

안정화된 Penalty방법에 의한 접촉력 산정법과 요철부 통과시의 차륜-레일간 접촉분리 현상

Estimation of Wheel-Rail Contact Forces Using Stabilized Penalty Method and Separation of Contact Points Induced by Geometric Imperfection

정근영¹⁾
Chung, Keun-Young

이성욱²⁾
Lee, Sung-Uk

이석무³⁾
Lee, Seok-Mu

ABSTRACT

In this study, to describe vehicle-structure dynamic interaction phenomena, nonlinear Hertzian contact spring and nonlinear damper are adopted. The external loads acting on vehicle model are the self weight of vehicle and the displacement constraint equation of contact point. The displacement constraint is implemented by the Penalty method with stabilization. The penalty force, in the stabilized penalty method, is dependent on not only prescribed displacement but also velocity of contact point. In the time integration of dynamic equations of motion, Newmark time integration scheme is adopted, and the velocity of contact point is estimated by Newmark integration concept. To reduce the error caused by inadequate time step size, adaptive time-stepping technique is also adopted. As the nonlinear Hertzian contact spring is adopted in this study, separation of wheel-rail contact can be described. In numerical it is found that separation of contact between wheel and rail can be occur due to geometric imperfection of the rail top surface. In numerical test, the stabilized penalty method show good accuracy of result and it is expected that more versatile dynamic interaction phenomena can be described more accurately.

국문요약

본 연구에서는 구조물과 차량간에 작용하는 동적인 접촉력을 산정하는 방법으로 차량운동방정식에 차량의 중량(selfweight)과 접촉점의 위치에 관한 변위제한조건식을 가하여 동적인 운동방정식의 해를 구함으로써 반복계산에 의해 접촉스프링에 작용하는 접촉력을 산정하였다. 접촉점의 변위제한조건식에 영향을 미치는 요인으로는 주행로를 이루는 구조물의 처짐, 기하학적 불완전성(즉, 요철 및 틀림), 차륜의 편마모 등이 고려되어 접촉점의 위치를 결정하였다. 접촉점의 위치정보를 차량의 운동방정식에 제한조건으로 가하는 방법으로 Penalty방법을 채택하였으며, Penalty방법에서는 제한조건에 의해 발생하는 가상의 강성이 매우 크므로 해의 안정화를 위한 기법을 도입하지 않을 경우 고주파성분의 불합리한 진동이 야기될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Penalty 방법의 안정화(Stabilization)을 위한 새로운 기법을 도입하였다. 이상과 같은 접근방법에 의해 구현된 차량주행에 따른 구조물의 동적해석기법을 Newmark 시간적분방법과 적응적 시간간격 조절(Adaptive Time Stepping) 기법에 의해 시간적분을 수행하였으며, 접촉점 위치의 변화속도를 추정하기위해 Newmark 시간적분방법의 개념에 근거하여 속도를 추정하였다. 본 연구에서는 비선형 헤르쯔 접촉 스프링을 이용하여 상호작용력을 산정하므로 차륜-레일간의 접촉분리가 묘사될 수 있다. 수치해석결과 요철부 통과시의 거동해석을 수행한 결과 특정조건에서는 차륜과 레일간의 접촉력이 상실되는 현상이 존재하였으며, 이에 대한 간략한 이론적인 가능성에 대한 평가를 하고자 하였다. 또한, 본 연구에서 제안된 안정화된 Penalty방법에 의한 접촉점의 변위제한조건 오차량의 감소효과를 수치적으로 검증하였으며, 레일두면에 요철이 존재하는 경우 차륜과 레일의 접촉분리 현상을 이론적 및 수치적으로 분석하고자 하였다.

- 1) 책임저자: 한국철도시설산업(주) 선로시설연구소 책임연구원, 공학박사, 정회원
- 2) 한국철도공사 기술연구팀장, 공학박사, 정회원
- 3) 한국철도공사 시설기술단장