

개별요소법을 통한 자갈도상의 시간 영역 동적 해석기법 연구

Study of time-domain dynamic analysis for railway ballast using discrete element method

김승준*, 김익겸*, 이주석*, 민경환**, 임남형***

Seungjun Kim^{*†}, Ik-Gyeom Kim^{*}, Ju-Seok Lee^{*}, Kyung-Hwan Min^{**}, Nam-Hyoung Lim^{***}

초 록 본 논문은 자갈도상의 동적 거동 분석을 위한 해석기법을 다룬다. 자갈도상의 동적 해석기법으로는 등가재료물성을 적용한 쉘 또는 솔리드 요소를 적용한 유한요소해석을 통해 근사하게 접근하는 방법이 있다. 그러나 기본적으로 자갈도상은 불규칙한 형상 및 크기를 갖는 자갈입자로 구성되어있기 때문에 도상에 동적 하중이 작용할 때 접촉하는 자갈 간의 상호작용이 국부적인 거동뿐만 아니라 결과적으로 도상의 전체적 거동에도 영향을 미치게 된다. 이러한 거동 특성은 일반적인 유한요소해석기술로는 접근에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 각각의 자갈 입자의 독립적 거동 및 접촉하는 자갈 간의 상호작용을 모두 고려할 수 있는 개별요소법을 활용한 자갈도상의 시간 영역 동적해석기법에 대해 연구하였다.

주요어 : 자갈도상, 자갈, 개별요소법, 접촉모델, 동적해석

1. 서 론

기본적으로 자갈 도상의 자갈층은 강체에 가까운 독립적인 거동을 보이는 불규칙한 형상 및 크기를 갖는 자갈입자로 구성된다. 즉 자갈층을 구성하는 모든 자갈은 사실상 모두 각기 다른 크기와 형상, 표면특성을 갖기 때문에 복잡한 국부적 거동 양상이 나타난다. 자갈층의 정동적 거동 분석을 위한 수치적 기법으로는 자갈층을 쉘 또는 솔리드 요소로 모사하고 여기에 자갈층의 등가 지반물성을 대입하는 방식으로 근사적으로 접근이 가능하다. 그러나 기본적으로 각 요소의 변형이 매우 작은 것으로 가정하는 유한요소해석기술로는 자갈층의 변형이 크지 않은 경우에만 적용이 가능하다. 예컨대 궤도에서 일탈한 차량과의 충돌 등과 같이 국부적 또는 전체적인 변형이 충분히 예상되는 경우에는 유한

요소해석기반의 해석은 적용에 한계가 따른다.

이에 따라 본 연구에서는 개별요소법 (Discrete Element Method, DEM)을 통한 자갈층의 모사기법을 다룬다. 본 연구에서는 상용프로그램인 Simulia V6.17을 통해 개별요소법을 통한 자갈층의 모사 및 물체-자갈층 충돌해석에의 적용성을 수치적으로 분석하였다.

2. 본 론

2.1 DEM 해석기법

DEM해석은 입자 하나 하나를 객체로 모델링하여 수치해석을 수행한다. 일반적인 DEM 해석기법에서 개별 입자는 특정한 크기를 갖는 구체 (sphere) 형태의 강체 (rigid body)로 모델링하고, 각 입자 간 접촉조건 및 마찰조건을 부여하여 매 증분해석단계마다 입자 간의 접촉 및 충돌을 검토, 접촉 및 충돌하중을 산정하고, 뉴튼 제 2법칙을 통해 각 입자의 운동을 계산하는 등의 절차를 통해 시간영역 동적 해석을 수행하게 된다. (Mahmoud et al. 2016)

† 교신저자: 대전대학교 공과대학 건설안전방재공학과 조교수(skim@dju.kr)

