

# 햅틱 기술을 이용한 운동기구 시뮬레이터의 개념설계 Conceptual Design of Weight Lifting Machine Simulator Using Haptic Technology

\*김경남<sup>1</sup>, 박재우<sup>1</sup>, 박형주<sup>1</sup>, #홍대희<sup>1</sup>

\*K. Kim<sup>1</sup>, J. W. Park<sup>1</sup>, H. Park<sup>1</sup>, #D. Hong(dhhong@korea.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학과

Key words : haptic, weight training, weight lifting machine, free weight

## 1. 서론

저항운동(resistance training)은 건강(health)과 운동수행능력(performance)의 향상과 관련이 있다[1]. 저항운동은 운동할 수 있는 자유도에 따라 프리 웨이트(free weight)를 이용하는 방법과 웨이트 리프팅 머신(weight lifting machine)을 이용하는 방법이 있다. 두 가지 운동 방법에는 각각 장단점이 있다. 공간상에 있는 강체는 6 자유도를 가지므로 프리 웨이트인 덤벨(dumbbell)과 바벨(barbell)도 공간상에서 6 자유도를 가진다[2]. 운동자가 프리 웨이트로 6 자유도에 대하여 운동을 하기 위해서는 안정화(stability)를 위한 다양한 근육이 참여하게 된다[3]. 웨이트 리프팅 머신을 이용하여 저항운동을 할 경우에는 레일에 의하여 지정된 경로를 운동하기 때문에 대부분 3 자유도 이하의 운동이다. 프리 웨이트에 비하여 안정화를 위한 근육의 참여가 상대적으로 적기 때문에 더 많은 하중(load)를 줄 수 있다[4]. 또한 부위를 고립(isokinetic)하여 운동을 할 수 있기 때문에 특정 근육에만 하중을 주어 발달 시키는 데에 유리하다[3]. 인간은 공간상에서 6 자유도 이상의 운동을 할 수 있고 프리 웨이트는 공간상에서 6 자유도를 가지므로 웨이트 리프팅 머신을 이용하여 저항운동을 하는 것보다 실제 인간의 움직임과 흡사하게 저항운동을 할 수 있다. 그러므로 프리 웨이트 운동을 통해 더 많은 운동수행능력을 향상시킬 수 있다[3].

저항 운동을 할 때 직접적인 감독(direct supervision)하에 정확한 자세에서 운동을 할 경우 혼자 운동할 경우보다 운동 수행능력이 크게 향상 되므로 누군가의 자세 지도가 필요하다[5]. 프리 웨이트를 이용한 어떠한 저항운동의 경우 부상을 줄이기 위해서 중심을 잡을때나 처음 시작 할 때에 프리 웨이트를 받쳐줄 수 있는 보조자(spotter)가 필요하다 또 정확한 자세를 익히기 위해서 웨이트 리프팅 머신을 이용한 저항운동에 비하여 많은 시간과 노력이 필요한 단점이 있다. 웨이트 리프팅 머신의 경우 표준체형을 바탕으로 제작되었기 때문에 표준체형에 벗어나는 운동자의 경우 바른 자세에서 개인에 알맞은 운동을 하기 힘들다. 프리 웨이트의 경우 개인에 맞는 운동을 계획할 수는 있으나 보조자가 없을 경우 부상의 위험이 따른다[3]. 프리 웨이트를 이용한 저항운동과 웨이트 리프팅 머신을 이용한 저항운동 모두 각각 장단점이 있기 때문에 목적에 맞게 개인화 되어야 한다[6].

