

3D 시각피로 유발에 따른 안면 온도 변화

Variation of facial temperature to 3D visual fatigue evoked

황성택* · 박상인* · 원명주* · 황민철***†

Sung Teac Hwang* · SangIn Park* · Myoung Ju Won* · MinCheol Whang***†

상명대학교 감성공학과*

Department of Emotion Engineering, Sangmyung University*

상명대학교 디지털미디어학부**

Department of Digital Media, Sangmyung University**

Abstract

As the visual fatigue induced by 3D visual stimulation has raised some safety concerns in the industry, this study aims to quantify the visual fatigue through the means of measuring the facial temperature changes. Facial temperature was measured for one minute before and after watching a visual stimulus. Whether the visual fatigue has occurred was measured through subjective evaluations and high cognitive tasks. The difference in the changes that occurred after watching a 2D stimulus and a 3D stimulus was computed in order to associate the facial temperature changes and the visual fatigue induced by watching 3D contents. The results showed significant differences in the subjective evaluations and in the high cognitive tasks. Also, the ERP latency increased after watching 3D stimuli. There were significant differences in the maximum value of the temperature at the forehead and at the tip of the nose. A previous study showed that 3D visual fatigue activates the sympathetic nervous system. Activation of the sympathetic nervous system is known to increase the heart rate as well as the blood flow into the face through the carotid arteries system. When watching 2D or 3D stimuli, the sympathetic nervous system activation dictates the blood flow, which then influences the facial temperature. This study is meaningful in that it is one of the first investigations that looks into the possibility to measure 3D visual fatigue with thermal images.

Key words : 3D Visual fatigue, Thermal image camera, Facial temperature

요약

본 연구는 3D 산업의 안전성 문제인 3차원 콘텐츠로 유발된 시각피로를 안면 온도 변화로 정량화하는 방법을 제안하고자 한다. 콘텐츠 시청 전과 후에 각 1분간 열화상 카메라를 이용하여 안면온도를 측정하였고 주관설문과 인지부하 실험을 통해 시각피로를 판단하였다. 2D와 3D의 시청 전과 후를 비교하여 3D 콘텐츠 시청에 따른 시각피로 유발 시 안면 온도에 차이를 확인하였다. 시청 전과 후에 차이를 비교한 결과 주관 설

* 이 논문(저서)은 산업통상자원부 및 산국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(2013-10038745, 인체안전성을 위한 3D기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구)와 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응솔루션> 글로벌프런티어사업으로 수행된 연구임(2013-0029756)

† 교신저자 : 황민철 (상명대학교 디지털미디어학부)

E-mail : whang@smu.ac.kr

TEL : 02-2287-5293

FAX : 02-2287-5425

문과 인지부하 실험은 유의한 차이를 보였고 ERP latency는 3D 시청 시 증가하는 것으로 나타났다. 안면 온도의 경우 미간(forehead)과 코끝(tip of the nose) 영역의 최대값을 비교 결과 유의한 차이를 보였다. 선행 연구에서 3D 시각피로 발생 시 교감신경계가 항진됐던 결과와 비교해보면 교감신경계가 항진되면 심박 수가 증가하고 목동맥계(carotid arteries system)를 통한 안면으로의 혈류량이 증가하게 된다. 2D와 3D 시청 시 교감신경계 항진 정도에 따라서 혈류량 변화로 안면 온도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 본 연구는 열화상이미지를 이용한 3D 시각피로 측정 가능성을 확인하는데 의의가 있다.

주제어 : 3D 시각피로, 열화상 카메라, 안면 온도

1. 서론(Introduction)

최근 디스플레이와 영상 처리 기술의 발전으로 깊이 감 있는 입체영상인 3D 기술이 발전되었다. 기술 발전에 맞춰 3D 콘텐츠 및 관련 서비스 산업이 같이 성장하고 있다. 특히 기존에는 안경 방식으로 3D 콘텐츠를 시청하는 형태로 발전해 왔으나 최근 무안경식 3D 디스플레이 개발에 따라 관련 연구들도 진행되고 있다(Kim *et al.*, 2012). 2005년 국제표준화기구(ISO)에서는 영상 안전성과 관련된 광과민성발작, 영상멀미, 시각피로가 포함되어있는 가이드를 제시하였다(IWA3; ISO, 2005). 안전성 문제는 개인차가 존재하지만 콘텐츠 시청 시 3D 입체감을 경험하면서 2D에 비해 어지러움, 두통, 안구 통증과 같은 증상들을 더욱 자주 경험하게 된다. 이러한 3D 콘텐츠 시청 시 발생하는 인체의 증상들을 3D 시각피로(3D visual fatigue)라고 하며 3D 산업 발전을 위해 해결해야 할 문제이다(IWA3; ISO, 2005).

