

# Science of Memory

심화스터디

Saturday 13<sup>th</sup> 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
- 암묵 기억
  - Repetition Priming
  - 뇌 활동 패턴
  - 관련 Frequency Band

## 3 발표를 맺으며

- 발표서 다루지 아니한 부분
- 소감

## 4 References

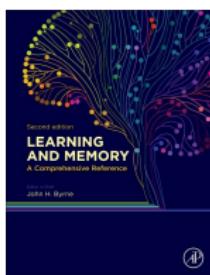
# Science of Memory 스터디 소개

## 스터디 목표

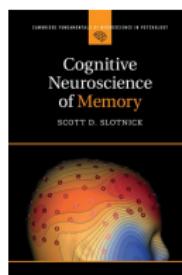
기억의 기본 원리부터 최신 연구 동향,  
다양한 응용 분야까지 깊이 있게 탐구

## 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<br>1.02 A Typology of Memory Terms<br>1.03 Retrieval From Memory<br>1.15 Memory for Space, Time, and Episodes | 공동  |  |
| 2  |                                    | 1. Types of Memory and Brain Regions of Interest<br>2. The Tools of Cognitive Neuroscience   | 윤시원 |  |
| 3  |                                    | 3. Brain Regions Associated with Long-Term Memory<br>4. Brain Timing Associated with Long-Term Memory  | 정유경 |  |
| 4  |                                    | 5. Long-Term Memory Failure<br>6. Working Memory   | 윤시원 |  |
| 5  | Cognitive Neuroscience of Memories | 7. Implicit Memory<br>8. Memory and Other Cognitive Processes  | 정유경 |  |
| 6  |                                    | 9. Explicit Memory and Disease<br>10. Long-Term Memory in Animals  | 김태현 |  |
| 7  |                                    | 11. The Future of Memory Research  | 정유경 |  |
| 7  |                                    | Engram<br>Memory systems in AI   | 김태현 |  |
|    |                                    | Multimodal Brain Imaging in Memory Research  | 윤시원 |  |
|    |                                    |  | 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:

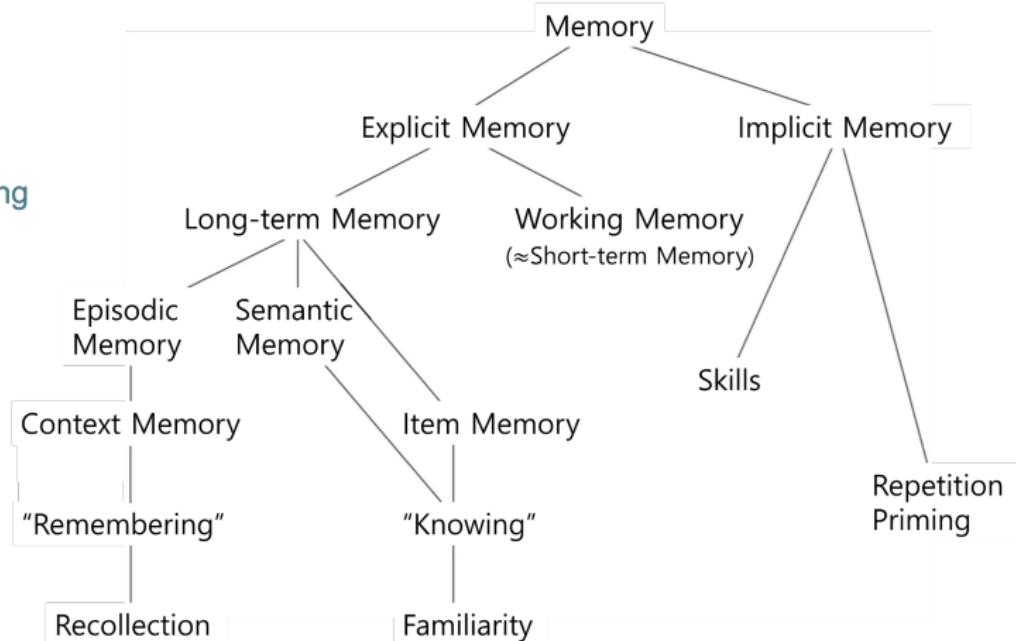


Figure 2: Organization of Memory types

# 장기 기억 Long-Term Memory

: 오랜 시간 동안 정보를 저장하는 시스템

## 실험 패러다임:

Study phase

→ Delay period(수분~수시간)

