

# 햅틱의자를 이용한 의자 틸팅시스템의 설계 Design of Chair Tilting System Using a Haptic Chair

\*Jin Yongjie<sup>1</sup>, #송재복<sup>2</sup>

\*Y.-J. Jin<sup>1</sup>, #J.-B. Song(jbsong@korea.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>고려대학교 기계공학부

Key words : Haptic-Aided Design, Haptic profile, Chair design

## 1. 서론

사람과 장시간 접촉하는 제품을 설계할 경우 제품이 인체 친화적인지를 평가하고, 사용자의 감성적인 평가를 설계에 반영하는 것이 매우 중요하다. 기존의 CAD 프로그램은 지금까지 강력한 제품설계 도구로 사용되어 왔으나, 이와 같은 기능을 제공하는 데는 한계가 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 제품설계 단계에서 햅틱장치를 활용하는 HAD(haptic aided design)이 제시되었다<sup>[1]</sup> 햅틱장치는 사람의 오감 중에서 촉감 및 역감을 제시할 수 있는 장치로서, 가상현실에 있는 가상제품을 실제로 사용하는 것과 같은 느낌을 실시간으로 사용자에게 제공할 수 있다.

제품을 사용할 때 느끼는 감각은 사용자와 접촉하는 부위의 물리적 특성과 밀접한 관계가 있다. 햅틱장치를 설계에 활용하기 위해서는 가상제품의 물리적 특성을 정확히 구현할 수 있어야 한다. 이를 위하여 사용자가 제품을 조작할 때, 조작부의 위치와 이동속도, 그리고 반발력 사이의 상관관계를 의미하는 햅틱 프로파일 (haptic profile, HP)을 사용할 수 있다. HP는 동역학 해석 프로그램을 이용하여 얻을 수 있으며, 이렇게 생성된 HP는 제품의 각종 물리적 특성(강성, 점성)을 정확히 포함한다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 사람이 장시간 사용하는 의자의 틸팅 시스템을 설계하는데 HAD를 적용하기 위하여 햅틱의자를 개발하였다. 그리고 의자의 물리적인 특성을 정확하게 전달하기 위하여 HP를 적용함으로써 보다 정확한 햅틱 시뮬레이션을 할 수 있도록 하였다. 또한 사용자가 해석 프로그램을 이용하여 생성한 HP를 햅틱의자에 쉽게 적용하고, 실시간으로 HP를 조절할 수 있는 GUI(graphical user interface)를 개발하였다. 본 연구에서는 햅틱의자를 이용하여 의자의 틸팅 시스템을 설계하였으며, 이로부터 HAD를 제품설계에 적용할 경우 제품설계의 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 검증하였다.

## 2. 햅틱장치를 이용한 제품 설계

일반적으로 제품을 설계하기 위해서는 개념설계를 하고, 이를 바탕으로 다양한 해석을 수행하여 설계를 구체화한다. 그리고 시제품을 제작하여 사용감을 평가하며, 이를 바탕으로 설계를 수정한다. 따라서 제품개발 중 여러 차례에 걸쳐 시제품을 제작해야 하므로 개발시간 및 비용이 증가한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같이 시제품 대신에 햅틱장치를 이용할 수 있으며, 이를 HAD라고 한다. HAD에서는 햅틱장치를 이용하여 다양한 성능 실험을 수행할 수 있으므로, 제품개발 시 시제품 제작을 줄이고 제품개발 기간을 단축할 수 있다.

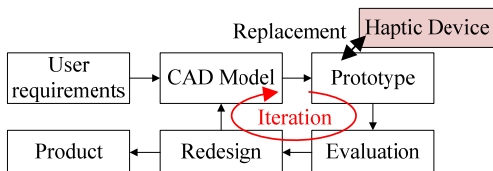


Fig. 1 Haptic-aided design process.

의자는 사용자와 장시간 접촉을 유지하는 대표적인 제품

이다. 의자의 안락감은 사용자의 주관적인 평가에 의해 결정되기 때문에 의자를 설계하기 위하여 인간공학 측면에서 다양한 연구가 진행되었음에도 불구하고 안락한 의자를 설계하는 것은 여전히 어려운 문제로 남아있다. 그러므로 의자를 설계하기 위하여 여전히 다양한 시제품을 제작하고, 사용자의 평가를 바탕으로 설계를 수정하는데, 이와 같은 의자설계는 HAD를 적용하기에 좋은 예이다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 의자를 설계하는데 사용할 수 있는 햅틱의자를 개발하였다. 햅틱의자는 사람이 등판에 기댈 때 등판의 강성, 점성, 각도 등 물리적 특성을 시뮬레이션할 수 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 햅틱의자를 이용할 경우, 시제품을 제작하지 않고도 의자등판의 물리적 특성(강성, 점성)을 직접 평가할 수 있다. 햅틱의자 등판의 강성조절 범위는 0 ~ 100 Nm/°이고, 점성조절 범위는 0 ~ 2 Nms/°이다. 그리고 등판은 좌판과 수직인 방향에서 시계방향으로 30°까지 회전할 수 있다.

