

기존선 틸팅차량 Mcp Car 차체 설계초안의
충돌에너지 흡수특성 고찰
Impact Energy Absorbtion Characteristics Review on the
Initial Design of TTX Mcp Car front-end Structure

권태수* 정현승* 구정서**
Kwon, Tae-soo Jung, Hyun-Seung Koo, Jeong-Seo

ABSTRACT

TTX(Tilting Train Express), which has improved traveling performance on curved track, is being designed in cope with future railway circumstance. Nowadays, in the world, many efforts are focussed on railway safety. Especially, a variety of researches on train crashworthiness have been conducted. As a part of these efforts, some equipments on TTX are designed to reduce fatalities and casualties in crash accidents. This paper introduces impact energy absorbtion characteristics on the initial design of the front end structure. Some comments are made briefly for improvement of initial structural design and future following researches.

1. 서 론

최근 고도의 사회가 될수록 인간의 삶의 질적인 향상 욕구에 맞물려 안전한 삶에 대한 추구가 더욱 중요하게 되었다. 열차의 장점은 신속, 정확, 안전이라고 일컬어지고 있어 미래 교통수단으로 더욱 중요한 자리를 차지하게 될 것이다. 특히, 전 세계적으로 고 안전도 철도 서비스를 제공키 위해 철도차량의 충돌 안전도 설계와 성능 평가 및 인증을 제도화하여 강화하고 있는 추세이다. 선진국에서는 이러한 추세를 반영하여 철도차량의 충돌안전도 설계/해석/시험 및 평가 기술 등을 집중적으로 개발하여 대응하고 있으며, 충돌에 의한 탈선이나 탈선에 의한 충돌에서 발생하는 인적 물적 피해를 획기적으로 저감시킬 수 있는 다양한 충돌 안전도 향상 부품 개발에도 박차를 가하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 국내에서도 이러한 추세에 부응하는 기술 개발이 필요하다.

한편, 국내 기존선의 운행성능향상을 위해 틸팅열차를 선정하고, 이 열차를 미래지향적 관점에서 설계개발하기 위해 각고의 노력과 투자를 아끼지 않고 있다. 따라서, 이러한 틸팅열차는 이전열차에 적용되지 못했던, 첨단 충돌안전설계를 갖추도록 하고 있다. 우선, 다단계 충돌에너지 흡수구조 및 각종 충돌안전장치 등을 장착하여, 대구지하철 화재사고 이후 강화될 철도 안전기준에 부응하는 안전성능을 갖출 것으로 보인다. 본 논문에서는 이러한 TTX(Tilting Train Express)의 충돌흡수구조 중 선두차 전두부의 언더프레임에 대해서 충돌에너지 흡수능력을 고찰한다. 본 논문의 해석모델은 극히 초기의 모델로써, 이 모델의 충돌안전성능을 대략적으로 분석한 다음, 설계수정하기 위한 목적으로 설계되었다. 따라서, 본 논문에서는 초기 설계의 구조를 충돌해석하여 문제점을 도출해 내고 연구되어야 할 부분을 찾아내어 다음 수정설계에 반영하기 위한 고찰을 시도하고자 한다. 우선은, 전두부 충돌에너지 흡수부재중 가장 많은 에너지를 흡수하는 언더프레임에 대한 고찰을 수행하였다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

2. 본 론

2.1 충돌 시나리오

열차충돌사고 시나리오의 선정은 충돌안전도설계에서 기초적이고 필수적인 단계이며, 이를 위하여 많은 충돌사고를 분석하고 통계처리를 하여야 한다. 대부분 철도선진국에서는 이러한 연구결과에 따라 충돌사고시나리오를 선정하고 이에 맞도록 열차를 설계하고 있다. 따라서, 충돌안전도 설계를 위해서는 먼저 충돌사고 시나리오 연구가 선행되어야 할 것이다. 그러나, 아직까지 국내에서 이러한 분야에 관한 집중적 연구결과가 도출되지 못하고 있는 상황이므로, 유럽국가들이 따르고 있는 충돌사고 시나리오를 본 논문에서도 적용하기로 하였다.

SAFETRAIN[1]에서 제시하고 있는 충돌사고 시나리오는 아래의 세 가지와 같다.

