



The Effects of Visual Short-Term Memory Load on Attentional Selection*

Hyuksu Lee¹, Do-Joon Yi^{1†}

¹Department of Psychology, Yonsei University

Inconsistent evidence has been reported regarding the role of visual short-term memory (VSTM) load on attentional selection. Some studies demonstrated that maintaining large amount of information in VSTM enhanced attentional selection. Using similar experimental methods, however, others observed impaired attentional selection by VSTM load. Here, we attempted to replicate previous conflicting results and tested the role of VSTM load as a modulating factor on attentional selection. In Experiments 1-3, participants performed a flanker task while maintaining the colors and locations of visual objects in VSTM for change detection. Irrespective of stimulus configurations, condition orders, and memory set sizes, we failed to find evidence that VSTM load modulates flanker interference. By demonstrating that flanker interference did decrease by perceptual load in Experiment 4, we excluded the possibility that our current attentional selection measure might not be sensitive enough. Experiment 5 manipulated the spatial relationship between memory items and a flanker. When memory items and a flanker appeared on opposite sides of the center, flanker interference increased with VSTM load. When their positions were overlapped, however, flanker interference was not affected by VSTM load. In addition, individual difference analysis failed to find a reliable relationship between VSTM capacity estimates and flanker interference. The equivalence test showed that the modulating effects of VSTM load on flanker interference were only negligible. The current findings provide evidence against the assertion that VSTM load modulates attentional selection, and call for new models within which the dynamic relationships between working memory and visual selection are fully described and tested.

Keywords: attentional selection, visual short-term memory, working memory, flanker interference, perceptual load

1차원고접수 23.01.02; 수정본접수: 23.01.28; 최종게재결정 23.01.30



Copyright: © 2022 The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited and the use is non-commercial.

끊임없이 변하는 환경에서 인지체계가 감각적 과부하를 피하고 행동의 일관성을 유지하려면 필요한 정보를 선택하여 처리자원을 집중할 수 있어야 한다. 연구자들은 이러한 선택이 지각 과정에서 언제 발생하는지 논의해왔다(Broadbent, 1958; Deutsch & Deutsch, 1963; Treisman, 1969). 가령, ‘초기 선택’ 모형들은 정보가 이른 감각 등록 단계에서 선택

된다고 보았다(Broadbent, 1958; Gray & Wedderburn, 1960; Moray, 1959). 감각 정보가 일종의 여과기를 거치면서 일부만 선택되어 식별된다는 것이다. 그에 비해, ‘후기 선택’ 모형들은 여과기가 지각과정 이후에 위치한다고 주장하였다(Deutsch & Deutsch, 1963; Norman, 1968). 이는 감각기관에 입력된 정보들이 모두 지각되고 식별된 후에 비로

* 본 연구는 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF-2017S1A5A2A01024313).

† 교신저자: 이도준, (03722) 서울 서대문구 연세로 50 연세대학교 심리학과, E-mail: dojoon.yi@yonsei.ac.kr

소 선택이 발생한다고 본 것이다. 이러한 ‘초기 대 후기 선택’ 논쟁은 다양한 주의 연구를 촉진하였다. 그러나 두 모형이 서로 다른 실험 과제와 측정지에 의존했기 때문에 직접적인 비교가 어려웠다. 이에 연구자들은 선택 지점(locus of selection)이 고정된 것이 아니라 상황에 따라 변할 수 있다고 보고, 단일 실험 안에서 선택 지점을 결정하는 요인을 찾고자 시도하였다(Kahneman, 1973; Kahneman & Treisman, 1984; Lavie, 1995).

Lavie는 ‘지각부담 이론(perceptual load theory)’을 통해, 지각과정에 가해지는 부담이 선택 지점을 결정한다고 제안하였다(Lavie, 1995, 2005; Lavie et al., 2004). 이 이론에서 주의 자원은 과제 수행에 적합한 정보에 우선하여 집중되지만, 남았을 때는 불필요한 정보를 처리하는 데 투입된다. 따라서 과제가 지각적으로 어려울 때는 주의 자원이 고갈되어 과제적합(task-relevant) 정보만 처리되지만(초기 선택), 과제가 쉬울 때는 잉여 자원이 발생하여 과제부적합(task-irrelevant) 정보도 처리될 수 있다(후기 선택). 대표적인 실험에서 Lavie는 시각탐색을 포함한 플랭커 과제(flanker task; B. A. Eriksen & Eriksen, 1974)를 구성하고 시각탐색의 난이도로써 지각부담 수준을 조작하였다(Lavie, 1995; Lavie & Tsal, 1994). 높은 지각부담 조건에서는 참가자가 표적을 찾는 데 주의를 집중해야 했고, 낮은 지각부담 조건에서는 주의를 집중하지 않아도 쉽게 표적이 드러났다(pop-out). 선택 지점은 플랭커가 표적 반응을 간섭하는지 측정하여 알 수 있었다. 과제부적합 정보인 플랭커는 선택이 늦을 때 표적 반응을 간섭할 것이기 때문이다. 실험 결과, 플랭커 간섭은 지각부담이 낮을 때 두드러졌고(후기 선택), 지각부담이 높을 때는 사라졌다(초기 선택). 이는 선택 지점(locus of selection)이 고정된 것이 아니라 지각부담에 따라 달라진다는 가설에 부합하는 결과였다. 지각부담 이론은 겹보기에 모순되어 보이는 견해들을 조화롭게 통합함으로써 인지심리 및 뇌신경과학 분야의 후속 연구를 자극하였다(Beck & Lavie, 2005; Cartwright-Finch & Lavie, 2007; Handy et al., 2001; Rees et al., 1997; Schwartz et al., 2005; Yi et al., 2004).

그 영향력에도 불구하고, 지각부담 이론은 핵심개념인 ‘지각부담’의 의미가 모호하다는 비판을 받아왔다. Lavie는 지각부담을 ‘과제에 적합한 자극이 많아서 처리용량이 고갈되는 상황’으로 정의한 바 있다(Lavie, 2005; Lavie & de Fockert, 2003). 따라서 지각부담 수준을 조작하는 방법으로 방해자극의 개수와 유형이 주로 활용되었다. 표적과 시각적으로 유사한 방해자극이 많을수록 지각부담이 높은 조건이

고, 방해자극 없이 표적만 단독으로 출현하거나 방해자극과 표적이 시각적으로 뚜렷하게 다르면 지각부담이 낮은 조건으로 구분되었다(예, Beck & Lavie, 2005; Lavie & Cox, 1997). 그러나 이러한 기준은 훼손되거나 차폐된 자극을 식별하거나(Marciano & Yeshurun, 2011; Yeshurun & Marciano, 2013; Yi et al., 2004) 단독으로 등장한 자극의 미묘한 특징을 구분할 때(Handy & Mangun, 2000)처럼 자극 개수가 증가하지 않는 조건에 적용될 수 없었다. 통용되는 정의가 없으므로 개별 연구에서 지각부담의 의미는 과정에 근거한(process-based) 논리보다 실험 조건의 비교를 통해 직관적으로 전달되곤 한다. 이런 상황에서 논의는 결과를 원인으로 삼는 순환논리(예, ‘불필요한 정보가 차단되는 조건을 지각부담이라 한다’와 ‘지각부담 때문에 불필요한 정보가 차단되었다’)에 빠지기 쉽다(Benoni & Tsal, 2013; Murphy et al., 2016; Roper et al., 2013).

이러한 문제를 해소하는 방법 중 한 가지는, 실험 자극이나 결과가 아닌, 독립적인 구인(construct)을 활용하여 지각부담을 정의하는 것이다. 연구자들은 상대적으로 명확한 인지과정인 시각적 단기 기억(visual short-term memory, VSTM)과 지각부담의 관계에 주목하였다. VSTM은 시각장면을 단기간 능동적으로 유지함으로써 인지체계가 외부세계에 관해 안정적이고 조화로운 표상을 형성할 수 있도록 돕는다(Baddeley, 2003; Hyun, 2011). 신경과학적 증거에 따르면, 시지각과 VSTM은 시각각 표상을 공유하고 공통적으로 V1을 포함한 시각피질의 지원을 받는다(Pasternak & Greenlee, 2005). 이에 착안하여 Konstantinou 등(2014)은 VSTM에 부담이 가해지면, 마치 지각부담이 클 때처럼, 주의선택이 강화될 거라 예상하였다. 이 실험에서 참가자는 변화탐지(change detection)를 위해 물체(작은 정사각형)의 색깔과 위치를 VSTM으로 부호화하거나(실험 1a) 유지하는 동안(실험 1b, 2b) 플랭커 과제를 수행하였다. 그 결과, 물체가 한 개일 때(‘낮은 VSTM 부담’)보다 네 개일 때(‘높은 VSTM 부담’) 플랭커 간섭이 줄어들었다. 또한 플랭커 간섭이 감소한 정도는 개별 참가자의 VSTM 용량(Cowan’s K ; Cowan et al., 2005)을 반영했다. 즉, VSTM 용량이 작은 참가일수록 VSTM 부담에 의해 주의선택이 강화되었다.

