

대용량 열차충돌 시뮬레이션을 위한 슈퍼컴퓨터의 활용

The Application of a Supercomputer System for Mass Train Crash Simulation

김승록* 정현승** 권태수*** 구정서****
Kim, Seung Rok Jung, Hyun Seung Kwon, Tae Soo Koo, Jeong Seo

ABSTRACT

The purpose of this paper is to simplify the prior analysis procedures of a train crash and to analyze whole and detailed crash behavior. For this study, the FE(Finite Element) model of KHST was used. The full train FE model consists of 1D beam and 3D shell elements and this paper have some figures of the meshed train model. A scenario is to collide one train with another train at the relative velocity of 30kph. The crash behavior is evaluated by using commercial software, LS-DYNA installed at KISTI's Supercomputing Center. The results show that it is possible to simulate the hybrid FE model of a full train and to improve the model for getting an analysis time to aim.

1. 서론

열차충돌은 흔하지 않으나, 일단 충돌이 발생하면 큰 피해를 수반한다. 유럽에서는 충돌로 인해 발생하는 손상을 최소화하기 위한 방법들을 조사해오고 있다. 그리고 열차의 안전도를 향상시키기 위하여, 열차전두부의 끝단에 에너지 흡수장치를 설치하여 충돌에너지를 흡수하도록 설계하였다. 또한 측면 좌굴과 타고오름을 감소시키기 위한 특수설계연결기를 사용하였다[1]. 이러한 장치들을 설계하기 위해 실제시험을 하는 것이 가장 적합하나, 시간과 비용으로 인한 어려움이 많으므로, 대체적으로 컴퓨터를 이용한 수치해석과 시뮬레이션이 선호된다.

본 연구에서는 20량의 KHST 차량을 모두 연결하여, 시나리오에 따라 시뮬레이션 한 후 그 결과를 평가하였다. 기존에 해석방식은 얻고자하는 결과에 따라 1차원, 2차원, 그리고 3차원 각각의 모델들을 경계조건과 구속조건을 부여하여 해석하였으나, 본 논문에서는 선두 세 차량은 3차원 모델, 나머지 17량은 1차원 모델을 구성한 후, 연결하여 시뮬레이션 하였다.

2. 열차충돌 해석방식

2.1 목적별 충돌해석방식

일반적으로, 철도 차량의 충돌안전도 설계를 평가하는 기법으로, 2단계 접근방법이 있다. 우선, 열차는 여러 차량이 연결되어 있으므로, 충돌안전도 측면의 설계에서는 전체차량의 충돌에 대한 동역학적 분석이 매우 중요하다[2]. 다물체 동역학을 바탕으로 전체차량의 충돌거동해석을 하고, 각 차량의 3차원 유한요소 모델을 이용하여 구간해석을 하게 된다[3]. 과거에는 3차원 유한요소해석에 사용되는 셀요소가 약 20~50만개로, 이를 해석하는데 많은 노력과 시간이 소모되어 전체차량을 해석하는 것이 불가능

* 과학기술연합대학원대학교 박사과정, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**** 서울산업대학교 교수, 정회원

하였다[6]. 그래서 그림 1에서 보이는 바와 같이 1차원 충돌해석기술을 이용하여, 차체구조의 에너지흡수능력, 탑승자의 생존공간 확보여부 및 충격가속도 크기 등을 평가하고, 2차원 충돌 동역학 해석을 수행하여, 각 단위 차량 간의 타고오름 현상과 각 차량의 차간연결기 부품 및 지지구조에 발생하는 충격력을 분석하였다. 2차원 해석의 경우, 실제 해석을 수행할 때는 하이브리드 모델을 이용하였는데, 상세한 내용은 참고문헌[7]를 참조할 수 있다. 3차원 셀모델을 이용한 충돌안전도 평가에는 전두부 및 차체의 에너지 흡수능력, 운전자/승객의 상해치, 차간연결구조의 파손강도 등을 분석하였다[4].

