JESK J Ergon Soc Korea 2020; 39(1): 19-29
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2020.39.1.19
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Study on Quantitative Indicators associated with the Feedback Clarity during Operation of a Clicky Switch

Joonho Hyeong[1], Sayup Kim[1], Jongryun Rho[1], Jaehwan Lee[2]

[1]Human Convergence Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ansan, 15588
[2]Hanyang University, Department of Industrial Design, Ansan, 15588

클리키 스위치 조작 시 피드백의 명확성을 정량화 하기 위한 햅틱프로파일 분석

형준호[1], 김사엽[1], 노종련[1], 이재환[2]

[1]한국생산기술연구원 휴먼융합기술그룹
[2]한양대학교 산업디자인학과

Corresponding Author
Jaehwan Lee
Hanyang University, Department of Industrial Design, Ansan, 15588
Email : indd2000@hanyang.ac.kr

Received : September 24, 2019
Revised : December 24, 2019
Accepted : January 07, 2020

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

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.

Objective: This study aims at investigating the physical factors associated with feedback clarity when operating a clicky switch by analyzing haptic profile.

Background: The operating feeling has become more important in PUI. Previously, many studies on the effect of physical parameters of controller on the affective experience have been conducted. The preferred physical parameters such as peak force, stroke and friction has been revealed already in many studies. But there are few quantitative studies on the feeling of feedback clarity which plays an important role in improving the operating feeling. The clarity is a haptic feedback to notify the user if the controller was operated successfully. To investigate the appropriate level of clarity and to improve operating feeling, the quantitative indicators that associated with the perceived clarity needed to be revealed.

Method: The reaction force and stroke are measured when a clicky switch was pressed in a constant and voluntary speed. The constant operation was conducted by linear actuator and the voluntary operations were conducted by five human subjects. Each subject was operated 20 times and haptic profile which consists of the force and the stroke was measured. Based on haptic profile, change rate of the force and stroke was further analyzed to extract the acceleration and the rate of force.

Results: The reaction force and stroke changed drastically at a time when passing through click section and the acceleration and the rate of force were increased prominently and instantly at that moment. The acceleration can be suggested for physical factor that associated with feedback clarity because the acceleration directly activates a mechanoreceptor called Pacinian corpuscles in human skin.

Conclusion: It is understood that the increased peak acceleration associated with the feeling of clarity. The further empirical studies on the preferred acceleration and level of clarity are needed in application area.

Application: The results contribute to the design of haptic feedback on the PUI.

Keywords: Clicky switch, Haptic profile, Voluntary operation, Clarity of feedback, Acceleration, Rate of force

1. Introduction

제품의 기능과 효율보다 감성적 만족이 중요시 되면서(Jiao et al., 2006) 물리적 조작감을 향상시키기 위한 연구가 중요해지고 있다(Song et al., 2012). 조작감은 제품의 물리적 사용자 인터페이스(PUI) 즉, 조절장치를 조작할 때 사용자가 느끼는 촉각적 경험을 의미한다. 조작감은 조작의 진행 상황과 결과를 알려주고 조작이 성공했음을 확인시켜 줌으로써 제품 사용의 효율성을 높이고 사용자에게 감성적 만족감을 주는 역할을 한다(MacLean, 1999; Swindells et al., 2007). 또한 조작감은 사용자의 안전에도 중요한 역할을 한다. 자동차 운전과 같이 입력 단 보다 출력 단에 시각적 주의가 필요한 경우 적절한 조작감은 입력 단에 대한 시선분산을 최소화 시켜 사용자 안전을 확보할 수 있다(Choi et al., 2017).

조작감에 관한 선행 연구들은 조절장치의 객관적 속성인 물리적 변수(physical parameter)가 감성 경험(affective experience)과 주관적 만족도(satisfaction)에 미치는 영향을 중심으로 연구하였다(Rhiu et al., 2018). 특히 각종 유형의 조절장치에 있어서 만족도를 높이는 물리적 변수에 대해서는 구체적으로 밝혀졌다. 예를 들어 푸시 스위치에 대한 연구에서 누름 깊이를 의미하는 조작거리(stroke)는 5mm일 때 만족감이 높았다(Park and Jung, 2014). 조작력(force)에 관한 연구에서, Ban 등은 2.5~3N일 때(Ban et al., 2013), Alexander 등은 2N일 때(Alexander et al., 2014) 그리고 Rhiu 등은 조작력이 작을수록(Rhiu et al., 2014) 선호된다고 하였다. 또한 조그다이얼의 조작감에 관한 연구에서 다이얼의 회전 조작력인 토크는 3Ncm에서 만족감이 가장 높았고(Jung et al., 2017), 다이얼의 회전 조작거리인 회전량은 만족도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고되기도 하였다(Jun et al., 2010). 한편 Bahn 등(Bahn et al., 2010)은 슬라이드폰의 밀어 올리기 조작에서 만족도에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 마찰력을 제시하였다. 작은 마찰력은 조작의 부드러움을 유도하기 때문에 만족도를 높이는 물리적 변수로 이해할 수 있다. Hyeong 등(Hyeong et al., 2015)도 사무용 의자의 등판 기울임 동작에서 기구 마찰에 의한 반발력 손실이 적을수록 만족도가 높다고 하였다. 이처럼 선행 연구를 통해 조절장치의 조작감 특히 만족감에 영향을 주는 물리적 변수로서 조작력(peak force), 조작거리(stroke), 마찰력(friction) 등이 언급되었고 선호되는 구체적인 수치도 제시되었다.

