Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2012) 18(3):181-187
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2012.18.3.181 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

승마 로봇 시뮬레이터 HRB-1을 위한 말의 보행 및 부조의 구현

Implementation of Horse Gait and Riding Aids for Horseback Riding Robot Simulator HRB-1

박 용 식*, 서 갑 호, 오 승 섭, 박 성 호, 서 진 호
(Yongsik Park[1], Kap-Ho Seo[1], Seungsub Oh[1], Sung Ho Park[1], and Jin-Ho Suh[1])
[1]Pohang Institute of Intelligent Robotics

Abstract: Horse riding is widely recognized as a valuable form of education, exercise and therapy. But, the injuries observed in horse riding range from very minor injuries to fatalities. In order to reduce these injuries, the effective horseback riding simulator is required. In this paper, we proposed the implementation method of horse gait and riding aids for horseback riding robot simulator HRB-1. For implementation of horse gait to robot simulator, we gathered and modified real motion data of horse. We obtained two main frequencies of each gait by frequency analysis, and then simple sinusoidal functions are acquired by genetic algorithm. In addition, we developed riding aids system including hands, leg, and seat aids. With the help of a developed robotic system, beginners can learn the skill of real horse riding without the risk of injury.

Keywords: horse gait, horseback riding robot simulator, riding aids

I. 서론

연간 약 3,000만 명의 승마 인구를 보유 중인 미국에서는 계속해서 그 수가 증가하고 있다. 국내의 경우에도 국민 소득의 증가에 따라 유사한 경향이 나타나고 있으며, 승마산업의 규모는 2012년 약 1조 5,000억 원에 이르고 승마 인구 또한 5만 명 수준으로 증가할 것으로 기대된다(그림 1).

승마는 칼로리 소모를 위한 단순한 운동 효과를 넘어 신체를 바르게 교정해 주며 적당한 긴장감을 통한 집중력 향상에도 도움이 된다. 또한, 말이라는 생명체와의 교감을 통해 정신건강에도 많은 도움이 되어 신체적, 정신적 장애인의 재활 요법으로도 그 쓰임새가 확장되고 있다. 하지만 아직 승마 산업의 초기 단계에 불과한 국내 현실상, 초보자를 교육할 수 있는 전문 조교와 시스템의 부재로 말미암아 승마 산업의 저변 확대에 어려움을 겪고 있다. 또한, 승마는 몇 가지 안전에 관한 본질적인 위험요소들을 내재하고 있는데, 말에 올라타면 사람의 머리가 거의 3 m에 가까운 높이에 이르기 때문에 낙마하면 큰 부상을 당할 수 있고, 이에 더하여 말은 65 km/h에 이르는 빠른 속도로 질주할 수 있기 때문에 더 큰 불안감을 유발한다. 초보자들은 이러한 위험성 때문에 부상에 대한 우려가 크고 두려움을 느껴 배우기가 쉽지 않다. 이러한 상황에서 현실감이 뛰어난 승마 로봇 시뮬레이터가 개발된다면 초보자의 교육과 승마 산업 발전에 큰 도움이 될 것이다.

현재 몇몇 승마 기구들이 개발되어 있지만, 운동 효과에만 집중하여 실제 말의 움직임을 복원하는 것보다는 말과 비슷한 움직임을 모방하는 수준에 그치고 있다. 'Ridebot'은 헬스케어와 엔터테인먼트를 위하여 개발된 승마 로봇으로 말의 모양과 모션을 구현하였고, 사용자의 신체 상태 지수를 측정하여 건강관리에 도움이 되도록 개발되었다[1,2]. 상용품으로는 Racewood에서 개발한 승마 기구가 있는데, 이 기구는 평보, 구보, 습보 등의 속도에 따른 말의 패턴을 각기 다른 플랫폼에서 구현하였다[6]. 가정에서 손쉽게 승마 운동을 구현해주는 기구로는 파나소닉에서 개발한 'JOBA'가 있다. 이 기구는 실제 말의 등 부위 움직임을 모방하는 3차원 가상현실 기술을 구현하고 있다고 소개하고 있다[7]. 그러나 실제로는 3차원적인 움직임 구현에 그치고 있고 가상현실과는 관련이 없으며, 그 높이도 아주 낮아서 사용자가 느끼는 현실감이 부족하다. 또한, 헬스기구로서의 운동 효과에 집중하고 있어서 실제 말을 타는 것과 같은 느낌을 구현하지 못하고 있다. 국내에서는 홍진스포츠에서 스크린 승마의 형태로 승마 기구를 제작하여 실내에서 승마를 즐길 수 있다는 컨셉으로 판매와 렌탈 등의 방법을 통하여 보급하고 있다. 그러나 이 제품의 경우, 기구의 자유도가 제한되어 있어 말의 보행 패턴 변화에 따른 움직임 변화를 충실히 모사하고 있지 못하고, 부조 시스템이 제대로 구현되어 있지 않다는 한계를 지니고 있다.

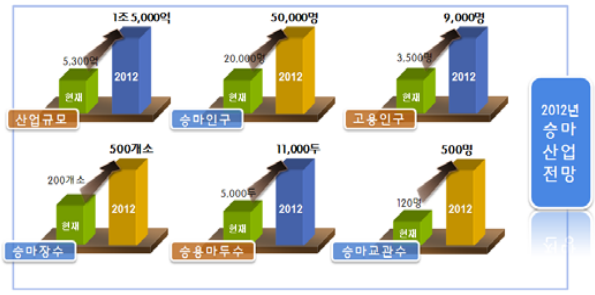


그림 1. 한국 승마 산업 전망 (2009, 한국마사회).
Fig. 1. Trends of horse-related industry in Korea (2009, KRA).

