

해외 충돌안전규정에 따른 유류탱크화차의 비선형충돌해석 연구

손승완^{1*}, 정현승², 안승호², 김진성²

¹한국철도기술연구원 시설안전팀, ²한국철도기술연구원 중대사고대응기술연구팀

A study on nonlinear crash analysis of railway tankcar according to the overseas crashworthiness regulations

Seung Wan Son^{1*}, Hyun Seung Jung², Seung Ho Ahn², Jin Sung Kim²

¹Infrastructure Safety Team, Korea Railroad Research Institute

²Railroad Major Accident Research Team, Korea Railroad Research Institute

요약 본 연구의 목적은 국내 위험물 운송용 탱크화차의 충돌안전설계 가이드라인 제안을 위해 해외 충돌안전 기준에 따른 국내 위험물 운송화차에 대하여 비선형 충돌해석을 하여 위험성을 평가하고, 구조적 취약부를 분석하는데 있다. 유럽의 EN 12663-2에서 규정하는 화차의 완충시험 및 북미 49CFR179에서 규정하는 탱크 펑크시험기준을 분석하였으며, 상용 유한요소 해석 솔버인 LS-DYNA를 이용하여 각각 기준에 따른 비선형 유한요소모델을 모델링하였다. EN 규격의 완충시험 해석결과 충돌속도 6 km/h 이하에서는 소성변형이 발생하지 않을 것으로 예측하였지만, 8 km/h 이상의 충돌속도에서 중앙연결기를 통한 하중 전달으로 차체의 센터실 후방 및 탱크 중앙 지지부에서 소성변형을 확인하였다. 북미 법규의 탱크 펑크시험 해석결과 국내 탱크화차는 두부 충돌모드에서 충돌차량의 운동에너지를 4 % 이상 흡수시 두부의 코너부에서 탱크 외벽의 파괴가 발생하였으며, 측면 충돌모드에서 운동에너지 30 % 이상 흡수시에 충격체가 접촉하는 탱크 외벽의 파괴가 발생하여 내부 적재물의 누출을 예상하였다. 국내 유류 운송용 탱크화차의 해외 충돌안전 기준의 만족을 위해서는 차체 구조보강 설계 및 탱크 방호설계 수준을 향상시킬 필요가 있다.

Abstract The purpose of this study is to evaluate the structural risk and weakness of a railway tank car through nonlinear collision analysis according to overseas collision safety standards. The goal is to propose a crash safety design guideline for railway tank cars for transporting dangerous goods in Korea. We analyzed the buffer impact test procedure of railway freight cars prescribed in EN 12663-2 and the tank puncture test criteria prescribed in 49CFR179. A nonlinear finite element model according to each standard was modeled using LS-DYNA, a commercial finite element analysis solver. As a result of the buffing impact test simulation, it was predicted that plastic deformation would not occur at a collision speed of 6 km/h or less. However, plastic deformation was detected at the rear of the center sill and at the tank center supporting the structure at a collision speed of 8 km/h or more. As a result of a head-on test simulation of tank puncture, the outer tank shell was destroyed at the corner of the tank head when 4% of the kinetic energy of the impactor was absorbed. The tank shell was destroyed in the area of contact with the impactor in the test mode analysis of tank shell puncture when the kinetic energy of the moving vehicle was reduced by 30%. Therefore, the simulation results of the puncture test show that fracture at the tank shell and leakage of the internal material is expected. Consequently, protection and structural design reinforcement are required on railway tank cars in Korea.

Keywords : Tankcar, Crashworthiness, Buffing Impact Test, Puncture Test, Non-linear Finite Element Analysis

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.

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

email: swson@krii.re.kr

Received October 16, 2020

Revised November 2, 2020

Accepted November 6, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

유류, 화학물질과 같은 위험물의 철도 운송사고시 막대한 인적 및 물질 피해가 발생할 수 있다. 2013년 캐나다 퀘벡주에서 발생한 크루드 오일 운반 탱크화차 탈선 사고는 50여명의 사망자를 발생시키고, 총 5조원의 물질 피해를 발생시켰다[1]. 대형 충돌사고로 인해 북미에서는 법규 개정을 통해 화물열차의 충돌안전 설계를 강화함으로써 앞으로 일어날 수 있는 충돌 및 탈선사고 피해 방지에 대한 대책을 마련하였다.

