

시각작업기억 표상에 대한 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형 사이의 쟁점에 대한 개관*

현 주 석[†]

중앙대학교 심리학과

본 연구는 시각작업기억의 표상 특성에 대해 상반되는 주장을 펼치고 있는 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형을 개관하고, 두 모형 간 상충을 해소하기 위한 노력이 필요함을 강조하였다. 이를 위해 고정해상도 슬롯과 탄력적 자원 모형을 태동시킨 객체 및 병렬 저장 가설을 살펴보고 두 모형의 상반되는 주장에 대한 이론적 근거를 소개하였다. 다음으로 두 모형을 지지한 구체적인 연구 사례를 통해 경험적 지지 증거의 객관성을 평가하고 관련 신경생리학적 모형에 대한 이해를 시도하였다. 마지막으로 두 모형 간의 상충을 해소하기 위한 이론적 그리고 방법론적 재고와 이를 달성하기 위한 수렴적 증거 확보의 필요성을 강조하였다.

주제어 : 시각작업기억, 표상 특성, 고정해상도 슬롯 모형, 탄력적 자원 모형, 개관

* 이 논문은 2014년도 중앙대학교 연구년 결과물로 제출됨

† 교신저자: 현주석, 중앙대학교 심리학과, (06974) 서울특별시 동작구 흑석로 84
연구분야: 심리학(인지심리, 실험심리)

Tel: 02-820-5128, Fax: 02-816-5124, E-mail: jshyun@cau.ac.kr

최근 작업기억에 대한 연구 분야에서 시각작업기억 관련해 고정해상도 슬롯(fixed-resolution slot model)과 탄력적 자원 모형(flexible-resource model) 사이의 논쟁이 집중적인 관심을 받고 있다(Bays, 2015; Brady, Konkle, & Alvarez, 2011; Donkin, Tran, & Nosofsky, 2013; Luck & Vogel, 2013; Suchow, Fougner, & Brady, 2014). 두 모형은 시각작업기억에 저장되는 정보의 표상적 특성에 대해 상반되는 가설을 검증해 각자의 모형을 지지하는 경험적 증거를 제시한 바 있다. 이러한 증거 제시에 뒤이은 파생 연구들의 폭발적인 증가와 함께 특히 작업기억에 대한 이해의 중요성이 주의, 기억 및 학습 및 인지발달 등과 같은 다양한 분야에서 더더욱 강조되고 있는 현재의 인지심리학적 동향을 고려할 때 이 두 모형 간의 차이와 그 원인에 대한 이해를 시도하는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 두 모형의 정확한 이론적 배경과 현재까지 진행되어온 경험적 연구 사례 및 지지 증거를 종합적으로 개관하고 비교 분석한 국내 연구는 상당히 드문 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 1990년대 중후반부터 현재까지의 관련 국내외 핵심 연구들을 소개해 두 모형의 이론적 배경 및 쟁점에 대한 분명한 이해를 도모하고 이에 대한 경험적 지지 증거 사례를 살펴봄으로써 두 모형 간 상충의 해소를 위한 수렴적 증거 확보의 중요성을 강조하는데 목적을 두었다.

고정해상도 슬롯 및 탄력적 자원 모형의 이론적 배경과 개요

먼저 공통적으로 고정해상도 슬롯과 탄력적 자원 모형은 시각작업기억에 저장되는 정보량에 용량 제한이 있음을 가정한다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Bays & Husain, 2008; Zhang & Luck, 2008). 이는 과거 및 최근의 시각기억 연구 분야에서 시도된 무수히 많은 경험적 검증 결과에 기초해 이견이 없는 것으로 여겨진다. 예를 들어, 저장되는 기억 정보량이 시각작업기억에 비해 대용량인 것으로 추정되는 감각기억(iconic memory) 혹은 그 용량이 무한대인 것으로 가정되는 시각장기기억(visual long-term memory)에 견주어(Averbach & Coriel, 1961; Brady, Konkle, Alvarez, & Oliva, 2008; Luck & Hollingworth, 2008), 작업기억의 하위 체계인 시각작업기억은 대략 3-4개 정도의 항목만을 저장할 수 있는 것으로 보고되었다(Cowan, 2001; Luck &

Vogel, 1997). 시각작업기억의 용량 제한적 특성은 시각적 주의(visual attention)에 기초한 정보처리 및 시각적 의식 경험(conscious experience)의 제약을 예시하는 무주의 맹 혹은 변화맹(inattentive or change blindness)의 배후로 지목되면서 관련 연구에 대한 관심도가 과거에 비해 매우 높아진 상태이다(현주석, 2011; Mack, 2003; Simons & Levin, 1997; Simons, 2000).

시각작업기억의 용량 제한적 특성을 보여준 대표적인 연구들은 기억항목의 개수가 3-4개 수준에 도달할 경우 기억 수행의 현격한 저하 및 뇌피질의 반응성이 일정 수준에 머무는 것을 관찰하였다. 대표적으로 Luck과 Vogel (1997)은 기억항목의 개수 증감에 따른 기억재인 정확도를 관찰한 결과 기억항목의 개수가 네 개를 넘어서면서 기억재인 정확도가 급격히 감소하는 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 대뇌 활동에 대한 신경생리학적 관찰을 통해 그 상관성이 발견되는데 예를 들어 Todd와 Marois (2004)는 기억항목 개수 증감에 따른 뇌의 후두정피질(posterior parietal cortex)의 활성화 수준을 기능적자기공명영상법(functional magnetic resonance imaging, fMRI)을 통해 관찰한 결과 항목 개수가 네 개 이상을 넘어서면서 피질 활성화 수준이 더 이상 증가하지 않는 것을 관찰하였다. Vogel과 Machizawa (2004) 또한 기억항목이 출현한 시야의 대측 전극에서 관찰되는 사건관련전위인 대측지연활동(contralateral-delayed activity, CDA)을 측정하여 기억항목의 개수가 네 개를 넘어서면서 대측지연활동이 더 이상 증가하지 않고 일정 수준에 머무는 것을 관찰하였다.

이처럼 시각작업기억에 대한 용량 제한적 특성에 대한 수렴적 증거에도 불구하고 고정해상도 슬롯모형과 탄력적 자원모형은 시각작업기억에 저장되는 정보의 표상적 특성에 대해서 상반된 관점을 취한다. 먼저 고정해상도 슬롯모형에서는 기억에 저장되는 정보의 저장 단위가 객체(object) 단위의 개별 항목(discrete items)일 것으로 예상한다(Donkin, Nosofsky, Gold, & Shiffrin, 2013; Luck & Vogel, 2013; Rouder, Morey, Cowan, Zwillig, Morey, & Pratte, 2008; Zhang & Luck, 2008). 슬롯 모형의 출발점이 되는 객체 단위 표상을 가정한 연구들에서는, 객체는 근본적으로 시각적 세부특징들(예: 색상, 방위, 길이, 명암 및 형태 등)의 조합으로 구성되며 세부특징들 간의 단순 조합이 아닌 응집된 표상(cohesive representation)의 형태를 가진다(Vogel, Woodman, & Luck, 2001). 이와 같은 객체 표상의 장점은, 객체를 구성하는

여러 세부특징들 각각에 대한 독립적 저장이 아닌 세부특징들의 조합 혹은 결합 (conjunction or binding) 단위에 대한 저장이 가능하다는 점이다. 예를 들면 붉은 색의 수직 막대(red-colored vertical bar)라는 단일 항목을 기억에 저장하기 위해서는 색상과 방위 각각의 세부특징 차원을 대해 독립된 저장소에 표상하는 방법을 가정할 수 있는데, 객체 단위의 표상이 가능하다면 각각의 세부특징 차원이 아닌 붉은색 수직 막대 자체를 마치 하나의 세부특징처럼 단일 기억 저장소에 저장할 수 있게 된다.

객체 표상 모형은 이러한 항목 단위의 객체 표상 과정을 토대로 개별 항목을 구성하는 세부특징의 복잡성에 관계없이 항목 단위의 표상을 통해 기억 효율성을 극대화할 수 있다고 가정한다(현주석, 2009; Luck & Vogel, 1997; Vogel et al., 2001). 즉 이 모형은 항목 단위에 기초한 시각작업기억의 저장용량은 3-4개 항목 정도로 매우 제한되어 있지만 개별 기억항목을 위해 다수의 세부특징이 표상될 수 있다고 주장한다. 따라서 적어도 3-4개 기억 항목에 대한 기억 저장 효율성은 개별 기억 항목의 세부특징 개수의 증감에 관계없이 일정할 것을 예상한다¹⁾.

고정해상도 슬롯 모형에서 주장하는 슬롯의 개념은 이와 같은 객체 중심적 기억표상의 개념과 밀접하게 맞닿아 있다. 구체적으로, 고정해상도 슬롯 모형은 시각작업기억에 저장되는 정보가 표상의 기본 단위인 소수의 슬롯에 저장되며 개별 슬롯이 표상할 수 있는 정보 해상력(resolution)에 일정 수준의 한계가 있는 것으로 가정한다. 고정해상도 슬롯은 근본적으로 기존 연구에서 기억 용량의 구분 단위로 가정되었던 항목(item) 단위와 일치하는 것으로, 개별 슬롯이 표상하는 정보는 궁극적으로 기억에 저장이 요구되는 단일 항목에 해당한다. 따라서 시각작업기억의 3-4개 항목 수준의 기억 용량은 본질적으로 슬롯의 개수가 3-4개 정도로 한정된 것에 기인한 것으로 해석한다(Luck & Vogel, 2013).