햅틱기술을 이용하여 저항운동을 할 수 있는 시뮬레이터를 설계할 경우 햅틱 디스플레이(haptic display)가 운동자(human operator)에게 전달하는 힘(force feedback)을 이용하여 저항운동을 할 수 있다[7]. 이 시뮬레이터의 엔드이펙터(end-effector)는 6 자유도 이므로 프리 웨이트를 이용한 운동과 같이 6 자유도로 운동 할 수 있기 때문에 운동수행능력을 향상시킬 수 있다[3]. 또한 알맞은 경로를 가상 환경(virtual environment)을 통해 가상경로(virtual path) 구현하면 보조자나 개인트레이너의 자세 지도 없이도 가상경로가 따라 안전하게 바른 자세에서 저항 운동을 할 수 있다. 또한 운동자의 자세를 실시간으로 측정하여 운동자가 자신의 자세를 전면의 화면을 통해 볼 수 있게 함으로써 바른 자세에서 저항운동을 할 수 있다. 더 나아가 햅틱 디스플레이

가 운동자가 저항운동을 하는 동안 실시간으로 변화하는 몸의 각도와 그 각도에서의 근육의 활성화도에 따라 알맞은 각도와 크기로 힘을 전달할 수 있다. 따라서 오로지 중력 방향으로 일정한 무게로만 힘을 전달하는 프리 웨이트를 이용한 저항운동보다 개인의 목적과 특성에 맞는 맞춤형 운동에 적합하다.

## 2. 햅틱 기술을 이용한 운동기구 시뮬레이터의 개념설계

햅틱 디스플레이는 움직임을 측정하여 힘을 전달하는 임피던스 디스플레이(impedance display)와 사용자로부터 힘을 받아 움직임을 전달하는 어드미턴스 디스플레이(admittance display)로 나눌 수 있다[8]. 햅틱 기술을 이용한 저항운동 기구는 운동자가 접하고 있는 햅틱 디스플레이의 엔드이펙터를 움직이면 엔드이펙터의 운동방향에 반대방향으로 적절한 반력을 운동자에게 전달(force feedback)하여 운동자의 움직임에 저항을 가하는 임피던스 디스플레이가 적절하다. 운동자가 개인의 목적과 특성에 맞는 다양한 운동을 하기 위해서 햅틱 디스플레이는 운동자에게 다양한 방향과 크기로 힘을 전달 할 수 있어야 한다. 프리 웨이트 덤벨의 경우 운동자는 6 자유도로 일반적으로 1kg-200kg의 다양한 무게로 운동을 한다. 그러므로 실제 인간의 모든 운동에 대하여 저항을 가하기 위해서 햅틱 디스플레이는 6 자유도 이상을 가지며 엔드이펙터가 운동자에게 10N-2000N 범위의 힘을 전달 할 수 있어야 한다.

일반적인 햅틱 시뮬레이션은 자유공간에서는 마찰 등의 다른 구속 없이 자유롭게 움직일 수 있어야 하고 가상 물체를 표현할 경우에는 딱딱한 정도를 사용자에게 전달 할 수 있어야 한다[9]. 햅틱 기술을 이용한 운동기구 시뮬레이터를 설계할 때에도 두 가지 조건을 만족해야 한다. Fig. 1은 프리 웨이트인 덤벨을 이용한 덤벨 숄더 프레스(dumbbell shoulder press)로 운동 중 삼각근의 참여가 가장 높은 운동이다[10]. 운동자의 엔드이펙터가 점선으로 표시된 경로를 따라 운동하는 동안 덤벨에 작용하는 중력이 -Z 방향으로 작용하고 그에 따른 모멘트가 발생하여 덤벨이 운동자에게 힘과 모멘트를 전달하여 운동에 저항을 가하게 된다. 운동자도 작용 반작용으로 덤벨에 같은 크기의 힘과 모멘트를 전달하게 되는데 이때 전달하는 모멘트가 운동자의 자세 안정화와 관계가 있다. 덤벨 숄더 프레스를 햅틱 시뮬레이션으로 구현할 경우 햅틱 디스플레이는 오직 Z 방향으로만 운동자에게 힘을 전달해야 하고 X 나 Y 방향에서는 마찰 없이 자유롭게 움직일 수 있도록 마찰보상(friction compensation)이 필요하다[11].

