

Encoding Efficiency Is Related to Image Memorability

Su Keun Jeong^{1*}

¹Department of Psychology, The Catholic University of Korea

Image memorability refers to an intrinsic property of images that determines how well they can be remembered. Image memorability has been shown to be highly consistent across individuals. Despite its stability as a stimulus-specific trait, predicting memorability subjectively remains challenging. Previous studies have demonstrated a discrepancy between human participants' subjective ratings of their ability to remember a stimulus and their actual memory performance. We hypothesized that subjective memorability prediction is biased by consciously accessible image properties that are not directly related to memorability. To avoid such bias, in the current study, we used an indirect behavioral measure to assess image memorability. Participants were asked to encode scene images and simply press a keyboard button. Results showed that spontaneous encoding response time to an image was reliably associated with memorability. Specifically, participants exhibited faster responses to highly memorable images compared to less memorable ones. These findings indicate that the efficiency of information processing during encoding reliably predicts image memorability.

Keywords: memorability, prediction, response time, encoding efficiency

1차원고접수: 25.11.28; 수정본접수: 26.01.27; 최종게재결정: 26.01.28



Copyright: © 2025 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.

시각 정보가 얼마나 잘 기억될 수 있는가는 기억 과제를 수행하는 상황은 물론 기억해야 하는 정보 자체의 특성에도 영향을 받는다(Bylinskii et al., 2015; Rust & Mehrpour, 2020; Wakeland-Hart et al., 2022). 예를 들어, 시각 자극의 지각적 독특성, 정서적 각성, 의미 정보 등은 기억 과제 수행에 큰 영향을 미치는 요인들로 알려졌다(Hunt & Worthen, 2006; Khosla et al., 2015; Konkle et al., 2010; Mather, 2007). 최근 연구들은 특정 시각 자극을 다른 자극보다 더 기억이 잘 되게 만드는 자극 고유의 특성을 기억용이성(memorability)이라 제안했다(Isola et al., 2014; Isola et al., 2011). 기억용이성이 높은 시각 자극은 서로 다른 참가자 집단에서도 일관되게 잘 기억되는 경향을 보이며, 동일

한 참가자에게 시간 간격을 두고 반복 측정했을 때에도 높은 일관성을 보인다. 나아가 서로 다른 문화권의 참가자 집단 간에도 잘 기억되거나 쉽게 잊히는 자극은 유사하게 나타나며, 기억 과제의 형태가 달라져도 자극의 기억용이성은 일관되게 유지된다(Bainbridge, 2019; Goetschalckx et al., 2019; Goetschalckx et al., 2018; Jeong, 2023; Rust & Mehrpour, 2020).

이처럼 시각 자극의 기억용이성이 다양한 상황에서 일관되게 나타나는 특성임에도 불구하고, 사람들은 특정 시각 자극이 얼마나 잘 기억될지 혹은 잊히게 될지를 정확하게 예측하지 못한다. Isola 등(2014)은 참가자들에게 시각 자극을 얼마나 잘 기억할 수 있을지 평가하도록 했다. 실험 결과, 한

* 교신저자 : 정수근, (14662) 경기도 부천시 원미구 지봉로 43 가톨릭대학교 심리학과, E-mail: skj@catholic.ac.kr

참가자 집단의 기억용이성 예측은 다른 참가자 집단의 예측과 높은 상관을 보였다. 그러나 이러한 참가자들의 주관적 예측은 실제 기억 수행과는 일치하지 않았다.

주관적 기억용이성 예측이 부정확한 이유는 참가자들이 실제 기억 수행과 관련이 적은 자극의 특성에 기반해 판단을 했기 때문일 가능성이 있다. 예를 들어, 참가자들이 평가한 시각 자극의 흥미로움(interestingness)과 심미성(aesthetics)은 강한 상관을 보였으나, 이러한 특성들은 실제 기억 수행과 낮은 상관 관계를 보였다(Isola et al., 2014). 또한 쉽게 의식적으로 지각할 수 있는 낮은 수준의 지각적 특성(low-level perceptual features)도 기억용이성을 예측하지 않았다(Isola et al., 2014). 자극의 의미적 특성이 기억용이성과 관련이 있음을 보고한 연구 결과도 존재하지만(Kramer et al., 2023), 위상-스크램블(phase-scrambled) 변환으로 의미적 특성을 파악할 수 없게 조작된 시각 자극에서도 기억용이성은 일관되게 나타나기 때문에, 의미적 특성만으로는 기억용이성을 완전히 설명하기는 어렵다(Lin et al., 2021). 연구 결과를 종합하면, 사람들은 직관적으로 접근 가능한 지각적·개념적 특성에 의존해 기억용이성을 판단하기 때문에 집단 간 주관적 예측은 높은 일관성을 보일 수 있다. 그러나 이러한 특성들이 실제 기억 수행과는 낮은 상관 관계를 보이기 때문에 주관적 기억 예측의 정확도가 떨어졌을 가능성이 있다(Bainbridge, 2017; Isola et al., 2014).

