

웨어러블 기구를 이용한 영상 자극에 대한 행동 및 생리적 정서 표상

Affective Representation of Behavioral and Physiological Responses to Emotional Videos using Wearable Devices

김인익¹ · 김종완^{2†}

Inik Kim¹ · Jongwan Kim^{2†}

Abstract

This study examined affective representation by analyzing physiological responses measured using wearable devices and affective ratings in response to emotional videos. To achieve this aim, a published dataset was reanalyzed using multidimensional scaling to demonstrate affective representation in two dimensions. Cross-participant classification was also conducted to identify the consistency of emotional responses across participants. The accuracy and misclassification in each emotional condition were described by exploring the confusion matrix derived from the classification analysis. Multidimensional scaling revealed that the represented objects, namely, emotional videos, were positioned along the rated valence and arousal vectors, supporting the core affect theory (Russell, 1980). Vector fittings of physiological responses also showed the associations between heart rate acceleration and low arousal, increased heart rate variability and negative and high arousal, and increased electrodermal activity and negative and low arousal. Using the data of behavioral and physiological responses across participants, the classification results revealed that emotional videos were more accurately classified than the chance level of classification. The confusion matrix showed that awe, enthusiasm, and liking, which were categorized as positive, low arousal emotions in this study, were less accurately classified than the other emotions and were misclassified for each other. Through multivariate analyses, this study confirms the core affect theory using physiological responses measured through wearable devices and affective ratings in response to emotional videos.

Key words: Classification, Multidimensional Scaling, Naturalistic Stimuli, Physiological Responses, Wearable Devices

요약

본 연구는 정서 영상을 보며 웨어러블 기구로 측정된 생리적 반응과 정서평정을 분석하여 유발된 정서가 어떻게 표상되는지 알아보고자 하였다. 연구 목적을 위해, 공유된 데이터셋을 다차원척도법(multidimensional scaling)을 통해 정서 영상, 생리적 반응 및 정서 평정을 2차원에 표상하였다. 또한, 참가자간 분류분석(cross-participant classification)을 활용해 참가자 간 정서표상이 얼마나 일관적인지 분석하였다. 추가적으로, 참가자들의 반응이 유사한 정도가 각 정서 조건 별로 다른지 확인하기 위해, 정서 영상 별 정확분류와 오분류를 혼동행렬(confusion matrix)을 통해 탐색하였다. 다차원척도법 결과, 정서 영상들과 정서 평정의 위치가 기존 이론과 부합하게 정서가 및 각성가 벡터에 따라 표상되어, Russell(1980)의 핵심정서이론을 지지하는 것을 확인했다. 표상된 생리적 반응 벡터를 통해,

* 이 논문은 한국연구재단 4단계 BK21사업(전북대학교 심리학과)의 지원을 받아 연구되었음(No.4199990714213).

¹ 김인익: 전북대학교 박사과정

^{2†} (교신저자) 김종완: 전북대학교 심리학과 부교수 / E-mail: jongwankim80@jbnu.ac.kr / TEL: 063-270-2925

심박률 증가-저각성, 높은 심박률변산성-부정정서 고각성, 피부전기활동 증가-부정정서 저각성의 관계를 시각화했다. 행동 및 생리 데이터로 학습한 참가자간 분류분석 결과, 평균 정확도가 우연수준보다 높았다. 이는 동일한 영상에 대한 참가자들의 공유되는 정서 표상이 있음을 지지한다. 혼동행렬표를 통해, 저각성 긍정정서로 표상된 감탄, 열정, 그리고 선호는 상대적으로 잘 분류되지 않았고, 서로 더 많이 오분류되는 것을 확인하였다. 다변량 분석인 다차원척도법과 분류분석을 통해, 본 연구는 영상 자극에 웨어러블 기구로 측정된 생리적 반응과 정서 평정도 핵심 정서 이론과 부합하는 결과를 얻은 것에 의의가 있다.

주제어: 분류분석, 다차원척도법, 자연주의 자극, 생리적 반응, 웨어러블 기구

1. 서론

실시간으로 변하는 정서의 역동적인 성질을 더 잘 설명할 수 있는 연구를 위해, 정서 자극으로서 비디오 영상을 사용해 유발된 반응을 측정하고 분석하는 연구가 늘어나고 있다(Gross & Levenson, 1995; Kreibig et al., 2007; Kreibig, 2010; Golland et al., 2014; 2018). 실험 자극으로서, 영상 자극은 짧은 시간 제시되는 이미지나 소리보다 더 실생활과 유사한 상황으로 간주된다. 정서의 핵심 차원인 쾌불쾌의 정서가(valence)와 흥분과 이완의 각성기(arousal)는 이미지나 소리와 같은 전통적인 자극들을 활용해 그 구조가 입증된 바 있다(Russell의 핵심정서차원 이론, Russell, 1980). 이와 관련해, 외적 타당도가 더 높은 영상 자극으로 유발된 정서적 반응도 Russell의 두 차원을 지지하는지 여부를 확인하기 위한 연구가 진행되었다.

여러 정서 영상을 시청한 뒤 평정한 참가자들의 정서 평정 데이터셋을 재분석한 연구인 Jo et al.(2023)은 영상을 통해 유발된 정서 표상도 Russell의 핵심정서차원의 첫 번째 정서가 차원에 따라 위치함을 확인했다. 그러나 앞서 언급된 두 번째 차원인 각성기 차원에서는 해당 영상들의 표상이 분명하지 않았다. Jo et al.(2023)은 이러한 결과를 데이터셋에 포함된 특정적(자극의 제한된 범위의 각성기)로 보았는데, 연구의 결과는 저자들의 해석한 이유에 기인한 것인지, 혹은 영상으로 유발된 정서적 반응이 각성기 차원으로는 분명하지 않은 것인지 확인할 필요가 있다. 더불어, Jo et al.(2023)은 연구의 후속 제안으로 정서적 반응의 또 다른 핵심 요소인 생리적 반응의 표상도 확인할 필요가 있다고 제안하였다.

