

동시 및 역행차폐 처치를 통한 시각작업기억 공고화 및 비교처리 과정의 이해*

김 기 연

현 주 석†

중앙대학교 심리학과

본 연구는 색상 변화탐지과제의 기억 및 검사항목들에 대해 동시 및 역행 차폐 처치를 통한 간섭을 초래함으로써 시각작업기억 공고화 과정과 비교과정의 처리 특성을 조사하였다. 이를 위해 변화탐지 과제의 기억항목 또는 검사항목과 위치가 중첩되는 차폐자극이 각각의 항목들과 동시에 혹은 뒤이어 제시되었다. 동시차폐가 처치된 경우, 기억차폐와 검사차폐 조건 각각에서 변화탐지 정확도는 항목개수가 증가함에 따라 현격히 감소되었으나 검사차폐의 조건의 정확도가 전반적으로 높은 것이 관찰되었다. 역행 차폐가 처치된 경우, 기억 및 검사 차폐 조건 모두에서 항목 개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 감소가 역시 관찰되었으나, 검사차폐 조건의 탐지 효율성이 다소 높은 것으로 나타났다. 특히 차폐 간섭이 처치되지 않은 경우에는 차폐가 처치된 경우에 비해 월등한 변화탐지 정확도가 관찰되었다. 기억항목에 대한 동시 및 역행 차폐의 강력한 간섭 효과는 시각작업기억의 공고화 과정에 정보처리 병목이 존재함을 의미한다. 반면 기억항목보다는 검사항목에 초래하는 동시차폐의 상대적이고 강력한 간섭 효과는 비교 과정이 시각탐색과 유사하게, 기억과 지각 정보 간의 분명한 시각적 차이가 초래하는 현출성 탐지에 기초한 처리과정임을 시사한다.

주제어 : 시각작업기억, 동시차폐, 역행차폐, 공고화, 비교

* 본 연구는 2010년도 정부재원(교육부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국 연구재단의 지원(NRF-2010-327-B00832) 및 2012년도 중앙대학교 신입생성적우수장학금 지원을 받아 수행되었음.

† 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 심리학과, (156-756) 서울특별시 동작구 흑석로 84
E-mail : jshyun@cau.ac.kr

인간은 시각 기관으로부터 방대한 양의 감각적 입력을 받으며 이 정보들 중 일부는 기억의 부호화 및 파지 과정을 거쳐 단기적인 시각기억표상으로 전환된다. 일련의 처리과정을 거쳐 형성된 시각기억표상은 일정 시간 이후에 사라지기도 하지만 필요에 따라 장기기억으로 공고화되거나 단기저장소에 머물면서 현재의 행동 목표를 완수하기 위한 정보로 사용될 수 있다(Atkinson & Shiffrin, 1968; Shiffrin & Atkinson, 1969). 이 중 시각정보의 단기과제와 관련된 처리 기제를 시각작업기억(visual working memory, 이하 VWM)이라 명명한다(Cowan, 2001, 2008; Luck & Vogel, 1997).

시각적 정보를 통해 고등 인지기능의 토대를 제공한다는 점에서 시각작업기억은 인간의 중요한 정보처리기제 중 하나이다. 시각작업기억과 관련된 많은 선행연구들은 주로 항목에 대한 기억 표상이 어떠한 형태로 저장될 것인지, 기억 속에 어느 정도 시간 동안 보유될 수 있으며 어떠한 방식으로 소멸되는지에 초점을 맞추어 왔다. 즉, 연구자들은 시각적으로 입력된 정보가 부호화되고 공고화, 파지되는 단계에서 기억표상이 보유한 성질이나 처리과정의 특성을 조사하는데 집중하였다. 그러나 실제로 작업기억에 저장된 정보에 대한 접근과 인출을 토대로 새로운 감각정보와의 비교 처리(memory-perception comparison)가 시도될 경우, 기억표상 자체의 견고성(durability)뿐만 아니라 표상된 기억정보와 감각정보 간 유사점 및 차이점을 탐지해내는 과정이 매우 중요해진다. 특히 이와 같은 유사성 및 차이점에 대한 즉각적 탐지에 기초한 시각정보 통합은 일관되고 안정적인 시각경험을 위해 매우

중요한 것으로 해석된 바 있다(Irwin, 1991, 1992).

시각작업기억의 처리 특성을 이해하기 위한 실험실 상황의 과제로는 변화탐지(change detection) 과제가 있다. 일반적인 변화탐지 과제에서는 매 시행에 걸쳐 개수를 달리하여 제시되는 기억항목들의 세부특징(예: 색상, 방위 및 크기 등)에 대한 기억 저장이 요구되며 약 1초 정도의 기억지연 시간 이후 뒤이어 제시된 검사항목과의 비교를 통해 차이점의 유무를 보고한다. 차이가 발생한 ‘변화있음’ 시행에서는 검사항목 중 한 개의 항목이 이와 대응되는 기억항목과 세부특징을 달리하며, ‘변화없음’ 시행에서는 기억항목과 검사항목이 동일하도록 처치된다. 만약 피험자가 기억항목과 변화항목간 차이의 유무를 정확하게 보고할 수 있으면, 기억이 요구되었던 항목들의 주요 특징을 기억에 정확히 파지했던 것으로 해석한다. 대개 항목의 개수가 네 개 이상을 넘어가면 변화탐지 정확도는 급격히 저하되는 것이 관찰되었으며, 이는 시각작업기억의 저장용량(storage capacity)이 평균 3.5항목 정도로 제한됨을 시사하는 결과로 해석되었다(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman & Luck, 2001).

시각작업기억에 저장되는 정보의 견고성을 확보하기 위한 시간을 추정할 최근의 연구는, 작업기억 저장소에 시각정보가 표상되는 과정에 시간이 다소 필요하며, 이러한 시간은 항목 개수의 증가와 함께 늘어남을 보고하였다. 예를 들어, 최근의 연구들은 기억항목에 뒤이어 약 17ms가 경과한 시점에 제시된 패턴역행 차폐(pattern-backward mask)의 간섭 효과가 기억항목의 개수가 증가함에 따라 점점 커지는

것을 관찰하였다(한지은, 현주석, 2011; Vogel, Woodman & Luck, 2006). 항목 개수 네 개를 대상으로 관찰된 이러한 간섭 효과는 차폐 자극과 기억항목 사이의 간격이 약 200ms가 되는 이후에 사라졌는데, 이를 토대로 개별 항목 당 약 50ms 공고화 시간이 소요됨을 보고하였다. 이처럼 항목 개수의 증가에 따른 공고화 소요 시간의 점진적 지연은 기억항목에 대한 감각적 부호화에 뒤이어 진행되는 시각작업기억 공고화(VWM consolidation) 과정이 다소 더디고 비효율적임을 시사하는 기존 연구(Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998)를 지지하는 증거로 해석되었다.

비교적 잘 알려진 시각작업기억 공고화 과정의 처리특성에 비해 시각작업기억에 저장된 기억 정보와 그것을 검사하는 검사항목의 감각 정보 간의 비교처리 과정의 처리특성에 대해서는 상대적으로 알려진 바가 없었다. 그러나 최근 Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth와 Luck(2009)은 단순색상도형에 대한 색상 변화 탐지 과제를 사용해 검사항목이 제시된 순간에 변화를 촉발시키는 특정 검사항목의 위치에 야기된 초점주의의 발현시간(onset latency)을 측정하였다. 그들 연구의 주안점은 항목 개수의 증감에 따른 초점주의의 발현 시간의 상대적 변화여부를 검증하는 것이었는데, 결과적으로 항목 개수의 변화에 관계없이 초점주의의 발현 시간은 일정한 것으로 나타났다. 검사항목이 출현하는 시점에서 개시되는 변화 탐지 과정에서, 항목 개수와 관계없이 변화 항목으로의 초점주의가 즉각적으로 전환된다는 점은 변화 탐지의 근본 배경이 되는 비교처리 과정에서 변화를 초래하는 항목이 강력

한 현출성(saliency)을 부여받게 되며 결과적으로 돌출하게(pop-out) 됨을 의미한다.

또한 한지은과 현주석(2011)은, 기억항목에 뒤이어 제시된 시각차폐와 검사항목에 뒤이어 제시된 시각차폐(visual masking)의 간섭 효과 간 상대적 크기에 대한 비교를 시도하였다. 이들은 변화탐지 과제의 기억항목에 대해 Vogel 등(2006)의 연구에서 시도된 역행패턴차폐를 처치해 동일한 패턴의 간섭효과를 반복 검증함과 동시에, 검사항목의 출현 직후 즉각적인 역행패턴 차폐를 처치하였다. 그에 따른 차폐 간섭 효과를 조사한 결과, 기억항목에 뒤이어 차폐가 출현한 경우 즉 기억차폐(sample mask)의 경우보다 검사항목에 뒤이어 차폐가 출현한 경우 즉 검사차폐(test mask)의 차폐 간섭이 상대적으로 약화된 것을 관찰하였다. 다시 말해 새로운 정보를 기억에 공고하게 표상하는 과정에 비해 기억에 이미 저장된 항목에 대한 인출 및 그에 따른 비교를 수행하는 과정이 상대적으로 처리 효율성이 높았음을 관찰하였다.

