

# CRF를 이용한 일의 성공이 수면에 미치는 영향 분석

(Recognition of the impact of success of task in human sleep with conditional random fields)

양희덕\*

(Hee Deok Yang)

## 요약

뇌의 신호는 관측 대상의 상태 및 관측 위치에 따라 신호가 다양하게 변화하기 때문에 연구하기 쉽지 않다. 본 연구에서는 사람이 수면 전에 수행한 일이 수면 중에 미치는 영향을 분석하는 실험을 수행한다. 이를 위해서, EEG와 fMRI 장비로 피실험자의 뇌의 신호를 획득하고 분석한다. 시간에 따라 변화하는 뇌 신호를 분석하기 위해서 conditional random fields를 이용한다. 피실험자는 수면 전에 미로 찾기 게임과 얼굴 찾기 게임을 수행하며, 이 중 하나의 게임만 성공할 수 있다. 주어진 게임에 성공하면 이에 대한 보상을 받는다. 그리고 피실험자는 EEG와 fMRI 장비에서 수면을 취한다. 수면 중 깊은 잠으로 분류되는 N3상태에 도달하면, 얼굴 찾기를 성공한 그룹에서는 수면 전에 얼굴 찾기를 수행하는 동안 활성화 됐던 뇌의 영역이 미로 찾기를 성공한 그룹보다 상대적으로 유의미하게 활성화되는 것을 알 수가 있었다. 반대로 미로 찾기 성공 그룹에서도 같은 현상이 발생하였다.

■ 중심어 : fMRI ; EEG ; 수면

## Abstract

In this research, we design and perform experiment to investigate whether neuronal activity patterns elicited while solving game tasks are spontaneously reactivated in during sleep. In order to recognize human activity EEG-fMRI signals are used at the same time. Experimental results shows that reward for the success of tasks performed before sleeping have an effect on sleep brain activity. The study uncovers a neural mechanism whereby rewarded life experiences are preferentially replayed and consolidated while we sleep.

■ keywords : fMRI ; EEG ; sleep

## I. 서론

사람은 하루의 많은 시간 동안 수면을 취한다. 따라서 수면 중에 변화하는 사람 뇌 상태 변화에 관심을 두고 많은 연구가 진행되었다[1-13].

수면이 부족하면 위장 장애 등의 신체적 질병이 많이 발생하는 것으로 보고되었으며, 피로, 불안 등의 정신적 장애도 발생하는 것으로 알려졌다[1,2].

Rasch 등은 카드 맞추기와 냄새를 연관 짓는 실험을 수행하였다[3]. 피실험자가 수면 전에 카드 맞추기 게임을 수행하는 동안 냄새를 맡게 했다. 이후, 피실험자가 수면을 취하는 동안 수면 전에 게임을 수행하는 동안 맡던 냄새를 다시 맡게 했다. 그리고 카드 맞추기 게임을 수행하도록 하였다. 실험 결과 수면

중 냄새를 맡은 집단이 그렇지 않은 집단보다 카드 맞추기 게임의 결과가 좋았다.

Mah 등은 운동선수들을 대상으로 수면 시간을 늘리게 하고 그들의 기록을 관찰하였다[4]. 관찰 결과 수면 시간이 늘어나면 농구 선수의 자유투 성공률, 수영선수의 방향 전환 시간 등이 모두 상승했다.

Igloi 등은 낮잠과 보상과의 관계를 뇌의 장기 기억 장치인 해마와 연관하여 분석하는 연구를 진행하였다[9].

Tamaki 등은 수면과 보상에 대한 연구를 진행하였으며, 수면에 들기 전까지는 보상이 시각 인지 학습에 영향을 주지 않는다는 것을 발견하였다[10].

본 논문에서는 피실험자가 수면 전에 성공적으로 수행한 일에 대한 적절한 보상이 수면 중 뇌에 영향을 미치는가에 대한 분석을 위한 실험을 수행하고 결과를 분석한다. 이를 위해서, 피실험

\* 준회원, 조선대학교 컴퓨터공학과 교수

이 논문은 2017년도 교육과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017R1A2B4005305).

