

1차원 해석방법을 이용한 화차의 충돌가속도 분석

손승완^{1*}, 정현승^{1,2}, 황준혁^{1,2}

¹한국철도기술연구원 철도안전연구팀, ²과학기술연합대학원대학교 교통시스템공학과

A study on Analysis of Impact Deceleration Characteristics of Railway Freight Car

Seung Wan Son^{1*}, Hyun Seung Jung^{1,2}, Jun Hyeok Hwang^{1,2}

¹Railroad Safety Research Team, Korea Railroad Research Institute

²Transportation System Engineering, University of Science and Technology, Korea

요약 본 연구에서는 1차원 충돌해석 방법을 이용하여 기존 철도차량 화물차량의 충돌 가속도 분석을 통해 기존 차량의 문제점을 확인하고, 충돌 안전성 향상 대안을 제시하고자 한다. 화물 철도차량의 국내 충돌사고 사례 및 유럽 및 북미 규격 분석을 통해 입환충격 상황과 충돌사고 상황 시나리오를 선정하였다. 차량의 질량과 연결기의 하중-변위 특성을 고려하여 화차용 1차원 충돌해석 모델을 개발하였으며, 상용 유한요소 해석솔버인 LS-DYNA를 이용한 1차원 충돌 해석을 수행하였다. 해석 결과 충돌속도 10km/h 이내의 입환충격 상황에서 화차의 가속도 레벨은 EN 12663 규격에서 제시하는 2g 이하로 안정된 수준으로 예측되었지만, 충돌속도 15~30 km/h 사이의 충돌사고 상황에서는 연결기의 완충용량 부족으로 차체의 변형 및 가속도 레벨의 증가가 예측되어 차체 구조 및 적재 화물의 안전에 취약한 구조임을 확인하였다. 충돌안전성 향상 방안으로 화차에 재료의 소성변형을 이용한 비가역적 충돌에너지 흡수장치를 적용하여 동일 시나리오로 충돌해석을 수행하였고, 기존 차량 대비 최대 12% 수준으로 가속도 레벨이 감소된 것을 확인하였다.

Abstract This study examined the problems of existing vehicles to propose alternatives to improve the crashworthiness of railway freight cars through collision acceleration analysis using a one-dimensional collision analysis method. A collision scenario of railway shunting and crash accidents was selected from the collision accident cases and international standards. A one-dimensional collision simulation using LS-DYNA was performed according to those scenarios. As a result, the acceleration level of the freight wagon was calculated to be under 2g and was predicted to meet the EN 12663 standard in the shunting situation. On the other hand, the result of crash simulation with an impact velocity between 10 and 15 km/h revealed the shock absorber capacity of the railway coupler to be insufficient in a crash situation, resulting in increased acceleration, and carbody deformation could be predicted. As a method of improving the crashworthiness, a deformation tube-type energy absorber was applied to the coupler system, and collision analysis was performed again with new energy absorption strategy. Overall, the simulation showed that the acceleration level was decreased by 12% of the conventional freight-car energy absorption system.

Keywords : Crashworthiness, Railway freight car, Railway coupler, Collision energy absorber, LS-DYNA

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Seung Wan Son(Korea Railroad Research Institute)

