

# 다중 영역 분산을 이용한 시각 피로도 수치화 및 뇌파 검증

**Hyeong-jun Cho and Jun-dong Cho**

*Sungkyunkwan Univ.*

*Department of Electrical and Computer Engineering.*

*Vada Lab.*

# Outline

---

- **Introduction**
- **Related Work**
- **Proposed Method**
- **Experiment Result**
- **Conclusion**

# Introduction

- 영화 ‘아바타’와 3D Display의 발달로 3D 시장 규모가 커졌으나 시장의 규모가 점차 급속도로 축소됨
  - 장시간 시청 시 영상 멀미, 안정 피로와 같은 증상이 발생함[1]
  - 영상 멀미: 흔들림 및 회전이 심한 영상을 관찰할 때 생기는 현기증이나 구역질[1]
  - 안정 피로: 지속적인 시각 작업으로 간단히 피로를 느낌, 시각계의 부정합, accommodation과 vergence의 불일치로 나타남
- 기존의 피로도 모델링은 가까이 있는 물체에 초점을 두었지만, 멀리 있는 배경에도 피로도를 느낄 수 있음

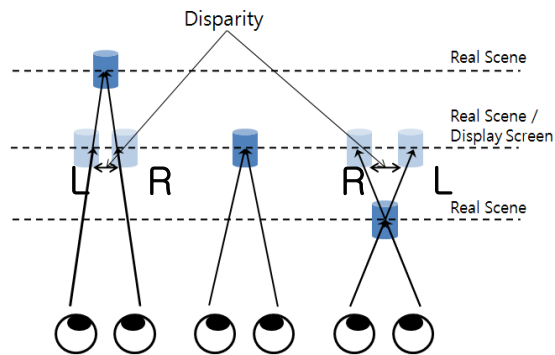


그림 1. 인간 시각계



그림 2. 제안하는 방법의 예시

[1] 카와이, 모리카와, 오타, 아베, “3D 입체 영상 표현의 기초”,성안당, 2011.02

# Related Work

## Stereoscopic

- 3D 영상의 깊이 정보를 이용하여 양안 시차에서 입체감을 나타나게 하는 방식
- 두 영상의 거리정보 영상 : **Depth map**
  - 시각 피로도를 영상에서 측정할 수 있는 간단한 방법
  - ✓ **Rectification**
    - 여러 영상을 하나의 일반화된 평면 위에 놓이게 변환하는 과정
  - ✓ **Disparity estimation**
    - 좌, 우 영상의 거리 정보를 나타낸 것
    - 기존 윈도우에 대해 왼쪽 영상의 윈도우를 이동시켜 각 윈도우간의 유사도 측정
  - ✓ **Depth Post processing**
    - **Disparity map**을 후처리 하는 과정



그림 3. disparity map



그림 4. depth map

# Related Work

## Visual fatigue measurement system

- Depth map을 이용한 시각 피로도 수치화[2]
  - 히스토그램을 이용한 시각 피로도 측정방법
  - Zero disparity 주변은 피로도가 느끼지 않다는 사실을 토대로 zero disparity 영역으로부터 40%, 50%, 60%에 2개의 threshold 값을 설정
  - 구간 내 가중치를 두어 VFL(1)을 측정

$$VFL = \frac{1.25 \times \sum T_2 - 0.75 \times \sum T_1 - \sum T_3}{\text{Total number of pixels}} \quad (1)$$

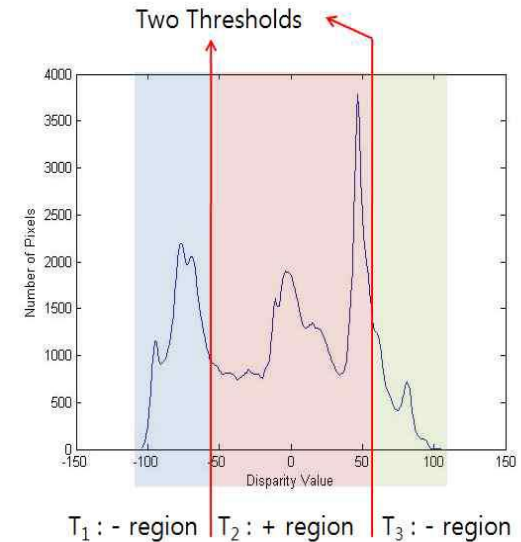


그림 5. Threshold 예시

[2] 김종학, 김정훈, 함현호, & 조준동. (2011). 사용자 불편함 개선을 위한 입체 영상 피로도 지수 측정. 전자공학회논문지-SD, 48(10), 20-24.