국내 화물철도 운송은 그동안 제한적인 양의 위험물을 운송하는 수준에 그쳤지만, 철도시설의 점진적 확충, 운송비용의 효율성, 남북철도 연결에 따른 기대감 등을 고려하면 전체적인 화물 철도 운송 비율이 증가할 것으로 예측된다. 화물 철도운송량 증가 및 남북철도 연결에 따른 위험물의 국제 운송 상황을 대비하여 해외 충돌안전 규격에 따라 국내 규격도 기준 상향화를 고려할 필요가 있다. 위험물 운송용 탱크화차의 안전에 대한 연구로 임충환 등[2]은 위험물 수송 철도차량 탱크의 구조강도 평가방법의 개선방안에 대한 연구를 수행하였으며, 손승완 등[3]은 1차원 해석방법을 이용하여 화차 충돌시 가속도 분석을 통해 충돌안전성을 향상시킬 수 있는 대안을 제시하였다. Steven W. 등[4]은 철도차량 탱크화차의 측면 펑크시험(Tank shell puncture test)의 평가방법 정립을 위해 3차원 유한요소해석을 이용하여 평가하였다. 국내에서도 위험물 수송 화물차량의 수송용기에 대한 안전 기준 개발 연구[5]가 수행된 바 있지만, 화물적재를 위한 구조 및 피로강도 평가 측면에서 연구를 수행하였으며, 충돌 및 충격시험에 대한 연구는 초기단계로 부족한 상황이다.

본 연구의 목적은 국내 위험물 운송용 탱크화차의 충돌안전 설계 가이드라인 제안을 위해 충돌해석을 통해 위험성을 평가하고, 현재 탱크화차의 취약부분을 분석하는데 있다. 유럽의 EN 12663-2[6]에서 규정한 화차의 완충시험(Buffering impact test)와 북미 49CFR Part179[7]에서 규정하고 있는 탱크 펑크시험(Tank puncture test) 기준을 기반으로 국내 유류 운송용 탱크화차 모델을 이용하여 비선형충돌해석을 수행하였으며, 충돌 및 탈선사고시 탱크화차의 취약부를 해석결과를 통해 도출하였다.

2. 시험방법 및 절차

2.1 완충시험 규격(EN12663-2)

EN12663-2[6] 규격에서 규정하고 있는 완충시험은 일반적인 화차에 완충기를 통해서 작용하는 압축하중이 차체에 미치는 영향을 파악하기 위한 시험으로 충돌차량이 미제동 상태의 피충돌차량에 충격을 가하는 입환 및 저속 충돌상황을 가정하여 시험한다.

Fig. 1과 같이 충돌차량은 80 ton의 중량으로 속도 최대적재량을 적재한 피충돌차량에 충돌한다. 예비시험으로 충돌속도를 점진적으로 12 km/h까지 증가시키면서 완충기의 최대하중이 1,500 kN을 초과하는지 확인한다. 이때 완충기의 최대하중량은 완충 특성에 따라 한계치를 다르게 적용할 수 있다. 완충기의 최대하중을 초과하지 않는 충돌속도를 선정하여 40번의 동일한 본실험을 수행한다. 충돌시험동안 눈에 띄는 차체의 변형이 발생하지 않아야 하며, 고정부품의 탈락으로 인한 가속도의 급격한 변화가 발생하지 않아야 한다.

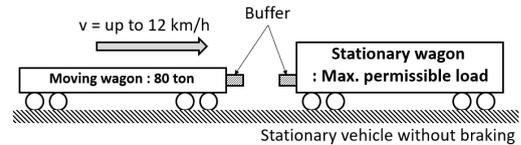


Fig. 1. Buffering impact test scenario(EN12663-1)

2.2 탱크 펑크시험 규격(49CFR Part179)

49CFR Part179[7]에서 규정하고 있는 탱크 펑크시험은 충돌 및 탈선사고 상황에서 외부충격으로부터 탱크가 화물의 손실없이 보호하는지 확인하는 시험이다. 펑크시험은 Fig. 2와 같이 두부 펑크시험(Head on puncture test)과 측면 펑크시험(Shell puncture test)로 나뉘며, 충격체가 탱크에 직접 충돌한 후 탱크의 누설 여부를 판단한다. 북미에서 운행하는 철도차량 탱크화차는 운반 물질에 따라서 압력용기용, 비압력용기용, 극초저온용 탱크화차로 나뉘지만, 본 연구에서는 국내에서 운영되고 있는 유류 운반용 탱크화차와 조건과 유사한 비압력용기형 탱크화차(DOT-117P) 기준으로 규격을 분석하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

