

2자유도 승마로봇 제어를 위한 동작특성분석

Motion analysis for control of a 2-DOF horse riding robot

서 동 진¹, 전 세 웅¹, 김 영 옥¹, 고 낙 용[†]

Dong Jin Seo¹, Sewoong Jun¹, Youngouk Kim¹, Nak Yong Ko[†]

Abstract This paper analyzes the motion of a horseback riding robot which has two actuators and three joints. It is impossible to control the saddle to get to any position and orientation using the two motors because the robot has less degrees of freedom than the number of joints. Therefore it is required to know the possible location and orientation along with the velocity characteristics of each pose prior to motion planning. For this purpose, this paper analyzes the characteristics of the robot motion. The authors derive the forward and inverse kinematics of the robot motion and developed the trajectory editor for motion planning. Also, Jacobian of the robot is analyzed. It reveals that one of the actuator has little influence to the speed of the saddle motion while the other affects the speed of the saddle motion dominantly. The approach of the paper can be applied for the analysis of characteristics of a robot which has less number of actuators than that of joints.

Keywords: Riding robot, Motion generator, Analysis, Health care

1. 서론

산업의 발전과 함께 많은 연구자들에 의해 로봇의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 인간의 건강과 관련된 로봇들의 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서 제안하고 있는 탑승형 말 로봇 또한 인간의 건강증진에 도움을 줄 수 있는 로봇의 개념에 그 기초를 두고 연구수행이 활발히 진행 중이다.

탑승형 승마형 로봇에 관한 연구는 오래 전부터 수행되고 있으며, 일본에서 최초로 탑승형 헬스기구인 승마로봇의 개발이 이루어 졌다. 일본의 고치 공과대학에서 최초로 개발된 이 로봇은 움직임을 구현하기 위하여 6링크로 구성된 스텔트 플랫폼을 채택하였지만 가격적인 문제에 있어서 약점이 있기 때문에 많은 개량화를 거쳤으며, 현재 상업적으로 판매되는 대표적인 승마로봇으로 일

본의 “JOBA”, “RodeoBoy” 그리고 한국의 “웰마” “포티스” 등을 들 수 있다. 표 1은 상용화된 승마로봇의 특징 및 장단점을 보여준다.

탑승형 로봇은 자전거^[1], 말 등의 탈 것들을 구동모터를 이용하여 기구부를 구성하고 가상현실과 결합^[2,4]하여 사용자에게 좁은 공간에서 현실과 가까운 체험을 할 수 있도록 유도한다. 여기에 의료와 관련된 모니터링 기술을

표 1. 탑승형 로봇의 특징 및 장단점

로봇	외형	장점	단점
Joba (마스시타) 2자유도		-다양한 모션 -코스내장(운동 효과 극대화)	-사용자의지 미반영 -엔터테인먼트 요소 부족 -건강관리기능 없음
포티스 (대원) 1자유도		-다양한 모션패 턴과 운동코스 내장을 통한 운 동효과 극대화	-엔터테인먼트 요소 부족 -건강관리기능 없음 -사용자의지 미반영 -고가(타사대비)
웰마 (유성) 1자유도		-단순 메커니즘 대비 운동효과 극대화	-엔터테인먼트 요소 부족 -건강관리기능 없음 -사용자의지 미반영 -단순모션패턴

Received : Apr. 18. 2011; Reviewed : May 25. 2011; Accepted : Jul. 22. 2011

※ 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임[NRF-2009-351-D00013]

※ 본 연구는 교육과학기술부, 한국연구재단의 2010년 지역혁신인력양성사업(과제명: 로봇의 자율주행 요소 기술 상용화 및 인력양성, No. 100061)의 지원에 의해 이루어짐

† 교신저자: 조선대학교 제어계측로봇공학과 정교수

¹ 전자부품연구원 지능로보틱스 연구센터

접목하여^[5] 로봇에 탑승하여 혈압, 맥박, 산소포화도 등 신체의 상태를 체크하여 더 과학적인 운동방법을 제시하는 연구도 진행되고 있다.

산업의 특성상 탑승형 로봇이 연구되는 기간과 비례하여 점점 더 효과적이고 다양한 움직임이 요구되며 이러한 움직임을 생성하기 위해서는 동작생성기의 개발이 반드시 필요하다. 동작생성기의 사용으로 인해 개발자 혹은 사용자는 자신이 탑승형 로봇의 동작을 생성할 수 있게 되며, 동작생성기의 동작의 입력을 동영상과 같은 엔터테인먼트요소와 결합하여 능동적으로 로봇의 동작이 가능해 지게 된다.

말 로봇의 동작생성기를 구현하기 위하여 먼저 탑승형 말 로봇의 구조에 맞는 기구학을 유도한다. 유도된 기구학을 이용하여 사용자가 직관적으로 동작을 생성할 수 있도록 궤적생성기능을 추가하여 동작생성기 프로그램을 제작하며, 3차원의 가상로봇을 구현하여 생성된 궤적을 시뮬레이션하여 사용자가 로봇의 움직임을 육안으로 쉽게 파악할 수 있게 하였다.

2. 말 동작의 분석

실제 말의 움직임을 분석하기 위해 모션 캡처회사에 의뢰하여 적외선 카메라기반의 모션캡처 장비를 사용하여 마커60개를 말에 장착하고 179프레임의 샘플을 캡처하여 말의 동작을 표현한 데이터를 구입하여 분석하였다.(그림 1) 말의 동작을 캡처한 데이터는 다수의 모션캡처 회사에서 제작하여 저가에 공급하고 있으며 현재는 kinetic-impulse^[6]와 같은 회사가 대표적이다.

