

이륜 구동 로봇의 균형 각도 조절을 통한 사람과의 상호 제어의 실험적 연구

Experimental Studies of Balancing Control of a Two-wheel Mobile Robot for Human Interaction by Angle Modification

이 승 준¹, 정 슬²

Seung Jun Lee¹, Seul Jung²

Abstract This paper presents interaction force control between a balancing robot and a human operator. The balancing robot has two wheels to generate movements on the plane. Since the balancing robot is based on position control, the robot tries to maintain a desired angle to be zero when an external force is applied. This leads to the instability of the system. Thus a hybrid force control method is employed to react the external force from the operator to guide the balancing robot to the desired position by a human operator. Therefore, when an operator applies a force to the robot, desired balancing angles should be modified to maintain stable balance. To maintain stable balance under an external force, suitable desired balancing angles are determined along with force magnitudes applied by the operator through experimental studies. Experimental studies confirm the functionality of the proposed method.

Keywords: Force Control, Mobile inverted pendulum, Interaction, External Force

1. 서 론

이동로봇 기반 서비스 로봇은 가정용로봇, 의료용로봇, 농업용로봇, 오락로봇 등 많은 분야에서 활용되어 다양한 서비스를 제공하고 있다. 보다 광범위한 서비스를 제공하기 위해서는 위치제어를 벗어나 인간과의 상호작용, 대상체 또는 로봇간의 협조 작업을 위해 힘과 위치를 동시에 제어하는 기술이 필요하다.

최근에는 이동로봇에 팔을 부착하여 작업의 효율을 높이고자 노력하고 있으며^[1-4], 4륜 구동 이동로봇에서 2바퀴 구동 이동로봇에 대한 연구가 활발하다. 이륜이동로봇은

삼륜 혹은 사륜 이동로봇에 비해 안정성이 취약하다는 단점이 있지만, 이동성이 좋기 때문에 지속적인 연구와 발전이 이루어지고 있다^[5-9].

이륜 이동로봇의 궁극적인 목적은 역진자와 같이 넘어지지 않고 균형을 유지하는 것이다. 즉 기준 축에서 벗어난 균형 각도를 영으로 유지해야 균형을 유지하게 된다.

하지만, 그림 1과 같이 균형 상태의 이륜 이동로봇에 외부 힘을 인가할 경우, 밸런싱제어만으론 균형을 유지하기 어렵다. 왜냐하면 그림 2에 보여진 것처럼 로봇은 기준 균형 각도(θ)가 영으로 설정되어 있으므로 외부에서 힘이 적용되어도 각도가 영이 유지되도록 하려 하기 때문이다. 이는 외부힘에 의해 로봇이 영의 각도를 유지하는 것이 불가능하므로 균형에 나쁜 영향을 주게 되어 불안정해지는 요소가 된다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 힘제어 방법을 사용한다. 힘제어 기술에는 임피던스 제어방식^[10]과 하이브리

Received : Jun. 23. 2012; Reviewed : Jul. 25. 2012; Accepted : Mar. 8. 2013

※ This project was funded by the Korea Research Foundation under the grant of Basic Research Program and AIM of of the MKE (The Ministry of Knowledge Economy), Korea

¹ Mechatronics Engineering Department, Chungnam National University (sjgb123@gmail.com)

² Corresponding author, Mechatronics Engineering Department, Chungnam National University (jung@s@cnu.ac.kr)

드 제어방식이 있다^[11]. 임피던스 제어방식은 힘과 위치의 직접 제어가 아닌 로봇으로부터 반영된 힘과의 동적관계를 조절함으로써 힘을 간접적으로 제어하는 방식이며^[12,13], 하이브리드 제어방식은 원하는 힘과 위치를 직접 설정하여 추종하도록 제어하는 방식이다.

두 바퀴로 균형을 유지하며 이동이 가능한 역진자 이동 로봇과의 상호작용을 위해 하이브리드 제어방식을 사용하였다. 하이브리드 제어 방식은 적용된 힘을 직접적으로 기준 균형 각도로 환산할 수 있는 편리함을 제공한다. 외부에서 적용되는 힘의 크기에 따라 균형의 기준 각도 값을 적당하게 변경할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 적용된 힘에 따른 기준 균형 각도 값을 달리 적용하는 방법의 타당성을 검증하기 위해 실제 로봇을 설계 및 제작하였다. 로봇에 힘을 가해 원하는 위치로 이동하는 실험을 통해 안정적으로 균형을 유지함을 증명하고자 한다.

