

## 가설 와이어 케이블 동적모델과 작업로봇의 장력/이동 제어

홍정표<sup>1</sup> · 김윤식<sup>2</sup> · 이성근<sup>2</sup> · 홍순일<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2011년 9월 5일, 원고수정일 : 2011년 11월 2일, 심사완료일 : 2012년 1월 5일)

### Tension/Movement Control of Working Robot and Dynamic Model of the Stringing Wire Cable

Jeng-Pyo Hong<sup>1</sup> · Yoon-Sik Kim<sup>2</sup> · Sung-Geun Lee<sup>2</sup> · Soon-Ill Hong<sup>†</sup>

**요약** : 본 논문은 가설 와이어 케이블 동적모델과 장력유지/이동 제어를 위한 작업로봇의 제어기 설계에 대하여 나타내었다.

제어기 설계를 위해서 로봇이 가설 와이어 케이블의 일정장력을 유지하고 당기면서 이동할 때 와이어의 길이 변화와 무게 변화의 영향을 고려한 와이어 동적모델을 나타내었다. 또한 와이어 동적모델에 기초하여 로봇 이동 시작에서 발생하는 장력이 수치해석에 의해 검토되었다.

가설 와이어 동적 모델에 기초하여 장력/이동제어를 위한 작업로봇이 구성되었고 두 동작이 서로 간섭이 억제되는 피드포워드 제어기가 설계되었다. 작업 로봇의 운전조건에 따른 시뮬레이션과 실제 실험결과를 그 유효성이 검증되었다.

**주제어** : 가설 와이어 케이블, 동적모델, 이동/장력 제어

**Abstract** : In this paper, an approach to designing controllers for the tension/movement control of working robot to install a stringing wire cable is presented.

To design a controller, when the robot moves a certain distance maintaining constant tension, the dynamic model of a stringing wire cable which considers effects of weights according to changing lengths is presented. Also the tension at startup of the working robot is studied by numerical analysis which is based on the equation of the dynamic wire model.

From the dynamic model for a stringing wire cable, working robot for tension/movement control is suggested and designed a feedforward controller with an accelerator gain to suppress a mutual interference of the both tasks of tension/movement control. Depending on the operating conditions of the working robot, the effectiveness of the suggested system has been verified by the simulation and experimental results.

**Key words** : a stringing wire cable, the dynamic model, tension/movement control

#### 기호설명

이동시스템

$x$  : 고정점에서 차대의 이동거리

$v_{rob} = dx/dt$  : 로봇 주행속도

$A_m$  : 전류 피드백 이득

$K_E$  : 유도기전력 정수

$K_T$  : 토크 정수

$\Theta_M$  : 전동기 회전각변위

$n_1$  : 기어 감속비

$J_1$  : 이동부 회전자 관성모멘트

<sup>†</sup> 교신저자(실베레이(주) 연구소장, 부경대학교 명예교수, E-mail:sihong@pknu.ac.kr, Tel: 016-811-9066)

1 동외과학기술대학교 전기공학부

2 한국해양대학교 전기전자공학부

$B$  : 전동기 및 부하의 점성 계동계수  
 $1/K_i$  : 전류 피드백 계수  
 $R_1$  : 로봇 이동 바퀴 반경  
 $V^*$  : 속도 지령치  
 $V_{enc0}$  : 실제속도  
 $V_F(t)$  : 피드포워드 량  
 $K_F$  : 가속도 피드포워드 계수  
 $a(t)$  : 차대 가속도  
 $t_{start}$  : 차대의 이동 시작 시간  
 $t_{delay}$  : 차대의 지령에 대한 지연 시간.