한편, 상업적으로 활용되는 여러 생리적 측정 기구

가 간편하게 건강 체크 등 목적으로 활용되고 있는데, 이러한 기구들 중 어디서든 개인적으로 휴대하며 측정할 수 있는 도구를 웨어러블 기구(wearable device)라고 부른다. 대표적인 웨어러블 기구로 갤럭시 핸드폰의 삼성 헬스 애플리케이션을 통해 개인의 현재 심장박동수(beat per minute) 등을 측정할 수 있다. 그러나 전통적으로는 실험용 기구(예: Biopac Systems Inc의 바이오팩)를 통해 얻은 생리측정치가 일반적인 정서 연구에서 주로 사용되어 왔으며(Kreibig, 2010), 상업적인 웨어러블 기구를 통해 측정된 생리적 반응이 심리학 정서연구에서는 많이 쓰이지 않았다. 만약 웨어러블 기구를 통해 얻은 생리측정치들이 기존 실험실 측정기구를 활용한 연구 결과와 부합한다면, 연구 수행에 금전적인 이득뿐만 아니라, 언제 어디서든 생리적 반응을 확인함으로써 더 생태학적으로 타당한 연구가 진행될 수 있을 것이다.

실험실 도구를 활용해 얻은 생리적 반응과 정서의 관계는 Kreibig(2010)가 종합적으로 리뷰한 바가 있다. Kreibig(2010)에 따르면, 정서 연구에서 주로 연구되는 자율신경계 반응으로 크게 심혈관(cardiovascular), 피부전기(electrodermal), 그리고 호흡(respiratory) 활동이 있다. 본 연구에서는 분석에 사용된 기존 데이터셋을 고려해 심혈관 활동의 측정치인 심박률(heart rate; HR), 심박률변산성(heart rate variability; HRV), 피부온도(skin temperature; SKT)와 피부전기 활동의 피부전도반응(skin conductance response; SCR)을 분석하였는데 이와 관련한 Kreibig(2010)가 종합한 내용은 다음과 같다.

심박률은 놀람과 부정 정서(분노, 불안, 오염과 관련된 혐오, 당황, 우는 슬픔; crying sad) 및 긍정 정서(행

복, 기쁨; joy)와 관련해 증가하는 경향이 있었다. 반대로 훼손과 관련된 혐오, 목전에 임박한 위협 공포, 그리고 울지 않는 슬픔(non-crying sad), 애정(affection), 만족(contentment)과 같은 수동적인 요소와 관련 있는 정서에서 심박률이 낮아짐을 보고하고 부교감신경의 미주신경이 관여(vagal mediation)되어 있을 것이라 추측했다. 심박률변산성의 증가는 오염과 관련된 혐오와 관련이 있었다. 긍정 정서와의 관계에서 즐거움과 기쁨에서 증가한 반면, 행복에서는 낮아졌다. 손가락에서 측정된 온도(finger temperature; FT)는 분노, 불안, 공포, 슬픔에서는 낮아지고, 행복과 관련해서는 높아졌으며, 혐오나 놀람과 관련해서는 상반되는 결과가 있었다. 마지막으로, 피부전기활동(electrodermal activity; EDA)의 감소는 울지 않는 슬픔, 짝고 극심한 슬픔(acute sad), 만족, 안도(relief)와 관련이 있었다. 그 외에 다른 대부분의 정서는 중립적 상태 대비 피부전도성의 증가와 관련이 있었는데, 이는 대부분의 정서가 행동 경향성(action tendency) 및 운동 준비성(motor preparation)을 매개하기 때문이라고 주장하였다. Kreibig(2010)가 개괄한 연구 결과는 모두 전통적으로 활용된 실험실 도구를 활용한 것으로, 본 연구의 웨어러블 기반 생리적 반응과 비교를 통해 웨어러블 생리측정치가 정서적 지표로서 타당한지 확인할 수 있을 것이다.

정서 표상 연구에서 진행되고 있는 다른 한 축은 다양한 자극을 통해 유발된 참가자들의 개별 정서 표상이 서로 일관적인지 여부를 확인하는 것이다(정서영상; Jo et al., 2023, 미각자극; Park et al., 2023; ASMR 자극; Kim & Kim, 2022; 시각, 청각, 촉각자극; Jang & Kim, 2023). 이러한 연구 문제는 뇌영상과 같은 다변량 패턴(multivariate pattern)을 통해 특정 정서 상태(예: 정서가; Kim et al., 2020)를 분류 혹은 예측할 수 있는지와 같은 연구문제에서 기인하는데, 특히 참가자 간에 공통되는 정서적 표상이 일관되는지를 확인하기 위해 기계학습(machine learning)의 참가자 간 분류분석(cross-participants classification)이 활용된다(Baucom et al., 2012). 참가자간 분류분석에서는 교차검증(cross-validation) 방식으로 한 참가자를 제외한 나머지 참가자를 분류기(classifier)에 학습시키고, 제외된 나머지의 참가자의 정서를 분류함으로써 예측한 범주와 실제 범주가 같은지

를 통해 정확도를 계산한다. 분류분석을 결과로 참가자들 개별 정확도가 높을수록 실험에 참여한 전체 참가자의 정서 표상이 일관적이라고 해석한다. 본 연구에서도 참가자간 분류분석을 통해 정서 영상으로 유발된 참가자들의 행동 및 생리적 반응이 일관적인지 알아보았다.

