



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

제 136 회 석사학위논문

지도교수 현 주 석

세부특징 동시회상 과제에서 관찰된 시각작업기억의 통합적 표상 특성

The Integrated Representational Characteristics of
Visual Working Memory Observed in a Concurrent
Feature-Recall Task

중앙대학교 대학원

심리학과 심리학전공

정 화 목

2022년 2월

세부특징 동시회상 과제에서 관찰된 시각작업기억의 통합적 표상 특성

The Integrated Representational Characteristics of
Visual Working Memory Observed in a Concurrent
Feature-Recall Task

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2022년 2월

중앙대학교 대학원

심리학과 심리학전공

정 화 목

정화목의 석사학위논문으로 인정함

심 사 위 원 장 조 수 현 (인)

심 사 위 원 이 태 현 (인)

심 사 위 원 현 주 석 (인)

중앙대학교 대학원

2022년 2월

목 차

제1장 서론	1
제1절 시각작업기억의 표상 특성에 관한 관점	1
제2절 색상환 회상 과제	2
제3절 고정해상도 슬롯 모형과 탄력적 자원 모형	3
제4절 객체를 구성하는 세부특징 간의 독립성	4
제5절 본 연구의 개요	8
제2장 실험 1	12
제1절 방법	12
제2절 결과 및 논의	16
제3장 실험 2	24
제1절 방법	24
제2절 결과 및 논의	25
제4장 종합 논의	33
참고문헌	37
국문초록	40
Abstract	42

표 목차

[표 1] AIC와 BIC를 이용한 모형 적합도 비교	20
[표 2] 실험 1의 표적 항목에 대한 각 세부특징별 회상 수행	21
[표 3] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 회상 수행	29

그림 목차

[그림 1] 색상환 회상 과제 절차의 예 & 혼합 모형의 구성 요소	11
[그림 2] 실험 1 & 2에서 사용된 매 시행의 절차	15
[그림 3] 실험 1의 각 세부특징별 누적분포함수와 확률밀도함수	21
[그림 4] 실험 1의 구간화 기준 X 구간 집단 조건별 회상 수행	22
[그림 5] 실험 1의 항목 종류 X 세부특징 조건별 회상 수행	22
[그림 6] 실험 1의 세부특징 X 확신도 수준 조건별 회상 수행	23
[그림 7] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 누적분포함수와 확률밀도함수	29
[그림 8] 실험 2의 항목 개수 X 구간화 기준 X 구간 조건별 회상 수행 ·	30
[그림 9] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 회상 수행	31
[그림 10] 실험 2의 세부특징 X 확신도 조건별 회상 수행	32

제1장 서론

제1절 시각작업기억의 표상 특성에 관한 관점

우리의 일상은 외부에 펼쳐진 무수한 시각 정보 중 필요한 정보를 받아들이고 이에 상응하는 행동을 하는 일의 연속이다. 또한 우리는 언제나 시각적 심상을 떠올리고, 이를 필요에 따라 조작(operation)하기도 한다. 이처럼 일상적으로 중요한 과제들이 어떠한 기제에 의해 수행되는지 이해하기 위해 많은 연구가 이를 중요하게 다루어왔고, 특히 시각작업기억(Visual Working Memory)의 역할이 대두되었다. 시각작업기억은 외부로부터 들어오는 시각 정보를 선별하여 표상의 형태로 일시 저장하는 단기 저장 공간이며, 표상을 목적에 맞게 조작하는 일종의 작업 공간이기도 하다(Baddeley & Hitch, 1994). 이러한 시각작업기억은 제한적인 용량을 지닌 것으로 알려져 있는데, 동시에 3~4개 정도의 항목을 파지할 수 있는 것으로 드러났다(Cowan, 2001; Luck & Vogel, 1997). 다만 기억 부하로 작용하는 항목의 단위(객체 vs 세부특징)가 어떠한지는 의견이 분분하며, 특히 서로 상충하는 두 관점이 각각의 경험적 증거를 바탕으로 양립하고 있다.

구체적으로, 먼저 ‘객체(object)’가 시각작업기억 표상의 저장 단위임을 주장하는 ‘통합된 객체 모형(integrated object model)’이 논란의 두 관점 중 하나이다. 이때의 객체는, 시각 자극을 구성하는 색상, 방위, 형태 등의 세부특징(feature)들이 결합된 표상을 말한다. 이에 따르면, 객체를 구성하는 세부특징의 양과 관계없이, 하나의 객체는 한 단위의 기억 부하(memory load)를 일으킨다(Vogel, Woodman & Luck, 2001, Zhang & Luck, 2008). Luck과 Vogel(1997)의 막대 자극(색상+방위)을 이용한 변화 탐지과제가 이를 뒷받침하였다. 참가자는 사전에 공지된 단일 세부특징에 대한 변화를 탐지하여야 하는 단일 기억 조건과 모든 세부특징에 대한 변화를 탐지하여야 하는 결합 기억 조건의 과제를 수행하였다. 이때 제시된

막대 자극의 개수는 4, 8 또는 12개였으며, 결합 기억 조건에서 참가자가 기억해야 할 세부특징 개수는 단일 기억 조건의 두 배였다. 그럼에도, 두 조건 사이의 변화탐지 수행은 동등한 수준인 것으로 나타나, 색상과 방위 두 세부특징이 하나의 객체로 결합되어 표상될 수 있음을 시사하였다.

이와 대척점에 있는 관점으로는 ‘세부특징 병렬-독립 저장 모형(parallel-independent feature storage model)’이 제기된 바 있다. 시각 자극을 이루는 개별 세부특징은 결합되지 않은 채, 서로 독립적으로 병렬 저장됨을 보였으며, 세부특징의 양이 증가할수록 이에 비례하여 기억 부하 또한 증가함을 주장하였다(Bays, Catalao & Husain, 2009). 예를 들어, Alvarez와 Cavanagh(2004)는 선화(line drawing), 음영 처리된 정육면체(shaded cube), 무작위 형태의 다각형, 한자, 영문자 그리고 채색된 사각형과 같이, 서로 다른 세부특징을 지닌 여섯 가지 시각 자극을 실험에 사용하였으며, 각각에 대한 단기 기억 저장용량이 다르다는 것을 발견하였다. 이처럼 두 관점은 시각작업기억의 정보 저장 방식과 기억 부하의 원리에 대해 서로 양립하기 어려운 입장을 취하고 있다.

제2절 색상환 회상 과제

한편, 이러한 논의가 다각도로 이루어진 것에는 Zhang과 Luck(2008)의 색상환 회상 과제([그림 1-가])의 기여가 컸다. 이는 기억 항목의 색상을 색상환상에서 선택하여야 하는 과제이다. 색상환에는 색의 스펙트럼이 단계적으로 배열되어 있으며, 실제 기억 항목의 색상과 선택한 색상 간에는 각도 차이(색상환 상의 거리; 이하 d)가 존재한다. d 가 작을수록(0° 에 가까울수록) 정밀한 기억, 반대로 각도 차이가 클수록(180° 에 가까울수록) 부정확한 기억을 의미하여 기억의 선명도(precision)에 대한 측정이 가능하다. 뿐만 아니라, Zhang과 Luck(2008)은 d 의 분포를 통해 기억할 확률과 기억 표상의 선명도를 추정하는 방안을 제시하였다. 구체적으로, d 의 확률밀도함수(probability density function)는 다음과 같은 혼합 모형(mixed model)을

이를 것으로 가정된다([그림 1-나]). 참가자가 기억 항목의 색상을 기억하였을 때 발생하는 d' 의 분포와 기억하지 못하였을 때의 d' 의 확률분포는 상이한 것으로 가정되며, 이러한 상이한 분포가 결합되어 혼합 모형을 이루는 것이다. 전자의 경우, d' 값은 0° 를 중심으로 하는 폰 미제스 분포(von Mises distribution)를 형성한다. 이와 달리 후자의 경우 참가자는 기억 항목의 실제 색상과 무관하게 무작위로 색상을 선택(random guessing)하기 때문에 d' 의 확률분포는 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 전 구간에 걸쳐 균등한 확률을 가진 균일분포(uniform-distribution)를 이룬다.

이러한 혼합 모형은 두 가지 주요한 매개변수(parameter)를 지니는데, 각각 기억 확률을 의미하는 P_m 과 표상의 선명도를 나타내는 $s.d.$ 이다. 먼저 P_m 은 혼합 모델에서 폰 미제스 분포의 면적에 해당하며, 기억 항목의 색상을 기억에 지니고 있을 확률을 나타낸다. 그리고 $s.d.$ 는 폰 미제스 분포의 변산성 지표인 표준편차이며, 기억 항목의 색상이 정밀하게 표상될수록 0에 가까운 $s.d.$ 가 산출된다. 그리하여 이는 기억 항목의 선명도를 나타낸다. 실험에서 수집한 d' 값 자료에 대한 최대가능도추정법(Maximum Likelihood Estimation, MLE)을 통해 이러한 매개변수를 추정할 수 있으며, 이를 시각작업기억의 표상 특성을 이해하는 데에 활용할 수 있다.

제3절 고정해상도 슬롯 모형(fixed-resolution slot model)과 탄력적 자원 모형(flexible-resource model)

색상환 회상 과제는 통합된 객체 관점의 대표적인 가설인 ‘고정해상도 슬롯 모형(fixed-resolution slot model; 이하 슬롯 가설)’의 타당성을 뒷받침하는 데에 주효하였다(Hyun, 2015; Zhang & Luck, 2008). 이에 따르면, 시각작업기억의 객체 표상은 저장용량에 해당하는 3~4개의 슬롯에 각각 저장된다. 각각의 슬롯에 저장된 객체 표상의 시각적 복잡성은 기억용량과 무관하므로, 각각의 표상은 높은 선명도를 지닌다. 이러한 높은 선명도는 고정적이기 때문에 한 표상의 선명도를 포기하는 대신 다른 표상의 선

명도를 높이는 교환(trade-off) 전략이 불가하다. 단, 기억 항목의 개수가 가용한 슬롯의 개수 보다 적은 경우에는 특정 표상의 선명도가 약간 높을 수 있는데, 이는 여러 개의 슬롯에 하나의 표상을 저장하여 이점을 얻을 수 있기 때문이다. 더욱이, 표상의 형성은 실무율 과정(all-or-none process)으로 수행된다. 기억 항목 개수(setsize)가 저장용량(3~4개 항목)을 초과할 때에는 그중 3~4개에 대한 표상만을 시각작업기억에 저장할 수 있다. 즉 더욱 많은 항목을 저장하기 위해 개별 항목의 선명도를 낮추는 교환 전략 또한 불가하다.

반면에 색상환 회상 과제로 수집된 결과는 세부특징 병렬-독립 저장 관점을 취하는 가설인 ‘탄력적 자원 모형(flexible-resource model; 이하 자원 가설)’을 뒷받침하기도 하였다(Bays, Catalao & Husain, 2009; Bays & Husain, 2008). 탄력적 자원 모형에 의하면, 시각작업기억 표상의 단위가 서로 독립적인 세부특징이며, 이러한 세부특징을 저장하기 위한 한정된 자원은 시각작업기억 내 통합적으로 공유된다. 그리하여 기억 부하는 각 객체 항목을 구성하는 시각적 복잡성에 비례하여 증가한다. 자원은 서로 독립적으로 저장되는 각각의 세부특징 표상에 유연하게 할당될 수 있으며, 이에 따라 특정 표상에 자원을 집중시킴으로써 다른 것에 비해 높은 선명도를 가진 표상을 형성하는 것이 가능하다. 뿐만 아니라, 저장하는 표상의 개수와 표상의 정밀성 간의 교환 또한 가능하다.

제4절 객체를 구성하는 세부특징 간의 독립성

상충하는 두 가설은, 시각작업기억에 표상된 기억 항목을 구성하는 세부특징 간의 독립성에 대해 서로 다른 예측을 제시한다. 슬롯 가설에 의하면, 기억 여부에 있어서 객체를 이루는 세부특징은 상호 독립적이지 않으며, 세부특징 간의 연합(association)은 초점주의(focused attention)의 지속적인 도움 없이도 공고히 유지된다. 그리하여, 표상이 망각될 때에는 하나의 객체를 이루는 세부특징이 한꺼번에 모두 망각될 것으로 짐작된다. 실제로,

Gajewski와 Brockmole(2006)은 시각작업기억의 객체 기반 망각 특성을 보고하였다. 이들은 지연 회상 과제(delayed recall task)에서 여섯 개의 객체 기억 항목(색상+형태)으로 구성된 기억 배열을 제시하고, 기억 항목 중 하나가 위치하였던 자리에 작은 점 형태의 외인성 단서(exogenous cue)를 제시하였다. 이후 단서와 동일한 위치의 기억 항목에 대해 회상을 요구(일치 조건)하거나, 단서와 무관한 위치의 기억 항목에 대해 회상을 요구(불일치 조건)하였다. 그리고 단서와 동일한 위치에 제시되었던 항목의 표상에만 주의가 선택적으로 할당될 것을 가정하고, 주의가 할당되지 않은 표상의 망각 양상을 분석하기 위하여 불일치 조건의 회상 수행을 분석하였다. 그 결과, 불일치 조건에서 하나의 객체를 이루는 두 세부특징(색상과 형태)이 모두 기억되거나 혹은 모두 망각되는 경향이 나타났다. 이는 객체를 구성하는 두 세부특징이 서로 통합적으로 존재하며, 표상의 파지 과정에서 별도의 주의가 할당되지 않아도 이러한 결합이 유지될 수 있음을 보여 주었다.