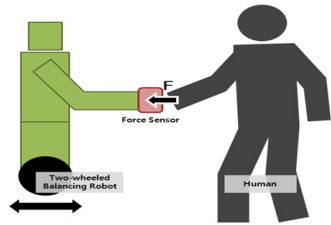


Fig. 1. Concept of robot and human interaction

2. 시스템 모델

이륜이동로봇은 역진자 시스템과 이동로봇 시스템이 조합된 형태로 이동로봇의 기구학을 이용하여 구할 수 있

Table 1. Robot parameters

Variables	Description
r	radius of a wheel
L	distance between wheels
θ_R	angle of right wheel
θ_L	angle of left wheel
v_R	linear velocity of right wheel
v_L	linear velocity of left wheel
ω_R	angular velocity of right wheel
ω_L	angular velocity of right wheel
v_m	velocity of a robot
w_m	angular velocity of a robot
$p(x_m, y_m)$	robot position in xy plane
ϕ_m	heading angle
θ	lean angle

다. 일반적인 역진자 이동로봇은 Fig. 2와 같다^[4,14]. 이동로봇의 기구학은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\phi}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \phi_m & \frac{r}{2} \cos \phi_m \\ \frac{r}{2} \sin \phi_m & \frac{r}{2} \sin \phi_m \\ \frac{r}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

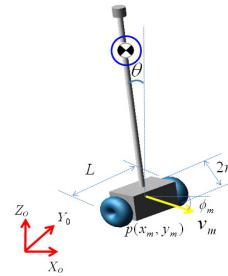


Fig. 2. Coordinates of robot system

3. 제어 방법

3.1 이륜이동로봇의 위치 및 자세제어

이륜이동로봇을 제어하기 위해서는 기울어진 각도(θ), 헤딩 각도(ϕ_m), 위치(p)를 알아야 한다. 위치와 회전각도는 엔코더를 통해 이동로봇의 기구학식으로 구할 수 있으며, 기울어진 각도는 기울기 센서와 자이로센서를 이용하여 얻을 수 있다.

θ 만큼의 기울기가 발생하면 기울기가 발생한 방향으로 움직여줌으로써 θ 값을 0으로 균형을 유지한다. 균형만 유지하는 것이 아니라 위치 또한 제어하여야 하므로 그림 3과 같은 제어기에 의해 이동로봇을 제어한다^[10]. 기울기(θ), 위치(p), 헤딩각도(ϕ_m) 오차는 다음과 같이 정의된다.

$$e_\theta = \theta_d - \theta \quad (2)$$

$$e_\phi = \phi_d - \phi_m \quad (3)$$

e_p 는 다음과 같이 계산된다.

$$e_p = \sqrt{(x_d - x_m)^2 + (y_d - y_m)^2} \quad (4)$$

여기서 x_d, y_d 는 원하는 기준위치이고 x, y 는 각 축에서의 로봇의 위치이다.

제어입력은 다음과 같다.

$$u_\theta = k_{p\theta} e_\theta + k_{d\theta} \dot{e}_\theta \quad (5)$$

$$u_p = k_{pp} e_p + k_{dp} \dot{e}_p + k_{ip} \int e_p dt \quad (6)$$

$$u_\phi = k_{p\phi} e_\phi + k_{d\phi} \dot{e}_\phi + k_{i\phi} \int e_\phi dt \quad (7)$$

여기서, $k_{p\theta}$, $k_{d\theta}$, k_{pp} , k_{dp} , k_{ip} , $k_{p\phi}$, $k_{d\phi}$, $k_{i\phi}$ 는 제어 이득 값이다. 이론이동로봇의 좌/우 구동 모터의 바퀴 토크입력은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \tau_R = u_p + u_\theta + u_\phi \\ \tau_L = u_p + u_\theta - u_\phi \end{cases} \quad (8)$$

균형 각도제어에서 PD제어기를 사용한 이유는 PID제어기의 경우 누적 오차가 발생하여 균형 오차가 더욱 커지게 되고 이는 밸런싱제어에 영향을 주어 전체적으로 시스템이 불안정해지는 현상을 방지하기 위함이다. 기울어진 각도의 제어의 경우에 누적 오차가 있게 되면 로봇이 지속적으로 움직이게 되어 결국 진동이 커져 불안정해 지는 경향이 있다.