인체 안전성 문제가 이슈화되면서 시각피로를 정량적으로 측정하고 평가하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다(Furusko *et al.*, 2002; Polonen *et al.*, 2009; Oyamada 2007; Solimini 2011). Takahashi(2006)의 연구에서는 시각피로를 주관설문을 통해 측정하고 게임에서 유발되는 시각피로를 생리신호(PPG: Photo-PlethysmoGram, GSR: Galvanic skin reflex, SKT: Skin temperature) 통하여 평가하고자 하였다. 또한, 유발 뇌파를 통한 시각피로 확인과 뇌 인지 반응을 통한 시각피로 접근 방법 등을 이용하여 시각피로에 대한 연구를 진행하였다(Li *et al.*, 2008, Trejo *et al.*, 2007). 하지만 이러한 접촉식 센싱 기법을 이용하면 센서 착용에 대한 부담감으로 또 다른 피로가 유발 될 수 있다. 이에 따라 눈 영상을 취득하여 눈 깜빡임과 동공 조절 속도를 통해 시각피로를 평가하는 연구도 진행되고 있다(Lee, 2011). 이렇게 시각피로를 평가할 수 있는 연구들이 많이 있으며 뇌파, 생리신호, 비전 기술 등을 활용하여 다양한 평가 방법으로 연구되고 있

다. 생체실험의 경우 센서 착용에 대한 부담감으로 최근 CCD(charge-coupled device camera)렌즈 기반의 카메라를 이용하는 연구들이 늘어나고 있다. 하지만 3D 콘텐츠의 대부분이 영화관이나 가정에서 TV를 통해 시청되고 있다. 빛에 영향을 많이 받는 CCD 기반의 영상은 어두운 영화관 등에서는 사용하기 어려움으로 환경적 제한이 있다. 그러나 열화상 카메라를 이용한 적외선 영상은 빛에 대한 주변 환경적 요인에 제한을 덜 받는다.

열화상 카메라는 적외선을 방사시켜 측정하며 인체에서 방사되는 적외선을 통해 온도를 측정한다. 모든 물체는 절대 온도인 -273도 이상이면 해당 파장의 빛을 방출한다. 인체의 체온은 37도 전과 후이며 8~14 μm 의 파장 대역의 적외선 빛을 방출한다. 인체의 온도에 따라서 파장의 빛이 다르게 방출되는 원리를 이용하여 열화상 카메라를 통해 인체 온도를 측정 가능하다. 프랭크 발열체 연구 이론에 따르면 모든 물체는 일정한 경로를 따라 에너지를 발산한다. 흑체는 다른 에너지원으로부터 간섭을 받지 않고 외부로 열을 반사하지 않으면서 자체적으로 이상적인 에너지를 발산한다. 인체의 피부는 이런 흑체와 매우 비슷하여 좋은 발산 수치를 유지하며 병원에서 사용되는 체열 진단기와 같은 제품들이 이와 같은 원리를 가지고 있다.

최근 이러한 적외선 열화상 카메라를 이용하여 감정이나 정서 상태를 추론하고자 하는 연구들이 진행되고 있다(Jarlier *et al.*, 2011; Nhan & Chau, 2010). 열화상 카메라의 경우 대상에서 열에너지를 탐지하여 전기적 신호로 변환하고 화상으로 표현되는 기술이다. 대상자에게 센서를 부착 시키지 않고 온도를 측정 할 수 있는 비접촉식 형태로 대상의 온도를 관찰 할 수 있다. 특히 열화상의 장점으로 조명 등과 같은 빛에 의해 대상의 밝기와 명암 변화 차이가 거의 없는 영상을 얻을 수 있다. 자율신경계의 작용에 따른 혈관 수축과 팽창, 땀샘 등의 작용이 안면 온도에 영향을 미치는 것으로 보인다(Tsiamyrtzi *et al.*, 2007). 안면 온도를 이용한 연

구 동향은 [Table 1]과 같다. 이러한 안면의 피부 온도 변화는 교감 및 부교감신경계의 항진에 따라 심혈관계 및 말초모세혈관 등의 증가 또는 감소로 인한 혈류량 변화로 이루어진다(Kreibig, 2010). 3D 시각피로는 교감신경계에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Park et al., 2011). 따라서 안면 온도는 인체의 생리적 메커니즘에 기반 되어 변화가 일어남으로 안면 온도를 통한 시각 피로를 측정 할 수 있을 것으로 보여 진다. 본 연구는 환경적인 제한요소를 최소화하고 센서 착용에 대한 부담을 덜어주는 열화상 카메라를 이용해 3D 콘텐츠 시청 시 발생하는 시각피로 유발을 안면 온도의 변화로 측정에 대한 정량화 가능성을 찾고자 하였다.

