

TGV의 충돌 안전도 설계와 연구동향 분석



구 정 서

(KIMM 신교통기술연구부)

- '95. 2 KAIST 기계공학과(박사)
- '87. 3-91. 2 KIST 기계시스템실 연구원
- '91. 3-현재 한국기계연구원 선임연구원
- '96. 9-97. 9 Alsthom(프) TGV기술이전 연수



송 달 호

(KIMM 신교통기술연구부)

- '68. 2 서울대학교 기계공학과(학사)
- '75. 2 서울대학교 기계공학과(석사)
- '86. 10 Lehigh University, Pa, USA(박사)
- '87. 3-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 충돌안전도 설계의 개요

열차 운행 시, 충돌/탈선 사고가 발생하여 엄청난 인적 물적 손실이 유발되기도 한다. 사고의 원인에는 차량 또는 선로 시설의 구조적 결함, 안전장치의 미흡, 열차 운행상의 부주의 등과 같이 기술적으로 원인을 제거할 수 있는 경우도 있으나, 천재지변으로 인한 지반 침하, 노선유실, 낙석, 교량유실 등의 경우나 의도적으로 사고를 유발시키기 위하여 장애물을 설치하는 경우와 같이 기술적으로 극복하기 어려운 경우도 있다. 철도 차량과 같은 대량 수송수단의 개발에서는 가상적인 사고를 상정하고 이러한 사고를 미연에 방지할 수 있도록 설계에서 반영하지만 예기치 않은 사고까지 완벽하게 방지할 수는 없다. 따라서 이러한 경우를 대비하여 사고 발생 시 인적 물적 손실을 줄일 수 있는 충돌안전도 설계기술을 개발하는 것 또한 중요성이 부각되고 있다.^[1]

충돌사고는 크게 30 km 이하의 속도로 정지하고 있는 차량과 충돌하는 경충돌과 그 이상의 빠른 속도로 충돌하는 중충돌로 나누어지며, 충돌 안전도 설계의 목표도 경충돌의 경우에는 차량의 물적 피해 저감에, 중충돌은 탑승자 보호에 초점이 맞추어져 있다. 특히 고속전철과 같이 고가의 전장품이 전후방 동력차 및 동력객차에 집중적으로 탑재되어 있는 경우에는 경충돌사고에서도 차체는 물론이고 내장품에도 많은 손상이 발생하여 큰 복구비용이 소요될 수 있다. 경충돌 사고는 많은 양의 운동 에너지가 내재되어 있지 않으므로 전두부 에너지 흡수장치와 차간 연결장치의

충격 에너지 흡수능력을 제고함으로써 용이하게 설계 목표를 달성할 수 있다. 그러나 많은 운동 에너지가 수반되는 중충돌사고의 경우에는 차체 설계시, 큰 물적인 피해를 감수하더라도 탑승자가 있는 부분과 없는 부분의 압괴강도를 차등으로 배치하여 최대한 인명 피해를 줄일 수 있도록 설계를 구현하는 것이 중요하다.

중충돌사고에서 인명의 손상을 최소화하기 위하여 다음의 4가지 설계요건이 고려되어야 한다.

- 생존공간 - 탑승 공간을 이루는 차체구조가 충분한 압괴강도를 갖지 못하는 경우, 중충돌사고가 발생하면 탑승자는 붕괴된 차체구조에 함께 압괴되어서 생존할 수 있는 공간을 확보할 수가 없다. 따라서 탑승 공간의 압괴강도는 비탑승공간에 비하여 상대적으로 높게 설계되어야만 사고 발생시 탑승자가 생존공간을 확보할 수 있다. 이러한 구조설계 개념은 전복사고에 대해서도 적용되어야 하며, AMTRAK에서는 측벽과 지붕구조의 압괴강도에 대하여 일정한 설계기준을 규정하고 있다.^[2]
- 2차충돌 저감 - 철도차량이 다른 차량 또는 장애물과 충돌하면 탑승자는 차량에서 발생하는 감속속도에 의하여 전방에 있는 객실 내장품들과 2차적인 충돌을 하게 된다. 이 2차충돌에 의하여 발생하는 인명 피해를 저감하려면 객실 내장품들의 설계개선이 필수적인데, 부상을 유발할 수 있는 모서리 부분의 완화설계, 의자의 fixture 및 recliner의 충격강도설계, 의자의 배열, 목받이, 테이블, 수화물 저장소 등에 대한 세심한 부상저감설계가 필요하다. 또한 충돌사고시 부상의 위험이 가장 높은 운전자를 보호하기 위하여 안전벨트, 에어백, 후퇴 가능한 의자, 또는 긴급대피 공간 등 다각적인 안전확보 대책이 강구될 수 있다.
- 침투방지 - 사고로 인하여 발생하는 뾰족한