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2011. 11. 15., 수정: 2011. 12. 5., 채택확정: 2011. 12. 20.
박용식, 서갑호, 오승섭, 박성호, 서진호: 포항지능로봇연구소
(yspark74@postech.ac.kr/neoworld@postech.ac.kr/oss98@postech.ac.kr/psh84@postech.ac.kr/suhgang@postech.ac.kr)
※ 본 연구는 "지식경제부", "한국산업기술진흥원", "대경광역경제권 선도산업지원단"의 "광역경제권 선도산업 육성사업"으로 수행된 연구결과임.

Copyright© ICROS 2012

(a) Riding simulator from racewood. (b) JOBA fitness equipment from Panasonic.

그림 2. 상용 승마 기구.
Fig. 2. Commercial riding machines.

말은 대표적인 4개의 보행 패턴을 가지고 있고, 각 패턴별로 다리의 움직임이 완전히 달라진다. 이에 따라 결국 기수가 느끼는 말의 움직임 또한 그 특성이 크게 변하게 되는데, 제한된 자유도로는 이러한 변화를 구현할 수 없다는 한계가 있다. 현재 대부분의 승마 운동 기구와 승마 시뮬레이터가 보행 패턴의 변화에 따른 특성 구현이 미흡하고 단순히 말의 속도에 따라 움직임의 속도만을 변화시키고 있다. 한편, 승마는 기계를 타는 것이 아니라 생명체를 타는 것이므로 말과 사람의 적극적인 커뮤니케이션이 중요하고, 이러한 커뮤니케이션을 나누는 수단을 통칭하여 부조라고 한다[8]. 따라서, 부조 시스템을 충실히 구현하지 못한다면, 승마 체험용으로는 사용할 수 있겠지만 교육용으로는 큰 효과를 거두기 어렵다.

본 논문에서는, 승마 로봇 시뮬레이터 HRB-1을 위하여 말의 보행 패턴별 움직임과 부조 시스템을 구현하였다. HRB-1은 실제 말 데이터를 분석한 결과를 바탕으로 총 6자유도의 움직임이 가능하도록 개발되어 타 시스템에서 경험하지 못한 실제 말의 움직임을 기승자가 경험할 수 있다. 또한, 고삐 부조, 다리 부조, 체중 부조로 이루어진 부조 시스템을 구현하여 기승자가 말의 움직임을 실제 승마처럼 제어할 수 있도록 사전 교육이 가능하다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. II 장에서는 말의 보행 패턴의 종류와 특성을 살펴보고, 실제 말로부터 획득한 데이터를 이용하여 보행 패턴별 움직임을 HRB-1에 적용이 가능한 형태로 변환하는 방법에 대해 설명한다. III 장에서는 II 장에서 구해진 모션 데이터를 실제로 적용할 수 있도록 HRB-1 플랫폼을 구현하는 방법을 보여주고, 각종 부조 시스템의 구현 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 본 논문의 결론과 향후 추가로 연구되어야 할 과제에 대해 설명한다.

II. 말의 보행 패턴 분석

말의 보행을 승마 시뮬레이터에서 구현하기 위해서는 실제 말의 걸음걸이의 종류와 특성을 파악하는 것이 중요하다. 크게 4가지로 분류되는 말의 보행 패턴에 대하여 그 특성을 파악하고, 실제 기승자가 느끼는 말의 움직임을 구현하기 위하여 말의 안장부에서 획득한 모션 데이터를 분석하였다.

1. 말의 보행의 종류 및 특성

말의 보행은 발이 땅에 닿는 순서, 동시에 땅에 닿는 발의 수, 발이 모두 땅에서 떨어지는 체공시간의 존재유무 등에 따라 분류된다. 크게 대칭형과 비대칭형으로 나누어지고 각각은 또 여러 가지의 보행 패턴을 포함한다(표 1) [4].

일반적으로 승마에서는 말의 속도에 따라 크게 평보(walk), 속보(trot), 구보(canter), 습보(gallop)의 4가지 패턴으로 말의 보행을 분류한다[5,9]. 특정 품종이나 특정 개체에서 나타나며 승마에서 실시하기에는 특별한 훈련을 필요로 하는 측대보(pace)나 톨트(tölt)와 같은 통상적이지 않은 걸음걸이도 존재하지만 이는 본 논문에서는 논외로 하기로 한다.

평보는 평균 속도 6.4 km/hr 정도의 4박자 걸음걸이이다. 말의 다리는 왼쪽 뒷다리, 왼쪽 앞다리, 오른쪽 뒷다리, 오른쪽 앞다리의 순서를 따라 4박자의 반복적인 움직임을 보이며, 말의 한 다리가 들려 있는 동안 나머지 세 다리는 항상 땅을 딛고 있게 된다. 이때, 말의 머리는 균형 유지를 위해 가볍게 아래위로 흔들린다. 말의 속도가 점점 빨라져서 규칙적인 박자를 유지할 수 없게 되면 더는 평보를 유지할 수 없고 속보를 시작하게 된다.