Roper와 Vecera(2014)는 지각부담과 VSTM 부담의 유사성을 과제특성을 중심으로 분석하였다. 이들에 따르면, 전형적인 지각부담 실험은 매우 짧은 시간(예, 100 ms) 동안 자극을 노출하기 때문에 참가자가 과제수행을 위해 VSTM에 크게 의존하게 된다. VSTM은 비교적 빠르게 정보를 부호화하지만(항목당 20-50ms; Gegenfurtner & Sperling, 1993;

Vogel et al., 2006) 한꺼번에 유지할 수 있는 용량은 지극히 작다(Cowan, 2001; Phillips, 1974). 따라서 표적이 다수의 방해자극과 함께 출현하는 조건('높은 지각부담')일수록 VSTM에 가해지는 부담도 증가한다. 이 해석에서 도출되는 가설은, VSTM이 이미 다른 정보를 유지하느라 바쁜 상태라면 지각부담이 높지 않더라도 플랭커 간섭이 줄어든다는 것이다. 연구자들은 Konstantinou 등(2014)과 유사한 실험에서, 기억해야 할 물체의 개수가 한 개에서 네 개로 증가할수록 플랭커 간섭이 비례하여 감소한다는 결과를 관찰하여 가설을 증명하였다.

두 연구(Konstantinou et al., 2014; Roper & Vecera, 2014) 모두 VSTM 부담이 주의선택을 강화했다고 보고했지만, 그와 정반대의 결과가 보고된 바 있다. Zhang과 Luck(2015)의 실험에서는 VSTM으로 다수의 물체를 유지해야 하는 상황에서 오히려 플랭커 간섭이 증가했다. 이들은 VSTM 부담을 해상도(resolution)와 용량(capacity)의 차원으로 구분하였다. 미묘한 변화를 탐지해야 할 때처럼 정밀한 기억표상 필요할 수도 있고, 변화가 넓은 범위에서 일어날 때처럼 많은 기억표상이 필요한 경우도 있기 때문이다. 실험에서 참가자는 세 가지 조건의 변화탐지 과제를 플랭커 과제와 병행했다. '고해상도' 구획에서는 물체가 두 개뿐이었지만 색깔 변화가 작았고, '고용량' 구획에서는 색깔 변화가 뚜렷했지만 네 개의 물체를 감시해야 했다. 고용량 구획은 선행연구(Konstantinou et al., 2014; Roper & Vecera, 2014)의 VSTM 고부담 조건과 같았다. 그러나, 저부담(두 물체, 큰 변화)의 기저조건에 비교했을 때, 고해상도 조건의 플랭커 간섭은 줄었지만 고용량 조건의 플랭커 간섭은 증가했다. 이 결과를 근거로 Zhang과 Luck(2015)은 VSTM 용량에 가해지는 부담이 지각부담과는 달리 주의초점의 폭을 확대시킴으로써 과제부적합 정보의 처리를 유발한다고 주장하였다.

요약하자면, VSTM 부담이 시각선택에 끼치는 영향에 관하여 선행연구들은 서로 모순된 결과를 보고하고 있다. 세 연구 모두 작은 사각형의 색상과 위치를 사용하여 VSTM 부담을 조작하고 플랭커 과제를 통해 주의선택을 측정했기 때문에 이처럼 결과가 다른 이유를 찾기가 쉽지 않다. 그러나 좁게는 지각부담을, 넓게는 주의선택을 이해하기 위해 VSTM 부담과 주의선택의 관계에 관해 안정적인 자료를 축적할 필요가 있다. 이에 본 연구는 다섯 건의 행동실험을 통해 선행연구들의 방법을 검토하였다. 애초에 본 연구는 Konstantinou 등(2014)과 Roper와 Vecera(2014)의 결과를 재현하고 확장하고자 계획되었다. 그러나 VSTM 용량 부담이 주의선택에 미치는 영향은 재현되지 않았고(실험 1~3),

지각부담의 영향만 재현되었다(실험 4). VSTM 기억항목과 플랭커 자극의 공간적 위치가 겹치면 VSTM 부담이 주의선택을 저하시켰지만(Zhang & Luck, 2015), 공간적 위치가 겹치지 않으면 VSTM 부담의 영향이 사라졌다(실험 5). 개인차 상관분석과 동등성 검사를 활용한 추가분석도 VSTM 부담이 주의선택에 영향을 끼친다는 증거를 얻을 수 없었다. 이러한 결과의 이론적 의미와 중요성을 종합논의에서 논의하였다.

실험 1

VSTM 부담이 시각선택에 끼치는 영향을 확인하고자 변화탐지 과제와 플랭커 과제를 결합한 이중과제 실험을 실시하였다. 참가자는 VSTM에 기억항목을 파지한 상태로 시각탐색을 수행하였다. VSTM 부담 수준은 기억항목의 개수에 의해 높거나 낮게 처치되었다. 표적은 방해자극들과 함께 탐색배열 옆에 이루어 응시점 주위에 등장했고, 플랭커 자극이 탐색배열 옆에 제시되어 표적 반응을 간접할 수 있었다. 플랭커 과제의 지각부담을 낮추기 위해 표적과 뚜렷하게 구별되는 방해자극을 사용하였다. 만약 VSTM 부담이 지각부담처럼 작용한다면(Konstantinou et al., 2014; Roper & Vecera, 2014), 기억항목의 개수가 많을수록 주의선택이 촉진되어 플랭커 간섭이 감소할 것이다. 반대로 VSTM 부담이 주의초점을 확산시킨다면(Ahmed & de Fockert, 2012; Zhang & Luck, 2015), 기억항목 개수가 많을수록 주의선택이 저하되고 플랭커 간섭은 증가할 것이다.

선행연구들의 방법을 절충하여 구체적인 자극과 절차를 준비하였다. 원형의 탐색배열을 사용하여 응시점에서 표적과 방해자극까지의 거리를 통제하고(Konstantinou et al., 2014), 비교적 큰 사각형과 뚜렷한 색깔을 기억항목으로 제시하여 VSTM 부담이 해상도보다 용량에 작용하도록 조치하였다(Zhang & Luck, 2015). 한편, 고부담 조건과 저부담 조건의 시행들을 구획 구분 없이 무작위 순서로 제시하였다(Roper & Vecera, 2014). VSTM 부담 조건을 미리 예측할 수 없으므로, 참가자의 과제수행 전략이 실험 결과에 끼치는 영향이 적을 것으로 예상하였다.

방 법

참가자

선행연구(Konstantinou et al., 2014, 22명; Roper & Vecera, 2014, 20명; Zhang & Luck, 2015, 18명)를 참고

하여 학부생 20명(연령 $M = 23.65$, 여성 11명)을 모집하였다. 참가자는 실험 전에 참가동의서에 서명하였고, 실험 후 심리학과목 크레딧이나 문화상품권을 받았다. 모든 절차는 기관윤리위원회에 의해 사전 승인되었다.

도구

약한 조명의 개인용 부스에서 실험이 진행되었다. 자극 제시와 반응 수집은 Psychtoolbox 함수를 활용하는 Matlab 스크립트에 의해 제어되었다(Brainard, 1997). 참가자는 60cm 떨어진 15.7인치 CRT 화면(해상도 1024 x 768, 주사율 85Hz)에서 자극을 관찰하였고, 버튼박스(DirectIN High Speed Button-Box, Empirisoft Corporation, New York, NY)로 반응을 입력하였다. 결과 분석은 R 환경에서 수행되었다(R Core Team, 2022). 오경보율 5% 이하를 기준으로 통계적 유의도를 결정하였다. 본 연구의 모든 자료와 분석코드를 Github 사이트(<https://cogneuro.github.io/vstmAS>)에 공개하였다.

자극과 절차

참가자는 매 시행마다 VSTM 과제의 파지기간에 플랭커 과제를 수행하였다(Fig. 1A). 각 시행에서는 처음에 ‘+’ 모양의 응시점(크기 $.33^\circ \times .33^\circ$)이 회색 배경화면 중앙에 1초간 보였고, 이어서 기억항목이 150ms 동안 출현했다. ‘고부담(high load)’ 조건에서는 기억항목으로서 색깔이 다른 정사각형 네 개(각각 $.75^\circ \times .75^\circ$)가 제시되었고, ‘저부담(low load)’ 조건에서는 한 개만 제시되었다. 참가자는 나중에 검사항목이 제시될 때까지 기억항목의 색깔과 위치를 마음속에 유지하고 있어야 했다. 기억항목 위치는 응시점 주위로 3 x 3 격자 모양($2.54^\circ \times 2.54^\circ$)을 이루는 여덟 개 위치 중에서

무작위 비복원 추출되었고, 색깔은 빨강, 파랑, 연두, 청록, 노랑, 보라, 주황 중에서 무작위 비복원 추출되었다. 기억항목이 사라지면 응시점만 1,850ms 동안 보인 후, 플랭커 과제의 탐색배열과 플랭커가 100ms 동안 제시되었다. 탐색배열은 표적 한 개와 다섯 개의 방해자극으로 구성되었다(각각 $.81^\circ \times 1.01^\circ$). 표적은 ‘Z’ 또는 ‘X’였고, 방해자극은 모두 ‘O’였다. 표적과 방해자극은 응시점에서 3.01° 떨어진 가상의 원주 상에 일정한 간격으로 제시되었다(수평선 기준 중심각 30° 부터 60° 간격). 플랭커($2.00^\circ \times 2.51^\circ$)는 ‘Z’ 또는 ‘X’였고, 응시점에서 7° 떨어진 좌측 혹은 우측에 출현하였다. 참가자는 방해자극과 플랭커를 무시한 채로 표적이 무엇인지를 오른손 검지나 중지를 사용하여 최대한 빠르고 정확히 보고해야 했다. 표적과 손가락의 대응(mapping)은 참가자간 역균형화되었다. 탐색배열과 플랭커가 사라지면, 1,900ms이 경과하거나 표적 반응이 입력될 때까지 응시점만 제시되었다. 오반응이 입력되거나 반응이 누락되면, 경고 화면이 2초간 제시되었다. 마지막으로, 검사항목이 제시되었다. 검사항목은 기억항목과 같거나(변화 시행), 한 개 항목의 색깔이 다를 수 있었다(불변 시행). 참가자는 검사항목이 기억항목과 같은지 다른지를 왼손 검지와 중지를 사용하여 3초 이내에 보고해야 했다. 기억반응이 입력되면 1초 후 새로운 시행이 개시되었다. 참가자는 과제가 진행되는 동안 일정한 속도로 “가나다라”를 소리를 내어 되뇌어야 했다. 이 절차는 참가자가 작업기억에 정보를 유지할 때 언어적 시연(verbal rehearsal)보다 VSTM에 의존하도록 유도한다(조음억제, articulatory suppression; Luck & Vogel, 1997). 본 실험은 총 192 시행(= 2 표적 유형 x 6 표적 위치 x 2 플랭커 유형 x 2 플랭커 위치 x 2 VSTM 부담 x 2 변화 여부)으로 구성되었다. 참가자는 32 시행마다 짧게 휴식을 취했다. 참가자는 본