#### 와이어 및 장력시스템

$\rho$ : 와이어 선밀도  
 $T_W$  : 와이어 장력  
 $dis$  : 외란  
 $\mu$  : 정지마찰 계수  
 $k_w$  : 와이어 탄성정수  
 $v_{rob} = \partial r / \partial t$  : 로봇 주행속도  
 $v_{wir} = \partial s / \partial t$  : 와이어 풀림속도  
 $R_2$  : 구동드럼 반경  
 $v_{wir} : J_2$  : 장력발생 전동기 부분의 관성 모우먼트  
 $l$  : 와이어의 길이  
 $T_M$  : 장력발생 전동기의 토크  
 $R_2$  : 장력 발생 토크의 반경  
 $T_D$  : 토크 외란  
 $C$  : 동마찰 정수  
 $E$  : 영률  
 $S$ : 와이어 단면적

## 1. 서 론

전차 와이어 케이블, 송전선 등의 가설작업은 산업 현장에서 윈치 크레인에 의해 수동으로 운전자의 경험적 지식에 의해 행해지고 있다. 이러한 작업의 주된 목적은 롤에서 와이어 케이블이 풀리는 동안 장력이 일정히 유지되도록 제어하는 것이다. 이러한 가설작업을 자동화하기 위해서는 장력과 이동거리 제어의 두 작업이 필요하다[1].

와이어 케이블 가설작업은 단일 작업은 간단히 실현할 수 있어도 복수 작업을 조합한 작업으로 하면 서로의 동작에 의한 영향이 간섭하지 않도록 하는 것은 매우 어렵다. 간섭억제에 관한 연구는 위치/힘의 제어[2], 힘/자세 제어[3] 등에서 연구되고 있다.

본 연구의 목적은 와이어 케이블 등의 자동가설에 응용하기 위한 작업로봇의 개발이다.

와이어 케이블을 당기면서 가설하는 경우 장력은 와이어 케이블의 자중(무게)에 의한 영향을 무시하고 외형에 의한 응력에 따른 변동만 생각하였지만 전차 트로이 선과 같이 와이어 케이블자체가 무겁고 길게 가설하는 경우는 장력은 와이어 케이블자중에 의한 영향을 무시할 수 없다. 와이어를 당기면서 가설 할 때 자중에 의한 외력 때문에 진동이 발생하므로 자중을 고려한 가설 모델을 나타내어야 한다. 또한 와이어는 계속하여 드럼에서 풀리기 때문에 길이가 동적으로 변하는 것을 고려한 동적모델이 필요하다[4].

작업 로봇이 와이어 케이블을 가설해 갈 때 와이어 케이블의 무게는 작업로봇이 이동하여도 변화하지 않는다고 가정할 때 이동 때문에 장력에 간섭이 발생한다. 이러한 문제점을 고려하여 제어기를 설계하기 위해서는 와이어 케이블의 동적모델이 필요하다[5].

와이어선을 당기면서 이동하여 가설할 때 와이어선의 자중 때문에 실제 주어지는 장력에 의해 진동이 발생한다. 또한 와이어선은 계속하여 드럼에서 풀리기 때문에 길이가 동적으로 변한다. 이러한 문제를 고려하여 제어기 편에서 보면 제어대상이 변하기 때문에 동작 초기에서 최후까지 목표로 한 동작을 하도록 할 필요가 있다.

본 논문은 제어기 설계를 위해서 로봇이 와이어를 당기면서 이동할 때 와이어의 길이 변화와 무게 변화의 영향을 고려한 와이어 동적모델을 나타내었다. 또한 와이어 동적모델에 기초하여 로봇 이동 시작에서부터 발생하는 장력을 수치해석으로 검토하였다.

가설 와이어 동적 모델에 기초하여 장력 및 이동을 제어 하는 작업로봇이 구성되었고 두 동작

간에 서로 간섭이 억제되는 피드포워드 제어기가 설계되었다.

구성한 작업로봇의 시스템은 여러 운전조건에 따라 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 유효성을 검증하였다.