Fig. 2와 같이 두부 펑크시험은 최소 18 mph(29 km/h)의 속도로 탱크 두부의 중앙부에 중량 286,000 lbs(130 ton)의 12 x 12 인치(inch.)의 사각형 충격체로 충돌하며, 직접 충격을 받는 피충돌차량은 제동 미체결상태, 피충돌차량의 후속차량은 제동을 체결한 상태로 시험한다. 측면 펑크시험은 두부 펑크시험과 같은 충격체를

사용하여 12 mph(19.3 km/h)로 탱크의 측면 종방향 및 높이방향 중심에 충돌한다. 충돌시험후 1시간동안 탱크 내부에 적재한 물의 누수가 발생하지 않아야 한다.

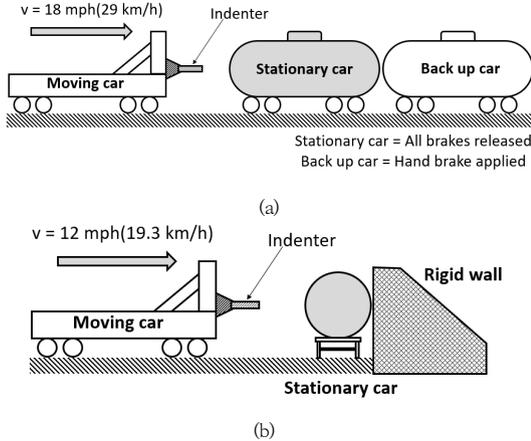


Fig. 2. Tank puncture test scenario(49CFR179)
(a) Head on puncture test (b) Shell puncture test

3. 충돌해석 결과 및 분석

3.1 국내 유류 운송용 탱크화차 차체모델링

탱크화차의 충돌해석을 위하여 국내에서 운영 중인 유류 운반용 탱크화차를 대상으로 유한요소모델링을 수행하였다. 차체 유한요소 모델은 총 37 파트로 구성하여 Fig. 3과 같다. 차체 및 탱크의 요소크기는 25 mm로 2D 쉘요소(Shell element)로 모델링 하였으며, 모델의 정확도를 높이기 위해 TRIA3 요소를 최소화하고, QUAD4 요소를 사용하였다. 중앙연결기는 1D 빔요소(Beam element)를 사용하여 모델링하였으며, 본 모델에 사용된 총 질점 및 요소의 개수는 Table 1과 같다.

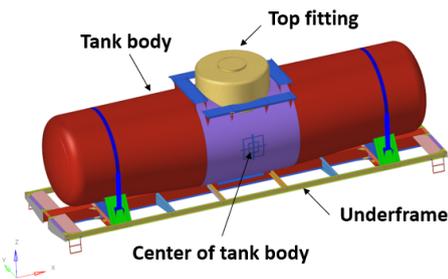


Fig. 3. Railway tank car FE model

Table 1. Railway tank car FE model detail

Node		232,858 EA
Element	1D Beam	2 EA
	QUAD4	231,132 EA
	TRIA3	1,712 EA
	TOTAL	232,846 EA
Element size		25 mm

탱크화차의 차체 구조부는 SS400, SM490, SM490A와 같은 구조용 강재가 사용되며, 탱크부는 고강도 망간합금강인 SMA41(ASTM A441) 재료가 사용된다. 기존 문헌을 참고하여 해당 재료의 응력-변형률 선도[8-11]를 Fig. 4와 같이 탱크화차 모델에 적용하였었다. 비선형 재료 모델은 LS-DYNA의 *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY 키워드를 사용하여 모델링하였으며[12], 재료의 소성변형량 한계를 넘어선 후 파괴되도록 설정하였다. 탱크화차에 장착되는 중앙연결기용 완충장치의 특성은 Fig. 5와 같이 화차용 완충기 특성을 모델에 적용하였었다[13]. 완충기 모델은 *MAT_GENERAL_NONLI-NEAR_1DOF_DISCRETE_BEAM 키워드를 사용하여 비선형 특성을 반영하였었다[12].

