

무게평형진자를 가진 4족 로봇의 보행 실험

유재명*(중앙대 원), 오상관(중앙대 원), 김영탁(중앙대)

Walking test of a quadruped robot with weight balancing oscillator

J. M. Yoo, S. G. Oh(Graduate School of Chung-Ang Univ.), Y. T. Kim(Chung-Ang Univ.)

ABSTRACT

Quadruped walking robot requires dynamic control to keep its stability in high speed walking. To keep its walking stability by control of only legs' joint angle lowers energy efficiency. It is known that an animal or a human use the moving of the mass center of one's upper body to keep the stability. We have developed a quadruped walking robot with weight balancing oscillator that have high energy efficiency. In this study, walking tests are performed for the robot to verify the validity of the weight balancing oscillator..

Key Words : Quadruped Robot (4 족 로봇), Weight Balancing Oscillator(무게평형진자), Trot Gait (속보 걸음새), Walking stability (보행 안정성)

1. 서론

최근 산업 사회의 급속한 발전과 더불어 로봇이 다양한 분야에 응용되어지고 있다. 특히 위험한 작업 현장에서 인간을 대신하여 작업을 수행할 수 있는 자율 이동 로봇에 대한 관심이 모아지고 있다.

자율 이동 로봇의 이동 수단으로 바퀴나 무한궤도등이 이용될 수 있으나, 이것은 장애물과 같은 환경에 대한 적응 능력이 떨어진다. 따라서 비평탄지 및 장애물, 계단등에서 우수한 이동성을 보이는 다리를 가지는 보행로봇에 대한 연구가 필요하게 되었다.

1960년대 말 보행 로봇의 기초 이론이 정립된 후¹⁾, 걸음새·안정성·제어·기구적 메커니즘등을 1족, 2족, 4족, 6족 등의 다양한 보행 로봇에 적용하고 있다. 그 중 4족 보행 로봇은 다양한 동적 걸음새 구현으로 인한 보행 속도를 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다.

4족 보행 로봇의 동적 걸음새(Dynamic gait)를 구현하는 보행 로봇이 1989년 Hirose 에 의해 개발된 이래²⁾ 1990년대 초반부터 평지를 포함한 비평탄 지형을 빠르게 보행하면서 동체의 균형을 유지하는 방법에 관한 연구^{3,4)}가 지속되고 있다. 안정된 자세를 위해 동체의 균형을 유지하는 첫번째

방법은 동체에 고도센서와 자이로센서를 부착하고 동체의 기울기를 측정하여 몸을 상하로 진동하는 방법⁵⁾이 있다. 이것은 입력된 센서 신호를 처리하는 시간이 필요하다. 따라서 전체적인 보행 속도가 느려지는 단점이 있다. 다른 한가지 방법으로는 몸을 좌우로 기울여 균형을 유지(tilting)하는 방법^{7,8)}이다. 이것은, 4 다리의 자유도(Degree of Freedom) 갯수의 합이 최소 12 개를 가져야 하므로, 자유도(Degree of Freedom) 수에 따른 동역학적 계산식과 제어 시스템이 복잡해진다. 또 다른 방법은 인간과 같이 상체를 흔드는 방법(trunk motion)⁹⁾이 있다. 이상의 방법은 모두 로봇의 제어기가 외부에 부착되어 있어 완전한 의미의 자율이동로봇이라 할 수 없다.

로봇의 안정성을 유지하기 위한 또 다른 방법으로 무게평형진자(Weight Balancing Oscillator : WBO)를 이용¹⁰⁾한 방법이 있다. 이것은 불필요한 중량의 추가로 인한 로봇 시스템의 전체 중량이 무거워질 수 있으나 제어시스템이 간단하고, 소형 로봇에 응용될 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 속보 걸음새(trot gait)로 구현되는 4족 로봇의 보행시 안정성을 높이기 위해 무게평형진자(WBO)를 사용하며, 이것의 운동으로 인해 로봇의 보행이 안정을 유지할 수 있음을 실험을 통

해 증명한다.

2. 이전의 작업

2.1 보행로봇의 구조

제작된 로봇은 각 다리에 2 개의 관절과 3 개의 링크를 가지며, 링크 2 와 링크 3 은 평행사변형 연동 구조로서 발바닥의 위치는 링크 2 에 의해 결정된다. 동체의 중앙에는 무게평형진자(WBO)가 있고, 상단부에는 로봇의 제어가 탑재되어 있다.