→ Test phase(Old-new recognition)

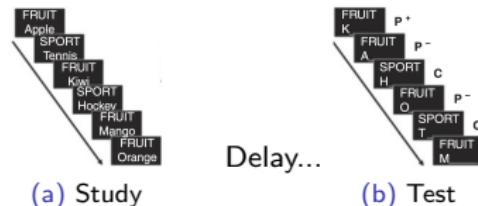
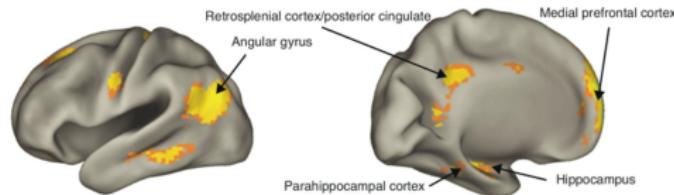


Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>,  
dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 4: 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)

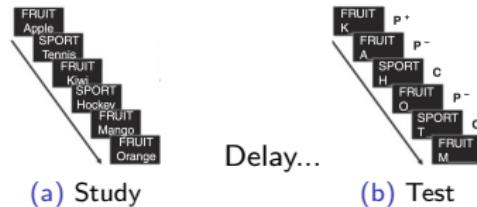
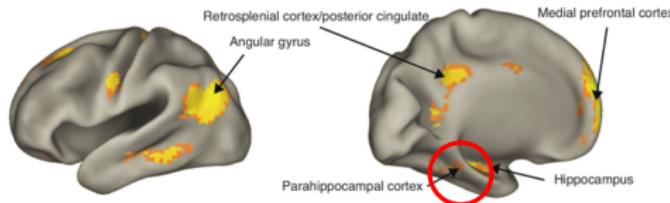


Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>, dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 4: 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)

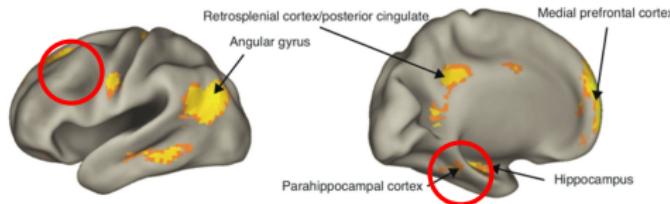
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>,  
dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 4: 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)

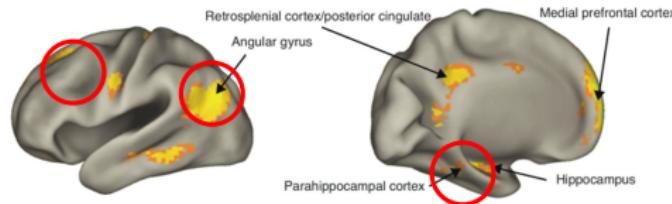
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>,  
dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 4: 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)

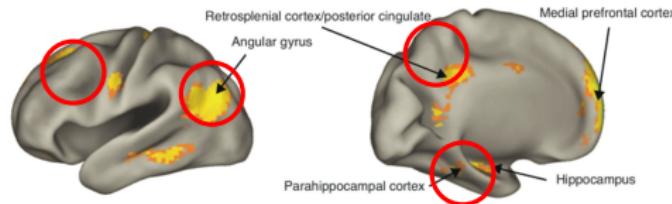
→ Test phase(Old-new recognition)



Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>,  
dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory

Figure 4: 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)

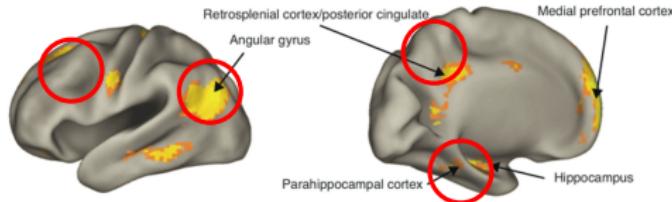
→ Test phase(Old-new recognition)



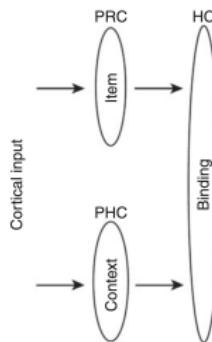
Figure 3: 실험 패러다임

## Retrieval 시 활성화 뇌 영역:

감각 영역, 통제 영역(Medial Temporal Lobe<sup>MTL</sup>, dorsolateral Prefrontal Cortex<sup>dl-PFC</sup>, Parietal Cortex)



