

# 구체손상에 따른 콘크리트 교각의 고유진동수 변화

## Damage Effects on the Natural Frequency of Concrete Pier

박 병 철\*                      오 금 호\*\*                      박 승 범\*\*\*  
Park, Byung Cheol      Oh, Keum Ho      Park, Seung Bum

---

### ABSTRACT

This study was performed to verify that the impact vibration test on the damaged concrete pier can be adopted for assessment of the bridge substructure integrity. Using the experimental modal analysis, the dynamic property changes of the concrete pier are investigated according to the damage levels which are modeled by the loss of cross section area of the pier body.

As a result of the impact vibration test, it is found that the natural frequency of the bridge substructure is reduced due to the damage on the pier such as loss of cross section area, and the natural frequency can be used for assessment of the integrity index.

---

#### 1. 서론

재해 발생시 교량 등 사회기반시설물의 기능정지는 피해지역에 긴급구조 및 구호를 위한 교통망의 두절을 야기시키며 이로 인하여 인명피해를 경감시킬 수 있는 기회를 상실하게 되는 등의 재난관리에 있어서 큰 영향을 미치게 된다. 특히, 홍수 등 반복적인 재해발생으로 인해 교각손상 및 세굴 등으로 인하여 교량 구조물의 내재해성은 취약해지고 있으며, 이러한 취약성을 점검하여 적절한 대책을 마련할 필요성이 있다. 콘크리트 구조물은 재료열화와 병행하여 산재하는 부분적 손상이 구조계 전체에 미치는 영향을 적절히 평가하여 보수와 보강 검토를 수행할 필요가 있다. 따라서 구조계 전체의 건전성을 비파괴적으로 간편하게 평가하기 위한 많은 연구가 수행되고 있으며, 구조물의 동적특성인 고유진동수의 변화를 이용한 손상평가도 그중의 하나이다.

본 연구에서는 물에 의한 침식과 부유물 및 선박 등의 충돌에 의한 교각 구체의 손상을 모의한 국부적인 손상을 가하여 교각의 고유진동수 변화를 분석하였다.

#### 2. 실험체 제작

##### 2.1. 교각모형의 제작 및 제원

본 연구를 위하여 단면 0.4m, 장변 0.6m, 높이 3.5m의 기초폭이 1.4m×1.2m인 축소된 중실구형교각을 제작하여 실험을 수행하였다. 교각모형을 제작하기 위해 사용한 콘크리트는 설계기준강도가 21MPa이고, 굵은골재 최대치수가 25mm인 레미콘을 사용하였으며, KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 의해 공시체에 대한 평균압축강도시험을 실시하여 22MPa의 평균압축강도를 얻었다.

---

\* 정회원, 국립방재연구소 토목연구소  
\* 정회원, 국립방재연구소 토목연구소  
\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

## 2.2 기초지반 제원 및 지반상수

지반을 5m×5m×2.7m(가로×세로×깊이)로 기초지반을 굴착한 후 쇄석으로 1.5m 깊이를 채우고 다짐을 실시하여 교각모형을 설치한 후 동일한 쇄석으로 포설 후 다짐을 실시하였다. 교각모형이 설치되는 기초 저면의 지반상수를 확인하기 위하여 교각모형이 설치되는 기초 바닥의 중심부에서 KS F 2444(확대기초에서 정적하중에 대한 흙의 지지력 시험 방법)에 제시된 방법에 따라 평판재하시험을 실시하여 연직방향 지반반력계수가 13.039 MPa/m임을 추정하였다.