2.2 통합형 충돌해석방식

위에서도 언급했던 것과 같이, 과거에는 50만개 이상의 셀 모델을 해석기에는 해석컴퓨터의 시스템 성능이 부족하여, 열차 전량을 해석한다는 것은 거의 불가능 하였다. 그러나 현재 SuperComputer System의 성능향상과 사용상의 용이성으로 인해, 충분히 대용량 모델을 적합한 시간 내에 해석하고, 평가할 수 있는 여건이 되었다. 이로서, 본 논문에서는 KHST 1편성 20량의 하이브리드 모델을 이용하여 열차의 안전도 평가를 위한 충돌해석을 수행하였다. 단지, 기존에 2차원 모델과 1차원 모델을 연결한 것과 달리, 그림 2 에서와 같이 3차원 모델과 1차원 모델로 하이브리드 구조를 완성하였다. 현재의 하이브리드 모델의 장점은 3차원 차량모델의 일부만을 이용한 전두부의 충돌안전도 평가, 동력차의 충돌 특성, 운전자의 충돌특성, 2차원 모델을 이용한 타고오름, 1차원 모델을 이용한 전체차량에 대한 충돌 특성을 한 번 해석으로 모두를 평가할 수 있다는 것이다. 또한 구조물간의 상세한 충돌변형을 시각적으로 보여줌으로서, 이전보다 현실과 유사한 열차충돌 시뮬레이션을 수행할 수 있다는 것이다.



그림 1 The methods of simulating a train crash and gaining data until now

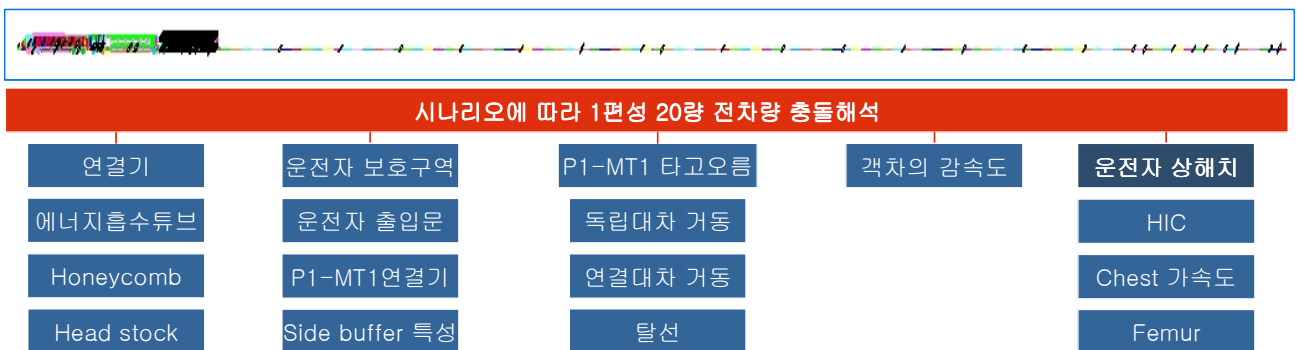


그림 2 The methods of simulating a train crash and gaining data now

3. 해석환경

3.1 KHST의 FE model

KHST는 1편성 20량으로 구성된다. 선두 세 차량은 3차원 쉘요소로 모델 되었고, 나머지 17량은 1차원 빔요소로 모델된 것을 그림 3 을 보면, 확인할 수 있다. 표 1로부터, Parts, Material, Section Property는 각각 398개이고, Elements는 총 686828개로, beam, shell, solid, rigidrink, mass가 각각 161, 651557, 29069, 28, 6013개이다. 요소의 최소길이는 5mm이며, 일반적인 열차모델에서 쓰이는 요소 크기보다 작은 편이다. 열차의 실차 총 중량은 780ton이며, 해석 중량은 777.958ton이다.