## 2. 가설작업 모델

Figure 1은 와이어 케이블이 미소 질점으로 연속하여 풀리면서 가설하는 로봇의 작업을 나타낸다. 작업원리는 한쪽 끝에 와이어 케이블을 고정하고 케이블을 실은 차대(로봇)가 일정 장력을 유지하고 이동하면서 가설하는 것이다. 가설 작업은 케이블의 신장과 바람 등에 의해 케이블의 흔들림이 외란으로 되고 케이블 차대가 이동 할 때 통과하는 지면의 요철이나 지면과의 마찰 등도 외란으로 된다.

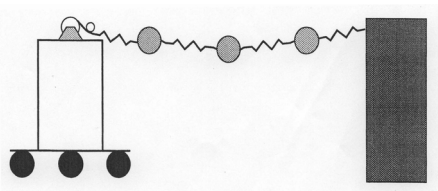


Figure 1: 로봇에 의한 와이어 케이블 가설 원리

Figure 1에 나타난 로봇은 와이어 케이블을 당기는 장력제어 시스템과 로봇을 이동하기 위한 이동시스템이 있다. 이 로봇의 장력제어와 이동제어 시스템의 블록선도는 Figure 3과 같다.

이동방법은 로봇에 붙어 있는 타이어 바퀴를 사용하고 이것은 DC 전동기 축에는 감속기(20:1)가 직결되어 있고 구동륜의 동력 전달장치는 체인을 사용한다.

장력제어 시스템은 와이어를 감아 둔 드럼, 와이어를 유도하는 활차, 와이어에 장력을 주는 구동활차, 장력을 검출하는 로드셀과 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 중량은 100[Kg], 최

대 속도는 1[m/sec], 최대 가속도는 0.5[m/sec<sup>2</sup>]이다. 와이어가 풀리는 최고 속도 20[cm/s]로 한다.

## 3. 장력/이동 제어 로봇

### 3.1 이동모델

주행용 DC 전동기에 의한 로봇의 이동거리는 식 (1)이 된다.

$$x = R_1 \theta_L = R_1 \frac{\theta_M}{n_1} \tag{1}$$

기계부분을 포함한 이동계의 전달함수는 식 (2)이 된다.

$$G_p(s) = \frac{A_{mp} K_T}{J_1 L_a s^2 + J(R_a + \frac{A_{mp}}{K_i})s + K_T K_E} \tag{2}$$

여기서  $A_{mp}$ 는 응답의 속응성을 개선하기 위해 전류 피드백 하여 증폭한 계수이다.

실제 전동기 속도를 일정 값에 유지하고 토크 외란에 의한 정상 편차의 발생을 없애기 위해서 속도는 식 (3)과 같이 PI 제어한다.

$$v_a(s) = K_p (1 + \frac{1}{T_i \cdot s})(V^*(s) - V_{enco}(s)) \tag{3}$$

여기서,  $K_p = 0.5$   $T_i = 0.0664$  이다.

### 3.2 와이어 동적모델과 장력발생

Figure 2는 가설 중인 와이어모델의 동적 좌표계를 나타낸다. 여기서  $s$ 는 장력 '0' 인 와이어 상의 한 점을 한쪽 끝에서 측정한 길이를 나타내고  $u(s,t)$ 는  $s$ 와 동일한 점에서 신축을 포함한 와이어 실제 길이를 나타낸다.

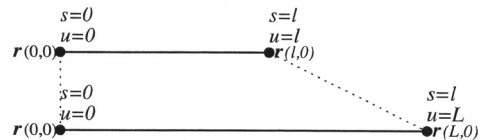


Figure 2: 가설 와이어케이블 좌표계

비틀림 응력  $T(s)$ 는 식 (4)이다.

$$T(s) = k_w \left( \frac{\partial u}{\partial s} - 1 \right) = k_w \frac{\partial p}{\partial s} \quad (4)$$

여기서,  $p(s) = u - s$ 는 자연장(외부 인장력이 가해지지 않는 상태의 와이어 길이)에 대한 변위라 하면  $r(s,t)$ 를 정지좌표계에 있는 와이어 상의 점 벡터로 정의하면 와이어의 운동 방정식은 식 (5)와 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = \frac{k_w}{\rho} \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{\partial p}{\partial s} \frac{\partial r}{\partial u} \right) + g + \frac{T_w}{\rho} - \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial r}{\partial t} \quad (5)$$

식 (5)는 경계조건에서  $s$ 와 동일한 종속변수로 갖는  $r$ 을  $u$ 로서 미분하는 계산이기 때문에 이것을  $r$ 와  $s$ 만의 표현으로 변환하면 식 (6)이 성립한다.