한편 조작 만족감을 높이는 요소로서 물리적 변수가 아닌 감성 경험 요소를 제시한 연구도 있었다. Rhiu 등은 버튼, 터치패드 그리고 다이얼 등의 조절장치에 대해서 물리적 변수, 감성 경험 그리고 만족도 간의 상관성을 연구한 결과 감성 경험 요소인 피드백의 '명확성'(clarity)이 만족도에 큰 영향을 준다고 하였다(Rhiu et al., 2018). 중요한 점은 조작력과 조작거리 같은 다른 어떤 물리적 변수보다도 명확성이 만족도에 더 큰 영향을 준다는 것이다. 명확성이 크면 조작 성공에 대한 뚜렷한 피드백이 느껴져 사용자는 만족감을 느끼는 것이다.

조절장치에서 피드백 제시는 시각, 청각 그리고 촉각적인 방법으로 가능하지만 본 연구에서는 촉각적 명확성에 대해 관심을 두었다. 일반적으로 버튼의 클릭(click)과 다이얼의 멈춤쇠(detent)는 조작의 성공을 촉각적 자극으로 피드백 해줌으로써 명확성을 제시하는 요소로 사용된다(Rhiu et al., 2018). 조작력과 조작거리 같은 물리적 변수는 조작력-조작거리(force-stroke)의 대응커브로 표현되는 햅틱프로파일을 측정함으로써 쉽게 정량화 할 수 있다(Watanable and Kosaka, 1995; Weir et al., 2004; Jun et al., 2010; Lee et al., 2012). 반면 명확성은 물리적 변수가 아닌 감성 경험(affective experience)이기 때문에 그 동안 객관적인 수치로 표현할 수 있는 방법이 없었다. 사용자가 느끼는 명확성을 측정하고 정량화 하는 것은 명확성에 기반을 둔 조작감 연구에 기초적인 과정으로서 의미 있다고 할 수 있다. 궁극적으로 명확성의 정량화는 제품 응용 분야별로 사용자가 선호하는 명확성의 크기나 특성을 밝히는 연구에 도움이 될 것이다.

본 연구는 조절장치 조작 시 사용자가 지각하는 명확성을 정량화 할 수 있도록 하기 위한 사전 연구로서 사용자와 조절장치의 물리적 상호작용을 햅틱프로파일을 활용하여 분석해 보고자 한다. 이를 위해 조작 성공에 대한 명확한 피드백을 가지는 대표적인 조절장치인 클리키 스위치를 선정하고 피험자가 자발적으로 조작하는 동안 햅틱프로파일을 측정하고 분석하는 실험 연구를 수행하였다. 특히 햅틱프로파일을 구성하는 물리적 변수인 조작력과 조작거리를 변화율이라는 관점에서 분석해 봄으로써 명확성과 관계되는 물리적 변수에 대해 고찰해 보았다.

2. Method

2.1 Experimental control switches

햅틱프로파일 측정 실험을 위해 클리키 푸시 스위치 1종을 선정하였다. 클리키 스위치는 기구적인 반력장치의 작동에 의해 조작 시

반력이 급변하고 '딸깍' 소리를 내며 조작이 성공했음을 명확하게 알려주는 대표적인 조절장치이다. 본 실험에 사용된 스위치 모델은 MP016S (CMP, China)로서 3.5mm의 조작거리와 3.5N의 조작력을 나타내고 버튼의 직경은 13mm이다. 실험에 사용된 스위치는 Figure 1에서 확인할 수 있다.

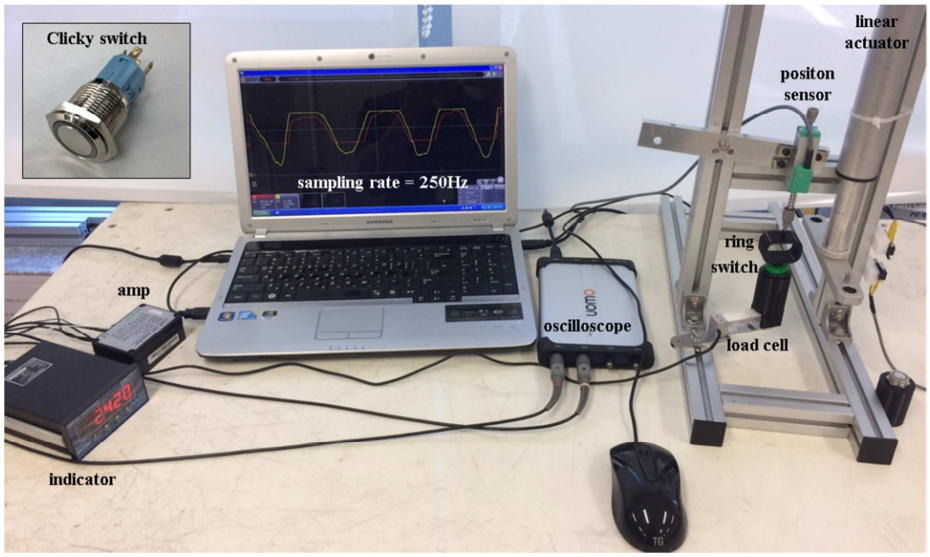

Figure 1. Instruments setup for the experiment

2.2 Instruments setup

힘센서(load cell) 위에 스위치를 장착하고 버튼 상단에 위치센서(potentiometer)를 접촉시켜 버튼을 누르는 동안 조작력과 조작거리를 측정할 수 있는 실험장치를 구성하였다(Figure 1). 사용된 힘센서는 CB1-1kgf(다셀, 대한민국)이고 위치센서는 PY2-50mm(다셀, 대한민국)이다. 버튼의 조작거리 측정 시 탐침기(probe)와 손가락의 간섭을 피하기 위해 버튼 위에 자체 제작한 링(ring)을 부착하였다. 링 상단에 탐침기가 접촉되도록 하였고 링 안쪽에 손가락을 넣어 버튼을 누를 수 있도록 하였다. 힘센서의 신호는 증폭기와 오실로스코프를 거쳐 PC에 저장되도록 하였고 동시에 위치센서의 신호는 지시계(indicator)와 오실로스코프를 거쳐 PC에 저장되었다. PC에서 동시에 수신된 두 가지 신호는 영점조정(calibration)을 거쳐 저장되었다. 한편 정속 조작 시 스위치를 일정한 속도로 누를 수 있도록 리니어엑추에이터(linear actuator)를 스위치와 나란히 장착하였다. 모든 데이터는 250Hz의 샘플링 주파수로 수집하였다.

