

이족 보행 로봇의 관절부위 유연특성 시뮬레이션에 관한 연구

A Study on Computer Simulation of Joint Compliance for a Biped Robot

이 기 주* · 박 중 경** · 임 시 형* · 임 홍 재†

Ki-Joo Lee, Joong-Kyung Park, Si-Hyung Lim and Hong Jae Yim

(2007년 4월 10일 접수 ; 2007년 10월 2일 심사완료)

Key Words : Joint Compliance(관절 컴플라이언스), Biped Robot(이족보행로봇), ZMP(영 모멘트점), Actuator(액추에이터)

ABSTRACT

Compliance of joints must be considered when we analyze dynamics of a multi-body system. If the virtual model for CAE(computer aided engineering) analysis does not consider compliance, the result of CAE analysis can be very different from the actual experimental result. Especially in a biped walking robot, the robot may lose walking stability due to the compliance in joints of a walking robot. This paper proposed a method applying a compliance of joints in the biped walking robot to a virtual model. Also, through the 3-D displacement measurement using a laser tracker, it was demonstrated that the virtual model considering the joint compliance could effectively simulate the nonlinear motion of the real model.

1. 서 론

최근 지능형 로봇 및 산업용 로봇에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 로봇 연구에서는 로봇시스템의 진동특성을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다^(1,2). 특히, 로봇조인트의 컴플라이언스(compliance)는 이족 보행로봇의 작동 시 안정성을 저하시키는 주요한 원인으로 파악되어지고 있다⁽³⁻⁶⁾. 특히, 가상 모델을 통하여 생성된 보행패턴을 실제 모델에 적용하였을 경우 가상모델과 달리 불안정한 보행을 수행하게 된다.

이 논문에서는 상용 기구동역학 프로그램을 이용하여 가상 이족 보행 로봇(biped robot) 모델을 구

축한 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 액추에이터(actuator)의 강성(stiffness)과 댐핑(damping)은 실험을 통하여 측정하였으며, 가상모델의 관절 컴플라이언스 모델링은 회전스프링과 댐핑 개념을 도입하여 3방향의 강성과 댐핑을 토크를 이용하여 나타내었다. 이를 검증하기 위해 23자유도를 갖는 상용 소형 휴머노이드 플랫폼(신장 415 mm, 무게 2.4 kg)에 대하여 컴플라이언스를 적용한 가상모델을 구축하였다. 가상모델에 실제모델과 동일한 모션 패턴을 부여한 시뮬레이션에서 실제모델의 컴플라이언스에 의한 비선형적인 모션까지도 재현할 수 있음을 실험을 통해 검증하였다.

2. 컴플라이언스 모델링

† 교신저자 : 정회원, 국민대학교 기계자동차공학부
E-mail : hjyim@kookmin.ac.kr
Tel : (02) 910-4688, Fax : (02) 910-4839

* 국민대학교 기계자동차공학부

** 삼성전자(주) 메카트로닉스센터

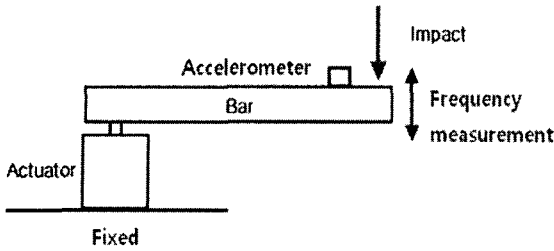


Fig. 1 Compliance experiment for robot actuator

Table 1 Experiment result for normal mode analysis

Natural frequency(kHz)	Damping(%)	Etc.
6	5	Average results of 9 experiments

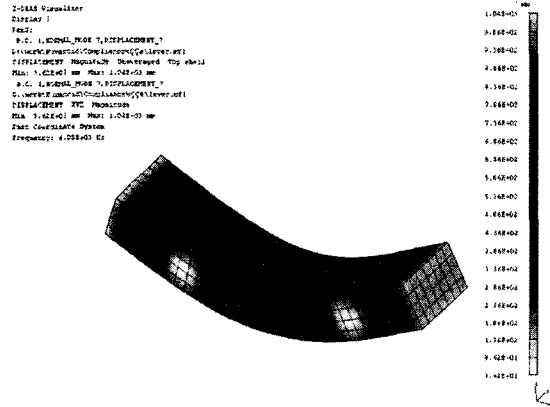


Fig. 2 Normal mode analysis

2.1 컴플라이언스 측정 실험

로봇의 관절부인 액추에이터의 강성을 측정하여 가상모델의 모델링 시 컴플라이언스를 적용하기 위한 실험을 하였다. Fig. 1은 이 실험을 위해 구성된 실험장치를 보여준다.