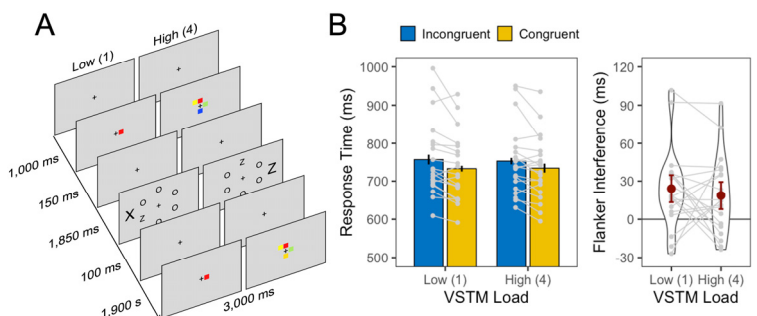


Figure 1. Trial sequences and results of Experiment 1. (A) The left sequence is an example of a target-flanker incongruent trial without color change in the low VSTM load condition, and the right sequence is an example of a congruent trial with color change in the high load condition. (B) The left plot shows mean response times as a function of VSTM load and flanker type, and the right plot shows mean flanker interference effects (incongruent minus congruent condition response time) of the VSTM load conditions. Error bars represent 95% within-subject confidence intervals (Cousineau, 2005; Morey, 2008).

실험 전에 플랭커 과제 24 시행과 VSTM-플랭커 이중과제 12 시행을 차례로 연습하였다.

결 과

VSTM 과제

VSTM 과제 수행을 저부담 조건과 고부담 조건으로 나누어 비교하였다(Table 1). 정확율은 저부담 조건보다 고부담 조건에서 13% 가량 낮았고, 그 차이는 통계적으로 유의미하였다, $t_{19} = 7.38, p < .001, d = 1.65$. 추가로, VSTM에 유지

되는 정보의 양을 비교하기 위해 각 조건에서 변화 시행의 정반응율과 불변 시행의 오반응율의 차이에 기억항목 개수를 곱하여 Cowan's K 를 추정하였다(Cowan et al., 2005; Table 1). Cowan's K 는 저부담 조건보다 고부담 조건에서 두 배 이상 더 컸다, $t_{19} = 9.35, p < .001, d = 2.09$. 이러한 결과는 기억항목 개수 차이가 VSTM 부담 수준을 처치하는 데 효과적으로 작용했음을 뜻한다.

플랭커 과제

VSTM 부담(load: 저부담, 고부담)과 플랭커 유형(flanker

Table 1. VSTM task accuracy and Cowan's K estimate as a function of VSTM load

Experiment	% Accuracy			Cowan's K		
	Low Load	High Load	$\Delta_{Low-High}$	Low Load	High Load	$\Delta_{Low-High}$
Expt 1	92.71 (5.22)	79.43 (9.62)	13.28 (8.05)	.85 (.10)	2.35 (.77)	1.50 (.72)
Expt 2	93.33 (7.78)	75.78 (8.32)	17.55 (8.84)	.87 (.16)	2.06 (.67)	1.20 (.62)
Expt 3	-	82.08 (7.46)	-	-	1.93 (.45)	-
Expt 5 (Non-overlap)	93.28 (4.94)	70.94 (7.60)	22.34 (8.26)	.88 (.06)	1.85 (.48)	.97 (.48)
Expt 5 (Overlap)	93.96 (2.80)	73.12 (6.04)	20.83 (6.26)	.87 (.10)	1.67 (.61)	.80 (.60)

Note. Standard deviations are in parentheses.

Table 2. Mean errors and reaction times as a function of load and flanker type

Flanker type	% Error			Reaction Times		
	Low Load	High Load	$\Delta_{High-Low}$	Low Load	High Load	$\Delta_{High-Low}$
<i>Experiment 1</i>						
Congruent	3.02 (2.48)	3.75 (3.42)	.73 (3.84)	733.07 (88.19)	734.43 (83.90)	1.36 (26.34)
Incongruent	6.65 (3.09)	2.81 (2.81)	-.83 (2.74)	757.09 (99.16)	753.01 (91.11)	-4.08 (30.30)
$\Delta_{Incongruent-Congruent}$	.62 (4.39)	-.94 (3.13)		24.02 (31.57)	18.58 (30.38)	
<i>Experiment 2</i>						
Congruent	3.75 (3.35)	3.33 (2.65)	-.42 (2.75)	739.74 (100.10)	717.22 (68.59)	-22.52 (70.87)
Incongruent	6.04 (8.36)	5.62 (5.82)	-.42 (6.22)	783.89 (98.74)	769.28 (76.11)	-14.62 (59.88)
$\Delta_{Incongruent-Congruent}$	2.29 (6.30)	2.29 (5.65)		44.15 (29.08)	52.05 (34.35)	
<i>Experiment 3</i>						
Congruent	3.96 (4.05)	6.04 (5.10)	2.08 (5.36)	624.95 (103.48)	751.84 (137.88)	126.89 (82.99)
Incongruent	4.90 (5.71)	8.44 (6.18)	3.54 (5.45)	675.96 (129.76)	808.49 (170.92)	132.53 (75.27)
$\Delta_{Incongruent-Congruent}$	.94 (4.25)	2.40 (5.03)		51.01 (50.44)	56.65 (60.89)	

Table 2. Mean errors and reaction times as a function of load and flanker type (continued)

Flanker type	% Error			Reaction Times		
	Low Load	High Load	$\Delta_{\text{High-Low}}$	Low Load	High Load	$\Delta_{\text{High-Low}}$
<i>Experiment 4</i>						
Congruent	2.03 (2.32)	9.67 (6.46)	7.64 (4.93)	576.56 (54.10)	726.07 (75.05)	149.50 (65.25)
Incongruent	5.06 (5.42)	14.24 (8.90)	9.18 (8.69)	624.13 (56.35)	737.24 (72.06)	113.11 (59.65)
$\Delta_{\text{Incongruent-Congruent}}$	3.03 (4.10)	4.56 (5.83)		47.57 (16.66)	11.18 (24.86)	
<i>Experiment 5 (Non-overlap)</i>						
Congruent	3.54 (5.11)	2.08 (2.34)	-1.46 (5.15)	743.86 (115.09)	731.10 (117.85)	-12.76 (32.03)
Incongruent	4.38 (5.53)	3.65 (3.57)	-.73 (4.45)	796.45 (128.29)	807.32 (127.57)	10.87 (37.72)
$\Delta_{\text{Incongruent-Congruent}}$	.83 (4.40)	1.56 (4.16)		52.59 (55.58)	76.22 (43.43)	
<i>Experiment 5 (Overlap)</i>						
Congruent	3.33 (3.47)	2.92 (2.98)	-.42 (3.35)	750.15 (114.03)	738.48 (118.42)	-11.67 (44.98)
Incongruent	3.54 (3.58)	3.44 (3.26)	-.10 (3.48)	806.30 (125.12)	794.36 (126.86)	-11.94 (37.34)
$\Delta_{\text{Incongruent-Congruent}}$	.21 (2.86)	.52 (4.21)		56.15 (59.35)	55.88 (50.48)	

Note. Standard deviations are in parentheses. Reaction times are in ms.

type; 일치, 불일치)을 교차한 네 가지 조건으로 오류율과 반응시간을 분류하였다(Table 2). 먼저 조건별 평균 오류율에 이요인 반복측정 변량분석을 시행했을 때는 주효과와 상호작용이 모두 통계적으로 유의미하지 않았다. 그다음, 200ms보다 빠르거나 참가자별 평균에서 2SD 이상 느린 반응을 제외한 정반응의 조건별 평균 반응시간을 계산하였다.¹⁾ Fig. 1B에서 알 수 있듯이, VSTM 부담이 반응시간에 끼친 영향은 적었다. 고부담 조건의 플랭커 간섭(= 불일치 시행 - 일치 시행; 또는 일치 효과, congruency effect)이 숫자상으로는 저부담 조건보다 작았지만, 두 조건의 신뢰구간이 대부분 겹칠 만큼 차이가 크지 않았다. 이요인 반복측정 변량분석을 적용했을 때에도 플랭커 유형의 주효과만 통계적으로 유의미하였다, $F_{1,19} = 13.03, p < .001, \eta_p^2 = .41$. VSTM 부담의 주효과와 상호작용은 유의미하지 않았다.

