강관 청소용 모바일 플랫폼의 최적 압착력에 대한 연구

A Study of the Optimal Clamping Force for Steel-Pipe Cleaning Mobile Platforms

*신동환, 정승민, 김윤구, 곽정환, 이힘주, 문진일, 안진웅#

*D-.H. Shin, S.M. Jeong, Y.G. Kim, J-.H. Kwak, H.J. Lee, J. Mun, J. An#(robot@dgist.ac.kr)

대구경북과학기술원 로봇시스템연구부

Key words : Optimal Clamping Forces, Three Point Contacts, Prismatic Joints

1. 서론

작업자의 접근이 용이하지 않는 지하에 매설된 강관 내부 검사용 로봇[1][2][3]의 경우 연구, 개발을 통해 현재 현장에서 사용이 되고 있다. 이에 비해 강관 내부를 청소할 수 있는 로봇에 대한 연구 개발은 미진한 실정이다. 강관 내 이물질이 끼어 경화된 슬러지가 관내 유동을 방해하는 한편, 상수도의 경우 강관 내 코팅이 벗겨져 녹슨 부분이 통과하는 물에 노출되어 식수원으로 사용하기에 부적절한 상황이 발생된다. 이에 기존에는 지하에 매설된 강관을 지상으로 들어내어 교체를 하거나 별도의 세척 및 코팅 후 다시 매설하는 형태의 작업이 이루어졌으며, 이 과정에서 적지 않은 시간과 비용이 소모되었다.

따라서 강관이 지하에 매설된 상태를 유지하면서 청소 및 코팅을 수행할 수 있는 매개체 개발의 필요성이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 사람이 접근하기 힘든 800mm이하의 직경을 가지는 강관에 대해, 코팅 작업 전 경화된 슬러지를 제거할 수 있는 강관 청소용 로봇 개발을 진행하고 있다. 이의 일환으로 본 논문에서는 원형 강관을 주행하기에 적합한 강관 청소용 로봇 플랫폼 컨셉에 대해 논의한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 컨셉 플랫폼에 대해 기술하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통한 최적 압착력에 대해 기술한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론에 대해 기술한다.

2. 컨셉 플랫폼

여기에서는 강관 청소용 로봇의 컨셉에 대해 기술한다. 브러시 또는 연마용 공구를 장착하고 회전을 통해 강관 내 슬러지 제거 임무를 수행하는 작업툴이 플랫폼 앞에 장착된다. 이 작업툴의 회전과 플랫폼 운전에 사용되는 전기 모터 구동을 위한 전기 변환 장치가 플랫폼 내에 장착되거나 플랫폼 뒤에 장착되어야 한다. 이와 더불어 전방에 설치되어 관 내부 상태에 대한 정보를 제공하는 비전 센서에 이물질이 부착되는 경우, 이를 제거할 수 있는 에어브러시 장치가 플랫폼에 장착되어야 하며 적절한 공압을 제공할 수 있는 소형 공압 탱크와 같은 임무 보조 장치들이 플랫폼 뒤에 배치된다. 작업툴의 브러시 작업 또는 연마 작업 수행을 위해서는 센터 유지가 중요하며 이를 위해 플랫폼과 강관은 최소 3점 이상 접촉 및 지지되어야 한다.

따라서 강관 청소용 모바일 플랫폼은 센터를 유지하면서, 작업툴 그리고 임무 보조 장치들을 포함한 무게를 견인할 수 있는 구조가 되어야 한다. 여기에서는 3점 지지 상태로 원형 관을 통과하는 플랫폼의 컨셉에 대해서 기술한다. Fig. 1은 플랫폼과 원형관의 3점 지지를 위해 120도 간격으로 세 개의 선형운동 조인트(Prismatic Joint)를 가지는 컨셉 플랫폼을 나타낸다.

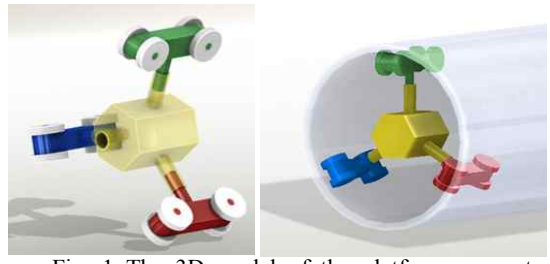


Fig. 1 The 3D model of the platform concept

선형운동 조인트에 스프링과 같은 수동적인 기계요소를 사용하는 것보다, 선형 운동을 생성하는 액추에이터를 사용하는 것이 센터 유지 능력 향상을 위해 바람직하다. 이러한 선형 운동을 생성시킬 수 있는 구동체(Actuator)로는 유압실린더, 공압 실린더, 리니어 모터, 그리고 회전 모터와 회전운동을 직선운동으로 변환시켜주는 볼스크류의 조합을 생각할 수 있다. 플랫폼의 제어 구동을 위한 전장부품과 매니퓰레이터를 회전시키는데 필요한 모터가 장착되는 플랫폼 메인 바디의 무게와 플랫폼 앞에서 브러싱이나 연마를 하는 작업툴에서 발생되는 동부하, 그리고 추가적으로 발생하는 임무 장비들의 무게를 고려한 최적의 선형 운동 구동체(Prismatic Actuator)의 압착력(Clamping Force) 산출이 필요하며, 산출된 압착력을 제공할 수 있으면서 전체적인 무게 감소를 위해 부대 요소들이 작은 구동방식을 선정할 필요가 있다.