접수일자 : 2021년 06월 21일

수정일자 : 1차 2021년 07월 01일

게재확정일 : 2021년 07월 01일

교신저자 : 양희덕 e-mail : heedeok\_yang@chosun.ac.kr

자는 수면하기 전에 미로 찾기 게임과 얼굴 찾기 게임을 수행하도록 하였다. 두 개의 게임 중 한 개의 게임만 성공할 수 있도록 하였으며, 게임에서 성공한 피실험자에게는 보상이 주어진다. 게임에 따른 보상은 같다. 전체 피실험자를 미로 찾기 성공 집단과 얼굴 찾기 성공 집단의 두 개로 분류하였다. 즉, 얼굴 찾기 게임을 성공한 집단은, 얼굴 찾기 게임을 통하여 보상을 받은 집단을 의미한다. 두 개의 집단에서 수면 중에 발생하는 뇌 신호의 차이점을 분석하였다. 또한, 게임을 수행하고, 수면을 취한 뒤에 다시 게임을 실행하여 두 집단 사이의 차이를 알아보았다.

피실험자의 뇌 상태를 분석하기 위해서 EEG(Electroencephalography)와 fMRI(Functional magnetic resonance imaging) 신호를 이용하였다. EEG는 피실험자의 수면 정도를 확인하기 위해 사용하였으며, fMRI는 뇌의 상태 정보를 분석하기 위해서 사용하였다. 그림 1은 뇌 신호 분석을 위한 기본 개요를 보여주고 있다. 그림 2는 실험에서 사용한 얼굴 찾기, 미로 찾기 게임의 일부를 각각 보여준다.



그림 2. 실험에 사용된 얼굴 찾기, 미로 찾기 게임 예

## II. 본 론

### 1. 특징 추출

fMRI를 분석하기 위해서 58개의 ROI(Region of interest)를 설정하였으며, ROI에서 특징을 추출한다. 총 58개의 특징값을 추출한다. MarsBaR(MARSeille Boîte À Région d'Intérêt)를 이용하며 특징값을 추출하였으며, 반지름은 5mm를 사용하였다. 58개의 ROI로부터 신호를 일차적으로 추출하고, 추출된 각 신호의 평균값과 현재 시간에서의 신호와의 차이를 특징으로 사용한다. 그림 3은 PPA(Parahippocampal place area)에서 일정 시간 동안 추출한 신호를 보여준다 [14, 15].

EEG의 잡음은 ICA(Independent component analysis)를 이용하여 제거한다.