논 의

VSTM 부담이 플랭커 간섭에 아무런 영향을 끼치지 않았다. 고부담 조건에서 변화탐지 정확도가 낮아졌고 불일치 조건에

서 표적 반응이 지연되었다는 사실은 실험조작이 적절했음을 뒷받침한다. 따라서 적어도 본 연구에서는 VSTM 유지와 시각적 주의선택이 서로 독립적으로 작동했다고 볼 수 있다. 그러나 결론에 앞서 실험 방법이 선행연구들과 어떻게 다른지 확인할 필요가 있다. 먼저, 저부담 조건과 고부담 조건이 구획 구분 없이 제시되었다는 점에 주목하였다. Roper와 Vecera(2014)는 모든 조건을 무작위 순서로 제시하였고, Konstantinou 등(2014)이나 Zhang과 Luck(2015)은 각 조건을 구획으로 나누어 제시하였다. 구획 설계는 참가자가 조건별로 다른 전략을 사용하거나 학습이나 순응의 영향을 받기 쉬운 단점이 있지만, 조건간 차이에 대한 검증력이 높은 장점이 있다. 이에 따라, 저부담 조건과 고부담 조건을 구획으로 나누어 두 번째 실험을 수행하였다. 추가로, 실험 2에서는 재현가능성을 높이기 위해 자극과 절차를 Konstantinou 등(2014)과 최대한 유사하게 수정하였다. 자극 크기를 실험 1보다 줄이고, 방해자극 대신 점('·')을 제시하였다. 탐색배열과 플랭커가 제시되는 시간도 100ms에서 150ms으로 늘렸다.

실험 2

새로운 학부생 20명(연령 $M = 23.3$, 여성 7명)이 자원하였다. 응시점(.21° x .21°)과 기억항목(.39° x .39°)이 제시되는 3 x 3 격자(1.40° x 1.40°)의 크기, 화면 중심에서 표적(.39° x .60°)까지의 거리(2.00°) 및 화면 중심에서 플랭커(.059° x

1) 반응시간 분포의 정적 왜도(positive skewness)를 고려하여 5% 미만의 시행을 가외치로 정의하고 반응시간 분석에서 제외하였다(실험 1, 3.72%; 실험 2, 4.06%; 실험 3, 3.41%; 실험 4, 4.87%; 실험 5, 3.39%). Roper와 Vecera(2014)는 비슷한 양의 반응시간(5.0%)을 가외치로 판정하였다. Konstantinou 등(2014)은 전체 참가자 평균에서 2SD보다 느린 참가자를 분석에서 제외하였다.

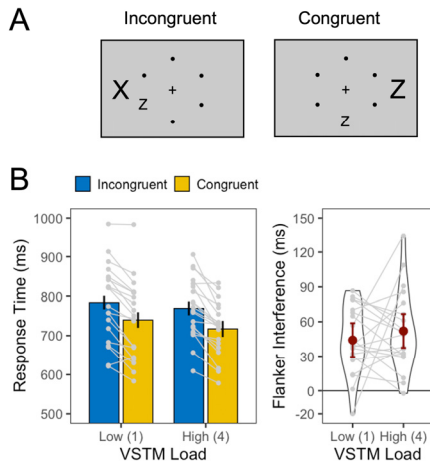


Figure 2. Stimuli and results of Experiment 2. (A) Examples of flanker task displays for incongruent and congruent trials. (B) The left plot shows mean response times as a function of VSTM load and flanker type, and the right plot shows mean flanker interference effects (incongruent minus congruent condition response time) of the VSTM load conditions. Error bars represent 95% within-subject confidence intervals (Cousineau, 2005; Morey, 2008).

0.99°)까지의 거리(3.49°)가 실험 1에 비해 줄어들었다. 탐색 배열 중 다섯 군데 비표적 위치에는 점(·)이 제시되었다(Fig. 2A). 플랭커 과제 화면은 150ms 동안 제시되었고, 반응시 화면이 1,850ms 동안 뒤따랐다. VSTM 저부담 조건과 고부담 조건은 별도의 구획으로 분리되었다. 참가자는 부담 조건별 두 구획씩을 수행하였고, 구획 순서는 ABBA 형식으로 참가자간 역균형화되었다. 본 실험 전에 참가자는 반응간섭 단일 과제 16 시행과 VSTM-플랭커 이중과제 16 시행을 차례로 연습하였다. 조건별 시행수와 조음억제 절차를 포함한 다른 모든 방법과 절차는 실험 1과 같았다.

본 실험은 실험 1의 결과를 재현하였다. VSTM 부담의 구획 처치, 방해자극 제거 및 자극 크기 축소에도 결과가 달라지지 않았다. 구체적으로, VSTM 과제의 수행을 저부담 조건과 고부담 조건으로 나누어 비교했을 때(Table 1), 정확율은 저부담 조건보다 고부담 조건에서 더 낮았고, $t_{19} = 8.88, p < .001, d = 1.99$, Cowan's K 는 저부담 조건보다 고부담 조건에서 두 배 이상 더 컸다, $t_{19} = 8.62, p < .001, d = 1.93$. 플랭커 과제에 VSTM 부담과 플랭커 유형을 두 요인으로 하는 2 x 2 반복측정 변량분석을 적용했을 때는 오류율에서 아무런 주효과와 상호작용이 통계적으로 유의미하지 않았다(Table 2). 반응시간에서는 플랭커 유형의 주효과만 유의미했다, $F_{1,19} = 88.58, p < .001, \eta_p^2 = .82$. 요약하자면, VSTM 부담이 변화탐지를 저하시키고 표적-플랭커 불

일치가 표적 반응을 지연시켰지만, 플랭커 간섭에는 여전히 영향을 끼치지 않았다.

실험 3

세 번째 실험에서는 VSTM 부담 수준이 아닌, VSTM 과제 유무가 주의선택에 미치는 영향을 검증하였다. 참가자는 저부담 구획에서 VSTM 과제 없이 플랭커 과제만 수행했고, 고부담 구획에서는 이전 실험처럼 변화탐지를 위해 VSTM을 유지하는 동안 플랭커 과제를 수행하였다. 고부담 구획에서는 색깔이 다른 정사각형 세 개가 기억항목으로 제시되었다. 그외의 방법과 절차는 실험 2와 같았다. 새로운 학부생 20명(연령 $M = 22.25$, 여성 14명)이 참가하였다.

실험 결과, VSTM 과제의 고부담 조건에서 정확율이 이전 실험들에 비해 소폭 상승했지만, Cowan's K 는 소폭 감소했다(Table 1). 그러나 실험 1과 실험 2의 고부담 조건과 비교했을 때 통계적으로 유의미한 변화는 아니었다. 한편, 플랭커 과제에 대하여 VSTM 부담과 플랭커 유형을 두 요인으로 하는 2 x 2 반복측정 변량분석을 적용했을 때, VSTM 부담의 주효과가 오류율과 반응시간에서 모두 유의미하였다, 각각 $F_{1,19} = 7.32, p < .05, \eta_p^2 = .28, F_{1,19} = 56.70, p < .001, \eta_p^2 = .75$. 저부담 조건에 비해 고부담 조건은 오류율이 높았고(Table 2) 반응시간도 느렸다(Fig. 3). 실험 1이나 실험 2와 달리 VSTM 부담의 효과가 드러난 이유는 저부담 조건에서 이중과제에 수반되는 과제 전환 비용이 필요하지 않았기 때문일 것이다(Monsell, 2003; Pashler, 1994). 이처럼 저부담 조건과 고부담 조건의 차이가 더 뚜렷했지만, 오류율이나 반응시간에서 VSTM 부담 유무와 플랭커 유형의

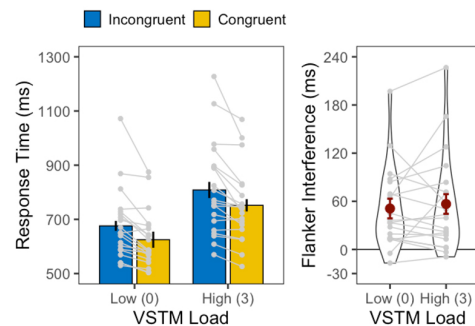


Figure 3. Results of Experiment 3. The left plot shows mean response times as a function of VSTM load and flanker type, and the right plot shows mean flanker interference effects (incongruent minus congruent condition response time) of the VSTM load conditions. Error bars represent 95% within-subject confidence intervals (Cousineau, 2005; Morey, 2008).

상호작용은 여전히 통계적으로 유의미하지 않았다. 반응시간에서 플랭커 유형의 주효과만 유의미했을 뿐이다, $F_{1,19} = 20.82, p < .001, \eta_p^2 = .52$. 즉, 실험 1과 2처럼 본 실험에서도 VSTM 부담은 주의선택에 영향을 끼치지 않았다.

실험 4

VSTM 부담이 지각부담처럼 작용한다는 주장(Konstantinou et al., 2014; Roper et al., 2013)을 반증하려면, 본 연구의 실험환경에서 지각부담의 영향을 입증해야 한다. 이에 실험 4는 지각부담이 주의선택을 강화하는지 검증하였다. 만약 지각부담 효과가 관찰되지 않는다면, 실험 1~3에서 선행연구가 재현되지 않은 이유를 본 실험환경의 특성에서 찾아야 한다. 반대로 지각부담 효과가 관찰된다면, VSTM 부담이 주의선택을 강화한다는 입장을 재고해야 한다.