시나리오 1: 55km/h의 속도로 정지해 있는 동일열차와 정면 충돌

시나리오 2: 36km/h의 속도로 80ton의 완충기기 있는 차량과의 충돌

시나리오 3: 100km/h의 속도로 16.5ton의 강체 장애물과 충돌

특히, 시나리오 3의 경우에는 대부분의 충돌에너지가 선두차의 전두부(front end structure)에서 집중적으로 흡수하게 되므로 전두부 충돌안전설계의 경우는 시나리오 3에 대해서 고찰하는 것이 타당할 것이다.

2.2 해석모델

본 논문의 목적이 TTX열차 설계초안에 대하여 검토한 후 개선방향을 도출하는 것이므로 전두부의 설계가 아직 초안수준임을 감안하여 일정부분에서는 정밀한 해석 모델이라기 보다는 근사적인 해석모델이라 볼 수 있다. 충돌해석용 S/W는 LS-DYNA를 사용하였다. Explicit Code의 대표적 S/W인 LS-DYNA의 해석 모델링 첫 단계는 메쉬의 크기와 time step Δt 를 결정하는 것이라 할 수 있다. 메쉬의 크기에 따라 time step이 영향을 받으므로 메쉬의 크기를 최소 20mm 이상, 평균 40mm 정도가 되도록 하였다. 아래 그림은 본 연구에서 사용된 유한요소 모델로 요소 수는 19,580개, 절점 수는 20,614개이다.



그림 1 TTX Mcp Car 전두부 골조의 충돌해석 모델

선두차 전체를 모델링 할 필요 없이 전두부만 모델링하고 나머지 부분은 집중질량 50ton으로 처리하여 모델 뒤쪽에 장착하였다. 현재의 형태는 연결기 부분 및 전두부 허니컴 등 일부 충돌안전장치의 부품이 빠진 상태이나, 가장 복잡한 충돌현상을 보이는 전두부 언더프레임을 중점

적으로 해석하고 검토하여 수정하는 것이라 의미있는 일이라 할 수 있다. 열차의 초기속도는 110km/h로 결정하고, 전두부 앞쪽의 20ton 강체 장애물과 충돌한 후 치고 나가도록 초기조건을 설정하였다.

2.3 충돌변형결과

열차 전두부가 강체 장애물에 부딪히는 시점을 기준으로 시간 변화에 따른 압괴형상을 아래와 같이 나타내었다.

