

Science of Memory

심화스터디

Saturday 13th September, 2025

김태현 윤시원 정유경

BCSC 2025

Contents

1 스터디 소개

- 스터디 목표
- 스터디 진행 방식
- 스터디 일정

2 스터디 내용 소개

- 기억의 종류
- 장기 기억
 - Retrieval-induced forgetting fMRI 실험
 - 관련 ERP
 - 관련 Frequency Band
 - 수면 중 역할
- 작업 기억
 - Baddeley's Model
 - 관련 뇌 영역
 - 관련 Frequency Band
 - 실험 패러다임

3 발표를 맺으며

- 발표서 다루지 아니한 부분
- 소감

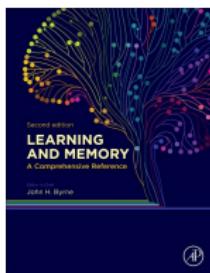
Science of Memory 스터디 소개

스터디 목표

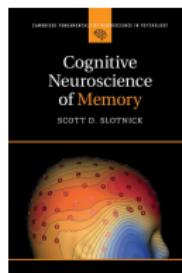
기억의 기본 원리부터 최신 연구 동향,
다양한 응용 분야까지 깊이 있게 탐구

스터디 진행 방식

매주 1회의 대면 활동을 기본으로 진행



(a) Learning and memory



(b) Cognitive Neuroscience of Memory

Figure 1: 스터디 교재

차시	materials	발제 내용	발제자
1	Learning and Memory	1.01 Learning Theory and Behavior: Introduction and Overview	공동
2		1.02 A Typology of Memory Terms	윤시원
3		1.03 Retrieval From Memory	김태현
4		1.15 Memory for Space, Time, and Episodes	정유경
5	Cognitive Neuroscience of Memories	1. Types of Memory and Brain Regions of Interest	윤시원
6		2. The Tools of Cognitive Neuroscience	정유경
7		3. Brain Regions Associated with Long-Term Memory	윤시원
8		4. Brain Timing Associated with Long-Term Memory	공동
9		5. Long-Term Memory Failure	정유경
10		6. Working Memory	윤시원
11		7. Implicit Memory	정유경
12	논문	8. Memory and Other Cognitive Processes	윤시원
13		9. Explicit Memory and Disease	김태현
14		10. Long-Term Memory in Animals	정유경
15	논문	11. The Future of Memory Research	김태현
16		Engram	김태현
17		Memory systems in AI	윤시원
18		Multimodal Brain Imaging in Memory Research	정유경

Table 1: Science of Memory 스터디 일정표

기억의 종류

- Consciousness?
- Kept in mind during 'delay period'?
- Involve previous episode?
- Task performance:
- Subjective experience:
- General term:

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

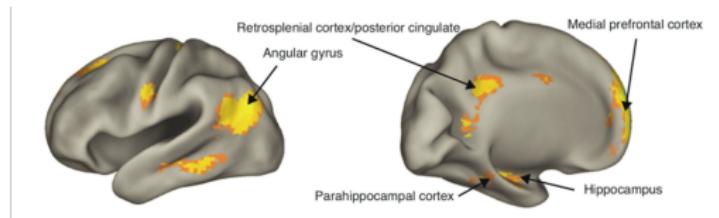
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL}, dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

→ Test phase(Old-new recognition)

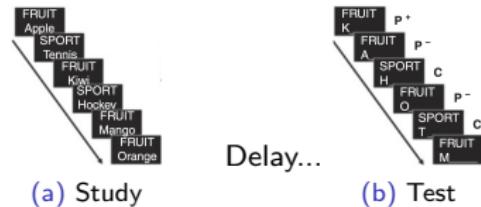
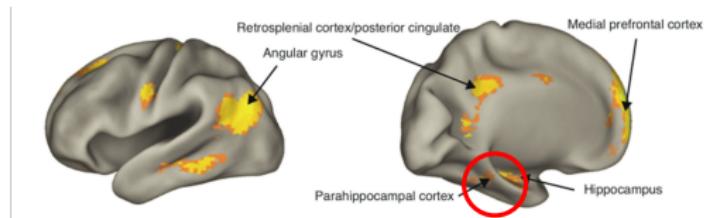


Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL},
dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

→ Test phase(Old-new recognition)

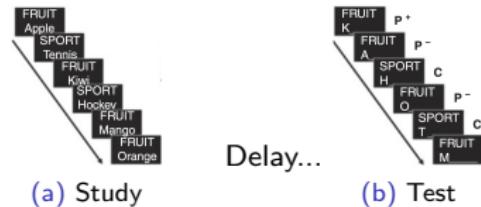
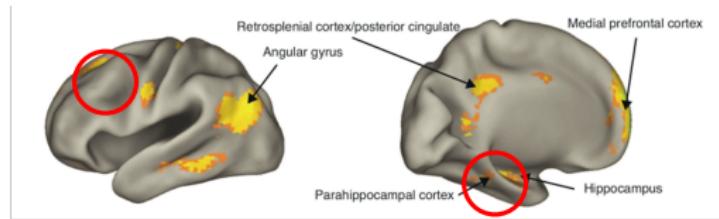


Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL}, dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

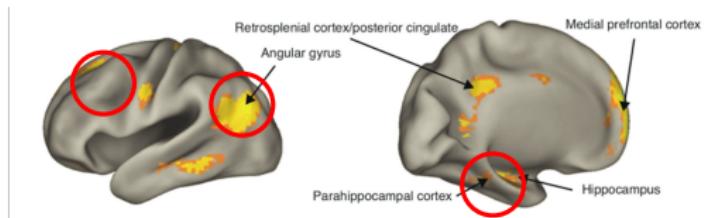
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL},
dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

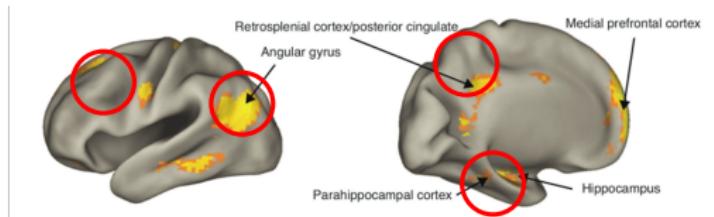
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL},
dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

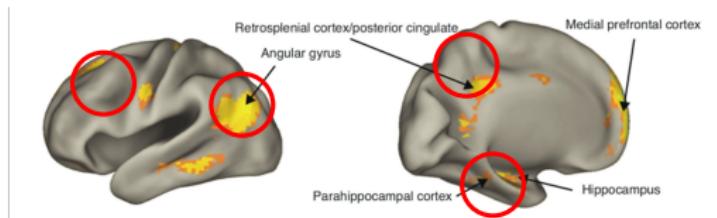
→ Test phase(Old-new recognition)



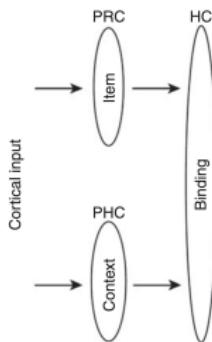
Figure 2: 실험 패러다임

Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe^{MTL}, dorsolateral Prefrontal Cortex^{dl-PFC}, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory



(b) Model of MTL sub-region function

Figure 3: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

공고화(Consolidation): 새로운 기억을 안정적인 장기 기억으로 전환하는 과정

- 표준 통합 이론(Standard consolidation model): hippocampal-cortical → cortical-cortical interaction
- 다중 흔적 이론(Multiple trace theory): hippocampus is involved in LTM throughout the lifetime

부호화(Encoding): 정보의 습득

- Subsequent memory analysis로 관련 뇌 영역 규명
- Medial Temporal Lobe, dorsolateral Prefrontal Cortex, Parietal Cortex → Retrieval과 차이 有

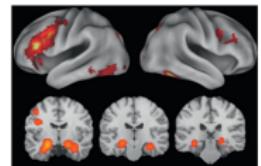
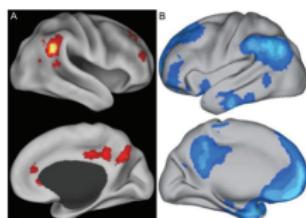


