

# EM센서에 의한 현수교 PPWS 장력 평가

## Measurement of Tension Force for PPWS of Suspension bridge using EM Sensor

정 운† · 서주원\* · 박영호\* · 이원표\* · 김용규\*\*

Woon Jeong, Ju-Won Seo, Yung-Ho Park, Won-Pyo Lee, Young-Gyu Kim

### 1. 서 론

현수교의 주케이블은 대부분의 고정하중을 지지하며 이 하중에 의해 장력이 도입되어 전체 구조계의 강성을 좌우하는 주부재이다. 주케이블 형상은 설계자가 임의로 결정할 수 없고 고정하중과 부재내력의 평형상태로부터 결정되는 값이다. 그러므로, 주케이블 형상에 따른 장력은 전체 교량의 건전성을 나타내는 지표이며 공용중 주기적인 유지관리가 필요하다. 이를 위해 중앙 및 측경간은 주케이블의 형상을 측량함으로써 현수선으로 가정된 기본식에 의해 간접적으로 실제 장력을 정확히 추정할 수 있다. 이와 더불어 정착경간은 주케이블을 구성하는 스트랜드가 방사형으로 정착되어 형상이 거의 직선이므로 형상측량보다는 보통 수개의 정착단에 하중계를 설치하여 장력을 직접 측정한다.

본 연구에서는 정착경간에 설치가능한 EM (Electro-Magnetic)센서를 사용하여 현수교 PPWS(Prefabricated Parallel Wire Strand) 실험체를 대상으로 장력 평가실험을 수행하였으며 적용성을 확인하였다.

### 2. 현수교 PPWS 장력 평가실험

#### 2.1 PPWS 실험체

일반적으로 현수교 주케이블 가설공법은 AS와 PPWS 공법이 있으며 주케이블은 다수의 스트랜드로 구성된다. PPWS 공법에서는 91, 127, 169개의 강선을 육각형태로 평행 배치한 스트랜드를 사용하며 이를 PPWS라고 한다(그림 2).

본 연구에서는 표 1과 같은 제원의 PPWS(그림 1)를 사용하여 인장실험을 수행하였으며 현대건설이 시공중인 울산대교 주케이블에 적용될 예정이다.



그림 1. PPWS 실험체 모습

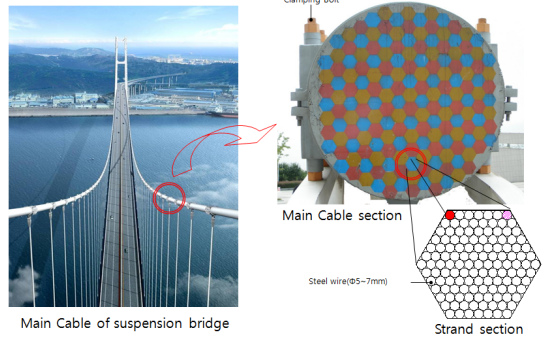


그림 2. PPWS의 구성

표 1. PPWS의 제원

구 성	보증 인장강도	탄성계수	단위길이 당 중량	순길이
φ5.4mm×127EA	1960 MPa	2.0×10 <sup>5</sup> MPa	0.223966 kN/m	4.52m

#### 2.2 실험개요

PPWS의 품질에 대한 검토를 위하여 인장실험을 수행하며 다음과 같은 절차로 구성된다.

##### (1) 예비인장단계

보증인장강도(GUTS : Guaranteed Ultimate Tensile Strength)의 10% 증분으로 60%까지 단계별 장력도입

##### (2) 본인장단계

PPWS의 강선이 파단될 때까지 보증인장강도의 80% 이하에서는 보증인장강도의 10%증분으로 그 이상에서는 5%의 증분으로 실험상황을 관찰하며 단계별 장력도입

#### 2.3 실험시스템 개요

##### (1) 실험체 설치

PPWS 인장실험을 수행하기 위해 그림 3과 같이 PPWS 실험체 소켓의 정착을 위해서 양단에 각각 정착프레임을 설치하고 우측프레임에는 인장력을 도입하기 위하여 500tonf 가력기 2기를 연결하였다.

##### (2) EM센서 설치

장력평가를 위한 EM센서는 PPWS 실험체 1/3지점에 실패모양의 코일보빈(coil bobbin)을 조립한 후 2차, 1차 원통코일(그림 4의 각각 (a), (b))을 차례로 코일보빈에 권선

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

\* 현대건설 연구개발실/인프라연구팀

\*\* (주)브리텍(BRITEK)

하여 현장 제작 설치하였다.

