

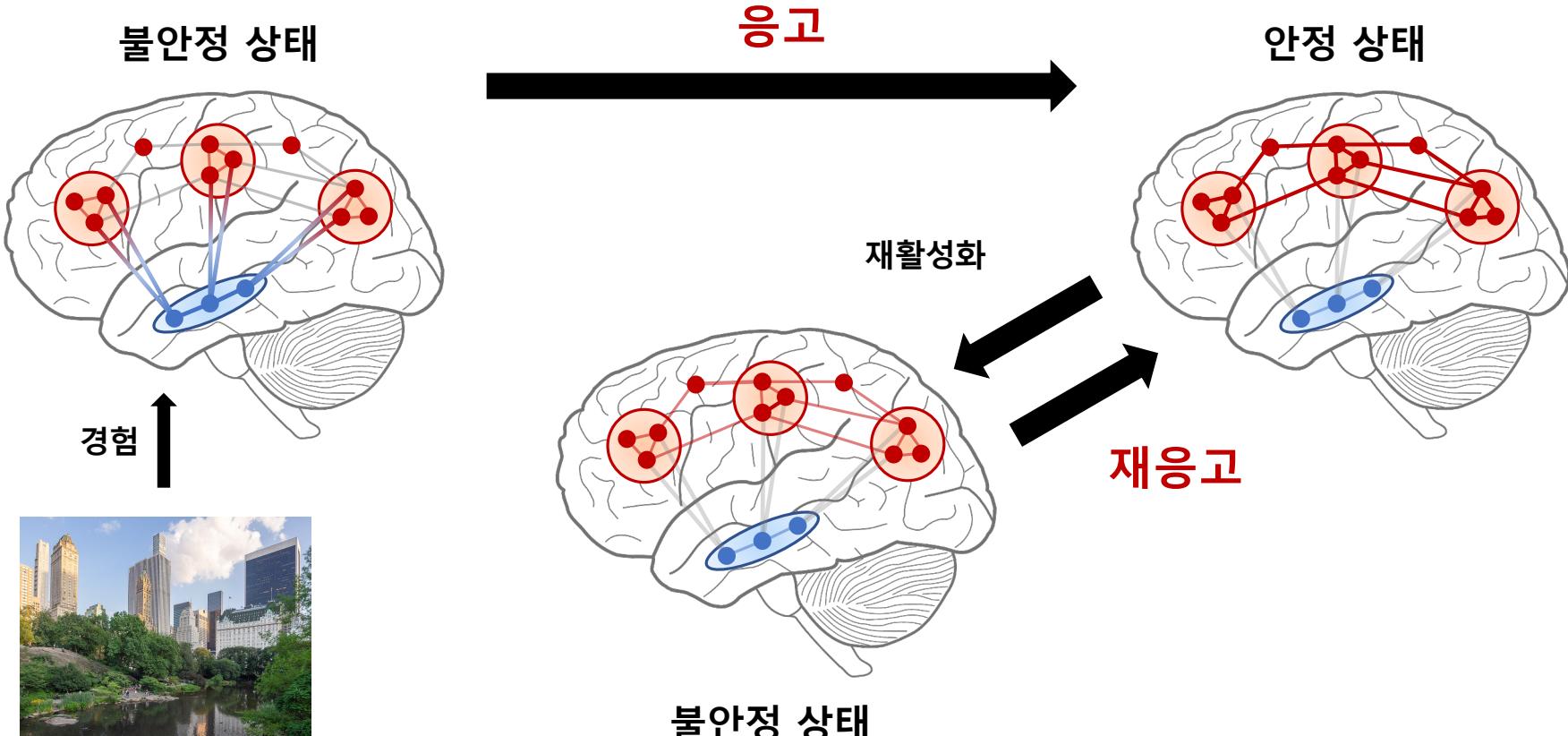
재응고를 통한 일화 기억 갱신: 예측 오류의 효과

Reconsolidation-based Episodic Memory Updating:
Effect of Prediction Error

김태훈

기억 응고와 재응고 Memory Consolidation & Reconsolidation

Mcgaugh, 2000; Dudai, 2004; Nader, Schafe, & LeDoux, 2000; Hupbach et al., 2013

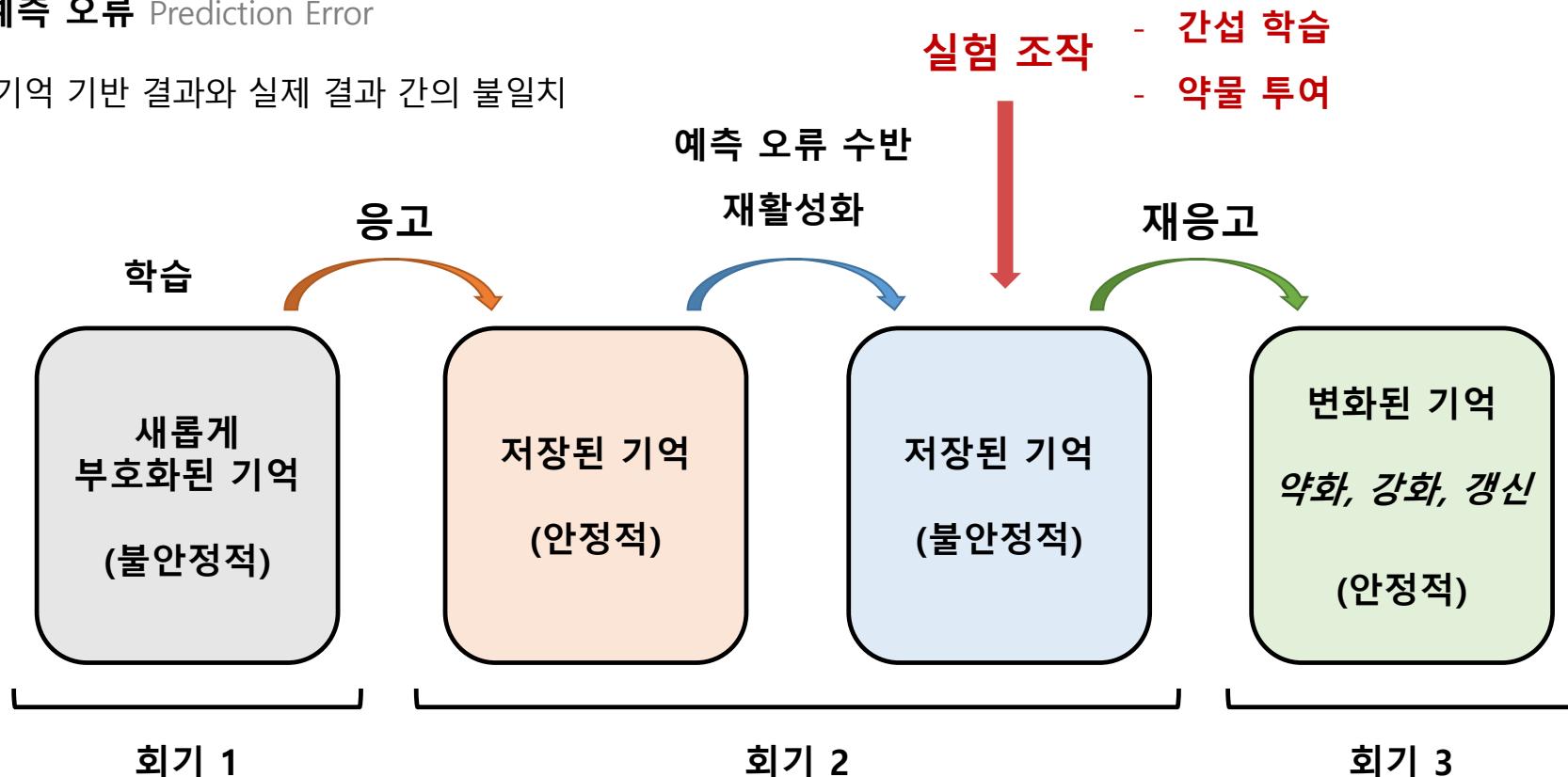


재응고 기반 기억 갱신 실험 패러다임

Nader et al., 2000; Hupbach et al., 2013; Sinclair, & Barense, 2019

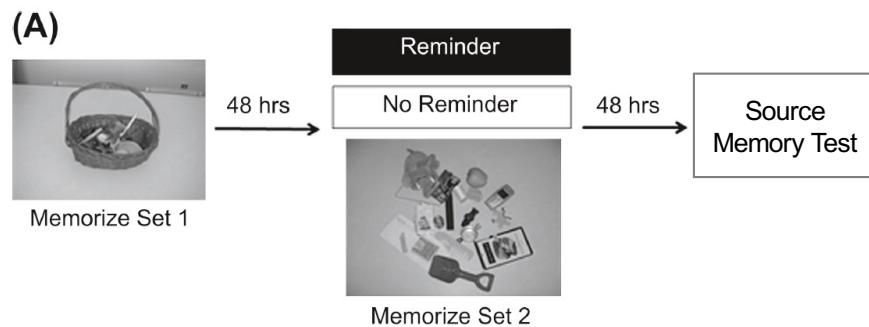
- 예측 오류 Prediction Error

- 기억 기반 결과와 실제 결과 간의 불일치



재응고를 활용한 일화 기억 갱신

Hupbach et al., 2009



맥락 기억 단서



실험 장소



실험자



절차 상기 질 문

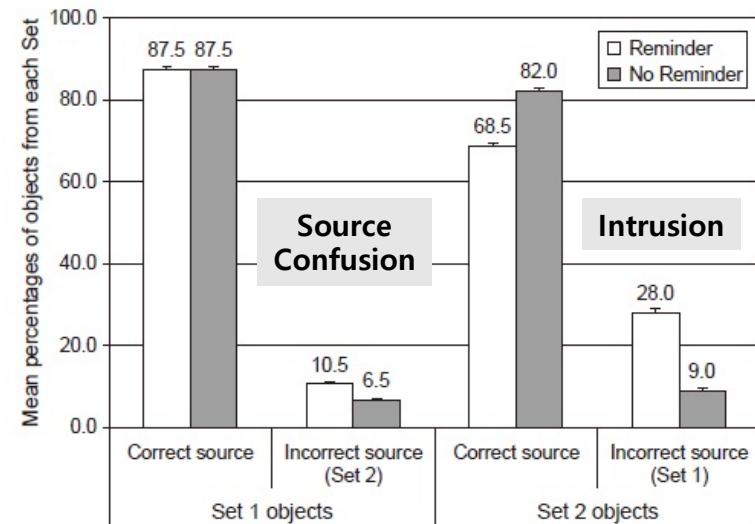
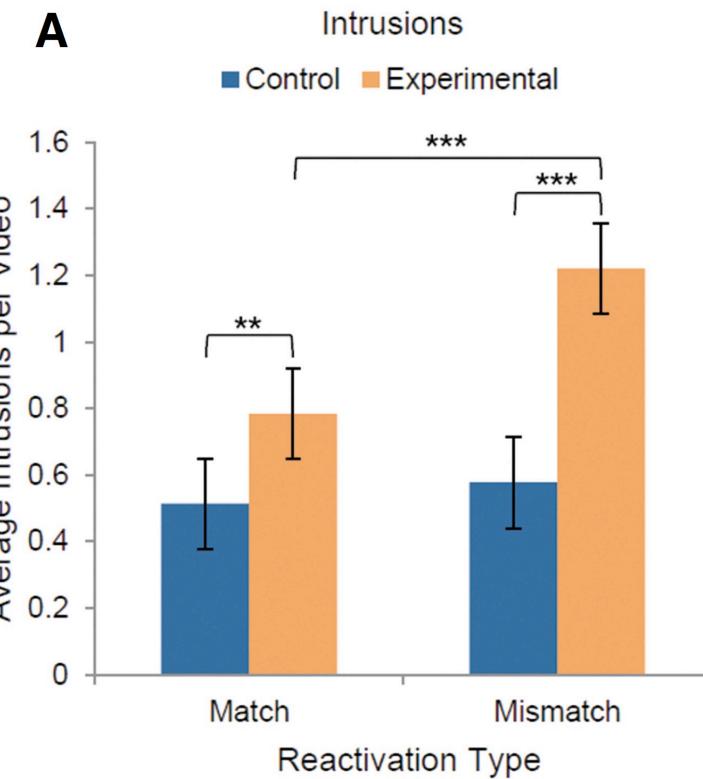
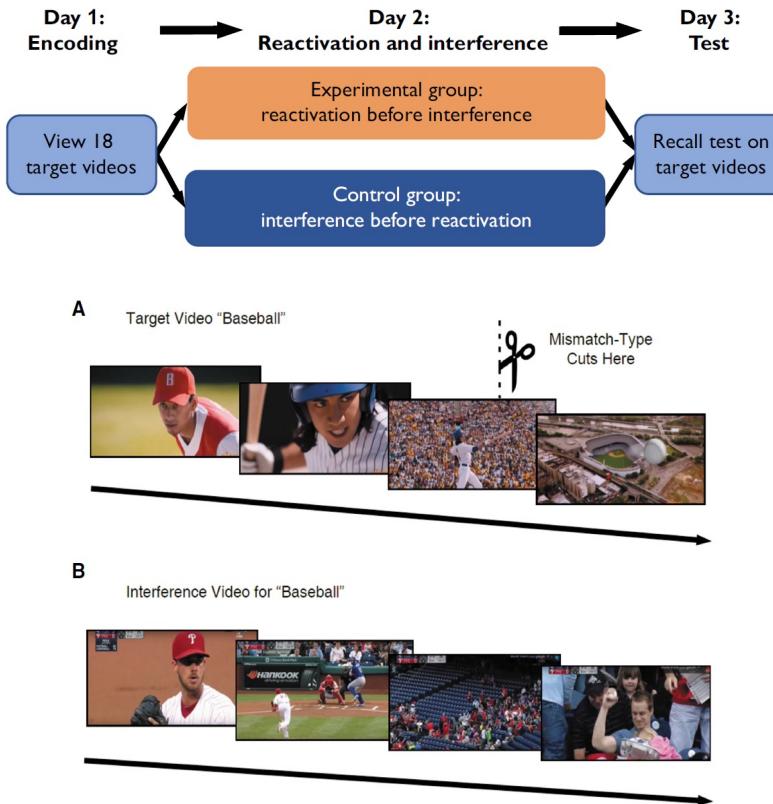


