

목적 기반 XR 디바이스의 사용성 평가를 위한 평가체계 분석 및 검증 연구

차영우¹⁾, 이기현¹⁾, 이창기¹⁾, 이상봉¹⁾, 권오흥¹⁾, 이창규¹⁾, 이주연²⁾, 윤정민^{1)*}

1) 한국생산기술연구원, 2) 아주대학교 산업공학과

A Study on the Analysis and Verification of Evaluation system for the Usability Evaluation of Purpose-Based XR Devices

Young Woo Cha¹⁾, Gi Hyun Lee¹⁾, Chang Kee Lee¹⁾, Sang Bong Lee¹⁾, Ohung Kwon¹⁾

Chang Gyu Lee¹⁾, Joo Yeoun Lee²⁾, JungMin Yun^{1)*}

1) Korea Institute of Industrial Technology, 2) Ajou University

Abstract: This study aims to compare and evaluate the usability of domestic and overseas XR devices. With the recent release of 'Apple Vision Pro', interest in the XR field is increasing rapidly. XR devices are being used in various fields such as defense, medical care, education, and entertainment, but the evaluation system for evaluating usability is still insufficient. Therefore, this study aims to derive improvements in domestic equipment through comparative evaluation of usability for two HMD-type devices and one glasses-type device that are released. In order to conduct the study, 20 participants in their 20s to 30s who were interested in XR devices and had no visual sensory organ-related disabilities were evaluated by wearing VR equipment. As a quantitative evaluation, electromyography through an EMG sensor and the device and body temperature of the device through a thermal imaging camera were measured. As a qualitative evaluation, the safety of wearing, ease of wearing, comfort of wearing, and satisfaction of wearing were evaluated. As a result of comparing the usability of the devices based on the results, it was confirmed that domestic HMD-type device needs improvement in the strap part.

Key Words: XR Devices, Usability Evaluation, ease of wearing, comfort of wearing, HMD-type, glasses-type

Received: April 23, 2024 / **Revised:** May 30, 2024 / **Accepted:** June 11, 2024

*Corresponding Author: JeongMin Yun/Korea Institute of Industrial Technology/jmyun@kitech.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

최근 메타버스 이슈의 부상과 애플 비전 프로의 출시 등으로 XR 분야 관심도가 글로벌 차원에서 증가하고 있다. XR 기술은 제조, 교육, 의료, 국방, 엔터테인먼트 등 다양한 분야에서의 활용이 가능하며 생산성 확대가 증가되고 있다.[1] 2022년 기준 XR 산업 시장 규모 성장 전망치는 연평균 30%이상으로 조사되었다.[2] 교육에서는 학습자에게 실제 실험실이나 현장 학습과 유사한 경험을 제공하여 학습 효과를 극대화하며 의료 분야에서는 수술 계획 및 시뮬레이션, 진단 및 치료 과정에서 중요한 역할을 하고 있다.[3] 엔터테인먼트 분야에서는 VR과 AR을 통해 새로운 형태의 콘텐츠를 창출하는 등 새로운 시장을 개척하고 있다.[4]

XR디바이스의 사용 목적에 따라 장비가 다르게 사용된다. 제조, 의료, 국방, 교육, 엔터테인먼트 등 다양한 분야에서 사용되기 때문에 각 분야에 고유한 요구 사항과 목적에 맞게 XR디바이스를 사용할 필요가 있다. 예를 들어 교육용 디바이스는 접근성과 편의성에 초점을 맞추고, 의료용 디바이스는 정밀성과 높은 이미지 품질이 요구되며, 실외에서 사용되는 디바이스는 밝은 환경에서도 선명한 시각 정보를 제공할 수 있는 디스플레이 기술이 필요하며, 게임용 장비는 몰입감을 위한 고해상도 디스플레이와 장시간 사용이 필요한 가벼운 무게감 등 배터리, 장비의 무게 등의 각각 다른 XR 디바이스가 필요하다.

XR분야 관심도가 이처럼 증가하고 있으나 XR디바이스의 사용성을 평가하는 평가체계는 아직 부족하다. 다양한 목적을 위한 디바이스들이 개발되고 있으나, 디바이스가 그 목적에 적합하게 설계되었는지 사용성 평가를 통한 검증은 부족한 상황이다. 디바이스의 무게감, 착용감, 발열 등과 같은 요소는 사용자가 장시간 동안 디바이스를 사용할 수 있는지와 사용자의 전반적인 만족도에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 XR 디바이스의 정성적 사용성 평가는 사용자의 편안함과 전반적인 경험 품질을 향상시키기 위한 중요한 과정이며 이는 사용자의 요구와 목

적에 부합하는 제품을 설계하고 개발하는 데 필수적인 역할을 한다.

