

실험 계획법을 이용한 휴머노이드 발의 설계 및 해석

유영국*, 김진걸**

인하대학교 전기공학부 석사과정*, 인하대학교 전기공학부 교수**

Analysis and Design of Humanoid Robot Foot using the Design of Experiments

Young-Kuk Yoo*, Jin-Geol Kim**

School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon, South Korea*
(Tel : +82-32-860-7384; E-mail: drager007@nate.com)

School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon, South Korea**
(Tel : +82-32-860-7384; E-mail: john@inha.ac.kr)

Abstract - 휴머노이드 로봇은 기구적으로 불안정성을 내포하고 있기 때문에 이것에 대한 안정화를 하기 위해서 연구자들은 많은 방법을 사용하고 있다. 본 연구자는 실험 계획법(Design of Experiments)을 통해 본 연구자가 개발한 ISHURO-II의 발의 설계를 변경하였다. 퍼지 알고리즘을 이용하여 아랫부분에 장착된 FSR(Force Sensing Resistor)센서에서 ZMP(Zero Moment Point)의 값을 비교하여 더욱 안정된 보행이 가능하도록 하였다. 적용된 안정화 알고리즘의 성능은 VC++ 및 동역학 해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

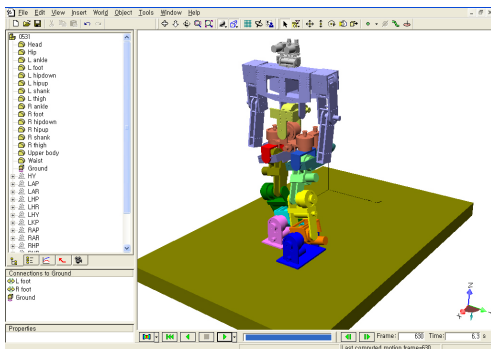
는 약 35kg으로 설계되었다. <표 1>은 ISHURO-II의 기구부 주요 재원을 나타낸다. ISHURO-II의 하체 프레임은 변형을 최소화 하면서 무게를 줄이기 위해 두랄루민을 사용하였으며, 동력전달에는 타이밍 벨트-풀리를 사용하여 소음과 백래쉬를 줄이고 기어비를 높였으며 인간과 유사한 형상의 설계가 가능하게 하였다. 모터와 벨트로 연결되어 각 관절의 구동단에 장착된 정밀감속기는 고강성, 고토크와 함께 높은 회전 정밀도를 지니고 있어 출력축 엔코더가 필요 없다는 장점이 있다.

1. 서 론

최근 지능형 로봇에 관한 관심이 높다. 그 중에서도 인간과의 대화, 접촉 또는 조작등에 반응하고 인간의 생활환경에 적응할 수 있는 휴머노이드 형태의 로봇에 관한 연구가 활발히 진행중이다. 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 구조를 가지므로 인간과의 협동 작업 및 인간이 수행하기 어렵고 위험한 작업을 대신할 수 있다. 이와 같이 휴머노이드 로봇이 인간과 협업하거나, 인간의 업무를 대신하기 위해서는 인간의 생활 공간에서 안정되고 자율적인 보행이 보장되어야 한다. 그러나 인간의 생활 공간은 실험실의 환경과 달리 복잡하게 이루어져 있으며 휴머노이드 로봇이 보행하기에 매우 난적인 요소가 된다. 기존의 연구들은 주변 환경에 대한 인식이 어렵고 단순한 보행 방식의 결정으로는 다양한 환경의 변화에 유연하게 대처하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 실험계획법을 이용한 발바닥 설계를 통하여 전에 설계되어 있던 발바닥과 새로 설계된 발바닥의 ZMP를 비교하여 좀 더 안정된 ZMP궤적을 얻어 내었다.

2. 본 론

2.1 ISHURO-II의 구성



<그림 1> ISHURO-II의 동역학 시뮬레이션 모습

본 논문의 연구 대상인 휴머노이드 로봇 ISHURO-II는 총 24 자유도를 가지고 있는 시스템으로 이를 세부적으로 보면 로봇이 사람과 유사한 움직임을 수행할 수 있는 각각 6 자유도를 가진 다리와, 몸체 보정을 위한 2자유도의 몸체, 비전 시스템이 장착된 4자유도의 머리, 물체를 원하는 위치로 보내기 위한 각각 3자유도의 팔을 가지고 있다. <그림 1>은 자체 제작된 휴머노이드 로봇 ISHURO-II를 나타낸다.