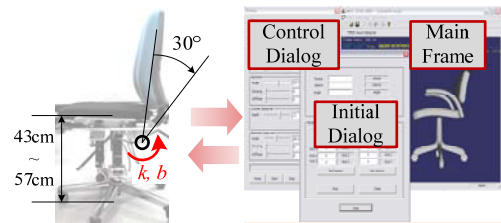


Fig. 2 Haptic chair and GUI.

햅틱의자를 직관적으로 조절할 수 있도록 하기 위하여 OpenGL 기반의 고성능 3D 도형 개발 라이브러리인 OpenScenGraph와 MFC를 이용하여 GUI를 개발하였다. GUI는 햅틱의자의 움직임을 시각적으로 보여주는 main frame과 햅틱의자의 HP를 조절하고 각종 데이터(등판각도, 속도, 토크 등)를 수집할 수 있는 control dialog, 그리고 모터를 초기화하는 initial dialog로 구성되었다.

## 3. 일반적인 방법을 이용한 의자 설계

의자 등판의 기울기와 강성을 결정하는 틸팅 시스템 (tilting system)은 안락감에 영향을 주는 중요한 요소 중 하나이다. 이와 같은 틸팅 기능은 여러 방식으로 구현될 수 있는데, 그 중에서 Fig. 3과 같은 등판 기울임 (back tilt) 방식이 가장 흔히 사용된다. 등판 기울임 방식에서는 등판과 좌판이 서로 분리되어 있다. 따라서 사람이 등판에 기댈 때 좌판은 움직이지 않고, 등판이 회전축을 중심으로 회전하여 좌판에 대한 상대운동을 한다. 이 때, 등판과 좌판 사이에 설치되어 있는 스프링에 의해서 등판에 반발력이 발생하며, 반발력은 다음 식으로부터 얻을 수 있다.

$$\tau = r \times F = ka^2 \tan(\theta) + kah \quad (1)$$

여기서  $F$ 는 사용자가 등판에 가하는 힘이고,  $r$ 은 작용점에서 회전축까지의 거리이며,  $\tau$ 는 힘  $F$ 에 의해서 발생하는 토크이다. 그리고 설계변수  $a$ 는 스프링의 중심축으로부터 등판 회전축까지의 수평거리이고,  $h$ 는 스프링의 예압 길이이며,  $k$ 는 스프링 상수이다.

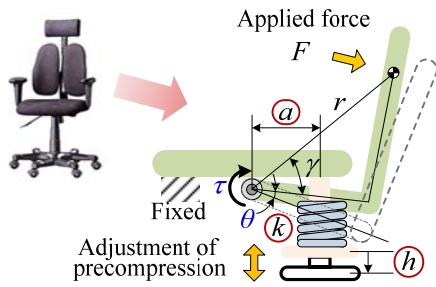


Fig. 3 Model of the chair.

사람이 의자에 앉았을 때 편안하게 느끼는 등판 기울임 각도는 0 ~ 10°이다<sup>[3]</sup>. 또한 시중에 판매되고 있는 의자들의 등판 기울임 강성은 대부분 0.3Nm/°에서 1.4Nm/° 사이에 있으며, 등판의 초기 기울임 예압은 0Nm에서 40Nm 사이에 있다<sup>[4]</sup>. 여기서 기울임 예압이란, 등판을 기울이기 위한 최소한의 토크를 의미한다. 본 논문에서는 인간공학적 의자설계에 관한 논문을 참고하여 의자 등판의 기울임 강성은 1.0Nm/°이고 등판의 초기 기울임 예압은 17Nm라고 가정하였다. 이를 만족하기 위하여  $a = 6.5\text{cm}$ ,  $k = 13,000\text{N/m}$ ,  $h = 2\text{cm}$ 으로 설계하였다.

#### 4. 햅틱의자를 이용한 의자 설계

본 장에서는 햅틱의자를 이용하여 안락성을 평가하고, 이를 바탕으로 의자의 설계를 수정하는 방법에 대해서 살펴본다. 제품의 HP는 제품이 구현해야 할 기능에 따라 각각 다르게 정의된다. 본 연구에서 HP는 의자 등판의 각도 ( $\theta$ ), 각속도( $\omega$ ), 회전축에서의 토크( $\tau$ ) 사이의 상관관계로 정의하였다. 따라서 사용자가 햅틱의자를 이용하여 최적의 HP를 찾을 때, 햅틱 의자 등판의 기울임 각, 기울임 속도, 기울임 토크를 실시간으로 저장한다.

