

햅틱보조설계 기반의 설계변수 조절이 가능한 햅틱의자의 설계

허석행[†] · 김영걸^{*} · 송재복^{**}

Design of Haptic Chair based on Haptic-Aided Design Capable of Design Parameter Adjustment

Seok-Haeng Huh, Yong-Jie Jin and Jae-Bok Song

Key Words : Haptic-Aided Design (햅틱 보조 설계), Ergonomics Chair Design(인간공학 의자 설계), Haptic(햅틱)

Abstract

In modern society, people tend to spend their time on various types of chairs. However, it is not easy for a designer to design a comfortable chair, because satisfaction with the chair depends not only on the quantitative elements such as size, but also on the qualitative element such as the user's feeling. To deal with these problems, there have been many studies on designing an ergonomics chair. In this paper, the haptic-aided design (HAD) system was adopted to design the ergonomics chair. Based on the HAD system, the designer can experience whether the chair is comfortable or not through the haptic device, and also can modify the design parameters instantaneously. The haptic chair capable of controlling the design parameters in real time was proposed as a haptic simulator. The controllable parameters such as the seat height, reclining angle, stiffness of the backrest, and so on were selected based on the previous researches related to ergonomics chairs. It will reduce the development cost and time by replacing the process of making the real mock-up and prototype with the haptic chair.

1. 서 론

햅틱장치(haptic device)는 가상현실 속에서 사용자가 촉감이나 역감을 느낄 수 있도록 하여, 사용자에게 몰입감(immersion)을 제공하는 장치이다. 햅틱장치는 수술용 장치 및 게임산업에서 많이 활용되는 등 햅틱장치의 활용 분야는 더욱 다양해지고 있다[1,2]. 특히, 최근에는 설계 단계에서 햅틱장치를 활용하는 햅틱 보조 설계(haptic-aided design, HAD)에 관한 연구들이 진행되고 있다. Boeing사는 상용 햅틱장치인 Phantom을 이용하여

항공기의 부품을 조립할 때 부품간의 간섭현상을 확인하는 용도로 활용하고 있다[3]. 또한, Immersion사는 자사에서 개발한 CyberGlove를 3D CAD 프로그램인 CATIA V5와 연동하여, 화면상의 3차원 모델들을 직접 조립할 수 있는 VirtualHand를 출시하였다[4]. 이외에도 햅틱장치를 이용하여 조립 및 설계를 하는 경우 얼마만큼의 효율을 가지는가에 대한 연구도 진행되고 있다[5,6]. 이와 같은 HAD는 다양한 설계요소들을 실시간으로 조절하여, 이 때 변화된 요소에 대한 영향을 사용자가 직접 느끼며, 그 느낌을 다시 제품개발에 반영할 수 있다. 따라서 HAD는 기존의 CAD 프로그램이 제공하지 못하였던 촉감 및 역감을 제공함으로써, 직관적인 설계를 할 수 있도록 해준다.

본 연구에서는 HAD의 다양한 활용 방안 중, 의자를 설계하는데 HAD를 적용하는 방안을 살펴본

[†] 고려대학교 기계공학부
E-mail : gazago125@korea.ac.kr
TEL : (02) 923-3591 FAX : (02) 923-3591

^{*} 고려대학교 기계공학부

^{**} 고려대학교 기계공학부

다. 사람들은 매우 많은 시간을 의자에 앉아서 보내고 있음에도 불구하고, 사용자의 요구사항을 만족하는 의자를 설계 및 제작하는 것은 매우 어렵다. 왜냐하면, 의자에 대한 만족감이란 크기, 모양과 같은 정량적인 사항과 착석감, 디자인과 같은 정성적인 사항이 서로 복잡하게 작용하기 때문이다. 따라서 기존의 시각정보에 의존한 설계방법만으로는 사용자가 원하는 의자를 설계하는 데 한계가 있다. 그러나 HAD를 적용할 경우 시각정보 외에 촉감/역감 정보를 반영할 수 있어 사용자가 편하게 느끼는 의자를 설계하는 데 도움을 줄 수 있다. 따라서 의자설계는 HAD를 적용하기에 적합한 예가 된다.

