

Paper review

# *Emotions Recognition Using EEG Signals : A Survey*

2023.08.24

12201682 공지윤



## 0. 논문 읽는 방법

---

- 독자 배려 장치 : 표, 그림, 중복
- 논문 1개를 빠르게 읽고 이해하고 정리해야 한다. 핵심만 정리하고 그 다음 논문으로 넘어간다.
- 논문은 두괄식이다. 문단의 첫 문장이 알려주는 정보가 많으므로, 대강 파악하고 필요한 문단에 집중해서 읽는다.
- 결론에서 키워드를 파악하고 본문에서 키워드에 해당하는 내용을 찾는다.

### [ 논문의 구조 ]

Abstract

논리적,  
이론적  
근거 (배경)

설계  
(핵심)

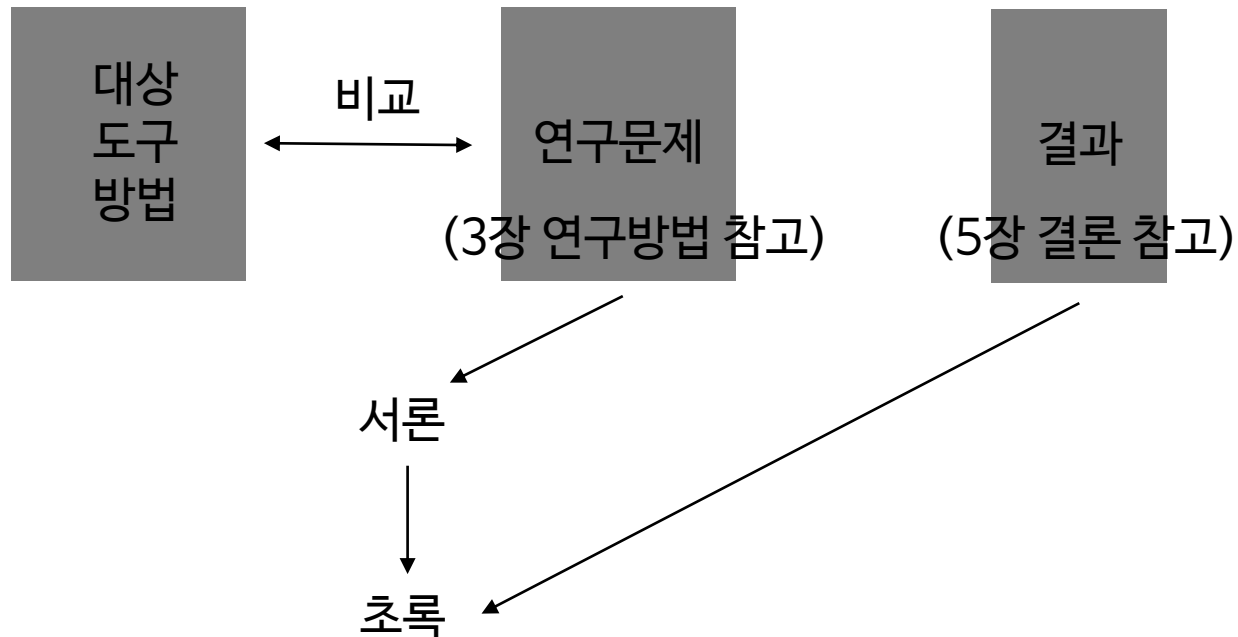
검증

요약  
의미  
한계

## 0. 논문 읽는 방법

---

1. 제목 : 핵심 단어 파악
2. 대상 (무엇에 대해), 도구 (어떤 것으로), 분석 (어떠한 분석을) 3대 요소 파악
3. 연구 방법 (대부분 3장)
4. 연구 문제 : 어떤 필요성에 의해 나온 것인지?
5. 논리적 근거 : 선행 연구와의 차별성



# 1. Abstract

---

- 사람의 감정은 중요한 역할을 하고, 많은 research에서는 인간과 computer 간의 emotional interaction을 establish하려고 노력함
- 선행 연구 : self-reports, autonomic, neurophysiological measurement 등
- 이 와중에 EEG 연구가 활발해짐 (simple, cheap, portable, ease-to-use for identifying emotions)

## [ 논문에서 말하고자 하는 3가지 내용 ]

1. 2009 ~ 2016의 neurophysiological (신경생리학) research 정리
2. subjects , features extracted, classifier 등에 대한 인식 과정
3. 연구자의 모범 사례를 제안 : 앞으로의 연구에 도움이 될 것임

## 2. Conclusion

---

1. 이 연구 영역의 common pitfall을 피하기 위한 일련의 권고 사항
2. 뇌파에서 감정을 인식하는 과정에 관련된 측면  
(예: subject, extracted feature, classifier ...)

