

장력측정에 의한 송전선 가설 시스템의 자동화

배종우*, 홍순일*, 정승환*, 김실근*, 이상무*, 홍정표**
부경대*, 동의과학대**

Automatic Control System for the Stringing Transmission Wire by the Measured Tension

Jong-Woo Bae*, Soon-Il Hong*, Seung-Hwan Jung*, Sil-Keun Kim*, Sang-Moo Lee*, Jeng-Pyo Hong**
PuKyong National University*, Dong-Eui Institute of Technology**

Abstract - 본 논문은 현수형 송전 케이블과 장력발생 교류 서보전동기의 모델을 나타내고 송전케이블의 이도를 일정히 유지하기 위한 장력을 계산하는 알고리즘을 나타내었다. 현수형 송전선 특성에 기초하여 로드셀을 이용한 장력측정에 의해 송전선 가설 시스템의 구성법이 제안되었다. 가설시스템은 장력 발생장치에 교류서보 전동기를 이용하고 케이블의 장력계측 장치는 하중변환기(load cell)를 사용한다.

1. 서 론

현재 전력케이블의 설치하는 가선이 소정의 이도(Dip)를 유지하도록 윈치를 운전하여 당기는 방법이다 [1], [2].

전력케이블을 설치하는 것은 수작업에 의해 행해지고 있어 작업의 효율화와 함께 최적의 장력제어가 필요하다. 본 연구의 목적은 전력케이블을 가설할 때 장력이 케이블의 한계치를 넘지 않는 것과 동시에 케이블이 너무 느슨하지 않도록 일정한 덤을 유지하도록 제어하는 방법이 필요하다. 케이블을 새롭게 가설할때 장치는 케이블을 릴에 감아올릴 필요성은 거의 없기 때문에 케이블을 풀어주는 속도와 로드셀에 의해 장력을 검출하고 장력을 발생하는 하드웨어 구성방법의 연구가 필요하다 [5], [6].

전기공사에서 가공 케이블의 가설공사는 덤을 일정히 유지할 필요가 있고 케이블 가설 자동화 시스템은 드럼에서 케이블을 풀고 케이블 양단의 장력을 어느 일정치 이상으로 유지하도록 조절하는 것이 필요하다.

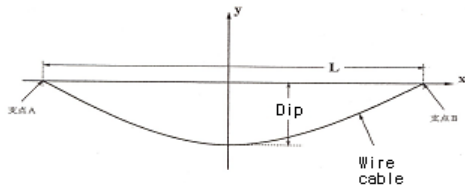
본 논문은 현수형 송전 케이블과 장력발생 교류 서보전동기의 모델을 나타내고 송전케이블의 이도를 일정히 유지하기 위한 장력을 계산하는 알고리즘을 나타내었다. 현수형 송전선 특성에 기초하여 로드셀을 이용한 장력측정에 의해 송전선 가설 시스템의 구성법이 제안되었다. 가설시스템은 장력 발생장치에 교류서보 전동기를 이용하고 케이블의 장력계측 장치는 하중변환기(load cell)를 사용한다.

이 시스템은 A/D 컨버터를 통해서 마이크로프로세스에 데이터를 저장시켜 제어 알고리즘에 의해 계산한 결과를 D/A 컨버터를 통하여 조작신호를 발생시켜 토크 제어시스템에 피드백에 의해 장력제어를 실현한다.

2. 가설 케이블 시스템

2.1 케이블 시스템의 운동방정식

일정한 질량을 갖고 길게 가설된 케이블의 양측에 힘을 가해 당기면 가설되는 케이블은 공기 중의 중력에 의해 그림 1과 같은 현수곡선(Catenary Curve)이 된다.



<그림 1> 현수선 케이블

현수선이 그림 1에 나타난 것과 같이 Y축에 대칭일 때 방정식은 (1)이고 이도는 (2)이다.