# Related Work

## Visual fatigue measurement system

- Simplified Relative Model to measure Visual Fatigue[3]
  - MOS 테스트의 결과를 이용한 시각 피로도 모델링
  - Negative 영역에서 시청자들은 시각 피로도를 많이 느낌
  - 수식 (2)와 같이 시각 피로도를 측정

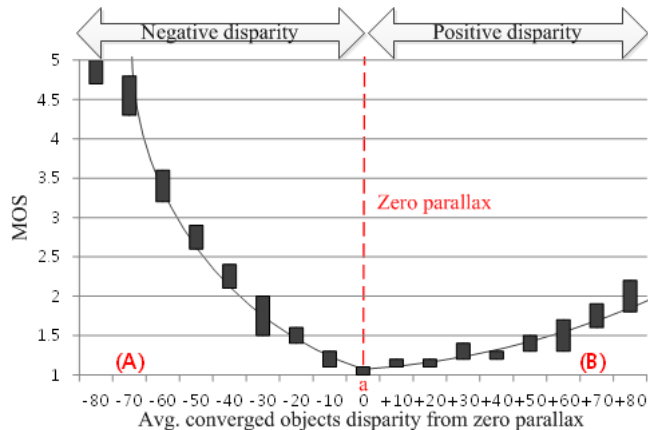


그림 6. MOS결과 그래프

$$SRVF = \int_0^a \frac{P_x}{TP} (x - a) \cdot \ln \frac{x}{a} + \int_a^\infty \frac{P_x}{TP} \left( \frac{x-a}{a} \right)^2 (2)$$

[3] Kim, Jae Gon, and C. H. O. Jun-Dong. "Simplified relative model to measure visual fatigue in a stereoscopy." IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences 94.12 (2011): 2830-2831.

# Related Work

## Physical signal

- 인체의 미세한 세포간의 전기적인 신호로 수  $\mu\text{V}$ ~ $\text{nV}$ 까지 나타나는 미세한 신호
- 일반적으로 의학 분야에서 환자의 상태 및 근전상태 등을 판단하는데 사용됨
- 대부분의 생체신호는 자신의 성질과 활동을 반영함
  - **ECG** : 심장의 전기적 활동 [4]
  - **EOG** : 안구 운동량의 전기적 활동 [5]
  - **EEG** : 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 발생하는 전기적 흐름 [6]

[4] Braunwald E. (Editor), Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine, Fifth Edition, p. 108, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1997.

[5] Varier, Dyuthi S., and Venkatasubramanian Krishnamoorthy. "An electrooculogram based real time system for measurement and analysis of visual stimuli for detecting strabismus and nystagmus." Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI, 2014 International Conference on. IEEE, 2014.

[6] 모토끼, 야노, "3차원 영상과 인간과학", 진샘미디어, 2010.07

# Related Work

## 3D 영상과 뇌파와의 관계

- 시각피로도도에 따른 뇌신경이 속파(**fast wave**)와 서파(**slow wave**)의 상대적인 리듬으로 작용하고 있음을 확인 [7]
- 영상 정도에 따라서 화면에 대한 집중도가 더욱 요구되는 입체 영상을 장시간 관찰하는 것이 인간에게 부담으로 작용 [8]
- **30cm** 이하나 **90cm** 이상의 튀어나오는 영상은 보는 사람들에게 상당히 부담감을 증가함 [1]

[7] 이국세, 문남미, "EEG(뇌파)실험을 기반한 3DTV 시각피로도 연구", 한국방송공학회 추계학술대회, 2011

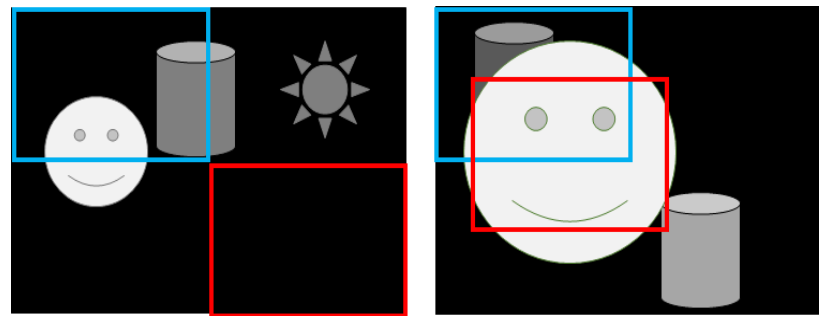
[8] Yamamoto, Sakae, and Shigeaki Matsuoka. "Topographic EEG study of visual display terminal (VDT) performance with special reference to frontal midline theta waves." *Brain topography* 2.4 (1990): 257-267.