햅틱의자를 이용한 평가를 수행하기 위하여, 동역학 해석을 통하여 기본적인 HP를 생성하였다. 이와 같이 생성된 HP는 3장에서 설계한 등판의 물리적 특성을 포함한다. 햅틱의자가 얼마나 정확하게 힘피드백을 구현할 수 있는지 검증하기 위하여 기본적인 HP를 햅틱의자에 적용하였으며, 햅틱의자를 이용하여 측정된 기울임 각에 따른 기울임 토크의 변화는 Fig. 4(a)와 같다. 그래프에서 볼 수 있는 것과 같이, 그래프의 절편에 해당하는 기울임 토크는 17Nm이며, 그래프의 기울기에 해당하는 기울임 강성은 1.0Nm/°이다. 이 결과는 햅틱의자에 적용한 HP와 동일하며, 이로부터 햅틱의자는 실제 의자와 유사한 사용감을 구현할 수 있음을 알 수 있다.

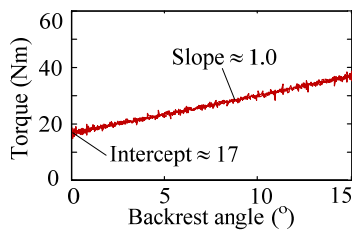


Fig. 4 Torque- backrest angle relationship for initial HP.

초기 HP를 적용한 경우, 의자의 안락감 평가를 수행하였다. 먼저 햅틱의자의 등판에 살짝 기대 상태에서 작업을 수행하는 업무상태의 자세(upright posture)를 취하였다. 이때, 등판은 사용자의 요추를 적당히 지지해주지 못하고 밀려났으며, 이로부터 사용자는 불편함을 느꼈다. 다음으로 등판에 몸을 기대 채 휴식을 하는 자세를 취하였다. 이 때도 마찬가지로 등판은 사용자의 체중을 이기지 못하고

이 회전하였으며, 이로부터 사용자는 불편함을 느꼈다.

이와 같은 불편함을 줄이기 위해서는 의자의 기울임 강성과 기울임 예압을 모두 높여야 한다. 식 (1)에서부터 알 수 있듯이 등판의 기울임 특성은 의자의 설계변수  $a$ ,  $k$ ,  $h$ 에 의해 결정되며, 설계변수와 HP의 관계는 Table 1과 같다. 사용자는 보다 편안한 등판의 강성을 찾기 위하여 GUI를 이용하여 의자의 HP를 임의로 조절하였으며, Fig. 5에서 볼 수 것과 같이 의자등판의 초기 기울임 예압은 25Nm이고, 기울임 강성은 2.6Nm/°일 때 사용자는 편안함을 느꼈다. 이로부터 의자의 안락감을 향상시키기 위하여 설계변수를 수정할 수 있으며, 최종적으로 수정된 값은  $a = 9\text{cm}$ ,  $k = 17,000\text{N/m}$ ,  $h = 1.6$ 이다.

Table 1 Variables and related HP's characteristics.

Variables	Related HP's characteristics
$a$	Slope & intercept
$k$	Slope & intercept
$h$	Slope

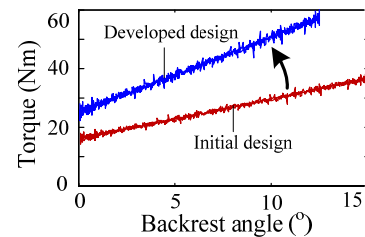


Fig. 5 Torque- backrest angle relationship for modified HP.

#### 5. 결론

본 연구에서는 제품설계에 HAD를 적용하기 위하여 햅틱의자와 직관적인 GUI를 개발하였다. 햅틱의자를 의자등판 설계에 직접 적용함으로써, 시제품을 제작하지 않고도 햅틱의자를 이용하여 안락감을 제공할 수 있는 의자 등판의 설계변수를 결정할 수 있었다. 이로부터 제품개발의 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 검증하였다.

#### 후기

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. R11-2007-028-01002-0)임.

#### 참고문헌

1. D. W. Weir, M. Peshkin, J. E. Colgate, P. Buttolo, J. Rankin and M. Johnston, "The Haptic Profile: Capturing the Feel of Switches," 12th International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems (HAPTICS'04), 186-93, 2004.
2. 허석행, 김영걸, 송재복, "햅틱보조설계 기반의 설계변수 조절이 가능한 햅틱의자의 설계," 대한기계학회 추계학술대회, 860-864, 2008.
3. 이영신, 박수찬, 남윤외, 김동진, 송근영, "사무용 의자설계변수에 관한 인간공학의 연구," 한국가구 학회지, 8, 17-28, 1997.
4. F. S. Faiks, P. Allie, S. M. Reinecke, "Supporting the Torso through Seated Articulation," 43rd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, 574-578, 1999.