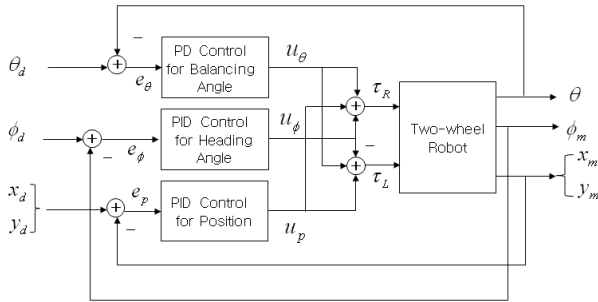


Fig. 3. Control block diagram

3.2 Hybrid 힘 제어

힘 오차는 주어진 기준 힘 f_d 과 실제 힘 f_e 의 차이값으로 정의된다.

$$e_f = f_d - f_e \quad (9)$$

힘 제어 입력은 다음과 같이 PID제어기를 사용한다.

$$u_f = k_{pf} e_f + k_{df} \dot{e}_f + k_{if} \int e_f \quad (10)$$

여기서, k_{pf} , k_{df} , k_{if} 는 제어 이득값이다 [6].

균형 자세에서 힘을 인가하였을 경우에 밸런싱제어에서 힘제어로 전환하게 되는데 이 때 힘 오차값을 보상하기 위해 갑자기 높은 토크가 발생되어 시스템이 불안정해지게 된다. 따라서, 식 (11)에 주어진 기준값 f_c 에 도달하기 전까지는 미는 힘에 대해 위치 및 각도 제어를 수행하여 로봇을 앞으로 기울어져 밀어내는 힘을 발생하게 된다.

$$f_c = K \cdot f_d \quad (11)$$

이때 f_c 값을 초과하면 자연스럽게 밸런싱제어에서 힘제어로 바뀌게 된다. 여기서 K 값은 센서의 정확도와 잡음 등에 의해 실험적으로 결정된다.

하이브리드 제어방식은 선택적으로 힘제어와 밸런싱제어를 전환하여 제어할 수 있도록 전환하는 방식으로 식 (12)와 같다.

$$\begin{cases} \tau_R = u_f + u_\theta + u_\phi \\ \tau_L = u_f + u_\theta - u_\phi & (f_e \geq f_c) \\ \tau_R = u_p + u_\theta + u_\phi \\ \tau_L = u_p + u_\theta - u_\phi & (f_e < f_c) \end{cases} \quad (12)$$

f_d 값은 인간 혹은 다른 로봇과의 협조 작업시 필요로 하는 힘의 값을 지정해 놓은 값으로 무거운 물체를 이동할 경우, 혹은 큰 힘을 필요로 하는 작업을 할 경우에는 f_d 값을 크게 설정하며, 강성도가 약해서 파손의 위험이 있는 작업을 할 경우 f_d 값을 작게 설정한다.

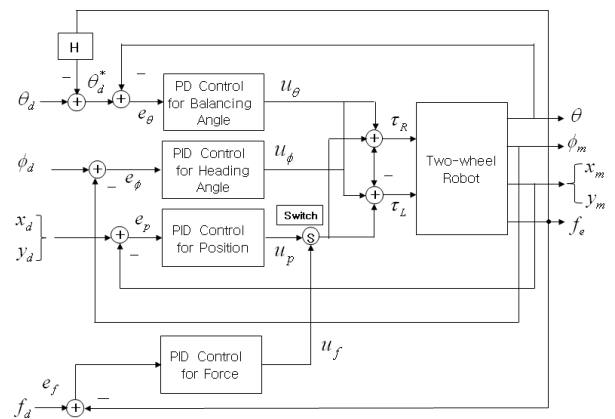


Fig. 4. Force control block diagram

힘의 성분에 의해 힘의 방향 또한 고려될 수 있지만 본 논문에서는 단일 방향, 즉 그림 5에 나타난 것처럼 x 축 방향을 가정한다. 그림 4에 하이브리드 힘제어 방식이 잘 나타나 있다. 밸런싱제어와 힘제어가 스위칭에 의해 변환된다.

