

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.5.79>

JIIBC 2021-5-11

햅틱 인지 요인 분석을 적용한 진동 촉감 인터페이스 설계 프로세스 제안

Design Process Suggestion of Vibrotactile Interface applying Haptic Perception Factor Analysis

허용해*, 김승희**

Yong-Hae Heo*, Seung-Hee Kim**

요약 본 연구에서는 인간의 촉감 메커니즘을 반영하여 햅틱 인지 요인을 적용할 수 있는 진동 촉감 인터페이스 설계 프로세스를 제안하였다. 본 프로세스는 총 4단계로 햅틱 감각의 요구사항 분석 단계, 햅틱 요소 분석 단계, 햅틱 인지 요인분석 단계, 햅틱 요구사항 상세 설계 및 시제품 구현 단계로 구성된다. 본 설계 프로세스의 장점은 햅틱 인지 요인 분석을 적용함으로써 사용자 요구사항 도출 및 구현 시 불필요한 작업들을 배제할 수 있으며, 가장 큰 특징은 인체공학 적 특징을 설계에 반영할 수 있고, 사용자 평가와 사용성 테스트, 햅틱 기능 최적화 작업을 동시에 수행함으로써 시제품 개발이 완료됨과 동시에 햅틱 요구사항 명세서가 완료된다는 것이다. 본 설계 프로세스는 사용자의 요구사항에서부터 햅틱 기능 상세설계 및 시제품 구현에 대한 전체 단계를 포함하고 있어 햅틱에 대한 전문 지식이 부족한 일반 개발자들도 사용자 중심의 설계가 가능하여 일정 수준 이상의 햅틱 기능 설계 및 구현을 가능케 할 것으로 기대된다.

Abstract This study suggests a design process for vibrotactile interface that can apply haptic perception factors reflecting human tactile mechanisms. This process consists of 4 stages: the haptic sense requirement analysis stage, the haptic element analysis stage, the haptic perception factor analysis stage, the haptic requirement detailed design, and the prototype implementation stage. The advantage of this design process is that unnecessary tasks can be excluded in deriving and implementing user requirements, by applying haptic perception factor analysis, and the biggest feature is that research results on ergonomic mechanisms can be reflected in the haptic design, completes prototype development simultaneously while determining the haptic requirements statement by performing user evaluation, usability testing, and haptic feature optimization tasks simultaneously. This design process includes all stages from user requirements to haptic function detailed design and prototype implementation, so it is expected that general developers who lack expertise in haptic will also be able to design user-centered designs, enabling design and implementation of haptic functions at a certain level.

Key Words : Haptic, Perception Factor, User Interface, Vibrotactile

*학생회원, 한국기술교육대학교 창의융합공학협동 석박사통합과정

**정회원, 한국기술교육대학교 IT융합SW공학과, 교신저자

접수일자 2021년 5월 12일, 수정완료 2021년 9월 3일

계재확정일자 2021년 10월 8일

Received: 12 May, 2021 / Revised: 3 September, 2021 /

Accepted: 8 October, 2021

**Corresponding Author: sh.kim@koreatech.ac.kr

Dept. of IT Convergence software Engineering, Korea university of Technology & Education, Korea

I. 서 론

인간과 컴퓨터 간 인터페이스는 사용자에게 보다 익숙하고 편리한 형태로 진화되고 있다. 햅틱 인지 기술은 사람이 느낄 수 있는 다섯 가지 감각 중 촉각을 통해 정보를 전달하는 기술로 로봇, HCI(Human Computer Interaction) 분야 등에서 인간과 컴퓨터 사이에 촉각 정보를 전달함으로써 더 구체적이고 직관적인 정보를 전달하고, 상호작용을 가능하게 하는 기술이다^[1]. 특히 진동 촉각 인터페이스 기술은 햅틱의 렌더링 기술과 다양한 햅틱 장치들이 개발되고, 핸드폰, 게임 등에 사용되면서 가장 대중적인 햅틱 인터페이스 기술이 되었다^[1,2]. 이를 통해 촉각 방송(Haptic Broadcasting), 촉각 영화 시스템(Haptic Movie System), 촉각 저작 및 편집 도구(Haptic Authoring Tool) 등이 개발되고 있으나 시각이나 청각 인터페이스 기술과 달리 촉각 인터페이스 기술은 단순한 정보 전달을 위한 용도로 주로 사용되고 있다^[2,3].

그럼에도 불구하고 사용자와 컴퓨터 간의 정보 전달에 있어 진동 촉각 인터페이스는 사용자의 피부에 직접 작용하기 때문에 사용자 측면에서 고려해 보면, 사용자의 선호도 뿐만 아니라 진동, 압력, 온도, 사용자의 역감, 텍스처, 힘의 궤적, 패턴 등에 따라 장치를 제어하는 수준이나 촉각의 효과가 달라진다는 큰 특성이 있다. 따라서 이러한 개인화적 특성의 충족은 햅틱 인터페이스 설계와 개발에 있어 매우 중요한 최적화 요구조건이 된다. 이러한 이유로 개인화 인지 요건을 반영할 수 있는 다양한 햅틱 설계 기법에 대한 연구가 진행되고 있다.

이광일 등^[4]은 햅틱 인터페이스의 요소인 진동 세기, 진동 주파수 등을 이용하여 진동으로 다양한 정보를 표현할 수 있는 햅틱 가이드라인 도출 방법론을 제안하였다. 이를 통해 각 햅틱 인터페이스 요소별 만족도 및 인지 여부에 대한 사용자 평가 프로세스를 반영할 수 있는 프로세스가 제안하였으나 도출된 진동 촉각에 대한 통합적 진동 평가 절차가 누락되어 통합된 진동 촉각을 평가할 수 없다는 한계가 있다.