(a) Regions of the brain associated with episodic memory



(b) Model of MTL sub-region function

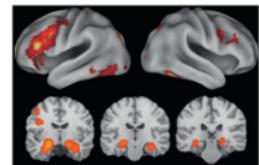
Figure 4: Retrieval 시 활성화되는 뇌 영역과 해마의 역할

## 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

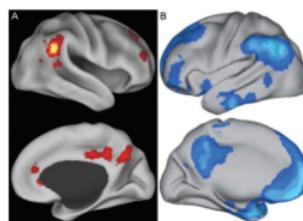
- Subsequent memory analysis로 관련 뇌 영역 규명
- Medial Temporal Lobe, dorsolateral Prefrontal Cortex, Parietal Cortex → Retrieval과 차이 有



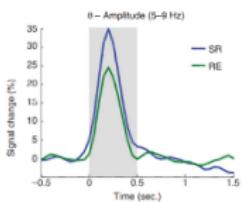
**Figure 5:** Regions of the brain associated with subsequent memory effects

## 망각(Forgetting):

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



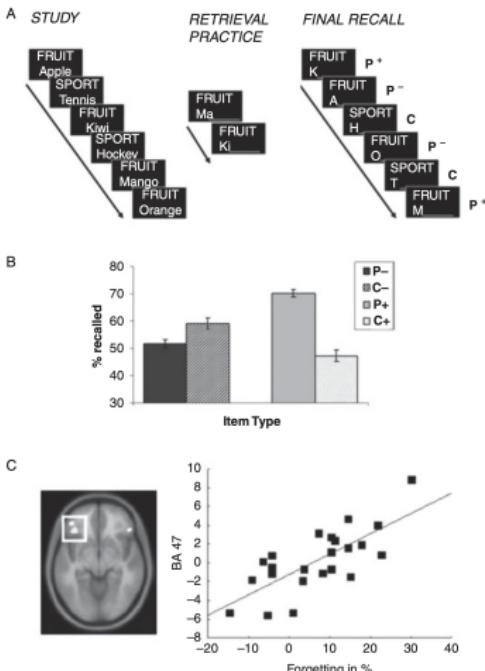
**(a)** Subsequent forgetting fMRI activity and default network fMRI activity



**(b)** Retrieval-induced forgetting EEG activity

**Figure 6: Forgetting**

# Retrieval-induced forgetting fMRI 실험



**Figure 7:** 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

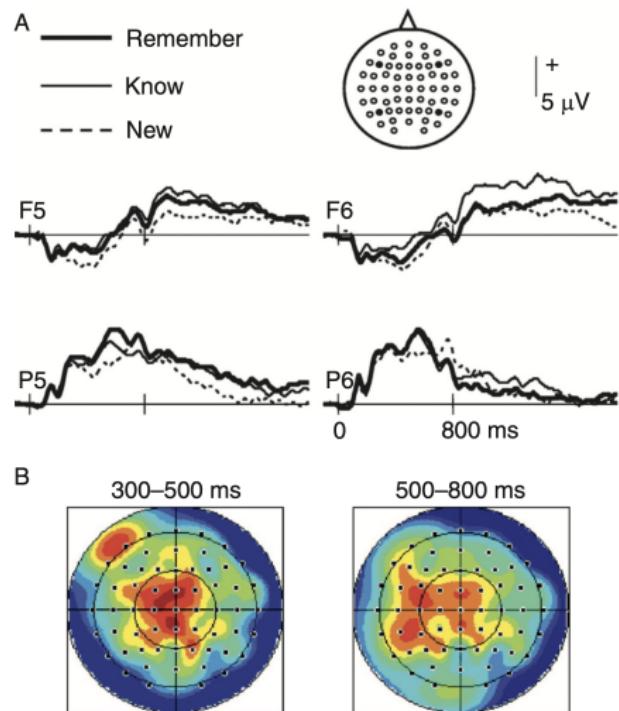


Figure 8: ERP activity associated with recollection and familiarity

# 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<sup>a</sup>  
b/w **frontal theta** & **parietal-occipital gamma**,  
b/w **frontal** & **thalamic theta**

