

국내 철도차량안전법 요구 압괴 성능의 대형장애물 수치모델 개발

A Development of the Numerical Huge Obstacle Model for the Korean Rollingstock Safety Regulations

조현직† 구정서* 이장욱** 박정창** 박근수**
Cho, Hyun-Jik Koo, Jeong-Seo Lee, Jang-Wook Park, Kyoung-Chang Park, Geun-Soo

ABSTRACT

This study aims to develop a numerical model of the huge obstacle defined in the Korean Rollingstock Safety Regulations. The shape and mechanical properties to be satisfied in the numerical model were based on the Regulations. Through a troublesome trial and error simulations, we developed the numerical model of the huge obstacle to satisfy physical properties of the specified guideline in the regulations. By applying the developed numerical obstacle, we carried out a crash simulation to evaluate vehicle crashworthiness.

1. 서 론

본 연구의 궁극적 목표는 철도안전기준 35조 시행지침 16조의 충돌안전도 기준에서 요구하는 성능의 15톤 대형장애물의 유한요소모델을 개발하여 명시된 충돌안전 성능평가에 활용하는 것이다. 15톤 대형장애물은 일반철도 및 고속철도, 도시철도의 평가에 사용되며⁽¹⁾, 주요 인자인 기하학적 형상과 충돌하중 대 변위에 대한 물리적 특성이 명시되어 있다. 본 논문은 정의된 규정에 만족하는 대형장애물의 유한요소모델을 개발하고, 한국형 고속전철을 대상으로 철도안전기준에 정의된 충돌안전 성능평가를 수행한 결과를 정리하였다.

2. 대형장애물 개발

2.1 대형장애물의 제원

대형장애물은 표 1과 그림 1에 나타낸 바와 같은 기하학적 형상과 물리적 특성을 준수하여야 한다. 충돌특성은 그림 2와 같이 반지름 3m, 질량 50,000kg의 구가 30m/s의 속도로 부딪힐 때 그림 2와 같은 충돌하중-변위특성을 가져야 한다.

† 책임저자 : 정희원, 철도전문대학원, 철도차량시스템공학과, 박사과정
E-mail : hjcho72@naver.com

TEL : (02)970-6878 FAX : (02)970-6011

* 정희원, 철도전문대학원, 철도차량시스템공학과, 교수

** 정희원, (주)현대로템, 기술연구소

표 1. 대형장애물의 세부사항

구분	조건	구분	조건
형상	그림 1 참조	밀도분포	무게중심을 고려하여 part별로 각각 균일한 밀도분포
질량	15,000kg	마찰조건	표면마찰 무시
무게중심	선로 상단 위 1,750mm	강성	균일한 강성

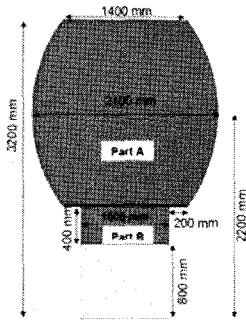


그림 1. 대형장애물의 형상

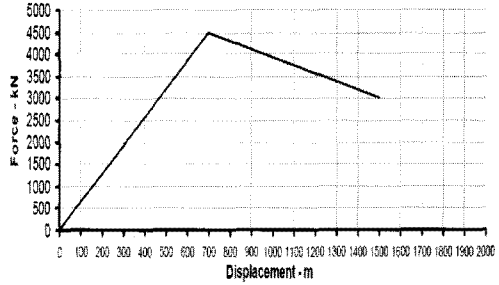


그림 2. 대형장애물의 충돌하중-변위 특성

2.2 대형장애물의 유한요소모델

유한요소모델은 그림 1의 형상치수를 준수하였고, 대형장애물의 Part A와 Part B은 균일한 강성과 대 변형을 표현하기 위해 적용물성은 하나킴으로 사용하고, 충돌체인 반지름 3m 구는 강제로 모델링 하였다. 생성된 모델은 그림 3과 같으며, 사용된 총 절점은 40,140개, 요소는 43,337개, 그리고 평균 요소길이는 100 mm 이다.

