

임피던스 컨트롤을 이용한 햅틱기반 저항운동 시뮬레이터 설계 및 제어 Design and control of Haptic based resistance training simulator employing impedance control

*김경남¹, #홍대희¹, 박재우¹
*K. Kim¹, #D. Hong(dhhong@korea.ac.kr)¹, J. W. Park¹
¹ 고려대학교 기계공학부

Key words : Haptic, resistance training, impedance control

1. 서론

저항운동은 운동 방법에 따라 힘, 파워, 근지구력을 상승시킬 수 있을 뿐만 아니라 건강상태 개선과 근육의 크기 증가에 효과가 있다[1]. 저항운동 변수(resistance training program variable)는 다양하여[2] 운동자가 자신의 목적을 달성하기 위한 적절한 저항운동 변수를 선택하고 운동 방법(exercise program)을 계획하는 것이 어렵다. 또한 저항운동 기구(resistance training machine)의 사용법은 쉬운데 비하여 표준체형을 기준으로 제작되었기 때문에 운동자가 자신의 운동 목적에 맞춰서 운동을 하기 어렵다. 운동기구에 맞춰서 운동을 하게 되므로 운동의 효율이 프리웨이트(freeweight)보다 낮다. 프리웨이트의 경우 저항운동기구에 비하여 운동자에 맞추어 운동하기 용이하지만 정확한 자세에서 운동하는 것이 숙달되기 위해서 많은 노력이 필요하다. 게다가 부상을 줄이기 위해서는 보조자(spotter)가 필요한 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 ‘Smart Exercise Machine’ [3],[4] 이나 ‘Motorized Exercise Machine’[5] 등이 제안되었으나 두 개의 운동기구 모두 1 자유도 저항만 조절이 가능하다. 기존의 저항운동 방법의 단점과 프리웨이트 및 저항운동기구의 단점을 개선하고 기존의 방법으로는 구현할 수 없는 운동을 통하여 새로운 효과를 기대 할 수 있는 저항운동 시뮬레이터(resistance training simulator)를 설계 제작 하였다. 저항운동 시뮬레이터는 FT 센서를 이용하여 운동자와 저항운동 시뮬레이터 사이에 상호작용을 감지하고 이것을 이용하여 시뮬레이터를 제어하는 햅틱기술을 기반으로 하였다. 기존의 저항운동기구의 경우 대부분 1 자유도 움직임에 1 자유도 저항만 가능하다. 다자유도 움직임이 가능하더라도 대부분 일자유도 저항만 전달 할 수 있다. 프리웨이트의 경우 움직임은 6 자유도로 제한이 없으나 저항의 방향이 1 자유도인 중력 방향으로 제한되어있다. 저항운동 시뮬레이터의 경우 Y-Z 두 방향과 손잡이의 회전을 포함하여 3 자유도 운동이 가능하고 그 중 Y-Z 두 방향으로 2 자유도 저항 전달이 가능하다. (Fig. 1)

2. 저항운동 시뮬레이터

저항운동 시뮬레이터는 알루미늄 프레임(aluminum frame), 수직방향 조립부품(vertical assembly), 수평방향 조립부품(horizontal assembly), F/T sensor 및 손잡이, PC와 컨트롤러(controller)로 이루어져 있다. 수직방향 조립부품은 900W AC 서보 모터(servo motor), 볼 스크루(ball-screw), 두개의 실린더 가이드(cylinder guide)로 이루어져 있다. 수평방향 조립부품은 200W AC 서보 모터와 볼 스크루, LM 가이드로 이루어져 있으며 볼 스크루 너트(nut)에는 F/T 센서와 손잡이를 장착하였다. F/T 센서는 ATI Mini85로 Z 방향은 51/500N 정밀도(resolution)에 950N 감지 범위(sensing range)를 사용하고 Y 방향은 143/2000N 정밀도에 475N 감지 범위를 사용하여 모터의 구동범위와 일반적인 저항운동에서 사용하는 저항의 범위 내에 들어가도록 하였다.[6] 손잡이에는 수동적으로(passive)돌아가는 회전조인트(revolute joint)가 있어서 저항운동을 하는 동안 전완(forearm)의 위치에 따라 손목의 각도를 조절 할 수 있도록 하였다.(Fig.2) 또한 회전 조인트