반면 자원 가설은 하나의 객체를 이루는 세부특징이 서로 독립적으로 망각될 수 있음을 주장한다. Fournie와 Alvarez(2011)는 색상과 방위 정보를 지닌 이등변삼각형을 기억 항목으로 제시하여, 두 세부특징이 독립적으로 망각되는지 확인하였다. 구체적으로, 특정 방위를 가리키는 채색된 이등변삼각형 다섯 개를 기억 배열로 제시한 후, 그중 하나의 색과 방향을 차례로 회상하도록 참가자에게 지시하였다. 이때 회상 방법으로 색상환 과제와 이를 변형한 방위환 과제를 사용하였다. 이들은 세부특징 간의 독립성을 측정하기 위하여 한 세부특징에 대한 회상 수행이 저조한 시행(d' 값이 0° 보다 3 표준편차 이상 크거나 작은 경우)의 다른 세부특징 회상 수행을 분석하였다. 해당 세부특징의 기억 확률(P_m)을 추정하고, 이를 전체 시행의 기억 확률로 나누어 세부특징 독립성 지표(separability index, SI)를 산출하였다. 만일 두 세부특징이 완전히 독립적일 경우에는 한 세부특징의 회상 수행이 저조할 때에도 다른 세부특징의 수행은 일정할 것이기 때문에 1에 가까운 SI가 산출된다. 반대로 두 세부특징이 독립적이지 않다면, 0에 가까운 SI가

산출된다. 실험 결과, SI는 약 0.7로, 0 보다는 1에 가까운 것으로 나타났으며, 이를 통해 두 세부특징의 망각은 서로 독립적이라는 결론을 내렸다.

Fougnie와 Alvarez(2011)의 연구에서 한 가지 주목할 점은, 이들이 색상과 방위를 차례로 회상하도록 지시하였다는 점이다. 통합된 객체의 관점이 사실이라고 가정한다면, 항상 객체 단위의 표상만을 형성하는 것이 아닌, 과제 요구에 따라 전략적으로 단일 세부특징 표상을 독립적으로 저장하는 것이 가능할 수도 있다. 즉 색상과 방위를 따로 회상하는 과제가 참가자로 하여금 색상과 방위를 독립적으로 기억하도록 유도하였을 수 있다. Sone 등(2021)은 이러한 가능성을 염두에 두고 색상과 방위를 동시에 회상할 수 있는 색상환 과제를 고안하였다. 기존 색상환의 색상이 $0 \sim 360^\circ$ 의 각도에 따라 배열되었다면, 동시 선택이 가능한 색상환은 원주에서 원의 중심으로 갈수록 색상이 변화한다. 그리하여 각 색상이 하나의 동심원을 그린다. 이러한 경우 실제 자극 색상과 선택한 색상 간 거리는, 자극 색상이 그리는 원과 선택한 색상이 그리는 원 간의 반지름 차이에 해당한다. 한편 방위 선택의 경우 기존 방위환 과제와 동일하게 색상환상에서 이등변삼각형이 가리켰던 방향을 선택하면 되므로, 색상과 방위를 동시에 선택하는 것이 가능한 것이다.

Sone 등(2021)은 이러한 동시 선택 과제를 이용하여 Fougnie와 Alvarez(2011)의 실험과 유사한 절차로 실험을 진행하였고, 그 결과 객체를 구성하는 색상과 방위는 서로 통합적임을 발견하였다. 구체적으로, 어떠한 한 세부특징의 d 값을 절대값으로 바꾸어 크기순으로 정렬하고 이를 네 가지 집단으로 구간화(binning)하였다. 만약 두 세부특징이 서로 독립적이라면 다른 세부특징의 회상 수행이 구간별로 일정하여야 한다. 반대로, 만일 구간별로 다른 세부특징의 수행 수준이 다르다면, 특히 d 값이 작은 구간일수록 다른 세부특징의 수행이 높다면, 이는 두 세부특징이 통합적임을 보여주는 증거가 된다. 단, Sone 등(2021)은 회상 수행의 선명도 지표로써, $/d$ 값의 누적분포함수(cumulative distribution function)에서 곡선하면적(area under the curve, AUC)을 사용하였다. 완전 무작위 추측($/d$ 값의

확률밀도함수가 균일분포일 때)의 AUC 는 0.5에 가까우며, 0°에 가까운 $/d/$ 값의 비중이 커질수록 누적분포함수의 AUC 또한 커지기 때문에, AUC 는 전체 회상 수행의 선명도를 평가하는 지표로써 활용될 수 있다.¹⁾ 혼합 모형의 경우 기억에 대한 구체적 가정을 토대로 하며, 이러한 가정은 연구자 사이에서 논쟁거리가 되어 왔다. 그리하여 연구마다 다소 다른 혼합 모형이 활용되어 왔기 때문에 보다 객관적인 지표로써, 기억에 대한 특정한 모형을 가정하지 않는 AUC 를 도입한 것이다.

실험 결과, 구간별 AUC 는 서로 달랐으며 낮은 $/d/$ 값으로 구성된 구간일 수록 AUC 가 큰 것으로 나타나, 하나의 객체를 이루는 두 세부특징은 통합적으로 저장됨을 시사하였다. 더 나아가, Sone 등(2021)은 두 세부특징에 대한 회상을 순차적으로 실시하는 과제를 사용하여 다시 세부특징 간의 독립성을 확인하였다. 이 경우에도 두 세부특징은 통합적이었으나, 동시 과제를 사용한 경우에 비해 그 정도가 약한 것으로 드러났다. 그리하여 이들은 기본적으로 객체 단위의 표상 형성이 가능하나, 과제에 따라서 세부특징 단위의 표상을 형성할 수 있음을 주장하였다.

한편, 이처럼 서로 다른 결론을 도출한 두 연구는 한 가지 방법론적 한계를 공유하였다. 공통적으로 여러 개의 기억 항목을 제시한 후 그중 하나의 색상과 방위에 대해 회상을 요구하였는데, 각 저자가 밝혔듯 이러한 경우 기억 오류는 기억 항목을 공고화(consolidation; Vogel, Woodman & Luck, 2006)²⁾한 이후 망각에 의해 발생한 것이 아닌, 부호화(encoding) 혹은 공고화 과정에서의 실패에 의한 것일 수 있다. 모든 세부특징이 동일한 효율로 부호화 및 공고화 되는 것은 아니다. 참가자마다 각각의 세부특징에 대한 민감성이 다를 수 있으며, 초기 지각 과정에서 개별 세부특징이 처리되는 과정 또한 동일하지 않을 수 있다(Miller, Becker & Liu, 2014; Scolari, Vogel & Awh, 2008). 그리하여 여러 개의 기억 항목이 제시될

1) AUC 는 $/d/$ 값의 분포에서 항목을 기억하는 경우와 기억하지 못한 경우를 구분하지 않고 모두를 아우르는 기억의 선명도(precision)를 나타낸다는 점에서, 항목을 기억하고 있을 때의 표상 선명도를 나타내는 $s.d.$ 와 구분된다.

2) 시각작업기억의 공고화는 지각적 표상이 다른 감각 정보의 간섭에도 쉽게 망각되지 않도록 이를 공고히 하여, 작업기억의 표상으로 변형시키는 과정을 말한다.

때 각 항목의 세부특징이 항상 안정적으로 공고화될 수 있는지 단언하기 어렵다. 가령, 항목 개수가 많을 때에는 짧은 제시 시간에 의해 미처 특정 항목을 공고화하지 못할 수도 있지만, 이러한 기억 오류는 두 세부특징이 통합적으로 망각될 수 있다는 하나의 근거로도 해석될 수 있다. 반대로, 특정 세부특징에 대한 공고화가 효율적이지 못하여 객체의 두 세부특징 중 하나만을 공고화할 수 있었을 때에는, 기억 오류가 세부특징의 독립적 망각을 의미하는 것으로 오인될 수 있다. 실제로, Fournie와 Alvarez(2011)의 실험 1에서 측정된 무작위 추측확률(P_g)은 색상 보다는 방위 회상 시 더욱 유의하게 높았다.

제5절 본 연구의 개요

본 연구는 두 세부특징 간의 독립성과 표상의 선명도를 측정함으로써 시각작업기억 표상의 특성에 대한 시사점을 얻고자 하였다. 특히 실험 1에서는 부호화 혹은 공고화 단계에서의 기억 실패를 줄이고자 앞선 두 연구와는 다른 방식으로 기억 항목을 제시하고 회상을 요구하였다. 전체 시행에 걸쳐 기억 항목(색상과 방위로 구성된 객체) 개수를 세 개로 고정하였으며, 그중 가운데 항목(표적 항목)에 대한 회상 수행을 주요 분석 대상으로 삼았다. 매 시행 회상을 두 번 요구하였는데, 먼저 표적 항목의 양옆에 위치한 2개의 기억 항목(간섭 항목) 중 하나에 대해 회상한 이후 가운데 표적 항목에 대한 회상을 요구하였다. 표적 항목의 경우 매 시행 회상이 요구되며 응시점이 제시되었던 가운데에 위치하기 때문에, 참가자가 우선적으로 이를 공고화할 가능성이 높다(Schmidt et al., 2002). 그리고 이후 다른 항목(간섭 항목)에 대해 처리되는 공고화와 회상 과정은 그 자체로 표적 항목 표상에 대한 간섭(interference)을 유발하게 된다(Woodman & Vecera, 2011). 이러한 간섭으로 인해 표적 항목의 표상이 망각될 때에는 두 세부특징이 독립적으로 망각되는지, 혹은 함께 망각되는지 확인할 수 있다.

이어서, 실험 2에서는 세 개 혹은 다섯 개의 기억 항목을 제시하고 그중

하나에 대한 회상을 요구하였다. 두 선행 연구 Fougny와 Alvarez(2011), Sone 등(2021)은 이와 같은 방식의 기억 과제를 사용하였으나, 서로 상반된 결과를 도출한 바 있다. 그리하여, 실험 2에서는 세부특징 간의 독립성과 항목 간 표상의 선명도 차이에 주목하여 앞선 결과에 대한 재검증을 시도하였다.

더욱이, 실험 1, 실험 2 모두 키보드를 조작하여 기억 항목의 정확한 색상과 방위를 동시에 선택할 수 있는 동시 회상 과제를 사용하였다([그림 2] 참조). 회상 과제의 시작과 함께, 무작위로 색상과 방위가 부여된 이등변삼각형이 제시되면 참가자는 키보드로 색상과 방위를 조정하여 정확한 색상과 방위를 선택할 수 있다. 색상과 방위를 동시에 조작할 수 있게 설정함으로써, 세부특징 독립 저장을 유발할 수 있는 순차 회상 과제의 문제를 방지하였다.

이와 함께, 참가자가 회상을 위해 색상과 방위를 조정하는 과정에서 발생하는 키보드 반응 자료를 실시간으로 기록하였다. 이를 통해 표적 항목에 대한 매 시행 참가자의 반응 자료에서 통합된 객체 가설을 뒷받침할 수 있는 조작 패턴이 발견되는지 확인하였다. 만약 시각작업기억의 표상이 객체가 아닌 독립적인 세부특징이라면, 본 연구에서 사용된 회상 과정은 단순히 각각의 기억하고 있는 세부특징을 독립적으로 맞추는 작업에 불과할 것이다. 반면에 표상이 세부특징의 결합으로 이루어진 객체 형태라면, 회상 과정에서 두 세부특징이 결합되어 있는 형태에 대한 느낌을 토대로 두 세부특징을 ‘조율’함으로써 실제 객체에 가깝게 기억 항목을 재현해낼 수 있을 지도 모른다.

