

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.9.885>

ISSN 1226-4873(Print)  
2288-5226(Online)

## 도시철도 충돌사고 시뮬레이션 및 충돌안전도 개선방안 연구<sup>§</sup>

정현승<sup>\*,\*\*†</sup> · 손승완<sup>\*,\*\*</sup> · 권태수<sup>\*,\*\*</sup> · 김진성<sup>\*,\*\*</sup>

\* 한국철도기술연구원 철도안전연구실, \*\* 과학기술연합대학원대학교 로보틱스 및 가상공학

### Study on Computational Simulation of a Metro Collision Accident and Improvement of Passive Safety

Hyun Seung Jung<sup>\*,\*\*†</sup>, Seung Wan Son<sup>\*,\*\*</sup>, Tae Soo Kwon<sup>\*,\*\*</sup> and Jin Sung Kim<sup>\*,\*\*</sup>

\* Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute,

\*\* Robotics and Virtual Engineering, Korea University of Science and Technology

(Received April 9, 2015 ; Revised June 15, 2015 ; Accepted June 16, 2015)

**Key Words:** Passive Safety(사고피해저감), Metro Train(도시철도), Collision Accident(충돌사고), Simulation(시뮬레이션)

**초록:** 본 연구에서는 서울메트로 2 호선 상왕십리역에서 발생한 전동열차 충돌사고에 대하여 사고재현 시뮬레이션을 수행하고 사고 발생 시 피해를 최소화할 수 있는 개선방안을 제시한다. 사고재현을 위해 상용 충돌해석 소프트웨어인 LS-DYNA 를 사용하여 1 차원 및 3 차원 시뮬레이션을 수행하였다. 1 차원 시뮬레이션을 통해 각 차량 연결기의 하중, 변위, 충격흡수 에너지 및 차량의 가속도를 분석하여 사고 시 충돌안전도를 평가하였으며, 3 차원 시뮬레이션을 통해 차량의 변형 및 타고오름 현상을 분석하였다. 또한 사고 전동차의 충돌안전도 향상을 위한 개선방안들을 제시하고, 그 중 선두차량에 고용량 완충장치를 적용하는 방안에 대하여 1 차원 시뮬레이션을 통해 충돌안전도의 개선 여부를 확인하였다.

**Abstract:** In this study, we simulate the railway crash accident that occurred at the Sangwangsimgni station on the Seoul Metro Line #2, and we propose a solution to minimize the damage. We use LS-DYNA, which is the commercial software employed for collision analysis to perform 1-D and 3-D simulations for the recurrence of accidents. By performing 1-D simulations, we analyze the load, displacement, absorbed energy of the couplers, and acceleration of vehicles, and we evaluate the safety in accidental collisions. By performing 3-D simulations, we analyze the deformation of the car and over-riding. We propose methods to improve the safety in collisions involving railway vehicles, and we perform collision accident simulations to determine improvements when applying a high-performance energy absorber to the front car.

## 1. 서론

열차 사고는 다른 운송수단 사고에 비해 발생빈도는 낮지만, 사고 발생 시 물적·인적 자원의 피해가 크고, 공공 교통수단이라는 점을 감안하면 사회적 문제로 크게 확대될 수 있으므로 철도차량

운행에 있어 안전은 매우 중요한 요소이다. 철도차량의 사고는 크게 탈선, 충돌, 화재사고로 분류될 수 있으며, 2005 년에서 2013 년도까지 국내 철도사고 통계자료에 따르면 탈선, 충돌, 화재 순으로 발생빈도가 높은 것으로 나타났다<sup>(1)</sup>. 그 중에서 열차 충돌사고는 주로 여객열차를 중심으로 발생하여 열차 사고 중에서도 인적 피해가 비교적 높은 것으로 알려져 있다.

최근에는 열차 충돌사고 시 인적 및 물적 피해를 최소화하기 위해 철도차량에 대한 충돌 안전설계를 요구하는 법령 및 규격<sup>(2,3)</sup> 등이 전세계적으

§ 이 논문은 2015년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회(2015. 4. 15-18., 휘닉스아일랜드) 발표논문임.

† Corresponding Author, [jhs@krii.kr](mailto:jhs@krii.kr)

