



Designing Services for Reducing Digital Carbon Foot Using Body Energy Harvesting

Soeun Lee¹, Youngsun Roh², Hyejeong Son², Jungyeon Byeon², Yujin Hwang², Dongwhan Kim^{3*}

¹Graduate School of Communication and Arts, Graduate Student, Yonsei University, Seoul, Korea

²Department of Industrial Design, Student, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea

³Graduate School of Communication and Arts, Yonsei University, Professor, Yonsei University, Seoul, Korea

Abstract

Background With the advancement of digital technology, the increasing use of smartphones, wearable devices, and Internet of things(IoT) technologies has raised concerns about digital carbon footprints. The greenhouse gas emissions generated during the production, use, and disposal of electronic devices are becoming a significant environmental issue, necessitating sustainable solutions. Body energy harvesting (BEH) technology offers the potential to convert human kinetic energy into electrical energy, thereby reducing dependence on conventional energy sources. However, its adoption remains limited due to a lack of user awareness and practical usability challenges in everyday life. This study explores the potential applications of body energy harvesting and proposes a service design strategy to promote sustainable energy practices and to reduce digital carbon footprints.

Methods This study employed a mixed-methods approach to comprehensively evaluate the user experience of body energy harvesting services. First, a survey was conducted to analyze outdoor activity behaviors and digital device usage patterns. Subsequently, experimental observations were carried out to capture participants' real-time reactions and usage patterns, utilizing the think-aloud method for an in-depth analysis of user experiences. Finally, in-depth interviews were conducted to derive qualitative insights. The study applied the perceived value (PERVAL) scale and the theory of planned behavior (TPB) to ensure the reliability and validity of the data.

Results The findings of this study indicate that body energy harvesting services positively impact reducing digital carbon footprints and fostering sustainable energy consumption habits. Participants reported high motivation in collecting and utilizing energy through physical activities, with the crew-based social engagement feature proving effective in encouraging long-term participation. However, improvements in device weight reduction and more intuitive data visualization were identified as necessary enhancements.

Conclusions This study confirms the potential of body energy harvesting services in reducing digital carbon footprints and promoting sustainable energy consumption. The study provides foundational insights into how body energy harvesting technology can establish itself as an eco-friendly and practical solution in everyday life. Furthermore, the study offers strategic design directions for building a sustainable digital environment.

Keywords Body Energy Harvesting, Digital Carbon Footprint, Sustainability, User Engagement, Service Design

*Corresponding author: Dongwhan Kim (dongwhan@yonsei.ac.kr)

Citation: Lee, S., Roh, Y., Son, H., Byeon, J., Hwang, Y., & Kim, D. (2025). Designing Services for Reducing Digital Carbon Foot Using Body Energy Harvesting. *Archives of Design Research*, 38(3), 349-374.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2025.08.38.3.349>

Received : Mar. 06. 2025 ; **Reviewed** : Jul. 09. 2025 ; **Accepted** : Jul. 09. 2025

pISSN 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

Copyright : 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 educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

1. 서론

디지털 기술의 급격한 발전과 함께 전자 기기의 사용이 증가하면서 개인의 생활 속에서 발생하는 디지털 탄소 발자국(Digital Carbon Footprints)에 대한 관심이 높아지고 있다. 디지털 탄소 발자국은 디지털 기기의 생산, 사용, 폐기 과정에서 발생하는 이산화탄소 배출을 의미하며, 이는 기후 변화와 환경 오염의 중요한 원인으로 작용한다(Fischer et al., 2021; Park, 2016). 특히 스마트폰, 웨어러블 기기 등은 이러한 과정에서 지속적으로 전력 소비를 발생시키며, 이로 인해 환경 부담을 더욱 가중시키고 있다(Park, 2018). 따라서 개인이 일상생활에서 디지털 탄소 발자국을 줄이기 위한 다양한 노력이 필요하다.

‘에너지 하베스팅(Energy Harvesting)’ 기술은 신체 활동이나 주변의 에너지를 활용해 추가적인 전력 소비 없이 기기를 작동시킬 수 있다는 점에서 주목받고 있다. 특히 신체의 운동 에너지를 활용한 하베스팅은 개인이 친환경 전력 자급을 경험하는 동시에, 장기적으로 지속 가능한 에너지 사용 모델을 제공할 수 있다(Yoon, 2020). 하지만 지금까지의 에너지 하베스팅 기술은 기술적 구현에 초점이 맞춰져 있어, 일상에서 사용자가 직접 에너지를 모으고 이를 지속적으로 활용하도록 유도하는 방안은 충분히 논의되지 않았다. 에너지 하베스팅 기술을 실질적으로 활용하기 위해서는 단순히 에너지를 생성하는 기술적 요소를 넘어, 사용자가 자발적으로 참여하고 동기를 느낄 수 있는 경험 중심의 서비스 설계가 필수적이다.

본 연구에서는 신체 에너지 하베스팅을 통해 개인이 일상 속에서 지속적으로 에너지를 수집하고 활용하도록 돕는 서비스를 제시하고자 한다. 이를 위해, 개인의 신체 활동 중 에너지 하베스팅에 적합한 활동을 탐색하고, 해당 활동에서 발생하는 에너지를 수집하는 제품을 제안한다. 또한, 이러한 하베스팅 제품을 개인이 일상 속에서 지속적으로 활용할 수 있도록 동기부여하는 사용자 경험(UX) 및 사용자 인터페이스(UI) 설계를 통해 에너지 하베스팅의 실질적인 적용 가능성을 평가하고자 한다. 연구 문제는 다음과 같다.

- RQ1. 신체 활동 중 발생하는 에너지를 효과적으로 수집할 수 있는 최적의 하베스팅 방식은 무엇인가?
- RQ2. 사용자가 에너지 하베스팅을 지속적으로 활용할 수 있도록 돕는 UX/UI 디자인 요소는 무엇인가?
- RQ3. 에너지 하베스팅 서비스는 사용자의 환경 보호 인식에 어떤 영향을 미치는가?

2. 이론적 배경

2. 1. 디지털 탄소 발자국의 개념과 영향

디지털 탄소 발자국은 디지털 기기와 기술을 사용하는 과정에서 발생하는 이산화탄소 배출을 의미하며, 이는 환경 오염의 중요한 원인 중 하나로 꼽히고 있다(Fischer et al., 2021). 단순히 기기를 사용하는 과정 뿐만 아니라, 기기의 생산, 충전, 폐기 등 모든 단계에서 발생하는 에너지 소비와 밀접하게 관련되어 있다(Go et al., 2010). 특히 화석 연료의 사용이 대부분인 상황에서 기기들의 수명 동안 반복되는 충전 과정은 환경적 영향을 더욱 부각시킨다(Park, 2016). 다양한 디지털 기기의 확산으로 인해 그 규모가 점점 증가하고 있으며, 환경에 미치는 부정적 영향도 커지고 있다(Cho et al., 2013).

2. 2. 에너지 하베스팅 기술의 현황

에너지 하베스팅이란 주변에서 버려지거나 소모되는 다양한 형태의 에너지를 모아 전력으로 재활용하는 기술을 의미한다. 이는 단순히 바람, 물, 태양과 같은 자연 에너지를 전기에너지로 변환하는 것뿐만 아니라, 사람의 신체 움직임, 열, 진동 등 일상에서 발생하는 다양한 에너지를 활용할 수 있는 기술이다(Kim, 2016). Table 1은 중력에너지, 열에너지, 광에너지, 신체에너지, 소리에너지, 위치에너지 등 6가지 에너지원의 유형을

분류하고, 각 에너지원의 활용 사례와 이를 변환하기 위한 에너지 하베스팅 방식 및 기술을 함께 설명한다. 각 하베스팅 방식의 활용 가능성과 한계를 이해하는 기초 자료로 활용되었다.

Table 1 Different Types of Energy Harvesting

에너지원	활용 사례	에너지 하베스팅 방식 및 기술
고지대 물탱크 낙수 시스템	고지대 물탱크 낙수 시스템	중력의 작용을 활용하여 에너지를 수집하는 방식으로, 운동하는 물체의 위치나 높이에 따른 에너지 변환을 통해 전기를 생성한다. 넓은 공간에 모듈 형태로 설치되어, 대규모 이상의 전기에너지를 생산하는데 사용되었다(Lee, 2024).
열에너지	웨어러블 기기, 산업 폐열 회수	제백 효과(Seebeck Effect)를 이용해 온도 차이로 발생하는 열에너지를 전기로 변환하는 기술로, 주로 소형 전자 기기에서 열을 전력으로 변환하는 방식이다(Moon et al., 2016).
광에너지	실내조명, 태양광 패널	태양 전지 등을 이용해 빛을 전력으로 변환하는 기술로, 가장 성숙한 형태의 에너지 하베스팅 기술 중 하나이며, 모바일 기기나 웨어러블 제품에서 널리 활용되고 있다(Park, 2016).
신체에너지	스마트 밴드, 웨어러블 센서	신체의 움직임에서 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 방식으로, 압전 소자를 활용해 운동을 통해 에너지를 수집한다. 특히 웨어러블 기기나 운동 관련 제품에서 적용 가능하다(Woo, 2015).
소리에너지	지하철 소음, 콘서트장 음악	주변의 소리나 음파를 이용해 전기를 생성하는 방식으로, 소리의 진동을 에너지로 변환하여 전력을 공급한다. 일상에서 발생하는 소리나 음파를 전기에너지로 변환할 수 있다(Lee, 2024).
위치에너지	차량 진입 경로, 지하철 문턱	위치의 변화에 따라 에너지를 수집하는 방식으로, 움직이는 물체나 인체의 위치 변화를 이용해 에너지를 변환한다. 차량이 도로 위를 지날 때 발생하는 압력을 활용한 사례가 있다(Lee, 2024).

2. 3. 기존 에너지 하베스팅 기기의 한계

현재 자연에서 에너지를 획득하는 하베스팅 기술은 다양한 형태의 에너지를 전력으로 변환할 수 있는 가능성을 제공하지만, 일상생활에서의 활용도는 여전히 낮은 수준이다. 대부분의 에너지 하베스팅 기술은 대규모 시설에서 주로 적용되고 있으며, 개인의 전력 수급을 해결하기에는 여러 제약이 존재한다. Table 2는 개인용 에너지 하베스팅 기기에 대한 사례를 착용 위치, 적용 기술, 제품 특징 등으로 유형화한 것이다. 이러한 제품들은 개인의 에너지 수급을 지원하기 위해 다양한 방식으로 설계되었지만, 생성 전력량의 부족, 관리 체계의 부재, 실생활 활용의 한계 등과 같은 문제로 인해 실질적인 적용에는 어려움이 있다. 단순한 제품 개발을 넘어 사용자의 참여 동기를 유도하고 일상적 사용을 자연스럽게 이끌어내기 위해서는, 사용자의 행태와 맥락을 반영한 서비스디자인 관점의 접근이 필수적이다. 본 연구에서는 기술과 사용자 경험을 통합적으로 고려한 설계 전략을 통해 실질적 활용 가능성을 높이고자 하였다.

Table 2 Energy Harvesting Product

착용위치	적용기술	하베스팅	에너지 하베스팅 제품 특성
	열전효과	 매트릭스 파워워치	체온을 감지하고 온도를 케이스 안에 가두는 방식으로 손목에 착용하면 자동으로 충전된다(Yoo, 2018).
손목	압전효과	 웍밴드	자신과 지구를 사랑하도록 하는 웨어러블 기술(Off&Gentle, n.d.).
	마찰전기	 스퀴드	스마트 손목밴드로, 실시간 사용자 전자기기 방사 노출 수준을 분석할 수 있는 기술이다(IEWEI, n.d.).
발	압전효과	 진동 에너지 하베스터 신발	기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 얇은 폴리머 필름을 기반으로 한다(Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, n.d.).
	마찰전기	 나노슈즈	2단계 트라이보일렉트릭 나노 발전기를 이용해 센서 및 스마트폰 전원을 공급할 수 있다(Energy Manager Canada, 2018).
	열전효과	 오렌지 파워 웰리스	휴대폰 충전 시간을 줄이고 싶다면 춤을 추거나 달려보자. 발이 뜨거워질수록 더 많은 에너지를 생성할 수 있다(Piper, 2010).
	열전효과	 동력 손전등	사용자의 체온을 활용하여 빛을 생성하는 손전등(HeroX, 2016).
휴대용 기기	압전효과	 압전 배낭	압전 활용 어깨 끈에서 에너지를 수확하는 배낭(Peyrouset & Bajard, 2007).
	마찰전기	 소켓볼	축구공보다 휴대용 발전기 역할을 한다(Uncharted Play, Inc., 2013).

3. 신체 에너지 하베스팅 제품 디자인

3. 1. 대상 활동 선정

한국갤럽조사연구소에 따르면 2023년 2월부터 7월까지 전국(제주 제외) 만 13세 이상 5,202명에게 아웃도어 활동 포함 15개 종목별 경험을 물었을 때, 응답 결과는 하이킹 44%, 러닝 32%, 사이클링 28% 순으로 나타났다(Gallup Korea, 2023). 하이킹은 만 13세 이상 소비자 중 44%가 1년 내 경험한 적 있을 정도로 가장 보편적인 아웃도어 활동이다. 최근 가장 빠르게 확대된 종목은 러닝이다. 연간 경험률 기준 2021년 23%, 2023년 32%로 지난 2년간 10%포인트 가까이 늘었고, 남녀노소가 즐기는 것으로 나타났다(남성 36%, 여성 27%; 10대 38%, 60대 이상 27%). 사이클링 경험률 또한 증가했다(2019년 23% → 2023년 28%). 조사 결과에 따라 러닝, 하이킹, 사이클링이 보편적인 활동인 점을 확인했으며, 대상 활동으로 선정했다. Figure 1의 첫번째 그래프는 2023년 러닝, 하이킹, 사이클링의 종목별 경험 비율을 나타내며, 두번째는 러닝과 사이클링의 2019년부터 2023년까지의 경험 비율의 변화를 나타낸 그래프이다.

