

가선 트롤리선의 장력제어 시스템 구성

황영구*, 홍순일*, 정승환*, 윤성호*, 이영수*
부경대*

Scheme of Tension control for the Stringing Trolley Wire

young-Gu Hwang*, Soon-Il Hong*, Seung-Hwan Jung*, Sung-Ho Yoon*, Young-Soo Lee*
PuKyong National University*

Abstract - 본 연구는 이동하면서 트롤리선 가설하는 작업로봇에서 가선 트롤리선에 대한 장력제어 방법이 제안되었다. 비선형 와이어 모델, AC 전동기를 이용한 장력발생 시스템 및 와이어 장력 방정식에 기초하여 장력제어 시스템이 로드셀에 의한 장력 검출로 설계되고 실행되었다. 장력응답은 실험에서 만족하게 장력의 조절하는 것으로 보인다. 제안한 장력제어 시스템은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 결과가 유효함을 증명하였다.

1. 서론

현재에 전차 트롤리선의 가설작업은 딥 측정에 의해 수동으로 하고 있지만 작업(task)의 안전과 효율을 위하여 자동 가설하는 장치의 개발이 필요하다. 트롤리선 가설작업은 장력/이동의 두 작업이 필요하다. 또한 트롤리선 자동가설 작업로봇은 가설 케이블의 동적모델이 비선형 시변계이기 때문에 이동/장력제어의 두 동작에 대하여 서로 간섭이 생긴다. 이러한 문제를 고려한 장력제어 시스템이 필요하다.

본 연구는 트롤리선 가설 작업에서 가선 케이블과 장력발생 서보 전동기를 모델링하고 가선 케이블 장력특성에 기초하여 장력제어 시스템의 구성을 제안한다. 장력제어 시스템은 로드셀에 의해 실측한 장력의 피드백제어를 기본으로 하고 속응성과 정상특성을 개선하기 위하여 PID 보상을 행한다. 제어의 연산 결과는 토크 지령치로 실측토크와 비교되어 토크 제어기(C1)에 입력되고 지령토크에 추종하여 서보 전동기의 토크를 제어한다.

2. 장력 제어 시스템

작업로봇은 한 쪽 끝에 고정되어 있는 지점에서 전차 트롤리선을 로봇이 이동하면서 트롤리선의 장력을 일정하게 유지하도록 가설하는 것이다. Fig.1은 트롤리선 가설작업 로봇의 구조와 로봇 위에 탑재되어 있는 장력제어 시스템의 원리를 나타낸다. 장력 검출은 Load cell을 이용하고 브리지에 인가전압이 걸려있어 여기에 장력이 가해지면 외형이 생겨 내부의 저항치 변화가 전압의 변화로 출력된다. 이 출력전압이 측정장력에 비례한다.

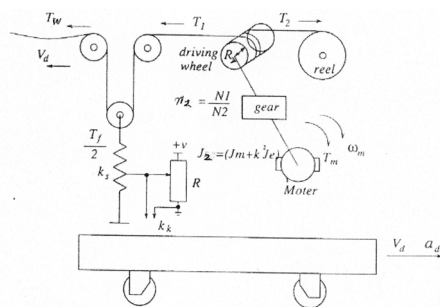


Fig.1 The working robot and principle of tension control system

와이어 운동 방정식은 탄성한계 내에서 당길 때 발생하는 외형 응력은 후 범칙에서 (1)과 같다.

$$T_w = \frac{\Delta l}{l} \cdot ES = \frac{(x-l)}{l} \cdot ES \quad (1)$$

장력발생 전동기는 (2)와 같이 모델링된다.

$$G(s) = 0.4e^{-0.002s} \frac{1 + (1/350)s}{1 + (1/90)s} \quad (2)$$

장력계의 운동 방정식은 (3)이 된다.

$$J_2 \ddot{l} = - \left[\frac{T_M}{R_2} + T_D \right] + T_w \quad (3)$$

장력 검출은 로드셀을 이용하고 이 로드셀은 금속의 변형에 의해 장력을 측정하고 있다.

3. 장력제어계 구성

트롤리선 장력제어 원리는 드림의 앞단에 구동륜(Driving Wheel)을 부착하고 이것을 교류 서보전동기로 토크를 제어하여 장력제어를 실현한다. 케이블을 구동륜에 몇 회 감으면 케이블의 한쪽 끝단에 걸리는 큰 힘을 다른 끝단에서 작은 힘으로 인장할 수 있다. 이것은 구동륜의 한 단에 걸린 큰 힘을 구동륜의 마찰력에 의해 계류할 수 있는 원리를 이용한다. 또한 장력제어 시스템은 한 쪽 끝에 고정된 트롤리선을 로봇이 이동하면서 일정 장력으로 가선한다. 장력제어 시스템의 구성은 장력제어기(PID), 와이어 운동방정식, 장력 발생용 교류 서보 전동기 모델, 장력계 운동방정식 및 토크 제어기(C1)으로 구성된다.

Fig. 2는 지금까지 유도한 식에 의해 구성된 장력제어 시스템의 블록 선도이다.

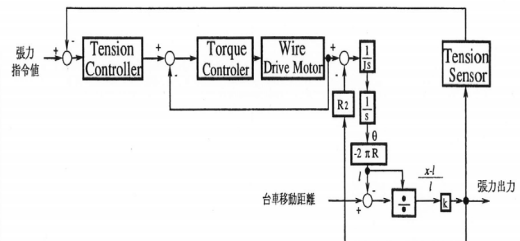


Fig. 2 Block diagram of the proposed tension control system.