2.3 Experimental protocol

스위치를 기계장치로 일정한 속도로 누르는 정속 조작(constant operation)과 피험자가 주체적으로 누르는 자발적 조작(voluntary operation) 두 가지 방법으로 실험을 수행하였다. 정속 조작 실험은 사용된 클리키 스위치의 객관적인 햅틱 속성을 이해하는데 도움이 되고 자발적 조작 실험은 사용자가 느끼는 조작감을 이해하는데 도움이 된다. 정속 조작은 설치된 리니어엑추에이터를 이용하여 스위치를 누름과 복귀를 연속적으로 1회 수행하였다. 자발적 조작 실험은 5명의 성인 남성을 대상으로 주사용손(main hand)의 검지를 이용하여 누름과 복귀를 20회씩 반복 조작하도록 하였다. 피험자의 평균연령은 36.2 [±6.4]세, 평균신장은 173 [±3.7]cm, 평균체중은 77 [±10.9]kg이고 모든 피험자는 실험에 영향을 줄 수 있는 상지 근골격계 질환을 경험하지 않았다. 조작 속도는 정속 조작과 자발적 조작 모두 왕복주기 0.5Hz의 속도로 조작하였다. 이는 2초 동안 누름과 복귀를 완료하는 정도의 속도이다. 조작 속도의 일관성을 위해 메트로놈을 이용한 오디오 가이드를 제시하고 박자에 맞추어 일정한 속도로 조작하도록 하였다. 피험자는 사전에 누르기 연습을 약 5분 간 수행하여 제시된 박자에 맞추어 일정하게 누르도록 하였다.

2.4 Data analysis

측정된 햅틱프로파일의 조작력과 조작거리 데이터를 기초로 하여 변화율에 해당하는 물리적 변수들을 분석하였다. 변화율은 클릭 시점에서 물리적 상호작용의 특성이 더욱 부각되기 때문에 단순히 햅틱프로파일 만을 관찰하는 것 보다 의미 있는 분석이 가능할 것이라고 기대하였다. 이에 측정된 햅틱프로파일로부터 조작력의 변화율인 힘변화율(rate of force), 조작거리의 변화율인 속도(velocity), 그리고 속도의 변화율인 가속도(acceleration)를 추가적으로 분석하였다. 이들 물리적 변수들을 그래프로 표현하고 클릭 시점에서 나타나는 그래프 곡선의 특별한 변화를 관찰함으로써 명확성을 대변할 수 있는 물리적 변수를 고찰해 보았다.

3. Results

3.1 The haptic profile of the switch measured from constant and voluntary operation

실험에 사용된 스위치의 객관적 특성과 사용자 조작의 특성을 확인하기 위해 정속 조작과 자발적 조작으로 측정된 힙틱프로파일을 비교 분석해 보았다(Figure 2). 햅틱프로파일은 스위치를 누르는 깊이에 대한 반력의 대응 커브로 표현된다. 그림으로 표현된 자발적 조작 커브는 모든 피험자에게서 유사하게 볼 수 있는 전형적인 커브 형태로서 특정 피험자의 결과를 선택해 제시하였다.

정속 조작의 경우 가로축의 조작거리가 증가함에 따라 세로축의 조작력은 가파르게 증가하다 조작거리 0.8mm에서 최대반력 3.5N을 지난 후 감소세로 돌아섰으며, 조작거리 2.2mm에서 2N으로 급격히 하락하였다. 이 시점에서 클릭이 발생한 것으로 확인된다. 이윽고 최대 깊이인 3.5mm까지 눌렀을 때는 물리적으로 차단되기 때문에 조작력이 급격히 증가하였다. 복귀할 때는 누를 때와 유사한 모양이 나타났지만 반력장치의 기계적인 감쇄효과 때문에 전반적으로 조작력의 크기가 크게 줄어들었다.

그러나 자발적 조작의 햅틱프로파일은 정속 조작에서 측정된 것과 다른 형태로 나타났다. 클릭 지점에서 정속 조작에서 보였던 조작력의 급강하가 나타나지 않고 대신 매우 빠른 속도로 지나쳤다. 그림에서 볼 수 있듯이 클릭 지점에서 자발적 조작의 점 간 간격이 먼 것을 확인할 수 있다. 점 간 움직이는데 걸리는 시간은 0.004s임을 감안할 때 이 부근을 지날 때 속도가 매우 빨랐음을 의미한다. 또