3. 최적 압착력 검토

여기에서는 3점 지지에 적합한 Fig. 1의 컨셉 플랫

폼을 바탕으로 최적의 견인 조건을 가지는 압착력 산출을 위한 접근 방식에 대해 기술한다. Fig. 2는 다물체 동역학 해석을 위해 설계된 컨셉 3D 모바일 플랫폼에 요소 간 조인트 조건, 컨택 조건, 물성치, 모션 정보 등을 인가하여 전처리 작업을 수행한 모델을 나타낸다. 모션 정보로 각 뒷바퀴 모듈에 동일한 회전 각속도가 인가되도록 적용하였다.

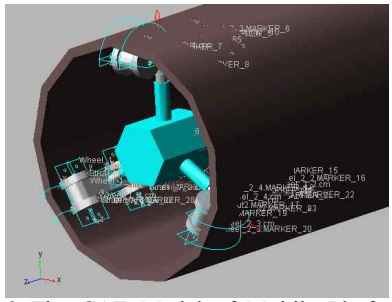


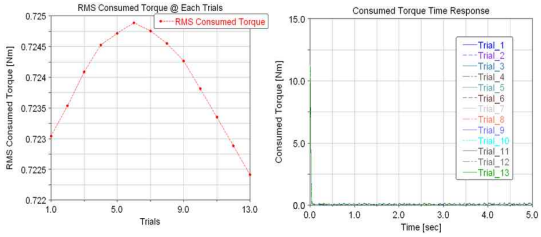
Fig. 2 The CAE Model of Mobile Platform

여기에서 설계변수는 좌측 하단과 우측 하단의 피스톤에서 발생하는 압착력으로 선정(하단 모터 2개 동기화)하였고, 반응 변수는 회전 각속도를 유지하기 위해 사용되는 토르크 소모량, 플랫폼 무게 중심의 Y축 변위량, 그리고 플랫폼 무게 중심의 직진속도(Forwarding Speed, Vz)로 선정하였다. 목적 함수로 각속도 프로파일을 추종하는데 소모되는 토르크는 작도록(망소조건), 센터 유지 능력 평가를 위한 플랫폼 무게 중심의 y축 변위량이 작도록(망소조건), 그리고 플랫폼 무게 중심의 직진속도(Forwarding Speed, Vz)는 빠르도록(망대조건) 설정하였다. 즉 센터 중심을 유지하면서, 빠르게 그리고 에너지 효율적으로 주행할 수 있는 최적의 압착력 즉 강관과 접촉된 상태에서 어느 정도 힘으로 벽을 밀면 최적의 조건인지 확인하고자 한다. Fig. 3은 실험계획법을 통해 산출된 13개의 실험 조건을 나타내고, Fig. 4는 시뮬레이션 실험결과를 나타낸다.

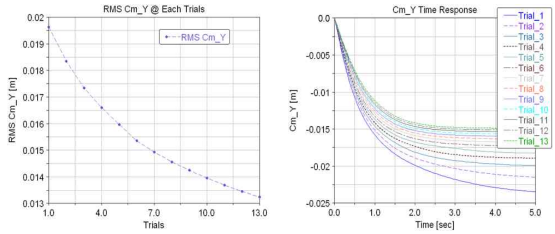
Work Space

	Trial	Clamping_Force	reseponse_cm_y	response_cm_Vz	Response_Torque_Consumption
1	Trial 1	167.59			
2	Trial 2	179.561			
3	Trial 3	191.532			
4	Trial 4	203.503			
5	Trial 5	215.474			
6	Trial 6	227.444			
7	Trial 7	239.415			
8	Trial 8	251.386			
9	Trial 9	263.356			
10	Trial 10	275.327			
11	Trial 11	287.298			
12	Trial 12	299.269			
13	Trial 13	311.24			

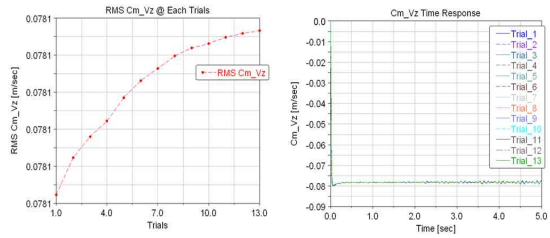
Fig. 3 Trial List of Design Variable



(a) Consumed Torque Responses



(b) Cm_Y Responses



(C) Cm_Vz Responses

Fig. 4 Simulation Results

Fig. 4의 우측 그림은 각 반응변수들의 시간응답을 나타내며, 좌측 그림은 각 Trial 별 RMS(Root Mean Square)값을 나타낸다. 컨셉 플랫폼과 주어진 작동조건(하단 모터 2개 동기화)에서 최적의 압착력은 311.24N임을 알 수 있다.

4. 결론 및 Further Work

강관 청소용으로 적합한 컨셉 플랫폼에 대해 검토하였으며, 해당 컨셉 플랫폼이 관내 주행에 적합한 최적 압착력에 대해 다물체 동역학 시뮬레이션을 통해 검토하였다. Further Work로는 임무 장비와 작업툴의 동부하를 포함시킨 조건의 시뮬레이션을 통해 컨셉 플랫폼의 보완 및 Feasibility를 검토하고자 한다.

후기

본 논문은 교육과학기술부 기관고유과제 연구비와, 생산기술사업화 지원사업 연구비로 수행된 연구 결과입니다.

참고문헌

1. Roh, S., Kim, D., Lee, J., Moon, H. and Choi, H., "In-pipe robot based on selective drive mechanism", International Journal of Control, Automation and Systems, Volume 7, Number 1, 105-112, 2009
2. Kawaguchi, Y., Yoshida, I., Kurumatani, H., Kikuta, T. and Yamada, Y., "Internal pipe inspection robot", Proceedings of Robotics and Automation, 857 - 862, 1995
3. Yunwei, Z., and Guozheng, Y. "In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting", Mechanism and Machine Theory, Volume 42, Issue 12, 1618-1631, 2007
4. ADAMS MANUAL