JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(5): 487-500
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.5.487
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Basic Study on the Use of Eye Movement Entropy in the Emotional Satisfaction Evaluation of Design

Yejin Lee[1,2], Kwang Tae Jung[1], Hyun Chul Lee[2]

[1]Korea University of Technology and Education, Department of Industrial Design Engineering, Cheonan, 31253
[2]SA Monitoring and Mitigation Research Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 34057

디자인의 감성만족도 평가를 위한 시선 엔트로피의 활용에 관한 기초연구

이예진[1,2], 정광태[1], 이현철[2]

[1]한국기술교육대학교 디자인공학과
[2]한국원자력연구원

Corresponding Author
Kwang Tae Jung
Korea University of Technology and Education, Department of Industrial Design Engineering, Cheonan, 31253
Email : ktjung@kut.ac.kr

Received : August 24, 2020
Revised : August 25, 2020
Accepted : September 03, 2020

Copyright@2020 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to find out the possibility of using eye movement entropy for the emotional satisfaction evaluation of design.

Background: Emotion is often considered important in product design. Emotion, however, is very comprehensive and difficult to express clearly, so there have been attempts to analyze it through eye tracking. Most researchers used basic eye tracking metrics such as eye fixation time, time to first fixation, the number of eye fixation, and the change of pupil size to evaluate emotion. Basic metrics are effective in analyzing the importance of each design element but difficulties arise when analyzing the overall aspects of the design. In order to assess user's emotion about design, it is necessary to present eye movement as a single metric. Therefore, we suggest the possibility of using the eye movement entropy.

Method: A literature study was conducted to determine how to obtain entropies from eye movement. In addition, an experiment was conducted to identify the relationship between emotional satisfaction and eye movement entropy. For the experiment, the front design images of three car models were used as experimental stimuli. Eight college students participated in the experiment and Tobii Glasses 2 was used to record eye movement while looking at car images. Car images were presented on the 65-inch TV screen. Subjects evaluated how much emotionally satisfied to the car design on a five-point scale at the end of each image presentation.

Results: In the analysis of emotional satisfaction for car designs, it showed that a significant difference exist between car R and H. Therefore, eye movement entropies; Shannon entropy, Markov entropy, dwell time entropy, and heatmap entropy for R and H were calculated and analyzed. In the analysis of entropies for R and H, all entropies showed the average of the high entropy in the design model with highly emotional satisfaction. However, the means of Shannon, Morkov, dwell time entropy showed no significant difference between R and H, and heatmap entropy showed a significant difference. In the correlation analysis, there was no significant correlation between the emotional satisfaction and the Shannon, Markov and dwell time entropy, but there was a positive correlation (p=0.552) with the heatmap entropy.

Conclusion: This study was carried out to know if the eye movement entropy can

be used for the emotional satisfaction evaluation of design. The entropies derived from the gazeplot and heatmap of the eye movement showed a meaningful relationship with the emotional satisfaction, especially the heatmap entropy showed stronger correlation with the emotional satisfaction. Eye movement entropies were higher in the design with high emotional satisfaction, which means that the higher the emotion satisfaction level, the more the subject's eye movement. From the results, it can be seen that eye movement entropy can be used as a meaningful physiological measure for evaluating the emotional satisfaction of a design, especially the heatmap entropy can be used as the most appropriate entropy measure.

Application: The results of this study could be used as a guide to the use of eye tracking for the emotional satisfaction evaluation of design.

Keywords: Eye-tracking, Gazeplot, Heatmap, Entropy, Emotional satisfaction

1. Introduction

감성의 사전적 의미는 대상으로부터 감각되고 지각되어 표상을 형성하게 되는 인간의 인식능력으로 정의된다. 이러한 감성을 제품 요소에 반영하려는 움직임이 일어났고, 이로써 1986년 일본의 자동차 회사 마쓰다 사의 야마모토 회장의 자동차 문화론 강연에서 감성공학이라는 용어가 등장하였다(Jeong and Lee, 2009). 감성공학은 소비자의 제품에 대한 느낌이나 이미지를 제품 요소에 반영하는 기술을 말한다(Nagamachi, 1995).

감성은 마케팅에서 제품의 경쟁력을 강화하는데 중요한 요소로도 작용하고 있다. 고관여 제품에서도 소비자들은 제품을 고려할 때 기능 못지않게 디자인을 중요시 여기는 경향이 나타나기 시작했다. 이러한 소비경향에 따라 쌍용자동차는 다양한 예술감성을 활용해 아트마케팅을 시도하였고, 르노삼성자동차는 중형세단인 SM6의 감성적 측면을 알리는 캠페인을 대대적으로 전개하였다.

제품 디자인을 평가할 때에도 감성적 측면을 중요하게 고려하는 경우가 많다. 하지만 감성은 아주 종합적인 느낌으로 명확한 표현이 어려운 동시에 개인과 환경의 변화에 따라 다양하게 변화하는 특성을 지녔다. 감성의 이러한 특성 때문에 시선추적을 통하여 감성을 평가하고자 하는 시도들이 있었다(Kim and Kim, 2013; Ahn, 2014; Kim and Choi, 2018). 시선추적의 측정지표로는 시선고정시간, 최초응시시간, 응시비율, 시선고정횟수, 동공크기변화가 대표적이기 때문에(Kim, 2017; Tobii Pro Lab, 2019), 대부분의 연구자들은 이러한 기본측정지표들을 이용하여 감성을 평가하는데 활용하였다. 하지만 시선추적의 기본측정지표를 활용하여 감성을 평가하는 것은 그렇게 효과적이지 못하였다. 기본측정지표들은 각각의 디자인 요소들의 중요성을 해석하는 것은 효과적이지만, 감성처럼 디자인의 전체적인 측면을 평가하는 지표로는 효과적이지 못하다.

시선추적을 통하여 감성만족도를 평가하기 위해서는 시선움직임을 하나의 종합적인 측정지표로 표현하는 것이 필요하다. 이러한 측면에서 시선의 전체적인 움직임을 표현하는 게이즈플롯(Gazeplot)과 히트맵(Heatmap)이 활용될 수 있다(Figure 1). 하지만 게이즈플롯과 히트맵은 시선움직임의 전체적인 경향을 파악하는데 효과적이지만, 정량적인 측정이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 정보이론의 개념을 활용하여 게이즈플롯과 히트맵으로부터 엔트로피를 계산할 수 있는 방법이 연구되어 왔다. 엔트로피란 평균정보량을 의미하며, 여기에서 정보(information)는 불확실한 상황을 감소시켜주는 지식을 의미한다(Park, 1980).