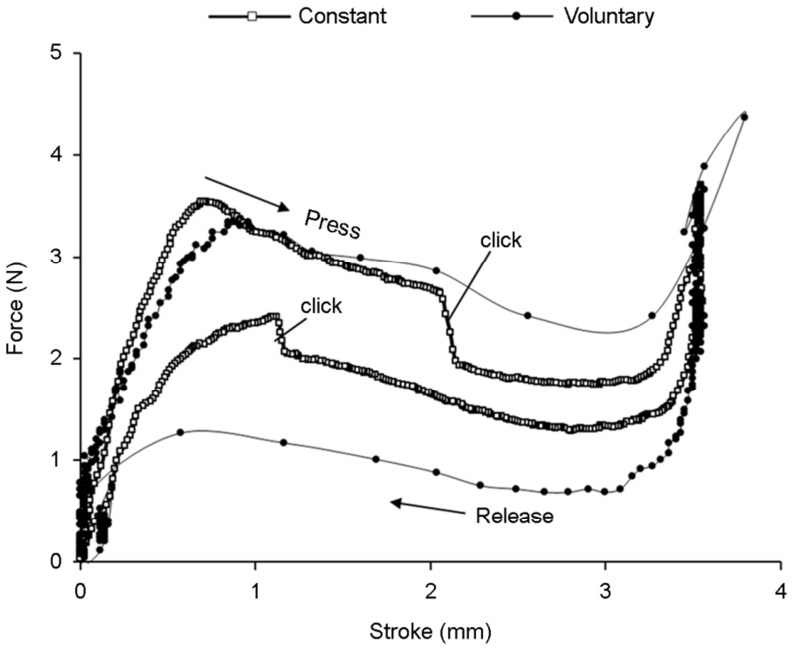

Figure 2. Comparison the haptic profile between constant and voluntary operation

한 복귀 시에도 클릭을 전후로 매우 빠른 속도로 움직였는데 이때 스위치의 반력을 충분히 받지 못해 정속 조작에 비해 낮은 조작력이 측정되었다.

3.2 Force and stroke curve with respect to time

햅틱프로파일의 구성 요소인 조작력과 조작거리를 시간 기준으로 각각 그래프로 표현해 보았다(Figure 3). 이는 각 구성 요소의 시간에 대한 변화율 분석을 위해 필요하고 자발적 조작과 정속 조작의 차이를 시간의 관점에서 확인할 수 있게 한다. 조작력과 조작거리 모두 5N과 5mm의 범위 내에서 값이 나와 y축은 단일스케일로 표현하였다.

먼저 정속 조작 시 조작거리는 일정하게 증가하며 1s에서 최고 조작거리에 이르렀고 이후부터는 감소하며 2s에 이르러 복귀를 완료함으로써 조작이 종료되었다. 그러나 조작력의 경우 초반에 최고 조작력(peak force)에 이른 후부터 감소하다가 0.6s 지점에서 수직으로 급락하였는데 이때가 클릭이 나타나는 시점이다. 클릭 이후 작은 조작력이 유지되다가 1s에서는 최대 조작거리에 이르러 조작력이 급증하였다. 이 같은 그래프 형태는 Figure 2의 햅틱프로파일과 동일하다. 이후 복귀 동작이 이루어지는 동안 조작력은 누름 동작에서 나타난 것과 대칭적인 형태로 나타났다. 다만 그 수치는 작은 수준에서 이루어졌다.

한편 자발적 조작 시 조작거리는 일정하게 변화하지 않고 0.6s 지점에서 순간적으로 최대 깊이까지 증가하는 모습을 보였다. 조작력의 경우 누름 초반에 정속 조작에 비해 완만하게 증가하였는데 최고 조작력을 지난 후 급격히 감소했다가 다시 증가하는 심한 요동이 나타났다. 이 때가 0.6s 지점으로서 on-click이 발생한 시점이자 조작거리가 급격히 증가한 시점이기도 하다. 클릭 시점에서 조작력이 급락함에 따라 조작거리는 최대 깊이까지 빠르게 다다른 후 충격을 받게 되는데 이 때문에 조작력이 다시 급증하는 후반동이 나타난 것으로 이해할 수 있다. 이러한 조작력의 급락과 급증은 매우 짧은 시간 동안 이루어져 조작력 커브 상에 요동치는 형태로 나타났다. 이때 사용자는 조작 성공에 대한 피드백으로서 '명확성'을 느낀 것으로 파악된다. 이후 조작력은 약 0.9s에서 2.5N까지 하락하는데 이때가 누르기 조작의 종료 시점으로 볼 수 있다. 이후 복귀 시에는 조작력이 완만히 감소하다 1.6s 정도에서 빠르게 감소하며 다시 한번 심한 요동이 나타났다. 이때가 off-click 시점이다. 이때 나타난 요동은 조작력이 상당히 감소한 상태에서 발생하였음에도 불구하고 피험자는 복귀 조작에서도 '명확성'을 느낀 것으로 파악된다.

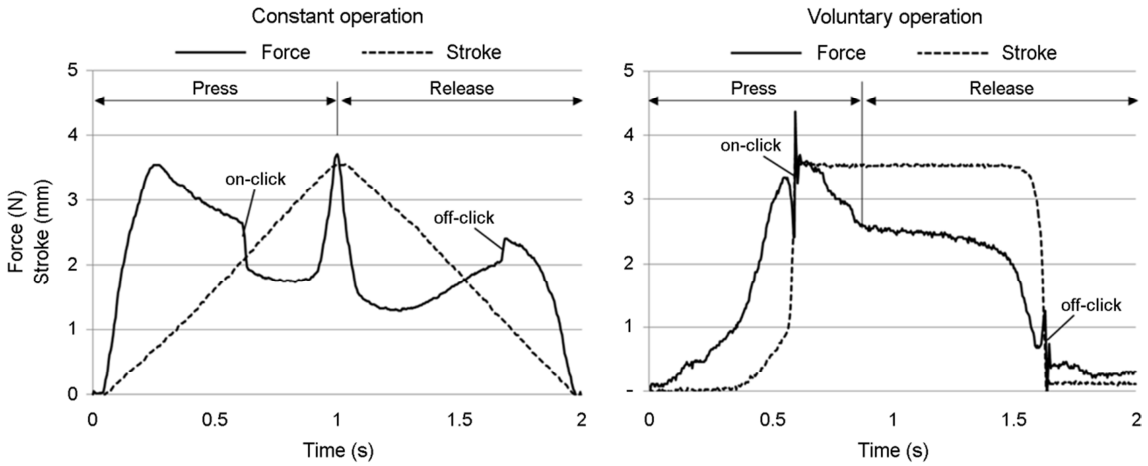

Figure 3. Force and stroke curve with respect to time as a result from constant and voluntary operation

3.3 Analysis of physical parameters affecting the Clarity

사용자는 스위치를 조작하는 동안 두 번의 클릭 시점에서 촉각적 명확성을 일시적으로 느낀다. 즉, 명확성을 대변하는 물리적 변수 역

시 오직 클릭 시점에서만 급격한 수치 증가를 나타낼 것으로 예상할 수 있다. 이를 확인하기 위해 시간에 따른 조작력과 조작거리의 변화율로부터 파생되는 물리적 변수들을 살펴보았다.