기존 연구들은 단일 XR 디바이스나 HMD형 장비에 초점을 맞추고 있는 연구들이 많다. 한 가지 장비를 사용하여 과업 수행 후 그 장비에 대한 사용성을 평가하거나 일반 디스플레이와 비교평가 하는 연구들이 진행되었으나, 두 가지 이상 또는 서로 다른 유형의 장비에 대한 사용성 비교평가를 한 연구들은 많지 않다. 이는 다양한 사용자 환경과 요구 사항을 충분히 반영하지 못할 수 있다. 본 연구에서는 HMD형 디바이스인 국내에서 개발한 A 제품과 해외에서 개발한 B 제품 두 가지와 국내서 개발한 글래스형 디바이스 C 제품의 비교평가를 통해 향후 개발될 목적 기반 XR디바이스의 사용성 평가를 위한 평가체계를 개발하고 이를 검증하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 XR 디바이스의 이해

XR은 Extended Reality, 확장현실로 가상현실(Virtual Reality, VR), 증강현실(Augmented Reality, AR), 혼합현실(Mixed Reality, MR)을 통칭하는 기술이다.[5] VR은 컴퓨터 그래픽스를 이용하여 현실과 유사하거나, 현실에 존재하지 않는 가상 객체 및 공간을 시각화하고, 여러 종류의 장비로 가상의 현실과 감각적으로 상호작용 할 수 있는 것을 의미한다.[6] 증강현실(AR)은 가상으로 만들어진 컴퓨터 이미지, 음성, 영상 등의 데이터 정보를 카메라로 촬영된 현실의 이미지나 환경과 혼합하여 다양한 정보를 더하거나 증강시키는 기술이다.[7] MR은 VR과 AR이 통합된 개념으로서, 가상의 컴퓨터 그래픽을 현실의 3차원 장면 투영하여 융합하는 기술이다.[7] XR디바이스는 이러한 기술을 구현시키는 장비로, 머리에 써서 착용하는 HMD(Head-Mounted Display)형 장비와 안경형식으로 착용하는 글래스형 장비가 있다.

2.2 XR의 사용성

XR디바이스 사용 시 발생하는 부작용으로는 자극적인 시각 효과로 뇌전증 유발, HMD 이용으로 인한 목, 어깨 근육 영향, 눈의 피로 등이 있다.[8] 이와 같이 XR디바이스 이용 시 발생하는 안전성 문제의 원인으로 다양한 요인이 도출되고 있으며, 이에 따른 사용성 평가에 대한 기준이 필요한 상황이다. 따라서 XR 사용성 평가체계 구축을 위한 관련 연구가 필요하며, XR디바이스의 무게감, 발열감, 착용감에 대한 연구를 진행하였다.

XR 디바이스 사용성 평가에 있어 무게감은 중요한 평가요소로 작용된다. HMD 장비의 무게감이 이용자의 무게중심에 영향을 미치며, 무게 중심으로 인한 머리가 앞으로 기울어지는 것은 불편감 뿐만 아니라 목 디스크 등 근골격계에 영향을 줄 수 있는 것으로 확인되었다.[9] 이는 사용자가 얼마나 자주, 오랜 시간 동안 편안하게 착용할 수 있을지를 결정하는데 영향을 미치며, 장비의 무게가 사용자에게 지속적으로 인지되면 XR환경에 대한 몰입감을 방해할 수 있다. 무게감에 대한 사용성 평가 요소로는 디바이스 사용 시 무게 중심이나 무게감으로 인한 불편감 등이 있다.[10] 무거운 장비는 사용자가 빠르게 피로해지게 만들고, 사용 시간을 단축시킬 수 있다. 모든 사용자가 같은 체형을 가지고 있는 것이 아니기 때문에 가벼운 장비는 더 많은 사용자가 사용할 수 있다. 따라서 무게감이 XR디바이스의 사용성 평가에 중요한 요소로 작용 한다.

