

# 압전소자를 이용한 케이블의 손상평가

## Damage Estimation of Cables using PZT

박 강 근\*      김 이 성\*\*      김 화 중\*\*\*

Park Kang-Geun    Kim, Ie-Sung    Kim, Wha-Jung

### Abstract

Cable systems are a construction of elements carrying only tension and no compression or bending in membrane structure. Tensile membrane structures are most often used as roofs as they can economically and attractively span large distances. But cable systems have weaknesses to vibration by earthquake, wind and vehicle loads. Damage detection of cable systems by using existing safety diagnosis is difficult to detect the characteristic change of overall structural action. If cable snaps are occurred to cable release and tear in tension structures, these are set up a vibration.

So, we used piezo-electric materials, and The principle of operation of a piezoelectric sensor is that a physical dimension, transformed into a force, acts on two opposing faces of the sensing element. In this study, the development on test method of cable system is proposed and tested by tensile strength using piezo-electric materials.

키 워 드 : 압전소자, 케이블, 손상

Keywords : PZT, Cable, Damage

## 1. 서 론

케이블 재료는 강도가 높고, 경량이며, 유연성으로 인하여 비교적 작은 응력의 경우에 공기막 구조에서 보강재로 힘의 평형 조건으로 발생하는 인장력에 대하여 보강재로 이용되고 있다.

케이블은 인장력에 대응하는 연성 구조체이므로 강재에서 발생하는 힘이나 좌굴의 영향을 받지 않는 장점이 있으나, 케이블의 형태상 케이블 단부에서 발생하는 풀림과 터짐 등의 손상을 파악하기에는 많은 문제점과 어려움이 발생한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 압전소자를 이용하였다. 케이블에 인장력을 작용시켰을 때 발생하는 압전소자의 전압변화를 이용하여 손상시점을 파악하였으며, 압전소자의 전압측정은 평균값(Root Mean Square) 정리를 이용하여 계속하였다.

본 연구는 압전소자를 이용하여 케이블의 손상을 검토할 수 있는 방법에 대한 기초적 연구이다.

## 2. 기존 연구

케이블 재료의 손상을 평가하기 위한 국외 연구동향으로는

J. Dowd(2001)가 케이블의 파괴에 대하여 연구를 하였다. 바람 등으로 발생하는 진동이 케이블의 손상파괴에 주는 영향을 수치해석방법과 실험으로 연구를 수행하였다<sup>1)</sup>.

Zhang Xu-she(2007)는 광섬유(FBG) 센서를 이용하여 교량 케이블 인장을 계측하기 위한 연구를 수행하였다. 케이블에 인장력이 작용하면 신장량이 발생하고 이는 케이블에 부착된 광섬유 센서가 신장되어 발생하는 빛의 굴절률 변화를 이용하여 계측하는 간단한 방법을 이용하였다<sup>2)</sup>.

케이블 재료의 손상을 평가하기 위한 국내 연구동향으로는 권택진(1992)이 기하학적 비선형을 고려한 막형 케이블네트 구조물의 최적형상 및 응력 변형해석에 대한 연구를 하였다. 연성구조 시스템인 케이블네트 구조물은 초기강성이 매우 약한 구조체이기 때문에, 초기강성을 확보하기 위해서는 초기응력의 도입이 필수적이라 하였다. 이러한 구조물은 초기강성을 갖기 전에 불안정 현상을 나타나기 때문에 초기강성의 비선형성을 고려한 비선형해석이 요구되며, 강성매트릭스와 Newton-Raphson법을 이용하여 McS-1이라는 프로그램을 개발하여 연구를 수행하였다<sup>3)</sup>.

한상우(2006)은 탄성현수선요소와 일반화 알파법을 이용한 케이블 구조물의 비선형 동적해석에 대해 연구하였다. 케이블 구조물의 동적해석 수행 시, 모드 참여율을 이용하여 고차 모드의 진동을 제거 할 수 있는 수치감쇠 기법의 타당성을 검증

\* 부산대학교 산업건축학과 공학박사 교수, 정희원  
\*\* 경북대학교 건축토목공학부 공학박사 연구교수, 정희원  
\*\*\* 경북대학교 건축토목공학부 공학박사 교수, 정희원

하였고, 수치감쇠기법과 케이블 요소를 적용해 케이블 복합구조물의 일시적인 불안정 거동을 규명하는 연구를 하였다<sup>4)</sup>.