학부생 21명(연령 $M = 22.43$, 여성 15명)을 새로 모집하였다. 두 수준의 지각 부담을 조작하기 위해 탐색배열에서 비표적 위치에 제시될 방해자극의 유형을 다르게 하였다. 저부담 조건에서는 점(·)을 제시했고, 고부담 조건에서는 다섯 개의 알파벳 철자('M', 'K', 'H', 'N', 'W')를 제시했다(Lavie & Cox, 1997; Fig. 4A). 자극과 배열의 크기는 실험 3과 같았다. 참가자는 지각 부담 조건별 구획을 네 개씩 수행하였고, 구획 순서는 ABBABAAB 형식으로 참가자간 역균형화되었다. 본 실험은 총 384 시행(부담 조건별 192 시행 = 48 시행 x 4 구획)으로 구성되었다.²⁾ 참가자는 저부담 조건 16 시행과 고부담 조건 16 시행을 차례로 연습한 후 본 실험에 참여하였다. 각 시행에서는 먼저 응시점이 1초간 제시되고, 탐색배열과 플랭커 자극이 100ms 동안 출현한 후에 다시 응시점이 1,900ms 동안 제시되었다. 참가자는 탐색배열이 제시된 후 1초 안에 표적반응을 입력해야 했다. 시행간 간격은 1초였다.

결과 분석을 위해 오류율과 반응시간을 지각 부담(load; 저부담, 고부담)과 플랭커 유형(flanker type; 일치, 불일치)을 교차한 네 가지 조건으로 구분하였다(Table 2). 오류율에 대한 2 x 2 반복측정 변량분석에서는 지각 부담과 플랭커 유형의 주효과가 모두 유의미했다. 오류율은 저부담 조건보다 고부담 조건에서 더 높았고, $F_{1,20} = 45.67, p < .001, \eta_p^2 = .70$, 일치 조건보다 불일치 조건에서 더 높았다, $F_{1,20} =$

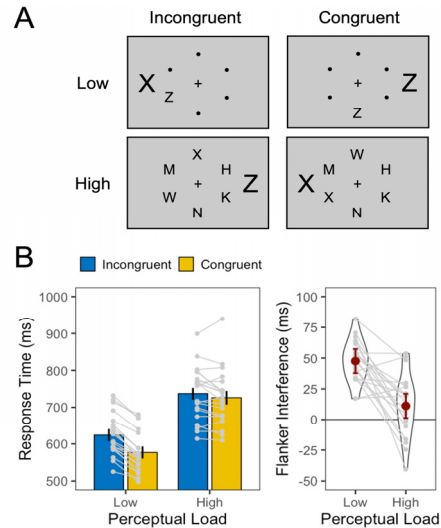


Figure 4. Stimuli and results of Experiment 4. (A) Examples of flanker task displays as a function of perceptual load (Low vs. High) and flanker type (Incongruent vs. Congruent). (B) The left plot shows mean response times as a function of perceptual load and flanker type, and the right plot shows mean flanker interference effects (incongruent minus congruent condition response time) of the perceptual load conditions. Error bars represent 95% within-subject confidence intervals (Cousineau, 2005; Morey, 2008).

$37.77, p < .001, \eta_p^2 = .65$. 이원 상호작용은 통계적으로 유의미하지 않았다. 반응시간에 대한 변량분석에서는 두 주효과와 상호작용이 모두 유의미했다(Fig. 4B). 저부담 조건보다 고부담 조건이 느렸고(지각 부담의 주효과), $F_{1,20} = 98.57, p < .001, \eta_p^2 = .83$, 일치 조건보다 불일치 조건에서 느렸다(플랭커 유형의 주효과), $F_{1,20} = 84.92, p < .001, \eta_p^2 = .81$. 플랭커 간섭(= 불일치 조건 - 일치 조건)은 지각부담에 의해 거의 사라졌다(상호작용), $F_{1,20} = 29.64, p < .001, \eta_p^2 = .60$. 지각 부담별 일원 변량분석을 시행했을 때, 저부담 구획의 플랭커 간섭은 유의미했지만, $F_{1,20} = 171.10, p < .001, \eta_p^2 = .9$, 고부담 구획의 플랭커 간섭은 유의미하지 않았다. 추가로 실험 3과 4의 결과를 비교하였다. 두 실험의 저부담 구획은 같은 방법을 사용했으므로 고부담 조건(VSTM 부담, 지각 부담)을 비교할 수 있었다. 부담 유형과 플랭커 유형을 참가자내 요인으로 하고 실험을 참가자간 요인으로 하는 2 x 2 x 2 혼합 변량분석을 실시한 결과, 삼원 상호작용이 유의미했다, $F_{1,39} = 15.77, p < .001, \eta_p^2 = .29$. 플랭커 간섭이 지각부담에 의해 줄어들었지만 VSTM 부담의 영향은 받지 않았기 때문이다. 요약하면, 실험 4는 지각부담이 주의선택을 강화하는 결과를 재현함으로써 지각부담과 VSTM 부담이

2) VSTM 과제 없이 플랭커 과제만 제시되었으므로 192 시행을 수행하는 데 불과 15분이 소요되었다. 실험참가에 대한 보상을 30분 단위로 지급했으므로 본 실험의 시행 수를 두 배로 늘렸다. 그러나 처음 192 시행을 분석해도 통계적 결과는 전체 시행을 분석한 결과와 같았다.

주의선택에 미치는 영향이 다르다는 점을 입증하였다.

실험 5

실험 5는 VSTM 기억항목과 플랭커의 공간적 관계를 검토하였다. 최근 Lee와 Jeong(2020)은 선행연구들이 VSTM 부담을 조작할 때 주의초점의 크기(attentional zoom; C. W. Eriksen & St James, 1986)를 통제하지 않았다고 지적하였다. 기존의 절차에서는 기억항목 개수가 늘어날수록 기억항목들이 넓은 공간을 차지하여 플랭커의 위치와 겹치게 된다. 만약 기억항목을 부호화하기 위해 설정되었던 주의초점이 잔류하여 플랭커 과제 화면에 작용한다면, VSTM 부담이 클수록 플랭커 간섭도 증가할 것이다. 이를 검증하기 위해, Lee와 Jeong은 기존의 조건(저부하/축소, 고부하/확장)과 주의초점 크기를 통제한 조건(저부하/확장, 고부하/축소)을 비교하였다. 그 결과, 기억항목 개수에 상관없이 기억항목 배열이 넓은 공간을 차지하면(저부하/확장, 고부하/확장) 플랭커 간섭이 증가하였다. 이는 VSTM 부담이 아닌, 주의초점의 공간적 확대가 주의선택을 변화(약화)시켰다는 것을 뜻한다.

Lee와 Jeong(2020; Table 1)의 분석에 따르면, 선행연구들의 중요한 차이는 플랭커와 기억항목의 상대적인 위치에 있었다. Konstantinou 등(2014)과 Roper와 Vecera(2014)은 플랭커를 기억항목보다 외곽에 제시했고, Zhang과 Luck(2015)은 기억항목을 플랭커보다 외곽에 제시하였다. 따라서 전자의 경우에는 고부담 조건에서도 플랭커가 주의초점 밖에 놓이지만, 후자의 경우에는 고부담 조건에서 플랭커가 주의초점 안에 위치하므로 식별될 가능성이 높아진다. 그러나 세

연구가 각기 다른 화면 구성을 사용한 탓에 주의초점의 형태(예, 줌렌즈)를 가정하지 않고서는 기억항목-플랭커 공간 중첩과 주의선택의 관계를 단정할 수 없었다. 이에 본 연구는 기억항목과 플랭커의 위치가 겹치는 상황(‘중첩 조건’)과 겹치지 않는 상황(‘비중첩 조건’)을 비교하였다. Lee와 Jeong(2020)은 중첩 조건과 비중첩 조건을 구획으로 나누어 제시하였으나, 본 실험에서 두 조건은 구획 없이 무작위 순서로 제시되었다. 이를 통해, 기억항목이 제시될 영역을 예측할 수 없는 상황에서도 Lee와 Jeong이 보고한 결과가 재현될지 확인하였다.

방법

참가자 20명(연령 $M = 23.15$, 여성 9명)을 새로 모집하였다. 기억항목과 플랭커 자극의 중첩(overlap; 중첩, 비중첩)이 요인으로 설계에 추가되었다. 기억항목을 화면의 왼편이나 오른편에 제시함으로써 중첩 조건에서는 기억항목이 있었던 위치에 플랭커 자극을 제시하고, 비중첩 조건에서는 기억항목이 있던 위치의 반대편에 플랭커 자극을 제시할 수 있었다(Fig. 5A). 따라서 실험절차는 VSTM 부담, 플랭커 유형, 기억항목-플랭커 중첩의 세 가지 요인으로 구성되었다. VSTM 부담 요인은 구획별로 처리되었고, 구획 순서는 ABBABAAB 형식으로 참가자간 역균형화되었다. 플랭커 유형과 중첩 요인은 구획내에서 무작위 순서로 처리되었다. 본 실험은 총 384 시행으로 구성되었고, 참가자는 반응간섭 단일 과제와 VSTM-반응간섭 이중과제를 각각 16 시행씩 연습 후 본 실험에 참여하였다.