### 3. Introduction

---

#### 1. 한 사람의 내면적 감정 상태 결정 요인

- 주관적 경험 (그 사람이 어떻게 느끼는가?)
- **내적, 내적 표현 (생리적 신호)**
- 외적, 외적 표현 (음성, 시각적 신호)

#### 2. 논문 본문 내용

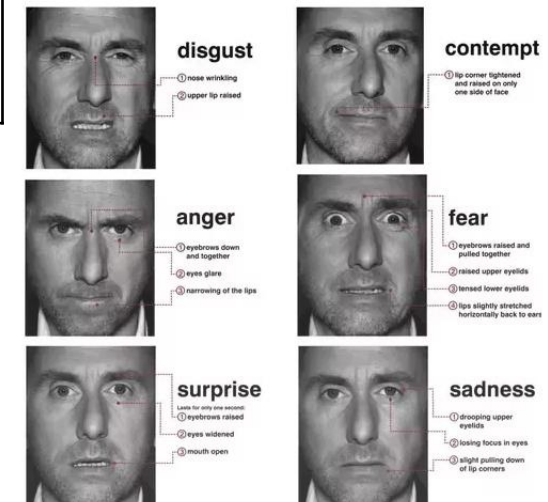
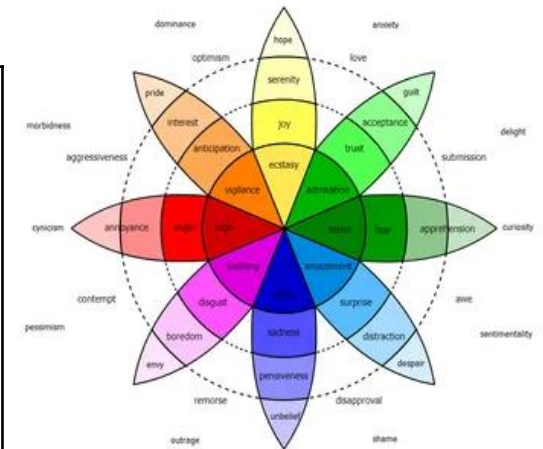
- BCI 연구에서 수행되는 common pitfall에 대한 권고 사항
- EEG 신호에서 감정을 인식하는 과정
  - 참가자 수, 성별, 인식된 감정 세트, 자극 (이미지, EEG 비디오 등)
  - EEG feature extraction, methods, classifier

## 4. Body

### Background (1). Emotion Representation

#### 1. Natural Selection

<b>Plutchik</b>	<p>“Wheel of Emotions”</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- anger, fear, sadness, disgust, surprise, curiosity, acceptance, joy</li><li>- 다른 감정들은 이 8개의 감정들을 바탕으로 만들어짐</li><li>- 예. 실망감 = 놀라움 + 슬픔</li></ul>
<b>Ekman</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- anger, disgust, fear, happiness, sadness, surprise</li><li>- 6가지의 감정과 표정의 관계를 연구</li></ul>



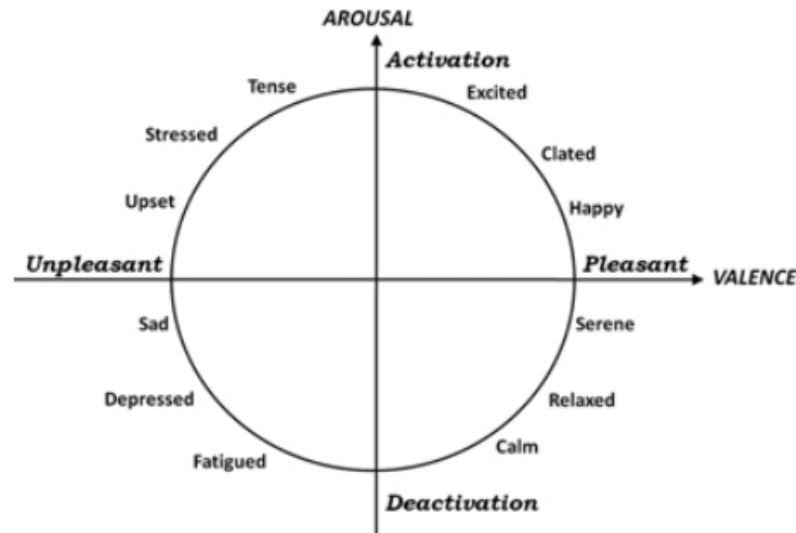
## 4. Body

### Background (1). Emotion Representation

#### 2. Cognitive

- VAD : Valence, Arousal, Dominance
  - Valence : very positive to very negative (unpleasure to pleasure)
  - Arousal : 활성화
  - Dominance : 감정의 강도