구조물 잔해나 비행하는 파편 등으로부터 탑승자를 보호하려면 전면창, 객실창, 운전실 전방구조 등이 어느 정도 이상의 침투방지 능력을 가져야 한다. 또, 차량내부에 중량이 큰 설치물(전장품 등)이 탑재되는 경우에도 충돌사고에 의하여 내부 탑재물이 탑승자 공간을 침투하지 못하도록 설계하여야 한다. 이러한 내부 또는 외부물체의 침투에 대한 파손강도는 높을수록 좋지만 기술적으로 어려움이 있으므로 적절한 설계기준을 정하여 대처하여야 한다.

- 탈출대책 - 사고발생시 내부의 탑승자가 용이하게 탈출할 수 있고 외부에서 구조작업을 신속하게 진행할 수 있도록 사고 후에도 작동할 수 있는 비상탈출구, 탈착 또는 파손 가능한 창문, 일부를 쉽게 절단하여 제거할 수 있는 지붕구조 등의 여러 가지 탈출대책이 강구되어야 한다.

충돌 안전도 설계는 앞에서 언급한 4가지 설계요건을 최대한 잘 만족시킬 수 있는 차체구조 개발, 에너지 흡수장치 개발, 차간 연결장치 개발, 객실 내장품 개발, 운전자 보호장치 개발 등을 주요 목표로 한다. 특히, 전체 차량의 동력학적 거동 해석 기술을 이용하여 충돌 또는 탈선에서 유발되는 전복, jackknifing(단위 차량간의 측방향 좌굴), overriding(차량간의 타고오름) 현상 등을 규명하고 이러한 현상을 방지할 수 있는 충돌에너지 흡수구조와 차간 연결장치를 개발하는 것이 위의 4가지 설계요건을 만족시키는데 핵심적인 사항이다.

2. TGV의 사고분석

프랑스에서 TGV는 대도시 근교의 기존 선로 구간을 많이 운행하고 있으므로 교차로에서 화물차와 충돌하는 사고가 빈번하게 발생하고 있

으며, 가끔 낙석이나 철도방해 공작으로 설치된 장애물과 충돌하는 사고도 보고되고 있다. 이러한 프랑스 충돌사고의 특징은 대구-부산 구간에 대하여 기존노선을 전철화하여 사용하려는 우리에게도 충돌사고에 대한 안전 확보 및 방지 대책을 강구하는 측면에서 참고할 바가 많다고 생각된다.

다음은 1985년 이후 프랑스에서 발생한 주요한 충돌/탈선사고를 요약한 것이다.

- 테러사고 - 1986/3/17, Paris-Lyon 구간의 고속전철 전용선을 운행하는 도중에 TGV 객차 출입구의 화물 선반에 설치된 폭발물이 터지는 사고가 있었다. 이 사고에서 사망자는 없었으나 10명의 승객이 부상하였다. 그러나 열차는 폭발에 의하여 차체가 크게 파손되었음에도 불구하고 비상제동을 사용하여 안전하게 정차하였다.
- 1990/7/22, Paris-Nice 구간의 소릴르뵕 지역에서 테러를 목적으로 설치된 250 kg의 철재 장애물과 충돌하여 탈선하는 사고가 있었다. 다행히 이 TGV는 고속전철 전용 구간이 아닌 기존 선로를 달리고 있었으므로 속도가 130 km/h에 불과하여 큰 인명피해가 발생하지 않았다.
- 낙석사고 - 1987/2/2, Ternay 지방, 600 kg의 암석이 철로 위에 떨어져 TGV와 충돌하는 사고가 발생하였다. 동력차의 대차가 파손되어 이탈되었으나 차체는 선로 상에 정지하였고 인명피해도 없었다.
- 건널목사고 - 1988/9/23, Grenoble-Paris 구간의 Voiron 지역에서 TGV-PSE가 110 km/h의 속도로 80 ton의 특수화물차량과 충돌하여 운전자와 승객 1명이 사망하고 60명이 부상하는 대형사고가 발생하였다. 이 사고에서 부상자가 많이 발생한 것은 충돌에 의하여 발생한 파손과 파편에 의하여 첫 번째 객차가 절개된 때문이었다.

