

이족 보행 로봇의 관절부위 유연특성 예측에 관한 연구 A Study on Joint Compliance for a Biped Robot

이기주*·임홍재**·강윤석**·박중경***

Ki-Joo Lee, Hong Jae Yim, Yun-Seok Kang and Joong-Kyung Park

Key Words : Joint Compliance(관절 컴플라이언스), Biped Robot(이족보행로봇), ZMP(zero moment point), Actuator(액츄에이터)

ABSTRACT

When we analyze dynamics of a multi-body system, a compliance of joints must be considered. If the virtual model for CAE(computer aided engineering) analysis is not considered compliance, the result of CAE analysis will be very different from the actual result. Especially in a biped walking robot, a compliance can be caused in joints of a walking robot, and the robot may lose walking stability. This paper proposes a compliance modeling method and the effectiveness of the compliance model is verified through experiments.

1. 서론

현재까지 이족 보행 로봇의 연구 결과들을 보면 로봇의 컴플라이언스(compliance)는 로봇의 작동시 안정성을 저하시키는 주요한 원인이라고 나타나 있다. 특히 가상 모델을 통하여 생성된 보행 패턴을 실제 모델에 적용하였을 경우 가상모델과 달리 불안정한 보행을 수행하게 된다.

본 논문에서는 상용 기구동역학 프로그램을 이용하여 가상 이족 보행 로봇(biped robot) 모델을 구축한 후, 이족 보행 로봇의 보행 시 안정성 향상과 실제모델과 가상모델 사이의 오차 감소를 위해 가상모델에 컴플라이언스 영향을 적용할 수 있는 방법에 대해 연구하고자 한다. 로봇의 관절부위에 해당하는 액츄에이터(actuator)의 강성(stiffness)과 댐핑(damping)은 실험을 통하여 측정하였으며, 가상모델의 관절 compliance 모델링은 회전스프링과 댐퍼 개념을 도입하여 3 방향의 강성과 댐핑을 토크를 이용하여 나타내었다. 이를 검증하기 위해 23 자유도를 갖는 상용 소형 휴머노이드 플랫폼(신장 415mm, 무게 2.4kg)에 대하여 compliance 를 적용한 가상모델을 구축한 후, 가상모델에 실제모델과 동일한 모션 패턴을 부여한 가상모델의 시뮬레이션에서 실제모델의 compliance 에 의한 비선형적인 모션까지도 재현할 수 있음을

실험을 통해 검증하였다.

본 연구에서 이족 보행 로봇의 모션 패턴 중 보행에 관한 패턴 생성은 로봇의 보행 안정성과 보행속도에 대한 유연성을 동시에 만족하기 위하여 ZMP(zero moment point)식을 이용하였고, 원하는 ZMP 를 만족하기 위하여 다항식 근사(polynomial approximation)를 이용한 보행패턴 생성 방법을 사용하였다^[1].

2. Compliance 모델링

2.1 Compliance 측정 실험

로봇의 관절부인 액츄에이터의 강성을 측정하여 가상모델의 모델링 시 compliance 를 적용하기 위한 실험을 하였다. Fig. 1 은 본 실험을 위해 구성된 실험장치를 보여준다.

Fig. 2 는 실험에서 액츄에이터에 연결한 bar 의 고유치해석(normal mode analysis) 결과를 나타내고 있고, 이는 첫번째 고유진동수가 6000Hz 로 실험에 사용된 bar 는 충분히 rigid 하다고 볼 수 있었다.

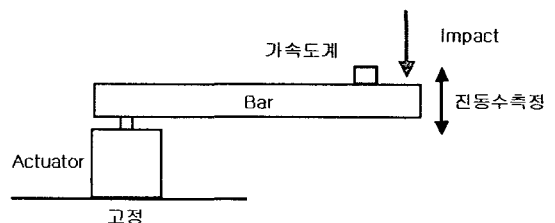


Fig. 1 Compliance experiment for robot's actuator

* 국민대학교 자동차공학전문대학원
E-mail : kjlee@kookmin.ac.kr
Tel : (02) 914-8812, Fax : (02) 910-4718

** 국민대학교 자동차공학전문대학원

*** 삼성전자(주) 메카트로닉스센터

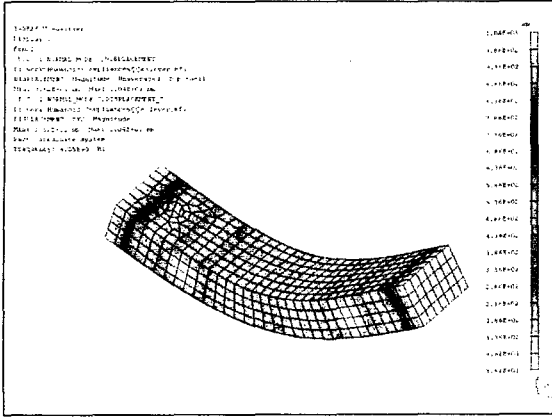


Fig. 2 Normal mode analysis

Table 1 은 실험을 통한 고유진동수와 damping 값을 나타내고 있고, 이 값은 총 9 회 실시한 실험의 평균 값이다.

