

장력에 따른 자기적 장력센서 특성시험장치 개발

The Development for Characteristics Testing Equipment of Magnetic Tension Sensor According to The Cable Testion

*박병제¹, #박해원², 박정학²

*ByungJe Park¹(feelmydream@lycos.co.kr), #HaeWon Park², JeongHak Park²
¹충남대학교 석사과정 전파전자제어공학과, ²한국표준과학연구원 안전측정센터

Key words : steel cable, magnetic sensor, magnetic characteristic testing, tension characeristics testing system

1. 서론

교량에 사용되는 케이블의 안전을 위해 케이블 장력측정은 매우 중요하며, 장력측정 방법에는 가속도 방식[1]과 자기적 방식[2]이 있으며 이중 자기센서에 의한 장력측정에서 센서에 가해주는 자기장과 온도와 장력이 장력센서 출력특성을 결정하는 중요한 요소가 되고 있음을 발표한 바가 있다[6].

그러나 이러한 시험 방법은 시험장치나 측정장치를 각각 설치하여 측정함으로써 현장에서 적용하기는 곤란하다.

따라서 장력센서와 케이블의 특성을 시험하고 이에 적합한 제어회로를 구성하여 소형 시스템으로 제작하여 쉽게 장력시험이 용이하도록 개발하고자 하였다.

시스템의 구성은 장력을 시험할 수 있는 기구적 장치와 제어장치로 구성되며 기구적 장치는 장력센서가 설치된 샘플 케이블을 인장시험기에 걸고 장력을 가할 수 있는 장치와 장력에 따라 자기장을 가하고 장력센서의 출력을 측정하여 장력을 구하는 제어시스템으로 구성된다.

따라서 인장시험기를 이용하여 장력센서의 특성을 정밀하게 시험하기 위해서는 케이블의 자화 특성곡선을 구하여 최적의 동작상태가 되도록 제어회로를 제작하고 결과를 분석 및 저장할 수 있는 시스템 개발이 필요하여 본 연구를 수행하게 되었다.

2. 장력센서 특성시험 시스템의 구성

2. 1. 시스템 구성

장력센서의 특성을 시험하기 위해서는 샘플 케이블에 장력을 가하는 인장시험기와 장력에 비례하는 장력센서 출력을 얻기 위한 제어시스템으로 구성된다.

2. 2. 인장 시험 장치



Fig. 1 Standard tensile testing machine

인장시험기는 강제 케이블에 Fig. 2의 장력센서를 설치하고 장력에 따른 센서의 특성을 시험하기 위해 장력을 제어할 수 있는 장치로서 이것을 표준 인장 시험기(standards tensile testing machine)라 하였고 또한 인장시험기에서 장력을 시험할 수 있고 장력센서가 설치된 케이블을 샘플 케이블이라 하였다. 표준 인장시험기는 Fig. 1과 같고 규격은 다음과 같다.

- Max Tensile Force : 3 MN
- Max Cable Length: L=3,000 mm ± 400 mm
- 제어장치 오차 : 1% 이내
- reading error = 0.5% 이내
- 샘플 케이블은 다발의 와이어, 강봉, 강연선으로 이루어지며 본 연구에 사용된 케이블은 D=50 mm로서 재원은 다음과 같다.
- Commodity : Galvanized Steel Wire Rope

Construction : 6x37 IWRC, Specification : KSD3514
 Rope Dia=50 mm (actual=51.300 mm)
 Tensile Strength of Wires : Max=188 kg/mm²

2. 3. 장력센서 설계 및 제작

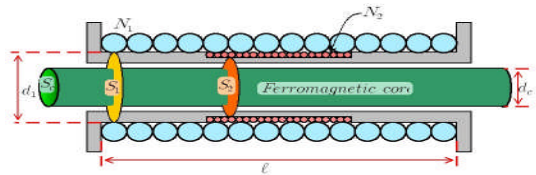


Fig. 2 Schematic diagram of sensor for tension measurement

N_1/N_2 : 1, 2차 코일 권선수, d_1/d_2 : 1, 2차 코일 직경(m),
 d_c : 케이블의 직경(m), l : 솔레노이드 보빈길이(m)
 S_c : 케이블 단면적(m²), S_1/S_2 : 1, 2차 코일 단면적(m²),