1) 이는 강한 객체 가설(strong-object hypothesis)라는 명칭아래 검증이 시도되어 경험적 지지를 얻기도 하였으나(Fougnie, Asplund, & Marois, 2010) 이 가설에서 주장하는 객체 표상에 근거한 극단적 기억저장 효율성에 대해서는 다소 논란이 있었다(Wheeler & Treisman, 2002; Xu, 2002a, b). 따라서 약한 객체(weak-object) 가설 등의 대안적 모형이 제안되거나(Luck & Hollingworth, 2008; Olson & Jiang, 2002) 혹은 항목개수(number of objects)와 복잡성(object complexity)을 표상하는 피질 영역이 구분되어 있음을 시사하는 신경생리학적 증거를 토대로 절충이 시도된 바 있다(Xu & Chun, 2006).

특히 고정해상도 슬롯 모형은 개별 슬롯이 고해상도(high-resolution)의 표상 해상력을 보유한다고 가정함으로써 기억항목의 시각적 복잡성이 증가하더라도 기억 저장 효율성에는 큰 변화가 없을 것을 예상한다. 구체적으로 기억 항목들의 세부특징 개수가 증가해 시각적으로 복잡해질 경우 이를 저장하는 슬롯들의 해상력이 낮다면 기억표상 선명도의 저하가 초래된다. 이러한 저해상도 표상은 항목개수가 증가에 따른 기억부담(memory load)을 배가시키며, 단일 세부특징으로 구성된 기억항목들에 대한 기억이 요구되는 경우보다 눈에 띄게 기억 효율성을 감소시킬 것이 예상된다. 그러나 고정해상도 슬롯 모형에서는 개별 슬롯이 매우 높은 해상력에 의해 고선명도 표상이 형성되므로 기억항목의 세부특징 개수가 증가해도 기억 효율성의 감소가 크지 않다고 주장한다. 따라서 고정해상도 슬롯 모형은 앞서 세부특징 단위가 아닌 세부특징의 결합 혹은 조합 단위 즉 객체 단위의 시각작업기억 표상 형성을 주장한 연구들과 이론적 맥락에서 큰 차이가 없다²⁾.

반면 탄력적 자원 모형은 고정해상도 슬롯 모형을 태동시킨 객체 중심적 기억 표상모형과는 근본적으로 상이한 이론적 배경에 기초한다. 앞서 객체 중심적 기억 표상에 대한 연구 결과는 반복 검증의 어려움과 그에 따른 대안적 모형의 제안에 의해 그 타당성이 다소 퇴색된 바 있다(Wheeler & Treisman, 2002; Xu, 2002a, b). 이러한 문제점에 대한 반대급부로 제안된 대안적 모형 들이 주장하는 핵심 요지는, 시각작업기억에 저장이 요구되는 정보에 대한 기억 부담은 전적으로 기억 정보가 보유한 세부특징의 복잡성에 비례해 증가한다는 것이다. 자원 모형의 토대를 이루는 기억 모형들 중 대표적인 것은, 기억 정보의 세부특징 각각에 대한 개별 저장소가 반드시 필요함을 주장하는 병렬저장(parallel independent storage) 모형이 있다(Magnussen, 2000; Magnussen, Greenlee, & Thomas, 1996).

병렬저장 모형에 따르면, 기억항목의 세부특징의 개수 증가에 따른 기억항목의

2) 최초의 슬롯 모형은 개별 슬롯이 각각의 기억 항목에 대한 표상을 담당하는 것으로 가정되었으나(Zhang & Luck, 2003), 이와 같은 단독 슬롯 모형으로는 항목 개수 네 개 미만의 작업기억 과제에서 흔히 관찰되는 항목 개수 효과(setsize effect)를 설명하기 어렵다는 반론이 제기되었다. 따라서 최근에는 소수의 기억 항목들에 대한 표상이 요구될 경우 모든 슬롯 간 중첩 즉 개별 슬롯 해상력의 평균을 토대로 소수 기억 항목에 대한 극단적 해상력 확보가 가능하다는 가정하는 슬롯+평균(slot+averaging) 모형으로 보완되었다(Zhang & Luck, 2008)

복잡성 증가는 필연적으로 기억 저장소의 다양화를 요구하게 되므로 그에 따라 기억부담이 증가된다. 만약 작업기억의 기억저장소의 저장 능력(memory capacity)이 한정되어 있다면 기억 저장소의 다양화에는 한계가 있으며 따라서 단일 기억항목이라 할지라도 그것의 시각적 복잡성이 크게 증가하면 마치 기억 항목 개수 증가로 인한 경우와 동일한 양상의 기억 부담을 초래할 수 있는 것으로 가정한다 (Magnussen, 2000). 병렬저장 모형은 결과적으로 항목 개수 보다는 기억의 대상이 되는 정보의 총체적 복잡성이 현격하게 증가할 때 시각작업기억 정확도가 감소하는 것으로 해석한다.

탄력적 자원 모형의 이론적 핵심은 이러한 병렬저장 모형의 가설과 맞아떨어진다 (Alvarez & Cavanagh, 2004). 먼저 탄력적 자원 모형은 항목 단위가 아닌 기억 정보 자체의 복잡성이 기억 부담을 결정하며, 이러한 기억 부담은 복잡한 기억 정보를 표상하는 과정에서 한정된 기억 자원이 고갈되는 것에 기인하는 것으로 가정한다. 여기에서 기억 정보의 복잡성에는 기억 항목 개수의 증가뿐만 아니라 개별 기억항목의 세부특징 증가로 인한 시각적 복잡성 또한 포함된다. 따라서 탄력적 자원 모형은, 세부특징을 병렬 저장하는 기억저장소와 같은 세부적인 가정만이 제외되었을 뿐 사실상 기능적인 면에서는 기존의 병렬저장 모형과 맥락을 같이한다.

탄력적 자원모형을 고정해상도 슬롯 모형으로부터 분명하게 구분하기 위해서는 기억정보의 복잡성이 고갈시키는 한정된 기억 자원의 양상을 이해하는 것이 매우 중요하다. 먼저 탄력적 자원 모형은, 한정되었지만 연속적인 자원의 집합체(limited but continuous resource pool)를 토대로 기억 표상을 형성하고 유지하는 것이 가능함을 가정한다(Bays, Catalao, & Husain, 2009; Bays & Husain, 2008; Wilken & Ma, 2004). 이러한 자원은 기억 항목의 개수 혹은 개별 항목의 시각적 복잡성이 극단적으로 증가하게 되면 고갈에 이르게 된다. 특히 탄력적 자원 모형은, 주어진 기억 정보의 양상 즉 항목의 개수와 개별 기억 항목의 복잡성 수준을 고려해 한정된 기억 자원을 개별 기억 항목에 융통적으로 할당할 수 있음을 주장한다.

탄력적 자원 모형에 의하면 단일 혹은 소수 항목에 기억 자원을 선택적으로 집중시켜 소수 항목에 대한 극단적인 표상 선명도를 확보하는 것이 가능하다. 혹은 반대로 다수의 복잡한 기억항목들 각각에 할당될 자원량을 고르게 감소시켜 표상 선명도는 낮으나 다수의 항목을 한꺼번에 표상하는 것 또한 가능하다. 결국 자원

모형에서는 슬롯과 같은 기능적 단위의 필연적 발생보다는, 기억 자원의 탄력적 배분에 의해 경우에 따라서는 항목 개수 단위에 기초한 고선명도 표상을 시도하거나 혹은 반대로 전체 기억 항목에 대한 저선명도 표상을 시도하는 것이 모두 가능하다. 탄력적 자원 모형은 따라서 고정해상도 슬롯 모형을 지지하는 기존의 경험적 연구들에서 관찰된 소수 항목에 대한 고선명도 표상뿐만 아니라 고정해상도 슬롯 모형을 지지하지 않는 기존 연구들에서 관찰된 항목 개수 증가에 따른 표상 선명도의 점진적 저하 현상 또한 정확하게 설명할 수 있다.

이처럼 두 모형은 기억 정보의 시각적 복잡성에 대처하는 방식과 그에 따른 저장용량 제한이 초래되는 과정을 설명하는데 있어서 근본적 차이를 보임으로서 사실상 두 모형 간의 입장 차이를 절충하는 것은 쉽지 않아 보인다. 다음으로는 두 모형을 지지하는 대표적인 경험적 사례들을 살펴봄으로써, 두 모형을 지지하는 증거들의 객관성과 타당성에 대한 간략한 평가를 내려 보고자 한다.