Table 1 Result for normal mode analysis

고유진동수(Hz)	Damping(%)	비고
62	5	9 회 평균

2.2 가상모델의 Compliance 모델링

실험을 통하여 얻어낸 강성과 댐핑 값을 이용하여 가상모델의 compliance 모델링을 하였다. 가상모델의 각 관절에 대한 compliance 모델링을 위하여 상용 기구동역학 해석 tool 인 ADAMS 의 vector torque 모듈을 이용하였다. vector torque 는 3 방향의 강성과 댐핑을 토크를 이용하여 나타낼 수 있기 때문에 결과적으로 회전 스프링과 댐퍼의 역할을 할 수 있다.

Fig. 3 은 관절부위에 compliance model 을 적용한 가상 모델을 보여준다. 이 모델을 이용하여 3 차원 변위 측정 실험을 통한 결과를 비교할 수 있다.

3. 가상모델의 타당성 검증

3.1 3 차원 변위 측정 실험

Simulation 에서 보행패턴을 입력 받아 구동되는 소형 로봇이 실제로 ADAMS simulation 과 동일한 모션을 수행하는가를 검증하기 위하여 laser tracker 를 사용하여 로봇이 보행할 때 시간에 대한 3 차원 변위를 측정하였다. Fig. 4 는 laser tracker 를 이용하여 3 차원 변위를 측정하는 모습을 보여준다. 3 차원 변위를 측정하고자 하는 점에 반사경을 부

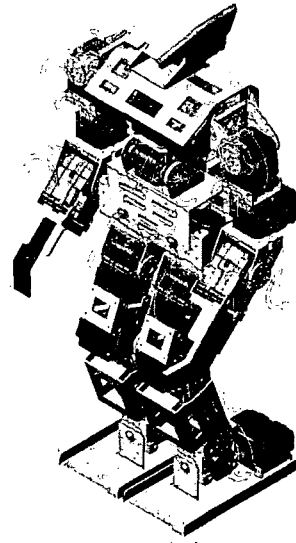


Fig. 3 Virtual model with compliance

착하여 미리 정해진 모션을 수행하며 laser tracker 로 변위를 측정하였으며 반사경을 부착하여 변위 측정이 된 위치는 로봇의 머리, 허리, 발과 손 부분이며 측정을 위해 수행한 모션은 정보행과 동보행(static & dynamic walking), 허리 좌우반동 모션(hip shake), 다리 3cm 올렸다 내리기(foot up), 팔 앞뒤로 흔들기(arm shake) 총 5 가지 모션이다.