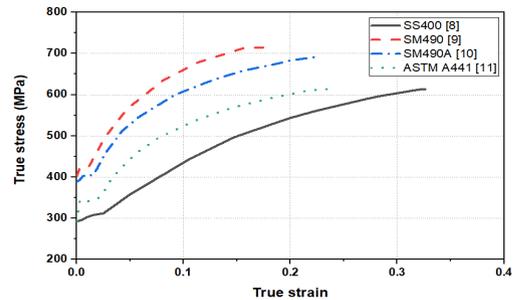


Fig. 4. Strain-Stress curve for railway tankcar model[8-11]

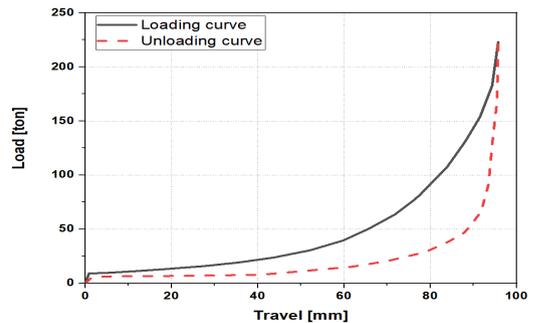


Fig. 5. Coupler characteristics for freight car[13]

유한요소 모델의 검증하기 위해 화차의 압축강도 만족 여부 확인을 위한 정적 구조해석을 수행하였다. 유한요소 모델의 실험적 검증이 가장 정확하지만, 철도차량과 같이 거대 구조물의 실험은 시간 및 경제적 노력이 과대하게 필요하여 본 연구에서는 화차의 압축하중인 2,000 kN에 대해 유한요소 모델 만족여부에 대한 검증을 수행하였다.

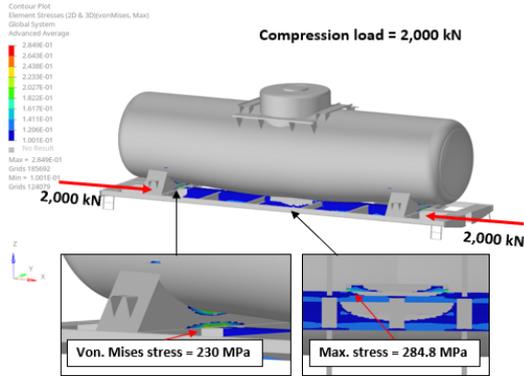


Fig. 6. Result of tank car structural analysis (compressive loadcase/Von Mises stress)

탱크화차 차체 구조해석 결과 최대응력은 284.8 MPa으로 탱크 화차 중앙 지지부에서 발생하였다.(Fig. 6) 해당 지지부의 재료는 SS400으로 항복강도가 294 MPa임을 감안하면, 재료의 항복응력 보다 낮은 응력이 발생하므로 압축하중이 주로 작용되는 충돌해석에 사용할 수 있는 수준임을 확인하였다.

3.2 화차 완충시험(Buffering test) 해석

완충시험 해석을 위해 Fig. 7과 같이 탱크화차 모델을 이용하여 충돌차량과 피충돌 차량을 모델링하였다. EN12663-2 규격에 따라서 충돌차량은 80 ton으로 모델링하였으며[7], 피충돌차량은 유류 탱크화차의 최대 하중인 50 ton으로 모델링하였다. 충돌차량은 6, 8, 10, 12 km/h의 충돌속도로 피충돌차량에 충돌하고, 중앙연결기를 통해 피충돌차량에 하중을 전달하게된다. 이때 피충돌차량과 바닥의 마찰계수는 비제동상태를 고려하여 0으로 설정하였다.

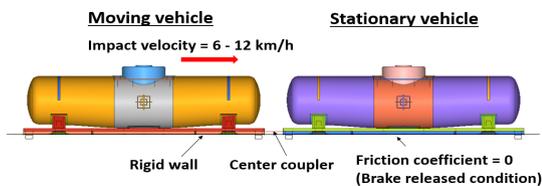


Fig. 7. Buffering test simulation FE model

Table 2. Mass of Buffering test model

Model	Mass(tonf)
Moving vehicle	80
Stationary vehicle	50

해석결과 충돌속도 12 km/h까지 탱크의 변형은 발생하지 않을 것으로 예측되지만, 언더프레임 차체의 손상이 예상되었다. Fig. 8과 같이 6km/h 충돌시에는 차체의 손상이 발생하지 않았지만, 10km/h 충돌시부터 중앙연결기 압축하중을 지지하는 센터실 뒤편 볼스터에서 소성변형이 발생하기 시작하였다. 충돌속도 10km/h부터는 탱크의 중앙부를 지지하는 프레임에서도 소량의 소성변형량이 발생하였다. 소량의 소성변형량이라도 40회를 반복하여 수행하는 실제 Buffering test에서 손상 누적으로 인한 차체 변형 혹은 파괴가 발생할 수 있다. 그러므로 규격 만족을 위해서는 센터실 후방 볼스터 및 탱크화차 지지대의 보강설계가 필요하다.