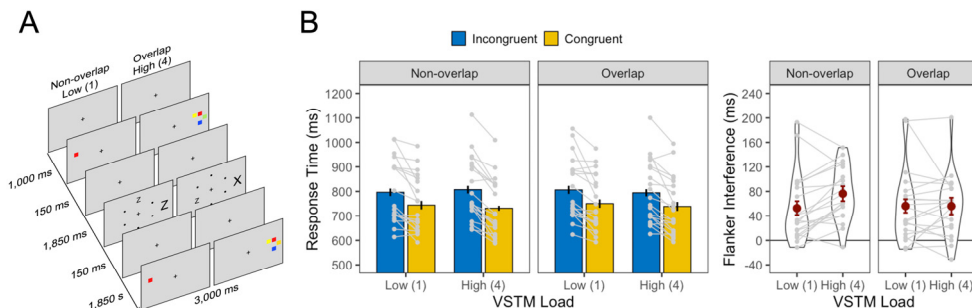


Figure 5. Trial sequences and results of Experiment 5. (A) The left sequence is an example of the color-flanker non-overlapped, congruent trial without color change in a load VSTM load block, and the right sequence is an example of color-flanker overlapped, incongruent trial with color change in a high VSTM load block. (B) The left plot shows mean response times as a function of overlap, VSTM load and flanker type, and the right plot shows mean flanker interference effects (incongruent minus congruent condition response time) as a function of overlap and VSTM load. Error bars represent 95% within-subject confidence intervals (Cousineau, 2005; Morey, 2008).

결과와 논의

VSTM 과제의 수행을 VSTM 부담(load; 저부담, 고부담)과 기억항목-플랭커 중첩(overlap; 중첩, 비중첩)을 교차한 네 가지 조건으로 분류하였다(Table 1). 저부담 조건에 비해 고부담 조건의 정확율이 낮았고 Cowan's K 는 더 컸으므로, 2 x 2 반복측정 변량분석에서 VSTM 부담의 주효과가 모두 유의미했다, 정확율 $F_{1,19} = 290.82, p < .001, \eta_p^2 = .94$, Cowan's $K F_{1,19} = 80.99, p < .001, \eta_p^2 = .81$. 중첩의 주효과와 상호작용은 유의미하지 않았다. 이 결과는 플랭커 자극의 위치가 VSTM의 기억표상에 영향을 끼치지 않는다는 것을 의미한다.

반응간섭 과제 수행을 VSTM 부담, 플랭커 유형, 중첩 요인을 교차한 여덟 가지 조건으로 분류하였다(Table 2). 오류율은 모든 조건에서 낮았고(< 5%) 삼원 반복측정 변량분석에서 유의미한 주효과나 상호작용을 보이지 않았다. 반응시간에 대한 변량분석에서는 플랭커 유형의 주효과와 함께, $F_{1,19} = 32.15, p < .001, \eta_p^2 = .63$, 삼원 상호작용이 유의미하였다, $F_{1,19} = 8.47, p < .05, \eta_p^2 = .31$. 삼원 상호작용을 자세히 분석하기 위해 중첩 조건과 비중첩 조건에서 각각 VSTM 부담과 플랭커 유형의 이원 변량분석을 실시했을 때, 이원 상호작용은 비중첩 조건에서만 유의미했다, $F_{1,19} = 10.29, p < .01, \eta_p^2 = .35$. 중첩 조건에서는 두 VSTM 부담 조건의 플랭커 간섭이 비슷했지만, 비중첩 조건에서는 VSTM 부담이 클수록 플랭커 간섭이 증가했다.³⁾ 결과적으로, 실험 1~3처럼 본 실험도 VSTM 부담이 주의선택을 강화한다는 선행연구(Konstantinou et al., 2014; Roper & Vecera, 2014)의 결과를 재현하지 못했다. 오히려 비중첩 조건에서 플랭커 간섭이 증가했으므로, 조건에 따라서는 VSTM 부담이 주의선택을 약화시킨다는 것이 확인되었다(Zhang & Luck, 2015).

VSTM 부담 효과가 중첩 조건이 아닌 비중첩 조건에서 관찰되었다는 점이 흥미롭다. Lee와 Jeong(2020)의 실험에서는 기억항목이 넓은 영역을 차지할 때만 플랭커와 중첩되었

기 때문에 플랭커 간섭이 증가한 이유가 중첩 때문인지 혹은 넓은 영역 때문인지 알 수 없었다. 만약 중첩 여부가 결정요인이었다면, 본 실험에서도 중첩 조건의 플랭커 간섭이 더 커야 했다. 정반대의 결과가 시사하는 바는 중첩만으로 플랭커 간섭의 변화를 설명하기 어렵다는 점이다. 본 실험에서 중첩 조건과 비중첩 조건의 시행들이 구획으로 나뉘지 않고 무작위 순서로 제시되었다는 점을 고려할 때, 실험 절차와 자극 배치에 근거한 참가자의 과제수행 전략이 VSTM 부담 효과와 복잡하게 상호작용하는 것으로 보인다.

추가분석

개인차 상관 분석

Konstantinou 등(2014)은 VSTM 부담에 의한 개인별 K 추정치의 변화량과 플랭커 간섭의 변화량이 부적 상관을 보였다고 보고하였다. 이들은 VSTM 용량이 작은 참가자는 소수의 물체를 기억하는 것만으로도 지각적 처리용량이 고갈되어 플랭커 간섭이 감소하지만, VSTM 용량이 큰 참가자는 많은 물체를 기억해도 지각적 처리용량이 플랭커를 식별할 수 있을 만큼 여유롭다고 해석하였다. 이에, 본 연구에서 저부담 조건의 K 를 추정할 수 있는 실험 1, 2, 5를 결합하여 총 60명의 자료에 똑같은 분석을 시행하였다. 그러나 Konstantinou 등과 달리, K 추정치 변화량과 플랭커 간섭의 변화량의 Pearson 상관이 통계적으로 유의미하지 않았다, $r_{58} = -.10, p > .4$. 이러한 결과는 VSTM 부담이 주의선택을 강화한다는 주장에 부합되지 않는다.

동등성 검사(Equivalence Test)

지금까지 본 연구에서 활용한 영가설 유의도 검증(null hypothesis significance test, NHST) 절차는 조건간 차이가 없다는 가설(즉, 영가설)을 기각할 수는 있어도 지지할 수는 없었다. 이러한 한계를 보완하여 저부담 조건과 고부담 조건의 차이가 없다는 결론을 확증하기 위해 이중 단측 검증(two one-sided tests; TOST)을 활용한 동등성 검사를 실시하였다(Lakens, 2017; Lakens et al., 2018). TOST는 관심을 끄는 효과가 존재한다고 연구자들이 인정할 수 있는 최소한의 효과크기(smallest effect size of interest; SESOI)를 정하고, 실제 자료에서 얻은 효과크기가 SESOI보다 작으면 해당 효과가 존재하지 않는다고 판정한다. 구체적으로, TOST는 SESOI의 음의 값과 양의 값을 동등성 구간(equivalence bounds)의 경계로 정하고, 실제 자료에서 계산한 조건간 차이를 각각의 경계와 비교하는 단측 검증을 실시한다. 만약

3) 반응시간의 가위치 판정기준을 평균 + 2.5SD로 높이면(가위치 2.1%) 삼원 상호작용이 통계적으로는 유의미하지 않았다, $F_{1,19} = 3.32, p = .08, \eta_p^2 = .15$. 그러나 플랭커 유형의 주효과는 여전히 유의미하였다, $F_{1,19} = 28.54, p < .001, \eta_p^2 = .60$. 또한 중첩 조건과 비중첩 조건에서 각각 이원 변량분석을 실시했을 때에도 여전히 비중첩 조건에서만 이원 상호작용이 유의미하였다, $F_{1,19} = 5.03, p < .001, \eta_p^2 = .21$. 실험 1~4에서는 평균 + 2.5SD를 기준으로 반응시간의 가위치를 정의해도(실험별 가위치 1.9~2.3%) 통계적 유의도가 달라지지 않았다.

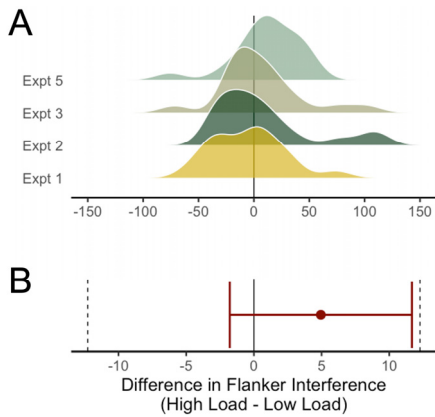


Figure 6. Equivalence test. (A) Distribution of differences in flanker interference between low and high VSTM load conditions across four experiments. (B) Mean differences (dark red point) and 90% confidence interval (dark red line) with equivalence bounds $\Delta_L = -12.27$ and $\Delta_U = 12.27$ (black dashed lines).

