

EM센서를 이용한 사장교 케이블의 장력 측정

Measurement for Tension Force of Cable Stay using EM Sensor

정 운† · 서주원* · 임진석**, Yang Zhao**
 Woon Jeong, Ju-Won Seo, Jin-Suk Yim, Yang Zhao

1. 서 론

사장교의 케이블은 장력으로 보강거더를 지탱하는 구조물로서 매우 중요하다. 따라서, 케이블 장력에 대한 유지관리가 필요하며 그 방법은 주로 가속도계에 의한 진동법을 사용하여 간접적으로 장력을 추정하고 있다. 하지만, 진동법과 같이 장력을 간접적으로 추정하기보다는 직접 측정할 수 있다면 유지관리의 신뢰성을 극대화할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 자동차, 국방, 항공산업분야 등에서 이용되는 기술로서 전자기를 이용하여 비파괴적으로 피측정체의 비틀림, 휨 등의 물리량을 측정하는 방법을 사용하여 케이블의 장력을 직접 측정하였다. 이를 위해 EM(Electro-Magnetic)센서를 제작하였으며 사장교 케이블을 대상으로 장력 측정실험을 수행하였다.

2. 사장교 케이블 장력 측정실험

2.1 실험대상 케이블

본 연구의 실험대상은 마창대교에 적용된 사장교용 PWS 케이블로서 그림 1, 표 1에 단면형상과 제원이 나타나 있으며, 그림 2는 실제 실내에 설치된 모습이다.

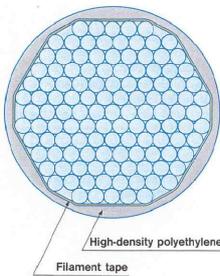


그림 1. 케이블 단면 그림 2. 케이블 실제모습

표 1. 케이블 제원

구 성	길이(L) (m)	직경 (mm)	단위중량 (kgf/m)	강선 총단 면적 (mm ²)	경사각 (°)	탄성계수 (GPa)	허용력 / 과단력 (kN)
강선 7mm@61ea.	44.7	80	20.3	2,348	8.38	200	1,765 / 3,921

2.2 EM센서

(1) EM센서의 특징

EM센서는 케이블의 장력을 직접측정 가능하며, 간접추정법인 진동법에 비해 케이블 경계조건, 새그, 길이와 무관하고, 정확성 및 내구성(50년 이상)이 높다. 또한, 시스템이 간편하며 유지관리가 용이하다.

(2) EM센서의 측정원리

그림 3의 EM센서의 주구성요소는 1, 2차 원통코일(solenoid)이며 1차 원통코일은 자기장(EM flux)을 형성하고 전자기 유도원리(패러데이의 법칙)에 의해 2차 원통코일에 유도된 전압을 측정한다. 이와 같은 과정으로부터 상대투자율(relative magnetic permeability)을 산정하면, 강재 케이블과 같은 강자성(ferromagnetic) 재료의 투자율이 온도와 응력의 함수라는 사실에 기초하여 케이블의 장력을 측정할 수 있다.

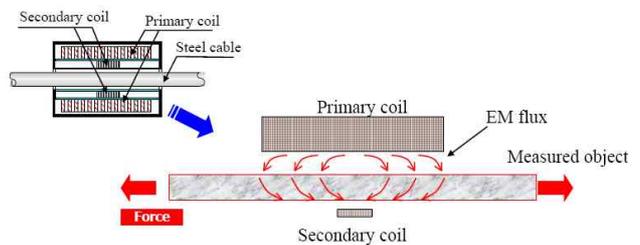


그림 3. EM센서의 측정원리

(3) EM센서의 현장제작

그림 4, 5는 본 연구에 사용된 EM센서와 계측기를 나타내고 있으며, 현장 설치시에는 그림 6과 같이 케이블에 실

† 교신저자 ; 현대건설 기술/품질 개발원, 정희원
 E-mail : maskwj@hdec.co.kr
 Tel : (031) 280-7211, Fax : (031) 280-7070

* 현대건설 기술/품질 개발원

** Intelligent Instrument System, Inc.

패모양의 코일보빈(coil bobbin)을 조립한 후 2차, 1차 원통코일을 차례로 코일보빈에 권선하여 제작 설치한다.