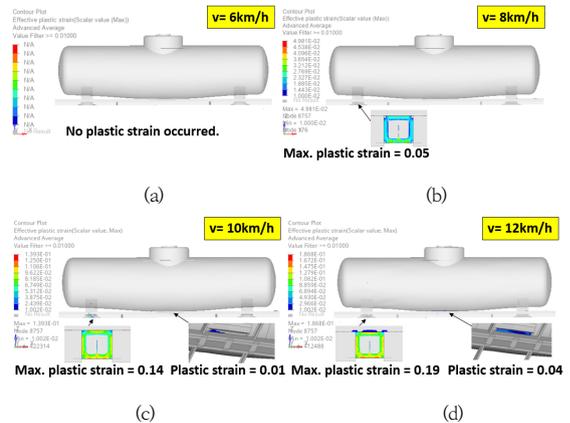


Fig. 8. Buffering test simulation result(Plastic strain) (a) v=6 kph, (b) v=8 kph, (c) v=10 kph, (d) v=12 kph

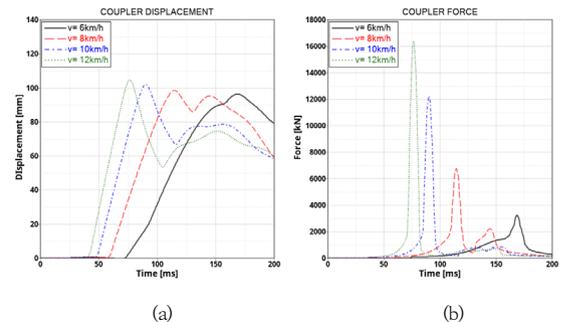


Fig. 9. Coupler (a)displacement and (b)force result

충격으로 인한 중앙연결기 완충기의 작동변위 및 하중은 Fig. 9와 같다. 연결기의 하중 및 변위량이 6 km/h 이상의 충돌속도에서 모두 완충기의 한계량을 초과하는 것을 확인할 수 있었으며, 차체 압축하중 보다 높은 하중이 차체에 전달되었음을 확인할 수 있었다. 다만, 피충돌 차량이 비제동 조건에서 시험이 진행되므로 전달된 하중은 피충돌차량의 운동으로 분산되어 작용하였으므로 차체의 변형에 미치는 양이 줄어들 것으로 판단된다. 규격 만족을 위해서는 완충기의 용량 증대 또는 사이드버퍼를 통한 압축하중 작용점 분산 등의 대책이 필요하다.

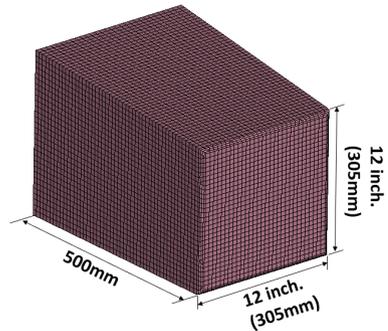


Fig. 11. Indenter FE model(12x12 inch.)[7]

3.3 탱크 펑크시험(Puncture test) 해석

3.3.1 두부 펑크시험 해석

두부 펑크시험을 위해 Fig. 10과 같이 충격체, 피충돌 차량 및 백업차량을 모델링하였다. 충격체는 Fig. 11과 같이 49CFR179에서 제시한 12 x 12인치 사각형 형상의 충격체로 요소크기는 10 mm의 2D Shell 요소를 사용하여 강체모델로 모델링하였다. 피충돌차량은 탱크화차 모델 내부에 물이 적재된 상태를 모사하기 위해서 SPH(Smooth Particle Hydraulic) 요소를 사용하여 80%를 채운 상태로 모델링하였다.[7] 백업차량은 차량 중량을 적용하여 3D 솔리드 요소(Solid element)로 간소화하여 모델링하였으며 각 차량 및 충격체의 중량은 Table 3과 같다. 피충돌차량과 백업차량의 서로 다른 제동상태를 구현하기 위해 Fig. 10과 같이 바닥 강체벽을 서로 다르게 모델링하였으며, 피충돌차량의 마찰계수는 0, 백업차량의 마찰계수는 제동상태를 가정하여 0.35로 설정하였다.[3] 피충돌차량과 백업차량은 Fig.5와 같은 특성을 갖는 연결기 완충기모델을 적용하였으며, 충격체의 충돌속도는 29 km/h로 설정하였다[7].

