

## 행동적 연구 사례에 근거한 시각작업기억의 이해\*

현 주 석†

중앙대학교 심리학과

시각작업기억은 3-4개 항목 정도의 객체근원적 정보를 10여초 내외동안 단지 파지하는 기억 저장소로 알려져 있으며 인간의 고등인지기능을 이해하는데 있어서 중요한 정보처리체계로 간주되고 있다. 본 개관 논문은 시각작업기억의 개념적 정의 및 주요 특성을 정리하고, 경험적 검증 과정에 대한 정확한 이해를 돕기 위해 최근 시각작업기억 연구 사례에서 사용된 행동적 실험법을 상세히 소개하였다. 또한 최근 논란의 중심에 서 있는 시각작업기억 표상 논쟁을 개괄하고, 기억 연구자들의 추가적인 검증을 요구하는 주제들을 간략히 조망하였다.

주요어 : 시각작업기억, 시각작업기억 연구 사례, 시각작업기억 표상 논쟁

---

\* 본 연구는 2010년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

† 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 사회과학대학 심리학과, (156-756) 서울시 동작구 흑석동 221번지  
E-mail : jshyun@cau.ac.kr

시야에 출현한 찰나의 사건을 짧은 시간 동안 기억하는 능력은 일상적 과제의 수행에 있어서 매우 중요하다. 예를 들어 운전 중 지나치는 표지판과 교통 정보를 간파하고 매 순간 기억하는 것은 안전 운전을 위해 절대적으로 필요한 능력임에 분명하다. 또한 정물화를 그릴 때 해당 사물의 형태와 색깔을 도화지 상에 그려지고 있는 그림과 수시로 비교하여 정확한 그림을 그리는 과정 또한 이와 같은 짧은 시간 동안의 기억에 크게 의존한다.

시야의 사물과 사건에 대한 단기간의 기억 처리는 인간의 정보처리 과정에는 일시적인 저장소 역할을 담당하는 시각작업기억(visual working memory, VWM)이 관여할 가능성이 크다<sup>1)</sup>. 시각작업기억은 일반적으로 시각단기 기억이라고도 명명되며, 시각 자극에 대한 시각적 표상이 약 10여 초 내외 동안 기억되는 저장소적 기능을 담당하는 것으로 알려져 있다. 이러한 단기 파지(short-term retention)는 주어진 과제를 효율적으로 수행하기 위해 매 순간 사용되는 정보를 보관하기 위해 매우 중요한 기억 현상으로 간주된다(Baddeley, 1986; Gold, Murray, Sekuler, Bennett, & Sekuler, 2005; Jonides, et al., 2008; Luck, 2008; Miller, 1956; Phillips, 1974; Zhang & Luck, 2009).

최근 시각작업기억 연구 분야에는 고등 인

1) 최근 기억 연구 분야에서는 시각작업기억(VWM)과 시각단기기억(visual short-term memory, VSTM)을 연구자의 목적에 따라서 개념적 차이를 두기도 하나 대 다수의 연구자들은 두 용어를 혼용하고 있다. 이러한 관례를 따라 수행된 연구에서 명시적으로 ‘시각단기기억’연구라 명명된 경우를 제외하고, 본 논문에서는 시각작업기억<sup>1)</sup>이란 용어를 일관성 있게 표기하였다.

지 과정에서 단기 기억의 역할이 주목을 받게 됨에 따라 새로운 이론의 제안 및 이를 지지하거나 반증하는 다양한 경험적 증거의 축적이 진행되고 있다. 이와 같은 관심의 증가는 새로운 측정 및 관찰 방법의 도입과 동시에 고전적 연구에서 매우 중요시되던 행동적 연구(behavioral studies)의 상대적 감소를 초래한 면이 없지 않다. 사건관련전위(Event-related potentials, ERPs) 측정법, 기능적자기공명영상법(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) 등의 신경과학적 연구 방법을 사용한 다양한 시각작업기억 연구 사례들의 양적 증가는 이러한 추세를 구체적으로 보여주는 좋은 사례가 된다. 다양한 연구 방법론의 적용을 통한 수렴적 증거(converging evidence)의 확보를 중요시하는 최근의 인지심리학 연구 동향을 고려할 때, 신경과학적 연구의 증가로 인한 행동적 연구 사례의 상대적 감소는 반드시 부정적일 수만은 없다. 그럼에도 불구하고 새로운 측정 및 관찰 방법의 적용을 통한 가설 검증의 수렴적 접근 과정에는 직접 관찰이 가능한 행동적 측정이 대개 수반되며 결과적으로 고전적인 행동 측정 패러다임에 대한 정확한 이해가 매우 중요하다.

이러한 관점아래 본 개관 논문은 시각작업 기억에 대해 현재까지 수행된 행동적 연구 사례(behavioral study)를 개괄하고 그와 관련된 인지심리학적 이론과 모형을 소개하여 시각작업 기억 현상에 대한 행동적 이해를 도모하고자 한다. 그리고 현재 시각작업기억 연구에 사용되고 있는 주요 행동적 실험 패러다임을 상세히 소개하고 그와 관련된 새로운 연구 주제들을 정리하여, 시각작업기억 연구의 향후 방향

과 관련된 논의의 시작점을 제공하고자 한다.

### 시각작업기억의 특성

**시각작업기억의 정의 및 특성** Baddeley(1986)는 기억의 저장소(storage)적 기능을 지나치게 강조한 고전적인 단기기억(short-term memory, STM) 모형<sup>2)</sup>에 대한 대안으로서 작업기억(working memory, WM) 모형을 제안하였다. 그의 작업기억 모형에는, 시각 정보를 짧은 시간동안 저장하는 시공간잡기장(visuo-spatial sketchpad) 뿐만 아니라 소리의 조합을 파지하는 음운루프(phonological loop)와 그 밖에 청각(echoic) 및 운동감각(sensory-motor) 저장소 등이 포함되었다. 하위 저장소들은 고전적 단기기억 모형에서 강조했던 저장소적 기능을 수행하며 중앙집행기(central executive)에 의해 정보의 선별과 저장이 통제되는 것으로 설명되었다.

Baddeley가 제안한 시공간잡기장의 개념적 정의에 비추어 볼 때, 본 연구에서 소개되는 시각작업기억 모형은 저장소적 기능에 있어서는 매우 유사하나 저장되는 정보의 표상적 특

성과 용량을 설명하는데 있어서 좀 더 구체적인 경험적 증거들에 근거한다. 현재까지 추정된 바에 의하면, 시각작업기억에는 자극의 시각적 세부특징(예: 색상, 방위, 크기 등등) 차원이 독립적으로 저장되는 것이 아니라 서로 공고히 결합된 객체(integrated object) 형태로 저장되며, 저장되는 객체의 개수는 3-4개로 그 저장 용량이 매우 제한된다(Cowan, 2001; Luck & Vogel, 1997; Zhang & Luck, 2008). 또한 공간적 정보는 위치(object location) 정보가 주를 이루되 기억 항목들에 대한 위치적 관계성(spatial layout) 또한 표상되는 것으로 알려져 있다(Awh & Jonides, 2001; Jiang, Olson, & Chun, 2000; Johnson, Hollingworth, & Luck, 2008).

시각작업기억의 표상 형성 과정은 시각적 지속(visual persistence) 현상에 대한 고전적 연구에서 관찰된 다양한 시각 파지 현상에서 그 근원을 살펴볼 수 있다(Coltheart, 1980a, 1980b; Di Lollo, 1980; Di Lollo & Dixon, 1988). 시각적 지속은 자극이 제시되고 사라진 후 사라진 자극의 시각적 속성이 일정시간 지속적으로 파지되는 현상을 의미한다(Luck & Hollingworth, 2008). 시각적 지속은 자극의 윤곽이나 명암이 파지되는 가시지속(visible persistence)과 시각 자극의 의미적 정보만이 파지되는 정보지속(informational persistence) 등으로 분류된다(Coltheart, 1980b)<sup>3)</sup>. 일반적으로 가시지속과 정보지속 모두 시각작업기억의 기억표상 형성의

2) 고전적 단기기억모형이라 함은 Atkinson과 Shiffrin (1968)의 기억 모형에서 단기기억의 기능적 정의를 의미한다. Atkinson과 Shiffrin은 단기기억을, 감각기억으로부터 선별된 정보를 장기기억으로 전환하기 위해 기억 정보를 일시적으로 저장하는 단순 저장소로 간주하였다. 고전적 단기기억 모형은 기억정보를 단기기억에 저장하지 않고도 장기기억의 형성이 가능함을 보여준 연구 사례(Brown & Kulik, 1977; Cantor & Engle, 1993) 및 단기기억 손상 환자들의 장기기억 파지 능력을 보여준 신경심리학적 연구사례들(Corkin, 1968, 2002)에 의해 그 타당성이 반증된 바 있다.

3) Coltheart(1980b)는 추가적으로 신경 지속(neural persistence) 현상을 통해 가시지속을 설명 가능할 것으로 예견하였으나, 신경생리학적 증거가 확보되지 못한 관계로 가설 수준의 설명으로만 그 소개를 제한하였다.

근원에 있는 것으로 간주된다(Luck, 2008).

단기 기억의 현상에 대한 고전적 연구는 단기 기억 정보가 형성되기 이전에 감각 기억(sensory or iconic memory)이 존재함을 보고하였다(Sperling, 1960). 감각 기억은 일반적으로 그 용량이 매우 큰 것으로 알려져 있으며, 약 250ms 이내에 선별적 단서를 사용해 부분적 회상(partial report)을 요구했을 경우 정확한 회상이 가능하다. 그러나 감각 기억은 간섭에 취약하여 차폐(visual mask)와 같은 방해 자극에 의해 쉽게 유실되며, 차폐 자극이 뒤따르지 않아도 약 300ms가 경과하면 저장된 대다수의 항목이 망각된다.

안구운동 간 정보의 통합(saccadic integration) 과정에 대한 초기 연구는 감각 기억을 가시 지속의 한 형태로 규정하여 도약안구운동(saccade) 간 정보가 일시적으로 저장되는 장소로 간주하였다(Irwin & Yeomans, 1986; Jonides, Irwin, & Yantis, 1982). 이러한 가설은 안구운동 간 저장되는 위치 정보가 매우 조악(coarse)하고 개별 응시 위치에서 유입되는 정보간 망막 위상적 대응(retinotopic mapping)이 정확하지 못한 사실이 발견되어 곧 기각되었다(Irwin, 1992b; Irwin & Andrews, 1996). 이와 같은 반증 사례는 안구 운동 간 비교되고 통합되는 정보가 감각 기억이 아닌 다른 기억 저장소에 의존함을 의미하므로 가시 지속과 정보 지속이 동시에 관여하는 다중 감각 기억 모형(multistage models of sensory memory)이 제안되기도 하였다(Di Lollo, 1980). 그러나 다중 감각 기억 모형을 지지하는 경험적 증거는 추가되지 않았으며, 감각 기억은 감각 정보에 대한 임시 저장소적 기능을 제외하고 시각 작업 기억의 표상 형성에

있어서 매우 제한적인 역할을 수행하는 것으로 해석되었다(Luck, 2008).

감각 기억의 평균 파지 시간이 약 250ms 임을 고려할 때(Averbach & Coriel, 1961; Luck, 2008; Sperling, 1960), 기억 자극이 사라진 후 약 300ms 정도부터는 시각 작업 기억에 의존한 파지가 시작된다. 일반적으로, 시각 작업 기억 내에 저장된 정보는 그 정보를 공고화 시키는데 결정적인 역할을 하는 시연(rehearsal)과 같은 의식적 처리 과정이 없이는 쉽게 망각된다. 시연 과정에는 음운 루프 및 기타 저장소가 복합적으로 사용되므로, 시각 작업 기억만을 선별적으로 측정할 경우 약 5-10초 정도를 전후해서 작업 기억 파지 능력이 현저하게 저하되는 것으로 보고되고 있다(Gold, et al., 2005; Zhang & Luck, 2009)<sup>4)</sup>. 또한 시각 작업 기억은 도약안구운동 전환 기억(transsaccadic memory)의 저장 용량 및 표상 특성과 밀접한 관련이 있다. 특히 안구운동 간 정보의 통합 과정에서 감각 기억의 역할이 상대적으로 미미하다는 기존의 연구 결과에 비해, 도약안구운동 전환 기억에 대한 일련의 연구는 개별 안구운동 간 파지되는 정보가 3-4개로 매우 제한적임을 밝혀내어 시각 작업 기억의 저장 용량과 일치함을 발견하였다(Irwin, 1991; Irwin, 1992a; Irwin, 1992b; Irwin, Zacks, & Brown, 1990). 또한 친숙하지 않은 자극(novel stimuli)에 대한 응시 시간(fixation duration)과 도약안구운동 잠재기

4) 단기 기억의 파지 시간에 대해서는 과제 및 연구들에 따라 차이를 보이고 있으나 고전적인 연구들은 대략적으로 평균 30초 이내에 급격한 망각이 진행되는 것으로 보고하고 있다(Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971).

(saccadic latency)가 도합 300ms 이상이 소요될 수 있음을 고려할 때(Rayner, 1998; Rayner, McConkie, & Ehrlich, 1978), 전환기억의 시간적 특성 또한 시각작업기억의 시간적 특성과 매우 유사함이 발견된다.

특히 도약안구운동 전환기억에 저장되는 정보는 단순한 시각적 세부특징이 아닌 의미적 수준의 추상적 정보(abstracted information)임이 언어심리학적 연구를 통해 밝혀졌다(McConkie & Hogabaum, 1985; McConkie & Zola, 1979). 예를 들어, 문장을 읽는 과정에서 개별 안구운동 간 글자체와 같은 물리적 정보의 변화는 의식적 수준에서 탐지되지 못하며, 오직 의미적 일관성만이 유지되고 통합된다. 이 또한 시각작업기억에 저장된 정보 표상이 독립적인 세부특징들 간의 단순 조합이 아닌 추상적 수준의 통합된 객체 단위에 근거한다는 사실을 밝힌 최근의 연구 결과(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001)와 그 맥락을 같이한다. 결과적으로 안구운동 과정 중 개별 응시 순간에 처리되는 정보는 시각작업기억에 일시적으로 저장됨을 의미하며 도약 안구운동 전환기억과 시각작업기억은 유사하거나 동일한 것으로 해석된다.

**시각작업기억의 구조** 시각작업기억은 작업기억 체계의 하위 구조인 동시에 그 자체로서 두 가지 하위 체계를 보유한 것으로 제안되었다. 이러한 제안은 고전적 작업기억 모형에서 공간적 간섭을 통해 공간 작업 기억(spatial working memory)의 존재 여부를 시사한 과거의 연구에서 그 가능성이 알려진 바 있다(Brooks, 1967; Logie, 1986). 좀 더 최근에 수행된 연구

에 의하면(Hyun & Luck, 2007; Luck, 2008), 시각작업기억의 하위 체계 중 한 가지는 객체의 일반적인 세부특징을 저장하는 시각객체기억(visual object memory)이다. 시각객체기억이란 명칭은 표상되는 정보가 세부 특징의 조합이 아닌 객체근원적 수준에서 정의된다는 관찰에 근거한다(Vogel, et al., 2001). 또 다른 한 가지는 공간작업기억이며, 이는 주로 기억 자극의 세부특징이 아닌 공간적 위치 정보를 중점적으로 표상한다(Hyun & Luck, 2007; Woodman & Luck, 2004; Woodman, Vogel, & Luck, 2001).

두 하위 체계의 실재성을 검증하기 위한 일련의 연구들은 이중과제(dual task)를 사용한 간섭 패러다임(interference paradigm)을 주로 사용하였다. 예를 들어, Woodman과 Luck (2001)은 4, 8, 12개의 간단한 도형의 색상에 대해 5초 정도의 파지가 요구되는 과제의 기억 지연 시간(memory delay) 중 수행된 시각탐색 과제의 탐색 효율성을 조사하였다. 실험에 사용된 탐색 과제는 항목 개수가 증가함에 따라 탐색 반응시간(search RT)이 선형적으로 증가하는 순차 탐색(serial search)이 요구된다(Treisman, 1988). Woodman과 Luck의 주안점은, 기억 항목 개수의 증가로 인해 기억 부하(memory load)가 증가된 경우 탐색 과제의 항목 개수가 늘어남에 따라 반응 시간 증가의 기울기(search slope)가 커지는지의 여부였다. 이러한 기울기의 증가는 기억 부하의 증가로 인한 탐색 효율성(search efficiency)의 저하를 의미하며, 색상 도형과 같은 간단한 객체(simple object)를 기억하는 시각작업기억 처리 과정과 시각탐색 처리 과정이 서로 동일한 기억 자원을 공유할 가능성을 의미한다. 그러나 예견된 시각 탐색 효율

성의 저하는 발견되지 않았으며, 이 결과는 시각작업기억과 시각 탐색 과제 수행 간 서로 공유되는 기억 자원이 없는 것으로 해석되었다.

그러나 동일한 연구자들에 의한 후속 연구에서는 자극의 위치를 기억하는 공간기억 과제를 탐색 과제와 동시에 실시한 결과, 기억 과제가 탐색 수행을 현저하게 간섭하는 것을 발견하였다. 예를 들어, Woodman과 Luck(2004)은 응시점 주변에 순차적으로 제시된 두 점의 위치를 약 5초 동안 기억하는 과제의 기억지연 시간동안 시각 탐색 과제를 실시한 결과 기억항목의 개수가 증가함에 따라 탐색 효율성이 저하되는 현상이 나타났다. 이러한 간섭 현상은 공간적 주의(spatial attention)의 이동에 기반을 둔 시각 탐색 처리 과정에 있어서 짧은 시간동안 위치 정보를 파지하는 기억 저장소가 매우 중요한 역할을 담당하고 있음을 의미하며 결과적으로, 공간작업기억의 실제성을 보여주는 중요한 증거가 된다.

Woodman과 Luck(2004)의 연구에서 드러나지 않았던 객체기억의 실제성에 대한 증거는 심적 회전(mental rotation) 과제(Shepard & Metzler, 1971)와 시각작업기억간 체계적 간섭 가능성을 조사한 최근의 연구에서 발견된다. Hyun과 Luck(2007)은 Woodman과 Luck(2004)의 연구와 유사하게, 피험자로 하여금 4개 도형의 색상을 기억하는 과제의 기억지연 시간 동안 심적 회전 과제를 수행하도록 요구하였다. 일반적으로 회전 과제의 표적 낱자에 대해 요구된 회전각도(rotated angle)가 커질수록 낱자의 거울상 역전(mirror-reversed) 여부를 판단하는데 소요되는 시간은 증가한다(Cooper & Shepard,

1973; Shepard & Metzler, 1971; Shepard & Metzler, 1988). 따라서 탐색과제와 마찬가지로, 회전 각도의 점진적 증가에 따른 심적 회전 반응시간의 선형적 증가는 회전과제의 효율성 여부를 판별하는 기준이 된다.