먼저 조작력의 변화율인 힘변화율(rate of force)을 살펴보았다(Figure 4). 자발적 조작 시, 조작력 자체도 클릭 시점에서 요동이 나타났지만 힘변화율의 경우 더욱 뚜렷한 요동이 나타났다. 특히 전체적으로 낮은 값을 유지하는 중에 on-click과 off-click에서만 일시적인 심한 요동이 나타난 점에 주목할 필요가 있다. 즉, 클릭 시점에서 만 큰 수치 증가가 나타났기 때문에 사용자에게 명확성을 느끼게끔 하는 촉각적 자극과 관련 될 것으로 예상된다.

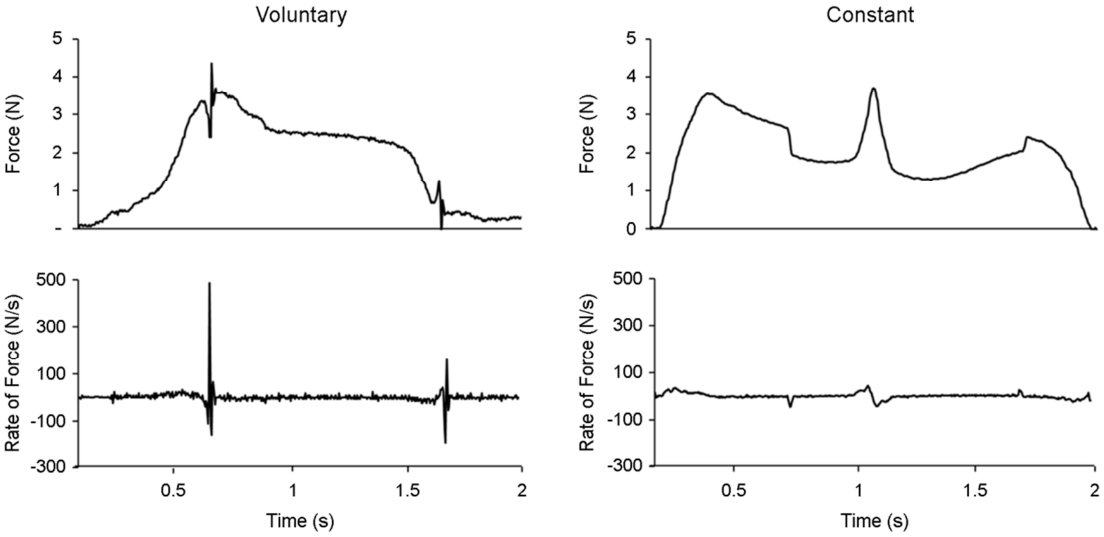

Figure 4. The force and rate of force curves with respect to time

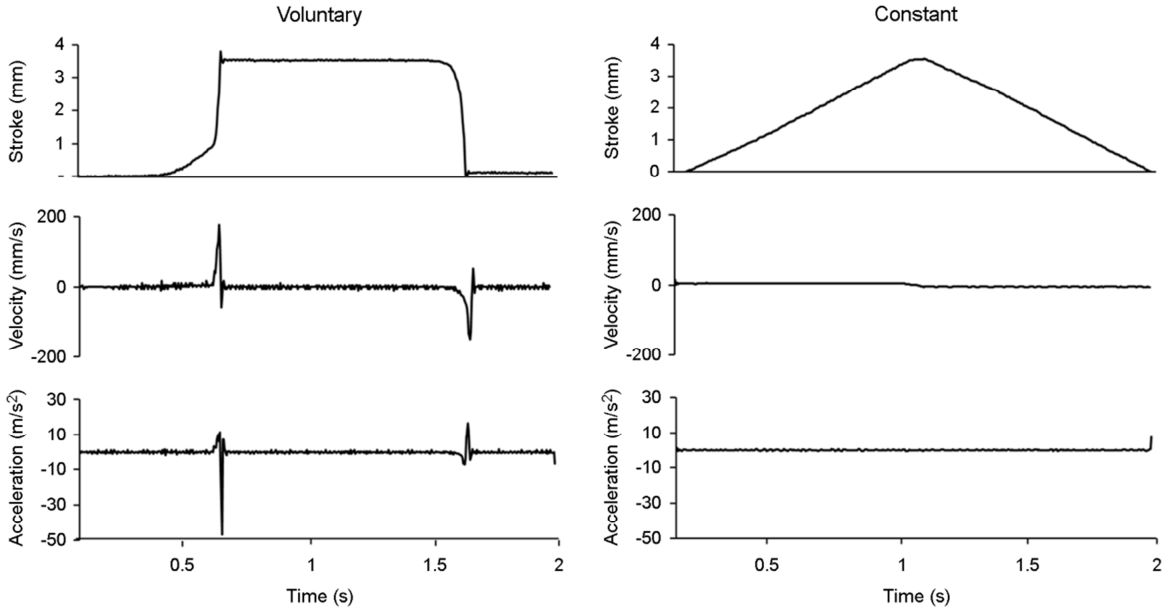

Figure 5. The stoke, velocity and acceleration curves with respect to time

한편 조작거리에 대한 변화율인 속도(velocity) 그리고 속도에 대한 변화율인 가속도(acceleration)를 살펴보았다(Figure 5). 그림에서 정속 조작의 경우 조작거리가 일정하게 증가하다 감소하는 형태를 보이기 때문에 속도와 가속도는 일정하게 낮은 값을 유지하였다. 그러나 자발적 조작의 경우 클릭 시점에서 조작거리가 일시에 증가하고 일시에 감소하는 형태를 보였는데 속도와 가속도 그래프에서도 순간적으로 치솟는 최고값이 나타났다. 조작과정에서 명확성은 두 번의 클릭 시점에서만 느낀다는 점에서 힘변화율과 함께 속도와 가속도의 일시적으로 증가된 수치는 명확성과 관련이 있을 것이다.

결과적으로 클릭 시점에서만 수치 증가가 나타나는 힘변화율, 속도 그리고 가속도 등 세 가지 물리적 변수들을 명확성을 느끼게 하는 촉각 자극의 후보 인자로 제시할 수 있었다.

4. Discussion

4.1 Physical parameters affecting on the sense of touch

스위치 조작 시 발생하는 물리적 상호작용은 사용자의 촉각을 자극해 명확성을 느끼게 한다. 이에 인간의 촉각 지각에 대한 생리학적 이해를 바탕으로 명확성 지각에 영향을 미치는 물리적 인자를 고찰해 보았다.

인간은 피부와 근육에 분포해 있는 기계 수용기(mechanoreceptor)를 통해 물리적 자극을 지각한다. 압력, 마찰력, 전단력 그리고 가속도 등은 피부에 기계적 변형을 일으키고 힘과 동작은 근육과 건에 장력과 길이 변화를 일으킨다. 즉, 클릭 시 일시적으로 증가하는 힘변화율, 속도 그리고 가속도 등 물리적 변수는 기계 수용기의 반응을 유도했을 가능성이 있으므로 생리학적 기재를 검토해 보았다.