[ circumplex model of affect (감정의 복합 구조 모형) ]





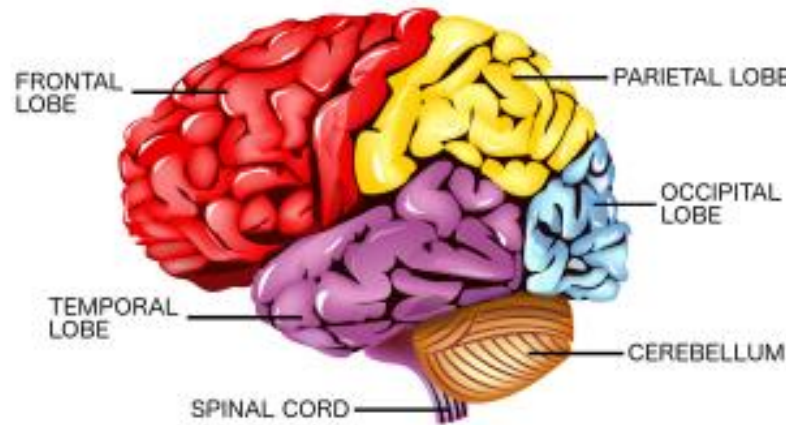
## 4. Body

---

### Background (2). EEG

#### 1. Cortex

- frontal lobe (전두엽) : conscious thought
- temporal lobe (측두엽) : senses of smell, sound, processing of complex stimuli (faces, scenes)
- parietal lobe (두정엽) : integrating sensory information from various sensed, manipulation of objects
- occipital lobes (후두엽) : sense of sight

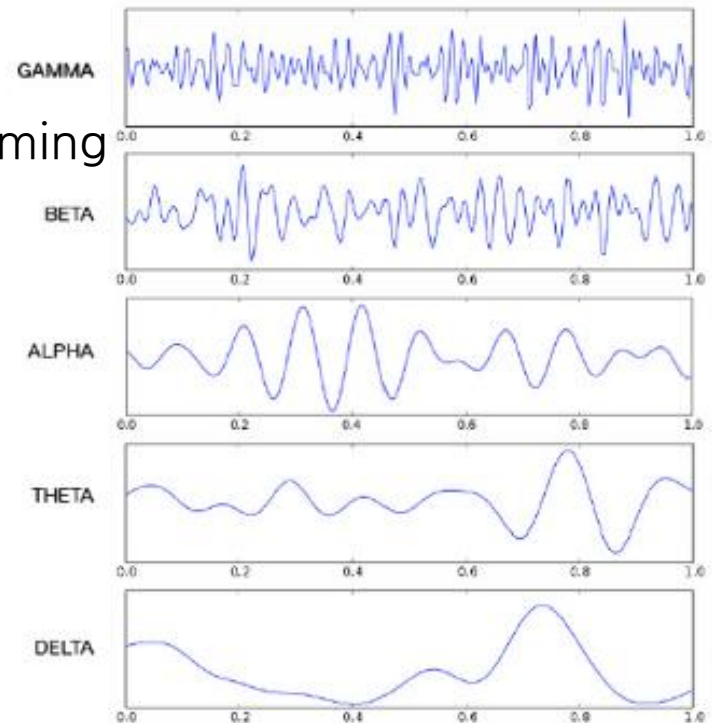


## 4. Body

### Background (2). EEG

#### 2. EEG

- 뇌의 뉴런 내에서 이온 전류 흐름으로 인한 전압 변동 측정
- 일반적인 성인 뇌파 신호 : 약 10-100 $\mu$ V
- 특정 마음 상태에서의 뇌파 신호
  - 델타 (1-4Hz) : 무의식 상태, dreamless sleep
  - 세타 (4-7Hz) : 잠재 의식 상태, sleeping & dreaming
  - 알파 (8-13Hz) : 깨어 있지만 안정된 상태
  - 베타 (13-30Hz) : 활동 상태
  - 감마 (>30Hz) : hyper brain waves