Hyun과 Luck은 심적회전 과제 수행을 위해 일시적 저장이 요구되는 표상이 시각작업기억에 저장되며, 그 표상적 특성이 두 가지 형태를 가질 수 있다고 가정하였다. 하나는 일반적인 객체 수준의 정보로서, 장기기억으로부터 인출된 후 작업 기억에서 파지되는 다양한 각도의 객체 형판(object template)일 가능성이 다. 다른 하나는 기존의 아날로그(analog) 표상론에서 제안된 바와 같이, 단일 표상을 다양한 각도로 회전시키는 과정에서 사용되는 공간적 기억 표상(spatial memory representation)일 가능성이 다.

심적회전과제의 표상 특성은 Woodman과 Luck(2004)의 연구에서처럼 동시과제로 실시된 시각작업기억 과제의 간섭 여부를 관찰함으로써 검증될 수 있다. 구체적으로, Hyun과 Luck은 단순 색상 도형의 색깔을 기억하는 객체기억과제와 위치를 기억하는 공간기억과제(spatial memory task)를 심적회전 과제와 동시에 수행되는 간섭 과제로 사용하였다. 두 동시과제에 대한 간섭 현상을 관찰한 결과, 객체기억과제를 동시 수행한 경우 심적회전과제에서 요구되는 회전각도가 커질수록 기억 정확도가 점점 감소하였다. 반면에 공간기억과제를 동시 수행한 경우, 회전 각도의 증가는 기억 정확도에 큰 영향을 주지 않았다. 이는 심적회전에 사용되는 표상이 시각작업기억의 객체기억 저장소에 의해 단기 저장된다는 점을 의미하

며, 객체기억과 공간기억의 표상 간 대조적인 특성을 시사한다. 이러한 일련의 연구 결과들은 시각작업기억의 하위 체계에 독립적인 시스템들이 공존할 가능성을 시사하는 고전적인 연구들(Brooks, 1967; Logie, 1986)과 함께 추가적인 증거로서 간주될 수 있다.

**음운루프와의 독립성** 일반적으로 주어진 기억과제에서 다양한 감각 체계(sensory modality)의 활용이 요구될 경우 시각작업기억의 역할만을 독립적으로 측정하는 것은 쉽지 않다. 이는 시각 자극이라도 감각적 수준이 아닌 의미 수준의 부호화 이후 상징적 수준의 추상화(symbolic abstraction)가 완료되면 다른 감각 저장소에 의한 파지가 가능하기 때문이다.

예를 들어, 간단한 색상 도형들의 색깔을 기억하는 시각작업기억 과제의 경우 피험자가 시각작업기억과 더불어 음운 루프를 사용할 가능성이 있다. 특히 색상 범주가 매우 명확한(예: 빨강, 녹색, 파랑, 검정 등등) 기억 자극의 경우, 자극이 시야에서 사라지고 기억이 요구되면 음운 루프를 사용해 색상명(color name) 자체를 암송하여 시연하는 책략(rehearsal strategy)을 사용하는 것이 가능하다. 이 경우 측정되는 작업기억 파지 능력은 시각작업기억만이 아닌 음운 루프와의 상호작용에 의해 결정된다<sup>5)</sup>.

5) Miller의 ‘매직넘버 7’(Miller, 1956)과 시각작업기억의 평균적 용량으로 알려진 3-4 항목 간 추정된 항목 개수 차이는 시각작업기억과 음운루프가 동시에 사용될 가능성을 시사하는 고전적 사례이다. Miller의 연구에서는 언어작업기억 즉, 음운루프가 통제되지 않았으므로 시각작업기억만을 독립적으로 측정한 최근 연구들에 비해 기

최근의 시각작업기억과제는 조음억제(articulatory suppression) 과제와 같은 동시 간섭과제를 수행시켜 음운 루프의 개입을 통제한다(Hyun & Luck, 2007; Luck & Vogel, 1997; Vogel, et al., 2001; Vogel, Woodman, & Luck, 2006; Woodman & Luck, 2004; Woodman, et al., 2001). 음운 루프의 개입을 통제한 연구들에서는 도형 색상에 대한 기억 파지 시간 동안 무선 선택된 두 개의 숫자를 암송(verbally rehearse)하도록 요구한다. 일반적으로, 음운 루프의 사용이 필수적인 언어적 기억 과제가 요구되면 피험자는 발성 기관(vocal tract)을 지속적으로 운동시켜 파지를 시도한다. 그러나 무관한 언어 자극을 기억 파지 중 동시에 암송하는 것은 발성 기관 사용을 간섭하여 기억 항목의 파지를 저해한다(Baddeley, 1986; Dixon & Shedden, 1993). 시각작업기억의 특성에 대한 독립적인 관찰이 시도될 경우, 음운루프의 개입이 의심된다면 조음 억제 과제를 동시 과제로 수행시키는 것은 음운루프의 추가적인 개입에 의한 기억 정확도의 상승을 방지할 수 있는 적절한 통제 수단이 된다.

Luck과 Vogel(1997)은 색상 도형과 같은 단순 자극을 약 1초 정도 후에 재인하는 작업기억 과제의 경우 조음억제 과제의 동시 수행 여부가 기억 수행에 큰 영향을 주지 못하는 것을 관찰하였다. 이는 음운 루프의 개입이 필수적인 것이 아니며, 과제에 따라서는 조음 억제 과제가 동반되지 않아도 시각작업기억에 대한 독립적인 측정이 가능함을 의미한다. 특히 시각작업기억 과제의 파지 간격이 1초 정도로

억 용량이 상대적으로 크게 추정된 것으로 짐작된다.

매우 짧게 설정되었을 경우에는 암송을 위한 발성기관의 반복적 운동에 크게 의존하는 음운루프의 추가적인 활용은 기억 수행을 촉진시키기 보다는 오히려 간섭할 가능성을 증가시키는 것으로 보인다.<sup>6)</sup>

종합해 볼 때 시각작업기억의 하위 구조에는 상호 독립적인 저장소 역할을 담당하는 객체기억과 공간기억 시스템이 존재하는 것으로 짐작된다. 시각작업기억은 음운루프처럼 다른 감각체계를 사용하는 저장소들과 반드시 독립적이진 않지만, 과제 특성에 따라서는 음운루프가 개입되지 않은 독립적 측정이 가능하다. 다음 단락에서는 변화탐지 과제(change detection task)의 처리 단계별 특성에 근거해 시각작업기억의 일반적인 특성을 소개하고, 시각작업기억의 연구에 사용되는 여러 행동적 연구 패러다임을 상세히 소개할 것이다.

### 시각작업기억 처리 과정

현재까지 알려진 시각작업기억의 처리 과정에 대한 모형은 일반적인 기억 연구에서 밝혀진 개념적 정의를 기준으로 대략 크게 세 단계로 나뉜다. 첫 번째 단계는, 자극의 감각적 세부 특징을 분석 및 부호화하고 저장하는 단계로서 기억 항목에 대한 지각적 분석 및 부호화(encoding) 그리고 공고화(consolidation) 과정을 포함한다(Vogel, et al., 2001, 2006).

6) Vogel, Woodman과 Luck의 비공식적인 보고에 의하면 음운루프 책략을 명시적으로 사용하도록 요구했을 경우 오히려 다수의 피험자가 시각작업기억 과제 수행에 있어서 어려움을 보고하였다.

기억 항목에 대한 지각적 분석과 부호화 과정은 일반적인 감각 및 지각적 처리 단계와 일치하는 것으로 간주되긴 하나, 그 결과물의 표상적 특성에 있어서는 단순히 감각적 분석 및 지각적 재인이 종결되는 것을 의미하지는 않는다. 서두에서 소개된 바와 같은 기억이 요구되는 시각 자극에 대한 지각적 분석의 종료와 동시에 얻어진 표상은 여러 형태의 지속성(persistence)을 부여 받으며, 다양한 상태의 파지 특성을 획득하게 된다(Coltheart, 1980a, 1980b; Di Lollo, 1980; Di Lollo & Dixon, 1988; Sperling, 1960).

감각 및 지각적 처리의 종료와 동시에 부호화된 기억 표상은 일반적으로 간섭에 매우 취약한 특성을 보이는데, 이처럼 간섭에 취약한 기억 표상을 좀 더 공고하게 만들어주는 과정이 단기 기억 공고화(short-term memory consolidation) 과정이다<sup>7)</sup>. 역행 패턴 차폐(backward pattern masking)를 사용한 최근의 시각작업기억 연구는 기억 공고화 과정의 속도를 대략적으로 항목 당 약 50ms 정도로 추정하였다(Vogel, et al., 2006). 동일 연구에서 다수의 탐색 항목으로 구성된 단순세부특징 탐색(simple feature search) 과제를 통해 추정된 감각 및 지각적 분석에 소요되는 시간이 약 60ms이 내임을 고려할 때, 개별 항목 당 공고화 처리에 약 50ms 정도가 소요된다는 사실은 공고화

7) 일반적으로 ‘기억 공고화’는 단기 기억이 장기 기억과 같은 견고한 지식체계로 전환되는 과정을 설명하기 위해 제안된 개념이나, 단기 기억 또한 감각기억보다는 견고하고 통합적인 표상으로서의 전환이 요구된다는 점에서 ‘단기 기억 공고화’는 큰 무리가 없는 표현으로 간주될 수 있다(Vogel, et al., 2006).



과정이 지각적 처리 과정에 비해 상대적으로 더딘 과정임을 짐작할 수 있다. 이는 간섭에 취약하지 않은 비교적 견고한 단기기억 표상을 형성하기 위해서는 감각 및 지각적 처리를 통한 자극의 부호화뿐만이 아니라 처리 시간이 상대적으로 느린 추가적 처리 과정 즉 기억공고화 과정이 필요함을 시사한다.

지각적 처리 과정에서 자동적 분석이 수행되는 것으로 알려진 독립적인 세부특징들에 대한 감각 표상과 공고화 과정을 거친 기억 표상은 서로 질적으로 매우 상이한 것으로 알려져 있다. 예를 들어, Luck과 Vogel(1997)은 두 가지 이상의 세부 특징으로 구성된 시각 자극을 시각작업기억에 저장하는 것은 한 가지 세부특징으로 구성된 자극을 기억하는 것과 재인 정확도 차원에서 큰 차이가 없음을 관찰하였다. 이는 시각작업기억에 표상되는 정보가, 지각적 분석 단계에서 수행되는 개별 세부특징들에 대한 단순한 조합이 아닌 통합되고 추상적인 표상(integrated abstract representation)으로 전환된다는 것을 의미한다. 이와 같은 표상의 질적 전환은 상대적으로 더딘 공고화 과정이 지각적 처리 결과 얻어진 개별 세부특징에 대한 불안정한 감각 표상을 견고하게 통합된 객체표상으로 전환시켰음을 의미한다.

공고화 과정에 의한 기억 표상 형성 이후 두 번째 단계는 파지 단계이다. 공고화된 객체 표상은 차폐 간섭에 취약하지 않으나, 수 초(a few seconds) 이상 기억 항목이 파지되는 과정에 대한 모형에는 아직 이론적 논란이 있다. 예를 들어, 시각 작업 기억에 저장되는 기억 항목의 공고화 과정에는 선택적 주의(selective attention)가 관여하는 것으로 알려져있

다(Vogel, et al., 2006). 선택적 주의를 설명하는 기존의 모형(예: 세부특징통합이론, Feature-integration Theory, FIT)에 근거하면(Treisman, 1986; Treisman, 1988; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990) 객체의 세부특징 간 공고한 결합은 초점주의를 통해 매개된다고 알려져 있으므로, 다수의 시각 연구자는 초점주의가 시각 기억의 표상 유지 과정에서도 매우 중요한 역할을 할 수 있다고 제안한다(Awh, Jonides, & Reuter-Lorenz, 1998; Rensink, 2002; Simons & Levin, 1997; Wheeler & Treisman, 2002). 즉 단일 세부특징만을 저장하는 기억 과제와는 달리, 복잡한 객체 수준의 표상과 관련된 세부특징을 공고하게 파지하기 위해서는 기억된 항목에 지속적인 주의가 집중되어야 한다는 주장이다.

시각작업기억 표상을 견고하게 유지하기 위해 초점주의가 반드시 필요하다는 설명은 기억 파지 과정에서 초점주의가 와해되어 개별 세부 특징들 간 공고한 결합(binding)이 유지되지 못할 경우 기억 정확도가 저하될 것을 예견한다. 그러나 파지과정에서 초점주의의 와해에 의해 세부특징 간 결합이 와해될 가능성을 조사한 최근의 연구는, 파지 간격(retention interval)동안 초점주의 집중 과정에 간섭을 시도해도 둘 이상의 세부특징 간 결합이 요구되는 기억 항목에 대한 재인 정확도가 크게 감소하지 않는 것을 관찰하였다(Delvenne, Cleeremans, & Laloyaux, 2010; Gajewski & Brockmole, 2006; Hollingworth & Henderson, 2002; Johnson, et al., 2008; Karlsen, Allen, Baddeley, & Hitch, 2010). 이는 초점주의가 주어지지 않더라도 시각작업기억에 저장된 항목

의 세부특징간 결합은 견고하게 유지될 수 있음을 시사한다.

파지 단계의 시각작업기억 표상의 공고성에 미치는 초점주의의 영향과 관련된 논란은 일반적으로 기억의 고전적 단계 모형(Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971)에서 시연의 역할에 대한 부정확한 이해에서 비롯되는 경우가 많다. 예를 들어 시연과정에 초점주의가 필수적이라는 가정에서 출발된 과거 연구는, 시각작업기억에 저장된 정보의 파지과정에서 기억 표상에 대한 간섭과 표상 부식(decay)에 대한 저항으로 의식적 노력(conscious effort)이 필요함을 강조하는 경향이 있다(Rensink, 2002; Saiki, 2002, 2003; Wheeler & Treisman, 2002; Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959). 그러나 이와 같은 의식적 노력은 단기 파지가 요구되는 기억 정보의 유지(maintenance)에는 필요충분조건이 될 수 없다. 즉 시연은 시각작업기억에 저장된 정보를 장기기억으로 전환하는 과정에 중요한 역할을 할 뿐이며, 시각작업기억에 저장된 정보의 파지 과정과는 혼동되지 말아야 한다. 시각작업기억은 그 자체로 10여 초 이후 의식적 노력이 없을 경우 사라지는 것이 일반적이며 적극적인 시연이 수반되지 않으면 망각으로 이어지는 것은 지극히 당연한 현상으로 볼 수 있다(Cowan, 2008; Gold, et al., 2005; Zhang & Luck, 2009).

특히 부호화와 공고화 과정에 의해 형성된 시각작업기억 표상은 이미 감각적 세부특징들 간 초점 주의에 의한 결합(binding)이 완료된 추상적이고 통합적인 객체 표상이다. 이처럼 기억 표상으로의 질적 전환이 종료된 이후에도 세부특징들 간 결합의 공고한 유지를 위해

초점주의가 지속적으로 필요하다는 주장은 기존의 시각적 주의의 역할과 기억 정보의 질적 표상에 관한 다수 연구에서 밝혀진 사실에 대한 근본적인 부정이 된다. 기억 파지와 관련된 초점주의의 역할에 대한 논란은 아직 종식되지 않았으나 대다수의 연구 결과가 시각작업기억에 저장된 정보 표상이 단순한 세부특징의 조합이 아님을 지지하는 증거를 제시했음을 고려할 때 파지과정에서 대두되는 초점주의에 대해서는 좀 더 신중한 접근이 필요한 것으로 판단된다.

그러나 파지 과정에서 초점주의의 역할을 배제하기는 어려운 것으로 보인다. 예를 들어 Posner 단서유도법(cuing paradigm)을 사용해 수행된 최근 연구는 파지 시간 동안 이미 형성된 기억 표상에 대해 공간적 차원에서 선별적 처리가 가능함을 관찰하였다(Griffin & Nobre, 2003; Vogel, Woodman, & Luck, 2005b). 이 연구들에서는 시각작업기억에 저장된 정보의 위치에 공간적 주의를 유도할 경우, 주의가 주어진 항목은 주의가 주어지지 않은 항목에 비해 상대적으로 기억 정확도가 높은 것으로 나타났다. 이 결과는, 추상적이고 통합된 형태로 공고한 결합에 의해 감각 및 지각적 표상 수준에서 기억 표상의 단계로 질적 전환이 이루어진 이후에도 공간적 주위에 의해 파지의 효율성이 증가되거나 유지될 수 있음을 시사한다.

단서유도법을 사용한 또 다른 일련의 연구는, 지각적 처리 단계에 개입하는 주의 효과가 시각작업기억 처리 단계에 개입하는 주의 효과와 그 공간적 특성을 달리함을 발견하였다(현주석, 2008a; Schmidt, Vogel, Woodman, &

Luck, 2002). 주의 유도 단서가 주어진 위치를 중심으로 발생하는 정보처리 촉진 효과는 지각적 처리 단계의 경우 단서 위치에서 멀어질수록 완만하게 감소하는데 반해, 기억에 저장된 정보에 대한 효과는 단서 위치에 제시되었던 기억 항목 위치에 국한되어 발현되는 것으로 나타났다. 이는 지각적 그리고 시각작업기억에 저장된 항목에 대해 주의를 집중하는 것은 지각적 변별과 재인 과정에 있어서 정확도 상승으로 나타날 수 있으나, 기억 수준의 주의 효과는 지각적 단계의 그것에 비해 이미 형성된 객체의 위치를 중심으로 국소적으로 발현될 가능성을 시사한다.

기억 파지의 효율성이 공간적 주의에 의해 개선된다는 사실은, 기억 표상에 초점주의가 집중됨으로써 기억 표상의 망각을 초래하는 요인들의 영향이 약화됨을 의미한다. 또한 초점주의가 주어지는 대상의 촉진 현상이 지각적 수준과 기억 수준에 걸쳐 서로 공간적으로 상이하게 나타난다는 사실은, 주의가 작용하는 지각적 수준의 표상과 시각작업기억 수준의 그것이 서로 공간적 특성 측면에서 상이할 가능성을 의미한다. 결과적으로, 지각적 분석 단계에서 얻어진 표상과 시각작업기억 처리과정에서 산출되는 기억 표상이 서로 질적으로 다르다는 최근의 해석을 지지하는 결과로 해석될 수 있다(Luck & Vogel, 1997)..