게이즈플롯과 히트맵으로부터 엔트로피의 개념을 도입하여 시선움직임의 정량화 지표를 표현할 수 있다면, 디자인에 대한 감성만족도를 평가하는데 효과적으로 활용할 수 있을 것이다. 그러한 가능성에도 불구하고 지금까지 디자인의 감성만족도를 평가하는데 시선 엔트로피를 활용한 연구는 존재하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 감성만족도 평가에서의 시선 엔트로피의 활용에 관한 기초연구로서 디자인의 감성만족도와 시선움직임의 엔트로피 간에 어떠한 관련성이 있는지를 알아보고자 한다.

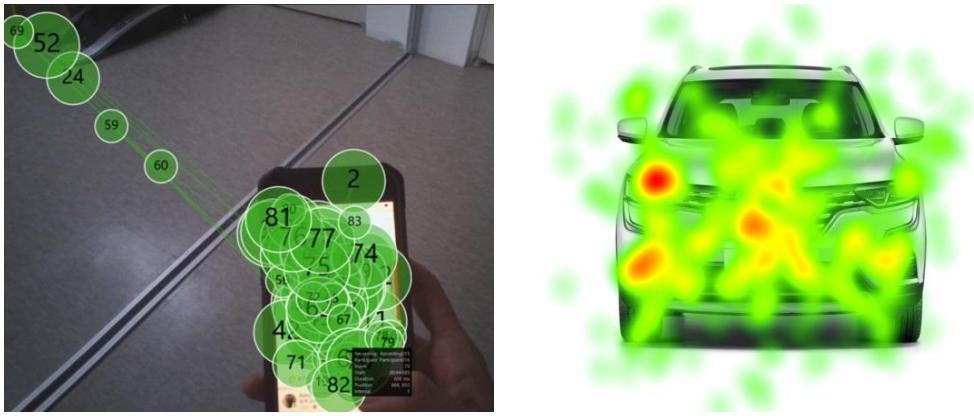


Figure 1. Gazeplot (left) and Heatmap (right)

2. Literature Survey

본 연구에서는 먼저 시선움직임의 분석을 위하여 엔트로피를 활용한 선행 연구사례들을 조사 분석하였다. 시선 엔트로피를 활용한 다양한 연구가 진행되어왔는데, Jungk et al. (1999)은 환자의 혈류(Hemodynamic)를 모니터링하는 Ecological display, Profilogram display, Trend display의 3가지 디스플레이를 대상으로 과제 실패율과 게이즈플롯 엔트로피(Gazeplot entropy) 값의 상관성을 분석하였다. 그 결과로 과제 실패율이 낮은 디스플레이가 낮은 게이즈플롯 엔트로피 값을 나타내었다. 이를 통하여 이해하기 쉽게 설계된 디스플레이일수록 시선 이동이 작기 때문에 낮은 엔트로피를 나타낸다고 하였다.

Shic et al. (2008)은 자폐아와 정상아가 얼굴을 스캔하는 방식을 게이즈플롯 엔트로피로 비교하였다. 자폐아는 전반적으로 얼굴의 중요부위(눈, 입)와 중요하지 않은 부위(코, 머리, 몸통 등)의 시선분산이 높아 게이즈플롯 엔트로피가 정상아보다 높게 나타났다. Alzubaidi et al. (2010)은 방사선과 의사들의 경력수준에 따라 X-ray를 읽고 해석하는 과정의 시선 이동 패턴을 분석하였다. 그 결과로서 의사의 경력수준이 높을수록 게이즈플롯 엔트로피가 낮아지는 경향을 보였다.

Jordan and Slater (2009)는 가상현실 환경에서 스트레스 요인이 사용자들의 시선특성에 주는 영향을 알아보기 위하여 엔트로피를 활용하였다. 그 결과로서 스트레스 요인은 사용자들의 게이즈플롯 엔트로피에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. Ahn et al. (2016)은 입체영상을 보고 느끼는 편안함을 정량적으로 측정하는 방법을 제시하였는데, 화면의 입체 정도가 높아질수록 히트맵 엔트로피(Heatmap entropy)가 증가하는 것으로 나타났다. Fajnzylber et al. (2017)은 비사실적 렌더링 3D 화면에서의 사용자의 시선특성이 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 연구를 수행하였고, 비사실적 렌더링 3D 화면이 사실적 렌더링 3D 화면보다 낮은 엔트로피 값을 나타내었다.

Scannella et al. (2015)은 공항 입출항의 비행 단계를 시각적 특성에 따라 분류할 수 있는 방법을 제시하였다. 비행 단계의 분류를 위하여 게이즈플롯 엔트로피와 시선도약(saccade)이 활용되었는데, 이륙하는 구간에서는 시선도약 값과 게이즈플롯 엔트로피가 높게 나타났고, 착륙하는 구간에서는 낮은 시선도약 값과 엔트로피 값이 나타났다. 이는 착륙과정에서는 이륙과정 보다 계기판과 조작기에 더 많은 집중을 하기 때문이라고 해석하였다. Lee et al. (2018)은 비행기 착륙 시 학생조종사와 기성조종사의 시선의 이동특성을 비교 분석하였다. 기성조종사는 학생조종사보다 외부 시야계에 대하여 유의하게 높은 게이즈플롯 엔트로피 값을 나타내었고, 학생조종사는 내부 계기환경에 대하여 기성조종사보다 유의하게 높은 게이즈플롯 엔트로피 값을 나타내었다. 이를 통하여 기성조종사는 외부 시야환경을 중심으로 비행환경의 변화를 예측하고, 학생조종사는 내부 계기환경을 중심으로 비행환경의 변화를 예측하는 것으로 분석하였다.