email: swson@krri.re.kr

Received November 27, 2019

Revised December 30, 2019

Accepted March 6, 2020

Published March 31, 2020

1. 서론

화물의 철로운송은 효율성 및 신뢰성이 높고, 도로운송에 비해 안전하다는 장점이 있어 도로운송 대비 비중이 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 하지만 단한번의 사고가 발생하더라도 광범위한 수준의 피해가 예상되기 때문에 운송의 신뢰성을 확보하기 위해서는 운행 안전성이 담보되어야 한다. 특히 위험물의 철로 운송시 충돌사고는 탈선사고로 확장되면서 위험물보관용기에 직접적인 충격을 가할 수 있기 때문에 다른 사고에 비해 위험성이 높다고 할 수 있다. 최근 철도차량 충돌사고 시 피해를 최소화 하기 위한 연구는 도시철도 및 여객열차를 중심[1]으로 이뤄져왔고, 상대적으로 화물차량에 대한 안전사고 저감 연구 결과는 부족하다. 하지만 위험물 사고에 대한 피해의 심각성이 최근 대두[2]되면서 국내외에서는 위험물을 안전하게 운송하기 위한 화차의 안전설계 및 시험방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. R. A. Mayville 등[3]의 연구에서는 화차의 타고오름을 방지하기 위한 기관차의 구조설계에 대한 연구를 진행하였고, 충돌시험을 통해 검증하였다. 임충환 등[4]의 연구에서는 위험물 운송 탱크화차의 구조강도 평가방법을 해석적으로 분석하여 안전기준 개발의 기초 근거자료를 제시하였으며, 이수경 등[5]의 연구에서 그 근거자료를 바탕으로 탱크화차의 구조설계 방법 및 설계안전기준에 대한 연구를 진행하였다. 하지만, 위험물 운송차량의 충돌안전성에 대한 연구나 관련 법규는 부족한 상황이다.

본 연구에서는 현재 국내에서 운행중인 화물철도차량의 충돌안전성을 1차원 충돌해석을 통해 충돌가속도 관점에서 분석하고, 충돌사고시 위험성을 낮추기 위한 대안을 제시하고자 한다. 도시철도 및 여객열차에서 사용하는 차량의 무게중심에서 충돌 가속도 평가방법[6]을 1차원 충돌해석을 통해 분석하여 현재 국내 화차의 충돌안전성을 분석하고, 충돌에너지 흡수부재를 적용한 화차의 1차원 충돌해석 결과와 비교하여 충돌 안전성 확보를 위한 대안을 제시하고자 한다.

2. 1차원 충돌 시뮬레이션 모델

철도차량의 1차원 충돌 시뮬레이션 모델은 3차원 시뮬레이션이나 실차 충돌시험을 대신하여 설계단계에서 필요한 에너지 흡수 부품과 구조의 충돌안전설계를 수정 및 보완하기 위하여 주로 사용된다.[7] 본 연구에서 구현

하고자 하는 1차원 충돌 시뮬레이션 모델은 차량 질량과 연결기의 비선형 완충특성을 사용하여 모델링하였으며, 이론적 배경은 다음과 같다.

2.1 이론적 배경

Fig. 1과 같은 다량 편성의 1차원 차량 모델의 운동방정식은 아래와 같이 미분방정식의 형태로 표현된다.[8]

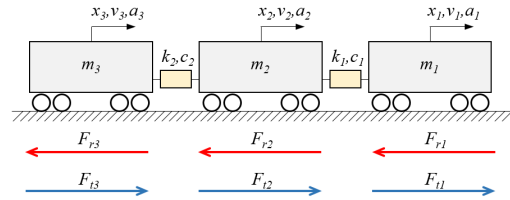


Fig. 1. 1D train mass model(Example)[7]

The lead vehicle

$$m_1 a_1 + f_{wc}(v_1, v_2, x_1, x_2) = F_{t1} - F_{r1} \quad (1)$$

The ith vehicle

$$m_i a_i + f_{wc}(v_i, v_{i-1}, x_i, x_{i-1}) + f_{wc}(v_i, v_{i+1}, x_i, x_{i+1}) = F_{ti} - F_{ri} \quad (2)$$

The last vehicle

$$m_n a_n + f_{wc}(v_n, v_{n-1}, x_n, x_{n-1}) = F_{tn} - F_{rn} \quad (3)$$

Where, m_i denotes mass of car, a_i denotes acceleration of car, f_{wc} denotes coupler characteristic function(non-linear), F_{ti} denotes traction force and F_{ri} denotes retraction force.