먼저 조작력의 변화율인 힘변화율과 조작거리의 변화율인 속도에 반응하는 촉각 수용기는 선행 연구에서 확인할 수 없었다. 다만 조작력과 조작거리 자체에 반응하는 수용기는 존재함을 알 수 있었다. 근육과 건에 분포하는 기계 수용기인 골지건기관(golgi tendon organ)과 근방추(muscle spindle)는 각각 근육의 장력과 길이를 감지하는 수용기이다(Kruger, 2006). 골지건기관은 조작력의 크기에 비례해서 반응하며 근방추는 근육의 수축길이에 비례해서 반응한다. 비록 조작력과 조작거리의 급격한 변화는 뇌에서 정보처리 과정을 통해 특별한 사건으로 인지할 수는 있으나 힘변화율과 속도의 일시적 증가에 직접 반응하는 촉각 수용기는 확인할 수 없었다.

한편 피부에 분포하는 기계 수용기에는 마이스너소체(Meissner corpuscles), 머켈디스크(merkel's disks), 루피니종말(Ruffini endings) 그리고 파치니언소체(pacinian corpusles)가 있다(Kruger, 2006). 이들은 진동 자극과 같은 가속도에 반응하는 수용기이며 특히 파치니언소체가 민감하게 반응한다. 파치니언소체의 감각 역치는 진동 주파수대별로 다르지만, 모든 주파수 대역에서 1m/s^2 이하의 역치를 갖는다(Morioka and Griffin, 2005). 본 실험에서 스위치 조작이 이루어지는 대부분의 시간 동안 가속도는 0m/s^{2}에 불과하였지만 오직 클릭 시에만 10m/s^{2}를 상회하는 높은 수준의 가속도가 일시적으로 측정되어 충분한 촉각적 자극으로 작용했음을 알 수 있다. 즉, 스위치 조작 중 클릭 시 발생한 가속도는 감각 역치를 상회하여 촉각 수용기를 흥분시켰으며 결과적으로 명확성 지각에 영향을 주었다고 할 수 있다.

일반적으로 촉각을 매개로 사용자에게 피드백 정보를 전달하는 방법으로서 진동 자극이 주로 활용된다(Hwang and Hwang, 2010; Oh et al., 2014). 진동의 크기는 가속도(m/s^2)로 표현된다. Hwang and Hwang은 진동의 지각과 감성과의 상관성 연구에서 진동 자극은 만족스러움(satisfying) 등 긍정적인 감정보다는 '흥분되는(exciting)' 또는 '가벼운(light)'과 같은 지각의 강도를 나타내는 어휘와 관련된다고 하였다. 즉, 가속도는 사용자에게 주의를 끌고 정보를 전달하는데 사용될 수 있음을 의미하여 본 연구 결과를 뒷받침 한다.

한편 선행 연구에서 명확성과 상관 관계가 높은 물리적 변수를 언급한 바 있다(Rhiu et al., 2018). 버튼의 경우 반동력의 크기인 Feedback strength (kPa)를, 터치스크린의 경우 진동에 의한 반력 크기인 Magnitude (kPa)를, 그리고 조그다이얼의 경우 피드백 지속시간인 Transient effect period (ms)이 명확성과 높은 상관성을 보였다고 제시하였다. 본 연구에서 제시한 가속도는 버튼 조작과 조그다이얼의 회전 조작에서도 측정이 가능하고 터치스크린에서 진동의 크기 역시 가속도로 표현될 수 있으며 또한 촉각 수용기의 반응기재가 설명되기 때문에 명확성과 관련된 물리적 변수로 활용될 수 있을 것이다.

