

# 4족 보행 로봇의 미끄러운 지면 보행을 위한 마찰력 측정 알고리즘 Friction Measurement Algorithm for Quadruped Robot Walking on the Slippery Ground

\*류대현<sup>1</sup>, #한창수<sup>1</sup>, 윤덕원<sup>1</sup>, 최윤성<sup>1</sup>

\*D. H. Ryu<sup>1</sup>, #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)<sup>1</sup>, D.W.Yun<sup>1</sup>, Y.S.Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 기계공학과

Key words : Friction Measurement Algorithm, Quadruped Robot, 1-leg platform, Slippery Ground

## 1. 서론

4족 보행 로봇은 차륜(Wheel)형, 궤도(Track)형 등 다른 어떤 형태의 지상 모바일 로봇 보다 비정형화된 지면에서 안정적인 보행이 어렵다. 따라서 지면의 상태에 상관없이 안정적인 보행을 보장하기 위해 지면에 대한 정보를 파악하고 인식하여 안정적인 보행을 구현하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

먼저 4족 보행 로봇이 보행 중 각 지면에 대한 정보를 각종 센서로부터 받아 지면을 분류하는 연구가 진행되었다. Amy C.Larson 등은 보행하는 로봇에 경사계를 부착함으로써 각 지면에 따라 다르게 나타나는 신호를 이용하여 지면을 인식하였고[1][2], Dupont E. M 등은 IMU 센서를 이용하여 로봇의 이동시 발생하는 진동 파형을 FFT 신호분석을 함으로써 각 지면에 대한 고유의 특징 주파수를 찾아내는 연구를 하였다[3]. 그리고 Kisung Kim 등은 GA(Genetic Algorithm), ANN(Artificial Neural Network), SVM(Support Vector Machine), PCA(Principal Component Analysis) 등 여러 가지 알고리즘을 이용하여 지면 분류 및 인식에 대한 연구를 수행 하였다[4]. 본 연구에서는 로봇의 미끄러운 지면을 보행 할 때 전복이나 미끄러짐에 의한 불안정한 보행을 방지하기 위해 마찰력 측정 알고리즘을 제안한다.

## 2. 마찰력 측정 알고리즘

본 논문에서 제안하는 마찰력 측정 알고리즘은 보행 중인 로봇이 지면과 접촉 시 발생하는 힘들을 이용하여 마찰력을 측정하는 방법이다. 이 알고리즘은 지면 반력과 마지막 관절의 토크, 각도를 이용한다. Fig.1은 4족 보행 로봇의 지면과 접촉되는 마지막 링크에 작용하는 힘을 자유물체도로 표현하고 있다. 마찰력 측정 알고리즘은 다음과 같다.

먼저 로봇의 보행 시 로드셀로부터 측정 되는 힘(R)은 마찰력(F)과 수직항력(N)에 의한 힘으로 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$R = N \cos\theta - F \sin\theta \quad (1)$$

그리고 지면과 접촉하는 링크에 연결되는 관절의 토크값은 중력에 의해 발생하는 모멘트와 링크 말단 부분에 발생하는 힘으로 다음과 같이 표현된다.

$$M/L = N \sin\theta + F \cos\theta - mg \left(\frac{L_g}{L}\right) \sin\theta \quad (2)$$

따라서 식(1)과 식(2)로부터 마찰력(F)과 수직항력(N)에 관한 식(3)과 식(4)로 유도되며,

$$F = \left(\frac{M}{L}\right) \cos\theta - R \sin\theta + mg \left(\frac{L_g}{L}\right) \sin\theta \cos\theta \quad (3)$$

$$N = \left(\frac{M}{L}\right) \sin\theta + R \cos\theta + mg \left(\frac{L_g}{L}\right) \sin\theta^2 \quad (4)$$

마찰계수( $\mu$ )에 관한 식(5)을 정의 할 수 있다. 이로써 마지막 링크에 작용하는 힘들을 이용하여 마찰계수를 추정할 수 있다.

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{M \cos\theta - LR \sin\theta + mg L_g \sin\theta \cos\theta}{M \sin\theta + LR \cos\theta + mg L_g \sin\theta^2} \quad (5)$$

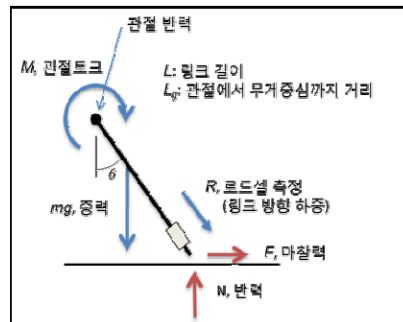


Fig. 1 FBD(Free Body Diagram) of last link

### 3. 실험 환경 구성

보행 중 마찰력 측정 알고리즘에 대한 검증실험을 하기 위하여 1-leg platform을 제작 하였다(Fig.2). 1-leg platform은 5 DOF(2 passive joint, 3 active joint)로 구성되어 있으며, 각 Active joint에 토크셀이 부착되어 토크를 측정할 수 있다. 또한 다리의 끝단에는 로드셀이 부착되어 있어 지면과 접촉 시 지면 반력을 측정할 수 있다. 그리고 로봇 상단에 설치된 Linear guide는 보행의 이동궤적을 형성하기 위해 설치하였고, 수평방향과 수직방향으로 움직인다.