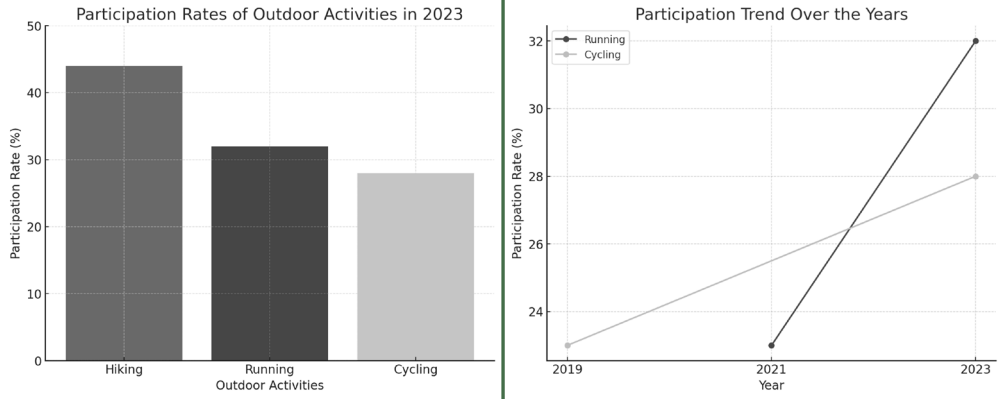


Figure 1 Trends in Outdoor Activities

3. 2. 신체 에너지 하베스팅 제품군

다양한 신체 활동에서 발생하는 에너지를 효과적으로 수집하고 활용하기 위해 신체의 주요 움직임과 에너지 생성 가능성을 분석하고, 각 활동에 적합한 모듈을 설계하였다. 신체 에너지 하베스팅 서비스를 효과적으로 제공하기 위한 제품군은 Figure 2와 같이 코어 디바이스(A, B, C), 운동 활동별 제품(A-n, B-n, C-n), 스테이션(D)으로 설정한다. 제품군의 핵심인 코어 디바이스는 운동을 통해 에너지를 생성하고 수집하는 역할을 한다. 코어 디바이스는 러닝, 하이킹, 사이클링과 같은 운동 활동별 제품과 결합되며, 이를 통해 모은 에너지는 스테이션의 무선 충전 기능을 활용해 실생활에서 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되었다.

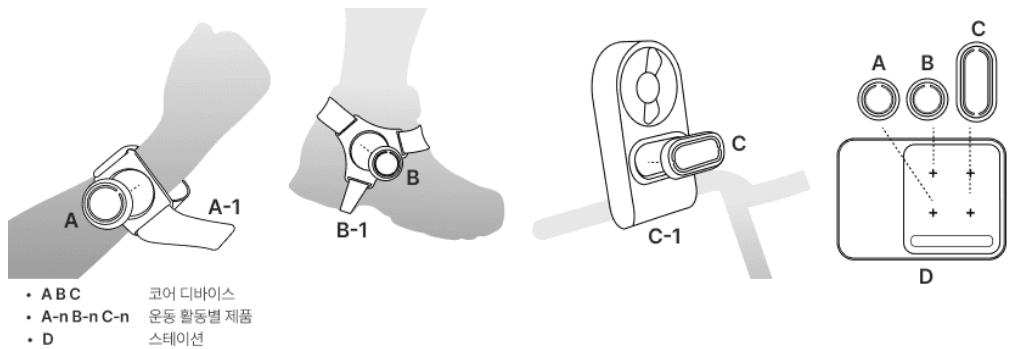


Figure 2 Product Categories by Outdoor Activities

3. 3. 활동 별 하베스팅 제품

본 연구에서는 러닝, 하이킹, 사이클링의 세 가지 운동 종목별로 신체와 자전거에 부착 가능한 다양한 에너지 하베스팅 제품을 디자인하였다.

Figure 3은 각 제품의 구성 요소와 적용 부위를 보여주며, 사용자의 손목과 발목, 등산화와 등산스틱, 자전거 핸들과 자전거 바퀴에 부착되어 운동 중 발생하는 에너지를 수집하는 방식을 설명한다.

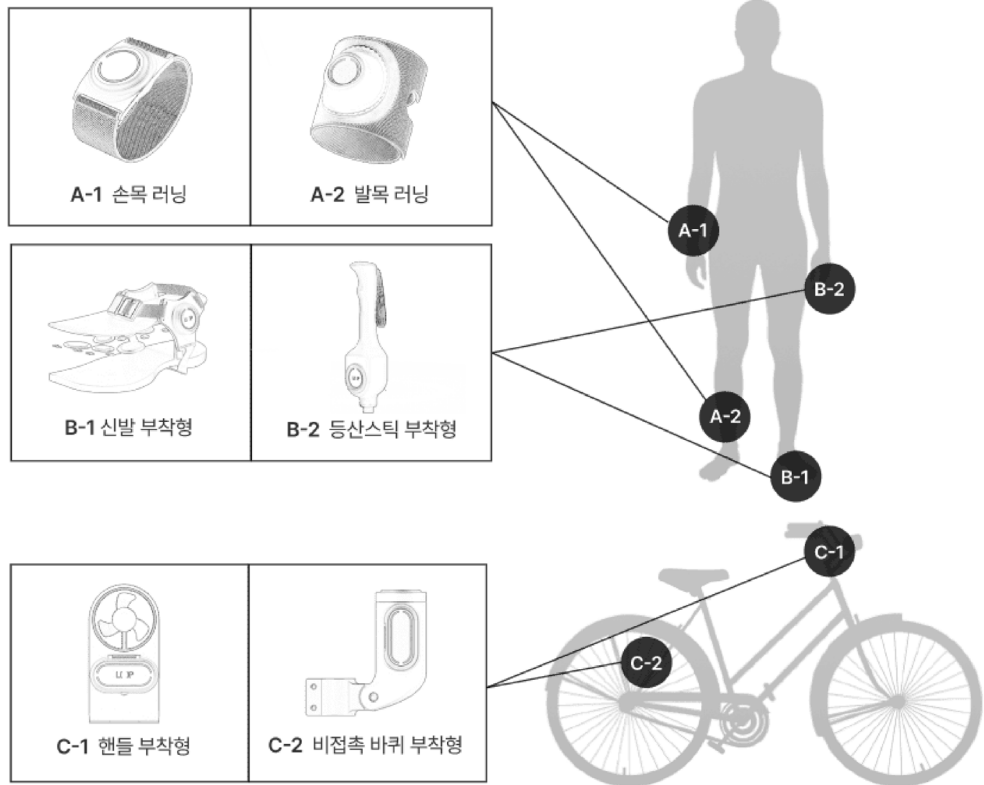


Figure 3 Harvesting Products Areas

(1) 러닝 하베스팅 제품

러닝은 전신의 움직임이 활발하며, 손목과 발목의 운동이 두드러지게 나타난다. 최근 MZ세대를 중심으로 러닝크루가 새로운 문화로 자리잡게 되었다. 러닝크루는 MZ세대에게 나를 보여주는 하나의 라이프스타일이자 문화이다(Lee & Kim 2020). 러닝크루 참가자들이 자신을 표현하는 방법으로 러닝 복장과 장비를 갖추고자 하고 있어 관련 시장이 확장되고 있다(Yang, 2020). 이러한 점을 고려하여, 사용이 쉽고 접근이 편리한 손목 및 발목 웨어러블 기기로 에너지 하베스팅 제품군을 선정하였다.

손목 러닝 하베스팅 제품(A-1)과 발목 러닝 하베스팅 제품(A-2)은 웨어러블 코어 디바이스를 고정하는 실리콘과 탈부착 가능한 팔목 스포츠 밴드로 구성되어 있다. 특히 발목 보호대형 밴드의 내피는 가볍고 유연성이 좋은 네오프렌으로, 외피는 통기성이 좋고 내구성이 강한 폴리리저지로 구상되었다. 사용자가 달릴 때 자연스럽게 발생하는 팔의 움직임을 통해 진자 운동을 일으키고 에너지를 생성하는 원리를 활용하고자 한다.

(2) 하이킹 하베스팅 제품

하이킹은 다양한 지형에서 장시간 이동하며, 지형적 특성에 맞는 장비를 활용한다. 등산스틱은 급경사나 미끄러운 지형에서 에너지 소모를 10~15% 정도 줄이고, 하산 시 충격으로부터 무릎을 보호해 준다. 또한, 불규칙한 지형에서의 하이킹은 부상의 위험이 있기에 등산화의 착용이 권장된다(Hettinga et al., 2005). 등산의 경우 상하 움직임이 많으며, 평지 보행과 경사 보행이 더해지므로, 등산스틱과 등산화에 하베스팅 소자를 결합하여 에너지 발전의 효과를 극대화할 수 있는 제품군을 선정하였다.

신발 부착형 하베스팅 제품(B-1)은 웨어러블 코어 디바이스를 고정하는 고정 플라스틱과, 압전 소자 및 회로 연결을 위한 버클 웨빙으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 피에조 소자의 압전 효율 증대 및 안정적인 내장을 위한 아웃솔의 형태 및 구조를 참고하여 탈부착식 신발 부착형 하베스팅 제품을 구상하였다(Lee & Kim, 2022). 등산스틱 부착형 하베스팅 제품(B-2)은 코어 디바이스를 부착하기 위한 고정 ABS와 EVA로 구성된다.

(3) 사이클링 하베스팅 제품

사이클링은 자전거를 통해 균형을 유지하며 빠른 속도로 주행하는 다양한 형태의 운동 에너지가 내재되어 있는 활동이다(Yang, Yeo, & Priya, 2012). 사이클링은 양 하지로 페달을 밟아 발생한 힘을 이용하여 림과 타이어를 돌리면서 운동 효과를 얻는 무공해 그린스포츠의 대표적인 예이다(Lim, 2021). 자전거 핸들에 다양한 용품을 거치하는 형태를 보아 자전거 바퀴와 핸들 자가발전기를 결합한 에너지 하베스팅 제품군을 선정하였다.

핸들 부착형 하베스팅 제품(C-1)은 자전거가 앞으로 나아가면서 발생하는 바람이 제품의 프로펠러를 회전시키고, 내부에 있는 자석과 코일의 상호작용을 통해 전기를 생성하는 원리를 활용하였다. 비접촉 바퀴 부착형 하베스팅 제품(C-2)은 자전거의 휠과 거리를 유지하며 시트스테이에 고정하기 위한 자전거 결합부가 연결되어 있다. 자전거의 바퀴가 회전할 때 발생하는 자기장이 제품 내부에 있는 자석을 회전시켜, 코일과 상호작용하며 전기가 생성되는 개념적 원리이다.

3. 4. 스테이션

사용자가 하베스팅 활동을 마친 후, 제품에 부착된 코어 디바이스를 꺼내 스테이션의 +표시가 되어있는 수집 모듈 위에 올려두면 에너지가 스테이션에 축적된다. 좌측의 무선 충전 공간을 활용해 다른 기기들을 충전할 수 있다. 스테이션의 LED 디스플레이의 숫자 다이얼을 통해 에너지의 양을 시각적으로 쉽게 확인할 수 있도록 한다. Figure 4는 스테이션의 모듈 위치와 LED 디스플레이의 인포그래픽을 보여준다.

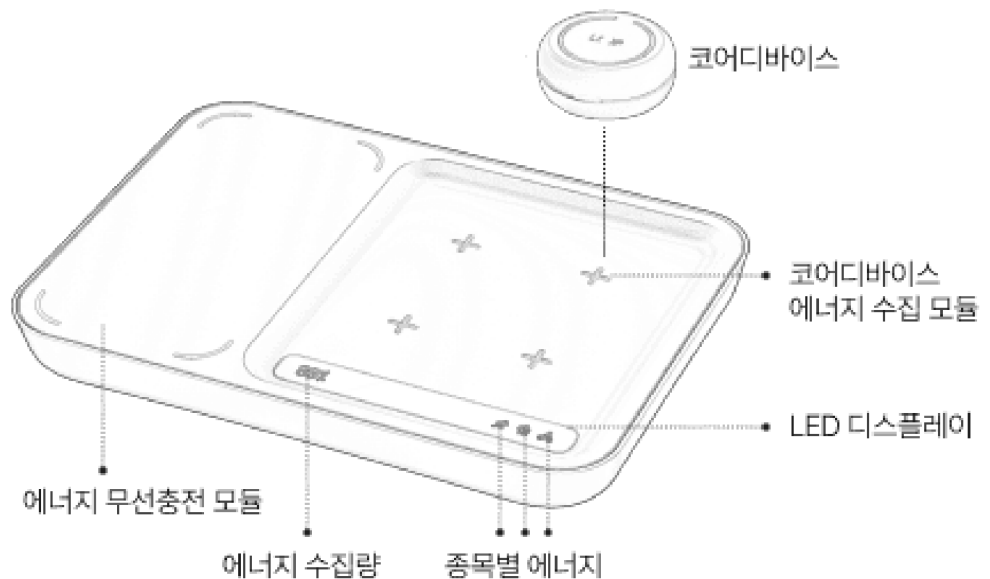


Figure 4 Charging Module of the Station

3. 5. 목업 및 최종 시제품 제작

본 연구에서는 신체 에너지 하베스팅 기술을 활용한 제품을 단순히 개념적으로 제안하는 데 그치지 않고, 실제 착용 가능한 목업 및 시제품으로 제작하여 이후 사용성 평가에 활용하고자 하였다. 이는 이론적 가능성을 논의하는 기존 연구의 한계를 넘어, 사용자가 실제 제품을 활용하는 과정에서의 경험을 분석하는 데 목적이 있다. Figure 5는 목업 단계에서 촬영한 이미지이며, 설계한 제품의 물리적 안정성을 우선으로 확인하였다. 사용자의 움직임에 따라 내부 설계의 이상이 생기지 않는지 등을 확인함으로써 구조적 한계 및 개선점을 미리 점검하였다.