Figure 1. Experiment 1: Mean percentages of objects from Set 1 and Set 2 for which the sources were correctly or incorrectly identified in the reminder and no-reminder groups (error bars represent standard errors of the means).

재응고 과정에서 예측 오류의 필요성

Sinclair & Barense, 2018



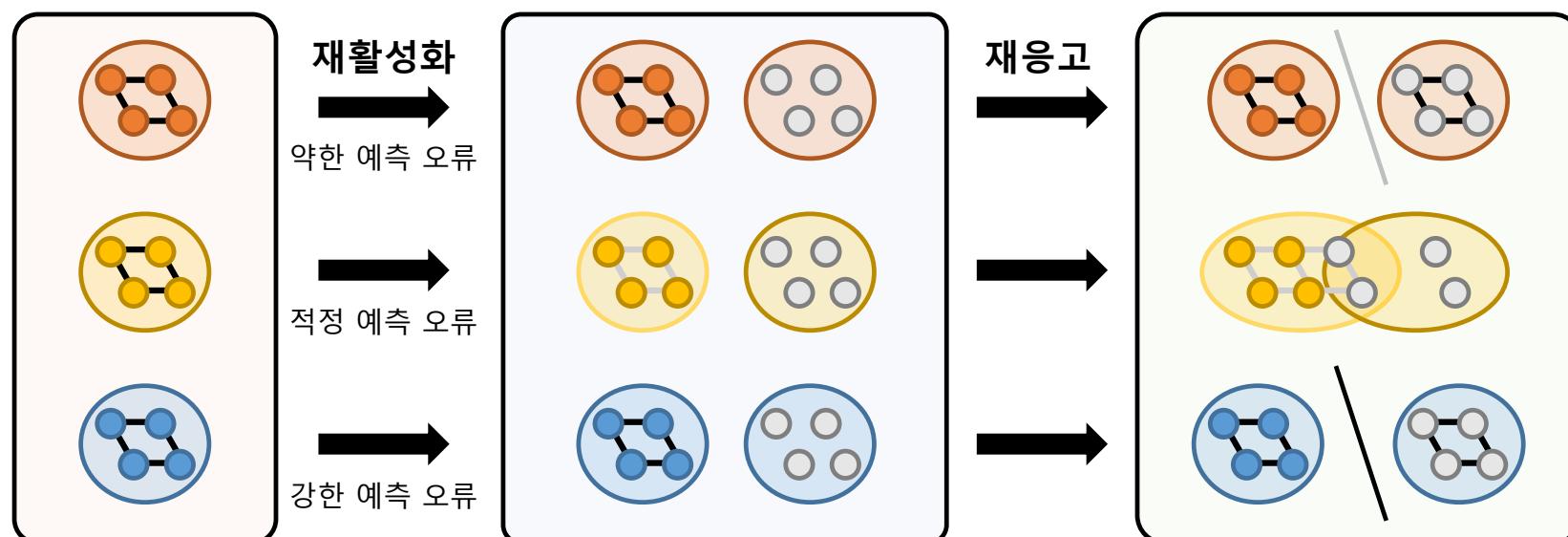
연구 질문 및 목표

Q. 예측 오류의 정도와 기억 갱신의 비선형적 관계?

연구 질문 및 목표

Q. 예측 오류의 정도와 기억 간선의 비선형적 관계?

- ✓ 재응고와 예측 오류의 적응적 역할 (Schacter et al., 2011; Exton-McGuinness et al., 2015)



연구 질문 및 목표

Q. 예측 오류의 정도와 기억 갱신의 비선형적 관계?

- ✓ 재응고와 예측 오류의 적응적 역할 (Schacter et al., 2011; Exton-McGuinness et al., 2015; Simon et al., 2017)
- ✓ 공포 조건화 맥락에서 예측 오류의 비선형적 효과 (Sevenster et al., 2014)
- ✓ 일화 기억 맥락에서 기억 갱신과 예측 오류의 간접적인 비선형성 (Simon et al., 2017)

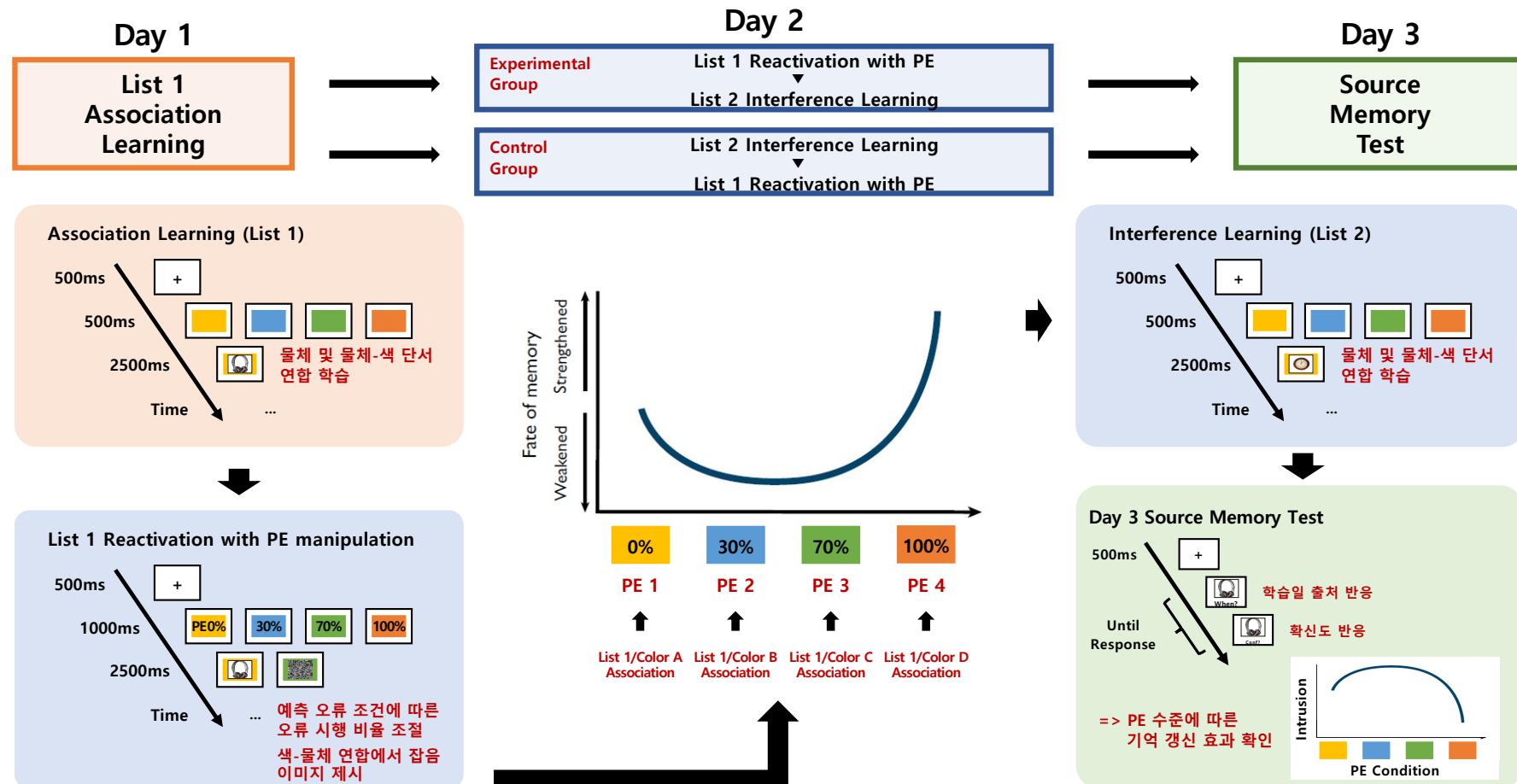
연구 질문 및 목표

Q. 예측 오류의 정도와 기억 갱신의 비선형적 관계?

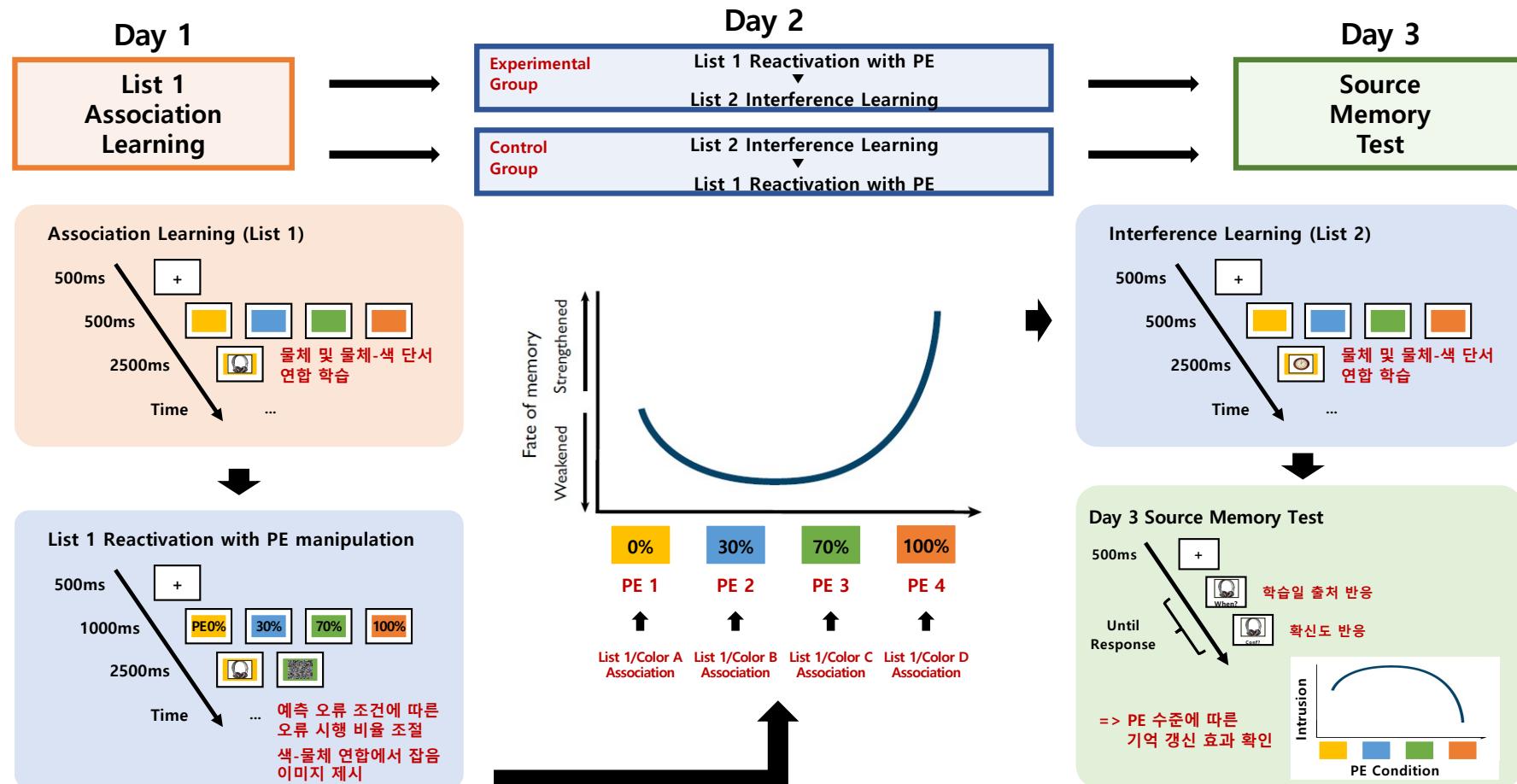
- ✓ 재응고와 예측 오류의 적응적 역할 (Schacter et al., 2011; Exton-McGuinness et al., 2015; Simon et al., 2017)
- ✓ 공포 조건화 맥락에서 예측 오류의 비선형적 효과 (Sevenster et al., 2014)
- ✓ 일화 기억 맥락에서 기억 갱신과 예측 오류의 간접적인 비선형성 (Simon et al., 2017)