앞서 기술된 기존 연구에는 두 가지 명확히 드러나지 않은 점이 있다. 첫째, Vogel 등(2006)은 기억항목에 뒤이어 제시된 역행패턴 차폐가 감각 표상의 형성 즉 부호화 과정이 아닌 기억표상의 형성 과정에 대한 간섭을 초래한다는 사실을 강조했다. 이는 기억항목에 대한 역행차폐 처치를 동일하게 단순세부특징 탐색과제(simple feature search task)의 탐색 배열(search array)에 대해 시도한 경우 탐색 수행의 저하가 관찰되지 않았다는 점에 기초한 해석일 뿐, 실제 기억항목에 대한 감각적 수준의 차폐가 변화탐지 수행의 저하를 초래한다는

점에 대해서는 직접적인 검증이 수반되지 않았다.

둘째, 이러한 감각적 차폐의 영향력은 기억항목에 대한 차폐 처치보다는 검사항목에 대한 처치가 시도될 경우 중요한 이론적 시사점을 제공할 가능성이 있다. 기억항목에 대한 감각적 수준의 차폐는 감각 입력 즉 부호화(sensory encoding) 과정의 왜곡을 초래하므로(Breitmeyer, 1984), 그에 뒤이은 기억 공고화 처리 과정의 비효율성을 필연적으로 초래한다. 따라서 그로 인한 변화탐지 정확도의 저하는 필연적인 것으로 예측된다. 반면 기억공고화 과정에 비해 상대적으로 신속하고 효율적인 것으로 알려진 비교 과정(Hyun et al., 2009)은 기존 연구에서 관찰된 바와 같이 역행패턴 차폐의 간섭으로부터는 상대적으로 자유로울 수 있으나, 감각적 간섭을 초래하는 강력한 차폐가 처치될 경우 그에 따른 변화탐지 신속성과 효율성의 저하가 분명히 나타날 가능성이 있다. 이처럼 역행 차폐의 간섭과는 차별되는 강력한 감각적 간섭이 비교 과정의 처리 효율성을 현저히 저하시킬 수 있다는 점을 보여주는 것은, 기존 연구에서 관찰된 비교 과정의 신속성과 효율성의 상대적 수준을 가늠하는데 있어서 중요한 근거를 제공할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 실험 1에서는 감각적 수준의 간섭을 초래하는 것으로 잘 알려진 동시차폐(simultaneous mask)¹⁾를 변화탐지 과제의 기

역항목과 검사항목들 각각에 처치하고 이러한 동시차폐가 변화탐지 수행에 미치는 영향을 조사하였다. 동시차폐의 강력한 감각적 간섭 효과를 고려할 때(Breitmeyer, 1984; Scheerer, 1973), 기억항목에 대한 동시차폐는 개별 기억항목의 감각적 부호화 자체를 간섭하므로 변화탐지 정확도를 마치 역행 차폐가 처치된 경우처럼 전반적으로 그리고 항목개수의 증가에 따라 체계적으로 저하시킬 것으로 예상하였다. 마찬가지로 검사항목에 대한 동시차폐는, 기억항목과 검사항목 간 비교처리 과정에서 변화를 초래할 특정 검사항목 즉 변화를 촉발시키는 항목에 대한 감각적 처리를 방해함으로써 역시 변화탐지의 정확도를 저하시킬 것으로 예상하였다. 실험 2에서는 기존 연구에서 시도된 역행차폐 처치 아래에서 변화탐지 정확도를 다시 한 번 조사함으로써 기억 공고화 과정 및 비교 과정에 대한 역행 차폐의 간섭 효과에 대한 반복검증을 시도했으며, 그 결과에 기초해 공고화 차폐(예: 역행 차폐)와 감각적 차폐(예: 동시 차폐)가 변화탐지에 미치는 상대적 영향력의 차이에 대한 정확한 이해를 시도하였다. 마지막으로 실험 3에서는 차폐가 처치되지 않은 단순변화탐지과제에서의 수행을 기억항목에 대한 차폐 혹은 검사항목에 대한 차폐에서의 수행과 비교함으로써 앞선 실험 1, 2의 결과가 단순히 항목개수가 늘어남에 따라 자연스럽게 증가된 기억부담의 효과

표적과 동시에 차폐 자극이 노출되어 표적과 차폐 자극이 감각적으로 통합(integrated)되며 그 과정에서 표적 변별 과정에 차폐 자극에 내재하는 감각적 잡음(sensory noise)이 추가되기 때문인 것으로 해석된다.

1) 동시차폐는 경우에 따라 통합차폐(integration masking) 혹은 잡음차폐(noise masking)라고 명명되기도 한다(Eriksen, 1980; Giesbrecht & Di Lollo, 1998; Woodman & Luck, 2003). 이러한 명칭들은,

에 기인한 것이 아닌지를 확인하고자 하였다.

실험 1

실험 1에서는 간단한 색상도형들에 대한 색상 변화탐지 과제의 개별 시행에 걸쳐 기억항목에 국한해 동시차폐를 처치하거나 혹은 검사항목에 국한해 동시차폐를 처치하였다. 동시 차폐는 표적항목의 출현시점을 기준으로 표적 위치에 선행 혹은 후행 제시되어 표적에 대한 탐지나 변별을 방해하는 순행 혹은 역행 차폐(forward or backward masking)와 차폐 간섭의 원리 면에서 중요한 차이가 있다. 순행 혹은 역행 차폐의 경우, 표적과 차폐 자극 간 노출 시차(asynchrony)가 존재하므로 적어도 표적이 노출되는 시점의 물리적 자극 자체에 대한 감각적, 지각적 처리는 차폐 간섭의 영향으로부터 비교적 자유로운 것으로 가정된다. 다만 표적과 차폐 자극 간 출현 시차 즉 차폐 출현간격(mask stimulus onset asynchrony, MSA)이 극단적으로 짧아질 경우 두 자극에 대한 감각적 표상의 형성 과정에서 표적과 차폐 자극이 상호 시간적으로 통합되어 버리거나(temporal integration), 심지어는 교체될(replaced) 수 있으며 그로 인해 차폐 간섭이 초래된다고 해석한다(Breitmeyer, 1984; Enns, 2004; Enns & Di Lollo, 2000). 반면, 동시차폐는 차폐가 처치된 표적의 물리적 자극 자체에 차폐가 공간적으로 중첩된 상태에 해당되므로 순행이나 역행차폐와 같은 시간적 통합이나 교체가 아닌 감각적 입력(sensory input) 자체의 왜곡에 의해 간섭이 초래된다.

실험 1에서는 이러한 두 차폐 처치 중 동시

차폐의 특성에 기초해 기억항목 혹은 검사항목의 감각적 부호화 과정에 간섭을 처치하고 그에 따른 변화탐지 정확도를 조사하였다. 기억항목에 대한 동시차폐가 아닌 역행차폐 처치를 시도한 Vogel 등(2006)의 연구는, 기억항목의 개수 증가에 따른 변화탐지 정확도의 현저한 저하를 관찰함으로써 기억 표상 형성 과정의 효율성이 그다지 높지 않음을 보고하였다. 특히 이러한 변화탐지 정확도 저하는 단순세부특징 탐색항목(simple feature search item)에 대한 역행차폐 처치 아래에서는 관찰되지 않았으므로, 감각적 간섭이 아닌 기억표상 형성 과정에 국한된 간섭 효과로 해석되었다. 다만 그들의 연구에서는 기억항목에 대한 감각적 간섭이 변화탐지에 초래하는 영향에 대해서는 특별한 관찰이 시도되지 않았는데, 실험 1의 기억항목에 대한 동시차폐 처치는 이러한 관찰을 염두에 두었다. 특히 기억항목에 대한 감각적 간섭은 부정확한 감각표상 형성으로 인해 기억부호화 과정에 역행패턴 차폐가 야기하는 공고화간섭(consolidation masking)과 유사한 간섭을 초래할 수 있으므로, 항목개수 증가에 따른 변화탐지 정확도의 급격한 저하가 예상된다.

반면에 검사항목에 대한 동시차폐 처치가 변화탐지 정확도에 미치는 영향에 대해서는 구체적인 예측이 어렵다. 한지은과 현주석(2011)은, 기억항목이 아닌 검사항목에 대한 역행패턴 차폐를 처치한 결과 항목개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 저하가 기억항목에 대해 동일한 차폐가 처치된 경우보다 상대적으로 분명하지 않은 것을 관찰하였다. 이는 기억항목과 검사항목 간 비교처리 과정에

서의 시각적 변화(visual change)에 대한 탐지가 마치 현출 자극(salient stimulus)에 대한 자동적 탐지와 같이 신속하고 정확한 것으로 해석되었다. 그럼에도 불구하고, 이와 같은 탐색표적에 대한 자동적 탐지는 동시차폐 아래에서 그 효율성이 대폭 감소할 가능성이 있다(Dosher & Lu, 2000; Woodman & Luck, 2003). 이러한 가능성에 기초해, 실험 1에서는 검사 항목에 대한 동시 차폐가 처치될 경우 차폐 간섭의 영향력으로부터 자유롭지 못할 것을 예측하였으며 결과적으로 항목개수 증가에 따라 비교처리의 실패 가능성 또한 증가할 것으로 예상하였다. 따라서 기억항목에 대한 동시차폐 처치와 동일하게 항목개수에 따른 변화탐지 정확도의 현격한 저하를 예상하였다.