3.3 외부힘에 따른 각도값

균형 로봇으로 외란의 영향이 없을 경우 안정적으로 자세를 유지할 수 있다. 하지만, 실제 제작의 경우 내부의 하드웨어 위치 및 부품의 불균형 등의 문제로 인해 무게 중심점이 정확하게 가운데에 위치하는 것이 어렵다. 이러한 경우에 기준 균형 각도 값을 영으로 하는 것 보다는 실험적으로 구한 오프셋 값으로 설정하는 것이 더 안정적인 균형 제어를 할 수 있다^[15].

외부힘이 인가될 경우 밸런싱제어에서 힘제어로 전환되어 제어가 작동하며, 자세를 유지하기 위해 힘센서에 균형제어로 인한 추가적인 힘이 발생하게 되어 불안정해지는 현상이 발생하게 된다.

따라서, 외부힘에 대한 기준 균형 각도값을 대응할 수 있는 값 (θ_d^*)으로 달리 설정하여 로봇이 낼 수 있는 자체적인 힘을 고려해 주었다. 외부힘(f_e)에 따른 보정된 균형 각도 값(θ_d^*)은 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_d^* = \theta_d + H \cdot f_e \tag{13}$$

여기서 $H=0.032$ 는 변환 상수값으로 실험적으로 구하며, θ_d^* 는 보정된 기준 각도이다. 따라서 외부 힘이 없을 경우 $f_e = 0$ 인 경우에는 $\theta_d^* = \theta_d$ 가 된다.

그림 5에서 보는 것과 같이 로봇의 기울기 각도(θ)를 달리하여 외부힘에 대응할 수 있다. 로봇이 외부힘에 대응하여 균형을 이룰 경우에 힘의 합은 다음과 같다.

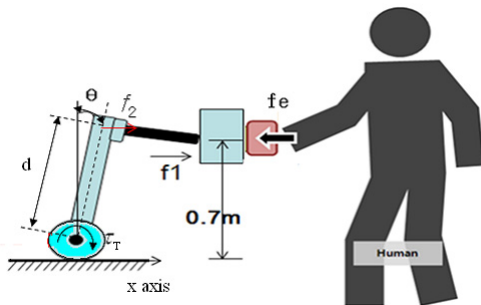


Fig. 5. Force representation

$$f_e = f_1 + f_2 \tag{14}$$

여기서 f_1 은 로봇의 기울임으로 발생한 무게중심점에서의 x 축 방향의 힘, f_2 는 모터의 구동 토크로 발생하는 x 축 방향의 힘을 나타낸 것으로 다음과 같다.

$$f_2 = \frac{\tau_T}{d \cos \theta} \tag{15}$$

여기서 τ_T 는 두 바퀴의 구동토크이고 d 은 바퀴의 중심에서 링크 끝까지의 길이이다.

따라서, 외부 힘에 따라 기준 균형 각도를 조정함으로써 모터의 토크값을 달리하여 협조 작업시 더 큰 힘에 대해 안정적으로 대응할 수 있게 된다.

4. 시스템 구성

실제 시스템 구조는 그림 6과 같다. 시스템의 전체 높이는 약 $0.7m$ 높이며, 상체부는 7개의 서보모터를 사용하여 양팔에 각각 3자유도, 허리부분에 1자유도를 갖도록 하며, 머리 부분에는 힘센서를 장착하여 외부힘을 인지하여 힘제어를 할 수 있도록 설계되었다. 서보모터는 RS485 통신에 의해 구동되며, 힘센서는 PC기반의 인터페이스를 사용하여 시리얼 통신을 통해 힘데이터를 DSP에 전송하기 때문에, RS232/485 모듈을 상체에 장착하였다.