한편, 지각, 기억, 의사결정 등 인지과제에서 참가자의 주관적 판단이나 자기 보고보다 간접적인 행동 및 생리적 반응 지표가 정확한 정보를 제공하는 사례들이 보고되어 왔다(Grassi et al., 2025; Hannula et al., 2010). 예를 들어, 참가자의 주관적 응답보다 동공 반응(pupil response)이 실제 기억과 오기억을 더 잘 구분하기도 한다(Kafkas et al., 2023; Lapteva & Martarelli, 2024; Whitlock et al., 2025). 이러한 점을 고려하면, 시각 자극의 기억용이성 예측에서도 참가자의 주관적 예측보다 간접적 행동 지표가 더 높은 예측력을 가질 가능성을 고려해 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 참가자의 판단이 기억용이성과 관련이 낮은 자극 특성에 의해 편향되지 않도록 직접 기억 수행을 예측하는 과제 대신 자극 부호화 과정에서 나타나는 간접적인 행동 측정치를 사용해 자극의 기억용이성을 예측했다. 구체적으로, 참가자들은 기억해야 할 자극들을 자신이 원하는 속도로 부호화하는 기억 과제를 수행했다. 그리고 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극의 자발적 부호화 시간(spontaneous encoding duration)이 실제 기억 수행 정확률을 예측하는지를 조사했다.

선행 연구에서 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극이 시각 정보 처리의 초기 단계에서부터 이미 다른 특성을 보이는 것으로 나타났다. 예를 들어, 기억용이성이 높은 자극은 자극 제시 후 150ms 이내에 이미 기억용이성이 낮은 자극보다 더 정확하게 디코딩되는 신경반응 패턴으로 표상된다(Mohsenzadeh et al., 2019). 또한 기억용이성이 높은 자극은 13ms의 짧은 시간 동안만 제시될 때에도 더 높은 재인 정확률을 보인다(Broers et al., 2018). 시각 정보 처리의 초기 단계에서부터 자극의 기억용이성을 반영하는 정보가 빠르게 처리된다는 연구 결과는 기억용이성이 높은 자극이 더 효율적인 부호화 과정을 거칠 가능성을 시사한다(Gillies et al., 2023). 따라서 본 연구에서는 기억용이성이 높은 시각 자극이 기억용이성이 낮은 자극보다 더 빠르게 부호화될 것이며, 부호화 효율성을 통해 실제 기억 수행을 예측할 수 있을 것이라 예상했다.

방 법

참가자

선행 연구에서는 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극 간의 기억 재인 과제 수행 차이에서 매우 큰 효과 크기를 보고했다(e.g., Bainbridge, 2020). 그러나 본 연구에서는 기억용이성 수준에 따른 기억 재인 과제 수행 차이가 아닌 부호화 반응 시간의 차이를 비교하고자 했다. 부호화 반응 시간의 차이가 기억 재인 과제 수행의 차이보다 효과 크기가 작을 가능성을 고려하여 중간에서 큰 수준의 효과 크기(Cohen's $d = .65$)를 가정했다. G*Power 3를 사용한 분석에서 중간에서 큰 효과 크기(Cohen's $d = .65$), 검정력 .95, 유의수준 $= .05$ 를 기준으로 대응표본 t-검정(기억용이성 높은 자극의 부호화 시간 vs. 낮은 자극의 부호화 시간)에 필요한 최소 표본 수는 33명으로 산출되었다(Faul et al., 2007). 본 연구에서는 Amazon Mechanical Turk(MTurk)을 통해 총 40명의 참가자를 모집했다. 참가자는 미국 거주자이며, MTurk Master 자격을 보유하고, 기존 과제 승인률(HIT approval rate)이 98% 이상인 경우에만 실험에 참여할 수 있었다. 본 연구는 충북대학교 기관생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다.

자극 및 절차

실험은 PsychoPy(Peirce et al., 2019)로 제작되어 Pavlovia(<https://pavlovia.org>)를 통해 온라인으로 진행되었다. 참가자들은 각자의 컴퓨터를 사용하여 온라인상에서 실

험에 참가했으며, 시각 자극의 크기는 참가자 모니터의 화면 세로축의 길이에 비례하여 조정되었다.

MemCat 이미지 데이터베이스(Goetschalckx et al., 2019)에서 추출된 120장의 장면 이미지가 실험 자극으로 사용됐다. 선행 연구에서 보고된 각 자극의 기억 재인 과제 적 중률(hit rate)에 기반하여 기억용이성이 높은 자극 60개(평균 hit rate 86.54%, SD = 2.36)와 낮은 자극 60개(평균 hit rate 31.90%, SD = 2.66)를 선정하였다. 장면 범주가 기억 수행에 영향을 미칠 가능성을 통제하기 위해 이미지 데이터베이스에서 풍경(landscape) 범주로 분류된 자극만을 사용했다. 선정된 120개의 시각 자극 중 60개는 학습 단계에서 제시되는 기억 항목으로, 나머지 60개는 기억 검사 단계의 재인 과제에서 새로운(novel) 항목으로 사용되었다. 기억 항목과 새로운 항목에는 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극이 동일한 비율로 포함되었다.

실험은 학습 단계(study session)와 검사 단계(test session)로 구성되었다(Figure 1).