# Proposed method

## 제안하는 방법

- Depth map을 이용한 시각 피로도 수치화
- 3D 영상에서 **negative** 영역에 물체가 많을 때 시각 피로도가 발생하지만, **배경(positive 영역)에 분포 했을 때 역시 시각 피로도 발생**
- 따라서 **depth map**의 영역을 나누어, 영역의 분산을 통한 영상의 특성을 분석



(a) (b)  
그림 7. 제안하는 방법과 예시

# Proposed method

## 분산을 이용한 피로도 모델링

1. 영상 크기의  $\frac{1}{4}$ 를 하나의 영역으로 설정
2. 영역의 분산 및 평균을 구함
3. 최대 분산영역  $i$ 와 최소 분산 영역  $j$ 를 찾음
4. 아래 식과 같이 모델링을 실시함
  - 분산 값의 차이로 물체와 배경 사이를 구별하기 힘들
  - 물체와 전경을 파악하기 위해 식(3)와 같이 나타냄
  - 식 (3)의 값이 크면 영상 내 물체가 많은 영상을 의미

$$VVFL = \max_{disp} \times \frac{V(j) \times mean(j)}{V(i) \times mean(i)} \quad (3)$$

# Proposed method

## EEG 신호 분석

- 진동하는 주파수의 범위에 따라 인위적으로 구별함
- 대역 통과 필터를 이용해 대역 분리 및 **FFT** 실시

표 1. EEG 신호의 종류 및 특징

신호의 종류	주파수 범위(Hz)	특징
델타파	0.2 ~ 3.99	수면 상태
세타파	4 ~ 7.99	졸리거나 깊은 명상 상태
알파파	8~12.99	긴장 이완, 편안한 상태
베타파	13~29.99	의식활동, 정신 활동 학습
감마파	30~50	스트레스 상태

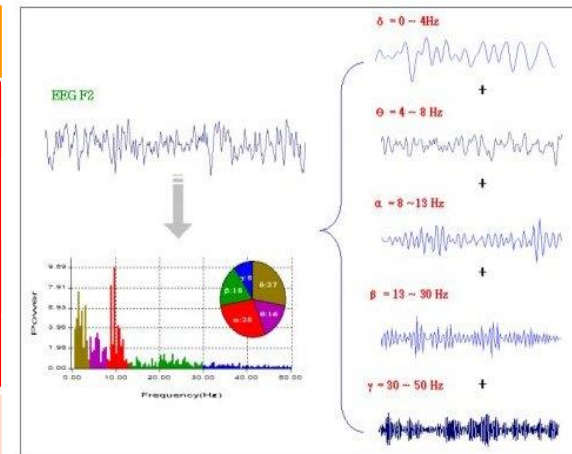


그림 8. EEG 신호 검출 예시

# Proposed method

## EEG 신호 분석

- 기존 EEG 연구
  - ✓ 시각 피로도가 발생하면 델타파와 세타파가 증가하고, 베타파는 감소 [9]
  - ✓ 시각 피로도를 느끼는 동안 알파파의 활동이 **베타파 보다 감소** [10]
  - ✓ EEG 신호를 모델링 했을 때, **전두엽**에서  $(\alpha + \theta)/\beta$ 을 이용한 모델링이 **3D 영상 시청 전보다 시청 후 크게 나타남** [11]
- 본 연구에서는 기존 실험 방법을 토대로 전두엽인 **F3 전극**에서  $\beta$ 와  $(\alpha + \theta)/\beta$  를 측정

[9] Belyavin, A., and Nicola A. Wright. "Changes in electrical activity of the brain with vigilance." *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 66.2 (1987): 137-144.