Figure 5 Mockup Fabrication Process of Body Energy Harvesting Devices

이후 목업 제작을 통해 도출된 피드백을 바탕으로 외관 디자인과 소재를 포함하여 완성도 높은 최종 시제품을 제작하였다. 최종 시제품은 실제 사용자 환경에서 직접 착용하고 테스트하는 방식으로 검증을 진행했다. 이 과정에서 사용자의 실제 착용 모습을 사진 및 영상으로 기록하였다. 최종적으로 검증된 제품의 사용 이미지는 Figure 6에 기반한다. 이러한 검증을 통해 사용자들이 제품 착용 및 사용 과정에서 발생할 수 있는 물리적 문제점을 미리 점검하였으며, 최종적으로 완성된 제품 디자인은 4장에서 제시하는 서비스 콘셉트와 UI 설계의 기반이 된다.



Figure 6 Final Prototype of Body Energy Harvesting Device

4. 서비스 콘셉트 및 UI 설계

4. 1. 신체 에너지 하베스팅 서비스 LOOP

효과적인 사용자 경험을 제공하기 위해서는 단순히 하드웨어 설계에 그치지 않고, 사용자가 제품과 상호작용하는 과정을 체계적으로 디자인하는 것이 필수적이다. 이에 따라 사용자 경험(UX)을 중심으로, 신체 에너지 하베스팅 서비스를 제안하고자 한다. 서비스 명은 에너지 하베스팅을 통한 선순환의 의미를 담아 서비스명을 'LOOP'로 선정했다. LOOP의 로고는 Figure 7과 같이 단어에서 반복되는 영어 철자 'O'를 변형하여 고리 형태를 강조했으며, 'O'를 반으로 가른 형상을 양 끝에 배치하고, 종목별 아이콘을 삽입해 용도에 따라 활용할 수 있는 반응형 로고로 디자인했다. 이는 코어 디바이스의 LED 라이팅 모듈의 형태와도 닮아있다.



Figure 7 LOOP Logo Variation

4. 2. 서비스 콘셉트 및 방향성

신체 에너지 하베스팅은 기술적으로 실현 가능하더라도, 사용자가 반복적으로 참여하지 않으면 지속적인 효과를 기대하기 어렵다. 이에 본 연구는 기술 중심의 기기 설계를 넘어, 사용자의 행동을 유도하고 유지하는 서비스 디자인 전략의 필요성에 주목하였다. 특히 운동 활동을 통해 에너지를 수집하는 본 서비스의 특성상, 참여를 자극할 수 있는 사회적 동기부여 시스템이 중요하다고 판단하였다. 이러한 목적을 달성하기 위한 핵심 구조로 크루(Crew) 기능을 도입하였다. 크루는 사용자가 소규모 그룹을 구성해 에너지 수집 활동을 함께 수행하고, 서로의 데이터를 비교하며, 도전 과제를 공유할 수 있도록 설계된 기능이다. 단순한 기록이 아니라, 사회적 상호작용과 비교, 응원, 동기 부여의 수단으로 기능한다.

본 기능의 설계는 Fogg(2009)의 행동 설계 모델(BJ Fogg Behavior Model)을 기반으로 한다. 이 모델은 행동이 발생하기 위해서는 ‘동기(motivation)’, ‘능력(ability)’, ‘트리거(trigger)’가 동시에 작동해야 한다고 보았다. 크루 기능은 사용자에게 사회적 맥락에서의 동기를 부여하고, 반복 가능하고 부담 없는 활동(ability)을 제공하며, 알림이나 그룹 피드백을 통해 트리거 역할을 수행한다. 동시에, Oinas-Kukkonen & Harjumaa(2009)가 제시한 설득 시스템 디자인 원칙 중 사회적 비교(social comparison), 사회적 촉진(social facilitation), 공동 목표(shared goal) 전략이 크루 기능에 반영되어 있다.

해당 전략의 실효성은 Nike Run Club(NRC) 사례를 중심으로 참조하였다. Nike Run Club은 러닝 기반의 모바일 앱 서비스로, 2023년 기준 1억 회 이상 다운로드되었으며, Google Play와 Apple App Store 모두에서 높은 사용자 만족도(평균 4.8점 이상)를 기록하고 있다. 사용자 간 기록 공유, 그룹 챌린지, 랭킹 시스템 등을 통해 개인 활동을 공동 경험으로 확장시키는 구조를 갖추고 있다. 특히, 사용자는 크루와 함께 목표를 설정하고, 일정 기간 동안 활동을 공유하며, 그 결과를 시각적으로 피드백 받는다. 이러한 경험은 사용자 간 비경쟁적 협동과 비교를 동시에 자극하며, 실제로 앱의 지속 사용률과 운동 습관 형성에 긍정적인 영향을 미친 바 있다.

본 연구는 이와 같은 구조를 에너지 하베스팅 서비스에 접목함으로써, 사용자 참여를 단기적 행동이 아닌 일상 루틴 속 지속 가능한 실천으로 연결하고자 하였다. 크루 기능은 에너지 수집을 보다 몰입감 있고 사회적으로 의미 있는 활동으로 전환하는 데 중요한 역할을 수행한다.

4. 3. 모바일 애플리케이션 디자인

러닝, 하이킹, 사이클링의 하베스팅 활동을 통합 관리하고, 각 하베스팅 제품을 통해 생산된 에너지를 효과적으로 활용할 수 있도록 돕는 모바일 애플리케이션을 제안한다. 해당 애플리케이션은 각 활동의 특성에 맞추어 사용자 경험을 극대화하기 위해 직관적이고 사용하기 쉬운 인터페이스를 제공하는 것을 중점으로 한다. 애플리케이션의 하단 네비게이션 바는 코스(Course), 에너지(Energy), 크루(Crew)로 구성되어 있으며, 코스에서는 직접 하베스팅을 기록할 수 있도록 Start Button이 추가된다. 이를 통해 직접 하베스팅 루트를 관리하고 기록할 수 있다. 에너지에서는 하베스팅 코스를 통해 수집한 에너지와 활용 현황을 추적하는 기능을 제공한다. 크루에서는 사용자가 특정 크루에 가입하여 크루별 에너지 생산량을 확인하고 비교하는 기능을 통해 동기부여를 얻을 수 있도록 한다. Figure 8은 LOOP 모바일 애플리케이션의 기능별, 종목별 구조를 도식화한 IA(information architecture)이다.

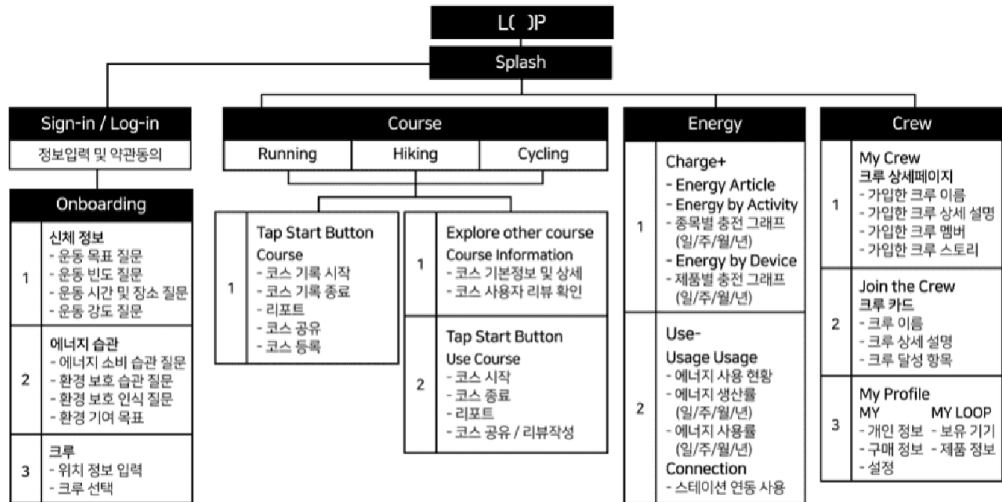


Figure 8 LOOP Application IA(Information Architecture)

(1) 코스(Course)

코스를 이용하는 방식은 크게 두 가지로 구성된다. 첫번째는 Figure 9와 같이 사용자가 다른 사용자의 코스를 선택하여 하베스팅을 진행하는 방식이다. Figure 9의 화면은 알파벳 순서대로 각각 a)부터 f)까지 총 6개의 화면으로 구성되어 있다. a)는 코스의 메인 화면으로 Explore other course에서 위치 정보를 기반으로 다른 사용자의 코스를 선택할 수 있다. b)에서 사용자가 선택한 코스의 이름과 정보, 코스를 등록한 사용자의 정보, 코스의 리뷰 등을 확인할 수 있다. 해당 코스를 선택하고 나면 c)의 내비게이션 기능을 통해 사용자는 선택한 코스를 쉽게 따라갈 수 있다. 코스를 마치면 d)처럼 코스의 마침을 묻는 알림이 뜬다. 알림에 동의하면 e)에서 총 수집된 에너지, 이동 거리, 시간 등의 데이터를 하나의 기록으로 확인할 수 있다. 다른 사용자의 코스를 이용한 후에는 f)에서 코스에 대한 리뷰를 남기게 되며, 이는 이후 코스 추천에 반영된다.

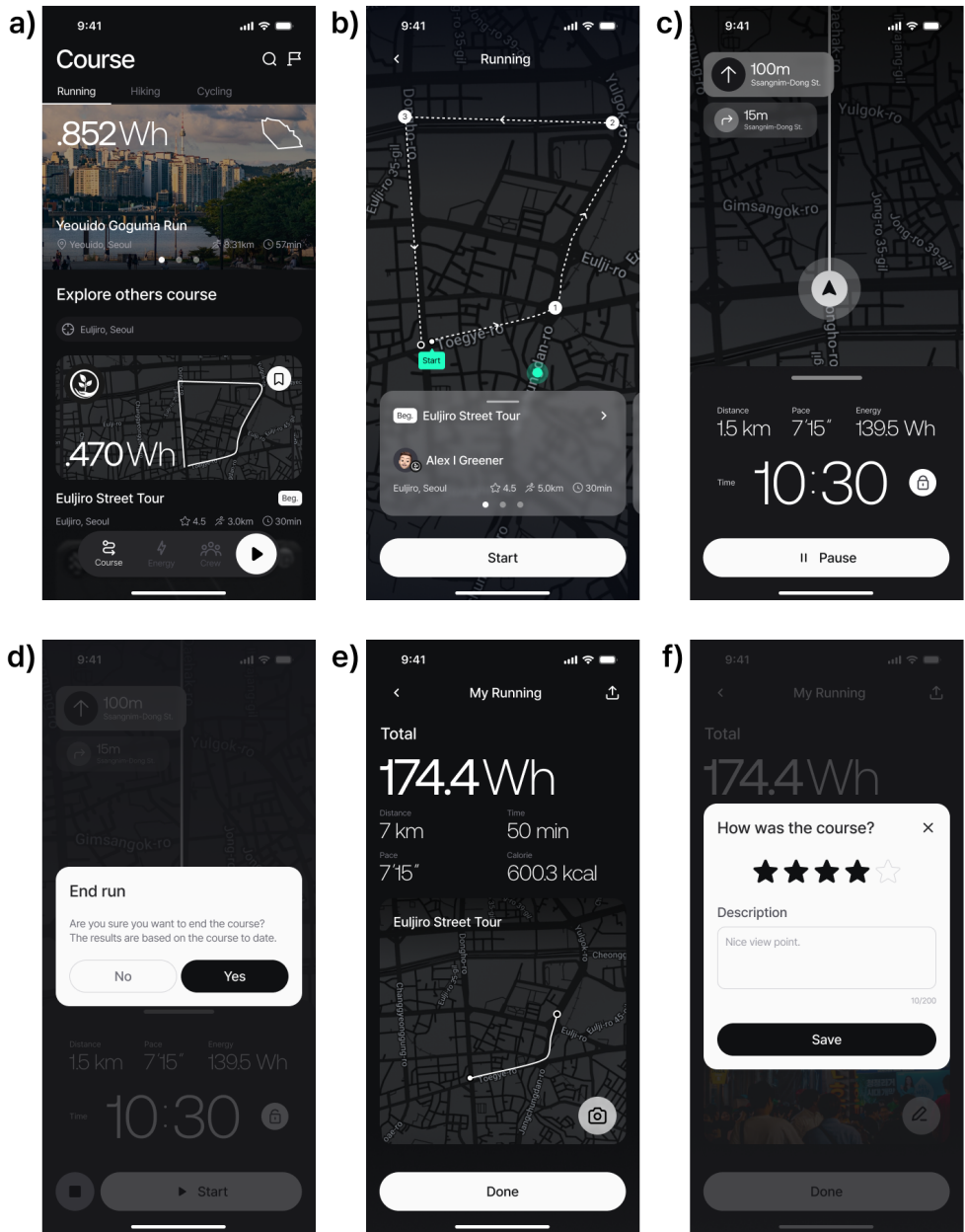


Figure 9 Crew Course Navigation UI. a) Course Main, b) Start Navigation, c) Flow Navigation, d) End Course, e) Harvesting Data, f) Course Review

두번째는 Figure 10과 같이 사용자가 하단의 Start Button을 Tap하여 직접 하베스팅 코스를 설정하고 이를 기록하는 방식이다. Figure 10의 화면은 알파벳 순서대로 각각 g)부터 l)까지 총 6개의 화면으로 구성되어 있다. 먼저 g)의 메인 화면에서 사용자가 하단의 Start Button을 Tap한다. h)에서 사용자가 현재 달리고 있는 코스를 추적하여 이를 실시간으로 기록한다. 기록을 마친 후에는 i)와 같이 코스 기록의 마침을 묻는 알림이 뜨며, j)에서 코스의 데이터를 기록으로 보여준다. k)의 Share your run을 통해 코스 등록 여부를 묻은 후, l)에서 코스의 이름과 난이도, 부가 설명 등 코스의 디테일한 정보를 작성하여 코스를 등록 및 공유한다.