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \frac{\partial}{\partial s} \left[ \left( \left| \frac{\partial r}{\partial s} \right| - 1 \right) \frac{\partial r}{\partial s} \right] + G + \frac{F}{\rho} - \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial r}{\partial t} \quad (6)$$

여기서,  $F$ 는 장력과 정지마찰( $T_w + \mu$ )을 포함하여 와이어에 가해지는 장력,  $\partial r / \partial t$ 는 로봇 주행속도( $v_{rob}$ )에 해당하고  $\partial r / \partial s$ 는 와이어 풀림속도( $v_{wir}$ )에 해당한다. 따라서 식 (8)을 계산하기 위해서는 로봇의 주행속도와 와이어 풀림 속도를 알면 된다.

장력 발생용 교류 서보전동기 모델은 입력 전압 지령( $V^*$ )에 대한 출력 토크 [ $kgf$ ] 특성에서 전달 함수는 다음과 같이 된다[5].

$$G(s) = 0.4e^{-0.002s} \frac{1 + \frac{1}{350}s}{1 + \frac{1}{90}s} \quad (7)$$

차대의 이동 외란(disturbance)을 와이어의 장력 향에 포함된 운동 방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$J_2 \ddot{l} = - \left[ \frac{T_M}{R_2} + T_D \right] + (T_w + dis) \quad (8)$$

여기서  $dis$ 는 출발시 출발속도, 가속도, 와이어 길이, 정지마찰( $\mu$ ) 등이 있다.

$$T_D = \begin{cases} 0 & i < 0 \\ C & i \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

장력제어는 장력 지령치와 실측한 장력의 오차에서 제어 출력을 구하는 피드백제어를 기본으로 하고 속응성과 정상특성을 개선하기 위하여 PID 보상을 행한다.

이 때  $K_p = 3.0$ ,  $T_i = 1.0$ ,  $T_d = 2.0$  이다. 장력 제어기의 지령전압과 전동기 발생 토크의 비례정수는  $C_1 = 7.16[kgf/V]$ 이다.

### 3.3 피드포워드 제어

와이어는 탄성한계 내에서 당겨 질 때 가해지는 외형 응력은 훅 법칙에서 식 (10)이 된다.

$$F = E \cdot S \frac{\Delta l}{l} = E \cdot S \frac{x-l}{l} \quad (10)$$

여기서,  $\Delta l$ 는 인장에 의해 늘어난 와이어 길이의 변화량 (로봇이 주행한 거리와 와이어가 풀린 길이의 차)이다.

또한 식 (10)을  $x = \int_0^t v_{rob} dt$  와  $l = \int_0^t v_{wir} dt$ 의 관계로 변형하면 식 (11)과 같이 된다.

$$T_w = E \cdot S \frac{\int_0^t (v_{rob} - v_{wir}) dt}{\int_0^t v_{wir} dt} \quad (11)$$

식 (11)에서 장력은 로봇 주행속도에 직접 관계하고 와이어 풀림속도와 와이어 길이의 시간에 따라 변화하는 계로 된다.