이와 같이, 케이블 재료의 손상을 평가하기 위한 국내의 연구동향은 주로 수치해석 연구가 주로 수행되고 있으며, 실험에 의한 방법은 케이블의 인장시 발생하는 신장량을 측정하는 방법을 주로 이용하고 있다.

### 3. 시험체 및 시험방법

그림 1은 케이블의 단부를 나타내며, 압전소자의 부착위치를 나타낸다. 센서의 부착 위치는 케이블과 단부를 구속하는 부분에 부착하여 실험하였다.

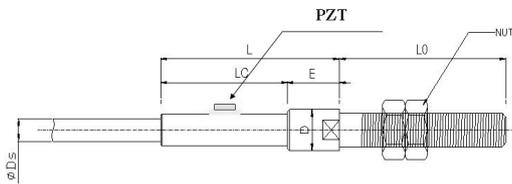


그림 1. 케이블 단부와 압전소자의 부착위치

표 1. 케이블의 제원

Size	No	ΦDs	D	NUT	E	LC	L(=LC+E)	LO	TOTAL L
		(mm)	(mm)	(")	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Φ12	1	12	22	M22	30	110	140	150	290
Φ16	2	16	30	M30	30	150	180	140	320
Φ18	3	18	36	M36	40	160	200	200	400
Φ20	4	20	40	M40	40	180	220	180	400
Φ22	5	22	45	M45	40	200	240	170	410
Φ25	6	25	50	M50	40	220	260	190	450



그림 2. 케이블 인장 시험기

표 1은 시험에 이용된 케이블의 제원을 나타내며, 그림 2는 케이블 시험에 사용된 인장 시험기를 나타낸다. 유니몰프(Unimorph)타입의 압전소자는 일본 MURATA 사의 압전부

저(Piezo-electric Speaker)를 사용하였으며, 데이터 로거(Data Logger)는 Tokyo Sokki사의 TDS-301을 이용하였다.

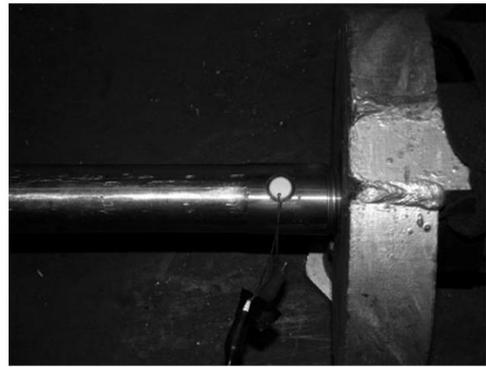


그림 3. 압전소자의 부착 위치

표 2. 압전소자의 제원

Resonant Frequency	6.5±0.5kHz
Resonant Impedance	250Ω max
Electric Capacity	12000±30%
Operating Temperature	-20℃~+70℃

### 4. 실험 및 결과

#### 4.1 케이블 실험 시 잡음(Noise)대역 분석

케이블에 인장력을 작용시키기 전 실험실에 잡음의 영향을 분석하기 위해 Tektronix사의 오실로스코프를 이용하여 잡음대역을 검토하였다.

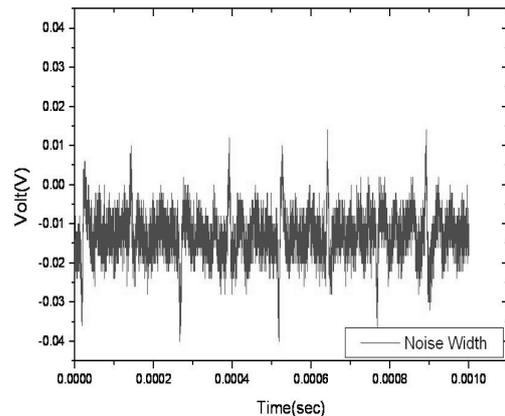


그림 4. 압전소자를 이용한 잡음대역의 측정

잡음대역의 최대 발생전압은 0.015Volt로 나타났다. RMS(Root Mean Square)로 압전소자의 전압을 측정할 경우, 케이블 손상을 비교하는데 잡음의 영향이 적을 것으로 나타