Table 1. 안면 온도를 이용한 연구 동향

측정 위치	평가 방법	참고 문헌
눈사이, 콧날, 코끝, 이마	시청각 자극에 따른 온도 변화	Eum, et al., (2012)
이마, 코, 뺨	2~10개월의 유아 대상 기쁜 표정 시 안면 온도 변화	Nakanishi, R. & Imai-Matsumura, K. (2008)
코	각성 수준과 뇌파와 코의 온도 상관성	Nozawa, A. & Tacano, M. (2009)
손가락, 이마, 눈	공포/기쁨 상태에서의 온도 변화	Hirota, A. & Hirai, H. (1990)
눈, 눈썹(미간), 입, 코	4지점의 정서적 감정상태 유발 시 온도 변화	Jin-sup eom, jin-hun sohn (2012)
코, 이마, 뺨, 턱	스트레스 자극에 의한 온도 변화	Hirokazu, et al., (1997)
코	Mental Task 수행에 따른 안면 온도 변화	Tiejun, et al., (2006)
이마, 코	MLT(Mental Loading Task) / 시뮬레이터 수행 시 온도 변화	Calvin, et al., (2007)

2. 실험 방법(Method)

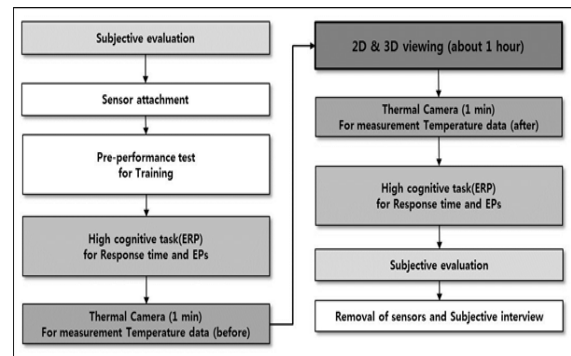
2.1. 피험자(subject)

본 연구에 참여한 피험자는 상명대학교 재학생 26명을 대상으로 하였으며(남 11명, 여 15명; 평균나이 23.5세 ± 2.08) 2D 군과 3D 군으로(각 13명) 나누어 실험을 진행하였다. 실험 전 카페인, 음주, 흡연 등의 실험에 영향을 미칠 수 있는 요소를 제한하고 실험 전

에 피로를 최소화할 수 있도록 피험자에게 충분한 수면을 취하도록 하였다. 실험에 참여한 모든 피험자에게 연구목적은 제외한 실험에 대한 대략적인 사항을 설명한 후 자발적 의지로 피험자 동의서 받았고 실험 참여에 따른 실험비를 지급하였다. 실험 절차는 헬싱키 선언에 따라 상명대학교 윤리위원회 심의를 받아 진행하였다.

2.2. 실험절차(Process)

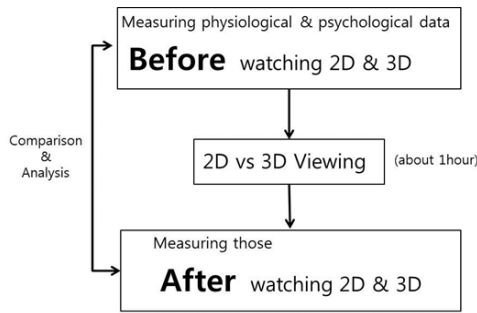
실험절차는 주관 설문지를 받고 각 장비의 상태확인 및 착용이 완료 되면 진행 하도록 하였다. 자세한 실험 절차는[Figure 1]과 같다.



[Figure 1. 실험 진행 순서도]

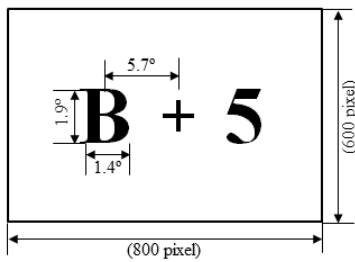
2.3. 실험자극(Stimulation)

피험자는 편안한 의자에 앉아 각 시청 군에게 맞게 1시간 동안 시청하고 시청 전과 후에 표적자극 검출 및 반응시간, 주관평가, 온도 데이터를 측정하였으며 자극 및 데이터 수집 방법은 [Figure 2]와 같다. 시각 피로를 최대한 유발하기 위해 시청거리를 1 m로 하였으며 시청 환경의 조명을 어둡게 하여 제시되는 시청 자극에 집중 할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 시청 자극은 스텝업 3D(Step Up 3-D, 2010)를 사용하였으며 40inch LED 3D TV(UN40D6400, Samsung)를 통하여 2D와 3D 콘텐츠를 이용하여 각 시청 군에 맞도록 제시하였다. 시각피로 유발 여부를 확인하기 위한 인지부하 실험은 선행 연구를 참조하였다(Park et al., 2013; Mun et al., 2012; Toffanin et al., 2009; Morgan et al., 1996).