그림 2는 Z축의로의 위치변화를 그래프로 나타낸 것이다. Z축은 말이 앞으로 나아갈 때의 위치 면화이며 1프레임당 29mm를 이동하는 것을 알 수 있다. 위치변화가 선형변화를 보이는 것이 말이 전진 시에 정확하게 같은 시간 안에 일정한 거리를 걷는 다는 것으로 해석 될 수

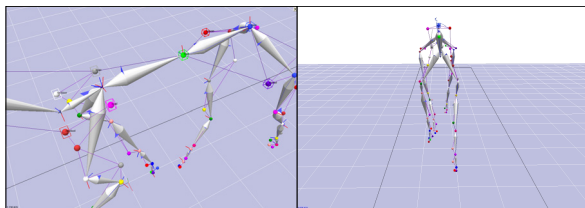


그림 1. A motion capture program for building a horse riding robot (Top: side view, Bottom: front view)

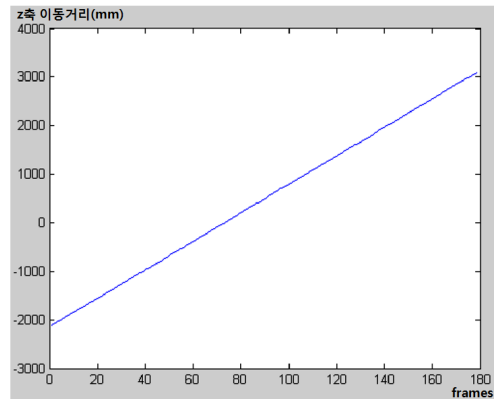


그림 2. Horse Back Z Position Data with Marker Motion Capture

있다.

그림 3은 X축으로의 위치변화를 그래프로 나타낸 것이며 X축은 말이 전진할 때 말의 정면에서 좌우로 변화하는 방향을 나타낸다. 위치변화의 최대값은 309.2mm이며 최소값은 195.6mm이며, 그래프에서 볼 수 있듯이 주기성이 없는 파형이라는 것을 알 수 있다. X축의 이런 움직임은 말의 좌우 움직임 분석이 어렵다. 실제로 말이 전진할 때 좌우로 크게 변화하는 형태를 보이지 않으므로 승마로봇을 구현할 경우 X축의 움직임은 고려하지 않고 기구부를 제작하는 것이 비용효율적인 측면에서 유리하다.

그림 4는 말의 전체 이동 동작을 측면에서 관측한 사진이며 말이 전진함에 따라 안장은 사인파를 그리며 이동하는 것을 볼 수 있다. 머리, 앞다리, 뒷다리에 세 점을 연속된 화면에서 출력하면 그림 4에서의 사인파와 유사한 곡선을 얻을 수 있으며 이는 다시 이야기 하면 앞뒤로 움직이지 않는 탑승로봇의 안장에서 탑승자는 상하로 움

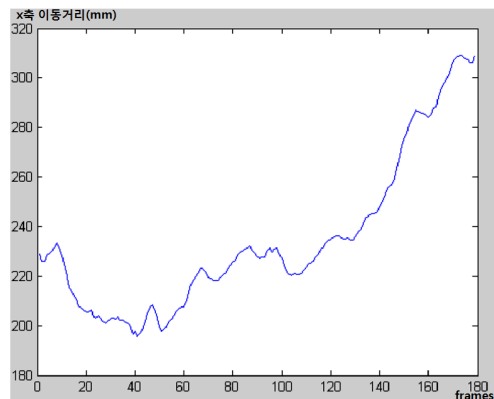


그림 3. Horse Back X Position Data with Marker Motion Capture

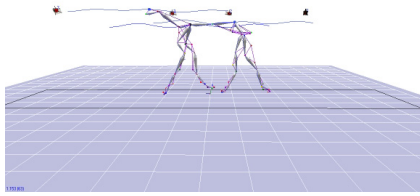


그림 4. The seat moving pattern of the horse riding robot

직임을 느낄 수 있다는 의미가 된다. 또한 말의 신체 구조는 앞다리 보다 뒷다리가 더 높기 때문에 약간 앞쪽으로 기울어진 등에 탑승하게 되며 만일 안장이 없다면 말이 움직일 때마다 탑승자가 말의 목에 가까워지게 된다. 이러한 말의 신체 구조적 특징도 기구물의 설계에 반영되어야 한다.

그림 5는 안장의 Y축으로의 위치변화를 그래프로 나타낸 것이다. 파형은 완전하지는 않지만 사인파와 유사한 형태를 띄고 있으며 파형의 진폭의 평균값은 약 74.4mm로 나타났다.

기구적인 설계에서 말이 표현하지 못하는 영역에서의 움직임은 생성할 필요가 없으며, 사인과 움직임을 생성하면 된다. 또한 말의 움직임에서 빨리 걷기, 중간 걷기, 천천히 걷기는 이 사인파의 주기를 빨리하고 천천히 하면 생성할 수 있다. 말은 거의 앞으로 달리는 특성이 크기 때문에 좌우로 회전이 많지 않다. 이점을 고려하여 좌우 회전에 관련된 특성을 줄이는 것도 중요하다. 말은 달리는 동작 이외에도 가속운동과 감속운동을 하며 갑작스런 정지행위나 장애물을 넘을 때에 점프동작도 한다. 말 동작 특성이 기구물 제작에 반영되어야 알맞은 말 동작을

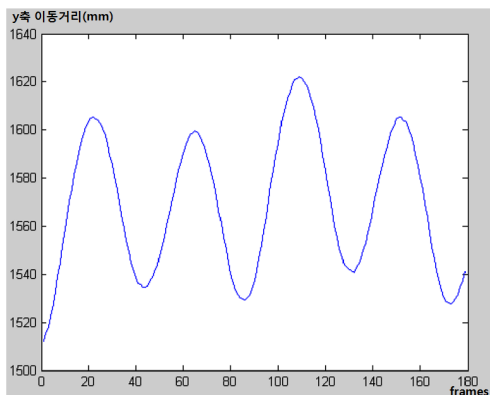


그림 5. Horse Back Y Position Data with Marker Motion Capture

만들어낼 수 있다.

3. 로봇의 구조 및 기구학

3.1 제작된 탑승형 말 로봇의 구조

말 로봇을 제작할 때 말의 운동특성이 고려되어야 하는데 2장에서 알 수 있듯이 말은 사인과 운동을 주로 하게 된다. 이런 이유로, 사인파에 가장 근접한 움직임을 생성하기 위해서 서로 다른 지름을 가진 회전판을 두고 그 판과 링크들이 상판에 사인과 움직임을 줄 수 있도록 설계하였다. 이 형태는 2자유도를 가진 Five-Bar 메커니즘^[7]을 가진 병렬로봇과 기구적으로 유사하며 100kg 이상의 사람이 타고 동작을 수행할 때 문제가 없도록 설계하였다.