속보는 2박자 걸음걸이로서, 평균 속도는 13 km/hr 정도이나 그 폭은 매우 다양하여 일부 경주마는 속보의 걸음걸이로도 보통의 비경주마보다 빠른 속도를 보이기도 한다. 이 걸음걸이에서는 말의 대각선 방향의 두 다리가 짝을 이루어서 동시에 움직이며, 매우 안정적인 걸음걸이여서 균형 유지를 위해 머리나 목을 크게 움직일 필요가 없다. 속보에서는 말의 대각선 다리들이 교차할 때 수직 방향의 움직임이 크게 나타나기 때문에 기수가 안장에 앉아 있기가 힘이 들고, 그 충격을 완화하고 말에게 무리가 가지 않게 하려면 말의 리듬에 맞추어 아래위로 움직여주는 기술을 습득해야 한다.

구보는 평균적인 속보보다는 조금 빠르고 습보보다는 느

표 1. 보행 패턴의 정의 [4].
Table 1. Gait definitions [4].

Gait		Foot-fall contact order	Number of limbs in contact with the ground at any time	Presence of aerial phase
Symmetric	Walk	LH, LF, RH, RF	2 - 3 or 3 - 4	No
	Tölt	LH, LF, RH, RF	1 - 2	No
	Trot	(LH+RF), (RH+LF)	0 - 2	Possible
	Pace	(LH+LF), (RH+RF)	0 - 2	Possible
Asymmetric	Left canter	RH, RF before or at the same time as LH, LF	0 - 3	Yes
	Right canter	LH, LF before or at the same time as RH, RF	0 - 3	Yes
	Left gallop	RH, LH, RF, LF	0 - 3	Yes
	Right gallop	LH, RH, LF, RF	0 - 3	Yes
LF is the left forelimb, RF is the right forelimb, LH is the left hindlimb and RH is the right hindlimb				

린 3박자의 걸음걸이이며, 평균 속도는 말의 보폭에 따라 다른데 보통 16-27 km/hr 정도이다. 3박자의 소리가 약간의 간격을 두고 반복되며, 말의 속도가 빨라질수록 그 간격은 길어진다. 한쪽 뒷다리로 추진력을 얻고 대각선 방향의 앞다리를 제외한 나머지 두 다리가 먼저 땅에 닿고 다음으로 대각선 방향의 앞다리를 제외한 나머지 두 다리가 먼저 땅에 닿고 다음으로 대각선 방향의 앞다리가 땅에 닿는데 이 앞다리를 리드(lead)라고 한다. 리드가 왼쪽 앞다리라면 좌구보, 오른쪽 앞다리라면 우구보라고 한다. 왼쪽 회전 시에는 왼쪽 리드를 사용하고 오른쪽 회전 시에는 오른쪽 리드를 사용하는 것이 보통이다. 일반적으로 기수는 말이 속도를 올려서 구보를 시작할 때, 상황을 판단해서 미리 어느 쪽 리드를 사용할지를 지시하는 것이 보통이다.

습보는 구보와 상당히 비슷한 걸음걸이이나, 더 빠르고 더 보폭이 넓으며 4박자이고 말의 가장 빠른 걸음걸이이다. 평균 속도는 40-48 km/hr 정도이고 짧은 거리를 재빨리 이동할 때 주로 사용한다. 습보 역시 리드에 따라 좌습보, 우습보로 나눌 수 있고, 우습보의 경우 다리가 땅에 닿는 순서는 왼쪽 뒷다리, 오른쪽 뒷다리, 왼쪽 앞다리, 오른쪽 앞다리 순서이고, 이때 네 다리가 모두 공중에 뜬 다음 다시 반복된다. 달리는 속도에 따라 체공 시간이 달라진다.

2. 말의 모션 데이터 분석

1절의 내용으로부터 말의 걸음걸이가 변함에 따라 말의 안장 부위 움직임의 진동 폭, 진동 속도, 박자 등이 동시에 달라질 것을 짐작할 수 있다. 실제 말로부터 모션 데이터를 획득하면 이상의 사항을 실제로 확인할 수가 있으며, 이 데이터를 이용하여 로봇 시뮬레이터를 설계하고 구현할 수가 있다.

상기 목적을 달성하기 위하여 그림 3과 같이 실제 움직이는 말의 안장 중심으로부터 말의 모션 데이터를 획득하였으며 데이터 획득은 AHRS (Attitude and Heading Reference Sensor)를 이용하였다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 실제 위치 데이터는 전후 방향(z 축)은 말이 계속 전진하므로 선형 함수의 형태를 보이고, 좌우(x 축)나 상하(y 축)는 일정한 위치를 중심으로 진동하는 주기 함수의 형태를 보인다. 말의 보행 패턴을 로봇 시뮬레이터에서 재현하기 위해서는, 보행에 따라 기승자가 느낄 수 있는 주기적인 움직임을 재현하는 것이 중요하므로 특정 기

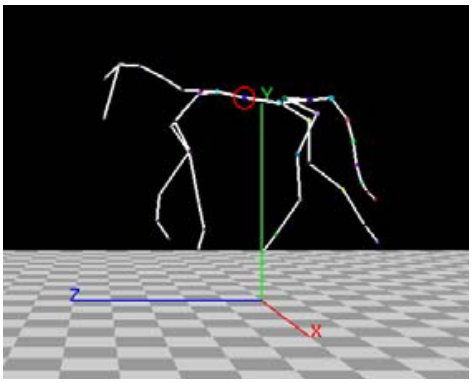


그림 3. 데이터 획득 지점 및 좌표계 설정.