표 1 KHST의 유한요소 모델 데이터

KHST Model			
Parts	398		
Mats	398		
Section Props	398		
Elements	총 686,828 개		
	beam	161	
	Shell	tria 3	32,553
		quad 4	619,004
	Solid	penta 6	2,100
		hex 8	26,969
	rigidrink	28	
Mass	6013		

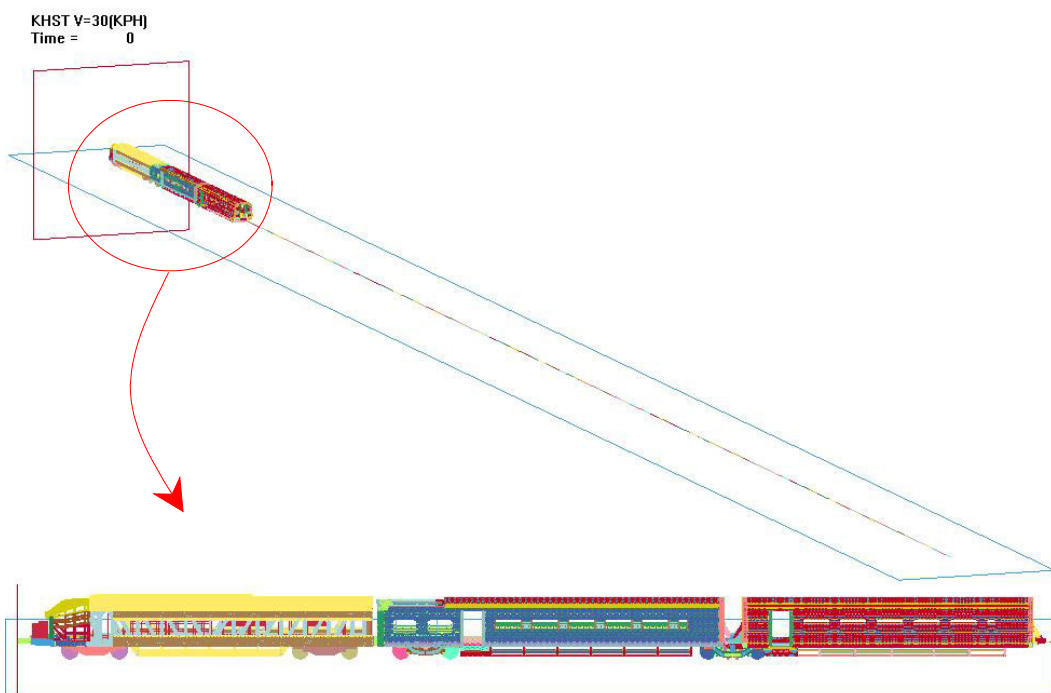


그림 3 KHST 전 차량의 FE model과 rigidwall

3.2 Supercomputer System

KHST 모델의 충돌안전도 평가를 위해 사용한 슈퍼컴퓨터 시스템은 KISTI(한국과학기술정보연구원) Supercomputing Center 내의 IBM 2차 시스템이다. 표 2에서, 프로세서의 성능은 1.7GHz 이고, 시스템의 상황에 따라 8개에서 20개의 CPU들을 사용하였다. Job submit을 위해 LS-DYNA의 EXECUTION SYNTAX[5]를 포함한 OpenMP 방식의 batch script[8]를 작성하였다.

표 2 충돌해석을 위한 슈퍼컴퓨터 사용 환경

SuperComputer System		
Supercomputer System	IBM 2차 컴퓨팅 시스템	
CPU 성능	프로세서동작주기(GHz)	1.7
	전체개수	544[32/노드]
Disk 사용 용량	3GB of 98TB	
Batch Script	OpenMP 방식의 Load Leveler	
	Consumable Cpus	16
	Consumable Memory	2GB (500000000 word)
	Class	p_normal_1.7

4. 해석결과

충돌해석을 위한 시나리오는 SNCF 사고 시나리오 중, 30kph의 상대속도로 정면충돌하는 조건을 적용하였다. 그림 3에서처럼 중력을 고려하기 위하여, 바닥 면에 rigidwall을 생성하였고, 차량에는 LOAD-BODY-Y card[5]를 정의하여 중력가속도 $0.00981(\text{mm}/\text{msec}^2)$ 를 적용하였다.

그림 4에서, 총 운동에너지는 27.0271[MJ], 내부에너지는 4.13708[MJ] 이고, 평균 충돌 압피하중은 748.767[KN]이다.