하체부는 마이크로컨트롤러, DC모터, 엔코더, 모터드라이버, 그리고 센서가 장착되었다. 마이크로 컨트롤러는 TI TMS320F2812 DSP를 사용하였다. 기어비 1/17의 12V DC-motor를 사용하였으며, LMD18200으로 구동된다. 센서부는 기울기센서와 자이로센서를 Complementary Filter를 적용하여 각도를 측정하였다^[6,14]. Complementary Filter

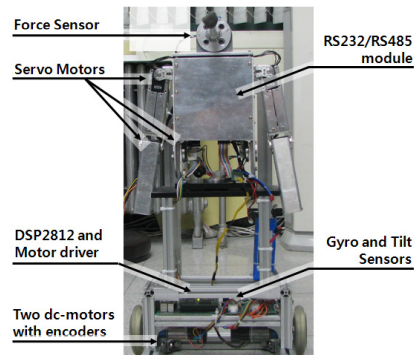


Fig. 6. Real balancing robot

는 저역통과 필터와 고역통과 필터로 구성되어 있는데, 상대적으로 응답이 낮은 기울기센서의 신호는 저역통과 필터를 통과시키고 자이로 센서의 신호는 고역통과 필터를 통과하게 한 다음, 두 신호를 합하여 사용한다. 이 때 컷오프 주파수는 실험적으로 구한다.

5. 실험

5.1 실험환경

전체 시스템의 구성은 그림 7에 나타나 있다. DSP2812를 사용하여 제어하였으며, 제어주기는 100Hz로 실험하였다. 힘센서(JR3)는 PCI 데이터 수집보드를 사용하기 때문에 DSP와 시리얼통신(baudrate : 9600)으로 힘데이터를 수집하였다.

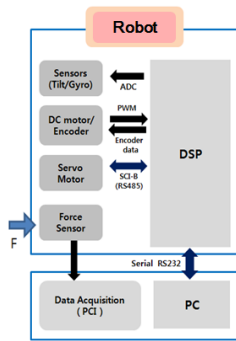


Fig. 7. Hardware structure of robot system

5.2 각도값에 따른 힘제어 영향

그림 8은 로봇에 의해 발생할 수 있는 토크를 힘으로 나타낸 것이다. f_1 은 모터의 구동이 없이 로봇의 기울임에 의한 중력 성분힘이며, f_2 는 모터의 구동에 의한 힘이다. 기준 각도 값의 변화가 없다면 기울임이 0인 상태, 즉, $f_1 = 0$ 이며, 로봇이 외부 힘에 대응할 수 있는 힘은 모터구동에 의한 f_2 이다. 기울임 상태가 없다면 외부힘(f_e)에 대해 f_2 만으로 대응해야 하며, 시스템을 안정적인 상태로 하기 위해서는 $f_e = f_2$ 가 되어야 한다.

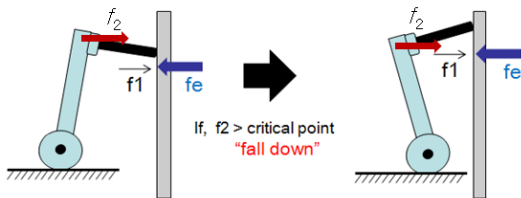


Fig. 8. External force about a balancing angle

하지만, $f_e = f_2$ 가 되기 위해서는 시스템을 정확히 알아야 하며, 힘센서로 인해 측정되는 f_e 가 정확해야 한다. f_2 가 빠르게 f_e 를 추종하지 못한다면, f_e 에 의해 각도오차가 발생하게 되며, 이것은 예기치 못한 f_1 의 발생한다. 또한, f_2 에서 발생하는 힘이 로봇의 자세를 유지할 수 있는 기준값보다 커지면 그림 8의 우측 그림과 같이 시스템의 자세가 무너지게 된다.

따라서, 식(13)과 같이 f_e 에 따른 기준 각도 값을 변화해주어 f_1 을 발생해주면 시스템을 더 안정화시킬 수 있다.



Fig. 9. Test of measuring force f_1

그림 9에서 보는 것과 같이 f_1 값을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 모터의 구동이 없이 로봇의 기울임만으로 낼 수 있는 힘, 즉 중력은 그림 10과 표 2와 같다.