방 법

참가자 중앙대학교에서 심리학과목을 수강하는 19 ~ 26세($M = 22.13$, $SD = 1.76$)의 학생 16명이 실험에 참가하였다. 참가자들은 모두 정상시력과 정상 교정시력 및 정상 색상지각을 보고하였다.

자극과 절차 실험에서 사용된 자극과 절차를 그림 1에 예시하였다. 모든 자극은 MATLAB에 기초한 Psychophysics Toolbox를 통해 제시되었다. 시각 자극은 피험자의 눈으로부터 60cm 거리에 위치한 19인치 LCD 모니터를 통해 제시되었으며 화면의 해상도는 1280×720 이었다. 스피커를 통해 수행에 대한 청각적 피드백이 제시되었고 피험자들의 반응은 키보드를 통해 입력되었다.

실험의 모든 자극은 화면상의 $5.02^\circ \times 5.02^\circ$ 의 범위 내에서 회색(CIE 좌표 및 밝기: $x = .341$, $y = .353$, 1.12 cd/m^2) 배경화면 위에 제시되었다. 개별 시행은 $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ 크기의 검은색 응시점의 출현과 함께 개시되었으며, 응시점은 100ms 동안 화면에 머무르다 사라졌다. 응시점 소멸 이후 기억배열(sample array)로서 각기 서로 다른 색상을 가진 $0.35^\circ \times 0.35^\circ$ 크기의 사각형들이 100ms 동안 제시되었다. 화면에 나타나는 기억항목의 개수는 개별 시행에 걸쳐 1 ~ 4개로 변화하였다. 각 사각형 자극의 색상은 빨강($x = .544$, $y = .337$, 2.00 cd/m^2), 파랑($x = .237$, $y = .212$, 1.22 cd/m^2), 하늘색($x = .282$, $y = .412$, 8.04 cd/m^2), 노랑($x = .463$, $y = .404$, 4.41 cd/m^2), 초록($x = .314$, $y = .510$, 5.59 cd/m^2), 분홍($x = .433$, $y = .290$, 3.07 cd/m^2), 흰색($x = .376$, $y = .394$, 10.73 cd/m^2), 그리고 검정($x = .302$, $y = .320$, 0.47 cd/m^2)의 총 여덟 개 색상 중 하나였으며, 매 시행에서 무선 선택되었다. 기억배열이 사라진 후 900ms 동안 빈 화면(blank screen) 제시를 통한 기억지연시간이 주어졌으며 뒤이어 검사배열(test array)이 100ms 동안 제시되었다. 검사배열 내의 개별 검사항목은 기억배열의 그것들과 동일하거나 아니면, 한 항목의 색상이 기억배열과 차이가 있었다. 전체 시행의 절반에 해당하는 '변화있음' 시행에서는 이러한 차이가 있었으며, 나머지 절반에 해당하는 '변화없음' 시행에서는 기억 및 검사항목들 간의 색상이 동일하였다. 검사항목이 사라진 후, 피험자들의 반응 입력이 있을 때까지 빈화면이 제시되었으며, 피험자 반응 이후 다음 시행의 개시 시점까지의 간격(inter-trial interval)은

100 ~ 500ms 범위 내에서 변화하였다.

차폐자극은 기억배열 혹은 검사배열과 동시에 개별 기억 혹은 검사 항목 위치에 중첩 제시되었다가 각 배열과 함께 사라졌다. 차폐로 사용된 자극은 0.13° x 0.13°의 사각형 네 개로, 개별 기억항목 혹은 검사항목의 네 귀퉁이에 제시되었다. 개별 항목에 처치된 차폐자극의 색상은 그 항목의 색상과 중복되지 않았으며, 개별 차폐 자극 간의 색상도 역시 서로 달랐다. 차폐와 항목이 공간적으로 중첩되는 정도는 예비실험을 통해 항목개수 4개 조건에서 차폐의 효과가 평균적으로 85%의 변화탐지 정확도를 가지도록 선택되었다. 개별 피험자는 차폐 자극이 기억항목과 동시에 제시되는 조건(그림1의 가)에 해당하는 기억동시차폐 시행 그리고 검사항목 동시에 제시되는 조건

(그림 1의 나)에 해당하는 검사동시차폐 시행을 모두 구획 별로 수행하였으며, 각 구획의 순서는 피험자에 걸쳐 역균형화 되었다.

피험자들은 기억이 요구된 기억배열 내의 개별 항목들의 색상을 기준으로 검사배열 내 상응하는 항목에 색상에 차이가 있었는지 혹은 없었는지를 키보드의 ‘N’ 또는 ‘/’ 키를 눌러 반응하도록 요구 받았으며, 두 키에 대한 지정된 반응은 피험자에 걸쳐 역균형화 되었다. 변화여부 보고에 대한 피험자의 정반응과 오반응에 대해서는 음높이를 서로 달리한 소리 출력을 통해 피드백을 제공하였다. 기억 및 검사동시차폐 각각의 구획 내에서는 총 400회의 시행이 있었으며, 각 구획내의 항목개수 조건 및 변화유무 조건의 시행 수는 동일하였다. 피험자들에게는 과제에 편안함을

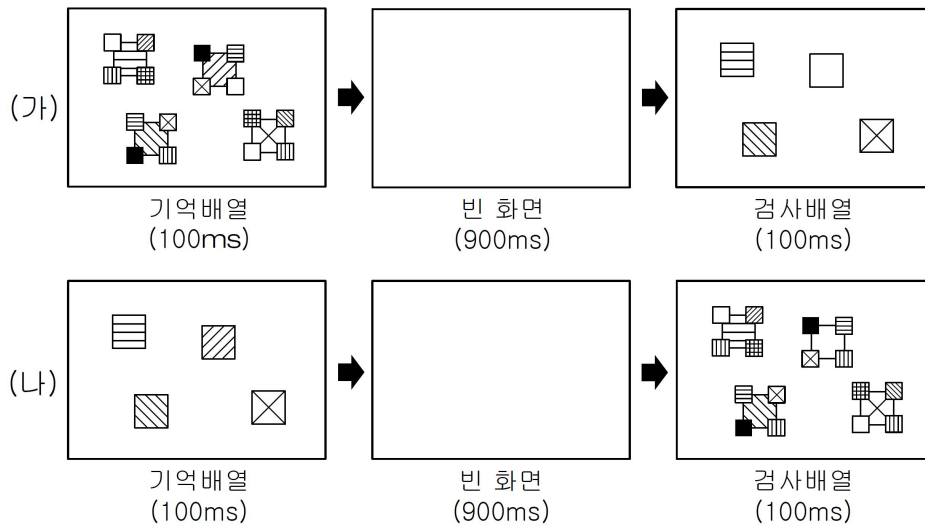


그림 1. 실험1의 항목개수 네 개 조건의 변화있음 시행에서 사용된 자극과 절차의 예시. (가) 기억동시차폐 및 (나) 검사동시차폐 조건. 기억 및 차폐 자극의 각기 다른 패턴은 서로 다른 색상을 나타낸다. 개별 배열내의 각 항목에 중첩된 네 차폐자극의 색상은 서로 달랐으며, 각 항목의 네 차폐자극들 간의 색상도 모두 달랐다. 피험자는 기억항목이나 검사항목과 동시에 제시된 차폐자극의 색상을 무시하고 기억과 검사 항목 간 색상변화의 유무를 보고하였다.

느낄 때까지 본 시행과 동일한 연습시행이 주어졌으며, 매 50번의 시행 후에 단기 휴식과 구획 중간에 긴 휴식 시간이 부여되었다. 변화탐지 과제에 있어서는 수행의 정확도가 강조되고 속도는 강조되지 않았다.

결과 및 논의

실험1에서 관찰된 변화탐지 정확도 결과를 그림 2에 제시하였다. 전반적으로 변화탐지는 기억동시차폐 조건(88.6±4.16%)보다 검사동시차폐 조건(91.7±3.51%)에서 상대적으로 정확한 것으로 나타났으며, 항목개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 점진적 감소 패턴이 기억동시차폐(1, 2, 3 및 4개 조건 별로 97.8±1.68, 93.1±4.46, 85.8±6.9 및 77.7±7.14%)와 검사동시차폐 조건(97.8±1.87, 96.3±2.44, 90.4±6.05 및 82.2±7.04%) 각각에서 관찰되었다. 이러한 패

턴에 대한 확인을 위해, 차폐유형(기억 및 검사차폐)과 항목개수(1, 2, 3 및 4개) 두 변인을 대상으로 반복측정에 기초한 이원변량분석이 실시되었다. 분석 결과, 차폐유형과 항목개수의 주효과가 통계적으로 유의미하였다, 각각 $F(1, 15) = 18.4, p < .01, F(3, 45) = 99.8, p < .01$.