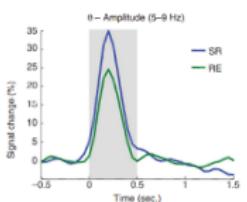
Figure 4: Regions of the brain associated with subsequent memory effects

망각(Forgetting):

- Typical forgetting: attention 부족으로 encoding 실패. dIPFC, mPFC, parietal cortex 활성화. DMN과 같은 패턴의 뇌 활성
- Retrieval-induced forgetting: 관련 기억의 방해를 받아 회상 실패 (fMRI 실험)
- Motivated forgetting: 의도적인 망각



(a) Subsequent forgetting fMRI activity and default network fMRI activity



(b) Retrieval-induced forgetting EEG activity

Figure 5: Forgetting

Retrieval-induced forgetting fMRI 실험

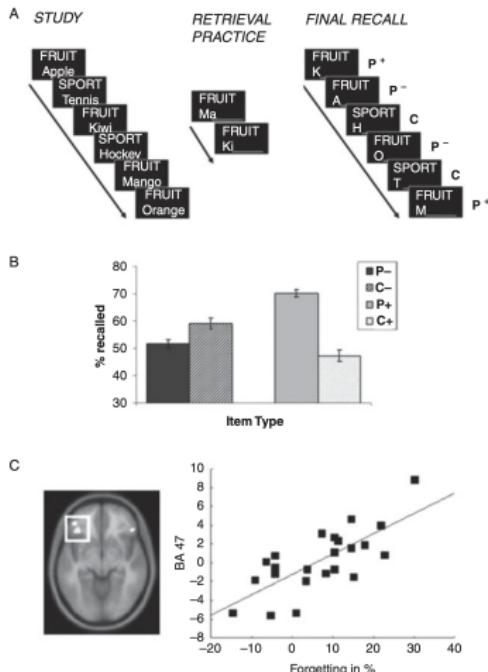


Figure 6: Retrieval-induced forgetting paradigm, behavioral performance, and fMRI activity

Used Paradigm:

- initial study phase: word pairs(category+examplar) presented
- intermediate retrieval practice phase: subset of categories(category+two-letter word cue)
→ non-presented words from this category are inhibited
- final recall phase: word pairs(category+examplar) presented

Examplar 분류:

- 대조군(non-practiced categories): low freq. (C+), high freq. (C-)
- 실험군(practiced categories): low freq. but practiced (P+), high freq. but not practiced (P-)

Result:

- P-는 P+에 의해 억제되어 대조군보다 낮은 연상 빈도를 보임
- P+은 연습의 결과로 대조군보다 높은 연상 빈도를 보임
- comparison from P- to P+: dlPFC의 활성이 클수록, RIF 효과가 더 높은 것으로 나타남

관련 ERP

Familiarity & Recollection

Familiarity (Know)

- mid-frontal old-new effect
- frontal brain activity within 300~500ms
- FN400: negative frontal activity in 400ms

Recollection (Remember)