Fig. 1 에 제작된 4 족 보행 로봇을 보인다.

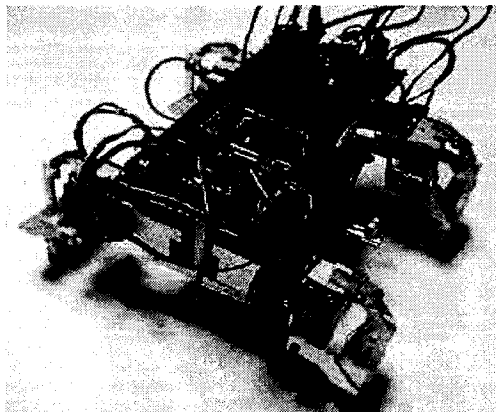


Fig. 1 Overview of quadruped robot

2.2 무게평형진자(WBO)의 구조

정적 걸음새는 보행중에 지지하는 형태가 다각형으로 나타나지만, 동적 걸음새 중 속보 걸음새(trot gait)는 지지하는 축이 대각선 형태로 나타난다. 따라서 로봇의 무게중심을 이동하여야만 로봇이 안정된 보행을 하게 된다. 이를 위해 각 다리에 3 개의 자유도를 가진 로봇이 몸체를 흔들면서 무게중심을 이동하는 방법이 많이 사용되어졌다. 그러나, 2 관절 로봇의 경우는 몸체를 흔들 수 있는 관절이 부족하기 때문에 이를 해결하기 위해 무게평형진자(WBO)를 제작하게 되었다. 앞에서 언급된 바와 같이 이것은 로봇의 중량이 무거워질 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 없애기 위해 자율이동을 위해 탑재되어 있는 전원용 건전지를 구성품으로 한 무게평형진자(WBO)를 제작하였다.

Fig. 2 는 제작된 무게평형진자(WBO)이고, Table 1 에 로봇의 주요사양을 나타낸다.

3. 무게평형진자(WBO)의 계적계획

보행 로봇이 동적 걸음새를 수행할 때에는 중력에 의한 모멘트를 상쇄시키는 것이 필요하다. 이

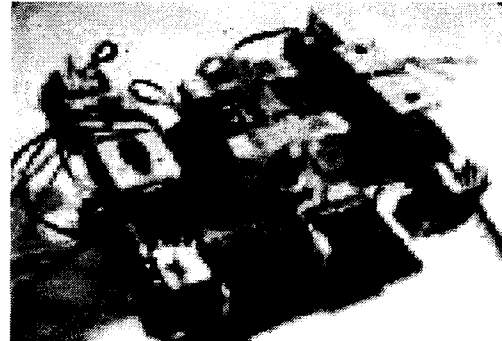


Fig. 2 Overview of Weight Ballancing Oscillator

Table 1 The specification of the robot

Item		Unit	Value	
D I M E N S I O N	Body	Length	16.8	
		Width	7.0	
		Height	6.6	
	Leg	Link 1	cm	4.8
		Link 2		3.9
		Link 3		4.1
	Height	Maximum	0.7	
		Minimum	7.5	
Capacity	Weight	All	Kg	1.85
		WBO		0.65
		Battery		0.39
	WBO	Stroke	cm	14.5
		Max. speed	cm/s	41.7
Load	Maximum	kg	1.02	
Maximum speed		cm/s	6.25	
Gait Period		sec	0.8	
Stride		cm	5.0	
Number of Legs			4	
Weight valancing oscillator		ea	1	
Active D.O.F(include WBO)			9	

때에 사용되는 것이 무게평형진자이며 이것의 가속도 방향은 보행방향과 이에 직교 하는 방향, 두 가지가 있다.

로봇이 속보 걸음새(trot gait)로 보행을 할 경우엔 지지축의 방향이 순간적으로 바뀐다. 그러나 직교 방향은 같은 방향을 유지한다. 가속도의 방향을 순간적으로 변화시키는 것은 로봇의 불안정한 보행을 유발할 수 있으므로 무게평형진자의 가속도(순

동) 방향은 직교방향만 제어한다. 단, 로봇의 몸체는 진행방향으로 등속운동을 한다.