두 변인의 상호작용 또한 유의미했는데, $F(3, 45) = 4.02, p < .05$, 이러한 상호작용은 기억 및 검사차폐 조건에서 항목개수 효과의 패턴이 차이가 있었음을 의미한다. 그러나 검사차폐 조건의 항목개수 1개와 2개 조건의 정확도가 각각 97.8±1.87%와 96.3±2.44%로 천정 수준에 근접하는 반면에 기억차폐 조건에서는 각각 97.8±1.68%와 93.1±4.46%로 비교적 큰 차이가 있었다. 이는 두 변인간 상호작용의 근원이 두 차폐유형 조건간에 있어서 항목개수 효과의 패턴 사이에 존재하는 전반적인 차이에 기인하기 보다는, 검사차폐 조건의 항목개수 1개와 2개 조건에 국한된 천정 효과(ceiling effect)에 기인했을 가능성이 있다. 따라서 항목개수의 개별 증가 구간에 해당하는 1에서 2개, 2에서 3개, 3에서 4개 구간 별로 별도의 두 변인간 상호작용을 분석을 시도한 결과 1개에서 2개 조건에서만 유의미한 상호작용이 발견되었으며, $F(1, 15) = 6.65, p < .05$, 나머지 구간의 상호작용은 유의미하지 않았다, all $ps > .05$.

실험 1의 결과는 두 차폐 조건 간 변화탐지 정확도의 감소 패턴에는 비교적 큰 차이가 없었음을 시사하며, 기억 및 검사항목에 대한 동시차폐 처치가 기억항목의 부호화 처리과정 그리고 검사항목의 비교처리 과정에 비교적

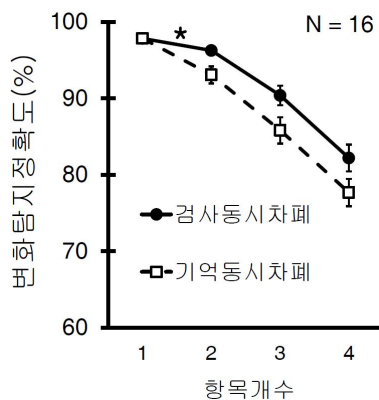


그림 2. 실험 1에서 관찰된 두 차폐 조건의 항목개수 증가에 따른 변화탐지정확도. * 표시는 항목개수 처치 수준 구간별로 수행된 차폐유형 x 항목개수 변인의 상호작용 분석 결과를 의미한다. 그림 2를 포함한 모든 결과 도표의 오차막대(error bar)는 평균의 표준오차(standard error of mean)를 의미한다.

분명한 간섭을 초래했음을 의미한다. 특히 검사차폐 조건의 변화탐지가 기억차폐 조건보다 정확했다는 점은 새로운 기억표상을 형성하기 보다는 이미 형성된 기억표상을 인출해 검사항목의 감각적 표상과의 차이를 발견하는 처리과정이 상대적으로 용이했음을 의미한다. 그럼에도 불구하고, 항목개수의 증가에 따른 차폐 처치의 영향력의 패턴이 두 차폐 조건에 걸쳐 유사했다는 점은, 기억항목에 대한 감각적 부호화 과정 또는, 검사항목의 출현시점에 해당하는 비교처리 과정에 감각적 간섭이 처리될 경우 두 처리과정의 효율성이 공히 현저하게 저하됨을 의미한다.

실험 2

실험 1에서는 기억항목 혹은 검사항목과 동시에 중첩 제시된 동시차폐가 초래한 감각적 간섭에 의해 변화탐지의 정확도가 항목개수의 증가에 따라 저하되는 것이 관찰되었다. 이러한 저하 패턴은 개별 항목에 뒤이어 즉각적으로 제시되는 역행 패턴 차폐의 경우 기억항목에 대한 분명한 차폐 효과를 초래하나(Vogel et al., 2006), 검사항목에 뒤이어 제시될 경우 차폐의 그러한 영향력이 상대적으로 분명하지 않음이 보고된 바 있다(한지은, 현주석, 2011). 실험 2에서는 이처럼 서로 다른 연구 사례에서 관찰된 역행차폐의 효과에 대한 반복 검증을 시도하되, 기존연구의 패턴문양(complex pattern) 자극이 아닌 실험 1에서 사용된 비교적 단순한 네-점(four-dot) 자극에 기초한 역행차폐를 사용하였다. 실험 2에서 시도되는 네-점 문양의 차폐는 기존 연구의 패턴 차폐와

달리 공간적 중첩의 정도가 상대적으로 감소한 상태이나, 기존 시각 차폐에 대한 연구 사례에 근거할 때 여전히 분명한 차폐 효과를 초래할 가능성이 있다(Breitmeyer & Ogmen, 2000; Enns, 2004; Enns & Di Lollo, 2000). 따라서 실험 2에서는 이러한 강력한 차폐 효과에 기초해 기존 연구에서 보고된 기억항목과 검사항목 간 역행차폐의 상이한 영향력 차이를 관찰하였다.

방 법

참가자 중앙대학교에서 심리학 과목을 수강하는 새로운 학생 16명이 실험에 참가하였다. 피험자들의 평균 연령은 20 ~ 29세였다($M = 22.88$, $SD = 2.37$). 참가자들은 모두 정상시력 혹은 정상교정시력 및 정상 색상지각을 보고하였다.

자극과 절차 실험2에 사용된 자극과 절차의 예시가 그림 3에 도해되었다. 실험2의 모든 자극 구성과 제시에는 실험 1과 동일한 기구가 사용되었으며, 아래의 처치를 제외하고는 모든 자극과 절차가 동일하였다. 실험 2에서는 차폐자극이 기억이나 검사배열과 동시에 제시되는 것이 아니라 각각의 배열 직후 17ms의 시차 즉 117ms의 차폐출현간격(MSOA)을 두고 제시되었는데 이는 기존 연구에서 시도된 역행차폐 처치에 해당되었다(한지은, 현주석, 2011; Vogel et al., 2006). 기억 및 검사차폐 시행은 실험 1에서와 같이 각각 별도의 구획으로 구분되어 실시되었으며, 구획의 제시 순서 역시 피험자 간 역균형화 되었다. 개별 구

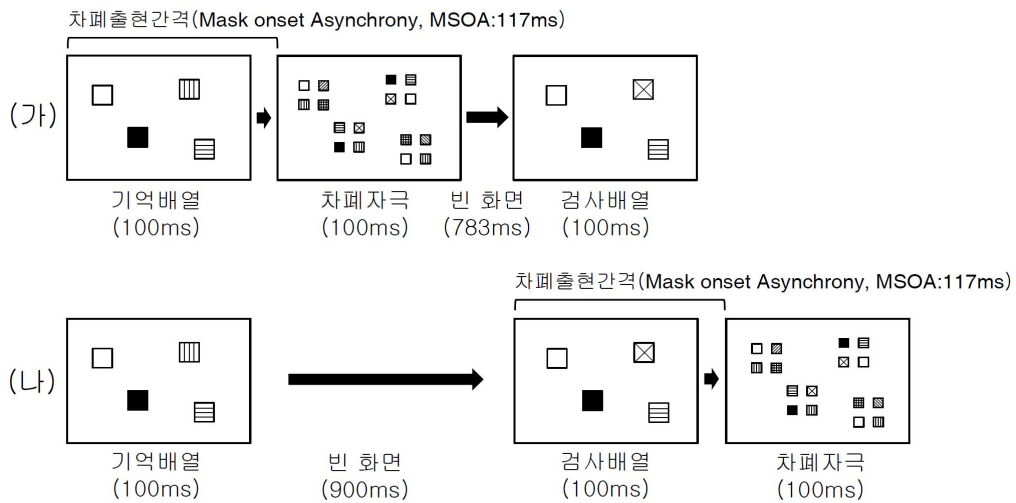


그림 3. 실험 2의 변화있음 시행에서 사용된 자극과 절차와 예시. (가) 기억역행차폐조건 및 (나) 검사역행차폐조건. 실험 1과 달리 네-점으로 구성된 차폐자극은 기억 혹은 검사배열이 사라진 후 17ms가 경과한 시점에 제시되었다.

획에는 총 400회의 시행이 있었고, 항목개수 1, 2, 3 및 4개 조건 간 시행 수는 동일하였으며 변화있음 및 변화없음 각 조건 간 시행 수도 또한 동일하였다.

한 주효과가 확인되었으며, 각각 $F(1, 15) = 59.6, p < .01$, $F(3, 45) = 53.6, p < .01$, 두 요인 간 상호작용 역시 유의미하였다, $F(3, 45) = 12.7, p < .01$. 상호작용 패턴에 대한 정확

결과 및 논의

그림 4에 실험 2의 결과를 도해하였다. 대략적으로, 항목 개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 저하 패턴은 검사차폐 조건(1, 2, 3 및 4개 각각 $97.0 \pm 3.18, 96.7 \pm 2.15, 92.6 \pm 5.24$ 및 $87.3 \pm 7.89\%$)보다 기억차폐 조건($97.5 \pm 2.07, 94.4 \pm 3.89, 85.4 \pm 8.84$ 및 $79.3 \pm 7.03\%$)에서 상대적으로 두드러 졌다. 이러한 차이 패턴에 대한 정확한 이해를 위해 실험 1에서와 동일하게 차폐유형 변인과 항목개수 변인을 대상으로 반복측정에 기초한 이원변량분석이 실시되었다. 그 결과, 차폐위치와 항목개수의 유의미

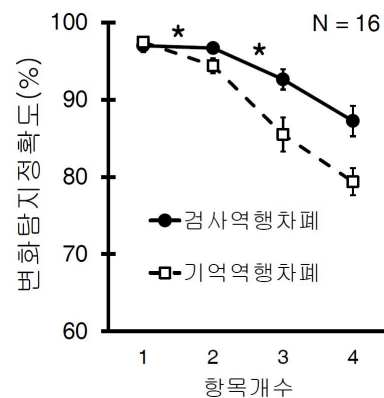


그림 4. 실험 2에서 관찰된 변화탐지 정확도 결과. * 표시는 항목 개수 처치 수준의 항목개수 구간별 차폐유형조건 x 항목개수 이원상호작용의 유의미성을 의미한다, $p < .05$.