이 충돌사고에서 전두 동력차는 탈선하였으나, 나머지 차량은 철로 위에 정지하였다. 사고 후 이 열차의 동력차는 폐기되었고, 일부 객차는 다른 TGV-PSE 열차의 보조객차로 활용되었다. 이 사고는 현재까지 발생한 TGV 사고 중에서 가장 심각한 사고였으며, 이후 TGV-Duplex나 TGV-NG의 안전도 설계, 시험, 평가에 대한 중요한 기준이 되고 있다. 이후 개발된 차량에서는 객실에 손상을 주지 않고 충격에너지를 흡수할 수 있도록 동력차 전후방과 동력객차의 전방에 압괴 영역을 설정하는 본격적인 충돌안전도 설계가 이루어지고 있다.

- 1995/8/10, Paris-Brest 구간의 Vitre 근방에서 TGV-Atlantique가 140 km/h의 속도로 농업용 트랙터의 트레일러와 충돌하는 사고가 발생하였다. 이 사고에서 열차는 탈선하지 않았고, 비상제동으로 1.6 km 전진한 후 정차하였다. 선두 동력차의 전두부가 상당히 손상되었으나 부상자는 2명뿐이었다.

- 1997/9/25, Paris-Dunkerque 구간의 Bierne에서 TGV-Reseau가 130 km/h의 속도로 아스팔트 포장용 특수차량과 충돌하는 사고가 발생하였다. 선두 동력차는 충격력에 의하여 좌측으로 탈선하여 철로의 제방에 정지하였고, 후방 4량의 객차도 탈선하였는데 관절형 대차의 덕분에 전복된 객차는 없었다. 이 사고로 운전자를 포함하여 7명이 부상하였다. 그림 1~4는 사고현장의 전체적인 모습, 객차 후방에서 본 모습, 전두부 모습, 전두 동력차의 후위 모습 등을 보여주고 있다.

- 1997/10/19, Brest-Paris 구간의 Neau에서 TGV-Atlantique가 140 km/h의 속도로 트레일러 차량과 충돌하는 사고가 있었다. 이 사고에서 운전자는 차량에서 탈

