

4 족 로봇의 보행 걸음새 생성 및 보행 안정성 판별

유창범*, 박검모(전남대학교 대학원 기계공학과), 김영배(전남대학교 기계공학과)

Walking gait generation and walking stability for the quadruped robot

C. B. Yu, G. M. Park(Mech. Eng. Dept. CNU HKU), Y.B. Kim(Mech. Eng. Dept., CNU)

ABSTRACT

In general, it is known that walking stability of a quadruped is determined by its COG(Center of Gravity). In this paper, in order to know whether our virtual quadruped robot is applicable to the real quadruped robot, we simulated our virtual model using the data from the real robot's walking. We were able to evaluate the stride of quadruped based on direct and inverse kinematics and compared the stride of the simulation with real robot's it. During the simulation we calculated the COG of the virtual model and evaluated the walking stability of real model.

Key Words : virtual model(가상 모델), walking stability(보행 안정성), quadruped robot(4 족 로봇), simulation

1. 서론

현재까지 보행 로봇에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 우리나라에서 연구중인 4 족 로봇으로는 FRAMIX-T[1]가 있고 일본에서 연구 중인 4 족 로봇들로는 AIBO[2], Tekken Series[3], TITAN Series[4,5] 등이 있다.

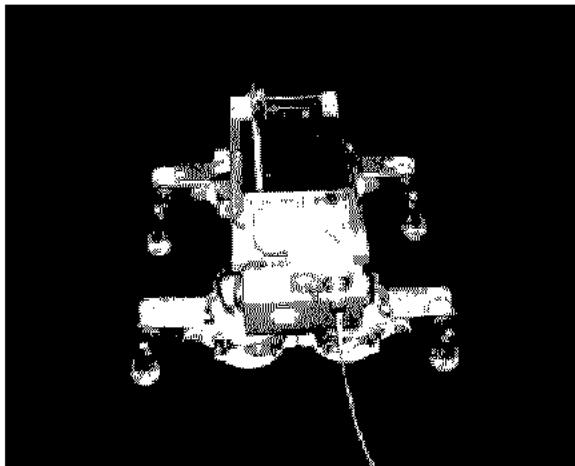


Fig. 1 TITAN V-III

로봇에 대한 연구로는 로봇의 걸음새에 대한 연구, 구조에 관한 연구, 제어에 관한 연구 등이 있다. 본 논문에서 행한 연구는 걸음새, 특히 정적 안정성(static stability)에 대한 연구를 진행하기 위한 과

정이라고 할 수 있다.

걸음새 생성을 위해 실제 제작된 로봇의 안정성에 대한 타당성을 검증해 보기 위해서 실제 로봇에서 사용된 걸음새 데이터를 가상 모델에 입력하였고 이를 시뮬레이션(Simulation)을 통해 로봇의 COG 를 확인하였으며 안정적인 걸음걸이로 걸을 수 있는지를 알아 보았다.

이러한 일련의 과정들은 가상 모델이 실제 모델과 비교하여 어느 정도의 신뢰성을 가지고 있는지를 확인하는 작업이다. 신뢰성이 확인된다면 이후에 로봇의 역기구학 및 정기구학을 이용하여 걸음새를 생성하고 이를 가상 모델에 적용하여 COG 를 확인할 수 있을 것이며 적용 가능한 걸음새 인지 판단할 수 있을 것이다.

2. 이론 및 안정성 검증 과정

2.1 정적 안정성

4 족 로봇의 걸음새는 정적인 걸음새와 동적인 걸음새로 분류할 수 있는데 정적인 걸음새는 속도가 느린 걸음새를 뜻하며 동적인 걸음새는 빠른 걸음새를 뜻한다. 좀 더 구체적으로 정적인 걸음새는 일반적으로 로봇의 디듀티(duty factor(β))이 0.75 이상일 때로 정의[7]되는데 디듀티의 정의는 다음과 같다.

$$\beta = \frac{\text{time of support phase of leg}}{\text{cycle time of leg}} \quad (1)$$