사용자가 디바이스를 착용하는 동안 발생하는 과도한 열은 불편함을 유발하고, 장기간 사용에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.[11] 사용자가 디바이스의 열을 느낄 때 이는 사용 경험을 저해하고 사용 중단으로까지 이어질 수 있다. 또한, 심한 발열은 사용자의 안전에도 문제가 될 수 있다. 장시간 사용 시 기기의 발열에 의해 저온화상에 노출이 될 수 있으며, 눈 주위가 밀폐되어 땀이나 습기 차는 경우가 있고 눈이 충혈 되거나 건조해지기 쉬울 수 있다. 이는 건강에 직접적인 영향이 갈 수 있으며, 장비

사용 시 집중도와 눈의 피로로 인한 어지러움도 느낄 수 있다. 민감한 피부를 가진 사용자나 열에 민감한 사용자는 발열 문제로 인해 XR디바이스의 사용에 제한이 있을 수도 있기 때문에 효율적인 열 분산 설계와 발열을 최소화함으로써 사용자가 더욱 안전하고 몰입감 있는 XR디바이스 사용을 가능하게 한다.

XR디바이스는 사용자의 머리 크기와 모양에 맞게 조절이 가능해야 하며 착용감 최적화를 통해 목과 머리에 가해지는 부담을 최소화해야 한다. 착용감에 영향을 주는 요소로는 피부에 접촉하는 부분의 재료나 무게 배분 등이 있다. 피부에 자극을 주지 않는 재료를 통해 사용자의 편안함을 증진시키고, 알레르기 반응이나 피부 문제를 예방하는 것이 중요하다. 또한, 통기성 있는 재료를 통해 장시간 사용 시 발생하는 발열감과 땀을 줄여줄 수 있다. 무게 배분도 착용감에 큰 영향을 미치는데, 무게나 무게 분배가 불균형할 경우 사용자는 빠르게 피로감을 느끼고 장시간 사용에 제한을 줄 수 있다.[12] 이러한 특성을 고려하여 착용감을 향상시키는 디바이스 설계를 통해 사용자의 만족도를 증가시킬 수 있으며, XR디바이스 사용을 촉진시킬 수 있다.

본 연구에서는 기존 문헌 연구들에서 XR 디바이스의 사용 시 중요한 요소로 파악 되는 무게 배분과 착용감, 기기 발열감으로 인한 착용쾌적성이나 만족도를 도출하였고, 도출된 요소들을 종합하여 평가 문항을 설계하였다. 또한, 설문 문항을 통한 정성적 결과뿐만 아니라 정량적인 평가 결과를 도출하기 위해 근전도 측정 센서와 열화상 카메라 장비를 활용하여 근육활동 강도와 장비, 인체의 온도 변화를 파악하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 XR 디바이스를 착용 시 영향을 미칠 수 있는 평가 요소들을 적용하여 정성적 평가를 위한 설문 평가항목과 정량적 평가를 위한 근전도, 열화상 측정을 통해 평가 항목과 평가 프로세스에 대한 검증을 하고, 제품들의 개선사항을 도출하고자 한다.

3. 방법론

3.1 실험대상

3.1.1 대상품목

본 실험에서는 XR 디바이스의 사용성을 검증하기 위해 HMD 장비인 A 제품과 B 제품, 글래스형 장비인 C 제품으로 총 세 가지 장비를 선택하였다. 본 실험에서 사용한 평가대상 디바이스의 특성은 표 1과 같다.

<Table 1> Features of XR Devices

주요특징	대상품목		
제품명	A 제품	B 제품	C 제품
장비유형	HMD형	HMD형	글래스형
센서	자력계, 모션트래킹, 주변광, 근접 센서	헤드트래킹, IMU, 가속도계	헤드/아이트래킹, 깊이, 카메라, IMU
핸드 트래킹	양손에 대한 트래킹	양손에 대한 트래킹	-
사용 분야	제조, 건설, 의료, 훈련 등	제조, 건설, 의료, 훈련 등	생산성, 엔터테인먼트 분야

3.1.2 연구대상자

본 연구는 XR 디바이스 정성적, 정량적 평가를 통해 사용성을 검증하고자 한다. 이를 위해 본 실험에서 XR디바이스에 관심이 있으며, 시각 감각기관 관련 장애가 없는 만 20세 이상 사람을 대상으로 실험 참가자를 모집하였다. 실험 참가자는 총 20명(남자 14명, 여 6명)으로 만 20세에서 30세 사이 평균 24.6세로 구성됐다. 실험 시간은 실험 설명과 과업 수행, 설문조사를 모두 포함하여 2시간 정도 소요되었다.

3.2 실험 환경

본 연구의 실험환경은 스마트 안전 리빙랩 센터에서 진행하였다. 원활한 실험 진행과 사용성 평가 항목에 해당하는 착용 쾌적성에 영향을 주지 않기 위해 적정 온도를 유지하며 실증을 진행하였다.