따라서 두 작업의 간섭을 억제하기 위해서 장력계와 이동계를 서로 독립으로 취급하고 서로의 간섭은 외란으로 취급하여 이것을 피드포워드 보상한다. 이동의 지령을 내고 나서 차대가 움직이기 시작할 때까지 응답의 지연을 고려하여 식 (12)와 같이 가속도 피드포워드 제어를 행한다.

$$V_F(t) = K_F \cdot a_s(t) + K_S \cdot u(t - t_{start} - t_{delay}) \quad (12)$$

간섭 억제를 위한 가속도 피드포워드 계수는 식 (11)을 2회 미분하여 식 (13)과 같이 된다.

$$\dot{v}_{wir} = \frac{E \cdot S}{F + ES} \int_0^l \dot{v}_{rob} \quad (13)$$

여기서  $F = T_W + \mu$  이고 가속도 피드포워드 계수  $K_F = \frac{ES}{F + ES}$  는 장력의 값에 따라 변함을 알 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션과 실험

Figure 3은 앞에서 나타낸 와이어모델, 토크발생 전동기 모델, 이동 시스템 모델 및 각각의 제어기와 간섭억제를 위한 피드포워드 제어기를 포함한 로봇 전체 제어 블록선도를 나타낸다.

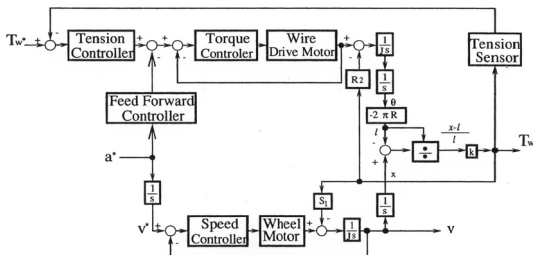


Figure 3: 장력/이동 제어계

표 1과 2는 시뮬레이션에 사용한 이동계 및 장력계 정수이다.

Table 1: 이동계 정수

$K_T$	0.66 [kgf · cm/A]	$B$	0.19 kgf · cm
$R_a$	1.3 [Ω]	$R_1$	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 · m <sup>2</sup> ]	$n_1$	1/20
$K_b$	6.8[ V/Krpm]	$1/K_i$	1.35

Table 2: 장력계 정수

$g$	9.8[m/s]	$n_2$	1/30
$ES$	$1.4 \times 10^3$ [kgf]	$J_2$	2.21 [Kg · m <sup>2</sup> ]
$\rho$	0.17	$R_2$	0.075
$K_F$	0.5	$k_w$	1.4e+3[N/m]

Figure 4는 식 (8)의 수치계산에 의해 와이어 케이블 길이 1[m]일 때 로봇의 주행 기준속도 (velocity ref.), 연산한 시뮬레이션 장력 (simulation) 및 실측 장력(measured)을 나타낸다. 그림에서 로봇이 이동을 시작하여 가속을 할 때 실측 장력이 시뮬레이션 장력보다 크게 되어 있고 장력의 진동도 실측 장력이 크게 나타나고 있다. 또한 시뮬레이션 장력과 실측장력은 큰 차이가 있고 큰 진동이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이 원인은 와이어를 당길 때 생기는 진동, 와이어 케이블 풀림과 로봇 주행의 가속도 외에 도로의 요철, 정지마찰 등 다른 요인이 있다고 생각된다.

또 시뮬레이션의 장력치가 로봇이동 종료 후에도 측정치와 완전히 일치하지 않는다. 이것은 1[m]의 와이어 케이블에 대하여 비틀림 (횡)응력은 수 [mm]의 편차에서 결정되기 때문에 계속해서 풀리는 길이나 이동거리를 0.1%의 편차로 매우 정밀하게 측정되어야 하지만 이것은 실제 불가능하였기 때문이다. 현재 사용한 와이어 케이블의 탄성계수 (elastic coefficient)는 길이 1[m]일 때  $1.0 \times 10^4$  [N/m] 이므로 이동거리가 1[mm] 달라지면 비틀림 응력이 10[N]이 된다. 특히 이동거리는 로봇바퀴 다이어의 미끄러짐 등이 있으면 치명적인 측정결과 오차가 나타난다는 것을 알 수 있다.