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

로 도입되는 추세이며, 국내에서도 충돌안전기준을 만족시키는 철도차량 설계에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 맹희영 등<sup>(4)</sup>은 철도차량 연결기 시스템의 1 차원 충돌 시뮬레이션 기법을 연구하여 차체 안전설계에 대한 방향을 제시하였으며, 이현철 등<sup>(5)</sup>은 철도안전법과 도시철도안전법을 적용하여 자기부상열차 모델에 대해 3 차원 유한요소 해석을 통해 충돌안전도를 평가하였다. 김겨영 등<sup>(6)</sup>은 열차의 타고오름 현상의 재현을 위한 2 차원 충돌동역학 모델링 기법을 연구하여 3 차원 유연체 차체 모델링 기법을 사용한 가상시험모델과 비교하였다. 그러나 실제 열차 충돌사고를 대상으로 사고재현 시뮬레이션, 사고 상황 분석, 충돌안전도 개선 방안 도출 등을 수행한 국내 연구사례는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 지난 2014년 5월 2일 서울메트로 2호선 상왕십리역에서 발생한 열차 충돌사고를 대상으로 충돌사고 시뮬레이션을 통해 사고상황을 분석하고 충돌안전도 개선 방안을 도출하고자 한다. 상왕십리역 전동열차 충돌사고 상황 재현을 위해서 사고 상황 및 사고 열차의 파손상태를 분석하여 충돌사고 시뮬레이션 시나리오를 설정하였으며, 1 차원 시뮬레이션을 통해 충돌 사고 시 각 차량 별 가속도와 연결기의 충격하중, 변위 및 완충기가 흡수하는 에너지 등을 분석하였다. 또한, 1 차원 시뮬레이션 모델을 기반으로 1,2 번째 차량 및 3 번째 차량 단부를 3 차원으로 모델링 한 3 차원 충돌사고 시뮬레이션을 통해 충돌사고 시 차체 구조의 거동을 살펴보았다. 최종적으로 1 차원 및 3 차원 시뮬레이션 결과를 바탕으로 전동열차 충돌안전도 향상을 위한 개선방안을 제시하였다.

## 2. 사고분석

### 2.1 사고 개요

상왕십리역 충돌사고는 후행열차가 신당역을 출발하여 상왕십리역 진입 중 정차 후 역행 중인 선행열차와 충돌한 사고이다. 국토교통부 항공철도조사위원회 보고서<sup>(7)</sup>에 따르면 후행열차는 약 68km/h로 주행 중 정차 중인 선행 열차를 발견하고 상용, 비상 및 ATS 보완제동을 체결한 상태였으며, 충돌 시 속도는 약 15 km/h로 나타났다. 이 사고로 부상자는 중상자 22명, 경상 68명, 경미한 피해가 387명으로 총 477명으로 나타났으며, 물질적 피해는 전동차의 굴곡 등으로 약 28억 2천 6

백만원 정도로 집계되었다.

### 2.2 차량 손상부 분석

#### 2.2.1 후행열차

신당역을 출발하여 상왕십리역에서 선행열차와 충돌한 후행열차는 2호선 MELCO 차량으로 Fig. 1과 같이 10량 1편성으로 구성되며, 선두차량에 MC 차량, 중간차량에 M 및 T 차량으로 구성된다. 충돌한 후행열차는 총 7량이 단부 협착되었으며, 6량의 연결기는 파손되었다. 선두차는 선행열차와 충돌로 운전실 전면부, 후미부, 센터실 연결기 장착부 등에서 일부 변형 및 손상이 발생하였으며, 중간차량은 충돌로 인한 연결기 파손으로 차량간 타고오름 현상과 단부 및 연결통로(Gangway)의 손상으로 인한 차량간 통로문 파손이 발생하였다 (Fig. 2).

#### 2.2.2 선행열차

상왕십리역에 정차하고 있던 선행열차는 후행열차와 같은 2호선 MELCO 차량으로 10량 1편성으로 구성되며, 조성방식은 후행열차와 같다. 충돌사고를 당한 선행열차는 후위 5량에서 연결기 손상 및 단부 협착이 발생하였다. 맨 뒤쪽 차량의 경우 운전실 전면부, 후미부, 센터실 연결기 장착부 등에서 변형이 발생하였으며, 센터실 연결기 장착부 변형으로 인한 크로스 빔(Cross beam)의 변형도 확인할 수 있었다. 중간차량의 경우 후행열

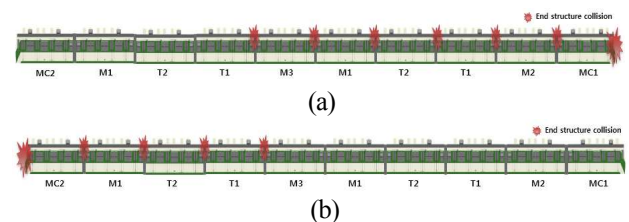


Fig. 1 Train sets of accident vehicle (a) Following train (b)Proceeding train

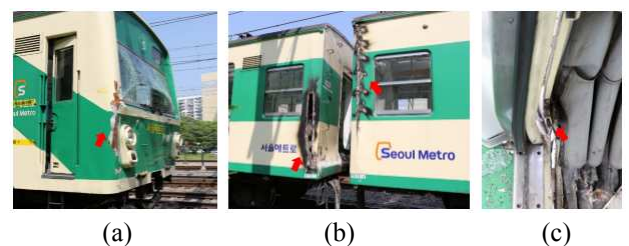


Fig. 2 Damaged area of following train (a) Driver's cab (b) End structure (c) Gangway door