Fig. 3. Interest point and coordinate system on horseback.

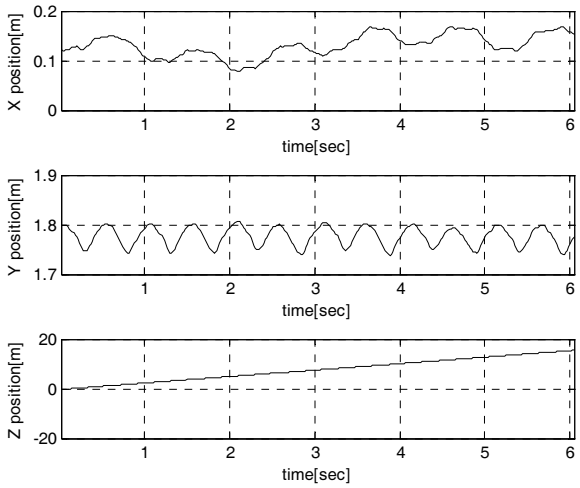


그림 4. 실제 위치 데이터.

Fig. 4. Real positional data on interest point before filtering.

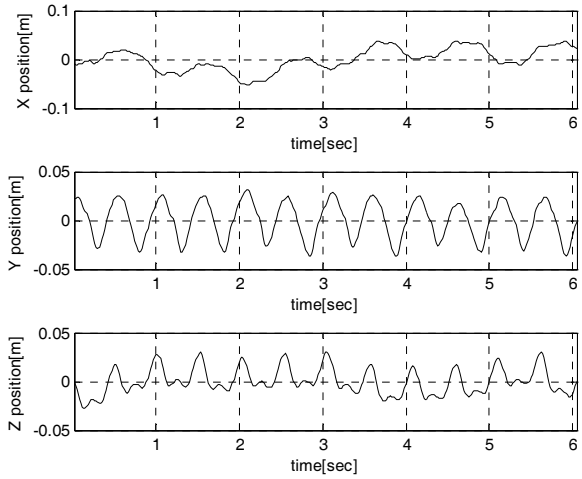


그림 5. 실제 위치 데이터의 상대 변위 데이터.

Fig. 5. Relative data of real positional data on interest point before filtering.

준값에 대한 상대 위치의 데이터로 변환하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 전후 방향은 근사화된 선형 함수를 구하여 그에 대한 상대 위치를 사용하고, 좌우, 상하, 회전 데이터에 대해서는 평균값을 이용하여 그에 대한 상대 값을 구하여 사용하였다. 이렇게 구해진 데이터는 그림 5와 같이 영점을 기준으로 진동하는 주기 함수의 형태가 된다.

그러나 그림 5와 같은 가공되지 않은 AHRS 데이터는 실제 하드웨어 상에서 구현이 거의 불가능한 고주파 영역의 노이즈를 포함하고 있어 기구적인 소음을 유발하고 전체 시스템의 안정성과 내구성을 크게 떨어뜨리기 때문에 실제 로봇 시스템에 적용하기는 곤란하다. 그러므로 얻어진 데이터를 실제 로봇에 적용하기 위해서는 고주파 노이즈 성분이 제거되어야 한다.

이를 위하여 FFT (Fast Fourier Transform) 주파수 분석을 이용하였다. 그림 6은 평보 시, y 방향 위치 데이터의 1차, 2차 주 주파수 영역을 제외한 나머지를 필터링한 결과를 보여주고 있는데 실제 말에서 획득한 원본 데이터와 거의 차이가

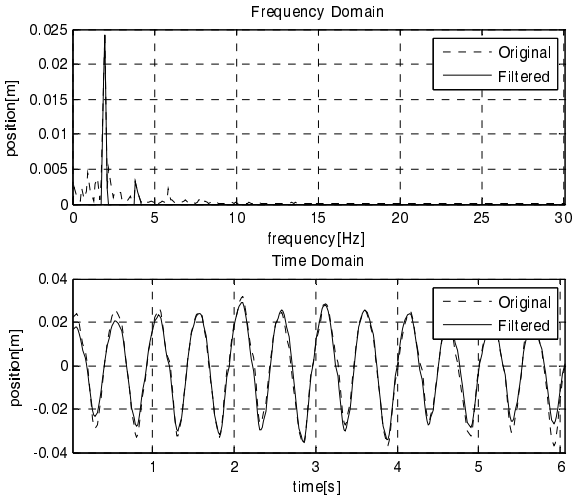


그림 6. 평보 시 y 방향 위치 데이터의 FFT 필터링.
Fig. 6. FFT filtering for y-position data on walk mode.

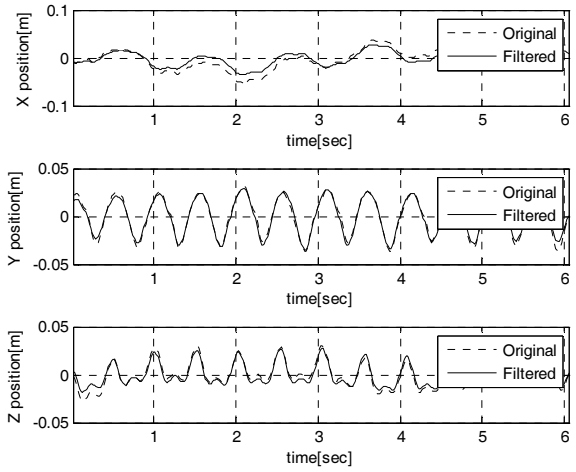


그림 7. IFFT를 통해 재구성된 신호.
Fig. 7. Reconstructed signal using IFFT.