세 번째 단계는 기억 표상에 접근하고 감각기관을 통해 매 순간 새롭게 유입되는 정보와 비교(comparison)하는 단계이다. 이 처리과정은 장기기억의 기억 인출 및 재인 과정과 유사한 개념으로 통용되나 근본적인 정의에 있어서 차이가 있다. 포괄적으로 재인 과정은 인출

및 비교 그리고 의사 결정 및 반응 선택까지를 포괄하는 개념으로 정의할 수 있으나, 그 세부적인 처리과정을 조사한 최근의 연구는 재인 과정에 대한 정의가 수월하지 않음을 시사한다(Hollingworth, 2003; Hyun, Hollingworth, & Luck, 2006; Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, 2009; Hyun, Woodman, Vogel, Niese, & Luck, 2003).

먼저 시각작업기억에 저장된 내용을 새로운 정보와 대조하는 과정의 중요성은 비교적 최근에 대두되었으며, 장기기억의 재인 과정에 대한 기존 모형과의 혼동으로 인해 그 정의가 수월하지 않은 것으로 판단된다. 예를 들어, 장기기억의 인출 과정(long-term memory retrieval)은 저장된 정보간의 간섭을 배제하기 위한 효율적 단서의 사용과 경우에 따라서는 의식적인 노력이 동반되는 과정으로 잘 알려져 있다(Bower, Clark, Lesgold, & Winzenz, 1969; Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959; Tulving & Pearlstone, 1966).

그러나 시각작업기억과 같은 단기 파지를 요구하는 기억 현상에 대해 장기기억의 인출 과정에서 요구되는 것과 유사한 의식적인 노력이 필요한가에 대해서는 좀 더 신중한 논의가 필요하다. 예를 들어 작업기억을 의식(consciousness or awareness)의 핵심으로 규정할 경우 작업기억에 저장된 정보는 주어진 과제에서 즉각적인 활용이 가능해야 하며(readily accessible), 망각을 전제로 한 단기 파지의 특성상 의식적 노력 없이도 기억 정보의 유지가 가능해야 한다. 이러한 해석은, 최근의 기억 연구자들이 주어진 과제를 수행하기 위해 장기기억의 일부분을 활성화(activated)시킨 상태

로 작업기억을 정의하려는 시도와 일맥상통한다(Cowan, 1997, 2008). 이 해석이 타당하다면, 시각 정보에 대한 지각적 처리 또는 장기기억의 일부분을 활성화시켜 이미 의식적 처리가 가능한 정보에 대해 추가적인 인출 과정이 다시 필요한가에 대해서는 의문의 여지가 남는다<sup>8)</sup>.

비교 과정에 대한 최근의 연구는, 색상 범주가 분명한 자극들에 대한 변화탐지(suprathreshold change detection)가 시각탐색에서 돌출되는 세부특징이 탐지 되는 과정(pop-out feature detection)처럼 매우 빠르고 자동적으로 수행됨을 보여주었다(Hyun, et al., 2009). 특히 기억된 항목과 기억 검사 항목 간 차이점(memory-perception difference) 보다는 유사성(memory-perception similarity)을 탐지하도록 요구했을 경우, 병렬적 비교(parallel comparison)보다는 순차적 비교(serial comparison) 과정으로 질적 전환이 발생함을 보여주었다. 즉 기억 항목과 검사 항목 간 동일한 항목이 있는지를 판단할 경우 제시된 항목 개수가 증가함에 따라 탐지 반응 시간이 점차 지연된 반면에, 기억항목과 검사 항목 간 차이점의 유무를 보고 하도록 요구받은 경우 반응시간은 항목 개수

의 증가에 의해 크게 영향을 받지 않았다. 이는 기억 항목과 검사 항목 간 비교 과정에서, 변화(change)가 탐색되는가 아니면 유사 항목(similar item)이 탐색되는가의 여부에 의해서로 대조되는 탐색 기제가 사용됨을 시사한다.

시각작업기억 항목의 재인 과정의 또 다른 특성은, 비교 과정이 단일 처리 기제가 아닌 둘 이상의 처리 기제 간 병렬적 운용에 의해 수행될 가능성이다. 예를 들어 Hyun 등(2009)은 기억된 항목과 차이가 있는 항목의 근본적인 차이는 매우 빠르고 자동적으로 발견되나, 그와 동시에 그 차이점을 재차 확인하고 검사하는 상대적으로 느린 비교 처리 과정이 존재함을 발견하였다. 이는 의사결정(decision making)과 반응선택(response selection)을 요구하는 비교 단계의 경우 기억 항목과 검사 항목 간 반복적인(iterative) 확인 과정이 수반됨을 의미한다.

요약하면, 시각작업기억의 일반적인 처리과정은 부호화, 공고화 그리고 파지 및 비교 과정으로 요약될 수 있으며 부호화와 공고화를 거친 기억 표상은 지각적 분석에 의한 세부특징 간 단순한 결합과는 표상적 특성 면에서 질적인 차이가 있다. 또한 이러한 표상의 유지에 있어서 초점주의는 필수가 아닐 가능성이 있으나 적어도, 기억표상에 대한 간섭이나 부식을 방지하여 기억 효율성을 증가시키는 역할을 수행할 수 있다. 마지막으로 기억 표상에 대한 접근과 비교는 매우 신속하고 자동적으로 수행되며 과제에 따라서는 비교과정 즉 재인과정의 오류를 방지하기 위한 부가적인 처리과정이 뒤따를 가능성이 있다. 지금까지

8) 시각작업기억에 저장된 정보에 대한 접근 과정과 고전적 기억 모형의 기억 인출 개념이 동일시 될 수 있는지에 대해서는 구체적 연구가 수행된 바가 없는 것으로 판단된다. 다만 Cowan (1997, 2008)의 정의를 따라, 장기 기억의 일부분이 활성화되어 이미 인출이 종료된 상태이거나, 기억 공고화를 거쳐 자동적 접근이 가능한 작업 기억정보에 대해 의식적인 노력이 요구되는 고전적 기억 이론의 인출 개념이 적용될 수 있는지에 대해서는 논란의 소지가 있음을 밝혀둔다.

지 시각작업기억의 개념적 정의와 처리특성을 살펴보았으며, 다음 단락에서는 시각작업기억에 대한 연구를 위한 주요 행동적 실험 패러다임을 소개함으로써 방법론적 측면에 대한 이해를 도모하고자 한다.

### 시각작업기억 연구에 사용된 행동적 측정법

**변화탐지(change detection)** 시각작업기억에 대한 행동적 측정법 중 최근 주목을 받은 것은 변화탐지 과제이다. 일반적으로 변화탐지 과제에서는, 시각작업기억에 완벽하게 표상된 항목과 현저히 차이가 있는 새로운 감각 정보와의 비교 과정에서 발생하는 시각적 변화(visual change)는 매우 정확하게 탐지된다고 가정한다(Hyun & Luck, 2007; Hyun, et al., 2009; Luck & Vogel, 1997; Vogel, et al., 2001, 2005b, 2006).

변화탐지 과제에는 첫째, 특정항목에 대한 기억을 요구한 뒤 동일한 항목들을 제시하거나 또는 그 기억 항목 중 일부가 변화된 검사 자극을 사용하여 재인검사를 실시하는 유형(Luck & Vogel, 1997; Vogel, et al., 2001, 2005b, 2006)이 있으며 둘째, 유사한 두 자극 배열을 교대로 여러 번 제시하는 과정에서 나타나는 미세한 변화를 탐지하도록 요구하는 유형이 있다(Rensink, 2000b, 2002; Rensink, O'Regan, & Clark, 1997; Rensink, O'Regan, & Clark, 2000; Simons & Levin, 1997). 두 유형 모두 변화탐지 과제로 공히 명명되긴 하였으나 사용된 시각 자극의 종류 및 자극 제시의 시공간적 특성에서 명확한 차이가 있다.

첫 번째 변화 탐지 유형이 사용된 고전적 실험 사례는 행렬(matrix) 자극에 대한 재인 과제가 실시된 Phillips(1974)의 기억 연구이다. Phillips는, 장방형 행렬의 셀(cell) 중 일부가 채워지거나 비워진 패턴 자극에 대한 기억을 요구하고, 행렬의 복잡성과 파지간격 증가에 따른 재인 정확도를 측정하였다. 행렬 크기가 변화함에 따라 채워지거나 비워지게 되는 셀들이 구성하는 패턴 문양 복잡성은 기억 난이도의 증감으로 정의되었으며, 기억 파지간격은 순차적으로 제시되어 비교가 요구되는 두 행렬 간의 시간 차이로 정의되었다. Phillips는 행렬의 복잡성과 기억 파지 간격이 증가함에 따라 기억된 행렬에 대한 재인 정확도가 감소하는 것을 관찰하였다. 이는 시각작업기억에 저장된 자극의 복잡성이 증가해 기억부담이 늘어나면 기억 항목의 표상적 질이 떨어져 정확한 재인이 어려워짐에 기인하는 것으로 해석되었다.

Phillips의 과제 이후, 시각작업기억의 저장 용량과 표상 특성을 조사하기 위한 좀 더 체계적인 연구는 비교적 최근에 수행되었다(Luck & Vogel, 1997; Vogel, et al., 2001). Luck과 Vogel(1997)은 그림 1 (가)처럼 1~12개의 색상 범주가 분명한 도형 자극을 200ms 동안 제시한 뒤 사라지게 하였다. 피험자는 제시되었던 도형의 색상을 기억하여, 800ms의 빈 화면(blank display)에 뒤이어 나타날 검사항목들의 색상과 비교하여 같은지 다른지를 보고하도록 요구받았다. 전체 시행 중 절반의 시행에서는 기억이 요구된 항목들과 동일한 색상을 가진 자극들이 검사항목으로 제시되었으며 나머지 절반의 시행에서는 검사항목 중 한 도형의 색

상이 기억항목과 색상을 달리했다. 피험자는 이러한 두 유형의 시행에서 기억된 항목과 검사항목 간 서로 색상이 다른 항목이 있는가를 판단하여 보고하였다<sup>9)</sup>.

이 실험은 앞서 언급된 바와 같이, 기억항목이 시각작업기억에 성공적으로 저장되었다면 기억과 검사항목 간 차이 유무를 정확히 판단할 수 있다는 가정에 근거한다. 특히 제시된 항목 개수의 증가는 시각작업기억에 대한 부하(load)를 증가시키는 것으로 가정되는데, 부하의 증감에 따른 기억재인정확도(memory recognition accuracy)의 변화는 작업기억 저장 용량을 추정하기 위한 손쉬운 측정치가 된다.

Luck과 Vogel(1997)의 과제는 매우 단순한 단일 세부특징에 대한 기억이 요구된다는 점에서 항목 개수가 크게 늘어나더라도 변화탐지의 정확도는 비교적 정확하리라는 직관적인 예견이 가능하다. 그러나 그림 1(나)에 예시된 바와 같이, 피험자의 재인정확도는 항목개수가 네 개인 조건에서 급격하게 감소하기 시작하여 여덟 개 조건에서는 우연수준으로 떨어졌다. 이 결과는 시각작업기억의 저장용량이 약 3~4개 항목 정도로 지극히 제한적임을 의미하는 것으로 해석되었다.

변화탐지과제는 저장용량에 대한 추정 이외에도, 저장된 정보의 표상적 특징을 조사하는데도 유용하다. Luck과 Vogel(1997)의 동일 연구에서 수행된 또 다른 실험은 기억항목 개수

의 변화뿐 아니라 기억항목을 구성하는데 있어서 사용되는 세부특징을 두 개 이상 사용하는 결합기억(conjunction memory) 과제가 사용되었다. 기억항목의 세부특징이 단일 차원에서 규정되는 단순세부특징 기억과제(simple feature memory task)가 단일 세부특징 차원(예: 색상)에 대한 기억만이 요구되는 반면, 결합과제에서는 둘 이상의 세부특징 차원에서의 변화 가능성을 고려해야 된다는 점에서 기억항목의 저장과 관련된 기억부하가 단순세부특징 기억과제 비해 이론적으로 두 배가 된다.

만약 시각작업기억에 저장된 정보가 서로 다른 세부특징 차원 간 독립적 저장(independent feature storage)에 의해 표상된다면 결과적으로 결합기억과제의 기억부하는 단순세부특징 기억과제의 기억부하에 비해 상대적으로 크게 증가해야 된다. 따라서 항목 개수의 증가에 따른 결합과제의 변화탐지 정확도는 단순세부특징기억과제의 정확도보다 더욱 급격하게 감소해야 한다. 그러나 이러한 예견에도 불구하고, Luck과 Vogel이 측정한 결합과제의 변화탐지 정확도는 단순세부특징 과제의 그것과 전혀 차이가 나지 않았다. 심지어 개별 기억항목을 구성하는 세부특징의 개수가 도합 네 개에 육박할 경우(quadruple conjunction)조차도 기억 항목에 대한 변화탐지 정확도는 단순세부특징 과제의 그것과 큰 차이가 나타나지 않았다.

단순세부특징과제와 결합과제 간 항목 개수에 따른 변화탐지 정확도에 차이가 없다는 사실은 앞서 간략히 소개된 바와 같이, 시각작업기억에 저장되는 정보가 독립적인 시각 세부특징들 간의 단순한 조합이 아닌 매우 공고

9) Luck과 Vogel (1997)이 사용한 과제는 근본적으로는 기존 연구에서 흔히 사용되었던 지연표본대응과제(delayed-matching-to-sample task)의 일종으로 정의할 수 있다(Parr, 1992; Sternberg, 1966).

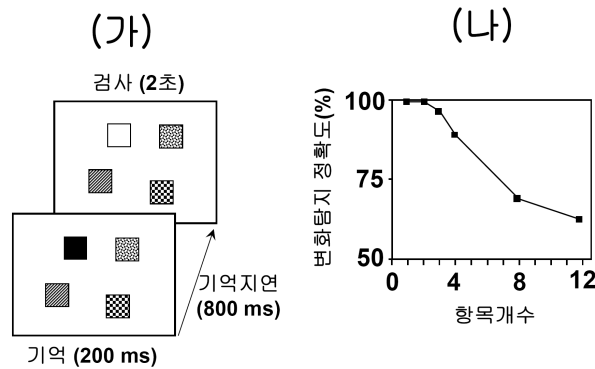


그림 1 (가) Luck과 Vogel (1997) 및 Vogel 등 (2001)의 연구에서 사용된 변화탐지과제의 자극 구성 및 절차 (항목개수 4개 조건) 및 (나) 측정된 변화탐지 정확도 (예시된 그림과 자료는 원저자의 동의하에 재구성되었음)

하게 통합된 추상적 형태임을 의미한다.

Luck과 Vogel의 변화탐지 과제는 기억항목들이 한 화면상에 모두 제시되고 그 뒤를 따르는 검사항목 또한 동일한 방식으로 한꺼번에 제시되는 전체 탐사법(whole probe)의 방식을 따른다. 그러나 Sternberg(1966, 1969)가 사용한 고전적 단기기억 재인 검사는 기억항목을 순차적으로 제시한 후 단일 검사자극의 제시를 통해 재인 검사를 실시한다. 이와 같은 재인 과제는 최근의 기억 연구에서 일부 시도되었으며 때로는 ‘부분 탐사법(partial probe)’에 의한 변화탐지 과제 등으로 새롭게 명명된 바 있다<sup>10)</sup>.

10) 부분 탐사법은 감각기억의 특성을 조사하기 위해 Sperling(1960)이 고안한 부분 보고법(partial report)과 용어 명칭상 혼동될 가능성이 있다. 변화탐지 과제에서 사용되는 부분 탐사법은 감각기억이 아닌 시각작업기억에 저장된 정보를 조사하기 위해 고안되었으며, 전체 탐사법에서 정확히 변화가 어디에 발생했는가에 대한 피험자의 혼동 가능성(change-location uncertainty)을 통제하기 위해 흔히 사용된다.

기억 표상과 검사 자극 간 유사성(similarity)의 역할을 체계적으로 조사한 최근의 연구는 Sternberg의 단기재인 과제(short-term recognition task) 패러다임을 좀 더 정교하게 발전시켰다. Kahana와 Sekuler(2002)는 기억 및 검사 자극으로 사인파 격자무늬(sinewave grating) 자극을 사용하였다. 사용된 사인파 함수의 공간 주파수(spatial frequency)는 상대적으로 낮은 것부터 높은 것까지 다양하였으며, 개별 피험자의 변별 역치 차이를 반영하기 위해 Weber 계수(Weber's fraction; Palmer, 1999)에 근거해 주파수 유목(frequency category)을 달리함으로써 개인차 변인을 효과적으로 통제하였다.

Kahana와 Sekuler는 서로 다른 공간 주파수에 근거해 구성된 다양한 사인파 격자무늬 자극에 대한 단기 저장이 요구될 경우, 기억된 자극에 대한 재인 정확도는 기억항목들과 검사항목 간 유사성에 의해 의존할 가능성에 주목하였다. 일반적으로 단일 기억 항목과 검사항목 간 유사성이 증가하면 기억 항목에 대한

재인 정확도는 감소할 가능성이 큰데, 이는 일반적인 신호탐지 이론(signal detection theory, SDT)의 관점에서도 충분히 예견할 수 있는 결과이다(Green & Swets, 1966; Green, 1961).

Kahana와 Sekuler는 단일 항목인 경우보다 둘 이상의 기억항목이 존재할 경우 개별 기억항목과 검사항목 간 유사성이 재인 정확도를 예견함에 있어서 매우 중요한 역할을 할 수 있음을 강조하였다. 특히 각 기억항목과 검사항목 간 유사성 정도가 모두 합산될 경우, 이 합산된 유사성(summed similarity) 값은 피험자가 부분탐사 패러다임에 근거해 단독으로 제시된 탐사 격자무늬 자극(probe grating)에 재인 정확도를 예측함에 있어서 결정적인 요인이 될 수 있음을 발견하였다. 또한 합산된 유사성 값은, 기억이 요구된 격자무늬 자극과 매우 유사한 미끼 격자무늬자극(lure grating)에 대한 재인 오류(false-recognition) 확률 또한 체계적으로 예견할 수 있음이 관찰되었다.