학습 단계에서 60개의 장면 자극이 화면 중앙에 한 장씩 차례로 제시되었고, 자극의 크기는 화면 세로 길이의 40%로 설정되었다. 참가자들은 제시된 시각 자극을 부호화한 뒤 스페이스바를 눌러 다음 시행으로 진행하도록 지시받았다. 시각 자극 아래에는 화면 세로 길이의 3% 크기로 “Remember the scene. Press the spacebar to continue”라는 안내 문구가 제시되었다. 참가자는 자극 부호화를 얼마나 빨리 해야 하는지에 대한 구체적인 지시를 받지 않았으며, 원하는 만큼 부호화 시간을 사용할 수 있었다. 참가자가 스페이스바를 누르면 500ms의 빈 화면이 제시된 후 다음 시각 자극이 제시되었다. 60개의 시각 자극 부호화를 마친 후 30초의 휴식 시간이 주어졌다.

검사 단계에서는 학습 단계에서 본 60개의 장면 자극과 새롭게 제시되는 60개의 장면 자극이 무작위 순서로 제시되었다. 참가자들은 시각 자극을 학습 단계에서 본 적이 있으

면 왼쪽 방향키를, 본 적이 없는 새로운 자극이면 오른쪽 방향키를 눌러 반응하는 기억 재인 과제를 수행했다. 검사 단계의 자극은 화면 중앙에 학습 단계에서 제시된 것과 동일한 크기로 나타났으며, 참가자가 반응할 때까지 화면에 남아 있었다.

본 실험에 앞서 참가자들은 8번의 부호화 시행과 16번의 기억 재인 시행으로 구성된 연습 단계를 수행했다. 연습 단계에서는 재인 과제 반응 직후 피드백이 제공되었으나, 본 실험에서는 피드백이 제공되지 않았다.

분석

학습 단계에서 반응시간이 5초보다 느린 시행은 분석에서 제외하였다. 참가자 40명의 전체 시행 2,400개(40명 × 60 시행) 중에서 6.63%(159개)가 제외되었으나, 이러한 제외는 결과에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았다.

시각 자극의 기억용이성이 실제 기억 재인 과제 수행에 영향을 미쳤는지 확인하기 위해 검사 단계에서 기억가능성이 높고 낮은 이미지 간 재인 정확도를 대응표본 t-검정으로 비교했다. 이때 자극의 기억용이성은 선행 연구에서 보고된 기억 재인 적중률(hit rate)에 따라 사전에 정의되었다.

본 연구의 주요 관심사는 시각 자극 부호화에 걸린 시간으로 측정된 부호화 효율성이 자극의 기억용이성 수준에 따라 다른지를 검증하는 것이었다. 이를 위해 학습 단계에서 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극 간 부호화 반응 시간 차이를 대응표본 t-검정으로 비교했다. 또한 부호화 반응 시간이 실제 기억 재인 수행을 예측할 수 있는가를 확인하기 위해 각 시각 자극의 부호화 반응시간과 기억 재인 적중률(hit rate) 간의 Spearman 상관계수를 산출했다. 나아가 부호화 반응시간의 변산성이 기억용이성과 관련되는지를 알아보기 위해 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극의 부호화 반응 시간 표준편차를 비교했다.

마지막으로, 기억용이성이 높은 자극이 부호화뿐 아니라



Figure 1. In the study session, memorable or forgettable scene images were sequentially presented. Participants encoded each image and pressed the spacebar to continue to the next trial. Participants' spontaneous RTs indicated the encoding duration for each image. Following a 30-second break, participants engaged in an old/new recognition task.

인출(retrieval) 과정에서도 효율적으로 처리되는지를 조사했다. 이를 위해 재인 검사 단계에서 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극의 재인 반응 시간을 비교했다. 재인 단계의 반응시간 분석에는 항목 유형(기억 항목(old) vs. 새로운 항목(new))과 기억용이성(높음 vs. 낮음)을 요인으로 하는 반복측정 분산분석(repeated-measures ANOVA)을 사용했다.

결 과

기억 재인 과제에서 기억용이성이 높은 자극은 기억용이성이 낮은 자극보다 높은 직중률을 보였다, $t(39) = 12.07, p < .001, d = 1.91$ (Figure 2A). 부호화 단계에서는 자극의 기억용이성 수준에 따라 부호화 반응 속도가 유의하게 차이가 났다, $t(39) = 3.85, p < .001, d = .609$. 구체적으로, 기억용이성이 높은 자극이 더 빠르게 부호화됐다. 또한 부호화 반응 시간은 이후 재인 과제에서의 기억 수행과도 유의한 상관관계를 보였다, $r = .327, p = .011$ (Figure 2B). 즉, 참가자가 빠르게 부호화를 마친 자극일수록 이후 기억 재인 과제에서 정확히 기억되는 경향을 보였다.