그림 11은 f_e 에 따라 각도 값이 변화하는 것을 보여준다. 여기서 $\theta_d = 0.035$, $f_d = 1.2N$ 으로 설정하였다. K 는 실험적으로 얻은 상수값으로 0.4를 사용하였다.

측정된 외부힘은 센서오차와 노이즈의 영향이 있음을 고려하여 임계값을 설정해 놓고, 그 이상의 값에 대해서만

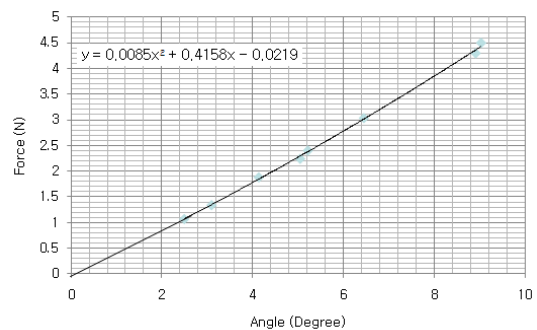


Fig. 10. Measurement data of force f_1

Table 2. f_1 of robot tilting

angle(rad)	f_1 (N)	angle(rad)	f_1 (N)
0.0174	0.40	0.1047	2.78
0.0349	0.84	0.1222	3.31
0.0523	1.30	0.1396	3.85
0.0698	1.78	0.1570	4.41
0.0872	2.27	0.1745	4.99

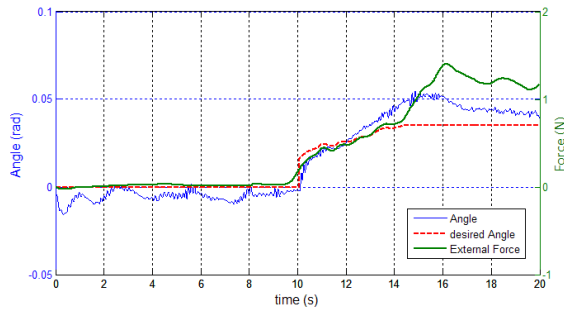


Fig. 11. Angle change with respect to f_e

식(13)에 의해 새로운 각도값을 생성해준다.

그림 12는 균형 각도값이 0으로 고정된 경우의 힘데이터를 보여준다. 그림 13에서 보는 것과 같이 기준 각도 값을 f_e 에 따라 바뀔 경우 힘추종 오차값(e_f)이 감소함을 확인할 수 있다.

그림 13에서는 16초에 힘제어에서 밸런싱제어로 바뀌는 부분을 보여준다. 여기서 밸런싱제어라 함은 각도와 위치를 영으로 유지하는 제어의 경우를 말한다.

