

F.E.M 해석 프로그램을 이용한 휴머노이드 로봇의 동역학 해석

Dynamic Analysis of a Humanoid Robot Using F.E.M Analysis Program

조형래*, 공정식**, 이보희***, 김진걸****, 허욱열*****

Hyoung-Rae Cho, Jung-Shik Kong, Bo-Hee Lee, Jin-Geol Kim, Uk-Youl Huh

Abstract - This paper presents the dynamic analysis of a humanoid robot using Nastran that is one of FEM analysis program. Generally, computer program based on the Lagrange-Euler method or Newton-Euler method was used for dynamic analysis of a robot. The Lagrange-Euler method requires much calculation performance and it is also hard to apply to complex structure, and the Newton-Euler method limits accurate modeling and calculation for closed structure like a humanoid robot. In this paper, mechanical and structural data are obtained from the Nastran. It is possible for Nastran to make model similar to real system and can apply a physical properties and laws to model. So, accurate simulation is possible. From this result, accurate data is gained by Nastran. Furthermore, this method is shown to be a useful method that guarantees accuracy for trajectory planning.

Key Words : Humanoid robot, Dynamics, FEM, Nastran

1. 서론

최근 지능형 로봇에 대한 관심이 커지고 있으며, 그 중에서도 인간의 생활환경에 적용할 수 있는 휴머노이드 형태의 로봇에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 휴머노이드 로봇은 인간과 유사한 구조를 가지므로 인간과의 협동 작업 및 인간이 수행하기 어렵고 위험한 작업을 대신 할 수 있다[1].

휴머노이드 로봇을 구현하는데 있어서 초기에 수행되어야 할 사항으로 인간과 유사한 구조를 가지는 기구부 설계, 요청된 임무를 수행할 수 있는 동력전달 구조 및 동력원의 선정, 동력원의 구동과 제어를 담당할 전기전자부, 제어방법의 선정, 전력공급 등을 들 수 있다. 이들 중 차후에 변경이 불가능하여 초기에 면밀한 검토가 필요한 부분으로 기구부 설계와 동력원의 선정을 꼽을 수 있다.

기구부 설계가 종료된 시점에서 로봇의 동력원을 선정하기 위해 로봇 전체에 대한 동력학적인 해석을 수행하여 각 관절에서 필요로 하는 토크값을 구해야만 한다. 이를 위한 방법으로 로봇의 동역학 해석을 위해 다양한 방법들이 이용되고 있다[2-4]. 이들 중 일반적으로 Lagrange-Euler Method나 Newton-Euler Method가 사용되고 있지만 전자의 경우 로봇을 에너지 관점에서 해석하여 처리한 방법으로 일반적이고 다양한 환경에서 적용할 수 있는 장점을 가진 반면 연산량이 많고 복잡한 구조에서 적용하기 어려운 단점을 가지고 있다.

그리고 후자의 경우 로봇의 기계적인 연쇄를 통한 방법으로 해석 시 컴퓨터를 통한 산술 연산이 유리한 반면에 폐쇄형 구조의 경우 정확한 계산이 어려운 단점을 지니고 있다.

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 동역학 해석을 보다 정확하게 수행하기 위해 F.E.M(Finite Element Method) 해석 Program인 MSC.Nastran을 이용하여 보다 정확하고 손쉽게 각 관절의 필요 토크값을 얻어내었다.

2. 시스템 구성

2.1 전체 시스템 구성

그림 1은 현재 개발중인 휴머노이드 로봇 ISHURO의 제작하고자 할 3D 모델이다. 전체 21자유도로 각 다리에 6자유도, 각 팔에 3자유도, 몸체에 1자유도, 머리에 2자유도를 가진다. 각각의 자유도는 모터를 구동하고 중앙제어기를 통신할 수 있는 하부제어기를 가지고 있다.

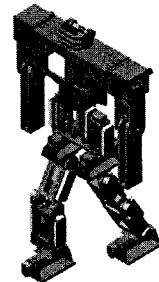


그림 1 ISHURO 3D 모델

Fig. 1 3D model of ISHURO

동력원으로는 DC모터를 사용하였고, 동력전달은 Pitch관절

저자 소개

- * 조 형 래 : 인하大學 전기공학科 석사과정
- ** 공 정 식 : 인하大學 자동차공학科 박사과정
- *** 이 보 희 : 세명大學 전기공학科 정교수
- **** 김 진 걸 : 인하大學 전기공학科 정교수
- ***** 허 욱 열 : 인하大學 전기공학科 정교수

의 경우 직접 전달하고, Roll관절의 경우 베벨기어를 사용하여 전달한다.

2.2 Newton-Euler Formulation을 이용한 동역학 해석

그림 2는 Newton-Euler Formulation을 이용해 동역학 해석을 하기 위한 ISHURO의 좌표계와 질량모델이다.