<sup>a</sup>두 영역 간 상호작용

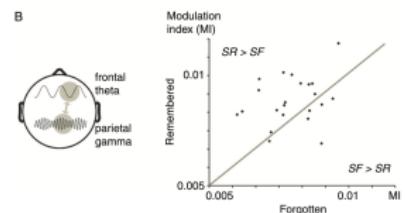
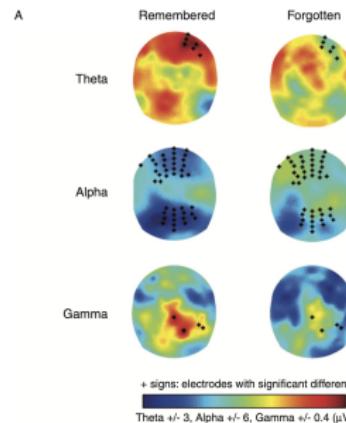


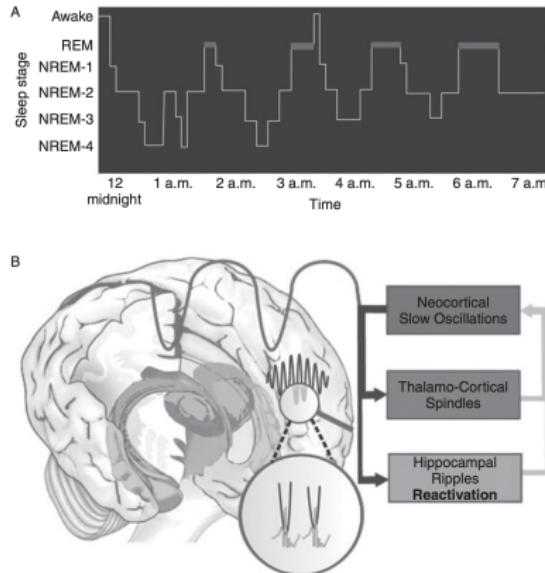
Figure 9: EEG frequency band activity associated with subsequently remembered and forgotten items

# 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<sup>a</sup>)와 synchronize되어 기억 공고화에 최적화

<sup>a</sup>hippocampal-cortical 상호작용을 조절하여 기억(from the previous waking period)의 replay를 반영



**Figure 10:** Sleep stages and brain oscillations associated with slow wave sleep and long-term memory consolidation

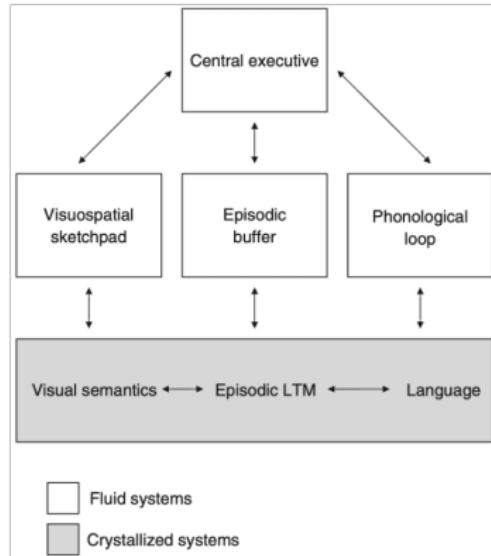
# 작업 기억 Working Memory

: 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

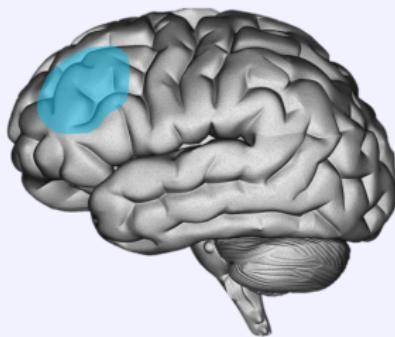


- **Central executive:**  
주의력 배분, 하위 시스템의 작업 조율 & 총괄
- **Visuospatial sketchpad:**  
시각/공간 정보를 유지하고 조작
- **Phonological loop:**  
언어/청각 정보를 일시적 저장 및 되돌 때 관여
- **Episodic buffer:**  
서로 다른 종류의 감각 정보들을 하나의 일화로 통합하고, 이 정보를 장기 기억으로 형성하거나 장기 기억 속의 일화를 인출할 때 사용되는 임시 작업 공간