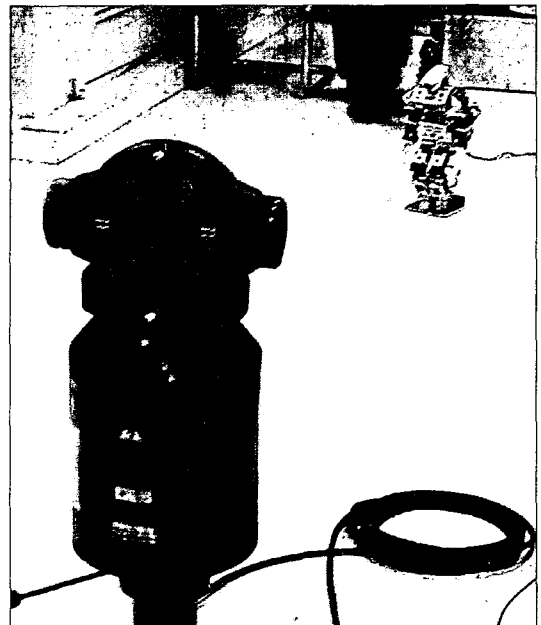


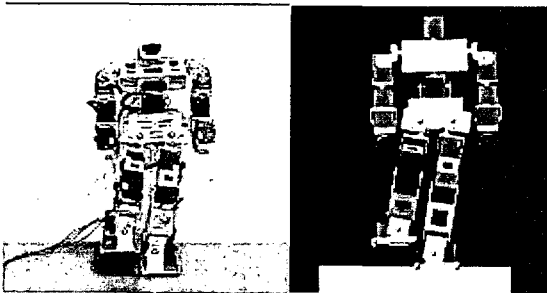
Fig. 4 A measurement of 3D displacement

3.2 Compliance 를 고려하지 않은 가상모델과 비교

Fig. 5 는 5 가지 모션 중 Foot up 모션 시 3 차원 변위 측정 실험의 결과와 compliance 를 고려하지 않은 모델의 결과 비교 그래프이다. 실제 로봇의 보행 모습과 compliance 를 고려하지 않은 모델의 보행 simulation 모습을 육안 비교하였을 경우에는 서로 크게 상이한 부분을 느끼지 못하였다. 그러나 3 차원 변위 측정 실험을 통해 보행 모션의 궤적을 비교한 결과 실제계와 compliance 를 고려하지 않은 모델의 simulation 의 보행에 차이가 있음을 알 수 있었다.

3.3 관절부위 Compliance 예측

관절 compliance 에 해당하는 hip, knee, ankle 의 각각 pitch, roll 방향의 rotational stiffness 값을 9 개의 좌표로 이루어진 spline 함수로 표현하였다. Fig. 6 은 rotational stiffness 의 spline 함수의 그래프이다. Stiffness 의 변화에 영향이 큰 좌표에 해당하는 값을 변수로 설정하여 각 변수 값을 변화시키며 실험데이터와 비교하였다. Trial & error 를 통하여 설정된 변수 값을 변경해가며 parameter study 를 하여 실험 데이터와 가장 근사하게 나타내는 값으로 rotational stiffness 함수를 설정하였다.



(a) Experiment

(b) Simulation

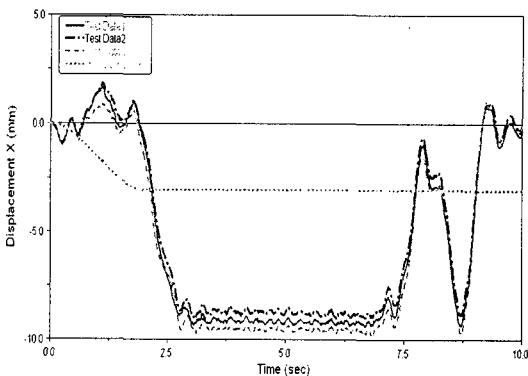


Fig. 5 Hip trajectories for foot up motion

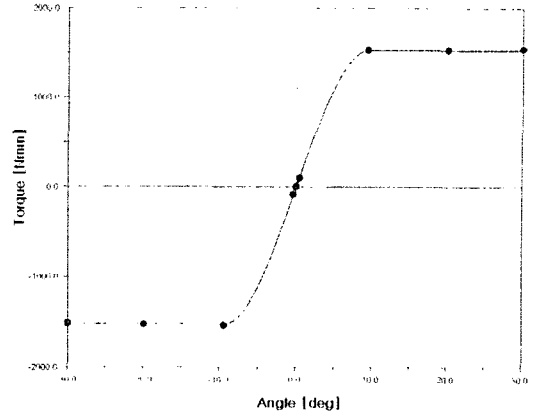


Fig. 6 Rotational stiffness function

Fig. 7 은 변수 값의 변화에 따라 각기 다른 5 가지 경향의 시뮬레이션 결과와 실험 데이터와 compliance 를 고려하지 않은 시뮬레이션과의 비교 그래프이다. Compliance 를 고려하지 않았을 경우보다 적절한 compliance 값을 찾아 적용한 모델이 실제 모델의 모션을 더욱 정확하게 재현하는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 다른 4 가지 모션에서도 동일하게 나타났다.

3.4 Compliance 를 고려한 보행 Simulation

최종적으로 compliance 적용 모델의 유효성을 검증하기 위하여 이족 보행 로봇의 가장 종합적인 모션인 보행 모션에 대하여 simulation 을 수행하여 실험 데이터와 비교하였다. 이족 보행 로봇의 안정적인 보행 패턴에 대해서는 이미 많은 연구가 나와있다^[2-5]. 본 연구에서 보행 패턴 생성은 다항식 근사 방법을 사용하였다^[1]. 보행은 정보행과 동보행에 대해 모두 수행하였다. Table 2 는 보행 패턴의 walking parameter 를 나타낸다.

