

텐던 파단 음파의 분석

Analysis of Acoustic Signals of Tendon Fractures

윤석구* 김은겸** 최민석*** 김현겸****
Youn, Seok Goo Kim, Eun Keum Choi, Min Seok Kim Hyun Kyum

ABSTRACT

Using long-term monitoring AE techniques, two acoustic signals of wire fractures in a PSC beam are obtained. These data are compared to other noise signals. Based on the test results, the characteristics of the AE signals are classified and wire fracture signals are figured out among the other AE signals.

1. 서론

오랫동안 국내외에서 PSC교량은 강교량에 비해 유지관리비용이 적게 소요되는 교량형식으로 인식되어져 왔다. 그러나 유럽등지에서 발생한 몇몇 PSC교량의 붕괴사고를 계기로 외형과는 달리 내부적인 면에서 장기적인 붕괴위험이 존재한다는 것이 인식되었다. 지금까지의 연구결과 프리스트레스트 콘크리트 교량의 붕괴원인은 덕트 내부에 염소이온이 침투해 발생하는 텐던의 부식 및 파단에 의한 것이 주된 요인인 것으로 밝혀졌다. 따라서 PSC교량의 붕괴를 사전에 방지하기 위한 유지관리 방법의 개발이 시급하게 되었으며 이에 따라 다양한 비파괴 방법을 통한 텐던의 파단 측정기법 연구가 진행되고 있다. 그러나 PSC교량에서는 현재까지 효율적인 비파괴방법이 개발되고 있지 않은 상태이며, 또한 지속적인 모니터링 구축이 가능한 시스템이 개발되어 있지 않은 상태로서 외국의 교량 붕괴사고와 마찬가지로 여전히 PSC교량의 텐던 부식에 따른 급작스러운 교량의 붕괴 위험을 내재하고 있는 현실이다.

본 연구에서는 비파괴방법의 한가지로써 지금까지 개발된 비파괴방법 중 PSC교량의 모니터링 시스템 적용에 가장 적절한 것으로 평가받고 있는 Acoustic Emission 기법을 적용하여 PSC교량의 안전도 평가를 위한 텐던의 파단음향 측정기법의 개발을 목적으로 하며, 이에 따라 PSC Beam을 제작하여 AE sensor를 부착하고 장기간 실험을 통하여 텐던에 강제적으로 부식용액을 주입시켜 텐던을 부식시켜 부식이 진행되며 발생하는 여러 음파들과 텐던의 파단이 발생할 때의 음향 특성을 구분하고, 분석 및 정리하여 텐던의 파단 음파에 대한 음향특성을 확립하였다.

* 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 조교수

** 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

*** 정희원, 서울산업대학교 철도건설공학과 석사과정

**** 정희원, (주)후레씨네코리아 기술연구소 과장

2. 실험장비 및 실험체 제작

실험부재는 250×500×5000(mm)의 크기로 제작하였으며 여기에 AE sensor를 부착하여 중앙부 근처에 부식촉진부를 만들어 텐던의 부식에 의한 텐던 파단음향을 측정하였으며 또한 실험진행시 발생하는 각종 노이즈에 대한 데이터를 종합 분석하여 각각의 음향특성을 정리하였다.

실험 진행시 PSC 실험부재내의 텐던 부식시간 단축을 유도하기 위한 부식촉진장치를 제작하였으며, 부식촉진장치를 이용하여 일정한 속도로 부식용액을 텐던 부식부에 흐르게 하고, 또 전극을 최대한 텐던과 가깝게 접근시켜 텐던의 양극화 반응이 수월하게 이루어 질 수 있도록 하였다.