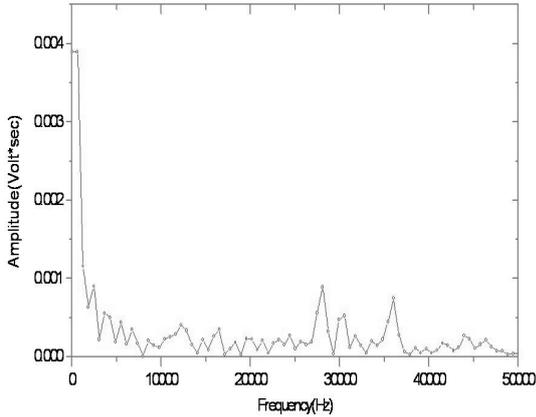


그림 5. 잡음대역의 주파수 대역

났으며, 이를 고속 푸리에 변환(FFT)을 이용하여 비교한 주파수 영역의 비교에서 30kHz대역에 잡음이 발생하는 것으로 나타났다<sup>5), 6)</sup>.

#### 4.2 압전소자를 이용한 케이블의 손상비교

케이블이 삽입되어 있는 위치(LC)위면 케이블 양 단부에 압전소자를 부착하여 케이블에 인장력이 작용될 때, 발생하는 압전소자의 전압을 RMS로 측정하였다.

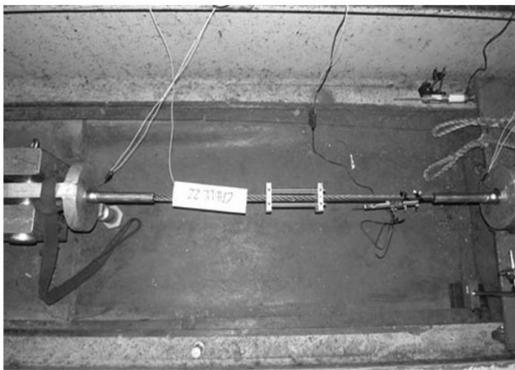


그림 6. 케이블 인장실험 개요

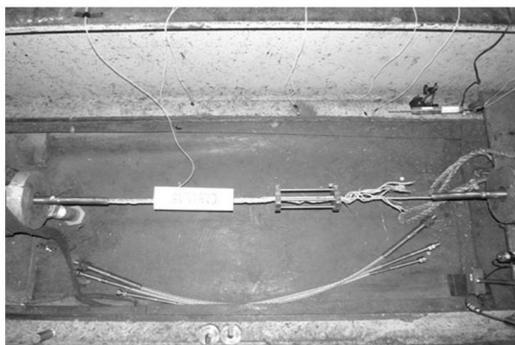


그림 7. 케이블 파단

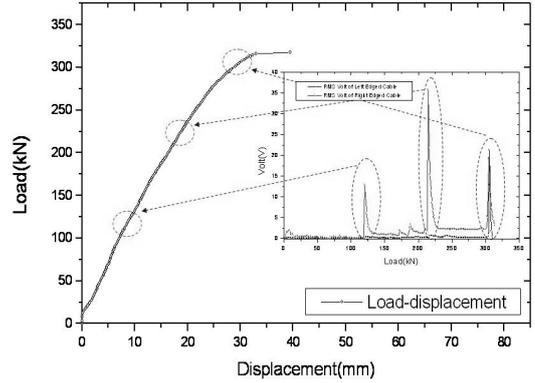


그림 8.  $\phi 25$  Cable의 손상비교

$\phi 25$  Cable은 케이블 단부 구속부의 결함이 있는 것으로 나타난 시험체이다. 실험결과, 최대하중의 70%에서 압전소자의 전압이 최대인 것으로 나타나 인장하중 작용 시 케이블의 부분적인 파단이 발생한 것으로 나타났으며, 압전소자의 전압을 비교한 결과 최대하중 시에 발생한 전압보다 높게 나타나 케이블이 최대하중에 도달 전에 손상을 받은 것으로 나타났다.