장력제어는 장력지령치와 실측한 장력의 오차에서 제어 출력을 구하는 피드백제어를 기본으로 하고 속응성과 정상특성을 개선하기 위하여 PID 보상을 행한다. 제어의 연산 결과는 토크 지령치로 실측토크와 비교되어 토크 제어기(C1)에 입력되고 서보 전동기는 지령토크에 추종하여 전동기를 제어한다.

4. 시뮬레이션과 실험

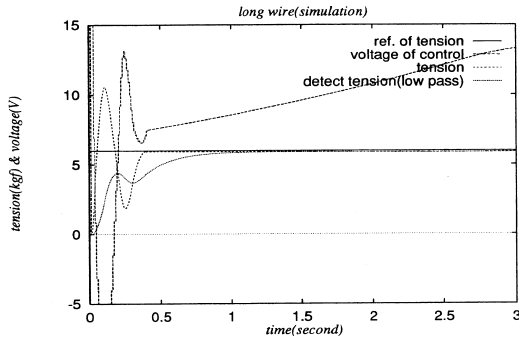
Fig. 3는 제어 시작이 케이블의 길이 l = 1.2m에서 계산한 장력 응답이고 Fig. 4는 그 때 케이블 길이의 응답을 나타낸다. 그 결과, 목표 장력은 6 kgf이고 여기서 실 장력은 오버슈트 있지만 지역필터를 통한 후에는 목표치에 수렴하고 있는 것을 알 수 있다. 이 결과 장력의 시뮬레이션 응답특성은 초기에는 오버슈트와 진동이 발생하였지만 정상 상태에는 목적으로 한 일정 장력제어를 실행할 수 있는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

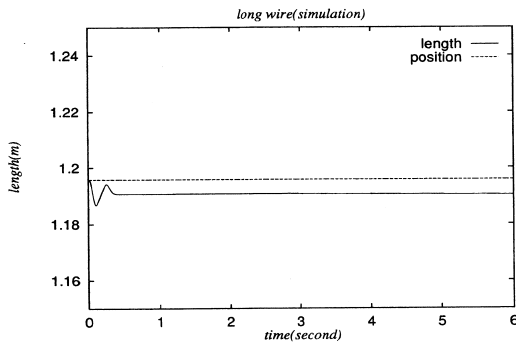
본 논문은 전차 트로이 선 (와이어 케이블) 가설 작업에서 와이어 케이블의 일정 장력유지 제어시스템이 제안되었다. 제안된 장력제어 시스템은 케이블, 장력발생 교류 서보 전동기, 와이어 케이블 모델과 그 운동 방정식을 이용하여 간략하게 나타내었고 이동/ 장력 혼합제어의 구성에 편리하다. 구성된 장력제어시스템은 시뮬레이션과 실험을 통해 그 유용성이 입증되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mehrzad Namvar and Farhad Aghili, Member, IEEE "Adaptive Force-Motion Control of Coordinated Robots Interacting With Geometrically Unknown Environments," IEEE Transactions on Robotics, Vol. 21. No. 4, pp 678-694, August 2005.
- [2] 村上慶一, "30年 も 電車線", JR East R&D Symposium, pp. 176-186, 1998
- [3] Hakan Koc, Dominique Knittel, Michel de Mathelin, and Gabriel Abba, "Modeling and Robust Control of Winding Systems for Elastic Webs," IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 10, No.2, pp. 197-208, March 2002.
- [4] 김실근, 홍순일, 홍정표, "전동차 트로이선 가설 작업로봇의 이동 제어", 한국마린엔지니어링 학회지, Vol. 30. No. 8, pp 118-124, 2006.

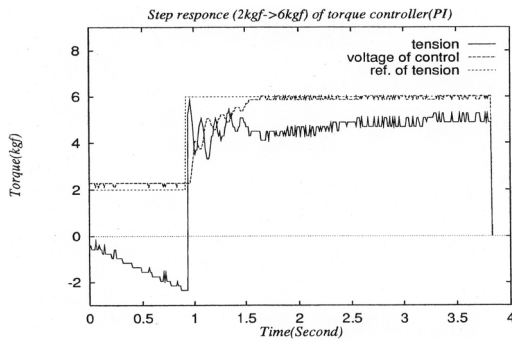


<Fig.3> Simulated step response of tension.

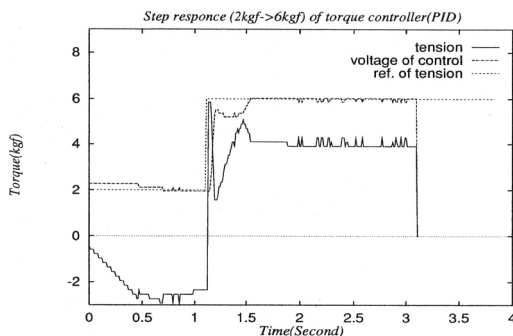


<Fig.4> Simulated step response of length.

Fig. 5은 PI 제어이고 Fig. 6은 PID 제어이다. 이 경우 Fig. 5는 차대의 위치를 고정하고 설정 장력은 $2kgf \rightarrow 6kgf$ 계단 입력한 장력응답을 나타낸다. 이 실험에서 대차의 위치가 고정된 상태에서 장력응답은 목표장력에 추종하여 양호하고 시뮬레이션의 응답과 같은 특성을 얻었다. 그러나 대차가 이동할 때는 목표장력을 추종하지 못하는 응답을 나타내고 있으며 이것은 속도 피드포워드 도입 등 외란 억제방법이 필요하다는 것을 알 수 있다.



<Fig.5> Experimental step response with PI Control



<Fig.6> Experimental step response with PID Control