Kahana와 Sekuler의 연구는 기억 항목과 검사항목 간 유사성 변인에 근거하여 재인 과정에 대한 정량적 모형화를 시도한다는 점에서 기억 표상 자체의 특성을 집중적으로 조명한 최근의 변화탐지연구들과는 차이가 있다. 특히 그들의 단기재인 과제는 부분탐사법을 사용하는데, 전체 탐사법과 부분 탐사법을 비교한 최근의 연구는 두 탐사법에 근거해 측정된 변화탐지 정확도에 차이가 있음을 관찰하였다. 이는 검사항목이 제시된 순간 활용되는 항목 위치 정보의 역할이 두 과제에서 서로 다르기 때문인 것으로 해석되었다(Jiang, et al., 2000; Treisman & Zhang, 2006). 그러나 Kahana와 Sekuler의 연구에서는 과제 항목들이 모두 화

면 중앙에 순차 제시되었으므로 항목의 공간적 위치 정보는 완벽하게 통제되었다. 따라서 Kahana와 Sekuler의 단기재인 과제는 기억된 항목과 동일한 자극 및 유사한 자극간의 변별이 요구된다는 측면에서 결국 포괄적으로는 변화탐지의 틀 안에서 이해될 수 있다.

변화탐지 과제와 관련해서 고려될 또 다른 한 가지는, 기억항목이 재인되는 과정에서 동반되는 추측(guessing)이나 반응편향(response bias)의 역할을 변화탐지 정확도 측정만으로는 전혀 배제하지 못한다는 점이다. Pashler(1988)는 추측이나 반응편향에 의한 오반응의 영향을 최대한 배제하고, 저장이 요구되는 여러 개의 기억 항목들 중 몇 개의 항목이 정확히 단기 기억에 저장되었는지 추정 가능한 측정치를 고안하였다. ‘Pashler의 K값(Pashler’s K-value)’이라고도 불리는 이 측정치는, 항목 개수가  $n$  개인 특정 시행 유형에서 피험자가  $K$ 개의 항목을 정확하고 일관되게 기억할 수 있다면,  $K/n$  시행에서 적어도  $n$ 개의 항목 중 한 항목에 발생하는 변화를 정확히 탐지한다는 가정에 근거한다. 그 공식은  $K = [n \times (H - F) / (1 - F)]$  ( $H$ : 정반응율,  $F$ : 오경보율)로 정의된다<sup>11)</sup>. K값 추정은 피험자가 변화탐지 과제의

11) Cowan(2001)은 Pashler의 K값 환산 방식이 추측 반응을 정확히 배제하지 못한다고 지적하고, 바른 기각(correct rejection) 비율에 따라 K 값을 교정할 것을 제안하였다. 따라서  $K = C \times [n \times (H - F) / (1 - F)]$ 으로 수정될 것을 권고하였으며, 여기서 C는 바른기각(correct rejection)의 확률로 정의되었다. Cowan과 Pashler의 각 방법에 따라 측정된 K값 간의 차이는 일반적으로 크지 않은 것으로 보고되고 있다(Gold, Wilk, McMahon, & Luck, 2003)



여러 시행에 걸쳐, 성공적 재인에 활용된 기억 저장 항목의 평균적 개수를 오경보 및 추측 반응의 정도를 고려해 정확히 계산해 주는 것으로 간주되어, 최근 여러 작업기억 연구에서 널리 사용되고 있다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Alvarez & Thomson, 2009; Cowan, 2001; Cowan, et al., 2005; Vogel, et al., 2001, 2005b, 2006).

시각작업기억 연구를 위한 또 다른 행동적 측정법은 주로 변화맹 현상에 대한 연구에서 흔히 발견된다(Hollingworth & Henderson, 2004; Rensink, 2002; Rensink, et al., 1997; Rensink, et al., 2000; Simons & Levin, 1997; Simons & Rensink, 2005). 변화맹 현상은 관찰자의 주의가 분산되어 있거나 주요 사건과 사물에 집중되어 있을 경우, 시야에 발생하는 명백한 변화를 탐지하지 못하는 현상을 의미한다(Simons & Levin, 1997). 또한 변화맹 현상은 변화가 발생하는 시각 장면에서 초점주의가 집중되지 못해 발생된다고 설명되기도 하지만(Rensink, 2000a, 2000b, 2002), 한편으로는 선별적 처리가 수행되지 못한 사물 또는 사건이 시각작업기억에 성공적으로 표상되지 못해 나타나는 것으로 설명되기도 한다(Hollingworth, 2003; Hollingworth & Henderson, 2004).

변화맹 현상에 극명한 증거는 심리학 실험실이 아닌 일상의 시각 장면에서 발견된다. Simons와 Chabris(1999)는 서로 다른 색상의 의복을 착용한 두 집단이 농구공을 서로 뒤섞여 주고 받는 비교적 복잡한 동영상에 피험자에게 보여주고 각 집단 내 사람들이 주고받는 횟수를 세도록 요구하였다. 이 과제의 고난이도 조건에서는, 사람들 사이를 오가는 농구공

이 허공을 경유해 건네지는지 아니면 바닥에 튕겨 건네지는지를 분별해 추적해야 되므로 고도의 초점주의(focused attention) 처리과정이 요구되었다. Simons과 Chabris의 관심은 초점주의가 시각 장면의 특정 사건(예: 주고받는 농구공)에 집중된 상황에서, 초점주의 사건과 맥락상 관련이 없는 사건(unattended or unexpected event)이 연출될 경우 그 사건을 탐지할 수 있는가의 여부였다. 이를 위해 그들은, 공을 주고받는 사람들의 한가운데로 우산을 쓴 여인 또는 기괴한 고릴라 복장을 착용한 사람이 지나가는 장면을 삽입하였다. 그 결과 놀랍게도, 농구공이 건네지는 횟수를 세도록 요구 받은 피험자의 약 절반가량이 우산 쓴 여인 또는 고릴라 복장을 한 사람이 시각 장면에 출현했다는 사실을 전혀 알아채지 못했다. 이는 피험자의 공을 주고받는 횟수를 세기 위해 초점주의가 공의 위치에 집중되었기 때문에 우산을 쓴 여인이나 고릴라 복장을 착용한 사람 같은 현저한 사건의 발생을 전혀 탐지하지 못하는 변화맹의 대표적인 사례로 제시되었다.

일상의 장면에서 관찰되는 변화맹 이외에도, 실험실 내에서 사용된 통제된 변화맹 과제는 앞서 소개된 Luck과 Vogel이 사용한 변화탐지 과제(Luck & Vogel, 1997)와 뚜렷이 구분되는 특성을 가진다. 예를 들어, Rensink(2000b)는 다양한 시각 속성 자극이 포함된 자극 배열 장면(stimulus array set)을 짧은 시간 노출시키되(80-800ms), 120ms의 빈 화면(blank)을 사이에 두고 매우 빠른 속도로 반복 제시되는 자극 상황을 구성하였다. 반복되는 매 장면은 교대로 한 항목의 속성이 지속적으로 변화하였는데, 피험자는 이 변화를 발견하는 즉시 보고

하도록 지시 받았다.

일반적으로, Rensink가 사용한 과제 상황에서 피험자는 반복되는 자극 배열 사이에 제시되는 빈 화면 때문에 동일한 시각 장면이 비교적 빠른 속도로 점멸하는(flickering) 시각 경험을 하게 된다. Rensink는 이러한 점멸 처치 아래에서 자극 배열을 구성하는 항목의 개수를 증가시키면서 자극 항목들 중 특정 항목에 발생한 국소적 변화에 대한 피험자의 탐지 정확도를 측정했다. 그 결과 항목 개수가 증가할수록 피험자의 탐지 정확도는 감소되는 것으로 나타났다.

복잡한 시각 장면에서 순간적이고 국소적인 변화는 그 현저성 때문에 초점주의의 자동적인 집중이 뒤따른다. Rensink가 사용한 점멸 자극 상황에서는, 반복되는 자극 배열 간 제시되는 빈 화면이 유발시킨 전역적 변화(global transient)가 국소적이고 현저한 변화(local salient transient)를 차폐(mask)시킨다. 결과적으로 점멸 자극 상황에서는 국소적 변화의 현저성이 감소되어 특정 변화 위치에 초점주의가 자동적으로 집중될 가능성이 매우 낮아지며, 항목 개수가 증가하면 이러한 집중에 근거한 변화 탐지가 더욱 어려워진다. Rensink의 실험에서 관찰된 점멸 자극 상황하의 변화탐지 정확도는 이러한 예견과 정확히 일치한다.

초점주의가 변화 항목에 집중되지 못한다는 사실은, 그 항목이 초점주의에 의한 처리를 받지 못 할뿐만 아니라 시각작업기억에 의미 있는 정보로 부호화될 가능성 또한 감소함을 의미한다. 특히 최근 연구들은 복잡한 시각 장면에 대한 변화맹의 발생 유무를 결정하는 것은 시각 장면 내 특정 항목에 초점주의가

주어졌는지의 여부뿐만 아니라 그 항목에 대한 지속적인 기억 파지가 성공적으로 수행되었는지가 매우 중요함을 밝혀냈다(Hollingworth & Henderson, 2002; Mitroff & Scholl, 2004; Mitroff, Simons, & Levin, 2004). 실험실 연구에 사용된 변화맹 난이도가 주로 항목 개수 증감에 의해 민감하게 변화됨을 고려할 때 변화맹 또한 시각작업기억의 용량 제한에 기인할 가능성이 크다고 짐작된다<sup>12)</sup>.

### 도약안구운동 전환기억(transsaccadic memory)

도약안구운동이 진행되는 동안 시각 기관으로 정보 유입은 일시적으로 중단(shut down)된다(Dodge, 1900; Matin, 1974; Richard, 1968; Ross, Burr, & Morrone, 1996). 결과적으로 매 도약운동 간 정보의 연속성을 유지하기 위해서는 개별 응시 장면에서 추출된 정보를 통합하는 과정이 필요하다. 이러한 처리 과정에는 특정 응시 순간에 추출된 정보가 다음 응시 순간까지 일시적으로 저장되는 기억 저장소가 요구되며, 이는 도약안구운동 전

12) 일반적으로 기억에 저장될 정보의 부호화에는 초점주의의 역할이 매우 중요한 것으로 간주된다. 따라서 변화맹 현상을 설명하는데 있어서 초점 주의 실패 가설과 기억 파지 및 인출 실패 가설을 독립적으로 고려하는 것은 어렵다. 그러나 시각탐색을 수행하는 것이 단순한 색상 도형을 기억하는 과제에 큰 간섭을 초래하지 않으며(Woodman & Luck, 2004), 시각작업기억에 성공적으로 저장된 정보임에도 불구하고 파지 및 인출 실패에 의해 변화맹 현상이 발생할 수 있음을 보여준 최근의 연구 사례(Hollingworth & Henderson, 2002)는 변화맹 현상에 있어서 초점주의의 역할이 경우에 따라서는 제한적임을 보여주는 사례가 된다.

환기억이라 명명되었다(Deubel, Schneider, & Bridgemen, 2002; Irwin, 1991; Irwin, 1992a; Irwin & Andrews, 1996).

도약안구운동 전환기억의 특성에 대한 연구들은 안구운동간 저장되는 정보량이 매우 제한적임을 발견하였다. Irwin(1992a)은 응시점 위아래에 글자 자극(letter)을 각각 세 개씩 모두 여섯 개 제시하고 피험자로 하여금 낱자들의 제시와 동시에 좌 또는 우측으로 안구운동을 하도록 요구하였다. 안구운동이 개시됨과 동시에 낱자들은 시야에서 사라졌으므로 피험자가 좌 또는 우측으로 안구운동을 종료한 시점에는, 글자들이 더 이상 화면상에 남아있지 않았다. 안구운동의 개시로부터 40-750ms의 지연시간이 경과된 후 사라진 글자들의 위치 중 한 지점에 탐사자극(probe stimulus)이 순간 제시되었는데, 피험자는 이 탐사자극의 위치에 제시되었던 글자를 회상하도록 요구 받았다. 안구운동 개시 이후, 시야에서 사라진 여섯 낱자들에 대한 피험자의 회상 정확도는 약 60% 정도를 상회하는 것으로 나타났으며 지연시간이 증가할수록 그 정확도가 점차 높아졌다. Irwin은, 도약안구운동간 저장되는 정보에는 용량제한(limited capacity)에 의해 기억 손실(memory loss)이 발생하긴 하나 감각기억에 비해 상대적으로 느린 처리 과정에 의해 수행되며 그 결과로 비교적 견고한 기억표상이 형성된다고 해석하였다.

이와 유사한 결과 패턴은 Irwin의 또 다른 연구(Irwin, 1991)에서도 발견된다. Irwin은 여러 개의 점들의 무선적 패턴으로 구성된 자극(random-dot pattern)을 현재의 응시점에 제시하고 다음 응시점에 일부분이 변형되거나 동일

한 패턴 자극을 제시하였다. 이 과제는 특정 응시점의 위치에서 저장된 기억 정보를 다음 응시점에서 추출된 정보와 비교하는 응시 간 재인 정확도를 측정한다. 통제 조건에서는 안구운동 없이 특정 위치에 순차적으로 제시된 점패턴 자극에 대한 변화탐지를 수행이 요구되었는데, 이는 Phillips(1971)가 사용한 단기기억 과제와 동일한 자극 방식을 따른다.

Irwin은 응시 위치에 제시된 무선 점 자극에 대한 재인 정확도가 약 80%에 근접할 정도로 비교적 정확한 것과, 통제 조건에서 관찰된 약 5초 이상 파지되는 견고한 기억 표상이 안구운동 조건에서도 역시 나타나는 것을 관찰하였다. 특히 안구운동이 시작되어 다음 응시 위치에 도착한 직후보다 적어도 300ms 이후에 재인 정확도가 최고조에 도달하였는데, 이는 도약안구운동 간 일시적으로 저장되는 정보는 적어도 감각 기억보다는 처리시간이 더 소요되는 상대적으로 느린 시각작업기억과 유사한 것으로 해석되었다. Irwin에 의해 수행된 일련의 관련 연구는 결국 안구운동간 전환기억이 시각작업기억과 시공간적 특성이 매우 유사함을 시사한다.

또한 읽기(reading) 수행과정에 대한 연구는 도약안구운동 전환기억의 표상적 특성에 대한 시사점을 제공한다. McConkie와 Zola (1979)는 문장을 읽는 과정에서 안구운동 간 각 문장을 구성하는 낱자들의 시각적 속성을 변화시켰다. 예를 들어, 특정 응시 순간 “i TaKe My CoFFeE WiTh CrEaMe AnD sUgAr”와 같은 문장은 다음 응시 순간 “I tAkE mY cOffeE wItH cReAmE aNd SuGaR”로 바꾼다. 이러한 문장 간에는 의미적 일관성이 유지되나 문장을 구

성하는 날자들의 형태 정보는 문장 내 개별 응시 순간마다 변화한다. McConkine와 Zola의 주 관심사는 피험자가 제시된 문장에 대한 읽기 수행 중 실시간으로 발생한 글자체 변화를 의식적 탐지가 가능한지의 여부였다. 피험자의 대다수는 놀랍게도, 응시점이 이동할 때마다 발생한 대소문자간의 교환에 의한 날자 변화를 잘 알아차리지 못했다. 또한 피험자의 눈 움직임에 있어서도 정상적인 문장을 읽을 때와 그 패턴에 있어서 큰 차이가 발견되지 않았다. 이는 도약 안구운동 간 저장되고 통합되는 정보는 형태 정보와 같은 자극의 감각적 세부특징보다는 좀 더 추상적이고 의미적 수준의 표상에 기반을 두고 있음을 의미하며, 그 표상적 특성은 앞서 소개된 시각작업기억의 통합적이고 추상적인 특성과 매우 유사할 가능성을 시사한다.

**교정안구운동(corrective saccade)** 앞서 도약안구운동 전환기억에 대한 소개에서 살펴본 바와 같이 시각작업기억과 안구운동 전환기억 간에는 매우 유사한 특성이 발견된다. 두 기억의 유사성을 좀 더 구체적으로 보여주는 예는 최근 수행된 일련의 교정안구운동 연구에서 발견된다.

지정된 표적으로의 도약안구운동이 실패할 경우 응시 교정(gaze correction)이 발생하는데 이러한 응시 교정 현상은 응시 이동 간 대응문제(correspondence problem)를 해결하는데 있어서 결정적 역할을 한다(Currie, McConkie, Carlson-Radvansky, & Irwin, 2000; Hallett & Lightstone, 1976; Henderson & Hollingworth, 1999). 즉 정지된 영상(static image)내 표적들에

대한 일반적인 안구운동에서는 응시의 대상으로 정확하게 도약안구운동이 수행되지 못하는 약 10% 정도의 응시 오류가 발생하는데, 관찰자의 이동 및 시각장면의 실시간 변화를 고려할 때 응시 오류를 최소화하는 즉각적인 응시 교정 처리는 매우 중요하다.

응시 교정 과정에는, 매 응시마다 서로 다르게 형성되는 두 장면의 영상 입력 간 표적이 되는 대상의 공간적 위치 및 정체(location and identity)를 일관성 있게 대응시키는 과정이 요구된다. 이러한 대응 과정을 이해하기 위해 Hollingworth, Richard와 Luck(2008)은, 피험자로 하여금 응시점에 제시된 기준 자극으로부터 이와 동일한 주변부의 표적으로 응시점을 이동하는 안구운동과제를 고안하였다. 그들은 피험자가 응시점에서 표적으로 도약안구운동을 진행하는 찰나에 주변부에 제시된 표적의 위치를 미세하게 변화(시계방향 15°)시켰다. 그 결과 표적을 향해 처음 진행된 도약 안구 운동이 종료된 후, 피험자는 다음 안구 운동을 통해 표적 위치로의 자동적 교정 안구 운동을 수행하는 것이 관찰되었다. 피험자는 위치가 변화한 표적으로 매우 신속한 응시 교정을 수행한 사실을 의식적 수준에서 전혀 간파하지 못했으나, 측정된 교정 응시의 정확도는 98%에 근사하였다.

Hollingworth 등의 실험에서는, 단일 표적 조건뿐만 아니라 주변에 표적이 아닌 다른 방해 자극이 존재하는 다중 항목 조건 또한 시도되었다. 다중 항목 조건에서 피험자는 지정된 표적 자극과 이웃한 방해자극으로의 응시 오류를 피하고 위치가 변화된 표적으로 정확한 교정 안구운동을 수행해야 한다. 안구 운동

측정 결과, 피험자의 교정 응시는 방해 자극 없이 단일 표적만이 제시된 경우에 비견될 만큼 매우 정확하고 신속한 것이 확인되었다. 이는 교정 안구운동 간 시각작업기억에 저장된 표적 자극과 표적 자극에 인접한 방해 자극 표상과의 비교 과정이 매우 자동적이며 신속하게 수행됨을 의미한다.