말 로봇의 동작을 표현하기 위한 시스템을 만들기 위해 모터와 경사도를 고려하여야 한다. 말 로봇의 동작을 나타낼 수 있으면서도 가격경쟁력을 가지기 위하여 그림 6과 같이 2개의 모터를 이용하여 시스템을 설계하였으며, 동작 및 제어성능의 검증을 위해 모델링 툴을 이용하여 설계하고, 시뮬레이터를 제작하였다.



그림 6. Structures of the horse riding robot

3.2 로봇의 순기구학

로봇의 움직임을 생성하고 확인하기 위해서는 제작된 로봇에 맞는 기구학을 풀어야 정확한 제어가 가능해진다. 그림 7와 같은 로봇의 순기구학에 대한 문제는 다음과 같이 정해진다.

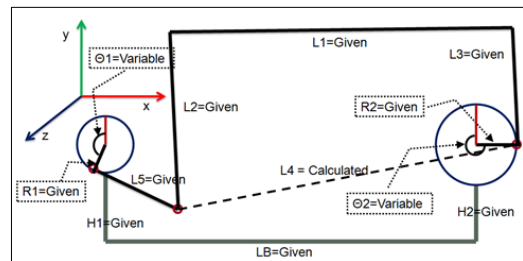


그림 7. Structures of the horse riding robot

■ 로봇의 순기구학 문제정의

- 두 개의 모터의 위치 값을 알고 있을 때 L_1 의 센터에 존재하는 안장의 좌표($x_{seat}, y_{seat}, \theta_{seat}$)를 구한다.
- 주어진 값 : $L_1, L_2, L_3, L_5, L_B, H_1, H_2, R_1, R_2, \theta_1, \theta_2$
 $L_1 \sim R_2$: 로봇의 구조에 따라 정해지는 상수 값
 θ_1, θ_2 : 모터의 회전에 의해 변하는 변수 값
 시간 t 에서 두 개의 모터의 값이 주어질 때, 먼저 식 1을 이용하여 각각의 모터축과 연결된 링크의 위치 x_1, y_1, x_2, y_2 를 구한다.(그림8)

$$\begin{aligned} x_1 &= R_1 \cos(\theta_1), y_1 = R_1 \sin(\theta_1) \\ x_2 &= L_B + R_2 \cos(\theta_2) \\ y_2 &= (H_2 - H_1) + R_2 \sin(\theta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

모터축과 연결된 링크의 위치 x_1, y_1, x_2, y_2 를 구하고 나면 L_5 의 끝단의 수동형 회전링크가 존재할 위치 $x_{i1}, y_{i1}, x_{i2}, y_{i2}$ 를 계산하여야 한다. 두 원이 만나는 교점의 방정식을 이용하여 식2에 의해 계산될 수 있으며 그림 9에서 볼 수 있듯이 두 개의 교점이 발생하므로 2개의 해가 존재할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{i1} &= x_1 + L_5 \cos(T_2 + T_1) \\ y_{i1} &= y_1 + L_5 \sin(T_2 + T_1) \\ x_{i2} &= x_1 + L_5 \cos(T_2 - T_1) \\ y_{i2} &= y_1 + L_5 \sin(T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$\text{when } \left\{ \begin{aligned} T_1 &= \cos^{-1} \frac{L_5^2 - L_4^2 + D^2}{2 \times L_5 \times D} \\ T_2 &= \tan^{-1} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ L_4 &= \sqrt{L_1^2 + (L_2 - L_3)^2} \\ D &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

구해진 x_{i1}, y_{i1} 를 이용하여 안장을 지지하는 L_1 의 양쪽 좌표 $x_{L1L2}, y_{L1L2}, x_{L1L3}, y_{L1L3}$ 를 식3을 이용하여 계산할 수 있으며, 식4를 이용하여 안장의 위치 $x_{seat}, y_{seat}, \theta_{seat}$ 를

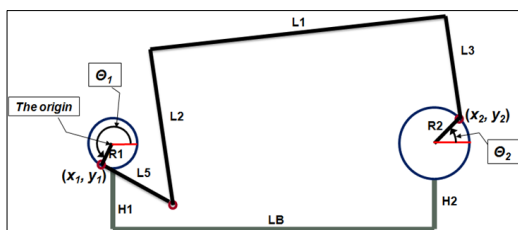


그림 8. The robot forward kinematics #1

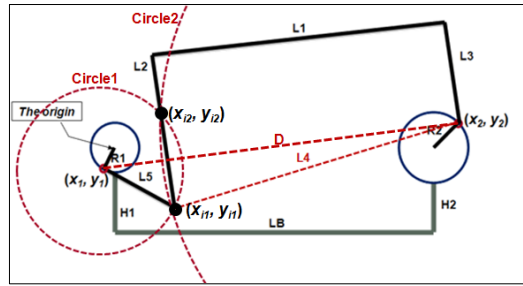


그림 9. The robot forward kinematics #2

구할 수 있다.(그림 10) 수동링크의 위치가 x_{i2}, y_{i2} 인 경우 두 마차까지의 형태로 안장의 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{cases} x_{L1L2} = x_{i1} + L_2 \cos(\psi + \phi_1) \\ y_{L1L2} = y_{i1} + L_2 \sin(\psi + \phi_1) \\ x_{L1L3} = x_2 + L_3 \cos(\psi + \phi_1) \\ x_{L1L3} = y_2 + L_3 \sin(\psi + \phi_1) \end{cases} \left\{ \begin{aligned} \psi &= \tan^{-1} \left(\frac{L_1}{L_2 - L_3} \right) \\ \phi_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_{i1}}{x_2 - x_{i1}} \right) \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\begin{aligned} x_{seat} &= x_{L1L2} + \frac{(x_{L1L3} - x_{L1L2})}{2} \\ y_{seat} &= y_{L1L2} + \frac{(y_{L1L3} - y_{L1L2})}{2} \\ \theta_{seat} &= \tan^{-1} \left(\frac{y_{L1L3} - y_{L1L2}}{x_{L1L3} - x_{L1L2}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