Table 3. Mass of Head on puncture model

Model	Mass(tonf)
Indenter	129.7
Stationary vehicle with SPH element	50
Backup vehicle	217.7

해석결과 Fig. 12와 같이 탱크 두부에 큰 변형이 예상되며, 90 ms 이후에는 Fig. 13과 같이 상대적으로 두께가 낮은 탱크 두부의 코너부에서 응력집중으로 인한 파손이 예상된다. Fig. 14와 같이 탱크의 파손이 발생한 100 ms에서도 충격체의 속도는 28.4 km/h (7.9 m/s)로 충돌전 운동에너지가 4%만 감소한 상태로 탱크가 충격체의 운동에너지를 흡수하기에는 충분하지 않은 것으로 예측되었다.

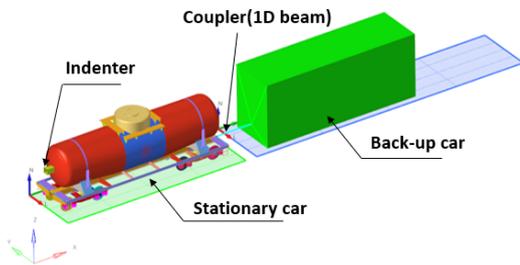


Fig. 10. Head on puncture test simulation FE model

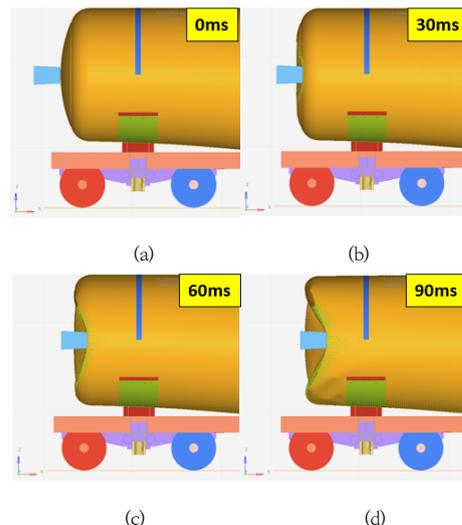


Fig. 12. Head on puncture test simulation result (a) t=0ms, (b) t=30ms, (c) t=60ms, (d) t=90ms

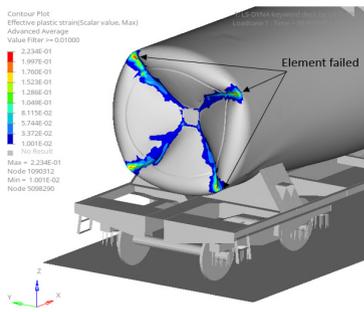


Fig. 13. Tank head deformed shape(Plastic strain)

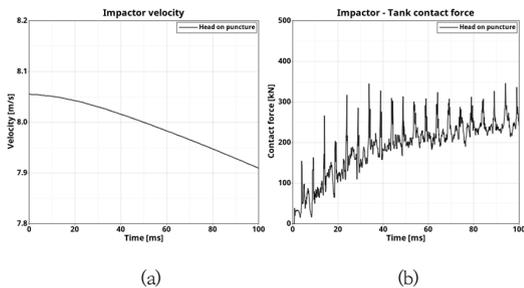


Fig. 14. Indenter (a)velocity and (b)contact force

3.3.2 측면 펑크시험 해석

측면 펑크해석을 위해 Fig. 15 및 Table 4와 같이 대칭(Symmetric) 조건을 갖는 하프모델을 모델링하였다. 두부 충돌해석 모델과 동일하게 내부는 80%를 SPH 요소를 사용하여 채운 상태로 모델링하였으며, 동일 충격체 모델을 사용하였다. 탱크화차 모델의 충격부 반대편은 강체벽으로 모델링하여 탱크가 강체벽에 접촉(Contact)할 수 있도록 모델링하였다.