3.3 실험 절차

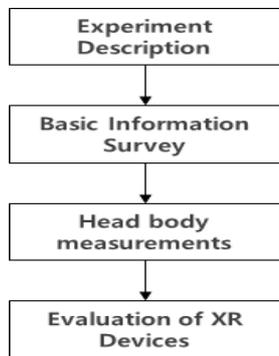
실험 시작 전 피험자들에게 연구목적과 주의사항에 대해 설명하고 연구 참여를 위한 실험동의서를 받았다. 피험자들은 근전도 측정 센서 부착을 위해 편한 상의를 입도록 하였다. 실험 시작 전 실험참여자의 기본정보와 XR디바이스 사용경험과 안경/렌즈 착용 여부 등 사전정보를 수집하였고, 머리너비, 머리두께, 머리둘레 등 신체 데이터를 측정하였다. 신체 데이터 측정값은 표 2와 같다.

<Table 2> Body measurement data

실험참여자 측정 데이터	최대(mm)	최소(mm)	평균(mm)
머리너비	169mm	136mm	151.7mm
머리두께	196mm	157mm	176.6mm
머리둘레	596mm	537mm	561.1mm
귀구슬 사이너비	161mm	135mm	144.7mm
귀바퀴 사이너비	200mm	130mm	172.2mm
눈구석 사이너비	39mm	31mm	35.9mm
눈동자 사이너비	69mm	52mm	61.4mm
눈살·귀구슬 수평길이	115mm	77mm	96.9mm
눈초리 사이너비	122mm	91mm	105.5mm

신체 데이터 측정 후 3종의 XR디바이스의 착용 방법을 실험참여자에게 설명하고 목과 어깨 부위에 근전도 측정을 위한 EMG센서를 부착하였다. EMG 센서 부착 후 1분간 최대발휘근력 MVC(Maximum Voluntary Contractioin)를 측정하였다. 디바이스 착용 전 열화상 카메라를 사용하여 이마와 뒤통수 체온, 기기의 HMD부분과 배터리 부분을 측정하였다. MVC와 열화상 데이터를 측정 후 실험참여자가 XR디바이스 1종을 착용하게 한다. 디바이스 고정을 위해 머리를 전후/좌우/회전 작업을 통해 잘 고정되도록 요청한다. 디바이스가 고정된 것을 확인한 후 과업을 수행하도록 한다. 과업은 장비를 착용 후, 20분 간 XR 디바이스 내 영상을 시청하였으며, 과업 수행 전, 과업 수행 10분 후, 과업 수행 20분 후

총 세 번에 걸쳐 정량적 데이터를 측정하였다. 한 장비 과업 수행이 끝날 때마다 설문조사를 진행하고 휴식을 취하도록 하였다. 휴식 이후 남은 2종의 XR 디바이스 평가를 이전과 동일하게 진행하고, 평가를 종료한다. 연구 설계 과정에서 기기의 전원을 켜 시점으로부터 10분 경과 이후 각 기기의 배터리 부분이 평균 5°C 이상 증가하는 것을 확인하였다. 기기 발열로 인한 착용 쾌적성을 확인하는 연구 진행 목적에 맞게 과업 수행을 10분과 20분 후로 진행하였으며, 기기 내 콘텐츠 과업 수행 시 피험자들의 활동과 움직임 정도가 상이하므로 근활성도 측정에 대한 변수 통제를 위하여 과업을 XR 디바이스 내 영상 시청으로 진행하였다. 기기는 HMD형 장비 2개와 글래스형 장비 1개로 HMD형 장비 2개는 스트랩 조절과 착용, 전원을 켜는 방법이 비슷하여 동일한 방식으로 세 번의 과업을 수행할 시 학습효과 발생으로 인한 착용 용이성에서 오차 발생 가능성이 있다. 학습효과 제위를 위하여 평가품목의 순서는 연구자가 무작위로 진행하도록 한다.



[Figure 1] Experimental Procedure

실험방법에 대한 프로세스는 그림 1로 나타내었다. 실험에 대한 설명, 기본정보 수집 후 머리 신체 데이터를 측정하고, XR디바이스 장비 세가지를 대상으로 실험을 진행한다.