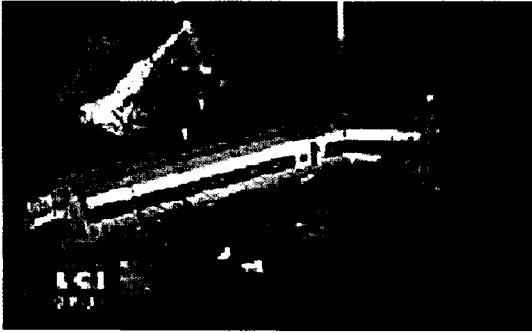


그림 1. 전체적인 사고 모습

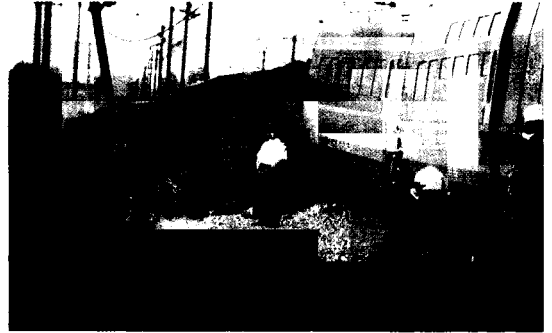


그림 2. 객차 후방에서 본 모습

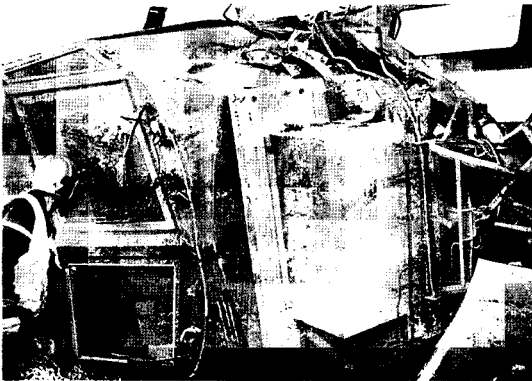


그림 3. 동력차의 전두부 모습



그림 4. 선두 동력차의 후방 모습

출하였고, 6명의 부상자가 발생하였다. 충돌에 의하여 한쪽 bogie가 탈선하고 철로와 가선이 손상을 입었다.

- 1998/5/9, Amsterdam-Paris 구간의 Hoeven 근방에서 TGV-Thalys가 건널목에서 화물차와 충돌하여 동력차와 전방 2량의 객차가 탈선하는 사고가 있었다. 화물차 운전자는 사망하였고, 열차 탑승자 6명이 부상하였다. 철도 차량은 심하게 파손되었으며, track과 가선도 손상을 입었다. 그림 5는 사고 후 파손된 전방 2량의 객차를 보여주고 있다.

- 탈선사고 - 1992/12/14, Paris-Lyon 구간의 Macon-Loche TGV역 근방 고속전철 전용선에서 TGV-PSE의 차축이 손상되어 탈선하는 사고가 있었음. 그때 열차는 270 km/h의 속도로 Macon-Loche역을 통과하

고 있었는데 탈선에 의한 파편들이 역 구내의 사람들에게 피해를 입혔다. 이 사고로 27명이 부상하였다.

- 1993/12/21, Valenciennes-Paris 구간의 Haute Picardie TGV역 근방 고속전철 전용선에서 TGV-Reseau가 294 km/h의 속도에서 탈선하는 사고가 발생하였다. 폭우로 인하여 그림 6과 같이 길이 7 m, 폭 4 m, 깊이 1.5 m의 웅덩이가 파졌는데, 열차가 그 위를 진행하면서 후위 객차 4량과 후방 동력차가 탈선하였다. 이 열차는 jackknifing 현상이나 전복이 발생하지 않고 탈선한 상태로 2.3 km를 진행하여 정차하였다. 이 사고에서 단지 1명의 부상자만 발생하였고 몇몇 사람이 정신적인 충격으로 치료를 받았다. '93/3/28, 우리나라에서 발생한 구포 무궁화 열차 전복사

고와 유사한 대형사고가 발생할 수 있는 상황에서 이 TGV는 매우 경미한 사고에 머물렀다. 이로인하여 많은 철도 전문가들로부터 찬사를 받았으며, TGV가 국내외적으로 안전도에 대한 좋은 호평을 얻는 계기가 되었다. 이 사고에서 관절형 대차의 견고한 차간 연결성이 탈선사고에서 좋은 특성을 나타낸 것으로 분석되었다.