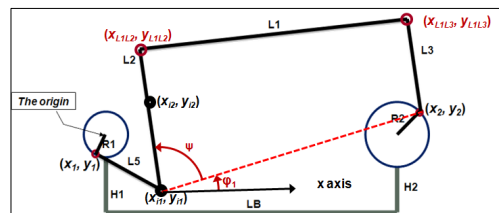


그림 10. The robot forward kinematics #3

3.3 로봇의 역기구학

로봇의 노드정보를 활용하여 로봇 모터의 위치를 제어하기 위하여 로봇의 역기구학이 필요하다. 로봇의 역기구학은 다음과 같이 정의된다. 로봇은 2자유도의 구동기를 가지기 때문에 역기구학의 문제를 정의하는데 각도 정보는 고려하지 않고 안장의 위치정보(x, y)만을 이용한다. 그림 11에서와 같이 역기구학은 안장의 위치에 따라 최대 4개의 해를 가질 수 있다(식 5~10). 이렇게 구해진 해는 현재 모터의 회전방향과 속도 그리고 다음 목표지점까지 구동을 위한 모터의 각도에러의 크기, 안장의 각도

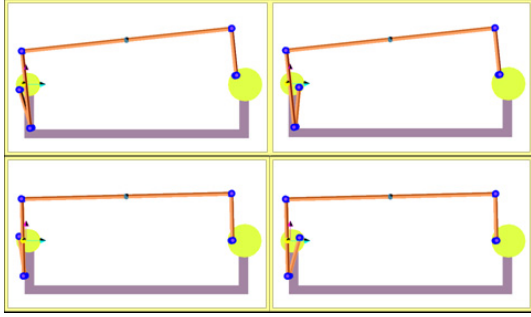


그림 11. Four solutions of the robot inverse kinematics

변화량 등의 조건에 따라 적절한 값을 선택하여야 한다. 본 논문에서의 실험을 위해 제작된 모션생성기에서는 사용자가 각각의 해를 선택할 때 변화되는 안장의 궤적과 각도정보를 육안으로 확인하고 하나의 해를 선택하게 설계되어 있다.

■ 로봇의 역기구학 문제정의

- 로봇의 안장의 좌표(x_{seat}, y_{seat})알고 있을 때 모터 1과 2의 각도(θ_1, θ_2)와 수동적으로 정해지는 시트의 각도(θ_{seat})를 구한다.
- 주어진 값: $L_1, L_2, L_3, L_5, L_B, H_1, H_2, R_1, R_2,$

x_{seat}, y_{seat}

$L_1 \sim R_2$: 로봇의 구조에 따라 정해지는 상수 값

x_{seat}, y_{seat} : 사용자에게 의해 결정되는 변수 값

역기구학의 해를 구하기 위하여 첫 번째로 그림12에 서와 같이 모터2번의 센터(x_{c2}, y_{c2})를 중심으로 R_2 를 반지름으로 하는 원과 (x_{seat}, y_{seat})를 중심으로 L_6 을 반지름으로 하는 원과의 교점(x_{i2}, y_{i2}), (x_{i4}, y_{i4})을 식 5를 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} x_{i3} &= x_{seat} + L_6 \cos(T_2 + T_1) \\ y_{i3} &= y_{seat} + L_6 \sin(T_2 + T_1) \\ x_{i4} &= x_{seat} + L_6 \cos(T_2 - T_1) \\ y_{i4} &= y_{seat} + L_6 \sin(T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$\text{when } \left\{ \begin{aligned} T_1 &= \cos^{-1} \frac{L_6^2 - R_2^2 + D^2}{2 \times L_6 \times D} \\ T_2 &= \tan^{-1} \frac{y_{i2} - y_{seat}}{x_{i2} - x_{seat}} \\ x_{i2} &= L_B, y_{i2} = H_2 - H_1 \\ L_6 &= \sqrt{(L_1/2)^2 + (L_3)^2} \\ D &= \sqrt{(x_{c2} - x_{seat})^2 + (y_{c2} - y_{seat})^2} \end{aligned} \right. \quad (5)$$

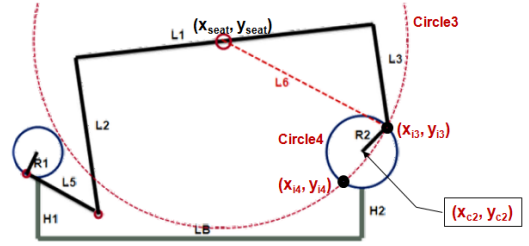


그림 12. The robot inverse kinematics #1

식 5에서 구해진 교점 (x_{i2}, y_{i2}), (x_{i4}, y_{i4})를 이용하여 안장이 설치된 프레임의 반대쪽 좌표 (x_3, y_3)을 식 6에 의해 구한다.(그림 13)

$$\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{seat} \\ y_{seat} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(\theta_{seat}) & -\sin(\theta_{seat}) \\ \sin(\theta_{seat}) & \cos(\theta_{seat}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -L_1/2 \\ -L_2 \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{-L_3}{L_1/2} \right), \quad \phi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{y_{i3} - y_{seat}}{x_{i3} - x_{seat}} \right) \\ \theta_{seat} &= \phi_2 - \phi_1 \end{aligned} \right. \quad (6)$$

구해진 프레임의 반대쪽 좌표 (x_3, y_3)을 중심으로 L_5 를 반지름으로 하는 원과 모터1번의 센터(0,0)를 중심으로 R_1 을 반지름으로 하는 원과의 교점(x_{i5}, y_{i5}), (x_{i6}, y_{i6})을 식 7을 이용하여 계산한다.(그림 14)

$$\begin{aligned} x_{i5} &= R_1 \cos(T_2 + T_1) \\ y_{i5} &= R_1 \sin(T_2 + T_1) \\ x_{i6} &= R_1 \cos(T_2 - T_1) \\ y_{i6} &= R_1 \sin(T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$\text{when } \left\{ \begin{aligned} T_1 &= \cos^{-1} \frac{R_1^2 - L_5^2 + D^2}{2 \times R_1 \times D} \\ T_2 &= \tan^{-1} \frac{y_3}{x_3} \\ D &= \sqrt{(x_3)^2 + (y_3)^2} \end{aligned} \right. \quad (7)$$