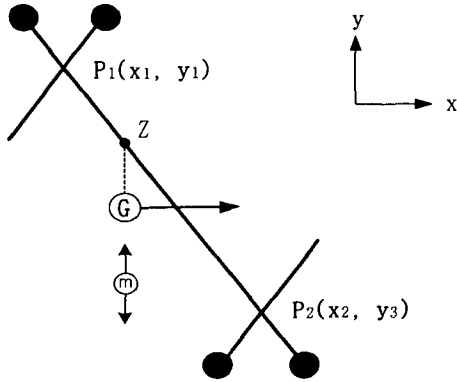


Fig. 2 Motion direction of WBO and Robot

Fig. 2 는 로봇의 진행 방향과 무계평형진자의 운동 방향을 도식적으로 나타낸 것이다. 점 P_1, P_2 는 지지축 선상에 있으며, $t=0$ 일 때 $x = x_1$ 이며 $t=T$ 일 때 $x = x_2$ 이다. 이때 지지축에 작용하는 중력에 의한 모멘트 M_b 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M_b = \left\{ \left(\frac{y_1 + y_2}{2} - y(t) \right) m_0 g + (y_0 - y(t)) m g \right\} \sin \theta \quad (1)$$

무계평형진자의 운동에 의한 모멘트 M_0 는

$$M_0 = -m \cdot h \cdot \ddot{y}_0 \cdot \sin \theta \quad (2)$$

이다. 따라서 전체 모멘트 M_t 는 다음과 같다.

$$M_t = M_b + M_0 \quad (3)$$

로봇의 안전한 보행을 위해서 전체 모멘트는 항상 ZERO 가 되어야 하므로 식(3)으로부터

$$-m \cdot h \cdot \ddot{y}_0 + m_0 g y_0 + A t + B = 0 \quad (4)$$

를 얻을 수 있다. 여기서,

$$y(t) = A t + B$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}$$

$$A = \frac{y_2 - y_1}{T}$$

$$B = y_1$$

m_b : 동체의 무게

m_0 : 무계평형진자의 무게

y_0 : 무계평형진자의 y 좌표

g : 중력가속도

h : 무계평형진자의 높이

$$A_1 = -A g (m_b + m_0)$$

$$B_1 = \frac{m_0 g (y_1 + y_2)}{2} - B g (m_b + m_0)$$

식(4)에서 y_0 에 관해 풀면

$$y_0 = C_1 \exp\left(\sqrt{\frac{g}{h}} t\right) + C_2 \exp\left(-\sqrt{\frac{g}{h}} t\right) - \frac{A_1}{m_0 g} t - \frac{B_1}{m_0 g} \quad (5)$$

을 얻을 수 있다.

속보 걸음새(trot gait)에서는 로봇의 지지축이 순간적으로 변하므로 이 변화시점에 로봇의 몸체가 진동을 하지 않기 위해서는 무계평형진자의 움직임은 부드러워야 한다.

C_1 과 C_2 를 구하기 위한 경계조건은 $\dot{y}_{0(0)} = \dot{y}_0(T) = 0$ 이므로 C_1 과 C_2 는 각각 다음과 같다.

$$C_1 = \frac{A_1 \sqrt{h/g}}{m_0 g} \frac{1}{1 + \exp(\sqrt{g/h} T)} \quad (6)$$

$$C_2 = -\frac{A_1 \sqrt{h/g}}{m_0 g} \frac{1}{1 + \exp(-\sqrt{g/h} T)} \quad (7)$$

4. 로봇의 보행실험

Fig. 3 은 본 연구를 위해 제작된 무계평형진자(WBO)의 궤적을 나타낸 것이다. 로봇의 보행은 속보 걸음새로 제한을 한다. 그림에서 보듯이 무계평형진자의 궤적모양은 부드러운 cosine 형태를 가진다.

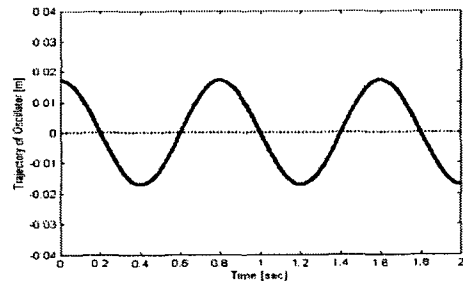


Fig. 3 Trajectory of WBO

Fig. 4 는 무계평형진자(WBO)를 사용하지 않았

을 때 로봇에 발생하는 모멘트를 보인다. 이것은 로봇에 작용하는 전체 모멘트가 점점 커지므로, 몸이 흔들리는 보행을 하게 된다.