예를 들어, 회상 과제가 시작되고 초기에 대략적으로 기억 항목의 세부특징 형태를 맞추게 되면, 그 상태의 세부특징 간 결합이 실제 결합과 얼마나 상이한지, 어떠한 추가적인 정보를 얻을 수 있게 된다. 이러한 정보는 두 세부특징을 더욱 정밀하게 조정할 수 있는 추가적인 단서가 될 수 있기 때문에, 참가자는 이를 토대로 두 세부특징을 세밀하게 조율하여 객체의 결합양상을 선명하게 재현한다. 본 연구에서는 이러한 ‘조율’의 과정을 반영할

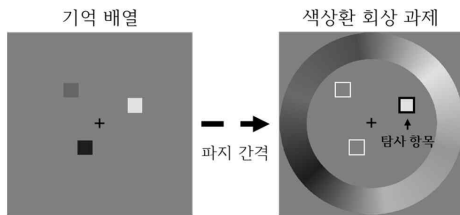
수 있는 ‘조울 패턴’을 키보드 반응의 맥락에서 정의하고, 이러한 조울 패턴이 나타난 시행(조울 시행)과 그렇지 않은 시행을 분류하였다.

만약 조울 패턴이 실제 객체 표상에 근거한 조울 과정을 반영한다면, 참가자는 해당 시행에서 자신의 회상 결과에 대해 보다 높은 확신도(confidence)를 가질 것으로 예상된다. 이에 따라 매 시행 표적 항목에 대한 회상 선택이 마무리되면, 참가자로 하여금 표적 항목의 두 세부특징 각각에 대한 회상 확신도를 평정하도록 하였다. 그리고 조울 시행의 평균 확신도와 전체 시행의 평균 확신도를 비교함으로써, 조울 패턴이 실제 조울 과정에 의한 것인지 혹은 우연에 의한 것인지 확인하였다.

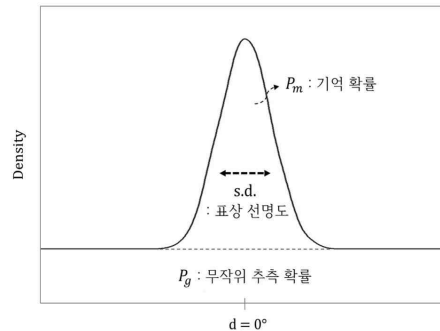
본 연구의 실험에서 도출될 수 있는 결과에 대해 정리하자면 다음과 같다. 만일 시각작업기억의 표상 특성에 대해 슬롯 가설이 주장하는 바가 사실이라면 실험 1과 2에서 두 세부특징의 망각 여부는 서로 통합적일 것이다. 그리하여 색상 혹은 방위의 회상 수행 수준이 높은 시행과 낮은 시행을 비교하여 보았을 때, 다른 세부특징 회상 수행(AUC 혹은 P_m) 간에는 차이가 있을 것이다. 더 나아가, 슬롯 가설은 표상의 선명도($s.d.$)가 항목 간 일정한 것으로 가정하기 때문에, 실험 2에서는 항목 개수(setsize) 조건에 따른 선명도 차이가 발견되지 않을 것이다. 또한, 각 세부특징에 대한 확신도 평정 결과는 조울 시행이 전체 시행에 비해 높을 것이다.

반대로 자원 가설이 사실일 경우, 실험 1과 실험 2의 두 세부특징 망각 여부는 서로 독립적일 것이다. 그리고 실험 2에서는 항목 개수 조건에 따라 표상의 선명도가 다를 것으로 짐작되는데, 특히 항목 개수 세 개 조건에 비해 다섯 개 조건의 선명도가 낮을 것으로 예상된다. 각 항목에 할당되는 기억 자원의 양은, 기억 항목 세 개 조건에 비해 다섯 개 조건에서 더욱 적을 것이기 때문이다. 또한, 조울 패턴은 실제 조울 과정을 반영하지 않으므로, 조울 시행과 전체 시행 간의 확신도 점수는 다르지 않을 것으로 예상된다.

(가)



(나)



[그림 1] (가) 색상환 회상 과제 절차의 예. 참가자는 기억 배열의 색상을 모두 기억하고, 이후 검은 사각형으로 표시된 위치에 제시되었던 기억 항목의 정확한 색상을 색상환 상에서 마우스로 선택하여야 한다. (나) 혼합 모형(mixture model; Zhang & Luck, 2008)의 구성 요소. 가로축은 실제 기억 항목의 색상과 참가자가 선택한 색상 간의 거리(색상환 상의 각도 차이)이며, 색상 간 거리는 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 사이에 분포한다. 세로축은 확률밀도함수의 확률 밀도를 나타낸다. 혼합 모형은 참가자가 탐사 항목을 기억하였을 때 나타나는 확률 분포(폰 미제스 함수)와 탐사 항목을 기억하지 못하여 무작위 추측(random guessing)하였을 때의 확률 분포(균일 분포)가 결합된 형태이다. 그리하여 폰 미제스 함수 성분의 확률은 탐사 항목을 기억할 확률(P_m)에 해당하며, 폰 미제스 함수의 표준 편차($s.d.$)는 탐사 항목을 기억하였을 때 표상의 선명도(precision)를 나타낸다.

제2장 실험 1

제1절 방법

참가자

실험 1에는 만 20 ~ 27세의 13명(여: 9)이 참여하였으며, 모두 정상 색지각 및 정상(교정)시력을 보고하였다. 이들은 참가동의서에 서명한 후 실험을 수행하였고, 추후 실험 참가에 따른 소정의 사례비를 지급 받았다. 다만 분석에는 10명의 데이터만이 사용되었는데, 특정 세부특징에 대한 전체 회상 수행이 무작위 추측(random guessing) 수준을 넘어서지 못한 2명과 과제를 설명된 바와 다르게 수행한 1명의 데이터가 제외되었다.

자극 및 절차

실험은 MATLAB(The MathWorks, Natick, MA) 프로그램 기반의 Psychophysics Toolbox로 구현되었으며, 실험 화면은 24인치 LCD 모니터(화면 주사율 60Hz)에 회색 배경(RGB:128, 128, 128)으로 제시되었다. 모니터와 피험자 간의 거리는 약 60cm이었다. 또한 참가자가 기억하여야 했던 기억 항목으로 색상과 방위 정보를 가진 이등변삼각형이 사용되었다($1.8^{\circ} \times 0.96^{\circ}$). 각각 360가지 중 하나의 색상값(HSV 색공간에서 채도와 명도가 최대인 $1^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 사이의 색상값)과 방위값($1^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 사이의 회전각도)이 무작위 선택되어 이에 부여되었다.

실험 1에서 사용된 기억자극과 과제의 절차는 [그림 2]에 도해진 바와 같다. 매 시행은 조음 억제 과제(articulatory suppression)로 시작되었다. 응시점 위에 '1 2 3 4', 혹은 'a b c d'가 제시되면, 참가자는 기억 항목 배열이 출현하였다 사라진 이후, 회상 과제 화면이 나타날 때까지 이러한

문자열을 소리내어 반복적으로 되뇌었다. 이는 조음을 이용하는 부호화 전략을 억제하기 위함이었다. 문자열은 500ms 지속되다 사라졌고, 다시 500ms의 공백 이후에는 기억 배열(memory array)이 500ms 동안 제시되었다. 실험 1의 기억 배열은 [그림 2]와 같이 세 개의 이등변삼각형 기억 자극으로 구성되었다. 하나의 배열을 이루는 자극들의 색상값과 방위값은 서로 60° 이상 차이하도록 배치되었으며, 참가자는 세 기억 자극 각각의 색상과 방위를 기억하여야 했다. 기억 배열이 사라진 이후에는 자극의 잔상을 제거하기 위한 차폐 자극이 200ms 동안 제시되었다. 그리고 800ms 동안 공백이 유지된 이후에는 앞선 기억 항목에 대한 회상 과제가 제시되었다.

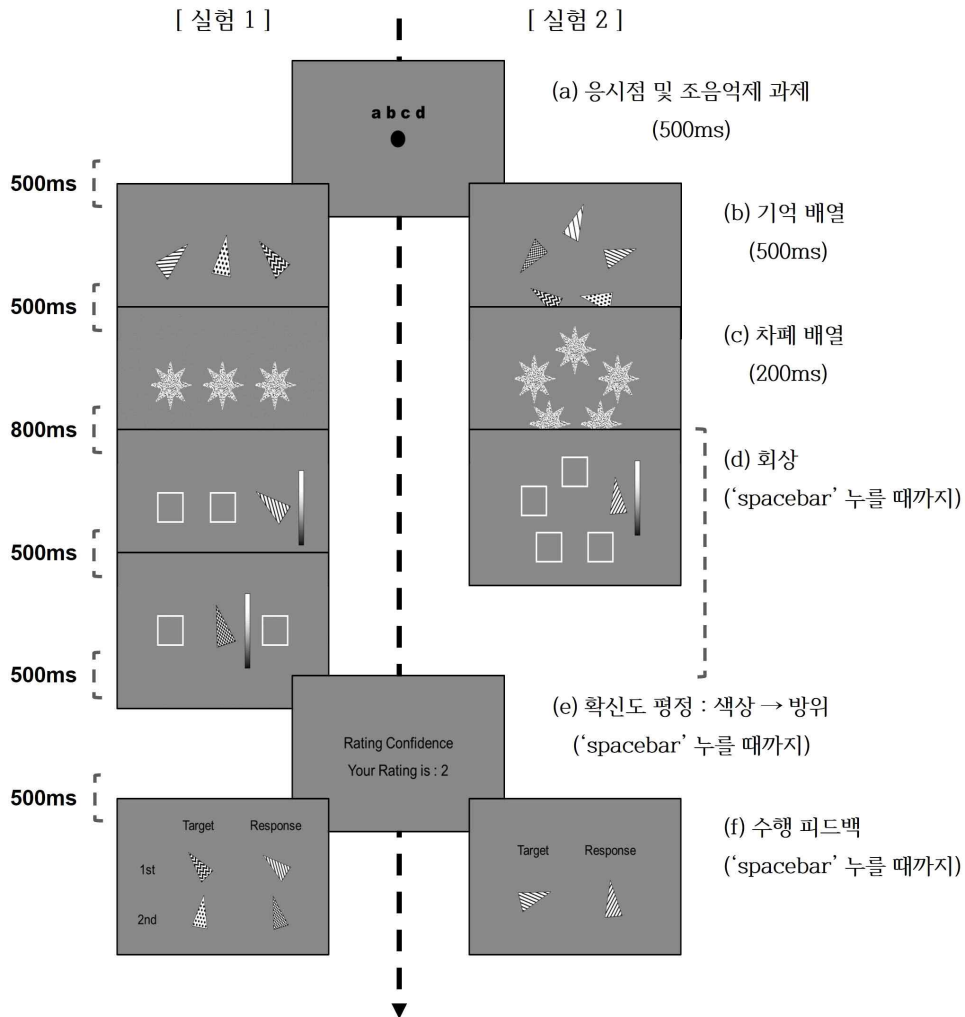
회상 과제는 매 시행 두 번씩 제시되었는데, 첫 번째 회상 과제에서는 앞서 제시된 세 개의 기억 항목 중 왼쪽으로부터 첫 번째, 그리고 세 번째 위치한 항목(간접 항목) 중 하나의 색상과 방위를 맞추도록 지시하였다. 이와 달리, 두 번째 회상 과제에서는 항상 두 번째 기억 항목, 즉 가운데에 위치하였던 기억 항목(표적 항목)에 대한 회상을 요구하였다.

색상과 방위의 회상은 키보드 조작을 통해 수행되었는데, 각각 키보드 네 개의 키(색상 : Q, W, E, R, 방위 : *, 9, 6, 3)를 사용하여 회상 요구된 자극의 정확한 색상과 방위를 맞추어야 했다. 구체적으로, [그림 2]와 같이 참가자가 회상하여야 하는 기억 항목의 위치에 이등변삼각형과 컬러바가 제시되었다. 이때, 색상을 조정하는 버튼 ‘*’, ‘9’, ‘6’, ‘3’은 차례로 컬러바 상에서 ‘10단계 위로’, ‘1단계 위로’, ‘1단계 아래로’, ‘10단계 아래로’ 이동하는 버튼으로 기능하였다. 컬러바는 총 360단계의 색으로 구성되었기 때문에 조작에 소요되는 시간을 단축시키기 위해, 참가자가 먼저 10단계 조정 버튼으로 대략적인 색상을 맞추고 1단계 조정 버튼으로 세부조정할 수 있도록 조치한 것이다. 방위 조작법 또한 색상 조작과 다르지 않았다. ‘q’, ‘w’, ‘e’, ‘r’이 각각 반시계 방향, 시계 방향으로의 10단계/1단계 조정 버튼으로 기능하였다. 조정 버튼으로 색상과 방위를 맞춘 후 ‘spacebar’를 누르면 조정된 색상·방위값이 최종 회상 선택으로 결정되었다. 이러한 회상 선택에는 별도의 시간제한을 두지 않았으며, 간접 항목과 표적 항목에 대한

두 번의 회상은 모두 동일한 방식으로 수행되었다. 또한 회상 과정에서 발생하는 모든 키보드 버튼의 입력은 실시간으로 기록되었다.