본 연구에서는 위 철도차량 비선형 운동방정식을 충돌해석 적용하여 1차원 충돌해석 모델을 구성하였다. 1차원 충돌해석 모델은 차량의 질량(m) 및 가속도(a)와 완충기의 특성함수(f_{wc})에 따라 차량간 작용하는 하중(F_t, F_r) 계산이 중요하며, 이를 구현하기 위해 상용 유한요소 해석 솔버인 LS-DYNA의 비선형 1자유도 빔요소(*MAT_GENERAL_NONLINEAR_1DOF_DISCRETE BEAM)를 연결기 모델로 사용하였다.[9]

2.2 충돌 해석 시나리오

일반 승객을 수송하는 여객열차와는 달리 화차의 충돌 안전에 관한 법규나 사고 시나리오는 부족한 상황이다. 본래 법규나 규격에서 제시하는 충돌안전성 평가를 위한 사고 시나리오는 통계방법을 통해 빈번한 사고가 발생하는 범위에서 충돌속도를 결정한다. 하지만, 국내 화차 충돌사고사례가 통계방법을 사용하기에 충분하지 않기 때문에 Table 1,2와 같이 국내 화차 충돌사고사례[10]와 해외의 관련 규격의 충돌속도를 분석하여 충돌해석 시나리오를 선정하였다.

Table 1에서와 같이 중앙선 화물열차 사고를 제외하고는 화차 충돌사고는 비교적 낮은 속도에서 역내 혹은 건널목에서 주로 발생하는 것으로 나타났다. 중앙선 화물열차 사고의 경우 정차차량의 수동 제동장치가 해제되어 화물열차가 경사로를 따라 활주하면서 발생한 사고로 일반적인 주행상황에서 발생한 사고로 보기에는 어렵다.

EN 12663 규격[11]에서는 화차의 조차 상황을 가정하여 화차의 버퍼 혹은 연결기의 완충장치의 성능을 평가하기 위해 8~12 km/h의 속도로 Buffing impact test를 수행하고, 북미 49CFR179 법규[12]의 경우 탱크 화차에 직접 충격을 가할시 내부 적재 화물을 가정한 물의 누수 여부를 판단하기 위해 29 km/h 속도로 충돌시험을 수행한다.

본 연구에서는 위와같이 국내 충돌사고사례와 해외 화차관련 규격을 참고하여 충돌속도 10 km/h 이내의 입환충격 시나리오와 충돌속도 15~30 km/h의 충돌사고 시나리오로 나누어 Table 3과 같이 1차원 충돌해석 시나리오를 수립하였다. 충돌해석 시나리오는 동일 차량의 정면충돌 상황을 고려하여 수립하였으며, 화차의 화물 적재량 및 편성을 고려하였다. 차량 중량은 기존 사고사례의 사고조사보고서[13]를 참고하여 Table 4와 같이 계산하였다.

Table 1. Freight car collision accident case(Korea)[10]

Accident case	Year	Crash vehicle		Crashed vehicle	
		Type	Velocity [km/h]	Type	Velocity [km/h]
Daegu stn. accident (Side collision)	2008	Intercity train	10	Freight train (15 cars)	15
Ulsan port line accident (Collision at level cross)	2013	Freight train (20 cars)	20	Bus	0
Joongang line accident (Head on collision)	2015	Freight train (10 cars)	Approx. 55	Freight train (30 cars)	0

Table 2. Freight car crashworthiness standard (International)

Standard	Test specification		Evaluation	Remark
	Name	Impact velocity [km/h]		
BS EN 12663 [11]	Buffing test	8~12	Carbody strain	General freight train
49CFR179 Subpart B [12]	Tank head puncture test	29	Leakage on tank	Impact to Tank head / Tank car train

Table 3. Crash simulation scenario

Scenario No.	Moving vehicle		Stationary vehicle		Velocity [km/h]	Remark
	Car q'ty / Iset	Loading condition	Car q'ty / Iset	Loading condition		
1	20	Empty	20	Empty	5,10	Shunting
2	20	Full	20	Full	15~30	Crash accident
3	10	Full	10	Full	15~30	

Table 4. Vehicle mass[13]