한편, 김성민 등^[5]은 이광일의 연구에서 제기된 문제를 해소할 수 있으면서 다양한 진동 패턴을 생성할 수 있는 진동 패턴 설계 방법론을 제안하였다. 따라서 진동 평가 결과를 검증하기에는 용이하지만 최종적으로 생성된 진동에 대한 사용자 평가 프로세스가 누락되어 있어 개인화 측면에서 기존 햅틱 가이드라인 도출 방법론에 비해 햅틱 요소별 특징을 고려한 설계 및 구현 측면의 제약

이 존재한다.

따라서 본 연구에서는 이광일과 김성민의 진동 촉각 설계 방법론의 절차에서 강점과 장점을 적용하고, 인간의 촉각 메커니즘에 대한 연구결과를 반영하여 개인화에 따른 촉각 최적화 요구를 명확히 반영할 수 있는 새로운 진동 촉각 설계 프로세스를 제안한다.

본 연구는 사람이 인지 가능한 주파수 영역, 사람의 진동 역치 등을 고려한 새로운 진동 촉각 인터페이스 설계 및 평가가 가능할 뿐만 아니라 사람이 구분할 수 없는 수준의 진동 촉각도 설계 및 평가할 수 있는 방안을 제시할 수 있다. 활용적 측면으로는 햅틱 디바이스나 콘텐츠 개발 시 불필요한 작업을 사전에 배제할 수 있어 시간적, 경제적 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 사용 능력에 제약이 있는 사회적 약자로 분류되는 사용자를 고려한 최적화된 진동 촉각 인터페이스를 제공하는데 매우 유용할 것으로 사료된다.

II. 배경 연구

햅틱 관련 연구는 기술 표준화, 사용성 관련 성능 최적화 및 평가, 사람이 느끼는 촉각의 메커니즘을 연구하는 신경과학 및 심리학, 촉각을 모델링하기 위한 햅틱 렌더링, 촉각 요인을 반영한 설계 방법론, 자동차나 항공과 같은 특정 분야에 햅틱 기술을 적용한 응용시스템 개발 등으로 나뉜다.

여기서는 본 연구의 범위인 진동 촉각 인터페이스와 이를 이론적으로 뒷받침할 수 있는 근거로서 사람의 촉각의 메커니즘에 대한 선행 연구 결과에 대해 살펴본다.

1. 인간의 촉각 메커니즘에 대한 선행 연구

L. Skedung의 연구^[6]에 의하면 그림 1과 같이 사람은 마이스너 소체, 메르켈 디스크, 파치니언 소체, 루피니 소체라고 하는 4개의 기계적 수용체의 반응을 통해 촉각을 인지하게 된다. 마이스너 소체는 저주파수의 진동에 예민하게 반응하는 수용체이며, 메르켈 디스크는 저강도의 압력과 같은 접촉에 대해 반응하는 수용체이다. 파치니언 소체는 고주파수의 진동에 반응하는 수용체이고, 루피니 소체는 피부 변형에 대해 반응하는 수용체이다^[6].

그림 1에서 반응 민감도 항목의 실험 결과에 의하면 고주파수 진동을 담당하는 수용체인 파치니언 소체는 500 Hz이하의 주파수에만 반응하고 있다. 이는 사람이 느낄 수 있는 주파수 대역폭이 500 Hz이하이며, 그러므

Mechanoreceptor	Adaptation rate	Receptive field	Sensitivity
Meissner corpuscle	Fast (FA)	Small (I)	Movement or deformation changes Motion, grip control (3-40 Hz)
Merkel disks	Slow (SA)	Small (I)	Deformation Spatial structure, shape (2-16 Hz)
Pacinian corpuscle	Fast (FA)	Large (II)	Movement or deformation changes Fine textures through vibrations (40-500Hz)
Ruffini organ	Slow (SA)	Large (II)	Lateral deformation of skin Skin stretch (100-500 Hz)

그림 1. 네 가지 기계 수용체와 반응 감도^[6]
 Fig. 1. The four mechanoreceptors and their response sensitivity^[6]

로 햅틱 설계 시 진동의 주파수를 500 Hz 이하로만 설계 되도록 해야 한다는 것을 보여주는 결과이다.

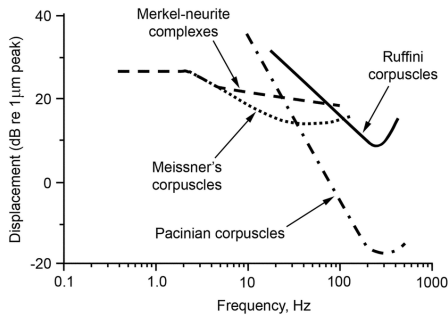


그림 2. 주파수에 따른 사람의 진동 역치^[7]
 Fig. 2. Vibrating kinesthetic of the human body by frequency^[7]

그림 2는 주파수에 따른 사람의 기계적 수용체의 역치 변화 데이터로 250 Hz에서 가장 민감하게 반응함을 보여주고 있다. 즉, 설계자는 사용자에게 강한 자극을 주고 싶을 때 250 Hz의 진동 촉감을 설계하는 것이 다른 주파수의 진동 촉감을 설계하는 것보다 강한 진동 자극을 사람들에게 제공할 수 있음을 의미한다.