1차 코일 전류 i_1 에 의해 발생된 자속에 의해 2차 코일에 유도된 전압은 파라데이 법칙에 의해 식 (1)이 된다[3].

$$e_2(t) = -N_2 \frac{d\Phi_{21}(t)}{dt} \tag{1}$$

식에서 $\Phi_{21}(t)$ 은 1차 코일에 의해 2차 코일에 유도된 자속으로 케이블 내의 자속과 2차 코일 내부 에어갭($S_g = S_2 - S_c$)에 흐르는 자속으로 구성된다. 또한 투자율(μ)은 장력, 온도, 자기장에 따라 변한다. 따라서 이것을 정리하여 식 (1)에 대입하면 식 (2)와 같이 2차 코일 유도 전압을 구할 수 있다.

$$e_2(\sigma, T, H, t) = -k \frac{N_1 N_2}{\ell} (\mu(\sigma, T, H) S_c + \mu_o (S_2 - S_c)) \frac{di_1(t)}{dt} \tag{2}$$

이때, 여기서 $k = \frac{\ell}{\sqrt{d_1^2 + \ell^2}}$, $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

2차 코일 내에 케이블이 없을 때의 유기전압 e_o 는

$$e_o(t) = -k \mu_o S_2 \frac{N_1 N_2}{\ell} \frac{di_1(t)}{dt} \tag{3}$$

식 (2)와 식 (3)의 비를 구하고 이것을 μ_r 에 대하여 정리하면 식 (4)가 된다[2]. 여기서 $\mu_r = \mu/\mu_o$ 로서 비투자율(relative permeability)이다.

$$\mu_r(\sigma, T, H) = 1 + \frac{S_2}{S_c} \left(\frac{e_2(\sigma, T, H, t)}{e_o(t)} - 1 \right) \tag{4}$$

장력 센서 내에 케이블이 있을 때와 없을 때 각각 유도되는 전압을 측정하여 식 (4)에 대입하면 비투자율 μ_r 을 구할 수 있다.

3. 장력센서 특성시험 회로구성과 시험

3. 1. 자기장 특성 회로구성

자기특성시험은 자기장을 가하는 고압 전원회로와 이것을 구동하고 측정하는 제어회로로 구성된다. 각종 신호의 측정과 처리장치 구성은 Fig. 3과 같다.

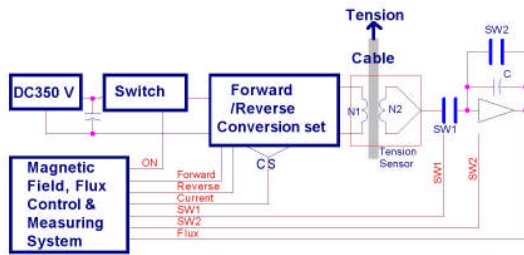


Fig. 3 Magnetic Control & Measuring System Block Diagram

CS=Current Sensor : 50 mV/5 A 자기장 측정용
 장력센서 출력 : 2차 코일 전압
 데이터 취득 : NI M6251 16bit DAQ Board
 Software : NI사의 LabVIEW 8.6 사용
 장력센서에 자기장을 가하고 정/역전류로 구동하면서 데이터의 처리는 Fig. 4와 같이 구성하고 시험하였다.

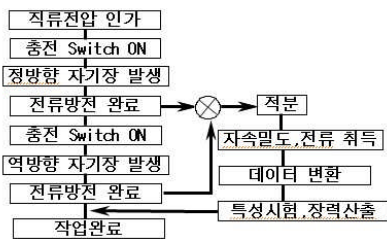


Fig. 4 Flow Chart for Characteristic Test & Data Transformation

3. 2. 케이블 자기특성 시험 및 분석

이상과 같이 회로를 구성하고 장력센서의 1차코일에 가해지는 전류와 장력센서의 출력전압은 Fig. 5와 같으며 그림은 정의 전류가 흐를 때의 파형이다.