적절한 운동 경로를 가상환경에서 렌더링(rendering)하여 가상 벽에 햅틱 디스플레이의 엔드이펙터에 대응되는 커서가 가상 운동 경로의 가상 벽에 닿을 경우 적절한 방향과 크기로 운동자에게 힘을 전달 하여 운동자가 적절한 경로로 운동을 할 수 있다[12]. Fig. 2는 가상 경로와 실제 덤벨 숄더 프레스시에 적절한 운동경로이다. 운동자가 적절한 경로에서 운동을 하기 위해서 전면에 영상 디스플레이를 장착하여 매 순간 자세와 가상 벽과 커서를 확인한다. 가상 경로와 실제 경로 사이에는 공간이 있으므로 가

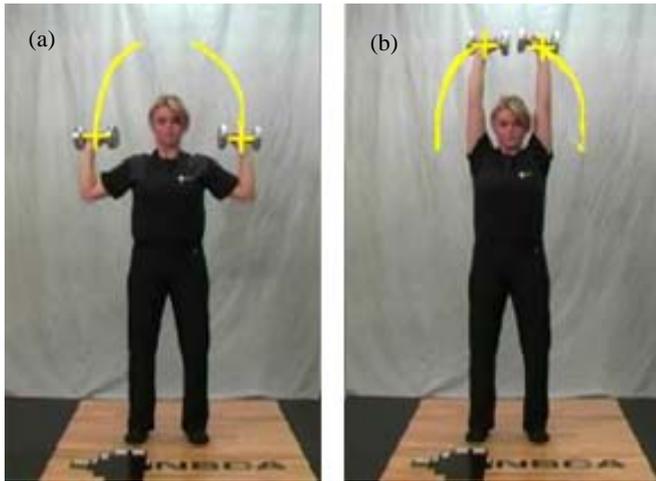


Fig. 1 Dumbbell shoulder press and its moving path. (a) Starting position (b) Ending position

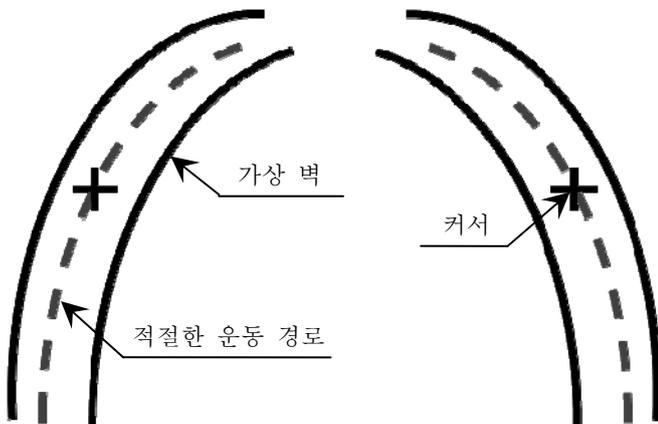


Fig. 2 Virtual path of virtual environment, moving path of dumbbell shoulder press, and cursor corresponding to end-effector

상 경로 사이에서 운동을 할 때에 운동자는 6 자유도 운동을 한다. 운동자가 자세안정화를 위한 적절한 모멘트를 전달하지 못하여 자세가 불안정해질 경우 커서가 가상 경로에 닿게 되고 결국 가상 경로의 벽을 통과 하게 된다[12]. 햅틱 디스플레이는 커서가 가상 경로 안에 있도록 운동자에게 힘을 전달하고 운동자는 자세를 안정화 할 수 있다. 이때 가상 경로는 constraint-based 모델을 이용하여 렌더링하고 가상 벽의 단단하기를 낮게 한다[13]. 자세가 불안정해졌을 때 햅틱 디스플레이가 운동자가 본래의 적절한 경로로 운동을 하도록 벗어난 경로에 따라 도움을 줄 뿐이며 웨이트 리프팅 머신처럼 자유도의 완전한 구속을 하는 것은 아니다. 그러므로 운동자는 자세 안정화를 위해 덤벨에 모멘트를 계속 전달해야 하며 이는 실제의 프리 웨이트를 이용한 저항운동에서 보조자의 도움으로 운동을 하는 원리와 비슷하다. 여러 각도에 운동자의 모션을 감지 할 수 있는 카메라를 장착 하여 운동 중 매 순간 변하는 운동자 몸의 각도를 측정하고 그 각도에서 근육의 활성화에 따른 최적의 저항을 계산한다 계산된 값을 바탕으로 매 순간 저항의 각도와 힘의 크기를 적절하게 전달 한다.