한 이해를 위해, 실험 1에서와 동일하게 항목 개수 증가에 따른 구간별 상호작용 분석을 실시하였다. 그 결과, 항목개수 1과 2개 구간 및 2와 3개 구간에서 유의미한 상호작용이 관찰되었으며, 각각 $F(1, 15) = 7.57, p < .05$ 그리고, $F(1, 15) = 14.8, p < .01$, 3과 4개 구간의 상호작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 15) = .10, p = .76$.

실험 2에서 관찰된 차폐유형 변인과 항목개수 변인 사이의 상호작용은 결과 패턴상으로 실험 1의 동시 차폐와는 개별 차폐 조건에 걸쳐 항목개수 효과의 분명한 차이 패턴을 시사하긴 하나 그럼에도 불구하고, 검사차폐 조건의 항목개수 1, 2개 시행들에서 예상되는 천정수준의 탐지 정확도의 영향을 배제할 수 없다. 분명한 것은 실험 1의 검사차폐 조건에서 항목 개수 3, 4개 조건의 탐지 정확도는 평균적으로 80% 수준에 머물렀지만 실험 2의 항목 개수 3, 4개 조건에서는 약 90%에 육박하는 비교적 정확한 변화탐지가 가능했던 반면에, 기억차폐 조건의 경우 실험 1과 2에 걸쳐 정확도가 대략 80% 수준으로 비교적 유사했다. 따라서 실험 2의 결과는 기억 공고화 과정에 비해 비교 과정의 처리 효율성이 상대적으로 우수함을 시사하는 결과로 해석된다(한지은, 현주석, 2011).

실험 3

실험 1과 2에서 분명한 것은 기억 및 검사 항목에 대한 차폐 처치가 대개 분명한 항목개수 효과를 초래했다는 점이다. 그러나 이러한 항목개수 효과는 차폐가 처치되지 않아도 기

억부담(memory load)의 증가에 따라 자연스럽게 예상되는 결과라는 반문이 가능하다. 특히 기억항목에 차폐를 제시하는 경우 부호화나 공고화 과정에 간섭이 발생할 뿐만 아니라 이로 인해 비교과정에서 이용되는 정보 역시 제한된다는 사실을 고려했을 때, 차폐로 인한 변화탐지 효율성 증감을 추정하기 위해서는 차폐가 처치되지 않은 조건에서의 변화탐지 효율성에 대한 분명한 기준이 요구되는데 실험 1과 2는 이러한 기준을 정확히 제공하지 않았다.

실험 3에서는, 실험 1과 2의 차폐 처치를 제거한 상황에서 변화탐지 정확도를 측정함으로써 간섭이 초래되지 않은 상황에서의 변화탐지 수행 수준을 가늠하는데 목적을 두었다. 특히 과거 한지은과 현주석(2011)의 연구에서 시도된 패턴 모양의 역행 차폐 조건을 추가해 기억항목에 대한 공고화 차폐의 간섭 효과를 반복 검증하였으며, 실험 2에서 관찰된 검사 항목에 대한 동시 차폐 처치의 분명한 효과를 재차 검증하였다. 이를 통해 차폐처치가 제거된 상태의 보편적인 변화탐지 정확도 수준과 차폐 간섭에 의한 변화탐지 정확도의 저하 패턴 간의 차이를 관찰하는데 중점을 두었다. 이 때 차폐가 제시되지 않는 변화탐지 이외에 기억배열과 검사배열 모두에 차폐가 제시되는 처치 역시 고려해볼 수 있는데 이러한 조건 하에서는 두 기억처리과정에 대한 간섭이 혼재되어 수행에 반영되므로 해석이 불분명할 가능성이 있다. 더불어 선행 연구와 동일한 절차를 이용하는 경우 실험 결과에 관해 비교적 명확한 예측과 해석이 가능하기에 이러한 처치조건은 생략되었다.

참가자 중앙대학교에서 심리학 과목을 수강하는 20 ~ 24세(M = 20.88, SD = 2.37)의 새로운 학생 10명이 실험에 참가하였다. 피험자들은 모두 정상시력 혹은 정상교정시력과 정상 색상지각을 보고하였다.

자극과 절차 실험 3에 사용된 자극과 절차가 그림 5에 예시되었다. 모든 자극 구성과 제시에는 실험 2와 동일한 기구가 사용되었으며, 아래의 세부 처치를 제외하고는 모든 자극과 절차가 동일하였다. 실험 3의 모든 시행은 첫째, 차폐처치가 없었던 일반적인 변화탐지 과제에 해당되는 차폐없음 시행 그리고 둘째, 과거 한지은과 현주석(2011)의 연구에서 시도된 기억역행차폐 시행 및 마지막으로 실험 1에서 시도된 검사동시차폐 시행의 세 시행 유형으로 구성되었다. 차폐없음 시행의 경우 실험 1과 2에서 시도된 차폐만을 제거하였으며,

기억역행 차폐 시행의 경우 패턴차폐 자극의 크기는 과거 한지은과 현주석의 연구(2011)에서 사용된 패턴문양과 동일하게 0.94° x 0.94°였으며, 개별 패턴문양을 구성하는 네 개의 사각형의 개별 크기는 따라서 0.47° x 0.47°이었다. 또한 그들의 처치와 동일하게 패턴문양을 구성하는 네 개의 사각형의 색상을 무선적으로 선택하였으며, 200ms의 차폐 노출 시간이 아닌 실험 1 및 2와의 일관성을 위해 100ms의 노출시간이 실험 3에서 사용되었다. 마지막으로 검사동시차폐 시행의 경우 실험 1의 검사동시차폐 시행과 완전히 동일하였다.

세가지 시행 유형들은 구획화되어 실시되었으며, 개별 구획의 제시 순서는 피험자에 걸쳐 역균형화 되었다. 개별 구획은 총 200회의 시행으로 구성되었으며, 변화탐지 과제의 정확성만이 강조되었다.

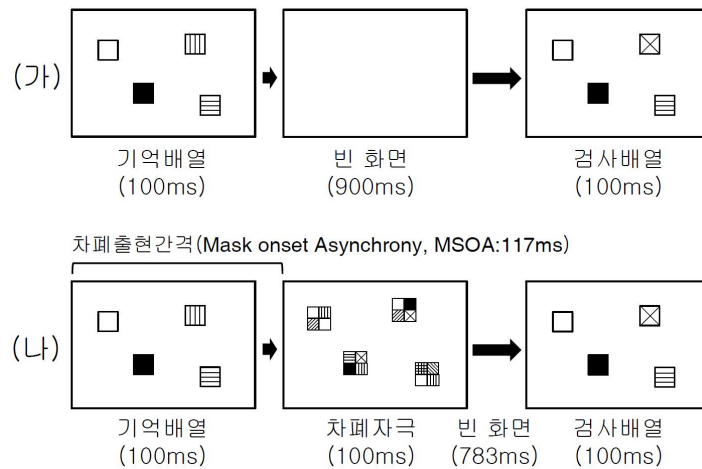


그림 5. 실험 3의 변화있음 시행에 사용된 자극과 절차의 예시. (가) 차폐없음 조건 및 (나) 기억역행차폐 조건. 검사동시차폐 조건은 그림 1의 (나)와 동일하였으므로 생략되었다.

결과 및 논의

실험 3에서 관찰된 변화탐지 정확도 결과를 그림 6에 제시하였다. 먼저 처치유형 변인 즉 차폐없음, 기억역행 및 검사동시 처치 수준에 따른 변화탐지는 차폐없음 조건에서 가장 정확했으며(95.7±2.17%) 다음으로 검사동시차폐(91.6±2.85%) 그리고 기억역행차폐 조건(89.0±4.15%)의 순서로 정확도가 감소하였다. 한편 항목개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도는, 차폐없음 조건(1, 2, 3 및 4개 각각 97.0±2.87, 97.4±2.32, 95.2±3.16 및 93.0±5.01%)을 제외하고 기억역행(97.4±2.32, 96.8±3.16, 85.0±5.60 및 76.6±9.66%) 및 검사동시 차폐(97.0±2.36, 96.8±2.7, 91.0±4.64 및 82.6±6.80%) 두 조건에서 분명하게 감소하였다. 이러한 정확도 감소 패턴의 차이에 대한 정확한 이해를 위해 처치유형 변인(차폐없음, 기억역행 및 검사동시)과 항목개수 변인(1, 2, 3 및 4개)을 대

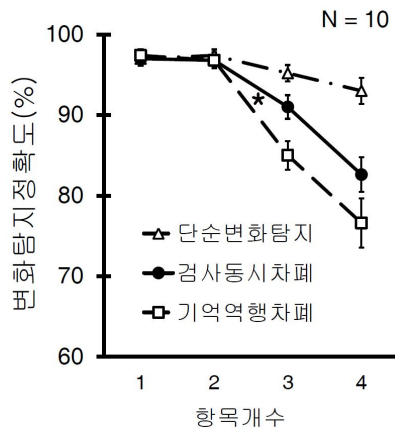


그림 6. 실험 3에서 관찰된 변화탐지 정확도.
(* 표시는 항목 개수 처치 수준의 개별 증가 구간별 차폐유형조건 x 항목개수 간 이원상호작용의 유의미성을 의미한다, $p < .05$)

상으로 반복측정에 기초한 이원변량분석이 실시되었다. 분석 결과, 처치 유형 변인 및 항목 개수 변인의 주효과가 관찰되었다, 각각 $F(1, 9) = 64.5, p < .01$ 그리고 $F(3, 27) = 34.8, p < .01$.