Raptis et al. (2017)은 주변 종속적(FD; field-dependent) 유형과 주변 독립적(FI; field-independent) 유형의 사람에 따라 시선의 특징이 어

떻게 달라지는지 연구하였다. 이 연구에서는 게이즈플롯 엔트로피와 히트맵 엔트로피를 사용하였다. 게이즈플롯 엔트로피의 경우, FD 유형은 쉬운 난이도와 어려운 난이도에서 높은 엔트로피 값을 나타낸 반면, FI 유형은 쉬운 난이도에서 가장 높은 엔트로피를 갖고 난이도가 높아질수록 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 히트맵 엔트로피의 경우, FD 유형의 경우 전반적으로 높은 엔트로피를 가지나 난이도가 높아질수록 상대적으로 엔트로피가 낮아지는 경향이 나타났고, FI 유형의 경우 쉬운 난이도에서 높은 엔트로피를 가졌고, 난이도가 높아질수록 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

Ebeid et al. (2018)은 왜곡된 이미지를 알아챈 사람과 알아채지 못한 사람 간의 엔트로피를 비교하였는데, 이미지의 왜곡을 인식한 피실험자는 인식하지 못한 피실험자보다 게이즈플롯 엔트로피나 히트맵 엔트로피에서 높은 값을 보였다. Krejtz et al. (2014)은 호기심에 따라 작품을 감상할 때 시각적 특징이 어떻게 달라지는지 알아보기 위하여 게이즈플롯으로부터 마코프 엔트로피(Markov entropy)와 샤넌 엔트로피(Shannon entropy)를 도출하여 활용하였다. 작품에 대한 호기심이 높을수록 마코프 엔트로피는 유의하게 낮아졌고 작품에 대한 선호도가 높을수록 낮은 마코프 엔트로피와 높은 샤넌 엔트로피 값을 보였다.

Bhavsar et al. (2017)은 화학 산업 제어실에서의 운전원 과제에 대하여 성공한 그룹과 실패한 그룹의 시선특성을 분석하였는데, 과제에 성공한 그룹은 실패한 그룹보다 낮은 게이즈플롯 엔트로피를 보였다. 이에 대하여 성공한 그룹은 정형화된 시선 이동을 보였기 때문으로 해석하였다. 그리고 운전 단계별 시선특성을 설명하는데 엔트로피를 활용되었다. 이러한 연구로부터 엔트로피를 운전자의 운전 수준을 측정하는 지표로 활용될 수 있고, HMI (Human Machine Interface)를 평가하는 방법으로도 활용될 수 있다고 주장하였다.

Gu et al. (2018)은 웹페이지의 심미성을 정량적으로 측정하기 위해 시선움직임의 엔트로피를 활용하였다. 40개의 웹페이지를 심미성이 높은 그룹과 낮은 그룹으로 나누고 시선 엔트로피를 측정하여 심미성과 엔트로피와의 상관성을 분석하였다. 그 결과로서 마코프 엔트로피는 심미성과 유의한 관계를 보이지 않았지만, 히트맵 엔트로피는 심미성과 유의한 관계를 보였다. 즉 웹페이지의 심미성이 높을수록 히트맵 엔트로피는 낮아지는 경향을 보였다. Hooge and Camps (2013)는 광고를 볼 때 브랜드 로고까지 가는데 소비자들의 시선은 어떠한 특성을 갖는지 알아보기 위해 게이즈플롯 엔트로피와 로고의 최초 응시시간(time to first fixation)의 상관성을 분석하였다. 그 결과 엔트로피와 최초 응시시간은 높은 양의 상관관계를 나타내었는데 이를 통하여 시선 가이던스(Guidance)가 잘된 광고일수록 체계적인 시선 값을 가지며 이는 낮은 엔트로피를 갖는다고 주장하였다.

Chanijani et al. (2016)는 세 가지 교육수준의 학생에 따라 물리학 문제를 풀 때 어떠한 시각적 특성을 갖는지에 대해 알아보기 위해 시선 엔트로피를 활용하였다. 그 결과 교육수준 낮을수록 높은 게이즈플롯 엔트로피를 나타내었다. 이는 교육수준이 낮을수록 물리학 문제의 벡터, 표, 다이어그램 간의 시선 이동이 빈번하게 일어나기 때문이라고 하였다.

Gotardi et al. (2018)은 운전 시 불안감이 운전자의 시선특성에 어떠한 변화를 주는지 알아보고자 시선 엔트로피를 활용하였다. 실험은 숙련된 16명의 운전자에게 가상의 고속도로를 달리는 운전시뮬레이션으로 진행되었다. 100~120km의 속도를 유지하면서 장애물을 피해 달리는 과제를 준 뒤 중간중간 교통소음, 외부카메라의 촬영, 자존심을 훼손시키는 지시, 평가 등으로 불안감을 조성하였다. 불안감이 증폭될수록 자동차도로와 계기판에 대한 시선응시(fixation) 값이 높아졌으며, 게이즈플롯 엔트로피가 더 높아지는 결과를 나타내었다.

Ryu et al. (2018)은 배드민턴에서 1년 이상 경력의 숙련자와 비숙련자 간의 서브과정 중의 시선 탐색 전략의 차이를 알아보기 위해 시선 엔트로피를 활용하였다. 숏서브와 롱서브를 각각 15회씩 진행하여 총 30회의 서브의 시각적 특성(mean fixation duration, fixation distribution, final fixation duration and location, gaze entropy)을 아이트래커로 측정하였다. 숙련자의 경우에는 숏서브 시에 네트를 집중적으로 보며, 롱서브 시에는 윗 공간을 초보자보다 훨씬 더 많이 시선을 두는 것으로 나타났다. 그리고 숙련자의 경우 게이즈플롯 엔트로피가 초보자보다 더 높게 나타났는데, 이는 숙련자일수록 더 많은 시각적 탐색을 하고 있음을 의미한다고 하였다.

이상의 연구사례에서 볼 수 있는 바와 같이 시선추적의 게이즈플롯과 히트맵으로부터 도출된 엔트로피를 활용하여 시각 자극에 대한 인간의 다양한 반응특성을 분석할 수 있음을 알 수 있다. 디자인에 대한 감성도 시각 자극에 의하여 형성되는 반응특성이기 때문에 시선움직임의 엔트로피를 활용하여 효과적으로 분석할 수 있음을 예측할 수 있다.

