

전차 급전선 케이블 가설 작업 로봇의 이동제어

홍순일, 박종선, 홍정표, 김실근
부경대학교 전기제어 계측공학부

Mobile control for installed working robot of a feed cable line of an electric train

Soon-Il Hong, Jong-Sun Park, Jung-Pyo Hong and Sil-Kun Kim
Pukyong National University

2. 작업 모델 로봇

Abstract - 본 논문은 전차선 급전 케이블 자동가설 로봇의 이동제어를 나타내었다. 작업로봇의 차륜 구동부를 모델링하여 이동제어 시스템이 작업로봇의 이동에 유용한 것을 구명하였다. 실험을 하여 실용성을 검토하였다.

Key words : 전차선 급전 케이블, 작업로봇 이동제어.

1. 서 론

최근, 인간을 나쁜 작업상황 이나 단순 작업에서 해방시키는 것으로 생산 시스템의 자동화, 자동기계 또는 그 기계를 제어하는 자동제어 이론이 연구되어 실용화되고 있다[1,2].

전차에 전기를 급전하는 케이블이 필요로 한다. 케이블 가설 작업은 케이블이 느슨하지 않고 케이블이 끊기는 한계를 장력이 넘지 않게 하기 위해 적당한 장력을 주면서 가설하지 않으면 안 된다. 이 경우 장력 제어가 필요하고 장력을 일정히 유지하기 위해서 로봇의 이동 제어가 필요하다[3,4].

전차선 케이블(트로리선) 가설 작업은 자동화가 필요하다. 본 연구의 목적은 전차 트로리선 자동 가설을 위해 케이블을 실은 운반차가 이동하면서 케이블을 끌어당기고 동시에 당기는 장력을 일정하게 유지하는 작업 로봇의 제작이다[5,6].

본 논문은 차륜 구동부의 이동제어에 관해서 나타내었다. 이동 로봇의 속도제어를 위해서 로봇의 이동제어 시스템의 구조를 설계하고 각 파라미터 등의 값을 결정한다.

작업로봇에서 차륜을 구동부를 모델링하여 시뮬레이션을 행하여 구성한 속도제어 시스템이 작업로봇의 이동에 유용한 것을 구명하였다. 끝으로 이동부의 실험을 하여 실용성을 검토하였다.

2.1 작업 로봇 구성

작업 로봇은 이동하는 차대 부분과 일정 장력 유지 부분의 2개의 기구와, 제어로 된다.

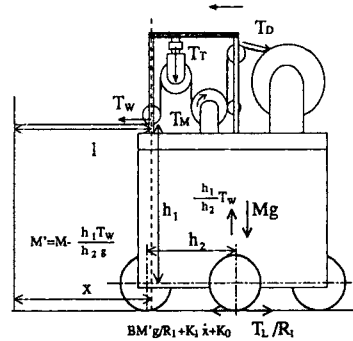


그림 1 케이블 가설 작업로봇 모델

그림 1은 케이블 가설 작업 로봇의 구성을 나타낸다. 로봇은 완전 자립형이고 로봇 상부에 각 전기 회로가 탑재되어 있고 각 회로에 전용 CPU에서 전체를 제어하는 멀티프로세스 시스템이다. 로봇 중량은 100[Kg], 최고 속도 1 [m/ sec] 최대 가속도 0.5 [m/ sec²] 이다.

2.2 이동 모델

차대의 이동에 관한 운동 방정식은 식(1),(2)와 같이 된다.

$$M\ddot{x} = \frac{T_l}{R_l} - T_w - \frac{Bg}{R_l} \left(M - \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{T_w}{g} \right) - K_0\dot{x} - K_{11} \quad (1)$$

$$M\ddot{x} < \mu \left(Mg - \frac{h_1}{h_2} \cdot T_w \right) \quad (2)$$

x : 차대의 와이어 고정 점에서의 거리

여기서 식(2)는 차대가 미끄러지지 않기 위한 조건식이

다. 그리고 주행용 DC 전동기에 의한 로봇의 이동거리는 식(3)이 된다.

$$x = R_1 \theta_L = R_1 \frac{\theta_M}{n} \quad (3)$$

여기서, θ_L : 로봇 회전각 변위

θ_M : 전동기 회전각변위

n : 치차비

로봇 시스템의 전동기 부하 토오크는 식(4)이다.