두 번의 회상이 모두 끝나면, 표적 항목의 회상에 대한 확신도 평정(confidence rating)이 진행되었다. 참가자로 하여금 선택한 색상과 방위에 대한 확신도를 0~3점 범위에서 평정하도록 지시하였으며, 기억이 불확실할수록 0점, 명확할수록 3점의 확신도를 선택하도록 하였다. 이러한 확신도 평정은 모두 색상과 방위 순으로 진행되었다. 그리고 매 시행의 마지막은 수행 피드백 제공으로 마무리되었다. 회상 요구된 두 개의 실제 기억 항목과 회상 선택된 두 항목을 참가자에게 보여줌으로써, 참가자는 회상의 수행 수준을 가늠할 수 있었다.

전체 실험은 이처럼 동일한 192개의 시행으로 구성되었으며, 총 4개의 구획(각 48시행)으로 나뉘었다. 각 구획이 끝난 후에는 최소 1분의 쉬는 시간이 참가자에게 주어졌으며, 구획의 중간(24시행)에는 최소 30초의 쉬는 시간이 부여되었다. 본 실험 전에는 참가자가 과제에 적응할 수 있도록 24시행의 연습 시행이 제공되었다.



[그림 2] 실험 1 & 2에서 사용된 매 시행의 절차. 실험은 (a) ~ (f) 순서대로 진행되었으며, 기억 항목인 이등변삼각형의 서로 다른 무늬는 서로 다른 색상으로 채색되었음을 의미한다. 실험 1의 경우, 기억 항목을 3개 제시한 후 그중 가운데 항목(두 번째 회상)과 양옆의 항목 중 하나(첫 번째 회상)에 대한 회상을 요구하였다. 이와 달리, 실험 2에서는 3개 혹은 5개의 기억 항목을 제시한 후, 그중 하나에 대한 회상을 요구하였다.

제2절 결과 및 논의

Fougnie와 Alvarez(2011)는 탐사 항목이 아닌 다른 기억 항목을 잘못 회상 보고할 확률을 고려하여 혼합 모형을 변형한 교환 모형(swap model; Bays, Catalao & Husain, 2009)을 사용한 바 있다. 본 실험에서도 참가자가 탐사 항목이 아닌 다른 항목을 잘못 보고하였을 가능성을 고려하여, 혼합 모형과 교환 모형 중 실험 1의 자료에 더욱 적합한 모형이 어떠한 것인지 비교하여 보았다(Oberauer, 2021). 모형 비교를 위한 기준으로 AIC(Akaike information criterion; Akaike, 1974)와 BIC(Bayesian information criterion; Schwarz, 1978)를 활용하였다([표 1] 참조). 그 결과, Zhang과 Luck(2008)의 혼합 모형이 더 적합한 것으로 드러났다. 그리하여 실험 1의 자료를 기반으로 Zhang과 Luck(2008)이 제안한 혼합 모형의 매개변수(P_m , $s.d.$)를 산출하였고, Sone 등(2021)이 제안한 누적분포함수의 AUC 를 계산하여, 회상 수행의 지표로 활용하였다. 이때, 모형 비교와 혼합 모형의 매개변수 추정에는 시각작업기억의 특성을 연구하기 위해 개발된 'MemToolbox'(Suchow et al., 2013)를 사용하였다. 이렇게 산출된 색상과 방위에 대한 회상 수행 지표의 기술통계량을 [표 2]와 [그림 3]에 정리하였다.

우선 두 세부특징 간 기억의 독립성을 확인하기 위하여 시행별로 색상과 방위의 d' 값이 짝지어진 데이터를 구간화하였다. 예를 들어 색상 $/d'$ 의 크기 순으로 자료를 정렬하고, 이를 두 구간(색상 기억 상위 집단 vs 하위 집단)으로 절반씩 나누었다. 그리하여 각 구간별 방위의 회상 지표인 AUC , P_m , $s.d.$ 를 계산하였다. 이러한 구간화를 색상 뿐 아니라 방위를 기준으로 재차 실시하였다. 그 후 구간화 기준(색상 vs 방위) 및 구간(상위 집단 vs 하위 집단) 두 변인이 회상 지표(AUC , P_m , $s.d.$)에 미치는 영향을 분석하기 위해, 반복측정에 기초한 이원분산분석(two-way repeated measures ANOVA)을 수행하였다. 분석 결과, AUC , P_m 그리고 $s.d.$ 에 대한 구간화 기준 X 구간의 상호작용 효과와 구간화 기준의 주효과는 관찰되지 않았으

나, 구간의 주효과는 AUC 와 P_m 에 한하여 통계적으로 유의하였다, (AUC , P_m 각각) $F(1, 9) = 8.64$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .49$, $F(1,9) = 11.66$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .56$. 즉, 구간화가 어떠한 세부특징을 기준으로 수행되었는지와 무관하게, 한 세부특징의 수행이 높은 시행에서는 다른 세부특징의 회상 수행 또한 높았던 것으로 나타났다([그림 4] 참조). 단, 표상의 선명도는 다른 세부특징의 수행 수준과 관계없이 일정한 것으로 드러났다, $F(1, 9) = 0.07$, $p = .81$, $\eta_p^2 = .01$.

다음으로 세부특징 종류(색상 vs 방위) 및 항목 종류(표적 항목 vs 간섭 항목) 변인의 회상 지표(AUC , P_m , $s.d.$)에 대한 효과를 통계적으로 검증하기 위해 반복측정에 기초한 이원분산분석을 실시하였다. AUC , P_m , $s.d.$ 에 대한 세부특징 종류 X 항목 종류의 상호작용 효과는 모두 유의하지 않았고, 세부특징 종류의 주효과는 AUC 에 대해서만 유의하였다, $F(1, 9) = 5.20$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .37$. 또한 항목 변인의 경우 그 주효과가 모든 기억 지표에 대해서 유의하지 않은 것으로 나타났다, (AUC , P_m , $s.d.$ 각각) $F(1, 9) = 0.26$, $p = .63$, $\eta_p^2 = .03$, $F(1,9) = 0.05$, $p = .83$, $\eta_p^2 = .01$, $F(1,9) = 0.47$, $p = .51$, $\eta_p^2 = .05$. 정리하자면, 색상(.81±.01)에 대한 회상의 선명도(AUC)가 방위(.72±.03) 회상에 비해 높았으며, 기억 확률(P_m), 회상의 선명도(AUC), 표상의 선명도($s.d.$) 모두 표적 항목과 간섭 항목 간 차이가 없었다([그림 5] 참조).

더 나아가, 실험 1의 회상 반응 자료에서 결합 객체 표상에 근거한 ‘조율’ 과정이 나타나는지 탐색하였다. 이를 위해 본 연구에서는 조율 과정을 드러내는 것으로 추정되는 ‘조율 패턴’을 다음과 같이 정의하였다. 참가자가 먼저 조정을 시작하는 세부특징을 특징1, 뒤이어 조정하는 세부특징을 특징2라고 할 때, 먼저 특징1 조정이 시작되고, 뒤이어 특징2가 조정되면서 특징1의 조정이 멈춘다. 이후 특징1에 대한 조정이 멈춘 지 최소 2초가 지난 이후에 특징1에 대한 조정이 다시 진행된다면, 두 세부특징 간의 조율이 수행된 것이다. 이는 참가자가 각각의 세부특징을 어느 정도 조정한 후, 두 세부특징의 결합에 대한 정보를 토대로 조율을 진행하는 과정을 키보드 조

작의 맥락에서 정의한 것이다. 해당 정의에서 2초의 시간 조건이 제시된 것은, 단순히 두 세부특징을 독립적으로 조정하되 이를 시간상으로는 동시에 수행하는 ‘동시 조작 반응’과 조율에 의한 반응을 구분하기 위함이다.

이와 같은 정의에 기반하여, 참가자별로 매 시행의 회상 반응 자료에서 조율 패턴이 나타난 시행을 분류하였다. 그 결과, 조율 패턴이 나타난 ‘조율 시행’은 전체 시행의 평균 15.16%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 조율 시행이 실제 조율 과정을 반영하는지 확인하기 위해, 먼저 자기평정(self-rating)에 기초한 확신도 점수 자료의 타당성을 확인한 후, 조율 시행과 전체 시행 간의 세부특징별 확신도 점수 차이를 비교하여 보았다.

먼저 참가자가 회상 수행에 대한 확신도를 변별력 있게 평정하였는지 확인하기 위해 Mauchly의 구형성(Sphericity) 검정을 수행하고, AUC 에 대한 세부특징 종류(색상 vs 방위)와 확신도(0, 1, 2, 3) 변인의 효과를 반복측정에 기초한 이원분산분석을 통해 검증하였다. 그 결과, 세부특징 종류 \times 확신도의 상호작용 효과와 세부특징 종류의 주효과는 관찰되지 않았다. 그러나 AUC 에 대한 확신도의 주효과는 구형성 가정을 충족하였으며($\chi^2(5) = 9.09, p > .05$), 통계적으로도 유의하였다, $F(3, 21) = 33.69, p < .001, \eta_p^2 = .83$. 이에 따라 Bonferroni 방법으로 확신도 구간별 AUC 의 차이를 구체적으로 확인한 결과, 확신도 $0(.62 \pm .02)$ 과 확신도 $1(.70 \pm .04)$ 간에는 차이가 없었지만, 확신도 1과 확신도 $2(.80 \pm .03)$, 그리고 확신도 2와 확신도 $3(.88 \pm .02)$ 간에는 유의한 AUC 차이가 확인되었다(모두 $P < .05$), 이러한 결과는 참여자 스스로 평가하는 확신도가 실제 기억의 선명도에 따라 변별력 있게 평정됨을 시사한다([그림 6] 참조).

다음으로 조율 시행과 전체 시행 간의 세부특징별 확신도 점수 차이를 확인하기 위해, 확신도 점수에 대한 시행 종류(조율 시행 vs 전체 시행)와 세부특징 종류(색상 vs 방위)의 효과를 반복측정에 기초한 이원분산분석을 통해 분석하였다. 분석 결과, 시행 종류 \times 세부특징 종류의 상호작용 효과와 변인 각각의 주효과가 모두 관찰되지 않았다. 즉, 참가자들이 조율 시행과 전체 시행에서 평정한 색상, 방위 각각에 대한 확신도는 서로 다르지 않

았다.

실험 1의 결과를 정리하자면, 먼저 한 세부특징의 회상 수행이 높은 시행에서 다른 세부특징의 회상 수행 또한 높았던 것으로 나타나, 두 세부특징 간의 종속성(통합성)이 확인되었다. 또한, 회상의 선명도와 기억 확률은 방위에 비해 색상 회상 시에 더욱 높았는데, 이는 상대적으로 색상 보다는 방위 정보를 공고화하거나 파지하는 것이 어려움을 시사한다.

실험 1의 기억 배열은 참가자로 하여금 표적 항목에 더욱 초점을 맞추어 이를 우선적으로 공고화하도록 유도할 가능성이 높다. 표적 항목은 앞서 응시점이 제시되었던 위치에 출현하였으며 모든 시행에 걸쳐 항상 회상 요구되었기 때문에, 시야의 좌우에 위치하였고 절반의 확률로 회상 요구된 간접 항목에 비해 더욱 주목을 받게 된다. 그러나 실제로 표적 항목과 간접 항목 간에는 기억 확률과 회상 선명도의 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 간접 항목에 비해 표적 항목에 더욱 강한 간접 효과가 작용하였기 때문일 수 있다.

Woodman과 Vecera(2011)에 따르면, 어떠한 객체 표상에 접근하여 이를 인출하는 과정은 다른 객체 표상에 간접으로 작용한다. 첫 번째 객체 항목에 대한 재인 수행 이후 다른 객체 항목에 대한 재인을 요구할 경우, 두 번째 항목에 대한 기억 수행이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 표적 항목이 간접 항목에 뒤이어 회상되므로, 간접 항목 표상에 비해 표적 항목 표상에 가해지는 간접의 강도가 더욱 컸을 것으로 짐작된다. 그리하여 표적 항목이 우선적으로 공고화되었음에도 간접에 의해 이러한 기억상의 이득이 상쇄되었을 가능성이 있다.