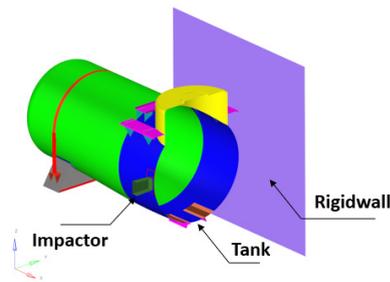


Fig. 15. Shell puncture test simulation FE model

Table 4. Mass of Shell puncture model(Half model)

Model	Mass(tonf)
Impactor	64.58
Stationary vehicle with SPH element	25

해석결과 Fig. 16 및 17과 같이 75 ms부터 탱크 측면 쉘의 파괴가 시작되었으며, 100 ms 이후에는 중앙부가 충격체 단면모양으로 완전히 파괴되어 충격체가 탱크 내부로 침범하였다. Fig.18에서와 같이 탱크 외벽이 파괴된 100 ms에서 충격체의 속도는 16.1 km/h (4.5m/s)로 운동에너지가 충돌 전보다 약 30 % 감소하였지만, 충격체의 운동에너지를 충분히 흡수하기에는 방호설계가 부족한 상황이다.

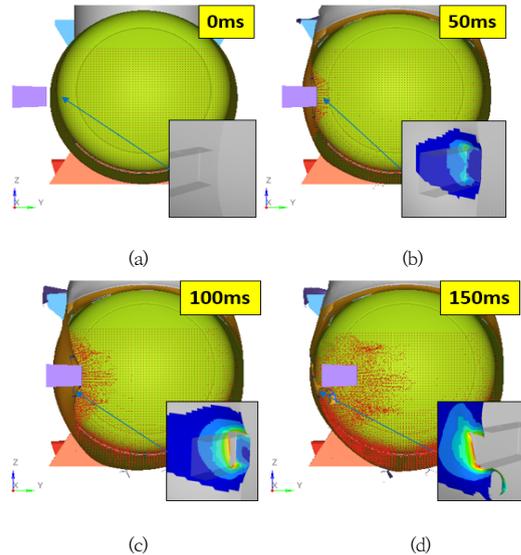


Fig. 16. Shell puncture test simulation result (a) t=0ms, (b) t=50ms, (c) t=100ms, (d) t=150ms

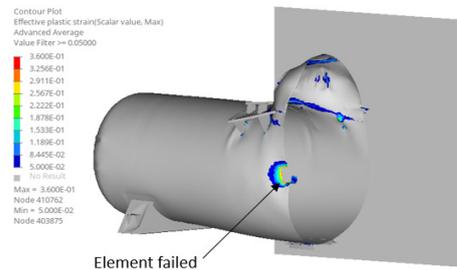


Fig. 17. Tank shell deformed shape(Plastic strain)

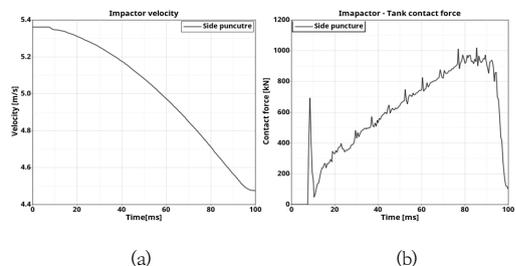


Fig. 18. Indenter (a)velocity and (b)contact force

4. 결론

본 연구에서는 해외 화차 충돌안전 기준을 기반으로 국내 유류운송용 탱크화차의 비선형충돌해석을 수행하였으며, 설계 보강 가이드라인 제안을 위한 충돌 및 탈선사고 시 취약부를 분석하였다. 해외 충돌안전 규정의 만족을 위해서는 국내 탱크화차의 충돌안전설계수준의 상향화가 요구되며, 충돌해석으로부터 도출된 본 연구의 주요 결론은 아래와 같다.

첫째, 유럽 EN 12663-2 규격의 화차 완충시험규격에 따른 충돌해석결과 중앙연결기를 통한 하중 전달로 차체의 소성변형이 발생할 것으로 예측되었다. 충돌속도 6 km/h 상황에서는 차체의 소성변형이 예측되지 않았지만, 8 km/h 상황에서부터 센터실 후방에 소성변형이 발생하였으며, 10 km/h부터는 탱크 중앙 지지부에도 소성변형이 예측되었다. 40회 반복시험을 수행하는 시험기준에서는 소성변형의 누적손상으로 인한 탱크화차의 영구적인 파손으로까지 이어질 가능성이 있다.