XR 디바이스의 사용성 평가를 위해 정량적 데이터와 정성적 데이터를 수집하였다. 정량적 데이터는 XR디바이스 착용 시 목에 가해지는 스트레스를 측정하기 위하여 EMG센서를 부착하여 근전도 데이터를

측정하였으며, 디바이스 착용부위의 발열감을 측정하기 위해 열화상 카메라를 이용하여 체온과 디바이스 온도를 측정하여 열화상 데이터를 수집하였다. 정성적 데이터는 XR디바이스 관련 선행연구 조사를 통해 디바이스 착용 시 착용자에게 불편함을 유발할 수 있는 설문 항목을 도출하였고, 표 3에 요약하였다.

<Table 3> Usability assessment questionnaire

평가항목		
구분	세부평가항목	
착용자 무게배분	착용 안정성	머리 무게감
		좌우 무게중심
		앞뒤 무게중심
		회전 무게중심
		구조안정성 만족도
	착용 용이성	고정력
		머리 압박감
		스트랩 면적에 따른 만족도
		착용안정성 만족도
		직관성
인체접촉 부 발열 포화온도	착용 쾌적성	편리성
		착용용이성 만족도
		발열감
	착용 만족도	습윤감
		접촉감
		착용쾌적성 만족도
종합의견	-	전반적 착용만족도
		기타기능 만족도
		착용만족도 영향요인
		불편 & 개선사항
		기타의견

4. 실험 결과

4.1 정량적 데이터 분석 결과

실험 종료 후 획득한 데이터를 바탕으로 정량적·정성적 분석을 수행하였다. 실험 결과에 대한 검증으로는 일원배치 분산분석(ANOVA) 통계 기법을 활용하였다. 디바이스를 착용 할 시 목과 어깨부위의 근육 활동의 강도를 비교평가하기 위하여 과업 수행 전 측정된 MVC를 기준으로 EMG 데이터의 정규화를 진행하였다. 목 근육활동 강도를 비교한 결과 세장비 모두 착용 시 근육활동의 강도가 증가했으나, 비교검정결과 유의한 차이가 없음을 확인하였

다. 목 부위 근육활동의 강도는 표 4에 나타내었다.

<Table 4> Muscle Activity of neck(%MVC)

목 부위 (%MVC)	착용 전	착용 10분 후	착용 20분 후
A 제품	3.028852	3.177811	3.528085
B 제품	2.96402	2.96948	3.468308
C 제품	2.926734	3.139691	3.460646

어깨 근육활동 강도 분석 결과 또한 세장비 모두 착용 시 시간이 지남에 따라 근육활동의 강도가 증가했으나, 비교검정 결과 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 어깨 부위 근육활동 강도는 표 5와 같다.

<Table 5> Muscle Activity of shoulder(%MVC)

어깨 부위 (%MVC)	착용 전	착용 10분 후	착용 20분 후
A 제품	14.06973	14.37325	15.57011
B 제품	14.60939	14.7312	15.14491
C 제품	13.58099	15.20667	15.88465

열화상 카메라를 통해 이마와 뒤통수 체온 및 기기 HMD, 배터리 부분 발열데이터를 측정하였다. 시간대 별 3종의 열화상 데이터는 표 6과 같다.

<Table 6> Thermal data of XR Devices

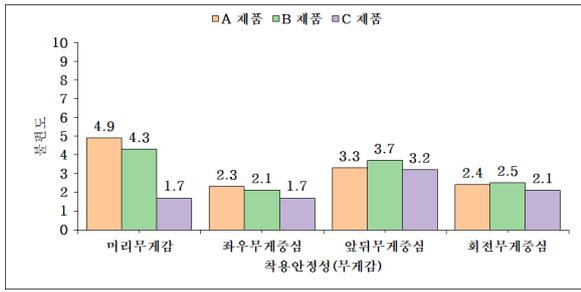
구분		이마 체온(°C)	뒤통수 체온(°C)	기기 HMD 부분(°C)	기기 배터리 부분(°C)
A 제품	착용 전	35.1°C	28.1°C	21.8°C	22.4°C
	착용 10분 후	35.9°C	31.7°C	29.3°C	27.5°C
	착용 20분 후	36.3°C	32.4°C	30.6°C	29.4°C
B 제품	착용 전	35.6°C	28.9°C	22.8°C	22.3°C
	착용 10분 후	36.3°C	29.8°C	29.9°C	29.6°C
	착용 20분 후	36.6°C	30.5°C	30.4°C	30.5°C
C 제품	착용 전	35.3°C	28.5°C	22.0°C	22.4°C
	착용 10분 후	35.6°C	28.5°C	27.5°C	39.2°C
	착용 20분 후	35.8°C	28.7°C	28.3°C	39.9°C

3종의 장비 모두 시간이 지날수록 체온과 장비의 온도가 증가하는 것을 확인하였다. 각 장비의 시간대 별 열화상 데이터는 다음과 같다.