더불어, 표적 항목과 간접 항목의 *s.d.* 또한 서로 다르지 않았다. 이는 특정 표상에 대해 자원을 집중시켜 다른 표상에 비해 높은 선명도를 확보하는 방법이 가능하지 않음을 보이는 슬롯 가설의 주장에서 벗어나지 않는 결과이다. 반면에, 표상의 선명도가 일정하지 않음을 가정하는 자원 가설의 관점에서도 납득하기 어려운 결과는 아니다(Fougnie, Suchow & Alvarez, 2012). 표적 항목에 보다 많은 기억 자원을 집중시킴으로써 높은 선명도의

표상을 형성하였지만, 뒤이어 발생하는 간섭의 영향으로 선명도가 저하되었을 가능성이 존재하기 때문이다(Pertzov, Manohar & Husain, 2017).

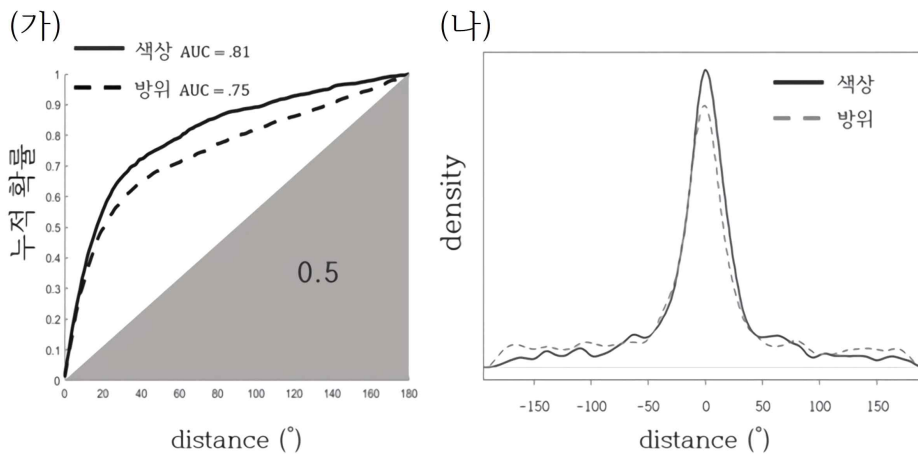
비록 회상 반응 자료에서 통합된 객체 관점을 뒷받침하는 추가적인 증거를 밝혀내지 못하였고, 각 결과는 상충하는 두 가설에 의해 모두 설명될 수 있는 여지가 존재하지만, 세부특징 간의 통합성이 드러났다는 점에서 실험 1의 결과는 슬롯 가설이 제안하는 바와 같이 시각작업기억의 표상이 통합된 객체 형태임을 시사한다.

실험	세부특징	모형	평균 AIC(표준편차)	평균 BIC(표준편차)
실험 1	색상	혼합	1970.71(± 160.95)	1980.90(± 160.95)
		교환	1972.71(± 160.95)	1987.99(± 160.95)
	방위	혼합	1989.42(± 249.08)	1999.61(± 249.08)
		교환	1991.43(± 249.09)	2006.71(± 249.09)
실험 2	색상	혼합	2546.73(± 104.92)	2557.37(± 104.92)
		교환	2548.73(± 104.92)	2564.69(± 104.92)
	방위	혼합	2660.94(± 78.59)	2671.58(± 78.59)
		교환	2662.94(± 78.59)	2678.90(± 78.59)

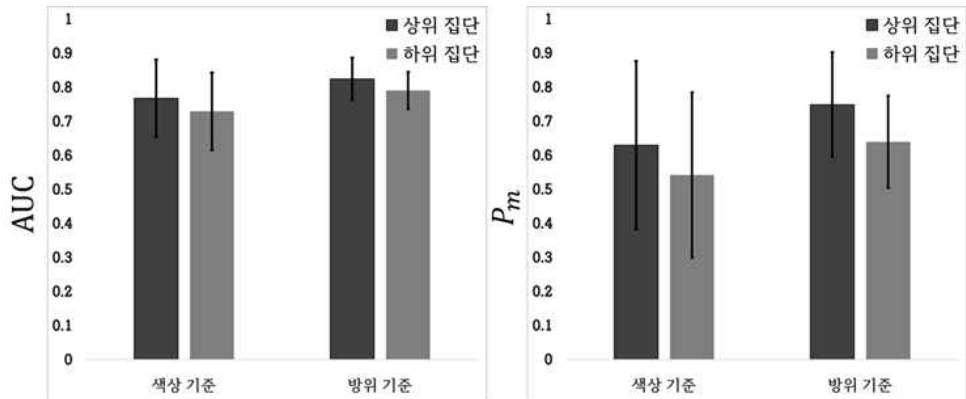
[표 1] AIC와 BIC를 이용한 모형 적합도 비교. 각 참가자 자료에 대해 모형별 AIC와 BIC를 계산하고, 이에 대한 평균을 표에 기재하였다. AIC와 BIC는 모두 모형 적합도(goodness of fit)를 비교하는 기준으로 활용되며, 더욱 값이 작은 모형이 더욱 적합한 모형이다. AIC와 BIC는 모형이 복잡할수록 값이 커지는 것이 특징인데, 특히 BIC가 모형의 복잡성에 더욱 민감하다. 모형 비교 결과, 실험 1과 실험 2 모두 Zhang과 Luck(2008)의 혼합 모형이 교환 모형(Bays, Catalao & Husain, 2009) 보다 더 적합한 것으로 나타났다.

세부특징	Setsize	Memory Index	평균(표준편차)
색상	3	P_m	0.68(± 0.20)
	3	$s.d.$	18.54(± 2.01)
방위	3	P_m	0.57(± 0.35)
	3	$s.d.$	19.07(± 7.73)

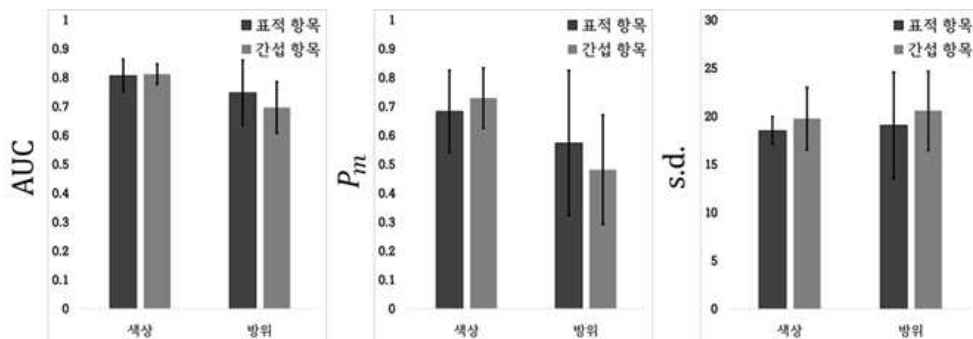
[표 2] 실험 1의 표적 항목에 대한 각 세부특징별 회상 수행.



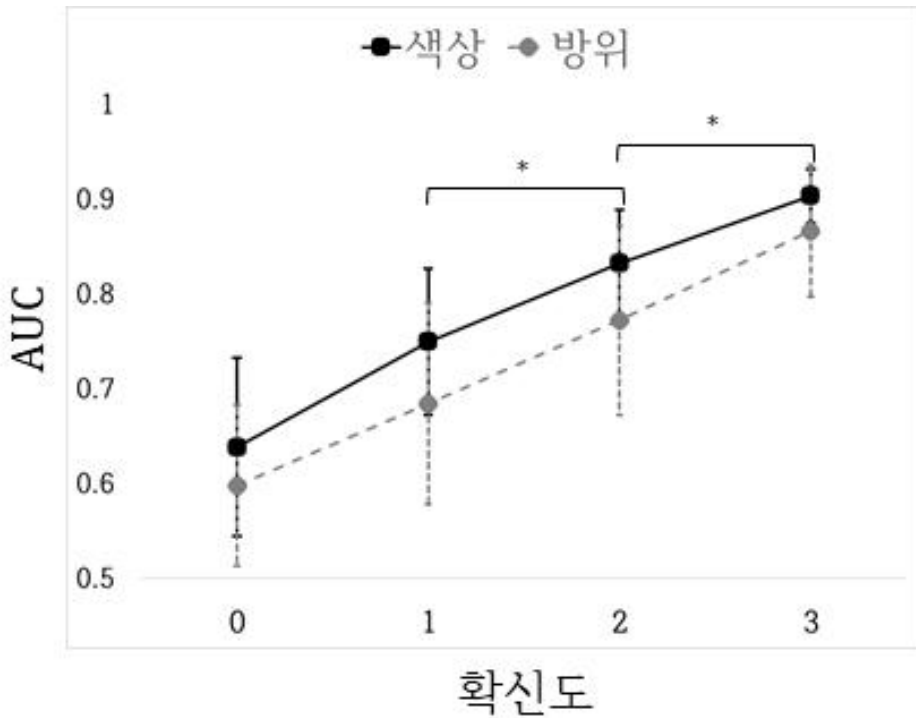
[그림 3] 실험 1의 각 세부특징별 (가) 누적분포함수와 (나) 확률밀도함수. (가)는 색상과 방위에 대한 회상 수행으로 수집된 d 자료의 누적분포함수이며, 곡선하면적(AUC)은 회상 수행의 선명도를 나타낸다. 참가자가 전체 시행에서 무작위 추측 반응을 기록하였을 경우, AUC는 약 0.5의 값을 가지게 되며 0에 가까운 d 의 비중이 높을수록, 즉 기억 수행이 정밀할수록 AUC는 0.5 보다 커진다. (나)는 색상과 방위 회상으로 수집된 d 의 확률 밀도함수이며, 가로축이 나타내는 d 는 $-180^\circ \sim 180^\circ$ 사이의 범위를 갖는다.



[그림 4] 실험 1의 구간화 기준 X 구간 집단 조건별 회상 수행. AUC 와 P_m 모두 상위 집단과 하위 집단의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 한 세부특징에 대한 회상 수행이 높을 때, 다른 세부특징에 대한 회상 수행 또한 높음을 의미하여, 하나의 객체를 이루는 두 세부특징이 서로 통합적임을 시사한다. 오차 막대(error bar)는 95% 신뢰구간을 나타낸다.



[그림 5] 실험 1의 항목 종류 X 세부특징 조건별 회상 수행. 색상과 방위 간에는 유의한 AUC 의 차이가 관찰되었지만, 표적 항목과 간섭 항목 간에는 AUC , P_m , $s.d.$ 모두 차이가 없었다. 오차 막대는 95% 신뢰구간을 나타낸다.



[그림 6] 실험1의 세부특징 X 확신도 수준 조건별 회상 수행. *AUC*가 확신도 수준에 따라 다른 것으로 나타났다. 확신도 1과 2, 확신도 2와 3 간의 차이가 통계적으로 유의하였다. 이는 참가자가 자신의 기억을 스스로 변별력 있게 평가할 수 있음을 보여준다. 오차 막대는 95% 신뢰구간을 나타낸다. (* $p < .05$)

제3장 실험 2

실험 1의 결과는 두 세부특징이 서로 독립적이지 않음을 보임으로써 객체 기반의 표상 가능성을 시사하였다. 실험 2에서는 Zhang과 Luck(2008), Fougny와 Alvarez(2011), 그리고 Sone 등(2021)의 기억 과제와 유사하게, 기억 항목을 여러 개 제시한 후, 그중 무작위로 하나를 회상 요구하는 과제를 사용하였다. 이를 통해 서로 상충하는 결과를 드러낸 선행 연구를 재검증하고, 선행 연구가 서로 다른 결과를 도출하게 된 원인을 모색하였다.

제1절 방법

참가자

실험 2에는 만 19 ~ 26세의 14명(여: 10)이 참여하였으며, 모두 정상 색지각 및 정상(교정)시력을 보고하였다. 이들은 실험 1에는 참여한 바 없으며, 참가동의서에 서명한 후 실험을 수행하였고, 추후 실험 참가에 따른 소정의 사례비를 지급 받았다. 단, 특정 조건의 수행이 저조하였던 4명의 자료는, 혼합 분포에 기초한 매개변수 추정에 문제가 되었기 때문에 분석 대상에서 제외되었다(김대규, 현주석, 2019; Ma, 2018). 그리하여 결과 분석에는 10명의 자료가 사용되었다.