이러한 연구 목적을 위해 Saganowski et al.(2022)이 공유한 데이터를 재분석하였다. 이 데이터는 10개의 정서 영상을 시청하면서 웨어러블 측정기구를 활용해 얻은 참가자들의 심혈관 반응, 피부전기활동, 피부온도를 포함한다. 또한 각 개별 영상 시청 뒤, 참가자들의 여러 정서 형용사와 자가평정마네킨(Self Assessment Manikin; SAM)의 정서가, 각성가, 그리고 동기(motivation)를 통한 행동 측정치도 포함되어 있다. Saganowski et al.(2022)는 데이터를 공유하고, 행동데이터를 일변량 분석(반복측정변량분석)하여 각 정서 영상 조건별 차이를 보고했다. 분석 결과를 통해 실험에 사용된 정서 영상이 타당했던 것으로 확인했다.

Saganowski et al.(2022)의 연구는 웨어러블 기구를 활용하여 정서 영상을 통해 유발된 행동, 생리, 그리고 EEG 데이터를 공유하는 것이 주된 목적이었기에, 실험 자극이 타당했는지 여부를 행동데이터로 확인한 것 외에 추가적인 분석은 없었다. 또한, 행동데이터 분석도 일변량 분석을 여러 번 수행하여 얻은 결과로서, 여러 정서 영상에 따른 한 가지 종속 변인(예: 정서가 점수)의 점수 차이 정도만 알 수 있었다. 그리하여, 본 연구에서 수행한 다변량 분석을 통해서 각 종속 변인의 관계나 구조도 확인할 수 있고, 분류분석을 통해서 참가자들이 시청했던 정서 영상을 다변량 패턴을 통해 분류할 수 있는지도 확인할 수 있을 것이라 기대하였다.

종합하면, 본 연구에서는 영상으로 유발된 여러 정서가 웨어러블 기구로 측정된 생리적 반응과 참가자들의 정서 평정에 따라 어떻게 표상되는지, 그리고 각 참가자들의 반응이 일관적인지 알아보려고 하였다. 이를 위해, 다변량분석 방법인 다차원척도법을 통해 정서 영상, 참가자들의 정서 평정, 그리고 생리측정치의 관계를 시각화하였다. 그리고, 참가자간 분류분석을 활용해 참가자들의 반응이 우연수준 이상으로 유의미하게 분류될 수 있는지 확인하고, 분류 정도가 특정 정서 영상에서 더 잘 구별되거나 혼동되는지 알아보려고 했다.

2. 연구방법 및 절차

2.1. 데이터 설명

본 연구는 Saganowski et al.(2022)이 데이터 공유 플랫폼인 Scientific data에 공유한 데이터를 사용하였다. 데이터의 참가자는 총 43명이었다(남자: 22명, 여자: 21명).

2.1.1. 자극

Saganowski et al.(2022)은 실험자극으로 영화의 일부분을 자른 영상(clips)을 사용하였으며, 10가지의 개별 정서(즐거움; amusement, 분노; anger, 감탄; awe, 혐오; disgust, 열정; enthusiasm, 두려움; fear, 중립; neutral, 슬픔; sad, 놀람; surprise, 선호; liking)를 유발하는 약 2분여 정도의 짧은 영상으로 구성되어 있다. 자극에 대해서는 Saganowski et al.(2022)에 자세하게 기술되어 있다.

2.1.2. 도구 및 척도

행동측정치로서 정서의 차원적 및 범주적 접근에 따라 개별 정서 단어와 자가평정마네킨을 사용되었다. 참가자들은 각 정서 영상 시청 후, 느낀 정서를 감탄(awe), 혐오(disgust), 놀람(surprise), 분노(anger), 기쁨(joy), 선호(liking), 두려움(fear), 즐거움(amusement), 슬픔(sadness)의 9개 정서 문항과 자가평정마네킨의 정서가(valence), 각성가(arousal), 동기(motivation)를 통해 응답하였다. 평정은 모든 영상에 걸쳐 반복적으로 실시되었으며, 정서평정 문항은 5점 척도로 1점은 ‘전혀 그렇지 않다(not at all)’, 5점은 ‘매우 그렇다(extremely)’를 의미했다. 자가평정마네킨은 ‘어떤 그림이 당신의 느낌을 가장 잘 대표하는지’라는 문항과 함께 9점 척도로 정서가의 1점은 매우 부정적(extremely negative), 9점은 매우 긍정적(extremely positive), 각성가의 1점은 매우 차분한(extremely calm), 9점은 매우 동요된(extremely agitated), 그리고 동기의 1점은 매우 회피 경향(extremely avoidance tendency), 9점은 매우 접근 경향(extremely approach tendency)로 묘사되었다.

참가자들의 생리적 반응은 Empatica E4 (Empatica Inc), 삼성갤럭시워치(SM-R810)를 통해 측정되었다.

본 연구에서는 삼성워치로 측정된 데이터의 생리적 반응이 Emaptica E4와 중복되기 때문에, Ematpica E4로 측정된 생리측정치 데이터만 분석에 사용했다. Emaptica E4로 측정된 데이터는 혈액량 펄스(blood volume pulse, 64Hz), 심장박동수 간 간격(inter beat interval, variate: 제공된 IBI의 시간대 길이는 참가자 별로 달랐다), 피부전기활동(electrodermal activity, 4Hz), 피부 온도(skin temperature, 4Hz) 이었다.

