

트로이선 가설 작업 로봇의 장력 및 이동 제어에 관한 연구

홍정표, 원태현, 김문수, *홍순일
 동의과학대학 전기과, *부경대학교 전기공학과

Hybrid Tension/Mobile Control of working Robot for installed Troy Cable

Jeng-Pyo Hong, Tae-Hyun Won, Mun-Soo Kim, *Soon-Ill Hong
 Dong-Eui institute of Technology, *Pukyong National univ.

ABSTRACT

The objective of this study is development of a installed working robot for a troy cable with mobile and tension system. In this paper, an approach to designing controllers for dynamic hybrid Tension/Mobile control of a installed robot for a troy wire cable is presented. Mobile control system of robot is designed based on equation of dc motor and motion for moving robot and tension control system is designed based on equation of ac servomotor for generating torque and dynamic equation of a wire cable. The control parameters is determined by simulation in independence operation of two system.

1. 서론

로봇에 의해 2개 이상의 복합작업을 할 때 서로 간섭이 생고 위치/ 힘의 제어, 힘/자세 제어와 같은 복합작업에서 간섭억제에 대한 연구가 있다 [3, 4]. 몇 개의 작업을 복합적으로 행하도록 제어방식을 확립하는 것이 인간을 대신한 작업로봇이 출현하기 위한 절대조건이다. 이를 해결하기 위해서는 복합화를 위한 제어방식을 확립하고 많은 시행착오와 Know how의 축적이 필요하다. 전차 트로이선 등의 가설작업은 산업현장에서 필요한 작업이고 일반적으로 윈치 크레인에 의해 수동으로 운전자의 경험적 지식에 의해 행해지고 있다. 이러한 작업에서 주된 목적은 드럼에서 와이어 케이블이 풀리는 동안 장력이 일정히 유지되도록 제어하는 것이다. 본 연구는 작업 로봇이 이동하면서 드럼에서 전차 트로이 선을 풀고 일정 장력을 유지하는 피드포워드 형 2 자유도 제어의 혼합 제어 시스템의 구성을 나타내었다. 로봇을 혼합제어 할 때 이동과 장력시스템은 각각 동작에 의해 서로 간섭을 받기 때문에 이 문제를 해결하기 위해 이동과 장력이 서로 비간섭 제어기구로 구성한다. 제안한 피드포워드 형 2 자유도 제어의 방법이 시뮬레이션과 실험을 통해 고찰하고 그 유용성을 나타내었다.

2. 작업 로봇

2.1 작업로봇 모델

그림 1은 작업로봇의 외형도이고 동작 사양은 2차원의 이동이 가능하고 이동 중에 와이어를 일정 장력(등 장력)으로 당기는 작업 로봇이다.

이동시스템은 알루미늄 프레임으로 된 높이 약 70cm의 차대이고 상부에 장력제어 장치를 탑재할 수 있도록 직경50[cm] 두께 10[mm] 의 알루미늄 원판을 설치한다. 로봇 이동방법은 차륜을 사용하고 좌우에 구동륜이 2개, 전후에 방향을 자유로 변하게 할 수 있는 보조륜이 2개 모두 4개가 있다. DC 전동기 축에는 감속기(20:1)가 직결되어 있고 구동륜의 동력 전달장치는 체인을 사용한다. 이 이동시스템 위에 장력제어 시스템이 탑재되어 있다