자극 및 절차

실험 2에서 사용된 자극과 절차는 몇 가지 사항을 제외하고 실험 1과 동일하였다. [그림 2]에 도해된 바와 같이, 실험 1과 동일하게 ‘조음억제 과제 - 기억 배열 제시 - 파지 간격 - 회상 수행 - 확신도 평정 - 수행 피드백

제공'의 순서로 매 시행 과제가 진행되었다. 다만, 기억 배열은 항목 개수 조건(3개 vs. 5개)에 따라 세 개 혹은 다섯 개의 기억 항목으로 구성되었으며, 회상은 기억 항목(3개 혹은 5개) 중 하나에 대해 한 번만 요구되었다. 그 외 실험 2에서 사용된 자극의 형태와 매 시행의 과제 절차는 실험 1과 동일하였다.

전체 실험은 총 240개의 시행으로 구성되었고, 총 4개의 구획(각 60시행)으로 나뉘었다. 2개의 구획(총 120시행)이 이루는 실험 2의 절반은 '항목 개수 세 개 조건', 나머지 절반은 '항목 개수 다섯 개 조건'에 해당하였다. 이러한 항목 개수 조건의 순서는 참가자간 역균형화(counterbalancing)되었다. 또한, 각 구획의 중간(30시행)에 최소 30초의 쉬는 시간이, 각 구획이 끝난 후에는 최소 1분의 쉬는 시간을 제공하였다. 본 실험 전에는 총 32회의 연습 시행(각 항목 개수 조건별 16회)을 제공하여 참가자가 과제에 적응할 수 있도록 하였다.

제2절 결과 및 논의

실험 1과 동일하게, 실험 2의 자료에 적합한 모형을 선택하기 위해 AIC와 BIC를 기준으로 혼합 모형과 교환 모형을 비교하였다([표 2 참조]). 그 결과 혼합 모형이 더 나은 적합도를 보였다. 그리하여 실험 1과 동일한 기억 지표를 이용해 두 세부특징 간의 독립성을 알아보았으며, 항목 개수 조건에 따른 표상의 선명도 차이를 검증하여 보았다. 실험 2의 전반적인 회상 수행에 대한 기술통계량은 [그림 7]과 [표 3]에 제시된 바와 같다.

먼저, 두 세부특징 간의 독립성을 분석하기 위해 실험 1과 동일하게 각각의 세부특징을 기준으로 구간화를 수행하였다. 그 후 구간화 기준(색상 기준 vs 방위 기준)과 구간(상위 집단 vs 하위 집단), 그리고 항목 개수(3개 vs 5개) 세 변인이 회상 지표(AUC , P_m , $s.d.$)에 미치는 영향을 확인하고자, 반복측정에 기초한 삼원분산분석(repeated-measure three-way ANOVA)을 수행하였다. 분석 결과([그림 8] 참조) 삼원상호작용과 이원상호

작용 효과 모두 유의하지 않았으며, 구간화 기준의 주효과가 AUC 와 P_m 에 한하여 유의하였다. (AUC , P_m 각각) $F(1,9) = 19.87$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .69$, $F(1,9) = 11.76$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .57$. AUC 와 P_m 은 구간화 기준이 색상(각각 $.69 \pm .02$, $.47 \pm .05$)일 때에 비해 방위(각각 $.77 \pm .02$, $.62 \pm .04$)인 경우에 더 높은 것으로 나타났다.

그리고 항목 개수의 주효과 또한 AUC 와 P_m 에 한하여 유의하였다. (AUC , P_m 각각) $F(1,9) = 41.27$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .82$, $F(1,9) = 33.66$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .79$. AUC 와 P_m 은 항목 개수가 세 개(각각 $.79 \pm .02$, $.69 \pm .06$)일 때에 비해 다섯 개(각각 $.67 \pm .02$, $.41 \pm .03$)인 경우에 더 낮은 것으로 나타났다.

뿐만 아니라, 두 세부특징의 통합성을 나타내는 구간의 주효과 또한 AUC 와 P_m 에 대해 유의하였다. (AUC , P_m 각각) $F(1,9) = 20.96$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .70$, $F(1,9) = 23.65$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .72$. 구체적으로, AUC 와 P_m 은 상위 집단(각각 $.78 \pm .02$, $.65 \pm .04$)이 하위 집단(각각 $.68 \pm .02$, $.44 \pm .05$)에 비해 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실험 1과 같이 두 세부특징이 서로 통합적임을 시사한다.

다음으로, 항목 개수와 세부특징 변인이 AUC , P_m , $s.d.$ 에 미치는 영향을 분석하기 위해 반복측정에 기초한 이원분산분석을 수행하였다(그림 9 참조). 그 결과, 항목 개수 X 세부특징의 상호작용 효과는 관찰되지 않았으며, 세부특징의 주효과가 AUC 와 P_m 에 대하여 통계적으로 유의하였다. (AUC , P_m 각각) $F(1,9) = 19.87$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .69$, $F(1,9) = 10.81$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .55$. 특히 AUC 와 P_m 은 색상 조건(각각 $.77 \pm .02$, $.60 \pm .04$)에 비해 방위 조건(각각 $.69 \pm .02$, $.46 \pm .05$)일 때 낮은 것으로 나타났다.

또한, 항목 개수의 주효과 또한 AUC 와 P_m 에 한하여 통계적으로 유의하였다. (AUC , P_m 각각) $F(1,9) = 41.27$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .82$, $F(1,9) = 38.87$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .81$. 구체적으로 AUC 와 P_m 은 항목 개수가 세 개(각각 $.79 \pm .02$, $.68 \pm .06$)인 조건에 비해 다섯 개(각각 $.67 \pm .02$, $.39 \pm .03$)인 조건에서 더욱 낮았다. 이때, 항목 개수는 $s.d.$ 에 영향을 미치지 않는

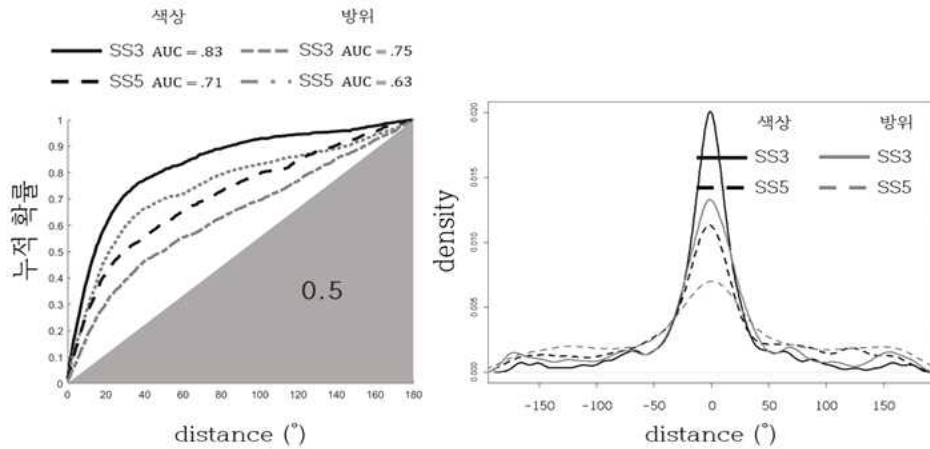
것으로 나타났는데, $F(1,9) = 0.122$, $p = .735$, $\eta_p^2 = .01$, 이러한 결과는 자원 가설의 관점에서는 이해하기 어려운 결과에 해당한다. 항목 개수가 다섯 개인 경우 참가자는 이를 모두 기억하기 위해 각각에 할당되는 자원의 양을 세 개 조건에 비해 줄여야 하지만, 실제로 항목 개수가 다섯 개인 조건과 세 개인 조건의 표상 선명도(*s.d.*)가 다르지 않다는 것이다. 이러한 결과 또한 정해진 슬롯 개수만큼의 객체 항목을, 일정한 선명도로 표상한다는 슬롯 가설에 부합하는 것으로 해석될 수 있다.

더 나아가, 실험 2에서도 실험 1과 동일하게 참가자의 확신도 평정 점수의 타당성을 확인하고, 조율의 가능성을 확인하였다. 먼저, 확신도(0, 1, 2, 3)와 세부특징(색상 vs 방위)이 *AUC*에 미치는 영향을 검증하기 위해 반복 측정에 기초한 이원분산분석을 실시하였다. 그 결과, 확신도 X 세부특징의 상호작용 효과는 관찰되지 않았으며, 세부특징의 주효과가 유의하였다, $F(1, 16) = 21.01$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .57$. *AUC*는 색상 조건($.75 \pm .01$)이 방위 조건($.68 \pm .02$)에 비해 더욱 높은 것으로 나타났다. 또한, 확신도의 주효과 검정에 있어서 구형성의 위배가 발견되어($X^2(5) = 14.39$, $p < .05$), Greenhouse-Geisser ϵ 에 기초하여 분석을 진행한 결과, 확신도 수준에 따라 *AUC* 수준이 다른 것으로 나타났다, $F(3, 48) = 113.12$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .88$. 이에 따라 구체적으로 확신도의 어떠한 구간에서 차이가 존재하는지 Bonferroni 다중비교를 통해 확인하였다. 그 결과, *AUC*는 확신도 0($.52 \pm .02$)과 확신도 1($.66 \pm .02$), 확신도 1과 확신도 2($.79 \pm .02$), 그리고 확신도 2와 확신도 3($.89 \pm .01$) 전 구간에서 그 차이가 유의한 것으로 나타났다(각각 $p < .01$, $p < .001$, $p < .001$). 이러한 확신도 점수 간의 분명한 *AUC* 차이는 참가자가 자신의 기억을 객관적으로 평가할 수 있음을 시사하였다(그림 10 참조).

다음으로 실험 2 전체 시행에서 조율 패턴이 나타난 시행을 분류한 결과, 조율 시행은 항목 개수 세 개 조건의 전체 시행에서 평균 7.58%의 비율을 차지하였으며, 항목 개수 다섯 개 조건에서는 전체 시행의 평균 4.42%에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 조율 시행이 실제 조율 과정을

반영하는 것인지 혹은 우연에 의한 것인지 확인하기 위해 평균 확신도 점수에 대한 세부특징(색상 vs 방위), 항목 개수(3개 vs 5개), 시행 종류(조율 시행 vs 전체 시행) 세 변인의 효과를 검증하는 반복측정에 기초한 삼원분산분석을 수행하였다. 그 결과, 삼원상호작용과 이원상호작용 모두 유의하지 않았으며, 세부특징의 주효과($F(1, 8) = 5.49, p < .05, \eta_p^2 = .41$)와 항목 개수의 주효과($F(1, 8) = 18.00, p < .01, \eta_p^2 = .69$)가 모두 유의한 것으로 나타났다. 구체적으로, 색상의 평균 확신도($1.91 \pm .12$)가 방위의 평균 확신도($1.72 \pm .09$) 보다 높았으며, 항목 개수가 세 개인 조건($2.10 \pm .11$)에 비해 다섯 개 조건의 평균 확신도($1.53 \pm .12$)가 낮았다. 마지막으로 시행 종류의 주효과는 조율 여부를 판가름하는 중요한 기준이 될 수 있는데, 조율 시행과 전체 시행 간의 평균 확신도 점수 차이가 유의한 것으로 나타났다, $F(1, 8) = 8.42, p < .05, \eta_p^2 = .51$. 다만 이러한 차이는 조율 시행($1.61 \pm .10$)에 비해 전체 시행($2.02 \pm .13$)의 평균 확신도 점수가 오히려 더욱 높았기 때문에 발생한 것이었다. 즉, 실험 2에서 또한 조율의 가능성은 발견되지 않았다.