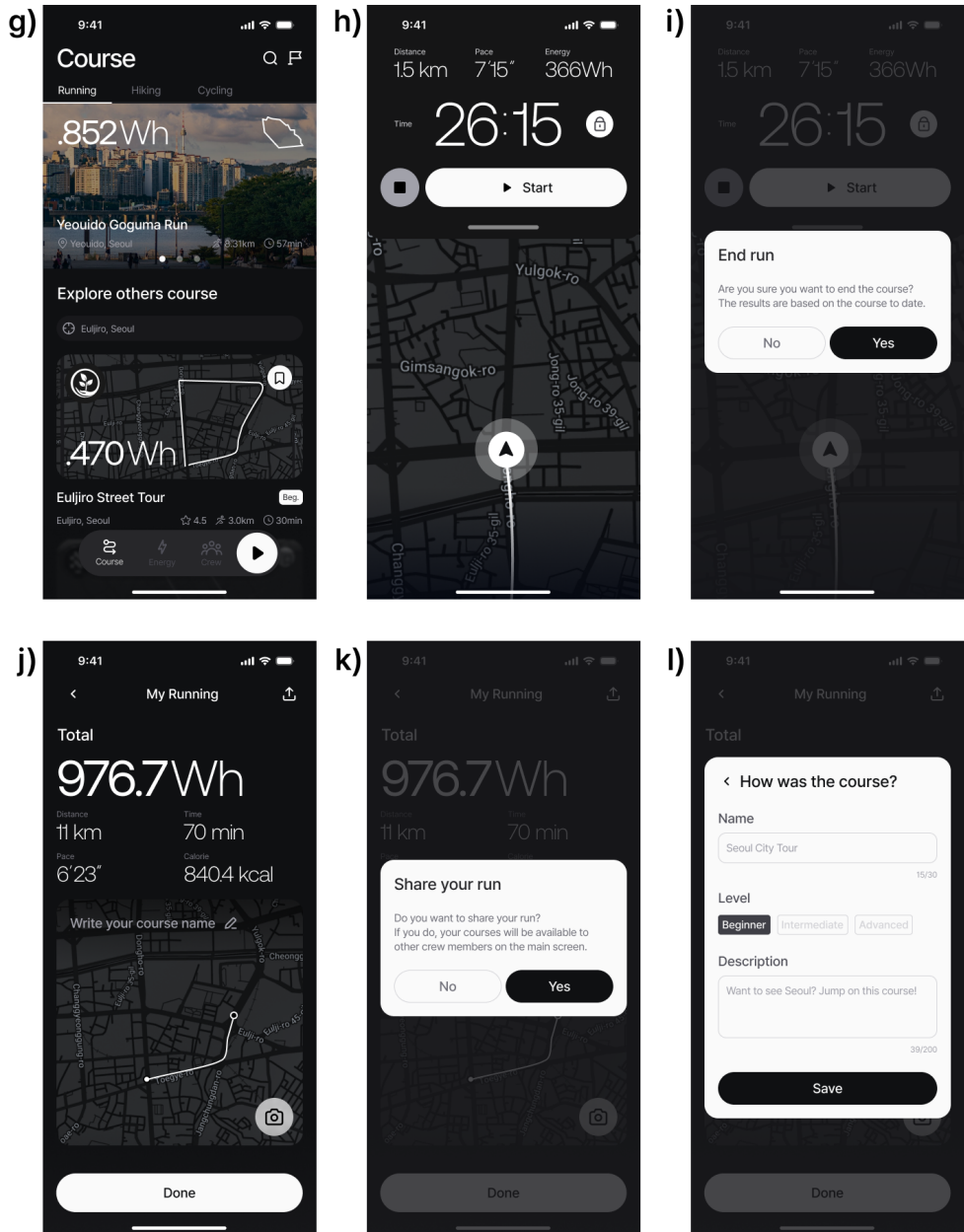


Figure 10 User Course Recording UI, g) Course Main, h) Start Registration, i) End Course, j) Harvesting Data, e) Share Course, f) End Registration

(2) 에너지(Energy)

Figure 11의 에너지 화면은 알파벳 순서대로 각각 m)부터 q)까지 총 5개의 화면으로 구성되어 있다. m)의 Charge 탭 상단 Your energy charges에서는 사용자가 수집한 에너지를 스마트폰, 태블릿, 스마트워치 등의 기기를 기준으로 현재 얼마나 충전 가능한지 보여준다. 예를 들어, 사용자가 4.8Wh의 에너지를 모았다면, 이는 스마트폰을 기준으로 30% 충전이 가능함을 의미한다. 또한, n)에서는 운동 종목별, o)에서는 하베스팅 기기별로 구분된 데이터를 일간, 주간, 월간, 연간으로 제공한다. p)의 Use 탭 상단 Energy Usage는 수집된 에너지가 전력으로 변환된 정도와 해당 전력의 사용량을 기간별로 확인할 수 있도록 한다. 또한, q) 하단의

Connection에서는 코어 디바이스가 루프 스테이션에 연결되었을 때 전력 변환 현황을 실시간으로 모니터링할 수 있다.

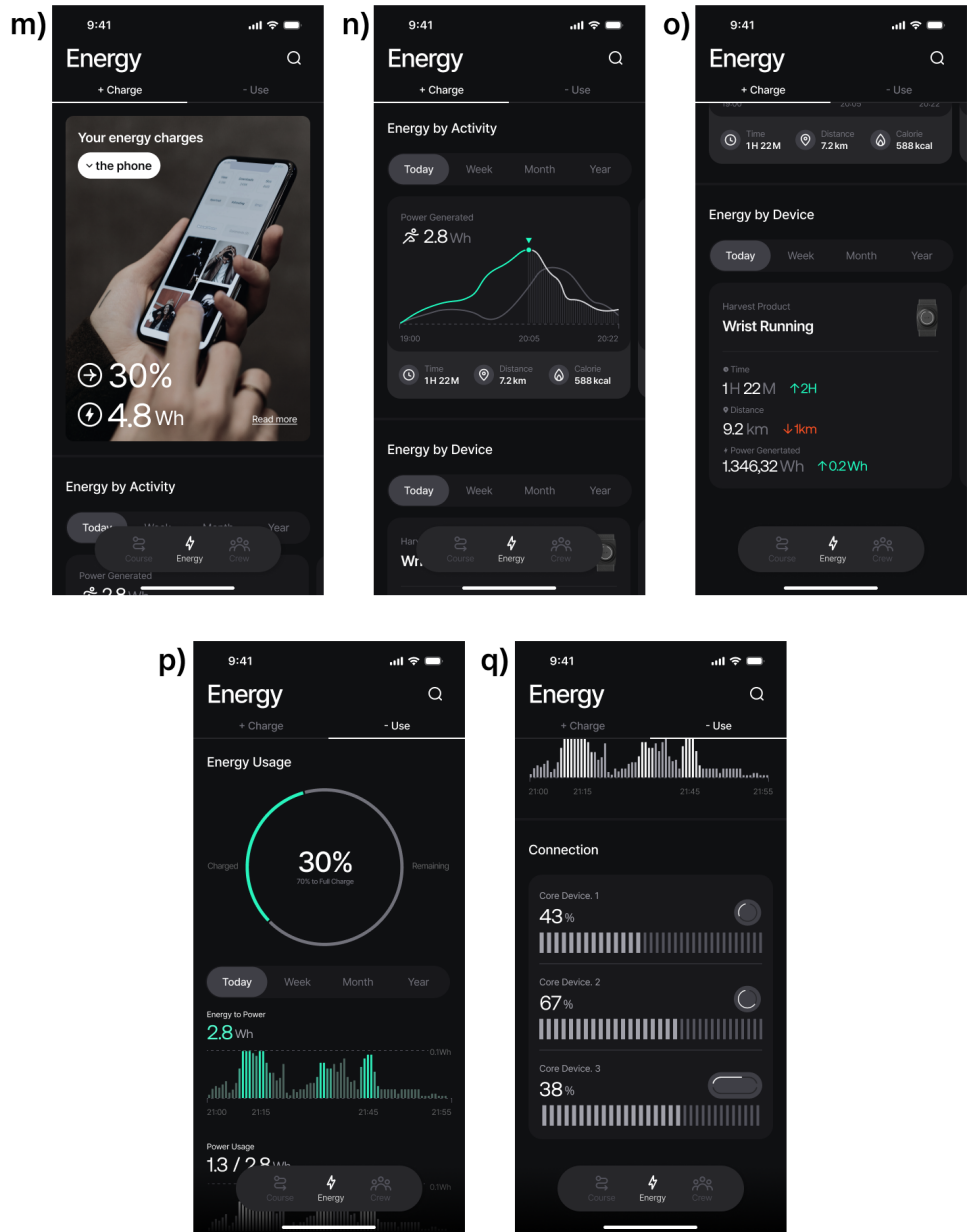


Figure 11 Energy Accumulation Status UI, m) Energy Main, n) Energy by Activity, o) Energy Usage, q) Connection

(3) 크루(Crew)

사용자가 에너지 하베스팅 활동을 함께 즐기고 동기부여를 받을 수 있도록 Figure 12와 같이 크루 기능을 제공한다. Figure 12의 화면은 알파벳 순서대로 각각 r)부터 v)까지 총 5개의 화면으로 구성되어 있다. 메인 화면인 r)의 My Crew에서는 사용자가 가입한 크루의 정보를 확인할 수 있다. 선택 시 해당 크루에 대한 상세 페이지인 t)로 이동한다. 상세 페이지는 크루 설명, 멤버 정보, 크루 활동을 확인할 수 있는 스토리로 구성되어

있다. 메인 화면인 r)을 스크롤 하여 내리면 s)화면이 나오는데, Join the Crew에서는 사용자가 가입하지 않은 크루의 목록이 제공된다. 이미지를 선택하면 크루의 정보가 포함된 u) 카드 화면으로 이동한다. 카드를 Flip하면 v)와 같이 크루의 랭킹과 달성 항목 등을 확인할 수 있다. 하단의 Join the Crew 버튼으로 사용자는 쉽게 크루에 가입할 수 있다.