* 대전대학교 공과대학 건설안전방재공학과

** 충남대학교 공학기술연구원

*** 충남대학교 공과대학 토목공학과

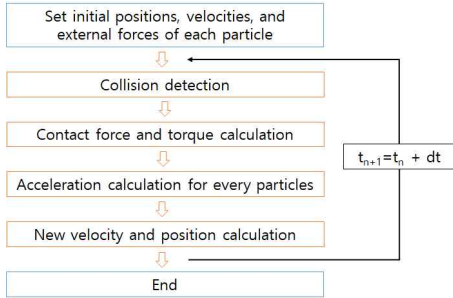


Fig. 1 General procedure for DEM based time-domain dynamic analysis

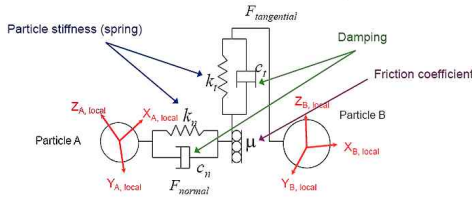
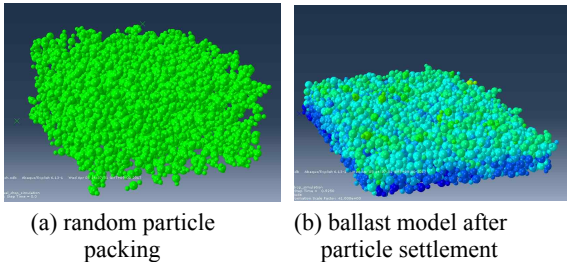


Fig. 2 Applied contact model for the approach (Hertz-Mindlin model)

2.2 자갈 형상 모사법

자갈 형상의 모사를 위해 본 연구에서는 A. 단일 구체를 이용한 자갈 형상 모사 및 B. 두 개 이상의 구체의 강결을 통한 자갈형상 고려방법을 고안하여 적용성을 분석하였다.



(a) random particle packing

(b) ballast model after particle settlement

Fig. 3 Generated ballast for the numerical approach

2.3 자갈층-물체 충돌해석

자갈층과 물체 간 충돌해석을 통해 DEM해석 기반 자갈층 동적해석기술의 적용성을 분석하였다. 본 해석을 위해 길이 및 폭이 2,000 mm이고 깊이가 330 mm인 자갈층에 직경 920 mm, 폭 140mm의 차륜이 평균 0.85 m 높이에서 자유낙하 시 자갈층과 차륜 간 충돌 후 동적 거동을 해석하였다. 자갈층 형성을 위한 입자 침하해석은 2.0초 동안 수행되었고, 차륜의 자유낙하해석은 1.5초 동안 수행되었다. 해석은 DEM 기반의 Explicit dynamic 해석으로 진행되었다.

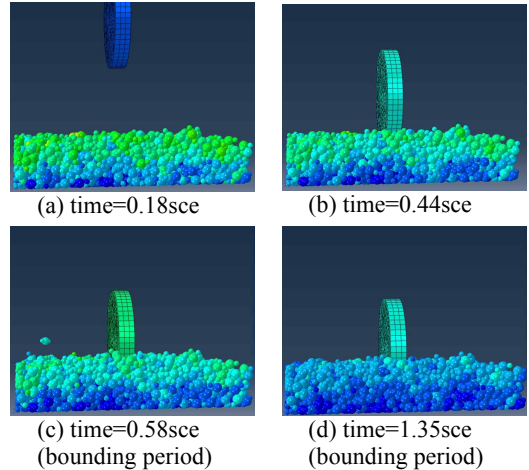


Fig. 4 Ballast-wheel collision analysis based on the DEM methodology

해석 결과 단일 구체를 이용한 자갈입자 모사 시 각 입자는 점접촉 상태이므로 자갈 간 상호작용이 합리적으로 고려되지 못하는 것으로 확인하였고, 두 개 이상 구체 강결을 통한 자갈층 모사방법은 자갈 입자 간 마찰 및 결속력을 고려할 수 있기 때문에 합리적인 해석결과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

3. 결론

본 연구를 통해 자갈 간 접촉 시 상호작용 및 외부 충격 작용 시 대변위 거동을 보다 합리적으로 고려할 수 있는 자갈도상의 시간영역 동적해석기법을 개발하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(17RTRP-B122273-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] E. Mahmoud, A.T. Papagiannakis, D. Renteria (2016) Discrete element analysis of railway ballast under cycling loading, *Procedia Engineering*, 143, pp. 1068-1076.