다음으로, 기억 재인 과제에서의 반응시간 또한 자극의 기억용이성 수준에 따라 달라지는가를 분석하기 위해 전체 시행의 기억 재인 과제 반응시간에 대해 항목 유형(기억 항목(old) vs. 새로운 항목(new))과 기억용이성(높음 vs. 낮음)을 요인으로 하는 반복측정 ANOVA를 수행했다(Figure 2C). 분석 결과, 기억용이성의 주효과는 유의했으며, 기억용이성이 높은 자극에 대한 재인 반응이 기억용이성이 낮은 자극에 대한 반응보다 빠른 것으로 나타났다, $F(1, 39) = 27.24, p < .001, \eta^2_p = .411$. 반면 항목 유형의 주효과는 유의하지 않았

다, $F(1, 39) = .807, p = .374, \eta^2_p = .020$. 기억용이성 수준과 항목 유형의 상호작용은 통계적으로 유의했다, $F(1, 39) = 8.87, p = .005, \eta^2_p = .185$. 사후 분석 결과, 재인 과제에서 제시된 자극이 기억 항목(old)이었을 때 기억용이성이 높은 자극에 대한 반응시간이 기억용이성이 낮은 자극의 반응시간보다 빨랐다, $t(39) = 6.33, p < .001, d = 1.00$. 그러나 자극이 새로운 항목(new)일 때는 자극의 기억용이성 수준에 따른 반응시간 차이가 통계적으로 유의하지 않았다, $t(39) = -1.64, p = .109, d = -.259$. 즉, 기억용이성이 높은 자극은 학습 경험이 있을 때에만 더 빠르게 인출되는 경향을 보였으며, 이는 기억용이성이 높은 정보가 더 효율적으로 재활성화된다는 이전 연구와도 일관된 결과이다(Xie et al., 2020). 이러한 결과는 오답 시행을 제외하고 분석했을 때도 동일하게 나타났다(기억용이성 주효과 $F(1, 39) = 20.03, p < .001, \eta^2_p = .339$; 항목 유형 주효과 $F(1, 39) = .52, p = .472, \eta^2_p = .013$; 상호작용 $F(1, 39) = 6.55, p = .015, \eta^2_p = .144$).

학습 단계에서 시각 자극의 부호화 효율성은 반응시간뿐만 아니라 반응의 변동성(variability)에도 반영될 가능성이 있다(Esterman et al., 2013). 이를 확인하기 위해 기억용이성 수준 간 부호화 반응시간의 표준편차를 비교하였다. 그러나 부호화 반응시간의 표준편차는 기억용이성 수준에 따른 차이를 보이지 않았다, $t(39) = .58, p = .565, d = .092$.

실험 결과를 요약하면, 기억용이성이 높은 시각 자극은 부호화 과정과 인출 과정 모두에서 기억용이성이 낮은 자극보다 더 빠르게 처리되는 경향을 보였다.

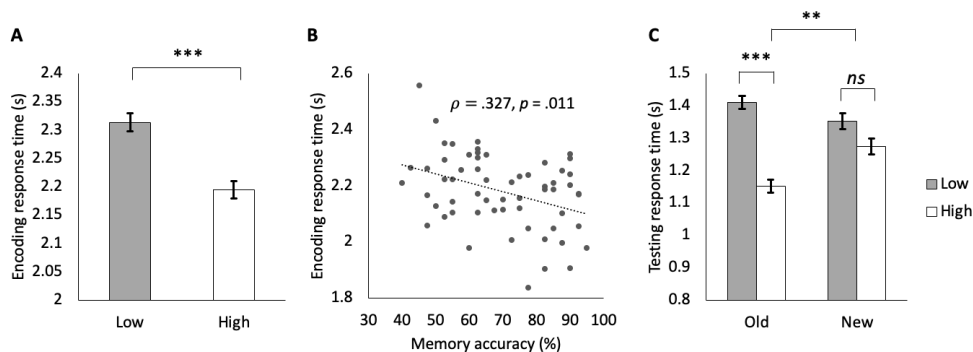


Figure 2. (A) High memorability scene images were encoded faster than low memorability images. Error bars indicate within-participant standard errors. (B) Encoding response time was correlated with actual memory performance. Each dot indicates an individual scene image. Images encoded faster during the study session were recognized better in the test session. (C) In the test session, participants retrieved highly memorable images faster but only when the probed images were old. ** $p < .01$; *** $p < .001$; ns: not significant.

추가 분석

본 연구에서는 이미지 데이터베이스에서 기억용이성이 가장 높은 자극과 낮은 자극들을 선별했기 때문에 기억용이성 수준이 중간인 자극은 사용되지 않았다. 또한 자극 범주의 효과를 통제하기 위해 풍경 범주로 분류된 장면 자극만을 사용했다. 본 연구 결과의 재현성과 일반화 가능성을 확인하기 위해 유사한 실험 설계를 사용한 선행 연구의 데이터를 재분석하였다(Jeong, 2023). 추가 분석에는 선행 연구에 참여한 총 65명의 참가자 데이터가 사용되었다. 참가자 집단은 한국 충북대학교에서 모집된 오프라인 참가자 30명과 MTurk에서 모집된 미국 참가자 35명으로 구성되었다.