표적 자극에 대한 정보표상이 시각작업기억에 저장된다는 가설은 어떻게 검증될 수 있을까? 동일 연구에서 수행된 또 다른 실험에서는, 앞서 설명된 교정 안구운동 과제를 변화 탐지 과제의 기억 파지 간격 동안에 수행하도록 요구하였다. 피험자는 교정 안구운동 과제를 수행하기에 앞서 응시점의 주변에 제시되는 다섯 개의 도형의 색상을 기억하도록 요구 받았다. 다섯 개 항목 색상에 대한 기억 요구는 평균적인 시각작업기억의 용량인 3-4개 항목 개수를 상회하므로, 피험자는 시각작업기억의 용량이 소진된 상태에서 교정안구운동 과제를 수행하게 된다. 이러한 기억부하 처치 아래 교정 안구운동의 정확도가 저하된다면, 교정안구운동에 사용되는 일시적 정보 저장소는 시각작업기억일 가능성이 크다. Hollingworth 등은 기억부하의 부여에 따른 교정안구운동 정확도 저하를 관찰하였으며, 이는 교정 안구운동에서 응시 간 대응 문제의 해결을 위해 시각작업기억이 매우 중요한 저장소적 역할을 하고 있음을 시사한다.

**주의감박거림(attentional blink)** 시각작업 기억에 대한 연구에 있어서 선별적 주의의 역할은 기억에 저장될 정보를 선별하고 부호화한다는 측면에서 매우 중요하다. 감각기관을

통해 실시간(real-time)으로 입력되는 시각자극에 대한 선별적 처리를 이해하기 위한 연구 패러다임 중 ‘주의감박거림’ 과제는 선별적 처리의 시공간적 특성을 이해하기 위해 매우 중요한 실험법으로 간주되고 있다(Chun & Potter, 1995; Jolicoeur & Dell' Acqua, 1998; Luck & Vogel, 2001; Luck, Vogel, & Shapiro, 1996; Vogel & Luck, 2002; Vogel, Luck, & Shapiro, 1998).

주의감박거림 과제는 일반적으로 응시점이나 응시점 부근에 일련의 시각자극을 빠르게 순차적으로 제시하는 시각 자극의 신속순차시각제시(rapid serial visual presentation, RSVP) 방법에 기반을 둔다. Chun과 Potter (1995)는 일련의 알파벳 낱자를 화면의 중앙에 순차적으로 빨리 제시하고 선행 표적(first target, T1)의 변별을 요구할 경우, 그 표적에 연이어 제시되는 후행 표적(second target, T2)에 대한 회상(recall) 정확도가 저하되는 것을 발견하였다. 특히 평균적으로 300ms 정도의 간격(T1-T2 lag) 후 제시되는 후행 표적은 그 밖의 낱자들에 비해 회상 정확도가 현저히 저하됨이 관찰되었다.

주의감박거림에서 후행 표적에 나타나는 회상 정확도 저하는, 빠르게 제시되는 각 낱자들 중 특정 항목에 대한 단기 회상이 요구될 경우 그 특정 항목에 대한 선별적 기억 공고화가 요구되기 때문으로 설명되었다. 즉 제시되는 각 항목에 대한 지각적 분석과 탐지(detection)는 자동적이고 신속하게 실시간으로 수행될 수 있다. 그러나 선행 표적(T1)을 단기 기억에 저장하기 위해서는 상대적으로 느린 기억 공고화 과정이 진행되므로, 약 300ms 두고 뒤이어 제시되는 후행 항목(T2)

회상에 필요한 기억 공고화가 병행되기 어렵다. 이는 단기기억에 정보가 저장되는 과정에 있어서 일종의 병목(bottleneck)이 있음을 의미하며(Jolicoeur & Dell' Acqua, 1998), 작업기억의 용량 제한적 특성을 직접적으로 반영한다고 해석되었다.

단기기억의 용량 제한적 특성과 단기기억 공고화의 상대적으로 느린 처리 속도를 반영하는 주의깜박거림 현상은 의미적 수준의 정보처리에 있어서 지각적 처리와 기억 처리간의 미묘한 차이점을 분별하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 예를 들어, Luck, Vogel과 Shapiro (1996)는 순차적으로 매우 빠르게 제시되는 일련의 단어들 중 주의깜박거림 현상에 의해 회상이 불가능해진 후행 표적 단어에 의해 유발된 사건관련전위(event-related potentials, ERPs)를 관찰하였다<sup>13)</sup>. 매 시행에서는, 선행 및 후행 표적 단어와 방해 단어(distractor word)를 포함한 모든 단어들 순차적으로 제시되기 전에 맥락단어(context word)가 제공되었는데 이 맥락단어는 후행 표적 단어와 의미적으로 연관이 있거나(semantically related) 또는 무관(unrelated)하였다.

Luck 등은 사건관련전위를 유발시킨 표적 단어가 그 단어가 속한 문장의 의미적 맥락과 관련성이 없을 경우 나타나는 N400 사건관련전위 성분이, 맥락 단어와 후행 표적 단어의 의미적 연관성 유무에 따라 다르게 발현되는

지를 조사하였다. 즉 주의깜박거림 현상에 의해 회상이 불가능한 후행 표적 단어가 순차적으로 빠르게 제시되는 일련의 단어들 중 하나로 실시간으로 제시되었다고 가정하자. 후행 표적 단어에 의해 유발된 N400 파형은 후행 표적 단어에 대한 회상 가능 여부와는 관계없이, 그 표적 단어가 실시간으로 제시되고 있는 순간에 수행된 의미적 수준의 처리를 반영할 가능성이 있다.

즉, 후행 표적 단어가 의미적으로 맥락 단어와 일치하는 경우는 후행 표적단어에 의해 실시간으로 유발된 사건관련전위 파형에 N400이 나타나지 않을 것을 예견할 수 있으며, 불일치할 경우는 반대로 N400이 나타날 것을 예견할 수 있다. Luck 등은, 주의깜박거림에 의해 후행 표적 단어의 회상이 불가능함에도 불구하고 맥락단어와 후행 표적단어 간 의미적으로 무관한 조건에서 N400의 분명한 발현을 관찰하였으며, N400 성분의 크기는 주의깜박거림이 발생하지 않은 조건과 큰 차이가 없었다. 이는 회상 여부와는 관계없이 후행 표적 단어가 의미적 수준까지 무리 없이 처리되었음을 의미한다.

Luck 등의 연구 결과는, 주의깜박거림에 의해 의식적 회상이 불가능할지라도, 감각기관을 통해 실시간 입력되는 정보에 대해서는 의미적 처리가 수행됨을 보여주는 결과이다. 이는 실시간으로 수행되는 지각적 분석 과정이 처리 용량 제한으로부터 비교적 자유로우며 의식적 노력이 필수적이지 않은 반면에 시각작업기억에 저장된 정보에 대한 의식적 회상 과정에는 상대적으로 처리속도가 느린 기억 공고화 과정이 요구됨을 시사한다.

13) Luck 등(1996)의 연구는 사건관련전위를 관찰했다는 점에서 순수한 행동적 연구로 분류되기 어려우나 주의깜박거림 현상에 대한 행동적 측정에서 예견되는 시각단기기억의 시간적 특성을 사건관련전위 측정을 통해 수렴적으로 검증했다는 점에서 본 논문의 주요 개괄에 포함되었다.

**다중표적추적과제(multiple object tracking)**

시각작업기억에 저장되는 항목의 개수가 3-4개로 지극히 제한된다는 사실은, 시각장면에서 초점주의가 주어지는 대상의 개수가 3-4개로 제한된다는 시각적 주의에 관한 연구 결과들과 맞물려 매우 흥미로운 가설을 제공한다(Pylyshyn, 1989).

이러한 가설들은 복잡한 시각장면을 구성하는 사물과 사건을 독립적 처리 대상으로 구분(individuate)하는 과정에 대한 일련의 연구에서 그 배경을 찾아볼 수 있다(Scholl, 2001; Pylyshyn, 1989; Pylyshyn, 2001). 예를 들어, Scholl, Pylyshyn과 Feldman(2001)은 시야에 제시된 표적과 방해 자극이 무선적 방향으로 운동하는 복잡한 시각장면에서 관찰자가 성공적으로 추적 가능한 항목 개수가 3-4개 정도로 매우 제한적임을 발견하였다. 이를 토대로 Pylyshyn(2001)은 복잡한 시각장면에서 특정 사물들을 지속적으로 감시(monitoring)하는 능력은 추적 대상인 사물과 사건에 대한 세부특징을 파악하기 위한 시각적 색인(visual indexing) 과정에 의존하며, 그 대상이 되는 사건이나 사물은 3-4개로 국한된다고 주장하였다.

Pylyshyn의 모형에 대한 검증에 사용된 실험 연구법 중 최근 주목을 받은 것은 다중표적추적(multiple-object tracking, MOT) 과제이다. 다중표적추적 과제에서는, 다수의 운동 자극들 중 하나 이상의 특정 자극들에 대한 시각적 추적이 요구된다. 일반적으로, 추적의 대상이 되는 항목의 개수가 약 4개 이상이면, 그 이하의 항목 개수에 대한 추적이 요구된 경우보다 추적 정확도가 급격히 하락한다. 이는 시야에서 초점주의가 집중될 수 있는 공간적 위치가

3-4개 정도로 매우 제한적일 가능성을 시사한다(Scholl, et al., 2001; Pylyshyn, 2001).

최근의 다중표적추적 과제에 대한 연구들은 시각정보처리 과정에 시각작업기억이 관여할 가능성을 제안하였으며(Cavanagh, 2005), 이를 지지하는 실험적 증거들 또한 제시되었다(Fougnie & Marois, 2006; Oksama & Hyona, 2004). 예를 들어, Fougnie와 Marois(2006)는 피험자로 하여금 변화탐지과제와 다중표적추적 과제를 동시에 수행하도록 요구한 결과, 변화탐지 과제의 항목 개수가 증가함에 따라 추적 과제의 수행정확도가 점진적으로 감소하는 것을 발견하였다. 또한 Oksama와 Hyona(2004)는 다중표적추적과제의 수행정확도가 개인들의 주의 용량과 시각단기 기억 용량에 크게 의존하는 것을 발견하였다.

이 연구들의 핵심은, 다중표적추적 과제에서 추적 대상이 되는 것은 사물과 위치 간 결합(object-location binding)이며, 이를 위해서는 지속적인 시각작업기억의 갱신(continuous VWM update)이 필요하다는 점이다. 특히, 시야의 3-4개 위치에 집중된 초점주의는 추적과제 수행 중 지속적으로 요구되는 기억 갱신 과정의 한 순간에 불과하며, 매 갱신이 이루어지는 순간은 시각작업기억에 저장된 표적과 표적의 위치 간 공고한 결합을 성공적으로 유지하는 과정으로 설명되었다.

반면에 최근 연구에서는 다중표적추적과제가 수행되는 동안에는 위치정보의 지속적인 갱신이 수행되는 동안에는 추적의 대상이 되는 표적들의 정체(identity)에 관한 표상 정확도가 상대적으로 떨어지는 것이 관찰되었다(Pylyshyn, 2004). 이는 다중표적추적과제에서

갱신되는 정보는 운동하는 표적 자극의 위치 정보임이 분명하나, 추적되는 위치 자체와 표적 자극의 세부특징 간 결합은 그다지 공고하지 않을 가능성을 의미한다. 따라서 초점주의는 운동하는 표적들의 세부특징 간 결합 공고성에는 큰 영향을 미치지 않고, 표적들의 운동 궤적상의 개별 위치를 실시간으로 추적하여 갱신하는데 주로 영향을 주는 것으로 해석되었다. 이 해석에 대해서는 아직 논란의 소지가 있으며, 정확한 검증을 위한 세부적인 연구가 필요한 상태이다.

**시각차폐(visual masking)** 앞서 소개된 바와 같이 기억 항목에 대한 지각적 분석이 수행되어 부호화의 단계를 거치게 되면 그 정보가 시각작업기억에 공고하게 저장되기 위해서는 일정한 시간이 필요하다. 이러한 기억 공고화 과정은 기억될 자극에 대한 지각적 분석 과정이나 부호화 과정보다 상대적으로 느린 것으로 알려져 있으며, 공고화 과정에 소요되는 시간이 부족할 경우 기억 항목에 대한 저장은 매우 어려운 것으로 보고된 바 있다 (Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Luck & Vogel, 2001; Luck, et al., 1996; Vogel & Luck, 2002; Vogel, et al., 1998; Vogel, et al., 2006).

최근 연구는 시각차폐 현상을 이용하여 공고화 과정에 대한 간섭을 시도하였다. 시각차폐는 표적에 선행하거나 후행하는 차폐자극이 표적의 변별을 어렵게 만드는 상황을 의미한다 (Breitmeyer, 1984; Di Lollo, 1980; Di Lollo & Dixon, 1988; Enns & Di Lollo, 2000; Sperling, 1960; Vogel, et al., 2005b; Woodman & Luck, 2003). 차폐의 종류는 매우 다양하나 최근 연

구에 의하면, 시각작업기억의 공고화 과정에 간섭을 초래할 수 있는 차폐에는 역행패턴차폐가 있다(현주석, 2008b; Vogel, et al., 2006; Woodman & Vogel, 2005).

Vogel 등(2006)은 변화탐지 과제에서 기억항목이 제시된 후 네 가지 서로 다른 색상으로 구성된 패턴 자극을 제시하였다. 100ms 동안 제시된 기억 항목의 개수는 1-4개로 변화되었으며, 뒤이어 200ms 동안 제시된 패턴 차폐 자극이 17ms-484ms의 시간간격을 두고 제시되었다. 기억 항목을 시각작업기억에 저장하는데 있어서 지각적 분석 과정보다 상대적으로 느린 기억공고화 과정이 존재할 경우, 기억 항목과 패턴차폐자극 간 시간간격이 줄어들수록 변화탐지 정확도는 감소해야 한다. 특히 차폐 출현 간격(mask onset delay or sample-mask stimulus onset asynchrony)에 따른 차폐 효과가 항목 개수의 증가에 필히 의존하는 패턴이 나타나야만, 기억 부하 증가에 따른 기억공고화 시간의 상대적 지연이 타당해진다. Vogel 등의 측정 결과, 피험자의 변화탐지 정확도는 차폐 제시 간격이 감소함에 따라 점차 낮아졌으며, 이러한 감소 패턴은 항목의 개수가 늘어날수록 더욱 분명하게 나타났다.

변화탐지 과제에서 관찰된 차폐 제시 간격과 항목 개수의 상호 작용 패턴은 특히 시각탐색 과제를 사용한 그들의 통제 실험에서는 전혀 관찰되지 않았다. 이들의 통제 실험에서는, 변화탐지 과제에 사용된 것과 동일한 차폐 자극을 17ms의 차폐출현 간격을 두고 시각탐색 항목에 뒤이어 제시하였다. 요구된 시각탐색 과제는 여러 색상을 가진 사각형들 중 특정 색상을 가진 표적의 유무를 판단하는 단



순세부특징 탐색 과제였다. 이 탐색 과제는 지각적 분석 측면에서는, 변화탐지 과제에서 기억항목의 색상이 분석되고 부호화되는 과정과 일치한다. 그러나 특정 항목들에 대한 기억이 요구되지 않고 표적에 대한 탐지만이 요구된다는 점에서 지각적 처리에 국한된(perception-intensive) 과제로 간주될 수 있다. 만약 앞서 관찰된 차폐 출현시간과 항목 개수에 의존하는 변화탐지 정확도 패턴이 단순히 기억항목에 뒤이어 제시된 차폐 자극으로 인한 지각적 간섭의 산물이라면, 기억 항목과 동일한 단순세부특징들에 대한 탐색을 요구한 과제에서도 차폐출현시간의 감소에 따른 탐색 효율성 저하가 역시 관찰되어야 한다. 그러나 차폐 유무에 따른 탐색 수행 정확도의 저하나 반응시간의 지연은 전혀 나타나지 않았다.

Vogel 등의 연구는 역행 패턴 차폐가 시각작업기억의 공고화 과정에 체계적인 간섭을 초래할 수 있음을 보여주었다. 또한 지각적 분석이 신속하고 자동적으로 수행되기 때문에 역행패턴차폐가 영향을 크게 미치지 못하는 자극일지라도, 그 자극에 대한 단기 파지가 요구되면 지각적 분석에 비해 상대적으로 느리고 의식적인 수준의 처리를 요구하는 기억 공고화 과정이 동반됨을 보여주었다.

**시각탐색(visual search)** 시각탐색 과정은, 특정 표적에 대한 표상을 기억에 저장한 상태에서 그와 일치하는 자극의 탐지 및 변별이 요구된다는 점에서 기억 현상과 부분적인 관련이 있을 가능성이 크다. 이러한 가능성은 특히 시각탐색 과제와 시각작업기억 과제 간 간섭 현상의 패턴을 관찰한 일련의 연구들에

의해 조사되었다.

Woodman과 Luck(2001)은 앞서 소개된 바와 같이 변화탐지 과제에서 기억항목이 제시된 후 약 5초의 기억지연 시간 동안 시각탐색 과제를 수행하는 이중과제를 고안하였다. 기억지연시간 동안 수행된 탐색과제는 순차적인 탐색을 요구하는 초점주의 과제(예: Landolt-C 자극의 상하좌우 틸트 변별)였으며 항목 개수의 증가(4, 8, 12개)는 일반적으로 탐색 수행 시간(target search reaction time)의 체계적 증가로 나타난다. 동시에 수행된 변화탐지 과제는 네 개 이상의 항목 개수 조건(4, 8, 12개)을 사용하여 시각작업기억의 저장 용량이 모두 소진되도록 처치하였다. Woodman과 Luck은 이와 같은 이중과제 처치아래 피험자의 탐색 효율성이 전혀 감소되지 않음을 발견하였다. 즉 이중 과제에서 탐색 수행 시간은 탐색 과제만 따로 수행한 단독과제에 비해 반응시간이 평균적으로 지연되긴 하였으나, 탐색 항목 수의 증가에 따라 반응 시간이 지연되는 정도(RT slope)는 이중 과제와 단독 과제 간 차이가 없었다. 이는 탐색 수행을 위해 표적의 형틀(search target template)을 저장하는데 요구되는 일시적 기억 저장소는 시각작업기억의 그것과 큰 관련이 없으며 결과적으로, 시각 탐색 과정에 관여하는 기억 요소는 매우 미미할 가능성을 시사한다(Horowitz & Wolfe, 1998; Wolfe, Alvarez, & Horowitz, 2000; Wolfe, 1998).