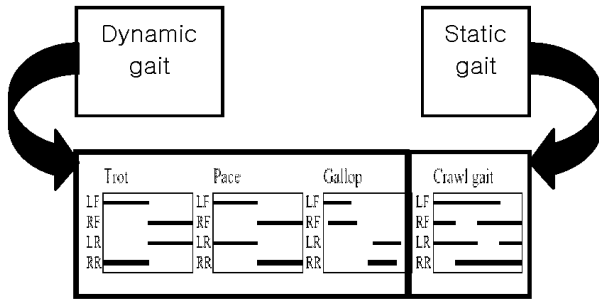


Fig. 2 Dynamic & Static Gait

로봇의 안정성을 판별하는 방법으로는 COG (Center of Gravity), COP (Center of Pressure), ZMP (Zero Moment Point)가 있는데 정적 안정성은 COG 를 이용하여 판별한다.[7] 걸음새가 진행되는 각 구간마다 로봇의 COG 를 알아내어 지면으로 투영된 점 즉 PCOG (Projection of COG)가 로봇을 지지하는 다각형 안에 있게 되면 이는 안정적이라고 할 수 있다. 다음은 이를 설명한 그림이다.

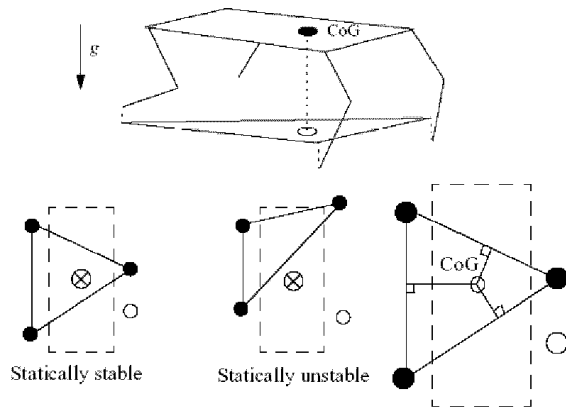


Fig.3 PCOG , Static stability, Stability margin

2.2 실제 로봇과 걸음새 데이터

실제로 제작된 로봇[8]의 사진은 다음과 같다.

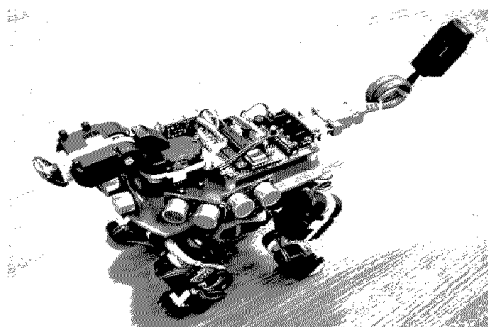


Fig. 4 Real quadruped robot

다음의 걸음새 데이터는 로봇의 걸음새를 캡처(capture)한 이미지를 바탕으로 하였다. 본 연구실에

서 자체 제작한 motion capture 프로그램에서 이러한 이미지들을 참조하여 motion capture 방법으로 로봇의 자세를 만들었으며 이렇게 만든 자세를 다음과 같은 4 가지의 프레임으로 만들어서 이 로봇의 걸음새를 만들었다.

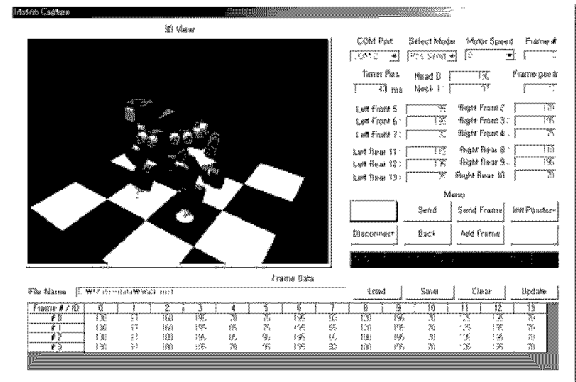


Fig.5 Data example for walking motion

Frame # / ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
#0	130	97	160	195	70	75	195	80	120	195	70	125	195	70
#1	130	97	160	195	85	75	195	65	120	195	70	125	195	70
#2	130	97	180	195	85	95	195	65	100	195	70	105	195	70
#3	130	97	180	195	70	95	195	80	100	195	70	105	195	70

Fig.6 Walking motion data

위의 표의 데이터는 모터의 펄스(pulse)값을 뜻하며 이 데이터의 가상 모델에의 적용은 모터 제작 회사에서 제공한 자료를 바탕으로 Degree 값으로 환산하여 시간당 각 변위량을 적용하였다.