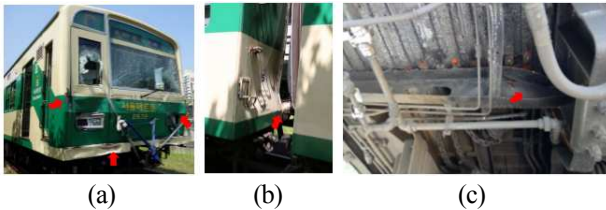


Fig. 3 Damaged area of proceeding train (a) Driver's cab (b) End structure (c) Cross beam

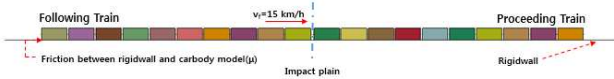


Fig. 4 1D Finite element model of collision accident

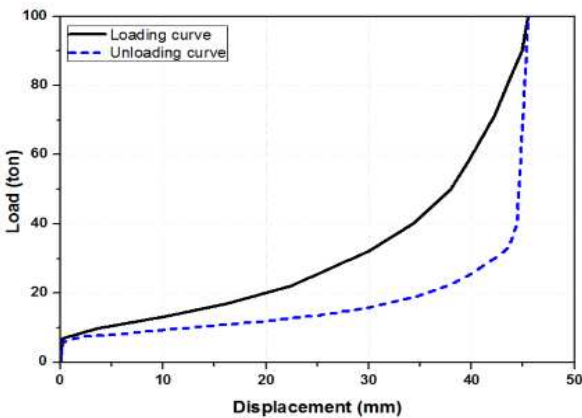


Fig. 5 Load-displacement curve of single type draft gear

차와 마찬가지로 차량간 타고오름 현상이 발생하였으며 이로 인해 차량 단부 및 연결통로에서 변형이 발생하였다(Fig. 3).

### 3. 열차 충돌 시뮬레이션

#### 3.1.1 차원 시뮬레이션

1 차원 시뮬레이션 방법은 한국철도기술연구원에서 개발한 1 차원 충돌해석 시뮬레이션 기법<sup>(8)</sup> 및 전용 Pre/Post 소프트웨어를 활용하여 각 차량의 질량, 연결기 특성, 편성 정보 등으로부터 충돌시뮬레이션을 위한 입력파일을 생성하고, LS-DYNA V971 Solver로 해석 후 연결기 충격하중, 변위, 완충기 흡수 에너지, 가속도 등의 결과값을 도출하였다.

#### 3.1.1 해석 모델

1 차원 시뮬레이션 시 각 차량모델은 솔리드 요소를 사용하여 강체로 모델링 하였으며, 연결기 및 완충기는 1 차원 비선형 빔 요소로 모델링하여 각 차량을 연결하였다. 차륜과 레일의 마찰을 구현하기 위해서 솔리드 요소와 바닥면 접촉부 사이에 마찰계수를 적용하여 차량 충돌 전후 제동마

Table 1 Weight of accident train

Car No.	System	Weight(ton)		
		Empty	Working	Total
1	MC1	41.5	46.8	440.2
2	M2	41.5	47.2	
3	T1	32	37.7	
4	T2	32	37.7	
5	M1	41.5	47.2	
6	M3	41.5	47.2	
7	T1	32	37.7	
8	T2	32	37.7	
9	M1	41.5	47.2	
10	MC2	41.5	46.8	

찰에 의한 감속을 구현하였다(Fig. 4).

2 호선 MELCO 차량에 적용된 연결기용 완충기는 강관에 접합한 고무패드를 여러 겹으로 붙이고 고무를 압축할 때 발생하는 저항력을 이용하여 충격을 완화하는 싱글형 완충기로 하중-변위 특성곡선은 Fig. 5 와 같다. 사고차량의 1 편성 총 공차중량은 377 톤으로 MC, M1, M2, M3 차량은 각각 공차중량이 41.5 톤이며, T 차량은 공차중량이 32 톤이다. 승객을 고려한 사고열차의 중량을 추정하기 위해 평일 오후 승객 혼잡도를 감안하여 사고 당시 승객 중량을 승객 정원의 60%가 탑승하고 승객 1 명당 중량을 60 kg 으로 가정하였으며, 따라서 승객 중량을 포함한 사고열차의 총 중량을 약 440 톤으로 추정하였다(Table 1).

#### 3.1.2 해석 결과

후행열차는 충돌 후 선두차량 완충기부터 순차적으로 충돌에너지를 흡수하며, 차량과 차량 사이의 완충기에서 에너지를 주고받으면서 후위 차량으로 충돌에너지를 전달하게 된다. 후행열차의 충돌로 선행열차에 전달되는 에너지는 선행열차의 완충기에서 일부 흡수되고 나머지는 차량과 차량 사이의 완충기를 통해 전체 차량에 전달되어 선행열차의 운동에너지로 변환된다.