HAD를 이용하여 의자를 설계할 경우, 다양한 체형에 따른 다양한 의자의 형상 및 감각 등을 표현해 주며, 이러한 설계변수들을 실시간으로 설계에 반영할 수 있는 장치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 설계단계에서 여러 설계변수들을 실시간으로 조절하여 적용해 볼 수 있는 햅틱의자(haptic chair)를 설계하고, 의자설계에 쉽게 적용할 수 있는 GUI(graphic user interface)를 구현하였다. 이를 통하여 Fig. 1과 같은 기존의 제품개발 과정에서 예상되는 문제점들을 사전에 미리 점검해 볼 수 있고, 목업(mock-up)과 재설계를 하는 일련의 횟수를 줄여주어 제품의 개발기간 및 개발비용을 줄일 수 있다.

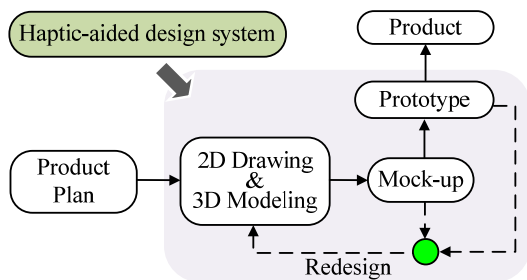


Fig. 1 Design process of a chair.

2. 햅틱의자의 설계

2.1 설계변수 선정

일반적으로 의자를 설계할 때 고려해야 할 설계 변수로는 좌판의 높이와 앞뒤 경사, 좌판의 넓이 및 깊이, 등받이의 각도 및 강성, 요추지지대의 유무, 쿠션의 경도, 등판의 길이 및 형상 등의 정량적인 요소와 의자의 외형 디자인, 착석 시 안락감

등에 대한 정성적인 요소로 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 의자를 설계하는데 정량적인 요소 못지 않게 정성적인 요소 또한 매우 중요하므로, 정성적인 요소를 정량화하는 것은 중요하다[7,8]. 의자의 안락감은 인체의 치수, 앉은 사람의 자세, 의자와 사람과의 상대적인 자세 관계에 따른 피로감, 앉은 부위의 체압분포(body pressure distribution) 및 근전도 신호(electromyography signal)를 측정하여 얻은 피로도 데이터 등을 활용하여 정량화할 수 있다. 본 연구에서는 여러 설계변수들 중에서 의자 높이, 등판 각도/강성 등과 같은 정량적인 요소들에 초점을 맞추어 햅틱의자에서 표현할 요소로 선정하였다.

2.2 햅틱의자의 개념설계

햅틱의자의 크기는 한국인의 신체치수와 기존 의자의 치수를 참고하여 Fig. 2와 같이 선정하였다. 좌판의 크기는 넓이 480mm, 폭은 500mm이며, 등판의 크기는 넓이 480mm, 길이는 650mm이다. 의자에 전달되는 사람의 하중은 최대 100kg으로 설정하였다.

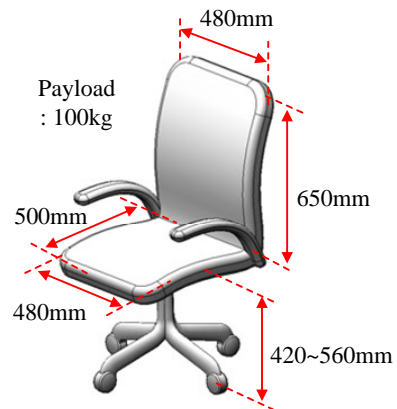


Fig. 2 Dimension of haptic chair

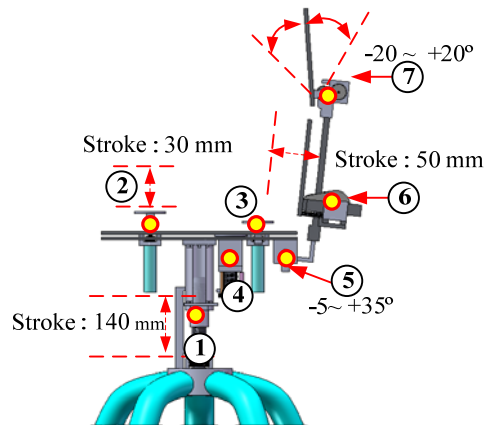


Fig. 3 Overall configuration of haptic chair.