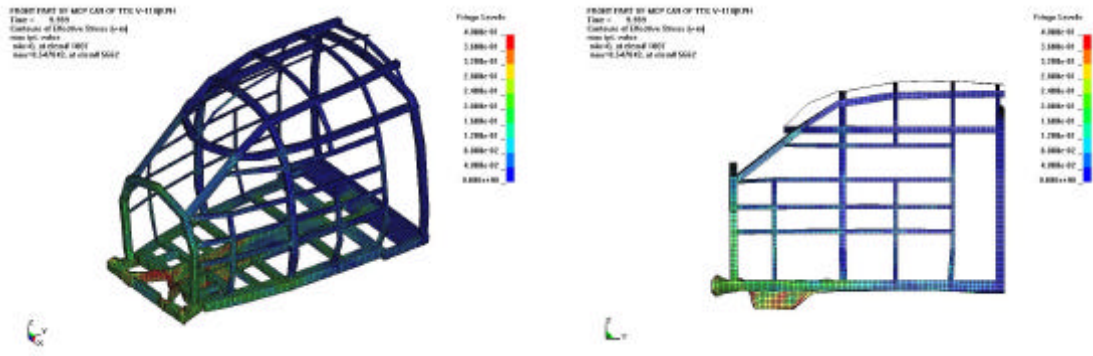


그림 2 충돌 후 10 msec에서 변형 및 응력 분포

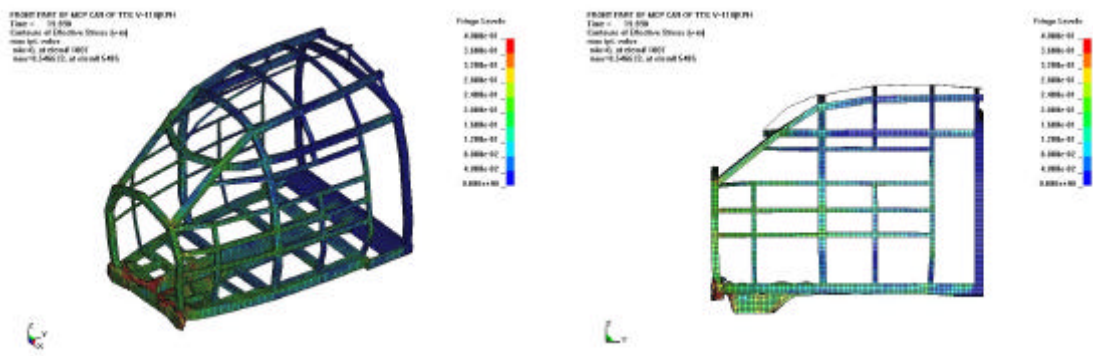


그림 3 충돌 후 20 msec에서 변형 및 응력 분포

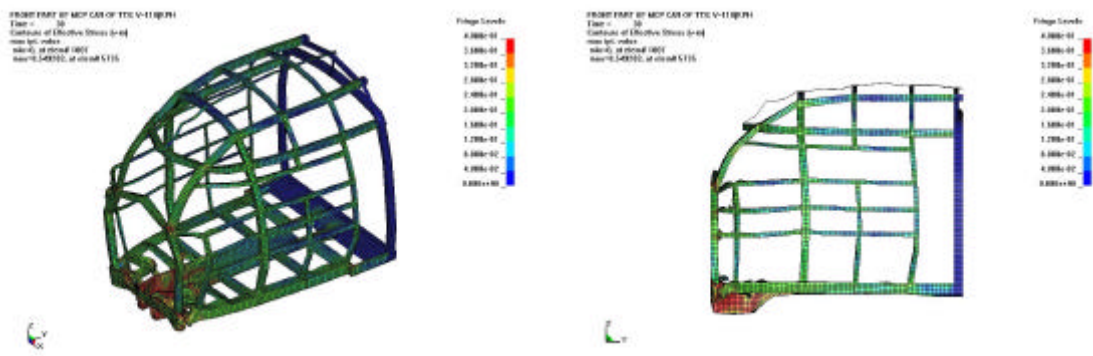


그림 4 충돌 후 30 msec에서 변형 및 응력 분포

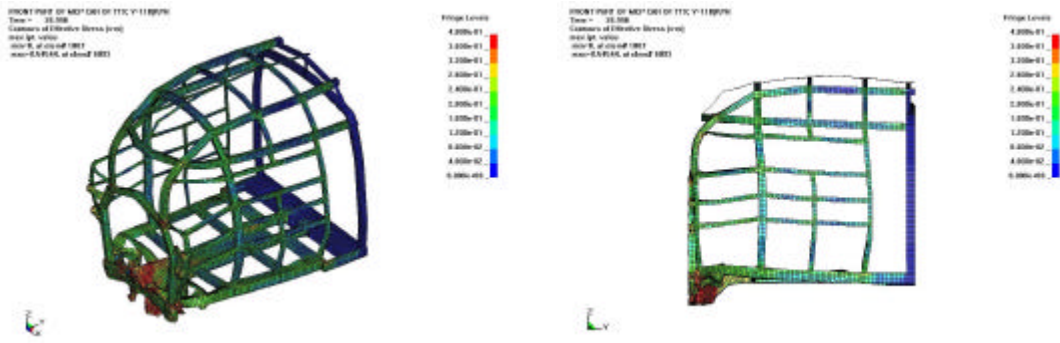


그림 5 충돌 후 40 msec에서 변형 및 응력 분포

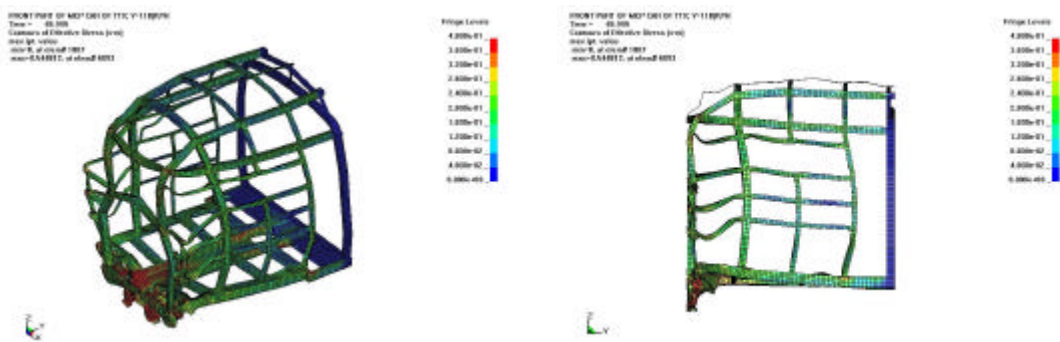


그림 6 충돌 후 50 msec에서 변형 및 응력 분포

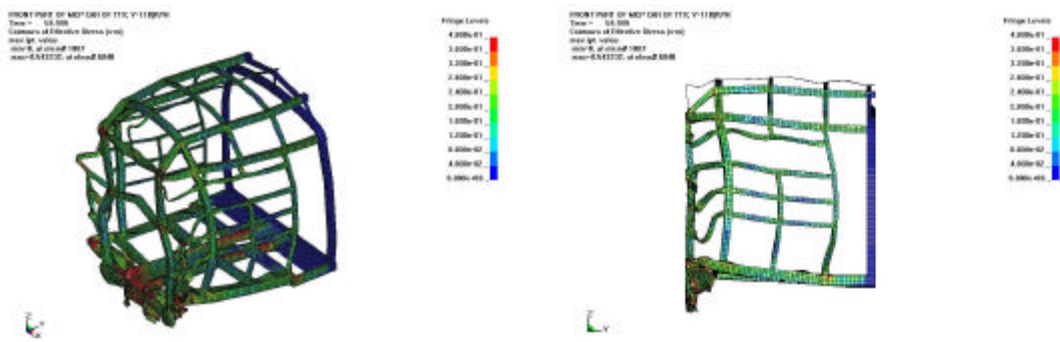


그림 7 충돌 후 60 msec에서 변형 및 응력 분포

전두부 언더프레임을 전두부 선단, 전두부 중간, 전두부 후부로 편의상 분류하여 변형양상을 고찰하면, 전두부 선단까지의 변형($t=20\text{mm}$)은 순차적 붕괴의 바람직한 형태를 유지하고 있다. 뒤쪽 구조에 영향을 적게 주면서 국부적인 압괴로 에너지를 흡수하는 형태로 보인다.

또한, 전두부 중간까지의 변형($t=60\text{mm}$)도 순차적 변형양상을 보이면서 전두부 후부는 크게 압괴되지 않는 형태를 보이고 있다. 이것은 전두부 중간부가 운전석 공간이 아니라면 바람직한 설계형태라 할 것이다. 그러나, 전두부 중간부분은 운전석이 있는 공간으로 운전자의 안전을 위해서는 전두부 중간부분의 강성을 크게 하여 최대한 변형이 생기지 않도록 유지하면서 먼저 전두부 후부가 집중 변형되어 에너지를 흡수하는 구조가 되도록 하는 것이 바람직 할 것

이다. 전두부의 앞쪽부터 순차적 붕괴라는 관점에서 보면 변형형상은 적절한 것으로 판단된다.

2.4 충돌해석결과

일단, 수치해석결과의 신뢰성을 살펴보기 위해 에너지의 균형을 체크해 보았다. 그림 8에서 보듯이, 운동에너지와 내부변형에너지가 변하더라도 전체에너지는 일정하게 유지되므로, 해석결과의 신뢰성을 위한 필수조건은 만족하고 있는 것으로 판단된다.