두 모형에 대한 대표적인 경험적 연구 사례

고정 해상도 슬롯 모형의 제안 이전 많은 단기기억 혹은 작업기억 연구들은 시각작업기억을 관찰하기 위한 측정 과제로서 변화탐지 과제와 같은 단기재인(short-term recognition) 과제를 흔히 사용하였다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Luck & Vogel, 1997). 이러한 단기 재인 과제의 맹점 중 하나는 기억에 저장된 표상의 정확성을 평가하기 위해 탐사자극(probe) 제시에 기초한 재인 처리를 요구함으로써 재인의사결정 및 반응선택과 같은 추가적인 정보처리가 수반된다는 점이다(Awh, Barton, & Vogel, 2007; Hollingworth, 2003; Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, 2009; Kahana & Sekuler, 2002). 이러한 추가적인 처리과정에 대한 요구는 기억 정보 표상의 특성에 대한 독립적 관찰에 있어서 궁극적으로는 방해가 된다.

최근의 시각작업기억의 표상에 대한 연구에서는 재인과제보다는 회상과제를 사용하는 경향이 두드러진다. 회상 과제가 사용된 대표적 사례는 고정해상도 모형을 지지하는 비교적 최근의 연구에서 먼저 발견된다. 그림 1의 (가)에서 예시된 바와 같이, Zhang과 Luck (2008)은 정해진 개수의 색상 도형을 기억 항목으로 잠시 제시

한 뒤 일정한 기억지연(memory delay) 시간의 경과 후 이미 사라진 색상 도형 중 특정 항목의 색상을 색상환 상에서 선택해 회상하는 기억 과제를 실시하였다. 색상환 회상 과제(color-wheel recall task)라 명명되었던 이 과제에서는 참가자가 기억항목의 색상을 색상환 상에서 얼마나 정확하게 정밀하게 골라내는지를 측정하였다.

색상환 회상 과제를 사용한 이 연구에서는 회상 과정에서 나타나는 회상 오류(recall error)의 특성을 관찰하는데 중점을 두었다. 특히 색상환 과제는 그 특성상 색상환 상에 연속적으로 분포하는 여러 색상 들 중 회상해낸 기억 정보와 가장 일치하는 것을 고르게 되므로 기억 정확도를 측정함과 동시에 회상 오류가 발생할 경우 기억항목의 실제 색상과는 완전히 다른 범주의 색상들을 골라내는 무작위 추측성 보고(random guessing)가 수반된다. 따라서 이러한 추측 반응의 양상을 살핌으로써 기억 흔적(memory trace)이 회상 수행에 미치는 영향을 조사하는 것이 가능하다(김대규, 현주석, 2015).

특히 색상환 과제는 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형에서 서로 상반되게 예측되는 기억 오류의 속성을 구분해 내는데 있어서 매우 유용하다. 즉 이 두 모형은 기억이 요구되는 항목 개수가 매우 적어 기억 부담이 적을 경우에는 이러한 오류의 속성에 대해 큰 차이를 예상하지 않는다. 즉 세 개 정도의 기억항목에 대해서는 두 모형 모두 회상 실패 가능성이 매우 적을 것을 예상하며 따라서 회상 오류의 패턴 또한 크게 다르지 않을 것을 예상한다. 두 모형이 상반되는 예측을 하게 되는 경우는 기억 항목의 개수 증가로 인해 기억 부담이 커진 경우인데 기억 정확도 측면에서는 두 모형 모두 정확도의 감소를 분명하게 예견하지만 회상 오류의 양상에 대해서는 두 모형 간 큰 견해 차이를 보인다.

구체적으로, 고정해상도 슬롯 모형은 각각의 슬롯에 개별 항목이 표상되는 것을 원칙으로 한다. 이런 항목 단위의 슬롯 표상은 항목의 개수가 적을 때에는 큰 문제가 없지만, 그 개수가 증가할 경우 필연적으로 기억에 표상할 항목들에 대한 실무울적(all-or-nothing) 선택이 수반된다(Luck & Vogel, 2013; 현주석, 2009). 바꿔 말하면 슬롯의 개수보다 기억 항목의 개수가 크면 전체 기억 항목 중 슬롯의 개수에 해당하는 항목만큼을 무작위 선택해 기억에 표상한다고 가정한다. 이처럼 무작위 선택된 항목들은 마치 항목 개수가 매우 적을 때 각 슬롯에 표상되는 기억 항목들

처럼 고선명도 표상을 형성하게 된다. 반면에, 무작위 선택에서 배제된 잔여 항목들은 그 어떠한 기억 흔적도 남기지 않으므로 회상을 요구할 때 대개 무작위 추측에 기초한 회상 오류들로 이어지게 된다.

반면 탄력적 자원 모형은 슬롯 단위의 표상이 아닌 한정된 기억자원의 융통적 배분을 가정하므로 기억 항목 개수의 증가할 경우 슬롯의 개수 제한 등과 같은 제약은 발생하지 않는다. 다만 이 모형은 항목 개수의 극단적 증가에 대한 가장 효과적 대처로서 개별 항목에 대한 기억 자원의 균등 배분을 가정한다. 따라서 탄력적 자원 모형은 기억 항목 개수가 증가해도 모든 기억 항목에 대한 표상 시도가 가능하며 기억항목에 대한 기억 흔적이 어느 정도 남아있을 것을 예측한다(Luck & Vogel, 2013).

여기서 자원의 균등 배분이라는 탄력적 자원 모형의 표상 방식은 개별 기억 항목의 표상 선명도의 상대적 저하라는 교환대가(trade-off)를 지불한다. 즉 기억 표상을 형성하고 유지하기 위한 기억자원이 한정되어 있으므로, 기억 항목 개수가 증가하면 개별 기억항목에 분배되는 자원량은 그에 따라 점차 감소하며 따라서 소수의 고선명도 기억 표상에 기초한 매우 선명한 회상(precise recall)은 현실적으로 어려운 것을 예상한다. 결과적으로 탄력적 자원 모형에서 예측하는 대다수의 회상 오류는 기억항목 증가에 따라 그 교환 대가로 치르게 되는 개별 기억 표상의 선명도 저하에 의한 것으로 설명된다.

따라서 탄력적 자원 모형은 색상환 회상 과제 수행 시 기억 항목을 선택하는 과정에서 회상 오류의 패턴 면에서 고정해상도 슬롯 모형과 분명한 차이를 보일 것을 예상한다. 구체적으로, 고정해상도 슬롯 모형의 경우 기억 항목 개수가 증가하면 선택된 소수의 고선명도 표상만이 슬롯에 저장되고 나머지 항목은 유실되므로 앞서 언급한 바와 같이 회상 오류는 대개 기억 흔적이 전혀 남아 있지 않은 항목들에 대한 무작위 추측 반응들이다. 따라서 색상환 과제에서 관찰되는 회상 선택 반응은 실제 기억항목으로 제시되었던 색상의 위치를 분명하게 선택하거나 아니면 나머지 색상 들 중 하나를 무작위로 선택하는 패턴이 대다수를 이루게 된다.

반면 탄력적 자원 모형의 경우, 기억 항목의 개수가 증가하면 개별 기억 항목 모두에 대한 표상이 시도되긴 하나 그 반대급부로 표상 선명도의 상대적 감소가 초래된다. 결정적으로, 이러한 선명도의 점진적 감소는 항목 개수의 증가에 따른

회상 오류의 증가로 이어지긴 하나, 오류 자체는 기억에 없는 항목에 대한 무작위 추측이 아닌 저선명도의 기억 표상에 기초한 체계적 오류로 이어진다. 즉 탄력적 자원 모형은 대부분의 색상 선택 반응이 기억 항목으로 실제 제시되었던 색상과 유사한 색상을 중심으로 나타날 것을 예상하며 항목 개수의 증가의 영향력은 다만 이러한 유사한 색상을 선택할 확률만을 점진적으로 감소시킬 것을 예상한다.

이러한 두 모형의 예측에 근거한 최근의 연구들은 각자의 가설을 지지하는 상이한 결과를 보고하였다. Zhang과 Luck (2008)은 먼저 단순 색상환 과제에서의 회상 선택 반응에 대해 고정해상도 슬롯 모형에 근거해 두 가지 회상 선택 반응의 확률 분포함수를 가정하였다. 그림 1의 (나)에 예시된 바와 같이, 첫 번째 한 가지는 기억 항목이 시각작업기억에 분명하게 표상되어 성공적인 회상으로 이어질 경우의 회상 확률 분포인 P_m (probability of recalling in-memory items)인데 이는 기억항목을 중심으로 반응이 밀집되는 가우시안(Gaussian) 분포 형태를 이룰 것으로 가정되었다. 다른 한 가지는 기억항목이 슬롯에 표상되지 못해 기억 흔적을 전혀 남기지 못한 경우의 회상 확률 분포인 $P_{not-in-memory}$ (probability of recalling items not in memory)인데, 기억 흔적이 없을 경우 색상환 상의 색상들에 대한 무작위 회상 선택이 예상되므로 색상환 상의 모든 범위에 대해 일정한 회상 확률을 보이는 편평한 형태(flat)의 분포 패턴을 이룰 것으로 가정되었다.