Fig. 6 은 충돌 후 각 연결기의 압축하중 분포를 시간별로 나타낸 그래프이다. 충돌 후 약 137 ms 이후 선행 및 후행열차의 선두차 연결기는 최대하중(1369 kN)에 도달하며, 이후 선두차의 연결기 압축하중은 줄어들게 된다. 선두차의 연결기를 시작으로 중간열차의 연결기도 약 1,100~1,300 kN 의 하중이 발생하는 것으로 나타났다. 충돌 후 약 1,000 ms 이후에는

각 연결기의 하중이 줄어들면서 완충되는 것으로 나타났다. 각 연결기별 최대 압축하중은 후행열차는 선두차 연결기 포함 7 번째 연결기까지 약 1,200 kN의 높은 압축하중이 작용하는 것으로 나타났으며, 선행열차의 연결기는 4~5 번째 연결기까지 높은 하중이 발생하는 것으로 나타났다.

충돌 후 약 118 ms 이후 선행 및 후행열차의 선두차 연결기에서 210.3 kJ 로 가장 많은 에너지를 흡수(Fig. 7)하는 것으로 나타났으며, 중간차의 에너지 흡수량은 후방으로 갈수록 점점 줄어드는 것으로 나타났다.

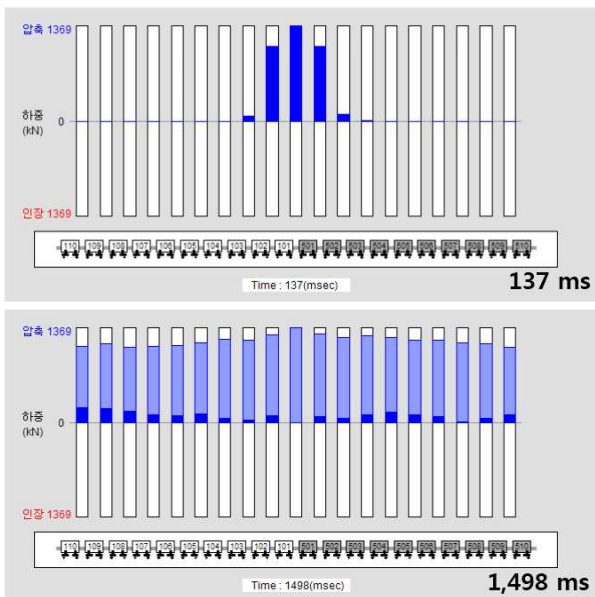


Fig. 6 Simulation result – Coupler load

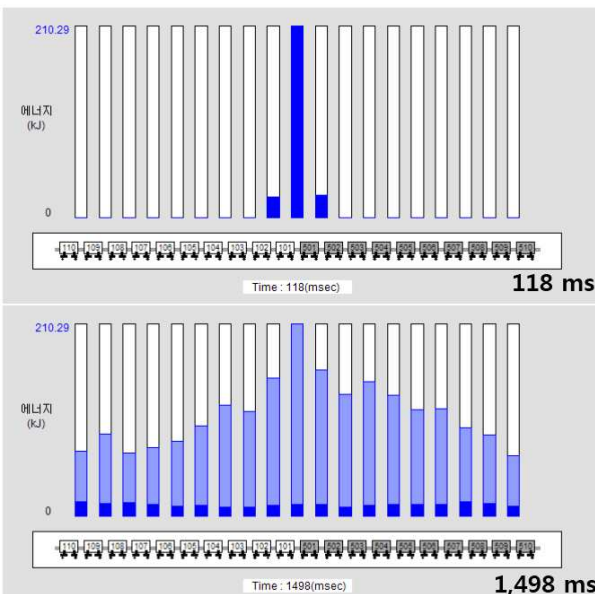


Fig. 7 Absorbed Energy of coupler

시간에 따른 각 차량별 가속도 분포 그래프(Fig. 8)에서는 충돌 후 약 77 ms 이후에 선행열차의 후방차는 약 2.7g 의 높은 가속도가 작용한 것으로 나타났다. 선행 및 후행 열차의 전체 차량은 비슷한 수준의 최대 가속도가 발생하였으며, 충돌하중이 전파된 후에는 그 양이 줄어드는 것으로 나타났다.

3.2.3 차원 시뮬레이션

3.2.1 해석 모델

3 차원 모델은 Fig. 9 와 같이 선행 및 후행열차의 선두 2 번째 차량까지 3 차원 쉘 요소를 사용하여 전체 모델로 모델링하였으며, 3 번째 차량은 일부 단부만 쉘 요소를 사용하여 모델링하였다. 이러한 모델을 사용하면 선행 및 후행열차 각각 선두 3 번째 차량까지의 구조체 변형 및 타고오름을 확인할 수 있다. 연결기 모델은 1 차원 시뮬레이션과 같이 1 차원 비선형 빔요소를 사용하여 모델링하였고, 나머지 차량 모델은 강체 빔 요소와 질량 요소를 사용하여 차체의 무게중심에 질량을 적용하여 구성하였다.