없음을 알 수 있다.

고주파 성분이 제거된 신호를 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)를 이용하여 복원하면, 그림 7과 같은 위치 데이터를 얻을 수 있다.

모션 데이터를 적용할 로봇 시스템은 좀 더 안정적인 제어를 위하여 힘 제어에 기반을 두고 있기 때문에 얻어진 데이터를 미분함으로써 속도와 가속도 데이터를 얻을 필요가 있다. 그림 8에서 이렇게 계산된 가속도 중 위치 가속도 값들이 점선으로 나타나 있는데, 값의 변화가 매우 급격하고 그 최댓값이 실제 로봇에서 구현하기 곤란할 정도로 크다. 따라서, 이를 변형시켜 안정적인 신호로 바꾸어 주어야 한다. 이를 위해 유전 알고리듬(genetic algorithm)을 이용하여, 주파수 분석을 통해 구한 1차, 2차 주 주파수의 2개의 사인 함수 조합으로 위치 데이터를 재구성하였다. 근사 함수는 (1)과 같이 정의하고, 함수를 정의하는 6가지 변수 중 주파수를 제외한 4가지 변수를 하나의 유전자 개체로 정의하였다. (1)에서 Amp는 진폭, Freq는 주파수, φ는 위상차를 나타내고, 숫자 1, 2는 각각 1차, 2차 주 주파수를 뜻한다.

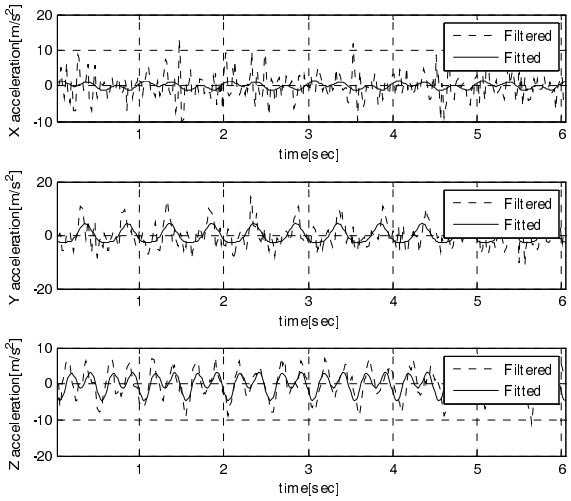


그림 8. x, y, z 방향 위치 가속도 신호.
Fig. 8. Acceleration signal for x, y, z position.

$$\begin{aligned} Motion = {} & Amp1 \times \sin\{(2\pi \times Freq1) \times time + \varphi 1\} \\ & + Amp2 \times \sin\{(2\pi \times Freq2) \times time + \varphi 2\} \end{aligned} \quad (1)$$

각 변수는 실수값으로 정의하였으며, 본 연산에서 사용되는 연산자는 다음과 같이 정의하였다.

Crossover: new_offspring_c = (offspring1+offspring2)/2

Mutation: new_offspring_m = random real value on random position

여기서 offspring1, offspring2는 개별 개체이다. 각각의 연산자 적용 확률은 crossover: mutation = 9:1을 사용하였으며, 함수 근사화 문제를 풀기 위하여 적합도함수(fitness function)는 오차를 최소화하도록 설계하였다. 전체 세대는 1,000 세대를 적용하여 알고리듬이 종료되도록 하였다.

이렇게 구해진 함수를 미분하여 얻어진 가속도 신호는 그림 8에서 확인할 수 있다. 점선은 필터링된 가속도 신호이고 실선은 유전 알고리듬을 통해서 구해진 가속도 신호인데, 실제 적용이 가능한 안정적인 신호임을 확인할 수 있다.

이러한 일련의 작업들은, 제작될 기구부의 메커니즘에 맞추어 실제 말에서 획득한 데이터를 6자유도별 데이터로 변환한 후 모든 자유도에 대하여 수행되었다. 평보, 속보, 구보, 습보 등 말의 주된 보행 패턴 전부에 대하여 모션 데이터가 얻어졌고 평보, 속보에 대한 결과만 정리하면 표 2와 같다.

3. 보행 패턴 천이 구간

앞의 분석을 통해 얻어진 말의 보행 패턴별 모션 데이터를 살펴보면, 각 자유도의 주 동작 주파수와 진폭, 위상차가 보행 패턴이 변함에 따라 모두 달라짐을 알 수 있다. 따라서 보행 모드의 자연스러운 변경을 위해서는 천이 구간의 움직임을 구현할 방법이 필요해진다.

패턴 별로 안정적인 보행 천이를 보이기 위해서는 선형적인 변화가 일어날 수 있어야 함을 예상할 수 있다. 즉, 그림 9에서와 같이 각 보행 패턴 사이에서 위상차와 주파수가 점진적으로 변동되어 보행 천이가 원활히 이루어져야 한다.

HRB-1의 움직임 구현에서, 각 자유도별 모션 패턴이 정현

표 2. 평보, 속보에 대한 자유도별 모션 데이터.
Table 2. Motion data of walk, trot for each DOF.