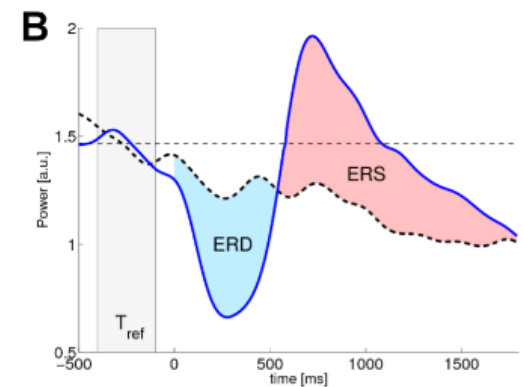
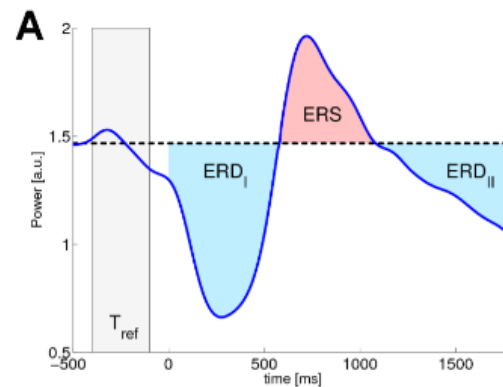
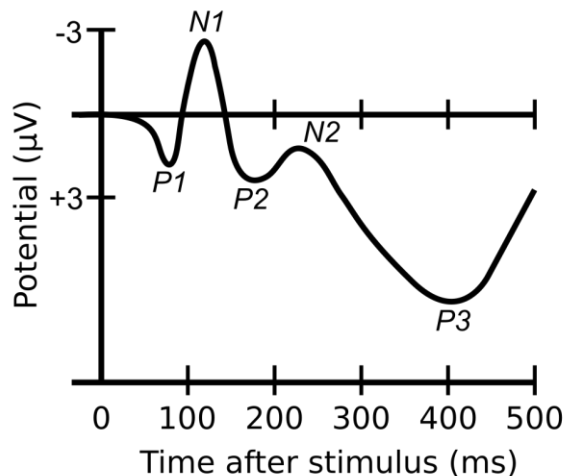
## 4. Body

### Background (2). EEG

#### 3. EEG Paradigms

- 뇌 활동 전위 패턴 (Potentials)

: SEP (Sensory Evoked Potentials), ERP (Event-Related Potentials), ERD (Event-Related Desynchronizations), ERS (Event-Related Synchronizations)



## 4. Body

---

### Background (2). EEG

#### 3. EEG Paradigms

- Evoked Potential

VEP (Visual Evoked Potentials, 시각유발전위),

AEP (Auditory Evoked Potentials, 청각유발전위),

SEP (Sensory Evoked Potentials, 감각신경유발전위),

MEP (Motor Evoked Potential, 운동신경유발전위)

## 4. Body

---

### Brouwer's Recommendation

- 공학, 실험 설계, 대상 사용자 그룹의 지식, 수학 모델링, 심리생리학, 센서 기술, 신호 처리 및 시스템 설계에 대한 전문 지식이 필요
- 실험 심리학 : 정신 상태를 평가하는 방법 제공
- 기계 학습 : 고급 분류 알고리즘 제공
- 신경생리학 : 신경계의 기능과 측정 방법에 대한 지식 제공

1. Define your state of interest and ground truth
2. Connect your state of interest to neurophysiology
3. Eliminate confounding factors (or at least, do not ignore them)
4. Adhere to good classification practice
5. Provide insight into the cause of classification success
6. Provide insight into the added value of using neurophysiology

## 4. Body

---

### Brouwer's Recommendation

#### 1. Define your state of interest and ground truth

- Community마다 emotion에 대한 concept이 다를 수 있다. 따라서, author에 의해서 명확하게 정의되어야 한다.
- 감정 상태와 측정된 뇌파 간의 조작 (또는 연산)이 가능하도록 한다. 이는 ground truth로 고려되기 때문! 감정 상태를 가정하고 뇌파만 측정한다면 올바르지 않은 결론이 도출될 수도..

#### 2. Connect your state of interest to neurophysiology

- 주어진 psychological state (심리적 상태)를 특정 physiological signal (생리학적 신호, EEG)와 잘 connect 해야 한다.
- 즉, relationship을 발견해야 한다!