Car No.	Car	Vehicle mass[ton]		Remark
		Full	Empty	
1	Locomotive	132		Korail Locomotive 7400 series
2~10 or 2~20	Freight tank car	72.3	22.9	Korail Freight Car 944000 series

2.3 해석모델

1차원 해석모델은 한국철도기술연구원의 1차원 충돌 해석 모델[14]을 참고하여 화차 편성에 맞게 재구성하였다. Fig 2와 같이 해석 모델은 차량(Car model)과 연결기(Coupler/Interface model) 모델로 나누어져 있다. 차량모델은 HEX8 Solid 요소를 사용하여 강체 모델링하였으며, 연결기 모델은 Beam 요소를 사용하여 비선형 1자유도 유연체로 모델링하여 차량모델과 강체를 이용하여 연결하였다. 충돌 차량(Moving vehicle)은 Table 3의 충돌 속도(v)로 정차되어 있는 피충돌 차량(Stationary vehicle)에 충돌하는 개념이며, 충돌차량의 최선단 연결기가 피충돌차량의 연결기에 충돌하면서 각 차량과 연결기를 통해 하중을 전달한다.

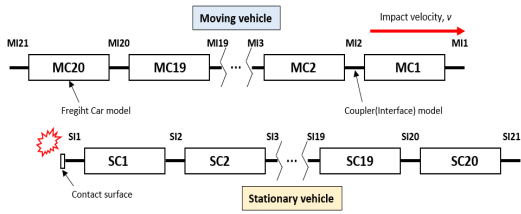


Fig. 2. Concept of 1D simulation model

차량 모델은 각 시나리오별 질량 특성을 Table 4에 맞게 부여하였으며, 연결기 모델은 국내 연결기 제작업체에서 제공한 연결기의 하중-변위 특성[15]을 부여하여 모델링하였다.(Fig. 3) 기관차용 연결기 완충기는 최대하중은 2,942 kN이고, 최대 29.4 kJ의 충격에너지를 흡수한다. 화차용 연결기 완충기는 최대하중은 2,157 kN이고, 최대 33.4 kJ의 에너지를 흡수한다. Fig. 4는 1차원 화차 충돌시뮬레이션 모델을 나타낸다.

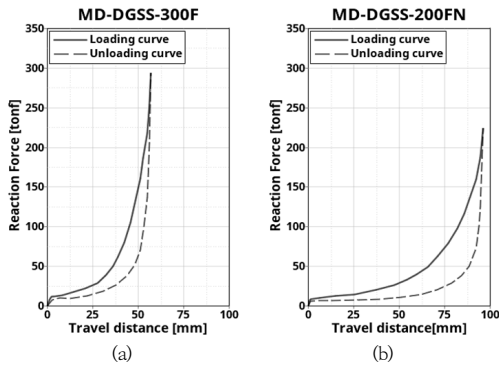


Fig. 3. Force-Displacement curve for railway coupler (a) Locomotive coupler (b) Freight car coupler

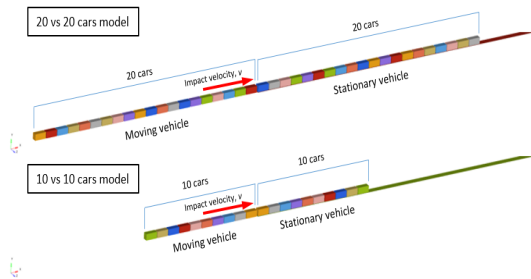


Fig. 4. 1-D Freight train crash simulation model

3. 해석결과 분석

3.1 국내화차 충돌 해석결과

3.1.1 입환충격해석 결과(Scenario #1)

입환충격 해석결과 연결기 최대 하중은 5 km/h 충돌시 3,040 kN, 10 km/h 충돌시 15,170 kN으로 선두 기관차의 연결기에서 발생하였다. 기관차 외의 화차 연결기의 최대하중은 Fig. 5와 같이 충돌차량의 기관차와 화차 연결부(MI2)에서 5 km/h 충돌시 369.6 kN, 10 km/h 충돌시 1,569 kN으로 각각 나타났다. 모든 화차연결기는 완충기 최대하중 이하로 발생하여 연결기 용량을 초과하지는 않을 것으로 예측되었으나, 기관차의 경우 완충기 용량을 초과할 것으로 예측되었다. 즉, 10 km/h까지 입환 충격은 화차의 변형을 일으키지는 않을 것으로 예측되나 기관차에서 충돌에너지를 더 흡수할 필요가 있다.