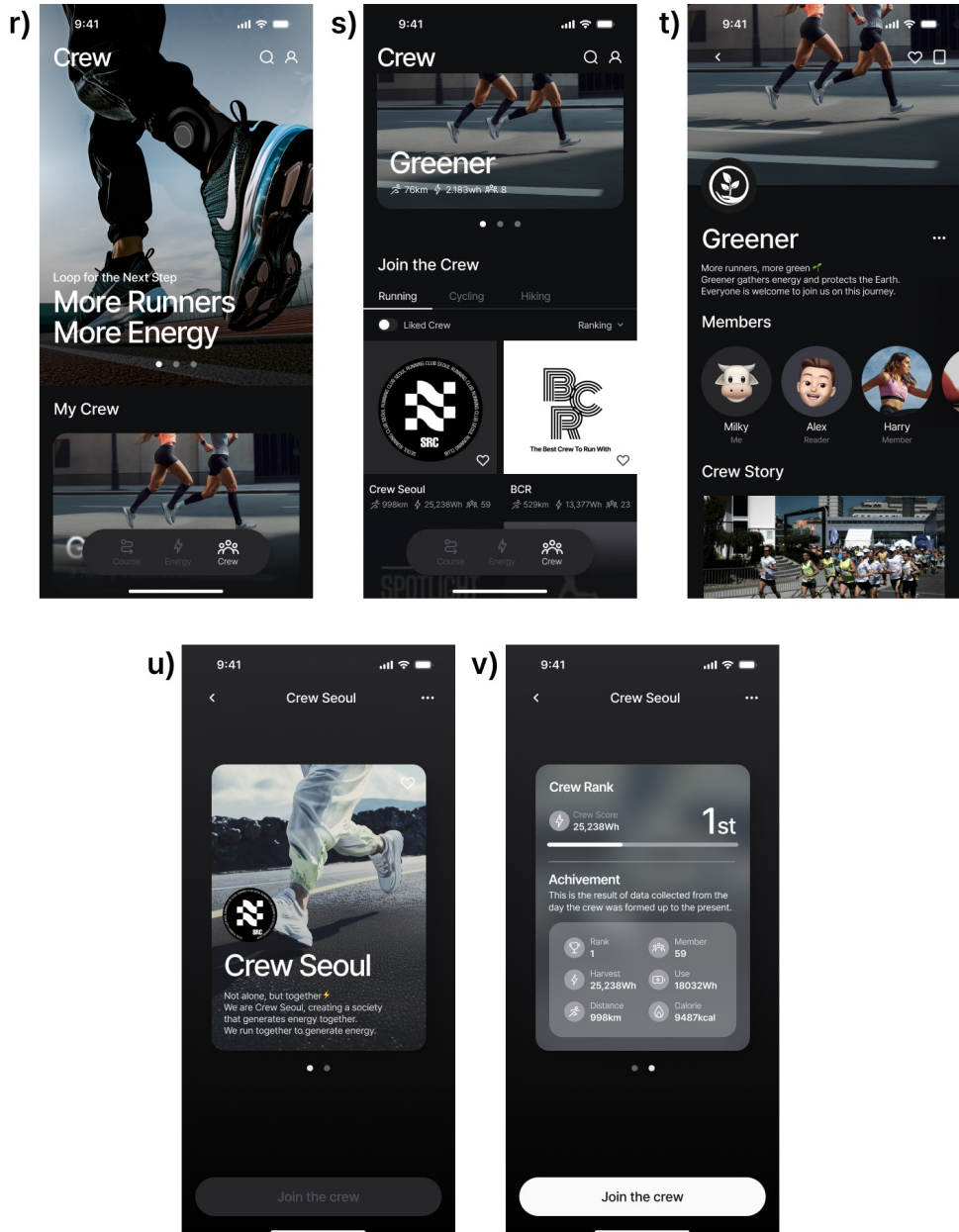


Figure 12 Crew Overview and Details UI, r) Crew Main(My Crew), s) Crew Main(Join the Crew), t) Crew Page, u) Card Front, v) Card Back

크루 화면의 우측 상단에는 My Page 버튼이 위치해 있어 Figure 13과 같이 애플리케이션의 설정과 함께 사용자가 보유하고 있는 하베스팅 제품들을 확인할 수 있다. Figure 13의 화면은 알파벳 순서대로 각각 w)부터 z)까지 총 4개의 화면으로 구성되어 있다. w)는 My Page의 메인 화면이며, 더보기 선택 시 x)와 같이 종목별 하베스팅 제품에 대한 설명과 제품의 작동 방식에 대한 설명, 착용 방법(How-to-Use)을 확인하고, 제품을 주문할 수 있다. y)는 x)의 하베스팅 제품 화면을 스크롤한 화면으로 제품의 착용 방법에 대한 영상을 보여주는 화면이다. 또한, 사용자가 하베스팅 제품을 착용하면 애플리케이션에서 연결 알림이 표시되어 제품이 올바르게 착용되었는지 확인할 수 있다. z)는 사용자의 스마트폰 잠금 화면에서 연결 알림이 뜬 경우를 보여주는 예시이다.

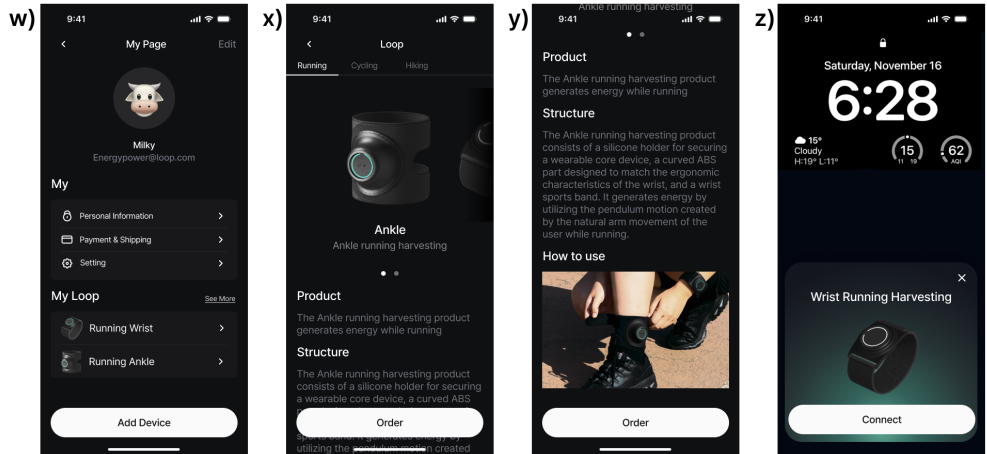


Figure 13 My Harvesting Product UI. w) My Page Main, x) See More About My Loop, y) How-to-Use Video, z) Connection Notification

모바일 애플리케이션은 사용자가 서비스와 가장 직접적으로 상호작용하는 매개체이므로, 사용자의 참여와 지속성을 확보하기 위한 설계가 중요하다. 특히, 크루와 같은 소셜 인터랙션 요소는 사용자가 자신의 성과를 다른 사용자와 비교하고 공유하는 환경을 제공하여, 긍정적 경쟁과 협력적 참여를 촉진하는 전략적 장치로 설계되었다(Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009). 이처럼 본 애플리케이션은 단순히 에너지 하베스팅의 결과를 보여주는 것을 넘어, 사용자가 자발적으로 활동을 지속하고, 환경 보호에 대한 가치를 느낄 수 있도록 하는 디자인적 접근 방식을 담고 있다.

5. 사용성 평가

본 연구는 개인이 일상생활 속에서 에너지를 수집하고 활용할 수 있는 신체 에너지 하베스팅 서비스의 설계를 목표로 한다. 이를 위해 2030세대의 아웃도어 활동 및 디지털 기기 사용 행태를 기반으로 하베스팅 제품과 애플리케이션의 사용성을 분석하였다. 특히 사용자들의 참여 동기를 강화하고 서비스의 지속 가능성을 높이기 위해, 소비가치와 활용 가능성을 중심으로 사용성 평가를 진행하였다.

5. 1. 연구방법

(1) 연구 대상

연구 대상은 만 20~35세로, 러닝, 하이킹, 사이클링 중 한 가지 이상의 아웃도어 활동을 한 달에 한 번 이상 지속적으로 수행하는 개인들로 한정하였다. 이는 2030세대가 개인적 만족뿐만 아니라 사회적 책임과

지속가능성을 소비 결정의 주요 기준으로 삼고 있다는 점을 반영하였다(Kim & Kim, 2022). 대상자 선정 기준에는 운동 빈도, 환경 보호 인식 수준 등이 포함되었으며, 참여 의사를 밝힌 지원자 중 연구 목적에 부합하는 12명을 최종 선정하였다. 연구대상자의 기본 정보는 Table 3과 같으며, Table 4는 인구통계학적 특성을 백분율로 나타내었다.

Table 3 Participant Profiles and Assigned IDs

하베스팅 종류	번호	성별	연령	직업	운동 빈도
러닝	P1	남성	28세	경영·사무직	주 3~5회
	P2	여성	25세	보건·의료직	주 1~2회
	P3	여성	27세	예술·디자인·방송직	주 3~5회
	P4	남성	24세	보건·의료직	주 3~5회
하이킹	P5	여성	29세	예술·디자인·방송직	주 1~2회
	P6	여성	27세	학생	주 6회 이상
	P7	남성	27세	경영·사무직	주 1~2회
	P8	여성	28세	경영·사무직	주 1~2회
사이클링	P9	여성	27세	예술·디자인·방송직	주 1~2회
	P10	여성	31세	예술·디자인·방송직	주 3~5회
	P11	남성	26세	연구·공학 기술직	주 6회 이상
	P12	여성	25세	학생	주 1~2회

Table 4 Demographic Characteristics of Participants

구분	빈도(명)	백분율(%)
성별	남성	4 33.3%
	여성	8 66.7%
연령	20~24세	5 41.7%
	25~29세	4 33.3%
	30~35세	3 25.0%
직업	경영·사무직	3 25.0%
	연구·공학기술직	1 8.3%
	보건·의료직	2 16.7%
	예술·디자인·방송직	4 33.3%
	학생	2 16.7%
운동빈도	주 1~2회	5 41.3%
	주 3~5회	4 33.3%
	주 6회 이상	3 25.0%
운동 중 스마트기기 사용 경험	스마트폰	2 16.7%
	스마트폰+웨어러블 기기	10 83.3%
환경 보호 인식 수준	높음	4 33.3%
	중간	3 25.0%
	낮음	5 41.7%

(2) 연구절차

본 연구에서는 설문조사, 실험 관찰, 심층 인터뷰의 세 가지 방법을 활용하여 사용성 평가를 진행하였다. 연구 절차는 사전 설명, 설문조사, 실험 관찰, 심층 인터뷰의 순서로 진행되었다. 먼저, 참가자들에게 연구의 목적과 진행 절차를 설명하고, 설문조사를 통해 참가자의 인구통계학적 특성을 수집하였다. 이후 참가자는 연구용 하베스팅 제품을 착용하고, 애플리케이션을 설정한 후 운동을 수행하며 Think Aloud 방식으로 사용 경험을 공유하였다. 마지막으로, 심층 인터뷰에서는 소비가치와 활용 가능성을 중심으로 제품과 애플리케이션의 사용 경험을 평가하였다. 심층 인터뷰는 반구조화된 형식으로 진행되어, 인터뷰 항목에 대한 5점 척도를 바탕으로 참가자가 자유롭게 의견을 개진할 수 있도록 하였다.

(3) 연구도구

심층 인터뷰의 인터뷰 항목은 Sweeney & Soutar(2001)의 소비가치 평가 척도(PERVAL)와 Ajzen(2020)의 계획행동이론(TPB)을 기반으로 연구 목적에 맞게 변형하여 구성되었다. 소비가치의 하위요인은 환경(사회)적 가치(3문항), 개인(정서)적 가치(3문항), 기능(성능)적 가치(3문항)으로 총 9문항의 5점 척도 항목으로 구성되었다. 활용 가능성의 하위요인은 지속적 사용(행동태도)(2문항), 추천 행동(주관적 규범)(2문항), 만족도 및 개선점(행동 통제)(2문항)으로 총 6문항의 5점 척도 항목으로 구성되었다.

본 연구에서는 각 문항별 평균값 및 표준편차를 산출하여 응답 경향을 파악하고, 하위요인별 응답 점수의 분포를 비교 분석하였다. 유사한 평가 경향이 관찰된 사례를 중심으로 정성적 응답 내용을 분석하여, 수치 기반의 응답이 실제 사용자 경험과 어떤 방식으로 연결되는지를 해석하였다. 이를 위해 인터뷰 전사 내용을 기반으로 가치 요인 및 행동 요인별로 사용자 진술을 분류하여 상호 보완적으로 분석하였다. 구체적인 인터뷰 질문지의 구성내용은 Table 5와 같다.

Table 5 User Evaluation Interview Items

환경적가치	문항		
환경적가치	1	제품과 애플리케이션이 환경보호에 기여한다고 느낀다.	
	2	제품과 애플리케이션은 환경보호에 대한 인식을 높인다.	
	3	제품과 애플리케이션이 환경을 위한 실천 행동(예:에너지 절약 등)에 영향을 미친다.	
소비가치	4	제품과 애플리케이션이 운동 중 성취감을 느끼게 한다.	
	5	제품과 애플리케이션이 나의 생활 방식(라이프스타일)에 적합하다고 느낀다.	
	6	제품과 애플리케이션이 운동을 통해 개인적 목표를 달성하는 데 도움이 된다.	
	7	제품과 애플리케이션은 운동 중 사용하기 편리하다.	
기능적가치	8	제품과 애플리케이션의 기능이 운동을 관리하는 데 유용하다.	
	9	제품과 애플리케이션의 기능이 에너지를 관리하는 데 유용하다.	
지속적사용	10	제품과 애플리케이션을 다시 사용할 의향이 있다.	
	11	제품과 애플리케이션을 다른 운동 활동에도 활용할 의향이 있다.	
활용가능성	추천행동	12	제품과 애플리케이션을 친구나 가족에게 추천하고 싶다.
		13	제품과 애플리케이션을 다른 운동인들에게 추천하고 싶다.
	만족도	14	제품과 애플리케이션의 사용 경험에 만족한다.
		15	제품과 애플리케이션에서 개선되기를 바라는 점이 있다면, 무엇인가요?

5. 2. 정량적 분석 결과

본 연구를 통해 수집된 자료는 정량적 및 정성적 분석을 통해 종합적으로 처리되었다. 실험 관찰 단계에서 Think Aloud 방식을 활용하여 수집한 실시간 피드백을 통해 사용자의 행동 패턴 및 제품과 서비스의 사용성 관련 주요 인사이트를 도출하였다. 심층 인터뷰 데이터는 녹취와 전사 과정을 거쳐 내용 분석(Content Analysis)을 실시하였으며, 5점 척도와 관련하여 공통된 인사이트를 분석해 패턴을 파악하였다. 분석 과정에서는 연구의 신뢰성과 타당성을 확보하기 위해 연구진이 독립적으로 분석한 후 상호 검토하는 과정을 거쳤다. 이를 통해 도출된 결과는 서비스의 개선 방향을 설정하는 데 활용되었다

(1) 소비가치 분석 결과

소비가치 평가 결과, 환경적 가치(평균 4.25점), 개인적 가치(평균 4.27점), 기능적 가치(평균 4.29점)에서 전반적으로 고른 평가를 받은 것으로 확인되었다. 특히, 개인적 가치와 기능적 가치에서는 사이클링 참가자들이 가장 높은 점수를 기록했는데, 이는 사이클링이 하베스팅 종목 중 에너지 수집량이 가장 많아 목표 달성에 대한 만족감을 높이는 데 영향을 미친 것으로 분석된다. 환경적 가치에서는 모든 종목이 고르게 높은 점수를 기록하였다. 이는 대부분의 참가자들이 운동 중 환경 보호에 대한 동기부여 요소를 높이 평가하는 경향을 보였기 때문으로 분석된다. 소비가치 평가 결과의 구체적인 항목과 점수는 Table 6과 같다.