#### 3. Eliminate confounding factors

- Confounding factors (교란 요인) : involuntary movements, artificial artifacts
- 이것들을 제거한다는 것은 거의 불가능. 따라서 확실하게 examine하고 변수 요인들을 check!
- 예) 사용자에게 habitual한 시간 제공 (준비할 시간)

## 4. Body

---

### Brouwer's Recommendation

#### 4. Adhere to good classification practice

- classification 정확도가 inflated 되지 않기 위해서는, 전처리와 parameter setting이 신중하게 선택되어야 한다.
- 또한, test set와는 독립적으로 수행되어야 한다. Community 마다 emotion에 대한 concept이 다를 수 있다.

#### 5. Insight into the cause of classification success

- 분류 성능이 학습된 모델이 얼마나 unseen 신경생리학적 데이터를 estimate 할 수 있는지에 대한 insight를 보여준다. 또한, combinations of features과 feature 간의 차이를 보여준다.
- 즉, 결과에 대한 insight나 특정 feature가 다른 것에 비해서 왜 설명력이 높은지에 대해 밝혀야 한다.

#### 6. Added value of using neurophysiology

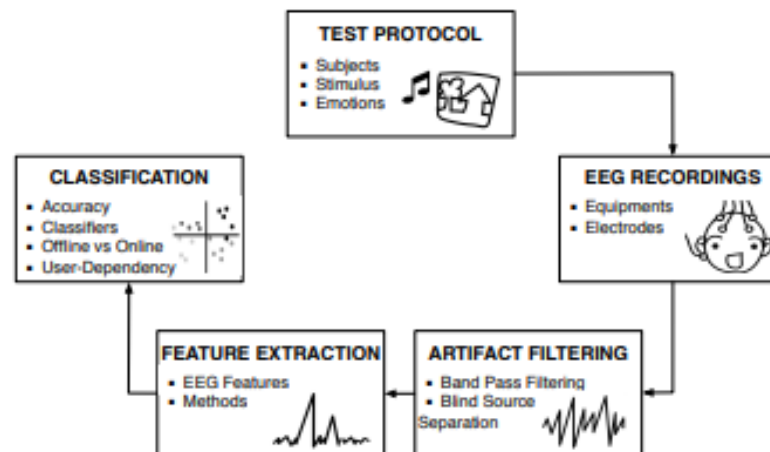
- 이 연구에 대한 이점을 밝혀야 한다.

## 4. Body

### Emotion Recognition from EEG

#### [ 과정 ]

1. User는 테스트 진행 과정에서 특정 자극에 노출된다.
2. 사용자의 뇌에서 관찰된 전압 변화를 기록한다.
3. 기록된 신호의 소음, artifact를 제거한다.
4. 결과 데이터를 분석하고, 관련 특징을 추출한다.
5. Classifier는 훈련 데이터와 computed features로 학습되며, original raw brain signal의 분석을 진행한다.





## 4. Body

---

### Emotion Recognition from EEG

#### [ 과정 ]

1. User는 테스트 진행 과정에서 특정 자극에 노출된다. [ Test Protocol ]
2. 사용자의 뇌에서 관찰된 전압 변화를 기록한다. [ EEG Recodings ]
3. 기록된 신호의 소음, artifact를 제거한다. [ Artifact Filtering ]
4. 결과 데이터를 분석하고, 관련 특징을 추출한다. [ Feature Extraction ]
5. Classifier는 훈련 데이터와 computed features로 학습되며, original raw brain signal의 분석을 진행한다.

subjects, stimuli (and duration of the stimulus),  
emotions to be elicited, EEG Recordings (equipment, electrode location),  
artifact filtering, feature extraction, classification

## 4. Body

---

### Emotion Recognition from EEG

#### [ 1. Test Protocol ]

##### 1. Subjects

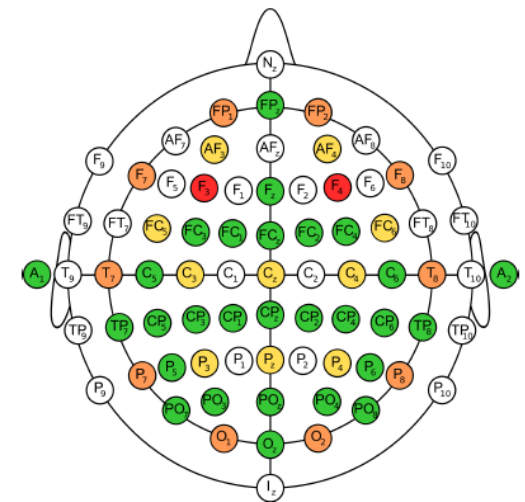
- Participants가 너무 적으면 accuracy나 meaningful한 데이터, 결과를 얻기 어렵다.
- 성별에 따라서 balance를 맞춰야 한다. (여성과 남성이 인식하는 감정적인 자극이 다르기 때문)

