다리형 로봇의 가감속에 기인한 Pitch 저감을 위한 메커니즘

The mechanism for the reduction of pitch due to acceleration and deceleration of legged robots

*신동환, 정승민, 김영식, #안진웅

*D. H. Shin, S. M. Jeong, Y. S. Kim, #J. U. An(Robot@dgist.ac.kr)

대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

Key words : legged robot, pitch-over, traction, acceleration, longitudinal mass drift

1. 서론

본 연구에서는 고관절부에만 액츄에이터가 장착된 다리형 로봇[1][2]의 가감속 시 발생하는 종방향 무게 쏠림 현상에 기인한 Pitch량과 이를 저감하기 위한 메커니즘적 검토에 대해 논의한다.

차량이나 이동 로봇등과 같은 모바일 시스템에서는 가감속에 의해 종방향 무게 쏠림이 발생되고, 이 쏠림량에 기인한 Pitch가 발생된다. 이 Pitch량이 임의의 값 이상이 되면 Pitch 방향으로 전복이 되는 Pitch-Over가 발생된다. 물리적으로 Pitch가 발생되면, 앞 열(급 가속 시)이나 뒷 열의 다리 또는 바퀴(급 감속 시)가 들리게 된다. 통상적인 차량의 경우, 기하학적 종횡비인 H/L (여기에서 L은 앞 바퀴와 뒷 바퀴간 거리, H는 무게중심과 지면간 거리; 가감속 시 발생되는 관성에 의한 무게 쏠림량에 비례관계를 가짐)가 작은 값을 가지므로 발생되는 쏠림량도 작으며, 현가 장치가 별도로 Unsprung Mass와 Sprung Mass 사이에 장착되어 있으므로, 평지 고속 주행 시 쏠림량에 의해 발생되는 Pitch의 양도 작으며, 경사길이나 지면에 요철이 있는 경우에도 차체의 안정적인 주행에 기여하게 된다.

이에 비해 현가 장치의 적용이 쉽지 않은 다리형 로봇의 경우, 컨셉 설계 및 보완 단계에서 가감속 시 발생되는 무게 쏠림량과 이에 기인한 Pitch량에 대한 고려가 필요하다.

2장에서는 4족 다리형 로봇[1][2]에서 무게 쏠림에 의해 발생되는 Lost Gait(지면과 닿지 않고, 공중에서 헛발질하여 Traction(견인력) 생성에 기여하지 않음) 사례 및 Pitch-Over 사례와 쏠림량의 정량적 산출에 대해 논의한다. 3장에서는 4족 다리형 로봇에서 무게 쏠림량을 저감시키고, 쏠림에 의해 생성된 Pitch를 저감시킬 수 있는 몸체의 형상 설계 방안 및 메커니즘적 보완 방법에 대해 논의한다. 4장에서는 본 연구의 결론에 대해 기술한다.

2. 무게 쏠림 효과 및 쏠림량의 정량적 검토

여기에서는 4족 다리형 로봇[1][2]에서 무게 쏠림에 의해 발생되는 Lost Gait 사례 및 Pitch-Over 사례에 대해 알아보고, 쏠림량의 정량적 검토에 대해 논의한다.

Fig. 1은 가속 상황에서 무게 쏠림 및 발생된 Pitch에 의한 Lost Gait 사례를 보여준다.

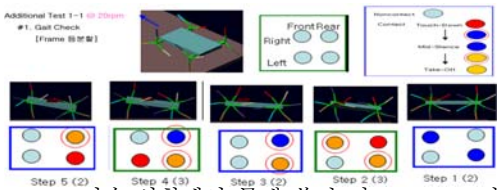

Fig. 1 가속 상황에서 무게 쏠림 및 Lost Gait 사례

동적 시뮬레이션 조건은 고관절부에만 액츄에이터가 장착된 4족 로봇을 대상[1][2]으로 정지 상태(step 1)에서 가속이 되는 주행 상황을 모사하였다. Fig. 1의 하단 5개의 그림은, 동일한 시간 간격을 가지는 5 frame만을 나타낸 그림(step 1 ~ step 5)이다. 그림과 같이 가속이 되는 상황에서 앞쪽 몸체가 들려, 앞 열 다리가 지면과 닿지 않아(step3, step5), 결과적으로 Traction 생성에 기여하지 않음을 나타낸다. 이 때 각각의 Hip Joint에 장착한 모터들의 각속도 지령은 20rpm으로 인가하였다. 이 경우, Pitch방향으로 전복되는 Pitch-Over는 발생되지 않았다.