두 변인 간 상호작용 또한 유의미하였는데, $F(6, 54) = 14.5, p < .01$, 이러한 상호작용의 근원을 알아보기 위해 단순변화탐지와 검사동시차폐, 단순변화탐지와 기억역행차폐, 마지막으로 검사동시차폐와 기억역행차폐 처치조건의 세가지 쌍별 조합 범주 조건에 대해 처치 유형 x 항목개수 변인에 대한 추가적인 2x4 이원상호작용 분석을 시도하였다. 그 결과 단순변화탐지와 검사동시차폐 조합 조건, $F(3, 27) = 16.5, p < .01$ 그리고, 단순변화탐지와 기억역행차폐 조합 조건에 대한, $F(3, 27) = 24.6, p < .01$, 분석에서 상호작용이 유의미했으며, 검사동시차폐와 기억역행차폐 조합 조건의 자료에서도 유의미한 상호작용이 발견되었다, $F(3, 27) = 4.45, p < .05$.

검사동시차폐와 기억역행차폐 조합 조건 간 상호작용에 대한 명확한 이해를 위해, 실험 1, 2에서와 동일하게 항목개수 증가 수준에 따른 구간별 상호작용 분석을 실시하였다. 분석 결과 항목개수 1에서 2조건 그리고 3에서 4조건에서는 유의한 상호작용이 관찰되지 않았으나 2에서 3조건에서 유의한 상호작용이 확인되었다, $F(1, 9) = 12.7, p < .01$. 이는 기억역행 패턴 차폐의 간섭효과(한지은, 현주석 2011; Vogel et al., 2006)가 검사항목에 처치된 검사동시차폐의 간섭효과보다 더 강력할 수 있으며, 경우에 따라서는 변화탐지 정확도의 평균적 저하가 아닌 탐지 효율성 자체의 저하를

초래할 수 있음을 시사하는 결과로 해석된다.

실험 3의 차폐없음 조건에서 관찰된 천정수준의 정확한 변화탐지 및 항목개수 효과의 부재는 결과적으로 차폐가 처치되지 않을 경우 (mask-free), 기억부담이 크게 감소함에 따라 지극히 효율적인 변화탐지가 가능해 짐을 예시한다(Luck & Vogel, 1997; Vogel et al., 2001). 그와 동시에, 기억항목에 대한 역행차폐 및 검사항목에 대한 동시차폐로 인해 초래된 변화탐지의 현격한 저하 및 항목개수 효과의 분명한 발현은 두 차폐 처치의 강력한 간섭효과가 초래하는 변화탐지 효율성의 급격한 저하를 보여준다. 이러한 효율성의 저하는 실험 1과 2의 결과에서 미루어 볼 때, 기억역행 및 검사 동시 차폐에서 유사하게 나타나지만 그럼에도 불구하고 전반적인 변화탐지는 검사동시 차폐에서 상대적으로 정확한 것으로 해석할 수 있다.

종합 논의

본 연구의 목적은 변화탐지과제의 기억 혹은 검사 항목에 대한 동시 및 역행차폐 처치가 초래하는 차폐 효과의 상대적 크기를 통해 시각작업기억의 공고화 과정 및 저장된 기억 정보와 새로운 감각적 입력 간 비교 과정의 처리 효율성을 가늠해 보는데 있었다. 실험 1에서는 기억 혹은 검사항목들에 대해 공간적으로 중첩되는 동시차폐를 처치한 결과 차폐 간섭에 따른 분명한 변화탐지 정확도 감소와 함께 항목개수 증감에 따른 정확도 저하패턴에 있어서 기억 및 검사 차폐 조건 간 큰 차이가 없음이 관찰되었다. 실험 2에서는 실험 1

의 동시차폐 처치를 위해 고안된 자극과 동일한 네-점 문양을 기억배열이나 검사배열에 뒤이어 제시함으로써 동시차폐가 아닌 역행차폐 처치를 시도하였다. 그 결과 항목개수 증가에 따라 탐지 정확도가 감소했으나, 검사항목보다는 기억항목에 대한 역행차폐가 변화탐지의 효율성을 상대적으로 더 감소시키는 것이 관찰되었다. 실험 3에서는 차폐가 처치되지 않은 경우의 변화탐지 정확도에 견주어 기억항목에 대한 역행패턴차폐 및 검사항목에 대한 동시차폐의 간섭효과를 가늠하였다. 그 결과, 차폐가 처치되지 않은 경우에 비해 두 차폐조건에서는 여전히 강력한 간섭효과가 관찰되었으나, 기억항목에 역행패턴 차폐가 처치된 경우에 간섭의 강도 및 그로 인한 변화탐지 효율성 감소가 상대적으로 더 분명한 것으로 나타났다.

실험 1과 3의 기억차폐 조건의 변화탐지 효율성 저하는, 역행차폐 처치가 기억항목에 대한 시작작업기억 공고화(VWM consolidation) 과정에 간섭을 초래한다는 기존 연구의 결과들(한지은, 현주석, 2011; Vogel et al., 2006)을 고려할 때 비교적 당연한 것으로 판단된다. 실험 1의 경우, 동시차폐가 변화탐지에 초래한 간섭은 기억항목에 뒤이어 역행 패턴차폐가 처치된 경우처럼 항목개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 감소로 이어졌으며 특히, 실험 1의 기억항목에 대한 동시차폐 조건에서의 정확도 감소 패턴은 동일한 기억항목에 대해 역행패턴 차폐가 시도된 실험 3의 기억역행차폐 조건의 정확도 감소 패턴과 매우 유사했다. 이는 기억 항목에 대한 동시 차폐가 초래하는 감각적 간섭이 뒤이어 진행되는 시각작업기억

공고화 과정을 방해함으로써 마치 역행 차폐가 처치된 것처럼 부정확한 변화탐지를 초래했음을 의미한다.

또한 실험 1에서 검사항목에 대한 동시차폐 역시 강력한 간섭을 초래한 것이 관찰되었다. 검사항목에 대한 동시차폐 즉 감각적 간섭이 항목개수의 증가에 따른 변화탐지 정확도의 감소를 분명하게 초래했다는 점은, 비교적 신속하고 효율적으로 보고된 비교처리 과정 또한 감각적 입력 정보 즉 부호화 단계 등에서 잡음이 추가될 경우 처리 속도와 효율성 면에서 여느 정보 처리 과정처럼 간섭이 초래될 수 있음을 드러낸다. 구체적으로, 기억에 분명하게 저장된 정보를 토대로 변화탐지가 진행되는 순간, 자동적 변화탐지를 가능케 하는 것은 Hyun 등 (2009)의 연구에서 보고된 바와 같이 기억항목과 검사항목 간의 분명한 차이에 따른 시각적 변화의 현출성(saliency)이다. 대개 자동적 탐지(automatic detection)로 이어지는 이와 같은 변화의 현출성은 단순세부특징 과제에서 표적의 탐지를 가능케 하는 표적의 현출성 수준에 근접하는 것으로 보고된 바 있다(현주석, 2009). 결과적으로 이러한 현출성에 근거한 자동적 탐지는 시각탐색 연구 사례에서 항목개수 효과(setsize effect)의 부재를 설명하는 주요 근거로 흔히 제시된다(Treisman, 1988; Wolfe, 1998).

시각차폐에 관한 기존의 연구들에 근거할 때, 동시차폐가 초래하는 간섭의 주요 근원은 감각적 표상 형성 과정에서 상당한 잡음을 추가함으로써 표상의 안정성 및 선명성 확보를 방해한다는 점이다(Eriksen, 1980; Giesbrecht & Di Lollo, 1998; Woodman & Luck, 2003). 대개

감각적 간섭이 처치된 탐색 과제의 경우 탐색이 요구되는 항목개수의 증가에 따라 점진적인 반응시간의 감소나 정확도의 감소 즉 분명한 항목개수 효과가 나타난다(현주석, 2010; Doshier & Lu, 2000). 이러한 항목개수 효과는 감각적 간섭에 의해 탐색 효율성(search efficiency)이 저하되었음을 의미하는데, 일반적으로 표적과 방해자극 표상의 분명한 구분이 어려워져 표적 현출성이 저하된 것에 기인하는 것으로 설명된다(Duncan & Humphrey, 1989; Wolfe, 1998).