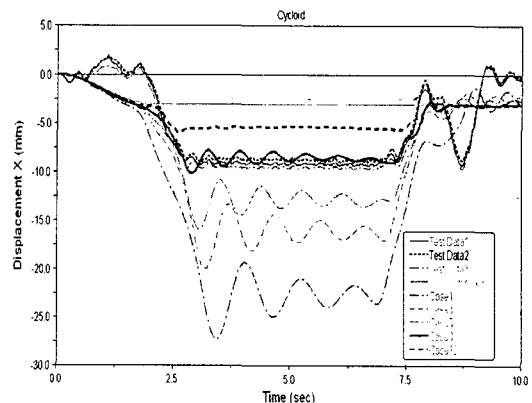


Fig. 7 Foot up 모션시 Pelvis 의 X 방향 변위

Table 2 Walking parameters using dynamic(static) simulation

보 폭	0.12 (0.09) [m]
발높이	0.01 (0.01) [m]
보행주기	1.0 (4.0) [sec]
두발지지주기	0.2 (4.0) [sec]

Fig. 8 은 정보행 시 compliance 를 고려한 가상모델과 실제 모델의 머리 궤적의 3 차원 변위를 비교하여 나타낸 그래프이다. Compliance 를 고려한

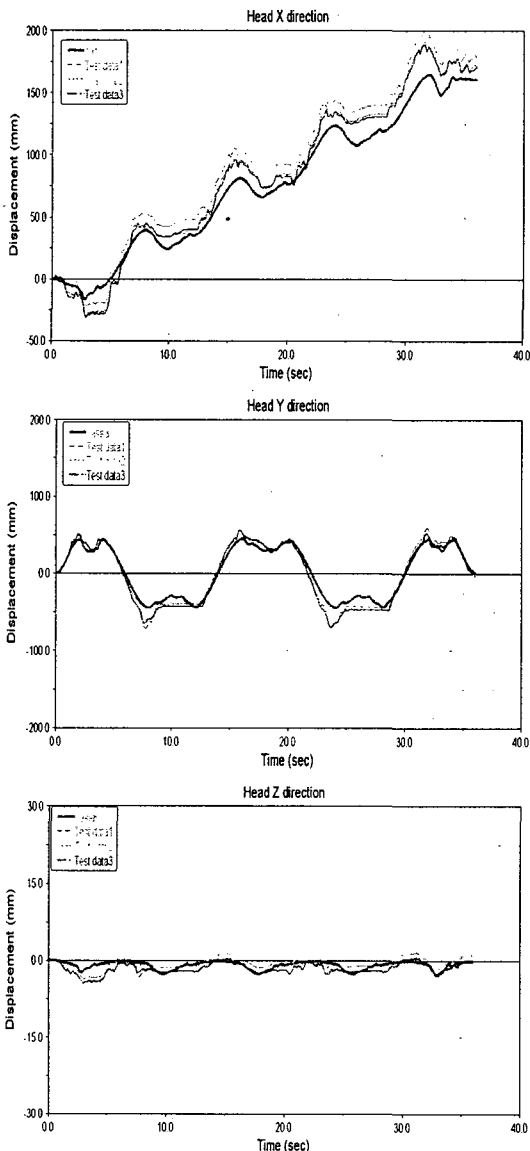


Fig. 8 Head trajectories for static walking

가상모델이 실제 모델의 비선형적인 모션까지 비교적 정확하게 재현하고 있음을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 compliance 의 영향에 따라 동작의 안정성 및 정확성에 영향을 크게 받는 이족 보행 로봇의 관절 부위에 대한 compliance 를 가상 모델에 적용하는 하는 방법을 제시하였다.

가상모델에 compliance model 을 적용하여 실제 모델의 비선형적인 모션까지도 재현할 수 있었으며 laser tracker 를 이용한 정밀 측정으로 그 유효성을 검증할 수 있었다.

후기

본 연구는 2005 년도 두뇌한국(BK) 21 사업과 정보통신부 주관 휴머노이드 로봇 개발 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- (1) Yun-Seok Kang, Jung-Hun Park and Hong-Jae Yim, 2004, "Walking Pattern Generation for a Biped Robot using Optimized Polynomial Approximation", IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots, paper#64.
- (2) J. H. Park and Y. K. Rhee, 1998, "ZMP trajectory generation for reduced trunk motions of biped robots", in IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and System, pp. 90-95.
- (3) A. Takanishi, M. Ishida, Y. Yamazaki and I. Kato, 1985, "The realization of dynamic walking robot WL-10RD", in IEEE Int. Conf. Advanced Robotics, pp.459-466.
- (4) C. L. Shih, Y. Z. Li, S. Churng, T. T. Lee and W. A. Cruver, 1990, "Trajectory synthesis and physical admissibility for a biped robot during the single-support phase", in IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.1646-1652.
- (5) Q. Huang et al., 1999, "A high stability, smooth walking pattern for a biped robot", in IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.65-71.