Zhang과 Luck은 이 두 분포의 혼합된 확률 분포 함수 즉 혼합 모형(mixture model)을 제안하고 이에 기초한 확률 분포함수 패턴이 색상환 과제에서 실제 관찰된 회상 선택 반응 분포의 패턴과 일치할 것을 예상하였다. 그 일치 여부를 검증하기 위해 혼합 모형에 기초한 이론적 확률분포함수에서 두 가지 매개 변수에 초점을 맞추었는데 그 중 첫째는 혼합 모형에서 P_m 이 구성하는 가우시안 분포의 정점(peak)에 해당하는 단일 확률값으로서 개별 항목 개수 조건에서 기억 정확도를 반영하는 것으로 가정되었다. 따라서 항목 개수의 증가에 따라 기억이 어려워질 경우 P_m 의 높이가 점차 낮아지고 반대로 $P_{not-in-memory}$ 의 높이는 높아질 것을 예상했다. 둘째는, 혼합 모형의 확률 분포함수에서 P_m 이 구성하는 가우시안 분포 부분의 편차를 반영한 변산성 지표인 s.d.(standard deviation of recall probability function)이다.

여기에서 고정해상도 슬롯 모형은 매우 중요한 예측을 하는데, 이는 기억 항목 개수의 증가에 영향을 받지 않는 s.d.의 항상성(constancy)이다. 예를 들어, 기억항목

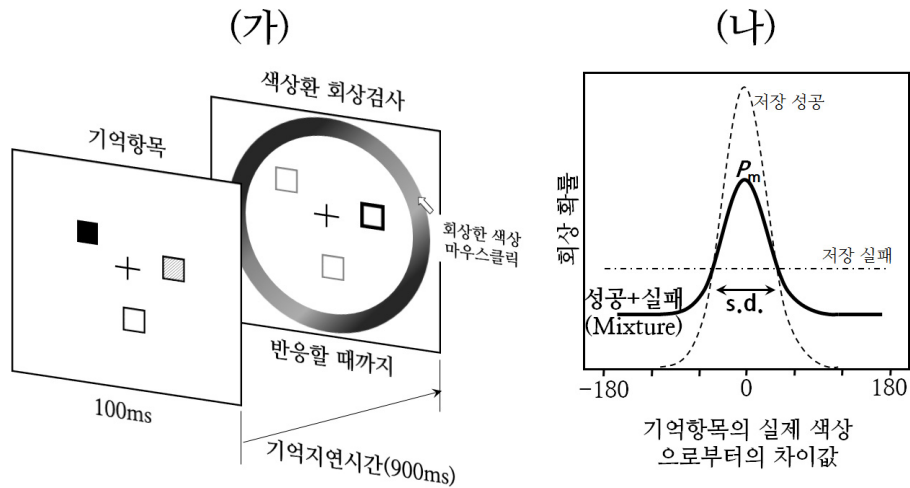


그림 1. (가) Zhang과 Luck (2008)의 실험 1에서 사용된 색상환 회상 과제의 자극과 절차. 참가자는 순간 노출된 1, 2, 3 혹은 6개의 색상 도형을 기억하고 난 뒤 일정 기억지연시간이 경과하면, 단서(검은색 사각형) 위치에 제시되었던 항목의 색상을 색상환 상에서 마우스 클릭해 보고했다. 해당 항목이 성공적으로 기억에 저장되었으면 색상환 상에서 해당 기억 항목의 색상을 정확하게 선택할 것이 예상되었으며, 저장에 실패했을 경우 무작위 색상 선택이 예상되었다. (나) 혼합모형(mixture)의 구성 원리. 도표의 세로축의 경우는 실제 제시되었던 색상(0)을 기준으로 참가자가 회상선택 보고한 색상간의 거리(차이값)를 의미하며, 가로축은 그에 따른 회상 확률을 나타낸다. 도표의 가시 점선 중 가우시안(Gaussian) 형태의 분포는 기억항목이 성공적으로 시각작업에 저장되었을 경우의 회상 확률 분포를 나타내며, 하단의 편평한 분포는 저장에 실패한 항목에 해당 회상을 요구했을 시 회상확률분포(무작위 선택)를 나타낸다. 실선의 확률분포는 두 경우를 혼합에 기초한 최종적인 회상 확률 분포를 나타낸다. P_m 은 저장 성공 시 회상 확률 분포의 정점(peak) 확률에 해당되며, s.d.는 혼합 모형의 가우시안 분포에 해당되는 부분의 표준편차에 해당된다. 회상 정확도는 P_m 에 의해, 회상된 표상의 선명도(precision)는 s.d.에 의해 측정된다(위의 두 그림은 원저자의 동의하에 재구성한 것임을 밝혀둔다).

이 기억에 표상되긴 했으나 표상 선명도가 낮다면 참가자는 기억항목으로 실제 제시되었던 색상과 유사한 색상을 선택하되 회상 반응의 정밀도(precision)의 저하에 의해 P_m 이 구성하는 가우시안 분포의 s.d.는 증가할 가능성이 크다. 이 예상과 달리, 고정해상도 슬롯 모형은 기억항목이 일정 수준의 해상도를 보유한 슬롯에 저

장될 것을 가정하므로 기억 저장에 성공한 항목들의 경우 표상 선명도는 일정하며 따라서 P_m 이 구성하는 가우시안 분포의 s.d.에는 기억 항목의 개수가 증가해도 큰 변화가 없을 것을 예상한다. 일련의 실험을 통해 Zhang과 Luck은 기억 항목 개수의 증가함에도 불구하고 s.d.가 비교적 일정한 것을 관찰하였으며, 이러한 결과는 고정해상도 슬롯 모형을 지지하는 강력한 증거로 해석되었다(Zhang & Luck, 2008, 2009).

반면 기억항목의 개수 증가에 따른 s.d.의 변화에 대해 탄력적 자원모형은 고정해상도 슬롯 모형과 매우 다른 결과를 예측한다. 탄력적 자원 모형은 기억항목의 개수가 증가하면 모든 항목이 기억에 저장되긴 하되 개별 항목에 할당되는 기억 자원이 상대적으로 감소되므로 회상 과정에 사용되는 기억 항목의 표상 선명도는 항목 개수의 증가에 비례해 점차 낮아질 것을 예상한다. 따라서 기억 항목 증가에 따른 회상 선택 오류는 기억 표상의 완벽한 부재로 인한 무작위 추측이 아니라, 어느 정도의 흔적이 남아 있는 기억 항목의 표상 선명도를 토대로 한 비교적 체계적인 회상 오류의 형태로 나타날 수 있다고 가정한다.

바꿔 말하면, 참가자의 회상 반응에는 무작위 추측이 가능할 수 있으나 대개 실제 제시되었던 기억 항목의 색상 범주를 기준으로 회상 반응이 산출된다. 다만 기억 항목의 개수가 증가하면 기억 표상의 선명도가 점차 낮아지므로, 기억 항목의 바로 그 색상 보다는 그 주변의 유사 색상을 빈번하게 선택할 것이 예상된다. 결과적으로 탄력적 자원 모형은 기억 항목의 개수가 증가할 경우 회상 확률 분포의 변산성 지표인 s.d.가 그에 비례해 증가할 것을 예상한다. Bays와 Husain (2008)은 일련의 실험을 통해 이러한 예측과 일치하는 결과를 관찰하였으며, 이는 고정해상도 슬롯 모형을 반박하고 탄력적 자원 모형을 지지하는 결정적인 증거로 해석되었다(Bays et al., 2009; Bays & Husain, 2008).

고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형에 대한 직접적인 검증 사례로 구분되기는 어려우나 이 두 모형의 개념적 차이를 예시하는 연구는 주의 및 장기기억 연구 분야에서도 발견된다. 특정 기억 표상에 대한 초점 주의 집중이 초래하는 기억 수행의 변화는 여러 연구에 걸쳐 그 가능성이 검증된 바 있다(Griffin & Nobre, 2003, 2012, 2013; Matsukura, Cosman, Ropper, Vatterott, & Vecera, 2014; Matsukura & Vecera, 2015; Schmidt, Vogel, Woodman, & Luck, 2002; Souza, Rerko, & Oberauer, 2014;

Souza, Rerko, Lin, & Oberauer, 2014; van Moorselaar, Battistoni, Theeuwes, & Olivers, 2015). 이러한 맥락에 기초해 주의에 의한 기억 수행 향상에 대한 관찰을 시도한 모형검증 연구들은 그들의 모형이 가정하는 주요 매개 변수들이 초점 주의 부여에 의해 어떻게 변화될 것인가를 예측하는 데에 중점을 두었다. 예를 들어 Souza 등 (2014a)은 색상환 과제에서 단서 출현 이후 기억 검사를 위한 색상환의 출현을 지연시키는 조건을 추가할 경우 지연 시간 동안 기억 표상에 대한 주의 집중이 촉발될 것을 예상하였다. 그들은 촉발된 초점 주의에 의해 기억 수행이 변화할 경우 기존의 시각작업기억 표상 모형 검증에 사용된 수리적 모형의 매개 변수가 변화할 것을 예측하였다.