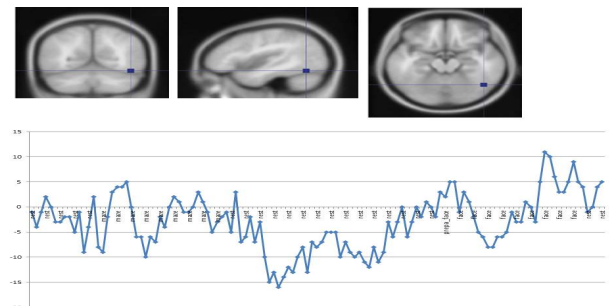


그림 3. 관심 영역 PPA에서 추출된 신호 예

### 2. CRF를 이용한 뇌 상태 인식

CRF는 조건부 확률 방법을 이용하여 순차적 데이터의 레이블을 수행하기 위해서 사용된다. 입력  $x$ 에 대한 출력  $y$ 의 확률

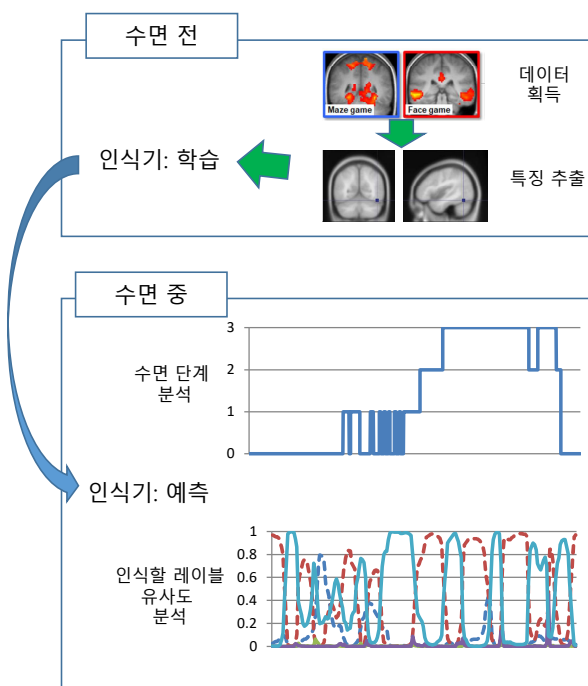


그림 1. 실험의 전체적인 흐름도

본 연구에서는 수면 전에 주어진 보상이 수면의 단계에 따라서 뇌에서 발생하는 반응의 세기가 다르게 나타나며, 깊은 수면 단계에서는 수면 전에 주어진 긍정적 자극(보상)에 대한 반응이 유의미하게 나타남을 conditional random fields를 이용하여 인식하였다.

2장에서는 fMRI에서 특징을 추출하는 방법, 특징을 이용한 인식 방법론에 대해서 설명하고, 3장에서는 실험 결과 및 분석에 대해서 기술한다. 4장은 본 논문의 결론에 대해서 기술한다.

을 상태, 전이 특징 함수들의 곱으로 계산한다[5,16].

$$\exp\left(\sum_v \lambda_v t_v(y_{i-1}, y_i, x, i) + \sum_m \mu_m s_m(y_i, x, i)\right) \quad (1)$$

여기서,  $t_v(y_{i-1}, y_i, x, i)$ 는 입력  $x$ 의  $i-1$ ,  $i$ 위치에서의 전이 특징 함수,  $s_m(y_i, x, i)$ 는 입력  $x$ 의  $i$ 위치에서의 상태 특징 함수,  $y_{i-1}$ ,  $y_i$ 는 입력  $x$ 의  $i-1$ 과  $i$  위치에서의 레이블, 그리고,  $\lambda_v$ ,  $\mu_m$ 은 각각 전이, 상태 특징 함수의 가중치를 나타낸다.

상태 특징 함수는 주어진 특징의 특정 레이블에서의 발생 여부를, 전이 특징 함수는 두 레이블 사이에서의 특징 발생 여부를 결정한다.

입력  $x$ 에 대한 출력  $y$ 의 확률은 아래와 같다.

$$p_\theta(y|x) = \frac{1}{Z_\theta(x)} \sum_{i=1}^n F_\theta(y_{i-1}, y_i, x, i) \quad (2)$$

여기서, 파라미터  $\theta = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N_T}; \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{N_S})$ ,  $N_T$ 는 전이 특징 함수의 개수,  $N_S$ 는 상태 특징 함수의 개수,  $n$ 은 입력  $x$ 의 길이,  $Z_\theta(x)$ 는 정규화값

$$Z_\theta(x) = \sum_y \exp\left(\sum_{i=1}^n F_\theta(y_{i-1}, y_i, x, i)\right) \quad (3)$$

여기서,

$$F_\theta(y_{i-1}, y_i, x, i) = \sum_v \lambda_v t_v(y_{i-1}, y_i, x, i) + \sum_m \mu_m s_m(y_i, x, i) \quad (4)$$

CRF는 파라미터 학습을 위해서 최대 엔트로피 방법을 이용하고 있다. 최대 엔트로피를 계산하기 위해서 우도 함수를 사용하며, 우도 함수는 아래와 같다.

$$L(\theta) = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^n F_\theta(y_{i-1}^t, y_i^t, x^t, i) - \log Z_\theta(x^t) \right) \quad (5)$$

여기서,  $T$ 는 학습 데이터의 개수이고,  $x^t$ 는 학습 데이터의 관측열,  $y^t$ 는 레이블열이다.

### III. 실험 및 결과 분석

#### 1. 실험 환경

EEG(64채널)와 MRI(3T) 장비를 이용하여 피실험자 22명의 데이터를 수집하였다. 이 중 4명은 깊은 수면에 들지 못해 분석에서 제외했다. 학습용 데이터는 피실험자가 비수면 중에 획득되며, 예측용 데이터는 피실험자가 수면 중에 획득된다.