##### 2. Stimulus

- Emotion elicitation의 두 가지 방향성: subject-elicited, event-elicited
- Subject-elicited : 과거에 있었던 일을 상기시키게 만드는 방식
- Event-elicited : visual, auditory, tactile, odor 자극 등의 방식으로 arousal과 valence를 얻는다.

##### 3. Emotions

- sad (sadness), happy (happiness), anger (angry), fear, joy (joyful), surprise, disgust, pleasant, neutral / valence, arousal



## 4. Body

---

### Emotion Recognition from EEG

#### [ 4. Feature Extraction ]

##### 1. EEG Features

- EEG 데이터 중에서 10% 정도는 아무 정보를 제공하지 않으며 나머지는 delta, theta, alpha, beta, gamma 주파수로서 사용된다.
- Combination 된 주파수를 사용하거나 각각의 주파수 대역으로 추출하여 사용한다.
- EEG 종류 : ERD, ERS, ERP, 고정 주파수 대역 (delta, theta, alpha, beta, gamma)

##### 2. Methods

- Fourier Transform (ex. STFT, DFT)
- Statistical, PSD, WT
- Entropy (ex. AE, DE, SE, WE)
- HOC, CSP, Fractal Dimensions, Asymmetry Index

## 4. Body

---

### Emotion Recognition from EEG

#### [ 5. Classification ]

##### 1. Classifiers

- SVM, RBF, linear, polynomial, gaussian, pearson, KNN, LDA, QDA, Naïve Bayes 등

##### 2. Offline vs. Online

- 대부분이 stationary distribution만 진행하지만, model이 EEG signal의 변화를 잘 반영하지 못한다면 classification accuracy가 degrade 될 수도 있다.
- 따라서, online classification과 offline classification을 모두 사용하도록 한다.

##### 3. User-Dependent / Independent

- Classifier가 user-dependent data인지 아닌지 학습되어야 한다.
- User-dependent data : 새로운 모델이 각각 만들어져야 하며, 해당 user에 의한 데이터로만 학습되어야 한다.
- User-independent data : 다양한 user의 데이터를 사용하므로 새로운 user에 대한 적응성이 높을 수 있다.

## 4. Body

---

### Best Practice Recommendations

#### 1. Applicability

- EEG 데이터가 다른 physiological 데이터에 대해 가지는 장점을 설명한다.
- 현실 문제에 대한 EEG 데이터 기반으로 적용성을 가질 수 있어야 한다.

#### 2. Test Protocol

- 통계적이고 의미 있는 결과를 위해서 최소 30명의 실험자를 제안한다. 이때 balanced 되어야 하는 것 잊지 말자.
- EEG signal을 가지고 Ground-truth로 사용할 정보를 수집한다.
- 실험자에게 자극을 받아들일 준비를 할 시간을 준다. (너무 많이는 말고!)
- Identified 된 emotion을 가지고 EEG signal로 부터 어떻게 도출되었는지 밝힌다.

#### 3. EEG Recordings

- 사용한 기기와 signal, 샘플링한 rate, electrode, positioning system을 밝힌다.

## 4. Body

---

### Best Practice Recommendations

#### 4. Artifact Filtering

- 꼭 필요한 단계이다. 명심!

#### 5. Feature Extraction

- 모든 electrode에서 나온 데이터를 쓰지 않는다. 일부만 사용한다.
- Extracted 된 feature를 명시하고 computational한 methods를 통해서 emotion과 data를 연관시킨다.

#### 6. Classification

- 사용한 classifier와 parameter를 밝힌다.
- 각 실험자마다 시간 별로 다른 세션에 데이터를 모은다. (for train, test data)
- Offline / Online, user-dependent / user-independent인지 밝힌다.
- 사용한 feature와 neurophysiological processes의 관계를 밝힌다.

**Thank you for Listening**