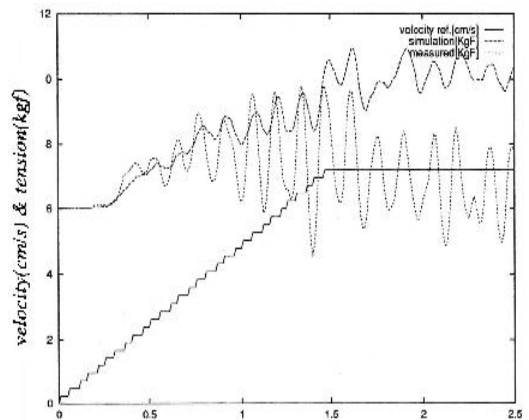
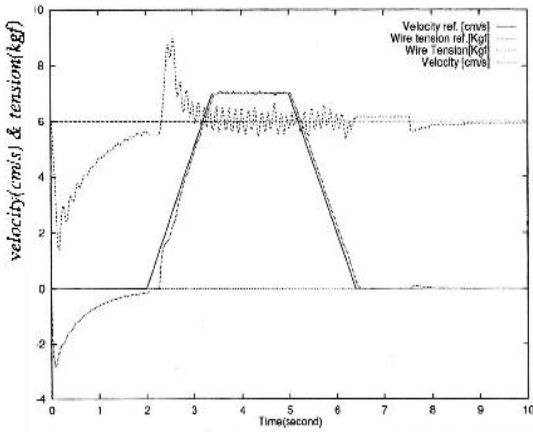
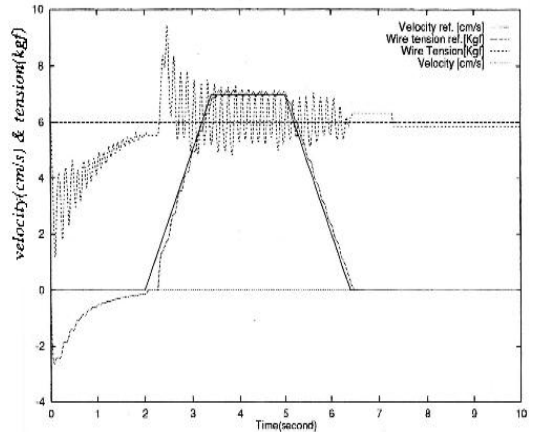


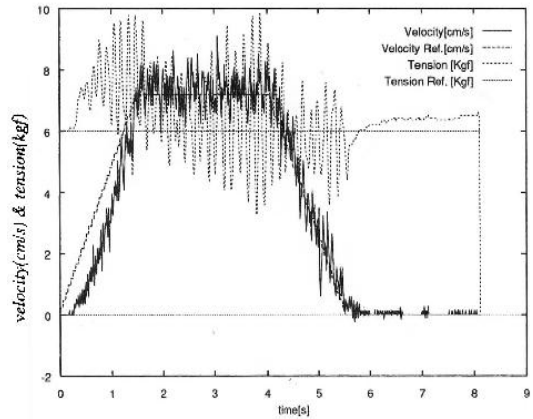
Figure 4: 동적 와이어 케이블 모델에 대한 장력 수치계산 ( $a = 5$  [m/s<sup>2</sup>],  $l = 1$  [m])



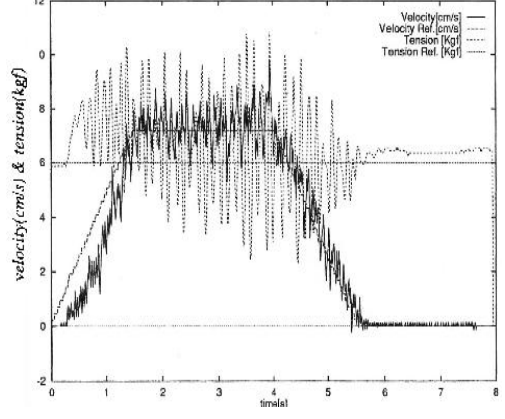
(a) 시뮬레이션 응답 (Simulated response)



(a) 시뮬레이션 응답(Simulated response)