2.3 비추일 모델링에서의 데이터 입력 및 시뮬레이션 과정

먼저 로봇의 모델링을 위해서 로봇의 구성 요소인 모터와 내부 구성 부품, 모터간의 연결 조인트 등 상세 모델링을 실시하였다. 그리고 이를 이용하여 3D CAD 프로그램인 CATIA 로 어셈블리(Assembly) 모델링을 하였고 시뮬레이션은 동역학 해석 프로그램인 Adams 를 사용하였다.

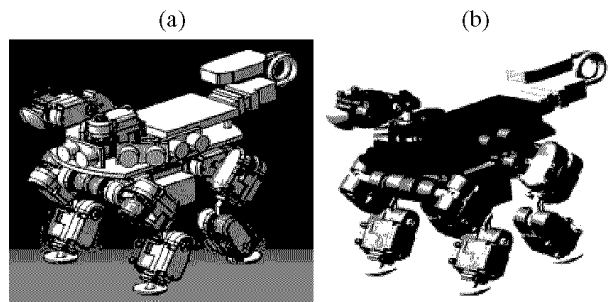


Fig. 7 (a) Virtual modeling – CATIA

(b) Virtual modeling - Adams

위의 모델로 시뮬레이션(simulation)을 수행하였다. 기구학(kinematics) 운동의 구속조건을 주기 위한 가정으로서 로봇이 이동할 때 로봇의 몸체가 지

면과 평행하게 이동하는 것으로 가정을 하였다. 이러한 가정을 바탕으로 로봇의 기구학 모델링을 완성하였으며 로봇의 최종 자유도는 14 이다.

2.4 시뮬레이션 과정에서의 안정성 판별 및 검증 방법

2.4.1 로봇의 COG 계산

앞에서 언급했듯이 4 족 로봇의 정적 안정성을 판별하기 위해 COG를 이용하였다. 모터의 상세 모델링과 각 부품의 무게를 측정해서 본 논문에서 계산한 로봇의 COG 값의 신뢰성을 확인하였다. 로봇의 초기 상태에서 각 구동 부품들의 물성치를 CAD 프로그램을 이용하여 구하였으며 가상 모델에 적용하였다. 걸음새 진행 시 변화하는 COG는 다음의 CM(Center of Mass) 공식을 이용하였다.

$$x_{CM} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i} \quad (2) \quad y_{CM} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i} \quad (3)$$

2.4.2 로봇의 보폭(Stride) 계산

로봇의 보폭을 계산하기 위해서 실제 걸음새 데이터에서 전체 사이클 중 첫 번째 스텝(step)에서의 로봇 발의 이동 거리를 전체 보폭의 25%로 정의하였다.

이는 로봇의 정기구학을 이용하였는데 Fig.7 (a)에서 로봇의 한쪽 다리의 좌표계를 D-H(Denavit-Hartenberg) 알고리즘을 이용하여 나타내었으며 식 (3)에서 정기구학을 이용하여 로봇 발의 위치를 나타내었다.

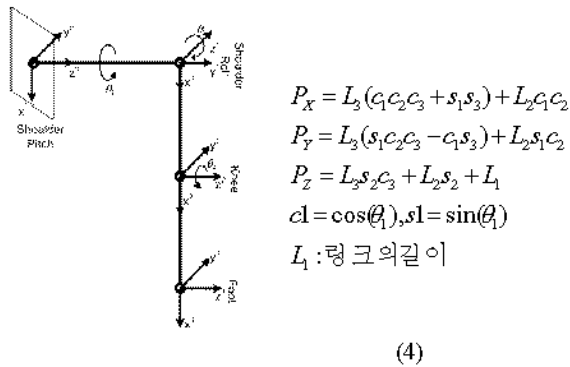


Fig.8 Coordinate of the front-left leg

2.4.3 보행 로봇의 걸음새 안정성 검증

완성된 기구학 모델에서 계산된 로봇의 보폭과 동역학 조건을 부여함으로써 동역학 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림은 기구학 해석과 동역학 해석 결과의 COG 변화를 나타내었다.