그림 3은 진동 시간에 따른 사람의 역치 변화 데이터를 보여준다. 이 데이터 결과는 사람은 10 ms 이하의 진동은 감지하기 어려우며, 진동의 시간이 약 10 ms에서 1000 ms로 증가할수록 역치가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 1000 ms 이상의 시간에서는 역치 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이러한 데이터는 설계자가 1000 ms 이내의 햅틱 기능을 구현할 때에는 역치의 변화를 고려하여 설계할 필요가 있음을 알려준다.

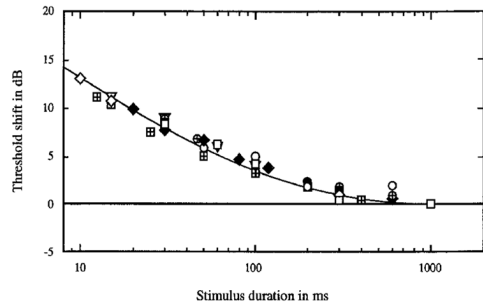


그림 3. 진동 시간에 따른 역치 변화^[8]
 Fig. 3. kinesthetic change by vibration time^[8]

그림 4는 진동이 발생하는 면적에 따른 사람의 역치 변화 데이터이다. 이 데이터 결과는 진동의 발생 면적이 0.01 cm²에서 10 cm²로 증가할수록 역치가 점차적으로 감소하는 것을 보여준다. 이러한 데이터는 햅틱 기능 구현 시 크기가 10 cm² 이하인 햅틱 액추에이터에서는 역치가 감소하는 변화적 특성이 설계에 반영될 필요가 있음을 보여주는 결과이다.

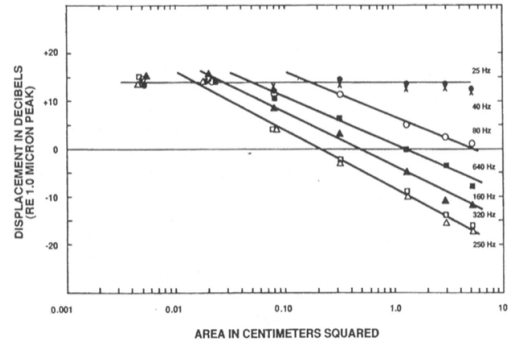


그림 4. 면적에 따른 사람의 역치 변화^[9]
 Fig. 4. Vibrotactile threshold as a function of contactor area^[9]

한편 B.P. Self 등^[10]은 햅틱 인터페이스 요소 별 특징을 제시하였는데, 표 1과 같이 햅틱 인터페이스 요소는 진동의 발생 면적, 주파수, 진동의 형태, 진동의 세기, 진동의 위치, 진동의 리듬, 진동의 파형, 진동의 방향, 움직임 패턴으로 구분하고 있다.

이와 같은 햅틱 인지 요인 외에도 사람은 자극인지 시간이 자극 간격 시간보다 짧을 경우 인지성이 떨어진다 는 연구도 존재한다^[11].

본 연구에서는 지금까지 살펴본 햅틱 인지 요인과 관련된 연구들을 종합적으로 정리하여 진동 촉감 설계를 위한 방법을 제시할 것이다.

표 1. 9개의 햅틱 진동 특성 요인 개요¹⁰⁾
 Table 1. A Summary of the Properties of Nine Tactile Characteristics¹⁰⁾

Haptic properties	Characteristics
Size	- Limited number of distinctive levels
	- Large difference between sizes preferable
	- A clear boundary is needed
Frequency	- Limited number of distinctive levels
	- Low feasibility for simultaneously displayed amplitudes
Form	- Fair number of distinctive levels
	- Similar tactile shapes should be avoided
	- A clear boundary is needed
Amplitude	- Limited number of distinctive levels
	- Low feasibility for simultaneously displayed amplitudes
Position	- Many distinctive levels possible
	- Large distance between displays preferable
Rhythm	- Many distinctive levels possible
	- The rhythms should be quickly recognizable after their start
Waveform	- Includes square, triangular, saw tooth, and sine waves
	- Requires sophisticated hardware
Orientation	- Limited number of distinctive levels
	- The shape should not be rotational symmetric
	- A velar boundary is needed
Moving Pattern	- Any distinctive levels possible
	- The moving patterns should be quickly recognizable after their start

2. 진동 촉감 인터페이스 관련 선행 연구

J.B.F. Van Erp^[12] 는 주파수를 비롯한 일반적인 촉각 인식 문제에 대한 기술 지침을 제시하였다. Jones와 Sarter^[13]는 진동의 매개 변수로서 일반적으로 주파수, 지속 시간, 진폭 및 위치를 설명하고 정보를 인코딩을 위한 적용 방법을 제시하였다. Myles와 Kalb^[14]는 머리에 대한 진동 촉감 피드백의 인식을 조사하고 주파수 및 진폭 관련 지침을 제시하였다.

MacLean^[15]은 촉각 신호를 처리하기 위한 사용자의 인지 프레임 워크를 제시하였는데, 학습 가능한 메시지 어휘를 생성할 수 있는 지침과 도구로 번역하는 사례 등을 통해 터치 센서와 머신 러닝 터치 인식을 활용하여 인간과 로봇 간의 양방향 커뮤니케이션을 통해 '감성 지능'과 상호작용의 다양성을 높였다.