Gait	Motion	Amp1	Freq1	φ1	Amp2	Freq2	φ2
Walk	x-position (F/H)	0.0179	1	0	0.0024	3	5.8263
	y-position (U/D)	0.0222	2	5.9641	0.0013	4	0.8509
	z-position (L/R)	0.0114	2	0.2814	0.0046	4	5.3268
	x-rotation (Pitch)	0.0716	1	2.2446	0.0288	3	3.0384
	y-rotation (Yaw)	0.0486	1	3.7114	0.0120	3	0.7028
	z-rotation (Roll)	0.0706	2	3.6183	0.0043	4	0.0257
Trot	x-position (F/H)	0.0078	1.6	0	0.0097	4.8	3.9815
	y-position (U/D)	0.0378	3.2	2.5990	0.0091	1.6	1.1308
	z-position (L/R)	0.0047	3.2	0.3542	0.0006	1.6	2.9438
	x-rotation (Pitch)	0.0417	1.6	2.3192	0.0143	4.8	1.9756
	y-rotation (Yaw)	0.0245	1.6	1.4789	0.0086	4.8	3.0710
	z-rotation (Roll)	0.0248	3.2	4.3160	0.0154	1.6	4.7673
F: Fore, H: Hind, U: Up, D: Down, L: Left, R: Right Motion = Amp1 x sin{(2π x Freq1) x time + φ1} + Amp2 x sin{(2π x Freq2) x time + φ2}							

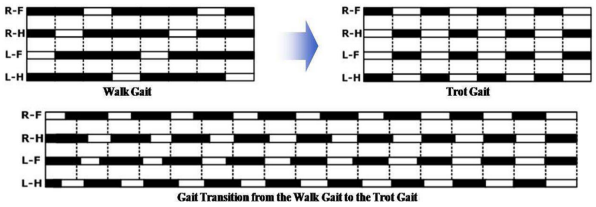


그림 9. 평보에서 속보로의 보행 패턴 천이.
Fig. 9. Gait transition from walk to trot.

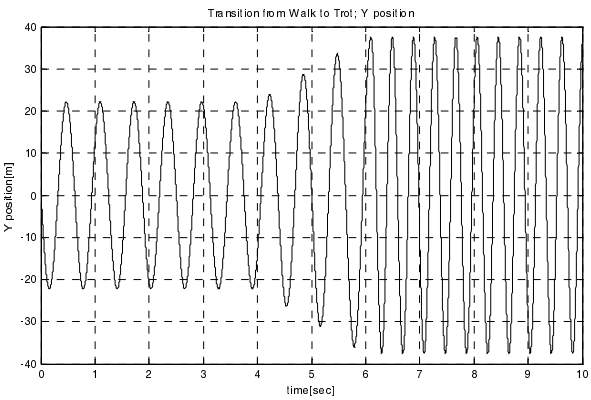


그림 10. 평보에서 속보로의 보행 패턴 천이 시 y 방향 위치 데이터.
Fig. 10. y-position data on gait transition from walk to trot.

파로 모델링되었기 때문에 신호의 주요 요소인 진폭, 주 파수, 위상차를 제어함으로써 4가지 보행 패턴에 대한 천이 과정을 해결할 수 있게 된다.

이상과 같이 구현된 평보에서 속보로의 보행 천이 시의 y 방향 위치 데이터를 그림 10에서 확인할 수 있다.

III. 플랫폼 구현

1. 모션 플랫폼의 설계

승마 모션을 시뮬레이션하기 위하여 3자유도의 회전과(roll, pitch, yaw) 3자유도의 위치(x, y, z)의 움직임 표현이 가능한 6자유도의 기구부가 설계, 제작되었다. 선형 운동 3자유도는

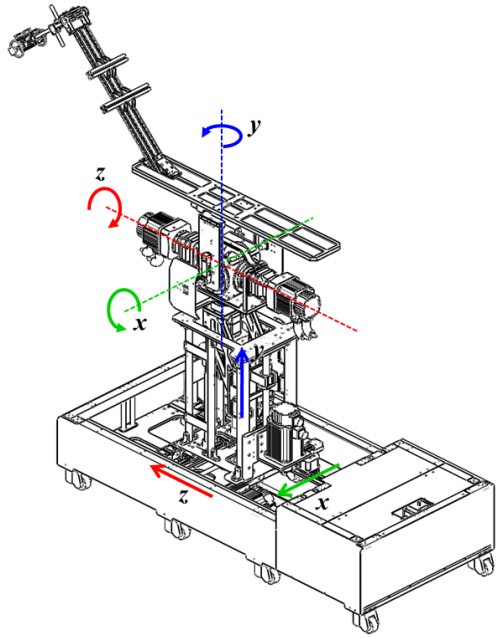


그림 11. HRB-1의 6자유도 매커니즘 구성.
Fig. 11. 6 DOF mechanism of HRB-1.

리니어가이드와 볼 스크류를 이용하여 구현하였으며, 회전 3자유도는 단독 구동되는 요 회전과 차동기어 메커니즘을 응용한 롤, 피치 회전 메커니즘으로 구현되었다(그림 11). 수직축의 경우 기수와 기구부의 무게를 보상하기 위하여 가스스프링을 이용하여 에너지 절약과 충격 흡수를 도모하였다.