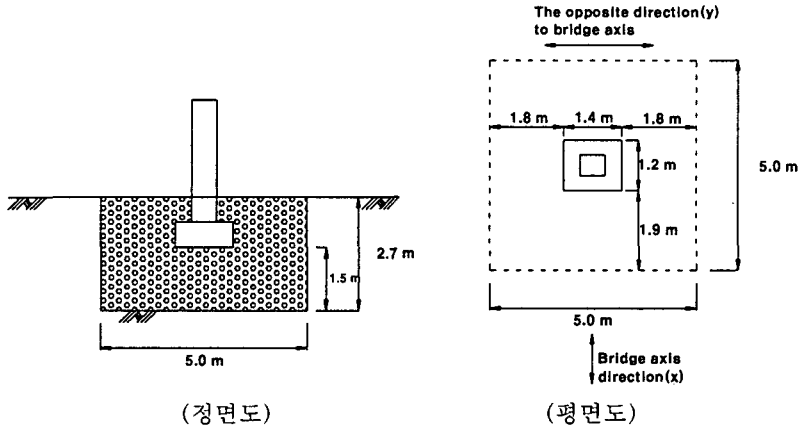


그림 1 지반 제원

## 3. 실험방법

### 3.1 가진 및 계측

가진은 교축방향(x)과 교축직각방향(y)에 대하여 1차 모드가 가장 크게 되는 위치인 교각두부를 임팩트 해머로 각각 타격하고, 이때의 가속도 응답을 계측하였다. 임팩트 해머는 작업성과 교각모형의 가진성 등을 고려하여 교각모형에 충격력 최대값이 7kN 정도 되는 충분한 가진력을 갖는 중량 50N인 원주형 강체로 제작하였으며, 임팩트 해머의 두부에 하중변환센서인 Dytran사의 1061V4 모델을 부착하여 가진시의 하중 입력을 측정하였다. 교각모형의 응답을 측정하기 위하여 Dytran사의 3100B 모델의 가속도센서를 그림 3과 같이 교축방향(x)과 교축직각방향(y)에 각각 구체를 5등분한 0.46m 간격으로 총 6개를 부착하였다. 입력하중과 응답가속도는 브뤼엘 엔 케아(Brüel & Kjær)사의 3560C 모델의 진동분석기를 이용하여 가진과 동시에 측정하고, 각 측정점의 발생응답을 0.000488초 간격으로 총 16,384개를 샘플링 하여 각 경우별로 5회씩 측정한 평균값을 분석에 사용하였다. 계측된 자료는 모달 해석 프로그램인 SMS사의 STAR-Structure를 이용하여 다중커브피팅(polynomial curve fitting)에 의해 고유진동수를 추정하였다.

실험시의 대기온도는 34~39℃, 교각표면온도는 34~38℃, 상대습도는 57~70%였다.

### 3.2 구체의 단면손상

확대기초 교각모형을 근입깊이가 1.2m가 되도록 설치한 후, 교각기초 상단으로부터 0.9m의 위치에 단면손상을 발생시켰다. 교각 구체의 4면을 따라 콘크리트 브레이커로 깊이 10mm와 표면에서의 폭이 30mm가 되는 손상을 각각 가하여 4단계로 손상실험을 한 후, 같은 위치에서 4면을 따라 깊이 25mm와 표면에서의 폭이 60mm가 되도록 손상을 확대해 가며 총 8단계의 구체 손상실험을 실시하였다.

표 1과 2에 구체의 단면손상 단계별 손상현황과 이에 따른 휨강성의 저하비율을 나타내었다.

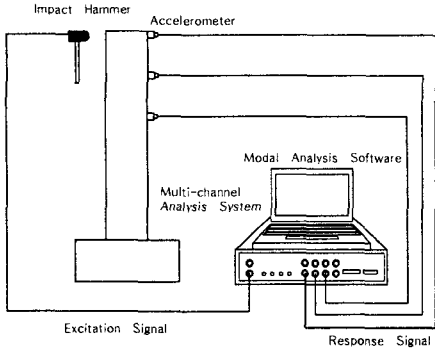
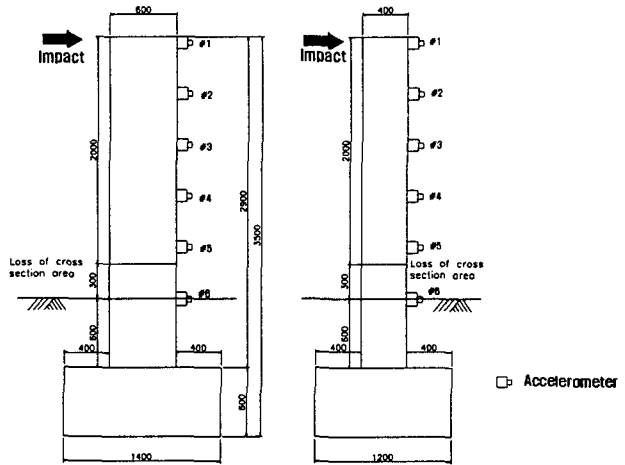


그림 2 진동실험 구성도



(a) 교축직각방향(y) 계측 (b) 교축방향(x) 계측

그림 3 가진 및 가속도센서 부착 위치 (단위:mm)

표 1 구체손상평가 실험조건

손상 단계	단면손상 (깊이×표면에서의 폭) (mm×mm)	휨강성 변화율 (%)	
		I <sub>yy</sub>	I <sub>xx</sub>
0	무손상	0.0	0.0
1	1면 손상, 10×30	-7.3	-2.5
2	2면 손상, 10×30	-14.3	-5.0
3	3면 손상, 10×30	-15.7	-9.7
4	4면 손상, 10×30	-17.1	-14.2
5	1면 손상, 25×60	-26.6	-17.6
6	2면 손상, 25×60	-35.2	-21.0
7	3면 손상, 25×60	-36.9	-26.9
8	4면 손상, 25×60	-38.6	-32.6

