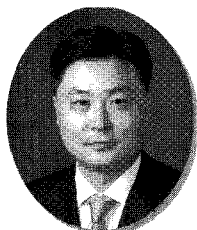




지반구조물의 원심모형시험시 원형과 모형의 상사성에 관하여



김 범 주
동국대학교
사회환경시스템공학과

원심모형시험은 일반적인 축소 모형시험의 한계를 극복하고, 효과적으로 원형구조물의 거동 및 파괴 메커니즘을 이해할 수 있는 방법으로 널리 알려져 있다. 따라서, 지반분야에서와 같이 원형시험을 수행하기 어렵거나 불확실성이 커 이론적 접근을 통한 해결이 어려운 경우 원심모형시험이 매우 적절히 활용될 수 있다.

원심모형시험의 원리는 간단히, 원형(prototype)에 대해 축소 제작된 모형(model)을 고속으로 회전시켜 인위적인 가속도를 부여함으로써 모형의 자중을 인위적으로 증가시키고 원형과 같은 응력을 재현시켜 모형으로부터 원

형의 거동을 파악할 수 있도록 하는 것이다(그림 1). 이때, 원형과 모형은 상사관계에 있어야 하며, 원형에서 발생하는 현상을 정확히 구현하기 위해서는 모형 제작과 시험가속도의 결정이 원형과 모형간 명확한 상사관계에 기초하여 이루어져야 한다. 여기서, 상사관계란 원형과 모형에서 발생하는 현상에 포함되어진 변수 전체가 상사관계에 있다는 것을 의미한다. 그러나, 실제로는 그러한 현상과 관련된 모든 변수들을 이해 혹은, 고려할 수 없는 경우가 많아 완전한 상사관계를 만족시키기란 불가능하다 할 수 있다(한국수자원공사, 2005).

원형과 모형간 상사관계를 구하는 방법(즉, 상사비 산정 방법)에는 크게 다음의 세 가지 방법이 있다.

- (1) 현상에 관련된 물리량을 전부 나열하고 버킹검의 π 정리를 이용하여 무차원량을 구한 후 원형과 모형간의 무차원량이 같다고 놓고 상사비를 구하는 방법
- (2) 현상을 지배하는 중요한 물리법칙을 나열하고 그 물리법칙으로부터 구한 무차원량(예를 들어, 관성력, 탄성력, 점착력, 마찰력 등을 나열하고 이들의 상호

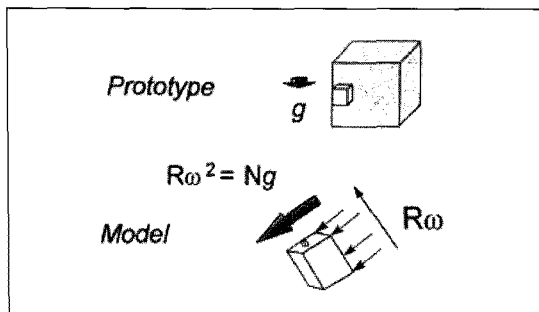


그림 1. 원형과 모형에서 가속도의 효과 (Schofield, 1980)



관계 비에 의하여 무차원량을 구함)을 원형과 모형
간에 같다고 놓고 상사비를 구하는 방법

(3) 현상을 지배하는 방정식을 알고 있을 경우에는 그
방정식으로부터 무차원량을 구하고 원형과 모형간
의 무차원량이 같다고 놓고 상사비를 구하는 방법

첫 번째 방법이 가장 일반적인 방법이지만, 현상에 관
련된 물리량이나 무차원량을 선정하는데 명확한 기준이
없어 이용하는데 어려움이 있고 또한, 현상에 관련된 지
식이 증가함에 따라 두 번째 및 세 번째 방법이 많이 이용
되어지고 있다.

지반분야의 원심모형시험에서는 주로 두 번째 방법이
사용되며, 이 때 상사성의 유도는 다음의 가정이 성립된
다는 조건 하에 가능하다.

- 원형(재료)은 유일한 물리적 공학적 특성(응력-변형
률-시간 관계 등)을 갖는다.
- 모형(재료)은 원형과 동일한 물리적 공학적 특성을
갖는다.

위와 같은 가정 아래 지반분야의 원심모형시험에서 원
형과 모형간 다양한 변수들의 상사관계는 유도가 가능해
진다. 그러한 변수들 중 간단한 경우로 지반 응력을 예를
들어 설명하면 다음과 같다.