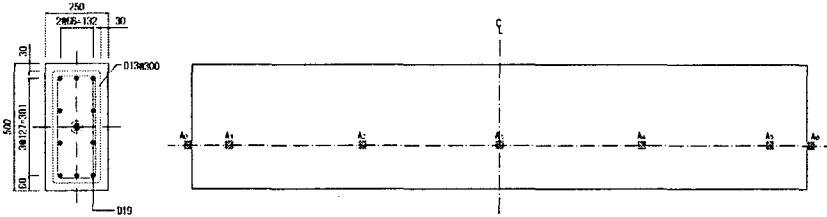


그림 1 실험체 제원 및 AE sensor 부착 위치도

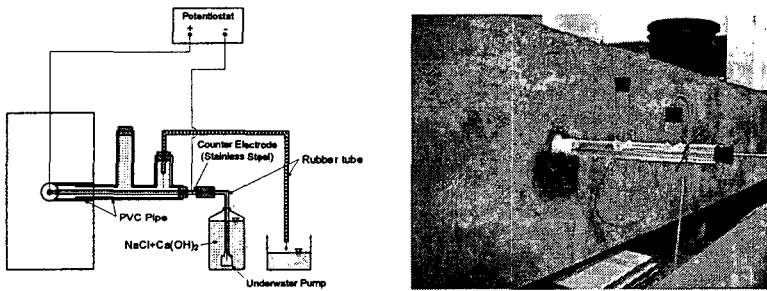


그림 2 부식촉진장치 모식도

3. 실험결과

3.1 부식에 의한 텐던의 파단

부식촉진실험을 36일간 실시한 결과 텐던의 파단은 총 2회 발생하였으며 텐던의 부식진행시 및 파단 발생시 발생하는 음파를 측정하여 그 음파특성을 분석하였다.

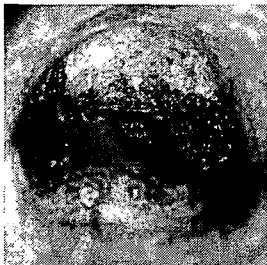


그림 3 부식생성물 발생

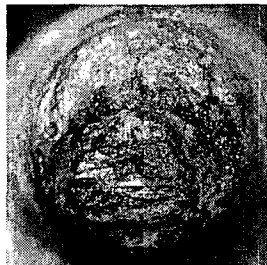


그림 4 부식 진행중



그림 5 텐던의 파단 발생

3.2 긴장재 파단위치 산정

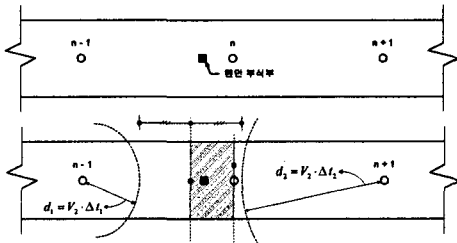


그림 6 긴장재 파단위치 산정 방법

본 실험에서 긴장재의 파단위치 산정은 1차원 위치 표정 방법인 Linear Source Location 방법을 사용하였으며 음파 속도의 calibration을 위해 Schmidt Hammer를 이용한 타격음과 전달속도를 기준으로 측정치를 산정하였다. 실험에 따른 음파의 전달속도는 표 1과 같으며 이에 따른 위치표정 결과 표 2와 같이 파단위치 산정치는 실제 파단위치와 매우 근사한 값을 얻었다.

표 1 실험에 따른 음파의 전달속도

Hit Point	Time (sec)	Δt (μs)	Δl (m)	V (m/sec)
Ch n	19842.8292477	-	-	-
Ch n-1	19842.8294845	236.8	0.574	2,424
Ch n+1	19842.8297820	534.3	0.971	1,817

First Threshold Time을 적용하여 센서간의 거리차 0.5m ($V_1 = 1,827$ m/s), 1.0m ($V_2 = 1,434$ m/s)에 대한 속도를 계산하여 calibration을 실시하면 긴장재 파단위치는 다음과 같다.

표 2 긴장재 파단위치 산정 결과

음파속도 (m/s)	Ch n-1	Ch n+1	산정치	오차
1,434	0.339m	0.766m	0.787m	13mm
1,827	0.432m	0.728m	0.728m	72mm

음파전달속도 calibration 결과 속도 V_1 , V_2 를 이용하여 계산한 산정치가 약 1cm, 7cm 정도로 실제 파단부와 매우 근소한 차이를 나타내었다.