대상 차량의 구조체는 SS41 과 SPCC 강재 재료를 사용하고 있다. SS41 은 주로 프레임 부재에 사용되었으며, SPCC 재료는 차체 외관을 구성하는 판별 재료 전반에 사용되었다. Table 2 및 Fig. 10 은 SS41 및 SPCC 재료의 물성치와 응력-변형률 선도이다.

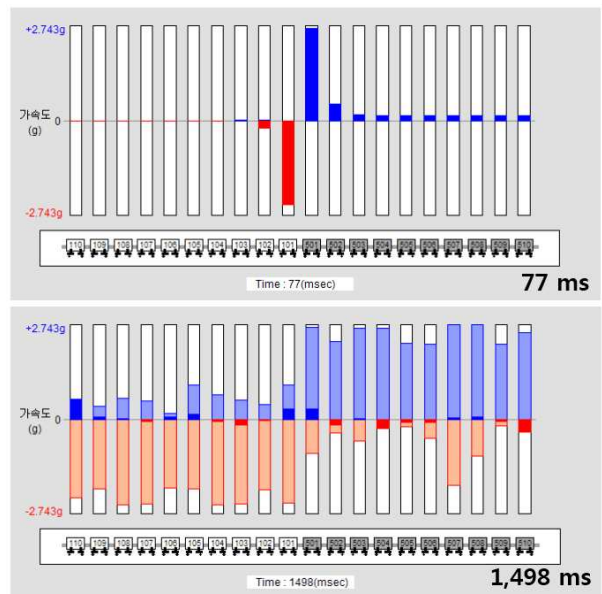


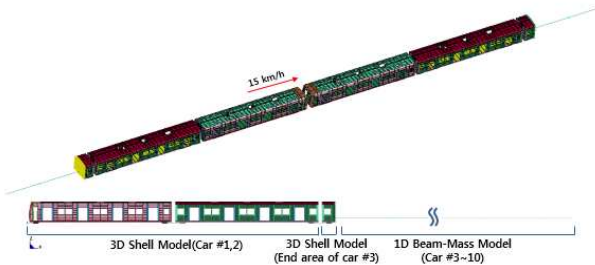
Fig. 8 Acceleration of trains

**Table 2** Mechanical properties of carbody model

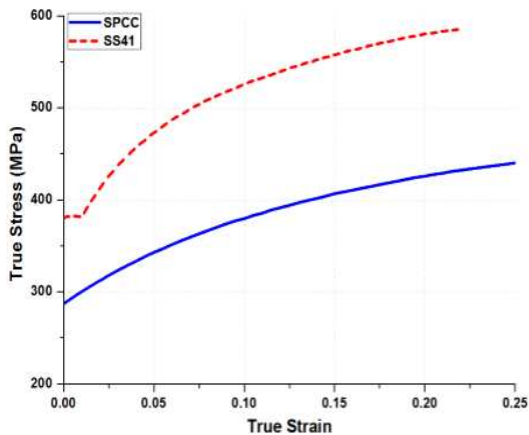
	SS41	SPCC
Yield strength(MPa)	>235	-
Tensile strength(MPa)	>402	>270

**Table 3** 3D FE model information

Element	3D Shell	1,821,837 EA
	1D Beam	51 EA
	Mass	16 EA
	Total	1,824,916 EA
Node		1,810,542 EA



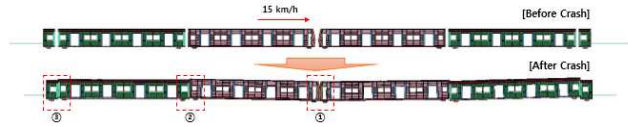
**Fig. 9** 3D finite element model for accident train



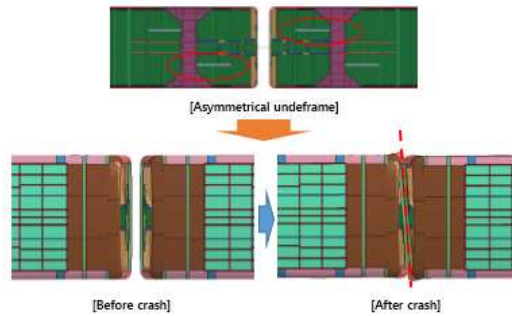
**Fig. 10** Stress-strain curves of carbody materials

3.2.2 해석 결과

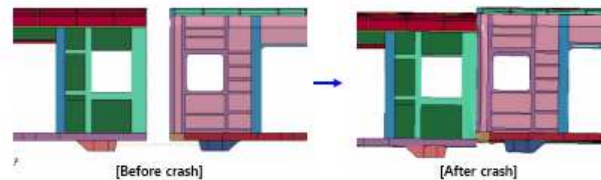
충돌 후 차량은 Fig. 11 과 같이 선두차량의 연결기 탈락과 함께 전두부의 충돌이 발생(①) 하였으며, 선두차와 2 번 차(②) 및 2 번 차와 3 번 차(③)사이에서 단부 협착 및 타고오름 현상이 발생한 것을 알 수 있다. 선두차량 연결기 완충장치 용량 초과로 연결기가 탈락하게 되고, 그 후 전두부 구조체의 충돌로 인한 전두부의 변형이 발생하게 된다. 이때 전두부의 변형은 Fig. 12 와 같이 비대칭적으로 발생하는데 이는 차체 언더프레임이 좌우 비대칭 구조로 설계되어 있어 한쪽의 압축강