### 3. 결론

웨이트 리프팅 머신은 표준 체형을 바탕으로 설계되었기 때문에 운동자 개인에 맞게 설계되어있지 않다. 프리 웨이트는 개인에게 맞는 운동을 할 수는 있지만 정확한 자세에서 운동하기가 어렵고 보조자가 필요한 경우가 많다. 햅틱 기술을 이용하여 프리 웨이트와 웨이트 리프팅 머신의 장점을 모두 갖춘 운동기구를 설계 할 수 있다. 이 때 햅틱 디스플레이는 인간의 모든 운동에 대하여 저항을 가

할 수 있도록 6 자유도 이상으로 10N-2000N 범위의 힘을 전달할 수 있어야 한다. 프리 웨이트를 시뮬레이션 할 경우에는 마찰보상을 통하여 X, Y 방향으로 자유 운동을 할 수 있어야 한다. 가상 환경에서 가상 경로를 이용하면 보조자 없이도 운동의 안전성을 확보하고 바른 자세에서 운동을 할 수 있다. 그리고 매 순간 실시간으로 변하는 운동자의 몸의 각도에 따른 적절한 각도와 크기로 힘을 전달할 수 있게 한다. 햅틱 기술을 이용하여 이러한 조건을 만족하는 운동기구 시뮬레이터를 설계하면 개인의 목적과 특성에 맞는 맞춤형 운동을 할 수 있다.

### 후기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R11-2007-028-01001-0).

### 참고문헌

1. Stone, M. H., S. J. Fleck, W. J. Kraemer, and N. T. Triplett, "Health and performance related adaptations to resistive training," *Sports Med*, **11**, 210-231, 1991.
2. Mark, W., Spong, S., Hutchinson, M., and Vidyasagar John, "Robot Modeling and Control," John Wiley and Sons, Inc., 2005.
3. Michael H. Stone, David Collins, Steven Plisk, Greg Haff, and Margaret E. Stone, "Training Principles: Evaluation of Modes and Methods of Resistance Training," *National Strength & Conditioning Association* **22**, NO. 3, 65-76, 2000.
4. Lander, J. E., B.T. Bates, J. A. Sawhill, and J. Hamill, "A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing," *Med. Sci. Sports Exerc*, **17**, 344-353, 1985.
5. Mazzetti, S. A., W.J. Kraemer, J. S. Volek, and et al., "The influence of direct supervision of resistance training on strength performance," *Med. Sci. Sports Exerc*, **32**, 1175-1184, 2000.
6. American College of Sports Medicine. Kraemer, W. J., Writing Group Chairman. Position Stand, "Progression models in resistance training for healthy adults," *Med Sci Sports Exerc*, **34**, 364-80, 2002
7. R. J. Adams and B. Hannaford, "Stable haptic interaction with virtual environments," *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, **15**, NO.3, 465-474, 1999
8. T. Yoshikawa, Y. Yokokohji, T. Matsumoto, and X. Z. Zheng, "Display of feel for the manipulation of dynamic virtual objects," *Trans. ASMEJ. Dyn. Syst., Meas., Contr.*, **117**, NO. 4, 554-558, 1995.
9. C. R. Carigan and K. R. Cleary, "Closed-loop force control for haptic simulation of virtual environments," *Haptics-e*, <http://haptics-e.org>, **1**, 2000.
10. "<http://www.nasca-lift.org/>," National Strength and Conditioning Association.
11. M. Ponikvar, M. Munih, J. Hoogen, G. Schmidt, and R. Riener, "Haptic Environment for Analysis of Smooth Arm Movements," *Proc. Int. Conf on Advanced Robotics, Coimbra*, 2003.
12. J. E. Colgate, P. E. Grafing, M. C. Stanley, and G. Schenkel "Implementation of stiff virtual walls in force-reflecting interfaces," *Virtual Reality Annual International Symposium*, 1993.
13. C. B. Zilles and J. K. Salisbury, "A constraint-based God-object method for haptic display," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., Pittsburgh, P. A.*, 146-151, 1995.