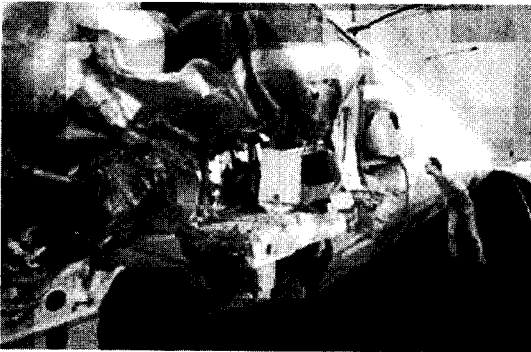


그림 5. TGV-Thalys의 사고

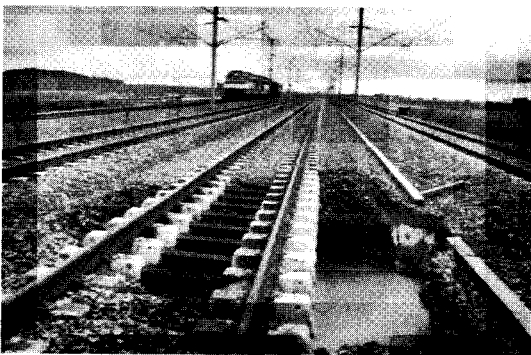


그림 6. Haute Picardie의 탈선사고

이상의 사고를 분석해보면 대부분의 충돌 사고가 고속전철의 전용선이 아닌 도시 근교의 기존선로에서 비교적 낮은 속도로 운행하는 중에 발생하였으므로 최악의 사고로 발전하지 않았다. 고속전철의 전용선을 운행하는 도중에 탈선하는 사고도 2회 있었으나, 관절형 대차의 견고한 차간연결 특성 덕분에 다행히 큰 사고가 발생하지 않았다. 그러나 대형 화물차와의 충돌사고에서는 탑승자와 철도차량이 입는 피해도 상당하였으

로, 충돌안전도를 고려한 차체구조설계 기술을 도입할 필요성이 제기되었다. 충돌안전도에 관한 기술개발에 상당한 노력을 기울인 결과, 1996년부터 상업운행 중인 TGV-Duplex와 그 이후의 신개발 차량에는 모두 충돌안전도를 고려하여 설계를 하고 있다.

3. TGV의 충돌안전도 설계 분석

TGV 중 초기 개발 차종인 TGV-PSE, TGV-Atlantique, TGV-Reseau 등은 개발 당시 충격 에너지 흡수를 고려한 차체구조의 안전도 설계를 하지 않았으나, 빈번하게 발생하는 장애물과의 충돌사고에서 운전자를 보호하기 위하여 운전실 전방에 알루미늄 하니콤과 알루미늄 shield를 배치하여 충돌시 운전실을 향하여 튀어 오르는 장애물의 운동에너지를 흡수할 수 있도록 하였다. 그리고 충돌사고시 매우 위험한 사고 메카니즘이라고 할 수 있는 타고오름 현상(인접한 차량 상호간에 작용하는 하중 작용점이 불일치하여 한 쪽 차량의 하부구조가 다른 쪽 차량의 측벽을 절단하면서 객실공간을 침범하는 현상)을 방지하기 위하여 사이드 버퍼에 anti-climbing device를 설치하였다. 경부선에 도입될 TGV-K 차량의 경우도 차체구조의 안전도 설계는 초기 개발 차종과 같은 범주에 속한다. 그림 7은 TGV-K의 충돌사고 안전도를 제고하기 위하여 운전실 전면에 취부한 하니콤, 알루미늄 shield 등 전두부 충격 흡수장치를, 그림 8은 동력차 후방과 동력객차 전방에 설치된 anti-climbing grip을 가진 사이드 버퍼를 나타낸 것이다.

SNCF는 초기에 개발된 TGV 모델들을 운행하면서 빈번하게 발생하는 충돌 사고로부터 탑승자와 차량을 보호하고 피해를 저감시키기 위하여, 충돌안전도 설계기술을 90년대 초에 개발하기 시작하여 1996년부터 상업운행 중인 TGV-Duplex의 구조설계에 본격적으로 적용하였다. 이