이와 같은 매개 변수 추정의 배경이 된 모형은 근본적으로는 고정해상도 슬롯 모형의 검증에 사용된 혼합 모형이었으나 분명한 차이가 있다면 탄력적 자원 모형에서 중요하게 부각된 공간 정보의 중요성이다. Souza 등(2014a)은 무엇보다도 세부 특징만을 표상하는 저장소뿐만 아니라 항목의 위치를 표상하는 저장소를 가정했다. 이러한 가정에 기초해 색상환 과제의 회상 수행 결과를 분석한 결과 혼합 모형이 예측한 결과를 반복 검증함과 동시에 주의 집중이 촉발된 단서 지연 조건에서 항목위치 오류(transpositional error)가 감소한 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 초점 주의의 개입이 기존 모형 검증 연구에서 관찰된 상이한 결과에 대한 배경일 가능성을 시사함으로써 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형 사이의 상충의 해소 가능성을 시사하는 매우 중요한 발견으로 평가될 수 있다.

고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형은 장기기억에 대한 이해 과정에서도 그 흔적이 발견되는데 이와 관련된 일련의 연구는 장기기억에 저장된 정보의 표상 특성 또한 이 두 모형의 관점에서 이해될 필요가 있음을 강조하였다(Brady, Konkle, Gill, Oliva, & Alvarez, 2013; Brady et al., 2008). 예를 들어 Brady 등(2013)은 일상생활의 사물들에 대한 장기기억 표상의 선명도를 측정할 결과 시각작업기억과 시각장기기억의 표상 선명도 사이에 큰 차이가 없음을 발견하였다. 이 결과는 두 모형간의 상충에 대한 절충에 도움이 되었다기 보다는 두 모형의 쟁점이 되었던 표상 선명도의 개념을 장기기억의 표상 특성을 규명하는데 적용한 매우 창의적인 사례로 평가될 수 있다. 이처럼 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형은 상충되는 이론적 배경과 쟁점에도 불구하고 인간의 인지 기능 전반에 대한 이해에 중요한

단서들을 제공한 것이 발견된다. 그럼에도 불구하고 두 모형 간 시각작업기억의 표상 특성에 대한 근본적 견해 차이는 아직까지 좁혀지지 않은 것으로 보이며 따라서 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형을 지지하는 기존 연구에서 간과된 점들에 대한 재고는 불가피한 것으로 판단된다.

두 모형 간의 상충되는 결과에 대한 재고

고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형에 대한 지지 증거를 제공한 것으로 간주되는 앞서 두 대표적 연구 사례와 일련의 파생 연구들은 외형적으로는 동일해 보이는 회상 과제 패러다임을 사용했으나 사용된 자극과 모형 검증 과정에서 사용된 배경 모형의 논리와 근거는 서로 상당한 차이를 보인다. 먼저 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형을 지지한 두 대표 연구는 회상 과제에 사용된 자극 차원에서 분명한 차이를 보인다. 예를 들어, Zhang과 Luck은 대다수의 고정해상도 슬롯 모형을 지지하는 결과를 도출한 그들의 실험에서 단순 색상 도형을 사용한 색상환 회상 과제를 사용했다(Zhang & Luck, 2008, 2009). 물론 형태 자극을 사용한 추가 실험에서 색상 도형의 결과와 동일한 결과를 얻기는 하였으나, 그 후의 파생 연구를 통해서도 짐작할 수 있듯이 색상 세부특징에 대한 기억 여부 및 표상 선명도의 관찰에 중점을 두었다는 점에서는 의심의 여지가 없다.

반면 탄력적 자원 모형을 지지하는 일련의 연구들은 Zhang과 Luck이 사용한 색상 자극이 아닌 방위 및 위치 자극을 주로 사용했으며(Bays & Husain, 2008; Van den Berg, Shin, Chou, George, & Ma, 2012), 색상 도형에 대한 회상 과제를 시도한 관련 실험에서 Zhang과 Luck의 색상환 과제를 직접 사용한 경우는 흔치 않다(Bays et al., 2009). 이처럼 Zhang과 Luck의 연구에서 사용된 색상환 과제에 기초한 반복 검증을 시도한 연구들이 상대적으로 드문 것은, 두 모형간의 상충에 기초한 양측 진영의 극단적 대립을 고려할 때 다소 의외라 판단된다.

극단적인 양상을 보이는 두 모형 간의 간극을 좁히기 위해서는 먼저 그들의 연구에 사용된 자극 정보의 표상 과정에서 예상되는 기억 책략의 개입 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 먼저 고정해상도 슬롯 모형을 지지한 대표적 연구들은 색상

이라는 분명히 범주화가 가능한 자극을 사용함으로써, 범주화 채택 시도로 인한 기억 부호화(memory encoding) 과정 및 기억 공고화(VWM consolidation) 과정에서의 이득이 예상된다(Vogel, Woodman, & Luck, 2006; Woodman & Vogel, 2005). 구체적으로, 색상 자극에 대한 부호화 과정에서는 둘 이상의 기억항목 간 색상 대비(color contrast)를 단서로 사용한 국소적 집단화를 시도함으로써 맥락 정보의 구성이 가능하다(Jiang, Olson, & Chun, 2000; Lin & Luck, 2009; Woodman, Vecera, & Luck, 2003).

탄력적 자원 모형을 지지한 대표적 연구들 또한 방위 혹은 위치 자극을 사용함으로써 고정해상도 슬롯 모형을 지지한 연구들이 가진 국소적 집단화의 문제점을 그들의 실험에 그대로 내포하고 있다. 예를 들어, 방위 막대와 같은 자극들은 항목 개수가 현격하게 증가할 경우 둘 이상의 인접한 자극에 대한 국소적 집단화에 의해 문양(pattern) 자극으로 부호화가 가능하다. 기억 항목의 위치를 기억하는 과제 또한 해당 항목들의 위치에 대한 국소적 집단화 채택이나 전체 및 국소 위치들(coarse or local positions)에 대한 단계적 부호화 당연히 가능할 것으로 예상된다(Thiele, Pratte, & Jeffrey, 2011). 이러한 다양한 채택의 시용은 기억 수행의 변화로 오인될 수 있는 감각적 혹은 지각적(sensory and perceptual) 수준의 정보처리에 영향을 미치므로 관찰 결과의 오염(confounding)으로 이어질 가능성이 매우 크다.

이러한 부호화 채택의 배경이 될 만한 감각적 정보의 존재를 시사하는 연구는 비교적 어렵지 않게 발견된다. 예를 들어 Brady와 Alvarez (2011)는 기억항목들 간에 걸친 세부특징 차원값(feature value)의 평균치 같은 전역표상(global representation) 정보 혹은 총체적 통계치(ensemble statistics)가 기억 수행을 편향시키는 것을 관찰하였으며 이러한 전역 정보를 통제했을 때 기억 수행이 분명하게 저하되는 것을 관찰하였다(Brady & Alvarez, 2014). 이와 같은 전역 정보는 감각적 부호화 및 공고화 과정에서 형성될 가능성이 있으며 의식적 인지 여부에 따라 변화탐지 혹은 회상 과제에서 기억 수행의 촉진으로 이어질 수 있다(Bengson & Luck, in press). 그와 같은 영향력에도 불구하고 전역 정보에 대한 통제 혹은 세부적 관찰은 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형에 대한 검증 과정에서 배제된 감이 없지 않으므로 두 모형 간의 상이한 결과를 정확히 이해하기 위해서는 이에 대한 규명이 병행되어야 할 필요가 있다. 특히 두 모형에 대한 검증 과정에서 사용되었던 자극과 과제의 감각적 특성과 기억 과제의 양상에 주요 연구들에 걸쳐 다양한 차이가 있었음을

고려할 때 그 중요성은 더욱 크다고 볼 수 있다.

자극이나 과제 차원의 차이뿐만 아니라, 두 모형의 이론적 근간을 이루는 신경생리학적 모형에는 더욱 극단적인 차이가 존재한다. 고정해상도 슬롯 모형의 경우 시각작업기억 표상 과정은 신경 세포군의 동기화된 발화 과정(synchronized firing)에서 발현되는 조율(tuning)의 완성으로 가정하고 있으며(Engel, Kreiter, Knig, & Singer, 1991; Luck & Vogel, 2013; Vogel et al., 2001) 이와 같은 조율의 완성이 작업기억 공고화(working memory consolidation)의 근원인 것으로 예상하고 있다(Vogel et al., 2006). 이 조율에는 근본적으로 동기화의 시간적 해상력(temporal resolution) 한계로 인해 기억이 요구되는 항목의 개수가 증가하면 필연적으로 표상 해상력의 한계에 도달하는데 이러한 한계를 극복하기 위한 항목단위의 선택적 부호화 및 유지가 반드시 필요하다고 가정한다.