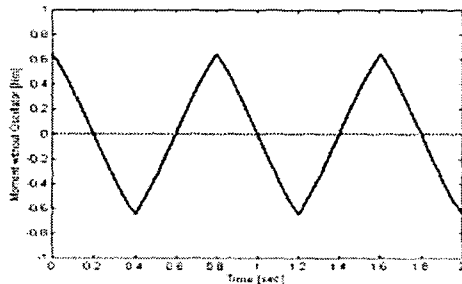


Fig. 4 Moment without WBO

Fig. 5 는 무게평형진자(WBO)를 탑재한 로봇이 보행할 때 발생하는 모멘트를 나타내었다. 이것은 로봇에서 발생하는 모멘트와 무게평형진자에서 발생하는 모멘트가 서로 상쇄되어 ZERO 에 수렴하고 있다.

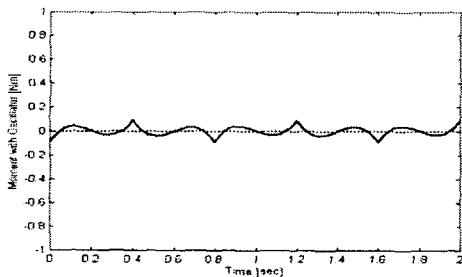


Fig. 5 Moment with WBO

이상적인 시스템에서는 전체 모멘트는 ZERO 가 되어야 하지만, 실제 시스템에서는 ZERO 에 근접한 모멘트가 발생됨을 알았다

4. 결론

본 연구에서는 속보 걸음새(trot gait)로 구현되는 4 족 로봇의 보행 안정성을 위하여 무게평형진자(WBO)를 로봇에 장착하고 그 유용성을 입증하기 위해 간단한 보행실험을 하였다. 그 내용을 정리하면,

- 무게평형진자의 운동은 로봇의 보행방향에 직교하는 방향만으로도 보행 안정성을 높일 수 있다.
- 무게평형진자를 이용하여 동적 보행의 안정성이 향상됨을 실험으로 입증하였다.

향후에는 속보 걸음새(trot gait)에서의 보행 안정성 뿐만 아니라 환경 적응 능력의 우수성과 또 다른 동적 걸음새(dynamic gait)에서도 향상된 보행 능력을 입증할 것이다.

참고문헌

1. M. Vukobratovic, D. Jurici, "Contribution to the Synthesis of Biped Gait", Proc. IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering, Vol. BME-16, No. 1, pp. 199-204, 1969.
2. S. Hirose, K. Yoneda, R. Furuya, "Dynamic and Static Fusion Control of Quadruped Walking Vehicle", IEEE/RSJ int. Workshop of Intelligent Robots and System, pp.199-204, 1989
3. Maria A. Jimenez, P. Gonzalez de Santos, "Terrain-adaptive gait for walking machines", The International Journal of Robotics Research, Vol. 16. No.3. pp.320-339, 1997
4. Claude Villard, Phillippe Gorce, Jean-Guy Fontain, Jacques Rabit, "A Dynamic Study of a Quadruped Robot", pp.106-111, 1993
5. H. Kimura, Y. Fukuoka, "Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Irregular Terrain by Using Neural System Model", Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and System, pp.979-984, 2000
6. Takahiro Miyashita, Koh Hosoda, and Minoru Asada, "Reflective walk based on lifted leg control and vision-cued swaying control, 1998
7. Junmin Pan, "Measurement and control of attitudes of quadruped robots", Advanced Robotic Systems and the Real World, IROS '94. Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.2, pp.1332-1337, 1994
8. Ryo Kurazume, Shigeo Hirose, Kan Yoneda, "Feedforward and feedback dynamics trot dynamic control for Quadruped walking vehicle", Proc. Of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3172-3180, 2001
9. Atsuo Takanishi, Jinichi Yamaguchi, and Mitsuyasulwata, "Dynamic Quadruped Walking Stabilized with Trunk Motion", IEEE, pp.165-172, 1995
10. C. Pribe, S. Grossberg, and A. Cohen, "Neural control of interlimb oscillations", IEEE Bioi. Cybern. 77, pp.141-152, 1997