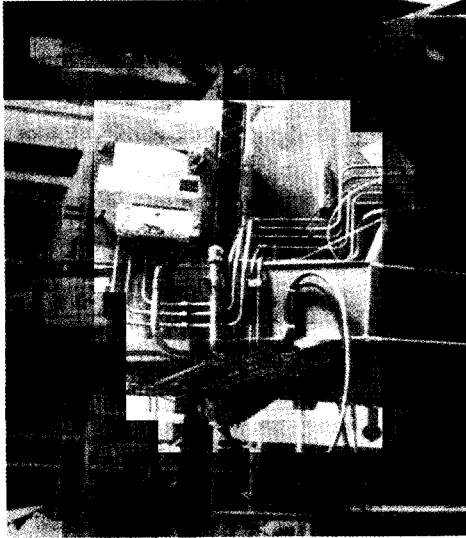


그림 7. TGV-K의 에너지흡수장치

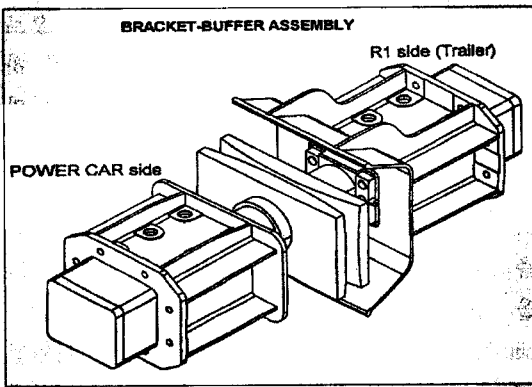


그림 8. 타고오름 방지용 사이드 버퍼

를 위하여 SNCF, GEC Alstom, ESI, INRETS, 대학(ECN, Valenciennes University) 등이 유기적으로 협조하여 8년(1990-1997)에 걸쳐 COLFRONT^[3]라는 연구과제를 수행하였다. 이 연구를 통하여 전체차량의 충돌거동 해석과 안전도 설계 기술, 각 단위 차량 및 주요 부재의 에너지 흡수 능력 향상 설계, 신소재 응용기술, 연결기 부품의 안전도 설계 기술, 승객의 충돌거동 해석기술과 의자 등 내장부품의 안전도 설계 기술, 축소모형 및 실차의 시험 평가 기술 등을 개발하였다. 최근에는 그 동안 개발된 기술을 활용하여 프랑스의 차세대 고속전철인 TGV-

NG, 미국에 공급예정인 American Flyer (Boston-Washington: North East Corridor), TGV-Texas, TGV-Florida 등의 신개발 고속전철차량과, New Generation Locomotive, 경전철(TER X7250) 등 기존 철도 차량의 안전도 설계에 폭넓게 활용하고 있다.

SNCF와 Alstom 에서는 향후 철도차량의 차체구조 설계에서 가장 중요한 핵심 기술이 경량화와 더불어 충돌 안전도 설계가 될 것이라고 전망하고 있으므로 개발된 기술을 보호하기 위하여 세심한 노력을 기울이고 있다. 현재까지 프랑스에서는 충돌안전도를 고려하여 여러 차종의 열차를 개발하였음에도 불구하고 홍보 차원에서 꼭 필요한 극히 제한적인 자료만을 외부에 발표하고 있으므로 충분한 기술정보를 획득하는데 난점이 있다. 그러나 충돌안전도 설계 기법이 처음으로 적용된 TGV-Duplex에 대해서는 비교적 공개된 자료^[4]가 많으므로 이 차량에 적용된 충돌 안전도 설계기술들을 중심으로 살펴본다.

TGV의 충돌 안전도 설계에 대한 구체적인 필요성은 1988/9/23일 Grenoble-Paris 구간의 Voiron에서 발생한 대형 충돌사고에서 제기되었고, 그 후 이 사고의 분석결과와 COLFRONT 연구 프로그램에서 개발된 결과를 이용하여 TGV-Duplex의 충돌안전도 설계를 구현하게 된 것으로 알려지고 있다. 따라서 이 설계에 사용된 충돌 사고 시나리오는 Voiron 사고와 유사한 건널목 사고를 대상으로 한 110 km/h의 속도로 15 ton의 강체 장애물과 충돌하는 것이었고, 이것은 현재 SNCF의 표준 사고 시나리오이다. 이 사고 시나리오는 개별 차량의 충격 에너지 흡수 능력이 매우 중요한 역할을 하는 열차 대 열차의 충돌 또는 추돌 사고와 달리, 동력차 전두부와 후미구조, 첫 번째 객차의 전방구조, 운전실 구조, 연결기 부품 등에 대한 충격 에너지 흡수 설계가 중요한 포인트가 된다. 실제로 TGV-Duplex는 운전실의 압괴강도를 대폭 강화하고(5000 kN까지 탄성변형), 전두부 헤드스톡, 에너