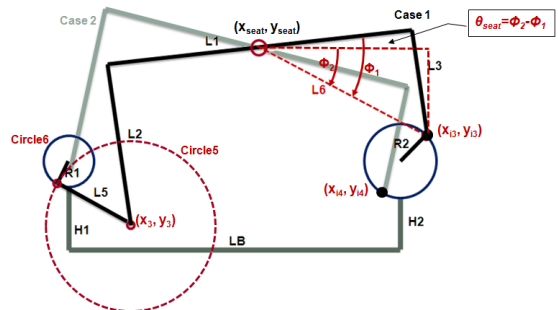


그림 13. The robot inverse kinematics #2

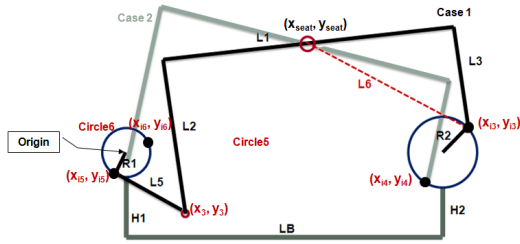


그림 14. The robot inverse kinematics #3

2개의 생성된 교점 (x_{i5}, y_{i5}) , (x_{i6}, y_{i6}) 을 이용하여 각각의 역기구학의 해 (θ_1, θ_2) 와 안장의 각도 θ_{seat} 를 도출할 수 있다.(식8-10, 그림15)

$$(x_{i3}, y_{i3}), (x_{i5}, y_{i5}) \text{ 을 이용한 해}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y_{i5}/x_{i5}), \theta_2 = \tan^{-1}((y_{i3} - y_{i2})/(x_{i3} - x_{i2})) \quad (8)$$

$$(x_{i3}, y_{i3}), (x_{i6}, y_{i6}) \text{ 을 이용한 해}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y_{i6}/x_{i6}), \theta_2 = \tan^{-1}((y_{i3} - y_{i2})/(x_{i3} - x_{i2})) \quad (9)$$

$$\theta_{seat} = \phi_2 - \phi_1$$

$$\phi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{-L_3}{L_1/2}\right), \phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{y_{i3} - y_{seat}}{x_{i3} - x_{seat}}\right) \quad (10)$$

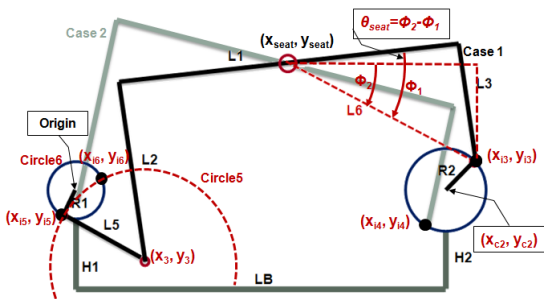


그림 15. The robot inverse kinematics #4

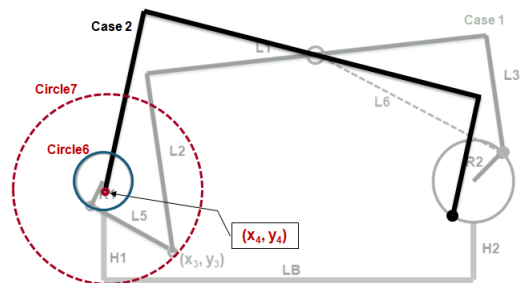


그림 16. A case of no inverse kinematics solution

식 (5)에서 구해진 교점 중 다른 하나인 (x_{i4}, y_{i4}) 의 경우에 구해진 프레임의 반대쪽 좌표 (x_i, y_i) 를 중심으로 L_5 를 반지름으로 하는 원과 모터1번의 센터(0,0)를 중심으로 R_1 을 반지름으로 하는 원과의 교점이 있다면 해가 2개 혹은 1개가 존재하지만 만일 그림 16의 경우와 같이 교점이 생성되지 않는다면 (x_{i4}, y_{i4}) 위치를 만족하는 해는 존재하지 않는다.

3.4 로봇의 자코비안 행렬

3.2절에서 유도한 순기구학을 편미분하여 로봇의 자코비안 행렬을 구할 수 있으며 이를 이용하여 로봇의 각 모터의 회전변화량과 안장의 위치변화량 사이의 관계를 효과적으로 보여줄 수 있다. 표현의 편의를 위하여 식4를 식11과 같이 표현하면 자코비안 행렬은 식 12로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{seat} &= f_1(\theta_1, \theta_2) \\ y_{seat} &= f_2(\theta_1, \theta_2) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{seat} \\ \dot{y}_{seat} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \theta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

식 12에서의 자코비안 행렬의 원소는 각각 모터1의 각도 변화에 따른 x_{seat} 변화량, 모터1의 변화에 따른 y_{seat} 변화량, 모터2의 각도변화에 따른 x_{seat} 변화량, 모터2의 변화에 따른 y_{seat} 변화량을 보여준다.

4. 로봇모션 생성기

3장에서 유도한 식을 이용하여 그림 17와 같은 모션 생성 프로그램을 작성하여 그 동작을 확인하고 실제 하드웨어에 적용하였다. 모션생성기를 이용하여 사용자는 탑승형 말 로봇의 동작을 자유롭게 편집할 수 있으며 3차원 로봇 표시화면을 통해 모의실험을 해보는 것이 가능하다. 생성된 동작결과는 바로 실제 로봇에 적용된다.

모션생성기는 크게 노드편집기능과 제어기능을 가지고 있으며 노드편집영역은 그림18와 같은 형태를 가진다. 그림의 기울어진 원통영역은 안장이 이동할 수 있는 운동가능영역을 보여준다.

노드 편집영역에서 사용자는 운동가능영역 내에 로봇

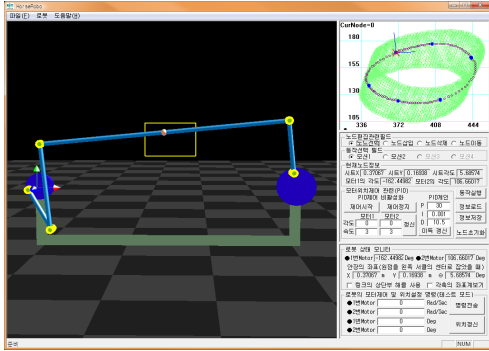


그림 17. The robot motion generation program

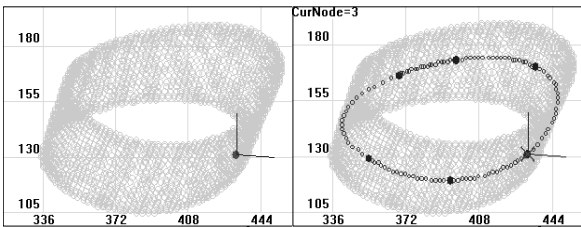


그림 18. Node edit area
(Left: initial condition, Right: node edited)

의 운동을 위한 노드를 추가, 이동, 삭제 등의 기능을 이용하여 로봇이 움직일 궤적을 생성 할 수 있다.