본 연구의 실험과 과제 구조가 유사한 선행 연구의 실험 2a와 2b의 데이터를 다시 분석했다. 참가자들은 본 연구와 동일하게 제시되는 자극을 원하는 시간 동안 부호화하고 이어서 기억 재인 검사 과제를 수행했다. 10K US Adult Face Database의 얼굴 자극 50개(Bainbridge et al., 2013)와 MemCat 이미지 데이터베이스의 장면 자극 50개(Goetschalckx & Wagemans, 2019)가 사용됐다. 본 연구와 달리 선행 연구에서는 기억용이성이 높고 낮은 자극뿐 아니라 중간 수준인 자극도 포함됐다. 구체적인 참가자 특성 및 실험 절차는 선행 연구에 제시되었다(Jeong, 2023).

한국 오프라인 참가자와 미국 MTurk 참가자의 결과가 동일한 경향을 보였기 때문에 두 집단의 데이터를 통합하여 분석했다. 본 연구 결과 분석과 동일한 기준에 따라 부호화 반응시간이 5초보다 느린 시행을 제외한 후, 각 자극의 부호화 반응시간과 재인 적중률 간의 상관관계, 그리고 각 자극의 부호화 반응시간과 이미지 데이터베이스에 기록된 해당 자극의 기억용이성 점수 간 상관관계를 측정했다.

분석 결과, 얼굴 자극과 장면 자극 모두에서 부호화 반응

시간과 이후 재인 과제 적중률 간에 유의한 상관관계가 나타났다, $r = -.508, p < .001$ (Figure 3A). 또한 부호화 반응 시간은 이미지 데이터베이스에서 보고된 기억용이성 점수와의 유의한 상관을 보였다, $r = -.459, p < .001$ (Figure 3B). 즉, 선행 연구 추가 분석 결과, 다른 자극 범주와 다른 문화권 참가자 집단에서도 본 연구와 동일한 결과가 재현됐다.

종합논의

기억용이성은 특정 시각 자극이 얼마나 잘 기억될 수 있는가를 나타내는 자극 고유의 특성이다(Bainbridge, 2019; Bainbridge & Baker, 2020; Halpern et al., 2023). 자극의 기억용이성은 개인 간 및 개인 내에서 높은 일관성을 보이지만, 그림에도 불구하고 사람들은 특정 자극이 얼마나 잘 기억될지 정확하게 예측하지 못한다(Isola et al., 2014). 기억용이성 예측이 부정확한 이유는 직관적으로 인식하기 쉽지만 실제 기억 수행과 낮은 상관을 보이는 자극의 지각적·개념적 특성에 의한 편향 때문일 가능성이 있다. 본 연구는 이러한 편향을 피하기 위해 직접적인 기억 수행 예측 대신 자발적 부호화 시간이라는 간접적 행동 측정치를 통해 기억용이성을 예측할 수 있는가를 알아봤다.

본 연구에서 참가자들은 제한 시간 없이 시각 자극을 부호화한 뒤 기억 재인 과제를 수행했다. 실험 결과, 기억용이성이 높은 자극은 더 빠르게 부호화되고 더 정확하게 기억되었다. 이러한 부호화 효율성과 기억 수행의 관계는 본 연구뿐 아니라 다양한 자극 범주(얼굴·장면)와 다른 문화권의 참가자를 포함한 선행 연구 데이터에서도 동일하게 관찰되었다. 또한 기억용이성이 높은 자극은 인출 단계에서도 더 짧은 재인 반응시간을 보였다. 이러한 결과는 기억용이성이 기억 과정 전반에 지속적으로 영향을 미칠 수 있으며(Xie et al., 2020), 반응시간이 기억 수행을 측정하고 예측할 수 있는 핵심 지표 중 하나가 될 수 있음을 시사한다(Kahana & Loftus, 1999).

본 연구의 결과는 기억용이성이 시각 정보 처리 과정의 초기 단계부터 영향을 미친다는 최근 연구에 수렴적 증거를 제공한다(Ye et al., 2023). 예를 들어, 기억용이성이 높은 자극과 낮은 자극을 봤을 때 안구 운동 패턴이 다르게 나타나는데(Bylinskii et al., 2015; Damiano & Walther, 2019), 특히 부호화 초반 약 2초 이내에 안구 운동 패턴의 차이가 주로 발견된다(Lyu et al., 2020). 또한 기억용이성이 높은 이미지는 제시 시간이 짧게 제한된 상황에서 기억용이성이

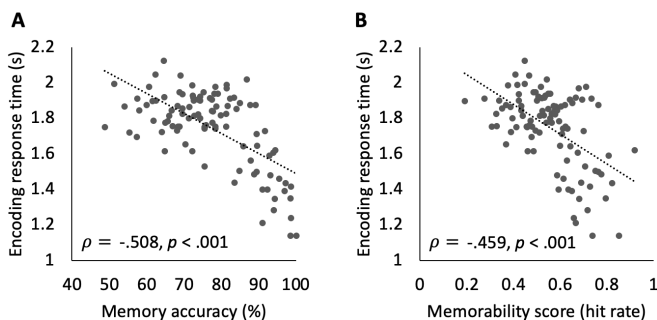


Figure 3. (A) Correlation between memory recognition accuracy and encoding RT. Face and scene images that were encoded faster resulted in greater memory accuracy. Each dot indicates individual images. (B) Correlation between image memorability and encoding RT. Images that were rated as highly memorable were encoded faster.