3.3 음향특성치 분석

본 실험에서의 텐던 파단발생 횟수는 총 2회로써 두 개의 데이터를 이용하여 음향특성치에 대한 분석을 실시하였으며 다음과 같은 텐던 파단음파 및 각종 소음에 대한 음향특성치를 분류하였다.

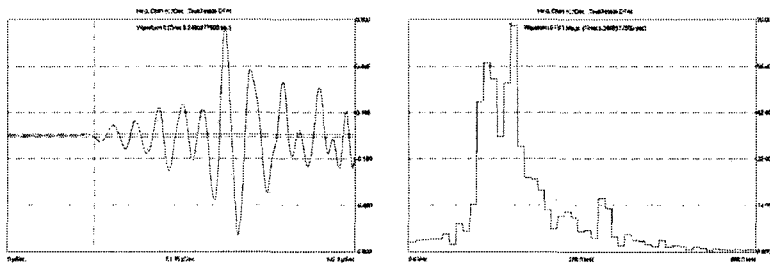


그림 7 텐던 파단 음파의 Waveform / FFT 분석도

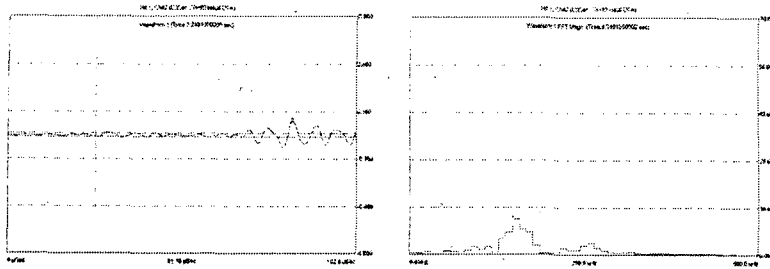


그림 8 부식 진행시 발생 noise의 Waveform / FFT 분석도

표 3 긴장재 파단실험에 의한 음향특성치

구 분	일반 Noise	부식 진행 음파	텐던 파단 음파
Rise Time (μsec)	1~80	100~200	250~490
Count	1~30	40~80	210~220
Energy ($10\mu\text{V}\cdot\text{sec}/\text{count}$)	0~10	10~70	360~2400
Duration (μsec)	1~90	100~600	1800~2700
Amplitude (dB)	40~50	50~60	90~100
Signal Strength ($3.05\text{ pV}\cdot\text{sec}$)	100~10000	10000~100000	$2\times 10^6 \sim 15\times 10^6$
Absolute Energy ($9.31\times 10^{16}\text{ joules}$)	1~1000	1000~10000	$2\times 10^6 \sim 55\times 10^6$
Peak Frequency (kHz)	100~160	160~250	130~160

4. 결론

실험결과 텐던의 파단은 부식부의 노출부위가 작을수록 더 빠르게 나타났으며, 발생 음파는 텐던의 파단시의 발생음파와 일반 노이즈와는 많은 차이를 나타내어 AE technique을 이용하여 텐던의 파단 여부를 확연히 구분할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 음파 전달속도를 이용하여 calibration 과정을 거쳐 긴장재의 파단위치 산정기법을 확립하여 향후 실구조물에 AE 기법을 이용할 시 긴장재의 파단위치 파악 및 텐던의 파단 여부를 알아낼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설기반구축사업(04 기반구축 A 05-01)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 윤석구, 박영하, 김은겸, "후긴장된 텐던의 파단 감지를 위한 음향모니터링 방법의 평가", 대한토목학회, '03정기학술대회 논문집, 2003, pp.1398~1403
2. D.W. Cullington, D. MacNeil, P. Paulson and J. Elliott, "Continuous acoustic monitoring of grouted post-tensioned concrete bridges", NDT&E International, No.34, 2001, pp.95~105
3. S.G. Youn, R.J. Woodward, R.J. Walker, D.W. Cullington, "Bridge monitoring with innovative sensors and sensing technologies-midterm report", Unpublished report, PR/IS/27/99, TRL, 1999