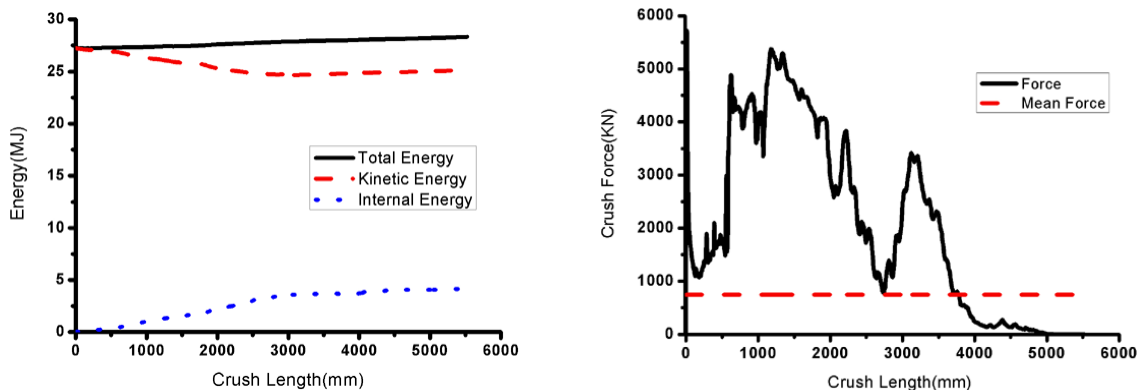


그림 4 KHST Hybrid 차량의 충돌에너지와 압피하중

6. 결론

본 연구는 기존의 충돌안전도 해석기법에서 적용한 방식들의 절차를 간소화 하고, Hybrid 형태의 KHST FE 모델을 이용하여, 1편성 전 차량을 해석하였다. 해석 결과, 충돌에너지 흡수량은 이전에 보고된 값-전두부의 에너지 흡수량 5.5[MJ][6]-보다 다소 적게 나왔으며, 이는 Hybrid의 구조물로서 1D와 3D 구조물간에 힘의 전달이 제대로 이루어 지지 않아 발생한 오차로 분석된다. 이러한 오차는 1차원 빔 요소와 3차원 쉘 요소의 연결성을 개선하면, Hybrid 모델이 전의 연구 결과와 좀 더 유사한 열차 충돌 특성을 묘사할 것으로 보인다. 해석시간의 측면에서, 총 500msec의 termination time에 해석시간은 40시간이 소요되었다. 다소 긴 해석시간이지만, 현재 최소 mesh size가 5mm인 것을 고려할 때, 만약 최소 mesh size를 20mm 이상, 평균 mesh size를 50mm 이상으로 개선한다면, 식 $\Delta t = \alpha L \sqrt{\frac{\rho}{E}}$ [5]에 따라 해석시간을 절반 이상으로 줄일 수 있을 것으로 보인다.

결과적으로, 이전의 일부 모델을 해석 시 소요되는 시간과는 유사하면서, 열차의 전 차량을 해석함으로써, 이전의 해석방식에서 보다 더 간소화된 충돌안전도 평가절차와 더 상세한 열차의 충돌 거동을 분석할 수 있으리라 평가된다.

참고문헌

1. HYUNG-SUK HAN, JEONG-SEO KOO, "Simulation of Train Crashes in Three Dimensions", Vehicle System Dynamics, Vol. 40, No.6, pp. 435-450, 2003.
2. A.Marssal, B.Marguet, P.Drazetic, and Y. Ravalid, "Comportement au choc de Vehicules Guides", Revue Technique Gec Alsthom, No.9, pp.55-62, 1992.
3. L.T.Kisielewicz and K.Ando, Crashworthy rolling stocks, PUCA'93, pp.73-81, 1993.
4. B.Marguet, J.C.Dumas, "Crashworthiness of Double Level Rolling Stocks".
5. LIVERMORE SOFTWARE(2003), "LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL, VERSION 970".
6. 구정서, 조현직, 김동성, 윤영한, "1차원 모델을 이용한 한국형 고속전철의 충돌안전도 평가", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.217-222, 2001.
7. 구정서, 박성하, 윤영한, 김동성, "한국형 고속전철의 충돌안전도 설계 분석", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 511-518, 1999.
8. 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅 센터, "IBM 시스템 사용자 지침서, V. 1.9.5", 2005.