일화 기억의 맥락에서 예측 오류의 정도를 실험적으로 조작하여
예측 오류의 비선형적(역U) 기억 갱신 효과를 검증한다.

실험 패러다임



실험 패러다임

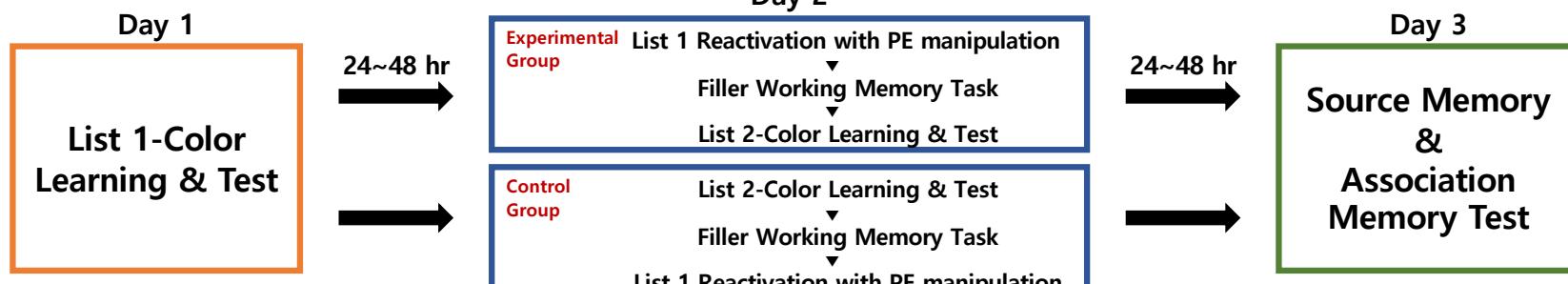


연구 가설

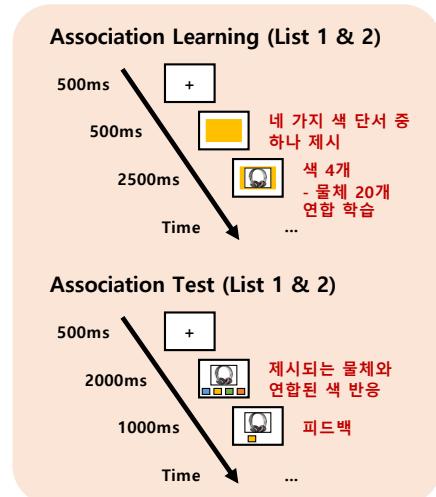
1. 예측 오류가 수반된 재활성화로 재응고가 유도된 후, 간접 학습을 하는 실험집단은 기존 기억에 새로운 정보가 통합되는 기억 갱신의 반응 패턴을 보일 것이다.
2. 기억 갱신 효과는 예측 오류의 정도에 따라 비선형적으로 나타날 것이다.
약한 예측 오류와 강한 예측 오류보다 중간 수준의 예측 오류에서 기억 갱신 효과가 크게 나타날 것이다.

실험 1 ($N = 16$)

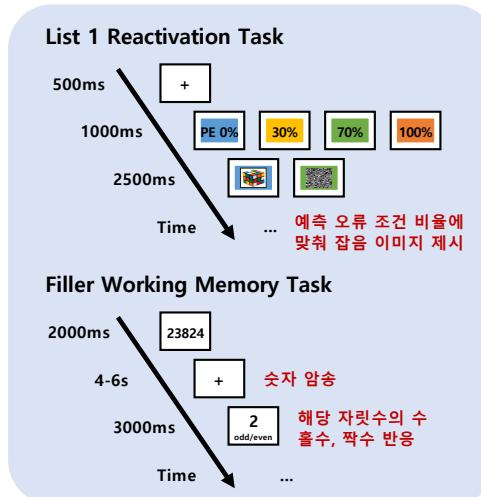
A. 실험 절차



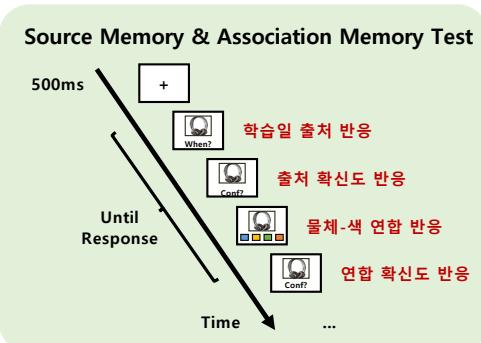
B. 연합 학습 및 검사 과제



C. 재활성화 및 작업기억 과제



D. 출처 기억 및 연합 기억 검사

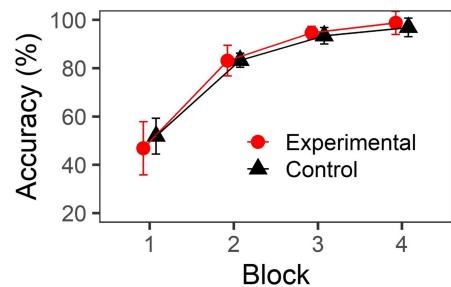


핵심 종속 변인

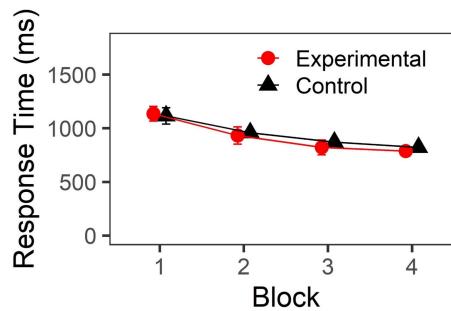
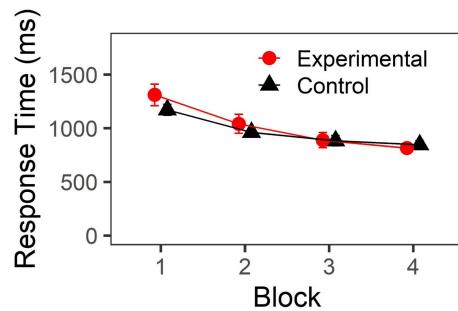
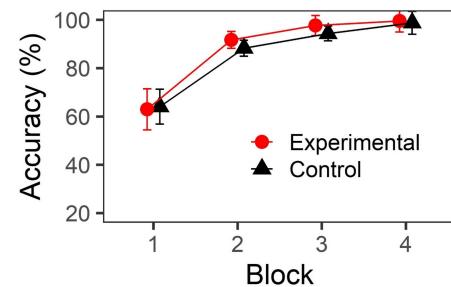
- 침범 (Intrusion): List 2->List 1 출처 오귀인
- 출처혼동 (Source Confusion): List 1->List 2 출처 오귀인

실험 1 ($N = 16$)

A. List 1

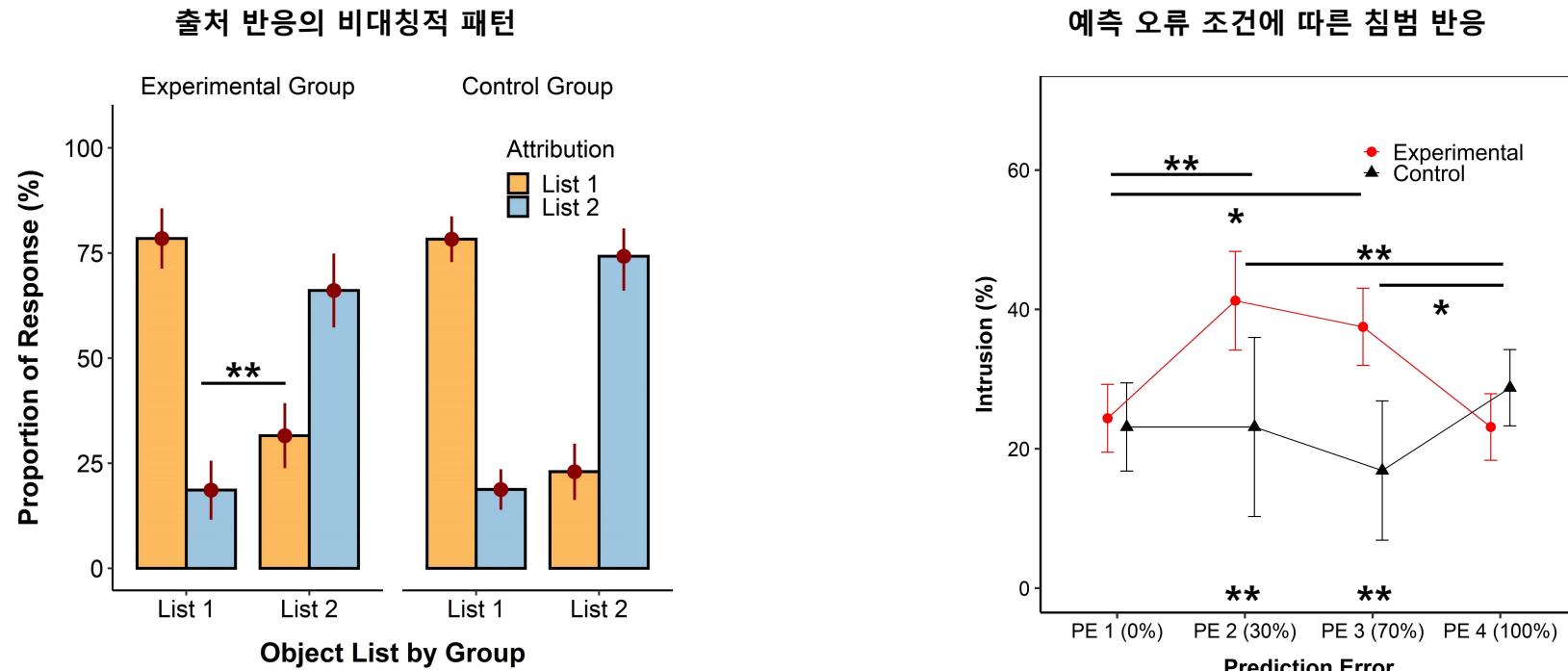


B. List 2



- 목록-색 연합 기억은 블록에 거쳐 향상되었음. 마지막 블록 4에서의 기억은 집단 차이를 보이지 않았음.
 - 블록 4 정확도: 목록의 주효과. $F(1, 14) = 10.59, p = .006$. 목록 1보다 목록 2가 우수.
 - 블록 4 반응시간: 모든 효과가 유의하지 않음.