$$T_L = T \times n + \frac{B M g / 2}{n} \quad (4)$$

2.3 전동기 모델

여기서는 작업로봇의 이동 x 를 행하는 직류 전동기는 다음이 된다.

$$v = R_a i + L_a \frac{di}{dt} + K_E \omega \quad (5)$$

$$T_m(t) = K_m \Phi i_a(t) = K_i i_a(t) \quad (6)$$

그리고 토오크 $T_m(t)$ 와 회전속도 $\omega(t)$ 의 관계는 식(7)이다.

$$T_m(t) = J_M \frac{d\omega}{dt} + D \omega \quad (7)$$

2.4 속도 제어 시스템

2.4.1 전류 제어

전동기를 제어할 경우, 전동기 자신의 속응성과 정상특성을 개선하기 위해서 전류 피드백을 한다. 속도 피드백은 차륜의 회전 속도로 변환하기 위해서 비례정수 K_c 을 넣는다. 또한 외란에 의한 정상편차를 없애기 위해 $K_i(1+1/T_i s)$ 으로 제어한다.

그림 2는 제안한 차륜 구동부의 블록선도를 나타낸다.

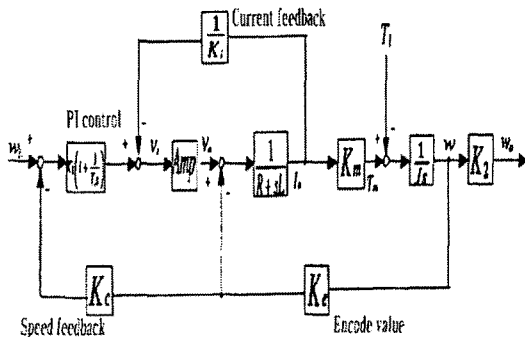


그림 2 제안한 속도제어 블록선도

속도 제어의 블록선도에서 전동기 입력 전압은 식(8)과 같이 제어한다.

$$v_a(s) = K_1 \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) (V^*(s) - V_{enco}(s)) \quad (8)$$

3. 시뮬레이션과 실험

3.1 시뮬레이션

표 1은 제어 파라미터 값 및 전동기 정수 이다.

표 1 제어 파라미터 및 전동기 정수

K_T	0.0647 [N·m/A]	A_m	15
R_a	1.3 [Ω]	T_i	0.24458 [sec]
L	1.7 [mH]	K_1	1.58814
K_E	0.0649 [V/(rad/s)]	K_2	1/20
J	0.00079 [Kg·m ²]	K_c	1/20

3.2 속도 스텝 응답

그림 3는 1차 지연계로 근사화한 직류 전동기 각 스텝 입력 전압에 대한 시뮬레이션 속도응답이고 그림 4은 각 스텝 입력 전압에 대한 측정 속도응답을 나타낸다. 그림 5은 전동기 직류 이득 G_{ain} 의 측정치와 이론치를 나타낸다.

이상의 결과에서 전동기 속도응답은 오버슈트 있고 입상시간이 긴 것을 알 수 있다. 이 상태에서 제어를 행할 경우 발진 할 가능성이 있고 실제 응답은 발진하고 있는 것을 알 수 있다. 이상의 실험에서 이동 로봇을 제어할 경우 안정 동작을 하도록 대책이 필요하고 그 대책으로 속도제어 파라미터를 적절히 선정하는 것이다.

