

수학적 모델을 이용한 열차의 타고오름 해석 연구

김 거 영¹⁾ · 구 정 서^{*1)}서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과¹⁾

A Study on Overriding Analysis Using Mathematical Model of Railway Vehicle

Geoyoung Kim¹⁾ · Jeongseo Koo^{*1)}¹⁾Department of Rolling stock system, Seoul National University of Technology, 172 Gongneung-2Dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

Abstract : With improvement of the computer simulation technique for crashworthiness, passive safety of vehicles has been much enhanced. Intrinsically train collision accident is more complicate and dangerous than automobile crash one. The overriding phenomena occurring in train collision often result in many casualties. In this paper, in order to understand overriding mechanism at train collision, mathematical model is used. Understand of this mechanism will help designers to determine the specifications of anti-climbing devices.

Key words : Computer simulation(컴퓨터 가상실험), Passive safety(수동적 안전), Crashworthiness(충돌안전도), Overriding(타고오름), Anti-climbing devices(타고오름 방지장치)

1. 서 론

항공 및 자동차 분야의 안전성은 충돌사고를 모사한 시뮬레이션에 의하여 급속히 발전할 수 있었다. 현재 자동차 충돌시험은 필수적으로 행해져야 하나 열차나 항공의 경우 각각의 다양한 모델 모두를 실차시험 하기에는 비용면에서 현실적으로 힘들다.

본 논문에서는 열차의 대형사고 중 주요원인이 되는 타고오름에 관하여 수학적인 모델링을 통해 타고오름 메카니즘을 분석하였다. 이는 타고오름의 해석 및 실차 설계시 가이드라인이 될 수 있는 열차

시뮬레이션을 수행하는데 도움이 될 것이다. 타고오름에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있는데 그중에서도 본 논문에서는 수학적인 모델링을 분석하여 그 인자를 확인하였다.^{1,2,3)}

기존 KHST의 타고오름해석을 위한 2차원 모델링은 열차의 차체를 강체로 모델링한 것과 차체를 door, mid, end 3구간으로 분류하는 모델링이 있었다.⁴⁾ 승객탑승구간이나 전장품 탑재 영역인 mid는 강체로 모델링하고 충돌시 압괴가 발생하는 door와 end구간은 KHST 3차원 쉘 모델의 구간별 해석을 통해 얻은 하중/변위 커브를 2차원 보요소에 적용하여 모델링함으로써 승객탑승구간을 제외한 차체구간을 에너지흡수구간으로 변경한 모델링 기법이다. 하지만 이러한 모델링 기법에 따라 타고오름 현상

* 교신저자: 구정서, koojs@snut.ac.kr.

을 보다 정확하게 예측 할 수 있으나 타고오름의 근본적인 원인을 알고 이를 설계단계에서 대처해 나가기 위해서는 타고오름의 메카니즘을 이해하는 것이 중요하다. 그리하여 본 논문에서는 수학적 모델을 이용하여 타고오름 메카니즘을 분석하여 보았다.

2. 수학적 모델링

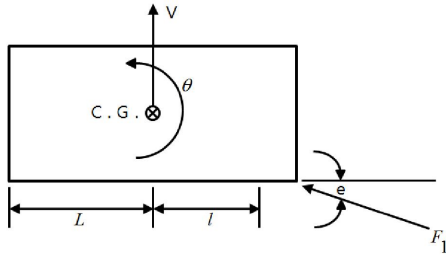


그림 1. 충돌 후 회전운동과 수직운동

열차충돌시 충격하중은 일반적으로 무게중심 아래에서부터 작용하며 그 결과 그림 1과 같이 수직운동과 회전운동이 발생된다. 이러한 거동은 아래 식처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m_2 \ddot{v} + (k_t + k_v)(v + l\theta) &= ev \sqrt{k_1 m} \sin w_0 t \\ I_2 \ddot{\theta} + (k_t + k_v)l(v + l\theta) &= (eL - h)v \sqrt{k_1 m} \sin w_0 t \\ \text{where, } w_0 &= \sqrt{\frac{k_1}{m}}, m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \end{aligned} \quad (1)$$

m_1 은 충돌하는 차량의 질량이고, k_1 은 두 차량의 충돌시 등가강성이다. m_2 와 I_2 는 각각 충돌된 차량의 질량과 회전관성모멘트이고, k_t 는 대차의 스프링 계수이고 k_v 는 센터 실의 수직방향 스프링 계수이다. $eF_1(t)$ 항은 각도 e 만큼 틀어진 연결기로부터 전달되는 하중이다. 길이방향 하중의 방향은 두 충돌차량 사이에 장착된 연결 기의 상대높이, 충돌면의 변형과 형상 등에 좌우된다. 일반적으로 $k_t \ll k_v$ 이다.

최대의 경우를 고려하여 충돌후 충돌된 차량의 최대높이를 계산하였다.

$e = 0, w_v \gg w_0, w_x \gg 1$ 가정할 때 다음과 같은 해를 얻을 수 있다.

$$v = -\frac{1}{2} \left(\frac{m_2 l^2 g}{I_2 + m_2 l^2} \right) \left(t - \frac{\pi}{w_0} \right)^2 + v_0' \left(t - \frac{\pi}{w_0} \right) + v_0 \quad (2)$$

3. 결 론

본 논문에서는 타고오름의 수학적 모델을 사용하여 타고오름의 메카니즘을 이해하고자 하였다. 충돌 중 타고오름은 충돌이 일어난 열차간의 등가 강성과 대차스프링 강성에 의하여 큰 영향을 받으며, 충돌 후에는 초기속도와 열차의 회전관성모멘트가 큰 영향을 미치는 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 연구비를 지원하여 한국철도기술연구원에서 진행 중인 차세대고속전철 기술개발사업의 연구결과를 응용한 것으로서 관계자들에 감사드립니다.

References

- 1) David Tyrell, Karina Jacobsen, Eloy Martinez, A. Benjamin Perlman, Proceedings of IMECE2006-13597, 2006 ASME/IMECE, 2006
- 2) Brite/Euram III, "Train Crashworthiness for Europe" BE-3092, SAFETRAIN Final Report, 2001
- 3) Tong, P., Mechanics of Train Collision, DOT Transportation Systems Center, FRA-OR and D-76-246, 1976
- 4) J. S. Koo, D. H. Song, "2-Dimensional Analysis of Full Rake TGV-K on Crashworthiness", Korean society for railway, 추계학술대회 논문집, pp. 545~552, 1998.11