반면 탄력적 자원 모형의 경우는, 기억 항목의 시각적 특성이 발화시키는 여러 피질 영역의 전집 부호화(population coding) 기제가 작업기억 표상 과정의 신경생리학적 기제인 것으로 가정한다(Bays, 2015). 따라서 현재까지 경험적 검증이 쉽지 않은 동기화 모형을 차용하기 보다는 기억 항목의 세부특징 각각을 담당하는 개별 세포군의 독립적 발화 상태를 모두 합산(pooling)한 결과를 토대로(예: 개별 조율 곡선들의 평균에 기초한 조율 곡선) 기억 정보의 해상력이 결정됨을 가정한다(Bays, 2015; Luck & Vogel, 2013). 따라서 고정해상도 슬롯과 같은 항목 단위의 동기화에 기초한 신경생리학적 조율 기제를 가정하고 있지 않으며, 개별 신경세포 혹은 세포군의 총체적 발화에 기반을 둔 조율 현상인 정상화(normalization) 기제에 의해 기억 정보가 표상됨을 가정한다(Ma, Husain, & Bays, 2014; Van den Berg & Ma, 2014).

논의적인 관점에서, 두 신경생리학적 모형은 근본적으로는 고전적 표상 논쟁인 상징론(symbolism)과 연결주의(connectionism) 간의 개념적 대립과 매우 유사한 측면이 있다(Abrahamson & Bechtel, 2006; Anderson, 2007). 구체적으로, 동기화 모형은, 신경 세포들의 동기화 과정을 통해 감각 정보에 대한 선택적 부호화 및 조직화가 가능해 지며 그 과정에서 상징적 수준의 소수 기억 표상으로의 선택적인 표상 전환이 가능함을 시사한다. 따라서 이러한 표상 전환 과정에서 예상되는 슬롯과 같은 단속적 표상(discrete representation) 단위 출현은 전혀 이상할 것이 없다. 반면 전집 부호화에 의한 정상화 기제는 근본적으로는 입력된 감각정보 전체를 신경망이 표

상하는 과정(예: 전집 부호화)에서 감각 정보의 시각적 복잡성에 비례해 기하급수적으로 증가하는 잡음과 그로 인한 신경망의 정보 해상력의 한계에 의해 연속적인(continuous) 기억 부담이 결정됨을 가정하므로 사실상 슬롯과 같은 단속적 표상 단위의 출현을 가정하는 것이 이론적으로 불가능하다.

물론 신경생리학적 증거에 대한 탐색은 제안된 모형의 객관성과 타당성을 확보하기 위한 매우 중요한 작업이다. 그러나 최근 연구에서는 신경생리학적 근거를 먼저 탐색하기 보다는 합당한 신경생리학적 모형 자체를 신경망 모형으로 구현해 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형의 타당성을 평가하려는 시도 또한 발견된다. 예를 들어 Johnson, Simmering과 Buss (2014)는 역동장 이론(dynamic field theory)에 기초해 세 개의 층으로 구성된 신경망을 구성했으며 이 신경망을 토대로 시각 작업기억의 부호화, 유지 및 비교, 반응의사결정과 같은 일련의 기억처리 과정에 대한 모사(simulation)를 시도하였다. 그들이 구성한 신경망은 시각 자극의 세부특징 차원에서 양적 정의된 입력치를 첫 번째 층에서 표상하고 이와 연결된 두 번째 층에서 억제 신호를 첫 번째 층으로 전달해 입력치들 간의 국소적 정점(local excitatory peak)을 구분한다. 이 과정에 측면억제(lateral inhibition) 및 전역 억제(global inhibition) 기제를 부가함으로써 기억 표상의 지속적 유지 및 소멸이 가능토록 처리하였다. 특히 그들의 신경망 모형은 특정 위치의 국소적 정점이 상대적으로 다른 위치의 정점들 보다 높을 경우 이 정점의 활성화 수준이 측면 및 전역 억제에 기초한 승자독식(winner-takes-all)의 원리에 따라 그 정점 수준이 지속 유지되도록 설계되었다. 따라서 이는 감각 입력에 대한 유지 기능을 담당하는 작업기억의 정보 처리 양상을 그대로 반영한다. 마지막 세 번째 층에서는 두 하위 층의 활성화 패턴을 토대로 반응 산출과 관련된 의사결정 연산을 수행하게 되며 변화탐지나 재인, 회상 등과 같은 행동적 기억 수행의 최종 결과물을 산출하게 된다.

역동장 이론에 기초한 Johnson 등의 신경망 모형은 무엇보다도 시각작업기억 정보처리 과정의 특성에 집중함으로써 표상 논쟁에 국한되어 한계점을 드러낸 기존의 고정해상도 모형과 탄력적 자원모형의 제약을 다소 해소시킨 데에 있다. 특히 이들의 신경망 모형은 기억 표상을 저장하고 유지 및 활용하는 과정 전반에 대한 단계적 규명을 시도함으로써 고정해상도 모형과 탄력적 자원 모형 간 상이한 주장은 이러한 단계적 처리 과정에 대한 정확한 이해의 부족이 원인일 가능성을 시사

하였다. 또한 그들의 신경망이 색상환 회상 과제뿐만 아니라 변화탐지 과제와 같은 비교적 잘 알려진 기억재인 과제에서의 수행 특성 양 자를 모두 잘 설명 가능했다는 점은 모형의 신뢰성 및 검증 결과의 타당성 측면에서 매우 주목할 만한 점이다. 그럼에도 불구하고 역동장 이론에 근거한 Johnson 등의 신경망 모형은 단일 세부특징 기억항목에 대한 기억 수행에 대한 예측만이 가능했으며 결합 세부특징 기억항목에 대해서는 시공간적 주의의 개입 필요성을 이론적으로 가정하는 수준에 그쳤다. 따라서 기존의 고정해상도 슬롯 및 탄력적 자원 모형에 대한 행동적 검증 과정에서 드러난 한계점을 그대로 답습한 것으로 평가된다.

종합해 볼 때 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형은 경험적 증거 확보를 위한 실험에 사용된 자극이나 혹은 측정 과제 차이만이 아니라 이를 통해 확보된 실험 결과를 분석하기 위한 수리 모형의 근간이 되는 신경생리학적 모형과 그러한 모형에 대한 선택의 인지심리학적 배경 자체가 매우 상이하다. 이러한 차이는 관찰된 실험 결과에 대한 분석 과정에서 사용되는 수리 모형들의 매개 변수를 추정하는 과정에 사용되는 핵심 가정들의 차이를 의미하며, 결과적으로 두 모형 간 모형 적합도 검증 과정에서 편파적인 해석을 초래했을 가능성이 매우 컸던 것으로 짐작된다. 따라서 이론적 근간을 이루는 신경생리학적 모형이나 그에 대한 경험적 증거의 다수 확보를 통해 두 모형에 대한 검증 절차의 근간을 이루는 정확한 이론적, 수리적 모형을 먼저 정립하는 것이 매우 중요할 수 있다.

두 모형 간의 절충을 위한 향후 경험적 연구의 방향

고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형은 시각작업기억의 표상 특성을 규명한다는 매우 중요한 목표를 가지고 있음에도 두 모형을 지지하는 연구들의 기본 가정과 검증 절차상의 미묘한 차이로 인해 사실상 둘 간의 간극을 좁히기 어려운 상황이다. 이에 본 연구에서는 두 모형 간의 상충을 해소하기 위한 몇 가지 중요한 경험적 연구의 방향을 제안한다.

첫째, 앞서 두 모형을 지지하기 위한 경험적 연구들에 사용된 자극과 회상 과제가 다소 차이가 있음을 소개한 바 있다. 이러한 일관되지 못한 경험적 검증 방식

의 차이는 동일하거나 유사한 자극과 실험적 처치에 기초한 반복 검증(replication)이 반드시 요구되는 과학적 이론의 검증 원리에 위배되는 것으로 그 문제점이 매우 크다고 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 서로의 경험적 검증에 사용된 실험 자극과 처치와 가급적 동일한 자극 및 처치를 사용해 반복 검증을 먼저 시도하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어, Zhang과 Luck (2008)은 결과의 일반화를 위해 색상 자극이 아닌 형태 자극을 사용해 고정해상도 슬롯 모형에 대한 추가 검증을 시도했으나, 사실상 탄력적 자원 모형을 지지하는 연구들에서 사용된 방위나 위치 자극과는 동일한 자극이 아니었음은 부정할 수 없다. 또한 탄력적 자원 모형을 지지하는 대표적 연구에서는 외형적으로는 색상에 대한 회상 과제를 사용했으나 엄밀히 말하면 색상환 회상과제가 아닌 항목자체에 대한 재현(reproduction) 과제를 사용했다(Van den Berg et al., 2012). 두 모형을 각각 지지하는 경험적 연구 결과들에는 이처럼 서로의 경험적 검증 방식의 세부적인 차이가 전혀 고려되지 않았으며 이러한 차이로 인한 문제점을 다룬 경험적 연구나 이론적 비판은 현재까지 매우 부족한 것으로 판단된다(Bays et al., 2009; Thiele et al., 2011).