실험 1 ($N = 16$)



- 실험 집단에서 유의한 기억 간신 효과가 관찰되었음.
 - 출처 오류의 주효과, $F(1, 14) = 15.67, p = .001$;
 - 실험 집단, 침범과 출처 혼동의 비대칭적 출처 반응이 유의, $p = .001$.
- 실험 집단에서 예측 오류의 정도에 따른 침범 패턴이 관찰되었음
 - 집단과 예측 오류의 상호작용, $F(1.77, 24.77) = 7.44, p = .004$;
 - 실험 집단에서 PE 2, 3 조건은 PE 1, 4 조건 보다 유의하게 높은 침범 반응.
 - PE 2, 3 조건에서 실험 집단은 통제 집단보다 유의하게 높은 침범 반응.

실험 1 결과 및 보완점

1. 결과

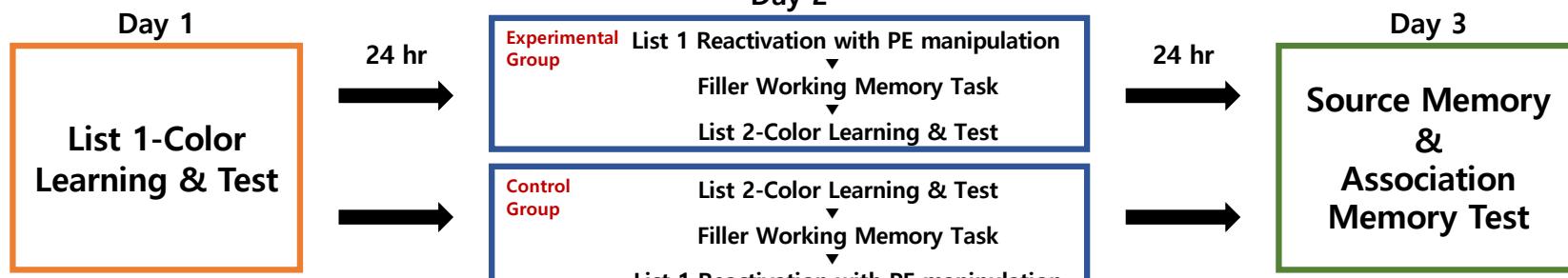
- 1) 예측 오류가 수반된 재활성화로 재응고가 유도된 후, 간접 학습을 하는 실험 집단은 기억 갱신의 반응 패턴을 보였음.
- 2) 기억 갱신 효과는 예측 오류의 정도에 따라 비선형적으로 나타났음.

2. 보완점

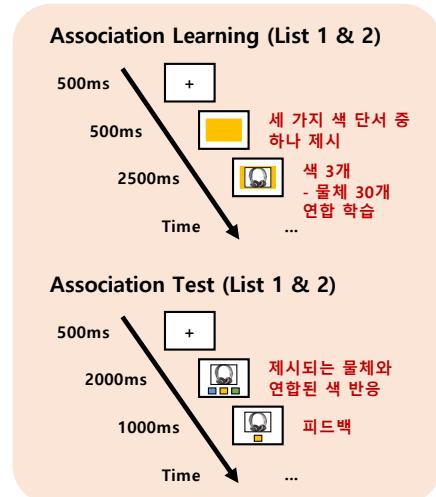
- 1) 실험의 물체 자극 보완
- 2) 예측 오류 조건에 할당되는 물체 수 증가(20 -> 30)
- 3) 네 가지 예측 오류 조건(0, 30, 70, 100%)을 세 가지 조건(0, 50, 100%)으로 축소
- 4) 회기 간 시간 간격을 약 24시간으로 통제.

실험 2 ($N = 36$)

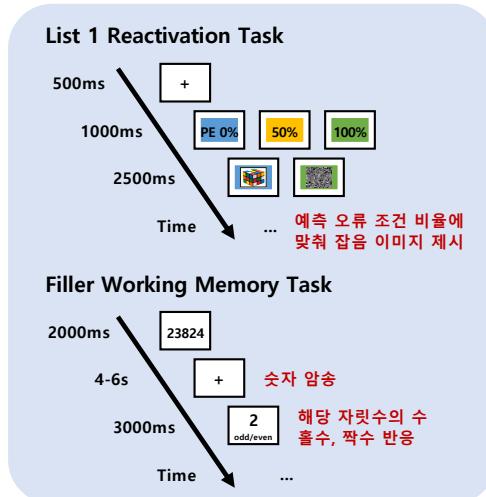
A. 실험 절차



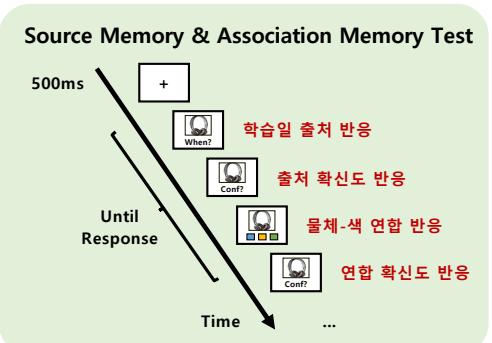
B. 연합 학습 및 검사 과제



C. 재활성화 및 작업기억 과제



D. 출처 기억 및 연합 기억 검사

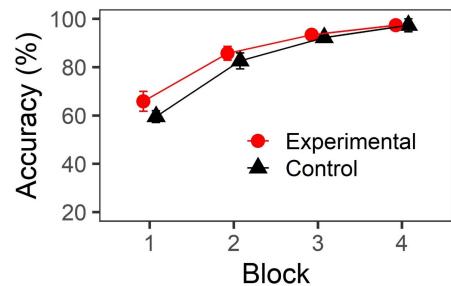


핵심 종속 변인

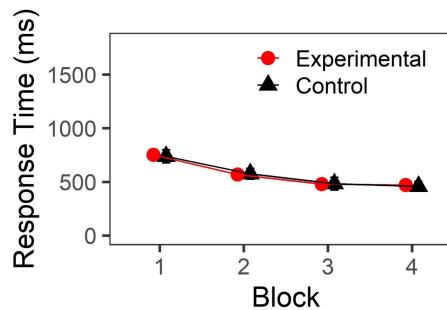
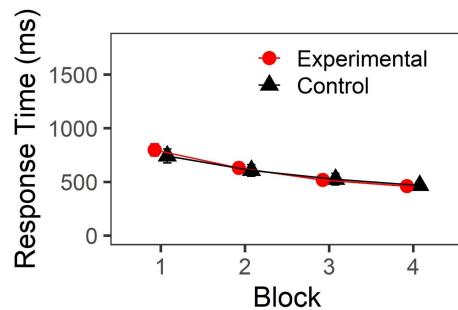
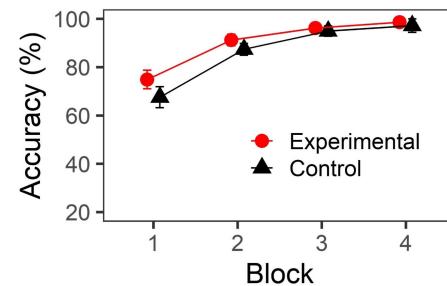
- 침범 (Intrusion): List 2->List 1 출처 오귀인
- 출처혼동 (Source Confusion): List 1->List 2 출처 오귀인

실험 2 ($N = 36$)

A. List 1

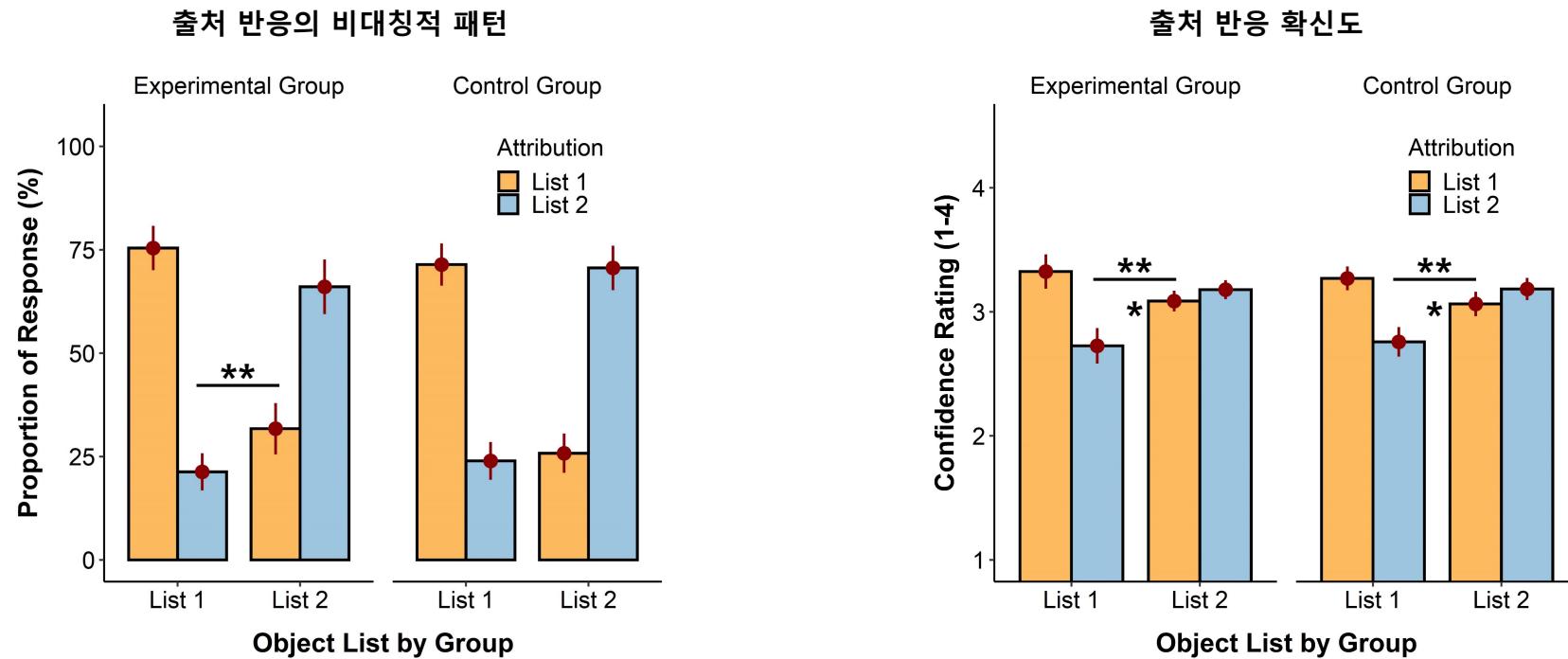


B. List 2



- 목록-색 연합에 대한 기억은 블록 진행을 통해 향상되었음.
- 마지막 블록 4에서의 기억은 집단, 목록 간 차이를 보이지 않았음.

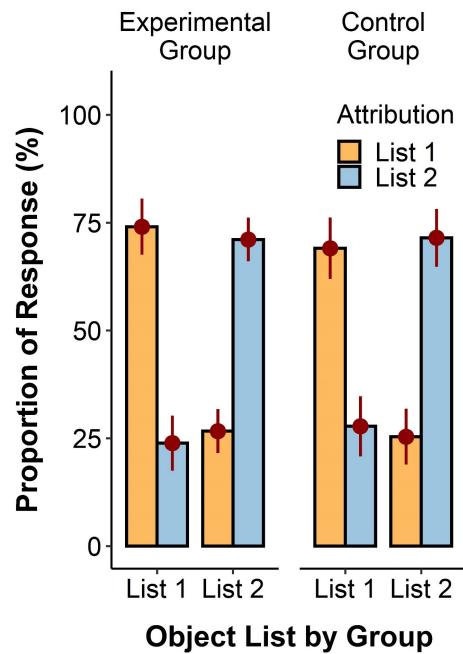
실험 2 ($N = 36$)



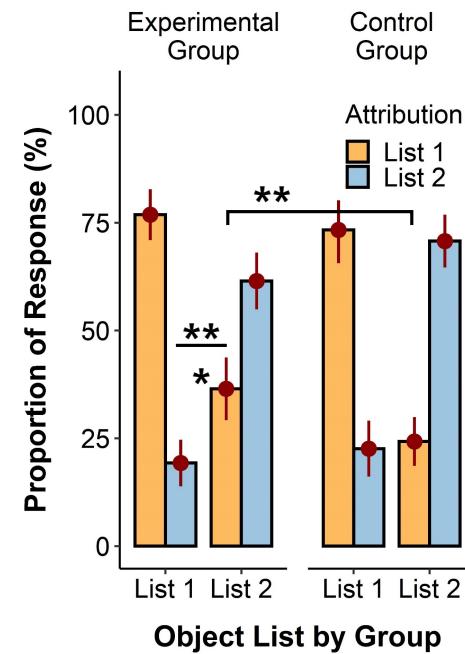
- 실험 집단에서 유의한 기억 간접 효과가 관찰되었음.
 - 출처 오류의 주효과, $F(1, 34) = 6.63, p = .015$;
 - 실험 집단, 침범과 출처 혼동의 비대칭적 출처 반응이 유의, $p = .004$.
- 두 집단 모두 침범은 출처 혼동보다 높은 확신도를 보였음.
 - 목록 2 정확 반응과 침범 간의 확신도 차이는 유의하지 않았음.
 - 출처 반응의 주효과, $F(2.12, 71.90) = 39.29, p < .001$.
 - 침범과 출처 혼동, $p < .001$; 목록 2 정확반응과 침범, n.s.