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right) - D_{ip} \tag{1}$$

$$D_{ip} = a \left[\cosh\left(\frac{L}{2a}\right) - \cosh(0) \right] \tag{2}$$

D_{ip} 는 이도이다. 길이는 (3)이다.

$$l = 2a \cdot \sinh\left(\frac{x}{2a}\right) \tag{3}$$

케이블 양단에 걸리는 장력 T_f 는 (4)이다.

$$T_f = a(t) \rho g \sqrt{1 + \sinh^2\left(\frac{x}{a}\right)} \tag{4}$$

현수선 모양을 결정하는 상수 a 는 케이블이 가설 될 때 시간에 따라 변하는 $a(t)$ 이다.

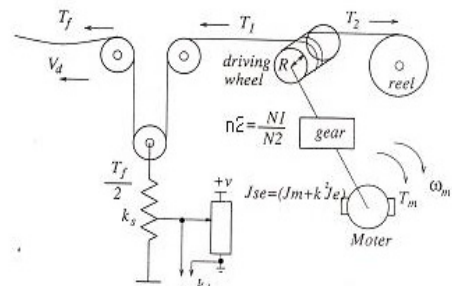
2.2 장력발생 AC 서보전동기

장력발생 교류 서보전동기는 HA-FH 3이고 입력을 전압[V]로 하고 출력을 토크[kgf] 로 하여 측정된 주파수 특성에서 (5)와 같이 모델링된다. 장력은 발생토크에 비례하며 토크 제어기는 기존 제품 MELSERVO-H 이고 발생 토크는 지령전압에 직접 비례한다.

$$G(s) = K_m e^{-0.002s} \frac{1 + (1/350)s}{1 + (1/90)s} \tag{5}$$

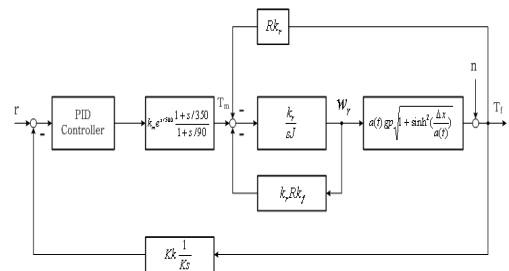
3. 장력제어 시스템

그림 2는 케이블 자동가설 장치를 나타내며 AC 서보 전동기와 제어기, 홀 감속기, 장력 센서(Load cell)가 붙어있는 활차 및 와이어 케이블 안내 활차로 구성되어 있다. 드럼(Reel)에 감긴 케이블은 구동륜(Driving wheel)을 통해 풀린다. AC 서보 전동기는 토크발생용이고 발생 토크는 30:1의 감속기를 통하여 구동 휠에 전달된다.



<그림 2> 장력제어 시스템의 원리도

그림 3은 모델링 한 케이블 운동 방정식, 서보전동기 전달함수, 및 장력방정식을 이용하여 구성된 장력제어 시스템의 블록선도를 나타낸다.



<그림 3> 전력 케이블 자동가설 시스템의 제안

4. 시뮬레이션과 실험

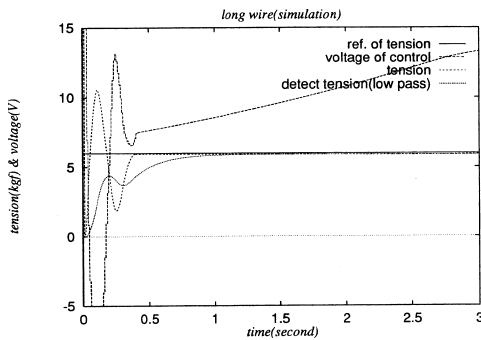
표1은 시뮬레이션에 사용한 시스템의 파라미터를 나타낸다.