두 번째는, 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형에 대한 수리적 모형의 배경이 되는 신경생리학적 모형에 대한 재고이다. 두 모형을 지지하는 연구들은 모형 검증을 위한 수리적 모형의 정립 단계부터 매우 큰 관점의 차이를 보이는데 이러한 근본적인 관점 차이를 토대로 각자의 경험적 연구 결과에 대한 검증과 해석이 시도되는 것은 궁극적으로 두 모형간의 간극을 좁히는 것이 불가능함을 의미한다. 두 모형과 관련된 기존 연구에서는 비교적 이론적 근거가 탄탄한 동기화 가설이나 전집부호화 가설 등을 토대로 다양한 모형 검증이 시도되어 왔으나, 사실상 두 신경생리학적 가설 모두 아직 신경생리학 분야에서 완벽한 경험적 증거가 축적된 상황은 아닌 것으로 판단된다(Luck & Vogel, 2013).

특히 두 모형에 대한 검증 과정에서 축적된 행동적 자료 및 이를 설명하기 위한 수리적 모형 그리고 신경생리학적 관찰 결과 간의 상호 관련성을 조사하는 연구들은 앞서 소개된 역동장 이론 등에 기초한 경험적 연구를 제외하고는 아직까지 이론적 수준에 머물고 있다. 다만 이러한 문제점에 대한 인식과 추가 연구에 대한 시도들이 발견되는 것은 매우 긍정적인 현상으로 평가되며, 그에 따른 다양한 배경의 연구자들 참여에 기초한 수렴적 검증 시도 및 논의에 대한 노력이 반드시 수

반되어야 할 것으로 예상된다(Suchow et al., 2014; Wei, Wang, & Wang, 2012; Xu & Chun, 2006).

마지막으로, 고정해상도 슬롯 및 탄력적 자원 모형과 같은 침해한 모형 검증을 통해 과연 인간의 시각작업기억 및 더 나아가 기억 현상 일반에 대해 어떠한 시사점을 얻을 것인가에 대한 분명한 조망이 필요할 것으로 판단된다. 현재까지 두 모형간의 대립은 극단적인 이론적 상충과 그에 따른 논쟁에 국한되어 사실상 그 검증결과가 어떠한 일반적인 시사점을 제공할 것인가에 대한 심각한 고민이 배제되었던 것이 사실이다. 구체적으로 고정해상도 슬롯 모형에는, 슬롯에 저장되는 정보의 선택 과정에 대한 핵심적인 설명이 결여되어 있다(Zhang & Luck, 2008, 2009). 이러한 설명은 주의 및 의식과 같은 인간의 고등 인지기능과 직접적으로 맞닿아 있는 매우 중요한 것임에도 불구하고 사실상 고정해상도 슬롯 모형을 지지하는 다양한 연구들에서 그 필요성이 분명하게 강조되지 않은 것으로 판단된다. 탄력적 자원모형의 경우 또한 경험적 관찰 결과에 대해 모형의 설명력만을 확보하는데 지나치게 치중해온 느낌이 없지 않으며(Bays et al., 2009; Huang, 2010; Orhan & Ma, 2015; Van den Berg & Ma, 2014; Van den Berg et al., 2012) 슬롯과 같은 지극히 분명한 심리적 표상 특질의 발생이 왜 잘못되었는지에 대한 지극히 당연하고도 근본적인 심리학적 논의와 해석이 결여되어 있다.

특히 자극 현출성에 따른 시각적 주의의 개입 및 그에 따른 선별적 기억 파지는 인간의 의식이 유지되고 더 나아가 장기 기억 형성 및 학습에 영향을 미치는 매우 중요한 정보처리 과정이다(VanRullen & Koch, 2003; Wolfe, Horowitz, & Michod, 2007; Chun & Turk-Browne, 2007). 그럼에도 불구하고 그 중요성에 상응하는 경험적 관찰 시도는 그다지 빈번하지 않았던 것으로 판단된다. 예를 들어 시각장면에 존재하는 서로 다른 자극의 시각적 현출성(visual saliency) 정도는 다수의 자극 중 기억에 파지될 정보를 우선적으로 선택하는 과정에 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 시각장면의 복잡성으로 인해 기억부담이 증가된 상태에서 초래되는 특이한 시각경험(예: 변화맹)을 이해하는 데에는 이러한 현출성이 시각작업기억에 미치는 영향을 밝히는 것이 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 이러한 영향력을 조사한 연구는 주의가 도약안구운동이나 시각탐색에 미치는 영향에 대한 연구들에 비해 그 빈도가 극히 드문 상황이다(Fine & Minnery, 2009; Stirck & Underwood, 2007).

특히 고정해상도 슬롯과 탄력적 자원 모형 모두 기억항목의 복잡성을 표상하는 방식에 있어서 각 모형의 핵심 가설에 기초한 분명한 예측을 하고 있음에도 불구하고 그에 상응하는 경험적 검증 시도는 아직까지 매우 부족하다. 예를 들어 세부 특징의 조합 및 결합(conjunction or binding)을 표상하는 방식 혹은 극단적인 시각적 복잡성을 가지는 일상생활의 자극 등에 대해 두 모형은 분명히 상반되는 예측을 하고 있다. 그럼에도 불구하고 현재까지의 관련 연구들은 대부분 단일 세부특징에 기초한 검증들에 그 범위를 국한한 것이 발견된다(Bays & Husain, 2008; Donkin, Nosofsky, et al., 2013; Zhang & Luck, 2008; Johnson et al., 2014). 이에 대한 경험적 검증 시도는 또한 서두에 소개된 객체중심적 혹은 세부특징 병렬저장 모형 간 간극의 해소와 맞닿아 있음을 고려할 때 그 중요성은 더욱 부각된다고 볼 수 있다.

더 나아가 시각작업기억의 정보 표상 원리를 기억 체계 즉 감각 혹은 장기기억의 그것과 비교하는 매우 현실적이고 폭넓은 시도가 현재까지는 매우 부족한 상태이다. 현재까지 이러한 검증 시도가 부족했다는 점은 시각작업기억의 표상 특성에 대한 정확한 이해를 위해 기억 체계 전반을 아우르는 표상 모형에 대한 심도 있는 고찰이 상대적으로 부족했음을 의미한다. 물론 이러한 일반화 시도가 앞서 소개된 장기기억의 표상특성에 대한 연구들에서 발견되기는 하나(Brady et al., 2008; Brady et al., 2013) 그 역시 수적으로나 질적으로 열세에 놓여있다. 더군다나 감각기억에 대해서는 일련의 고전적 연구 사례들(Sperling, 1960; Averbach & Coriel, 1961; Coltheart, 1980a, b; Potter, 1976)을 제외하고는 표상적 특성에 대한 구체적인 수리 모형 검증이나 신경생리학적 관찰이 사실상 전무한 상태인 것으로 판단된다. 감각 기억 및 장기기억에 대한 표상 모형 검증이나 신경생리학적 관찰 시도는 시각작업 기억뿐만이 아닌 다양한 기억 체계들 내에서 기억 표상을 형성하고 유지하는 원리 및 표상 자체의 특성을 밝힘으로서 각 기억 체계들 간의 유사 혹은 차이점뿐만 아니라 궁극적으로는 시각작업기억의 표상 특성을 정확히 이해하는데 매우 결정적인 기여를 할 수 있을 것으로 예상된다. 향후 관련 연구들은 본 연구가 강조한 앞서의 문제점들에 대한 분명한 인식을 토대로 수행되어야 할 것이며, 그 결과를 통해 궁극적으로 어떠한 이론적 및 현실적 시사점을 얻을 것인가에 대해 진지하게 고민할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김대규, 현주석 (2015). 스트룹 간섭에 의한 시각작업기억의 왜곡 현상. *인지과학*, 26(1), 27-51.
- 현주석 (2009). 기억 표상과 지각적 입력 간 비교 과정을 통해 본 시각작업기억 표상의 특성. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 21(4), 265-282.
- 현주석 (2011). 행동적 연구 사례에 근거한 시각작업기억의 이해. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 23(1), 45-90.
- Abrahamsen, A., & Bechtel, W. (2006). Phenomena and Mechanisms: PUtting the symbolic, connectionist, and dynamical systems debate in broader perspective. In R. Stainton (Ed.), *Contemporary Debate in Cognitive Science*. MA: MIT Press.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by information load and by number of objects. *Psychological Science*, 15, 106-111.
- Anderson, J. R. (2007). *How can human mind occur in the physical universe?* Oxford: Oxford University Press.
- Averbach, E., & Coriel, A. S. (1961). Short-term memory in vision. *Bell System Technical Journal*, 40, 309-328.
- Awh, E., Barton, B., & Vogel, E. K. (2007). Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity. *Psychological Science*, 18(7), 622-628.
- Bays, P. M. (2015). Spikes not slots: noise in neural populations limits working memory. *Trends in Cognitive Science*, 19(8), 431-438.
- Bays, P. M., Catalao, R. F. G., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision*, 9(10), 1-11.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shift of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321, 851-854.
- Bengson, J. J., & Luck, S. J. (in press). Effects of strategy on visual working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*.
- Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2011). Hierarchical Encoding in Visual Working Memory. *Psychological Science*, 22(3), 384-392.

- Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2014). No evidence for a fixed object limit in working memory: spatial ensemble representations inflate estimates of working memory capacity for complex objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 41(3), 921-929.
- Brady, T. F., Konkle, T., & Alvarez, G. A. (2011). A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. *Journal of Vision*, 11(5), 1-34.
- Brady, T. F., Konkle, T., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2008). Visual long-term memory has a massive storage capacity for object details. *Proceedings of the National Academy of Science*, 105(38), 14325-14329.
- Brady, T. F., Konkle, T., Gill, J., Oliva, A., & Alvarez, G. A. (2013). Visual long-term memory has the same limit on fidelity as visual working memory. *Psychological Science*, 24(6), 981-990. doi: 10.1177/0956797612465439
- Chun, M., & Turk-Browne, N. B. (2007). Interactions between attention and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 177-184.
- Coltheart, M. (1980a). Iconic memory and visible persistence. *Perception and Psychophysics*, 27, 183-228.
- Coltheart, M. (1980b). The persistence of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B(290), 57-69.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 87-185.
- Donkin, C., Nosofsky, R., Gold, J. M., & Shiffrin, R. M. (2013). Discrete-slots models of visual working-memory response times. *Psychological Review*, 120(4), 873-902.
- Donkin, C., Tran, S. C., & Nosofsky, R. (2013). Landscaping analyses of the ROC predictions of discrete-slots and signal-detection models of visual working memory. *Attention, Perception & Psychophysics*, 76(7), 2103-2116.
- Engel, A. K., Kreiter, A. K., Konig, P., & Singer, W. (1991). Synchronization of oscillatory neuronal responses between striate and extrastriate visual cortical areas of the cat. *Proceedings of the National Academy of Science*, 88, 6048-6052.

- Fine, M. S., & Minnery, B. S. (2009). Visual salience affects performance in a working memory task. *The Journal of Neuroscience*, 29(25), 8016-8021.
- Fougnie, D., Asplund, C. L., & Marois, R. (2010). What are the units of storage in visual working memory? *Journal of Vision*, 10(12), 1-11.
- Griffin, I. C., & Nobre, A. C. (2003). Orienting attention to locations in internal representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 1176-1194.
- Hollingworth, A. (2003). Failures of retrieval and comparison constrain change detection in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 388-403.
- Huang, L. (2010). Visual working memory is better characterized as a distributed resource rather than discrete slots. *Journal of Vision*, 10(14). doi: 10.1167/10.14.8
- Hyun, J. -S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2009). The comparison of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1140-1160. doi: 10.1037/a0015019
- Jiang, Y., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 2, 683-702.
- Johnson, J. S., Spencer, J. P., Luck, S. J., & Shoner, G. (2009). A dynamic neural field model of visual working memory and change detection. *Psychological Science*, 20(5), 568-577.
- Johnson, J., Simmering, V. R., & Buss, A. T. (2014). Beyond slots and resources: Grounding cognitive concepts in neural dynamics. *Attention, Perception & Psychophysics*, 76, 1630-1654.
- Kahana, M. J., & Sekuler, R. (2002). Recognizing spatial patterns: a noisy exemplar approach. *Vision Research*, 42, 2177-2192.
- Kuo, B. C., Sokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 51-60.
- Lin, P.-H., & Luck, S. J. (2009). The influence of similarity on visual working memory

- representations. *Visual Cognition*, 17(3), 356-372.
- Luck, S. J., & Hollingworth, A. (2008). *Visual Memory*: Oxford University Press.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology of individual differences. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(8), 391-400.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature Neuroscience*, 17(3), 347-356.
- Mack, A. (2003). Inattention blindness: Looking without seeing. *Current Directions in Psychological Science*, 12(5), 180-184. doi: Doi 10.1111/1467-8721.01256
- Magnussen, S. (2000). Low-level memory processes in vision. *Trends in Cognitive Science*, 23(6), 247-251.
- Magnussen, S., Greenlee, M. W., & Thomas, J. P. (1996). Parallel processing in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 202-212.
- Matsukura, M., Cosman, J. D., Roper, Z. J., Vatterott, D. B., & Vecera, S. P. (2014). Location-specific effects of attention during visual short-term memory maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(3), 1103-1116.
- Matsukura, M., & Vecera, S. P. (2015). Selection of multiple cued items is possible during visual short-term memory maintenance. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77, 1625-1646.
- 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. doi: 10.1177/0956797612457782
- Olson, I. R., & Jiang, Y. (2002). Is visual short-term memory object based? Rejection of the "strong-object" hypothesis. *Perception and Psychophysics*, 64, 1055-1067.
- Orhan, A. E., & Ma, W. J. (2015). Neural population coding of multiple stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 35(9), 3825-3841.

- Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 509-522.
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Cowan, N., Zwilling, C. E., Morey, C. C., & Pratte, M. S. (2008). An assessment of fixed-capacity models of visual working memory. *Proceedings of the National Academy of Science*, 105(16), 5975-5979.
- Schmidt, B. K., Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2002). Voluntary and involuntary attentional control of visual working memory. *Perception and Psychophysics*, 64, 754-763.
- Simons, D. J., & Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends Cogn Sci*, 1(7), 261-267. doi: 10.1016/S1364-6613(97)01080-2
- Simons, Daniel J. (2000). Attentional capture and inattention blindness. *Trends in cognitive sciences*, 4(4), 147-155.
- Souza, A. S., Rerko, A., Lin, H. -Y., & Oberauer, K. (2014). Focused attention improves working memory: implications for flexible-resource and discrete-capacity models. *Attention, Perception & Psychophysics*, 76, 2080-2102.
- Souza, A. S., Rerko, A., & Oberauer, K. (2014). Unloading and reloading working memory: attending to one item frees capacity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 40(3), 1237-1256.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74, (Whole No. 498).
- Stirk, J. A., & Underwood, G. (2007). Low-level visual saliency does not predict change detection in natural scenes. *Journal of Vision*, 7(10:3), 1-10.
- Suchow, J. W., Fougine, D., & Brady, T. F. (2014). Terms of the debate on the format and structure of visual memory. *Attention, Perception & Psychophysics*, 76(7), 2071-2079.
- Thiele, J. E., Pratte, M. S., & Jeffrey, N. R. (2011). On perfect working-memory performance with large number of items. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 958-963.
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428, 751-754.
- Van den Berg, R., & Ma, W. J. (2014). "Plateau"-related summary statistics are

- uninformative for comparing working memory models. *Attention, Perception & Psychophysics*, 76, 2117-2135.
- Van den Berg, R., Shin, H., Chou, W. -C., George, R., & Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109(22), 8780-8785.
- van Moorselaar, D., Battistoni, E., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2015). Rapid influences of cued visual memories on attentional guidance. *Annals of the New York Academic of Science*, 1339, 1-10.
- VanRullen, R., & Koch, C. (2003). Competition and selection during visual processing of natural scenes and objects. *Journal of Vision*, 3(1), 75-85.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 27(1), 92-114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1436-1451.
- Wei, Z., Wang, X. -J., & Wang, D. -H. (2012). From distributed resources to limited slots in multiple-item working memory: A spiking network model with normalization. *The Journal of Neuroscience*, 32(33), 111228-111240.
- Wheeler, M., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 48-64.
- Wilken, P., & Ma, W. J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of Vision*, 4, 1120-1135.
- Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2005). Fractionating working memory: Consolidation and maintenance are independent processes. *Psychological Science*, 16(2), 106-113.
- Woodman, G. F., Vecera, S. P., & Luck, S. J. (2003). Perceptual organization influences visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 80-87.
- Wolfe, J., Horowitz, T. S., & Michod, K. O. (2007). Is visual attention required for robust

- picture memory? *Vision Research*, 47(7), 955-964.
- Xu, Y. (2002a). Encoding color and shape from different parts of an object in visual short-term memory. *Perception and Psychophysics*, 64, 1260-1280.
- Xu, Y. (2002b). Limitations of object-based feature encoding in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 458-468.
- Xu, Y., & Chun, M. M. (2006). Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects. *Nature*, 440, 91-95.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453, 233-235.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2009). Sudden death and gradual decay in visual working memory. *Psychological Science*, 20(4), 423-428.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2003). Slot-like versus continuous representations in visual working memory. *Journal of Vision*, 3, 681a.

1차원고접수 : 2015. 10. 21
1차심사완료 : 2015. 12. 03
2차원고접수 : 2015. 12. 18
2차심사완료 : 2015. 12. 29
최종게재승인 : 2015. 12. 29

(Abstract)

A Review of the Debates between Fixed-Resolution Slot and Flexible-Resource Models

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

The present study reviewed two contrasting models, fixed-resolution slot versus flexible-resource hypotheses, for the representational characteristics of visual working memory (VWM), and emphasized the necessary efforts for resolving their conflicting arguments. To accomplish this goal, the review explored the background hypotheses of the object-based versus parallel independent storage models, and introduced theoretical bases for their contrasting claims. The review then evaluated validity of empirical evidence provided in the studies to support each model, and attempted an understanding of their neurophysiological background. The study further emphasized the necessity of theoretical and methodological reconsiderations to resolve their conflict as well as the necessity of obtaining converging pieces of evidence to accomplish the resolution.

Key words : visual working memory, representational characteristics, model, review