후속 연구에서는 변화탐지 과제와 동시 수행되는 탐색 과제로 순차 제시된 점의 위치를 기억하는 공간 작업기억 과제를 사용한 결과 항목 개수의 증가에 따른 탐색 효율성의 분명한 저하를 관찰하였다(Woodman & Luck, 2004).

이는 앞선 연구(Woodman, et al., 2001)에서처럼 도형의 색상을 기억하는 객체 기억(object memory)이 요구되면 시각탐색 과정에 간섭이 발생하지 않으나, 공간 작업기억이 요구되는 경우는 분명한 간섭이 발생함을 의미한다. 이는 시각탐색 과정에 공간작업기억이 상대적으로 의미있는 역할을 담당함을 시사한다.

반면에 Han과 Kim(2004)의 연구는 작업기억의 중앙집행기에 대한 직접적인 부하가 처치된 상태에서는 탐색 효율성이 저하됨을 보고하였다. 예를 들어, 그들은 제시된 숫자에 대한 감산(subtraction) 또는 무선적으로 제시된 알파벳 낱자들을 일정 파지간격 이후 순서에 맞게 재배열해서 회상하는 하는 과제(예: BFHD를 BDFH로)를 기억과제로 요구하였다. 이 과제들은 시각작업기억에 정보를 단순히 저장하고 재인하는 기능보다는 직접적인 조작(operation)을 요구함으로써 중앙집행기능에 부하를 초래한다. Han과 Kim은 탐색만을 수행한 단독 과제보다 기억과제를 동시에 수행한 이중 과제에서 탐색의 효율성이 저하되는 것을 발견하였다. 이는 시각탐색 과정에 있어서 단순한 정보의 저장과 재인보다는, 중앙집행기에 대한 직접적인 부하가 걸릴 경우 탐색 효율성이 저하됨을 의미한다.

시각작업기억의 부하와 탐색 효율성을 살펴본 지금까지의 연구와 달리, 최근의 연구는 시각작업기억에 저장된 기억 항목의 표상적 특성이 동시 수행되는 탐색 과제에 영향을 미칠 가능성을 검증하였다(Woodman & Luck, 2007). 이러한 시도는 표적 형틀을 일시적으로 저장하는 기억 저장소가 시각작업기억일 가능성이 크며 따라서, 시각작업기억에 표적과 유

사하거나 상이한 항목이 이미 저장되어 있을 경우 표적 탐색과정에 영향을 줄 가능성이 있다는 점에서 출발한다.

예를 들어, Woodman과 Luck(2007)은 피험자로 하여금 특정 색상의 항목을 기억하도록 요구하고, 동일 연구자들에 의해 앞선 연구(Woodman & Luck, 2004; Woodman, et al., 2001)에서 사용된 탐색 과제를 동시 수행시켰다. 탐색 항목 중 일부 시행에서 표적은 기억이 요구된 항목의 색상과 동일한 색상을 가지고 있었으며(match trial), 나머지 시행에서는 동일한 색상의 표적이 제시되지 않았다(mismatch trial). 따라서 탐색 과정에 있어서 시각작업기억에 저장된 기억 표상이 탐색 표적 발견에 영향을 줄 수 있다면, 두 시행 유형간 탐색 시간이나 정확도에서 확연한 차이가 나타나야 한다. 그러나 눈에 띄는 차이는 발견되지 않았다. 이는 탐색 과정에 있어서 시각작업기억 내에 저장된 정보와 탐색 표적 간 유사성은 크게 중요하지 않을 가능성을 의미하며, 시각탐색 과정에 대한 시각작업기억의 역할이 크지 않음을 시사한 기존 연구와 그 맥락을 같이한다(Horowitz & Wolfe, 1998; Wolfe, et al., 2000; Wolfe, 1998).

시각작업기억과 시각 탐색 간 관련성을 살펴본 기존의 연구는 이처럼 시각작업기억의 특성 자체보다는 시각 탐색에 있어서 시각작업기억의 저장소적 혹은 중앙집행기적 기능이 관여할 가능성에 집중되었다. 대부분의 관련 연구가 이중 과제 패러다임을 주로 사용하였으며, 그 결과가 기존의 탐색 모형들에 대한 논란을 초래하긴 하였으나(Horowitz & Wolfe, 1998; Horowitz, et al., 2003; Peterson, Kramer,

Wang, Irwin, & McCarley, 2001), 다양한 주제와 실험법을 고려할 때 시각탐색은 시각작업기억의 주요 이론을 검증하기 위해 매우 유용한 연구 방법임에는 의심의 여지가 없는 것으로 판단된다.

### 색상환 회상과제(Color-wheel Recall Task)

지금까지 살펴본 행동적 과제는 대부분 기억 표상에 대한 재인(recognition) 정확도 차원을 주요 관찰대상으로 삼았다. 최근의 시각작업 기억 연구는 수동적인 재인과정을 통한 ‘예-아니오(Yes or No 또는 Old or New)’ 반응보다는 기억 항목에 대한 좀 더 직접적인 확인을 요구하는 회상 과제에 근거한 측정을 시도한 바 있다.

Zhang과 Luck(2009)은 그림 2(가)에 예시된 바와 같이, 기억이 요구된 항목들 중 특정 항목에 대한 기억 정확도를 색상환에서 직접 골라내는 새로운 형태의 기억 검사 과제를 고안하였다. 이 과제는 기억항목의 색상에 대한 검사 항목의 일치 여부만을 묻는 것이 아니라, 제시된 항목의 표상과 정확히 일치하는 색상을 직접 골라내도록 한다는 점에서 기존 연구와는 큰 차이점이 있다. 특히, 기억항목의 표상 정확도를 확률분포함수(probability distribution function)를 통해 수리적으로 기술할 수 있다는 점은 기존 연구의 재인 과제에서는 흔히 시도되지 않았던 매우 새롭고도 중요한 방법으로 간주된다.

Zhang과 Luck은 색상환으로부터 기억항목과 일치된 색상을 선별할 때 얻어지는 표상 확률 분포함수의 수리적 특성을 조사하였다. 예를 들어, 여러 번의 시행에 걸쳐 피험자로 하여

금 기억된 항목의 색상과 일치하는 색상환상의 색상 위치를 선택하도록 요구했다고 가정하자. 피험자가 기억항목을 정확히 표상하고 있다면, 선택된 색상환 지점을 선택하는 과정에서 얻어지는 확률(probability of report) 분포는 기억항목의 실제 색상 위치와 일치하는 지점에 집중되어 그림 2(나)의 A에 예시된 바와 같이 ‘기억 內’ 분포곡선 형태가 된다. 반면에 기억에 정확히 표상되지 못한 경우, 피험자가 선택한 색상환의 지점은 기억항목의 실제 색상환상의 위치와 관계없이 우연 수준의 선택(random choice)을 반영하게 되므로, 동일 그림의 ‘기억 外’의 분포처럼 평평하게 된다. 결과적으로, 피험자의 선택 반응에 근거한 종합적인 확률분포함수는 두 경우를 합산한 곡선인 ‘內 + 外’ 분포곡선 형태를 가지게 된다.

Zhang과 Luck이 관심을 두었던 것은 기존 연구에서 논쟁의 핵심으로 대두되었던 시각작업기억의 표상적 특성이다(Luck & Vogel, 1997; Wilken & Ma, 2004). 이와 관련해 서로 대립되는 두 모형은 고정해상도 슬롯모형(fixed-resolution slot model)과 융통적자원모형(flexible resource model)이 있다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Cowan, 2001; Halford, Cowan, & Andrews, 2007). 두 모형은 시각작업기억의 저장용량에는 한계가 있다는 점에서는 일치하나, 그 표상적 특성을 설명함에 있어서 큰 차이를 보인다. 고정해상도슬롯 모형은 기억이 요구된 항목의 개수에 관계없이 정보 해상력이 일정한 3-4개의 임시 저장소에 기억 항목들이 저장된다고 주장하고, 융통적자원모형의 경우에는 항목의 개수에 따라 그 해상력이 변화하는 단일 저장소에 모든 항목이 저장된다고 가정한다.

두 모형의 경우, 항목개수가 증가함에 따라 기억정확도의 감소가 일어날 것을 예견하는데에는 이견이 없다. 그러나 정확도의 감소를 설명하는데 있어서는 명확한 차이를 보인다. 예를 들어 고정해상도 모형의 경우에는 항목개수 증가에 따른 정확도 감소는 슬롯에 저장되는 정보의 개수가 3-4개로 제한되고 나머지는 완전히 기억에 표상되지 않기 때문인 것으로 설명한다. 반면에 융통적 자원 모형의 경우는, 항목의 개수가 증가하더라도 모든 항목이 표상되는 것은 가능하나 표상된 모든 항목의 평균적 해상도가 감소하기 때문에 기억 정확도가 떨어진다고 주장한다. 결과적으로 두 모형은 서로 확연히 차이가 있음에도 불구하고 기억재인정확도에 의존하는 변화탐지 과제를 사용해서는 직접적인 비교가 현실적으로 매우 어렵다.

Zhang과 Luck이 고안한 색상환 과제는 재인보다는 명시적인 회상에 근거하므로, 항목개수의 증가에 따른 정확도 추정보다는, 특정 기억항목을 저장 여부에 따른 선택 반응의 확률적 분포를 직접적으로 관찰할 수 있다는 특징이 있다. 특히 그림 2(나)의 B에 예시된 바와 같이 피험자가 선택한 색상환의 위치와 실제 색상환의 차이(difference from original color value)값은 기억에 저장된 항목의 표상 분포에서 예견되는 피험자의 선택 반응과 관련된 확률분포함수 형태를 직접적으로 반영하게 된다.

Zhang과 Luck이 제안한 고정해상도 슬롯 모형은, 피험자의 선택 반응으로부터 산출된 확률분포함수의 분산(dispersion) 정도에 있어서 융통적 자원 모형이 예견 가능한 그것과 비교해 한 가지 두드러진 특징을 가진다<sup>14)</sup>.

Zhang과 Luck의 실험 과제아래에서는 3개 이상의 항목에 대한 기억이 요구될 경우 개별 항목을 기억에 저장할 가능성은 현저히 저하되며, 이는 고정해상도 그리고 융통적 자원 모형 모두에서 공히 예견이 가능하다. 그러나 평균을 중심으로 한 선택 반응의 색상환상 분포와 관련 있는 확률분포함수의 분산(dispersion)은, 융통적 자원 모형의 경우 개별 항목에 분배되는 자원의 정도가 평균적으로 점점 줄어들기 때문에 항목 개수가 3개 이상이 되더라도 분산이 지속적으로 커질 것을 예견한다. 반면에 고정해상도 슬롯 모형의 경우는, 항목개수가 3개 이상이 되더라도 슬롯에 성공적으로 저장된 항목은 항상 일정한 해상력을 통한 정확성을 확보하고 단지 슬롯에 저장되지 않아 회상이 불가능한 항목의 개수만이 증가하기 때문에 분산이 변화할 가능성은 없을 것을 예견한다. Zhang과 Luck은 그림 2(나)의 B에 제시된 바와 같이 항목개수 증가에 따른 분산 변화가 거의 없음을 관찰하여 고정해상도 슬롯 모형을 정확히 지지하는 결과를 얻었다.

Zhang과 Luck의 후속 연구(2009)에서는 시각 작업기억에 저장된 정보가 망각되는 특성을 조사하기 위해 동일한 실험 패러다임이 사용되었다. 예를 들어, 그들이 사용한 색상환 과

14) Zhang과 Luck(2009)의 연구에서는 순수 자원 모형(pure flexible resource model)과 슬롯+자원 모형(slot+flexible resource model) 그리고 슬롯+평균 모형(slot+averaging model)의 일반적인 차이점이 기술되었다. 실험 결과는 시각작업기억이 고정해상도를 지닌 슬롯에 표상된 정보들의 평균을 통해 정보를 표상한다는 슬롯+평균 모형을 지지하는 것으로 해석되었다.

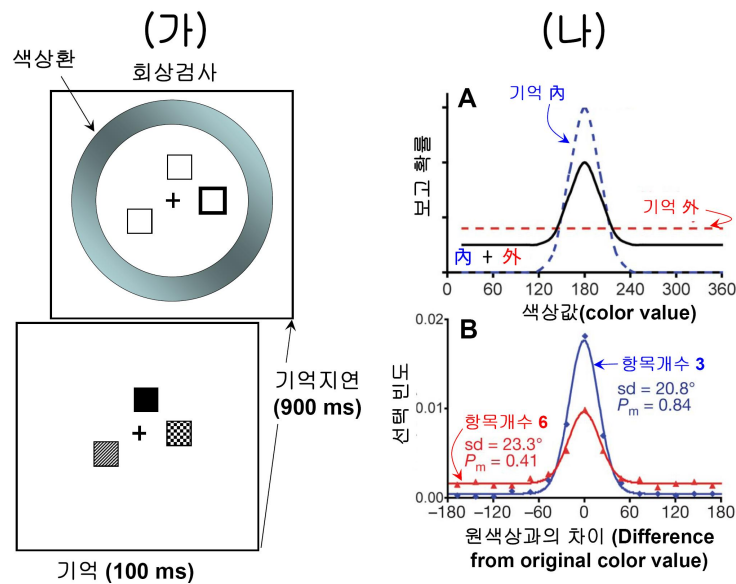


그림 2. (가) Zhang과 Luck (2009)의 회상과제에 사용된 자극과 절차(항목 개수 3개 조건). 피험자는 회상이 요구된 항목(굵은 실선 사각형)과 일치하는 색상환상의 색 위치를 선택하도록 요구받았다. (나-A) 회상확률 분포함수의 모형과 (나-B) 실측정치에 근거한 회상확률분포(항목개수 3과 6 조건). 기억에 성공했을 경우, 기억내에 표상된 항목의 회상 확률은 그림 나-A의 '기억 내' 분포곡선 형태를 예상할 수 있다. 기억에 실패했을 경우는 색상환상의 색을 무작위 선택하므로 그림 나-A의 '기억 외' 분포가 예상된다. 특정 항목이 기억에 저장될 확률은 모든 색상값에 걸쳐 결과적으로 그림 나-A의 '내 + 외'의 형태가 예견된다. 그림 나-B에 제시된 바와 같이, 항목개수가 3개에서 6개로 늘어나도 실측정치에 근거해 추정된 '내 + 외' 분포곡선은 표상 정확성 (precision)에 해당하는 원색상과의 차이값 표준편차(standard deviation,  $sd$ )량에 있어서 큰 차이가 없다.  $P_m$ 은 차이값 0지점을 중심으로 추정된 '기억 내' 분포의 정점 높이를 의미한다.

제 상황에서는 시각작업기억에 저장된 정보가 일정 기억 지연 시간 이후 사라질 경우, 추정된 확률분포함수의 정점은 급속하게 낮아짐을 예견할 수 있다. 중요한 것은 기억 지연 시간의 증가에 따른 분산의 변화인데, 기억 표상의 점진적 부식(gradual decay)이 발생할 경우 파지 시간의 증가에 따른 기억표상의 평균적 해상력 저하로 인해 확률분포함수의 분산 또한 점진적으로 증가할 것이 예견된다.

반면에 갑작스런 소멸(sudden death)을 가정할 경우 완전히 유실된 항목에 대한 강제적

선택이 요구되므로 분산의 증가보다는 색상환상 무선택적 선택의 증가로 인해 확률분포함수 곡선의 기저선(baseline) 상승이 예견된다. 바꿔 말하면 점진적 부식의 경우, 피험자는 기억항목의 실제 색상 위치 부근의 색상을 집중적으로 선택하되, 기억 지연 시간이 증가함에 따라 실제 색상과 선택된 색상의 편차가 점진적으로 커지게 된다. 그러나 갑작스런 소멸이 발생할 경우는 소멸이 발생하는 특정 시점을 기준으로 기억 항목의 색상 위치와 전혀 무관한 무선택적 선택이 급격하게 증가하므로 색상

환 상의 모든 지점이 고르게 선택되어 지연 시간의 증가에 따른 편차의 변화는 발생하지 않는다. Zhang과 Luck은 특정 기억 지연 시간 구간을 기준으로 무선적 선택 보고가 급격하게 증가하는 것을 발견하였으며, 이는 기억 표상의 망각에 대한 기존의 관점인 점진적으로 부식 가능성을 반증하고 급작스런 소멸을 지지하는 결과로 해석되었다.

### 시각작업기억의 표상 논쟁과 기타 연구주제

**시각작업기억 표상 모형 논쟁** 본 단락에서는 시각작업기억 분야의 핵심 연구들 중 현재 초미의 관심이 집중되고 있는 시각작업기억의 표상 모형에 관한 논쟁을 소개하고, 아울러 이론적 중요성이 매우 큼에도 불구하고 다양한 경험적 증거의 확보가 아직까지 미흡하여 향후 연구자들의 관심이 필요한 추가적인 연구 주제를 간략히 소개하고자 한다.

시각 작업기억의 표상 논쟁은 일반적으로 기억 정보가 감각적 수준의 정보와 달리 추상적이고 통합적으로 표상된다는 제안과 맞물려 그 중요성이 부각되고 있다. 즉 감각기관을 통해 유입되는 수많은 사물들을 기억저장소에 저장하는 과정은 단편적인 감각 표상들을 무차별 저장하기 보다는 효율적 파지를 위해 요약된 표상 형태로 질적 전환을 시도할 가능성이 크다. 이와 같은 가설은 기억 항목의 다수 세부특징들을 통합해 요약한 단속적(discrete) 시각작업기억 표상의 존재를 시사한 최근 연구 결과에 의해 지지된 바 있다(Luck & Vogel, 1997). 반면에 감각표상으로부터 기억표상으로

의 질적 전환 과정에서 소수의 단속적 표상방식이 필수적인지에 대한 의문을 제기하는 연구자들은, 시각작업기억의 파지에 요구되는 정보처리 자원이 단속적 표상보다는 기억의 대상이 되는 항목의 개수가 변화함에 따라 유통적으로 배분되는 연속적(continuous) 표상 형태를 추구할 가능성이 크다고 주장한다(Bays & Husain, 2008; Alvarez & Cavanagh, 2004). 이러한 논쟁의 근원에는 시각작업기억의 중요한 특성으로 간주되는 ‘용량제한적(capacity-limited) 특성’을 논의하는데 있어서 ‘용량’의 조작적 정의에 필요한 시각작업기억의 표상적 특징에 대한 연구가 부족하다는 공감대가 큰 역할을 하고 있다. 따라서 시각작업기억의 표상적 특징에 대한 최근의 연구 사례들을 살펴보는 것은 이러한 논쟁의 해답을 찾기 위해 매우 중요한 계기가 된다.