Table 1은 실험을 통한 고유진동수와 damping값을 나타내고 있고, 이 값은 총 9회 실시한 실험의 평균 값이다. Fig. 2는 실험에서 액추에이터에 연결한 bar의 고유치해석(normal mode analysis) 결과를 나타내고 있고, 첫 번째 고유진동수가 6 kHz이므로 실험에 사용된 bar는 충분히 rigid 하다고 볼 수 있었다.

2.2 가상모델의 컴플라이언스 모델링

실험을 통하여 얻어낸 강성과 댐핑 값을 이용하여 가상모델의 컴플라이언스 모델링을 하였다. 가상모



Fig. 3 Virtual model with compliance

델의 각 관절에 대한 컴플라이언스 모델링을 위하여 상용 기구동역학 해석 도구인 ADAMS의 vector torque 모듈을 이용하였다. Vector torque는 3방향의 강성과 댐핑을 토크를 이용하여 나타낼 수 있기 때문에 결과적으로 회전 스프링과 댐퍼의 역할을 할 수 있다.

Fig. 3은 관절부위에 컴플라이언스 모델을 적용한 가상 모델을 보여준다. 이 모델을 이용하여 3차원 변위 측정 실험을 통한 결과와 비교할 수 있다.

3. 가상모델의 타당성 검증

3.1 3차원 변위 측정 실험

시뮬레이션에서 보행패턴을 입력 받아 구동되는 소형 로봇이 실제로 ADAMS 시뮬레이션과 동일한 모션을 수행하는가를 검증하기 위하여 laser tracker를 사용하여 로봇이 보행할 때 시간에 대한 3차원 변위를 측정하였다. Fig. 4는 laser tracker를 이용하여 3차원 변위를 측정하는 모습을 보여준다. 3차원 변위를 측정하고자 하는 점에 반사경을 부착하여 미리 정해진 모션을 수행하며 laser tracker로 변위를 측정하였다. 반사경을 부착하여 변위 측정이 된 위치는 로

봇의 머리, 허리, 발과 손 부분이며, 측정을 위해 수행한 모션 정보행과 동보행(static & dynamic walking), 허리 좌우반동 모션(hip shake), 다리 3cm 올렸다 내리기(foot up), 팔 앞뒤로 흔들기(arm shake) 등 총 5가지 모션이다.

3.2 컴플라이언스를 고려하지 않은 가상모델과 비교

Fig. 5는 5가지 모션 중 foot up 모션 시 3차원 변위 측정 실험의 결과와 컴플라이언스를 고려하지 않은 모델의 결과 비교 그래프이다. Fig. 6에서 보이는 바와 같이, 실제 로봇의 보행 모습과 컴플라이언스를 고려하지 않은 모델의 보행 시뮬레이션 모습을 육안으로 비교하였을 경우에는 서로 크게 상이한 부분을 느끼지 못하였다. 그러나, 3차원 변위 측정 실험을 통해 보행 모션의 궤적을 비교한 결과, 실제보행과 컴플라이언스를 고려하지 않은 모델의 시뮬레이션 보행은 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 5).

3.3 관절부위 컴플라이언스 예측

관절 컴플라이언스에 해당하는 hip, knee, ankle 의 각각 pitch, roll 방향의 rotational stiffness 값을 9개의 좌표로 이루어진 spline함수로 표현하였다. Fig. 7은 rotational stiffness의 spline함수의 그래프이다. Stiffness의 변화에 영향이 큰 좌표에 해당하

는 값을 변수로 설정하여 각 변수 값을 변화시키며 실험데이터와 비교하였다. 시행착오(trial & error)를 통하여 설정된 변수 값을 변경해가며 parameter study를 하여 실험 데이터와 가장 근사하게