〈표 1〉 The parameters for tension system

ρ	0.17 [kg/m]	J_{sc}	3.5×10^{-5} [kgm ²]
g	9.8 [m/s]	n_2	0.1
wire	$\Phi 2.5$ [mm]	k_s	200 [N/m]
k_k	200 [A/m]	K_m	5.0 [kgf/V]
k_f	200 [Nsec]	R	0.075

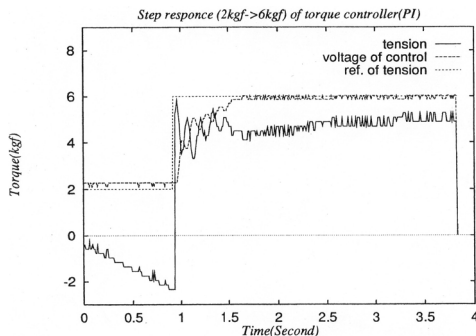
PID 직렬보상기의 파라미터는 오버슈트가 발생하지 않도록 하여 $K_p = 0.25$, $T_i = 0.1$, $T_D = 0.03$ 이고 PI 제어의 경우 $K_p = 0.25$, $T_i = 0.3$ 이다. 그리고 목표장력은 $T_W^* = 6\text{kgf}$ 이고 와이어 풀린 길이 $l = 1.2\text{m}$ 로 한다.

그림 4는 제어 시작이 케이블의 길이 $l = 1.2\text{m}$ 에서 계산한 장력 응답을 나타낸다. 여기서 실 장력은 오버슈트가 있지만 저역필터를 통한 후는 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.

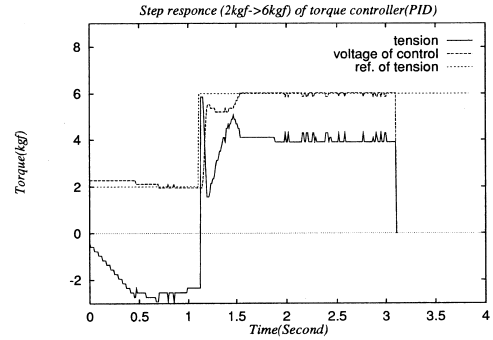


〈그림 4〉 시뮬레이션 한 장력의 스텝응답 ($l = 1.2\text{m}$)

그림 5는 위치를 고정하고 장력을 미리 2kgf 걸어 둔 상태에서 목표 장력을 6kgf 로 인가하여 PI 제어한 경우 장력의 실험응답을 나타낸 것이다. 그림 6은 같은 조건에서 PID 제어한 장력의 실험응답을 나타낸다. 그래프는 각각 차례로 측정장력(실선), 토크제어장치의 출력전압(긴 일점 세선), 지령장력(작은 일점 세선)을 각각 나타낸다. PID 제어가 진동이 적고 양호하다. 이상의 실험에서 장력응답은 목표장력에 추종하여 양호하고 시뮬레이션의 응답과 같은 특성을 얻었다.



〈그림 5〉 PI제어에 의한 스텝 장력응답



〈그림 6〉 PID제어에 의한 스텝 장력응답

5. 결론

본 논문은 송전선 전력케이블의 가설작업은 딥 측정으로 크레인에 의해 수작업으로 행해지고 있지만 안전과 효율적인 작업을 위해 하중변환기(load cell)를 이용한 현수형 송전선 가설작업의 자동화 시스템을 제안하였다.

현수형 케이블의 장력특성에 기초하여 로드셀을 이용한 가설 시스템의 모델이 설계 제작하여 실험한 결과 장력응답은 입상 시간이 짧고 정상오차가 없이 양호하다.

[참고 문헌]

- [1] 한국전력공사 “송변전분야 표준시공절차 송전가선공사편 (Ⅲ)”, 한국전력공사편, pp. 273-311, 1994.1
- [2] 김실근, 홍순일, 홍정표, “전동차 트로이선 가설 작업로봇의 이동 제어”, 한국마린엔지니어링 학회지, Vol. 30. No. 8, pp 118-124, 2006.
- [3] 村上慶一, “30年も 電車線”, JR East R&D Symposium, pp. 176-186, 1998.
- [4] 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.