Figure 11: Baddeley's working memory model

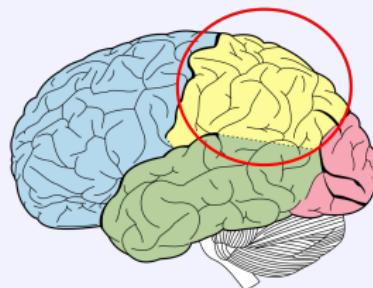
# Brain Regions Related to Working Memory

dIPFC

**Control Tower**

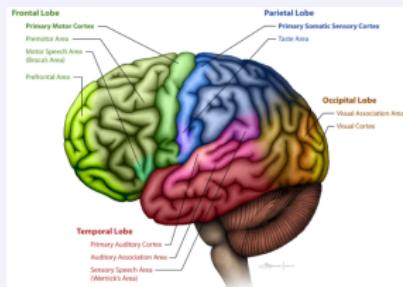
어떤 정보에 주의를 기울이고,  
어떻게 처리할지 지시하는 상위  
제어 기능을 수행

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

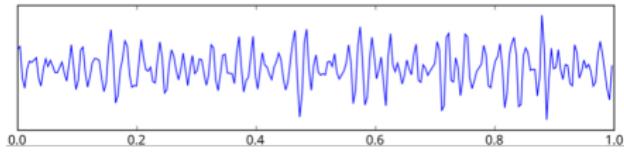


Figure 12: Gamma Activity

## Alpha Activity (8~12 Hz):

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

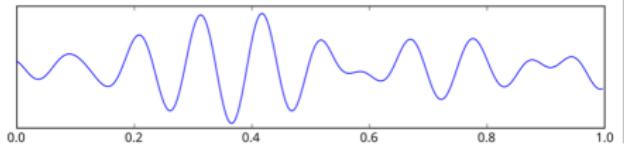


Figure 13: Alpha Activity

# 실험 패러다임

정보를 (1) 활성화된 상태로 유지하고 (2) 처리하는 능력을 측정함

대부분의 패러다임은 공통적으로 [학습 → 지연 → 검사]의 3단계 구조를 따름

- ❶ **학습 단계 (Study Phase):** 참가자에게 기억해야 할 정보를 제시
- ❷ **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)
- ❸ **검사 단계 (Test Phase):** 학습한 정보에 대해 질문하여 정확도를 측정함

패러다임 예시:

- ❶ **N-Back Task:** 연속된 자극(예: 자음 문자열)을 듣거나 보면서, 현재 자극이 N개 전에 제시된 자극과 일치하는지 여부를 판단
- ❷ **Operation Span Task:** 산술 문제를 풀면서(정보 조작) 동시에 단어를 기억해야하는(정보 유지) 과제

# 작업 기억 실험의 예시 (Harrison, S., Tong)

**실험 목표:** 작업 기억에 유지되는 시각 정보가 뇌의 초기 시각 피질(V1)에도 저장되는지 확인

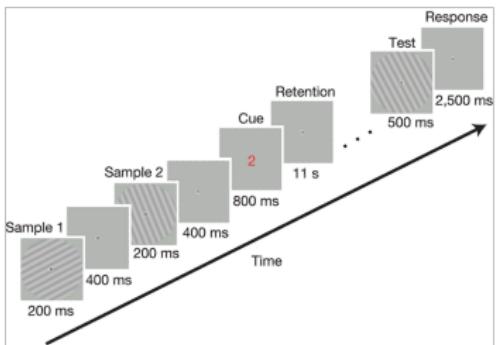


Figure 14: 실험 패러다임

## 실험 과정

- **자극 제시:** 서로 다른 방향의 격자무늬 두 개를 순차적으로 제시
- **단서 제시:** 두 자극을 모두 본 후, '1' or '2' 단서로 기억할 대상을 지정
- **기억 유지:** 11초 동안 빈 회색 화면 제시  
→ 지시 받은 방향들을 적극적으로 유지 (**핵심 측정 구간**)  
→ (다중 복셀 패턴 분석 (MVPA)를 이용)
- **test:** 새로운 검사 격자무늬 제시  
→ 참가자는 자신이 기억하던 것보다 더 시계 방향 or 반시계 방향으로 돌아갔는지를 판단함