[Figure 2. 2D/3D 시청 군의 자극 및 데이터 수집/분석 방법]

실험 자극은 표준자극(A에서 K까지)과 표적자극 1개(숫자 5) 총 12개의 문자를 6 Hz 속도로 무작위하게 실시간으로 제시하여 표적자극을 인식하였을 때 키보드를 눌러 검출하는 형태로 제시하였으며 선행연구(Park et al., 2013)에서 제시하는 자극 구성 화면은 [Figure 3]와 같다.



[Figure 3. 표적자극 제시 화면]

2.4. 데이터 수집(Acquisition)

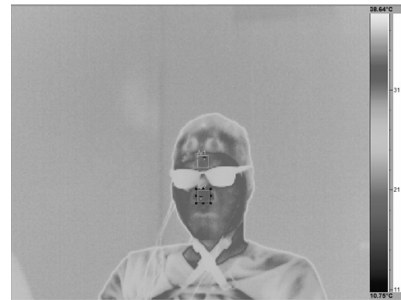
실험 전과 실험 후에 Li 등(2010)이 개발한 측정도구를 이용하여 피험자의 상태에 대해 주관적 피로평가를 실시하였고 실험 후 인터뷰를 통해 시각피로 유발 정도를 확인하였다. 시각적 스트레스(VS, visual stress), 눈 통증(eye pain), 신체 통증(BP, body pain), 상 흐림(IBP, image blurring factors)의 4가지 요인을 5점 척도로 하여 주관평가를 구성하였으며 역 문항을 포함하여 주관평가의 신뢰성을 확보하였다. 또한, 시청 전과 시청 후에 인지부하 실험을 통하여 인지피로 관점에서의 시각피로 유발을 표적자극 검출 정확도(Performance)와 표적자극 반응 시간(Response Time)을 통해 시각피로 발생에 대한 평가를 실시하였다. 뇌파(EEG: electroencephalography) 8채널(F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2)을 측정하여 실제 뇌파에서 인지적 관점의 인지피로 발생 여부를 평가하였다.



[Figure 4. 열화상카메라 측정 그림]

열화상 이미지 데이터 수집은 국내(KCC: Korea Communications Commission) 및 국외(CE: European Organization for Testing & Certification, FCC: Federal Communications Commission) 인증을 받은 열화상 카메라(CX-320U, COX Co. Ltd)를 사용하였다. 영상은 해상도 320 x 240, 60 Fps 로 측정되었으며 시청 전과 후로 나뉘어 각 1분씩 측정 하였다. 측정 화면은 [Figure 4]와 같다.

2.5. 데이터 처리(Processing)



[Figure 5. 열화상 카메라 데이터 검출 그림]

열 영상 데이터는 실험의 환경적 요인과 분석하고자 하는 목적에 맞춰 미간과 코끝 지점에 대하여 온도를 추출하였다. 피험자의 시청 중 움직임 발생에 따라 1 초 단위로 구간을 설정하여 시청 전과 시청 후 1분 동안 각 지점의 이동에 맞춰 온도 데이터를 추출하여 움직임에 따른 오차를 최소화 하였다. 인지부하 실험의 경우 시청 군에 따른 표적자극 검출에 대한 표적자극 검출 정확도와 표적자극 반응 시간을 토대로 시각피로 유발 여부를 확인하였다.

2.6. 데이터 분석(Analysis)

각 시청 군에 시청 전과 후 차이는 [Eq 1]의 공식을 사용해 변화량을 구하여 2D와 3D의 시각피로 변화 차이를 비교하였다.

$$\text{변화량} = \frac{(\text{시청후} - \text{시청전})}{\text{시청전}}$$

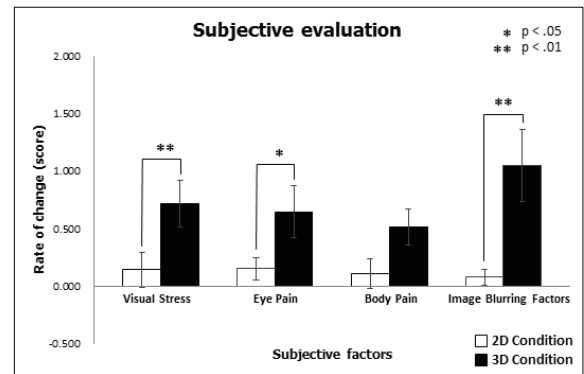
[Eq 1. 시청 전/후 변화량 공식]