열화상 데이터 분석 결과 이마 체온은 XR디바이스 착용 및 작동 10분/20분 후 B 제품(36.3/36.6°C) > A 제품(35.9/36.3°C) > C 제품(35.6/35.8°C) 순이었으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 뒤통수 체온은 작동 10분/20분 후 A 제품(31.7/32.4°C) > B 제품(29.8/30.5°C) > C 제품(28.5./28.7°C) 순이었으며, 두 시간대 모두 비교검정 결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 차이가 존재함을 확인하였다(p-value=0.000). 기기의 HMD 부분의 온도는 10분 후와 20분 후가 서로 다른 결과가 확인되었다. 기기 HMD 부분의 XR 디바이스 작동 10분 후 온도는 B 제품(29.9°C) > A 제품(29.3°C) > C 제품(27.5°C) 순이었고, 20분 후 온도는 A 제품(30.6°C) > B 제품(30.4°C) > C 제품(28.3°C) 순이었다. 두 결과 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않은 것으로 확인되었다.

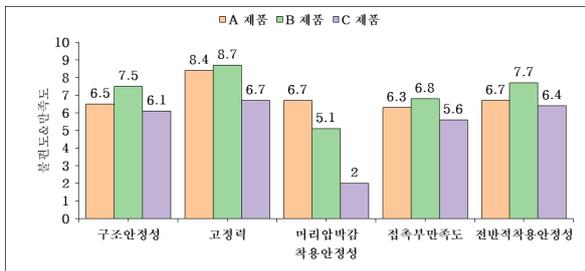
4.2 정성적 데이터 분석 결과

정성적 데이터 분석에서는 착용안정성, 주관적 발열감, 착용용이성에 대한 분석을 진행하였다. 분석 결과, 착용안정성의 무게감 부분에서 머리 무게감으로 인해 불편한 제품은 A 제품(4.85점) > B 제품(4.30점) > C 제품(1.70점) 순이었으며, 비교검정 결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 차이가 존재함을 확인하였다(p-value=0.000). 좌우 무게중심이 흔들려서 불편한 제품은 A 제품(2.30점) > B 제품(2.05점) > C 제품(1.70점) 순이었으며, 비교검정 결과 유의한 차이는 없는 것으로 확인되었다. 앞뒤 무게중심과 회전 무게중심이 흔들려서 불편한 제품은 B 제품 > A 제품 > C 제품 순이었으며, 비교검정결과 유의한 차이는 없는 것을 확인하였다. 무게감 분석 결과를 그래프로 나타낸 것은 다음 그림 2와 같다.



[Fig 2] Wear stability analysis by weight

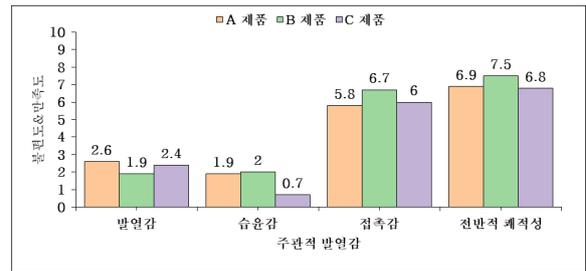
착용안정성 부분에서는 구조 안정성, 고정력, 머리 압박감, 접촉부 만족도, 전반적 착용 안정성에 대한 분석을 진행하였다. 구조 안정성에 대한 만족도는 B 제품(7.45점) > A 제품(6.50점) > C 제품(6.05점) 제품 순이었으며, 비교검정 결과 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 스트랩을 통해 느껴지는 고정력이 통계적으로 유의한 것을 확인하였고 (p-value=0.004), B 제품(8.65점) > A 제품(8.35점) > C 제품(6.65점) 순이었다. 머리압박감으로 불편한 제품은 A 제품(6.65점) > B 제품(5.05점) > C 제품(2.00점) 순이었고, 비교검정 결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 차이가 존재함을 확인했다(p-value=0.000). 접촉부 만족도와 전반적 착용안정성에 만족하는 제품은 B 제품 > A 제품 > C 제품 순으로 확인되었으나, 비교검정 결과에서는 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다. 착용안정성에 대한 그래프는 그림 3과 같다.