2.1.3. 절차

Saganowski et al.(2022) 연구에 참여한 참가자들은 본 실험 전에 연구와 관련된 설명(전반적인 실험절차, 연구동의서, 질문지, 정서척도)을 듣고 생리적 측정 기구를 부착한 뒤, 실험을 수행하였다. 웨어러블 기구를 포함한 여러 생체신호 측정치들은 실험 5분전에 부착되었는데, 이는 참가자들이 기구에 익숙해짐과 동시에 피부 온도의 안정된 측정치를 위함이었다.

본 실험 세션에 앞서 모니터 화면에 무작위 점과 선분이 움직이는 것으로 구성된 기저선(baseline) 조건으로 5분 동안 시청한 뒤, 현재 정서 상태를 행동측정치를 통해 평정했다. 정서 영상이 제시되는 본 실험 세션에서 먼저 2분간 무작위 점과 선분이 움직이는 화면을 응시한 뒤, 약 2분 정도 지속되는 정서 영상을 시청하였다. 이후, 현재 느낌을 정서 형용사와 자가평정마네킨을 통해 보고했다. 이 과정이 총 10번의 세션으로 되풀이되었다.

데이터는 참가자내 설계로 수집되었으며, 순서효과 등을 고려해 정서 영상의 제시 순서는 라틴방격법(Latin square)으로 역균형화(counter balancing)하여 제시되었다.

2.2. 통계분석

2.2.1. 데이터전처리

먼저, 개별 참가자 데이터 시각화를 통해 자료의 손실 여부와, 이상값을 검토하였다. 검토 결과, 생리측정치에서 데이터 손실이 있는 5명의 참가자 반응을 제거해, 총 38명 참가자의 데이터를 분석에 사용하였다.

심박률은 사전에 Saganowski et al.(2022)이 전처리한 데이터 중 심장박동수 간 간격(IBE)에서 역수를 취해,

60을 곱한 뒤 평균하여 참가자별 심박률을 계산하였다. 심박률변산성은 제공된 참가자의 혈액량 펄스에서 MATLAB의 생체신호 전처리패키지 TEAP (Toolbox for Emotional feAture extraction from Physiological signals)를 사용해 참가자별로 시간대가 일정한 IBI를 계산한 뒤, 각각의 IBI 표준편차를 계산해 심박률변산성을 계산했다(Soleymani et al., 2017). 피부 온도는 TEAP의 피부 온도 전처리 함수를 활용해, 저주파수 필터링을 거쳐 데이터의 잡음(noise)을 처리하고 평균하여 참가자별 평균 피부온도를 계산하였다. 마지막으로 피부전기활동은 매틀랩 내장함수를 활용해, 일반 추세 (general trend)를 제거하고 중위값 필터링으로 자료를 처리한 뒤, 각 시간대별 데이터의 절대값을 총합하였다. 이를 통해, 피부전기성의 순간적 반응(transient response)을 포착하는 피부전도반응(skin conductance response)을 계산하였다.

2.2.2. 다차원척도법

두 범주의 정서 평정(정서 형용사와 SAM) 및 생리적 반응의 범위가 다르기 때문에 개별 참가자들의 영상별 측정치들을 Z점수 표준화를 하였다. 이를 통해 개별 참가자의 정서 자극에 대한 행동 및 생리적 반응의 범위를 평균이 0, 표준편차가 1인 범위로 맞추었다. 각 참가자들의 개별 영상에 대한 Z점수를 상관분석을 실시하여 총 38명 참가자 개별의 10×10영상 간 상관 행렬을 구하였다. 이 38명의 영상 간 행렬을 평균하여 얻은 평균 영상 간 상관 행렬을 유사성 자료로 하여 다차원척도법을 실시하였다. 또한 행동 및 생리적 반응이 정서 영상과 관계되는 것을 알아보기 위해 각 반응을 종속변인으로 하는 다중선형회귀분석에 기초한 벡터피팅 (vector fitting)을 실시하고 시각화하였다.

2.2.3. 분류분석 및 오차행렬

각 영상이 정서유형별로 얼마나 잘 분류되는지, 참가자들의 정서표상이 일관적인지 확인하기 위해 참가자간 분류분석을 실시했다. 분석을 위해 전체 38명의 참가자 중 37명의 정서평정 값과 영상의 정서유형을 훈련자료(training set)로, 남은 1명의 정서평정 값과 영상의 정서유형을 평가자료(test set)로 설정하였다. 이

후 훈련집단의 각 영상에 대한 정서평정 값과 각 영상의 정서유형을 SVM (support vector machine) 모델에 학습시킨 후, 평가자료로 설정된 한 참가자의 자료에 대해 검증을 실시하였다. 이후 참가자 개별 분류분석 정확도를 확인한 뒤, 전체 평균이 분류의 우연수준과 비교해 유의미한 차이가 있는지를 일표본 t분석 하였다. 검증의 정오 패턴을 확인할 수 있는 혼동행렬(confusion matrix)도 확인하고 각 대각선 값의 평균을 시각화했다.

3. 연구 결과 및 논의

3.1. 다차원척도법

다차원척도법 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 먼저, 초록색 원으로 표상된 정서 영상들이 해당하는 정서 평정 벡터와 가깝게 표상되었다. 이는 특정 정서 영상을 시청한 뒤, 해당 정서와 동일한 형용사를 통해 참가자들의 정서를 보고한 것을 알 수 있다. 가령, 즐거움 영상 시청 뒤, ‘즐거움’이라는 형용사에 참가자들이 높은