그림 4와 같은 디자인으로 학습용 데이터를 획득한다. 수면

전에 피실험자는 얼굴 찾기 게임과 미로 찾기 게임, 두 가지의 게임을 수행하도록 하였다. 데이터 수집을 위해 두 번의 세션을 실행한다. 하나의 세션은 미로 찾기 게임과 얼굴 찾기 게임 각각 4번으로 구성된다. 즉, 한 세션은 총 8번의 게임으로 이루어진다. 피실험자는 두 번의 세션을 수행하는 동안 게임을 한 번만 성공적으로 수행할 수 있도록 하였다. 따라서, 총 16번의 게임 중 한 번만 성공한다.

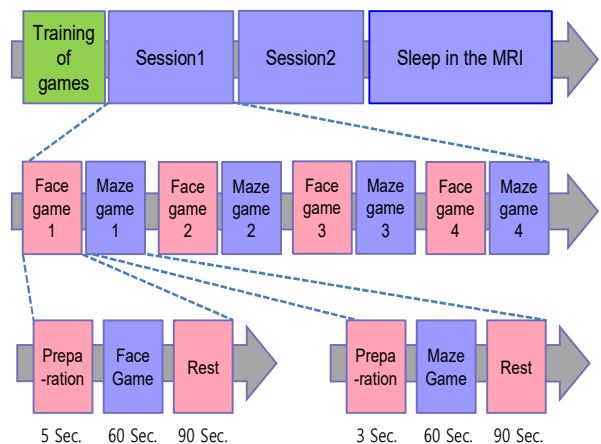


그림 4. 실험 디자인

수면 중에 뇌의 상태 변화 분석을 위해서 수면 중에 데이터를 수집한다. 표 1과 같이 총 18명으로부터 데이터를 획득한다. 게임에 성공했다는 것은 이를 통해 보상을 받았다는 것을 의미한다. 수면 중에 피실험자의 뇌의 상태 변화를 분석하기 위해서 EEG-fMRI 데이터를 수집하였으며, 피실험자마다 획득 시간은 다르며, 평균 1시간 정도이다. 본 실험에서는 표 2와 같이 5가지의 뇌 상태를 인식하였다.

표 1. 데이터셋 구성

| 비고                          | 명  |
|-----------------------------|----|
| 얼굴 찾기 게임 성공 ("Win Face" 그룹) | 8  |
| 미로 찾기 게임 성공 ("Win Maze" 그룹) | 10 |

표 2. 인식을 위한 레이블

| 레이블        | 의미                   |
|------------|----------------------|
| Face       | 얼굴 찾기 게임 수행 중        |
| Maze       | 미로 찾기 게임 수행 중        |
| Prepa Face | 얼굴 찾기 게임 수행 전의 준비 상태 |
| Prepa Maze | 미로 찾기 게임 수행 전의 준비 상태 |
| Rest       | 휴식 상태                |

## 2. 실험 분석

### 가. 수면 전 뇌 상태 인식

실험 데이터의 유효성을 검증하기 위해서, 학습 데이터를 이용하여 leave-one-out 교차 검증하였다. 그림 4와 같이 한 사람에 대해서 총 2번의 세션이 존재하기 때문에 자신을 제외한 모든 사람의 데이터와 자신의 데이터 중 하나의 세션을 테스트 집합으로 나머지를 학습 집합으로 사용하였다.

그림 5는 얼굴 찾기를 성공한 그룹과 미로 찾기 게임을 성공한 그룹으로 나누어서 인식 결과를 보여주고 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 인식 결과 미로 찾기 게임 중 활성화된 뇌 상태를 얼굴 찾기를 하는 동안 활성화된 뇌 상태보다 14%, 6% 정도 높게 인식된다. 이는 특징 추출 과정 중에서 ROI가 일부 미로 찾기 게임 쪽으로 치우친 것으로 보인다. 표 2의 인식 레이블 중 'Prepa face', 'Prepa maze' 는 'Rest'와 유사하다. 표3은 이 세 개의 레이블을 모두 'Rest'로 인식한 결과이다.