[Fig 3] Wear Stability analysis

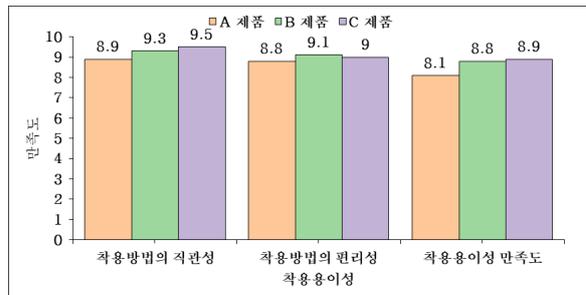
다음으로 발열감, 습윤감, 접촉감, 전반적 착용쾌적성을 통해 도출한 주관적 발열감에 대한 분석을 진행하였다. 발열감에서 가장 불편한 제품은 A 제

품(2.55점), 습윤감으로 인해 가장 불편한 제품은 B 제품(2.00점)로 확인되었다. 습윤감으로 인해 가장 불편했던 B 제품이 접촉감과 전반적 착용쾌적성에 만족하는 제품에서는 가장 높은 점수였으며, 주관적 발열감에 대한 평가결과는 모두 비교검정결과 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다. 주관적 발열감에 대한 그래프는 그림 4와 같다.



[Fig 4] Objective exothermic feeling

착용용이성 부분에서는 착용방법의 직관성, 착용방법의 편리성, 착용용이성에 대한 만족도에 대한 분석을 진행했다. 착용방법의 직관성에 대한 만족도는 C 제품(9.50점) > B 제품(9.25점) > A 제품(8.95점) 순이었으며, 비교검정 결과 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 착용방법의 편리성에 대한 만족도는 B 제품(9.10점) > C 제품(9.00점) > A 제품(8.79점) 순이었으며, 통계적으로 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 마지막으로 착용용이성에 대한 만족도에서는 C 제품(8.85점) > B제품(8.75점) > A 제품(8.05점) 순으로 나타났으며, 이 역시 비교검정 결과 유의한 차이가 없음을 확인하였다. 착용용이성에 대한 그래프는 그림 5와 같다.



[Fig 5] Ease of wearing

5. 결론

본 연구는 세 가지 XR 디바이스의 국내 제품과 해외 제품 비교평가를 통해 향후 국내 장비 설계와 개선을 위한 사용성 평가체계를 개발하고 이를 검증하고자 하였다. 정량적 데이터 측정으로 EMG 센서를 통한 목과 어깨 부위의 근전도 측정과 열화상 카메라를 통한 이마, 뒷통수, 기기 HMD부분, 기기 배터리 부분의 온도를 측정하였고, 정성적 데이터 측정으로는 기존의 문헌 연구를 통해 XR디바이스 사용성 평가를 위한 설문 문항으로 착용안정성, 착용용이성, 착용 쾌적성, 착용만족도 등을 도출, 10점 척도로 진행하였다.

먼저 정량적 분석 결과에서는 목 부위 근육활동의 강도가 국내 제품과 해외 제품 모두 증가하였고, 국내 제품인 A 제품이 가장 크게 증가했으나, 비교검정결과 유의한 차이는 없는 것을 확인하였다. 어깨 근육활동의 강도도 세 제품 모두 증가하였으나, 비교검정 결과 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다. 열화상 카메라를 통해 체온 및 기기 온도를 측정한 결과, 전체적으로 세 제품 모두 작동 시간이 지날수록 온도가 증가하였으나 기기가 피부에 접촉할 때 저온 화상을 일으킬 수 있는 부위의 발열온도인 43°C이하인 것을 확인하였다. 특히, 기기 배터리 부분에서는 국내 제품인 A 제품이 가장 낮게 나왔으며 통계적으로 유의한 차이가 존재하는 것을 확인하였다. 그러나 뒤통수 체온에서는 A 제품이 가장 높게 나왔고, 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 이는 뒤통수 부분이 기기 배터리와 접촉하는 부분인데, 기기 배터리 온도가 낮아도 뒤통수 부분의 체온이 높은 것을 보면 스트랩이나 기기 구조상 개선 사항이 필요한 것으로 확인된다.