Table 6 Results of Consumer Value Analysis

항목	러닝	하이킹	사이클링	평균 점수
환경(사회)적가치 1	4.25	4.00	3.75	4.00
환경(사회)적가치 2	4.50	4.00	4.75	4.42
환경(사회)적가치 3	4.25	4.00	4.75	4.33
개인(정서)적가치 4	4.50	4.25	5.00	4.58
개인(정서)적가치 5	4.00	4.25	4.25	4.16
개인(정서)적가치 6	4.25	3.75	4.25	4.08
기능(성능)적가치 7	4.67	3.50	4.25	4.14
기능(성능)적가치 8	4.50	4.00	4.75	4.41
기능(성능)적가치 9	4.50	4.00	4.50	4.33
총 평균	4.38	3.97	4.47	4.27

(2) 활용 가능성 분석 결과

활용 가능성 평가에서는 지속적 사용(평균 4.46점), 추천 행동(평균 4.33점), 만족도 및 개선점(평균 4.16점)에서 차이를 보였다. 특히, 지속적 사용과 추천 행동에서는 모든 하베스팅 항목이 높은 점수를 보였다. 이는 하베스팅 크루와의 연계 및 사회적 공유가 중요한 요인으로 작용한 결과로 해석되며, 러닝과 사이클링 참가자들은 기존 크루 활동 경험을 바탕으로 지속적인 사용에 긍정적인 평가를 내린 것으로 분석된다. 만족도 및 개선점에서는 하이킹 참가자들이 가장 낮은 점수를 보였다. 특히, 신발 부착형 하베스팅 제품의 경우, 보다 편리한 착용을 위해 코어 디바이스의 경량화가 필수적인 것으로 나타났다. 향후 기술 발전을 통해 센서 소형화와 경량 소재 적용이 가능해짐에 따라, 코어 디바이스의 크기와 무게를 줄여 사용자 경험을 더욱 향상시킬 필요성이 제기되었다. 활용 가능성 분석 결과의 구체적인 항목과 점수는 Table 7과 같다.

소비가치 항목(환경적, 개인적, 기능적 가치)과 활용 가능성 항목(지속적 사용, 추천 행동, 만족도 및 개선점) 간의 응답 경향을 기반으로 항목 간 관계를 탐색적으로 살펴보았을 때, 개인적 가치에 대한 응답이 높은 참여자들은 대체로 지속적 사용 의향과 추천 행동에서도 높은 응답을 보였으며, 환경적 가치와 추천 행동 간에도 유사한 경향이 관찰되었다. 반면, 기능적 가치는 다른 항목에 비해 응답 편차가 상대적으로 크고 일관성이 낮게 나타났다.

Table 7 Utilization Analysis Results

항목	러닝	하이킹	사이클링	평균 점수
지속적 사용(행동 태도) 10	4.50	4.25	4.25	4.33
지속적 사용(행동 태도) 11	4.50	4.50	4.75	4.58
추천 행동(주관적 규범) 12	4.25	4.00	4.75	4.33
추천 행동(주관적 규범) 13	4.00	4.25	4.75	4.33
만족도 및 개선점(행동 통제) 14	4.00	3.75	4.75	4.16
총 평균	4.25	4.15	4.65	4.35

(3) 항목 간 차이 및 관계 분석

본 연구에서는 보다 심층적인 통계 분석을 통해 다음 두 가지 측면을 검증하였다. 첫째, 하베스팅 항목에 따른 소비가치와 활용 가능성의 차이가 통계적으로 유의미한지를 일원분산분석(One-way ANOVA)을 통해 살펴본다. 둘째, 소비가치와 활용 가능성 간의 관계를 파악하기 위해 상관분석을 실시함으로써, 각 변수 간의 연관성과 서비스의 효과 구조를 정량적으로 검증하고자 한다.

먼저, 러닝, 하이킹, 사이클링 세 항목 간 소비가치(환경적 가치, 개인적 가치, 기능적 가치)와 활용 가능성(지속적 사용, 추천 행동, 만족도)의 평균값 차이를 검증하기 위해 일원분산분석(One-way

ANOVA)을 실시하였다. 그 결과, 모든 질문 범주에서 p-value가 0.05 이상으로 나타나, 종목 간 평균 차이가 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 확인되었다. Table 8은 하베스팅 종목(러닝, 하이킹, 사이클링)에 따른 소비가치 및 활용 가능성의 평균값 차이를 검증한 일원분산분석 결과를 나타낸 것이다.

이러한 결과는 하베스팅 서비스가 특정 종목에만 효과가 국한되지 않고, 다양한 아웃도어 활동 전반에 걸쳐 일관된 긍정적 효과를 제공할 수 있음을 시사한다. 즉, 러닝, 하이킹, 사이클링 등 사용자가 선호하는 활동 유형에 관계없이, 하베스팅 서비스가 소비가치와 활용 가능성에 긍정적인 영향을 미치는 경향이 유지될 가능성이 높다고 해석할 수 있다.

Table 8 One-way ANOVA Results for Harvesting Activity Groups

질문범주	p-value
환경(사회)적가치	0.682
개인(정서)적가치	0.742
기능(성능)적가치	0.380
지속적 사용(행동 태도)	0.968
추천행동(주관적 규범)	0.581
만족도 및 개선점(행동 통제)	0.319

다음으로, 소비가치와 활용 가능성 간의 관계를 확인하기 위해 변수 간 상관계수 분석을 실시하였다. 분석 결과, 대부분의 변수 간 상관계수는 0.5 이상으로 높게 나타났으며, 특히 기능적 가치와 만족도 간 상관계수는 0.92, 개인적 가치와 추천행동 간 상관계수 또한 0.92로 매우 강한 상관을 보였다. Table 9는 이러한 소비가치 및 활용 가능성 변수 간의 상관관계를 분석한 상관계수 결과를 나타낸 것이다. 이는 제품의 기능적 우수성이 사용자의 만족도 형성에 핵심적인 역할을 하고 있으며, 개인적 가치에 기반한 긍정적 사용 경험이 타인 추천 행동으로 자연스럽게 이어질 가능성이 높다는 점을 시사한다.

Table 9 Correlation Coefficients of Consumer Value and Utilization Variables

항목	환경적 가치	개인적 가치	기능적 가치	지속적 사용	추천 행동	만족도 및 개선점
환경적가치	1.00	0.60	0.63	0.65	0.65	0.71
개인적가치	0.60	1.00	0.76	0.77	0.92	0.75
기능적가치	0.63	0.76	1.00	0.58	0.83	0.92
지속적 사용	0.65	0.77	0.58	1.00	0.85	0.48
추천행동	0.65	0.92	0.83	0.85	1.00	0.78
만족도 및 개선점	0.741	0.75	0.92	0.48	0.78	1.00

종합적으로 볼 때, 하베스팅 서비스는 특정 아웃도어 종목에 관계없이 일관된 긍정적 효과를 제공할 뿐만 아니라, 소비가치와 활용 가능성 간에도 밀접한 정(+)의 관계가 형성되는 경향을 보였다. 특히 기능적 가치와 만족도, 개인적 가치와 추천 행동 간의 높은 상관은 하베스팅 서비스의 기술적 완성도와 사용 경험이 실제 사용자 행동에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 이러한 결과는 하베스팅 서비스가 단순한 에너지 수집을 넘어, 사용자의 가치 인식과 행동 변화를 유도하는 실질적 서비스로 확장될 가능성을 뒷받침한다.

5. 3. 실험 관찰 및 심층 인터뷰 분석 결과

실험 관찰은 운동 전 준비 단계, 운동 중 사용 경험, 운동 후 에너지 수집 및 분석 단계로 나누어 진행되었다. 참가자들은 전반적으로 신체 에너지 하베스팅 제품 및 서비스의 개념에 긍정적인 반응을 보였으며, 운동을 통한 환경 보호 기여가 서비스의 주요 장점으로 인식되었다. 다만, 공통적으로 제품 착용의 편리성과 안정성, 에너지 활용의 직관적인 가이드 제공 등의 개선이 필요하다는 의견이 제시되었다. 또한, 크루 기능을 통한 사회적 동기부여가 서비스의 중요한 요소로 작용한다고 평가하였다.

(1) 운동 전 준비 단계

실험 관찰 결과, 운동 전 준비 단계에서 참가자들은 하베스팅 제품 착용 과정의 편리성을 중요하게 고려하는 경향을 보였다. 대부분의 참가자들은 제품 착용 방식이 운동 준비 과정의 자연스러운 일부로 받아들여지기를 원했다. 특히 손목 러닝 하베스팅 제품은 상대적으로 착용이 간편하여 자연스럽게 적응하는 모습을 보였다. 반면, 신발 부착형 하베스팅 제품의 경우 신발과의 호환성이 필요하여 일부 참가자들이 착용에 어려움을 겪는 모습이 관찰되었다. 예를 들어, 하이킹용 신발을 착용하지 않은 참가자의 경우 신발 부착형 제품을 부착하는데 시간이 더 소요되었으며, 보다 직관적인 착용 방식이 요구됨이 확인되었다.

참가자들은 착용 과정에서의 경험을 바탕으로 다양한 피드백을 제공하였다. 착용 편의성과 관련하여, “평소 하베스팅 제품을 착용할 때 신던 신발이 아닌 다른 신발을 신을 때는 착용이 번거로울 것 같다(P5)”, “제품 착용이 익숙하지 않아 출발 전에 시간이 더 걸린다(P10)” 등의 의견을 제시하였다. 서비스 개념 자체에 대한 긍정적인 평가도 있었다. “운동을 통해 전력을 모을 수 있다는 생각이 동기를 높인다(P2)”, “착용만으로 환경에 기여할 수 있다는 점이 흥미롭다(P9)”는 피드백을 통해 사용자의 참여 동기를 높이기 위한 심리적 요소가 서비스 디자인에 중요한 고려사항으로 도출되었다.

(2) 운동 중 사용 경험

운동 중 실험 관찰을 통해 하베스팅 제품의 착용 안정성과 실시간 피드백이 운동의 몰입도에 영향을 미친다는 점을 보여주었다. 제품이 신체에 잘 고정되지 않거나 장시간 착용 시 불편함이 발생하는 경우, 운동 중 집중도가 저하되는 모습이 관찰되었다. 또한, 실시간 피드백 기능과 관련하여 참가자들은 운동 중 지속적으로 화면을 확인하며 자신의 에너지 수집량을 체크하는 경향을 보였다. 이 과정에서 일부 참가자들은 피드백이 즉각적으로 제공될 때 운동 동기가 향상되는 모습을 보였으며, 제품과의 상호작용을 적극적으로 수행하였다. 그러나 운동 중 손을 자유롭게 사용할 수 없는 환경에서는 화면을 확인하는 빈도가 줄어들어, 직관적이고 편리한 피드백 제공 방식의 중요성이 강조되었다.

참가자들은 제품의 착용 안정성과 관련하여 다양한 의견을 제시하였다. 일부 참가자들은 “운동 중 제품이 조금씩 흔들려 집중이 어려웠다(P4)”, “발목 제품은 장시간 사용 시 땀이 찰 수 있을 것 같다(P8)” 등의 피드백을 제공하였다. 실시간 피드백 기능에 대한 평가에서는 긍정적인 반응이 다수 도출되었다. 참가자들은 “에너지 수집량을 실시간으로 확인하니 운동의 동기부여가 된다(P6)”는 의견을 통해, 즉각적인 피드백 제공이 사용자 참여를 유도하는 핵심 요소임을 확인시켜 주었다. 그러나, 실시간 데이터를 확인하는 방식에 대한 개선 요구도 제기되었다. 예를 들어, “운동 중 화면을 자주 볼 수 없어서 음성 안내 기능이 있으면 좋겠다(P3)”라는 의견을 통해 보다 직관적인 정보 전달 방식이 필요성이 제시되었다.

(3) 운동 후 에너지 수집 및 분석 단계

운동 후 참가자들은 수집한 에너지를 확인하는 과정에서 높은 관심을 보였으며, 시각적으로 제공되는 데이터를 주의 깊게 살펴보는 경향이 관찰되었다. 특히, 크루 기능을 활용하는 과정에서 수집된 에너지 데이터를 팀원들과 비교하는 데 적극적인 태도를 보였다. 일부 참가자들은 랭킹 기능을 확인하며 다른 팀과의 비교를 통해 경쟁심을 가지는 모습을 보였고, 운동 후 즉시 자신의 에너지 수집 데이터를 크루 내에서 공유하는 행동을 보이기도 했다. 이러한 관찰 결과는 사회적 동기부여가 사용자 유지율을 높이는 데 중요한 요소로 작용할 수 있음을 시사한다.