3. Entropies in Eye Movements

시선 엔트로피를 활용한 연구사례들을 통하여 시선움직임으로부터 엔트로피를 계산하기 위한 방법은 크게 게이즈플롯을 활용하는 방법과 히트맵을 활용하는 방법으로 나눌 수 있음을 알 수 있다. 그리고 게이즈플롯으로부터의 엔트로피 도출 방법은 AOI (Area Of Interest)에 시선이 머문 횟수를 활용하는 샤넌 엔트로피와 AOI 간의 이동 횟수까지 고려하는 마코프 엔트로피로 구분할 수 있음을 알 수 있었다. 각각의 엔트로피 계산 방법을 정리하면 다음과 같다.

3.1 Entropy in gazeplot

3.1.1 Shannon entropy

샤넌 엔트로피는 클로드 샤넌(Claude Shannon)이 정의한 평균정보량을 구하는 방식에 의하여 구한다. 게이즈플롯으로부터 샤넌 엔트로피를 구하는 방식은 다음과 같다.

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \log_2 P_i$$

여기서 P_i는 전체 AOI의 총 시선응시횟수(fixation count)로 i번째 AOI의 시선응시횟수를 나눈 상대응시횟수의 비율이고, n은 전체 AOI의 개수이다. 따라서 게이즈플롯로부터 구해진 샤넌 엔트로피의 값이 높게 나타난다면 사용자가 전체 AOI들을 고르게 응시했음을 의미하고, 낮게 나타난다면 특정 AOI에 시선이 집중되었음을 의미한다(Krejtz et al., 2014). 하지만 샤넌 엔트로피는 AOI에 시선이 머문 횟수의 비율로 계산되기 때문에, AOI 간 시선의 이동패턴은 고려하지 못한다는 단점이 있다.

3.1.2 Markov entropy

샤넌 엔트로피가 시선의 이동패턴을 효과적으로 나타내지 못한다는 한계점 때문에 활용되기 시작한 것이 마코프 엔트로피이다. 마코프 엔트로피는 마코프체인(Markov chain) 모델을 활용하여 엔트로피를 구하는 방법이다. 마코프체인이란 시계열 데이터의 예측을 통계적으로 다루는 확률과정으로, 마코프 엔트로피는 특정 시점에서의 상태집합(state space)과 상태 간의 이동확률을 나타내는 전이행렬(transition matrix)을 활용하여 구한다. 여기서 상태집합은 각 AOI의 초기확률의 집합으로 정의되고, 전이행렬은 각 AOI 간의 전이확률의 행렬로 정의된다. i번째 AOI의 초기확률 Pi는 i번째 AOI의 응시횟수를 전체 AOI의 총 응시횟수로 나눈 값이고, i번째 AOI에서 j번째 AOI로의 전이확률 P_{ij}는 i번째 AOI에서 j번째 AOI로 이동한 횟수를 전체 AOI 간 이동횟수로 나눈 값이다. 이때 마코프 엔트로피는 다음 식과 같이 정의된다.

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \sum_{j \neq 1} P_{ij} \log_2 P_{ij}$$

마코프 엔트로피는 시선의 이동 방향에 대한 정보를 포함한다는 장점을 갖는다(Shic et al., 2008). 하지만 마코프 엔트로피는 샤넌 엔트로피와 마찬가지로 각 AOI에 시선이 얼마나 오랫동안 머물렀는지에 대한 정보는 고려하지 못한다는 한계점을 갖는다.

3.1.3 Dwell time entropy

샤넌 엔트로피와 마코프 엔트로피는 기본적으로 AOI들에 대한 시선응시횟수를 기준으로 엔트로피의 값을 구하기 때문에, AOI에 시선이 얼마나 오랫동안 머물렀는지에 대한 정보를 반영하지 못한다. 예를 들어, 특정 AOI에 1초 동안 시선이 머문 경우와 10초 동안 시선이 머문 경우를 동일하게 1회로 취급한다. AOI에 시선이 머문 시간을 반영하기 위해서는 드웰타임(Dwell time)을 활용하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 드웰타임을 고려하여 엔트로피를 계산하는 방법을 제안하여 활용하였다. 드웰타임 엔트로피는 기존 샤

넌 엔트로피와 계산식이 동일하다. 하지만 P_i는 전체 AOI의 총 시선응시시간(fixation time)에 대한 i번째 AOI의 시선응시시간의 비율로 정의된다는 점이 다르다.

3.2 Entropy in heatmap

히트맵은 시선이 가장 오래 머문 지점으로부터 적게 머문 지점까지 가우시안분포(Gaussian Distribution)의 형태를 갖고 있기 때문에 가우시안분포를 활용하여 엔트로피를 계산할 수 있다. 만약 화면의 픽셀이 1,280*800의 해상도를 갖는다면 총 1,280개의 X 좌표와 800개의 Y 좌표로 이루어진 좌표의 조합을 만들 수 있다. 시선이 특정 픽셀 (x_f, y_f)을 중심으로 가우시안분포를 따른다고 가정할 때 히트맵을 형성하는 시선의 연속확률분포는 다음의 수식으로 표현된다(Liu et al., 2010).

$$f_{XY}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} exp - (\frac{(x-x_f)^2 + (y-y_f)^2}{2\sigma^2})$$

여기서 σ는 표준편차로 시선추적에서는 시각(visual angle)을 의미하며, 사용자가 화면을 볼 때 인지할 수 있는 픽셀의 범위를 의미한다. Liu et al. (2010)의 연구에 근거하면 σ는 50 픽셀의 값을 갖는다.

만약 시선추적 화면에 여러 개의 히트맵이 형성되어 있을 경우 분포 간 가중치를 주어 하나의 연속확률분포로 표현해주는 것이 필요하다. Ahn et al. (2016)의 연구에서는 이를 한 화면에 형성된 시선의 분포들에 각각 동일한 가중치를 주었지만, 히트맵의 분포는 응시시간에 따라 그 분포의 높이가 모두 다르므로 모두 동일한 가중치를 주는 것은 문제가 있다. 따라서 Gu et al. (2018)는 응시시간(fixation duration)에 따라 가중치를 다르게 부여하여 다음 식과 같이 히트맵의 결합확률분포 함수를 정의하였다.

$$\tilde{f}_{XY}(x,y) = \sum_{f=1}^{f_{num}} d_f \times \frac{1}{2\pi\sigma^2} exp - (\frac{(x-x_f)^2 + (y-y_f)^2}{2\sigma^2})$$

여기에서 f_{num}은 응시횟수(number of fixation)이고 d_f는 각 응시분포(fixation distribution)의 가중치이다. 이 결합확률분포 함수를 활용하여 다음 식과 같이 히트맵 엔트로피를 계산할 수 있다.