Fig. 2는 동일한 시뮬레이션 환경에서 모터 각속도 지령을 75rpm으로 인가하였을 때, Pitch-Over가 발생된 사례를 나타낸다.

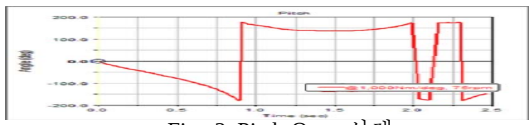

Fig. 2 Pitch-Over 사례

0.9초에서 Pitch 값이 -180deg에서 180deg로 급격히 바뀌는 즉 물리적으로 뒤집어 지는 현상을 나타낸다.

다음으로 가감속에 기인한 쏠림량 산출에 대한 정량적 검토에 대해 논의한다. Fig. 3은 바퀴형 플랫폼의 정적인 상태의 자유물체도를 나타낸다.

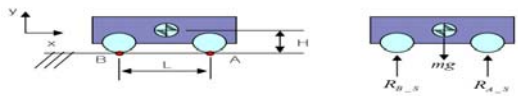

Fig. 3 바퀴형 플랫폼의 정적상태 자유물체도

해당 자유물체도는 본 논문에서 논의하는 고관절부에만 액츄에이터가 장착된 다리형 로봇에도 그대로 적용 가능하다. 힘평형과 A점에서의 모멘트평형조건을 통해 아래 (1)식이 도출되었다.

$$\therefore R_{A_S} = R_{B_S} = \frac{mg}{2} \qquad (1)$$

R_{A_S}는 A지점에서의 정적 수직 하중(반력)이다.

Fig. 4는 x방향으로 가속이 발생할 때, 무게 중심에 작용하는 가속도에 의한 반력 즉 관성력을 나타낸 자유물체도이다.

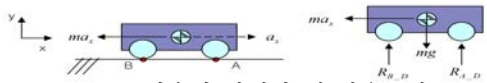

Fig. 4 가속이 발생될 때 자유물체도

A점과 B점에서의 모멘트 평행 조건을 통해 동적 수직하중을 식 (2), 식 (3)과 같이 도출할 수 있다.

$$\therefore R_{B_D} = \frac{mg}{2} + ma_x \times \frac{H}{L} \quad (2)$$

$$\therefore R_{A_D} = \frac{mg}{2} - ma_x \times \frac{H}{L} \quad (3)$$

Fig. 5는 무게 쏠림량을 산출하기 위한 자유물체도이다.

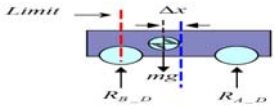

Fig. 5 무게 쏠림량 산출을 위한 자유물체도

이를 통해 얻을 수 있는 무게 중심 이동량은 다음과 같다.

$$\therefore \Delta x = \frac{R_{B_D} \times L}{mg} - \frac{L}{2} = \frac{a_x}{g} H \quad (4)$$

결과적으로 a_x의 가속도를 가질 때, $\triangle x$의 무게 중심의 이동(무게 쏠림)이 발생됨을 알 수 있다. 여기에서 Fig. 5에서 나타낸 것과 같이, 무게 중심 이동량이 뒷 바퀴를 넘어서지 않도록 한계를 설정하면, H/L비가 결정된 상태에서 시스템이 낼 수 있는 a_x의 한계치 (a_{x_MAX})와, requirement로 a_x가 결정된 상태에서 설계 요소로 고려해야 할 H/L비의 한계치 $\{H/L\}_{MAX}$는 각각 다음의 (5)식, (6)식과 같다.

$$\therefore a_x < \frac{g}{2} \times \frac{L}{H} = a_{x_MAX} \quad (5)$$

$$\therefore \frac{H}{L} < \frac{g}{2a_x} = \left(\frac{H}{L}\right)_{MAX} \quad (6)$$

차량의 경우, 통상적인 운전자가 가속 페달을 밟아서 생성 시킬 수 있는 종방향 가속도를 감안하여 H/L을 설계하므로, 대부분의 가속, 감속 환경에서 앞 바퀴나 뒷 바퀴가 들리는 현상이 발생하지 않고, Pitch가 발생하더라도, 현가 시스템에서 감쇠시켜준다.