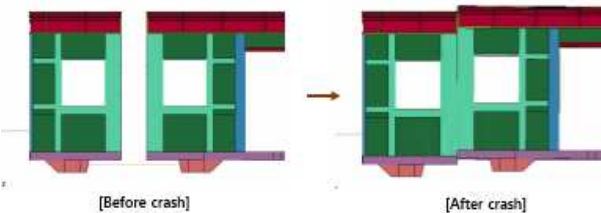
**Fig. 11** Train set behavior after crash



**Fig. 12** Underframe deformation



**Fig. 13** Deformation between car 1 & 2



**Fig. 14** Deformation between car 2 & 3

성이 상대적으로 높아 발생한 것으로 보인다.

선두차 및 2 번 차의 연결부에서는 충돌 시 연결기 완충기에서 충돌에너지를 일부 흡수하다가 완충용량을 초과하면 차체에 큰 하중을 전달하게 된다. 이때 연결기는 차체에서 탈락하기 전까지 상대적으로 높은 강성을 유지하면서 Fig. 13 과 같이 차량의 피칭(Pitching) 운동을 유발하는 링크 역할을 수행하여 차량 간 타고오름 현상을 발생시킨다. 2 번 차와 3 번 차의 연결부에서도 선두 및 2 번 차와 마찬가지로 연결기 완충용량 초과에 따른 차량간 타고오름 현상 및 연결기 탈락 현상이 발생하였다.

4. 결과분석 및 개선안

4.1 변형부 분석

사고차량은 선두차량 좌측 기둥부의 변형이 우

측에 비해 크게 발생한 것으로 나타났으며, 3 차원 시뮬레이션에서도 좌측의 변형이 우측보다 많이 발생한 것을 확인할 수 있다(Fig. 15). 그 이유는 언더프레임 좌우 비대칭구조의 영향이 클 것으로 판단된다. 이러한 전두부의 변형은 충돌 시 발생하는 하중을 차량의 진행방향으로 전달하지 못하기 때문에 차량의 탈선 위험을 증가시킬 수 있다.

선두차량의 센터실은 연결기를 통해 충격하중을 전달 받아 변형이 발생하였으며, 사고차량과 같이 센터실 연결기 장착부 주변에 많은 변형이 발생하였으며, 특히 Fig. 16 과 같이 첫 번째 보강부에서 변형이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 연결기 탈락 이후에도 선두차량의 언더프레임 사이에 직접적인 충돌이 발생하여 변형부의 변형은 더욱 심해졌을 것으로 판단된다.

차량간 연결부에서는 앞 차량의 언더프레임이 후위 차량의 언더프레임 위로 올라가는 현상이 나타났으며, 이로 인해 후위 차량 단부 프레임의 하부에 변형이 발생하였다. 또한 후위 차량의 루프 프레임이 앞 차량의 단부 프레임과 접촉하여 앞 차량 단부 프레임 상부에 변형이 발생하였다. 단부 프레임의 변형으로 Fig. 17 및 18 과 같이 차량간 통로문 프레임의 휨 현상이 발생하였으며 이로 인해 차량간 통로문이 고착되어 작동되지 않는 현상이 나타났다.

4.2 충돌에너지 흡수 능력 개선안

1 차원 및 3 차원 사고재현 시뮬레이션을 통해 2 호선 MELCO 차량 충돌사고 시 연결기의 파손, 차량 구조체의 변형, 차량간 단부 협착, 갭웨이 도어의 변형 및 고착이 발생함을 확인하였으며, 충돌속도에 비해 피해규모가 상대적으로 큰 것으로 판단된다. 이는 현재 사고차량에 적용된 싱글형 완충기의 완충용량이 부족한 것이 가장 큰 원인으로 분석된다. 최근에는 선두차량 연결기에 Gas Hydraulic, 변형 튜브(Fig.19) 등 대용량 에너지 흡수장치가 장착되는 추세인데, 선두차량 연결기에서 많은 양의 에너지를 흡수하면, 중간차량에 전해지는 운동에너지가 감소하여 충돌사고 시 피해를 줄일 수 있는 장점이 있다.

선두차량 연결기의 완충용량 확대가 충돌안전도에 어떤 영향을 주는지 살펴보기 위해 선두차량 연결기에만 변형튜브를 추가로 적용하였을 경우를 가정하여 1 차원 시뮬레이션을 수행하고 연결기 압축하중, 완충기 흡수에너지 및 차량 별 가속도를 분석하였다. 해석에 사용된 변형튜브는 Fig. 19 와 같이 튜브가 반경방향으로 팽창하는 소성변형으로 차량의 운동에너지를 소산시키는 에너지흡수 장치로 일반적으로 유압 완충장치에 비해 큰 용량의 에너지를 흡수할 수 있는 장점이 있으나 재사용은 불가능하다.