실험 2 ($N = 36$)

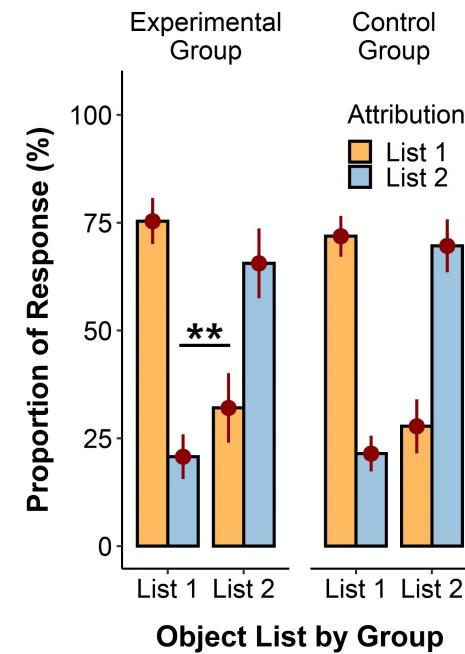
A. PE 1 (0%)



B. PE 2 (50%)



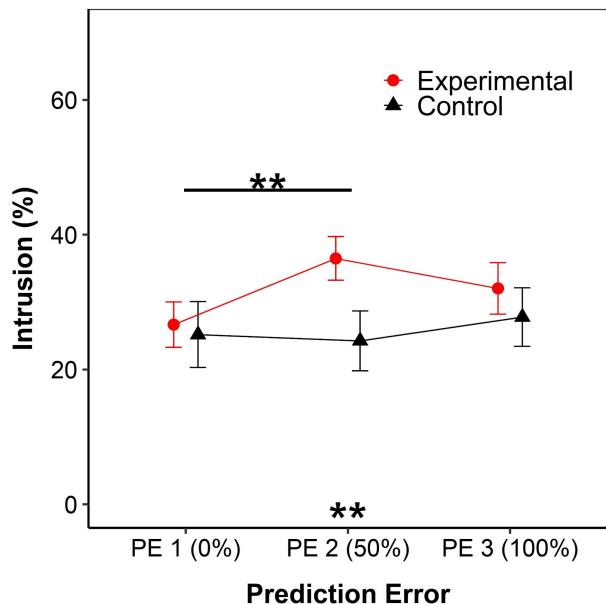
C. PE 3 (100%)



- 기억 갱신 효과는 세 예측 오류 조건 중 PE 2 조건에서 가장 두드러지게 나타났음.
 - PE 1 조건에서 모든 효과가 유의하지 않음; PE 3 조건에서 실험 집단의 기억 갱신 효과 관찰, $p = .005$. 통제 집단과 침범 차이 유의하지 않음.
 - PE 2 조건, 집단과 출처 오류의 상호작용, $F(1, 34) = 5.68, p = .023$. 실험 집단의 출처 혼동과 침범, $p < .001$; 침범 반응에서 집단 차이, $p = .003$.

실험 2 ($N = 36$)

예측 오류 조건에 따른 침범 반응



모형 적합 및 비교

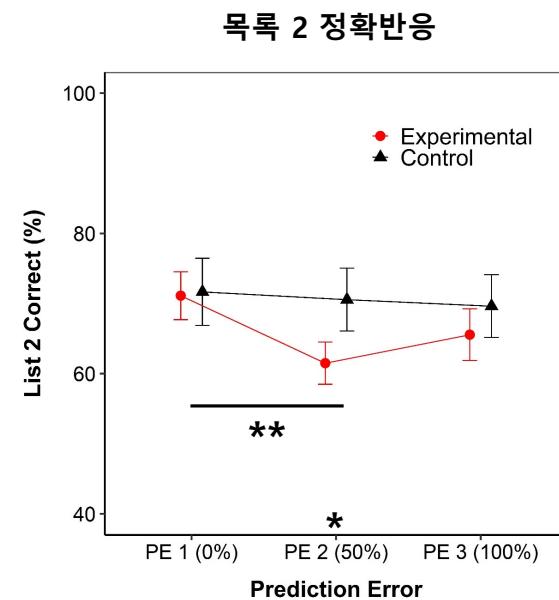
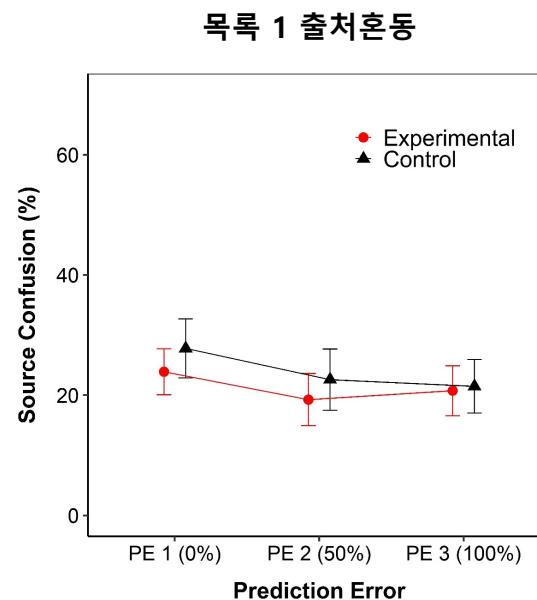
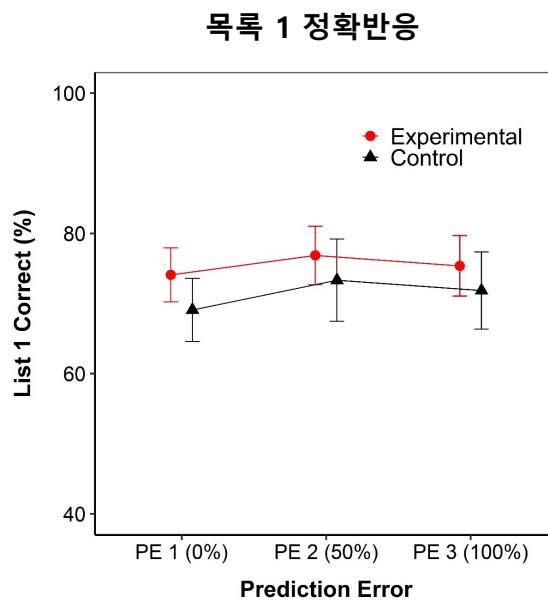
Linear Model - $y = b_0 + b_1x_1 + (1 | \text{참가자}) + e$

Quadratic Model - $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + (1 | \text{참가자}) + e$

| | 모형 | AIC | BIC | |
|-------|-----------|-----|-----|-------------------------------|
| 실험 집단 | Linear | 421 | 429 | $\chi^2(1) = 10.12, p < .001$ |
| | Quadratic | 413 | 423 | |
| 통제 집단 | Linear | 421 | 429 | $\chi^2(1) = .66, p = .418$ |
| | Quadratic | 423 | 433 | |

- 실험 집단에서 예측 오류에 의한 뚜렷한 역U의 침범 패턴은 관찰되지 않음.
 - 집단과 예측 오류의 상호작용, $F(1.98, 67.46) = 3.73, p = .029$.
 - 실험 집단, PE 2와 1, $p = .003$; PE 2와 3, $n.s.$, PE 1과 3, $n.s.$
 - PE 2 조건에서 실험 집단과 통제 집단의 침범 반응 차이, $p = .005$.
- 모형 적합 결과, 비선형 모형이 선형 모형보다 침범 패턴에 적절하였음.

실험 2 ($N = 36$)

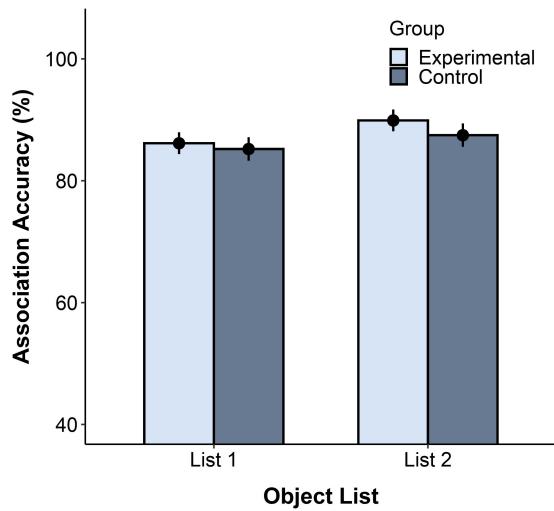


- 목록 1 정확 반응과 출처 혼동에서 예측 오류 조건에 의한 차이는 유의하지 않았음.
- 목록 2 정확 반응에서 침범과 유사한 패턴이 관찰되었음.

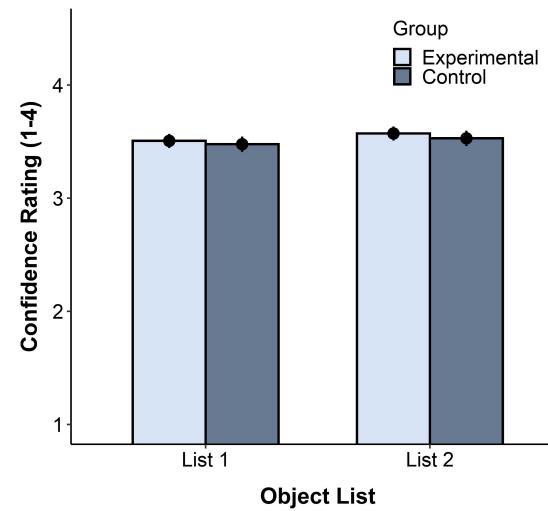
예측 오류, $F(1.98, 67.26) = 3.72, p = .03$. PE 1과 2, $p = .004$; 2와 3, *n.s.*, 1과 3, *n.s.* PE 2에서 집단 간 목록 2 정확 반응 차이, $p = .047$.

실험 2 ($N = 36$)

연합 기억 정확



연합 기억 확신



- 연합기억 정확도. 목록의 주효과, $F(1, 34) = 8.68, p = .006$; 목록 2가 목록 1보다 우수, $p = .014$.
- 연합기억 확신도. 모든 효과가 유의하지 않았음.