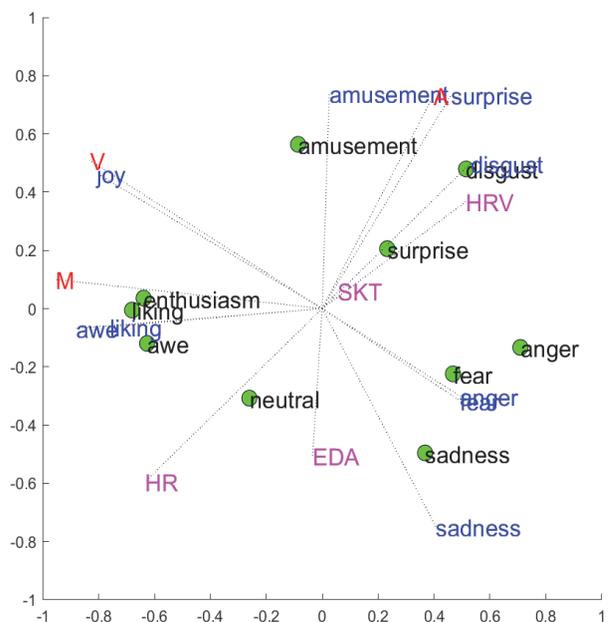


Fig. 1. Result of multidimensional scaling with vector fittings. Green circles indicate each stimulus, and vectors indicate each response. The abbreviation of each vector is as follows: V; valence, A; arousal, M; motivation, HRV; heart rate variability, HR; heart rate, SKT; skin temperature, EDA; electrodermal activity

값을 평정한 것을 알 수 있다. 이를 통해 각 정서 영상의 의도한 정서가 잘 표상된 것을 확인할 수 있다.

두 번째로, 참가자들이 평정한 정서가(V), 각성가(A), 그리고 동기(M)와 정서 영상 및 형용사 벡터 표상이 기존 Rusell의 핵심정서이론에 부합하게 표상되었음을 알 수 있다. 정서가와 각성가는 독립적인 차원으로 가정되는데, 정서가 벡터(V)와 각성가 벡터(V)가 거의 직각을 이루어 두 차원이 직교하는 (orthogonal) 것으로 확인할 수 있다. 동기(M)는 정서가와 강한 상관을 보였다. 즉, 참가자들이 긍정적으로 느낄수록 더 접근하고 싶다고 평정한 것을 알 수 있다. 중립 자극(neutral)을 중심으로 정서가 벡터를 따라 왼쪽은 긍정 정서, 오른쪽은 부정 정서이고 각성가 벡터를 따라 중립에서 멀어질수록 더 높은 각성임을 알 수 있다. 예를 들면, 즐거움은 고각성 긍정정서, 혐오는 고각성 부정 정서로 표상된 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 생리적 반응의 벡터가 표상된 방향을 통해, 높은 심박률변산성(HRV)은 고각성 부정 정서, 심박률(HR) 증가는 저각성, 그리고 피부전기 활동(EDA) 증가는 저각성 부정 정서와 관련이 있음을 확인할 수 있다. 피부온도(SKT) 벡터는 놀람 자극으로 향하는 것처럼 보이나, 벡터 길이를 통해 효과 크기는 작음으로 나타났다. 이는 참가자들의 평균 피부온도가 영상으로 유발된 정서와 명확한 관련이 없음을 나타낸다.

3.2. 참가자 간 분류분석 및 오차행렬

참가자들의 정서 형용사 평정, 자가평정매니킨, 그리고 생리적 반응이 참가자별로 얼마나 일관적인지 확인하기 위해 참가자간 분류분석을 실시하였다. 영상의 정서 유형을 올바르게 분류할 정확도(accuracy)는 .70로 우연수준인 .10에 비해 유의미하게 높아, $t(37) = 22.487, p < .001$, 서로 다른 참가자들의 정서평정 값으로 한 참가자가 시청한 정서 자극들의 정서유형이 우연수준보다 정확하게 분류됨을 확인하였다(Fig. 2). 이러한 결과는 영상에 대한 서로 다른 참가자들의 정서 표상이 일관적이었음을 의미한다.

추가적으로 분류분석으로 예측된 정서 영상이 실제 어떤 정서 영상으로 분류되었는지 살펴보기 위해 분류

분석 결과로 도출된 오차행렬을 확인하였다(Fig. 3). 오차행렬로 예측된 값과 실제 해당하는 범주를 통해 자극×자극 정오를 확인할 수 있다. 오차행렬과 오차행렬의 대각선 값을 시각화한 막대그래프(Fig. 4)를 통해, 긍정 정서인 감탄(awe), 열정(enthusiasm), 선호(liking)가 덜 정확하게 분류되고 서로 혼동되는 것을 확인하였다. 이외에도 두려움(fear)은 중립과 놀람 영상으로 잘못 분류된 경우가 많았다.

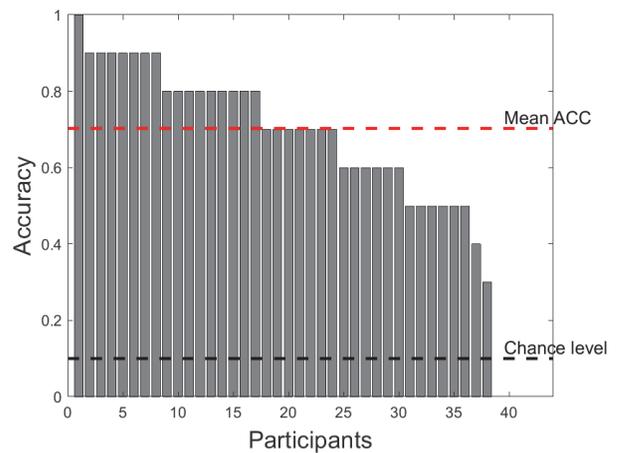


Fig. 2. Cross-participant accuracies for classifying 10 emotional conditions. The accuracies are shown through bar graphs sorted in a descending order. The red dot-line indicates the average accuracy, and the black line represents the expected accuracy by chance