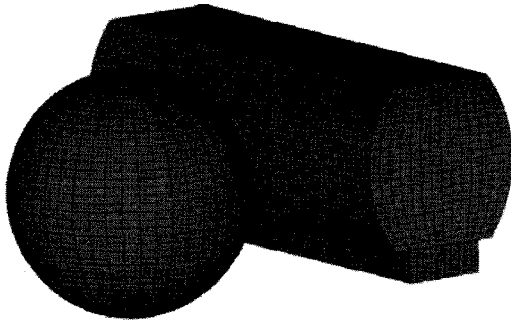


그림 3. 대형장애물의 유한요소모델

2.3 시뮬레이션 평가결과

해석조건에 사용된 대형장애물의 재질물성인 하나킴은 이방성재질로 각 방향성분에 대한 체적 변형율과 응력데이터를 정의하도록 구성되어있으나, 본 모델은 균일한 강성을 표현하기 위해 각 방향에 대해 동일한 특성을 적용하였고, 체적변형율과 응력선도를 적절히 조절하여 정의된 하중-변형특성 조건에 만족하는 모델을 개발하였다^(2,3). 시뮬레이션 결과와 기준곡선은 그림 4와 같으며, 대형장애물의 변형형상은 그림 5에 나타내었다.

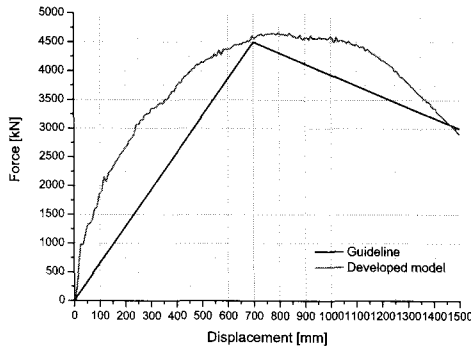


그림 4. 시뮬레이션 결과와 기준곡선 비교

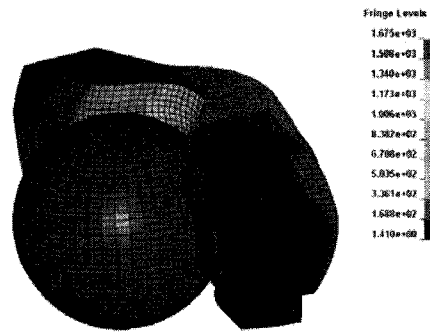


그림 5. 대형장애물의 변형형상

3. 대형장애물 충돌사고 시나리오 평가

개발된 대형장애물 모델을 사용하여 철도안전기준에 근거하여 충돌안전성능 평가를 수행하였다. 평가용 철도차량은 제 1종에 해당하는 한국형 고속전철이며, 사고 시나리오 각본에 명시된 시속 110 킬로미터로 충돌하는 조건이다. 대형장애물은 레일상면을 기준으로 위치시켰으며, 중력가속도를 적용하여 충돌 직후 거동이 실제와 가깝게 표현될 수 있도록 설정하였다.

3.1 평가항목 및 판단기준

철도안전기준 35조 시행지침 16조에서 요구하는 평가항목 및 판단기준은 표 2와 같으며, 시뮬레이션 결과는 이에 근거하여 항목별 판단기준에 의거한 평가를 수행하였다.

표 2. 평가항목 및 판단기준 요약

평가항목	판단기준	비고
생존공간유지	과도한 생존공간 변형금지	
	차체구조물의 생존공간 침투방지	
	생존공간 부피감소 제한	길이 5m당 1%
	승/하차구간 변형제한	원래길이의 30%와 300mm 중 작은값
	운전실 변형제한	길이와 폭 0.75m 이상 또는 공간과 높이는 원래의 80% 이상유지
충돌에너지 분산흡수	운전자석의 빈공간유지	
	의도된 압괴거동으로 충돌에너지 흡수	
충돌감속도	순차적인 압괴거동	
	승객탑승부 가속도제한	평균 5g, 최대 7.5g 이하

3.2 시뮬레이션 결과 및 평가

시뮬레이션 결과 충돌직후 에너지 흡수부품인 하니컴의 압괴변형은 발생하였으나, 대형장애물은 동력차 전두부 구조의 손상을 발생시키지 못하였다. 그림 6은 초기상태와 충돌 후 전두부 형상을 나타낸 것이다. 판단기준에 대한 수치적 평가를 수행하였고, 결과곡선은 그림 7과 같다. 시뮬레이션 결과 평가항목에서 제시한 기준에 미치지 못하는 국부적 변형이 발생함을 확인하였으며, 결과로 부터 한국형 고속전철은 대형장애물과의 충돌조건 시 충돌안전 기준을 만족함을 알 수 있다.