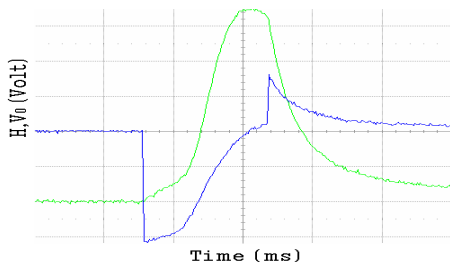


Fig. 5 Current, Emf, Integrating Curve

장력센서에 +, - 자기장을 가하면 센서 출력은 식 (2)에 의해 Fig. 4와 같이 유기전압이 발생하며, 이를 적분한 후 자속밀도를

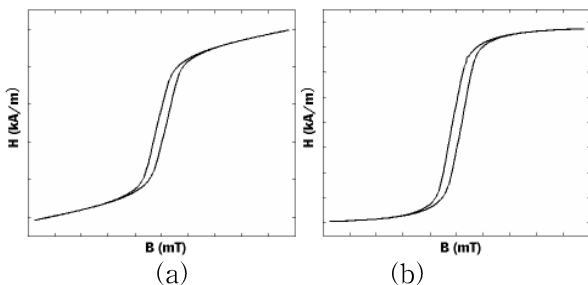


Fig. 6 (a)B-H Characteristic Curve, (b)Magnetic Characteristic Curve

구하였으며, 또한 가해진 자기장은 센서의 1차 코일에 흐르는 전류로부터 구할 수 있으므로 이것으로부터 케이블의 B-H 특성곡

선과 자화특성곡선을 그리면 Fig. 6의 (a), (b)와 같다.

자화특성곡선으로부터 시험에 사용된 케이블의 포화지점은 자기장이 약 120 kA/m로 됨을 알 수 있다.

또한 식(4)에 의해 투자율을 구하였더니 Fig. 7과 같다

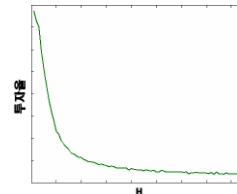


Fig. 7 Relative Permeability Curve

이상의 시험을 통하여 케이블에 따른 장력센서의 특성을 구하였으며 이것으로부터 장력에 따른 센서의 출력특성을 구하였다

4. 결론

상기와 같이 시스템을 구성하고 장력센서의 특성을 시험한 결과 장력에 따라 센서의 출력이 Fig. 7과 같이 비례하여 변함을 알 수 있다.

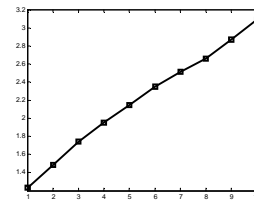


Fig. 8 Tension characteristics graph for Automatic Measuring

1. 케이블의 포화자화점, 투자율을 산출하고 최적 제어회로 구현
 2. 장력에 따른 센서의 출력 특성산출
 3. 포터블 타입의 장력측정 시스템 개발
- 등을 통하여 장력 특성시험의 정확성, 신뢰성 및 편리성을 향상시켜 정밀한 장력측정이 가능하게 되었다.

참고문헌

[1] Zui, H. Shinke, T. Namita, Y. "Practical Formulas for Estimation of Cable Tension by Vibration Method," Journal of Structural Engineering., Vol 122, Issue6, pp. 651-656 (1996)

[2] Wang, M. L, "Health Assessment and Monitoring of Long Span Concrete Segmental Bridge Bridge Research Center in University of Illinois at Chicago," presented in a seminar in the Safety Metrology Group of the Korea Research Institute of Standards and Science, (2001)

[3] B.D. Cullity, "Introduction to Magnetic Materials," Addison-Wesley Publishing Company pp. 327-375 (1972)

[4] 김창석 외, "전기/자기의 측정과 표준", KSRI-ET-72, 한국 표준과학연구원 (1985).

[5] 김창석 외, "자기 측정 및 시험", KSRI-ET-33-1, 한국표준 과학연구원 (1987)

[6] Haewon Park, Bongyoung Ahn, Seungseok Lee and Jongwoo Kim "Development of Magnetic Sensor for measurement of the Cable Tension of Large Scale Bridge" Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing Vol. 27, No. 4, pp. 339-344 (2007. 8)