$$H = -\sum_{xy} \tilde{f}_{XY}(x,y) \log \tilde{f}_{XY}(x,y)$$

4. Experiment and Data Collection

본 실험에서는 감성만족도 평가에서의 시선데이터를 얻기 위해 토비사의 시선추적기(Tobii Glasses 2)를 사용하였다. 실험은 밀폐된 실험공간에서 진행되었으며 시선추적기를 착용한 피실험자들은 편안하게 앉은 상태에서 65인치 화면상의 자동차 이미지를 20초간 보고 각각의 이미지 제시가 끝나는 시점에 자동차 디자인이 감성적으로 얼마나 만족스러운지 5점 리커트척도로 평가하였다. 감성만족도를 평가하기 위하여 피실험자들이 자동차 이미지를 탐색하는 동안의 시선움직임이 측정되었다. 이때 자동차 디자인 제시 순서에 따른 순서효과를 없애기 위해 자극은 매 실험자마다 랜덤으로 제시하였다. 피실험자는 K대학교 디자인전공 학생 8명(남성 3명, 여성 5명)이 참여하였으며, 평균 나이는 24.5세(표준편차 1.2세)였다.

화면과 피실험자 사이의 간격은 2m를 유지했고, 실험에 사용된 디자인 이미지는 국내의 대표적인 자동차 3사에서 2018~2020년 사이에 출시한 SUV 차량 중 3가지를 표본으로 추출하였다. 실험 이미지에서 칼라의 영향을 제거하기 위하여 모든 이미지는 흰색으로 통일하였고, 브랜드의 이미지도 제거하기 위하여 자동차 로고를 제거하였다. 또한 소비자는 대부분 자동차의 디자인에서 전면부를 가장 중요하게 인식하고 기업들도 전면부를 통하여 브랜드 전략을 전개할 만큼 자동차 디자인에서 전면부가 차지하는 비중이 높기 때문에(Jeon, 2016), 실험 자극으로 자동차의 전면 이미지를 사용하였다. Figure 2는 실험장면이고, Figure 3은 실험에 사용된 자동차의 전면 이

미지이다. 본 연구에서는 편의상 왼쪽부터 R, H, K로 명칭하였다. Figure 4는 실험이 진행되는 절차를 나타낸 것이다.



Figure 2. Experiment scene



Figure 3. SUV image for the experiment

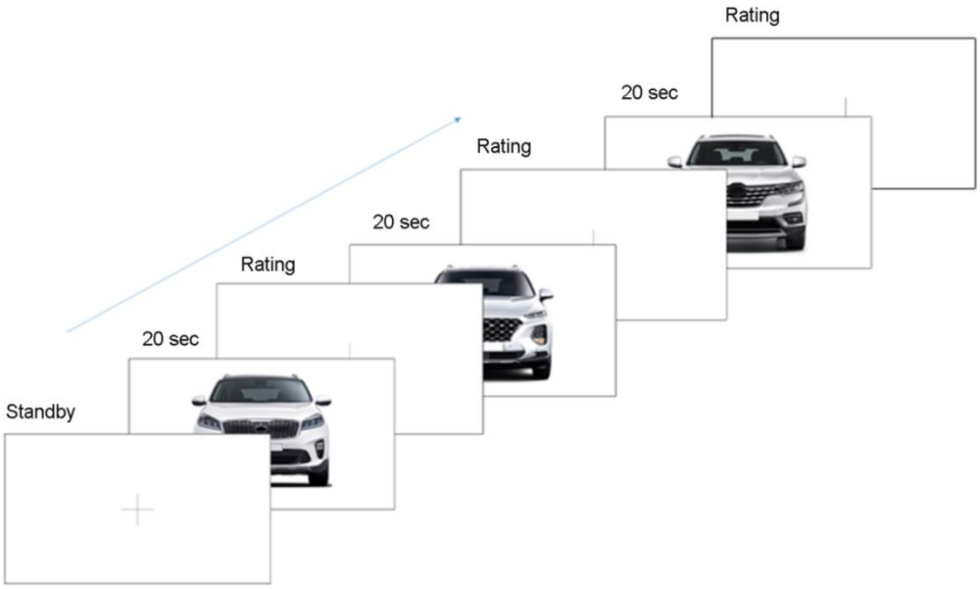


Figure 4. Experimental procedure

5. Analysis

디자인의 감성만족도와 시선 엔트로피의 상관성을 알아보기에 앞서, 자동차의 디자인에 대한 감성만족도에 유의한 차이가 존재하는지 분석하였다. 그리고 감성만족도에서 유의한 차이를 보이는 자동차 디자인들 간의 시선 엔트로피의 평균을 비교 분석하였고, 그 후에 감성만족도와 엔트로피의 상관성을 분석하였다.

게이즈플롯 엔트로피를 구하기 위해서 우선적으로 AOI를 정의하는 것이 필요한데, 본 연구에서는 Figure 5와 같이 자동차 전면의 중요 디자인 요소에 따라 Bumper, Grill, Hood, Roof, Left light (LL), Right Light (RL), Left Mirror (LM), Right Mirror (RM)의 8개의 구역으로 나누었다. Figure 6는 3개 자동차의 AOI를 보여준다.

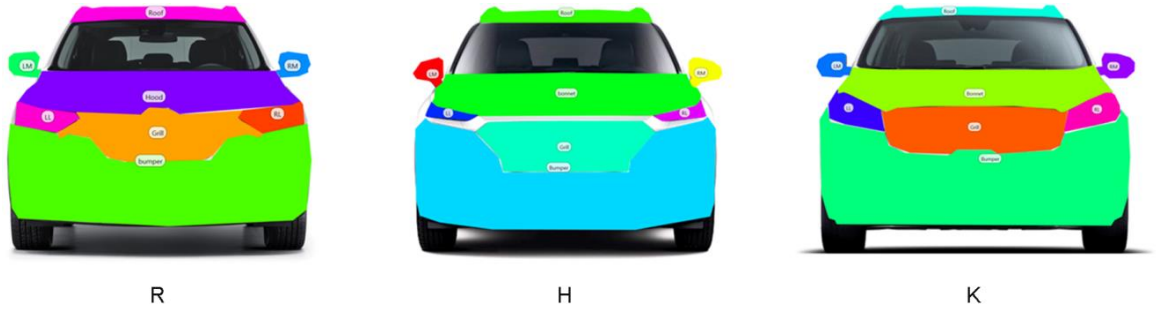


Figure 5. AOIs of experimental images

5.1 Analysis of emotional satisfaction

실험에 사용된 세 자동차 디자인 모델의 감성만족도 평균을 분석한 결과(Figure 6), R이 3.75점로 가장 높았고, 그 다음 K가 3.25점, H가 2.5점으로 가장 낮게 나타났다.