박남일 등^[16]은 가상공간에서 햅틱 장치로 표면을 긁으면 햅틱 렌더링 효과를 통해 거친 표면을 긁을 때의 햅

틱 힘을 느끼도록 하는 햅틱 방법을 제안하였다.

김휘재^[17] 등은 액추에이터 위치에 따른 디스플레이 표면 전체의 진동 응답 분석을 수행하고, 이를 통해 햅틱 신호 구현을 위한 액추에이터 전압의 크기를 배치 방법에 따라 비교함으로써 액추에이터 설계 시 전압요인의 고려가 필요함을 보였다.

김성민^[5] 등은 설계자가 진동패턴을 직관적으로 설계할 수 있는 시각적 설계도구와 재생기능을 제공하며 설계된 진동패턴의 재생을 통해 평가자가 진동패턴이 어떠한 기능을 나타내고 있는지 선택할 수 있는 진동모터의 진동패턴 설계 평가 시스템을 제안하였다. 실제로 설계 내용을 스마트폰과 자동차 오디오에서 대표적으로 사용되는 기능들에 대한 진동패턴 설계 및 평가를 진행하였다. 이를 통해 평가정보가 설계에 피드백 되는 방법과 높은 평가 채택률을 획득한 진동패턴들을 분석하여 진동패턴 설계를 위한 지침을 제시하였다.

Bateman 등^[18]은 시각 장애인에게 그래프 기반 시각 정보를 표시하기 위한 정전식 터치스크린 시스템의 사용자 중심 분석 및 설계를 수행하였다. 또한, 터치스크린을 통한 효율적인 사용자 상호 작용 패턴을 결정하기 위해 햅틱 포인트를 찾는 사용성 연구를 수행하였다.

Smith MacLean 등^[19]은 공간 분석을 통해 차원을 조 작하도록 설계된 햅틱 모델의 비교실험을 수행하였다. 이를 통해 원격 상태에서도 렌더링 된 가상 모델을 통해 정서적 의사소통을 지원할 수 있음을 증명하였다. Degraen 등^[20]은 IVE에 대한 사용자의 이해를 바탕으로 사용자가 주파수, 전력 및 기간을 변경하는 햅틱 설계를 제안하였다. Azmandian 등^[21]은 감각이 충돌 할 때 시각의 우위를 활용하는 햅틱 리타겟팅이라고 하는 수동 햅틱의 용도를 변경할 수 있는 프레임 워크를 제안하고, 이를 통해 하나의 물리적 소품이 여러 가상 객체에 수동 햅틱을 제공 할 수 있음을 보였다.

그 외 햅틱 진동 기술을 이용한 다양한 응용프로그램들이 개발되었는데 황선민 등^[22]은 시각과 청각 위주의 컴퓨터 화면 구성 요소에 Force feedback mouse를 사용한 마우스를 통해 촉감이 전달되도록 웹사이트와 응용 프로그램을 설계하였고, 강태완 등^[23]은 무인차량의 실재감과 안전성 향상을 위한 원격 제어를 위해 Force feedback 햅틱 제어 기술을 적용하였고, 이영대 등^[24]은 가상წყ시시스템을 개발하였다.

지금까지 살펴본 햅틱 인지 요인 관련 연구들로부터 햅틱 기능을 설계할 때 고려되어야 할 다양한 햅틱 인지 요인의 범위를 정의하고 값의 범위, 필수 고려 사항, 권

장 사항들을 도출하며, 이를 통해 햅틱 설계의 특징을 반영할 수 있는 진동 촉감 설계 프로세스를 제안한다.

III. 햅틱 인지 요인 분석을 적용한 진동 촉감 인터페이스 설계 프로세스

그림 5는 본 연구에서 제안하는 진동 촉감 설계방법론을 도식화한 것이다. 본 연구의 진동 촉감 설계방법론은 햅틱 감각의 요구사항 분석(Step 1), 햅틱 요소 별 분석(Step 2), 햅틱 인지 요인 분석(Step 3), 햅틱 기능 구현(Step 4)이라는 총 4가지 단계로 구분된다.

Step 1 햅틱 감각의 요구사항 분석 단계에서는 설계자가 실제 햅틱 감각이 사용될 분야의 기능적 요구사항과 비기능적 요구사항을 분석한다.

Step 2 햅틱 요소 별 분석 단계에서 사용하는 액추에이터의 개수에 따라 햅틱 요소 별 분석을 진행한다.

Step 3 햅틱 인지 요인 분석 단계에서는 설계자가 햅틱 기능을 사용할 대상자들의 상황을 고려하여 일반 집단 분석을 진행할지 특수 집단 분석을 진행할지 결정한다. 일반 집단 분석의 경우 기존에 연구된 햅틱 인지 연구 사례를 기반으로 햅틱 요구사항 상세 설계 및 시제품 구현 단계로 진행되며, 특수 집단 분석의 경우 특수 집단을 대상으로 한 인지 실험 프로세스가 진행된 후 햅틱 요구사항 상세 설계 및 시제품 구현 단계로 진행된다.

Step 4 햅틱 요구사항 상세 설계 및 시제품 구현 단계에서 설계자는 지금까지 진행된 모든 단계들에서 얻은 햅틱 정보들을 통합한 후, 통합된 햅틱 정보를 기반으로 시험용 햅틱 기능을 구현한다. 구현된 햅틱 기능은 소수의 사람들을 대상으로 한 사용자 평가를 진행하여, 사용자가 만족할 만한 햅틱 기능을 재설계한다. 사용자 평가를 통과한 햅틱 기능은 실제 햅틱 기능이 사용될 대상으로 필드 테스트가 진행되며, 필드 테스트 진행 시 얻은 피드백을 바탕으로 최종 햅틱 기능이 구현된다.