낮은 이미지보다 더 빠르게 탐지되며(Broers et al., 2018), 시각 정보 처리 초기 단계에서부터 신경반응 패턴이 더 정확하게 디코딩된다(Mohsenzadeh et al., 2019). 나아가, 기억 용이성이 높은 자극은 보다 적은 작업기억 자원으로도 처리될 수 있다(Gillies et al., 2023). 본 연구와 여러 선행 연구를 종합하면, 기억용이성이 시각 정보처리 과정 전반에서 우선순위 신호(prioritization signal)로 작용할 수 있음을 시사한다(Bainbridge, 2022; Rust & Mehrpour, 2020). 즉, 시각 시스템은 특정 자극을 다른 자극보다 더 효율적으로 부호화하고 인출하도록 구조화되어 있으며, 기억용이성은 이러한 정보 처리를 유발하는 자극의 내재적 특성으로 볼 수 있다.

일부 연구에서는 자극 부호화 시간 또는 자극 유지(maintenance) 시간이 길수록 기억 수행이 향상된다는 결과가 보고됐다(Daviddi et al., 2022; Li et al., 2020; Quirk et al., 2020). 그러나 시각 정보 처리 시간의 증가가 반드시 기억 향상으로 이어지는 않으며, 부호화 시간과 기억 수행의 관계는 자극 특성이나 부호화 전략에 따라 조절될 수 있다(Brady et al., 2016; Craik & Watkins, 1973; Luck & Vogel, 1997). 부호화 시간이 증가하면 기억 수행도 향상됨을 보고한 선행 연구들에서는 부호화 시간이 실험적으로 통제됐다. 즉, 부호화가 완료되기 전에 자극 제시가 강제로 종료되거나 자발적 부호화가 끝난 이후에도 추가 부호화 시간이 제공될 수 있었다. 이러한 실험 설계에서는 자극의 기억 용이성 수준에 따른 자발적 부호화 시간 차이가 드러나기 어렵다. 반면 본 연구에서는 참가자가 부호화 시간을 스스로 결정했기 때문에, 기억용이성이 높은 자극이 더 빠르게 부호화되는 결과를 관찰할 수 있었다. 추가로, 본 연구는 선행 연구에서 관찰된 기억용이성이 높은 자극의 특성을 참가자들이 명시적인 지시 없이도 자발적으로 부호화 과정에서 활용할 수 있음을 확인했다.

본 연구 결과로는 참가자들이 각 자극을 얼마나 잘 기억할 수 있을지를 평가하고 의도적으로 부호화 시간을 조절한 것인지 아니면 암묵적인 정보 처리 과정에 의해 부호화 시간이 결정된 것인지 구분할 수 없다는 한계가 있다. 그러나 선행 연구에서 참가자들의 주관적 기억 수행 예측은 실제 기억 행동과 낮은 상관관계를 보였다(Isola et al., 2014). 따라서 참가자들이 주관적인 기억 수행 평가에 따라 부호화 시간을 결정했다면 부호화 반응 시간과 기억 수행 간의 일관된 관계가 나타나지 않았을 것이다. 부호화 반응 시간이 짧을수록 기억 수행이 높은 상관관계는 참가자들이 의식적인 기억 수행 예측에 의존하지 않고 부호화 시간을 조절했을 가능성을 시사한다.

최근의 인공지능 기반 모델은 인간의 주관적 판단보다 훨씬 높은 정확도로 기억용이성을 예측할 수 있음이 보고되었다(Needell & Bainbridge, 2022; Zhao et al., 2023). 인공지능 모델들은 과제 수행 시의 상황 같은 자극 외적 요소나 참가자 개인 특성의 영향을 받지 않고 입력된 자극의 특성에만 의존해 기억용이성을 예측한다. 이는 기억용이성이 자극 고유의 속성으로부터 상당 부분 결정된다는 이론을 지지하며(Bainbridge, 2022), 인간이 그 속성을 명시적으로 인식하지 못하더라도 본 연구에서 확인된 것처럼 부호화 효율성이라는 간접적인 형태로 활용될 수 있음을 시사한다. 후속 연구에서 인공지능 모델이 기억 수행 예측에 활용하는 시각 자극의 특성을 분석함으로써 인간이 직관적으로 파악하기 어려운 기억용이성의 구성 요소를 보다 정교하게 규명할 수 있을 것이다.

마지막으로, 본 연구에서 사용한 부호화 반응시간은 온라인 및 오프라인 실험 환경 모두에서 쉽게 실시간으로 자극의 기억용이성과 이후 기억 수행을 예측할 수 있는 행동 지표이다. 따라서 본 연구의 결과는 시각 인지 분야의 이론적 기여뿐 아니라, 교육, 광고, UX 디자인 등 다양한 현실 맥락에서의 활용 가능성도 함께 제시한다. 예를 들어, 사용자가 학습을 진행하는 동안 별도의 기억 과제를 수행하지 않더라도, 학습 과정에서 나타나는 반응 시간 지표를 통해 이후의 기억 수행을 예측하고 이를 바탕으로 학습 자료의 내용이나 진행 속도를 동적으로 조절하는 방식의 활용도 가능할 것이다.