그림 4. EM센서



그림 5. EM센서 계측기



그림 6.코일보빈의 모습 그림 7.EM센서 현장 설치 모습

2.3 케이블의 장력 변환식

EM센서를 사용하여 실제 장력 측정을 위한 사전작업으로서 피측정체인 케이블에 대하여 기본보정(calibration)작업이 필요하며, 다양한 케이블에 대하여 기본보정작업 수행 후 도출된 장력 변환식을 데이터베이스화(DB) 한다면 EM센서의 적용성과 편의성을 더욱 향상시킬 수 있다.

그림 8은 기본보정작업시 측정된 상대투자율의 평균값에 대해 보정된 상대투자율과 케이블 장력과의 관계를 도사하는 그래프로써 이를 3차식으로 회귀분석하면 식(1)이 도출된다. 이 식은 온도보정이 포함된 케이블 장력 변환식으로 x 에 보정상대투자율을 대입하면 EM센서에 의한 실제 장력 측정값이 된다.

$$y = 1.661E+00x^3 - 1.735E+01x^2 + 1.207E+02x + 5.958E-01 \quad \text{식(1)}$$

여기서 y : EM센서값(tonf), x : 보정상대투자율

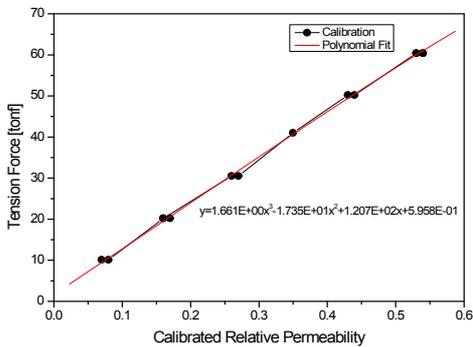


그림 8. 보정상대투자율과 케이블 장력과의 관계

2.4 실험결과

측정실험은 장력을 9단계로 증가시키면서 수행하였으며 다음 표 2에 EM센서 장력측정값을 케이블 정착부에 설치된 로드셀값과 비교하고 그림 9에 도시하였다.

표 2. 장력측정 실험결과 비교

Test Number	Load Cell (kN)	EM sensor Force (kN)	EM Sensor / Load Cell
1	91.6	105.7	1.15
2	196.5	204.9	1.04
3	298.9	303.9	1.02
4	393.2	403.4	1.03
5	496.0	501.1	1.01
6	591.1	600.0	1.01
7	638.4	642.6	1.01
8	693.5	696.9	1.00
9	735.1	737.3	1.00

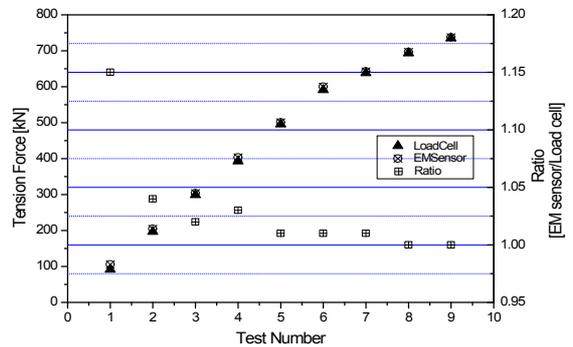


그림 9. 장력측정 실험결과 비교

전체적으로 로드셀값과 일치하며 케이블 새그가 상당히 큰 실험 1번의 경우에 15%의 오차를 나타내는데, 이는 새그에 의해 로드셀에 편심이 작용한 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서 수행한 사장교 케이블 장력 측정실험으로 전자기 응용 비파괴 기술을 이용한 EM센서는 설치와 측정이 비교적 간단하며 정확성이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 다양한 케이블에 대하여 기본보정작업을 수행 후 도출된 장력 변환식 DB를 구축하여 현장 적용성을 향상시킬 필요가 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업 초장대교량사업단의 연구비 지원[과제명: 현수교 케이블 가설장비/공법 및 형상관리(PPWS), 과제번호: 08기술혁신E01]에 의하여 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.