실험 1에서는 검사항목에 대한 동시차폐 처치에 의해 분명한 항목 개수의 효과가 나타났다. 이러한 강력한 간섭 효과는 일반적으로 탐색과제에서 동시차폐에 의해 표적의 현출성이 저하되는 것처럼 변화탐지 과제에서도 기억항목과 검사항목 간 차이 즉 변화가 초래하는 시각적 현출성 또한 동시차폐에 의해 저하될 수 있음을 의미한다. 특히 실험 2에서는 검사항목에 대해 동시차폐가 아닌 역행차폐가 시도된 경우 간섭 효과가 분명하지 않은 것이 관찰되었으며, 실험 3의 차폐없음 조건에서처럼 아예 차폐처치를 시도하지 않은 경우 변화탐지 정확도가 항목개수 조건에 걸쳐 90% 이상의 천정 수준에 머물렀다. 비록 실험1과 2의 조건이 피험자내 처치를 통해 직접적으로 비교되지 않았으므로 이러한 수행차이가 단순히 차폐처치가 정보의 양을 제한함으로써 초래된 결과일 가능성을 배제하긴 어려우나 이처럼 분명한 현출성이 예상되는 시각적 변화가, 감각적 간섭을 초래하는 동시 차폐에 의해 그 현출성이 크게 억제되었다는 점은 변화탐지를 위한 비교 과정의 정보처리 기제가 시

각탐색 과제의 그것과 크게 다르지 않을 가능성을 시사한다.

비교 과정의 정보 처리 기체에 대한 시사점 뿐만 아니라, 본 연구의 결과는 기억항목에 대한 역행차폐를 시도한 기존 연구의 결과(한지은, 현주석, 2011; Vogel et al., 2006)에 비추어 볼 때 동시 및 역행 차폐가 초래하는 간섭의 원리에 대해 흥미로운 시사점을 제공한다. 구체적으로, 짧은 시간을 사이에 두고 순차 제시되는 자극은 시공간적 요건이 충족될 경우 상호간 자극 처리 과정에서 간섭이 예상되며, 대개 이러한 간섭은 선행 혹은 후행 자극에 대한 자극 변별의 어려움 등 행동적 수준의 관찰 가능한 오류로 이어진다. 다만 이러한 간섭의 원인을 규명함에 있어서 그것이 선행 및 후행 자극 간의 감각적 통합(sensory integration) 때문인지(Breitmeyer & Ogmen, 2000; Di Lollo, 1980) 아니면 선, 후행 자극간 교체(replacement or substitution) 혹은 지워짐(erasure)과 같은 다른 간섭 과정 때문인지(Enns & Di Lollo, 2000; Di Lollo, Enns & Rensink, 2002)에 대한 결론은 아직 분명하지 않다.

실험 1의 동시차폐 및 실험 2의 네-점 역행차폐의 결과는 이러한 관점에 대해 적어도 감각적 통합이 주요 원인이 아닐 가능성을 보여준다. 구체적으로, 실험 1의 기억항목에 대한 네-점 동시차폐는 감각적 부호화 과정에서 이미 기억항목의 표상 과정에 네-점 자극의 감각적 표상이 통합되었기 때문에 야기된 간섭임에는 의심의 여지가 없다. 이처럼 자극 통합에 기초한 차폐 효과의 발현 가능성을 고려할 때, 실험 2에서 기억항목에 뒤이어 제시된 차폐 자극이 초래한 간섭 효과 또한 차폐 자

극이 선행 기억항목과 통합 표상되었기 때문이라는 해석이 가능해진다.

그러나 실험 1과 2에서 검사항목에 대한 동시차폐와 역행차폐가 초래한 간섭 효과는 이러한 추측의 타당성을 반증한다. 즉 검사항목에 대한 실험 1의 동시차폐와 실험 2의 역행차폐는 분명히 서로 상이한 차폐 간섭패턴을 야기했는데, 이러한 상이한 패턴은 역행차폐가 초래하는 간섭이 감각적 통합에 기초해 야기되었을 경우에는 발견되기 어렵다. 바꿔 말하면, 실험 1의 검사항목에 대한 동시차폐 조건에서는 기억항목에 대한 동시차폐와 마찬가지로 검사항목의 감각적 부호화 단계에서 이미 네-점 차폐자극과 검사항목 자체가 통합되었으며 결과적으로 변화항목의 현출성 감소에 따른 변화탐지 효율성의 분명한 저하로 이어졌다. 만약 네-점 차폐가 검사항목에 뒤이어 출현한 경우, 이러한 통합에 의해 간섭이 초래되었다면 실험 2의 검사항목에 대한 역행차폐 조건에서의 간섭 효과가 실험 1의 검사항목에 대한 동시차폐 조건에서의 그것과 매우 유사할 수 있다는 예측이 가능하다. 그럼에도 불구하고 실험 1의 검사항목에 대한 동시차폐와 실험 2의 검사항목에 대한 역행차폐 조건 간에 항목개수 증가에 따른 변화탐지 정확도의 감소 패턴이 분명히 달랐다는 점은, 적어도 역행차폐에 의한 간섭이 감각적 수준의 자극 통합에 의해 야기되지는 않았음을 보여준다.

역행차폐 처치가 적어도 기억항목에 대한 감각적 부호화 단계에서 차폐 자극과의 감각적 통합을 초래하지는 않는다는 점은 기존 연구에서도 이미 보고된 바 있다(한지은, 현주석,

2011; Vogel et al., 2006). 그러나 역으로, 역행차폐가 앞서 언급한 기억 표상의 교체나 지위짐을 초래한다는 대안적인 해석을 시도하는데에는 여전히 논란의 소지가 있다. 예를 들어 자극 표상의 교체나 지위짐이 차폐 간섭의 원인일 경우 대개 차폐의 대상이 되는 자극 표상 자체의 소멸(extinction)을 의미하므로 차폐의 효과가 매우 강력할 것이 예측된다(현주석, 2010). 이를 감안할 경우, 실험 2의 검사항목에 대한 역행차폐 처치는 변화탐지 과정에 매우 분명한 간섭을 초래할 것이 예상되는데 그럼에도 불구하고 실험 2의 검사역행차폐 조건에서는 변화에 대한 탐지 정확도가 항목개수 증가에 따라 다소 감소되기는 하였으나 그 정도는 비교적 미미하였다. 이러한 부분적인 간섭 패턴은 기존 연구에서도 동일하게 관찰된 바 있으며(한지은, 현주석, 2011), 더욱이 역행차폐가 시각탐색 자극에 처치된 경우에는 차폐 간섭이 전무한 것이 이미 보고된 바 있다(Vogel et al., 2006). 이러한 결과는, 기억항목에 대한 역행차폐가 감각적 수준의 자극 통합 또는 기억 표상의 교체나 소멸 등을 가져오지는 않음을 보여준다.

Vogel 등 (2006)은 기억항목에 대한 역행차폐가 차폐 자극과의 감각적 통합이나 기억표상 교체 및 소멸 등이 아닌 감각적 부호화 이후 견고한 기억 표상의 형성 과정을 간섭함을 주장하였다. 즉 변화탐지 과제에서 기억항목은 감각적 부호화 단계에서 온전한 감각 표상을 형성하는데, 이러한 감각 표상이 작업기억 수준에 안정적으로 파지되기 위해서는 일정한 시간(50ms/item)이 요구됨을 주장하였다. 특히 이러한 처리 시간의 필요성은 견고한 시각작

업기억 표상이 형성되는 과정에 정보처리 병목(information-processing bottleneck)이 존재함을 의미하는데, 역행차폐의 출현은 이 병목에서의 선별적 처리(selective process)를 방해해 부정확한 기억 파지로 이어진다고 해석하였다.

이러한 병목의 존재에 근거한 설명은 차폐 자극 자체가 공고화 병목(VWM consolidation bottleneck)에서 한정된 기억 자원을 두고 기억 항목들과 직접 경쟁할 가능성 또한 제안하는데, Vogel 등(2006)의 연구에서는 이와 관련한 뚜렷한 증거 및 해석이 제공되지 못했다. 반면 본 연구의 실험 2에서 관찰된 검사항목에 대한 네-점 역행차폐의 부분적 간섭 효과는 역행차폐자극이 이러한 공고화 병목에서 초래하는 간섭은 적어도 기억처리 자원 자체에 대한 경쟁에서 비롯되는 것은 아님을 시사한다. 구체적으로, 이러한 경쟁이 만약 차폐 간섭의 직접적인 원인이라면 실험 2의 검사항목에 대한 역행차폐 조건에서는 기억 공고화 과정이 이론상으로는 전혀 필요 없으므로 간섭효과가 분명하지 않아야 한다. 이는 마치 실험 3의 차폐 없음 조건에서의 천정 수준의 변화탐지 정확도처럼 실험 2의 역행차폐 조건에서도 역시 지극히 정확한 변화탐지가 가능해야 함을 의미한다. 그럼에도 불구하고 실험 2의 역행차폐 조건에서는 실험 3의 차폐없음 조건에 비해서는 상대적으로 분명한 항목개수 효과가 관찰되었으며 이는 적어도 역행차폐 자극이 공고화 병목의 처리 자원을 두고 기억항목과 직접적인 경쟁을 초래하지는 않음을 시사한다.