References

- Bainbridge, W. A. (2017). The memorability of people: Intrinsic memorability across transformations of a person's face. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(5), 706-716. <https://doi.org/10.1037/xlm0000339>
- Bainbridge, W. A. (2019). *Memorability: How what we see influences what we remember* (1 ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2019.02.001>
- Bainbridge, W. A. (2022). Shared memories driven by the intrinsic memorability of items. *Human Perception of Visual Information: Psychological and Computational Perspectives*, 183-206. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81465-6_7
- Bainbridge, W. A., & Baker, C. I. (2020). Boundaries Extend and Contract in Scene Memory Depending on Image Properties. *Current Biology*, 30(3), 537-543 e533. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.004>
- Bainbridge, W. A., Isola, P., & Oliva, A. (2013). The intrinsic

- memorability of face photographs. *Journal of Experimental Psychology: General*, *142*(4), 1323-1334.
<https://doi.org/10.1037/a0033872>
- Brady, T. F., Stormer, V. S., & Alvarez, G. A. (2016). Working memory is not fixed-capacity: More active storage capacity for real-world objects than for simple stimuli. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(27), 7459-7464.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1520027113>
- Broers, N., Potter, M. C., & Nieuwenstein, M. R. (2018). Enhanced recognition of memorable pictures in ultra-fast RSVP. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(3), 1080-1086.
<https://doi.org/10.3758/s13423-017-1295-7>
- Bylinskii, Z., Isola, P., Bainbridge, C., Torralba, A., & Oliva, A. (2015). Intrinsic and extrinsic effects on image memorability. *Vision Research*, *116*(Pt B), 165-178.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.03.005>
- Craik, F. I., & Watkins, M. J. (1973). The role of rehearsal in short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *12*(6), 599-607.
[https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(73\)80039-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(73)80039-8)
- Damiano, C., & Walther, D. B. (2019). Distinct roles of eye movements during memory encoding and retrieval. *Cognition*, *184*, 119-129.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.12.014>
- Daviddi, S., Mastroberardino, S., St Jacques, P. L., Schacter, D. L., & Santangelo, V. (2022). Remembering a virtual museum tour: Viewing time, memory reactivation, and memory distortion. *Frontiers in Psychology*, *13*, 869336.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.869336>
- Esterman, M., Noonan, S. K., Rosenberg, M., & DeGutis, J. (2013). In the zone or zoning out? Tracking behavioral and neural fluctuations during sustained attention. *Cerebral Cortex*, *23*(11), 2712-2723.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhs261>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175-191.
<https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Gillies, G., Park, H., Woo, J., Walther, D. B., Cant, J. S., & Fukuda, K. (2023). Tracing the emergence of the memorability benefit. *Cognition*, *238*, 105489.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105489>
- Goetschalckx, L., Moors, J., & Wagemans, J. (2019). Incidental image memorability. *Memory*, *27*(9), 1273-1282.
<https://doi.org/10.1080/09658211.2019.1652328>
- Goetschalckx, L., Moors, P., & Wagemans, J. (2018). Image memorability across longer time intervals. *Memory*, *26*(5), 581-588. <https://doi.org/10.1080/09658211.2017.1383435>
- Goetschalckx, L., & Wagemans, J. (2019). MemCat: a new category-based image set quantified on memorability. *PeerJ*, *7*, e8169. <https://doi.org/10.7717/peerj.8169>
- Grassi, P. R., Hoeppe, L., Baytimur, E., & Bartels, A. (2025). Restoring sight in choice blindness: pupillometry and behavioral evidence of covert detection. *Frontiers in Psychology*, *16*, 1598254.
- Halpern, D. J., Tubridy, S., Davachi, L., & Gureckis, T. M. (2023). Identifying causal subsequent memory effects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(13), e2120288120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2120288120>
- Hannula, D. E., Althoff, R. R., Warren, D. E., Riggs, L., Cohen, N. J., & Ryan, J. D. (2010). Worth a glance: using eye movements to investigate the cognitive neuroscience of memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 166.
- Hunt, R. R., & Worthen, J. B. (2006). *Distinctiveness and memory*. Oxford University Press.
- Isola, P., Jianxiong, X., Parikh, D., Torralba, A., & Oliva, A. (2014). What Makes a Photograph Memorable? *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, *36*(7), 1469-1482.
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.200>
- Isola, P., Xiao, J., Torralba, A., & Oliva, A. (2011). What makes an image memorable? CVPR 2011.
- Jeong, S. K. (2023). Cross-cultural consistency of image memorability. *Scientific Reports*, *13*(1), 12737.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-39988-5>
- Kafkas, A., Brown, T., Olusola, N., & Guo, C. (2023). Pupil response patterns distinguish true from false memories. *Scientific Reports*, *13*(1), 17244.
- Kahana, M., & Loftus, G. (1999). Response time versus accuracy in human memory. *The Nature of Cognition*, 322-384.
- Khosla, A., Raju, A. S., Torralba, A., & Oliva, A. (2015). *Understanding and Predicting Image Memorability at a Large Scale* 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).
- Konkle, T., Brady, T. F., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2010). Conceptual distinctiveness supports detailed visual long-term