최근 시각작업기억과 관련된 연구의 핵심에는 앞서 소개된 시각작업기억에 저장된 정보의 표상적 특징을 이해하는데 집중되고 있다(Awh, Barton, & Vogel, 2007; Barton, Ester, & Awh, 2009; Bays, Catalao, & Husain, 2009; Bays & Husain, 2008; Brady, Konkle, & Alvarez, 2009; Fukuda, Awh, & Vogel, 2010; Rouder, et al., 2008; Wilken & Ma, 2004; Zhang & Luck, 2003). 예를 들어 한정된 개수의 기억 항목이 시각작업기억에 단속적 표상(discrete representation)의 형태로 고정된 해상도를 가지고 저장된다는 가설과(Awh, et al., 2007; Barton, et al., 2009; Fukuda, et al., 2010; Rouder, et al., 2008), 기억 항목의 증가에 따른 한정된 자원의 점진적 배분에 의해 개별 항목의 저장에 소진되는 자원이 평균적으로 감소한다는 자원 모형(Bays, et

al., 2009; Bays & Husain, 2008; Brady, et al., 2009; Wilken & Ma, 2004)이 그것이다. 앞서 소개된 Zhang과 Luck(2003)의 연구는 색상환을 이용한 직접적인 회상과제를 사용해 슬롯 모형을 지지하는 비교적 설득력 있는 증거를 제시하였으나, 자원모형을 강력히 지지하는 최근의 연구 결과(Bays, et al., 2009; Bays & Husain, 2008; Brady, et al., 2009)에 대한 비중 있는 반박은 아직 제공하지 못하고 있다.

예를 들어 Bays와 Husain(2008, 2009)은 부분 탐사법을 사용한 변화탐지 과제에서 탐지의 대상이 되는 단일세부특징의 변화 정도를 점진적으로 변화시켰다. 그 결과 항목 개수가 점진적으로 증가에 따라 변화탐지의 정확도 또한 점진적으로 감소하는 패턴이 관찰되었다<sup>15)</sup>. 이 결과는 시각작업기억의 용량 제한을 단속적 표상의 형성 한계에 근거한 고정해상도 슬롯 모형(Zhang & Luck, 2009)이 아닌, 기억 부하의 정도 즉 항목 개수의 증가에 따라 기억 자원(memory resource)이 개별 항목에 배분되는 양이 점진적으로 감소한다고 제안하는 자원 모형을 지지하는 것으로 해석되었다. 무엇보다도 Bays와 Husain은, 슬롯 모형의 검증에 사용된 색상 도형의 변화 자체가 100%

역치 이상의 탐지가 가능했기 때문에 항목 개수와 기억 표상의 정확도를 반영하는 변화 자체의 크기(change magnitude) 통제에는 실패한 실험패러다임이라고 비판하였다<sup>16)</sup>.

그러나 Bays와 Husain의 연구를 기점으로 슬롯 모형과 자원 모형을 서로 반박하는 후속 연구들은 상호 방법론적 오류를 지적하는데에 치중되어(Awh, et al., 2007; Barton, et al., 2009; Bays & Husain, 2009; Bays, et al., 2009; Cowan & Rouder, 2009), 최근 수 년간 두 모형을 둘러싼 이론적 논쟁은 결실을 맺지 못하고 있다. 현재로서는 두 모형 간 논쟁을 종식시킬 결정적인 증거는 확보되지 않고 있으며, 다양한 연구 방법을 사용한 수렴적 증거의 확보가 절실한 것으로 판단된다.

**기억항목 간 유사성(inter-item similarity in sample)** 현재까지 주목을 크게 받지 못한 다른 한 가지 주요 주제는, 시각작업기억 내 저장된 정보 간 유사성의 역할과 관련이 있다. 일반적으로 변화탐지 과제를 사용한 기존의 연구는 기억 및 검사 항목의 복잡성에 따른 기억 표상의 정확도 및 기억 항목과 검사항목 간 변화의 크기 등이 기억 재인과정에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 이는 기억 항목과 재인이 요구되는 항목 간의 유사성 차이를 단기 기억 재인 정확도를 예견하는 직접적인 요인으로 가정하는 최근

15) 일반적으로 변화탐지 과제에서는 변화의 유무에 대한 보고만이 요구되므로 특정 세부특징의 변화가 어느 위치에서 발생했는지에 대한 조사 즉 위치 결합(location binding)에 대한 검증이 동반되지 못한 경우가 많았다. Bays와 Husain(2008)의 일부 실험에서 사용된 과제는 위치 변화에 대한 탐지 정확도를 측정한다는 측면에서 기존 연구와는 차별화를 시도하고 있으나 결국 위치 변화 여부에 대한 보고만이 요구되므로 기존 연구의 문제점을 완벽하게 극복한 사례는 되지 못한다.

16) Zhang과 Luck(2009; 2003)이 고정해상도 모형의 검증을 위해 실시한 일련의 실험은 변화탐지가 아닌 회상과제를 사용하였으므로, Bays와 Husain(2009)의 반박은 변화탐지 과제를 사용한 과거의 연구들에만 국한된다.

일련의 연구들과 맥락을 같이 한다(Kahana & Sekuler, 2002; Zhou, Kahana, & Sekuler, 2004)<sup>17)</sup>.

그러나 변화탐지 과제를 사용한 최근의 연구(Lin & Luck, 2009)는, 기억 항목 간 유사성이 언어적 단기기억에서 관찰되는 항목 간 상호 간섭 현상(Conrad, 1964)을 초래하기 보다는 오히려 기억항목의 파지를 촉진시킴을 보고하였다. 이러한 촉진 현상은 서로 유사한 기억 항목이 유지(maintain)되는 동안 항목의 색상 차원에서의 측면 억제(lateral inhibition)의 증가 또는 유사 항목 간 기점화(anchoring)에 의한 표상 정확도의 상승, 그리고 마지막 대안으로 유사 색상 값(color feature value)들에 주의가 집중되었기 때문으로 짐작되었다. 기억 항목간 유사성이 오히려 기억 수행을 촉진시킨다는 연구 결과는 단기 기억에 발생하는 간섭 과정에 대한 기존의 관점을 뒤엎는 매우 특이한 제안으로 간주될 수 있다.

반면에 색상이 아닌 사인파 격자무늬 기억 자극이 사용된 Sternberg 재인 과제(Sternberg,

1966, 1969)를 실시한 최근의 연구는 기억 항목 간 유사성이 재인 정확도를 반대로 감소시킬 수 있음을 보여주었다(Viswanathan, Perl, Visscher, Kahana, & Sekuler, 2010). 앞서 소개된 바와 같이, 단기 기억 재인 모형에 관한 일련의 연구는 시각 단기기억에 표상되는 정보의 재인 정확도는 표상된 항목과 검사 항목 간 합산 유사성에 크게 의존함을 보고하였다(Kahana, Zhou, Geller, & Sekuler, 2007; Kahana & Sekuler, 2002; Zhou, et al., 2004).

Viswanathan 등(2010)은 합산 유사성 외에 재인 정확도를 결정하는 추가적인 변인으로 기억 항목들 간 유사성을 추가하였다. Sternberg 재인 과제에서 파지가 요구되는 기억항목은 순차적으로 제시(예: S1, S2, S3...)되므로, Viswanathan 등은 기억항목이 제시될 때 마다, 기억항목 간 유사성이 자동적으로 합산된다고 가정하였다. 기억항목 간 유사성은 최종 재인 단계인 탐사자극이 제시되는 시점까지 합산되며, 기억항목과 검사항목간 합산 유사성이 산출되는 시점인 탐사자극의 제시되는 시점에 수행되는 재인 의사결정(recognition decision) 과정에 영향을 미친다.

Viswanathan 등의 연구에서는, 합산 유사성과 기억항목 간 유사성 요인은 모두 기억이 요구된 항목과 매우 유사한 유인자극(lure)을 기억 항목으로 오인(error recognition)할 확률을 증가시키는 것으로 나타났다. 이는 앞서 소개된 Lin과 Luck(2009)의 연구 사례와는 달리, 재인 과정에 있어서 기억항목 간 유사성이 정확도의 감소를 초래한다는 점에서 큰 차이가 있다. 그러나 실험 패러다임의 현격한 차이와 검증 대상이 되는 기억 처리 과정의 차이로 인해

17) 기억 항목 간 유사성이 단기재인 과정에 미치는 영향은 앞서 기억항목과 검사항목 간의 비교(comparison) 처리 과정에 대한 연구(Hyun et al., 2009) 및 그와 관련된 고전적 비교 모형 연구들에서 크게 고려되지 않았던 점이다. 이는 유사성 변인이 중요하지 않아서가 아니라 비교 처리 과정에 대한 기존 연구들이 자극 범주(stimulus category)간 유사성이 매우 적은 자극들을 대상으로 수행되었기 때문이다. Hyun 등(2009)의 연구에서는 색상 범주가 극명한 자극들을 사용함으로써 자극 유사성 변인이 통제되었으나 유사성 비교 과제에서 차이점 비교 과제와 매우 대조되는 비교 처리 특성이 발견된다는 점에서 자극 유사성과 재인 정확도의 관계에 대한 추가적 연구가 필요한 것으로 판단된다.



두 연구 간 직접적인 비교는 현실적으로 어려운 상황이며, 현재로서 기억 항목 간 유사성의 역할에 대한 결정적인 설명을 위해서는 좀 더 다양한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

**시각작업기억 개인차의 근원** 시각작업기억에 저장된 정보의 파지(retention)에 대한 연구는 시각작업기억 저장용량의 개인차(individual difference) 원인을 밝히려는 연구 시도와 결부되어 큰 주목을 받고 있다(Drew, McCollough, & Vogel, 2006; Vogel & Machizawa, 2004; Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005a). Vogel과 Machizawa(2004)는 전기생리학적 측정치인 대측지연활동(contralateral delayed activity, CDA)과 개인의 작업기억 용량 추정치인 K값이 완벽한 정적 상관(positive correlation)을 가지는 것을 발견하였다<sup>18)</sup>. 이들은 K값이 기억 항목에 변화탐지 정확도에 근거한다는 점에서 기억 항목에 대한 파지가 수행되는 동안 발생하는 정보 처리에 대한 정확한 조사가 불가능한 반면에 대측지연활동은 파지가 수행되는 동안 기억에 유지되는 항목 개수의 증감을 실시간으로 관찰할 수 있다는 장점에 주목하였다.

Vogel, Machizawa, McCollough(2005a)는 대측지

18) 대측지연활동은 기억이 요구된 항목들이 속한 시야와 대측 두피에 부착된 전극(contralateral occipito-temporal electrodes)에서 측정된 사건관련 전위와 동측(ipsilateral) 두피의 전극들과의 전위 차이(voltage difference)로 정의된다. 대측지연활동은 기억 항목에 대한 파지가 시작되는 시점에서 발현되기 시작해 기억항목에 대한 검사가 수행되기 직전까지 지속되므로, 비교적 규칙적인 발현시간(latency)과 분명한 진폭(amplitude)을 가지는 사건관련전위 '성분(component)'보다는 지속적인 뇌파 '활동(activity)'의 일종으로 간주된다.

연활동 측정의 장점을 살려, 기존의 K값 환산(Cowan, 2001; Pashler, 1988)을 통해서는 직접적인 관찰이 불가능한 기억 파지 과정의 특성을 조사하였다. 이들은 K값이 상대적으로 낮은 것으로 나타난 낮은 저용량 개인(low-capacity individual)들이 고용량 개인(high-capacity individual)들 보다 파지 용량 자체가 낮기 보다는, 기억된 항목의 선별적 파지 효율성(filtering efficiency)이 낮을 가능성에 주목하였다. 즉 저장 용량의 상대적 저하를 보이는 저용량 개인은, 기억 파지 중 저장이 요구된 특정 항목들 뿐만 아니라 과제와는 불필요한 항목들에 대한 저장을 억제(suppression)하지 못하고 함께 파지하는 성향이 있을 가능성이 있다. Vogel 등은 저용량 개인의 대측 지연 활동을 측정한 결과, 기억이 요구되지 않은 자극의 존재만으로도 그 대측지연활동의 진폭이 증가한 것을 관찰하였으며, 결과적으로 변화탐지 오류 및 K 값의 감소로 이어진다는 사실을 확인하였다.

최근의 후속 연구의 결과는, 파지 단계보다는 부호화 및 공고화 단계에서의 선별적인 정보처리의 효율성이 저장 용량의 개인차를 발생시키는 주요 요인 것으로 설명하고 있다(Fukuda & Vogel, 2009). 그러나 변화탐지과제의 제반 처리 과정 중, 재인 과정의 중요한 역할이 배제되었고 추가적인 다양한 증거 확보가 아직 이루어지지 않았다는 점에서 아직은 신중한 해석이 필요한 것으로 판단된다.

**기억항목과 검사항목 간 비교 처리 모형** 상대적으로 광범위한 연구가 수행된 시각작업기억의 부호화 및 공고화 그리고 파지 및 표상적 특성에 대한 연구에 비해 기억 재인 과정

과 관련된 연구는 상대적으로 그 경험적 증거가 빈약한 것으로 판단된다. 앞서 Luck과 Vogel(1997)의 연구에서 분명하게 언급된 바와 같이, 그들이 고안한 변화탐지과제는 기억 항목과 검사항목 간 비교 과제이며, 결과적으로 여러 항목 간 대조에 의해 차이점의 유무를 파악하는 명시적인 비교 과정을 요구한다. 따라서 기억 항목의 부호화 및 공고화 그리고 파지 과정을 연구하기 위한 다수의 연구에서 관찰된 변화탐지정확도는 이와 같은 비교 과정의 정보처리 특성을 직접적으로 반영하는 결과로 간주될 수 있다.

비교 과정의 측정에서 산출된 변화탐지 수행 정확도가 시각작업기억 처리 과정의 전반적인 특성을 추정하는데 이처럼 중요함에도 불구하고, 시각작업기억의 비교 처리 과정에 대한 연구는 상대적으로 그 이론적 토대가 매우 약하다. 물론 일반적인 비교 처리에 대한 연구는 지각적 비교(perceptual comparison)에 관한 고전적 연구(Bamber, 1969; Farell, 1985, 1988; Sekuler & Abrams, 1968; Taylor, 1976)에서 이미 그 모형들이 제안된 바 있으나, 이러한 모형을 변화탐지 과제와 같은 기억 처리와 관련된 재인 과정에 접목시켰던 시도는 전무하다고 볼 수 있다.

이러한 점에 착안하여, Hyun 등(2009)은 변화탐지과제에서 기억에 저장된 항목들과 검사항목들 간 비교 과정의 근본적 처리 기제가 시각탐색 과제와 매우 유사할 가능성을 발견하였다. 그들의 변화 탐색 모형('search for a change' model)은 이미 변화맹 현상에 대한 연구 분야에서 그 가능성이 제안된 바 있으나 (Rensink, 2000b, 2002), 일반적인 변화탐지 과

제를 통한 직접적인 검증이 시도된 경우는 극히 드물었다. Hyun 등에 의하면, 기억에 공고하게 저장된 기억 항목과 그것을 검사하기 위한 검사 항목에 대한 비교처리는 매우 신속하게 수행되는 것으로 나타났다. 예를 들어, 기억 항목과 검사항목 간 차이점을 발견하는 과제(any-difference task)의 경우, 항목 개수가 1-4개로 변화함에 따라 변화탐지 수행 반응시간(response time)에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 기억 항목과 검사항목 간 같은 항목을 발견하도록 요구한 경우(any-sameness task), 항목 개수가 늘어남에 따라 반응 시간이 상대적으로 가파르게 증가하였다. 이는 비교 과정에서 기억 항목과 검사 항목 간 비교 과정이 마치 단순세부특징 탐색 과제에서 세부특징 돌출 과제(simple feature pop-out search)와 세부특징 부재 과제(feature-absence search)에서 표적이 탐색 되는 과정(Treisman, 1986; Treisman, 1988)과 유사할 가능성을 시사한다. 또한 변화탐지 과제에서 변화가 발생한 위치에 발생한 초점주의 집중이 기억 항목이 1-4개까지 변화함에도 불구하고 일정함을 발견하였는데, 이는 비교 처리 과정이 자동적이고 즉각적임을 시사한다.

현재까지 변화탐지 과정에서 비교 처리 기제를 집중적으로 조명한 연구는 Hyun 등의 최근 연구를 제외하고는 매우 드물었다고 판단된다. 물론 기억재인 과정을 설명하는 재인의 사결정 모형(Kahana & Sekuler, 2002; Nosofsky & Palmeri, 1997)이 제안되긴 하였으나 행동적 측정으로 인한 제약이 존재하고, 시간적 변인에 고려가 전무했다는 점에서 그 한계점이 아직 극복되지 못한 상태이다<sup>19)</sup>.

## 맺음말

지금까지 소개된 바를 간략히 요약하면, 시각작업기억은 시각 정보를 약 10여 초 동안 매우 정확하게 표상할 수 있는 단기 저장소의 역할을 담당하되 해당 시각 정보를 구성하는 세부특징을 통합된 객체 표상의 형태로 전환하는 기억 공고화 과정을 필요로 한다. 시각작업기억에 표상된 정보가 파지되는 동안에는 초점주의의 집중에 의한 선택적 처리가 가능하며, 주의가 집중된 기억 표상의 파지 효율성은 일반적으로 증가된다. 시각작업기억에 표상된 정보는 매우 신속한 접근이 가능하며 감각기관을 통해 유입된 새로운 정보와 즉각적인 비교에 의한 재인이 가능하다. 시각작업기억을 연구하기 위한 대표적인 행동적 연구 방법으로는 변화탐지, 변화맹, 도약안구운동 전환기억, 주의감박거림, 다중표적추적과제, 교정안구운동, 시각적차폐, 시각탐색 및 색상환 회상과제 등이 있으며, 이러한 과제들은 시각작업기억 표상의 형성 및 표상 특성 연구와 파지 그리고 재인과정에 대한 종합적인 이해에 널리 사용되고 있다.

시각작업기억을 기억 표상의 형성으로부터

그것을 재인하는 과정까지의 일련의 처리 과정으로 가정할 때, 앞서 소개된 복잡한 행동적 실험법 및 상충되는 이론적 연구 결과들은 시각작업기억 처리 과정에 대한 일관된 모형의 제안이 사실상 매우 어렵다는 점을 보여준다. 특히 시각작업기억 표상의 형성 과정 및 표상된 정보의 특성에 대한 최근의 극단적인 논쟁들은 행동적 연구 방법론의 실효성을 의심하게 할 만큼 매우 실망스러운 것도 사실이다. 또한 지각적 및 기억 재인에 대한 다양한 고전적 모형들이 존재함에도 불구하고 시각작업기억에 저장된 정보를 다음 순간의 새로운 정보와 비교하는 과정에 대해서는 아직도 구체적인 설명이 제공되지 않은 상태이며 다양한 방법론의 적용을 통한 창의적인 연구 방법의 제안조차도 거의 전무한 상태이다.