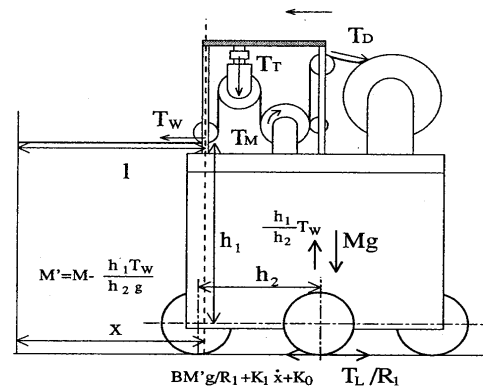


그림 1 작업로봇 외형도

장력제어 시스템은 전동차 트로이선(이하 와이어라 함)을 감아 둔 드럼, 와이어를 유도하는 활차, 와이어에 장력을 주는 구동활차, 장력을 측정하는 로드셀(Road Cell) 그리고 검출 장력을 와이어에 전달하는 동활차 등 5개 부분으로 구성된다. 그리고 구동 활차의 구동 토크를 발생하는 교류 서보 전동기가 있다. 장력 발생 전동기의 토크는 치차(30:1)를 통해서 큰 구동 토크를 얻는다. 로봇 최대 속도는 1[m/sec] 이고 최대 가속도는 0.5[m/sec²]이다.

3. 로봇 시스템

3.1 이동제어 시스템

로봇 주행은 DC 전동기의 속도제어에 의해 목적의 위치에 이동한다. 로봇 이동거리는 (1)이다.

$$x = R_1 \theta_L = R_1 \frac{\theta_M}{n_1} \quad (1)$$

x : 고정점에서 차대의 이동거리 전달함수는 (2)이다.

$$G_M(s) = \frac{A_{mp}K_T}{J_1 L_a s^2 + J_1 (R_a + \frac{A_m}{K_i})s + K_T K_E} \quad (2)$$

여기서, T_g : 전자적 출력 토크, L_a : 전기자 인덕턴스, R_a : 전기자 저항, K_E : 유기전압 정수, K_i : 전류 피드백 계수, v_a : 전동기 입력 전압, θ_L : 차륜의 회전각 변위, J_1 : 전동기축 환산 합성 관성 모멘트, θ_M : 직류 전동기 회전각 변위, T_{n1} : 전동기 축 동마찰력, n_1 : 기어의 감속비, T_{n2} : 기어+차륜의 축 동마찰 토크, K_T : 토크 정수, A_m : 전류 증폭비.

속도제어(Speed controller)는 입력한 속도 지령에 추종하도록 속도 피드백하고 속도 외란에 의한 영향을 억제하고 목적거리에 이동하기 위해 PI보상한다.

전동기 입력 전압은 (3)이다

$$v_a(s) = K_{mp} (1 + \frac{1}{T_{mI} \cdot s}) (v^*(s) - v_{enco}(s)) \quad (3)$$

여기서,

$v_a(s)$: 전동기 입력전압 K_{mp} : 비례상수

T_{mI} : 적분 상수

$v^*(s)$: 속도 지령

v_{enco} : 실제속도

3.2 장력제어 시스템

장력발생 교류 전동기는 정격출력 0.2kW, 정격토크 6.5kgf·cm 이고 입력을 전압[V]로 하고 출력을 토크[kgf]로 하여 측정된 주파수 특성에서 (4)와 같이 모델링된다.

$$G(s) = 0.4e^{-0.002s} \frac{1 + (1/350)s}{1 + (1/90)s} \quad (4)$$

토크 제어기는 기존 제품 MELSERVO-H 이고 발생 토크는 지령전압에 직접 비례하며 비례정수는 C_1 이다. 발생 토크는 30:1의 감속기를 통하여 구동휠에 전달되며 와이어 인출 최고 속도 20[cm/s]로 한다. 와이어는 드럼에서 v_w 속도로 풀리면서 일정 장력으로 당겨지고 길이와 무게 중심이 변해도 모양은 변화하지 않고 수하특성이 없는 것으로 가정한다.