실험 결과는 SPSS 17.0K (SPSS, an IBM Company)를 사용하여 통계 분석 하였다. 정규성 검정을 통하여 정규분포를 확인하였다. 주관평가의 경우 정규성을 따르는 신체적 통증 모수검정을 실시하였고 나머지 스트레스, 안구통증, 상호림은 정규성을 따르지 않는 것으로 나타나 비모수 검정을 실시하였다($p > .05$). 인지부하 실험의 표적자극 검출 정확도와 표적자극 반응 시간 모두 정규성을 따르지 않아 비모수 검정을 실시하였다($p > .05$). ERP latency는 F3, C3, P3, P4 지점은 정규성을 따르지 않아 비모수 검정을 실시하였고 그 외 지점은 모수 검정을 통하여 두 집단 간 변화 차이를 볼 수 있도록 하였다. 열 영상의 경우 코 끝 영역은 정규성을 따르는 것으로 나타나 모수검정을 실시하였고 미간 영역은 정규성을 따르지 않아 비모수 검정을 실시하였다($p > .05$).

3. 결과(Result)

3.1. 주관평가(subjective evaluation)

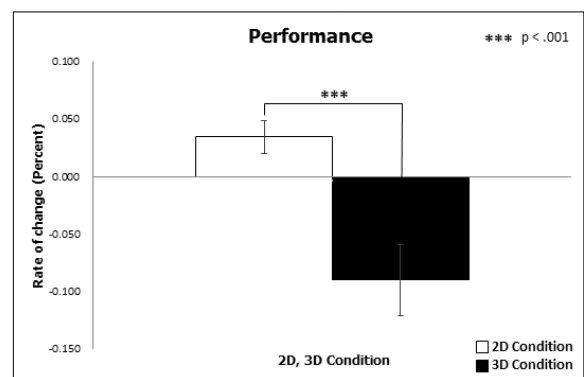
주관평가 설문 결과 2D의 시청 전과 후 보다 3D의 시청 전과 후가 시각피로를 더 호소하는 것으로 나타났으며 시청 전과 후의 변화량은 2D 보다 3D에서 더 많은 변화 폭을 보였다. 주관평가 요소 중 신체적 통증의 경우 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며($t = -1.896, p = .070$). 그 외 요소인 시각적 스트레스($z = -2.590, p = .010$), 안구 통증($z = -2.185, p = .029$), 상호림($z = -2.661, p = .008$) 모두 유의한 차이를 보였다. 통계 분석 결과는 [Figure 6]과 같다.



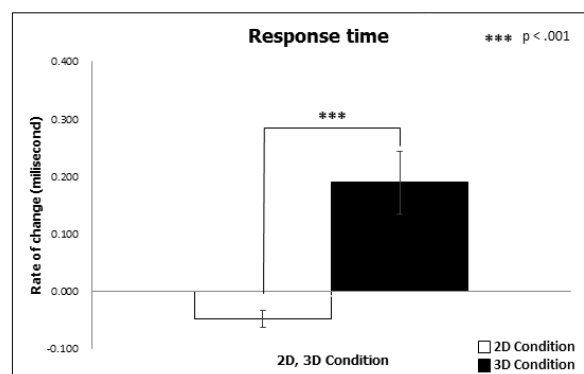
[Figure 6. 2D/3D간 주관평가 점수 변화량 평균]

3.2. 인지부하(high cognitive task)

2D의 시청 전과 후의 차이에서는 표적자극 검출 정확도는 증가, 표적자극 반응 시간은 감소하는 형태를 보였고 3D의 경우 표적자극 검출 정확도는 감소, 표적자극 반응시간은 증가하는 형태를 보였다. 2D와 3D의 시청 전과 후의 차이를 변화량 기준으로 비교 결과 표적자극 검출 정확도 ($z = -3.207, p = .001$), 표적자극 반응 시간 ($z = -.462, p = .001$) 모두 유의한 차이를 보였다. 통계 분석 결과는 [Figure 7]과 [Figure 8]와 같다.



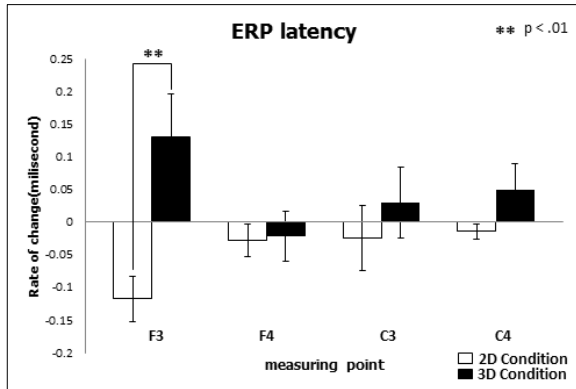
[Figure 7. 2D/3D간 표적자극 검출 정확도 변화량 평균]