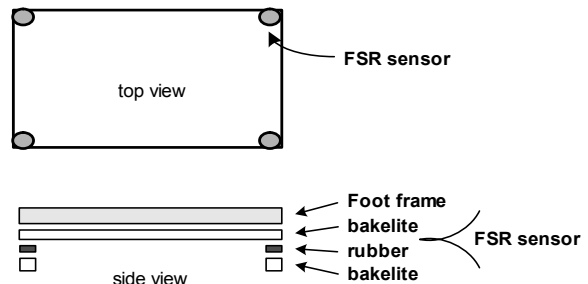
ISHURO-II의 전체 높이는 950.5mm, 최대 폭 290mm이며 전체 무게

<표 1> ISHURO-II Specification

Height	950.5 mm
Width	459 X 290mm
Weight	35kg
Foot	215mm X 140 mm
D.O.Fs	24
Actuator	RE - 40 DC motor (lower body)
Power	150 W (lower body motor)
Gear Ratio	1 : 199 (lower body)
FSR Sensors	Interlink FSRTM #400

2.2 기존 로봇발의 문제점

기존 휴머노이드 로봇의 발바닥 들은 인간의 발과 달리 굴곡이 없이 평평하게 제작되어 굴곡이 있는 지형이나 험한 지형에서는 직사각형의 네 귀퉁이에 있는 FSR 센서값을 받지 못한다. <그림 2>에서 제작되어 있는 ISHURO-II의 발의 형태 역시 직사각형의 평평한 백크라이트 판에 FSR 센서를 부착하고 그 아래 고무와 막대기 모양의 판을 붙임으로써 평지에서에서의 센서데이터의 값만을 측정할 수 있도록 설계되었다.



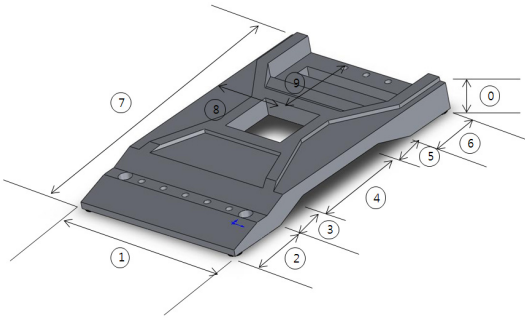
<그림 2> 기존 ISHURO-II의 발의 구성

2.3. ISHURO-II 발의 설계

본 연구자가 디자인한 <그림 3>과 같이 솔리드 워크스(Solid works 2008)을 통해 설계된 ISHURO-II의 새로운 로봇 발은 전과 같이 발바닥 표면에 양 사각 귀퉁이 네 곳에 FSR센서를 장착하였으며 센서값의 최적데이터 취득을 위하여 발목과 연결되는 부위의 데이터를 고려하여 설계하였다. 프레임의 무게와 강도 향상을 위해 가운데를 비움으로써 ISHURO-II의 무게 하중을 골고루 분산될 수 있게 설계하였다.

상세한 설계를 위해서 총 10개의 설계변수를 지정하였다. 본 연구자는 미니탐(Minitab 15)를 프로그램의 프래킷-버만(Plackett-Burmann) 해석법을 이용하여 민감도 측정을 하였다. 각 설계변수를 설계하고 그 변수를 여러 번 변경하여 각 부분에 미치는 무게하중, 센서하중, 마찰력 그리고 프레임의 휘어짐 등을 실험계획법을 이용하여 여러 번 재설계한

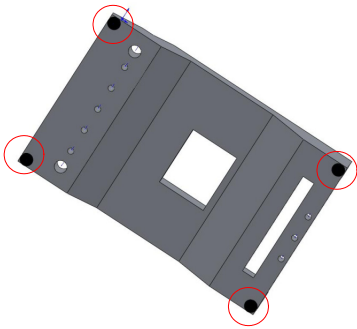
결과 최적화 된 변수의 값을 구할 수 있었다.



〈그림 3〉 새로 설계된 ISHURO-II의 발

2.4. FSR센서를 이용한 ZMP측정

본 연구에서는 FSR 센서의 출력저항의 값을 측정하기 위해 휘스톤브릿지를 이용하여 미지의 저항을 전압으로 변환하고 MICAZ에서 A/D변환 하기위해 출력입피드스를 낮추고 버퍼역할을 수행할 수 있게 Voltage Follower회로를 휘스톤브릿지 출력단에 연결하여 센서구동회로를 구성하였다. FSR센서의 배치는 무게중심을 고려하여 〈그림 4〉와 같이 배치하였다.



〈그림 4〉 FSR 센서의 위치

FSR센서는 입력 힘 대비 출력 저항이 선형적이지 않고 이력현상이 있고 입력 힘에 대해 시간에 따라 센서값의 변화가 생긴다. 그리고 센서의 특성상 힘을 받는 면적과 출력 저항의 변화와도 관계가 있기 때문에 수치교정은 정확한 측정을 위해서 중요하다. 본 연구에서는 수치 교정을 위해 두 가지 방법을 이용하였다. 하나는 초기화 설정이고 다른 하나는 ZMP조정이다.