와이어 운동 방정식은 탄성한계 내에서 당길 때 발생하는 외형 응력은 후 범칙에서 (5)이다.

$$T_w = \frac{(x-l)}{l} ES \quad (5)$$

여기서, E : 영률, l : 케이블 길이, S : 케이블 단면적, Δl 인장 케이블 길이 변화량, $ES = 1.4 \times 10^3$ [kgf]. 또한 장력은 로봇이 주행한 거리와 드럼에서 풀린 케이블 길이의 차이므로 (5)에서 (6)가 된다.

$$T_w = ES \frac{\int_0^t (v_{ro} - v_w) dt}{\int_0^t v_w dt} \quad (6)$$

여기서 v_{ro} , v_w 는 로봇 주행속도 및 와이어 인출 속도이다. 장력은 로봇 주행속도에 직접 관계하고 그 영향이 와이어 길이에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

장력계의 운동 방정식은 (7), (8)이 된다.

$$J_2 \ddot{l} = - \left[\frac{T_M}{R_2} + T_D \right] + T_W \quad (7)$$

$$T_D = \begin{cases} 0 & \dot{l} < 0 \\ C & \dot{l} \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서

J_2 : 장력발생 구동휠 관성 모멘트 l : 와이어의 길이
 T_M : 장력발생 전동기의 토크 R_2 : 장력 발생 구동휠의 반경

T_D : 와이어 구동휠의 동마찰력

T_W : 와이어의 장력

C : 동마찰 정수

4 작업로봇 시스템 구성

4.1 작업로봇제어

그림 2는 앞에서 유도한 제어 방법에 따라 제안한 이동 시스템과 장력제어 시스템으로 구성된 트로이선 가설 작업 로봇 제어 블록선도이다. 이동제어 시스템은 (1) 및 (2)에 의해 구성하고 (3)과 같이 PI 제어한다.

장력 제어 시스템은 와이어 운동방정식(5), (6), (7) 및 (8)과 장력 발생용 교류 서보 전동기를 구성하고 장력 측정은 로드셀에 동할차를 연결하여 측정한다.

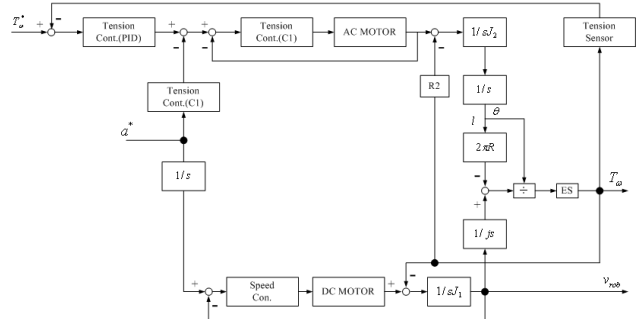


그림 2 제안한 장력/이동제어 블록선도

장력제어는 장력을 측정하여 지령치와 비교한 오차에서 제어출력을 구하고 속응성과 정상특성을 개선하기 위해서 PID 보상을 한다. 제어 연산결과는 토크 지령치와 비교하여 서보 전동기 제어기에 출력되고 서보 제어기는 지령 토크에 추종하여 서보 전동기의 토크제어를 행한다.

4.2 시뮬레이션 결과

이동시스템의 속도제어는 PI 제어 하고 $K_{mp} = 2.0$, $T_{mI} = 0.5$ 를 채택한다. 장력제어는 PID제어하고 $K_{wD} = 0.25$, $T_{wI} = 0.1$ 및 $T_{wD} = 0.03$ 을 채택한다. 그리고 목표장력은 $T_w^* = 6\text{kgf}$ 이고 와이어 풀린 길이 $l = 1.2\text{m}$, $l = 0.4\text{m}$ 로 한다. 표1은 이동 시스템과 장력 시스템의 파라미터 정수이다.

표 2 이동시스템의 정수

K_T	$0.66[kgf \cdot cm/A]$	B	$0.19kgf \cdot cm$
R_a	$1.3[\Omega]$	R_1	6.25 cm
L_a	$1.7[mH]$	A_m	15
K_E	$0.0649[V/(rad/s)]$	M	$100Kg$
J_1	$0.00079[Kg \cdot m^2]$	n_1	$1/20$
K_b	$6.8[V/Krpm]$	$1/K_i$	1.35
J_2	$3.5 \times 10^{-5} kgm^2$	R_2	$2.55cm$
$v_{wir} \text{ max}$	$20cm/s$	n_2	$1/30$
C_1	$7.16[kgf/V]$		

그림 3과 4는 간섭억제를 위한 피드포워드는 하지 않고 $l=1.2m, 0.4m$ 의 경우 혼합제어 한 경우이고 이결과 장력응답은 차대 이동 시작점에서 오버슈트가 발생함을 알 수 있다.