입환 충격시 화차의 가속도는 5 km/h 충돌시 최대 2.3 g, 10 km/h 충돌시 11.6g로 기관차에서 발생하였다. 기관차 이후 화차(MC2)의 최대 가속도는 5 km/h 충돌시 0.3 g, 10 km/h 충돌시 1.9 g로 충돌차량에서 나타났으며, Fig. 6과 같이 후방으로 갈수록 감소하는 경향을 나타낸다. 화차의 최대 가속도 1.9 g는 EN 12663에서 제시한 일반 컨테이너 화차의 입환시 길이방향 충격 평가기준인 2 g보다 낮은 수준으로 현재 연결기 완충용량으로도 입환충격을 흡수하기에 무리가 없을 것으로 판단된다.

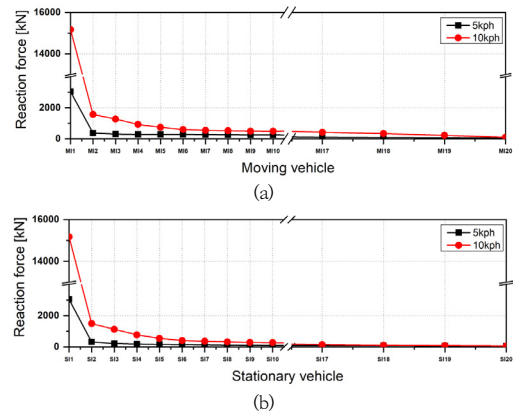


Fig. 5. Shunting impact simulation result/Max. coupler force (a) Moving vehicle (b) Stationary vehicle

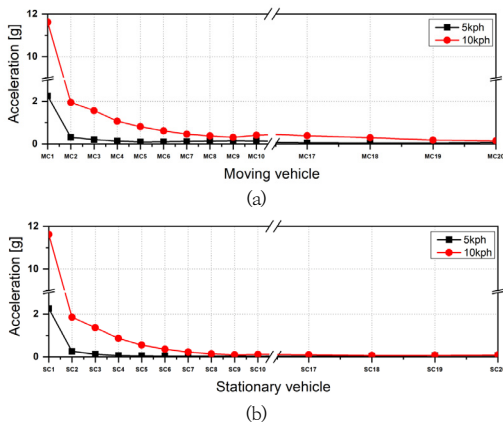


Fig. 6. Shunting impact simulation result/Max. acceleration
(a) Moving vehicle (b) Stationary vehicle

3.1.2 충돌해석 결과(Scenario #2~3)

충돌차량 및 피충돌차량 모두 만차상황을 가정한 Scenario #2와 #3의 경우 15 km/h 이상 충돌속도에서 Fig. 7과 같이 모두 연결기의 완충용량을 초과할 것으로 예상되었다. 연결기 완충용량 초과하는 차체에 연결기 최대 하중 이상의 하중이 가해져 차체의 손상과 적재화물의 가속도 증가를 유발한다. Scenario #2에서는 Fig. 8과 같이 충돌속도 15 km/h에서는 최대 10.3 g, 30 km/h에서는 최대 39.7 g의 평균가속도가 예측되었다. Scenario #3에서도 Fig. 9와 같이 최대 충돌가속도는 Scenario #2와 비슷한 수준으로 발생하였다. 다만, 연결기 하중이 완충용량의 10배 이상 증가하므로, 3차원 해석으로 차체 변형여부 및 구조 심각성을 판단해야 한다.