구동 모터는 AC 서보모터를 이용하였는데, 이는 고속 회전과 고출력이 가능하고, 소음이 적고 유지보수 비용이 낮으며 그 사용법 또한 간단하다는 장점을 가진다. 동작 상태에서의 HRB-1에 대하여, 가장 힘을 많이 받는 수직축(y축)은 최대 토크가 15N m 이상이 필요하며, 최대 1.7 kW, 최소 450 W의 출력을 낼 수 있는 6개의 AC 서보모터를 이용하였다. HRB-1의 AC 서보모터는 힘 제어 기반으로 구동되는데, 위치 기반의 제어를 사용하는 경우에는 상황에 따라 로봇의 구동이 불안정해질 수 있고, 이러한 불안정성은 실제 사람이

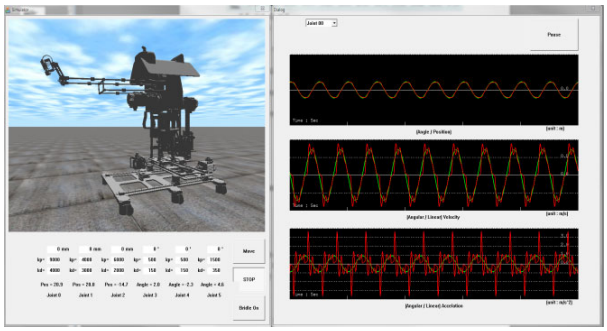


그림 12. 승마로봇 동역학 시뮬레이터.
Fig. 12. Simulator for HRB-1.

그림 13. HRB-1 프로토타입.
Fig. 13. Horseback riding robot simulator (Prototype).

탑승하였을 때 불편함을 초래할 뿐만 아니라 최악의 경우에는 부상의 위험까지 안고 있기 때문이다.

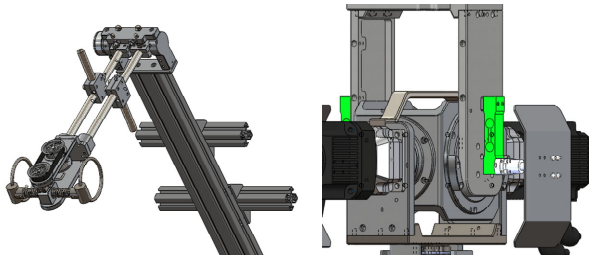
실제 개발된 로봇을 구동하기 전, 그림 12와 같이 동역학 기반의 토크 제어 시뮬레이션을 수행하였다. 간단한 PD 제어기를 적용하여 작업을 수행하였으며, 시뮬레이션을 통하여 로봇의 기구적인 충돌 여부와 동역학적 제어에 이상이 없는지, 앞에서 생성된 모션 데이터의 움직임이 적절한지 등의 다양한 사항들을 점검, 확인하였다.

그림 13은 HRB-1의 프로토타입으로 실제 말과 크기와 외형이 유사하게 제작되었으며, 마이크로프로세서를 통하여 로봇의 움직임을 제어한다. 탑승 시의 현실감 향상을 위해서 별도의 PC를 이용한 3차원 가상현실 디스플레이를 사용하였고, 두 시스템은 시리얼 통신으로 연결된다.

2. 부조 시스템 구현

승마 시 말과 기수와의 의사 교환 수단은 부조라는 용어로 표현되는데, 이러한 부조에는 고삐 부조(주먹 부조), 다리 부조, 체중 부조 등이 포함된다.

고삐 부조의 경우, 2자유도 움직임이 가능하도록 설계되었다. 2개의 포텐셔미터를 이용하여 좌우 회전과 앞뒤 방향의 움직임을 동시에 측정할 수 있으며, 한쪽 고삐만 당겨서 발생하는 좌우 회전은 말의 이동 방향 제어에 이용하고, 양쪽 고삐를 동시에 당겨서 발생하는 앞뒤 방향 움직임은 말의 속도를 떨어뜨리고 멈추는 데 이용된다. 다리 부조는 기승자의 종아리 부위에 로드셀을 부착하여 다리로 말의 옆구리를 조여주는 압력을 받아들이게 되어 있다. 좌우 다리를 동시에



(a) Hands aid. (b) Leg aid.

그림 14. 부조 시스템.
Fig. 14. Riding aids system.

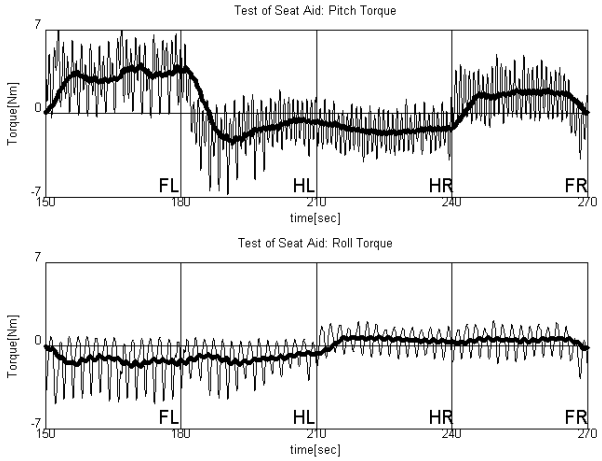


그림 15. 체중 부조 실험 결과 (위: 피치 토크, 아래: 롤 토크).
Fig. 15. Test data of seat aid (Up: pitch torque, Down: roll torque).

압박하면 말의 속도를 높일 수 있고, 한쪽만 압박하는 것은 고삐 부조와 동시에 사용되어 말의 회전 방향을 지시하는 목적으로 쓰일 수 있다.

