. 게다가 이론적 배경이 명확하지 않거나 자극양식이 음운정보에 편중되어 있는 검사도구들을 사용할 때는 검사자의 세심한 주의가 요구된다.

셋째, 작업기억 검사도구의 정확성을 위해 작업기억 요소별로 최소 2개 이상의 과제를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서 실시한 측정 요소 분류에 따라 총 8개의 과제를 개발하여 작업기억 요소별로 결과의 평균값을 이용하여 개인의 작업기억 용량을 평가하도록 권장한다.

넷째, 작업기억 용량을 측정할 때 채점 방식은 절대 점수 방식을 채택한다. 이는 과제 수행 시간에 따른 피험자의 피로도를 고려하고 우연성의 효과를 제거하기 위함이다.

다섯째, 작업기억 검사도구는 측정 절차를 컴퓨터 기반으로 자동화하여 개발한다. 작업기억 검사도구는 검사자의 역량에 따라 결과 해석이 크게 달라지므로, 검사자 간 해석의 오류를 최소화하고 검사도구를 일반화하기 위해 평가 절차를 자동화할 필요가 있다.

여섯째, 기 개발된 과제를 참고하여 작업기억 검사도구의 하위 과제를 개발할 때는 언어와 문화의 차이를 고려하여야 한다. 기 개발된 작업기억 과제는 영어를 기반으로 제작되었고 과제의 주제가 해

당 국가의 문화를 반영하고 있으므로, 번역하여 사용 시 측정 결과의 해석에 변수가 발생할 수 있다. 따라서 기 개발된 작업기억 과제를 참고할 때는 원래 과제와의 음절 길이를 비교하고 과제의 주제가 우리나라 문화에 적합한지 검토하여야 한다.

일곱째, 본 연구에서는 여러 연구 문헌들을 검토하여 <Table 6>과 같이 측정 요소별 과제를 선정하였다. 이 과제들은 근거의 타당성과 신뢰성을 고려하여 선정하였으나, 다른 수많은 과제들이 존재하므로 선정한 과제가 최적의 과제라 말하기는 어렵다. 특히 일화적 완충기는 용량을 측정하는 방법에 대한 명확한 합의가 이루어지지 않았으므로, 추후 선정한 과제의 신뢰도와 타당도를 입증할 수 있는 후속 연구가 필요하다.

여덟째, 본 연구는 Baddeley(2018)의 작업기억 다중요소 모델을 바탕으로 작업기억 검사도구의 개발 방향을 제시하였다. 이 모델은 2번의 수정을 거치면서 요소별 기능과 모델의 구조가 크게 변화하였는데, 이는 작업기억이 뇌와 깊은 관련이 있고 여전히 그 원리에 대한 명확한 규명이 없기 때문이다. 따라서 현재 모델을 반박하는 다른 증거가 제시되면 모델은 변화하게 되므로 검사도구 개발자와 검사자는 이러한 제한점을 유의할 필요가 있다.

마지막으로, 작업기억 검사도구 개발의 필요성은 서론에 언급한 바와 같이 작업기억 용량의 조기 진단 및 개입을 통해 아동의 학업성취도를 달성하기 위함이다. 따라서 단순히 작업기억 용량을 점수로 알리는 것이 아니라 아동의 특성과 개인차를 설명하고 학업성취의 예언 지표로 활용되어야 한다. 비록 작업기억 검사도구의 평가 절차를 자동화하더라도, 이를 활용하는 검사자는 검사도구의 이론적 근거와 제한점을 명확히 이해하고 있어야 하며, 결과를 설명할 수 있는 기본적인 소양을 갖추어야 할 것이다.

References

- Aldrich, F. K., & Wilson, B. (1991). Rivermead behavioural memory test for children (RBMT-C): A preliminary evaluation. *British Journal of Clinical Psychology*, 30(2), 161–168.

- Allen, R. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2009). Cross-modal binding and working memory. *Visual Cognition*, 17(1), 83-102.
- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92-98.
- Alloway, T. P. (2012). *Alloway working memory assessment 2 (AWMA-2)*. London: Pearson
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2013). Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(1), 84-93.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliott, J. (2008). Evaluating the validity of the automated working memory assessment. *Educational Psychology*, 28(7), 725-734.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698-1716.
- Archibald, L. M. D., & Gathercole, S. E. (2006). Short-term and working memory in specific language impairment. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 41(6), 675-693.
- Baddeley, A. D. (1966). The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 302-309.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2018). *Exploring working memory: Selected works of Alan Baddeley*. New York: Routledge/Taylor & Francis Group.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393-1400.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2009). Working memory and binding in sentence recall. *Journal of Memory and Language*, 61(3), 438-456.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 36(2), 233-252.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6), 575-589.
- Baddeley, A. D., & Wilson, B. A. (2002). Prose recall and amnesia: Implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, 40(10), 1737-1743.
- Baldo, J. V., & Dronkers, N. F. (2006). The role of inferior parietal and inferior frontal cortex in working memory. *Neuropsychology*, 20(5), 529-538.
- Bunge, S. A., & Wright, S. B. (2007). Neurodevelopmental changes in working memory and cognitive control. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 243-250.
- Cohen, M. J. (1997). *Children's memory scale*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal of Psychology*, 55(1), 75-84.

- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York, Oxford University Press.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in brain research*, 169, 323–338.
- Cowan, N., & Alloway, T. (2009). Development of working memory in childhood. In M. L. Courage & N. Cowan (Eds.), *The development of memory in infancy and childhood* (pp. 303–342). New York, NY, US: Psychology Press.
- Cowan, N., Elliott, E. M., Scott Saults, J., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., et al. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51(1), 42–100.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 331–335.
- Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology : General*, 123(4), 354–373.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786.
- Craik, F. I. M., Gardiner, J. M., & Watkins, M. J. (1970). Further evidence for a negative recency effect in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9(5), 554–560.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168.
- Drewe, E. A. (1974). The effect of type and area of brain lesion on wisconsin card sorting test performance. *Cortex*, 10(2), 159–170.
- Ellis, N. C., & Hannelly, R. A. (1980). A bilingual word-length effect: Implications for intelligence testing and the relative ease of mental calculation in Welsh and English. *British Journal of Psychology*, 71(1), 43–51.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11(1), 19–23.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *Psychology of learning and motivation*, 44, 145–200.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309–331.
- Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2014). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Memory & Cognition*, 43(2), 226–236.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265–281.
- Gooding, P. A., Isaac, C. L., & Mayes, A. R. (2005). Prose recall and amnesia: More implications for the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 43(4), 583–587.
- 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.
- Harrison, T. L., Shipstead, Z., Hicks, K. L., Hambrick, D. Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2013). Working memory training may increase working memory capacity but not fluid intelligence. *Psychological Science*, 24(12), 2409–2419.
- Heaton, R. K., & Staff, P. (1993). *Wisconsin card sorting test: Computer version-2 [computer software]*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hedden, T., & Yoon, C. (2006). Individual differences in executive processing predict susceptibility to interference in verbal working memory. *Neuropsychology*, 20(5), 511–528.
- Henry, L. A., Messer, D. J., & Nash, G. (2012). Phonological and visuospatial short-term memory in children with specific language impairment. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 11(1), 45–56.
- Holmes, J., & Gathercole, S. E. (2013). Taking working memory training from the laboratory into schools. *Educational Psychology*, 34(4), 440–450.
- Hoosain, R., & Salili, F. (1987). Language differences in pronunciation speed for numbers, digit span, and mathematical ability. *Psychologia: An International Journal of Psychology in the Orient*, 30(1), 34–38.
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G. D. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: Evidence for a long-term memory contribution to short-term memory span. *Journal of Memory and Language*, 30(6), 685–701.
- Hyman, S. E., Malenka, R. C., & Nestler, E. J. (2006). Neural mechanisms of addiction: The role of reward-related learning and memory. *Annual Review of Neuroscience*, 29(1), 565–598.
- 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.
- Jarvis, H. L., & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 123–140.
- Jeffries, S., & Everatt, J. (2004). Working memory: Its role in dyslexia and other specific learning difficulties. *Dyslexia*, 10(3), 196–214.
- Jensen, A. R., & Rohwer, W. D., Jr. (1966). The stroop color-word test: A review. *Acta Psychologica*, 25, 36–93.
- Jung, Y. S., Park, J. Y., Park, C. H. (2015). A study on automatization of covert articulatory suppression behaviors with phonological loop of working memory. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 27(2), 275–290.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169–183.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(2), 336–358.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 637–671.

- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47–70.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 189–217.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2004). *Kaufman brief intelligence test—second edition (KBIT-2)*. San Antonio, TX: Pearson Assessments
- Kosinski, M., Bayliss, M. S., Bjorner, J. B., Ware, J. E., Garber, W. H., Batenhorst, A., & Tepper, S. (2003). A six-item short-form survey for measuring headache impact: The HIT-6™. *Quality of Life Research*, 12(8), 963-974.
- Kyllonen, P. C. (1996). Is working memory capacity spearman's g? In I. Dennis & P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and measurement* (pp. 49-75). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lee, J. (2014). Task-specific and measure-dependent influence of working memory in Korean college students' English wh-question processing. *Language Research*, 50(3), 815-838.
- Lee, J., & Park, S. (2005). Working memory impairments in schizophrenia: A meta-analysis. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 599–611.
- Levy, B. A. (1971). Role of articulation in auditory and visual short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10(2), 123–132.
- Lichtenberger, E. O., & Kaufman, A. S. (2010). Kaufman assessment battery for children—second edition (KABC-II). *Encyclopedia of Cross-Cultural School Psychology*, 557-560.
- MacLeod, C. M., & Dunbar, K. (1988). Training and stroop-like interference: Evidence for a continuum of automaticity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(1), 126–135.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Milton J. Dehn. (2015). *Essentials of working memory assessment and intervention*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory*. Cambridge University Press.
- Mountain, M. A., & Snow, W. G. (1993). Wisconsin card sorting test as a measure of frontal pathology: A review. *Clinical Neuropsychologist*, 7(1), 108–118.
- Murray, A. M., Nobre, A. C., Clark, I. A., Cravo, A. M., & Stokes, M. G. (2013). Attention restores discrete items to visual short-term memory. *Psychological Science*, 24(4), 550–556.
- Parkin, A. J., Yeomans, J., & Bindschaedler, C. (1994). Further characterization of the executive memory impairment following frontal lobe lesions. *Brain and Cognition*, 26(1), 23–42.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(1), 51–87.
- Pickering, S. (2006). Assessment of working memory in children. In S. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (pp. 241-271). New York: Academic Press
- Pickering, S., Gathercole, S. E. (2001). *Working memory test battery for children (WMTB-C)*. Psychological Corporation
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli, J. D. E. (2000). Integration of diverse information

- in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience*, 3(1), 85–90.
- Quinette, P., Guillery-Girard, B., Noël, A., de la Sayette, V., Viader, F., Desgranges, B., & Eustache, F. (2006). The relationship between working memory and episodic memory disorders in transient global amnesia. *Neuropsychologia*, 44(12), 2508–2519.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., & Koeppel, R. A. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 174–187.
- Reynolds, C. R., & Bigler, E. R. (1994). *Test of memory and learning (TOMAL)*. Austin, TX: Pro-Ed.
- Rossi-Arnaud, C., Pieroni, L., Spataro, P., & Baddeley, A. (2012). Working memory and individual differences in the encoding of vertical, horizontal and diagonal symmetry. *Acta Psychologica*, 141(1), 122–132.
- Ruchkin, D. S., Berndt, R. S., Johnson, R., Jr., Grafman, J., Ritter, W., & Canoune, H. L. (1999). Lexical contributions to retention of verbal information in working memory: Event-related brain potential evidence. *Journal of Memory and Language*, 41(3), 345–364.
- Rudner, M., Fransson, P., Ingvar, M., Nyberg, L., & Rönnerberg, J. (2007). Neural representation of binding lexical signs and words in the episodic buffer of working memory. *Neuropsychologia*, 45(10), 2258–2276.
- Rypma, B., & D'Esposito, M. (1999). The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 6558–6563.
- Schmader, T., & Johns, M. (2003). Converging evidence that stereotype threat reduces working memory capacity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(3), 440–452.
- Sheslow, D., & Adams, W. (1990). *Wide range assessment of memory and learning*. Wilmington, DE: Wide Range.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33(1), 5–42.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(20), 12061–12068.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643.
- Swanson, H. L. (1994). Short-term memory and working memory. *Journal of Learning Disabilities*, 27(1), 34–50.
- Swanson, H. L., & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: Does the executive system have a role? *Intelligence*, 28(1), 1–30.
- Swanson, H. L., & Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720–734.

- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2), 127–154.
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, 37(3), 498–505.
- Velichkovsky, B. B. (2017). Consciousness and working memory: Current trends and research perspectives. *Consciousness and Cognition*, 55, 35–45.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., & Basak, C. (2004). A working memory workout: How to expand the focus of serial attention from one to four items in 10 hours or less. *Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1322–1337.
- Waters, G. S., & Caplan, D. (2003). The reliability and stability of verbal working memory measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(4), 550–564.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler intelligence scale for children-fifth edition*. Bloomington, MN: Pearson.
- Wilson, B., & Baddeley, A. (1988). Semantic, episodic, and autobiographical memory in a postmeningitic amnesic patient. *Brain and Cognition*, 8(1), 31–46.

[저자의 소속과 직위]

손태권 : 한국교원대학교, 수학교육과 박사과정, 제1저자

이광호 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자

성창근 : 선창초등학교, 교사