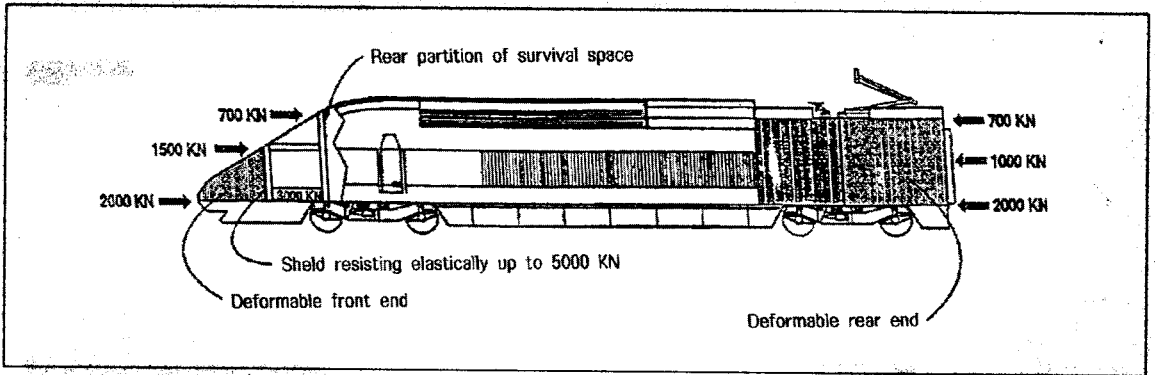


그림 9. TGV-Duplex 동력차의 안전도 설계 개요

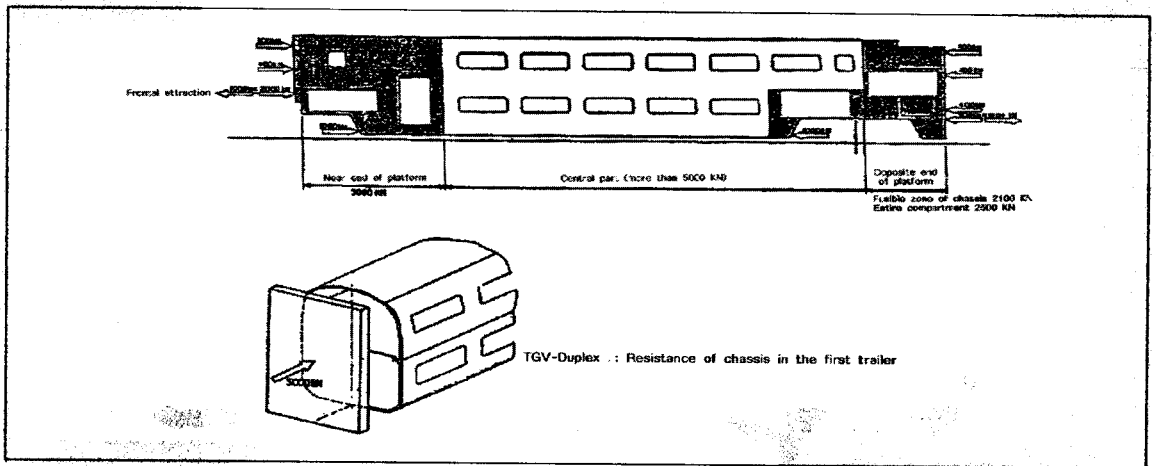


그림 10. TGV-Duplex 첫 객차의 안전도 설계 개요

지 흡수 부품 등의 에너지 흡수 능력을 제고하여 동력차 전두부의 에너지 흡수 능력을 6 MJ로 향상시켰으며, 운전실의 후방에도 압괴영역을 설정하였다. 이것은 현재 운행 중인 열차 중에서 최고 수준의 에너지 흡수 능력을 가진 것이다. 또한 동력차 후방과 첫 번째 객차 전방에 특수한 구조부재를 개발 적용하여 에너지 흡수 능력을 대폭 향상시켰고, 동력차와 첫 번째 객차를 연결하는 연결장치에도 타고오름 방지 장치(anti-climbing device)와 충격 에너지 흡수 기능을 보강하였다. 그림 9와 그림 10은 동력차와 첫 객차에 TGV-Duplex의 충돌안전도 향상을 위한 개념 설계를 나타낸 것인데, 운전실과 객실을 강한 내충돌 구조로 바꾸고 각 차체 양 끝단에 에