종합 논의

- 예측 오류에 의한 재응고 기반 기억 갱신 효과 관찰 (실험 1, 2)
- 예측 오류 정도와 기억 갱신 효과 간 비선형적 관계의 가능성 확인
 - 예측 오류 조건에 따라 뚜렷한 역U자 형태를 보이는 유의한 침범 반응 패턴 관찰 (실험 1)
 - 예측 오류와 기억 갱신 간 역U자 형태가 뚜렷하지 않았으나, 모형 비교 결과에서 비선형 모형의 적합성 확인 (실험 2)
- 실험 2 결과의 불안정성 원인? -> 실험 1과 2에서 색 단서-물체 연합 수 차이에 따른 단서의 효과 감소
 - 구별로서의 기억(memory-as-discriminant): 기억 단서의 재활성화 효과는 연합되는 항목의 수에 따라 달라질 수 있음 (Nairne, 2002)
 - 기억 단서에 연합되는 항목의 수가 증가할수록 단서의 인출 촉진 효과 저하 (Poirier et al., 2012; Bramão & Johansson, 2017)
 - 장소 맥락 단서가 친숙할수록 일화 기억 갱신 효과 감소 (Hupbach et al., 2011; Klingmuller et al., 2017)
 - 색-물체 연합의 수가 실험 1 20개에서 실험 2 30개로 증가함에 따라 색 단서의 효과가 불안정해진 것일 가능성이 있음

종합 논의

- 예측 오류에 의한 재응고 기반 기억 갱신 효과 관찰 (실험 1, 2)
- 예측 오류 정도와 기억 갱신 효과 간 비선형적 관계의 가능성 확인
 - 예측 오류 조건에 따라 뚜렷한 역U자 형태를 보이는 유의한 침범 반응 패턴 관찰 (실험 1)
 - 예측 오류와 기억 갱신 간 역U자 형태가 뚜렷하지 않았으나, 모형 비교 결과에서 비선형 모형의 적합성 확인 (실험 2)
- 실험 2 결과의 불안정성 원인? -> 실험 1과 2에서 색 단서-물체 연합 수 차이에 따른 단서의 효과 감소
 - 구별로서의 기억(memory-as-discriminant): 기억 단서의 재활성화 효과는 연합되는 항목의 수에 따라 달라질 수 있음 (Nairne, 2002)
 - 기억 단서에 연합되는 항목의 수가 증가할수록 단서의 인출 촉진 효과 저하 (Poirier et al., 2012; Bramão & Johansson, 2017)
 - 장소 맥락 단서가 친숙할수록 일화 기억 갱신 효과 감소 (Hupbach et al., 2011; Klingmuller et al., 2017)
 - 색-물체 연합의 수가 실험 1 20개에서 실험 2 30개로 증가함에 따라 색 단서의 효과가 불안정해진 것일 가능성이 있음

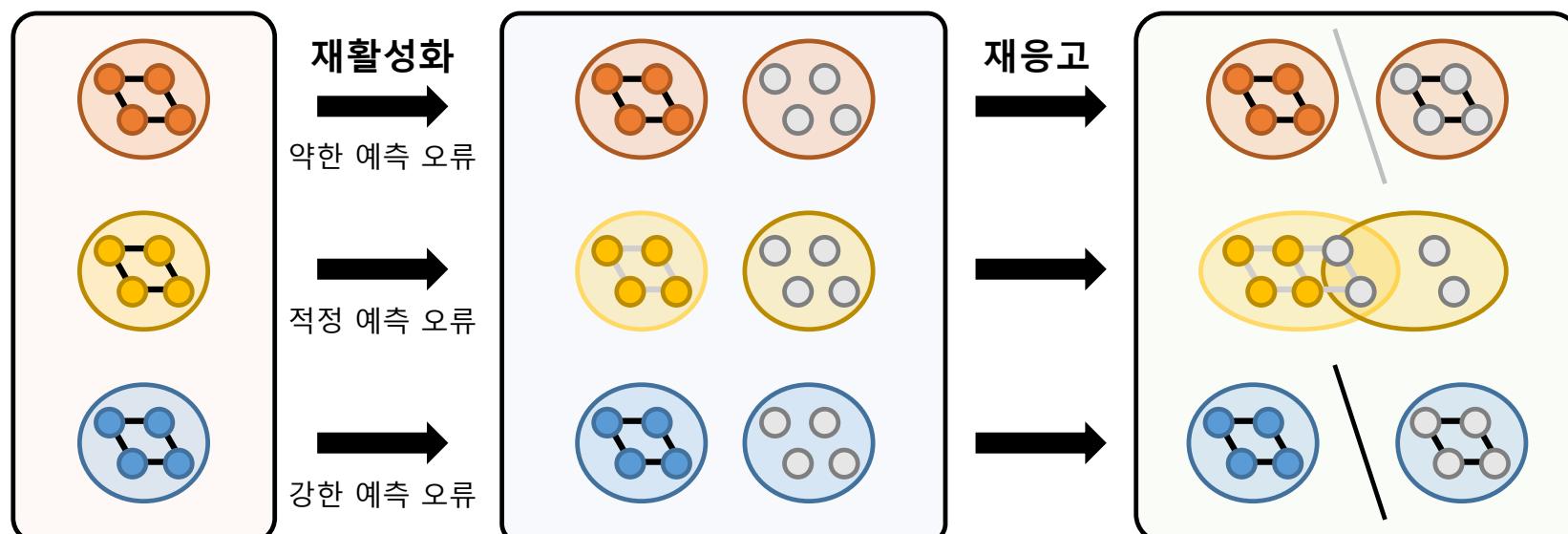
종합 논의

- 예측 오류에 의한 재응고 기반 기억 갱신 효과 관찰 (실험 1, 2)
- 예측 오류 정도와 기억 갱신 효과 간 비선형적 관계의 가능성 확인
 - 예측 오류 조건에 따라 뚜렷한 역U자 형태를 보이는 유의한 침범 반응 패턴 관찰 (실험 1)
 - 예측 오류와 기억 갱신 간 역U자 형태가 뚜렷하지 않았으나, 모형 비교 결과에서 비선형 모형의 적합성 확인 (실험 2)
- 실험 2 결과의 불안정성 원인? -> 실험 1과 2에서 색 단서-물체 연합 수 차이에 따른 단서의 효과 감소
 - 구별로서의 기억(memory-as-discriminant): 기억 단서의 재활성화 효과는 연합되는 항목의 수에 따라 달라질 수 있음 (Nairne, 2002)
 - 기억 단서에 연합되는 항목의 수가 증가할수록 단서의 인출 촉진 효과 저하 (Poirier et al., 2012; Bramão & Johansson, 2017)
 - 장소 맥락 단서가 친숙할수록 일화 기억 갱신 효과 감소 (Hupbach et al., 2011; Klingmuller et al., 2017)
 - 색-물체 연합의 수가 실험 1 20개에서 실험 2 30개로 증가함에 따라 색 단서의 효과가 불안정해진 것일 가능성이 있음

종합 논의

- 적응적 기능으로서 재응고 과정과 예측 오류의 역할

- 예측 오류는 환경과 기억 기반 예측 간의 차이를 부호화, 정도에 따라 기존 기억의 수정 또는 새로운 학습 신호할 수 있음.
- 적정 수준의 예측 오류는 환경 변화에 맞추어 기존 기억이 수정되어야 한다는 것을 신호. 재응고를 유도할 수 있음.



종합 논의

- **해마의 비선형적 불일치 신호(mismatch signal)와 기억 네트워크의 상호작용**

- 해마는 기억 부호화 및 응고 등 기억 과정에 관여 (Squire et al., 2004). 예측과 결과 간의 불일치에 대한 불일치 신호 생성 (Kumaran & Maguire, 2007)
- 해마의 불일치 신호는 예측과 결과 간의 불일치 정도에 비선형적으로 반응 (Long et al., 2016). 기억이 갱신될 때 해마 반응 증가 (Forcato et al., 2016)
- 해마가 적정 예측 오류에 반응하여 기억 네트워크의 상호 작용을 유발. 재응고를 유도할 가능성이 있음

- **비단조적 가소성 가설 (nonmonotonic plasticity hypothesis)**

- 연합 기억 표상은 신경망의 확산 활성화와 시냅스 연결 강도 조절을 통해 변화할 수 있음 (Ritvo et al., 2019)
- 연합 요소의 재활성화 확산이 약하면 연합 표상은 변화하지 않음. 재활성화가 강하게 확산되면 연합 강화
- 재활성화가 중간 수준으로 확산되면 요소 간 활성화 강도의 불일치 발생, 연합 기억 표상이 약화 및 분화
- 예측 오류는 재활성화 강도를 조절하여 연합 표상의 변화를 유발함으로써, 기존 연합에 새로운 정보가 통합되도록 할 수 있음

종합 논의

- 해마의 비선형적 불일치 신호(mismatch signal)와 기억 네트워크의 상호작용

- 해마는 기억 부호화 및 응고 등 기억 과정에 관여 (Squire et al., 2004). 예측과 결과 간의 불일치에 대한 불일치 신호 생성 (Kumaran & Maguire, 2007)
- 해마의 불일치 신호는 예측과 결과 간의 불일치 정도에 비선형적으로 반응 (Long et al., 2016). 기억이 갱신될 때 해마 반응 증가 (Forcato et al., 2016)
- 해마가 적정 예측 오류에 반응하여 기억 네트워크의 상호 작용을 유발. 재응고를 유도할 가능성이 있음

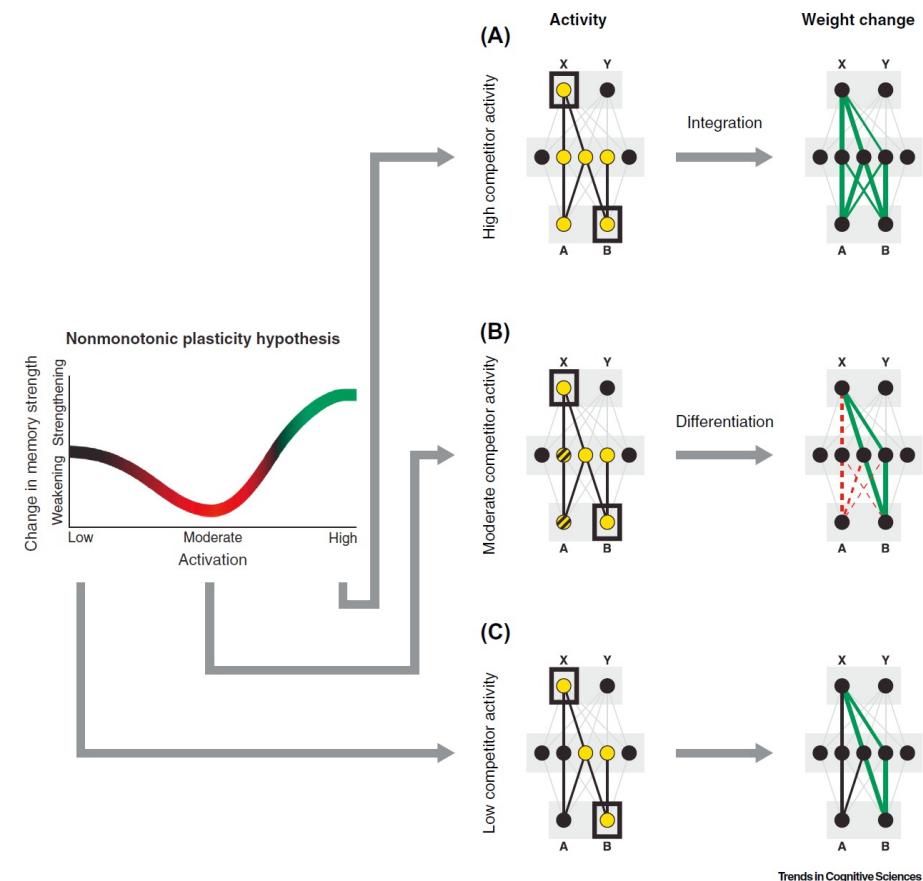
- 비단조적 가소성 가설 (nonmonotonic plasticity hypothesis)

- 연합 기억 표상은 신경망의 확산 활성화와 시냅스 연결 강도 조절을 통해 변화할 수 있음 (Ritvo et al., 2019)
- 연합 요소의 재활성화 확산이 약하면 연합 표상은 변화하지 않음. 재활성화가 강하게 확산되면 연합 강화
- 재활성화가 중간 수준으로 확산되면 요소 간 활성화 강도의 불일치 발생, 연합 기억 표상이 약화 및 분화
- 예측 오류는 재활성화 강도를 조절하여 연합 표상의 변화를 유발함으로써, 기존 연합에 새로운 정보가 통합되도록 할 수 있음

종합 논의

• 비단조적 가소성 가설 (nonmonotonic plasticity hypothesis)

- 연합 기억 표상은 신경망의 확산 활성화와 시냅스 연결 강도 조절을 통해 변화할 수 있음 (Ritvo et al., 2019)
- 연합 요소의 재활성화 확산이 약하면 연합 표상은 변화하지 않음. 재활성화가 강하게 확산되면 연합 강화
- 재활성화가 중간 수준으로 확산되면 요소 간 활성화 강도의 불일치 발생, 연합 기억 표상이 약화 및 분화
- 예측 오류는 재활성화 강도를 조절하여 연합 표상의 변화를 유발함으로써, 기존 연합에 새로운 정보가 통합되도록 할 수 있음