5.3 힘제어 결과

외부 힘을 적용하는 실험을 위해 균형 로봇을 손으로 밀며 제어를 수행하였다. 그림 14에 실제 실험 모습이 나타

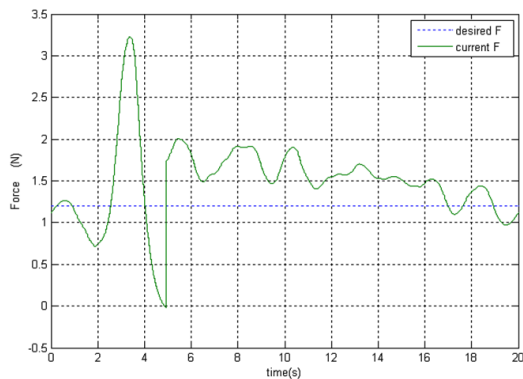


Fig. 12. Force when desired angle is 0

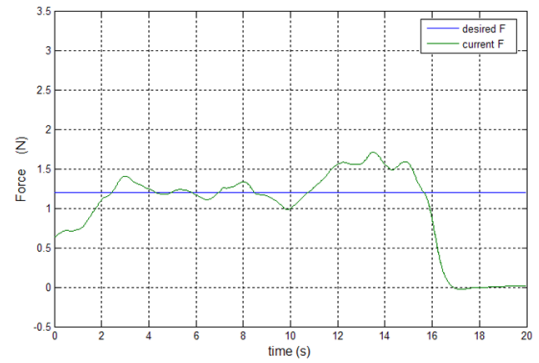


Fig. 13. Force error of angle change with f_e

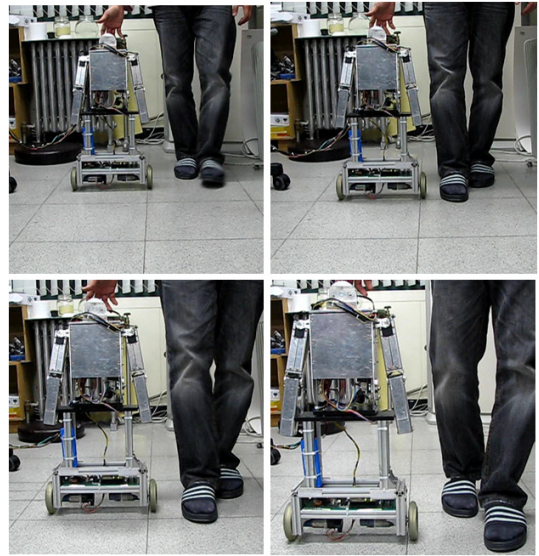


Fig. 14. Experimental demonstration

나 있다. 로봇이 넘어지지 않고 미는 방향으로 움직이는 것을 볼 수 있다.

그림 15와 그림 16을 보면 힘의 입력에 따라 각도 값이 변화하여 이를 추종하며 각도 값이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 그림 16은 힘값의 입력에 따른 하이브리드 제어의 전환을 보여준다. 힘의 입력이 없는 경우 자세유지를 하는 것을 확인할 수 있다(10-20초 구간). f_e 값을 기준으로 밸런싱 제어에서 힘제어로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

그림 17의 제어입력 값을 보면 각각 10초, 20초 지점에서 힘에서 밸런싱으로, 밸런싱에서 힘으로 전환되는 것을 보여준다. 힘제어에서 밸런싱제어로 전환되는 부분에서는 f_e 에서 순간적으로 f_e 값이 0으로 되어 기준 각도 값이 0으로 변화하기 때문에 순간적으로 큰 밸런싱 제어 입력값이 들어감을 확인할 수 있다.

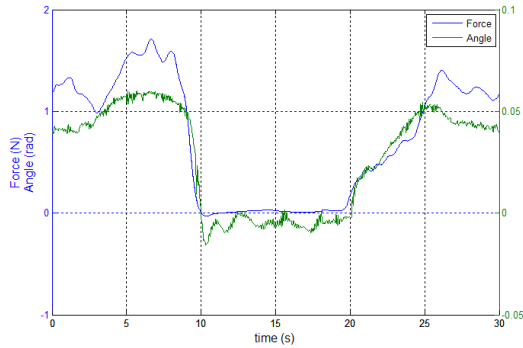


Fig. 15. Force and Angle data

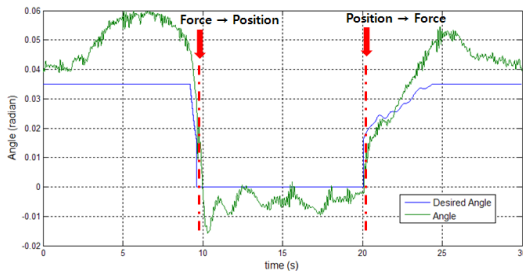


Fig. 16. Angle when switching control

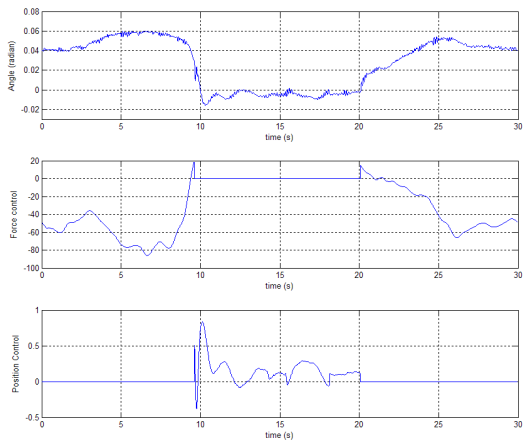


Fig. 17. Force when switching control

6. 결론

본 논문에서는 이론균형로봇과 인간과의 협조제어를 하기 위한 힘제어를 연구하였다. 적용된 힘에 따른 기준 각도 값을 달리 설정하는 방법을 제시하였다. 이를 증명하기 위해 로봇에게 힘을 가한 상태로 로봇이 이동하는 실험을 하였다. 기준 힘 f_d 값을 설정하여 로봇과 인간 사이의 물체에 일정한 힘을 가하여 밸런싱제어가 아닌 힘제어로 로봇

을 이동할 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 힘의 한 축에 대해서 실험을 하였지만, 추후과제로는 힘의 여러 방향을 고려한 상태를 연구하는 것이다.

