유한요소해석을 이용한 기초세굴모의 교각의 고유진동수 변화분석

Analysis of Natural Frequency Change of Foundation Scour Imitation Pier Using FEM

장 성 희* • 박 병 철** • 임 종 혁***

Chang, Sung-hee • Park, Byung-Cheol • Lim, Jong-Hyuk

요 약

교각에서의 기초세굴 단계 및 상부구조물의 영향에 따른 진동특성을 파악하기 위해 교각 시험체를 이용하여 충격진동실험과 Midas FEA ver.2.0를 이용한 유한요소해석을 수행하였다. 기초세굴 모의는 교각시험체 기초 주위의 지반을 단계별로 굴착하였으며, 상부구조물의 영향은 철근콘크리트 블록을 제작하여 교각 시험체 위에 재하하였다. 충격진동실험과 수치해석결과, 강성이 작아지거나 질량이 커질수록 1차 모드 고유진동수도 작아지는 등 유사한 경향을 나타내었다. 대체적으로 충격진동실험으로 구한 1차모드 고유진동수는 수치해석으로 구한 값보다 작은 경향을 나타내었으며, 이는 지반의 강성변화를 수치해석 모델에서 연속적으로 반영하지 못하는 한계로 인해 발생한 오차로 판단된다. 따라서 1차 모드 고유진동수의 변화를 이용한 교각 세굴 건전성 평가를 위한 유한요소해석을 위해서는 지반물성을 보다 잘 모의할 수 있는 기법의 개발이 필요하였다.

keywords : 세굴, 교각, 유한요소해석, 충격진동실험, 고유진동수

1. 서 론

하천을 횡단하는 교량의 기초 상태를 신속하고 정확히 파악할 수만 있다면 세굴로 인한 교량의 붕괴를 예방하고 적절한 시점에서 보수·보강을 수행할 수 있을 것이다. 세굴로 인한 지반 강성의 저하는 교량의 하부구조의 동적특성에 영향을 줄 것으로 판단되는 바, 진동실험을 통해 기초상태를 평가하는 방법은 실무적으로 유용한 자료를 제공할 것으로 보인다. 올바른 기초상태 평가기준을 마련하려면 세굴 단계별 동적 특성자료를 확보해야 하는데 공용중인 교량의 교각을 대상으로 세굴 단계를 인위적으로 조정하는 것은 교량의 안정성 측면에서 매우 위험하므로 교각 시험체를 제작하여 실험하였다.

본 연구에서는 교각 시험체를 대상으로 교량 상부중량의 유무와 세굴현상을 모의한 지반굴착 단계에 따라 충격진동실험과 함께 유한요소해석을 수행함으로써 상부중량과 세굴이 교각 시험체의 고유진동수에 미치는 영향을 분석하고, 실험결과를 수치해석결과와 비교·분석하여 충격진동실험을 검증하고자 하였다.

* 정회원 • 국립방재연구소 시설연구사, 토목구조기술사 hymn2joy@korea.kr

** 정회원 • 국립방재연구소 시설연구관, 공학박사 bcpark@korea.kr

*** 국립방재연구소 연구원, 공학석사 lims2001@korea.kr

2. 교각 시험체

동적특성을 이용한 교각 세굴 건전성 평가기준 마련을 위해 기초 세굴정도와 고유진동수의 상관관계를 명파악하기 위해 그림 1과 같이 교각 시험체를 제작하였다. 교각 시험체의 구조형식은 상부 재하 등을 고려하여 T형식으로 선정하였으며, 기초는 확대기초 형식으로 선정하였고 기초의 초기 근입깊이는 3.0m로 설정하였다. 시험체는 본체와 상부구조물 모두 철근콘크리트 구조물로 콘크리트 강도는 각각 24 MPa과 18 MPa이고 사용된 철근은 SD40의 이형철근으로 항복강도는 400 MPa이다.

또한 상부구조물의 영향을 파악할 수 있도록 300kN 규모의 철근콘크리트 블록으로 모델화하여 상부하중 비재하 및 재하 상태에서 세굴을 모의한 지반굴착 단계별 진동실험을 실시하여 상부하중의 여부와 기초 근입깊이의 변화에 의한 지반강성 변화가 교각의 동적특성에 미치는 영향 정도를 실험적으로 검토하였다. 지반물성치는 지반조사를 실시하여 수치해석시 지반의 특성을 고려하였다.

