

전동차 트로이선 가설 작업로봇의 장력/이동의 혼합제어

박종일, 정승환, 홍정표, 홍순일
 부경대학교 전기제어계측 공학부

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

Jong-Il Park, Seung-Hwan lung, Jung-Pyo Hong, and Soon-Il Hong
 Pukyong National University

Abstract - 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 tension control system is designed based on equation of ac servomotor for generating torque and dynamic equation of a wire cable.

Dynamic hybrid control system is proposed by feedforward controller with acceleration and tension at start of robot to the case where the tow task of robot dynamics is suppressed a mutual interference. The proposed system is simulated and experimented, results is verified the utilities.

Key word ; hybrid Tension/Mobile control, installed working robot.

1. 서 론

로봇에 의해 2개 이상의 복합작업을 할 때 서로 간섭이 생기고 위치/힘의 제어, 힘/자세 제어와 같은 복합작업에서 간섭억제에 대한 연구가 있다 [2, 3]. 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 피드포워드형 2자유도 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.

제한한 피드포워드형 2자유도 제어의 방법이 시뮬레이션과 실험을 통해 고찰하고 그 유용성을 나타내었다 [1, 2].

2. 로봇시스템

2.1 이동제어 시스템

로봇 주행은 DC 전동기의 속도제어에 의하고 로봇 이동거리는 (1)이다.

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

전달함수는 (2)이다.

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

속도제어는 입력한 속도 지령에 추종하고 외란 영향을 억제하기 위해 PI보상한다.

전동기 입력 전압은 (3)이다.

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

2.2 장력제어 시스템

장력발생 교류 전동기는 (4)와 같이 모델링된다.

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

발생 토크는 지령전압에 직접 비례하며 비례정수는 C_1 이다. 와이어 운동 방정식은 탄성한계 내에서 당길 때 발생하는 외형 응력은 후 범칙에서 (5)이다.

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

여기서, $ES = 1.4 \times 10^3 [kgf]$. 또한 장력은 로봇이 주행한 거리와 드럼에서 풀린 케이블 길이의 차이므로 (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.

장력계의 운동 방정식은 (7)이 된다.

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

2.3 간섭억제 제어

장력계는 비선형이고 차대가 정지상태와 주행상태에는 구동 활자의 힘의 방향은 정반대이기 때문에 차대의 이동 초기는 이동계에서 장력계로의 영향이 특히 크다. 이것에 대응하기 위해 피드포워드형 2자유도 제어방식을 제안한다.

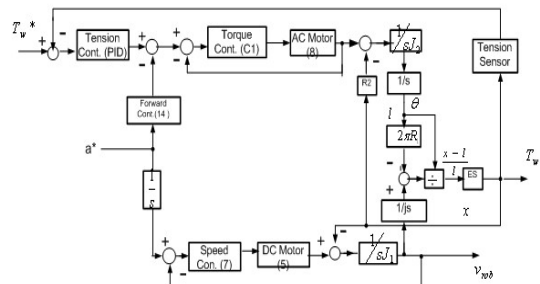
비간섭화 제어시스템의 구성방법은 (8)와 같이 피드포워드 제어한다.

$$V_F(t) = K_F \cdot a(t) + K_S \cdot u(t - t_s - t_d) \quad (8)$$

3. 작업로봇 시스템 제어

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

장력 제어 시스템은 와이어 운동방정식 (5), (6), (7)과 장력 발생용 교류 서보 전동기 모델 (4)로 구성되고 장력 측정은 로드셀에 동활차를 연결하여 측정한다.



<그림 1> 제안한 장력/이동제어 블록선도

비간섭 제어는 (8)에 의해 구성한다. 장력제어는 장력을 측정하여 지령치와 비교한 오차에서 제어출력을 구하고 속도성과 정상특성을 개선하기 위해서 PID 보상을 한다. 제어 연산결과는 토크 지령치와 비교하여 서보 전동기 제어기에 출력되고 서보 제어기는 지령 토크에 추종하여 서보 전동기의 토크제어를 행한다.