마찰력 측정 검증 실험을 위해 두 가지의 지면을 구성하였다. 먼저 미끄러운 지면의 경우 알루미늄 판에 윤활유를 뿌려 미끄럽게 하였고, 미끄럽지 않은 지면의 경우 벽돌을 이용하였다.

### 4. 알고리즘 검증 실험 및 결과

4족 보행 로봇의 보행 시 마찰력 측정 알고리즘을 검증하기 위하여 미끄럽지 않은 지면과 미끄러운 지면에서 실험을 하였다. Fig.3과 Fig.4는 보행 1 cycle에서 지면과의 접촉 시 측정되는 약 20번의 마찰력 결과를 나타내었다. Fig.3는 미끄럽지 않은 지면에서 보행하는 로봇의 마찰력 측정 그래프이다. 이 지면의 운동 마찰력은 0.70~0.83의 범위를 갖으며, 보행로봇의 보행 시 측정된 마찰력은 운동 마찰력 범위 안에 속하지 않는다. 따라서 보행 로봇은 이 지면에서 미끄러지지 않음을 알 수 있다. Fig.4는 미끄러운 지면에서 보행하는 로봇의 마찰력 측정 그래프이다. 이 지면의 운동 마찰력은 0.22~0.30의 범위를 갖는다. Fig.3의 결과와 다르게 Fig.4에서는 운동 마찰력 범위 안에 마찰력이 측정되는 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 보행하는 로봇이 이 지면에서 미끄러짐을 알 수 있다.

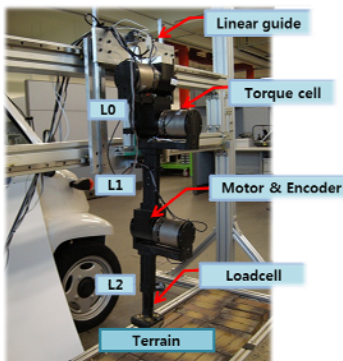


Fig. 2 1-leg platform system

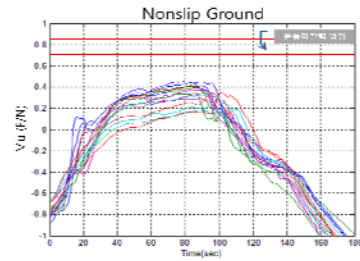


Fig. 3 Friction Measurement in walking on nonslip ground

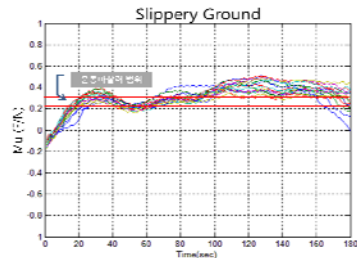


Fig. 4 Friction Measurement in walking on slippery ground

### 5. 결론

본 연구에서는 마찰력 측정을 위한 알고리즘을 제안하고 미끄러운 지면과 미끄럽지 않은 지면에 대하여 마찰력 측정 실험을 하였다. 이로써 제안된 마찰력 측정 알고리즘으로 마찰력을 측정할 수 있음을 증명하였다.

### 후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0020935).

### 참고문헌

1. A.C. Larson, R.M. Voyles, J. Bae, R. Godzdzankar, "Evolving Gaits for Increased Selectivity in Terrain Classification," Intelligent Robots and Systems, 3691-3696, 2007.
2. A. Larson, R. Voyles, and G. Demir, "Terrain classification through weakly-structured vehicle/terrain interaction," Robotics and Automation, 218-224, 2004.
3. Dupont, E. M., Moore, C. A. Collins, E. G., Jr., Coyle, E., "Frequency response method for terrain classification in autonomous ground vehicles", Autonomous Robots, 2008.
4. Kisung Kim, Kwangjin Ko, Wansoo Kim, Seungnam Yu, Changsoo Han "Performance Comparison between Neural Network and SVM for Terrain Classification of Legged Robot," SICE Annual Conference, 1343 - 1348, 2010.