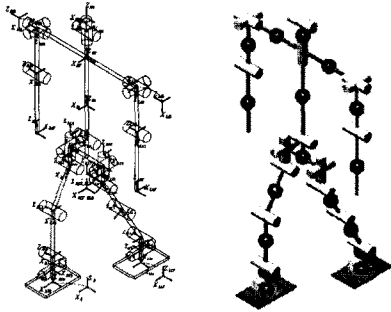


그림 2 ISHURO의 좌표계와 질량모델

Fig. 2 Coordinates system and mass model of ISHURO

10개 이상의 질량모델을 가지고 있는 ISHURO에 대해 Lagrange-Euler method를 사용할 경우 연산시간이 오래 걸리고 컴퓨터를 이용한 programming에도 많은 노력과 시간이 소모되므로, Newton-Euler 방법을 이용하여 동역학 해석을 수행하였다. 이 경우 로봇의 양발 지지상태의 해석을 배제하였으며, 상체를 하나의 질량모델로 단순화한 뒤 상체의 움직임이 없다고 가정하였다.

3. Nastran을 이용한 동역학 해석

3.1 Nastran

Nastran은 자동차, 항공, 선박, 일반기계, 건축 등 모든 산업분야에서 재료 및 동적특성, 비선형, 열전달 특성 등에 대한 해석에 널리 사용되고 있는 FEM을 기반으로 한 범용 구조해석 프로그램이다.

Nastran을 이용할 경우 앞서 방법과 같이 복잡한 수식을 컴퓨터 프로그래밍 언어로 구현할 필요가 없으며, 시스템의 단순화 작업이나, 실제 영향을 미칠 수 있는 요인들을 무시하는 등의 가정 없이 실제 시스템과 매우 유사한 상황을 구현할 수 있다.

3.2 Nastran을 이용한 동역학 해석

이번 연구에서는 전용 전처리기를 사용하지 않고 CAD 프로그램을 이용하여 로봇을 모델링 하였으며, 시스템이 가질 수 있는 여러 가지 수치 중 각 관절의 토크값만을 결과 데이터로 추출하였다. 그림 3은 ISHURO를 모델링하여 Nastran상에서 구현한 모습이다.

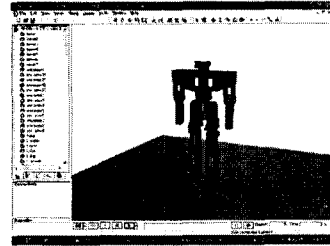


그림 3 Nastran 실행화면

Fig. 3 Operation window for Nastran

시스템을 구성하고 있는 부품들의 재료 특성 및 체결 특성에 관한 해석치는 필요하지 않기 때문에, 불필요한 개체수를 줄이기 위해 전체 시스템을 71개의 Solid body와 21개의 Revolute Motor, 21개의 Revolute joint, 28개의 Rigid joint로 구성하였다. 사용된 보행제직은 Newton-Euler Formulation을 이용한 경우와 동일한 제직을 사용하였다.

3.3 실험 결과

그림 4는 Newton-Euler 방법을 이용하여 계산한 ISHURO의 Ankle-Roll 관절과 Knee-Pitch 관절의 필요 토크값을 나타낸다.

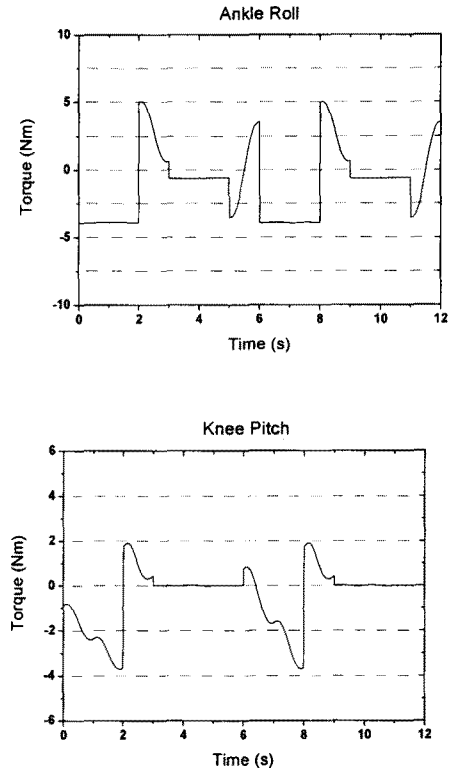


그림 4 Newton-Euler method에 의한 관절 토크값

Fig. 4 Joint torque by Newton-Euler method

그림 4에서 양발 지지상태인 2~3초, 5~6초, 8~9초, 11~12초 구간의 데이터는 지지발과 스윙발의 끝단 반발력이 반대로 적용되기 때문에 신뢰할 수 없는 데이터이며, 전체 데이터 역시 기본적으로 수식에 의한 값이기 때문에 수식으로 모델링이 불가능한 요인에 의한 영향이 고려되지 않아 정확도가 떨어진다. 이 데이터를 제한된 범위에서나마 유용하게 사용하기 위해서는 실제 로봇의 움직임과 좌표계, 결과데이터를 비교하여, 유용한지에 대한 판단을 해야 하는 번거로운 과정이 반드시 수행되어야 한다.