이러한 문제는 표상 형성 및 처리 과정에 대한 실시간 관찰이 현실적으로 불가능한 행동적 측정법의 근본적 한계 때문이기도 하나 한편으로는 시각작업기억과 관련된 고전적 연구 및 최근의 행동적 연구 패러다임에 대한 정확한 이해의 부재에 기인하는 경우도 흔히 발견된다. 시각작업기억과 같은 인간의 고등 인지기능에 대한 이해는 결국 신경세포 수준의 미시적 관찰보다는 그로인한 행동 수준의 거시적 발현 특성을 이해하는 것에 궁극적 목적이 있음을 고려할 때 행동적 연구 및 측정 패러다임에 대한 정확한 이해는 그 중요성을 아무리 강조해도 지나치지 않다. 본 논문에서 소개된 바와 같이, 현재까지 시도된 다양한 연구 성과들은 이러한 중요성을 반영하듯 발전적이고 통합된 모형들의 제안으로 이어졌으며 현재까지 많은 시각 연구자들이 시각작업

19) Agam 등(2009)은 사인과격자무늬 자극이 사용된 Sternberg 재인과제를 통해 검사 자극이 제시된 후 200ms가 경과하기 전에 재인의사결정을 반영하는 전기생리학적 변화가 관찰됨을 보고하였다. 그러나 그들의 과제는 일반적인 변화탐지 과제와 자극의 시공간적 특성에 있어서 분명한 차이가 있으며, 사건관련전위 성분의 발현에 근거한 고전적 분석 기법을 사용하지 않았다는 점에서 Hyun 등(2009)의 연구와 직접적인 비교가 어려운 것으로 판단된다.

기억 연구에 대한 지속적인 관심을 표명하고 있다. 이러한 노력과 관심을 고려할 때, 머지않아 현재의 논란과 쟁점을 해소하는 것은 분명할 것으로 예상되며, 추후 이 분야의 연구는 행동적 접근뿐만 아니라 인지신경과학 및 신경심리학 분야들과의 연계를 통해 수렴적 증거를 확보하는 방식으로 진행되는 것이 바람직할 것이다.

### 참고문헌

- 현주석 (2008a). 시각과 단기 기억 수준에 발현되는 주의 효과의 공간적 연장 패턴. *인지과학*, 19(3), 311-330.
- 현주석 (2008b). 차폐 자극이 시각 작업 기억 비교 과정에 미치는 영향. *한국심리학회지: 실험*, 20(3), 167-178.
- Agam, Y., Hyun, J. S., Danker, J. F., Zhou, F., Kahana, M., & Sekuler, R. (2009). Early Neural Signature of visual short term memory. *NeuroImage*, 44(2), 531-536.
- 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.
- Alvarez, G. A., & Thomson, T. W. (2009). Overwriting and rebinding: Why feature-switch detection tasks underestimate the binding capacity of visual working memory. *Visual Cognition*, 17(1), 141-159.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory Volume 2* (pp.89-195). New York: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short term memory. *Scientific American*, 225(2), 82-90.
- 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.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Science*, 5(3), 119-126.
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 780-790.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon.
- Bamber, D. E. (1969). "Same" "different" judgments of multidimensional stimuli: Reaction times and error rates. *Dissertation Abstracts International*, 30(4-B).
- Barton, B., Ester, E. F., & Awh, E. (2009). Discrete resource allocation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1359-1367.
- Bays, M., & Husain, M. (2009). Response to

- Comment on “Dynamic Shifts of Limited Working Memory Resources in Human Vision”. *Science*, 323, 877d.
- Bays, 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, M., & Husain, M. (2008). Dynamic shift of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321, 851-854.
- Bower, G. H., Clark, M. C., Lesgold, A. M., & Winzenz, D. (1969). Hierarchical retrieval schemes in recall of categorized word lists. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 8, 323-343.
- Brady, T. J., Konkle, T., & Alvarez, G. A. (2009). Compression in visual working memory: Using statistical regularities to form more efficient memory representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 138(4), 487-502.
- Breitmeyer, B. (1984). *Visual Masking: An Integrative Approach*. New York: Oxford University Press.
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19, 289-299.
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10, 12-21.
- Brown, R., & Kulik, J. (1977). Flashbulb Memories. *Cognition*, 5(1), 73-99.
- Cantor, J., & Engle, R. W. (1993). Working memory capacity as long term memory activation: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 19(5), 1101-1114.
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 349-354.
- Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 109-127.
- 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.
- Conrad, R. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology*, 55(4), 1964.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). The time required to prepare for a rotated stimulus. *Memory & Cognition*. Vol., 1(3), 246-250.
- Corkin, S. (1968). Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal lobe excision. *Neuropsychologia*, 6(6), 255-265.
- Corkin, S. (2002). What's new with the amnesic patient H. M.? *Nature Reviews Neuroscience*, 3(2), 153-160.
- Cowan, N. (1997). *Attention and Memory*. 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, 87-185.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long term, short term, and working memory. *Progress in Brain Research*, 169, 323-338.
- Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Ismajatulina, A., et al. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51, 42-100.
- Cowan, N., & Rouder, J. N. (2009). Comment on "Dynamic Shifts of Limited Working Memory Resources in Human Vision". *Science*, 323, 877c.
- Currie, C. B., McConkie, G. W., Carlson Radvansky, L. A., & Irwin, D. E. (2000). The role of the saccade target object in the perception of a visually stable world. *Perception & Psychophysics*, 62(4), 673-683.
- Delvenne, J. F., Cleeremans, A., & Laloyaux, C. (2010). Feature bindings are maintained in visual short term memory without sustained focused attention. *Experimental Psychology*, 57(2), 108-116.
- Deubel, H., Schneider, W. X., & Bridgeman, B. (2002). Transsaccadic memory of position and form. *Progress in Brain Research*, 140, 165-180.
- Di Lollo, V. (1980). Temporal integration in visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 75-97.
- Di Lollo, V., & Dixon, P. (1988). Two forms of persistence in visual information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(4), 671-681.
- Dixon, P., & Shedden, J. M. (1993). On the nature of the span of apprehension. *Psychological Research*, 55(1), 29-39.
- Dodge, R. (1900). Visual perception during eye movement. *Psychological Review*, 7, 454-465.
- Drew, T., McCollough, A. W., & Vogel, E. K. (2006). Event related potential measures of visual working memory. *Clinical EEG and Neuroscience*, 37(4), 286-291.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 345-351.
- Farell, B. (1985). "Same" - "different" judgments: A review of current controversies in perceptual comparisons. *Psychological Bulletin*, 98, 419-456.
- Farell, B. (1988). Comparison requirements and attention in identical-on identical stimulus discriminations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 14(4), 707-715.
- Fougnie, D., & Marois, R. (2006). Distinct capacity limits for attention and working memory. *Psychological Science*, 17, 526-534.
- Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2010). Discrete capacity limits in visual working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 20, 177-182.
- Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2009). Human variation in overriding attentional capture. *The Journal of Neuroscience*, 29(27), 8726-8733.

- Gajewski, D., & Brockmole, J. (2006). Feature bindings endure without attention: Evidence from an explicit recall task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 581-587.
- Gold, J. M., Murray, R. F., Sekuler, A. B., Bennett, P. J., & Sekuler, R. (2005). Visual memory decay is deterministic. *Psychological Science*, 16, 769-775.
- Gold, J. M., Wilk, C., McMahon, R., & Luck, S. J. (2003). Working memory for visual features and conjunctions in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 112, 61-71.
- Green, D., & Swets, J. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.
- Green, D. M. (1961). Detection of auditory sinusoids of uncertain frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33, 897-903.
- Griffin, I. C., & Nobre, A. C. (2003). Orienting attention to locations in internal representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 1176-1194.
- Halford, G. S., Cowan, N., & Andrews, G. (2007). Separating cognitive capacity from knowledge: A new hypothesis. *Trends in Cognitive Science*, 11(6), 236-242.
- Hallett, P. E., & Lightstone, A. D. (1976). Saccadic eye movements towards stimuli triggered by prior saccades. *Vision Research*, 16(1), 99-106.
- Han, S. H., & Kim, M. S. (2004). Visual search does not remain efficient when executive working memory is working. *Psychological Science*, 15, 623-628.
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High level scene perception. *Annu Rev Psychol*, 50, 243-271.
- 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.
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2002). Accurate visual memory for previously attended objects in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 113-136.
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2004). Sustained change blindness to incremental scene rotation: A dissociation between explicit change detection and visual memory. *Perception & Psychophysics*, 66(5), 800-807.
- Hollingworth, A., Richard, A. M., & Luck, S. J. (2008). Understanding the function of visual short term memory in human cognition: Transsaccadic memory, object correspondence, and gaze correction. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(1), 163-181.
- Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (1998). Visual search has no memory. *Nature*, 394, 575-577.
- Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (2003). Memory for rejected distractors in visual search? *Visual Cognition*, 10(3), 257-298.
- Hyun, J. S., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2006). How change detection is related to visual search: A change in a remembered object is like a simple feature. [Abstract].

- Journal of Vision*, 6(6), 985a.
- Hyun, J. S., & Luck, S. J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(1), 154-158.
- Hyun, J. S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2009). The comparison process of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1140-1160.
- Hyun, J. S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Niese, A. T., & Luck, S. J. (2003). How are visual inputs compared with memory representations in the change detection paradigm? [Abstract]. *Journal of Vision*, 3(9), 322a.
- Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, 23(3), 420-456.
- Irwin, D. E. (1992a). Memory for position and identity across eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 307-317.
- Irwin, D. E. (1992b). Perceiving an integrated visual world. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Eds.), *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* (pp.121-142). Cambridge, MA: MIT Press.
- Irwin, D. E., & Andrews, R. V. (1996). Integration and accumulation of information across saccadic eye movements. In T. Inui & J. L. McClelland (Eds.), *Attention and Performance XVI* (pp.125-155). Cambridge, MA: MIT Press.
- Irwin, D. E., & Yeomans, J. M. (1986). Sensory registration and informational persistence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 343-360.
- Irwin, D. E., Zacks, J. L., & Brown, J. S. (1990). Visual memory and the perception of a stable visual environment. *Perception and Psychophysics*, 47, 35-46.
- 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., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2008). The role of attention in the maintenance of feature bindings in visual short term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 41-55.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36(2), 138-202.
- Jonides, J., Irwin, D. E., & Yantis, S. (1982). Integrating visual information from successive fixations. *Science*, 215, 192-194.
- Jonides, J., Lewis, R. L., Nee, D. E., Lustig, C. A., Berman, M. G., & Moore, K. S. (2008). The mind and brain of short term memory. *Annual Review of Psychology*, 59, 193-224.
- Kahana, M., Zhou, F., Geller, A., & Sekuler, R. (2007). Lure similarity affects visual episodic



- recognition: Detailed tests of a noisy exemplar model. *Memory & Cognition*, 35(6), 1222-1232.
- Kahana, M. J., & Sekuler, R. (2002). Recognizing spatial patterns: a noisy exemplar approach. *Vision Research*, 42, 2177-2192.
- Karlsen, P. J., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2010). Binding across space and time in visual working memory. *Memory & Cognition*, 38, 292-303.
- Lin, P. H., & Luck, S. J. (2009). The influence of similarity on visual working memory representations. *Visual Cognition*, 17(3), 356-372.
- Logie, R. H. (1986). Visuo spatial processing in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 38A(2), 229-247.
- Luck, S. J. (2008). Visual short term memory. In S. J. Luck & A. Hollingworth (Eds.), *Visual Memory*: Oxford University Press.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2001). Multiple sources of interference in dual task performance: The cases of the attentional blink and the psychological refractory period. In K. L. Shapiro (Ed.), *The Limits of Attention* (pp.124-140). London: Oxford University Press.
- Luck, S. J., Vogel, E. K., & Shapiro, K. L. (1996). Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature*, 382, 616-618.
- Matin, E. (1974). Saccadic suppression: A review and an analysis. *Psychological Bulletin*, 81, 899-917.
- McConkie, G. W., & Hogabaum, T. W. (1985). Eye position and word identification in reading. In R. Groner, G. W. McConkie & C. Menz (Eds.), *Eye Movements and Human Information Processing*. Amsterdam: North-Holland Press.
- McConkie, G. W., & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception & Psychophysics*, 25(3), 221-224.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Mitroff, S. R., & Scholl, B. J. (2004). Seeing the disappearance of unseen objects. *Perception*, 33(10), 1267-1273.
- Mitroff, S. R., Simons, D. J., & Levin, D. T. (2004). Nothing compares 2 views: change blindness can occur despite preserved access to the changed information. *Perception and Psychophysics*, 66, 1268-1281.
- Nosofsky, R. M., & Palmeri, T. J. (1997). An exemplar based random walk model of speeded classification. *Psychological Review*, 104(2), 266-300.
- Oksama, L., & Hyona, J. (2004). Is multiple object tracking carried out automatically by an early vision mechanism independent of

- higher order cognition? An individual difference approach. *Visual Cognition*, 11(5), 631-671.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science: Photons to phenomenology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Parr, W. V. (1992). Delayed matching to sample performance as a measure of human visuospatial working memory. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30(5), 369-372.
- Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception and Psychophysics*, 44, 369-378.
- Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.
- Peterson, S., Kramer, A. F., Wang, R. F., Irwin, D. E., & McCarley, J. S. (2001). Visual search has memory. *Psychological Science*, 12(4), 287-292.
- Phillips, W. A. (1971). Does familiarity affect transfer from an iconic to a short term memory? *Perception and Psychophysics*, 10(3), 153-157.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short term visual memory. *Perception and Psychophysics*, 16, 283-290.
- Pylyshyn, Z. (1989). The role of location indexes in spatial perception: A sketch of the FINST spatial index model. 1989. *Cognition*, 32(1), 65-97.
- Pylyshyn, Z. W. (2001). Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, 80(1-2), 127-158.
- Pylyshyn, Z. W. (2004). Some puzzling findings in multiple object tracking: I. Tracking without keeping track of object identities. *Visual Cognition*, 11(7), 801-822.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: Twenty years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372-422.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Ehrlich, S. (1978). Eye movements and integrating information across fixations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 4(4), 529-544.
- Rensink, R. A. (2000a). The dynamic representation of scenes. *Visual Cognition*, 7, 17-42.
- Rensink, R. A. (2000b). Visual search for change: A probe into the nature of attentional processing. *Visual Cognition*, 7, 345-376.
- Rensink, R. A. (2002). Change detection. *Annual Review of Psychology*, 53, 245-277.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8, 368-373.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (2000). On the failure to detect changes in scenes across brief interruptions. *Visual Cognition*, 7(1-3), 127-145.
- Richard, W. (1968). Saccadic suppression. *The Optical Society of America*, 59(5), 617-623.
- Ross, J., Burr, D., & Morrone, C. (1996). Suppression of the magnocellular visual

- pathway during saccades. *Behavior and Brain Research*, 80, 1-8.
- 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.
- Saiki, J. (2002). Multiple object permanence tracking: limitation in maintenance and transformation of perceptual objects. *Progress in Brain Research*, 140, 133-148.
- Saiki, J. (2003). Spatiotemporal characteristics of dynamic feature binding in visual working memory. *Vision Research*, 43, 2107-2123.
- 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.
- Scholl, B. J., Pylyshyn, Z. W., & Feldman, J. (2001). What is a visual object? Evidence from target merging in multiple object tracking. *Cognition*, 80(1-2), 159-177.
- Sekuler, R. W., & Abrams, M. (1968). Visual sameness: A choice time analysis of pattern recognition processes. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 232-238.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental Rotation of three dimensional objects. *Science*(171), 701-703.
- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 14(1), 3-11.
- Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28, 1059-1074.
- Simons, D. J., & Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 261-267.
- Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: Past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 16-20.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74, (Whole No. 498).
- Sternberg, S. (1966). High speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652-654.
- Sternberg, S. (1969). Memory scanning: Mental processes revealed by reaction time experiments. *American Scientist*, 57, 421-457.
- Taylor, D. A. (1976). Effect of identity in the multiletter matching task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 2(3), 417-428.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255(5), 114B-125.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40, 201-237.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction

- search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459-478.
- Treisman, A., & Zhang, W. (2006). Location and binding in visual working memory. *Memory & Cognition*, 34, 1704-1719.
- Tulving, E., & Pearlstone, Z. (1966). Availability versus accessibility of information in memory for words. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 5, 381-391.
- Viswanathan, S., Perl, D. R., Visscher, K. M., Kahana, M., & Sekuler, R. (2010). Homogeneity computation: How interitem similarity in visual short term memory alters recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(1), 59-65.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 739-743.
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1656-1674.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005a). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438, 500-503.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 92-114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2005b). Pushing around the locus of selection: Evidence for the flexible selection hypothesis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 1907-1922.
- 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.
- 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.
- Wolfe, J., Alvarez, G. A., & Horowitz, T. S. (2000). Attention is fast but volition is slow. *Nature*, 406, 691.
- Wolfe, J. M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 9, 33-39.
- Woodman, G. F., & Luck, S. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*,

- 33(2), 363-377.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Dissociations among attention, perception, and awareness during object substitution masking. *Psychological Science, 14*, 605-111.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review, 11*, 269-274.
- 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., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science, 12*, 219-224.
- Zhang, W., & Luck, S. (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.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature, 453*, 233-235.
- Zhou, F., Kahana, M. J., & Sekuler, R. (2004). Short term episodic memory for visual textures: A roving probe gathers some memory. *Psychological Science, 15*, 112-118.

1 차원고접수 : 2010. 11. 13

수정원고접수 : 2011. 3. 7

최종게재결정 : 2011. 3. 14

## Understanding Visual Working Memory Based on Significant Examples of Behavioral Studies

**Joo-Seok Hyun**

Department of Psychology, Chung-Ang University

Visual Working Memory (VWM) has been known to short-term retain 3-4 item-worth object information for around 10 seconds, and is considered important for understanding higher cognitive functions in human. The present study reviews conceptual definitions of VWM and its major properties, and introduces behavioral testing paradigms in recent VWM studies. The study also overviews topics requiring further experimental testing by VWM researchers as well as introducing the controversial debates on the model of VWM representation.

*Key words* : Visual Working Memory (VWM), behavioral testing paradigms, model of VWM representation