[10] Tran, Y., et al. "Detecting neural changes during stress and fatigue effectively: a comparison of spectral analysis and sample entropy." *Neural Engineering, 2007. CNE'07. 3rd International IEEE/EMBS Conference on. IEEE, 2007.*

[11] Zou, Bochao, et al. "EEG-Based Assessment of Stereoscopic 3D Visual Fatigue Caused by Vergence-Accommodation Conflict.", *Display technology*, 2015.

# Experiment Result

- 본 논문에서 제안하는 방법은 배경정보를 포함한 피로도 수치화 방법(VVFL)
- 이를 정확하게 하기 위해 10명의 피험자의 EEG신호 검출 및 MOS test 실시
- 실험 환경

표 2. 실험 환경

시청거리	1.5M
Display 종류	LG d2743P
영상 종류	Middleburry, 3DTV.at
영상 크기	720 x 480
Disparity map search range	-12 ~ 48

# Experiment Result

## 실험 영상

- (a) 좌영상, (b) 우영상, (c) depth map

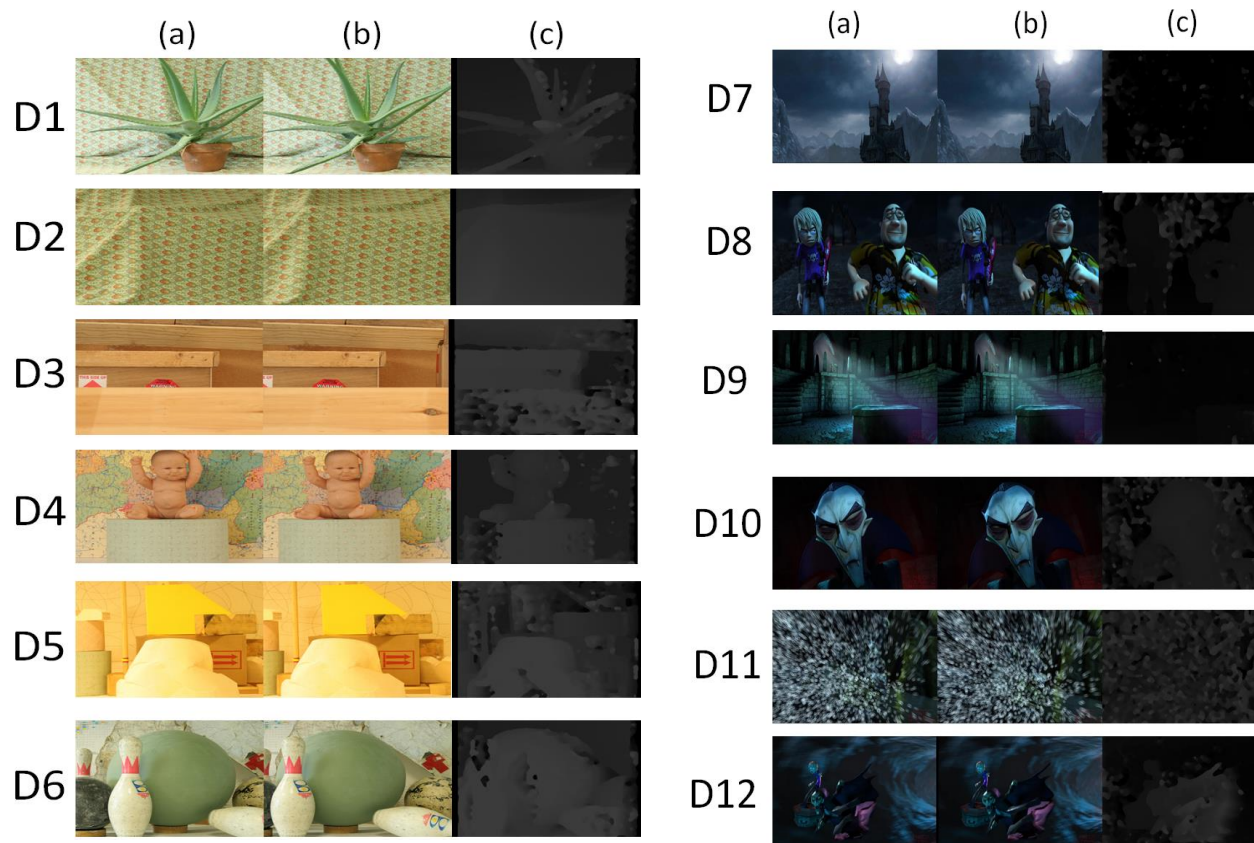


그림 9. 실험 영상

# Experiment Result

## VVFL, MOS와 SRVF[3]의 결과

표 3. VVFL값의 결과

	최대분산	최대분산영역 평균	최소분산	최소분산영역 평균	VVFL	SRVF[3]
D1	164.56	35.34	42.84	40.91	18.08	52.77
D2	172.90	40.58	3.85	46.59	1.54	31.27