햅틱의자의 구동위치는 Fig. 3과 같이 좌판의 높이(①)부터 등판 어깨부분 지지부(⑦)까지 선정하였으며, 이와 같은 위치는 앞서 설명한 정량적 설계변수와 밀접한 관련이 있다. Table 1은 각 조절부위의 조절범위 및 조절요소를 보여준다. 이러한 설계변수들은 제작된 PC 기반의 GUI를 통해서 실시간으로 조절할 수 있다.

Table 1 Design parameters of haptic chair.

No.	조절부위	조절범위	조절요소
1	의자 높이	0~140mm	Height
2	좌판의 앞쪽 높이	0~30mm	Height
3	좌판의 뒤쪽 높이	0~30mm	Height
4	좌판의 반력과 감쇠 조절 장치	0~800N	Damping, reaction force
5	등판의 각도	-5°~ +35°	Angle, damping and stiffness
6	요추지지대의 깊이	0~50mm	Depth
7	등판 어깨부분 지지대의 각도	-20°~ +20°	Angle, damping and stiffness

2.3 각 조절요소의 상세설계

Fig. 4는 Fig. 3에서 설명한 햅틱의자의 각 부분을 구성하는 세부 구조를 보여준다.

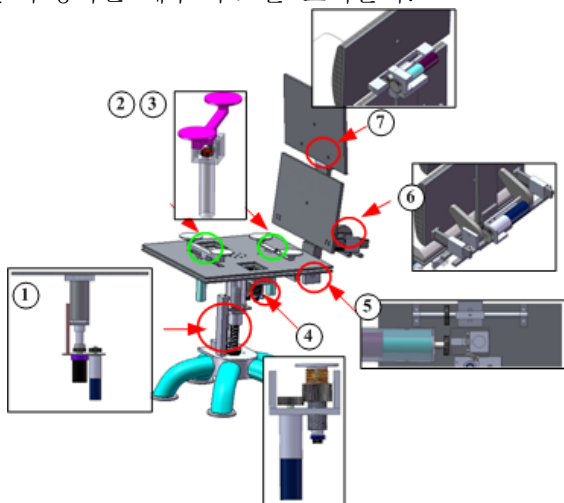


Fig. 4 Adjustment mechanism of haptic chair.

각 부위마다 요구하는 이동범위, 허용토크, 역구동성(back-drivability) 등이 다르므로, 각 부위에서 요구하는 기능을 구현할 수 있도록 다음과 같이 기구를 설계하였다.

2.3.1 높이 조절장치(①, ②, ③)

높이 조절장치들에 대해서 살펴보면 첫째로, 의자 높이 조절장치(①)가 있다. 바닥으로부터 좌판까지의 거리가 최소 420mm에서 최대 560mm까지 조절이 가능하다. 사람이 앉을 때 가해지는 큰 하중을 움직이기 위해 작은 힘으로 큰 힘을 전달할 수 있는 전조 볼나사를 이용해 상하로 움직일 수 있도록 설계하였다. 둘째, 좌판의 앞부분 높이와 뒷부분 높이 조절장치이다(②, ③). 스크류-너트를 사용하여 각각의 높이를 조절할 수 있고, 각각의 높낮이를 조합하여 평면에 대한 좌판의 상대적인 각도 조절도 가능하다. 조절 높낮이에 따라 자세의 변화 및 요추 등에 변화가 일어나는데 이를 통해 적절한 의자의 형상 등을 알 수 있다.