- left-parietal old-new effect
- parietal brain activity within 500~800ms

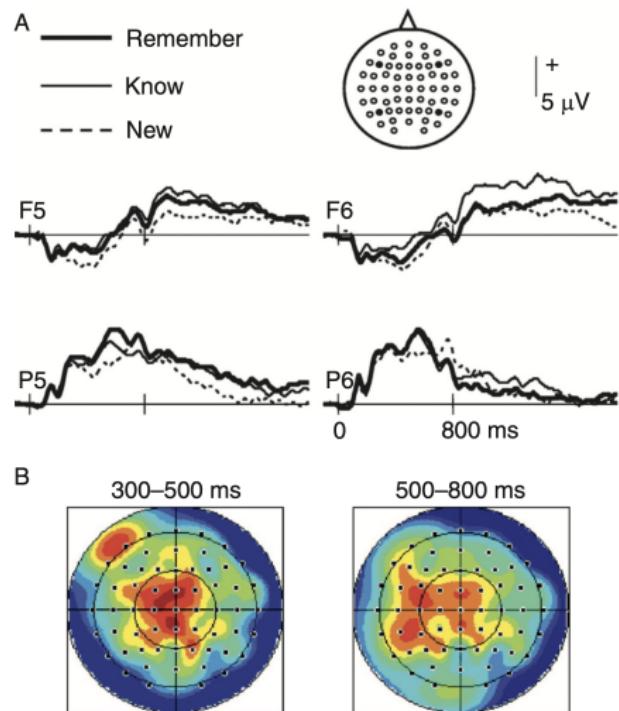


Figure 7: ERP activity associated with recollection and familiarity

관련 Frequency Band

Frequency band

- **gamma(>30Hz)**: 서로 다른 피질 영역의 기능 처리
- **alpha(8~12Hz)**: 피질 영역 활동 억제
- **theta(4~8Hz)**: 해마와 피질 영역 간 상호작용

LTM encoding & retrieval

- gamma increase in **parietal, occipital** regions
- alpha decrease in **anterior, posterior** regions
- theta increase in **frontal** regions, **thalamus**
- cross-frequency coupling^a
b/w **frontal theta** & **parietal-occipital gamma**,
b/w **frontal** & **thalamic theta**

^a두 영역 간 상호작용

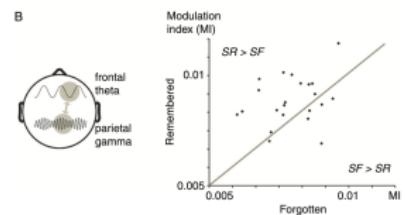
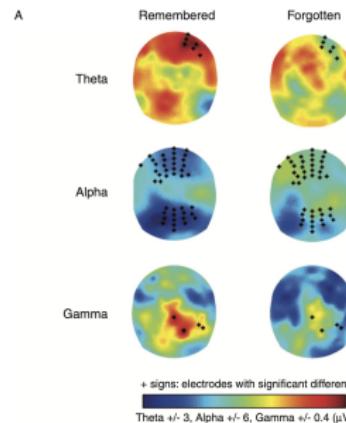


Figure 8: EEG frequency band activity associated with subsequently remembered and forgotten items

수면 중 역할

서파 수면(slow-wave sleep)

- 장기 기억 공고화가 주로 발생하는 시점
- 1Hz 이하 주파수에서의 widespread cortical modulation 수반
- 주로 3 or 4단계 REM 수면, 낮잠 중 발생
- 다른 뇌파(11~16Hz에서 진동하는 thalamic-cortical sleep spindles, 200Hz 근처에서 진동하는 hippocampal sharp-wave ripples^a)와 synchronize되어 기억 공고화에 최적화

^ahippocampal-cortical 상호작용을 조절하여 기억(from the previous waking period)의 replay를 반영

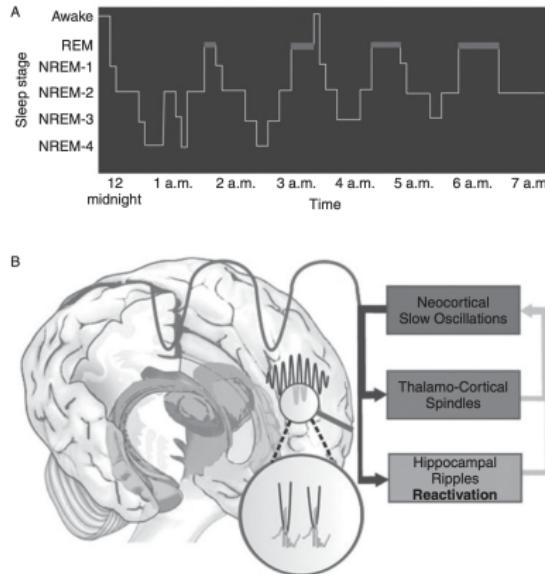


Figure 9: Sleep stages and brain oscillations associated with slow wave sleep and long-term memory consolidation

작업 기억 Working Memory

: 짧은 시간 동안 정보를 유지(maintenance)하고, 그 정보를 조작/이용해 현재 과제를 수행하는 인지 시스템

Working Memory vs Short-Term Memory (단기기억, STM)