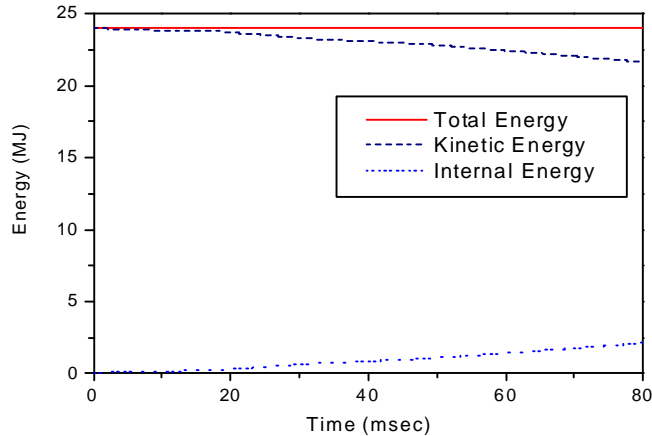


그림 8 에너지 균형 선도

그림 9는 압괴량에 따른 압괴하중의 변화를 도시한 것이다. 이를 살펴보면 전두부 선단에서 전두부 중간으로 붕괴가 진행되면서 초기붕괴력이 증가된다. 평균압괴력을 살펴보면, 전두부 선단은 532 kN으로, 중간이후는 1354 kN으로 압괴력이 차이가 나도록 되어 있어 전두부 선단이 붕괴할 동안은 전두부 뒤쪽이 변형이 거의 없는 형태로 충돌안전도 관점에서 바람직하게 보인다. 이와 같은 붕괴를 통하여 전두부 구조가 흡수할 수 있는 에너지는 약 2MJ이상이 되는 것으로 나타났다.

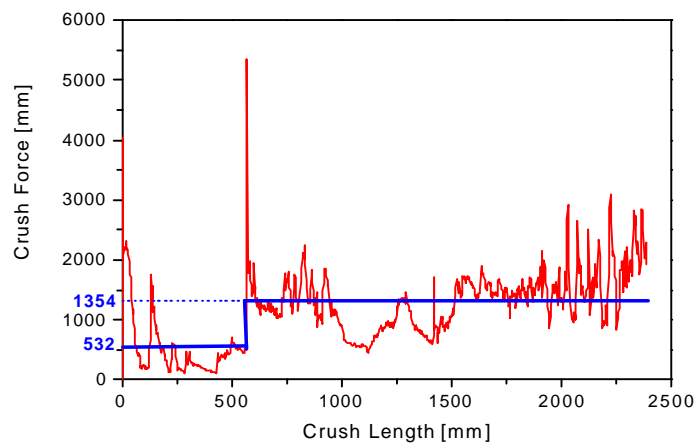


그림 9 전두부 압괴량에 따른 압괴하중

3. 결 론

3.1 고찰

전반적으로 붕괴형태는 순차적으로 일어나는 좋은 양상을 보이거나, 운전자 공간이 보호되어야 하는 관점에서 보면 충돌안전도 확보에서 재고되어야 할 점이 있는 것으로 보인다. 이것은 차체설계가 초안이라는 점을 감안하여, 향후 운전석 공간이 확정되는 대로 운전석 공간의 강성을 강화하고 전두부 후부 쪽의 압괴모드를 제어하여 전두부 후부가 먼저 붕괴되도록 하는 설계변경이 필요한 것으로 보인다. 또한, 차체설계의 미완으로 전두부 골조, 전두부 셸 구조 등의 설계가 완성되면, 엄밀한 해석결과는 다른 양상을 보일 것으로 보인다. 본 논문에서는 언더프레임만을 중심으로 대체적인 변형양상을 파악하여 그 문제점을 사전에 파악하여 보았다.

3.2 향후 할 일

우선, 충돌안전도 관점에서 운전자의 생존공간확보가 가장 시급한 것으로 보이며, 이를 위해 전두부에 대한 재설계 및 충돌안전도의 재평가가 이루어져야 한다. 또한, 충돌에너지 흡수기능을 가진 연결기에 대한 연구와 전두부 골조구조의 완성된 형태에 따른 충돌안전도 설계의 세부적인 변경에 대한 연구가 앞으로 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 철도청 철도기술연구개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. ADT/SOR, "SAFETRAIN Train Crashworthiness for Europe" Final Report (2001).
2. R. A. Smith , "Crashworthiness Moves from Art to Science," Railway Gazette International, pp.227-230 (1995).
3. , " ; (1998).
4. , " ; (1999).
5. , " ; (2003).