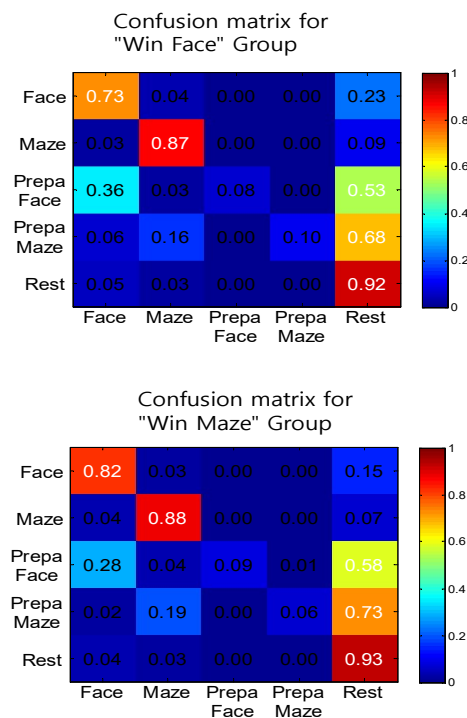


그림 5. 학습 데이터를 이용한 인식 결과

표 3. 3개의 레이블을 이용한 인식률

|      | Face | Maze | Rest |
|------|------|------|------|
| Face | 0.75 | 0.03 | 0.22 |
| Maze | 0.08 | 0.82 | 0.1  |
| Rest | 0.04 | 0.03 | 0.93 |

### 나. 수면 중 뇌 상태 예측

수면 전에 수집한 데이터를 학습데이터로 사용하고, 수면 중에 수집한 데이터를 테스트 데이터로 사용하여 수면 중에 얼굴 찾기 게임을 성공한 그룹과 미로 찾기 게임을 성공한 그룹의 뇌의 상태 변화를 비교 분석하였다.

이 분석 결과는 수면 전의 뇌 상태를 통해서 수면 중의 뇌 상태를 예측한 결과이다. 수면 초기에는 일반적으로 깊은 수면에 들지 못하기 때문에 수면 중에 수집한 데이터를 시간 순서에 따라 4등분하여 분석하였다. 그림 6은 이의 결과를 보여준다. 4등분된 데이터를 보면 3, 4번째 시간대에서 얼굴 찾기 게임 성공 그룹에서는 수면 전에 얼굴 찾기 게임을 수행할 때 뇌가 활성화된 영역이 수면 중에도 많이 활성화가 되는 경향을 보여줌을 알 수 있다.

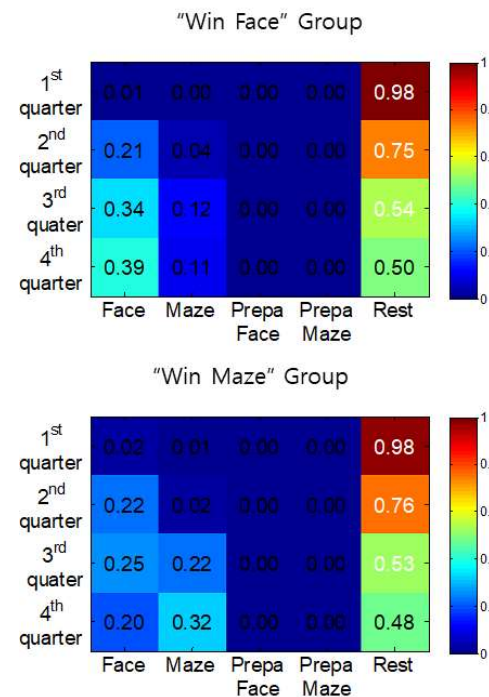


그림 6. 수면 중 뇌의 상태를 시간 축으로 4등분하여 분석한 결과

그림 7은 실험에 참여한 피실험자의 개인별 예측값이다. 얼굴 찾기 게임을 성공한 그룹에서는 얼굴 찾기에 대한 예측값이 높게 나오고 미로 찾기 게임을 성공한 그룹에서는 미로 찾기에 대한 예측값이 높게 나온다.

그림 8은 EEG 신호를 이용하여 사람의 수면 상태를 수면 정도에 따라 4가지로 분류하고 각각의 수면 상태에 따른 뇌 상태를 분석한 결과이다. 분석 결과 NREM sleep (Non-rapid eye movement sleep), N3(deep, slow-wave sleep) 상태에서 두

그룹 사이에서 차이가 남을 알 수 있다. 특히, 피실험자가 깊은 잠에 들면서, 주어진 게임을 성공한 그룹에서 상태의 확률값이 높아짐을 볼 수 있다.