4.2 Quantify the peak acceleration and the peak rate of force

본 연구에서 측정된 클리키 스위치 조작 시 명확성의 크기를 클릭 시점에서 순간적으로 기록된 최고 가속도로 정량화 해 보았다(Figure 6). 가속도에 물리적으로 영향을 주는 힘변화율도 함께 확인하였다. 제시되는 수치는 5명의 피험자로부터 측정된 100회 데이터의 평균값이다(Figure 6). 가속도와 힘변화율의 수치는 힘의 방향에 따라 음양의 부호가 반대로 나타나지만 크기를 직관적으로 비교하기 위해 절대값을 취해 분석하였다. 분석 결과 가속도의 경우 자발적 조작 시 평균 0m/s^{2}에 불과하였지만 최고값은 누름과 복귀 시 각각 36m/s^{2}와 30m/s^{2}을 보였다. 이는 가속도에 대한 최소 지각 역치를 초과하는 수치이다. 정속 조작 시에는 평균 및 최대 가속도 모두 0m/s^{2}에 머물렀다. 힘변화율도 자발적 조작 시 평균 2.6N/s에 불과하였지만 클릭 지점에서 순간 최고 힘변화율은 누름과 복귀 시 각각 316.5N/s와 288N/s에 이르는 큰 값을 보였다. 클릭 지점에서 정속 조작의 최고 힘변화율은 45.6N/s를 보였다는 점을 감안하면 자발적 조작에 의한 최고 힘변화율은 매우 컸음을 알 수 있다.

즉, 본 연구에서 사용된 클리키 스위치의 명확성의 크기는 가속도의 최고값인 36m/s^{2}에 해당한다고 제시할 수 있다. 다만 명확성 지각의 강도에 대해서는 확인할 수 없기 때문에 가속도의 수치와 주관적 지각 강도와의 대응 관계에 대해서는 추가로 연구가 필요하다.

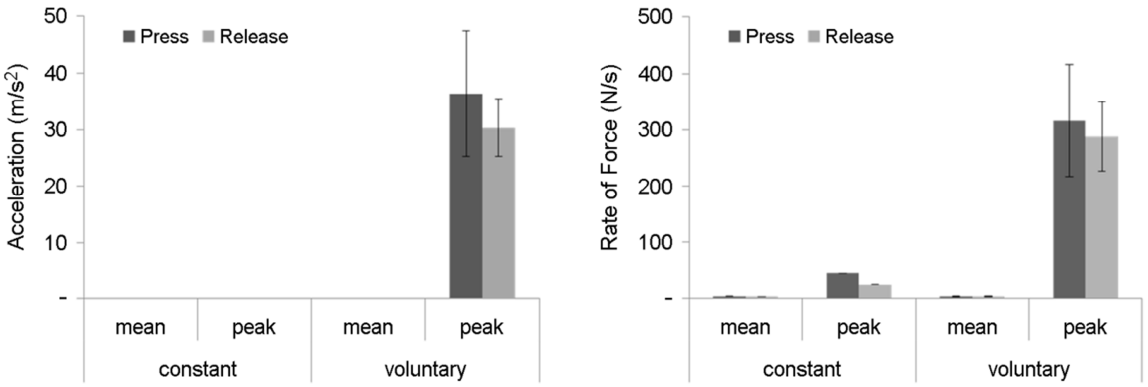

Figure 6. The results of velocity and rate of force form voluntary operation

4.3 The limitation of the study

본 연구의 결과에서 그림으로 제시된 자발적 조작의 햅틱프로파일, 조작력, 조작거리, 힘변화율, 속도 그리고 가속도 커브는 모든 피험자의 평균 그래프가 아닌 특정 피험자의 1회 조작 시 측정된 전형적인 결과를 제시하였다. 그 이유는 자발적 조작 커브는 매 조작마다 클릭 시점이 조금씩 다르기 때문에 모든 피험자의 커브를 평균화 할 경우 최대값이 뭉개져 클릭 시점에서의 특징을 확인할 수 없는 한계가 있기 때문이다. 다만 클릭 시점에서 최고 가속도의 정량적 수치는 모든 피험자의 평균값을 제시하였다.

또한 실험에서 도출된 가속도의 수치와 지각된 명확성의 강도의 대응 관계는 확인할 수 없다는 점 역시 한계로 지적할 수 있다. 본 연구에서 선정한 클리키 스위치는 단순히 지각 역치를 넘어서는 명확성이 있다는 점을 전제로 하였지만 명확성의 주관적인 크기에 대해서는 평가하지 않았다. 이는 클릭의 설계 특성이 다양한 비교 대상 스위치와 함께 실험할 경우 파악할 수 있을 것이며 추후 연구로 남겨두었다.

한편 명확성에 영향을 주는 요소로서 촉각뿐만 아니라 청각 자극과 시각 자극도 기여한다. 본 연구는 오직 촉각 자극의 관점에서 명확성에 관련된 물리적 변수를 제시하였다는 점을 고려할 필요가 있다.

5. Conclusion

본 연구에서는 조작 성공에 대한 물리적 피드백이 있는 클리키 스위치에 대해 피험자가 자발적으로 조작하는 동안 햅틱프로파일을 측정하고 분석을 통해 명확성 지각에 관련된 물리적 변수를 제시하였다. 측정된 햅틱프로파일에 대해 본 연구에서 새롭게 시도한 변화율 분석을 수행한 결과 힘변화율, 속도 그리고 가속도의 순간적인 증가가 클릭 시점에서 나타나는 현상을 확인할 수 있었다. 특히 측정된 가속도의 최고 수치는 가속도에 반응하는 촉각 수용기의 감각 역치를 넘어서기 때문에 가속도가 명확성 지각에 영향을 주었음을 제시하였다. 본 연구에서 사용한 햅틱프로파일의 측정과 변화율 분석 방법은 향후 조작감을 기반으로 한 더욱 깊이 있는 연구를 진행할 때 활용될 수 있을 것이다.