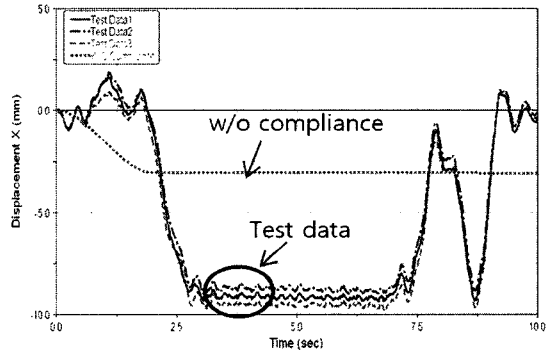


Fig. 5 Hip trajectories for foot up motion

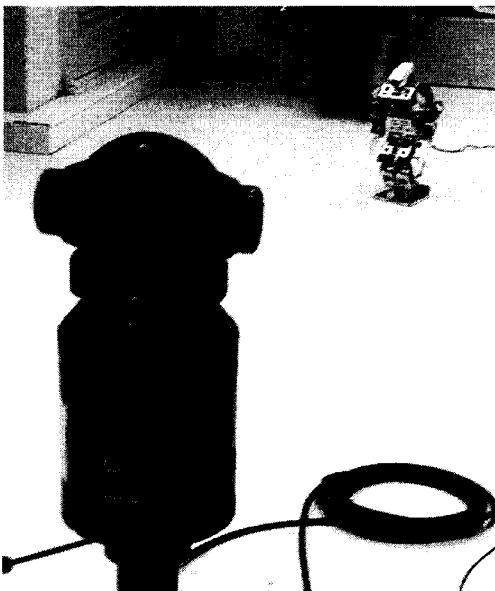
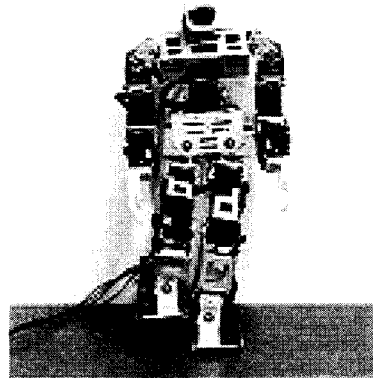
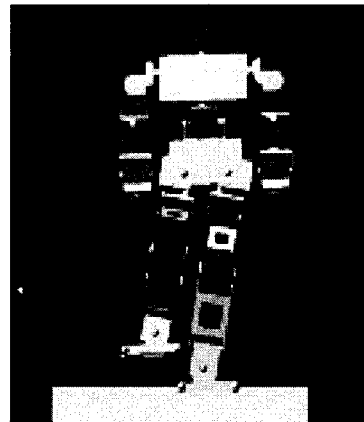


Fig. 4 3D displacement measurement setup



(a) Experiment



(b) Simulation

Fig. 6 Walking motion comparison

나타내는 값으로 rotational stiffness 함수를 설정하였다.

Fig. 8은 변수 값의 변화에 따라 각기 다른 5가지 경향의 시뮬레이션 결과와 실험 데이터와 컴플라이언스를 고려하지 않은 시뮬레이션과의 비교 그래프이다. 컴플라이언스를 고려하지 않았을 경우보다 적절한 컴플라이언스 값을 찾아 적용한 모델(Case 8)이 실제 모델의 모션을 더욱 정확하게 재현하는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 다른 4가지 모션에서도 동일하게 나타났다.

3.4 컴플라이언스를 고려한 보행 시뮬레이션
 최종적으로 컴플라이언스 적용 모델의 유효성을 검증하기 위하여 이족 보행 로봇의 가장 중합적인 모션인 보행 모션에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 실험 데이터와 비교하였다. 이족 보행 로봇의 안정

적인 보행 패턴에 대해서는 이미 많은 연구가 나와 있다⁽³⁻⁶⁾. 이 연구에서 보행패턴 생성은 로봇의 보행 안정성과 보행속도에 대한 유연성을 동시에 만족하기 위하여 ZMP(zero moment point)식을 이용하였

Table 2 Walking parameters using static simulation

Stride [m]	0.09
Foot height [m]	0.01
Walking period [sec]	4.0
Two feet standing period [sec]	4.0