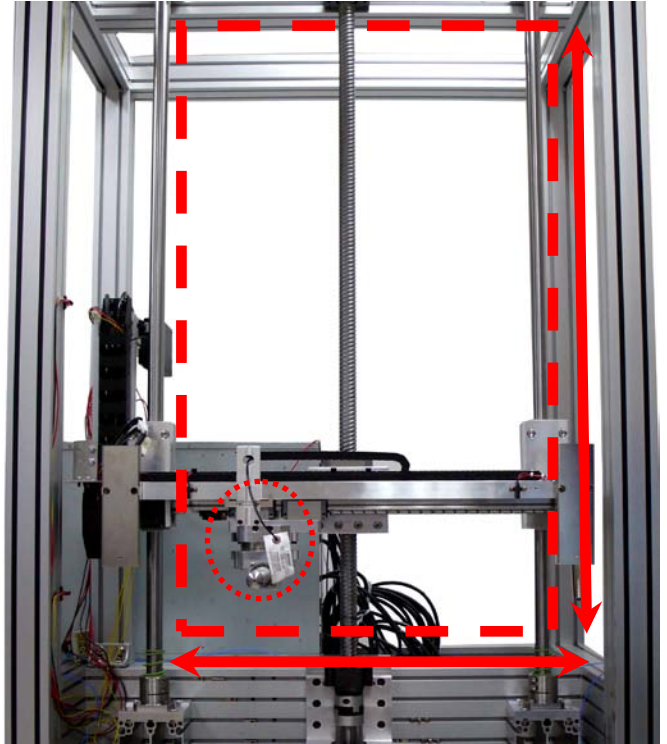


Fig. 1 Front view of resistance training simulator

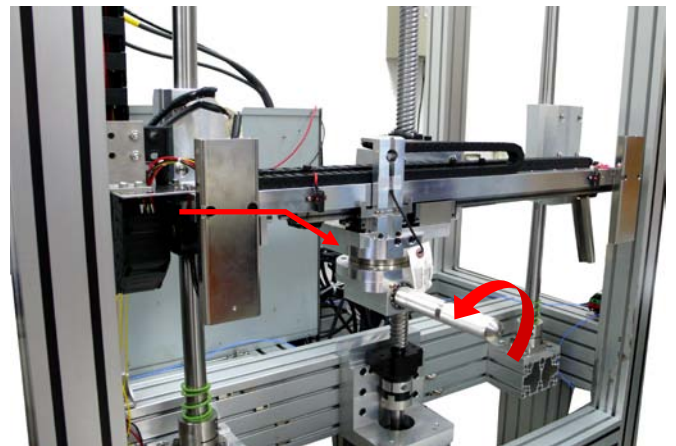


Fig. 2 F/T sensor and endeffector of resistance training simulator

끝에 장착한 엔코더(encoder)를 이용하여 운동하는 동안 전완과 손목의 상대 각도 정보를 얻을 수 있다. Y 방향의 구동 범위(work space)는 500mm 이고 Z 방향은 1000mm 이다. Z 방향은 바닥에서 700mm 높게 하여 이두근 운동이나 어깨 운동 등이 적합하도록 제작 하였다.

태스크 매니저(task manager)는 Fig. 3 과 같이 컨트롤 게인(control gain)을 조절 할 수 있고 모터의 상태 및 F/T 센서 데이터와 그 데이터에 따른 원하는 속도(desired velocity), 모터의 엔코더 값에 따른 실제 속도(actual velocity)를 텍스트(Text)와 그래프로 나타내었다. 사용자는 태스크 매니저를 통하여 실제 자신에게 가해지는 저항이 얼마인지를 눈으로 확인 하면서 운동을 할 수 있다.