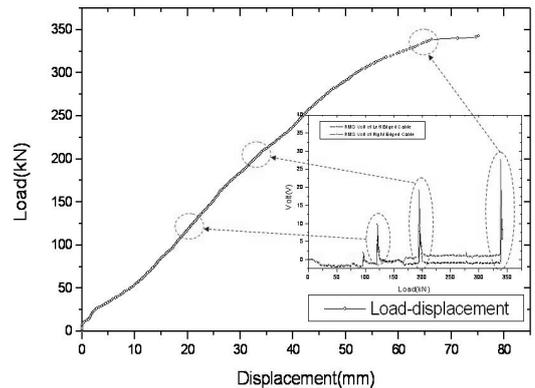


그림 9.  $\phi 22$  Cable의 손상비교

$\phi 22$  Cable과  $\phi 18$  Cable,  $\phi 16$  Cable은 부분적인 케이블의 파단에서 발생한 압전소자의 전압에 비하여 최대하중일 때, 전압이 최대인 것으로 나타났다.

$\phi 20$  Cable과  $\phi 12$  Cable은 최대하중일 때, 전압이 최대인 것으로 나타났으며, 부분적인 케이블 파단은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

이는 케이블 단부에 부착된 압전소자가 인장력이 증가되면 케이블의 단부에 구속부가 파단되는 시점에 케이블에 발생한 진동의 영향에 의해 전압이 증가되는 것으로 사료되며, 케이블 파단시 발생하는 압전소자의 전압이 크므로 잡음대역의 전압이 계속시 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

또한, 케이블 단부의 구속력에 따라 전압이 증가됨으로 파단부를 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