크루 기능과 관련하여 참가자들은 팀원들과의 비교 및 공유가 동기부여에 큰 영향을 미친다고 평가하였다. “친구들과 함께 에너지를 모으고 비교하면 재미있을 것 같다(P10)”, “크루 내 랭킹을 확인할 수 있어 더 열심히 참여하게 된다(P7)” 등 크루 기능이 단순한 기록 공유를 넘어 사용자 간의 유대감 형성 및 지속적인 참여를 유도하는 중요한 장치로 작용하고 있음을 확인하였다. 한편, 일부 참가자들은 데이터의 표현 방식에 대한 개선이 필요하다고 언급하였다. 예를 들어, “Wh 단위가 낯설어 쉽게 이해할 수 있도록 설명이 추가되면

좋겠다(P5)”는 의견을 통해, 에너지 데이터의 단위 변환 또는 보다 직관적인 설명 방식이 도입될 경우 사용자 경험이 더욱 향상될 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 4. 논의

본 연구는 신체 에너지 하베스팅 기반 서비스가 디지털 탄소 발자국을 줄이고 지속 가능한 에너지 소비 문화를 형성하는 데 기여할 수 있음을 검증하는 데 초점을 맞추었다. 소비가치 분석 결과, 환경적 가치, 개인적 가치, 기능적 가치에서 전반적으로 긍정적인 평가를 받았으며, 특히 사이클링 참가자들이 기능적 가치에서 가장 높은 점수를 기록했다. 이는 신체 에너지 하베스팅 제품이 에너지 수집량이 많을수록 사용자의 성취감을 높이고 참여 동기를 촉진할 수 있음을 의미한다. 또한, 크루 기능이 지속적 사용을 유도하는 요소로 작용하였으며, 하이킹 참가자들의 경우 신발 부착형 제품의 불편함으로 인해 만족도가 상대적으로 낮았다. 이는 제품 착용의 편리성이 지속적 사용의 핵심 요소임을 시사한다.

실험 관찰 결과, 운동 전 준비 단계에서는 손목 러닝 제품이 편리하게 받아들여진 반면, 신발 부착형 제품은 신발과의 호환성이 중요한 변수로 작용했다(P5, P10). 또한, 에너지 수집을 통한 환경 보호 기여가 운동 동기 부여 요소로 작용함을 확인하였다(P2, P9). 이러한 결과는 신체 에너지 하베스팅 제품이 단순히 전력을 생산하는 기술적 기능을 넘어, 사용자가 일상 속에서 쉽게 착용하고 사용할 수 있도록 설계되는 것이 중요함을 시사한다. 본 연구에서도 제품 착용 방식이 자연스럽게 운동 준비 과정의 일부로 받아들여질 때 사용자의 거부감이 줄어들고, 에너지 하베스팅 활동에 대한 적극적인 참여가 유도됨을 확인하였다.

운동 중 사용 경험에서는 제품의 착용 안정성과 실시간 피드백이 운동 몰입도에 영향을 미치는 주요 요소로 나타났다(P4, P8). 착용 안정성이 낮을 경우 운동 집중도가 저하되었으며, 실시간 피드백이 동기부여를 강화하는 데 효과적이었다(P6). 그러나 운동 중 화면 확인이 어려운 환경에서는 음성 안내 기능이 필요함도 도출되었다(P3). 이러한 결과는 사용자 경험(UX) 설계에서 직관적인 피드백 시스템이 중요한 역할을 한다는 점을 재확인시켜 준다. 본 연구에서도 실시간 에너지 수집량을 시각적으로 제공할 경우 사용자의 참여율이 증가하는 경향이 나타났으며, 이는 기존 연구에서도 즉각적인 피드백이 행동 변화를 유도하는 중요한 요소임이 강조된 바 있다(Fogg, 2009).

운동 후 에너지 수집 및 분석 단계에서는 수집된 에너지를 확인하는 과정에서 참가자들이 높은 성취감을 느끼는 경향이 나타났으며, 크루 기능이 사회적 동기부여를 강화하는 중요한 요인으로 작용하였다(P10, P7). 다만, 데이터 단위가 익숙하지 않아, 보다 쉬운 데이터 시각화가 필요하다는 점이 개선 방향으로 도출되었다(P5). 이러한 결과는 신체 에너지 하베스팅 활동이 단순한 전력 수집 행위가 아니라, 사용자 간 상호작용과 경쟁 요소를 포함할 때 지속적인 동기부여가 가능함을 보여준다. 이는 크루와 같은 소셜 인터랙션 요소가 긍정적 경쟁과 협력적 참여를 촉진하는 전략적 장치로 설계될 수 있다는 기존 연구의 결과와 일치한다(Oinas-Kukkonen & Harjumaa, 2009).

6. 결론 및 제언

6. 1. 소결

본 연구는 신체 에너지 하베스팅 기반 서비스가 사용자 경험에 미치는 영향을 검토하고, 이를 바탕으로 서비스 개선 방향을 제안했다는 점에서 중요한 의의를 갖는다. 기존 연구들이 에너지 하베스팅 기술의 효율성 개선과 기술적 구현에 집중한 반면, 본 연구는 설문조사, 실험 관찰, 심층 인터뷰 등을 통해 사용자의 실제 경험과 행동 변화를 중심으로 분석을 진행하여, 하베스팅 기술이 일상 속에서 자연스럽게 활용될 수 있도록 하는 실질적인 서비스 디자인 방향을 제시하였다. 먼저, 신체 활동 중 발생하는 에너지를 효과적으로 수집할 수 있는 최적의

하베스팅 방식을 실험적으로 검증하였다. 특히 가장 높은 에너지 변환율을 기록한 사이클링 제품의 만족도와 신발 부착형 제품의 호환성 문제를 통해 운동 유형과 착용 방식에 따라 최적의 하베스팅 방식이 달라질 수 있음을 확인하였다.

다음으로, 본 연구는 사회적 동기부여가 에너지 하베스팅 서비스의 지속적인 참여를 유도하는 핵심 요소임을 실험적으로 확인하였다. 실험 관찰 및 심층 인터뷰를 통해 크루 기능 및 랭킹 시스템의 UX/UI 디자인 요소가 사용자들의 장기적인 서비스 이용을 유도하는 중요한 동기부여 요인으로 작용함을 검증하였다. 또한, 신체 에너지 하베스팅 제품과 서비스의 개선 방향을 구체적으로 도출하였다. 착용감 개선, 제품 경량화, 직관적인 피드백 제공, 음성 안내 기능 추가 등의 실질적인 UX/UI 개선 요소를 도출하였으며, 이는 신체 에너지 하베스팅 서비스가 단순한 사용자 중심의 설계를 통해 더욱 효과적으로 활용될 수 있음을 시사한다.

마지막으로, 에너지 하베스팅 서비스가 사용자의 환경 보호 인식에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 인터뷰 분석을 통해 “운동을 통해 전력을 모을 수 있다는 사실이 동기부여가 된다(P2)”, “착용만으로 환경 보호에 기여할 수 있다는 점이 흥미롭다(P9)” 등의 의견이 도출되었으며, 환경 보호에 대한 사용자 인식을 높이는 데 기여할 가능성이 있음을 실험적으로 확인하였다. 이를 통해, 신체 에너지 하베스팅 서비스가 단순한 개념적 아이디어가 아니라 실제 사용자 경험을 기반으로 개선되고 확장될 수 있는 가능성이 있음을 입증하였으며, 향후 실용적이고 지속 가능한 서비스로 발전할 수 있도록 추가적인 연구가 필요함을 시사한다.

그러나, 본 연구는 사용자가 장기적으로 운동과 신체 에너지 하베스팅을 지속하면서 환경 보호에 기여하는지를 확인하는 것을 목적으로 하고 있음에도 불구하고, 단기적인 실험을 중심으로 연구가 진행되었다는 한계를 가진다. 실험을 통해 사용자의 초기 반응과 경험을 분석하는 데 초점을 맞추었으나, 시간이 지남에 따라 사용자의 운동 습관 변화, 서비스 지속성, 환경 보호 실천의 연속성 등을 충분히 검토하지 못했다. 이는 실험 기간과 자원상의 한계로 인해 장기간 데이터를 수집하고 분석하는 과정이 포함되지 못했기 때문이다.

통계 분석 측면에서 본 연구는 표본 수가 제한적($n=12$)이었기 때문에, 다중회귀분석 결과에 대한 해석에는 상당한 주의가 필요하다. 실제 분석 과정에서 일부 변수의 분산팽창지수(VIF)가 5를 초과하는 등 다중공선성의 우려가 확인되었으며, 이로 인해 회귀계수의 신뢰도가 저하되었을 가능성이 존재한다. 또한, 계수의 p-value가 0.05 이상으로 유의하지 않게 나타나는 등, 통계적 해석에 한계가 있었다. 이러한 이유로 본 연구에서는 변수 간의 구조적 관계를 보다 안정적으로 파악하기 위해, 설명력은 낮지만 상관관계 자체를 파악하는 데 적합한 상관분석 결과를 중심으로 해석을 진행하였다. 향후 연구에서는 보다 충분한 표본 크기 확보와 장기적 데이터 축적을 통해, 다중회귀분석의 적합성과 설명력을 개선하고, 사용자 행동 변화 및 서비스 지속성과의 관계를 보다 정교하고 신뢰성 있게 검증할 필요가 있다.

기술적 한계 또한 존재한다. 본 연구에서는 현재 사용 가능한 기술을 기반으로 하베스팅 제품과 서비스를 설계하였으나, 배터리 저장 효율, 에너지 변환율, 제품 경량화 등의 측면에서 기술적 제약이 있었다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 신체 에너지 하베스팅 제품을 단순히 개념적 콘셉트 제안에 그치지 않고 실제 시제품으로 제작하여 사용자가 직접 착용하고 그 사용성을 관찰했다는 점에서 중요한 의의를 갖는다. 기존 연구들이 주로 개념적 가능성만을 제시하거나 기술적 제약을 하는 데 머물렀다면, 본 연구는 실제 제품 사용 환경에서의 경험적 데이터를 기반으로 더욱 실용적인 개선 방안을 도출했다는 점에서 차별성과 기여도가 높다고 할 수 있다.

또한, 향후 5년 내 배터리 효율 및 초경량 하베스팅 소재 기술이 발전할 가능성이 높으며, 이를 적용할 경우 보다 경량화된 제품과 높은 충전 효율을 갖춘 서비스 구현이 가능할 것이다(Yoon, 2020). 향후 연구에서는 새로운 기술을 적용하여 제품의 무게, 착용감, 에너지 변환 효율을 최적화하는 방향으로 확장할 필요가 있다.

따라서, 단기적인 사용자 행동 변화에 대한 분석과 기술적인 한계를 보완하여, 보다 실용적이고 지속 가능한 서비스로 발전할 수 있도록 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

6. 2. 시사점

본 연구는 신체 에너지 하베스팅 서비스의 사용성에 대한 심층적인 분석을 통해, 차세대 하베스팅 서비스의 실질적인 가능성과 개선 방향을 제시하였다. 현대 사회에서 친환경 에너지 기술의 필요성이 증가하고 있는 가운데, 운동과 결합한 에너지 하베스팅 서비스는 개인의 건강 증진뿐만 아니라 지속 가능한 미래를 위한 필수적인 솔루션으로 자리 잡을 가능성이 크다. 연구 결과, 참가자들은 운동을 통해 에너지를 수집하고 이를 활용할 수 있다는 점에 대해 매우 긍정적인 반응을 보였으며, 환경 보호와 개인의 성취감을 동시에 제공하는 이점에 주목하였다.

본 연구에서 실시한 상관분석 결과, 하베스팅 서비스의 소비가치와 활용 가능성 간에는 전반적으로 정(+)의 상관관계가 관찰되었다. 예를 들어, 기능적 가치와 만족도 간, 개인적 가치와 추천 행동 간의 상관관계수는 각각 0.92로 나타났으며, 이는 두 변수 간의 높은 응답 경향의 일치를 보여주는 지표로 해석될 수 있다. 다만, 이는 상관관계 분석에 기반한 탐색적 결과이며, 인과적 영향이나 구조적 경로를 확인할 수 있는 분석은 아니므로, “기술적 완성도가 만족도에 직접적인 영향을 미친다”, “개인적 만족이 추천 행동으로 자연스럽게 이어진다”와 같은 해석은 과도하게 일반화될 수 있다. 따라서 본 결과는 일부 변수 간 밀접한 응답 패턴이 존재함을 시사하는 초기 단서로 해석되어야 하며, 향후 정교한 분석 설계를 통해 이러한 관계의 방향성과 인과성을 추가적으로 검증할 필요가 있다.

이러한 결과는 하베스팅 서비스가 단순히 에너지를 수집하는 기술을 넘어, 사용자 경험 전반을 개선하고 긍정적인 행동 변화를 유도하는 실질적 서비스로 발전할 수 있음을 뒷받침한다. 특히, 제품의 기능적 완성도와 개인적 가치 경험을 강화하는 서비스 디자인이 사용자의 만족도와 자발적 확산에 중요한 역할을 할 것으로 해석된다. 변수 간 상관관계수가 전반적으로 높게 나타났다는 점은 각 요인 간 구조적 연관성이 매우 밀접함을 보여주며, 향후 서비스 개선과 확장 전략을 수립할 때 이들 요인을 유기적으로 고려하는 것이 필요하다.