이 중 Step 2와 Step 3는 기존의 연구와 구별되는 것으로 인체 공학적 실험 결과를 활용하여 설계를 진행할 수 있는 프로세스이다. 또한 Step 4에서 사용자 평가와 햅틱 기능 최적화 절차를 추가로 수행함으로써 기존 설계 방식과 달리 햅틱인터페이스 요구사항명세서가 분석 단계가 아니라 설계 완료시에 산출물로 생성된다.

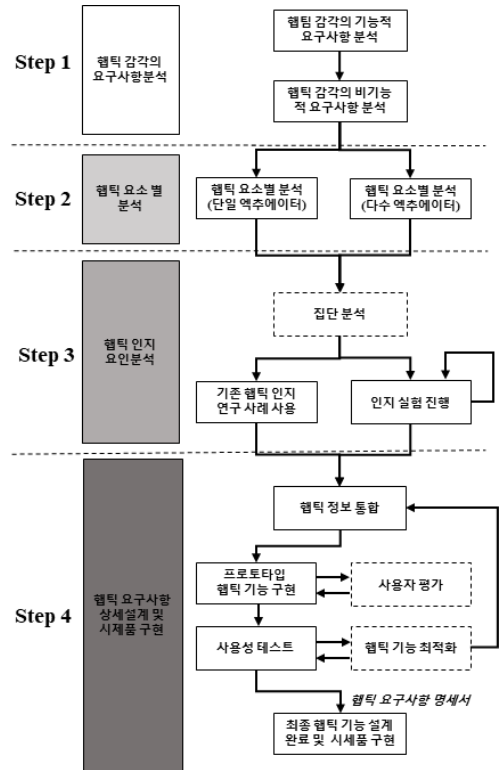


그림 5. 햅틱 인지 요인 분석을 적용한 진동 촉감 인터페이스 설계 프로세스 개요

Fig. 5. Overview of Design Process for Vibrating Tactile Interface Using Haptic Cognitive Factor Analysis

IV. 진동 촉감 인터페이스 설계 프로세스 상세

1. 햅틱 감각의 요구사항 분석

가. 햅틱 감각의 기능적 요구사항 WBS

그림 6는 본 연구에서 정의한 햅틱 감각을 구현하는데 있어서 필요한 기본적인 기능적 요구사항에 대한 WBS(Work Breakdown Structure)이다. 본 연구에서는 정의한 햅틱 감각을 사용자에게 제공할 때 고려해야 될 기능적 요구사항에 관한 WBS를 1.0 상호작용, 2.0 표현, 3.0 성능으로 구분하였다. 1.0 상호작용은 사용된 액추에이터와 액추에이터를 구동시킬 인터페이스 간에 고려해야 될 작업들의 집합이며, 타 디바이스와의 연동, 소프트웨어와 연동, 반응 속도, 상호작용 주파수를 의미한다. 2.0 표현은 액추에이터가 구동되어 사람을 자극시킬 때 고려해야 될 작업들의 집합이고, 진동 세기, 진동 주파수, 진동 시간, 진동 파형을 의미한다. 그리고 3.0 성

능은 액추에이터 구동시 안정성, 구동 전력등 성능에 관한 평가해야 될 내용들의 집합이며, 구동 전류, 구동 전압, 발열, 구동 회로 복잡도를 의미한다.

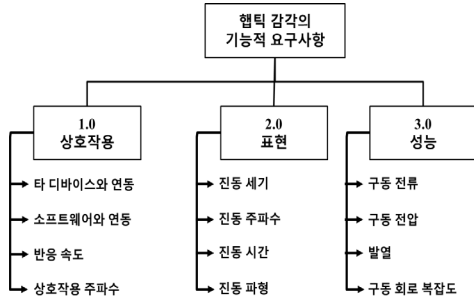


그림 6. 햅틱 감각의 기능적 요구사항 WBS
Fig. 6. Functional requirements of the haptic sense WBS

나. 햅틱 감각의 비기능적 요구사항 WBS

그림 7은 본 연구에서 정의한 햅틱 감각을 구현하는데 있어서 필요한 기본적인 비기능적 요구사항의 WBS이다. 본 연구에서는 햅틱 감각을 사용자에게 제공할 때 고려해야 될 비기능적 요구사항에 관한 WBS를 1.0 접촉, 2.0 알람, 3.0 감성으로 구분하였다. 1.0 접촉은 가상환경에서 자주 사용될 수 있는 물체와의 접촉 또는 물체와의 충격 등을 의미한다. 2.0 알람은 휴대폰에서 사용되는 단순 알람(메시지) 또는 시스템에서 위험을 알려주기 위한 경고 그리고 촉감을 이용한 네비게이션 기능인 안내 등을 의미한다. 3.0 감성은 사용자와 사용자간의 인터랙션에서 사용될 수 있는 손을 톡톡 치는 느낌 또는 특수한 물체나 기타 사용자가 원하는 감각들을 의미한다.