응력에 대한 원심력장에서의 상사성

지반의 역학적 거동은 응력 상태에 크게 의존하게 되므
로 원형과 동일한 모형지반의 역학적 거동을 확보하기 위
해서는 식 (1)과 같이 원형과 모형 지반에 동일한 응력이
작용하도록 해야 한다.

$$\sigma_p = \sigma_m \quad (1)$$

여기서, 중력상태에서의 가속도 a 는 g 이고 원심력장에
서의 가속도 a 는 $r\omega^2$ (r =반지름, ω =각속도)이므로 원심력
장의 가속도와 중력상태의 가속도의 비 $N(=r\omega^2/g)$ 을
scale factor 라고 하면, 원형에서의 자중에 의한 응력 σ_p
를 다음 식 (2)와 같이 나타낼 때,

$$\sigma_p = \gamma \cdot h_p = \rho_p \cdot g \cdot h_p \quad (2)$$

원심력장에서 모형지반의 자중에 의한 응력 σ_m 은 다음
식 (3)과 같이 나타낼 수 있고,

$$\sigma_m = \gamma \cdot h_m = \rho_m \cdot a \cdot h_m = \rho_m \cdot N \cdot g \cdot h_m \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)을 식 (1)에 대입하면 원형과 모형의 응력
간 다음 식 (4)의 관계를 얻을 수 있다.

$$\rho_p \cdot g \cdot h_p = N \cdot \rho_m \cdot g \cdot h_m \quad (4)$$

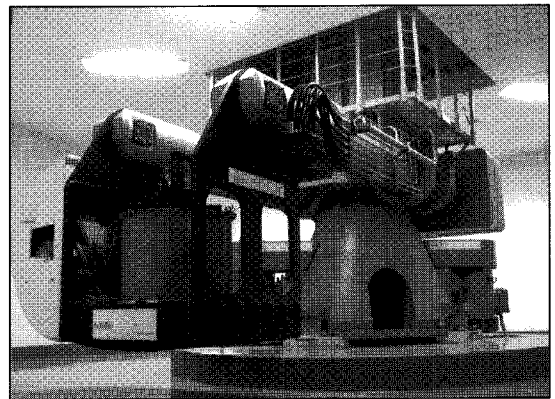
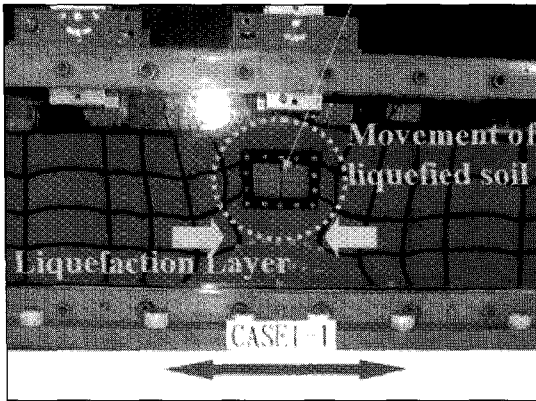
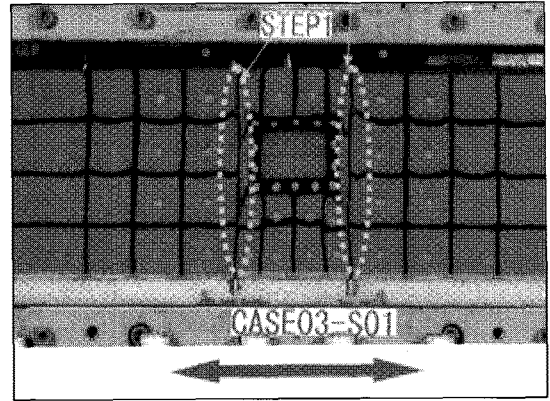


그림 2. 원심모형시험기
(KAIST의 KOCED지오센터리뷰지 실험센터)



(a) 무보강시



(b) Sheet pile 보강시

그림 3. 액상화로 인한 하수관거 거동 원심모형실험 사례 (PWRI, 일본토목연구소)

국내 원심모형시험기 보유 및 활용 현황

국내에도 여러 기관에서 원심모형시험기를 보유, 운영 중에 있으며, 가장 최근에는 지난 2009년 상반기 분산공유형 대형실험장치 구축사업(KOCED)의 일환으로 한국과학기술원(KAIST) 내에 지오센트리퓨지 실험센터를 준공하고, 회전반경(팔길이) 5.0m, 최대가속도 130g, 최대상재하중 2400kg의 대형급 원심모형시험 설비를 갖추게 되었다. 그리고, 그 이전부터 대우건설 기술연구소에 회

전반경 3m의 중형급, 강원대학교와 충북대학교에 회전반경 1m 이하의 소형급 원심모형시험기가 설치되어 운영 중에 있다. 위의 시험기들은 주로 자중압밀 거동 평가나 국내 제체 호안이나 케이슨 공사시 안정성 평가 등을 위해 사용된 바 있으며, 향후에는 시험기 운영 노하우와 기술 축적을 바탕으로 그동안 해외의 시험기나 기술진에 의존했던 장대교량 건설공사와 같은 대규모 구조물의 설계 시에도 국내의 시험기를 활용한 기술이 적용될 수 있을 것이다.

[참고문헌]

1. 한국수자원공사 (2005). 대형 원심모형시험기 설치 및 활용 방안 연구, 수자원연구원 보고서 KWE-GG-05-01, p291.
2. Schofield, A.N. (1980). Cambridge geotechnical centrifuge operations, Twentieth Rankine Lecture. Géotechnique 30, pp. 227~268