**결론:** 작업 기억의 정보가 고위피질뿐만 아니라 정보를 처음 처리한 초기 감각 영역(V1 등)에도 저장된다

# 암묵 기억 Implicit Memory

: 과거의 경험을 **의식적인 자각 없이** 현재의 과제 수행에 사용하는 기억

## 특징

- 비의식적: 기억하려는 노력 없이 자동적으로 발현
- 반응시간 감소 및 정확도 증가
- 피질 영역의 활동 감소  
⇒ repetition suppression: 뇌가 해당 정보를 처리하는 데 더 적은 신경 자원을 사용함으로써 처리 효율이 높아짐

## 주요 유형

- Skills: 반복 연습을 통해 의식적 회상 없이 자동화되는 절차적 수행 능력
- Repetition Priming (반복점화): 반복적으로 특정 항목에 노출될 때, 해당 항목에 대해 더욱 효율적이거나 유창하게 처리가 일어나는 현상
  - Perceptual Priming (지각 점화): 동일하거나 유사한 특징이 반복될 때 처리 효율이 올라감
  - conceptual repetition priming (개념 점화): 의미, 범주, 연관성 차원에서 반복되거나 관련 단서가 있을 때 판단이 빨라짐

## 대표적인 실험 패러다임: Repetition Priming

: 참가자에게 의식적으로 무언가를 기억해내라고 직접적으로 요구하지 않고, 간접적인 과제를 통해 기억의 효과를 측정하는 것

### 기본 단계

- ① **학습 단계**: 피험자에게 여러 항목들을 제시하고, 각 항목에 대해 지각적 or 개념적 판단을 최대한 빨리 내리도록 지시한다.  
이때 나중에 기억해야 한다고 말하지 않는다.
- ② **검사 단계**: 학습 단계에서 제시된 ‘오래된(old)’ 항목과 ‘새로운(new)’ 항목을 섞어 제시하고, 동일한 지각적 또는 개념적 판단을 빠르게 내리도록 한다.

### 결과

- 행동: 반복된 항목(old)에 대해 반응 시간이 단축함
- 뇌 활동: 반복된 항목(old)이 새로운 항목(new)에 비해 뇌의 피질 활동이 감소했다.

# 실험 예시 (Koutstaal et al., 2001)

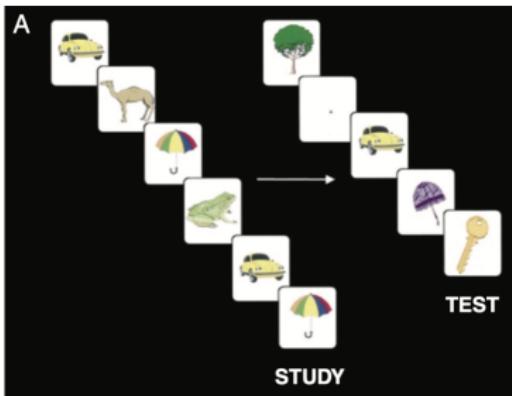
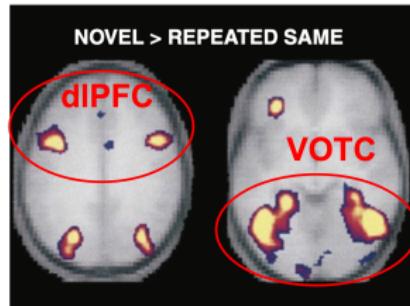


Figure 15: 실험 패러다임

**학습:** 가로세로 13인치 상자보다 큰지 작은지에 대해 최대한 빨리 답변

**검사:** 새로운 항목을 추가하여 학습 때와 같은 판단 과정을 지시

- same: 기존 / novel: 아예 다른
- different: same과 이름은 동일. 생긴 게 다른 (same name, perceptually diff)



dIPFC / Ventral  
occipital temporal  
cortex / right posterior  
lateral temporal cortex  
(그림에 X)에서 활성 감소