정성적 분석 결과에서도 머리 무게감, 스트랩을 통해 느껴지는 고정력, 머리 압박감에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 머리 무게감으로 가장 불편한 제품은 국내 제품인 A 제품이었으며, 스트랩을 통해 느껴지는 고정력은 해외 제품인 B 제품이 가장 좋은 것으로 나타났다. 머리

압박감으로 가장 불편한 제품은 A 제품으로 나타났다. 정량적 분석 결과와 정성적 분석 결과에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 결과를 살펴보면, 기기 배터리의 발열은 국내 제품인 A 제품이 우수하나, 스트랩 부분으로 인한 머리 부분 불편감이 나타나는 것으로 보아, 스트랩의 재질이나 구조상 개선이 필요한 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 XR디바이스 착용 시 불편함과 장시간 이용 시 생기는 점을 고려하여 도출해 낸 평가 문항들을 통해 디바이스의 개선 사항을 확인 할 수 있었다. 이와 같이 본 연구에서 진행한 평가체계와 이를 활용한 검증을 통해 추후 출시되고 개발되는 XR 디바이스 개선사항 도출에 활용될 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 콘텐츠 이용 시 생기는 사이버 멀미나 스트레스 유발 등의 유해성은 고려하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 이에 향후 연구를 통해 콘텐츠 이용 시 발생할 수 있는 유해성에 관한 피가 항목을 추가하여 사용성 평가를 통한 XR디바이스 개선 방안을 도출해낼 수 있을 것으로 보인다.

사 사

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the “XR Device Development Support Center Operations in 2024” support program supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency)

References

- 이경택, XR(eXtended Reality) 융합 기술 동향, 한국통신학회지(정보와통신), 37(10), 17-22, 2020
- “Extended Reality Market”, Precedence Research, 2022년 12월, <https://www.precedenceresearch.com/extend>

- ed-reality-market
3. 김선경, 최종명 외, 의료취약 지역의 응급환자를 위한 확장현실 기반 원격의료 기술 동향, 정보과 학회지, 38(5), 27-35, 2020
 4. 김관수, 확장현실 미디어의 시각화와 콘텐츠 프로덕션 -디지털 기술과 확장적 비주얼 스토리텔링을 중심으로. 커뮤니케이션디자인학연구, 81, 237-247, 2022
 5. 윤승모, 임춘성, XR 기술 활용 산업-효용성 분류 체계 개발 및 응용 사례 분석, 서비스 연구 학회지, 12(4), 50-71, 2022
 6. 박민수, 최은주, 조지훈, 문석민, 항공 분야에서의 가상/증강현실(VR/AR) 기술 동향, 항공우주산업 기술동향, 20(1), 38-54, 2022
 7. 박혜영, 주정훈, 대학교육에서 VR, AR, MR기술 적용의 학습효과에 대한 메타 분석, 디지털콘텐츠 학회논문지, 24(10), 2409-2414, 2023
 8. 정보통신산업진흥원, VR·AR 디바이스 제작·이용 가이드라인, 2020
 9. 오소현, 정성대 외, 헤드 마운티드 디스플레이 착용이 목 관절가동범위와 목 근육 두께 및 통증에 미치는 융합연구, 한국융합학회논문지, 11(9), 277-285, 2020
 10. 박준환, 박경진, 여성 게이머를 위한 가상현실 복합사용성 연구 - HMD 착용감 개선을 중심으로 -, 한국과학예술융합학회, 37(3), 147-158, 2019
 11. 박세권, 유희천 외. 통기성 향상을 위한 하계비행복 설계 및 착용쾌적성 평가. 한국의류산업학회지, 16(3), 485-491, 2014
 12. 박준환. "게이머를 위한 가상현실 HMD디자인 연구." 국내석사학위논문 한양대학교 대학원, 2020
 13. 류지원, 윤재현 외, 스마트 글라스의 착용 시간에 따른 불편함 변화. 한국HCI학회 학술대회, 2023
 14. Hsiao, Chih-Yu, et al., Usability evaluation of monocular optical head-mounted displays on reading tasks, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 1-10, 2018
 15. Penumudi, Sai Akhil, et al., The effects of target location on musculoskeletal load, task performance, and subjective discomfort during virtual reality interactions, Applied ergonomics, 84, 2020
 16. 박세권, 유희천 외. 통기성 향상을 위한 하계비행복 설계 및 착용쾌적성 평가. 한국의류산업학회지, 16(3), 485-491, 2014
 17. 윤재현, 류지원 외, 다중회귀분석을 통한 스마트 글래스의 불편함 요인 분석. 한국HCI학회 학술대회, 2023
 18. Kia, Kiana et al., Effects of error rates and target sizes on neck and shoulder biomechanical loads during augmented reality interactions, Applied Ergonomics, 113, 2023
 19. Kim Eunjee and Gwanseob Shin, Head rotation and muscle activity when conducting document editing tasks with a head-mounted display, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, SAGE Publications, 952-955, 2018.