5. 실험 및 고찰

5.1 모터각도변화와 안장위치변화 사이의 관계

모든 각도상황에서의 모터의 각도변화와 안장의 위치 변화 사이의 관계를 고찰하기 위하여 식 12의 자코비안 행렬의 각 원소의 크기를 산출하여 그래프로 나타내었다. 그래프 생성을 위해 모터1과 2의 0도부터 360까지 9도 간격으로 40x40격자를 생성하여 각 포인트(θ_1, θ_2)에서의 원소의 크기 값을 z축의 크기로 하여 그 값을 표현하였다. 기구물의 구조에 따라 상수로 정해지는 $L_1, L_2, L_3, L_5, L_B, H_1, H_2, R_1, R_2$ 는 실제 기구의 기구정보와 같도록

표 2. 실험에 적용된 상수

(단위: m)

L1	L2	L3
0.723	0.265	0.16
L5	R1	R2
0.138	0.031	0.048
LB	H1	H2
0.76	0.188	0.188

표2와 같이 설정하였다.

그림 19부터 22는 실험 1에서의 결과를 나타내며, 모터의 모든 각도에서의 자코비안 행렬의 원소 값을 의미한다. 각 그림의 상단은 3차원 좌표계상에서의 표현이고 하단의 그래프는 상단의 그래프의 데이터를 등고선으로 표현한 그래프이다.

그림 19는 모터 1의 회전량이 안장의 x축 변화량에 미치는 영향을 나타낸다. 약간의 차이는 있지만 모터 2의 위치(θ_2)에 따라 모터 1에 의해 발생하는 x축 변화량은 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 반면에, 모터1의 위치(θ_1)에 대해서는 안장의 이동량의 크기비율이 크게 나타남을 알 수 있으며, 등고선그래프에서 볼 수 있듯이 모터 1이 0도에서 69도 사이에 있거나 195도에서 246도에 있는 경우에 모터 1의 각도변화량이 안장의 x축 변화량에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 모터 2의 각도가 172도에 위치할 때 모터의 1의 각도변화량이 안장의 x축 위치 변화량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

그림 20은 모터 2의 회전량이 안장의 y축 변화량에 미치는 영향을 나타낸다. 모터 1의 위치에 따라서 모터 2에

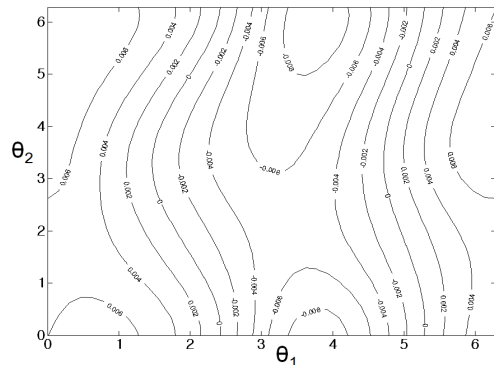
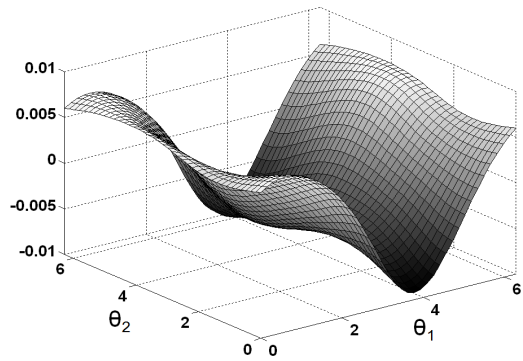


그림 19. Jacobian element values in case of exam1
(1 row, 1 column)

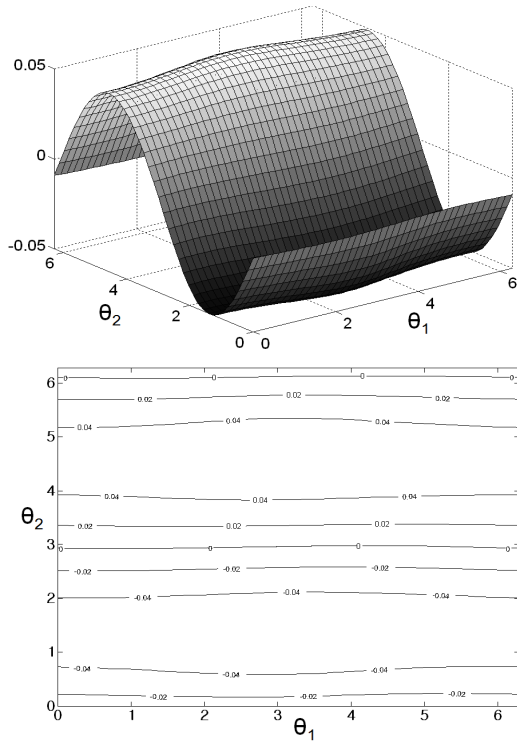


그림 20. Jacobian element values in case of exam1 (1 row, 2 column)

의한 x 축 변화량의 차이는 거의 직선을 그리고 있다. 이는, 모터 1의 위치와는 거의 무관하게 모터 2에 의한 x 축 변화량의 차이가 발생한다는 것으로 분석 될 수 있다. 반면에, 모터2의 위치에 대해서는 안장의 x 축 변화량이 크게 나타남을 알 수 있으며, 등고선그래프에서 볼 수 있듯이 모터 2의 각도가 75도와 258도 일 때 모터 2의 변화량이 안장의 x 축 변화량에 더 많은 영향을 미치는 것으로 확인된다.

그림 21은 모터 1의 회전량이 안장의 y 축 변화량에 미치는 영향을 나타낸다. 모터 2의 위치에 따라서 모터 1에 의한 y 축 변화량의 크지 않음을 알 수 있으며, 모터 2가 180도에 위치하고 있을 때 모터 1의 y 축 변화량의 크게 나타남을 볼 수 있다. 모터 1의 현재 위치에 따라 모터 1에 의한 y 축 변화량의 차이는 모터 2의 위치에서 보다 크게 나타나며, 등고선그래프에서 볼 수 있듯이 모터 1의 각도가 28도와 224도 일 때 모터 1의 변화량이 안장의 y 축 변화량에 더 영향을 미치는 것으로 분석된다.