첫째로 초기화 설정을 위해 FSR 센서의 초기화를 수행하였다. 기본적으로 FSR센서는 센서에 입력을 주지 않아도 A/D변환해보면 노이즈 같은 외부 환경요소나 센서의 사용빈도에 따른 수명과 관련된 내부요소에 의하여 일정한 값이 측정된다. 이에 본 연구에서는 FSR센서의 외부요소나 센서의 사용 빈도에 따른 노이즈 성분을 필터를 이용하여 센서의 초기값을 결정하였다. 식(1)은 FSR 센서의 초기화 식이다.

$$ADR_{i,measure} = ADR_{i,real} - ADR_{i,offset}$$

$$ADR_{i,offset} = \frac{\sum_{i=1}^n ADR_i}{n} \quad (1)$$

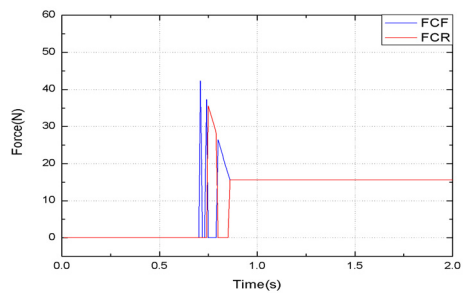
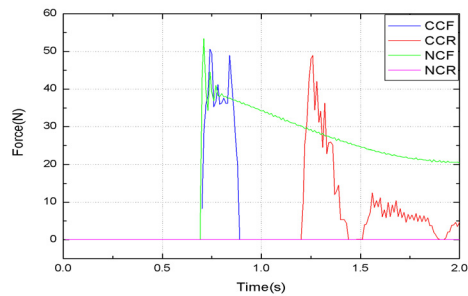
여기에서 $ADR_{measure}$ 은 최종 출력 값, ADR_{real} 은 실제 변환된 값, ADR_{offset} 은 하중을 받지 않은 상태에서 측정된 센서값의 평균값이다. 본 연구에서는 센서로 휴머노이드 로봇의 ZMP를 측정하기 위해서 한쪽 다리에 4개씩 총 8개의 센서가 사용하였다. 이 센서들로부터 ZMP는 다음과 같이 계산되어진다.

$$X_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^8 f_i x_i}{\sum_{i=1}^8 f_i}, Y_{zmp} = \frac{\sum_{i=1}^8 f_i y_i}{\sum_{i=1}^8 f_i} \quad (2)$$

식(2)에서 x_i, y_i 는 기준위치로부터 i번째 센서들의 위치좌표, f_i 는 i

번째 센서에서 측정된 힘을 나타낸다. 센서에 동일한 힘으로 입력을 줄 때, 센서마다 조금씩 다른 드리프트나 센서와 지면사이에서 센서에 힘을 전달하기 위한 중간층의 재질과 그 층과 센서와 닿는 면적에 따라 측정되는 힘이 다르다. 즉, 동일한 입력에 대해 상대적으로 서로 다른 힘이 측정되기 때문에 ZMP위치가 달라진다. 따라서 초기에 ZMP를 보정해야 좀 더 정확한 측정이 가능하다.

ZMP위치 보정방법은 발바닥의 중앙에 지면과 수직인 방향으로 일정한 힘을 가하게 되면 그 힘은 분산되어 발바닥의 4개의 센서로 전달되게 되는데, 4개의 센서에 모두 동일한 힘이 측정되지 않을 수 있기 때문에 측정값이 가장 낮은 센서측정값을 기준으로 측정된 값을 맞추는 방법을 사용하였다. 아래 〈그림 5a〉는 기존의 로봇발을 사용했을 때의 그래프이다. 지면과 접촉 후 앞꿈치가 지속적으로 지면을 미는 현상과 앞꿈치로 접촉 후 다시 뒤꿈치가 지면에 닿고 미끄러지면서 양 발의 앞꿈치가 지면에서 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 〈그림 5b〉는 제안된 방법에 의해 얻어진 ZMP값으로 지면에 발을 내딛었을 때의 센서값을 나타낸다. 접촉 이후 앞쪽과 뒤쪽 센서값이 반복되다가 약 0.9초 이후 일정한 값을 이루는 것을 볼 수 있다.



〈그림 5〉 (a) 예전 ISHURO-II의 ZMP 값 (b) 새로운 ISHURO-II의 ZMP 값

3. 결 론

본 논문에서는 실험 계획법을 이용하여 ISHURO-II의 발의 설계에 최적화 과정을 적용함으로써 효과적인 로봇발을 설계할 수 있었다.동역학 시뮬레이션과 VC++을 통해 ZMP데이터를 비교하여 전의 설계된 로봇 발보다 현재 설계된 로봇발이 더욱 안정화 되어있음을 확인하였다.

향후 보다 다양한 센서의 장작을 통해 다양한 외부환경에서 자율적으로 안정되게 보행할 수 있는 실시간 자율보행 알고리즘을 구현하고 새로운 발의 실제적인 설계를 통하여 실제 휴머노이드 발에 적용함으로써 실제 환경에서 로봇의 보행실험을 하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2007년도 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(R-2007-2-059) 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] Kim, D. Seo, S. Park, G., "Zero-moment point trajectory modeling of a biped walking robot using an adaptive neuro-fuzzy system", *Proc. of IEE Control Theory*, vol.152, pp.411-426, 2005.
- [2] 윤지원, 박태원, 정성필, 박중경, "실험계획법에 의한 휴머노이드 발의 민감도 해석 및 최적화", 대한기계학회 춘추학술대회, pp.2113-2118, 2007.
- [3] Kajita, S. Kanehiro, F. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi, K. Hirukawa, H., "Biped Walking Pattern Generation by using Preview Control of Zero-Moment Point", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp.1620-1626, 2003.