D3	263.79	43.92	41.60	46.04	9.92	29.85
D4	199.79	39.64	35.57	47.19	12.72	46.80
D5	245.73	48.81	54.11	54.49	14.75	33.46
D6	311.48	42.64	25.56	54.01	6.23	24.38
D7	154.02	6.13	2.38	0.82	0.12	7.35
D8	213.90	14.40	35.89	13.95	9.75	53.35
D9	18.91	6.84	3.51	4.72	7.69	2.83
D10	162.63	20.24	27.54	26.48	13.30	60.85
D11	203.31	29.44	100.30	33.30	33.47	55.15
D12	269.45	22.11	66.12	11.14	7.42	34.79

# Experiment Result

## VVFL, MOS와 SRVF[3]의 추세 분석

추세 분석

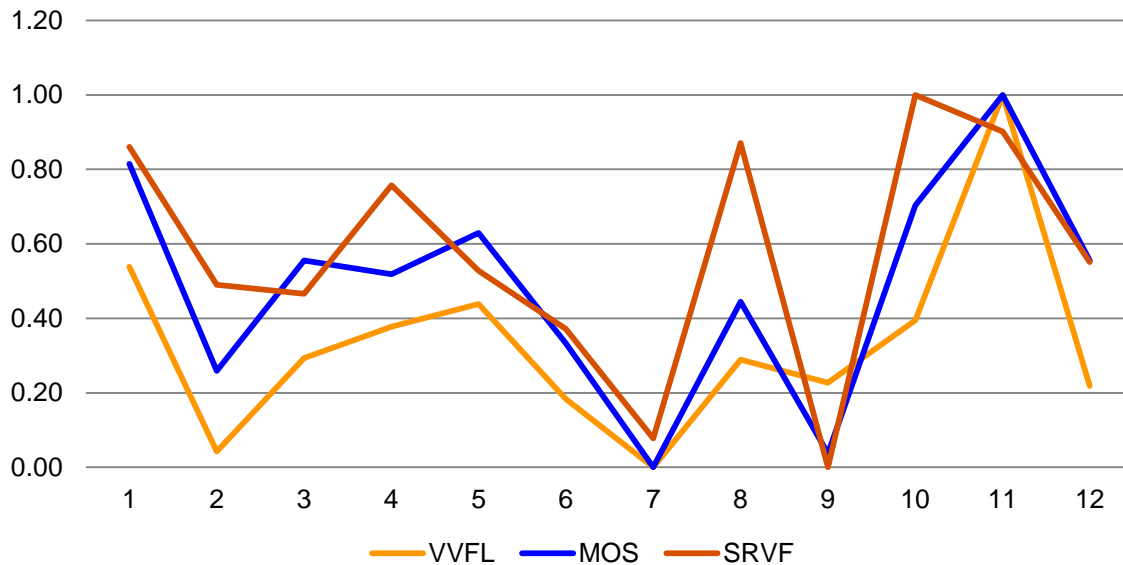


그림 10. 추세분석

표 3. Pearson 상관계수[12]

	VVFL	SRVF[3]
MOS 상관도	0.86	0.84



# Experiment Result

## EEG 신호

- 측정 장비: Emotiv Epoc headset

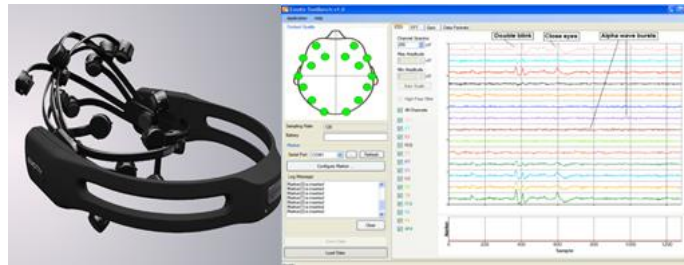


그림 11. 실험 장비

- 실험 방법

- 시청 전, 후의 뇌파를 획득하여 분석



- 피험자 10명의 상대 베타파의 평균과 VVFL값 비교
- 또한  $(\alpha + \theta)/\beta$  과의 VVFL값 비교

# Experiment Result

## EEG 신호 검출 결과 (F3, beta)

- VVFL값과 비교하여, 시청 전과 시청 후의 베타값의 차이를 비교
- VVFL값이 큰 영상은 시청 후 **beta**값이 줄어들지만, VVFL값이 작은 영상은 오히려 수치가 올라감을 확인함