표 2 손상단계별 손상단면도

손상단계	손상단면
1면 손상	
2면 손상	
3면 손상	
4면 손상	

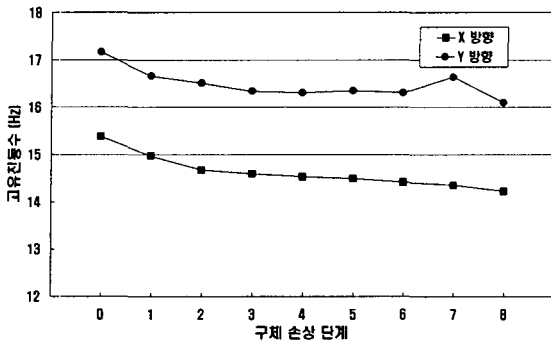
비고 : 굵은 실선은 교각 구체의 단면손상을 표시함

#### 4. 실험결과

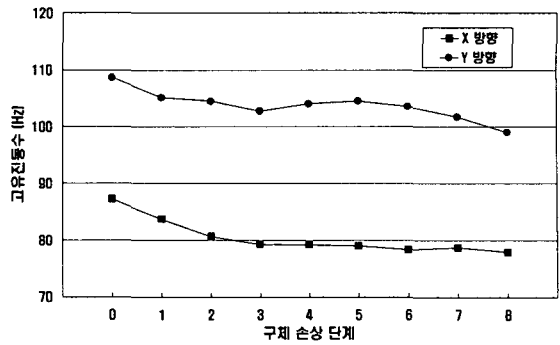
확대기초 교각모형의 구체 단면손상 단계별 충격진동실험에서 얻어진 교축방향(x)과 교축직각방향(y)의 모드별 고유진동수와 구체손상에 따른 휨강성 변화율에 대한 고유진동수의 변화율(%)을 각각 그림 4와 5에 나타내었다.

국부적 단면손상의 확대에 따른 콘크리트 교각의 교축방향(x) 고유진동수는 일정한 저하 경향을 보여주었으나, 교축직각방향(y)과 고차모드로 갈수록 저하 정도와 경향은 일정하게 나타나지 않았다. 또한 단면손상 확대에 따라 교축방향(x)의 고유진동수 감소율이 교축직각방향(y)보다 높게 나타났다. 이러한 원인으로서는 제작된 교각모형의 교축방향(x) 휨강성이 교축직각방향(y)보다 상대적으로 작아 휨진동 모드가 발생되기 쉽고, 단면손상에 따른 휨강성의 감소율이 컸기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 교각 구체의 단면손상 평가시에는 구체의 휨강성이 작고, 휨진동 모드가 발생되기 쉬운 방향으로 가진과 계측을 통한 고유진동수의 이용이 가능할 것으로 판단된다.

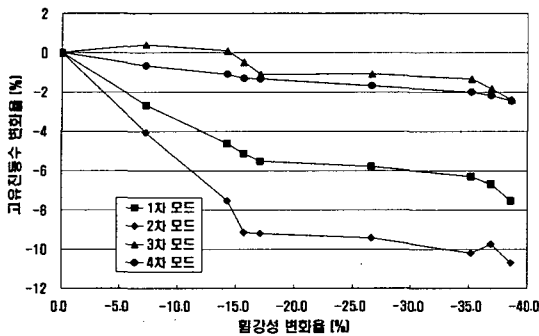


(a) 1차 모드

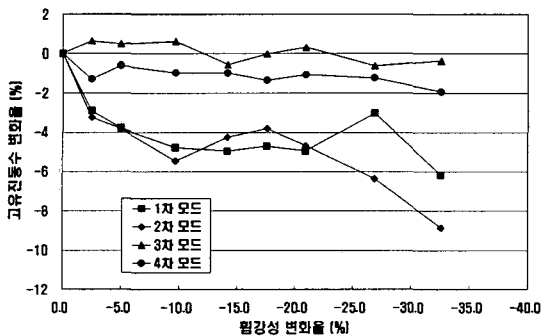


(b) 2차 모드

그림 4 구체손상 단계별 고유진동수의 변화



(a) 교축방향(x)



(b) 교축직각방향(y)

그림 5 구체손상에 따른 휨강성 변화율에 따른 고유진동수의 변화율

## 5. 결론

본 연구에서는 모형교각을 이용한 구체손상 평가실험을 통하여 손상확대가 고유진동수의 변화로 표현됨을 확인하였다. 치수효과의 영향이 큰 콘크리트 구조물의 특성을 고려하여 향후 실제 교각을 대상으로 한 손상평가 실험을 통해 고유진동수를 이용한 콘크리트 교각의 손상평가의 실용성 검증이 필요하다.

## 참고문헌

1. 박병철, 박승범 "근입깊이에 따른 콘크리트 교각의 동특성 변화에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트 학회 2004년도 가을학술발표회 논문집 Vol. 16 No. 2, pp. 655~658, 2004. 11.
2. Akihiko NISHIMURA, "Examination of Bridge Substructure for Integrity", Japanese Railway Engineering No. 114, 1990. 6. pp. 13~17.
3. Maia, N.M.M., Silva, J.M.M., and Almas, E.A.M., "Damage Detection in Structures : From Mode Shape to Frequency Response Function Methods", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 17, No. 3, 2003, pp.489~498.