경사로에서 마찰력을 고려한 이륜 역진자 로봇의 동역학 해석

이동진^{*†}・유홍희^{*††} *한양대학교 융합기계공학부

Dynamic analysis of two wheel inverted pendulum robot with friction force on an inclined rail

Dong Jin Lee*† and Hong Hee Yoo*††
* School of Mechanical Engineering, Han Yang Univ.

1. 서론

현재 로봇은 많은 분야에서 인간이 보다 편리하 게 생활하도록 해주고 다양한 작업을 수행할 수 있도록 연구되고 있다. 또한 친환경적인 이동수단 으로 이동될 수 있는 이륜 역진자 로봇에 대한 다 양한 연구가 진행되어 오고 있다. 이류 역진자 로 봇은 동적 안정화 기술이라는 무게의 균형에 대한 원리를 이용한다. 무게 균형의 원리는 막대기를 손바닥 위에 세웠을 때 막대기가 쓰러지는 방향으 로 손을 이동함으로써 중심을 잡는 것을 의미한다. 기존의 역진자 로봇의 경우는 구름 조건을 가정한 Non-Honlonomic 3 자유도 시스템의 동역학 방정식 으로 모델링을 하고 있다. 본 논문에서는 역진자 로봇의 동역학 방정식을 유도하기 위해서 Kane 의 방법을 이용하였으며 자유도를 추가하여 6 - 자유 도 문제로 정의하였다. 또한 구름 조건이 아닌 미 끄러지는 경우를 고려한 모델의 운동방정식을 유 도한다.

2. 본론

2.1 이륜 역진자 로봇의 운동방정식

Kane 의 방법을 이용하여 이륜 역진자 로봇의 운동방정식을 유도한다. 본 연구에서는 미끄러지는 상태를 고려해주기 위해 경사로에서의 이륜 역진자 로봇의 운동방정식을 유도한다. 바퀴와 지면사이는 구름운동이 아니라 미끄러진다고하였다. 그리고 바퀴와 지면의 접촉점에서는 마찰력이 작용한다. 역진자 로봇의 운동방정식을 유도하기 위해 다음과 같은 일반좌표와 일반속력을 정의한다. 추가적으로 각각의 바퀴에 가해지는 반력을 구하기 위해 일반속력을 도입하여 편속도와 편각속도를 추가로 구하고 이때 그 방

 $q_1 = C_1$ 바퀴의 회전각 $u_1 = \dot{q}_1$ $q_2 = C_2$ 바퀴의 회전각 $u_2 = \dot{q}_2$ $q_3 = 몸체와 <math>\hat{a}_2$ 축 사잇각 $u_3 = \dot{q}_3$ (1) $q_4 = 몸체와 <math>\hat{a}_3$ 축 사잇각 $u_4 = \dot{q}_4$ $q_5 = S_c$ 점의 \hat{f}_1 방향 성분 $u_5 = C_3\dot{q}_5 - S_3\dot{q}_6$ $u_6 = S_3\dot{q}_5 + C_3\dot{q}_6$

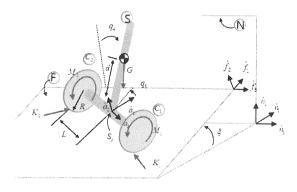


Fig. 1 Modeling of a inverted pendulum robot

항 성분으로의 힘이 새로운 운동방정식에 나타나게 된다. 작용하는 힘과 토크는 몸체와 바퀴의 하중와 바퀴에 작용하는 모터의 토크 그리고 바퀴와 접촉점사이에 작용하는 접촉력이며 접촉력을 반력와 마찰력으로 이루어진다. 이 때 모터의 토크는 몸체에 작용 반작용의 토크로 작용한다. 일반작용력, 일반 관성력 그리고 운동방정식은 다음의 식으로 구한다.

$$F_{i} = \vec{G}_{S} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{S^{*}} + \vec{G}_{C_{1}} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{C_{1}^{*}} + \vec{G}_{C_{2}} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{C_{2}^{*}}$$

$$+ \vec{K}_{1} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{\hat{C}_{1}} + \vec{K}_{2} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{\hat{C}_{2}} + \vec{M}_{1} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{C_{1}}$$

$$+ \vec{M}_{2} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{C_{2}} - \vec{M}_{1} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{S} - \vec{M}_{2} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{S}$$

$$(i = 1 \sim 8)$$

$$(2)$$

[†] Presenting Author, Idjin1114@naver.com

^{††} Corresponding Author, hhyoo@hanyang.ac.kr

$$F_{i}^{*} = \vec{R}_{S}^{*} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{S^{*}} + \vec{R}_{C_{1}}^{*} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{C_{1}^{*}} + \vec{R}_{C_{2}}^{*} \cdot {}^{N} \vec{v}_{i}^{C_{2}^{*}}$$

$$+ \vec{T}_{S}^{*} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{S} + \vec{T}_{C_{1}}^{*} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{C_{1}} + \vec{T}_{C_{2}}^{*} \cdot {}^{N} \vec{\omega}_{i}^{C_{2}}$$

$$(i = 1 \sim 8)$$

$$(3)$$

$$F_i + F_i^* = 0$$
(i = 1 ~ 8)

따라서 총 8 개의 방정식을 구하고 운동방정식 을 해석한다.

2.2 다물체 동역학 모델

이륜 역진자 로봇의 운동방정식을 검증하기 위해 다물체 동역학 해석 프로그램인 Recurdyn 을 이용하여 모델을 생성하였다. 다음의 그림과 같이 2 개의 바퀴와 하나의 몸체로 이루어진 강 체로 모델링하였다. 바퀴와 몸체는 revolute 조인 트로 연결하였고 바퀴와 지면사이는 surface 컨 택을 주었다. 컨택은 회색선으로 구성된 패치끼 리 컨택을 하게 된다. 그리고 지면의 기울기가 10 도인 상태로 해석을 수행하였다.

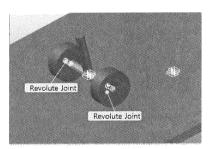


Fig. 2 Recurdyn model of inverted pendulum model

운동방정식 해석 결과와 Recurdyn 모델의 해석 결과는 다음과 같았다. 서로 거의 일치함을 확 인하였고 유도한 운동방정식이 타당함을 확인할 수 있었다.

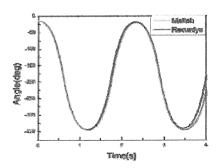


Fig. 3 q4 result of analysis of inverted pendulum robot

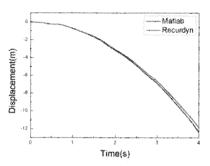


Fig. 4 q₅ result of analysis of inverted pendulum robot

3. 결론

본 논문에서는 미끄러지는 경우의 이륜 역진자로봇의 운동방정식을 유도하고 해석하였다. 그리고 다물체 동역학 프로그램인 recurdyn 을 이용하여 유도한 운동방정식의 타당성을 검증하였다. 추후 연구로는 유도한 운동방정식을 이용하여 역진자 로봇의 자세 제어 및 주행 제어에 대한 연구를수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 2014 년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아수행한 연구 과제입니다. (No. 20142020103970)

참고문헌

- (1) Won Seok Kang, Jun Hong Park, Hong Hee Yoo, 2014, "The experimental verification of the analytical model for the self-exited vibration caused by friction", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Coference, pp. 682~683
- (2) Feelix Grasser, Aldo D'Arrigo, Silvio Comlombi, Alfred C. Rufer, "JOE: A Mobile, Inverted Pendulum", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 49, No. 1, Feb. pp107~114, 2002.