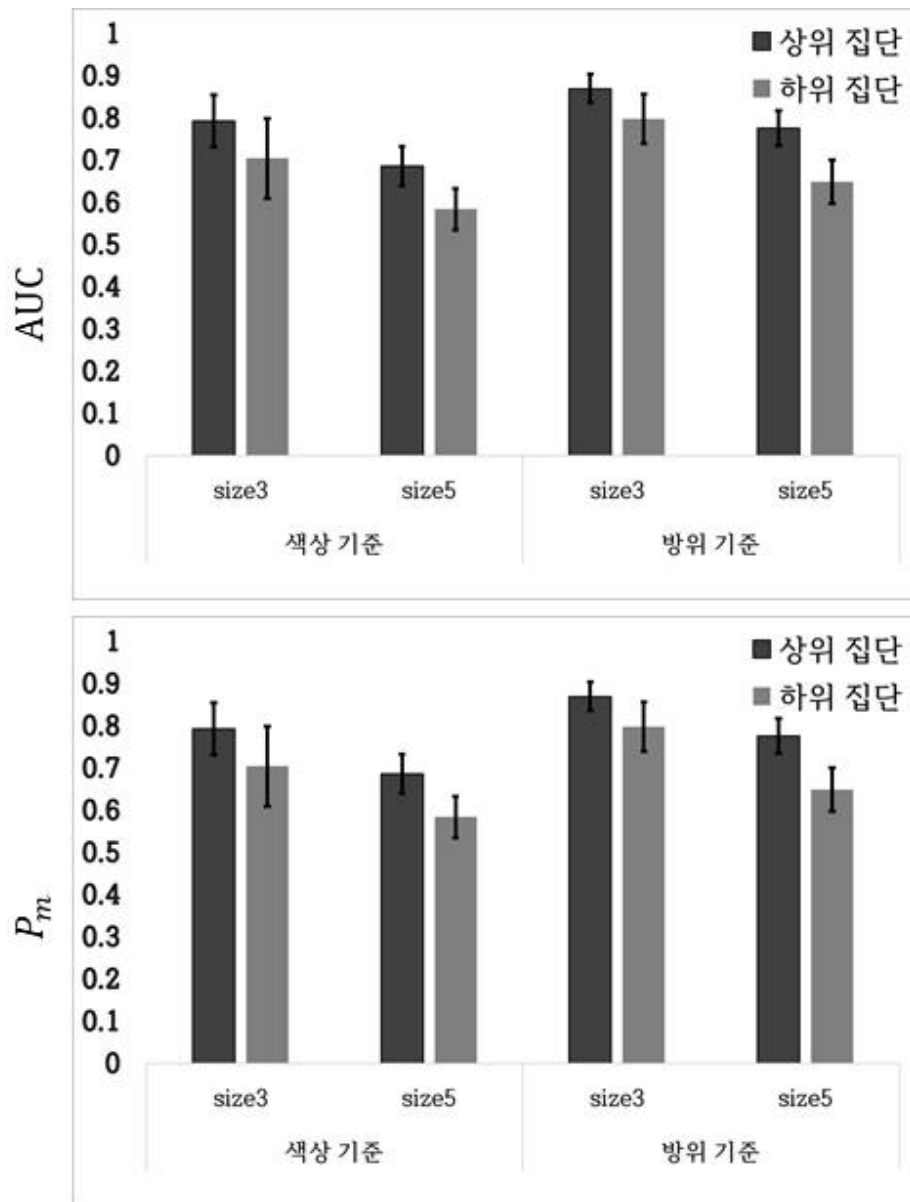
정리하자면, 실험 1과 마찬가지로 실험 2 또한 슬롯 가설을 비롯한 통합된 객체의 관점에 부합되는 결과가 도출되었다. 비록 회상 반응 자료에서 유의한 조율 패턴을 발견하지는 못하였으나, 하나의 객체를 이루는 두 세부특징의 회상 수행은 서로 통합적인 것으로 나타났으며, 표상의 선명도는 기억 항목의 개수와 무관하게 일정한 것으로 드러났다.



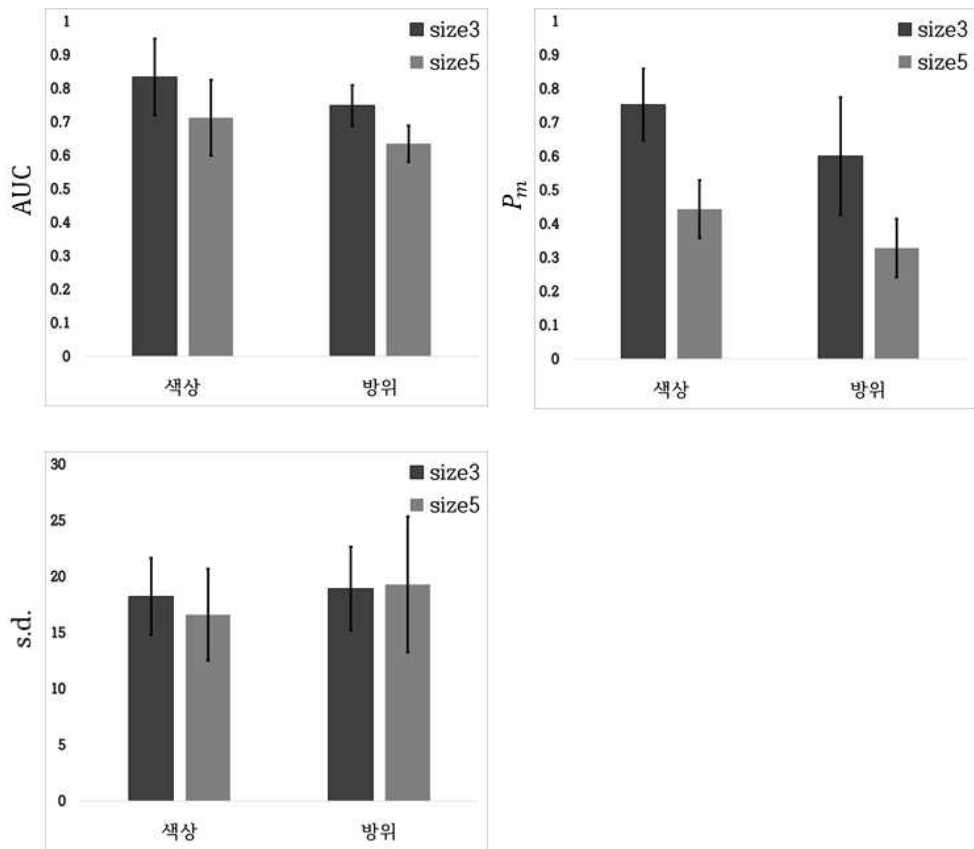
[그림 7] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 (가) 누적분포함수와 (나) 확률밀도함수.

세부특징	Setsize	Memory Index	평균(표준편차)
색상	3	P_m	.75 (± .15)
	3	$s.d.$	18.22 (± 4.79)
	5	P_m	.44 (± .12)
	5	$s.d.$	16.6 (± 5.72)
방위	3	P_m	.60 (± .24)
	3	$s.d.$	18.91 (± 5.22)
	5	P_m	.33 (± .12)
	5	$s.d.$	19.29 (± 8.46)

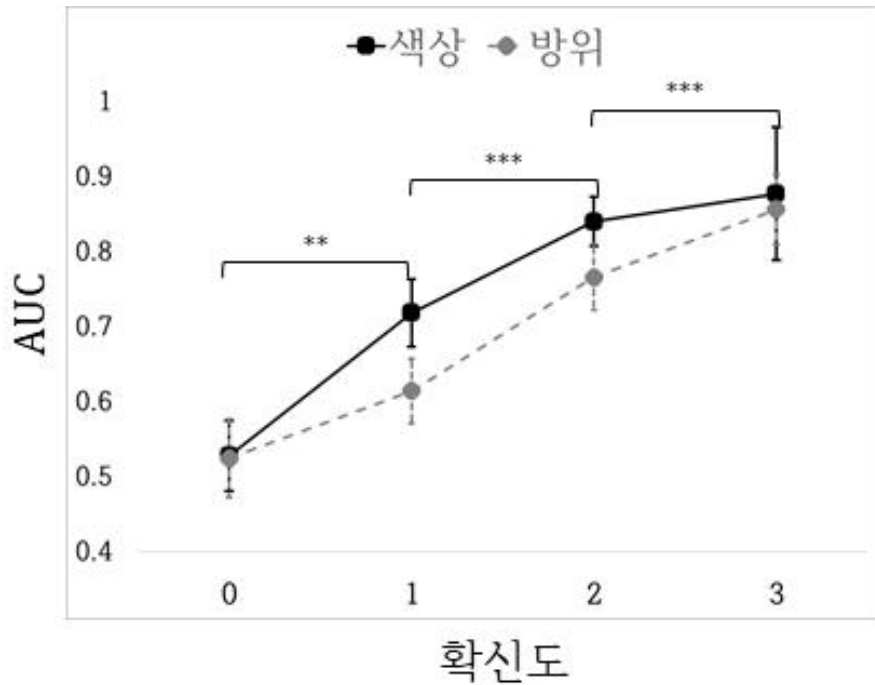
[표 3] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 회상 수행.



[그림 8] 실험 2의 항목 개수 X 구간화 기준 X 구간 조건별 회상 수행. 회상의 선명도(AUC)와 기억 확률(P_m)에 대한 항목 개수, 구간화 기준, 구간 세 변인의 주효과가 유의하였다. 특히, 구간 변인의 주효과는 하나의 객체를 이루는 두 세부특징이 서로 통합적으로 파지됨을 시사한다. 그림의 오차 막대는 신뢰구간 95%를 나타낸다.



[그림 9] 실험 2의 항목 개수 X 세부특징 조건별 회상 수행. 회상의 선명도(AUC)와 기억 확률(P_m)에 대한 항목 개수와 세부특징 변인의 주효과가 각각 통계적으로 유의하였다. 그러나 표상의 선명도($s.d.$)는 특히 항목 개수 조건에 상관없이 일정한 것으로 나타났는데, 이는 기억할 항목의 개수와 표상의 선명도 간의 교환(trade-off)이 불가하다고 주장하는 슬롯 가설에 부합되는 결과이다. 오차 막대는 신뢰구간 95%를 나타낸다.



[그림 10] 실험 2의 세부특징 X 확신도 조건별 회상 수행. *AUC*가 확신도 수준에 따라 다른 것으로 나타났으며, 확신도 수준에 따른 전 구간의 *AUC* 차이가 분명하게 관찰되었다. 오차 막대는 신뢰구간 95%를 나타낸다. (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$)

제4장 종합 논의

본 연구는 시각작업기억 표상이 어떠한 형태로 저장되는지(객체 단위 vs 세부특징 단위) 이해하기 위하여 객체 항목을 기억하여야 할 때, 이를 구성하는 각각의 세부특징에 대한 회상 수행의 독립성을 확인하였다. 더불어 표상의 단위가 어떠한지에 따라 가정되는 표상의 선명도 특성이 상이하므로, 이에 대한 검증 또한 시도하였다. 그 결과, 실험 1과 실험 2 모두 한 세부특징의 수행에 따라 다른 세부특징의 수행에 차이가 있음이 드러났다. 이는 두 세부특징이 통합적이라는 증거이며, 세부특징이 서로 독립적으로 저장된다는 세부특징 병렬-독립 저장 관점(자원 가설) 보다는 통합된 객체 관점(슬롯 가설)이 타당함을 시사한다.

반면, Fougny와 Alvarez(2011)는 본 연구의 실험 2와 유사한 기억 과제를 사용하여 두 세부특징이 서로 시각작업기억 내에 독립적으로 표상되며, 독립적으로 망각됨을 주장하였다. 본 연구와 Fougny, Alvarez(2011)의 연구 사이에는 다음의 차이가 존재하는데, 이러한 차이가 상반된 결론을 도출하는 데에 중요하게 작용하였을 수 있다.

먼저, Fougny와 Alvarez(2011)는 두 세부특징을 독립적으로 순차 회상하여야 하는 순차 회상 과제를 사용하였다. 이와 달리 본 연구에서는 참가자가 색상과 방위를 동시에 조작할 수 있는 동시 회상 과제를 사용하였다. 이를 통해 순차 회상 과제가 참가자로 하여금 독립-병렬 저장의 전략을 취하도록 유도하였을 가능성을 생각해볼 수 있다. 실제로 Sone 등(2021)은 두 세부특징을 동시에 회상 선택할 수 있는 과제를 고안하고, 이러한 동시 회상 과제와 순차 회상 과제에서 나타나는 세부특징 독립성의 차이를 확인하였다. 그 결과, 동시 회상 과제를 사용한 경우와 순차 회상 과제를 사용한 경우 모두 두 세부특징이 통합적임이 드러났지만, 순차 회상 과제를 사용한 경우, 보다 통합성이 완화된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시각작업기억이 기본적으로 객체 표상을 형성할 수 있으나, 당면한 과제에 따라 세부특징을 독립적으로 저장하는 전략을 취할 수 있음을 시사한다.