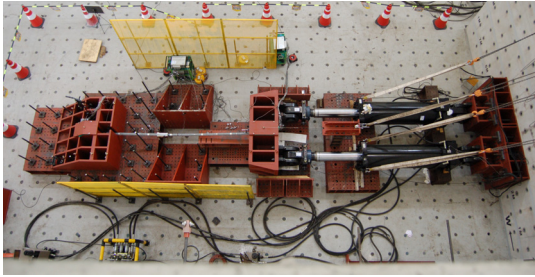


그림 3. PPWS 실험체 설치 모습

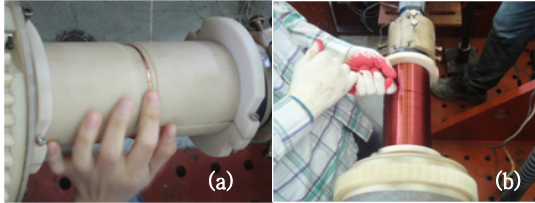


그림 4. EM센서 설치 모습

## 2.4 PPWS 장력 변환식

EM센서를 사용하여 실제 장력 측정을 위한 사전작업으로서 PPWS 실험체에 대하여 기본보정(calibration)작업이 필요하며, 본 연구에서는 예비인장단계에서 기본보정작업을 수행하였다. 그림 5는 기본보정작업시 측정된 상대투자율과 PPWS 도입 인장력과의 관계를 도시하는 그래프로서 이를 3차식으로 회귀분석하면 식(1)이 도출된다. 실험수행 시간이 짧아 온도변화가 거의 없으므로 식(1)에는 온도에 대한 보정이 포함되지 않았다.

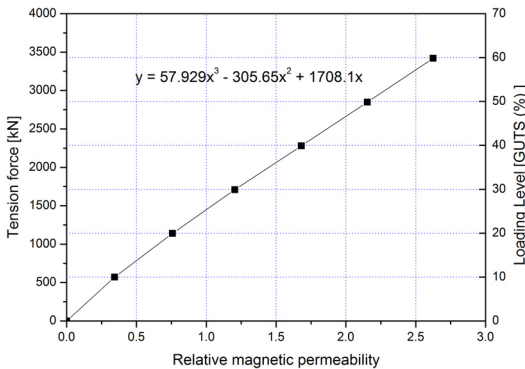


그림 5. 상대투자율과 PPWS 도입 인장력과의 관계

$$y = 57.929x^3 - 305.65x^2 + 1708.1x \quad \text{식(1)}$$

여기서  $y$  : EM센서값(kN),  $x$  : 상대투자율

## 2.5 실험결과

장력평가실험은 본인장단계에서 도입 인장력을 14단계로 증가시키면서 수행하였으며 다음 표 2에 EM센서 장력

측정값과 가력기 내부의 로드셀값과 비교하고 그림 6에 도시하였다.

표 2. 장력평가 실험결과 비교표

하중단계 [GUTS(%)]	Load Cell (kN)	EM sensor (kN)	E
10	570.4	542.3	-4.93
20	1139.0	1121.4	-1.55
30	1709.0	1700.3	-0.51
40	2279.5	2262.2	-0.76
50	2849.6	2829.5	-0.71
60	3420.6	3405.5	-0.44
70	3989.6	4009.3	0.49
80	4559.3	4637.3	1.71
85	4845.2	4971.5	2.61
90	5129.8	5259.6	2.53
95	5415.4	5555.7	2.59
96	5497.6	5657.0	2.90
103	5854.8	6203.5	5.96
108	6177.7	5956.4	-3.58

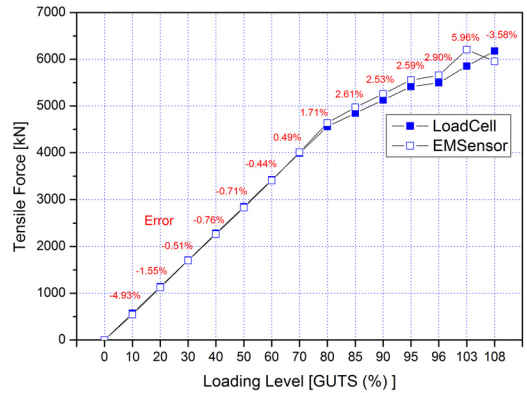


그림 6. 장력평가 실험결과 그래프

EM센서의 장력값은 로드셀값과의 오차의 범위가 0.44~5.96% 정도로 산정되었다. 정착소켓에 가속도계를 설치하여 강선파단을 감지하였으며, 최초로 강선파단시 도입 장력은 대략 6154.3kN이었다.

## 3. 결론

본 연구에서는 실제 적용될 현수교 PPWS를 대상으로 EM센서에 의한 장력평가실험을 수행하였다. 장력오차가 최대 6%정도까지 산정되나 현수교에 설치되는 PPWS의 실용력수준은 보증인장강도의 30~40% 수준이므로 실제 발생한 오차는 0.51~0.76%라 할 수 있다. 그러므로, EM센서 적용시 실제 장력오차는 1% 미만으로 상당히 높은 신뢰도를 나타내는 것으로 판단된다.

## 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.