2.3.2 반력-감쇠 조절장치(④)

좌판부에는 앉는 순간의 느낌을 표현하기 위하여 댐핑을 조절할 수 있는 댐퍼와 스프링으로 구성된 장치를 아래의 Fig. 5와 같이 설계하였다. 이 장치는 의자의 좌판 밑부분에 장착되어 사람의 하중이 가해지는 A지점에 반력을 제공해준다. 아래 Fig. 5 (a)와 같이 나사산이 나있는 댐퍼에 장착된 기어는 모터에 장착된 기어와 서로 맞물려 있다. 따라서 모터에 장착된 기어를 회전시켜 스프링의 압축거리를 조절하여 초기 예압력을 원하는 값으로 결정할 수 있다. 또한, 댐퍼의 댐핑조절 다이얼을 조절하여 댐핑값을 일정범위 내에서 조절할 수 있다. 스프링에 의한 초기반력을 0에서 최대 약 800N까지 조절하여 나타낼 수 있다. 따라서 사람에게 다양한 반력-감쇠에 따른 감각을 제공한다.

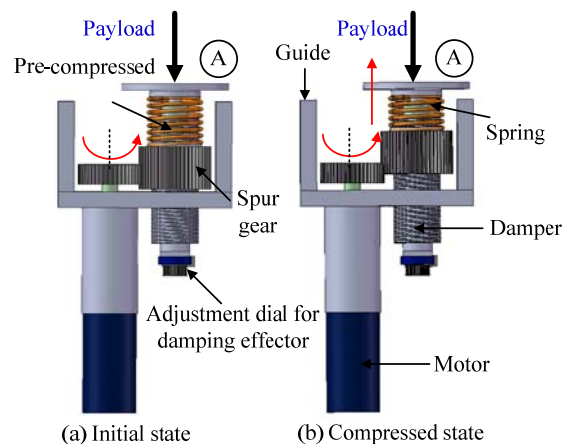


Fig. 5 Damping and reaction force adjustment.

2.3.3 기타 조절장치(⑤, ⑥, ⑦)

이밖에 등판의 각도(⑤) 및 강성 조절장치가 있다. 각도의 조절 범위는 좌판이 등판과 수직하게 되어있을 때를 기준으로 $-5^{\circ} \sim +35^{\circ}$ 사이에서 조절할 수 있다. 등판의 강성/감쇠 등을 표현하기 위해서 이 부분에 임피던스 제어 이론을 적용하였다. 이는 편안한 의자를 설계하는데 있어서 매우 중요한 요소인 등판의 강성 설계 등에 활용된다.

등판부분의 요추지지대 깊이(lumbar support depth) 조절장치(⑥)는 캠 장치의 선형운동을 이용하여 요추지지대의 깊이를 0~50mm까지 조절할 수 있다. 개략적인 동작은 아래 Fig. 6와 같이 그림의 (a) 상태에서 캠 장치가 요추지지대를 밀게 되면 (b)와 같이 요추지지대가 선형이동을 하게 되면서 깊이를 조절하게 된다. 이를 통해 사람의 피로도에 가장 많은 영향을 주는 요추지지대의 깊이 변화에 따른 사람의 편안함 등을 측정할 수 있다. 마지막으로, 어깨부와 맞닿는 등판부의 각도 조절장치(⑦)가 있다. 조절범위는 $-20^{\circ} \sim +20^{\circ}$ 사이의 값을 가진다.

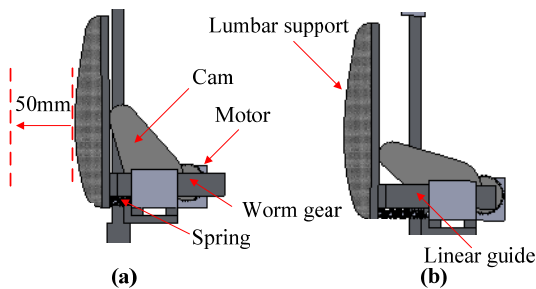


Fig. 6 Lumbar support depth adjustment using a cam

2.4 제어부의 구성

햅틱의자의 전체적인 시스템 구성도는 아래 Fig. 6에 개략적으로 나타나 있다. PC 및 유저 인터페이스 프로그램, 상위 및 하위 제어기, 엔코더가 부착된 DC 및 AC모터, 햅틱의자의 기구부, 그리고 사용자로 구성되어 있다. 제어기는 PC로부터 구현하고자 하는 설계변수에 관한 정보를 받아들이고 처리하고, 이를 햅틱의자에 전송한다. 또한 햅틱의자 기구부에 장착된 엔코더로부터 위치정보 등을 제어기, PC로 전송하고 설계변수를 실시간으로 확인하게 된다.