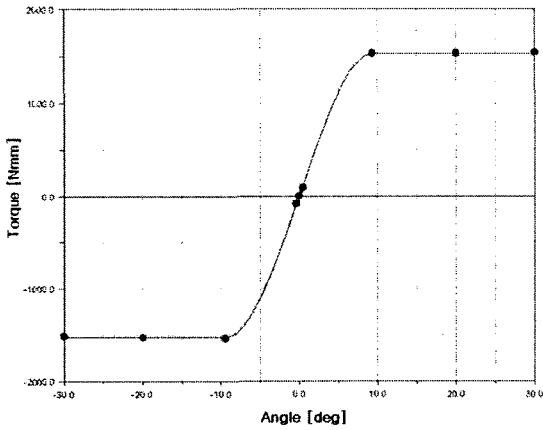


Fig. 7 Rotational stiffness function

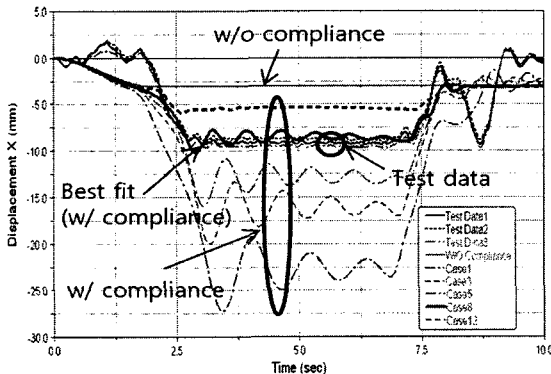


Fig. 8 X-direction displacement of pelvis during foot up motion

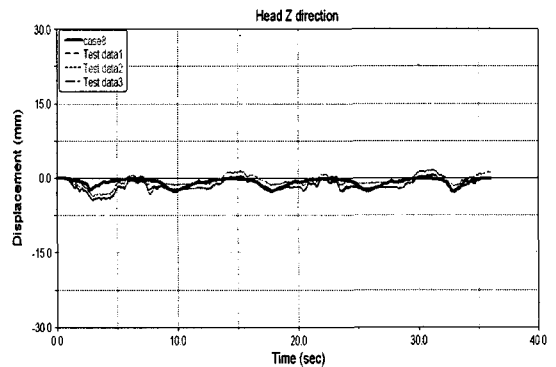
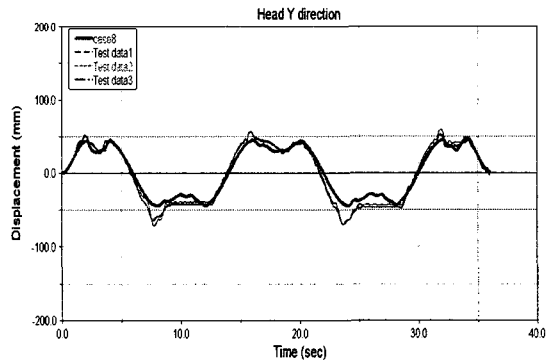
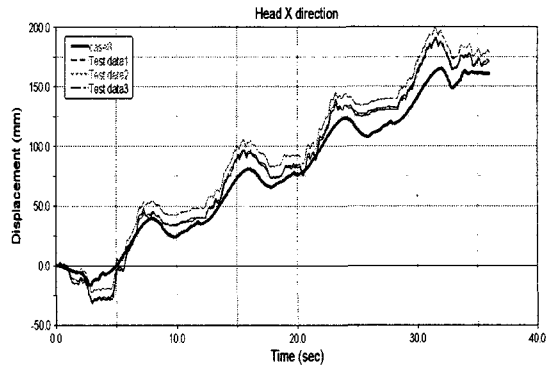


Fig. 9 Head trajectories for static walking

고, 원하는 ZMP를 만족하기 위하여 다항식 근사 (polynomial approximation)를 이용한 보행패턴 생성 방법을 사용하였다⁽⁷⁾.

보행은 정보행과 동보행에 대해 모두 수행하였다.

Fig. 9는 Table 2에 주어진 보행패턴에 의한 정보행 시 컴플라이언스를 고려한 가상모델과 실제 모델의 머리 궤적의 3차원 변위를 비교하여 나타낸 그래프이다. 컴플라이언스를 고려한 가상모델(Case 8)이 실제 모델의 비선형적인 모션까지 비교적 정확하게 재현하고 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 컴플라이언스의 영향에 따라 동작의 안정성 및 정확성에 영향을 크게 받는 이족 보행 로봇의 관절 부위에 대한 컴플라이언스를 가상 모델에 적용하는 하는 방법을 제시하였다. 가상 모델에 컴플라이언스 모델을 적용하여 실제모델의 비선형적인 모션까지도 재현할 수 있었으며 laser tracker를 이용한 정밀 측정으로 그 유효성을 검증할 수 있었다.

후 기

이 연구는 2007년도 국민대학교 우수연구센터사업비를 지원받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

(1) Kim, W., Jung, D., Choi, Y., Chung, J. and Yim, H. S., 2004, "A study on the Dynamic Analysis

Modeling of Industrial Robot's Wrist Power Transmission", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 243~246.

(2) Lee, K., Jung, D., Chung, J., Yim, H. S. and Kim, Y. H., 2003, "A Study on the Noise and Vibration Reduction of an Industrial Robot", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 838~844.

(3) Park, J. H. and Rhee, Y. K., 1998, "ZMP Trajectory Generation for Reduced Trunk Motions of Biped Robots", IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and System, pp. 90~95.

(4) Takanishi, A., Ishida, M., Yamazaki, Y. and Kato, I., 1985, "The Realization of Dynamic Walking Robot WL-10RD", IEEE Int. Conf. Advanced Robotics, pp. 459~466.

(5) Shih, C. L., Li, Y. Z., Churng, S., Lee, T. T. and Cruver, W. A., 1990, "Trajectory Synthesis and Physical Admissibility for a Biped Robot During the Single-support Phase", IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1646~1652.

(6) Huang, Q., Kajita, S., Koyachi, N., Kaneko, K., Yokoi, K., Arai, H., Komoriya, K. and Tanie, K., 1999, "A High Stability, Smooth Walking Pattern for a Biped Robot", IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 65~71.

(7) Kang, Y. S., Park, J. H. and Yim, H. J. and Song, J. O., 2004, "Walking Pattern Generation for a Biped Robot using Optimized Polynomial Approximation", IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots, pp. 707~725.