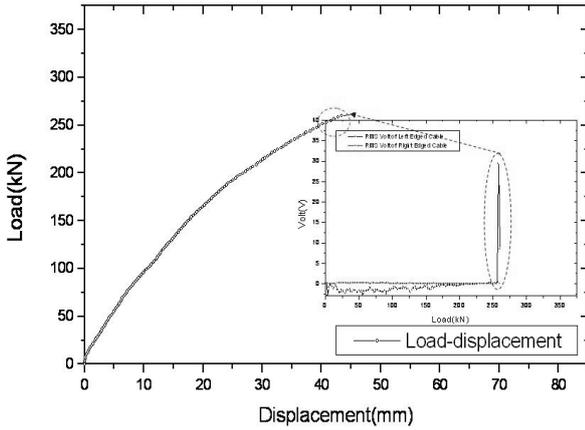


그림 10. φ20 Cable의 손상비교

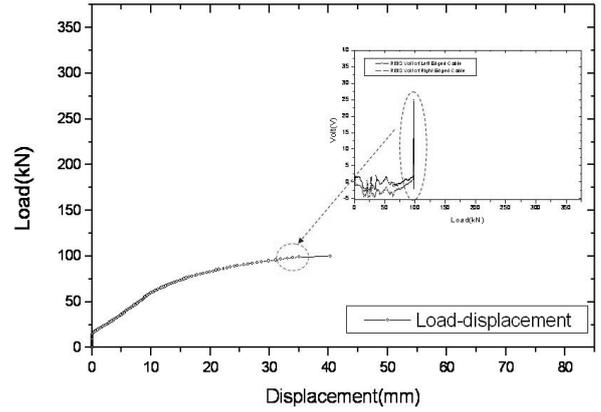


그림 13. φ12 Cable의 손상비교

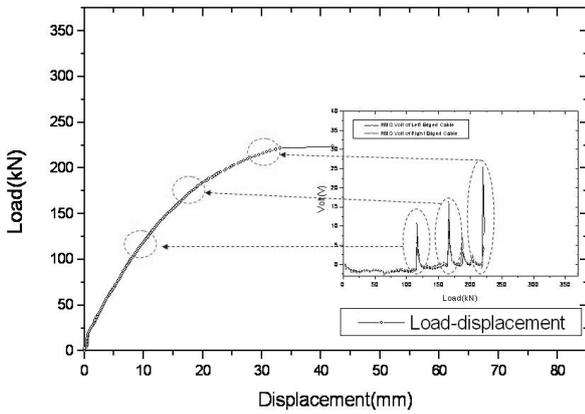


그림 11. φ18 Cable의 손상비교

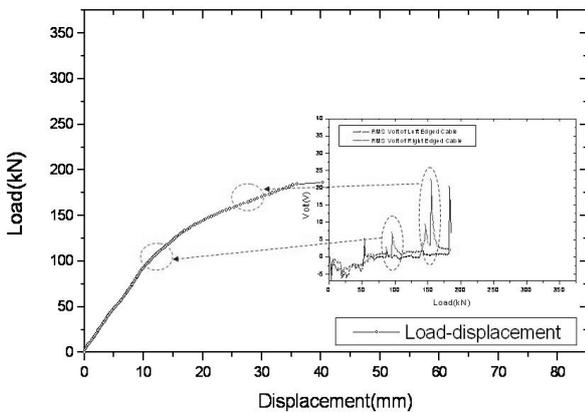


그림 12. φ16 Cable의 손상비교

## 5. 결 론

압전소자를 이용한 케이블의 손상평가의 결론은 다음과 같다.

1. 압전소자가 케이블 단부에 부착되어 있는 경우, 압전소자에 발생한 전압변화로 인하여 케이블의 손상을 파악할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 케이블의 직경이 큰 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 케이블 파단 시 발생하는 압전소자의 전압은 증가되는 것으로 나타났다.
3. 케이블 구속부의 구속력이 큰 경우 압전소자의 전압변화는 최대하중 시 발생하는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

1. 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 건설핵심 B03)에 의해 수행되었습니다.
2. 이 연구는 2008년도 한국과학재단 지정, 스마트 사회기반 연구센터의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: R11-2002-101-01002-0

## 참 고 문 헌

1. 권택진, 박강근, 강제요소법에 의한 구조물의 탄소성해석, 대한건축학회, 대한건축학회 논문집 제10권 제12호, pp.225-234, 1994.
2. 권택진, 항가이야스히코, 최현식, 김승덕, 서삼열, 기하학적 비선형을 고려한 막형 케이블네트 구조물의 최적형상 및 응력 변형해석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, v.11 n.1, pp.153-161, 1995.
3. 한상을, 이상주, 탄성현수선요소와 일반화 알파법을 이용한 케이블 구조물의 비선형 동적해석, 대한건축학회 논문집(구조계), v.22 n.11, pp.59-67, 2006
4. H.L.KWOK, Electronic Materials, THOMSON, pp.158-173, 1997.
5. Surendra P. Shah, Stuart E. Swartz, Chengsheng Ouyang, Fracture Mechanics of Concrete, JOHN WILEY & SONS, INC, pp.388-396, 1995.
6. David K. Felbeck, Anthony G. Atkins, Strength and Fracture of Engineering Solids, PRENTICE HALL, INC, pp.274-305, 1996.
7. Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, Digital Signal Processing, Prentice Hall, pp.317-341, 2002.
8. Richard W. Hertzberg, Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Material, JOHN WILEY & SONS, INC, pp.634-641, 1996.
9. J. Dowd, M. Poser, K. H. Frank, S. L. Wood, E. B. Williamson, Bending Fatigue of Cable Stays, Journal of Bridge Engineering, Vol. 6, No. 6, November/December, pp.639-644, 2001.
10. Jack A. Collins, Failure of Materials in Mechanical Design, Analysis, Prediction, Prevention, JOHN WILEY & SONS, INC, pp.1-133, 1993.
11. MATLAB (Version 6) Users Manual. The MathWorks, 2006.
12. N. TAKEDA, Structural Health Monitoring for Smart Composite Structure System in Japan, Annales de chimie Science des Materiaux 2000, pp.545-549.
13. Zhang Xu-she, Du Yan-liang, Ning Chen-xiao, A new monitoring method of cable tension of cable-stayed bridge—fiber bragg grating method, Journal of Central South University of Technology, Vol.12, No.2, pp.261-263, 2005.