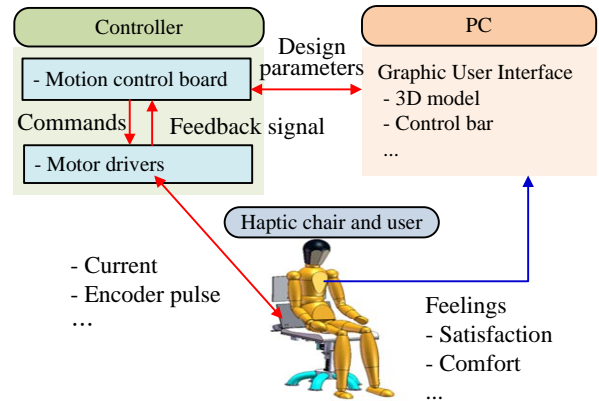


Fig. 7 System architecture of haptic chair.

3. 햅틱의자를 이용한 설계에의 적용방안

3.1 등판의 강성설계

여러 강성에 따른 다양한 등판의 느낌을 표현하기 위하여 강성 등을 실시간으로 변화시키기 위해 모터의 전류제어를 통한 복합 능동 임피던스 제어 기법을 적용할 수 있다. 이론적으로 전류제어는 전류 i 와 모터의 토크상수 K_T 에 의해서 모터의 토크가 결정된다[9]. 따라서 모터의 토크상수를 알고 있다면, 인가하는 전류를 조절하여 원하는 토크를 얻을 수 있다.

일반적으로 의자 등판의 강성을 나타내기 위해서 선형 또는 비선형 스프링을 사용한다. 비선형 스프링을 사용하는 경우의 능동강성은 아래의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 주어진 강성 $k(\theta)$ 과 움직인 등판의 각도 θ 만큼 비례하여 아래 그림 Fig. 8과 같이 토크 τ 를 발생시킨다.

$$\tau = iK_T = -k(\theta)\Delta\theta \quad (1)$$

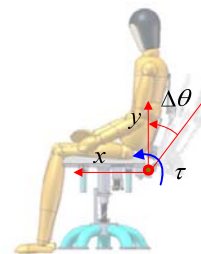


Fig. 8 Implementation of impedance control

능동감쇠를 표현하고자 하는 경우는 주어진 감쇠 $B(\theta, \dot{\theta})$ 및 등판의 각속도 $\dot{\theta}$ 에 대해서 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau = iK_T = -B(\theta, \dot{\theta})\Delta\dot{\theta} \quad (2)$$

여기서 부호가 (-)인 이유는 사람이 등판을 미는 방향과 반대방향으로 힘을 출력하기 때문이다. 따라서 원하는 강성값을 대입하면 움직인 각도에 따른 토크 τ 값을 제공하므로 원하는 강성 및 감쇠 등을 표현할 수 있다. 능동감성, 능동감쇠를 표현한 복합 임피던스는 아래의 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_{damping} + \tau_{stiffness} = B\Delta\dot{\theta} + K\Delta\theta = \tau_d \quad (3)$$

여기서, $\tau_{damping}$ 는 능동감쇠를, $\tau_{stiffness}$ 는 능동강성을, τ_d 는 원하는 출력 토크를, B 는 감쇠계수를, K 는 강성계수를 나타낸다.