- 두 용어는 종종 혼용되지만 (본 교재), 현대 인지신경과학에서는 개념적으로 구분하는 경향이다.
- 초기에는 단기 기억으로 불렸으나, 정보의 '능동적 처리' 기능이 강조되면서 작동 기억이라는 용어가 등장했다.
- **Short-Term Memory:**
정보를 짧은 시간동안 단순히 유지하는 것 (수동적)
- **Working Memory:**
정보를 짧은 시간동안 유지할 뿐만 아니라, 그 정보를 **능동적으로 조작하고 활용하는데 쓰인다.**
→ 단기 기억의 저장 특징 + **저장된 정보를 활용(조작/처리)**, 더 포괄적

Baddeley's Model of Working Memory

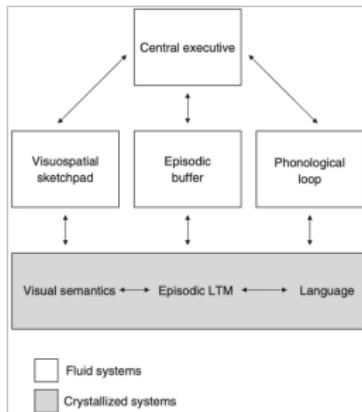
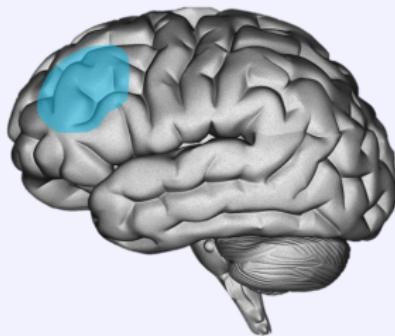


Figure 10: Baddeley's working memory model

- **Central executive:**
주의력 배분, 하위 시스템의 작업 조율 & 총괄
- **Visuospatial sketchpad:**
시각/공간 정보를 유지하고 조작
- **Phonological loop:**
언어/청각 정보를 일시적 저장 및 되뇌 때 관여
- **Episodic buffer:**
서로 다른 종류의 감각 정보들을 하나의 일화로 통합하고, 이 정보를 장기 기억으로 형성하거나 장기 기억 속의 일화를 인출할 때 사용되는 임시 작업 공간

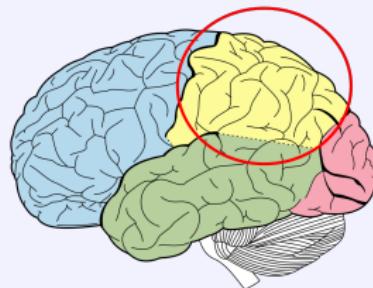
Brain Regions Related to Working Memory

dIPFC

**Control Tower**

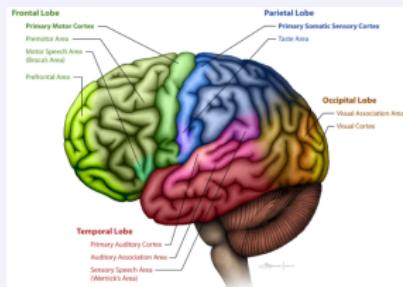
어떤 정보에 주의를 기울이고,
어떻게 처리할지 지시하는 상위
제어 기능을 수행

Parietal Cortex



주로 주의 집중과 정보의
공간적 위치를 파악하는 데
관여

Sensory Processing Regions



작업 기억의 내용이 저장됨

** 기본적이고 단순한 작업기억은 대체적으로 해마에 크게 의존하지 않음

Brain Activity Related to Working Memory

Gamma Activity (>30 Hz):

여러 뇌 영역에 흩어져 있는 정보 조각들을 하나의 의미 있는 기억으로 묶어주는 '정보 통합(Binding)' 역할

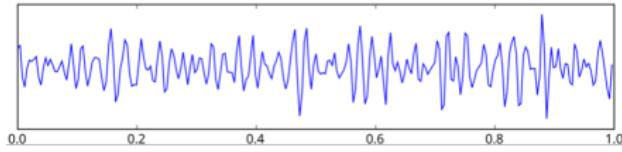


Figure 11: Gamma Activity

Alpha Activity (8~12 Hz):