종합 논의

- 해마의 비선형적 불일치 신호(mismatch signal)와 기억 네트워크의 상호작용

- 해마는 기억 부호화 및 응고 등 기억 과정에 관여 (Squire et al., 2004). 예측과 결과 간의 불일치에 대한 불일치 신호 생성 (Kumaran & Maguire, 2007)
- 해마의 불일치 신호는 예측과 결과 간의 불일치 정도에 비선형적으로 반응 (Long et al., 2016). 기억이 갱신될 때 해마 반응 증가 (Forcato et al., 2016)
- 해마가 적정 예측 오류에 반응하여 기억 네트워크의 상호 작용을 유발. 재응고를 유도할 가능성이 있음

- 비단조적 가소성 가설 (nonmonotonic plasticity hypothesis)

- 연합 기억 표상은 신경망의 확산 활성화와 시냅스 연결 강도 조절을 통해 변화할 수 있음 (Ritvo et al., 2019)
- 연합 요소의 재활성화 확산이 약하면 연합 표상은 변화하지 않음. 재활성화가 강하게 확산되면 연합 강화
- 재활성화가 중간 수준으로 확산되면 요소 간 활성화 강도의 불일치 발생, 연합 기억 표상의 약화 및 분화 발생
- 예측 오류는 재활성화 강도를 조절하여 연합 표상의 변화를 유발함으로써, 기존 연합에 새로운 정보가 통합되도록 할 수 있음

종합 논의

- **시간적 맥락 모형(Temporal Context Model)과 기억 갱신**

- 기억은 맥락과 항목의 연합으로 구성, 맥락과 항목은 인출 과정에서 상호 작용하여 기억에 영향 (Howard & Kahana, 2002)
- 기억 갱신은 맥락 재활성화에 의한 비대칭적 맥락 간섭으로 발생하는 출처 혼동일 수 있음 (Sederberg et al., 2011; Gershman et al., 2013)

- **시간적 맥락 모형의 한계**

- 본 연구는 색-물체 연합의 ABAC 패러다임. 맥락 간섭이 최대화되는 조건임에도 통제 집단에서는 기억 갱신 효과가 관찰되지 않음
- 기억 갱신 효과는 예측 오류 정도에 따라 비선형적으로 나타났음. 시간적 맥락 모형은 예측 오류의 필요성을 가정하지 않음
- 비대칭적 맥락 간섭은 기억 갱신의 기저 수준을 뒷받침할 수 있음

종합 논의

- **시간적 맥락 모형(Temporal Context Model)과 기억 갱신**

- 기억은 맥락과 항목의 연합으로 구성, 맥락과 항목은 인출 과정에서 상호 작용하여 기억에 영향 (Howard & Kahana, 2002)
- 기억 갱신은 맥락 재활성화에 의한 비대칭적 맥락 간섭으로 발생하는 출처 혼동일 수 있음 (Sederberg et al., 2011; Gershman et al., 2013)

- **시간적 맥락 모형의 한계**

- 본 연구는 색-물체 연합의 ABAC 패러다임. 맥락 간섭이 최대화되는 조건임에도 통제 집단에서는 기억 갱신 효과가 관찰되지 않음
- 기억 갱신 효과는 예측 오류 정도에 따라 비선형적으로 나타났음. 시간적 맥락 모형은 예측 오류의 필요성을 가정하지 않음
- 비대칭적 맥락 간섭은 기억 갱신의 기저 수준을 뒷받침할 수 있음

종합 논의

- **시간적 맥락 모형(Temporal Context Model)과 기억 갱신**

- 기억은 맥락과 항목의 연합으로 구성, 맥락과 항목은 인출 과정에서 상호 작용하여 기억에 영향 (Howard & Kahana, 2002)
- 기억 갱신은 맥락 재활성화에 의한 비대칭적 맥락 간섭으로 발생하는 출처 혼동일 수 있음 (Sederberg et al., 2011; Gershman et al., 2013)

- **시간적 맥락 모형의 한계**

- 본 연구는 색-물체 연합의 ABAC 패러다임. 맥락 간섭이 최대화되는 조건임에도 통제 집단에서는 기억 갱신 효과가 관찰되지 않음
- 기억 갱신 효과는 예측 오류 정도에 따라 비선형적으로 나타났음. 시간적 맥락 모형은 예측 오류의 필요성을 가정하지 않음
- 비대칭적 맥락 간섭은 기억 갱신의 기저 수준을 뒷받침할 수 있음

종합 논의

- 본 연구의 한계

- 실험 2 결과의 불안정성. 단서의 효과를 고려하여 색-단서 물체 연합의 수를 조절할 필요성이 있음.
- 조작에 따른 예측 오류, 재활성화 정도를 직접적으로 측정하는 측정치의 부재. 보완적인 신경 측정치 필요.
- 임의의 색-물체 연합 활용. 현실적으로 타당한 연합을 통해 일반화 가능성 확보 필요.

감사합니다.

실험 1 (N = 16)

표 1. 첫째 날과 둘째 날의 연합 기억 수행 결과 (예비 실험)

| Block | Experimental Group | | | | Control Group | | | |
|-------|--------------------|------------|--------------|------------|---------------|-----------|--------------|------------|
| | List 1 | | List 2 | | List 1 | | List 2 | |
| | Accuracy (%) | RT (ms) | Accuracy (%) | RT (ms) | Accuracy (%) | RT (ms) | Accuracy (%) | RT (ms) |
| 1 | 47 (17) | 1311 (200) | 63 (12) | 1135 (130) | 52 (14) | 1172 (78) | 64 (13) | 1116 (142) |
| 2 | 83 (10) | 1042 (180) | 92 (6) | 933 (113) | 83 (6) | 962 (78) | 88 (8) | 959 (78) |
| 3 | 95 (3) | 890 (134) | 97 (2) | 822 (77) | 93 (5) | 884 (50) | 94 (5) | 871 (71) |
| 4 | 99 (1) | 815 (97) | 99 (1) | 788 (73) | 97 (3) | 846 (37) | 99 (1) | 823 (68) |

* 괄호 안에는 표준편차가 표시되었음.

실험 1 (N = 16)

표 2. 셋째 날의 출처 기억 반응 비율 (예비 실험)

| Measure | Experimental Group | | | Control Group | | |
|-------------------|--------------------|--------|-----------------|---------------|--------|-----------------|
| | Mean (%) | SD (%) | 95% CI | Mean (%) | SD (%) | 95% CI |
| List 1 Correct | 78.44 | 8.09 | [72.96, 83.92] | 78.28 | 6.12 | [75.35, 81.21] |
| List 2 Correct | 66.09 | 9.90 | [60.34, 71.84] | 74.22 | 9.21 | [70.76, 77.68] |
| Source Confusion | 18.59 | 7.92 | [14.03, 23.15] | 18.75 | 5.43 | [13.94, 23.56] |
| Intrusion | 31.56 | 8.73 | [27.00, 36.12] | 22.97 | 7.56 | [19.99, 25.95] |
| List 1 Miss | 2.97 | 1.33 | [1.94, 4.00] | 2.97 | 3.34 | [2.01, 3.93] |
| List 2 Miss | 2.34 | 1.70 | [1.31, 3.37] | 2.81 | 2.48 | [1.85, 3.77] |
| List 3 Correct | 96.88 | 4.01 | [92.03, 101.73] | 98.28 | 4.38 | [94.17, 102.39] |
| List 3 FA - Day 1 | 2.03 | 3.40 | [0.56, 3.50] | 1.56 | 3.94 | [0.01, 3.11] |
| List 3 FA - Day 2 | 1.09 | 1.41 | [-0.38, 2.56] | 0.16 | 0.44 | [-1.39, 1.71] |

실험 1 (N = 16)

표 2. 셋째 날의 출처 기억 반응 비율 (예비 실험)

| Measure | Experimental Group | | | Control Group | | |
|-------------------|--------------------|--------|-----------------|---------------|--------|-----------------|
| | Mean (%) | SD (%) | 95% CI | Mean (%) | SD (%) | 95% CI |
| List 1 Correct | 78.44 | 8.09 | [72.96, 83.92] | 78.28 | 6.12 | [75.35, 81.21] |
| List 2 Correct | 66.09 | 9.90 | [60.34, 71.84] | 74.22 | 9.21 | [70.76, 77.68] |
| Source Confusion | 18.59 | 7.92 | [14.03, 23.15] | 18.75 | 5.43 | [13.94, 23.56] |
| Intrusion | 31.56 | 8.73 | [27.00, 36.12] | 22.97 | 7.56 | [19.99, 25.95] |
| List 1 Miss | 2.97 | 1.33 | [1.94, 4.00] | 2.97 | 3.34 | [2.01, 3.93] |
| List 2 Miss | 2.34 | 1.70 | [1.31, 3.37] | 2.81 | 2.48 | [1.85, 3.77] |
| List 3 Correct | 96.88 | 4.01 | [92.03, 101.73] | 98.28 | 4.38 | [94.17, 102.39] |
| List 3 FA - Day 1 | 2.03 | 3.40 | [0.56, 3.50] | 1.56 | 3.94 | [0.01, 3.11] |
| List 3 FA - Day 2 | 1.09 | 1.41 | [-0.38, 2.56] | 0.16 | 0.44 | [-1.39, 1.71] |

실험 1 (N = 16)

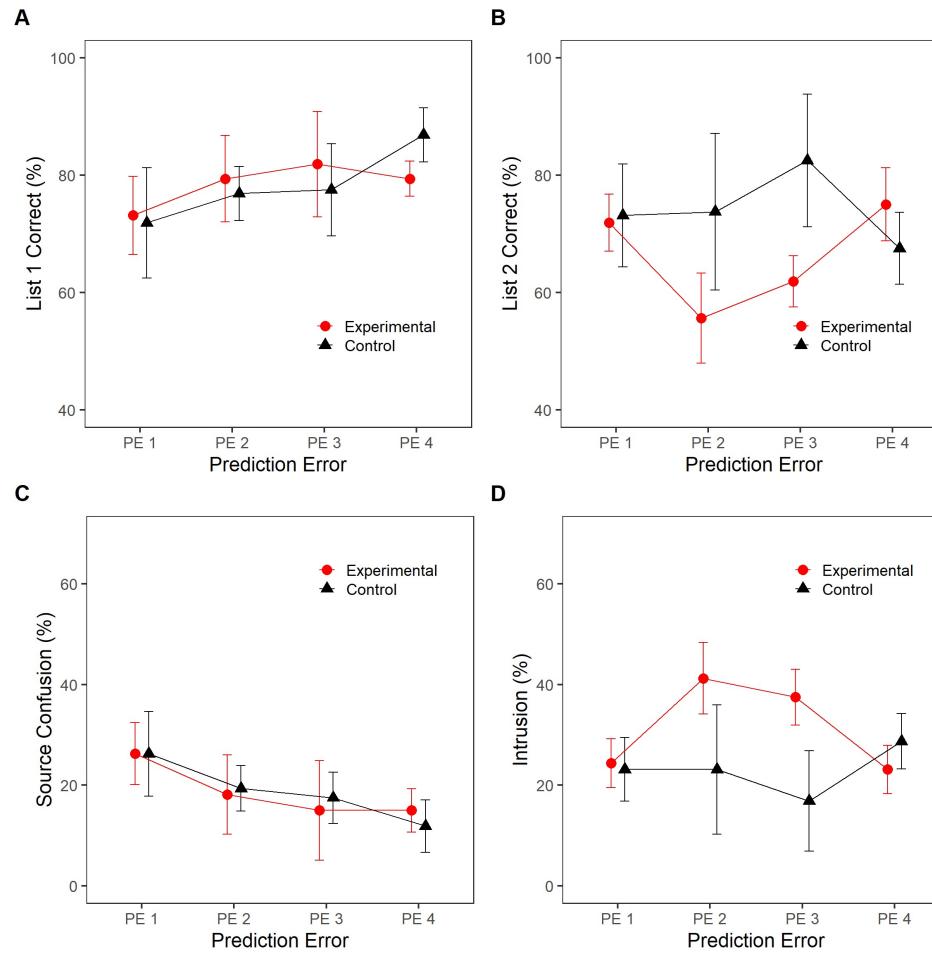
표 3. 예측 오류 조건에 따른 출처 기억 반응 비율 (예비 실험)

| Measure | Experimental Group | | | | Control Group | | | |
|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------------|---------|---------|---------|
| | PE 1 | PE 2 | PE 3 | PE 4 | PE 1 | PE 2 | PE 3 | PE 4 |
| List 1 Correct | 73 (15) | 79 (9) | 82 (9) | 79 (10) | 72 (12) | 77 (8) | 78 (10) | 87 (8) |
| List 2 Correct | 72 (7) | 56 (14) | 62 (12) | 75 (13) | 73 (13) | 74 (16) | 83 (16) | 68 (12) |
| Source Confusion | 26 (13) | 18 (10) | 15 (11) | 15 (10) | 26 (10) | 19 (7) | 18 (7) | 12 (9) |
| Intrusion | 24 (7) | 41 (12) | 38 (12) | 23 (11) | 23 (10) | 23 (14) | 17 (15) | 29 (10) |

* 괄호 안에는 표준편차가 표시되었음.