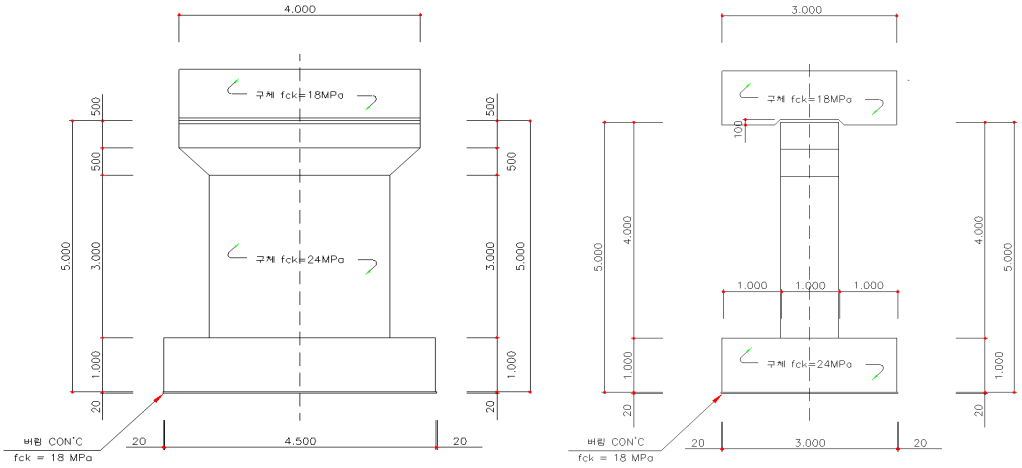


그림 1 교각 시험체 형식과 제원

3. 유한요소해석

상용 구조해석 프로그램(Midas FEA ver.2.0)을 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 우선 고유진동수의 경향을 파악하기 위하여 상부하중 비재하시와 재하시에 대하여 각각 근입깊이 3.0m의 굴착 전 단계, 1.5m의 중간 굴착 단계, 0.0m의 완전 굴착 단계의 3단계로 전산해석을 수행하였고 단계별로 굴착하면서 실험한 결과와 비교·분석하였다. 다만 근입깊이 3.0m일 때 교축직각방향의 고유진동수 실험결과가 일반적인 경향과는 달라서 이 경우를 제외하는 대신 근입깊이 2.5m일 때의 실험결과와 수치해석결과를 비교하였다.

3.1. 모델링 개요

교각 본체와 상부재하효과를 고려하기 위하여 교각 두부 위에 재하된 콘크리트 블록과 교각 본체는 3D Solid 요소를 사용하였고 교각의 기초지반과 주변지반은 Spring 요소를 사용하여 모델링하였다. 진동실험이 저차 모드에 초점을 맞춰 진행되었으므로 콘크리트 블럭은 교각 본체와 일체 거동하는 것으로 가정하였다.

그림 2와 그림 3은 각각 상부재하가 없는 경우와 있는 경우에 대하여 나타낸 유한요소모델링이다. 콘크리

트의 압축강도는 설계강도인 24 MPa을 사용하였으며 도로교설계기준(2005)을 참고하여 단위중량 25 kN/㎥, 포아송비 0.167, 그리고 탄성계수는 26,332 MPa로 설정하였다. 또한 지반조사를 통해 획득한 탄성파속도를 이용하여 지반의 동탄성계수를 구하였고 이 동탄성계수를 철도설계기준(철도교편, 2004)에 있는 지반반력계수 산정식을 활용하여 스프링상수를 구하였다. 지반조사결과, 시험체의 기초하면을 기준으로 윗부분과 아랫부분의 전단파속도차가 크다고 판단하여 지반을 두 종류로 분류하였다.

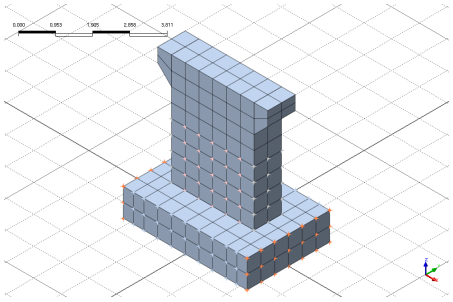


그림 2 상부 비재하시 모델링

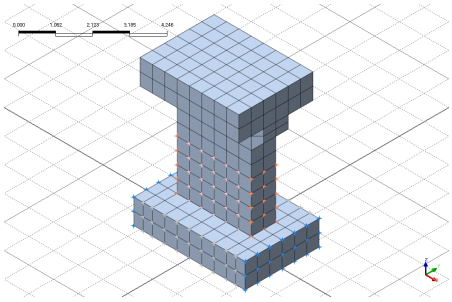


그림 3 상부 재하시 모델링

3.2. 해석결과

그림 4와 그림 5는 각각 상부 비재하시와 재하시의 대표적인 모드형상을 나타내며, 그림 6은 실험결과와 수치해석결과의 고유진동수 비교를 보여준다.

3.2.1 공통결과

실험과 수치해석의 모든 경우에서 1차 모드는 교축방향으로, 2차 모드는 교축직각방향으로 형성되었으며, 근입깊이가 얕을수록 고유진동수는 작아지는 경향을 나타내었다. 또한 상부하중을 재하한 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 고유진동수가 작았다.

3.2.2 실험결과와 수치해석결과 비교

상부하중 재하시의 진동수 오차가 상부하중 비재하시의 오차보다 작은 경향을 나타내었고 상부하중 재하시의 근입깊이 1.5m와 0.0m일 때의 교축방향 경우를 제외하면 전체적으로 실험결과에 비하여 해석결과가 큰 경향을 나타내었다.