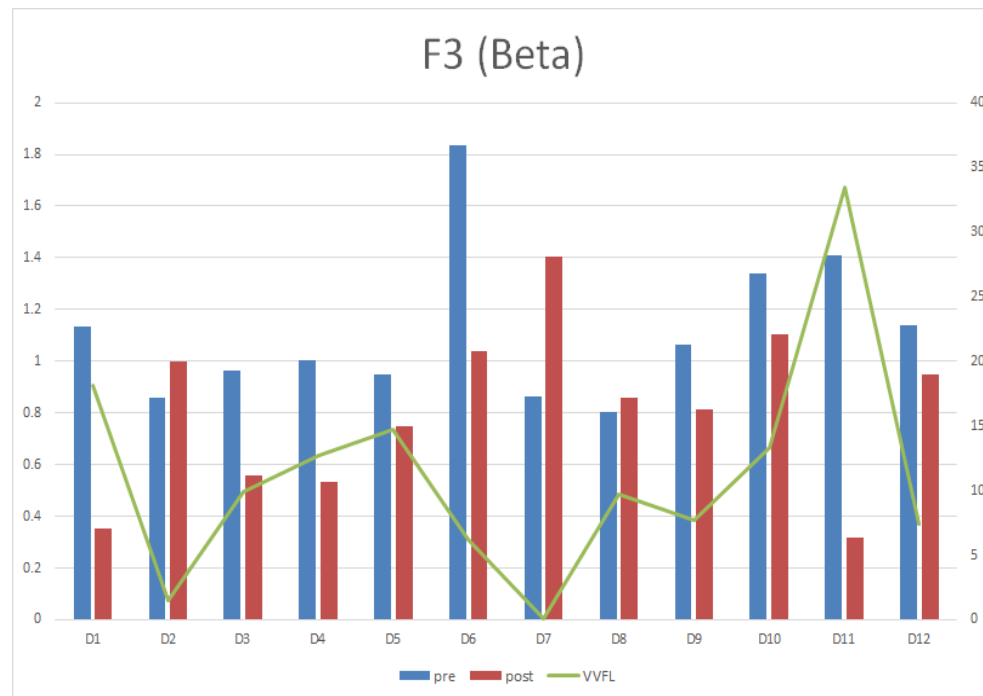


그림 10. F3전극의  $\beta$  결과

# Experiment Result

## EEG 신호 검출 결과 ( $F3, (\alpha + \theta)/\beta$ )

- $(\alpha + \theta)/\beta$ 의 수식을 이용하여 시청 전과 시청 후의 값이 증가됨을 확인할 수 있음

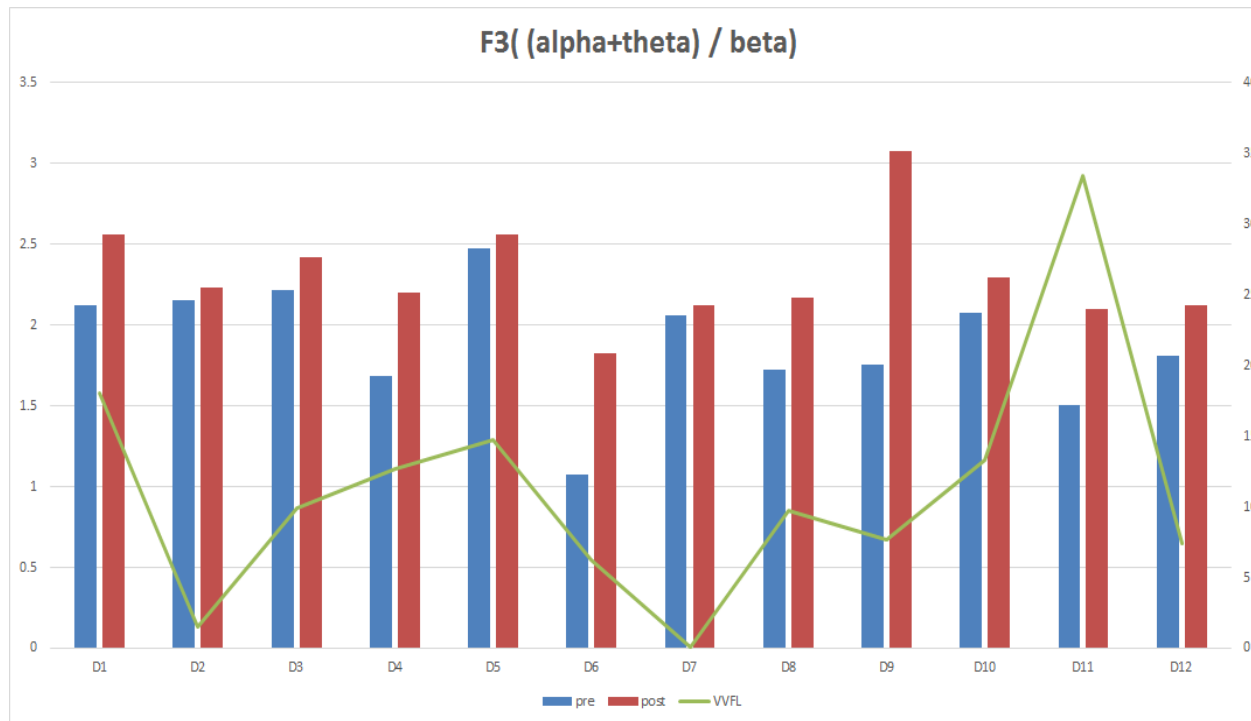


그림 10. F3전극의 $(\alpha + \theta)/\beta$  결과

# Conclusion

- **3D 영상에서 depth map의 다중 영역 분산을 통해 시각 피로도 추정 방법 제안함**
- **본 연구에서는 사용자들이 볼 수 있는 배경 정보를 포함하여 VVFL을 구함**
- **EEG신호와 MOS 평가를 통해 신뢰도를 높임**
- **본 연구를 통해 여러 3D application에 적용 가능할 것으로 예상됨**

---

**Thank you!**

# Reference

- [1] 카와이, 모리카와, 오타, 아베, “3D 입체 영상 표현의 기초”, 성안당, 2011.02
- [2] 김종학, 김정훈, 함현호, & 조준동. (2011). 사용자 불편함 개선을 위한 입체 영상 피로도 지수 측정. 전자공학회논문지-SD, 48(10), 20-24.
- [3] Kim, Jae Gon, and C. H. O. Jun-Dong. "Simplified relative model to measure visual fatigue in a stereoscopy." *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences* 94.12 (2011): 2830-2831.
- [4] Braunwald E. (Editor), *Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine*, Fifth Edition, p. 108, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1997.