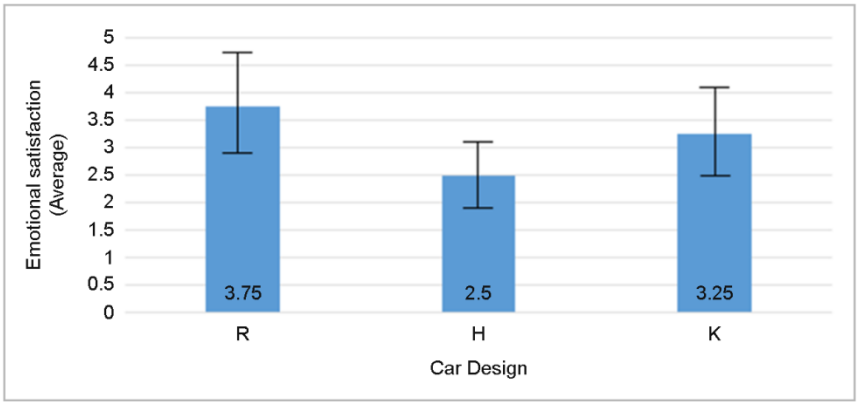


Figure 6. Emotional satisfaction with car designs

디자인에 따른 감성만족도의 평균 차이가 유의한지 알아보기 위해서 ANOVA 분석을 실시한 결과(Table 1), 유의수준 0.05에서 유의한

차이가 있는 것으로 나타났다(p=0.049). 따라서 어떤 디자인에서 유의한 차이가 존재하는지 알아보기 위하여 사후분석(Duncan)을 실시한 결과를 보면, R과 K가 동일 집단군으로 분류되었고, H와 K가 동일 집단군으로 분류되었다. 따라서 K를 제외한 R과 H의 두 디자인에서 감성만족도는 현저히 차이가 있음을 알 수 있었고, R의 디자인은 감성만족도가 높은 디자인이고, H의 디자인은 비교적 감성만족도가 낮은 디자인이었다. 따라서 감성만족도와 엔트로피의 상관성을 알아보기 위하여 R과 H의 디자인을 분석 대상으로 선정하였다.

Table 1. ANOVA of emotional satisfaction

Source of variance		Sum of squares	DF	Mean squares	*F*	Sig.
Emotional satisfaction	Between	6.333	2	3.167	3.500	.049
	Within	19.000	21	0.905		
	Total	25.333	23			

5.2 Analysis of entropy in design emotion

디자인에 대한 감성만족도에 유의한 차이가 존재하는 것으로 평가된 R과 H의 디자인을 대상으로 시선움직임의 엔트로피를 구하였다(Figure 7). 분석에 사용된 시선 엔트로피는 샤넌 엔트로피, 드웰타임 엔트로피, 히트맵 엔트로피였다. 피실험자별로 계산된 각각의 시선 엔트로피를 대상으로 분석한 결과, 샤넌 엔트로피의 경우 R이 1.86, H가 1.64으로 R이 상대적으로 높은 엔트로피를 보였다. 마코프 엔트로피의 경우 R이 0.9, H가 0.75로 R이 조금 더 높은 엔트로피를 보였다. 드웰타임 엔트로피의 경우는 R이 1.89, H가 1.61으로 샤넌 엔트로피와 마찬가지로 감성평가점수가 비교적 높았던 R에서 높은 드웰타임 엔트로피를 보였다. 히트맵 엔트로피 또한 R이 2.64, H가