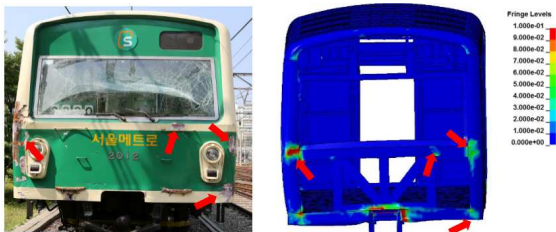


Fig. 15 Deformation of driver's cab

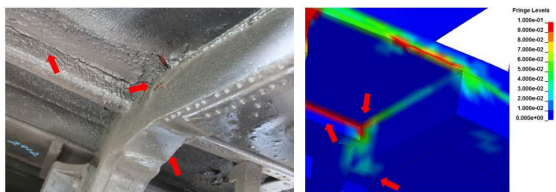


Fig. 16 Deformation of centersill

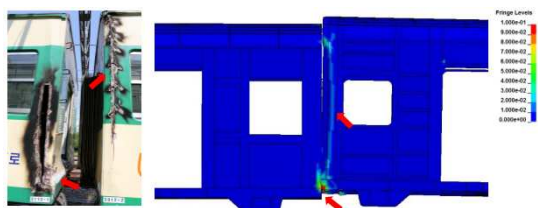


Fig. 17 Deformation of end structure



Fig. 18 Deformation of gangway door

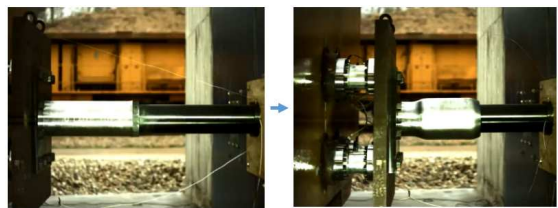


Fig. 19 Example of deformation tube

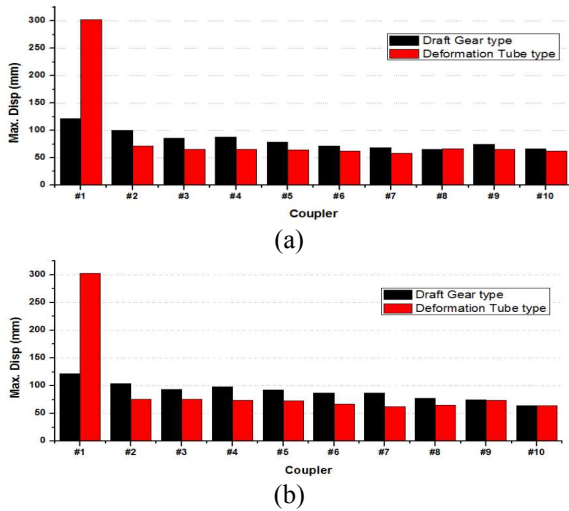


Fig. 20 Maximum displacement of coupler (a) Proceeding train (b) Following train

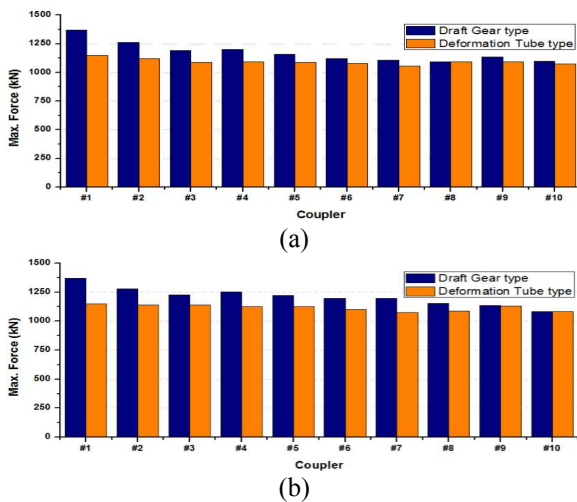


Fig. 21 Maximum force of coupler (a) Proceeding train (b) Following train

Fig. 20 은 연결기별 완충장치의 최대변위를 기존 사고열차 시뮬레이션 결과와 비교한 그래프이다. 기존열차는 사고시 선행열차 5 량, 후행열차 7 량에서 단부 접촉이 발생하였으나, 개선된 모델에서는 선두차량 연결기 변위는 크게 증가하고 중간차량 연결기의 변위는 많이 감소하였다. 특히, 모든 중간연결기에서 최대 변위가 단부 접촉이 발생할 수 있는 범위(80mm) 이하로 나타나 기존 사고열차와 동일한 충돌 조건에서 차량 간 접촉, 타고오름 및 연결기 파손 등의 현상이 발생하지 않을 것으로 예측되었다. 개선된 모델에서 연결기 최대하중은 약 1,369 kN 에서 1,148 kN 으로 약 17% 정도 감소하였고(Fig. 21), 차량의 최대 가속도는 약 2.75g 에서 약 2.63g 로 약 4% 감소하였다(Table 4).