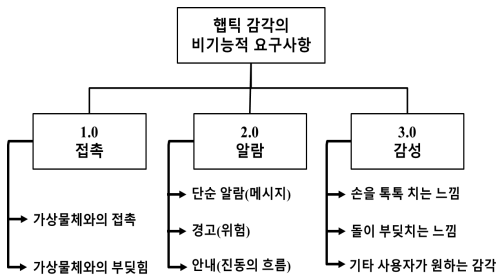


그림 7. 햅틱 감각의 비기능적 요구사항 WBS
Fig. 7. Non-functional requirements of the haptic sense WBS

2. 햅틱 요소 별 분석

사전 연구 결과를 반영하여 본 연구에서는 사용자가

단일 진동 액추에이터를 이용한 진동 촉감을 개발한 경우와 다수의 진동 액추에이터를 이용한 진동 촉감을 개발한 경우를 구분하여, 사용자가 고려해야 할 사용자 햅틱 인터페이스 요소를 쉽게 구분할 수 있는 프로세스를 추가하였다. 그 결과 표 2에서 보여 지는 바와 같이 B.P. Self 등^[10]이 제시한 햅틱 요소 중 단일 진동 모터인 경우 진동의 방향과 진동의 움직임 패턴은 분석이 불필요하므로 이를 분석 대상 햅틱 요소에서 제외되었다.

표 2. 진동 액추에이터 개수에 따라 분석되어야 할 햅틱 요소
Table 2. Haptic factors to be analyzed depending on the number of vibration actuators

햅틱 요소	햅틱 요소 상세 의미	단일 진동 액추에이터	다수 진동 액추에이터
진동 발생 면적	진동 자극이 발생하는 표면적	○	○
진동의 주파수	진동의 주파수	○	○
진동의 형태	진동의 형태	○	○
진동의 세기	진동의 세기	○	○
진동의 위치	진동의 발생 위치	○	○
진동의 리듬	진동 자극 시간과 자극간의 간격	○	○
진동의 파형	진동의 파형	○	○
진동의 방향	진동이 흐르는 방향	X	○
진동의 움직임 패턴	진동 자극간의 시간 간격이나 자극 순서의 변화	X	○

3. 햅틱 인지 요인분석

가. 햅틱 인지 설계 기초 기준 정보 정의

인간의 촉감 메커니즘에 대한 선행 연구에서 살펴본 주파수에 따른 사람의 진동 역치, 진동 시간에 따른 역치 변화, 진동이 발생하는 면적에 따른 사람의 역치 변화 연구결과를 근거로 표 3과 같이 햅틱 기능을 설계할 때 참고할 수 있는 기본으로 설정해야 할 값, 필수 고려 사항, 권장 사항으로 분류하여 햅틱 인지 설계를 위한 기초 기준 정보를 제시한다.

표2에서 진동 주파수 대역폭은 사람의 기계적 수용치의 역치 변화 데이터 실험 결과 250 Hz에서 가장 민감하게 반응함으로 사용자에게 강한 자극을 주기 위함이며, 파치니언 소체가 500 Hz이하의 주파수에만 반응한다는 것을 반영하여 최대 진동 주파수를 제시한 것이다.

진동 자극 시간은 진동 시간에 따른 사람의 역치 변화 실험에서 1000 ms 보다 작아질수록 역치가 높아지는 것과 10 ms 이하에서는 역치가 너무 높다는 결과를 반영한 것이다.

표 3. 선행연구로부터 도출한 햅틱 인지 관련 설계의 기초 기준 정보

Table 3. Basic Reference information for haptic cognition-related designs derived from preliminary studies

햅틱 요소	기본값	필수고려사항	근거
진동 주파수	250 Hz	<=500Hz	가장 민감한 주파수 (500 Hz까지 인지 가능)
진동 자극 시간	1000 ms	>=10ms	1000 ms 이하부터 역치가 점점 증가 (10 ms 미만은 역치가 너무 높음)
진동 발생 면적	10 cm ²	-	10 cm ² 로 이하부터 역치가 점점 증가
진동자극인지 시간과 진동 자극 간 시간 비교	진동자극인지시간 > 진동 자극 간 시간	-	진동 자극 시간이 진동 자극 간 시간보다 짧을 경우 역치 증가

진동 발생 면적은 진동이 발생하는 면적에 따른 사람의 역치 변화 실험 결과에서 크기가 10 cm² 보다 작아질수록 역치가 증가하는 결과를 반영한 것이다.

마지막으로 진동 자극 시간과 진동 자극 간 시간 비교 요소 항목은 사람의 경우 자극인지 시간이 자극 간격 시간보다 짧은 경우 인지성이 떨어진다는 연구결과를 반영한 것이다. 설계자는 햅틱 기능을 설계하는 과정에서 표 4에서 제공하는 필수 고려 사항에 대한 가이드를 따라야 하며, 권장 사항 값들을 고려한 햅틱 기능 설계를 진행한다.

나. 인지 실험 진행

액추에이터 분석 결과를 통합하여 본 단계에서는 햅틱 인지 요소가 햅틱 대상자의 상황이나 나이 등 여러 가지 요인에 따라 달라질 수 있다. 따라서 설계자는 햅틱 대상자에 대한 구체적인 햅틱 인지 요인을 분석하기 위해서는 검증된 기존 햅틱 인지 연구 사례의 실험 방법을 참고해서, 햅틱 대상자들의 인지 실험을 직접 진행한다. 만약 햅틱 대상자들의 특성을 분석하여 특이사항이 없다고 판단되는 경우라면, 햅틱 기능 상세 설계 완료 시간을 단축시키기 위해 본 연구에서 제안한 햅틱 인지 관련 설계의 기초 기준 정보를 사용할 것을 권장한다.