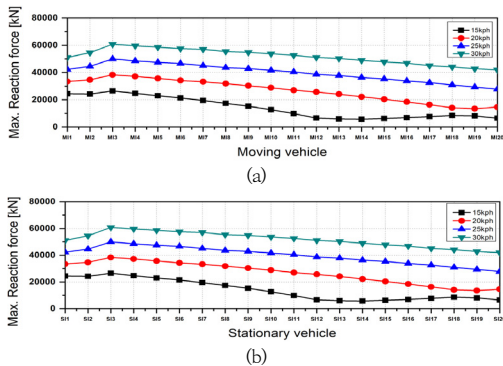


Fig. 7. Scenario #2 simulation result/Max. coupler force
(a) Moving vehicle (b) Stationary vehicle

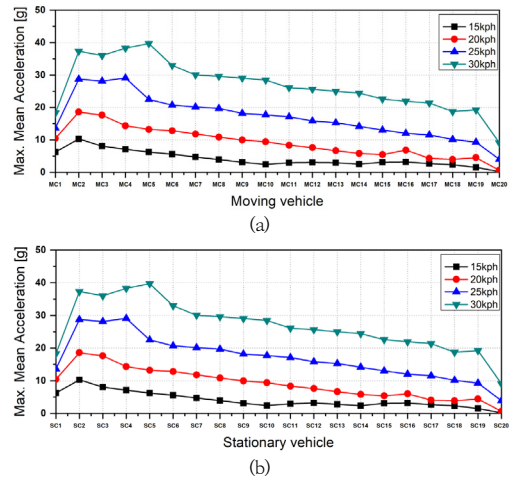


Fig. 8. Scenario #2 simulation result/Max. mean acceleration
(a) Moving vehicle (b) Stationary vehicle

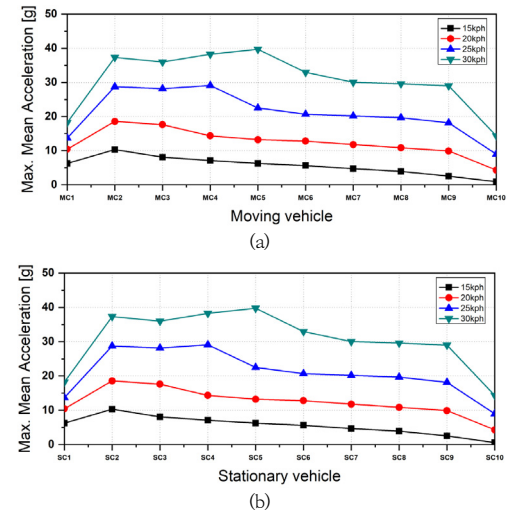


Fig. 9. Scenario #3 simulation result/Mean acceleration
(a) Moving vehicle (b) Stationary vehicle

3.2 개선차량 충돌해석 결과(Scenario #2~4)

3.2.1 화물차량 충돌안전성 개선

화물차량의 충돌안전성을 개선하기 위해 연결기와 연결기 완충장치는 기존 사용하는 장치 그대로 사용하고, 충돌에너지 흡수부재를 추가한 형태를 가정하여 Fig. 10과 같이 연결기 요소특성을 변경하였다. 충돌에너지 흡수부재는 EN12663에서 제시한 크래쉬 버퍼의 기준에 따라 국내 화차에 맞게 하중을 설계하였다. 흡수부재는

150 mm 압축시 최대 255 kJ의 충돌에너지를 부재의 소성변형을 통해 흡수하며, 비가역적 작동을 전제로 가정하였다.