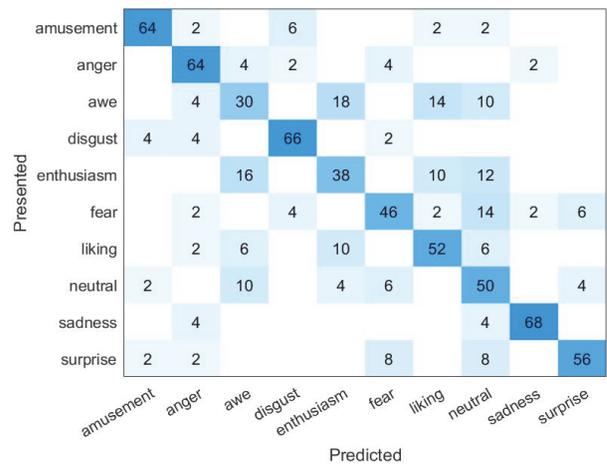


Fig. 3. The confusion matrix displays the results of the classification process. Each row represents the presented emotional conditions, while each column represents the predicted emotions. The values on the diagonal indicates the correctly classified cases, while off-diagonal values represent the misclassified cases

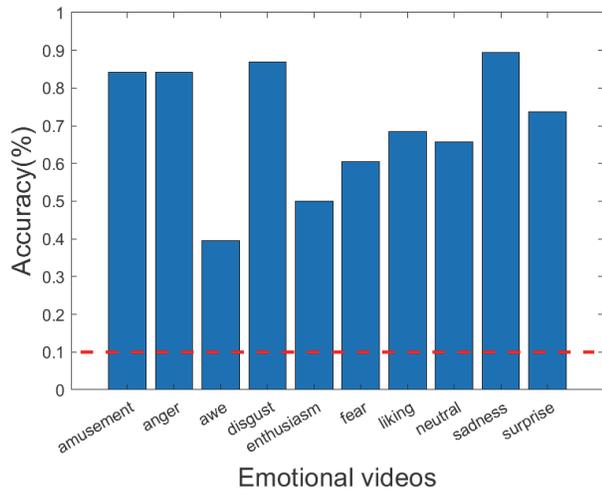


Fig. 4. Bar graphs for the mean of classification accuracies in each emotional condition. The red line indicates the chance level of classification

4. 논의

본 연구는 Saganowski et al.(2022)의 정서 영상을 시청하며 웨어러블 기구를 통해 측정된 생리적 반응과 정서 평정 데이터셋을 재분석하여 참가자들의 정서가 어떻게 표상되는지, 그리고 참가자들의 정서 표상이 서로 일관적인지를 확인하고자 하였다. 이를 위해, 각 개별 정서 영상에 대한 참가자들의 행동 및 생리적 반응을 다차원척도법과 분류분석을 통해 분석하였다.

먼저, 다차원척도법을 통해 정서 영상이 핵심정서차원에 위치하는지 살펴본 결과, 참가자들이 평정한 정서가 및 각성이 벡터에 따라 개별 정서 영상이 잘 구분됨을 확인하였다. 특히 각성이 차원으로 정서 영상이 잘 구분되는 것은 이전 Jo et al.(2023)의 연구를 보완한 결과이다. 부정 정서에서는 혐오가 가장 높은 각성, 슬픔이 낮은 각성, 그리고 분노와 공포가 중간에 위치한 것으로 나타났고, 긍정 정서는 즐거움이 고각성, 선호, 감탄, 열정이 저각성으로 표상된 것을 확인하였다.

다음으로, 개별 생리적 반응과 정서 차원 및 자극과의 관계를 통해, 심박률 증가와 저각성, 높은 심박률변산성과 고각성 부정정서, 그리고 피부전도성 증가와 저각성 부정정서를 확인하였다. 참가자들의 높은 심박률은 저각성(중립 영상), 낮은 심박률은 고각성 정서들(놀람과 혐오)과 관련이 있었는데, 이는 Kreibig(2010)가

심박률 저하가 정서의 수동적인 요소와 관련이 있다는 보고와 부합하지 않는다. 또한, 높은 각성으로 표상되는 놀람 정서일 때, 심박률이 높아진다는 국내 선행 연구와도 부합하지 않는다(Eom et al., 2011; Jang et al., 2011).

심박률에 관한 한 가지 설명은 어떤 대상에 주의를 줄 때, 심박률이 낮아진다는 것이다(Kim & Wedell, 2016). Eom et al.(2011)도 놀람에 대한 심박률을 연구하여, 주의가 요구되는 구간일 때 심박률이 상대적으로 떨어지는 결과를 보고하였다. 높은 각성과 주의를 밀접하게 관련되어 있고, 공통되는 신경학적 기반을 보인다(Stuldreher et al., 2023). 이에 따르면, 높은 각성이 요구되는 자극들에 더 많은 주위가 주어지며, 때문에 고각성 자극인 혐오나 놀람과 같은 영상에 주의하며 상대적으로 참가자들의 심박률 저하가 나타났을 가능성이 있다. 심박률 결과와는 달리, 본 연구의 높은 심박률변산성은 고각성 부정정서 방향으로 표상되었는데, 이는 심박률변산성 증가가 혐오 그리고 즐거움과 같은 고각성 정서와 관련이 있다는 Kreibig(2010)의 연구와 부합한다.