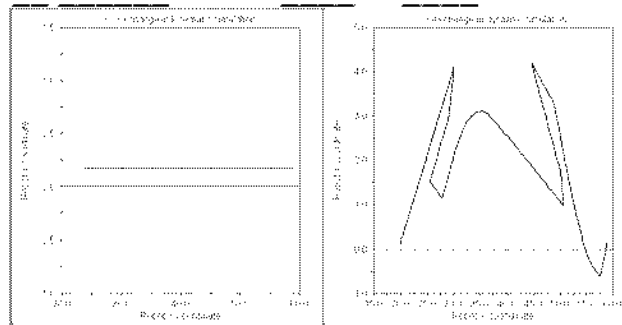


Fig.9 COG change in kinematic and dynamic simulation

로봇의 이동 속도를 알아내기 위해 걸음새의 주기를 정의함에 있어서 로봇 발의 위치가 다시 원래의 초기값으로 돌아오게 되는 것으로 하였다. 이를 위해 로봇의 시뮬레이션의 몸체 부분의 운동을 정지시키고 앞에서 언급한 실제 로봇 걸음새 데이터를 4 등분하여 로봇의 발바닥이 움직이는 값을 측정하였고 이를 계산된 보폭과 비교하였다.

이러한 과정을 통해서 PCOG를 구하였고, 시뮬레이션 과정 중 로봇의 발바닥에 의해 생기는 지지점으로 이루어지는 지지다각형 안에 PCOG가 들어가는지 여부를 통해 로봇의 정적 안정성을 알아보았다.

3. 시뮬레이션 결과 및 실험

3.1 시뮬레이션 결과

위에서 정의한 실제 로봇의 걸음새 데이터를 활용하여 1 주기 동안의 로봇의 해석 결과를 아래 그림에 나타내었다. 앞 절에서 생성한 보폭과 걸음새 데이터를 가상 모델에 적용하여 로봇의 COG의 변화와 로봇 발의 지면에 작용하는 힘의 변화를 나타내었다.

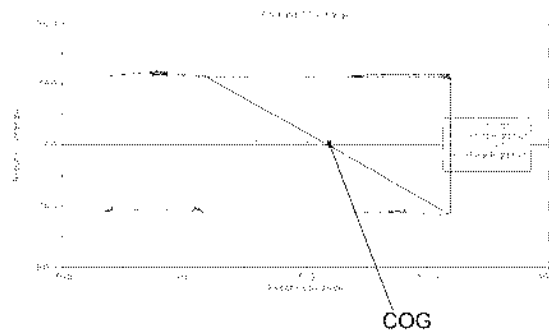


Fig.10 Foot and COG change in simulation

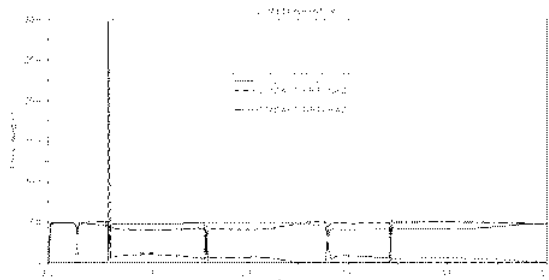


Fig.11 Contact force on foots

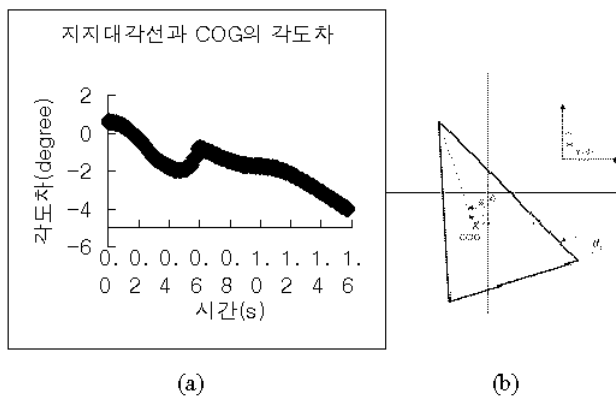


Fig.12 (a) Evaluation of stability using PCOG
(b) Principle of calculating the COG

3.2 실험 결과

실제 로봇에서의 걸음걸이를 비디오 카메라를 이용하여 로봇이 1 주기 동안 이동한 거리를 측정하였다.