불필요한 시각 정보 처리를 줄이기 위해 과제와 관련 없는 뇌 영역의 활동을 억제하는 역할

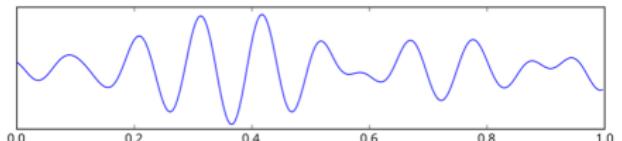


Figure 12: Alpha Activity

실험 패러다임

정보를 (1) 활성화된 상태로 유지하고 (2) 처리하는 능력을 측정함
대부분의 패러다임은 공통적으로 [학습 → 지연 → 검사]의 3단계 구조를 따름

실험 패러다임:

- **학습 단계 (Study Phase):** 참가자에게 기억해야 할 정보를 제시
- **지연 기간 (Delay Period):** 몇 초 ~ 몇십 초 동안 아무것도 안 보여줌
→ 참가자는 이 시간 동안 학습한 정보를 마음속으로 적극적으로 유지해야 함(작업 기억의 핵심적인 측정 구간)
- **검사 단계 (Test Phase):** 학습한 정보에 대해 질문하여 정확도를 측정함

작업 기억 실험의 대표적인 패러다임들

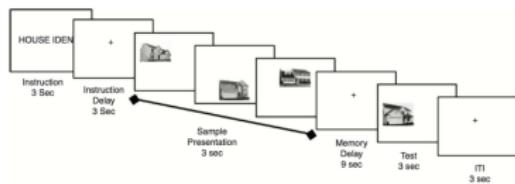


Figure 13: 작업 기억 실험 패러다임 예시

Old-New Recognition:

- 학습 단계: 여러 항목(단어, 도형 등)을 보여줌
- 검사 단계: 학습 단계 항목과 새로운 항목을 섞어서 제시
⇒ 참가자는 각 항목이 이전에 봤던 것(old)인지 처음 보는 것 (new)인지 판단

Source/Context Memory Task:

Old-new recognition + 그 항목이 제시된 위치나 색상 등의 맥락까지 기억

N-Back Task:

일련의 자극(예: 자음 문자열)을 듣거나 보면서, 현재 자극이 N개 전에 제시된 자극과 일치하는지 여부를 판단

Operation Span Task:

간단한 산술 문제를 풀면서(정보 조작) 동시에 단어를 기억해야하는(정보 유지) 과제

Mental Rotation Task:

- 학습 단계: 여러 물체가 배열된 모습 제시
- 지연 단계: 머릿속으로 그 배열을 90도 회전시키라고 지시
- 검사 단계: 회전된 모습의 배열을 보여주고 원래 배열을 제대로 회전시킨 것과 일치하는지 판단하게 함

발표에서 다루지 않았지만 공부한 것들

교재:

- 기술들
- 여러 세부적인 기억 유형들
- 주의력, 심상, 언어, 감정 등 다른 인지과정과 기억의 관계
- 기억 장애(예: 알츠하이머병, 외상 후 스트레스 장애)
- 동물들의 기억

자신이 관심있는 것들 조사 및 정리 후 공유:

- Multimodal Research
- Engram
- AI에서의 기억 체계

소감

- 단순히 학습 자료에서 얘기하는 바를 그대로 받아들이기보다는 '왜 그럴까'하고 더 생각해보았고, 조원들과 3시간이 부족할 만큼 열정적으로 의견을 주고 받았다. 이를 통해 조금 더 깊은 생각과 확장된 시야를 얻을 수 있었다.
- 스터디를 완주했다고 해도 기억에 대해 완벽히 이해한 것도 아니며, 오히려 아직도 이해가 안 된 부분과 궁금한 점이 많다. 하지만 본 스터디를 통해 기억에 대해 조금 더 다가갈 수 있었고, 기억을 앞으로 더 심화적으로 공부할 수 있게 해줄 밑거름을 쌓은 것 같다. 기억에 관하여 몰랐던 것들을 많이 알게 되어 정말 유익했던 스터디였다.