- memory for real-world objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139(3), 558-578.
<https://doi.org/10.1037/a0019165>
- Kramer, M. A., Hebart, M. N., Baker, C. I., & Bainbridge, W. A. (2023). The features underlying the memorability of objects. *Science Advances*, 9(17), eadd2981.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.add2981>
- Lapteva, A., & Martarelli, C. S. (2024). Pupil old/new effect as an objective measure of recognition memory: a meta-analysis of 17 eye-tracking experiments. *Memory*, 32(9), 1211-1226.
- Li, X., Xiong, Z., Theeuwes, J., & Wang, B. (2020). Visual memory benefits from prolonged encoding time regardless of stimulus type. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 46(10), 1998-2005.
<https://doi.org/10.1037/xlm0000847>
- Lin, Q., Yousif, S. R., Chun, M. M., & Scholl, B. J. (2021). Visual memorability in the absence of semantic content. *Cognition*, 212, 104714.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104714>
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281. <https://doi.org/10.1038/36846>
- Lyu, M., Choe, K. W., Kardan, O., Kotabe, H. P., Henderson, J. M., & Berman, M. G. (2020). Overt attentional correlates of memorability of scene images and their relationships to scene semantics. *Journal of Vision*, 20(9), 2-2.
<https://doi.org/10.1167/jov.20.9.2>
- Mather, M. (2007). Emotional arousal and memory binding: An object-based framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33-52.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Mohsenzadeh, Y., Mullin, C., Oliva, A., & Pantazis, D. (2019). The perceptual neural trace of memorable unseen scenes. *Scientific Reports*, 9(1), 6033.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-42429-x>
- Needell, C. D., & Bainbridge, W. A. (2022). Embracing new techniques in deep learning for estimating image memorability. *Computational Brain & Behavior*, 5(2), 168-184. <https://doi.org/10.1007/s42113-022-00126-5>
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Hochenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindelov, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195-203.
<https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Quirk, C., Adam, K. C. S., & Vogel, E. K. (2020). No Evidence for an Object Working Memory Capacity Benefit with Extended Viewing Time. *eNeuro*, 7(5).
<https://doi.org/10.1523/ENEURO.0150-20.2020>
- Rust, N. C., & Mehrpour, V. (2020). Understanding Image Memorability [Review]. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(7), 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.04.001>
- Wakeland-Hart, C. D., Cao, S. A., deBettencourt, M. T., Bainbridge, W. A., & Rosenberg, M. D. (2022). Predicting visual memory across images and within individuals. *Cognition*, 227, 105201.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105201>
- Whitlock, J., Hubbard, R., & Sahakyan, L. (2025). Pupil-size fluctuations during recognition testing reflects a rapid match signal. *Journal of Vision*, 25(9), 2719-2719.
- Xie, W., Bainbridge, W. A., Inati, S. K., Baker, C. I., & Zaghoul, K. A. (2020). Memorability of words in arbitrary verbal associations modulates memory retrieval in the anterior temporal lobe. *Nature Human Behaviour*, 4(9), 937-948. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0901-2>
- Ye, C., Guo, L., Wang, N., Liu, Q., & Xie, W. (2023). Perceptual boost of visual memorability on visual memory formation. *Available at SSRN 4639213*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4639213>
- Zhao, C., Kim, J., Tang, T. H., Saito, J. M., & Fukuda, K. (2023). Deep Neural Network Decodes Aspects of Stimulus-intrinsic Memorability Inaccessible to Humans. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/urz5s>

부호화 효율성과 이미지 기억용이성의 관계

정수근¹

¹가톨릭대 심리학과

이미지 기억용이성(image memorability)은 특정 이미지가 얼마나 잘 기억되는지를 나타내는 자극 자체의 내재적 속성을 의미한다. 기억용이성은 개인 간에 높은 일관성을 보이는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 자극 특성에도 불구하고 선행 연구들은 참가자들이 특정 자극을 얼마나 기억할 수 있을지에 대한 주관적 예측이 실제 기억 수행 결과와 일치하지 않는다는 결과를 보고했다. 본 연구에서는 주관적 기억용이성 예측이 실제 기억용이성과 직접적으로 관련되지 않지만 의식적으로 접근 가능한 이미지 특성에 의해 편향될 수 있다고 가정하였다. 이러한 편향을 최소화하기 위해, 본 연구에서는 간접적 행동 지표를 활용하여 이미지 기억용이성을 예측하고자 하였다. 참가자들은 장면 이미지를 기억하는 과제를 수행했다. 기억 과제는 참가자가 제시되는 장면을 부호화하고 키보드 버튼을 누르면 다음 장면이 제시되는 방식으로 진행됐다. 실험 결과, 부호화 과정에서의 자발적 반응시간이 기억용이성을 예측하는 지표로 나타났다. 구체적으로, 참가자들은 기억용이성이 높은 이미지에 대해 기억용이성이 낮은 이미지보다 더 빠른 반응을 보였다. 이러한 결과는 부호화 시 정보 처리 효율성이 이미지 기억용이성을 예측할 수 있음을 시사한다.

주제어: 기억용이성, 예측, 반응시간, 부호화 효율