Figure 16: fMRI

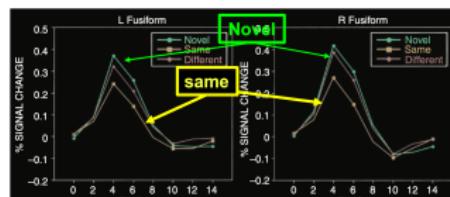


Figure 17: Fusiform의 활성화

**L/R Fusiform의 조건별 뇌 활동 변화**  
L: Novel > Diff ≈ Same  
R: Novel ≈ Diff > Same

# 뇌 활동 패턴

- **Repetition Suppression/adaptation**

: 반복할수록 피질의 활동이 감소

→ 반복된 물체에 대한 처리를 효율적으로 하기 위한 메커니즘으로 해석

- fMRI 활동 → 피질영역 활동 감소

- DLPFC Posterior lateral temporal cortex  
⇒ 개념적/언어적 정보에 대한 repetition priming

- Ventral occipital-temporal cortex (VOTC)  
⇒ 지각적인(시각) 정보에 대한 repetition priming

left-VOTC - perceptual & conceptual repetition priming  
right-VOTC - perceptual repetition priming

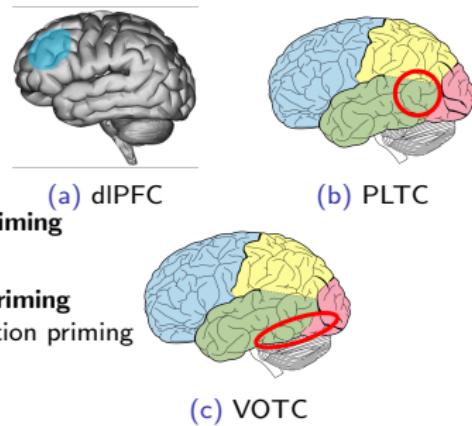


Figure 18: 관련 뇌 영역

# Brain Activity Related to Implicit Memory

## Gamma Activity (25~80 Hz):

자극이 반복될수록 posterior 영역에서 활동이 감소하는 경향을 보임

⇒ visual processing region에서 gamma activity가 감소하는 경향 有

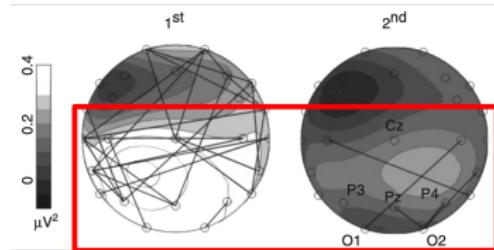


Figure 19: Gamma Activity

## Alpha Activity (8~12 Hz):

자극이 반복될수록 inferior temporal cortex (특히 fusiform cortex)와 dlPFC 영역의 활동이 증가하는 경향 有

⇒ visual processing regions & dlPFC에서 alpha activity가 증가하는 경향 有

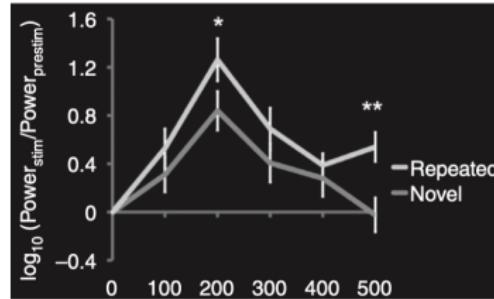


Figure 20: Alpha Activity at rFFG

- Gamma activity는 시각 피질의 처리를 반영한다.  
→ 반복 점화 시 시각 처리 영역에서의 gamma activity 감소는 시각 피질 활성의 감소를 반영한다!
- Alpha activity는 억제적인 처리와 연관된다.  
→ 반복 점화 시 dlPFC 및 시각 피질 영역에서의 alpha activity 증가와 phase lag는 시각 피질 활동 억제를 매개하는, dlPFC로부터의 top-down 신호라고 볼 수 있다!

# 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.

## References

- Byrne, J. H. (Ed.). (2017). *Learning and memory: A comprehensive reference* (2nd ed.). Elsevier.
- Slotnick, S. D. (2025). *Cognitive Neuroscience of Memory* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrison, S. A., & Tong, F. (2009). Decoding reveals the contents of visual working memory in early visual areas. *Nature*, 458(7238), 632–635.  
<https://doi.org/10.1038/nature07832>

[https://books.byui.edu/bio\\_264\\_anatomy\\_phy\\_I/1111\\_cerebral\\_cortex](https://books.byui.edu/bio_264_anatomy_phy_I/1111_cerebral_cortex)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography#Wave\\_patterns](https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography#Wave_patterns)  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1676555>  
<https://brainstimulationclinic.squarespace.com/dlpfc/>