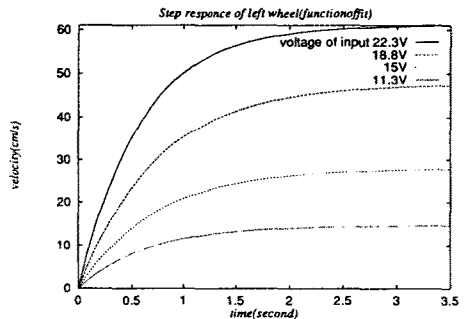


그림 3 스텝 입력전압에 대한 1차 지연 근사화 시뮬레이션 속도응답

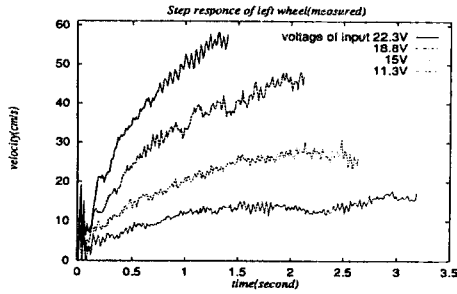


그림 4 스텝 입력전압에 대한 실측 속도응답

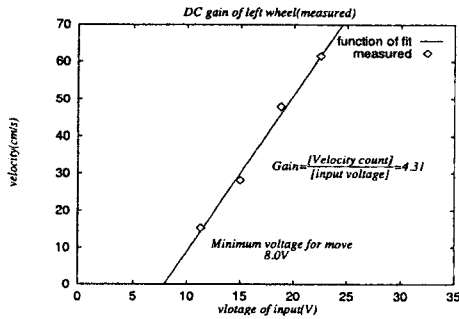


그림 5 전동기 직류이득 $G_{in} = \frac{[Velocity\ count]}{[Input\ voltage]}$ 특성

시뮬레이션에 의해 파라미터 $K_1=2.0[sec]$, $T_1=0.5[sec]$ 로 결정을 하였다. 그림 6은 PI 제어 할 때 이동계의 스텝입력 전압에 대한 속도응답 시뮬레이션 결과를 나타내고 그림 7는 전동기 직류 이득 특성 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이 결과에서 시뮬레이션의 전동기 특성은 1차 지연계로 근사화 하였기 때문에 실 시스템과 약간의 오차가 있다.

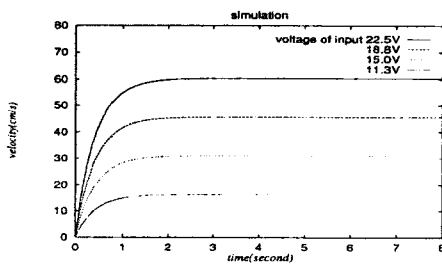


그림 6 이동계의 스텝입력 전압에 대한 속도응답 시뮬레이션

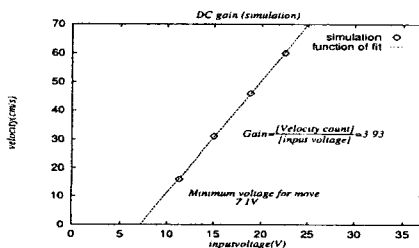


그림 7 전동기 직류 이득 특성 시뮬레이션

4. 결 론

- 1) 총 중량 100[Kg]를 최고 속도 1[m/sec], 최대 가속도 0.5[m/sec²]로 이동하는 로봇 구동장치를 설계 제작하였다.
- 2) H형 구동회로 및 컴퓨터 제어를 위한 인터페이스 회로를 설계 제작하였다.
- 3) 실제 로봇 구동부를 모델링하고 하여 해석하였다. 시뮬레이션과 실험을 통해 유용성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M.H.Raibert and J.J.Craig, "Hybrid position/force control of manipulators", Transaction of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol.102, pp.126-133, 1981.
- [2] Di Xiao, K. Ghosh, " Sensor-Based Hybrid Position/Force Control of Robot Manipulator in an Uncalibrated Environment", IEEE Transaction on Control System Technology, Vol. 8, No. 4, pp.635-644, 2000.
- [3] Hakan Koc, Dominique Knittel, " Modeling and Robust Control of Winding Systems for Elastic Webs", IEEE Transaction on Control System Technology, Vol. 10, No. 2, pp.197-207, 2002
- [4] T.X Mei and Roger M. Goodall, " Robust Control for Independently Rotating Wheelsets on a Railway Vehicle Using Practical Sensor", IEEE Transaction on Control System Technology, Vol. 9, No. 4, pp.599-607, 2001.
- [5] Randolph Cabell and Dan Pallumbo, " A Principal Component Feed forward Algorithm for Active Noise Control : Flight Test Results", IEEE Transaction on Control System Technology, Vol. 9, No. 1, pp.76-83, 2001.
- [6] K. K. Tan T. H. Lee and S. J. Chin, " Precision Motion Control with Disturbance Observer for Pulse Width Modulated Driven Permanent Liner Motors", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 39, No. 3, 2003.