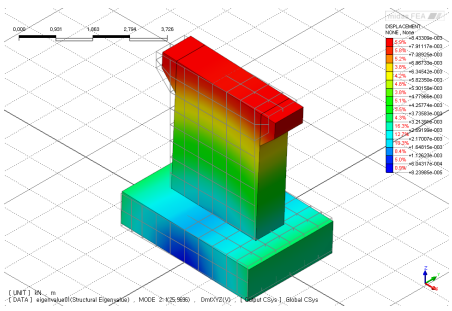


그림 4 상부 비재하시 교축직각방향 고유진동수 비교

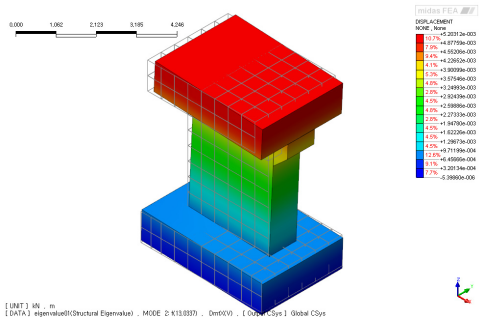
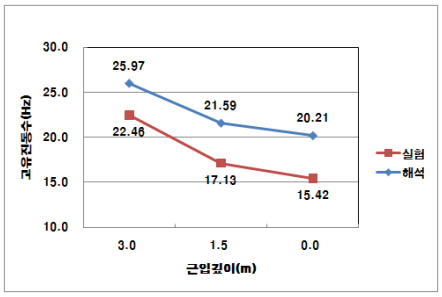
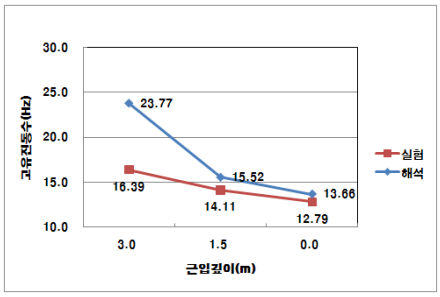


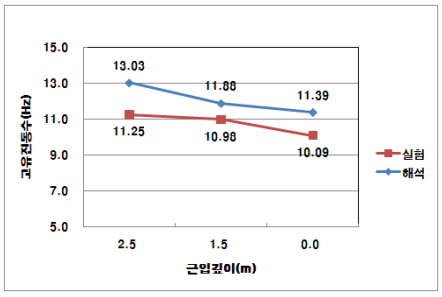
그림 5 상부 재하시 교축직각방향 고유진동수 비교



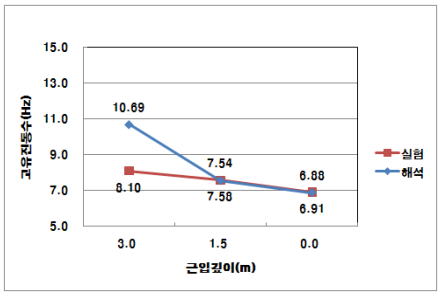
(a) 상부 비재하시 교축직각방향 고유진동수 비교



(b) 상부 비재하시 교축방향 고유진동수 비교



(c) 상부 재하시 교축직각방향 고유진동수 비교



(d) 상부 재하시 교축방향 고유진동수 비교

그림 6 실험결과와 수치해석결과의 고유진동수 비교

4. 결론

전체 시스템의 관점에서 볼 때 강성이 작아지거나 질량이 커질수록 고유진동수도 작아지는 경향이 나타났다. 실험에 사용한 교각 시험체는 교축방향의 강성이 교축직각방향의 강성에 비해 작아 고유진동수도 교축방향일 때가 교축직각방향일 때보다 작게 나왔다. 또한 기초 근입깊이가 얕아짐에 따라 전체 강성이 떨어져 충격진동실험과 수치해석 모두에서 고유진동수도 작게 나왔다. 상부하중의 유무에 따른 고유진동수는 상부하중 재하시 질량이 증가됨에 따라 고유진동수는 작아졌다.

상부하중 재하시 실험값과 수치해석값 간의 고유진동수 오차가 상부하중 비재하시의 오차보다 작은 경향을 나타낸 원인은 고유진동수에 영향을 주는 요소 중에서 질량의 영향이 상대적으로 커지면서 지반강성의 영향이 줄어들었기 때문인 것으로 사료된다.

교축방향의 경우, 교각 본체 주변의 지반 영향을 고려할수록 실험과 해석간의 오차가 커지는데 지반의 전단파속도의 변화를 수치해석 모델에 연속적으로 반영하지 못하는 한계로 인해 발생한 오차로 판단된다.

1차 모드 고유진동수의 변화를 이용한 교각 세굴 건전성 평가를 위한 유한요소해석을 위해서는 지반물성을 보다 잘 모의할 수 있는 기법의 개발이 필요하였다.

참고문헌

건설교통부 (2004), **철도설계기준(철도교편)**, 대한토목학회.

건설교통부 (2005), **도로교설계기준**, 한국도로교통협회.

국립방재연구소 (2009), 동적특성기반 상시모니터링 시스템 운영을 위한 교량세굴 건전성 평가기법 개발