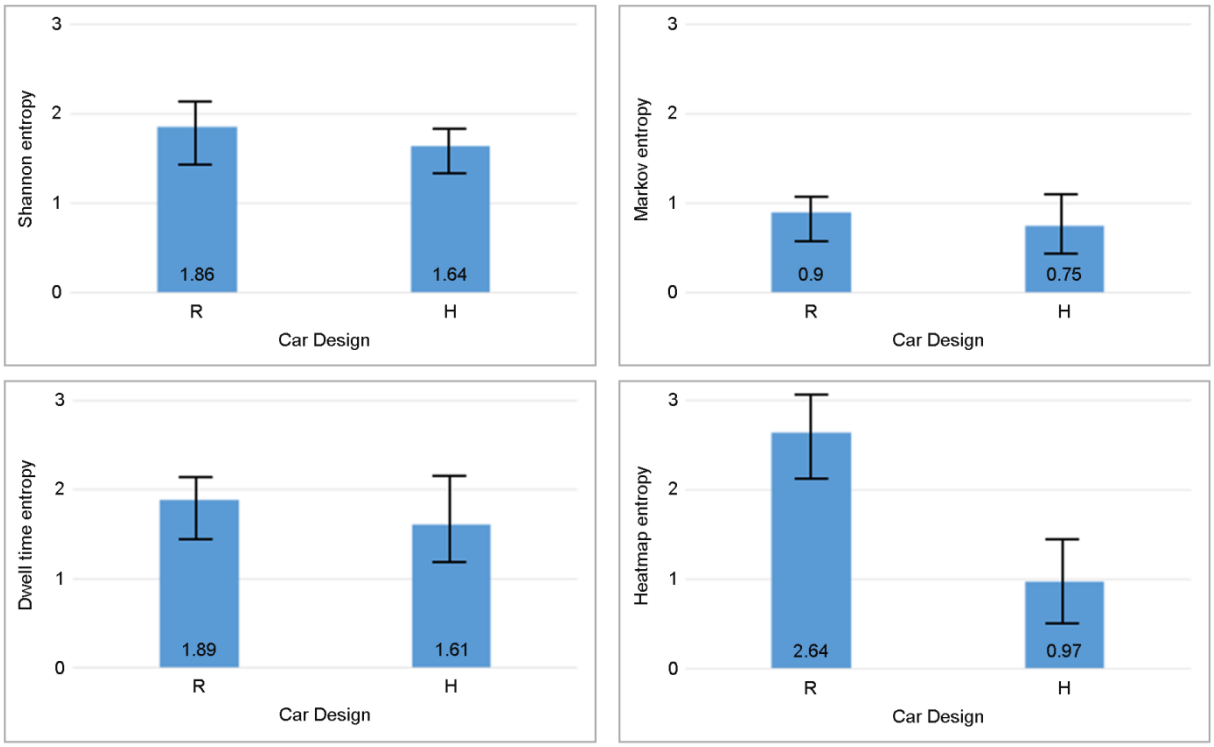


Figure 7. Mean gaze entropy with car design

0.97로 감성만족도가 높았던 디자인에서 높은 히트맵 엔트로피를 보였다. 이상의 분석결과로부터, 감성만족도가 높은 디자인에서 피실험자의 엔트로피가 높게 나타났는데, 이는 감성만족도가 높을수록 피실험자의 시선 이동이 많다는 것을 의미한다.

감성만족도에 유의한 차이가 있는 자동차 디자인에 따라 시선 엔트로피의 평균 차이가 유의한지 알아보기 위하여 분산분석을 수행한 결과(Table 2), 샤넌 엔트로피, 마코프 엔트로피, 그리고 드웰타임 엔트로피는 유의수준 0.05에서 모두 유의하지 않는 것으로 나타났으나, 히트맵 엔트로피의 평균은 유의수준 0.05에서 유의한 차이를 보였다(p=0.000).

Table 2. ANOVA of gaze entropy with car design

Source of variance		Sum of squares	DF	Mean squares	*F*	Sig.
Shannon entropy	Between	.203	1	.203	1.449	.249
	Within	1.957	14	.140		
	Total	2.159	15			
Markov entropy	Between	.083	1	.083	.673	.426
	Within	1.719	14	.123		
	Total	1.802	15			
Dwell time entropy	Between	.311	1	.311	1.151	.301
	Within	3.780	14	.270		
	Total	4.091	15			
Heatmap entropy	Between	11.139	1	11.139	41.524	.000
	Within	3.755	14	.268		
	Total	14.894	15			

감성만족도와 엔트로피와의 관계를 보다 상세하게 분석하기 위하여 Table 3과 같이 상관분석을 실시하였다. 그 결과 감성만족도와 샤넌, 마코프, 드웰타임 엔트로피 간에는 유의한 상관성이 존재하지 않았지만 히트맵 엔트로피 간에는 상관계수가 0.552인 양의 상관성이 존재하는 것으로 나타났다.

Table 3. Correlations of emotional satisfaction and gaze entropy scale

		Emotional satisfaction	Shannon entropy	Markov entropy	Dwell time entropy	Heatmap entropy
Emotional satisfaction	Pearson correlation coefficient	1	-.035	.051	.104	.552**
	Significance probability		.897	.850	.701	.027
	N	16	16	16	16	16
Shannon entropy	Pearson correlation coefficient	.035	1	.228	.879**	.223
	Significance probability	.897		.396	.000	.384
	N	16	16	16	16	16
Markov entropy	Pearson correlation coefficient	.051	.228	1	.024	1

Table 3. Correlations of Emotional satisfaction and gaze entropy scale (Continued)

		Emotional satisfaction	Shannon entropy	Markov entropy	Dwell time entropy	Heatmap entropy
Markov entropy	Significance probability	.850	.396		.930	
	N	16	16	16	16	16
Dwell time entropy	Pearson correlation coefficient	.104	.879**	.252	1	.264
	Significance probability	.701	.000	.346		.322
	N	16	16	16	16	16
Heatmap entropy	Pearson correlation coefficient	.552**	.233	.024	.264	1
	Significance probability	.027	.384	.930	.322	
	N	16	16	16	16	16

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

이상의 결과로부터 시선 엔트로피 중에서 히트맵 엔트로피가 디자인의 감성만족도를 평가하는데 가장 적합한 척도로 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

6. Conclusion and Discussion

본 연구에서는 디자인의 감성만족도 평가에서 시선 엔트로피를 활용하는 방법을 알아보기 위한 기초연구로서, 시선 엔트로피에 관한 문헌연구와 실험연구를 수행하였다. 문헌연구에서는 시선 엔트로피를 활용한 연구사례의 조사분석을 통하여 시선측정 시각화 지표인 게이즈플롯과 히트맵의 정량화 방법에 대해 조사하였고, 현재 연구동향과 시선 엔트로피의 특징을 정리하였다. 그 결과 시선 엔트로피는 의료, 영상, 항공, 인지, 디자인, 광고, 교육, 교통, 스포츠의 여러 분야에 걸쳐 활용되었음을 알 수 있었고, 그러한 결과를 토대로 감성의 분석에서도 효과적으로 활용될 수 있음을 추론할 수 있었다.

실험연구에서는 감성만족도 평가를 위한 시선 엔트로피의 활용가능성을 알아보기 위한 실험을 진행하였다. 자동차 디자인을 대상으로 한 감성만족도 평가 실험을 분석한 결과, 샤넌 엔트로피, 마코프 엔트로피, 드웰타임 엔트로피, 그리고 히트맵 엔트로피 모두 감성만족도와 어느 정도 관계가 존재함을 알 수 있었고, 특히 히트맵 엔트로피는 디자인의 감성만족도와 매우 높은 상관성을 보이고 있음을 확인하였다. 즉 디자인의 감성만족도가 높을수록 엔트로피도 높아지는 경향을 보였는데, 이는 디자인의 감성만족도가 높을 수록 피실험자들이 특정한 디자인 요소만 주의 깊게 보는 것이 아니라 여러 디자인 요소를 주의 깊게 살펴보는 것으로 해석될 수 있다. 이러한 사실로부터 디자인의 감성만족도 평가에서 시선 엔트로피가 중요한 분석척도로 활용될 수 있음을 알 수 있고, 특히 히트맵 엔트로피는 감성만족도에서 중요한 객관적 척도로 활용될 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 한계점으로는 실험의 한계상 2D 이미지의 자동차 디자인을 대상으로 진행하였기 때문에 실제 제품 디자인을 입체적으로 보았을 때 오는 감성만족도와 차이가 있을 수 있다. 또한 피실험자의 수가 많지 않았고 실험에 사용된 디자인 이미지의 개수도 적다라는 한계점이 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 감성만족도와 시선 엔트로피의 관계를 분석하여 향후 감성만족도 분석에서 시선 엔트로피의 활용가능성을 알아보기 위한 목적으로 진행되었기 때문에 본 연구의 결과는 감성만족도의 정량적 평가 방법을 제시하는데 중요한 의의를 제공한다. 하지만 향후 다양한 제품과 더 많은 피실험자를 대상으로 한 연구를 통하여 본 연구결과의 일반화를 제고하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This paper was (partially) supported by 2019 Research Promotion Project of KOREATECH.