References

- [1] F. Inoue, F. Murakami, and K. Ohnishi, "A motion control of a mobile manipulator with external force, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.6, no.2, pp.137-142, 2001.
- [2] T. G. Sugar and V. Kumar, "Control of cooperating mobile manipulators", IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.18, no.1, pp. 94-103, 2002.
- [3] Z. Li, S. S. Ge, M. Adams, W. S. Wijesoma, "Adaptive robust output feedback motion/force control of electrically driven nonholonomic mobile manipulators", IEEE Trans. on Control Systems Technology, vol.16, no.6, pp.1308-1315, 2008.
- [4] Z. Li, Y. Yang, and J. Li, "Adaptive motion / force control of mobile under-actuated manipulators with dynamics uncertainties by dynamic coupling and output feedback", IEEE Trans. on Control Systems Technology, vol.18, no.5, pp. 1068-1079, 2010.
- [5] "Segway.", <http://www.segway.com>
- [6] H. J. Lee and S. Jung "Control of a Mobile Inverted Pendulum Robot System", International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 217-222, 2008
- [7] K. Pathak, J. Franch, S. K. Agrawal, "Velocity Control of a Wheeled Inverted Pendulum by Partial Feedback Linearization", IEEE Conference on Decision and Control, pp. 3962-3967, 2004
- [8] S. H. Jeong, T. Takahashi, "Wheeled Inverted Pendulum Type Assistant Robot : Inverted Mobile, and Sitting Motion", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1932-1937, 2007
- [9] D. I. Choi and J. O. Oh, "Human- friendly Motion Control of a Wheeled Inverted Pendulum

by Reduced-order Disturbance Observer”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2521-2526, May, 2008

- [10] N. Hogan, “Impedance Control: An Approach to Manipulator, Part i, ii, iii”, ASME Journal of Dynamics Systems, Measurements, and Control, vol. 3, pp. 1-24, 1985
- [11] M. Raibert and J. Craig, “Hybrid Position/Force Control of Manipulators”, ASME J of Dynamic Systems, Measurements, and Control, vol. 102, pp. 126-133, 1981
- [12] S. Jung, T. C. Hsia, and R. G. Bonitz, “Force Tracking Impedance Control of Robot Manipulators Under Unknown Environment”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.12, No.3, May, 2004
- [13] S. Jung, T. A. Lasky, and T. C. Hsia, “Guard rail Collision Avoidance for Autonomous Robotic Vehicles by Automatic Steering Control Using an Explicit Force Control Algorithm”, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.265-170, July, 2005
- [14] H. J. Lee, S. Jung, “Development of Two Wheeled Car-like Mobile Robot Using Balancing Mechanism : BalBOT VII”, Journal of Korea Robotics Society, vol. 4, no. 4, pp. 289-297, 2009
- [15] H. W. Kim and S. Jung, “Experimental Studies of Controller Design for a Car-like Balancing Robot with a Variable Mass”, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol.20, no.4, pp. 469-475, 2010.



이 승 준

2006 충남대학교 메카트로닉스 공학과(공학사)

2010 충남대학교 메카트로닉스 공학과 지능로봇시스템전공(석사)

2010~현재 국립보건연구원

관심분야 : 이동로봇, 재활로봇

E-mail : sjgb123@hotmail.com



정 슬

1988 미국 웨인 주립대학교 전기컴퓨터공학과

1996 미국 캘리포니아 대학 데이비스 전기컴퓨터공학과 석사, 박사

1997~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수

관심분야 : 지능 로봇 시스템, 가정용 서비스 로봇 응용, 교육 로봇 개발

E-mail : jungs@cnu.ac.kr