그렇다면 실험 2의 검사항목에 대한 역행차폐가 초래하는 간섭효과의 원인은 무엇일까? 이러한 질문에 대한 명확한 대답은 다소

어려우나, 기억항목에 대한 역행차폐가 해당 기억항목의 감각적 부호화 이후 공고화 과정의 병목에 간섭을 초래하는 것처럼, 검사항목에 대한 역행차폐 또한 해당 검사항목에 대한 부호화 이후 특정 처리단계 존재하는 잠재적인 정보처리 병목에 간섭을 초래하기 때문인 것으로 추측할 수 있다. 이러한 해석은 기존 연구에서 제안된 비교처리과정의 효율적 처리 특성에 대한 주장(한지은, 현주석, 2011; Hyun et al., 2009)에 상반되는 해석이긴 하나, 비교 과정에 뒤이어 행동적 보고를 위한 재인의사 결정(recognition decision; Kahana & Sekuler, 2002)과 같은 복잡한 연산 과정이 요구된다는 점에 주목할 필요가 있다. 즉 비교 과정 또한 궁극적으로는 반응 보고를 위한 정보처리 과정에 내재하는 정보처리 병목의 존재 가능성으로부터 자유롭지 못하며, 따라서 역행 차폐에 의한 간섭에 의해 영향을 받을 가능성이 있다. 바꿔 말하면 검사항목의 출현과 함께 야기된 시각적 변화에 대해 즉각적이고 신속한 탐지가 가능하더라도, 정확한 변화탐지 여부에 대한 결정 과정에서 출현한 역행 차폐는 마치 기억항목에 대한 간섭 효과와 유사하게 처리 효율성의 감소를 초래할 수 있다.

본 연구는 그럼에도 불구하고 다음과 같은 분명한 제한점을 가진다. 첫째, 실험 1에서 검사항목에 대한 동시차폐 처치에 의한 변화탐지의 효율성 감소는 기억항목과 검사항목간의 차이가 초래하는 시각적 현출성 감소가 원인인 것으로 해석되었다. 그러나 본 연구에서는 이러한 시각적 현출성의 증감에 대한 직접적인 관찰이 시도되지는 않았으며, 오로지 일반적인 시각탐색의 원리와 의 이론적 유사성에

근거한 해석만을 시도하였다. 둘째, 검사항목에 대한 역행 차폐가 초래한 간섭 효과는 차폐 없음 조건의 효율적인 변화탐지와 비교해 분명하게 차이가 있었다. 본 연구는 이러한 간섭의 근원을 비교 과정 자체에 대한 역행 차폐의 간섭보다는 비교 과정 이후의 행동적 처리 과정에서의 차폐 간섭의 영향으로 해석하였으나, 이는 어디까지나 이론적 추측일 뿐 직접적인 증거에 기초한 해석은 아니다. 또한 시각작업기억 공고화 처리 과정과 같은 비교적 분명한 정보처리 병목의 이론적 타당성에 비해 비교 과정 이후 유사한 병목이 존재할 가능성에 대한 이론적 근거는 비교적 분명하지 않은 것으로 판단된다. 재인의사 결정 과정이 매우 신속하고 빠르게 처리된다는 선행 연구의 결과들은 특히 이러한 추측에 대한 분명한 반증 사례에 해당되므로(Agam et al., 2009; Thorpe, Fize & Marlot, 1996), 본 연구의 공고화 처리 과정에 대한 차폐 효과 및 해석에 대해서는 지극히 보수적인 관점이 요구된다. 마지막으로, 실험 3에 사용된 기억배열에 대한 역행패턴차폐 처치는 선행 연구에서 확인된 결과를 반복검증하고 본 연구에서 얻어진 결과와 비교가능하게 해주었으나, 이를 실험 1과 2에서 사용된 기억동시 및 기억역행차폐의 결과와 직접 비교하거나 동일한 형태의 패턴차폐를 검사항목에 대해 제시하여 얻어진 수행을 검사동시, 그리고 기억동시차폐의 결과와 비교하는 절차의 부재는 각 실험조건에서의 변화탐지수행 패턴차이가 의미하는 바를 모호하게 만드는 결과로 이어졌다. 추후 연구는 이러한 제한점들을 보완하는 방향으로 진행되는 것이 바람직할 것이다.

종합해 볼 때, 본 연구는 첫째, 기억 항목에 대한 동시차폐 처치가 해당 기억항목에 대한 감각적 표상 형성에 간섭을 야기함으로써 뒤 이어 진행되는 기억공고화 병목에서의 선별적 처리 과정에 오류를 초래해 공고화 간섭과 유사한 변화탐지 수행 저하를 초래함을 보여주었다. 둘째, 검사항목에 대한 동시차폐 처치 역시 차폐가 처치된 검사항목에 대한 감각적 간섭을 초래해 동시차폐가 처치되지 않았을 경우 예상되는 변화 항목의 현출성을 감소시켰으며 그로 인해 변화탐지 정확도가 현격히 저하될 수 있음을 보여주었다. 셋째, 기억항목에 대한 역행 차폐 처치는 해당 기억항목에 대한 감각적 표상 형성 과정을 간섭하지는 않지만 기억 공고화 과정의 병목에는 분명한 간섭을 초래한다는 점을 재차 보여주었다. 마지막으로, 검사항목에 대한 역행차폐 처치 또한 해당 검사항목에 대한 감각적 표상 형성을 간섭하지는 않지만 기억항목과 검사항목간의 비교처리 과정의 효율성을 다소 저하시킴을 보여주었다.

참고문헌

한지은, 현주석 (2011). 역행 차폐를 통해 본 시각작업기억의 공고화 및 비교처리 과정. *인지과학*, 22(4), 365-384.

현주석 (2009). 기억 표상과 지각적 입력 간 비교 과정을 통해 본 시각작업기억 표상의 특성. *한국심리학회지 인지 및 생물*, 21(4), 265-282.

현주석 (2010). 세부특징부채 탐색과제에서 네점 차폐와 역행패턴 차폐가 표적 변별에

미치는 영향. *한국심리학회지 인지 및 생물*, 22(4), 494-511.

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.

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

Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception & psychophysics*, 62(8), 1572-1595.

Breitmeyer, B. G. (1984). *Visual Masking: An Integrative Approach*. New York: Oxford University Press

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24(1), 87-114.

Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in brain research*, 169, 323-338.

Di Lollo, V. (1980). Temporal integration in visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 75-97.

Di Lollo, V., Enns, J. T., & Rensink, R. A. (2002). Object substitution without reentry? *Journal of Experimental Psychology: General*,

- 131(4), 594-596.
- Dosher, B. A., & Lu, Z.-L. (2000). Noise exclusion in spatial attention. *Psychological Science*, 11(2), 139-146.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological review*, 96(3), 433-458.
- Enns, J. T. (2004). Object substitution and its relation to other forms of visual masking. *Vision research*, 44(12), 1321-1331.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in cognitive sciences*, 4(9), 345-352.
- Eriksen, C. W. (1980). The use of a visual mask may seriously confound your experiment. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 28(1), 89-92.
- Giesbrecht, B., & Di Lollo, V. (1998). Beyond the attentional blink: visual masking by object substitution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(5), 1454-1466.
- 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.
- Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive psychology*, 23(3), 420-456.
- Irwin, D. E. (1992). Memory for position and identity across eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(2), 307-317.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive psychology*, 36(2), 138-202.
- Kahana, M. J., & Sekuler, R. (2002). Recognizing spatial patterns: a noisy exemplar approach. *Vision Research*, 42, 2177-2192.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Scheerer, E. (1973). Integration, interruption and processing rate in visual backward masking. *Psychologische Forschung*, 36(1), 71-93.
- Shiffrin, R. M., & Atkinson, R. C. (1969). Storage and retrieval processes in long-term memory. *Psychological Review*, 76(2), 179-193.
- Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381, 520-522.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The quarterly journal of experimental psychology*, 40(2), 201-237.
- 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(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.
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp.13-73). Hove, England UK: Psychology Press/Erlbaum (Uk) Taylor & Francis
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Dissociations among attention, perception, and awareness during object-substitution masking. *Psychological Science*, 14(6), 605-611.

1 차원고접수 : 2013. 07. 23

수정원고접수 : 2013. 09. 18

최종게재결정 : 2013. 10. 07

Understanding the Properties of Visual Working Memory Consolidation and Comparison Processes Examined by Simultaneous- and Backward-Masking Manipulation

Giyeon Kim

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

The present study aimed to examine the properties of VWM consolidation and comparison processes according to the interference driven by simultaneous and backward masks against sample and test items in a color-change detection task. To accomplish this, we displayed the mask stimuli that would superimpose either the sample or test items, simultaneously with or immediately after the sample or test items respectively. When the simultaneous masks were displayed, change detection accuracies in each sample- and test-mask condition rapidly decreased as the display setsize increased. However, when the backward masks were displayed, the change detection was relatively efficient for the test-mask condition compared with the sample-mask condition. When there was no mask, the detection accuracy was much higher than when the masks were present. The strong interference against the sample items observed both in the simultaneous- and backward-mask conditions shows that there is an information-processing bottleneck in the VWM consolidation process. Whereas the evident interference against the test items by the simultaneous-mask rather than by the backward-mask indicates that just as in visual search, the VWM comparison process may undergo a detection process for a salient pop-out elicited by a distinct visual difference across memory and perception.

Key words : visual working memory, simultaneous mask, backward mask, consolidation, comparison