4. 햅틱 요구사항 상세설계 및 시제품 구현

본 연구에서는 햅틱 기능 요구사항 상세설계 및 시제품 구현 단계에서, 햅틱 정보 통합, 프로토타입 햅틱 기능 구현, 사용성 테스트, 최종 햅틱 기능 설계 완료 및 시제품 구현의 주요한 4가지 프로세스를 진행한다.

가. 햅틱 정보 통합

본 연구에서는 햅틱 기능 요구사항 상세설계 및 시제품 구현 단계에서, 햅틱 정보 통합, 프로토타입 햅틱 기능 구현, 사용성 테스트, 최종 햅틱 기능 설계 완료 및 시제품 구현의 주요한 4가지 프로세스를 진행한다.

나. 프로토타입 햅틱 기능 구현

구현된 햅틱 기능은 사람이 인지할 수 있음에도 불구하고, 사람에 따라 선호되는 감각이 다를 수 있다. 즉, 햅틱 기능은 사람의 인지 요인뿐만 아니라 심리적 요인도 반영된다. 이에 프로토타입 햅틱 기능 구현 프로세스와 소수의 사람들에게 햅틱 기능을 피드백을 받는 사용자 평가 프로세스를 설계 프로세스에 포함시켰다.

다. 사용성 테스트

프로토타입 햅틱 기능 구현 단계에서 사용자 평가 테스트를 통해 햅틱 기능의 성능 검증하고 햅틱 기능의 최적화 절차를 진행한다. 그러나, 소수의 사람들을 대상으로 한 사용자 평가 데이터와 다수의 사람들을 대상으로 한 사용성 평가 테스트 데이터는 결과가 다를 수 있다. 또한, 다수의 사람들을 대상으로 사용성 평가 테스트를 진행하면, 그 햅틱 대상들만이 가지는 고유한 특성이 발견될 수도 있다. 만약 햅틱 대상들이 가지고 있는 고유한 특성이 발견된다면, 최적화를 위하여 햅틱 정보 통합 단계에서 다시 햅틱 정보들을 통합하고 필수 요인을 추출하는 작업처리가 진행되어야 할 것이다.

라. 최종 햅틱 기능 설계 완료 및 시제품 구현

최종 햅틱 기능 설계 완료 및 시제품 구현 단계로서, 최종적으로 도출된 햅틱 요구 사항 명세서를 이용하여, 햅틱 기능에 관한 상세 설계를 진행하고 구체적인 시제품을 구현한다. 본 프로세스는 이전 단계에서 사용자 평가 및 사용성 테스트를 통해 햅틱 기능의 검증이 완료되므로 시제품 구현 이후 별도의 추가 검증을 위한 테스트 절차는 불필요하다.

V. 결 론

본 연구를 통하여 인간의 촉감 메커니즘에 대한 결과를 반영하여 기존 햅틱 설계방법론에서 언급되지 않은 햅틱 인지 요인을 고려한 진동 촉감 인터페이스 설계 프

로세스를 제안하였다. 총 4단계로 구성되며, 1단계는 햅틱 감각의 요구사항 분석단계로 기능과 비기능의 요구사항을 분석한다. 2단계는 햅틱 요소 분석 단계로 단일 액추에이터와 다수 액추에이터로 구별하여 햅틱 요소를 분석한다. 3단계는 햅틱 인지 요인분석 단계로 액추에이터별 도출된 분석 결과를 종합하여 햅틱 인지 기초 기준 정보를 포함하여 인지 실험 및 분석을 수행한다. 4단계는 햅틱 요구사항 상세 설계 및 시제품 구현 단계로 분석된 햅틱 요인 분석 정보를 통합하여 상세설계를 통해 시제품을 구현한다. 이때 사용자 평가와 사용성 테스트, 햅틱 기능 최적화 작업을 동시에 수행한 결과를 반영하여 햅틱 요구사항 명세서가 완성되며, 요구사항 명세서가 완성되고 시제품 구현이 동시에 완료된다.

제안된 프로세스의 가장 큰 특징은 인간 공학 관련 연구 결과를 햅틱 설계에 반영하도록 설계 공정을 구성하고 있으며 햅틱관련 요구사항명세가 분석과 설계, 프로토타입 과정을 통해 구현 및 검증됨으로써 프로토타입과 동시에 완료된다는 것이다. 이러한 프로세스의 장점은 설계자가 햅틱 기능을 구현할 때 불필요한 작업들을 배제할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 사용자의 요구사항 WBS에서부터 햅틱 기능 상세 설계까지 햅틱 기능을 설계 하는데 있어서 필요한 전단계에 대한 프로세스를 가지고 있기 때문에 햅틱의 전문 지식을 가지고 있지 않은 사람도 일정 성능 이상의 햅틱 기능 설계를 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 제안된 설계 프로세스는 햅틱 설계에 적용하는 추가 실증 연구를 통해 적용성과 실효성 검증이 진행될 것이다.