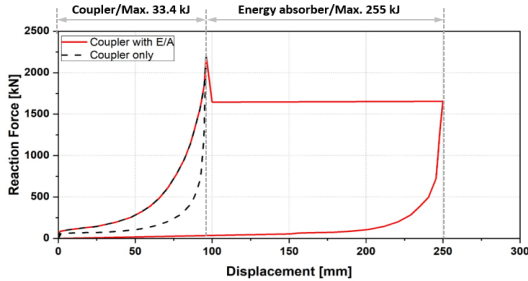


Fig. 10. Characteristics of Freight Coupler and Coupler with Energy Absorber

3.2.2 개선차량 충돌해석 결과

Fig. 10과 같이 255 kJ의 충돌에너지를 추가로 흡수할 수 있는 구조를 갖는 개선차량은 기존 차량보다 낮은 레벨의 가속도를 예측할 수 있었다. 20량 만차상태를 가정한 Scenario #2 해석결과는 Fig. 11과 같이 모든 화차 중 최대 평균 가속도가 기존 차량 대비 최소 12.3 % (15 km/h 충돌시)에서 최대 35 % (30 km/h 충돌시) 수준으로 나타났다. 10량 만차상태 충돌인 Scenario #3 Fig. 12와 같이 해석결과도 마찬가지로 동일한 수준의 평균가속도 감소량을 나타냈다.

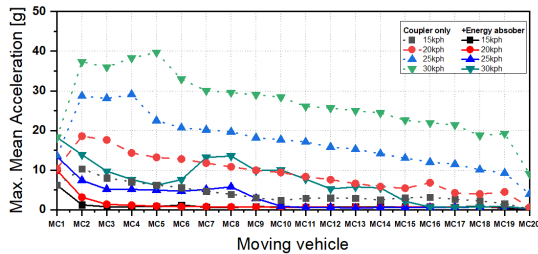


Fig. 11. Max. mean acceleration comparison between coupler only and coupler + energy absorber model with crash Scenario #2

Scenario #2 해석에서는 충돌속도 25 km/h까지 10 번째 차량(MC10) 이후에는 최대 평균가속도 5 g 이하로 비교적 안정적인 거동이 나타나는 것으로 예측된다. 30 km/h 충돌시에는 6번째 차량에서부터 가속도가 다시 증가하는 경향을 나타내다가 15번째 차량에서부터 5 g 이하로 감소하는 경향이 나타난다. 중간 차량의 가속도 증가 경향은 완충용량을 초과한 연결기와 낮은 하중으로

에너지 흡수부재가 작동 중인 연결기 사이 부분에서 주로 발생하는 것으로 예측되었으며, 이와 같은 현상은 1편성에 10량으로 조차한 Scenario #3에서는 감소하는 것으로 나타났다.

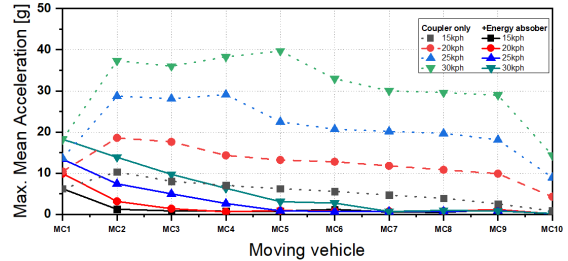


Fig. 12. Simulation results comparison between coupler only and coupler + energy absorber model with crash Scenario #3

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 현재 철도차량 화차의 충돌안전성을 1차원 충돌해석을 통해 분석하고, 에너지 흡수장치를 적용한 화차의 충돌해석결과와 비교하여 충돌안전성을 향상시킬 수 있는 대안을 제시하였다. 본 연구의 주요 결론은 아래와 같다.

첫째, 기존 국내화차의 입환충격 해석을 수행하여 가속도를 비교한 결과 기존 연결기 시스템은 10 km/h 이내의 입환충격을 흡수하기에는 충분할 것으로 예측되었다. 20량 공차 상태에서 10 km/h 입환 충격시 최대 가속도는 1.9 g로 EN 12663에서 제시한 일반 화차의 길이방향 충격 평가기준인 2 g 이하로 측정되었다.

둘째, 기존 국내화차는 충돌사고시 가속도량의 증가가 만차수준, 30 km/h 충돌상황에서 최대 39.7 g까지 증가할 것으로 예측되며, 이는 차체 구조에 손상과 적재화물의 안전에 취약한 구조임을 확인하였다. 이를 방지하기 위한 대안으로 충돌에너지 흡수부재를 적용할 경우 기존 차량대비 최대 12.3 % (15 km/h 충돌시), 최소 35 % (30 km/h 충돌시) 수준으로 가속도량을 감소시킬 수 있었다.