연구 결과를 바탕으로, 신체 에너지 하베스팅 서비스가 실생활에서 더욱 실용적으로 활용되기 위해 몇 가지 디자인적 제언을 도출할 수 있다. 본 연구에서 도출된 제언은 각각 본 연구의 주요 연구질문(RQ1, RQ2, RQ3)에 대한 결과를 기반으로 한 추가적인 개선 방안이다. 첫째, 근미래 신체 에너지 하베스팅 제품의 소재 및 구조 개선을 통해 경량화 및 착용감을 향상시켜야 한다. 다양한 운동 환경에서 안정적인 부착이 가능하도록 설계되어야 하며, 이를 통해, 사용자들은 운동 중 불편함 없이 지속적으로 제품을 착용하고 사용할 수 있도록 해야 한다. 둘째, 사용자 인터페이스(UI)와 사용자 경험(UX)을 강화하여 운동 중 에너지 수집 과정의 편의성을 증대시킬 필요가 있다. 복잡한 기술적 개념을 보다 친숙하고 직관적으로 전달하기 위해 시각적 디자인을 강화하고, 쉬운 언어를 도입해야 한다. 실시간 피드백 제공 시, 운동 중 시각적 확인이 어려운 점을 고려하여 음성 안내 기능의 도입이 필요하다. 셋째, 크루 기능을 더욱 활성화하여 서비스의 지속적 활용을 유도해야 한다. 에너지 수집 데이터를 기반으로 주간 및 월간 랭킹을 제공하거나, 보상을 제공하는 방식이 서비스 지속성을 높이는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

결론적으로, 신체 에너지 하베스팅 서비스는 단순한 에너지 수집 도구를 넘어, 사용자 경험을 중심으로 한 지속 가능한 디자인 전략을 수립해야 한다. 이러한 디자인적 접근을 통해 신체 에너지 하베스팅 기술은 일상 속에서 친환경적이고 효율적인 라이프스타일을 가능하게 하는 핵심 도구로 자리 잡을 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 다양한 사용자 집단을 대상으로 한 장기적인 사용자 경험 평가와, 에너지 하베스팅 기술의 효율성을 높이기 위한 기술적 연구가 필요하다.

본 연구의 결과는 신체 에너지 하베스팅을 활용한 지속 가능한 디지털 환경 조성을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 개인의 참여를 촉진하는 서비스 디자인 방향성을 제시했다는 점에서 중요한 의의를 가진다. 에너지 소비가 증가하는 현대 사회에서, 개인의 작은 움직임을 통해 디지털 탄소 발자국을 줄일 수 있다는 점은 사용자에게 강력한 동기 부여 요소가 될 수 있다. 본 연구는 향후 신체 에너지 하베스팅 기술이 단순한 기술적 도구를 넘어, 사용자 라이프스타일에 깊숙이 스며들어 지속 가능한 삶을 지원하는 필수 요소로 자리 잡을 수 있도록 하는 데 기여할 것이다.

Reference

1. Ajzen, I. (2020). The theory of planned behavior: Frequently asked questions. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2(4), 314–324. <https://doi.org/10.1002/hbe2.195>
2. Cho, H. O., Yoon, H. S., Hong, S. Y., Kim, Y. H., Kim, T. Y., Park, H. S., & Park, J. Y. (2013). Development of miniaturized piezoelectric energy harvesting system application to shoes insoles. *Proceeding of the Korean Institute of Electrical Engineers, Summer Conference*, 40–41.
3. Energy Manager Canada. (2018, July 9). Two-stage triboelectric nanogenerator may power our sensors and phones. *Energy Manager Canada*. <https://www.energy-manager.ca/two-stage-triboelectric-nanogenerator-may-power-our-sensors-and-phones-2551/>
4. Fischer, D., Reineremann, J.-L., Guilen Mandujano, G., DesRoches, C. T., Diddi, S., & Vergragt, P. J. (2021). Sustainable consumption communication: A review of an emerging field of research. *Journal of Cleaner Production*, 300(1), 126880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126880>
5. Fogg, B. J. (2009). A behavior model for persuasive design. *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, 40(1), 1–7.
6. Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems. (n.d.). *Energy harvesting*. Fraunhofer IPMS. <https://www.ipms.fraunhofer.de/en/Components-and-Systems/Components-and-Systems-Actuators/Mechanical-Actuators/Energy-Harvesting.html>
7. Gallup Korea. (2023, July). *2023 Korea Gallup public opinion survey results*. Gallup Korea.
8. Go, J. W., Lee, S. L., & Kim, M. J. (2010). Consumer's consciousness of LOHAS consumption and the consumption of LOHAS products [소비자의 로하스 소비의식과 로하스 상품소비]. *Journal of Consumer Studies*, 21(4), 89–112.
9. HeroX. (2016, April 5). Harnessing alternative energy: The body heat powered devices of the future. *HeroX*. <https://www.herox.com/blog/140-harnessing-alternative-energy-the-body-heat-powered>
10. Hettinga, B. A., Stefanyshyn, D. J., Fairbairn, J. C., & Worobets, J. T. (2005). Biomechanical effects of hiking on a non-uniform surface. In *Proceedings of the 7th Symposium on Footwear Biomechanics* (pp. 41–42).
11. IEWEI. (n.d.). SQUID – The wellness wristband. *IEWEI*. <http://www.iewei.net/en/>
12. Kim, K. H., & Kim, I. K. (2022). The relationship among consumption values of millennial generation running crew participant, brand tribalism, and switching intention [밀레니얼 세대 러닝크루 참가자의 소비가치, 브랜드 트라이벌리즘 및 전환의도의 관계]. *Sports Science*, 40(3), 145–158.
13. Korea Science. (2016). Energy harvesting technology utilizing daily-generated energy such as body movements, heat, and vibrations [압전 에너지 하베스팅 기술 동향]. *Korea Science Journal*. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO201503340353307.pdf>
14. Lee, H., & Kim, S. (2022). Development of energy harvesting shoes applying piezoelectric material for individual and eco-friendly electricity generation [개인 단위의 친환경 에너지 하베스팅을 위한 압력 발전 신발 개발]. *Journal of Fashion Design*, 22(4), 121–134. <http://dx.doi.org/10.18652/2022.22.4.8>
15. Lee, J., & Kim, J. (2020). Popularization of marathons through social network big data analysis: Focusing on the JTBC Marathon [소셜 네트워크 빅데이터 분석을 통한 마라톤 대중화: JTBC 마라톤대회를 중심으로]. *Journal of the Korea Entertainment Industry Association*, 14(3), 27–40. Retrieved from <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART002585670>

16. Lee, J. M., Kim, H. S., & Choi, Y. K. (2024). A study on the factors of converged design on the consumer's preference and purchase intention of sportswear [스포츠웨어 융합디자인의 소비자 선호도와 구매의도 요인에 관한 연구]. *Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, 8(1), 193-205. <https://doi.org/10.33097/JNCTA.2024.08.1.193>
17. Lim, M. S., Jeong, J. H., Lee, S. S., & Jang, J. H. (2021). Design of an algorithm for calculating energy consumption during cycling exercise [자전거 운동 시 소비되는 에너지량 계산 알고리즘 설계]. *Journal of Information Electronics and Communication Technology*, 14(1), 78-90.
18. Moon, S. P., Kim, T. W., & Kim, S. H. (2016). Energy harvesting technology overview and research trends [에너지 하베스팅 기술개요와 연구동향]. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 65(5), 7-15.
19. Off & Gentle. (n.d.). Wankband project. Off & Gentle. <https://offandgent.com/projects/wankband/>
20. Oinas-Kukkonen, H., & Harjumaa, M. (2009). Persuasive systems design: Key issues, process model, and system features. *Communications of the Association for Information Systems*, 24(1), 485-500. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02428>
21. Park, B. I. (2016). A study on the application of plastic arts and industrial design using energy harvesting device in next generation: Focused on a case study of the novel solar cells and piezoelectric device [차세대 에너지 하베스팅 소자의 조형예술과 산업디자인 분야의 활용에 대한연구: 차세대 태양전지와 압전소자 연구사례 중심]. *Journal of Basic Design & Art*, 17(3), 161-173.
22. Park, B. I. (2024). A study on the latest case analysis and application prospects of next-generation piezoelectric energy harvesting devices [차세대 압전 에너지 하베스팅 장치의 최신 사례분석과 그 활용 전망에 관한 연구]. *Journal of Next-Generation Convergence Technology*, 8(8), 1861-1873.
23. Peyrouset, D., & Bajard, A. (2007). Development of a shoe-mounted piezoelectric generator for wearable devices. *Smart Materials and Structures*, 16(5), 1479-1486. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/16/5/036>
24. Piper, T. (2010, April 27). Thermoelectric "Orange Power Wellies" generate electricity from your feet. *New Atlas*. <https://newatlas.com/thermoelectric-orange-power-wellies-generate-electricity/15346/>
25. Sweeney, J. C., & Soutar, G. N. (2001). Consumer perceived value: The development of a multiple item scale. *Journal of Retailing*, 77(2), 203-220. [https://doi.org/10.1016/S0022-4359\(01\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0022-4359(01)00041-0)
26. Uncharted Play, Inc. (2013). SOCKET: The energy-harnessing soccer ball. *Kickstarter*. <https://www.kickstarter.com/projects/unchartedplay/socket-the-energy-harnessing-soccer-ball>
27. Woo, A. Y. (2015, April 15). Energy harvesting [에너지 하베스팅]. *NAVER*. Retrieved March 5, 2017, from <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3579425&cid=58941&categoryId=58960>
28. Yang, G. M. (2020, September 4). Prolonged indoor life... 'Untact running · solo running' in the spotlight [실내 생활 장기화... '언택트 러닝 · 혼러닝' 각광]. *Bridge Economy*. Retrieved from <http://www.viva100.com/main/view.php?key=20200830010005417>
29. Yang, Y., Yeo, J., & Priya, S. (2012). Harvesting energy from the counterbalancing (weaving) movement in bicycle riding. *Sensors*, 12(8), 10248-10258. <https://doi.org/10.3390/s120810248>
30. Yoo, H. (2018, September 14). I will charge with my warmth: Smartwatch charged by body heat [나의 온기로 채워줄게: 체온으로 충전하는 스마트워치]. *CNET Korea*. <https://www.cnet.co.kr/view/?no=20180914162140>
31. Yoon, J. B. (2020). Latest energy harvesting technologies and industry trends [최신 에너지 하베스팅 기술 및 산업 동향]. *KOSEN Report*, 12.

디지털 탄소 발자국 저감을 위한 신체 에너지 하베스팅 기반 서비스 설계

이소은¹, 노영신², 손혜정², 변정연², 황유진², 김동환^{3*}

¹연세대학교 커뮤니케이션대학원, 석사, 서울, 대한민국

²숙명여자대학교 산업디자인과, 학사, 서울, 대한민국

³연세대학교 커뮤니케이션대학원, 교수, 서울, 대한민국

초록

연구배경 디지털 기술의 발전과 함께 스마트폰, 웨어러블 기기, IoT 기술의 사용이 증가하면서 디지털 탄소 발자국에 대한 우려가 커지고 있다. 전자 기기의 생산, 사용, 폐기 과정에서 발생하는 온실가스 배출량이 환경에 미치는 영향이 점차 심각해지고 있으며, 이에 대한 지속 가능한 해결책이 필요하다. 신체 에너지 하베스팅 기술은 인간의 운동 에너지를 전기에너지로 변환함으로써 기존 에너지원에 대한 의존도를 줄일 수 있는 가능성을 제공한다. 그러나, 사용자 인식 부족과 실생활에서 실질적 활용이 어렵다는 점으로 인해 보급이 제한적인 상황이다. 본 연구는 신체 에너지 하베스팅의 활용 방안을 모색하고, 디지털 탄소 발자국 감소와 지속 가능한 에너지 실천을 촉진하기 위한 서비스 디자인 전략을 제안한다.

연구방법 본 연구는 신체 에너지 하베스팅 서비스의 사용자 경험을 종합적으로 평가하기 위해 혼합 연구 방법을 적용하였다. 먼저, 아웃도어 활동 및 디지털 기기 사용 행태를 분석하기 위한 설문조사를 실시하였다. 이후, 실험 관찰을 통해 참가자들의 실시간 반응과 사용 패턴을 파악하고, Think-Aloud 기법을 활용하여 사용자 경험을 심층적으로 분석하였다. 마지막으로, 심층 인터뷰를 통해 질적 인사이트를 도출하였다. 연구 과정에서는 소비가치 평가 척도(PERVAL) 및 계획행동이론(TPB)을 적용하여 데이터의 신뢰성과 타당성을 확보하였다.

연구결과 본 연구의 결과에 따르면, 신체 에너지 하베스팅 서비스는 디지털 탄소 발자국을 줄이고 지속 가능한 에너지 사용 습관을 형성하는 데 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 참가자들은 신체 활동을 통해 에너지를 수집하고 활용할 수 있다는 점에서 높은 동기 부여를 받았으며, 크루 기능을 통한 사회적 참여가 장기적인 참여를 유도하는 데 효과적이었다. 그러나 제품의 경량화, 직관적인 시각화 등의 개선이 필요함이 확인되었다.

결론 본 연구는 신체 에너지 하베스팅 서비스가 디지털 탄소 발자국 감소와 지속 가능한 에너지 사용을 촉진할 수 있는 가능성을 확인하였다. 본 연구는 신체 에너지 하베스팅 기술이 일상생활 속에서 친환경적이고 실용적인 솔루션으로 자리 잡을 수 있도록 기초 자료를 제공하였으며, 지속 가능한 디지털 환경 구축을 위한 디자인 전략의 방향성을 제시하였다.

주제어 신체 에너지 하베스팅, 디지털 탄소 발자국, 지속가능성, 사용자 참여, 서비스 디자인

*교신저자 : 김동환 (dongwhan@yonsei.ac.kr)