(b) 실험응답 (Experimental response)



(b) 실험 응답 (Experimental response)

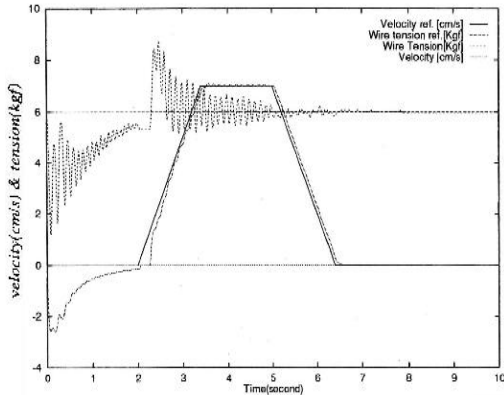
**Figure 5:** 로봇 출발조건에 따른 시스템응답 ( $a = 5[cm/s^2]$ ,  $l = 1[m]$ )

**Figure 6:** 로봇 출발조건에 따른 시스템 응답 ( $a = 5[cm/s^2]$ ,  $l = 0.5[m]$ )

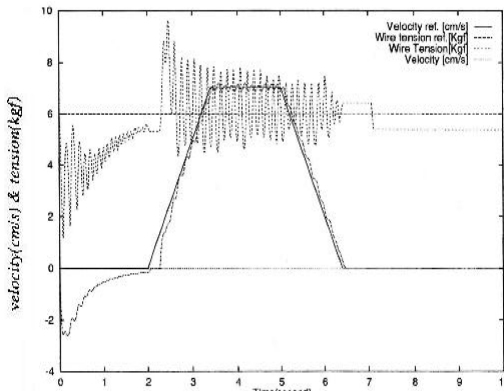
Figure 5 (a), (b)는 로봇이 주행 시작할 때 와이어 길이  $l = 1[m]$ , 목표장력  $T^* = 6[Kgf]$ , 가속도  $5[cm/s^2]$  및 주행속도  $7[m/s]$ 의 조건에서 시뮬레이션과 실험한 결과이며 그림의 상단 오른쪽에 표시되어 있는 기준장력, 장력응답, 기준속도 및 속도응답 곡선을 나타낸다. (이하 곡선의 설명은 같다). 이동 시작점에서 장력은 오버슈트가 나타나고 있지만 곧 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 로봇이 출발할 때 장력에 큰 변화가 나타나는 것은 Figure 4의 동적 모델의 해석과 같다.

Figure 6 (a), (b)는 Figure 5와 같은 조건에서 길이  $l = 0.5[m]$ 로 하고 로봇이 주행을 시작할 때 제어한 시스템 응답이다. 이 경우 그림5의 길이가 길 때 보다 장력의 진동이 심하게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 와이어 케이블 탄성계수가 와이어 케이블 길이에 반비례하기 때문이다. 와이어 케이블 길이가 짧을 때는 탄성계수가 크게 되기 때문에 작은 움직임이 큰 장력 변화로 되어 제어가 어렵게 된다. 실험 결과에서 이동 종료 후 장력에 편차가 생기고 있다. 이것이 개선되기 위한 하나의 방법은 이득이 낮고 적분 시정수를 크게 하는 것이다.

Figure 7 (a), (b)는 장력 발생전동기 축에 직결한 구동드럼의 정지마찰영향을 첨가하기 전과 정지마찰  $\mu = 0.28 [kg \cdot cm]$ 을 첨가한 후 동일한 조건에서 행한 시뮬레이션 응답특성이다.



(a) 시뮬레이션 응답 ( $l=1[m], \mu=0$ )



(b) 시뮬레이션 응답 ( $l=1[m], \mu=0.28 [Kg \cdot cm]$ )

Figure 7: 정지 마찰 영향

장력제어 장치의 정지마찰( $\mu$ )은 토크 지령전압 1.6[V], 약  $0.28 [kg \cdot cm]$ 에 상당하고 이것이 정지마찰에 해당된다.