Table 4 1D Simulation results

		Conventional model	Proposed model
Coupler model	Coupler #1	Draft gear type	Draft gear + Deformation tube type
	Coupler #2~10	Draft gear type	
Max. force(kN)		1,369	1,148
Max. acceleration(g)		2.75	2.63

이로써 선두 연결기에 변형튜브를 적용할 경우 충돌안전도가 크게 향상됨을 확인하였다.

### 5. 결론

본 연구는 지난 2014년 5월 2일 2호선 상왕십리역에서 발생한 열차 충돌사고 상황 재현을 위한 연구로 1 차원 및 3 차원 시뮬레이션을 통해 사고 당시 연결기 압축하중, 에너지 흡수량, 차량 가속도, 차량 변형 및 타고오름 현상 등에 대해 분석하였으며, 충돌안전도 향상을 위한 개선방안을 제안하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 충돌사고 시 선행열차 및 후행열차 모두 대부분의 완충기에 최대완충용량 이상의 에너지가 전달되었으며 이로 인해 후행열차 7 량 및 선행열차 5 량의 차량간 접촉 및 변형 발생하였다. 이는 사고열차들에 장착된 고무완충기의 완충 용량이 부족한 데서 기인한 것으로 보이며 이를 보완하기 위해서는 완충기 완충 용량을 향상시킬 필요가 있다. 특히, 선두연결기의 경우에는 중간연결기보다 높은 용량의 완충기를 사용하는 것이 사고 발생 시 피해를 줄일 수 있을 것이다.

(2) 충돌사고 시 직접 부딪힌 선행열차와 후행열차가 선두차량의 센터실 연결기 장착부에서 변형과 손상이 많이 발생하였다. 사고열차의 센터실 압축강도는 490kN 으로 완충기의 완충용량을 최대한 활용하기에도 부족한 것으로 보인다. 최근에 제작되는 전동차의 센터실 압축강도는 유럽의 EN 규격 수준인 800kN 인데, 연결기 완충장치의 완충 용량 향상을 위해서라도 센터실 압축강도는 유럽 수준으로 향상되는 것이 바람직하다. 선두연결기에 센터실 압축강도 이상의 충격하중이 발생하면 센터실 연결기 장착부가 변형되면서 타고오름 현상을 유발하기도 한다. 최근에는 충돌사고 시 타고오름을 방지하기 위해 선두연결기와 차체 센터실 사이에 기계적 푸즈 장치(전단볼트, 인장볼트

등)가 장착되기도 하는데, 이러한 장치를 설치하면 저속의 충돌 사고에서 차체의 손상을 최소화할 수 있을 것이다.

(3) 차량간 타고오름 현상이 발생하여 차량간 접촉이 발생하면서 차량간 통로문이 변형되고 고착되는 현상이 발생하였다. 통로문의 변형 및 고착 현상은 사고 발생 시 인접차량을 통한 대피를 어렵게 하여 사고의 피해를 키울 수 있다. 따라서, 충돌사고 시 차량간 통로를 통해 신속한 대피가 가능하도록 차량간 통로문, 갱웨이 등에 대한 설계 개선이 필요할 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌 (References)

- (1) Achieved at [araib.molit.go.kr](http://araib.molit.go.kr)
- (2) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2007, "Rolling Stock Safety Regulation," Notification No. 2007-278 of the MLTM
- (3) European Committee for Standardization, 2010, "The European Standard EN15227 : Railway Applications-Crashworthiness Requirement for Railway Vehicle Bodies,"
- (4) Maeng, H.Y., Kim, J.S. and Park, Y.I., 2013, "Collision Simulation for the Coupler System of Rolling Stock," *Journal of the Korean Society for Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 22, No. 3-1, pp. 566~572.
- (5) Lee, H.C. and Koo, J.S., 2009, "Crashworthiness Analysis of the Urban Maglev Vehicle According to Korean Railway Safety Law and Urban Transit Safety Law," *Trans. Korean Soc. Auto. Eng.*, Vol. 17, No. 5, pp. 115~126.
- (6) Kim, G.Y., Koo, J.S. and Kwon, T.S., 2011, "Study on a 2-Dimensional Dynamic Modeling Technique to Analyze the Overriding Phenomena of Rolling Stock," *Journal of Korean Soc. Railway*, Vol. 14, No. 1, pp. 11~18.
- (7) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014, *Report of Seoul Metro 2<sup>nd</sup> line EMU Crash Accident*, Report No. ARAIB/R 2014-8.
- (8) Jung, H. S., Kwon, T.S. and Koo, J.S., 2006, "A Study on Rolling Stock Shunting Impact Analysis Using LS-DYNA," *The Korean Society of Railway spring conference*, pp. 25~30.