MDS 평면은 종속 변인들의 관계에 관한 정보를 제공한다. 본 연구의 심박률과 심박률변산성 결과의 흥미로운 점은 심박률과 심박률변산성이 MDS 평면상에서 반대 방향으로 표상되었다는 점이다. 이는 실험 조건에서 측정된 심박률과 심박률변산성이 부적(높은 심박률과 낮은 심박률변산성 혹은 그 반대)인 관계의 가능성을 제시한다. Kazmi et al.(2016)은 사람과 동물을 대상으로 연구해 심박률과 심박률변산성 측정치의 특성상 반응의 순환 길이(cycle length)와 관련해 역수(inverse)로서 상관된다고 주장하였다. 즉, 큰 심박률변산성은 낮은 심박률과 상관이 있었다. 본 연구에서의 심박률 및 심박률변산성 결과도 Kazmi et al.(2016)의 주장과 부합하는 양상을 보였다.

참가자들의 피부전기 활동은 슬픔 영상과 가깝게 표상됐다. 일반적으로 피부전기성의 피부전도반응은 고각성을 잘 포착하는 측정치로 알려져 있는데(Bach et al., 2010; Bradley & Lang, 2007), 본 연구에서는 참가자들의 부정 정서 및 낮은 각성과 관련이 있었다. 이에 대해 본 연구에서 사용된 측정치의 특징을 살펴볼 필요가 있다. 생리측정치는 실시간으로 측정된 반응을 평균 등의

방식으로 처리한 자료이며, 정서 평정은 영상이 끝난 후에 단일 시점에 평정된 값이다. 이러한 차이는 한 영상을 시청하는 동안, 단일 시점에 깜짝 놀람(startle)과 같은 느낌을 유발했을 때(예: 갑작스럽게 문을 박차고 누군가가 들어옴) 이 영상은 높은 각성가로 평정될 수 있다. 그러나, 이 영상 조건에서 영상 내내 높은 각성으로 유발된 피부전도 반응이 비교적 적어 실제 계산된 피부전도 반응 값은 낮을 수 있다. 만일 이러한 추측이 맞다면, 각성이 평정을 단일 시점이 아닌, 줄곧 영상 시청 동안 지속적으로 각성가를 평정하는 방식으로 데이터를 수집해 비교해볼 수 있을 것이다. 다른 가능성으로, 단순히 웨어러블 기구를 통해 측정된 피부전기 활동이 신뢰롭지 못한 것일 수 있다. 본 연구의 높은 피부전기 활동이 고각성 평정 및 고각성 자극들과 잘 매칭되지 않은 결과는 추후 후속 연구를 통해 고찰될 필요가 있다.

참가자들의 피부 온도는 개별 정서 영상과 매칭되는 것을 확인할 수 없었다. MDS 좌표사의 벡터의 방향뿐만 아니라 길이 자체도 상대적으로 짧았는데, 이는 데이터의 설명량 자체가 약한 것을 나타낸다. 다중선형회귀 분석 기반인 벡터피팅에서 MDS 좌표값의 피부 온도 반응에 대한 설명량(R^2)은 .08로 실질적으로 피부 온도와 정서 영상 조건 간 명확한 관계를 확인할 수 없었다.

참가자간 정서 표상 일관성과 관련한 분류분석 결과로, 전체 정확률 평균은 70%로 데이터를 학습한 분류기가 10개의 정서 영상을 우연하게 맞출 가능성인 10%보다 유의미하게 높았다. 이는 정서 영상을 시청하며 측정된 참가자들의 행동 및 생리적 반응 표상이 참가자들 간에 일관적이고 공통된 표상이 있음을 나타낸다. 추가적으로 오차행렬을 통해 각 정서별로 얼마나 정확하게 분류되었는지 살펴본 결과, 상대적으로 감탄, 열정, 공포, 중립, 그리고 좋아함 순으로 정확률이 낮은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 저각성 긍정정서인 감탄, 열정, 그리고 좋아함 영상 각각은 서로 간에 오분류되는 정도가 많았다. 이러한 결과는 여러 개별 정서들이 정서가 혹은 각성가라는 저차원으로 구성된다는 정서의 구성주의적 관점을 지지한다.

정서평정 데이터를 학습시켜 정서 영상 범주를 분류한 Jo et al.(2023)의 연구에서도 공포와 놀람 영상이 서로 혼동되는 결과를 발견했는데, 본 연구에서도 공포와 놀

람 영상 각각 오분류 횟수가 중립 정서를 제외하고 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 다만, Jo et al.(2023)의 놀람과 공포가 고각성 부정정서로서 서로 비슷하기 때문에 혼동된다는 주장은 더 살펴볼 필요가 있는데, 본 연구에서는 유사한 고각성 부정정서인 분노나 혐오와 공포와 놀람 사이 오분류는 많지 않았다. 같은 고각성 부정정서임에도 놀람과 공포 사이에 다른 더 가까이 공유되는 차원이 있거나, 정서 고유의 특징이 있으리라 짐작된다.

본 연구의 의의는 다음과 같다. 본 연구에서는 웨어러블 기구로 측정된 생리적 반응과 자가평정매니킨 평정을 더해, Jo et al.(2023)에서 명확하게 구별되지 않은 각성이 차원을 확인하였다. 또한 분류분석을 통해, 동일한 정서 영상에 대한 참가자들의 정서 표상이 일관적임을 확인하였고, 저각성 긍정정서(감탄, 열정, 그리고 선호)로 분류되는 세 정서가 서로 혼동되는 결과를 얻었다. 더불어 기존 Jo et al.(2023)에서 발견한 놀람과 공포 영상에 대한 반응이 혼동된다는 사실도 본 연구에서 확인하였다.