References

Ahn, S.Y., A study on features of space through sensibility estimation and eye-tracking - Focus on Premium Supermakets, *Korea Digital Design Council*, 125-128, 2014.

Ahn, S., Kim, J., Kim, H. and Lee, S., Visual attention analysis on stereoscopic images for subjective discomfort evaluation, *2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 1-6, 2016.

Alzubaidi, M., Patel, A., Panchanathan, S. and Black, J.A., Reading a radiologist's mind: monitoring rising and falling interest levels while scanning chest x-rays, Proceedings of Medical Imaging 2010, Society of Photo-Optical, Instrumentation Engineers, 2010.

Bhavsar, P., Srinivasan, B. and Srinivasan, R., Quantifying situation awareness of control room operators using eye-gaze behavior, *Computers & Chemical Engineering*, 106(2), 191-201, 2017.

Chanijani, S.M., Kuhn, J., Klein, P., Dangel, A. and Bukhari, S.S., Entropy based transition analysis of eye movement on physics representational competence, *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 1027-1034, 2016.

Ebeid, I.A., Bhattacharya, N. and Gwizdka, J., Evaluating The Efficacy of Real-time Gaze Transition Entropy, *Research Gate*, 1(1), 1-8, 2018.

Fajnzylber, V., Gonzalez, L., Maldonado, P., Villar, R.D., Yanez, R., Madariaga, S., Magdics, M. and Sbert, M., Augmented film narrative by use of non-photorealistic rendering. *2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D)*, 1-8, 2017.

Gotardi, G., Schor, P., Kamp, J.V.D., Navarro, M., Gorh, D., Savelsbergh, G., Polastri, P.F., Oudejans, R. and Rodrigues, S.T., The influence of anxiety on visual entropy of experienced drivers, *Proceedings of the 3rd Workshop on Eye Tracking and Visualization*, 1-4, 2018.

Gu, Z., Jin, C., Dong, Z. and Chang, D., Predicting webpage aesthetics with heatmap entropy, arXiv 2018, arXiv:1803.01537, 2018.

Hooge, I. and Camps, G., Scan path entropy and arrow plots: Capturing scanning behavior of multiple observers, *Frontiers in Psychology*, 4, 1-10, 2013.

Jeon, J., A Study on Utilization of the Automotive Front Mask of the Emotional Marketing Aspect, *Journal of Integrated Design Research*, 15(2), 65-75, 2016.

Jeong, B.Y. and Lee, D.K., Modern Ergonomics, Minyoung Publishing Co., 2009.

Jordan, J. and Slater, M., An analysis of eye scanpath entropy in a progressively forming virtual environment, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18(3), 185-199, 2009.

Jungk, A., Thull, B., Hoeft, A. and Rau, G., Ergonomic evaluation of an ecological interface and a profilogram display for hemodynamic monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 15, 469-479, 1999.

Kim, J.H., Visual Understanding of Advertising Through Eye-tracking Methodology, *The Korean Journal of Advertising and Public Relation*, 19(2), 9-40, 2017.

Kim, J.H. and Choi, G.Y., Visual-Perception of Different Images at the Identical Interior-space-Through Sensibility Evaluation and Eye-tracking Test, *Journal of the Korean Institute of Interior Design,* 27(4), 45-56, 2018.

Kim, J.S, and Kim, G.H., The Effect of Sensation Seeking Tendency on Consumer Preference for Simple Product Design - Using eye-tracker -, *The Korean Journal of Consumer and Advertising Psychology*, 14(1), 177-201, 2013.

Krejtz, K., Szmidt, T., Duchowski, A.T. and Krejtz, I., Entropy-based statistical analysis of eye movement transitions, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 159-166, 2014.

Lee, W.J., Kim, C.H. and Kim, S.H., Comparison of Eye Tracking Features between Expert and Novice Pilots during Landing, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(6), 713-720, 2018.

Liu, Y., Cormack, L.K. and Bovik, A.C., Dichotomy between luminance and disparity features at binocular fixations, *Journal of Vision*, 10(12), 23-23, 2010.

Nagamachi, M., Kansei Engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(1), 3-11, 1995.

Park, K.S., Ergonomics, Youngji Publishers, 1980.

Raptis, G.E., Fidas, C.A. and Avouris, N.M., On implicit elicitation of cognitive strategies using gaze transition entropies in pattern recognition tasks. *Proceedings of the 2017 CHI Conference*, 1993-2000, 2017.

Ryu, D.H., Song, S.H. and Han, D.W., Visual search strategies in badminton serve on expertise levels, *Korean Journal of Sport Science*, 29(2), 362-375, 2018.

Scannella, S., Peysakhovich, V., Ehrig, F. and Dehais, F., Can flight phase be inferred using eye movements? Evidence from real flight conditions, *18th European Conference on Eye Movements*, 2015.

Shic, F., Chawarska, K., Bradshaw, J. and Scassellati, B., Autism, eye-tracking, entropy. *In 2008 7th IEEE International Conference on Development and Learning*, 73-78, 2008.

Tobii Pro Lab, User's Manual, Ver. 1, 2019.

Author listings

Yejin Lee: yejin3210@koreatech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Advertisment, Fudan University
Position title: Graduate student, Koreatech
Areas of interest: UX Design, Advertisement Design

Kwang Tae Jung: ktjung@kut.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Department of Industrial Design Engineering, KOREATECH
Areas of interest: Ergonomic design, UI/UX

Hyun Chul Lee: leehc@kaeri.re.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST
Position title: Principal Researcher, SA Monitoring and Mitigation Research Team, KAERI
Areas of interest: Human System Interfaces Design and Evaluation, Human Error and Reliability