뿐만 아니라, Fournie와 Alvarez(2011)는 기억 배열 화면에서 다섯 개의 기억 항목을 1,200ms 동안 제시한 반면, 본 연구에서는 세 개 혹은 다섯 개의 항목을 500ms 동안 제시하였다. 기억 배열의 제시 시간이 길수록 참가자는 더욱 다양한 기억 전략을 사용할 수 있다. 예를 들어, 조음 억제 과제가 완전히 조음 전략을 차단할 수는 없기 때문에, 참가자는 언어적(verbal)으로 혹은 시각적으로 기억 항목을 되뇌기(rehearsal)할 수 있다(Tremblay, Saint-Aubin & Jalbert, 2006). 그리하여 기억 배열의 제시 시간이 긴 경우의 기억 수행은, 온전히 시각작업기억에 국한된 과정이 아닐 가능성이 존재한다(Ramaty & Luria, 2018). 특히 Vogel, Woodman과 Luck(2006)에 따르면, 단일 세부특징 항목이 공고화 되는데 소요되는 시간은 약 50ms 정도인 것으로 나타난다. Fournie와 Alvarez(2011)의 기억 배열에서 세부특징은 총 10개에 해당되기 때문에, 객체 항목을 공고화하는 과정에서 발생할 수 있는 다른 시간적 비용(cost)을 고려하지 않고 단순히 계산한다면 1,200ms의 제시 시간은 모든 세부특징을 공고화하는데 충분한 시간이었음을 유추할 수 있다. 이러한 가능성은 추후 객체를 이루는 세부특징 간의 독립성을 실험할 때, 더욱 많은 변인을 통제하여야 함을 의미한다.

한편 슬롯 가설을 위시한 객체 단위 관점은 시각작업기억이 더욱 많은 양의 항목을 표상하기 위하여 표상의 선명도를 포기하는 전략을 사용할 수 없음을 가정한다. 본 실험의 결과에서도 이러한 점이 드러났는데, 실험 2에서 항목 개수 조건 간에 표상의 선명도 차이가 나타나지 않았다. 자원 가설을 비롯한 세부특징 병렬-독립 저장 관점에 따르면, 항목 개수가 다섯 개일 때, 모든 항목을 최대한 기억하기 위해 표상의 선명도를 포기하는 대신 많은 항목에 대한 저장을 시도할 것으로 예상된다. 하지만 실제로 본 연구에서는 항목 개수가 세 개일 때와 다섯 개일 때의 선명도가 일정하게 나타난 것으로 보아, 슬롯 가설이 더욱 타당함을 알 수 있다. 더욱이, 본 연구에서 나타난 표상의 선명도는 다른 세부특징의 수행에 관계없이 일정(실험 1과 실험 2)하였으며, 표적 항목과 간섭 항목 간에도 차이가 없이 일정하였다(실험 1).

이와 같이 본 연구는 시각작업기억의 표상 특성에 대한 시사점을 얻기 위하여, 주요한 두 가설이 대립하는 지점을 실험으로 검증하는 방식을 택하였다. 이를 통해, 어떠한 가설이 더욱 타당한지에 대한 시사점을 도출해낼 수 있었지만, 다음과 같은 몇 가지 한계를 지닌다.

먼저, 본 연구는 양극단에 위치하여 상충하는 두 관점을 중심으로 시각작업기억의 특성을 이해하고자 초점을 맞추었기 때문에, 이에 대한 절충을 시도하거나 새로운 관점을 제시하는 최근의 연구에 대해서는 다루지 못하였다. 일례로, Ye 등(2020)은 공고화 과정의 두 단계 모형을 제시함으로써 절충을 시도하였다. 이에 따르면, 공고화의 첫 번째 단계에서는 슬롯 모형이 제시하는 바와 같이 3~4개 항목에 국한된 고정적 선명도를 지닌 표상을 형성하며, 이후 충분한 시간이 주어질 경우 필요에 따라 특정 항목의 선명도를 높이는 두 번째 단계의 공고화가 수행된다.

또한, 본 연구는 참가자에게 동시 회상 과제를 제시하였지만, 모든 참가자가 이를 자유롭게 수행하지는 못하였다. 키보드로 두 세부특징의 조정을 동시에 수행하는 것은 참가자에 따라서는 많은 연습이 필요한 과제였으며, 본 연구는 참가자에게 충분한 연습의 기회를 제공하지 못하였다. 그리하여 세부특징 동시 조정이 가능함에도 일부 참가자는 순차적인 회상 방식을 고수하였을 수 있다. 이에 따라, 순차 회상 과제가 유발할 수 있는 문제를 최소화하지는 못하였을 가능성이 있다. 다만, 이러한 가능성에도 불구하고 실험 1과 실험 2 모두에서 두 세부특징의 결합성이 드러난 것으로 보아, 이러한 문제는 결과에 유의한 영향을 미치지 않은 것으로 짐작된다.

마지막으로, 본 연구는 결합 표상을 뒷받침하는 새로운 증거를 제시하지는 못하였다. 참가자의 회상 반응 자료에서 결합 표상을 기반으로 수행되는 반응 양식을 탐색하고자 하였으나, 이러한 패턴이 우연에 의한 것이 아님을 증명하는 증거를 제시하지 못하였다.

정리하자면, 본 연구는 객체의 세부특징을 통합적으로 파지하는 시각작업기억의 표상 특성을 제시하였으며, 각 표상의 선명도는 상황에 따라 다르기 보다는 항목 간 일정하게 유지된다는 점을 보였다. 또한, 본 연구와 상반된

결과를 도출한 연구와의 비교를 통해 시각작업기억의 표상 방식에 영향을 미칠 수 있는 것으로 짐작되는 요인(과제의 종류, 기억 배열의 제시시간)을 제시하였다. 후속 연구는 이러한 요인의 영향을 직접적으로 검증하거나 혹은 이를 통제하는 방식으로 시각작업기억의 표상 특성에 관한 새로운 시사점을 도출해내는 것이 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

- 김대규, 현주석. (2019). 색상환 회상 과제의 반응 자료에 대한 혼합 모형 분석 절차의 이해. *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 21(2), 1015-1030.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological science*, 15(2), 106-111.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485.
- Bays, P. M., Catalao, R. F., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of vision*, 9(10), 7-7.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321(5890), 851-854.
- 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.
- Fougnie, D., & Alvarez, G. A. (2011). Object features fail independently in visual working memory: Evidence for a probabilistic feature-store model. *Journal of vision*, 11(12), 3-3.
- Fougnie, D., Suchow, J. W., & Alvarez, G. A. (2012). Variability in the quality of visual working memory. *Nature communications*, 3(1), 1-8.
- Gajewski, D. A., & Brockmole, J. R. (2006). Feature bindings endure without attention: Evidence from an explicit recall task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 581-587.
- Hyun, J. S. (2015). A Review of the Debates between Fixed-Resolution Slot and Flexible-Resource Models. *Korean Journal of Cognitive Science*,

26(4), 453-481.

- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Ma, W. J. (2018). Problematic usage of the Zhang and Luck mixture model. *Biorxiv*, 268961.
- Miller, J. R., Becker, M. W., & Liu, T. (2014). The bandwidth of consolidation into visual short-term memory depends on the visual feature. *Visual Cognition*, 22(7), 920-947.
- Oberauer, K. (2021). Measurement Models for Visual Working Memory-A Factorial Model Comparison.
- Pertsov, Y., Manohar, S., & Husain, M. (2017). Rapid forgetting results from competition over time between items in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(4), 528.
- Ramaty, A., & Luria, R. (2018). Visual working memory cannot trade quantity for quality. *Frontiers in psychology*, 9, 719.
- Schmidt, B. K., Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2002). Voluntary and automatic attentional control of visual working memory. *Perception & psychophysics*, 64(5), 754-763.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 461-464.
- Scolari, M., Vogel, E. K., & Awh, E. (2008). Perceptual expertise enhances the resolution but not the number of representations in working memory. *Psychonomic bulletin & review*, 15(1), 215-222.
- Sone, H., Kang, M. S., Li, A. Y., Tsubomi, H., & Fukuda, K. (2021). Simultaneous estimation procedure reveals the object-based, but not space-based, dependence of visual working memory representations. *Cognition*, 209, 104579.
- Suchow, J. W., Brady, T. F., Fougner, D., & Alvarez, G. A. (2013). Modeling visual working memory with the MemToolbox. *Journal of vision*, 13(10), 9-9.

- Tremblay, S., Saint-Aubin, J., & Jalbert, A. (2006). Rehearsal in serial memory for visual-spatial information: Evidence from eye movements. *Psychonomic bulletin & review*, 13(3), 452-457.
- 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.
- 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.
- Woodman, G. F., & Vecera, S. P. (2011). The cost of accessing an object's feature stored in visual working memory. *Visual Cognition*, 19(1), 1-12.
- Ye, C., Liang, T., Zhang, Y., Xu, Q., Zhu, Y., & Liu, Q. (2020). The two-stage process in visual working memory consolidation. *Scientific Reports*, 10(1), 1-11.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233-235.

국 문 초 록

세부특징 동시회상 과제에서 관찰된 시각작업기억의 통합적 표상 특성

정화목

심리학과 심리학전공

중앙대학교 대학원

시각작업기억은 매우 제한적인 기억용량을 지닌다. 다만, 기억용량이 어떻게 정의될 수 있으며, 어떠한 표상 특성을 지니는지에 대한 첨예한 관점의 차이가 존재한다. 특히 기억용량이 3~4개의 객체 항목으로 정의될 수 있다고 보는 ‘통합된 객체 모형’과 항목 개수의 단위로 기억용량을 정의할 수 없다고 주장하는 ‘세부특징 병렬-독립 저장 모형’이 대립하고 있다.

본 연구는 이러한 상반된 두 관점 중 어느 것이 타당한지 확인하기 위하여, 두 번의 실험을 통해 객체를 구성하는 세부특징 간의 독립성과 표상 간 선명도 차이를 확인하였다. 이를 위해 색상과 방위 정보가 부여된 이등변삼각형을 기억 항목으로 활용하였으며, 이에 대한 기억을 검사하기 위하여 각 세부특징을 동시에 회상할 수 있는 동시 회상 과제를 사용하였다. 실험 1의 경우 기억 항목을 3개 제시하고, 그중 가운데에 위치한 항목과 그 양옆에 위치한 두 항목 중 하나에 대한 회상(색상+방위 모두)을 매 시행 요구하였다. 그리고 가운데 항목에 대한 회상 수행을 분석하였다. 이와 달리, 실험 2에서는 기억 항목을 3개 혹은 5개 제시하였으며, 그중 하나에 대한 회상을 요구하고 수행을 분석하였다.

그 결과, 실험 1과 실험 2 모두 한 세부특징의 회상 수행이 높은 시행은 다른 세부특징의 수행 또한 높은 것으로 나타났다. 또한, 실험 2에서는 항

목 개수가 3개인 조건과 5개인 조건 간의 유의한 표상 선명도 차이가 발견되지 않았다. 객체를 구성하는 세부특징이 서로 통합적으로 존재하며, 기억하여야 하는 항목의 개수와 무관하게 표상의 선명도가 일정함을 보인 것이다. 이러한 본 연구의 결과는, 시각작업기억의 기억 자원이 3~4개의 독립적인 ‘슬롯’과 같으며, 각 슬롯에 일정한 선명도를 지닌 객체 표상이 저장된다는 통합된 객체 모형에 부합한다. 그리하여 세부특징 병렬-독립 저장 모형 보다 통합된 객체 모형이 더욱 타당함을 시사한다.

핵심어 : 시각작업기억, 표상, 동시 회상 과제

ABSTRACT

The Integrated Representational Characteristics of Visual Working Memory Observed in a Concurrent Feature-Recall Task

Hwa-mok, Jeong

Major in Psychology

Department of Psychology

The Graduate School

Chung-Ang University

Visual working memory has a very limited memory capacity. However, there is a sharp difference in viewpoint on how the memory capacity can be defined and what characteristics the representation has. In particular, the 'integrated object model', which believes that memory capacity can be defined by 3 or 4 object items, and the 'parallel-independent feature storage model', which argues that memory capacity cannot be defined in units of the number of items, are in conflict.

In order to confirm which of these two opposing models is valid, this study investigated the independence between the features constituting the object representation and the difference in precision between representations through two experiments. To this end, isosceles triangles with color and orientation information were used as memory items, and the concurrent recall task

capable of recalling both features simultaneously was used to test the memory. In the case of Experiment 1, three memory items were presented, and the recall (both color + orientation) of the item located in the middle and one of the two items located on either side of it was requested for each trial. Then the recall performance for the middle item was analyzed. On the contrary, in Experiment 2, three or four memory items were presented, and recall of one of them was requested and analyzed.

As a result, in both Experiment 1 and Experiment 2, the trial with high recall performance of one feature also showed high performance of the other feature. Also, in Experiment 2, there was no difference in precision of representation between the condition with 3 items and the condition with 5 items. These results show that the features constituting the object are stored integrally in visual working memory and the precision of the representation is constant regardless of the number of items to be remembered. The results of this study are consistent with the integrated object model that the memory resources of visual working memory are three or four independent 'slots', and object representations with constant precision are stored in each slot. In conclusion, this suggests that the integrated object model is more valid than the parallel-independent feature storage model.

Keywords : visual working memory, representation, concurrent recall task