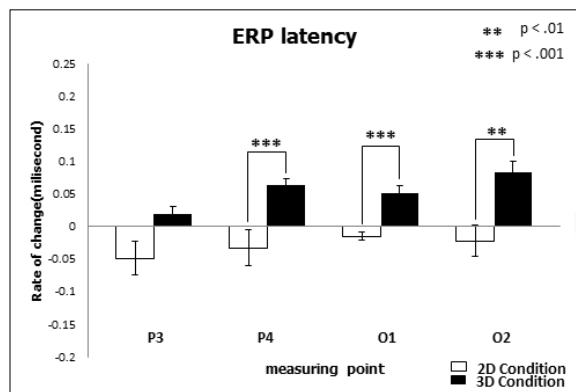
[Figure 8. 2D/3D간 표적자극 반응 시간 변화량 평균]

3.3. ERP latency

2D 와 3D 시청 군의 ERP latency를 시청 전과 후의 변화량으로 분석하였다. 2D 시청 군의 경우 시청 후에 ERP latency가 감소하는 경향을 보였으며 3D 시청 군의 경우 F4 지점을 제외한 다른 측정지점에서 증가하는 경향을 보였다.



[Figure 9. 2D/3D간 ERP latency 변화량 평균]



[Figure 10. 2D/3D간 ERP latency 변화량 평균]

F4, C3, C4, P3 지점에서는 유의차를 보이지 않았지만(F4: $t = -.147, p = .884$, C3: $z = -1.154, p = .249$, C4: $t = -1.486, p = .155$, P3: $z = -1.923, t = .054$) F3, P4, O1, O2 지점에서는 유의차를 보였다(F3: $z = -3.359, p = .001$, P4: $z = -3.821, p = .000$, O1: $t = -4.462, p = .000$, O2: $t = -3.525, p = .002$).

3.4. 열 영상(thermal image)

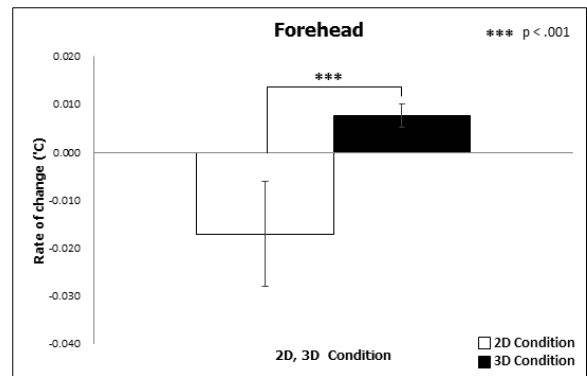
열 영상을 통한 미간과 코끝 지점 영역 대한 최대값의 데이터 분석 결과 2D 시청 전과 후, 3D 시청 전과 후의 차이를 변화량으로 비교하였다. 분석한 안면

온도의 평균 데이터는 [Table 2]와 같다.

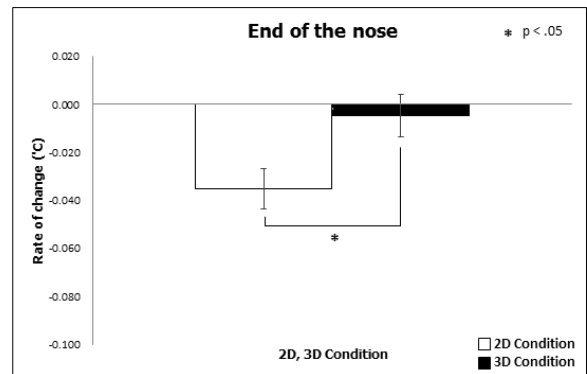
Table 2. 2D, 3D 시청 전/후 안면온도 평균

		미간		코끝	
		시청 전	시청 후	시청 전	시청 후
2D	평균(°C)	35.12	34.47	34.34	33.15
	변화량(%)	-0.017078		-0.035247	
	표준편차	0.039452		0.030427	
	표준오차	0.010942		0.008439	
3D	평균(°C)	34.49	34.75	33.40	33.23
	변화량(%)	0.007610		-0.004732	
	표준편차	0.008935		0.031387	
	표준오차	0.002478		0.008705	

콘텐츠 시청 시 2D 보다 3D가 미간 온도가 증가하는 형태를 보였으며 미간($z = -3.359, p = .000$), 코끝 ($t = -2.418, p = .024$) 지점 모두 유의차를 확인하였다. 미간과 코끝의 분석 결과 그래프는 [Figure 11]와 [Figure 12]과 같다.