둘째, 북미 49CFR179 법규에서 규정한 탱크 펑크시험 규격에 따른 충돌해석결과 두부 및 측면 충돌해석 모두 탱크 외벽의 파손으로 인한 적재물 누출이 예상되었다. 두부 충돌해석에서는 탱크 손상시 충격체의 운동에너지가 4 % 감소한 상태였으며, 측면 충돌해석에서는 30 % 감소한 상태로 충분한 양의 충돌에너지를 흡수하지 못한 것으로 예측되었다.

셋째, 해외 충돌안전규격 만족을 위해서 탱크화차 차체 및 탱크부의 보강설계가 필요하다. 완충시험 기준의 만족을 위해서는 차체 센터실 후방부 및 탱크 지지부의 종방향 하중에 대한 보강설계가 필요하고, 사이드 버퍼장착을 통한 하중 분산 및 충돌흡수에너지 용량 증가 전략이 필요하다. 탱크 펑크시험 기준의 만족을 위해서는 탱크의 방호설계 기준을 제정할 필요가 있다.

References

[1] Railway investigation report R13D0054, Investigation Report, Transportation Safety Board of Canada, Canada, pp.1-12.
 [2] C. H. Lim, B. C. Goo, "A study on Improvement of Structural Evaluation Methods for Tank of Tank Car used for Carrying Hazard Materials", *Fire Science and Engineering*, Vol. 22. No. 4, pp.239-245, Sep. 2008.
 [3] S. W. Son, H. S. Jung, J. H. Hwang, "A study on Analysis

of Impact Deceleration Characteristics of Railway Freight Car", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.3, pp.32-38, Mar. 2020.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.32>

- [4] S. Kirkpatrick, R. MacNeill, F. Gonzalez, "Analysis and Development of Performance-Based Requirements for Railroad Tank Cars", *Proceedings of the 2014 Joint Rail Conference*, ASME, CO, USA, pp.1-10, April 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/JRC2014-3765>
- [5] Establishment of Safety Regulations for Freight Trains and Tanks carrying Dangerous Goods, Technical Report, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Korea, pp.20-190.
- [6] Specifications for Tank Cars, Code of Federal Regulation Title 49 Part 179, US Code, USA.
- [7] European Committee for Standardization, BS EN12663-2 : 2010 Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies Part 2:Freight wagon, 2010
- [8] K. Ito, T. Okuda, R. Ueji, H. Fujii, C. Shiga, "Increase of Bending Fatigue Resistance for Tungsten Inert Gas Welded SS400 Steel Plates using Friction Stir Processing", *Material and Design*, Vol.61, pp.275-280, May. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.04.076>
- [9] K. H. Chang, G. C. Jang, "Formulation of Dynamic Cyclic Plasticity Model for SM490 and Its Application to 3-Dimensional Elasto-Plastic Finite Element Analysis", *Journal of the Korean Society of Civil Engineering A*, Vol.26, No.3A, pp.465-471, May. 2006.
- [10] J. H. Kim, B. C. Goo, W. H. You, "A Study on Mechanical Behavior of SM490A Material under Low Temperature Condition", *Proceedings of Korean Society of Precision Engineering Conference*, Korea, pp.585-586, Oct. 2006.
- [11] Dynamic tests on selected structural steel, Technical Report, U.S Naval Civil Engineering Laboratory, USA.
- [12] LSTC, LS-DYNA Theory manual, Livermore Software Technology Corporation, Michigan, 2015.
- [13] DMSR Website, Couplers for Passenger cars, Freight cars[Internet], Available From: <http://www.dmsr.co.kr/> (accessed Oct. 15, 2020)

손 승 완(Seung Wan Son)

[정회원]



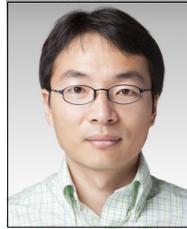
- 2008년 2월 : 전북대학교 기계설계공학 (공학학사)
- 2016년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 (공학박사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임기술원

<관심분야>

철도차량경량화, 철도차량 충돌안전

김 진 성(Jin Sung Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학학사)
- 2004년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량 충돌안전

정 현 승(Hyun Seung Jung)

[정회원]



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

<관심분야>

철도차량 충돌안전, 최적설계

안 승 호(Seung Ho Ahn)

[정회원]



- 2016년 8월 : 서울대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2016년 8월 ~ 2020년 6월 : ㈜한화/방산 선임연구원
- 2020년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

최적설계, 철도차량 충돌안전