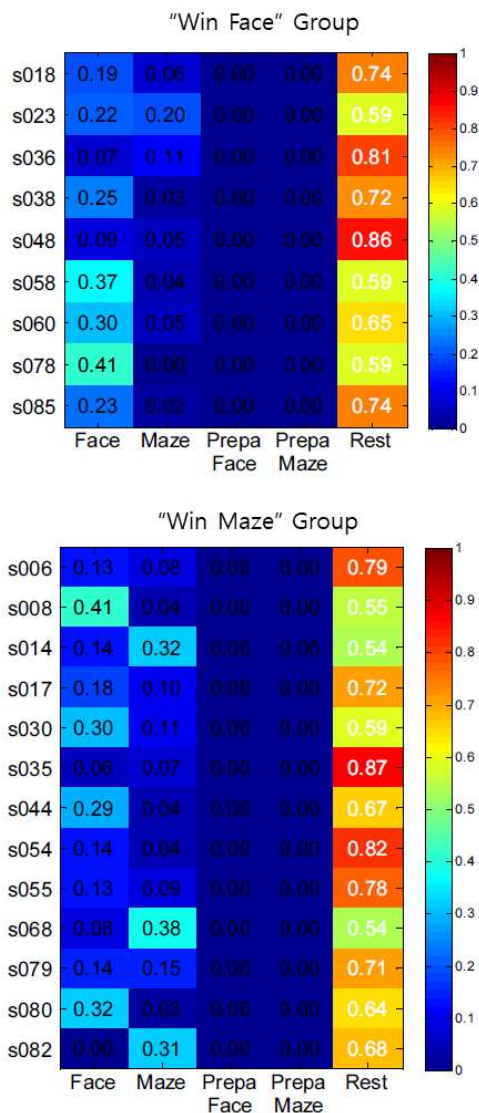


그림 7. 수면 중에 획득된 데이터를 이용해 수면 중 뇌 상태를 개인별로 예측한 결과

적으로 유의미하게 활성화되는 것을 알 수가 있었다. 반대로 미로 찾기 성공 그룹에서도 같은 현상이 발생하였다.

차후 연구는 주어진 일을 성공적으로 수행하였으나 보상을 받는 집단과 보상을 받지 못한 집단 간의 차이, 모두 실패하는 집단, 모두 성공하는 집단으로 데이터베이스를 확대하는 것과 인식을 향상을 위한 특징 추출 기술 개선, 다양한 인식기를 이용한 성능평가를 수행하는 것이다.

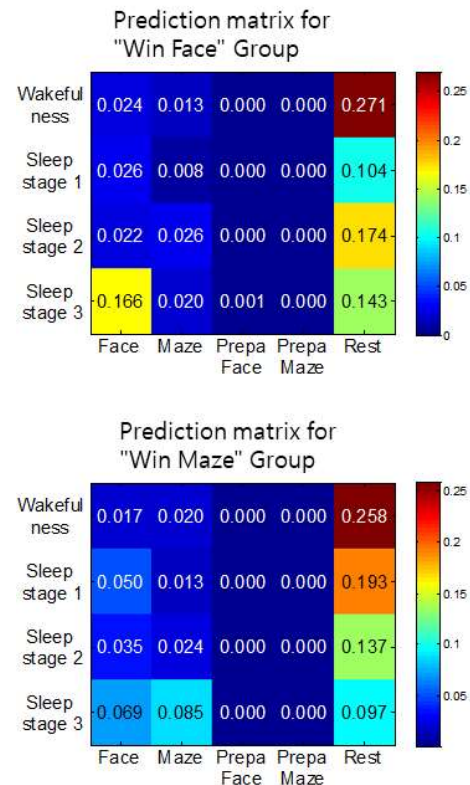


그림 8. 수면 상태에 따른 뇌 상태 예측 결과

#### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 수면 전에 수행한 일에 대한 보상이 수면 중에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해서, EEG와 fMRI 신호를 이용하며, 대조 실험 사이에서 유의미한 차이를 보였다. 게임이 후 수면 중 깊은 잠으로 분류되는 N3상태에 도달하면, 얼굴 찾기를 성공한 그룹에서는 수면 전에 얼굴 찾기를 수행하는 동안 활성화됐던 뇌의 영역이 미로 찾기를 성공한 그룹보다 상대