3.2 사용자 환경 구성

PC상에서 사용자가 장치를 쉽게 사용하기 위해서 아래의 Fig. 7과 같이 그래픽 사용자 환경 인터페이스를 Visual C++ 및 OpenSceneGraph를 이용하여 구성하였다. 각 조절요소는 정량적인 수치를 통해 피드백 받을 수 있으며, 그래픽 정보를 통해서 형상에 대한 정보를 직관적으로 알 수 있도록 만들어 설계에 관련된 조절요소들을 빠르게 수정하고 확인할 수 있다.

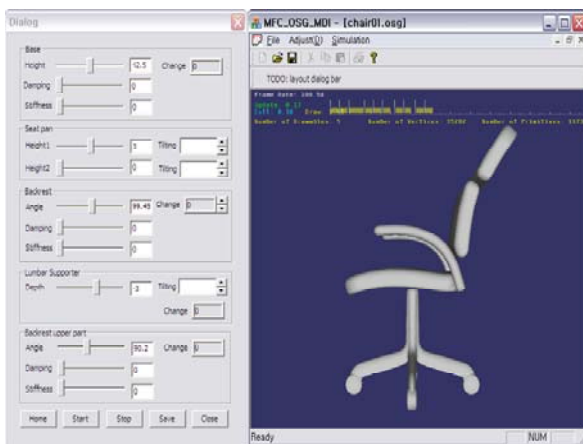


Fig. 9 Graphic user interface of haptic chair.

4. 결론

본 연구에서는 HAD의 다양한 활용 방안 중에서 의자를 설계하는데 HAD를 적용하는 방안에 대한 초기 연구를 진행하였다. 실시간으로 다양한 신체에 적합한 의자의 형상을 제공하기 위한 기구부를 설계하였으며, 강성 등의 여러 설계요소에 의한 효과를 제공하기 위하여 임피던스 제어기법

을 적용하였다. 이를 통하여 설계자에게 개발단계에서 햅틱의자를 통해 좀더 직관적인 정보를 보다 빠르게 설계에 반영할 수 있게 함으로써 다양한 사람에게 적합한 의자설계를 하는데 도움이 되고자 하였다. 현재 설계된 장치를 제작하여 제어를 통한 실제 의자 설계 과정에 적용 및 검증을 위한 연구를 추가적으로 수행하고 있다.

후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구이다.(No. R11-2007-028-01002-0).

참고문헌

- (1) Cho, M. H., Kim, L. H., Ryu, J. H., Choi., S. M. and Kim, J.,2007, “햅틱의 연구 동향과 응용”, *journal of the KSME*, Vol. 47, No. 2,pp. 35~68.
- (2) Laycock, S.D. and Day, A. M., 2003, “Recent Developments and Applications of Haptic Devices”, *Computer Graphics forum*, Vol. 22, No. 2, pp. 117~132.
- (3) http://www.boeing.com/phantom/math_infosw/
- (4) http://www.immersion.com/3d/products/virtualhand_for_v5.php
- (5) Lim, T., Ritchie, J. M., Dewar, R. G., Corney, J. R., Wilkinson, P., Calis, M., Desmulliez, M., Fang, J.-J., 2007, "Factors affecting user performance in haptic assembly", *Virtual Reality*, Vol. 11, Issue 4.
- (6) Zhang, J., Payandeh, S. and Dill, J., 2003, “Haptic Aided Design: a Case Study”, *Proceedings of the 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 264-271
- (7) Park, S. C., Lee, Y. S., 1999, “A Study on the Ergonomic Parameter for Design of Office Chair”, *Journal of Korean Furniture Society*, Vol. 10, No. 1, pp. 13~21.
- (8) Kwak, W. M., Hong, S. S., Jung, S. G., Lee, S. D., Lee, D. C., Yoon, H. Y., 1999, “Ergonomic Design of Office Chair”, *Journal of Korean Society of Design Science*, Vol. 12, No. 3, pp. 74~80.
- (9) Shin, D. Y., Chung, W. C., Song, J. B., Kim, Y. I., 1998, “Bilateral Control of Arm Motion Generator Based on Linear Motor in Virtual Environment”, *KSPE conference*, pp. 376~379