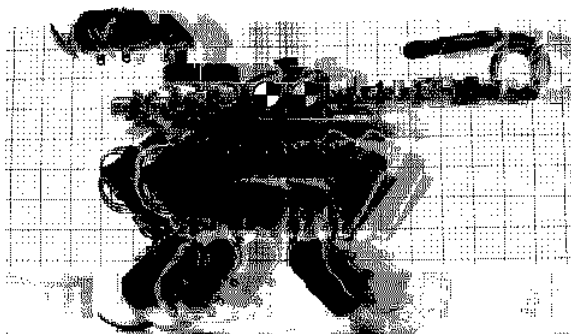


Fig.13 Experiment of the real quadruped robot

4. 결론

가상 모델과 실제 모델과의 상관관계를 알아보기 위해 시뮬레이션 상에서 측정한 로봇의 이동 거리와 실험 결과를 위와 같이 비교하였다.

	실험 결과	시뮬레이션 결과
이동거리	31.5(mm)	38.9(mm)

Table.1 Comparison experiment with simulation
시뮬레이션에서 행한 걸음새는 Fig.11 을 보면

거의 동적 걸음새에 가깝다고 할 수 있다. 디딤을 계산해 보았을 때 동적 걸음새라고 할 수 있는 0.628 이었다.

이는 로봇의 초기 자세에서의 COG 가 Fig.10 를 보면 지지대각선의 대각선상에 거의 걸쳐 있다. 이는 이 로봇의 안정성 여유(stability margin)가 작음으로 인해서 로봇의 자세를 만드는 과정에서 동적 걸음새로 되었다. Fig.12(a)은 Fig.12(b)에서 $\theta_1 - \theta_2$ 한 결과로서 초기 상태에 COG 가 지지대각선 내에 있지만 안정성 여유는 작음을 알 수 있다.

향후 이 로봇의 정적 걸음새를 생성하기 위해서는 로봇 관절의 수학적 모델링에 의한 역기구학이 완성되고 이를 이용하여 COG 를 고려한 발의 궤도 생성(Foot trajectory)이 필요하다.

참고문헌

1. 김태형, 최기훈, 김영탁, “소형 4 족 로봇의 정적 걸음새에 관한 연구”, 미래신기술연구소 논문집, Vol.10 No. 1, pp.81-98, 2001
2. G.S. Hornby, M. Fujita, S. Takamura, T. Yamamoto, and O. Hanagata, “Autonomous evolution of gait with the Sony quadruped robot”
3. Yasuhiro Fukuoka, Hiroshi Kimura, and Avis H. Cohen, “Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on irregular terrain based on biological concepts”, The International Journal of Robotics Research Vol.22, No. 3-4, March-April 2003, pp.187-202
4. Xuedong Chen, Keigo Watanabe, Kazuo Kiguchi and Kiyotaka Izumi, “Translational crawl and path tracking of a quadruped robot”, Journal of Robotic Systems 19(12), pp.569-584 (2002)
5. Keigo Watanabe Kazuo Kiguchi, Xuedong chen, and Kiyotaka Izumi, “A real-time kinematics on the translational crawl motion of a quadruped robot”, Journal of Intelligent and Robotic Systems 29: 111-131, 2000
6. C.L. Shih, Y.Z. Li, S. churng, T.T. Lee, and W.A. Gruver, “Trajectory synthesis and physical admissibility for a biped robot during the single-support phase”, CH2876-1/90/0000/1646\$01.00, 1990 IEEE
7. Freyr Hardarson, “Stability analysis and synthesis of statically balanced walking for quadruped robots”, TRITA-MMK 2002:10 ISSN 1400-1179 ISRN KTH/MMK—02/10—SE
8. 고훈규, “랩-빌딩을 이용한 4 족 로봇의 장애물 회피”, 전남대학교 석사학위논문, 2004