향후 정량적으로 측정된 가속도의 수치와 주관적인 명확성의 크기 간의 상호 관계를 파악하는 연구가 추가로 필요하다. 또한 다이얼, 레버 등 다른 유형의 조절장치에도 동일한 원리가 적용되는지 확인할 필요가 있다. 궁극적으로는 조절장치의 제품 응용 분야에 따라, 조절장치의 크기에 따라 그리고 사용되는 주변환경에 따라 요구되는 또는 선호되는 명확성 수준에 대해서도 연구가 필요하다.

Acknowledgement

This work was funded by Korea Institute of Industrial Technology (Project No. JG19100).

References

Alexander, J., Hardy, J. and Wattam, S., Characterizing the Physicality of Everyday Buttons, *ITS '14 Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, 205-208, 2014.

Bahn, S., Kwon, O., Song, J., Kwon, S. and Yun, M., An Affective Evaluation Study on Control Feel of the Slide Type Mobile Phone, *Proceedings on HCI 2010*, 434-437, 2010.

Ban, K., Lim, Y., Jung, E., Choe, J., Lee, S. and Park, K., Investigation of Operating Forces of the Automotive Tactile Switch regarding Various Positions, *JES Ergonomics*, 49 (Supplement), 544-547, 2013.

Choi, D., Ban, K., Choe, J. and Jung, E., An Ergonomic Shape Design for Automotive Push-Return Switches, *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 36(1), 9-21, 2017.

Hwang, J.H. and Hwang, W.I., Perception and Emotion for Fingertip Vibrations, *Archives of Design Research*, 23(5), 127-137, 2010.

Hyeong, J., Kim, S., Roh, J., Park, S. and Chung, K., Evaluating the Reaction Force of Office Chair Backrest for Different Joint Structures, *Transactions of Korean Society of Mechanical Engineers B*, 39(6), 535-540, 2015.

Jiao, J., Zhang, Y. and Helander, M., A Kansei mining system for affective design, *Expert Systems with Applications*, 30, 658-673, 2006.

Jun, C., Choo, H., Park, S., Kim, L. and Shin, S., Torque Profile Measuring and Sensibility Evaluation of a Haptic Device, *Society of CAD/CAM Engineers*, 15(3), 222-233, 2010.

Jung, K., Yun, H. and Cho, B., Turning Effect Design for the Operating Feel of Jog Dial, *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 36(6), 785-793, 2017.

MacLean, K.E., Application-Centered Haptic Interface Design, Chapter in Human and Machine Haptics, Srinivasan, M., Cutkosky, M., Eds., *MIT Press*, 1999.

Kruger, L., Pain and Touch, 2nd edition, *Academic Press*, 2006.

Lee, J., Byun, J., Jeong, J. and Lim, C., Sliding Factor Development on Mechanical Emotion in Mobile Phone of Slide Type, *Journal of Ergonomics Society of Korea*, 31(6), 757-764, 2012.

Morioka, M. and Griffin, M.J., Thresholds for the perception of hand-transmitted vibration: Dependence on contact area and contact location, *Somatosensory & Motor Research*, 22(4), 281-297, 2005.

Oh, S.Y., Kim, K.T., Yu, C.H., Han, K.S. and Kwon, T.K., Study on Vehicle Haptic-Seat for the Information Transfer to Driver, *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 8(1), 1-7, 2014.

Park, S.B. and Jung, K.H., Evaluation of Various Button Angles and Operation Displacements for Ergonomic Button Design of an Automobile, *Proceedings on Korean Institute of Industrial Engineers 2014*, 490-496, 2014.

Rhiu, I., Bahn, S., Lee, Y. and Song, J., A Study on Affective Characterization of PUI (Physical User Interface) regarding Control Types, *Proceedings on HCI 2014*, 217-220, 2014.

Rhiu, I., Bahn, S., Nam, C. and Yun, M., Affective experience of physical user interfaces: Similarities and differences among control types, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28, 56-68, 2018.

Song, J., Lim, J. and Yun, M., A review of haptic perception: Focused on sensation and application, *JESK*, 31(6), 715-723, 2012.

Swindells, C., MacLean, K.E., Booth, K.S. and Meitner, M.J., Exploring Affective Design for Physical Controls, *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 933-942, 2007.

Watanable, K. and Kosaka, H., Evaluation of Keyboard switches based on Kansei (Human Sensitivity) Information, *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 69-74, 1995.

Weir, D., Peshkin, M., Colgate, J.E., Buttolo, P., Rankin, J. and Johnston, M., Switch Characterization and the Haptic Profile, *12th haptic symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 27-28, 2004.

Author listings

Joonho Hyeong: freegore@kitech.re.kr
Highest degree: Ph.D (undergoing), Department of Industrial Design, Hanyang University
Position title: Researcher, Human Convergence Technology Group, KITECH
Areas of interest: Physical User Interaction, Ergonomic based Design

Sayup Kim: sayup@kitech.re.kr
Highest degree: Ph.D, Biomedical Engineering, Yonsei University

Position title: Principle Researcher, Human Convergence Technology Group, KITECH
Areas of interest: Sports Engineering, Biomechanics

Jongryun Rho: ssaccn@kitech.re.kr
Highest degree: MS, Department of Industrial Design, KoreaTech
Position title: Principle Researcher, Human Convergence Technology Group, KITECH
Areas of interest: Usability test, Integrating design

Jaehwan Lee: indd2000@hanyang.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, Myongji University
Position title: Professor, Department of Industrial Design, Hanyang University
Areas of interest: Human-computer Interaction, Usability Evaluation, Interaction Design