실제 조건간 차이가 음의 경계보다 유의미하게 크고 양의 경계보다 유의미하게 작으면, 효과크기가 SESOI와 같거나 크다는 영가설을 기각하고 조건간 차이가 없다는 대립가설을 채택할 수 있다. 본 연구와 같은 재현실험의 SESOI는 기존 실험(Konstantinou et al., 2014, 실험 1b, $N = 22$)에서 33%의 검증력으로 탐지할 수 있는 효과크기($d = .34$; 원자료 12.27ms)로 정의한다(Simonsohn, 2015). 이 크기의 효과를 검증력 80% 이상으로 재현하려면 최소 76명의 참가자가 필요하다. 이에 실험 1~3, 5을 결합한 총 80명의 자료를 분석하였다. Fig. 6A에서 알 수 있듯이, 참가자들의 플랭커 간섭 변화량(저부담 조건과 고부담 조건의 차이)은 실험에 상관없이 대체로 0을 중심으로 분포하였다. TOST를 실시한 결과로 영가설이 기각되었다(Fig. 6B). 플랭커 간섭의 변화량($M = 4.95$, 90% CI = $[-1.78, 11.67]$)은 음의 경계(-12.27)보다 유의미하게 컸고, $t_{79} = 4.26$, $p < .001$, 양의 경계(12.27)보다 유의미하게 작았다, $t_{79} = -1.81$, $p < .05$. 이처럼 조건간 차이가 동등성 구간 안에 위치하면서 SESOI보다 통계적으로 작았다는 사실은 본 실험에서 VSTM 부담이 주의선택에 영향을 끼치지 않았음을 입증한다.

종합논의

본 연구는 VSTM 부담이 플랭커 간섭에 미치는 영향을 검증하였다. 참가자는 변화탐지를 위해 기억항목의 색과 위치를 마음속에 유지하면서 플랭커를 무시하고 표적을 식별해야 했다. 비슷한 실험에서 선행연구들은 상반된 결과를 보

고하고 제각기 다른 해석을 제시하였다. 기억항목 증가에 따라 플랭커 간섭이 줄었다고 보고한 연구들은 VSTM 부담에 의해 플랭커 식별에 필요한 신경자원이 고갈되었거나(Konstantinou et al., 2014) 플랭커의 VSTM 부호화가 지연되었기 때문이라고(Roper & Vecera, 2014) 설명했고, 기억항목이 많아지면서 플랭커 간섭이 커졌다고 보고한 연구는 전역적인 정보처리 또는 주의초점의 확장에서 원인을 찾았다(Zhang & Luck, 2015). 그러나 본 연구에서 VSTM 부담은 플랭커 간섭을 쉽게 변화시키지 못했다. 세 건의 실험은 기억항목이 적은 조건(‘저부담’)과 많은 조건(‘고부담’)에서 비슷한 크기의 플랭커 간섭을 얻었다(실험 1~3). VSTM 부담과 달리, 지각부담은 플랭커 간섭을 감소시켰다(실험 4). 기억항목과 플랭커의 위치가 겹치지 않으면 VSTM 부담이 플랭커 간섭을 증가시켰지만, 두 실험자극이 중첩되면 VSTM 부담의 효과가 사라졌다(실험 5). 실험자료를 결합하여 통계적 검증력을 강화한 추가 분석도 일관적인 결과를 냈다. 개인차 상관 분석에서 개인별 VSTM 용량(Cowan’s K)과 플랭커 간섭의 변화량은 의미있는 상관을 보이지 않았고, 동등성 검사는 VSTM 부담이 플랭커 간섭에 끼친 영향이 무시할만한 수준임을 확인하였다.

실험 1~3은 Konstantinou 등(2014, 실험 1b)과 Roper와 Vecera(2014)에서 동기를 얻었지만 결과를 재현하지 못했다. 실험 1은 상대적으로 효과크기가 컸던 Roper와 Vecera의 자극화면이 가진 특징을 차용했고(Konstantinou 등의 실험 1b, $\eta^2 = .20$; Roper & Vecera, $\eta^2 = .52$), 실험 2~3은 Konstantinou 등과 거의 동일한 자극화면을 사용했으나 세 실험 모두 VSTM 부담 효과를 관찰할 수 없었다. 실험 조건을 구획으로 나누어 제시하는 것도 차이를 만들지 못했다. 재현 실패의 주요 원인으로서는 먼저 VSTM 부담이 적절하게 조작되지 않았을 가능성을 의심해볼 수 있다. 단순히 저부담 조건과 고부담 조건의 차이가 충분하지 않았을지 모른다. 이를 확인하기 위해, 실험 1~2, 5의 참가자 60명 중 Cowan’s K 추정치의 변화량($\Delta_K =$ 고부담 조건 $K -$ 저부담 조건 K)이 상위 30%에 해당하는 참가자 18명을 추가 분석하였다. 이들의 K 추정치 변화량은 평균 1.57로서 선행연구(Konstantinou 등의 실험 1b, $\Delta_K = .72$; Roper & Vecera, $\Delta_K = 1.38$)를 웃돌았다. 그러나, 여전히 저부담 조건($M = 38.99$, $SD = 33.55$)과 고부담 조건($M = 40.06$, $SD = 42.37$)의 플랭커 간섭은 비슷한 크기를 보였다, $t_{18} = .12$, $p > .9$, $d = .03$. 따라서 VSTM 부담 조작이 재현 실패의 원인일 가능성은 배제될 수 있다.

실험 4는 VSTM 부담이 지각부담처럼 주의선택을 강화한

다는 주장을 반증하였다. 지각부담이 높을 때 플랭커 간섭은 거의 사라졌다. 실험 3의 VSTM 부담과 비교했을 때도 지각 부담의 효과는 뚜렷했다. Konstantinou 등(2014)과 Roper와 Vecera(2014)의 관점에서 이 결과를 설명하려면, VSTM 부담이 지각부담보다 시각피질의 신경자원을 덜 소모했거나 VSTM 부호화가 충분히 지연되지 않았다고 가정해야 한다. 그러나 이러한 해석은 가설의 타당성을 크게 손상시킬 것이다. Zhang과 Luck(2015)의 관점에서는 본 실험의 VSTM 조작이 ‘용량(capacity)’과 ‘해상도(resolution)’에 모두 부담을 가했을 거라 의심할 수 있다. 이들의 관점으로 VSTM 용량 부담과 해상도 부담이 정보처리 범위(scale)에 길항적으로 작용한다면, 용량과 해상도에 모두 작용하는 VSTM 부담은 플랭커 간섭을 변화시키기 어려웠을 것이다. 그러나 본 연구에서 기억항목의 색깔은 독특한 일곱 가지 색깔 중에서 선택되었으므로, 선행연구(Konstantinou 등의 실험 1b, 아홉 가지 색깔; Roper & Vecera, 여섯 가지 색깔)에 비해 본 연구의 해상도 부담이 더 컸을 가능성은 적다.

실험 5는 VSTM과 주의선택의 관계를 조절하는 잠재요인으로서 기억항목과 플랭커의 공간적 중첩을 검토하였다. 지각부담 이론에서 VSTM 기억항목이 차지하는 공간은 크게 주목받지 않았다. 기억항목들이 화면에서 사라지면 대개 1-2초가 지나서야 주의선택 과제가 시작되므로, 참가자의 시각 탐색 기제가 그 사이에 충분히 초기화될 거라 기대했기 때문이다. 그러나 기억항목의 공간적 분포에 따라 후속 주의선택이 달라지는 사례가 보고되어 왔다(Chen & Chan, 2010; Lee & Jeong, 2020). 가령, 기억항목이 차지하는 영역을 통제하면 기억항목이 많아도 플랭커 간섭이 변하지 않았고, 기억항목이 넓은 영역을 차지하면 개수가 적어도 플랭커 간섭이 증가했다(Lee & Jeong, 2020). 이 현상에 관한 가설 중 하나는 기억항목이 화면에 넓게 분포할수록 참가자의 주의가 확산되어 주변부에 제시된 플랭커 자극을 지각할 가능성이 커진다는 것이다. 그러나 선행연구에서는 기억항목이 넓은 영역에 제시될 때 항상 플랭커와 중첩되었기 때문에, 영역과 중첩 중 무엇이 플랭커 간섭을 변화시켰는지 알 수 없었다. 이에 실험 5는 기억항목의 영역을 통제하고 중첩 조건과 비중첩 조건을 비교하였다. 실험 결과는 기존 가설에 부합하지 않았다. 주의분포가 결정변인이라면 중첩 조건의 플랭커 간섭이 증가했어야 했다. 대신 비중첩 조건에서만 플랭커 간섭이 증가했다는 사실은 VSTM 부담이 예상보다 훨씬 복잡하게 작동한다는 것을 의미한다.

전반적인 실험 결과를 이해하기 위해 VSTM 부담을 인지 부담(cognitive load)과 비교할 필요가 있다. 지각부담 이론

을 확장하면서, Lavie는 지각부담과 반대로 인지부담은 주의 선택을 약화시킨다고 제안하였다(Lavie et al., 2004). 그 증거는 주로 언어정보를 기억항목으로 제시하는 실험에서 나왔다. 이 실험들에서 참가자는 작업기억에 유지해야 하는 정보의 양이 많을수록 불필요한 정보를 무시하지 못했다(de Fockert et al., 2001; Lavie et al., 2004). Lavie는 긴 숫자 열이나 철자열을 마음속에 유지하는 것이 주의감독 시스템(supervisory attention system; Norman & Shallice, 1986) 혹은 중앙집행기(central executive; Baddeley & Hitch, 1974)에 부담을 가함으로써 필요한 정보와 불필요한 정보를 구별하는 능력을 훼손시키고, 지각된 자극과 반응에 연결하는 과정의 효율성을 떨어뜨린다고 설명하였다. 같은 논리를 본 실험에 적용할 수 있다. 비록 본 연구의 변화탐지 과제가 VSTM에 부담을 가하는 대표적인 방법이라 해도 인지부담을 전혀 유발하지 않을 거라 기대할 수는 없기 때문이다. VSTM 부담과 인지부담이 주의선택에 미치는 영향을 서로 상쇄했다면 본 연구에서처럼 플랭커 간섭은 변하지 않을 것이다. 그러나 이러한 설명은 VSTM 부담과 인지부담의 구분이 명확하지 않다는 점에서 한계를 지닌다. 지각부담의 경우처럼, VSTM 부담과 인지부담은 과제(시각자극과 언어자극)에 의해 정의되는 경향이 있고 선형적인 기준으로 구분하기 어렵다는 문제가 있다.