체중 부조는 무게 중심의 이동을 통해서 말의 속도 변경, 방향 전환 등에 이용하는 부조를 말하는데, 보통은 고삐 부조나 다리 부조와 동시에 사용되어 기수의 의도를 명확히 하는데 사용된다. HRB-1는 힘 제어 기반으로 구동되기 때문에, 별도의 센서 사용 없이 보행 시의 x, z 방향 회전을 위한 토크 값의 변화를 이용하여 무게 중심 이동을 감지한다. 실제 기수가 올라타고 4방향으로 무게 중심을 이동하며 실험한 결과를 그림 15에서 확인할 수 있다. 그림에서 FL은 좌측 전방, HL은 좌측 후방, HR은 우측 후방, FR은 우측 전방으로의 체중 이동 상황을 뜻한다.

IV. 결론

본 논문에서는 승마 로봇 시뮬레이터 HRB-1을 위한 말의 보행 패턴과 부조 시스템의 구현 방법을 제시하였다. HRB-1은 초보자의 승마 교육을 위하여 개발된 3차원 가상현실 승마 로봇 시뮬레이터이다. 제시된 방법을 통하여 동작하는 HRB-1은 사용자에게 승마에 대한 두려움을 덜어주고 승마에 대하여 흥미를 느끼도록 도울 뿐만 아니라, 부상의 위험 없이 실제 말을 타기 전 사전 교육의 효과를 높일 수 있다. 또한, 시간이나 공간적인 제약으로 승마장을 갈 수 없는 사람들에게도 유용한 시스템이 될 수 있다.

로봇 각 부의 동작은 실제 말의 움직임 데이터를 획득하여 하드웨어 플랫폼에 적용 가능한 형태로 변환하여 구현하였다. 6자유도의 플랫폼을 채택하여 말의 보행 패턴 변화에 따른 움직임 변화를 충실히 재현할 수 있도록 하였으며, 또한 실제 말과 유사한 부조 시스템을 채택하여, 고삐, 다리, 체중을 이용하여 동작 명령을 내릴 수 있다.

실제 승마에는 다양한 방법론이 존재하고, 각각의 부조를 조합하여 사용하는 경우가 많으며 말을 훈련하는 방법에 따라 말들도 다르게 반응한다. 추가적인 연구를 통하여 각종 부조 시스템의 조합과 조정이 필요하며, 실제 숙련된 승마인들에 의한 필드 테스트를 거쳐 완성도가 향상되도록 해야 할 것이다. 또한, 건강과 재활 혹은 엔터테인먼트 등을 고려하여 특정 기능을 강화하거나 단순화한 수정 버전 또한 추가 연구의 대상이다.

참고문헌

[1] J.-S. Kim, M.-S. Lim, and J. Lim, "Development of motion mechanisms for health-care riding robots," *Proc. of 2008 KIEE Summer Annual Conference*, pp. 1735-1736, 2008.

[2] M. Lim and J. Lim, "Development of riding robot system and body state index for healthcare service," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 4, no. 4, pp. 327-333, 2009.

[3] K.-H. Seo, Y. Park, S. Oh, J. W. Park, S. H. Park, S. Y. Ha, D. W. Kim, and S. H. Lee, "Development of horseback riding robot simulator (HRB-1)," *Proc. of 2011 International Symposium on Embedded Technology*, CD-ROM, May 2011.

[4] J. J. Robilliard, T. Pfau, and A. M. Wilson, "Gait characterization and classification in horses," *The Journal of Experimental Biology*, 210, pp. 187-197, 2007.

[5] S. E. Harris, *Gaits, Balance and Movement*, Howell Book House, New York, 1993.

[6] Racewood, http://www.racewood.com

[7] JOBA, http://www.panasonic.hk/ha/english/list_33.aspx

[8] Riding aids, http://en.wikipedia.org/wiki/Riding_aids.

[9] Horse gait, http://en.wikipedia.org/wiki/Horse_gait

박 용 식

1998년 서울대학교 기계공학과 학사. 2003년 POSTECH 기계공학과 석사. 2003년~2010년 POSTECH 기계공학과 박사과정 재학. 2010년~현재 포항지능로봇연구소 위촉연구원 재직 중. 관심분야는 로보틱스, 메커니즘 디자인, 다자유도 매니퓰레이터, 로봇시뮬레이터.

오 승 섭

2004년 성균관대학교 정보통신공학부 학사. 2007년 성균관대학교 전자전기공학과 석사. 2007년~현재 포항지능로봇연구소 주임연구원 재직 중. 관심분야는 머신 비전, 동역학 시뮬레이터, 3D 비전.

서 진 호

1993년 한양대학교 수학과(이학사). 1998년 부경대학교 대학원(공학석사). 2002년 일본 동경공업대학교 제어시스템공학과(공학박사). 2006년~현재 포항지능로봇연구소 실용기술연구본부 본부장. 관심분야는 로보틱스(Robotics) 및 시스템통합(System Integration), 의료로봇, 수중로봇, 철강로봇.

서 갑 호

1999년 고려대학교 전기공학과 학사. 2001년 KAIST 전자전산학과 석사. 2009년 KAIST 전자전산학과 공학박사. 2009년~현재 포항지능로봇연구소 실용기술연구본부 선임연구원 재직 중. 관심분야는 지능제어, 임베디드 시스템, 재활로봇, 영상처리.

박 성 호

2009년 영남대학교 전자공학과 학사. 2009년~현재 포항지능로봇연구소 위촉연구원 재직 중. 관심분야는 임베디드 시스템, 다족보행로봇.