셋째, 기존 국내화차 및 개선화차의 정면충돌 상황에서 선두차량인 기관차의 충돌안전성이 화차에 비해 낮은 수준임을 확인하였다. 화물운송의 안전성을 향상시키기 위해 화물열차용 기관차의 충돌안전성 관한 연구 및 3차원 충돌해석을 통해 기관차 및 화차의 변형이 충돌안전성에 미치는 영향에 대한 연구가 더 필요하다.

References

- [1] H. S. Jung, S. W. Son, T. S. Kwon, J. S. Kim "Study on Computational Simulation of Metro Collision Accident and Improvement of Passive Safety", *Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol.39, No.9, pp.885-892, Sep. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.9.885>
- [2] US DOT, FAST Act requirements for Flammable Liquids and Rail Tank Cars, 2016.
- [3] R. A. Mayville, R. G. Stringfellow, K. N. Johnson, S. Landrum., *Crashworthiness Design Modifications for Locomotive and Cab Car Anticlimbing Systems*, Technical Report, D. Little Inc., U.S. Department of Transportation, US, 2003
- [4] C. H. Lim, B. C. Goo, "A Study on Improvement of Structural Strenth Evaluation Methods for Tank Car used for Carrying Hazard Materials", *Fire Science and Engineering*, Vol.22, No.3, pp.239-245, Sep. 2008
- [5] S. K. Lee, *Dangerous Article Transportation Safety Criteria and System Setup*, Technical Report, Seoul Nat'l University of Technology, pp.350-632, 2008.
- [6] European Committee for Standardization, BS EN15227 : 2008 Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies, 2010
- [7] M. Y. Park, Y. I. Park, J. S. Koo "Equivalent Modeling Technique for 1-D collision Dynamics Using 3-D Finite Element Analysis of Rollingstock", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol.13, No.2, pp.139-146, Apr. 2010.
- [8] I. Simon, *Hanbook of Railway Vehicle Dynamics*, pp.239-277, CRC Press, New York, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420004892>
- [9] LSTC, *LS-DYNA Theory manual*, Livermore Software Technology Corporation, Michigan, 2015.
- [10] Ministry of Land, Infrastructure, Transportation, *Railway Accident Casebook 2016*, Ministry of Land, Infrastructure, Seoul, 2016.
- [11] European Committee for Standardization, BS EN12663-2:2010 Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies Part 2 : Freight wagon, 2010.
- [12] US Code of Federal Regulation, 49CFR179 - Specifications for Tank Cars, 2011.
- [13] Avitation and Railway Accident Investigation Board, *ARAI B/R 2014-6 Joongang line Top-ri → Bibong Railway freight car crash accident report*, 2014.
- [14] H. S. Jung, T. S. Kwon, J. S. Koo, "A Study on Rolling Stock Shunting Impact Analysis using LS-DYNA", *Proceedings of the Korean Soc. Railway spring conference*, pp.25~30, 2006.
- [15] DMSR Website, *Couplers for Passenger cars, Freight cars*[Internet], Available From: <http://www.dmsr.co.kr/> (accessed Nov. 20, 2018)

손 승 완(Seung Wan Son)

[정회원]



- 2008년 2월 : 전북대학교 기계설계공학 (공학학사)
- 2016년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 (공학박사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임기술원

<관심분야>

철도차량경량화, 철도차량 충돌안전

정 현 승(Hyun Seung Jung)

[정회원]



- 2003년 8월 : 서울대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원
- 2018년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 KRRI스쿨 교통시스템공학과 전공책임교수

<관심분야>

철도차량 충돌안전, 최적설계

황 준 혁(Jun Hyeok Hwang)

[정회원]



- 2017년 2월 : 수원대학교 물리학과(학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 KRRI스쿨 교통시스템공학과 UST(석박사통합과정 재학)

<관심분야>

철도차량 충돌안전, 유한 요소 해석