References

- [1] J.-H. Ryu, Y.-M. Kim and J.-H. Kim, "Tactile Interface Technology Standardization Trend and Application Case", The Journal of The Telecommunications Technology Association, Vol. 133, No. 133, pp. 75-80, Feb 2011.
- [2] L. Liu and H. Li, "Vibration Soccer: Tactile Rendering of Football Game on Mobiles". In The 2007 International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST 2007) pp. 9-13, September 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2007.4343394>
- [3] I. Diaconita, A. Reinhardt, D. Christin and C. Rensing, "Inferring Smartphone Positions based on Collecting the Environment's Response to Vibration Motor Actuation", In Proceedings of the 11th ACM Symposium on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks pp. 99-106, November 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1145/2815317.2815342>
- [4] K. Lee and D. Kim, "A Study on the Method of Haptic Guideline Development for the Aviation Safety", The Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 10, pp. 152-158, Oct 2010.
- [5] S. Kim, S.-H. Lee, "Vibration Pattern Design Method for Improving Tactile Sensibility", The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 37, No. 3, pp. 413-418, Mar 2013.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.3.413>
- [6] L. Skedung, 2012. "Tactile Perception: Role of Friction and Texture", Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Nov 2012.
- [7] P. S. Hill, R. Lakes-Harlan, V. Mazzoni, P. M. Narins, M. Virant-Doberlet, and A. Wessel, "Biotremology: Studying Vibrational Behavior", Springer, No. 6, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22293-2>
- [8] A. Gescheider, G., Berryhill, M. E. Verrillo, R. T. and S. J. Bolanowski, "Vibrotactile Temporal Summation: Probability Summation or Neural Integration?", Somatosensory & motor research, Vol. 16, No. 3, pp. 229-242, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1080/08990229970483>
- [9] R.T. Verrillo, "Effect of Contactor Area on the Vibrotactile Threshold", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 35, No. 12, pp. 1962-1966, 1963.
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.1918868>
- [10] J. B. van Erp, and B. P. Self, "Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments (Les systemes d'affichage tactiles pour l'orientation, la navigation et la communication dans les environnements aerien, maritime et terrestre)", Nato Research and Technology Organization Neuilly-Sur-Seine, Aug 2008.
- [11] J. H. Kirman, "Tactile Perception of Computer-derived Format Patterns from Voiced Speech", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 55, pp 163-169, 1974.
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.1928145>
- [12] J. B. Van Erp, "Guidelines for the Use of Vibro-Tactile Displays in Human Computer Interaction", In Proceeding of Eurohaptics, Vol. 2002, pp. 18-22, Jan 2002.
- [13] L. A. Jones, A. Lynette and B. Sarter, "Tactile Displays: Guidance for Their Design and Application", Human Factors, Vol. 50, No. 1, pp. 90-111, Feb 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1518/001872008X250638>
- [14] K. Myles and J. T. Kalb, "Guidelines for Head Tactile Communication", Technical Report, Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.21236/ADA519112>
- [15] K. MacLean, "Taking Haptic Design from Research to

Practice”, In Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, pp. 1-1, Oct 2017.

- [16] N. Park, Y. H. Yoo, H. J. Lee, C. H. Song, and S. R. Lee, “A Study on Texture Synthesis for Haptic Rendering of Rough Surfaces”, The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 68-75, 2007. 6
- [17] W. Kim, D. Kim, S. Park and N.-C. Park, Vibration Analysis of Haptic Display Surface by Actuator Placement, Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 61-61, Nov 2011.
- [18] A. Bateman, O. K. Zhao, A. V. Bajcsy, M. C. Jennings, B. N. Toth, A. J. Cohen, E. L. Horton, A. Khattar, R. S. Kuo, F. A. Lee, M. K. Lim, L. W. Migasiuk, R. Renganathan, A. Zhang and M. A. Oliveira, “A User-centered Design and Analysis of an Electrostatic Haptic Touchscreen System for Students with Visual Impairments, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 109, pp. 102-111, Jan 2018.
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.09.004>
- [19] J. Smith and K. MacLean, “Communicating Emotion through a Haptic Link: Design Space and Methodology”, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 65, No. 4, pp. 376-387, Apr 2007.
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2006.11.006>
- [20] D. Degraen, A. Reindl, A. Makhsadov, A. Zenner and A. Krüger, “Envisioning Haptic Design for Immersive Virtual Environments”, In Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference, pp. 287-291, Jul 2020.
- [21] M. Azmandian, M. Hancock, H. Benko, E. Ofek and A. D. Wilson, “Haptic Retargeting: Dynamic Repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences”, In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1968-1979, May 2016.
- [22] S.-H. Hwang, S.-K. Moon, H.-H. Kim and H.-K. Yun, “The Software Development Using Haptic Display”, The HCI Society of Korea, pp. 59-64, Feb 2003.
- [23] T. W. Kang, K. H. Park, J. W. Kim, S. W. Kang, and J. G. Kim, “A Study on the Haptic Control Technology for Unmanned Military Vehicle Driving Control”, JKAICS, Vol. 19, No. 12, pp. 910-917, 2018.
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.910>
- [24] Y. D. Lee, J. J. Kang, C. W. Moon, “Development of the Fishbot Using Haptic Technology”, JIIBC, Vol. 10, No. 4, pp. 77-82, 2010.

저 자 소 개

허 용 해(학생회원)



- 2019년 2월 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 창의융합공학 석박통합과정(박사1)
- 주관심분야 : 햅틱스, 스마트 물질, 가상현실

김 승 희(정회원)



- 2003년 : 동국대학교 컴퓨터멀티미디어 공학과 (공학사)
- 2005년 8월 : 연세대학교 산업정보경영 (공학석사)
- 2014년 2월 : 서울과학기술대학교 산업정보시스템 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 IT융합SW공학과 조교수
- 주관심분야 : SW 품질 공학, IT 서비스 최적화, 정보 시스템, IT프로젝트 관리, 블록체인 등