[Figure 11. 2D/3D간 미간 온도 변화량 평균]



[Figure 12. 2D/3D간 코끝 온도 변화량 평균]

4. 결론 및 논의(discussion)

본 연구는 비접촉식 비전 기술과 빛에 영향을 적게 받는 열화상 카메라를 이용하여 2D와 3D 콘텐츠 시청 시 발생하는 시각피로 유발에 따른 안면 온도의 변화 및 시각피로 측정의 가능성을 확인하였다. 실험은 남녀 대학생 피험자 26명을 대상으로 1시간 동안 각 시청 군에게 맞게 시청하도록 하고 시청 전과 시청 후 1분간 열화상 영상을 측정하였다. 시각피로가 유발 되었는지 확인하기 위하여 시청 전과 후에 주관 평가와 인지부하 실험을 진행하였다.

주관평가 결과 신체적 통증의 경우 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 시각적 스트레스, 안구 통증, 상호림은 유의한 차이를 보였다. 인지부하 실험 결과 표적 자극 검출 정확도와 표적 자극 반응 시간의 경우 모두 유의한 차이를 보였다. 표적 자극 검출 정확도가 증가하는 것은 시각피로를 인지피로 관점에서 볼 때 시각피로가 발생하면 인지적 부하가 증가함으로 표적 자극 검출 정확도는 감소하고 반대로 표적 자극 반응 시간은 증가하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 2D 보다 3D 콘텐츠를 시청 할 때 더욱 피로를 느낀 것으로 볼 수 있다.

ERP latency 분석 결과는 2D 보다 3D에서 ERP latency가 더 딜레이 되는 것으로 나타났다. 선행 연구들에서 보고되고 있는 결과와 동일하며 시각정보처리를 하는 대뇌의 고인지 과정(high level cognition)에 따른 인지적 부하가 발생한 것으로 해석하고 있다(Mun *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2012; Kaseda *et al.*, 1998). 따라서 본 연구의 결과는 인지적 관점에서의 시각피로가 정상적으로 유발 된 것으로 볼 수 있다. 시각피로 유발 시 미간과 코끝 또한 2D 보다 3D 시청 시 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 3D 시각피로 발생 시 자율신경계 기능에 영향을 미치고 교감신경계가 항진되는 반응이 나타나는 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2011). 인체의 피부온도는 말초모세혈관을 통한 수축과 확장에 따라 혈류량이 조절이 되고 혈류량에 따라 피부온도의 증가 또는 감소가 나타나게 된다(Kreibig, 2010).

안면부 혈관의 수축과 확장은 교감신경계, 부교감신경계, 삼차신경계(Trigeminal neuralgia), 통각수용기(Nociceptors)의 매개 혈관으로 조절이 된다(Izumi, 1999). 이러한 생리적 메커니즘에 의해 2D와 3D 시청 시 코끝과 미간의 유의한 온도 증가는 안면으로의 혈류량이 증가하는 것으로 볼 수 있고 혈류량의 증가는 교감신경계 항진에 따른 심박 수 증가

에 의한 것으로 해석 될 수 있다. 선행 연구의 3D 시각피로 발생 시 교감신경계 항진이라는 결과를 안면 온도의 변화를 통하여 얻을 수 있는 것을 확인하였다. 안면의 미간과 코끝의 시청 전과 후의 유의한 온도 증가로 시각피로의 정량적 측정 가능성을 확인하였다.

3D 시각피로 측정 시 무구속, 무자각 형태의 비접촉형 센싱 기법과 빛에 영향을 적게 받는 열화상 카메라를 이용하여 센서 착용의 부담감과 빛에 대한 한계점을 최소화 하였다. 이로써 3D 콘텐츠 시청 시 시청자에게 아무런 제약 없이 시각피로에 대한 반응을 확인 할 수 있게 되었다. 하지만 본 연구는 시각피로를 측정함에 있어 새로운 정량적 측정방법을 확인한 연구로써 시청 중 발생하는 자연스러운 움직임, 3D 안경 방식, 다른 안면 지점의 온도 변화 및 개인별 생리적 특성 반영 등에 대한 보정 및 트래킹 기술의 추가적인 연구가 필요하다.

새로 개발 되는 무안경식 3D 디스플레이와 같은 그 외 다른 환경적 요인에 대한 고려도 필요하다. 시각피로를 측정하는 방법에 대한 다양한 측정 방법들과의 상관성을 통해 새로운 측정 방법을 제안하는 추가 연구 진행 되어야 할 것이다. 이러한 한계점들을 해결해 나간다면 안전성이 고려된 3D 기술 산업에 기여 할 수 있을 것이다. 본 연구는 3D 콘텐츠 시청 시 발생하는 시각피로에 안면 온도 변화 및 정량적 측정 방법에 대한 가능성을 확인한 연구로써 의의가 있다.