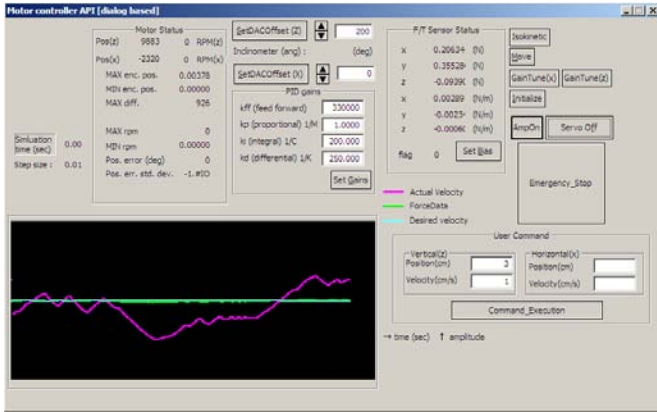


Fig. 3 Task manager of resistance training simulator

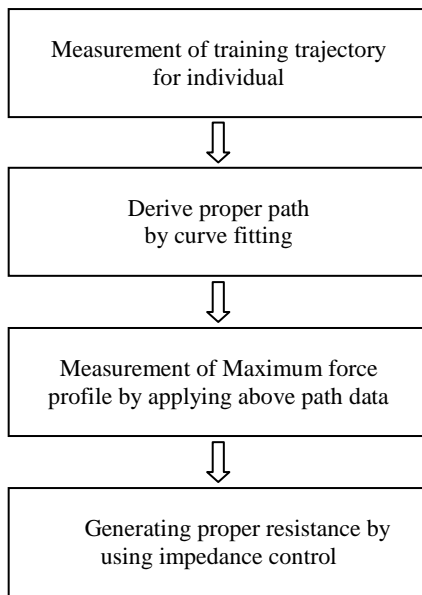


Fig. 4 Process of customized training for resistance training simulator

Fig. 4 는 저항운동 시뮬레이터를 이용한 개인별 맞춤 운동 프로세스(process)를 나타낸다. 먼저 사용자는 움직이는데 큰 저항 없이 개인적인 운동 경로(trajectory)를 측정한다. 이 경로는 운동자 개인의 값으로 기존의 저항운동기구의 제한적인 경로에 비하여 효율적인 운동이 가능하다. 운동자가 움직인 경로를 엔코더로 측정한 값은 실제 위치로써 운동자의 진동이나 약간의 흐트러진 자세등을 모두 반영한다. 그러므로 실제 경로를 생성할 때에는 커브피팅(curve fitting)을 통하여 부드러운 경로(smooth path)를 생성한다. 생성한 경로를 등속운동(isokinetic exercise)을 통하여 운동자가 낼 수 있는 최대의 힘을 측정한다. 그리고 경로에 따른 적절한 저항을 임피던스 콘트롤(impedance control)을 이용하여 운동자에게 가함으로써 기존의 운동보다 효율적인 운동이 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 3 자유도 운동이 가능하고 2 자유도 저항 전달이 가능한 저항운동 시뮬레이터의 설계 및 제작과 제어함으로써 개인별 맞춤 운동 프로세스를 제시하였다. 기존 저항 운동기구의 단점인 제한된 운동 경로를 Y-Z 두 방향과 손잡이의 회전을 통하여 제한된 운동 경로를 개선하였다. 또한 기존의 프리웨이트의 단점인 1 자유도 중력 저항 방향을 Y-Z 두 방향 2 자유도 저항 전달을 통하여 개선하였다. 보조자의 문제점은 운동자가 직접 태스크 매니저를 보는 것과 제어 알고리즘을 통하여 개선 할 수 있다.

기존의 저항운동기구나 프리웨이트의 경우 운동경로에 따른 저항을 능동적으로 제어 할 수 없었으므로 운동 경로에 따라 능동적으로 저항을 달리 하였을 경우에 대한 연구가 이루어 지지 않았다. 그러므로 운동 경로에 따라 저항을 달리하는 연구를 통하여 개인의 목적에 맞는 개인 맞춤형 운동기구의 개발이 가능하다.

후기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0063175)

참고문헌

1. Deschenes, M. R. and Kraemer, W. J., "Performance and physiologic adaptations to resistance training", in Conference on Role of Physical Activity and Exercise Training in Neuromuscular Diseases, pp. S3-S16, San Diego, California, 2001.
2. Bird, S. P., Tarpinning, K. M. and Marino, F. E., "Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness - a review of the acute programme variables", Sports Medicine, **35**(10), 841-851, 2005.
3. Li, P. Y. and Horowitz, R., "Control of smart exercise machines .1. Problem formulation and nonadaptive control", Ieee-Asme Transactions on Mechatronics, **2**(4), 237-247, 1997.
4. Li, P. Y. and Horowitz, R., "Control of smart exercise machines .2. Self-optimizing control", Ieee-Asme Transactions on Mechatronics, **2**(4), 248-258, 1997.
5. Carignan, C. R., Tang, J. and Ieee, "A haptic control interface for a motorized exercise machine", in IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2055-2060, Pasadena, CA, 2008.
6. http://www.ati-ia.com/products/ft/ft_models.aspx?id=Mini85