- [5] Varier, Dyuthi S., and Venkatasubramanian Krishnamoorthy. "An electrooculogram based real time system for measurement and analysis of visual stimuli for detecting strabismus and nystagmus." *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI, 2014 International Conference on. IEEE, 2014.*
- [6] 모토끼, 야노, “3차원 영상과 인간과학”, 진샘미디어, 2010.07
- [7] 이국세, 문남미, “EEG(뇌파)실험을 기반한 3DTV 시각피로도 연구”, 한국방송공학회 추계학술대회, 2011
- [8] Yamamoto, Sakae, and Shigeaki Matsuoka. "Topographic EEG study of visual display terminal (VDT) performance with special reference to frontal midline theta waves." *Brain topography* 2.4 (1990): 257-267.
- [9] Belyavin, A., and Nicola A. Wright. "Changes in electrical activity of the brain with vigilance." *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 66.2 (1987): 137-144.
- [10] Tran, Y., et al. "Detecting neural changes during stress and fatigue effectively: a comparison of spectral analysis and sample entropy." *Neural Engineering, 2007. CNE'07. 3rd International IEEE/EMBS Conference on. IEEE, 2007.*
- [11] Zou, B., Liu, Y., Guo, M., & Wang, Y. EEG-Based Assessment of Stereoscopic 3D Visual Fatigue Caused by Vergence-Accommodation Conflict.
- [12] Stigler, Stephen M. "Francis Galton's account of the invention of correlation." *Statistical Science* (1989): 73-79.