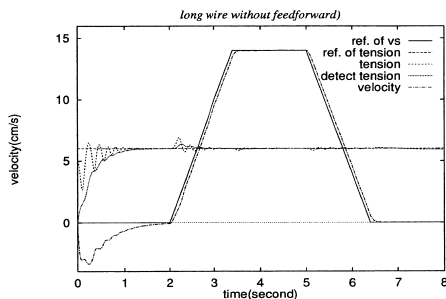
4. 시뮬레이션 및 실험결과

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

<표 1> 이동시스템 정수

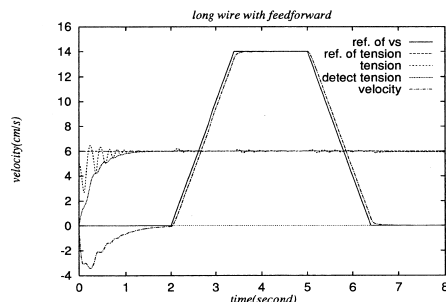
K_T	$0.66[kgf \cdot cm/A]$	B	$0.19kgf \cdot cm$
R_a	$1.3[\Omega]$	R_1	6.25 cm
L_a	$1.7[mH]$	A_m	15
K_E	$0.0649[V/(rad/s)]$	M	100 Kg
J_1	$0.00079[Kg \cdot m^2]$	n_1	$1/20$
K_b	$6.8[V/Krpm]$	$1/K_i$	1.35
J_2	$3.5 \times 10^{-5}kgm^2$	R_2	2.55 cm
$v_{wir\max}$	$20cm/s$	n_2	$1/30$
C_1	$7.16[kgf/V]$		

그림 2는 간섭억제를 위한 피드포워드는 하지 않고 혼합제어 한 경우이고 이결과 장력응답은 차대 이동 시작점에서 오버슈트가 발생함을 알 수 있다.



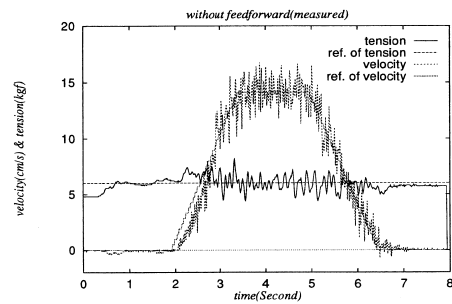
<그림 2> 피드포워드 없는 시뮬레이션 응답 ($l = 1.2m$)

그림 3은 피드포워드를 한 혼합제어 응답을 나타낸다. 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.

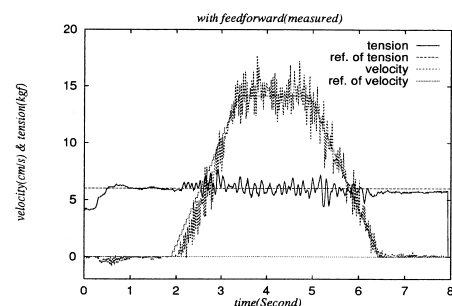


<그림 3> 피드포워드 한 시뮬레이션 응답 ($l = 1.2m$)

그림 4, 5는 $l = 1.2m$ 로 하여 피드포워드 없이 실험 한 것과 피드포워드 있는 혼합제어를 하였을 때 대차 속도추정치, 기준속도, 장력추정치 및 목표장력을 나타낸다.



<그림 4> 피드포워드 없는 실험응답 ($l = 1.2m$)



<그림5> 피드포워드 한 실험응답 ($l = 1.2m$)

이상 실험 결과에서 피드포워드 없을 때 로봇 이동 시작점에서 장력응답은 큰 오버슈트를 나타낸다. 그러나 피드포워드 있을 때는 로봇 이동 시작점에서 장력응답은 오버슈트가 소멸되는 것을 볼 수 있다. 실험결과 응답과 시뮬레이션 응답이 일치하고 피드포워드의 효과가 입증되었다. 그리고 제안한 로봇 시스템의 유용성이 검증되었다.

5. 결 론

본 논문은 전차 트로이 선 (와이어 케이블) 가설 작업로봇에 의해 와이어 케이블의 일정 장력유지와 이동에 관한 혼합제어 시스템을 제안하였다.

- 1) 직류 전동기를 이용한 로봇의 이동시스템은 간략하게 모델링되었고 응답은 오버슈트가 작고 속도성을 나타내었다.
- 2) 교류 서보 전동기를 이용한 와이어 케이블 장력제어 시스템은 그 운동 방식적이 간략하게 모델링하였다.
- 3) 피드포워드의 도입으로 이동과 장력제어에 관한 혼합작업에서 간섭억제 시스템이 구축되었고 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 유용성이 검토되었다.

[참 고 문 헌]

- [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.