결과적으로, 본 연구는 VSTM 부담이 주의선택을 조절한다는 가설을 기각함으로써 작업기억과 시각적 주의의 다양한 관계를 기술할 수 있는 새로운 모델의 필요성을 제기한다. 본 연구 결과는 최근 보고된 Yao 등(2020)의 결과와 일치한다. 이들은 Zhang과 Luck(2015) 그리고 Konstantinou 등(2014)의 자극 화면을 절충하여 사용했고, 아홉 건의 재현 실험 중 여덟 건에서 VSTM 부담 효과를 증명하는 데 실패하였다. 한 건의 실험에서 VSTM 부담이 플랭커 간섭을 증가시켰지만, 조건별 기억항목 배열이 차지하는 영역의 크기를 통제하자 그 효과는 사라졌다. Yao 등은 이러한 결과를 근거로 기존의 주장들은 재고되어야 한다고 결론내리고, VSTM 부담과 주의선택의 관계는 복수의 변인들에 의해 조절된다고 제안하였다. 본 연구는 기억항목과 플랭커의 공간적 중첩이 미치는 영향을 추가로 검토함으로써 VSTM 부담에 수반된 조절 요인을 탐색하였다. 추후 연구도 VSTM 부담과 주의선택이 상호작용하는 특수한 상황을 모색하고 그 기제를 밝히는 방향으로 진행되어야 할 것이다.

References

- Ahmed, L., & de Fockert, J. W. (2012). Working memory load can both improve and impair selective attention: evidence from the Navon paradigm. *Attention, Perception & Psychophysics*, *74*(7), 1397-1405.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829-839.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). Academic Press.
- Beck, D. M., & Lavie, N. (2005). Look here but ignore what you see: effects of distractors at fixation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(3), 592-607.
- Benoni, H., & Tsai, Y. (2013). Conceptual and methodological concerns in the theory of perceptual load. *Frontiers in Psychology*, *4*, 522.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*(4), 433-436.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Pergamon Press.
- Cartwright-Finch, U., & Lavie, N. (2007). The role of perceptual load in inattention blindness. *Cognition*, *102*(3), 321-340.
- Chen, Z., & Chan, C. C. (2010). Distractor interference stays constant despite variation in working memory load. *Journal of Vision*, *6*(6), 369-369.
- 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., Elliott, E. M., Scott Saults, J., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. A. (2005). On the capacity of attention: its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, *51*(1), 42-100.
- de Fockert, J. W., Rees, G., Frith, C. D., & Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, *291*(5509), 1803-1806.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80-90.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149.
- Eriksen, C. W., & St James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*(4), 225-240.
- Gegenfurtner, K. R., & Sperling, G. (1993). Information transfer in iconic memory experiments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*(4), 845-866.
- Gray, J. A., & Wedderburn, A. A. I. (1960). Grouping strategies with simultaneous stimuli. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*(3), 180-184.
- Handy, T. C., & Mangun, G. R. (2000). Attention and spatial selection: electrophysiological evidence for modulation by perceptual load. *Perception & Psychophysics*, *62*(1), 175-186.
- Handy, T. C., Soltani, M., & Mangun, G. R. (2001). Perceptual load and visuocortical processing: event-related potentials reveal sensory-level selection. *Psychological Science*, *12*(3), 213-218.
- Hyun, J.-S. (2011). Understanding visual working memory based on significant examples of behavioral studies. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, *23*(1), 45-90.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice Hall.
- Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-61). Academic Press.
- Konstantinou, N., Beal, E., King, J.-R., & Lavie, N. (2014). Working memory load and distraction: dissociable effects of visual maintenance and cognitive control. *Attention, Perception & Psychophysics*, *76*(7), 1985-1997.
- Lakens, D. (2017). Equivalence tests: a practical primer for t tests, correlations, and meta-analyses. *Social Psychological and Personality Science*, *8*(4), 355-362.
- Lakens, D., Scheel, A. M., & Isager, P. M. (2018). Equivalence testing for psychological research: a tutorial. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, *1*(2), 259-269.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(3), 451-468.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(2), 75-82.
- Lavie, N., & Cox, S. (1997). On the efficiency of visual

- selective attention: efficient visual search leads to inefficient distractor rejection. *Psychological Science*, 8(5), 395-396.
- Lavie, N., & de Fockert, J. W. (2003). Contrasting effects of sensory limits and capacity limits in visual selective attention. *Perception & Psychophysics*, 65(2), 202-212.
- Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 339-354.
- Lavie, N., & Tsai, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics*, 56(2), 183-197.
- Lee, H., & Jeong, S. K. (2020). Separating the effects of visual working memory load and attentional zoom on selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 46(5), 502-511.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Marciano, H., & Yeshurun, Y. (2011). The effects of perceptual load in central and peripheral regions of the visual field. *Visual Cognition*, 19(3), 367-391.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134-140.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11(1), 56-60.
- Murphy, G., Groeger, J. A., & Greene, C. M. (2016). Twenty years of load theory-Where are we now, and where should we go next? *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(5), 1316-1340.
- Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75(6), 522-536.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, D. Shapiro (Ed.), *Consciousness and Self-Regulation* (pp. 1-18). Plenum.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.
- Pasternak, T., & Greenlee, M. W. (2005). Working memory in primate sensory systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(2), 97-107.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 283-290.
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rees, G., Frith, C. D., & Lavie, N. (1997). Modulating irrelevant motion perception by varying attentional load in an unrelated task. *Science*, 278(5343), 1616-1619.
- Roper, Z. J. J., Cosman, J. D., & Vecera, S. P. (2013). Perceptual load corresponds with factors known to influence visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1340-1351.
- Roper, Z. J. J., & Vecera, S. P. (2014). Visual short-term memory load strengthens selective attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(2), 549-556.
- Schwartz, S., Vuilleumier, P., Hutton, C., Maravita, A., Dolan, R. J., & Driver, J. (2005). Attentional load and sensory competition in human vision: modulation of fMRI responses by load at fixation during task-irrelevant stimulation in the peripheral visual field. *Cerebral Cortex*, 15(6), 770-786.
- Simonsohn, U. (2015). Small telescopes: detectability and the evaluation of replication results. *Psychological Science*, 26(5), 559-569.
- Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76(3), 282-299.
- 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.
- Yao, N., Guo, Y., Liu, Y., Shen, M., & Gao, Z. (2020). Visual working-memory capacity load does not modulate distractor processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(7), 3291-3313.
- Yeshurun, Y., & Marciano, H. (2013). Degraded stimulus visibility and the effects of perceptual load on distractor interference. *Frontiers in Psychology*, 4, 289.
- Yi, D.-J., Woodman, G. F., Widders, D., Marois, R., & Chun, M. M. (2004). Neural fate of ignored stimuli: dissociable effects of perceptual and working memory load. *Nature Neuroscience*, 7(9), 992-996.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2015). Opposite effects of capacity load and resolution load on distractor processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(1), 22-27.

시각적 단기기억 부담이 주의선택에 미치는 영향

이혁수¹, 이도준¹

¹연세대학교 심리학과

시각적 단기기억(visual short-term memory, VSTM)이 주의선택에 미치는 영향에 관해 선행연구들은 일관되지 않은 결과를 보고하였다. 일부 연구에서는 VSTM이 많은 정보를 유지하는 동안에 주의선택이 강화되었지만, 다른 연구에서는 비슷한 절차를 사용했음에도 불구하고 VSTM 부담이 주의선택을 약화시켰다. 이에, 본 연구는 재현실험을 통해 선행연구의 모순된 결과를 확인하고 주의선택의 조절 요인으로서 VSTM 부담의 역할을 검토하고자 하였다. 실험 1~3에서 참가자는 변화탐지를 위해 물체의 색과 위치를 VSTM에 유지하는 동안 플랭커 과제를 수행하였다. 그러나 자극 배열, 조건 순서, 기억항목 개수에 상관 없이, VSTM 부담이 플랭커 간섭을 조절한다는 증거를 찾을 수 없었다. 실험 4는 플랭커 간섭을 감소시키는 지각부담 효과를 확인함으로써 실험 1~3의 주의선택 측정이 민감하지 않았을 가능성을 배제하였다. 실험 5는 VSTM 기억항목과 플랭커의 공간적 관계를 조작하였다. 그 결과, 기억항목과 플랭커가 서로 반대 화면에 제시되면 VSTM 부담에 의해 플랭커 간섭이 증가했지만, 두 자극의 위치가 중첩되면 VSTM 부담이 플랭커 간섭을 영향을 끼치지 않았다. 개인차 상관 분석에서 개인별 VSTM 용량과 플랭커 간섭 변화량은 의미있는 상관을 보이지 않았고, 동등성 검사는 VSTM 부담이 플랭커 간섭에 끼친 영향은 무시할만한 수준임을 확인하였다. 종합적으로 본 연구는 VSTM 부담이 주의선택을 조절한다는 주장에 대해 회의적인 증거를 제공하며, 작업기억과 시각적 주의의 다양한 관계를 기술할 수 있는 새로운 모델의 필요성을 제기한다.

주제어: 시각적 단기기억, 주의선택, 플랭커 간섭, 지각부담, 작업기억