그림 22는 모터 2의 회전량이 안장의 y 축 변화량에 미치는 영향을 나타낸다. 모터 1의 위치에 따라서 모터 2에

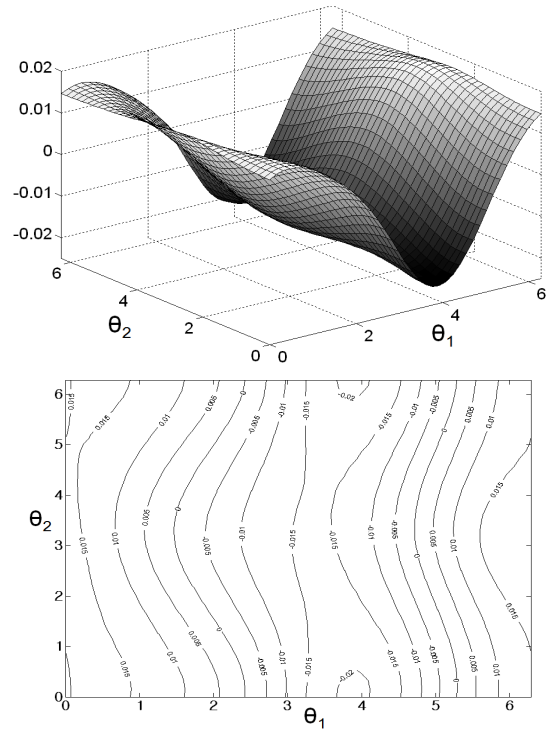


그림 21. Jacobian element values in case of exam1(2 row, 1 column)

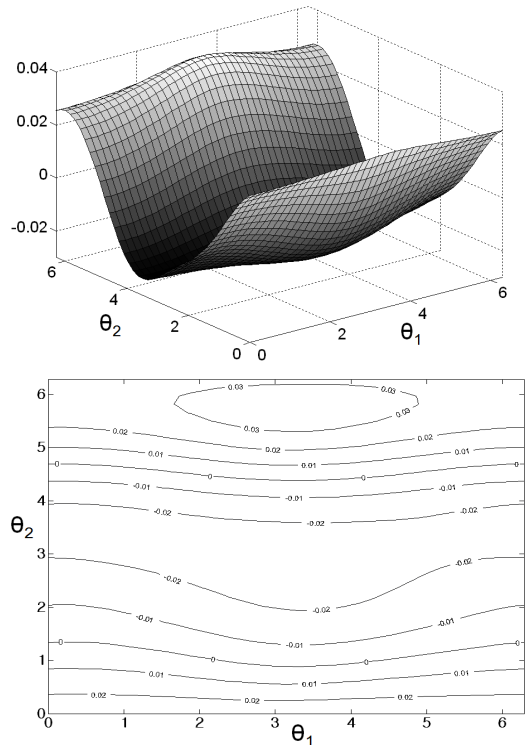


그림 22. Jacobian element values in case of exam1(2 row, 2 column)

의한 y축 변화량이 크지 않음을 알 수 있으며, 모터 2가 180도에 위치하고 있을 때 모터 2에 대한 y축 변화량이 크게 나타남을 볼 수 있다. 모터 2의 현재 위치에 따라 모터 2에 의한 y축 변화량의 차이는 모터 1의 위치에서 보다 크게 나타나며, 등고선그래프에서 볼 수 있듯이 모터 2의 각도가 195도와 344도 일 때 모터 2의 변화량이 안장의 y축 변화량에 더 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

5.2 모터1 고정 후 모터2 구동시 안장의 위치변화 실험

두 번째 실험에서는 모터1을 각도 45로 고정하고 모터 2를 회전시켰을 때 안장의 궤적을 관찰해 보았다.

그림 23에서는 모터 2의 회전에 안장이 타원을 그리며 궤적을 그리는 것을 볼 수 있으며 모터2는 회전하면서 안장의 좌우 및 상하방향에 모두 영향을 주며 안장이 타원운동을 하도록 동작하도록 역할을 담당한다.

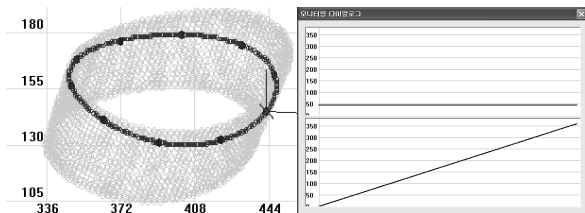


그림 23. The result of exam 2
(Left: Seat position, Right: Motor angles)

5.3 모터2 고정 후 모터1만 구동시 안장의 위치변화 실험

세 번째 실험에서는 모터2를 각도 90으로 고정하고 모터1을 회전시켰을 때 안장의 궤적을 관찰해 보았다.

그림 24에서 모터1의 회전에 안장이 대각선 상하운동을 수행하는 것을 알 수 있다. 5.2절의 실험에서 만일 모터1의 위치가 변화하게 되면 타원궤적이 전체적으로 상하로 이동하는 특성을 가지게 된다.

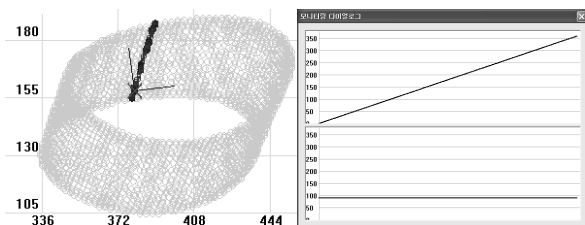


그림 24. The result of exam 3
(Left: Seat position, Right: Motor angles)

5.4 모터의 회전이 궤적에 미치는 영향

모터의 회전이 안장의 궤적에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위하여 원형의 궤적을 생성하고 생성된 노드 중 하나를 이동하여 모터의 회전특성과 안장의 위치와의 관계를 고찰하여 보았다.