시뮬레이션에서 응답의 진동은 정지 마찰을 무시한( $\mu=0$ ) (a)의 응답보다 최대치는 크지 않지만 확실히 기생 진동이 정지할 때까지 발생하고 있는 것을 알 수 있고 정지마찰( $\mu=0.28 [Kg \cdot cm]$ ) 효과를 첨가한 것이 진동이 더 큰 것을 볼 수 있다.

또한 이동속도의 입상 시간에서 장력계가 지연

되는 것에 의해 장력이 급격히 상승한다. 그 결과 로봇 이동은 장력계에 외란으로 작용하여 장력의 일정유지가 되지 않고 강하게 당기는 장력이 되어 이동속도의 입상에 저해가 된다. 이 현상은 정지마찰이 없는 Figure (a)에서는 장력의 상승이 작고 지령치에 거의 추종하는 것에서 알 수 있다.

### 5. 결론

본 논문은 가설 와이어 케이블 동적모델과 장력 유지/이동 제어를 위한 작업로봇의 제어기 설계에 대하여 나타내었다.

제어기 설계를 위해서 로봇이 가설 와이어의 일정 장력을 유지하면서 이동할 때 와이어의 길이 변화와 무게 변화의 영향을 고려한 와이어 동적모델을 나타내었다. 또한 와이어 동적모델에 기초하여 로봇 이동 시작에서부터 발생하는 장력을 수치해석에 의해 검토하였다.

제시된 가설와이어의 동적모델로부터 장력이동 제어를 위한 작업로봇이 구성되었고, 두 제어동작의 상호간섭이 억제되는 가속도 피드포워드 제어기가 설계되었다. 작업로봇의 여러 운전조건에 따른 제안된 시스템의 유효성이 시뮬레이션과 실험 결과에 의하여 입증되었다.

### 참고문헌

- [1] Randolph Cabell, Dan Palumbo, and Jeffrey Viperman “A principal component feedforward algorithm for active noise control: flight test results”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 9, no. 1, pp. 76-83, January 2001.
- [2] 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 2000.
- [3] Mehrzad Namvar and Farhad Aghili, “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.

- [4] 정승환, 홍순일, 홍정표, “가설 와이어 케이블의 장력제어 시스템 구성” 한국마린엔지니어링학회지, vol. 32, no. 6, pp. 948-954, 2008.
- [5] 홍정표, “가설 와이어 케이블의 위치/장력 혼합 제어”, 한국마린엔지니어링학회지, vol. 33, no. 6, pp. 932-938, 2009.

## 저 자 소 개



### 홍정표(洪正杓)

2012년 현 동의과학대학 조교수, 2008년 부경대학교 기계공학부 대학원 졸업(박사), 2001년 부산대학교 대학원 졸업(석사), 1998년 부경대학교 전기공학과 졸업, 관심분야 : 퍼지 시스템 설계, 전동기 벡터제어, 리럭턴스 전동기 제어 설계.



### 김윤식(金潤植)

1977년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1979년 동 대학원 졸업(석사), 1986년 동경공업대학 대학원 졸업(석사), 1989년 동경공업대학 대학원 졸업(박사), 1978년 5월-현재 한국해양대학교 전기 전자공학부 교수



### 이성근(李成根)

1983년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1990년 동 대학원 졸업(석사), 1998년 동 대학원 졸업(박사), 1992년 3월-1998년 8월 대덕대학 제어계측과 조교수, 1998년 9월-현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수



### 홍순일(洪淳一)

2012년 현재 실버레이(주) 연구소장, 부경대학교 명예교수, 2010년 부경대학교 전기제어공학부 교수, 1981년 부산대학교 공학석사(전력전자), 1986년 한국해양대학교 공학박사(제어공학), 1999년 일본전기통신대학 연구교수, 2000년 대한전기학회 부산지회 회장, 관심분야 : 퍼지시스템설계, 서보시스템설계, 전동기 벡터제어.