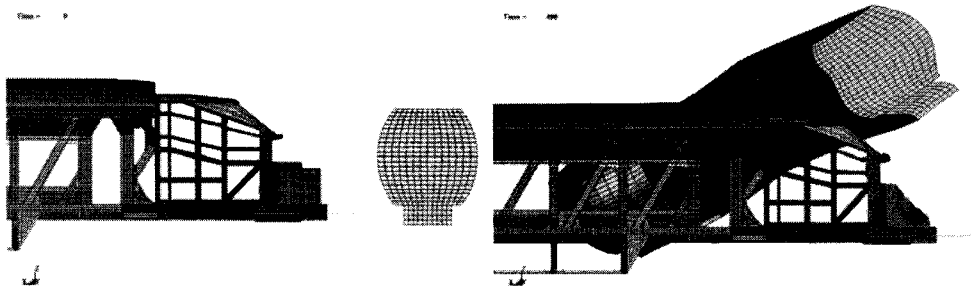


그림 6. 대형장애물과의 충돌 후 동력차 전두부 압괴형상

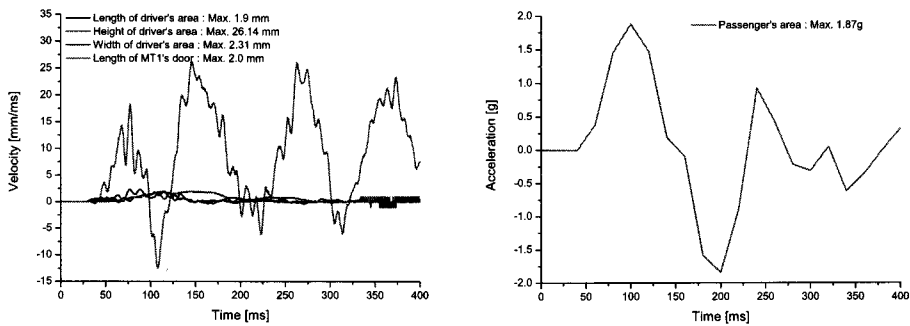


그림 7. 대형장애물과의 충돌 후 검증항목별 변형량과 승객탑승부 가속도 결과

3.3 결과종합

평가항목별 시뮬레이션 결과를 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 평가항목별 시뮬레이션 결과

평가항목	판단기준	시뮬레이션 결과
생존공간유지	과도한 생존공간 변형금지	구조적 변형발생하지 않음 변형량 미미함(최대 2mm 변형) 길이 : 2,120mm 당 1.9 mm 변형 높이 : 2,060mm 당 26.14mm 변형 폭 : 2,430mm 당 2.31mm 변형
	차체구조물의 생존공간 침투방지	
	생존공간 부피감소 제한	
	승/하차구간 변형제한	
	운전실 변형제한	
	운전자석의 빈공간유지	
충돌에너지 분산흡수	의도된 압괴거동으로 충돌에너지 흡수 순차적인 압괴거동	하니컴과 전두부 구조의 국부적 변형(충돌에너지 흡수영역)
충돌감속도	승객탑승부 가속도제한	최대 1.87g 발생

4. 결 론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 철도차량안전기준에서 요구하는 15톤 대형장애물의 시뮬레이션 평가용 모델을 개발하였다.
- 개발된 대형장애물을 이용한 한국형 고속전철의 충돌안전평가를 수행하였고, 평가결과 명시된 기준에 만족하는 결과를 얻었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(차세대 고속철도기술개발, 분산형 고속전철의 해석 및 평가기술연구 과제)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국토해양부(2007), 철도차량 안전기준에 관한 지침 개정안
2. John O. Hallquist(2006), LS-DYNA Theory Manual
3. C. W. Schwingshackl, G. S. Aglietti, and P. R. Cunningham(2006), Determination of Honeycomb Material Properties, ASCE
4. Brite/Euram III(2001), Train Crashworthiness for Europe, BE-3092, SAFETRAIN Final Report