이에 반해, 현가 시스템의 장착이 어려우면서, H/L선정에 대한 자유도가 떨어지는 다리형 로봇에서는 요구되는 고속 주행 성능을 위해 추가적인 메커니즘적 보완이 필요하다.

3. 종방향 무게쏠림 저감을 위한 메커니즘 검토

가감속 시 발생할 수 있는 종방향 무게 쏠림량을 설계치수 선정 단계에서 최소화하는 것이 1차적인 과업이 되며, 제약이 있을 때는, 아래와 같이 Body 형상 검토 및 추가적인 메커니즘적 보완이 필요하다.

1) 무게 쏠림량을 줄이기 위한 검토 : H/L design
2) 무게 쏠림량에 의해 생성된 Pitch를 줄이기 위한 검토 : Pitch inertia design

3) Pitch 저감을 위한 추가적인 메커니즘 구조

가속에 의해 생성된 쏠림량 그리고 이 쏠림량에 기인하여 pitch를 유발하는 모멘트의 관계를 무게 중심의 dynamics로 나타내면 다음과 같다.

$$J_c \ddot{\theta}(t) = M_p = mg\Delta x$$

따라서 발생된 쏠림량에 기인한 Moment에 대해, pitch량을 최소화하기 위해서 pitch방향 inertia인 J_c를 키우는 방법을 강구할 수 있다.

$$J_c = \int r^2 dm$$

이를 위해, 무게 중심으로부터 멀어지는 위치에 mass를 크게 가지도록 배치하는 형태가 바람직하다. 따라서 다음과 같은 Body 형상을 고려할 수 있다.

Fig. 6 pitch 저감을 위한 Body 형상

마지막으로 1)과 2)의 방안으로도 요구되는 고속 주행 능력을 만족하기 힘든 경우(공간 상 제약, 공기역학적 Air-Drag 등)에는, 다음과 같은 메커니즘적 추가를 통해, Pitch 저감 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 7은 Pitch 저감을 위해 메커니즘적 추가 요소가 반영된 구조를 나타낸다.

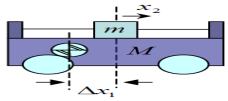

Fig. 7 무게 쏠림량 보상 메커니즘 구조

보정질량 m이 초기 무게 중심 위치에 배치하고 좌우측의 Actuator를 통해, 가속 시 발생되는 무게 쏠림량을 보상하는 구조를 가지고 있다.

이 때, 보정질량의 변위는 다음과 같이 산출할 수 있으며, 모터 작동을 위한 지령으로 사용할 수 있다.

$$x_2 = \frac{M}{m}\Delta x_1 = \frac{M}{m} \times \frac{a_x H}{g} \quad (7)$$

4. 결 론

본 논문에서는 고관절부에만 모터가 장착된 4족 로봇을 대상으로 가감속 시 발생되는 종방향 무게 쏠림량의 정량적 산출과 이를 저감하기 위한 메커니즘 방안에 대해 검토하였다. 추후 수정 플랫폼 제작에 반영하여 무게 쏠림에 대한 보정 효과를 검증하고자 한다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권오석, 신동환, 안진웅, “복합지형 주행을 위한 생체모방 로봇 개념 연구”, KSPE 추계학술대회, pp.139-140, 2009
2. 신동환, 김영식, 권오석, 공동욱, 안진웅, “생체모방 모바일 로봇용 Two Segment Leg에 대한 연구”, KSPE 춘계학술대회, pp.1271-1272, 2010