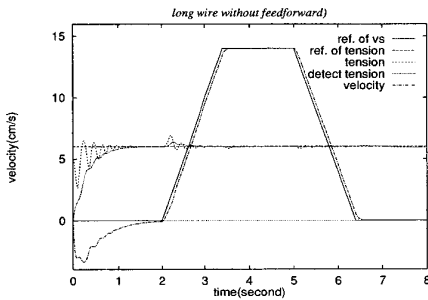


그림 3 피드포워드 없는 응답($l=1.2m$)

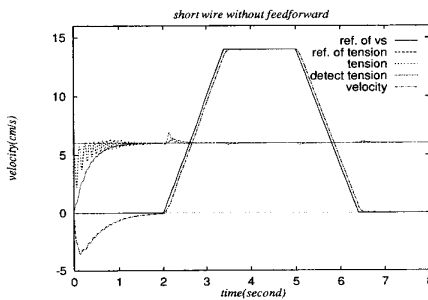


그림 4 피드포워드 없는 응답($l=0.4m$)

그림 5와 6은 간섭 억제를 위해 피드포워드를 하여 혼합 제어 응답을 나타낸다. 피드포워드 량은 시뮬레이션에 의한 시행착오의 결과 정상오차를 1%이하까지 억제 가능한 $K_F=0.25, K_s=1.5$ 로 결정하였다. 이것은 $l=1.2m$ 를 기준으로 한 것이다. 그래프는 위에서 차례로 속도 지령치, 장력 지령치, 실제의 장력, 로드셀을 통한 검출 토크, 차대의 속도를 나타낸다. 이결과 장력응답은 피드포워드를 하지 않은 것 보다 차대 이동 시작점에서 오버슈트가 감소함을 알 수 있다.

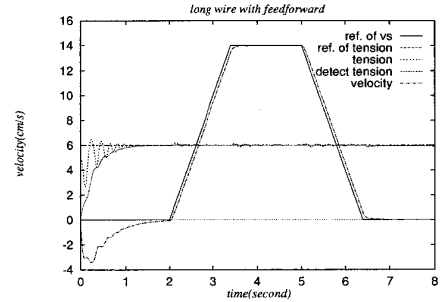


그림 5 피드포워드시 응답($l=1.2m$)

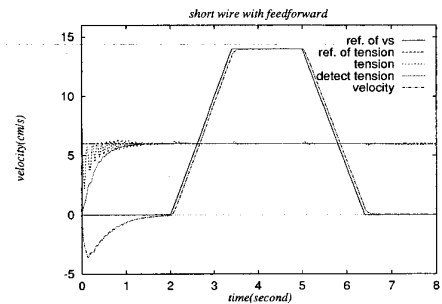


그림 6 피드포워드 시 응답($l=0.4m$)

5 결론

본 논문에서는 전차 트로이 선 가설 작업로봇에 의한 케이블의 일정 장력유지 및 이동의 혼합제어 시스템을 제안하였다. 또한 직류 전동기를 이용한 로봇의 이동시스템은 간략하게 모델링하였고, 교류 서보 전동기를 이용한 와이어 케이블 장력제어 시스템은 그 운동 방정식이 간략하게 모델링하였다. 그리고, 피드포워드의 도입으로 이동과 장력제어에 관한 혼합작업에서 간섭억제 시스템이 구축되었고 시뮬레이션을 통해 그 유용성을 비교 검토하였다.

참고 문헌

- [1] Luigi Villani, Ciro Natale, Bruno Siciliano and Carlos Canudas de Wit, "An Experimental Study of Adaptive Force/Position Control Algorithms for an Industrial Robot," IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 8, No. 5, pp. 777-786, September 2002.
- [2] 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.
- [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 2003. N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.