표 4. 셋째 날의 연합 기억 수행 분석 결과 (예비 실험)

| List | Experimental Group | | | Control Group | | |
|--------|--------------------|------|----------------|---------------|-------|----------------|
| | Mean | SD | 95% CI | Mean | SD | 95% CI |
| List 1 | 90.34 | 3.80 | [88.07, 92.61] | 83.60 | 11.89 | [79.90, 87.30] |
| List 2 | 94.22 | 4.10 | [91.95, 96.45] | 90.58 | 6.67 | [86.88, 94.24] |



실험 2 (N = 36)

표 5. 셋째 날의 출처 기억 반응을 나타낸 기술 통계표 (본 실험)

| Measure | Experimental Group | | | Control Group | | |
|-------------------|--------------------|--------|----------------|---------------|--------|----------------|
| | Mean (%) | SD (%) | 95% CI | Mean (%) | SD (%) | 95% CI |
| List 1 Correct | 75.43 | 10.13 | [70.09, 80.77] | 71.42 | 9.68 | [66.32, 76.52] |
| List 2 Correct | 66.05 | 12.50 | [59.46, 72.64] | 70.62 | 10.19 | [65.25, 75.99] |
| Source Confusion | 21.30 | 8.51 | [16.81, 25.79] | 23.95 | 8.68 | [19.37, 28.53] |
| Intrusion | 31.73 | 11.74 | [25.54, 37.92] | 22.97 | 8.99 | [18.23, 27.71] |
| List 1 Miss | 3.27 | 3.78 | [1.28, 5.26] | 4.63 | 3.39 | [2.84, 6.42] |
| List 2 Miss | 2.22 | 2.44 | [0.93, 3.51] | 3.58 | 2.89 | [2.05, 5.11] |
| List 3 Correct | 97.28 | 3.52 | [95.42, 99.14] | 95.62 | 6.94 | [91.96, 99.28] |
| List 3 FA - Day 1 | 1.98 | 3.16 | [0.32, 3.64] | 2.28 | 3.84 | [0.26, 4.30] |
| List 3 FA - Day 2 | 0.74 | 1.01 | [0.21, 1.27] | 2.10 | 5.28 | [-0.68, 4.88] |

실험 2 (N = 36)

표 6. 예측 오류 조건에 따른 출처 기억 반응 비율 (본 실험)

| Measure | Experimental Group | | | Control Group | | |
|------------------|--------------------|---------|---------|---------------|---------|---------|
| | PE 1 | PE 2 | PE 3 | PE 1 | PE 2 | PE 3 |
| List 1 Correct | 74 (13) | 77 (12) | 75 (11) | 69 (15) | 73 (15) | 72 (10) |
| List 2 Correct | 71 (11) | 62 (14) | 66 (17) | 72 (14) | 71 (13) | 70 (12) |
| Source Confusion | 24 (12) | 19 (10) | 21 (10) | 28 (14) | 23 (13) | 22 (8) |
| Intrusion | 27 (10) | 37 (14) | 32 (16) | 25 (13) | 24 (11) | 28 (12) |

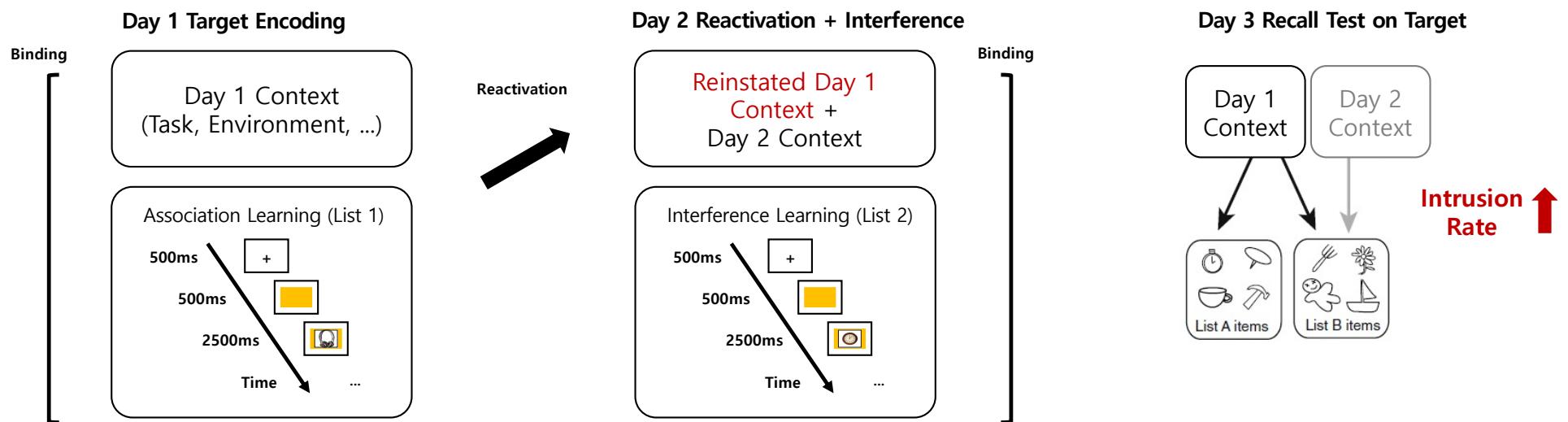
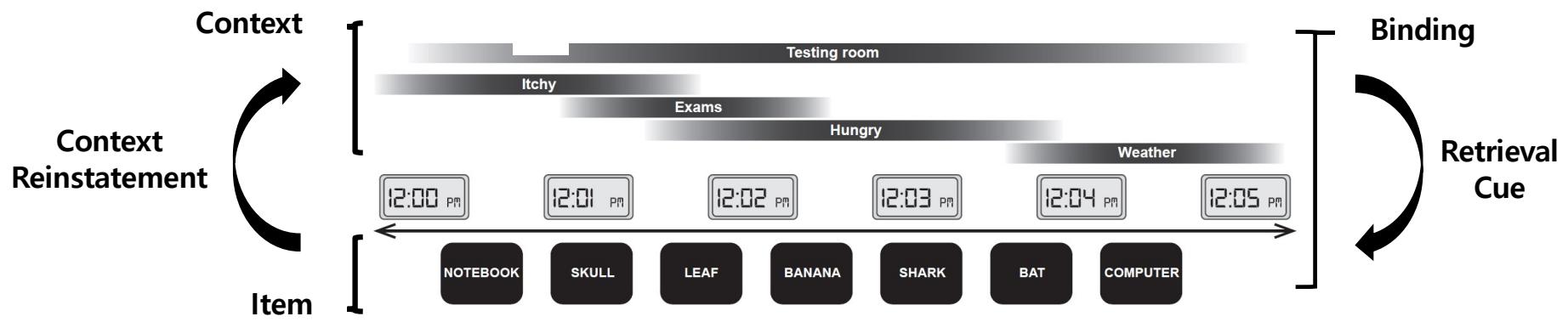
* 괄호 안에는 표준편차가 표시되었음.

실험 2 (N = 36)

표 7. 셋째 날의 연합 기억 수행 및 확신도 (본 실험)

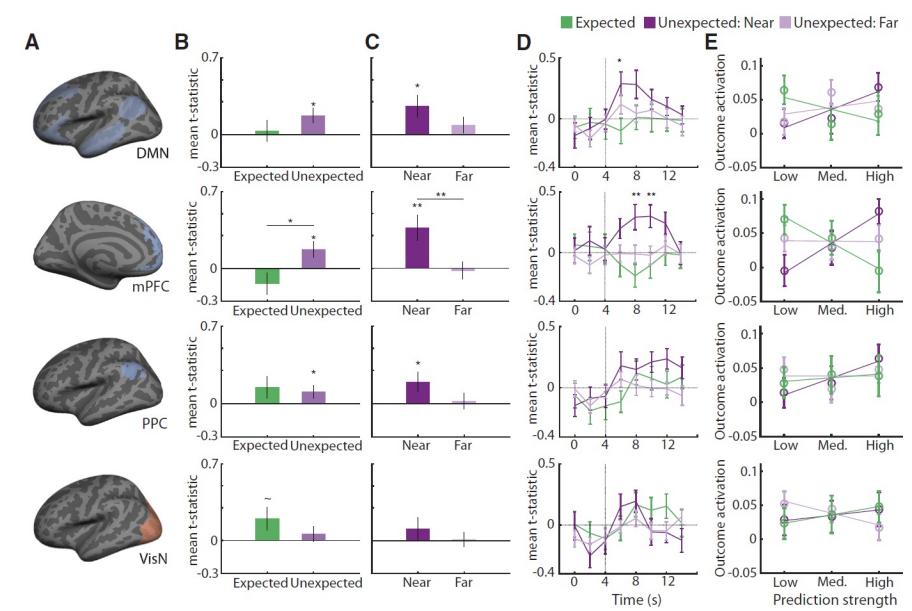
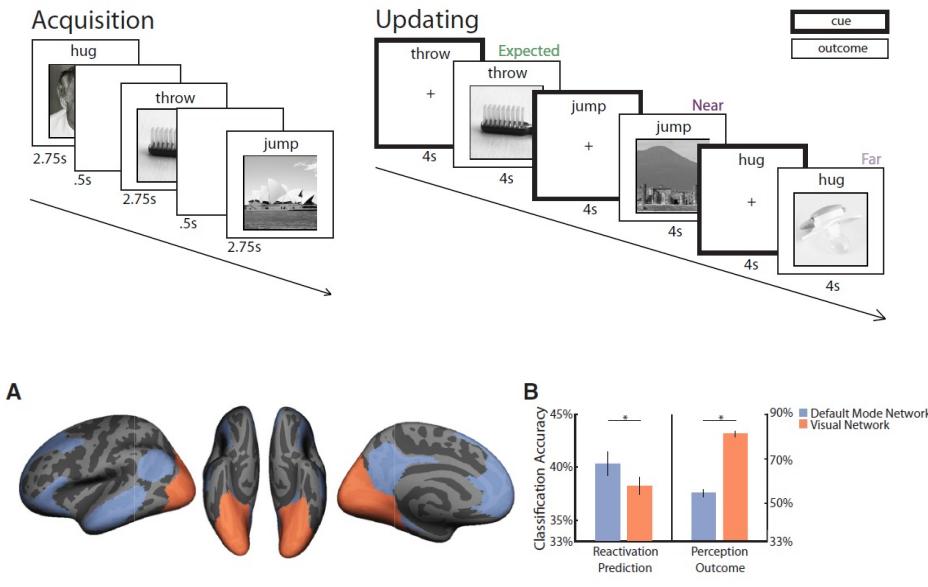
| List | Experimental Group | | Control Group | |
|--------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | Association Accuracy | Confidence Rating | Association Accuracy | Confidence Rating |
| List 1 (% / Score) | 86.16 (8.17) | 3.51 (0.38) | 85.21 (7.87) | 3.48 (0.33) |
| List 2 (% / Score) | 89.91 (7.88) | 3.57 (0.39) | 87.49 (7.85) | 3.53 (0.34) |

* 괄호 안에는 표준편차가 표시되었음.



해마의 비선형적 불일치 신호

(Long, Lee, & Kuhl, 2016)



비단조적 가소성 가설

(Ritvo, Turk-Browne, & Norman, 2019; Sinclair, & Barense, 2019)