그림 25는 궤적을 이루는 노드가 화살표의 위치로 변화되었을 때 2개의 모터의 위치변화를 보여준다. 그래프에서 궤적이 상하로 크게 이동할 경우에 모터1의 움직임

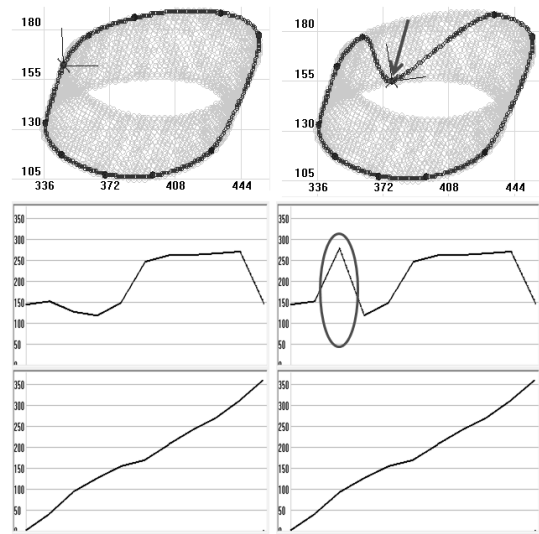


그림 25. The result of exam 4-1
(Left: Seat position, Right: Motor angles)

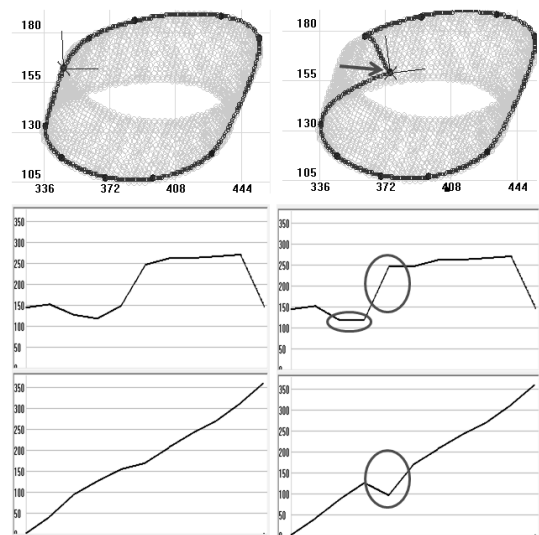


그림 26. The result of exam 4-2
(Left: Seat position, Right: Motor angles)

에 크게 영향을 미치고 모터2의 궤적에는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

그림 26은 궤적을 이루는 노드가 상단원쪽그림과 같이 우측으로 변화되었을 때 2개의 모터의 위치변화를 보여 준다. 이번 경우에는 첫 번째 실험과는 다르게 모터2의 위치변화가 급격하게 이루어지며 모터2의 기울기도 다소 간 변화하고 있다. 정리하자면, 안장궤적의 상하이동에는 모터1의 각도변화가 크게 영향을 미치며, 좌우이동에는 모터1과 2가 동시에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 2자유도 구동기를 갖는 탑승형 말 로봇의 모션생성기 제작을 위한 시스템 분석 내용을 다루고 있으며 그 특징은 다음과 같다.

1. 말 로봇의 동작특성에 대한 분석을 통한 로봇의 효과적인 동작제어의 기반 마련
2. 로봇의 정,역기구학과 자코비안 매트릭스를 이용한 로봇의 특성 분석
3. 말의 실제 동작과 유사한 패턴을 직관적인 인터페이스를 통하여 쉽게 생성하여 말 로봇에 쉽게 적용이 가능
4. 궤적생성을 위한 노드의 삽입, 삭제, 이동작업 용이
5. 생성된 궤적데이터를 3차원 가상로봇을 이용하여 동작의 움직임 확인가능

기구학해석에 의한 제작된 모션생성기의 개선해야 할 사항으로, 안장의 각도에 대한 구동부를 추가하고 인간이 실제 말을 탈 때 느끼는 운동성을 와시아웃 필터 등을 통해 말 로봇의 기능에 포함하여 더 현실감 있는 시스템으로 성능개선이 필요하다.

또한 다른 개선사항으로 승마로봇에 혈압, 맥박, 산소포화도, 심전도, 근전도 등의 생체신호를 획득할 수 있는 모듈을 부착하여 로봇의 이동모션과 사람의 운동량과의 관계에 분석하고 이에 따른 더 효과적인 모션개발을 위한 시스템 및 소프트웨어적인 개선이 필요하다.

human riding a unicycle and its emulation by a robot,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol.13, No.5, pp.709-720, May, 1997.

- [2] AOKI TAKA AKI at al., “Horse Riding System Using Virtual Reality,” *Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol.39, No.12, pp.817-820, 2002.
- [3] Y. Shinomiya at al., “Horseback riding therapy simulator with VR technology,” *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp.9-14, 1997
- [4] 김세훈, “운동감을 고려한 가상현실 시스템 설계 및 구현”, 한국과학기술원 석사학위논문, Tech Memo 2002-2, 2002.
- [5] CHEN G-L at al., “Control of Horseback Riding Robot with Biofeedback,” *Faji Shisutemu Shinpojiumu Koen Ronbunshu*, Vol.19, pp.293-294, 2003.
- [6] <http://www.kinetic-impulse.com/>
- [7] H. Ozaki, H. Wang, X. Liu, and F. Gao, “The Atlas of the Payload Capability for Design of 2-DOF Planar Parallel Manipulators”, *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, pp.1483-1488, 1996.



서 동 진

2000 조선대학교 제어계측공학과(공학사)

2002 조선대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)

2006 조선대학교 대학원 제어계측공학과(공학박사)

2009~현재 전자부품연구원 박사 후 연구원

관심분야: 충돌회피, 주행알고리즘, 시뮬레이터

E-mail : commidi@keti.re.kr

참고문헌

- [1] Z Sheng, K Yamafuji, “Postural stability of a



전 세 응

- 2002 광운대학교 제어계측공학과(공학사)
- 2006 연세대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)
- 2006~현재 전자부품연구원 선임연구원

관심분야: 지능로봇, HRI, Robot Architecture
E-mail : daniel@keti.re.kr



고 낙 용

- 1985 서울대학교 제어계측공학과(공학사)
- 1987 서울대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)
- 1993 서울대학교 대학원 제어계측공학과(공학박사)

1992~현재 조선대학교 제어계측로봇공학과 교수
관심분야: 위치추정, 충돌회피, 힘-토크제어, 수중로봇
E-mail : nyko@chosun.ac.kr



김 영 옥

- 1995 홍익대학교 전기공학과(공학사)
- 1997 홍익대학교 전기공학과(공학석사)
- 2006 중앙대학교 영상공학과(공학박사)

1997~현재 전자부품연구원 책임연구원
관심분야: 로봇틱스, 이미지 프로세싱, 지능제어
E-mail : kimyo@keti.re.kr