본 연구의 한계 및 제언으로서 먼저, 정서 범주에 대표되는 자극이 하나씩밖에 없었다는 점이다. 이는 확인된 결과가 연구자들이 의도한 대로 정서에 따른 것인지 자극에 따른 것인지를 구분하는데 어려움을 야기한다. 추후, 이러한 점을 고려해 정서 범주에 해당하는 자극을 최소 2개 이상으로 실험을 진행하여야 한다. 다음으로 웨어러블 생리측정치의 표상이 기존에 알려진 생리측정치 연구들과 부합하지 않는 결과들이 있었다. 피부전기 활동이 참가자들의 높은 각성과 매칭되지 않았는데, 이것이 웨어러블 기구의 특정적 문제인지, 저자들이 제기한 데이터 특정적인 문제에 기인한 것인지 알 수 없다. 더불어 엄밀한 비교를 위해서는 본 연구와 유사하게 정서 영상을 자극으로 하여, 전통적인 측정 장비 기반 생리적 반응을 분석한 결과와 비교하는 게 요구된다. 마지막으로 정서의 개인차(예컨대 성별)를 고려하여 정서 표상을 연구할 필요가 있다. 보고되지는 않았지만 본 연구에서 성별 차이를 고려한 다차원척도법 분석으로 생리적 반응의 차이가 야기될 가능성을 확인하였다. 후속 연구에서는 본 연구의 한계와 제언들을 감안하여 웨어러블 기반 생리적 반응과 정서의 관계에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Bach, D. R., Friston, K. J., & Dolan, R. J. (2010). Analytic measures for quantification of arousal from spontaneous skin conductance fluctuations. *International Journal of Psychophysiology*, 76(1), 52-55. DOI: 10.1016/J.IJPSYCHO.2010.01.011
- Baucom, L. B., Wedell, D. H., Wang, J., Blitzer, D. N., & Shinkareva, S. V. (2012). Decoding the neural representation of affective states. *Neuroimage*, 59(1), 718-727. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.07.037
- Eom, J., Park, H., Noh, J., & Sohn, J.-H. (2011). Cardiovascular response to surprise stimulus. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 14(1), 147-156.
- Gross, J. J., & Levenson, R. W. (1995). Emotion elicitation using films. *Cognition & Emotion*, 9(1), 87-108.
- Golland, Y., Keissar, K., & Levit-Binnun, N. (2014). Studying the dynamics of autonomic activity during emotional experience. *Psychophysiology*, 51(11), 1101-1111. DOI:10.1111/psyp.12261
- Golland, Y., Hakim, A., Aloni, T., Schaefer, S., & Levit-Binnun, N. (2018). Affect dynamics of facial EMG during continuous emotional experiences. *Biological Psychology*, 139, 47-58. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2018.10.003
- Jang, E., Eum, Y., Park, B., Kim, S., & Sohn, J. (2011). Difference of autonomic nervous system responses among boredom, pain, and surprise. *Science of Emotion and Sensibility*, 14(4), 503-512.
- Jang, J., & Kim, J. (2023). Consistency between individuals of affective responses for multiple modalities based on behavioral and physiological data. *Science of Emotion and Sensibility*, 26(1), 43-54. DOI: 10.14695/kjsos.2023.26.1.43
- Jo, A., Kim, H., & Kim, J. (2023). Affective representation and consistency across individuals responses to affective videos. *Science of Emotion and Sensibility*, 26(3), 15-28. DOI: 10.14695/KJSOS.2023.26.3.15
- Kim, H., & Kim, J. (2022). Affective responses to asmr using multidimensional scaling and classification. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 25(3), 47-62. DOI: 10.14695/kjsos.2022.25.3.47
- Kim, J., & Wedell, D. H. (2016). Comparison of physiological responses to affect eliciting pictures and music. *International Journal of Psychophysiology*, 101, 9-17. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2015.12.011
- Kim, J., Weber, C. E., Gao, C., Schulteis, S., Wedell, D. H., & Shinkareva, S. V. (2020). A study in affect: Predicting valence from fMRI data. *Neuropsychologia*, 143, 107473. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2020.107473
- Kazmi, S. Z., Zhang, H., Aziz, W., Monfredi, O., Abbas, S. A., Shah, S. A., Kazmi, S. S., & Butt, W. H. (2016). Inverse correlation between heart rate variability and heart rate demonstrated by linear and nonlinear analysis. *PLoS One*, 11(6), e0157557. DOI: 10.1371/journal.pone.0157557.
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421.
- Kreibig, S. D., Wilhelm, F. H., Roth, W. T., & Gross, J. J. (2007). Cardiovascular, electrodermal, and respiratory response patterns to fear-and sadness-inducing films. *Psychophysiology*, 44(5), 787-806. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2007.00550.x
- Park, C., Kim, I., & Kim, J. (2023). Affective representations of basic tastes and intensity using multivariate analyses. *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 26(2), 39-52. DOI: 10.14695/KJSOS.2023.26.2.39
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161. DOI:10.1037/h0077714
- Saganowski, S., Komoszyńska, J., Behnke, M., Perz, B., Kunc, D., Klich, B., Kaczmarek, Ł. D., & Kazienko, P. (2022). Emognition dataset: emotion recognition with self-reports, facial expressions, and physiology using wearables. *Scientific Data*, 9(1), 158. DOI: 10.1038/s41597-022-01262-0

Soleymani, M., Villaro-Dixon, F., Pun, T., & Chanel, G. (2017). Toolbox for emotional feature extraction from physiological signals (TEAP). *Frontiers in ICT*, 4, 1. DOI: 10.3389/fict.2017.00001/full

Stuldreher, I. V., van Erp, J. B., & Brouwer, A. M. (2023). Robustness of physiological synchrony in wearable electrodermal activity and heart rate as a

measure of attentional engagement to movie clips. *Sensors*, 23(6), 3006. DOI: 10.3390/s23063006

원고접수: 2023.06.08

수정접수: 2023.07.18

게재확정: 2023.07.19