REFERENCES

- Furusho, J., Suzuki, M., Takakusa, Y., Kawaguchi, F., Ichikawa, N., & Kato, T. (2002). A comparison survey of seizures and other symptoms of Pokemon phenomenon, *Pediatric Neurology*, 27(5), 350-355.
- Heo, H., Lee, E. C., Woo, J. C., Kim, C. J., Park, K. R., & Whang, M. C. (2010). A Realistic game system using Multi-modal user interface, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53(6), 1364-1372.
- Izumi H, (1999), Nervous Control of Blood Flow in the Orofacial Region, *Pharmacol, Ther*, 81(2), 141 - 161.
- Jarlier, S., Grandjean, D., Delplanque, S., N'Diaye, K., Cayeux, L., Velazco, M. L., Sander, D., Vuilleumier, P. & Scherer, K. R., (2011). Thermal analysis of facial muscles contractions, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2, 2-9.

- Kaseda, Y., Jiang, C., Kurokawa, K., Mimori, Y., & Nakamura, S. (1998). Objective evaluation of fatigue by event-related potentials, *Journal of the Neurological Sciences*, 158, 96-100.
- Kim, D. J., Li, H. C., Kim, S. W. (2012). Glasses-free Interactive 3D Display: The Effects of Viewing Distance, Orientation and Manual Interaction on Visual Fatigue, *The Korean Society of Broadcast Engineers*, 17, 4, 572-583.
- Lee, E. C. (2011). Camera Vision Based System for Quantitatively Measuring Emotional Responses Caused by Visual Stimuli, In *Proceeding of Korean Workshop on Image Processing and Image Understanding*, to be appeared.
- Li, H.-C. O. (2010). Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue, *The Korean Society of Broadcast Engineers*, 15(5), 607-706.
- Li, H.-C. O., Seo, J. H., Kham, K. T., & Lee, S. H. (2008). Measurement of 3D Visual Fatigue Using Event-Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm. *3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video*, 213-216.
- Mun, S., Park, M. C., Park, S. I., & Whang, M. (2012). SSVEP and ERP measurement of cognitive fatigue caused by stereoscopic 3D, *Neuroscience Letters*, 525(2), 89-94.
- Nhan, B. R. & Chau, T. (2010). Classifying affective states using thermal infrared imaging of the human face, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57, 979-987.
- Oyamada, H., Iijima, A., Tanaka, A., Ukai, K., Toda, H., Sugita, N., Yoshizawa, M., & Bando, T. (2007). A pilot study on pupillary and cardiovascular changes induced by stereoscopic video movies, *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 4(1), 37.
- Park, S. I. (2013), Evaluation method of 3D cognitive fatigue based on brain-heart connectivity. Master's Thesis, Department of Emotion Engineering, University of Sangmyung
- Park, S. I, Whang, M. C, Kim, J. W, Mun, S. C, Ahn, S. M., (2011), Autonomic Nervous System response affected by 3D visual fatigue evoked., *Korean Society for Emotion & Sensibility*, 14(4), 653-662.
- Polonen, M. & Hakkinen, J. (2009). Near-to-Eye Display; An Accessory for Handheld Multimedia Devices: Subjective Studies, *Journal of Display Technology*, 5(9), 358-367.
- Solimini, A., Mannocci, A., & Thiene, D. (2011). A pilot application of a questionnaire to evaluate visually induced motion sickness in spectators of tridimensional (3D) movies, *Italian Journal of Public Health*, 2(8).
- Sylvia D. Kreibig. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion : A review. *Biological Psychology*. 84, 934-421.
- Takahashi, M. (2006). LCD vs PDP picture quality status and the task of FPD TVs, *Korean Display Conference COEX, Seoul. South Korea*.
- Trejo, L. J., Knuth, K., Prado, R., Rosipal, R., Kubitz, K., Kochavi, R., Matthews, B., & Zhang, Y. (2007). EEG-Based Estimation of Mental Fatigue: Convergent Evidence for a Three-State Model, *Lecture Notes in Computer Science*, 201-211.
- Tsiamyrtzi, P., Dowdall, J., Shastri, D., Pavlidis, I. T., Frank, M. G., Ekman, P., (2007). Imaging facial physiology for the detection of deceit, *International Journal of Computer Vision*, 71, 197-214.
- WA3:ISO, International Workshop Agreement 3. Ishigure, Y., Suyama, S., Takaha, H., Nakazawa, K., Hosohata, J., Takao, Y., & Fujikado, T. (2004). Evaluation of visual fatigue relative in the viewing of a depth-fused 3-D display and 2-D display, *Proc Int Diso Worksjops*, 11, 1627-1630.

원고접수: 2013.08.05

수정접수: 2013.11.07

게재확정: 2013.12.24