## REFERENCES

- [1] U. M. Edéll-Gustafsson, E. I. Kritz, and I. K. Bogren, "Self-reported sleep quality, strain and health in relation to perceived working conditions in females," *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, Vol. 15. No. 2, pp. 179-187, 2002.
- [2] 한금선, 박은영, 박영희, 임희수, 이은미, 김린, 안덕선, 강현철, "임상간호사의 수면의 질에 영향을 미치는 요인", *정신간호학회지*, 제20권, 제2호, 121-131쪽, 2011년 6월
- [3] B. Rasch, et al., "Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation," *Science*, Vol. 315, No. 5817, pp. 1426-1429, 2007.
- [4] C.D. Mah, et al. "The effects of sleep extension on the athletic performance of collegiate basketball players," *Sleep*, Vol. 34, No.7, pp. 943-950, 2011.
- [5] 양희덕, "CRF를 이용한 수면 중 뇌 상태 분석", *한국멀티미디어학회 춘계학술발표대회 논문집*, 제18권, 제1호, 안동시, 대한민국, 2015년 3월
- [6] L. Xie, et al., "Sleep drives metabolite clearance from the adult brain," *Science*, Vol. 342, No. 6156, pp. 373-377, 2013.
- [7] X. Hu, J. W. Antony, J. D. Creery, I. M. Vargas, G. V. Bodenhausen, and K. A. Paller, "Unlearning Implicit Social Biases during Sleep," *Science*, Vol. 348, No. 6238, pp. 1013-1015, 2015.
- [8] R. Stickgold, "To sleep: Perchance to learn," *Nature Neuroscience*, Vol. 15, No. 10, pp. 1322-1323, 2012.
- [9] K. Igloi, G. Gaggioni, V. Sterpenich, and S. Schwartz, "A nap to recap or how reward regulates hippocampal-prefrontal memory networks during daytime sleep in humans," *eLife*, Vol. 4, 2015.
- [10] M. Tamaki, et al. "Reward does not facilitate visual perceptual learning until sleep occurs," *Proc. of National Academy of Sciences*, Vol. 117, No. 2, pp. 959-968, Dec. 2020.
- [11] 최유용, 이동희, 이상웅, 이진호, 권구락, "멀티빔 음향 측심기에서 하드웨어 오류 보정을 위한 소프트웨어 개발에 관한 연구," *스마트미디어저널*, 제5권, 제1호, 44-48쪽, 2016년 3월
- [12] 한유림, 김다솔, 한지애, 류시천, "뇌전도를 활용한 브랜드 아이덴티티 디자인 평가," *스마트미디어저널*, 제7권, 제4호, 106-113쪽, 2018년 12월
- [13] V. H. Trong, et al., "A Study on Applying the SRCNN Model and Bicubic Interpolation to Enhance Low-Resolution Weeds Images for Weeds Classification," *Smart Media Journal*, Vol. 9, No. 4, pp.17-25, Dec. 2020.
- [14] T. Naselaris, K. N. Kay, S. Nishimoto, and J. L. Gallant, "Encoding and decoding in fMRI," *NeuroImage*, Vol. 56, No. 2, pp. 400-410, 2011.
- [15] C. Cabral, M. Silveira, and P. Figueiredo, "Decoding visual brain states from fMRI using an ensemble of classifiers," *Pattern Recognition*, Vol. 45, No. 6, pp. 2064 - 2074, 2012.
- [16] H.-D. Yang, S. Sclaroff, and S.-W. Lee, "Sign language spotting with a threshold model based on conditional random fields," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 31, No. 7, pp. 1264-1277, 2009.

## 저자 소개



## 양희덕(준회원)

1998년 충남대학교 컴퓨터학과 학사 졸업.

2003년 고려대학교 컴퓨터학과 석사 졸업.

2008년 고려대학교 컴퓨터학과 박사 졸업.

2008년 ~ 현재 조선대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 뇌과학, 컴퓨터 비전>