그림 5는 Nastran을 이용하여 얻어진 왼쪽다리 Ankle-Roll 관절과 Knee-Pitch 관절의 필요 토크값을 나타낸다.

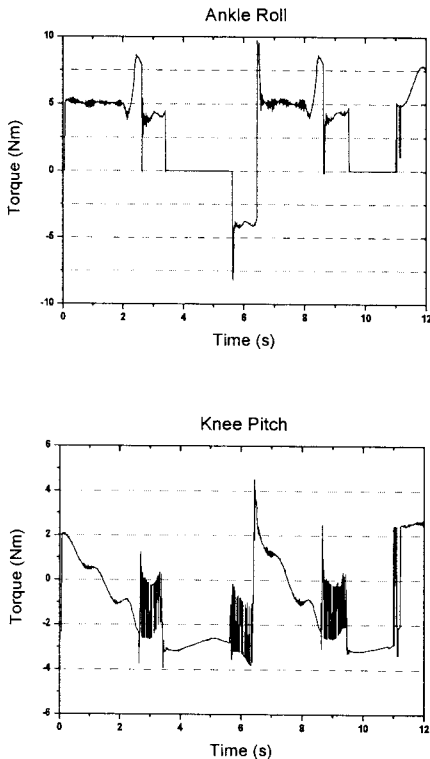


그림 5 Nastran에 의한 관절 토크값
Fig. 5 Joint torque by Nastran

Nastran내에서 개체 상호간의 반발과 마찰을 모두 지원하기 때문에 그림 5의 한발 지지, 양발 지지상태 모두 신뢰할 수 있는 데이터이며, 상체가 단순화 되지 않고 모델링에 포함되어 상체 중량 분배가 실제 로봇과 유사하고, 상체의 움직임이 하체 각 관절에 반영되므로 전체적인 데이터들의 정확도가 상당히 높다.

그림 4의 비교적 신뢰할만한 구간과 그림 5의 동일한 구간을 비교하면, 그래프의 유형은 비슷한 양상을 보인다. 최대/최소값의 경우 약간의 차이를 보이는데, 이는 전자의 경우 시스템을 모델링하는 과정에서 상당부분을 단순화하여서 정확도가 떨어지기 때문이다. 그림 5를 보면 전 구간에서 미세한

진동이 있으며, 특정구간(양발 지지상태로 중심이동이 끝나는 시점 전후 약 1초간)에서 진동이 심한 것을 볼 수 있는데, 이는 시뮬레이션에 사용된 body의 재질이 모두 메탈계열이기 때문에 지면과 발바닥의 마찰, 충격 및 회전 모멘트와 중심이동시 발생한 과도한 관성이 원인이다. 같은 이유로 특정구간에서 토크값이 급격하게 변하는 현상도 발생한다.

4. 결론

본 논문에서는 설계단계에서 수행되는 동력원 선정에 필수적인 동역학 해석을 FEM 해석 프로그램인 Nastran을 이용하여 수행함으로써, 로봇 각 관절의 필요 토크값의 정확도를 높였다. FEM 해석 프로그램을 이용한 로봇의 시뮬레이션은 시스템에 대한 보다 정확한 모델링이 가능하므로 설계단계 이외에도 로봇의 다양한 움직임을 위한 궤적 연구에도 유용하게 적용될 수 있다. 또한 궤적에 따른 로봇의 실제 움직임을 시뮬레이션 할 수 있기 때문에 보행 중 로봇의 안정성을 판단하는데 도움을 주는 데이터의 산출도 가능하여 로봇을 구동시키는데 있어 안정성을 확보할 수 있게 된다. 나아가 이러한 과정을 통해 시스템의 파손이나 과도한 하중에 의한 고장 등을 사전에 예방할 수 있다. 이와 같이 FEM 해석 프로그램을 이용한 휴머노이드 로봇의 시뮬레이션은 로봇 연구의 최초 설계단계부터 최종 활용단계까지 매우 유용하게 사용될 수 있다.

향후에 Nastran을 보다 정확하게 활용하기 위해 전치리기 사용이 필요하며, 설계단계를 지나서 로봇의 다양한 움직임을 구현하는 연구에 적극 활용할 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10364-0) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Kazuo Tanie, "Humanoid Robot and Its Application possibility," IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent system, pp.213-214, 2003
- [2] Hooshang Hemami and Behzad Dariush, "Single Rigid Body Representation, Control and Stability for Robotic Applications," IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 2340-2345, 2000
- [3] Yanjie Li, Dalong Tan, Zhenwei Wu and Hua zhong, "Design and Inverse Dynamic Analysis of a Humanoid Robot," IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, p687-692, 2004
- [4] Choong-Youl Chang and Jin-Geol Kim "A Study on the System Analysis and Joint Torque of Biped Walking Robot," Master Thesis, Department of Industrial Automation Engineering, Inha University, 2000