너지 흡수 영역을 배치한 것이 특징이다. 그림 11은 첫 객차의 전방에 위치하는 에너지 흡수 구조의 성능을 제고하기 위하여 특수하게 고안된 구조이다. 그림 12는 충돌 사고가 발생하였을 때 승객의 2차충돌 거동을 예측하기 위하여 유한요소 해석을 수행한 결과이다. 그림 13은 충돌 해석 전용 소프트웨어인 PAM-CRASH를 사용하여 동력차를 50만 개의 요소로 모델링하여 해석한 결과이다. 그림 14는 시제차를 제작하여 40 km/h의 속도로 실차 시험을 실시한 모습을 보여주는데, 이 시험은 다른 구조 시험을 모두 실시한 후 최종적으로 수행하게 된다. 그림 13의 시뮬레이션 결과와 그림 14의 시험 결과는 상당히 잘 일치하는 것으로 알려지고 있으며, 지금은

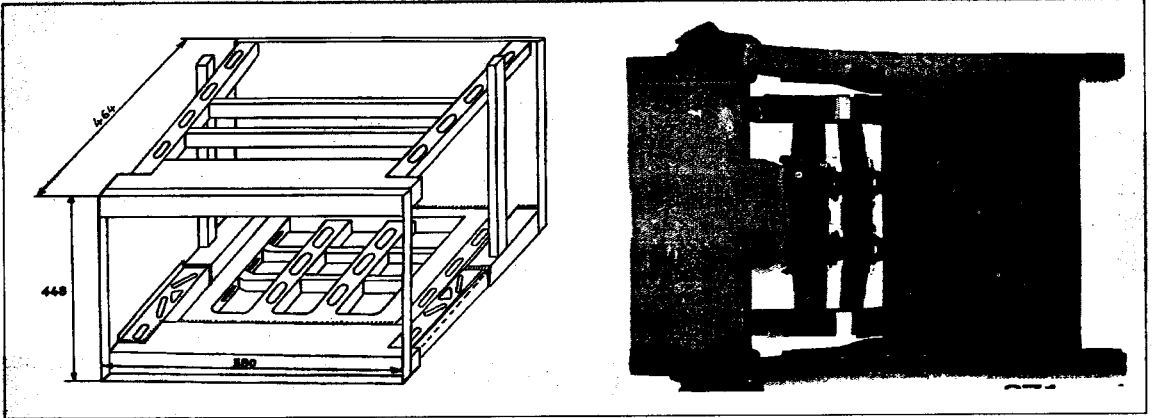


그림 11. TGV-Duplex 첫 객차의 전방 에너지 흡수구조

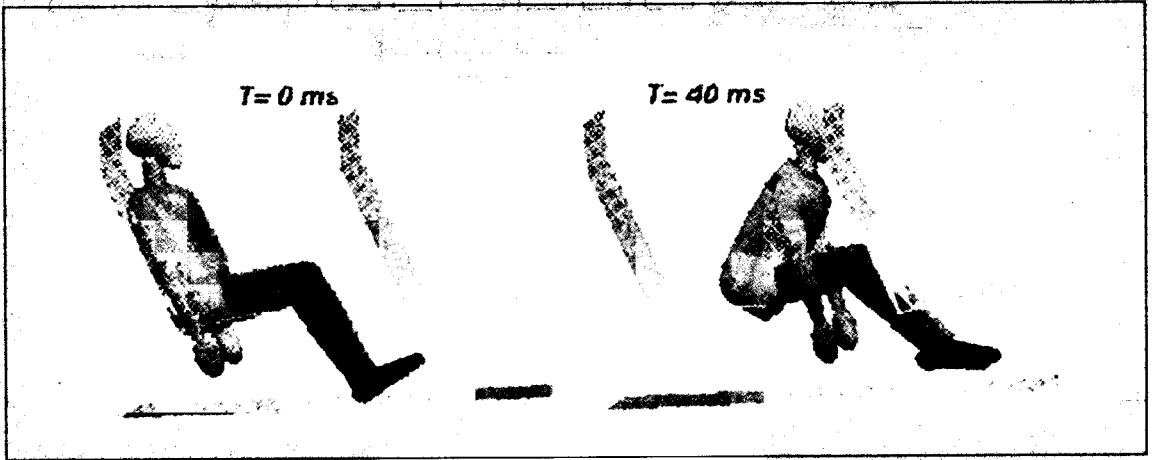


그림 12. 승객의 2차 충돌 해석

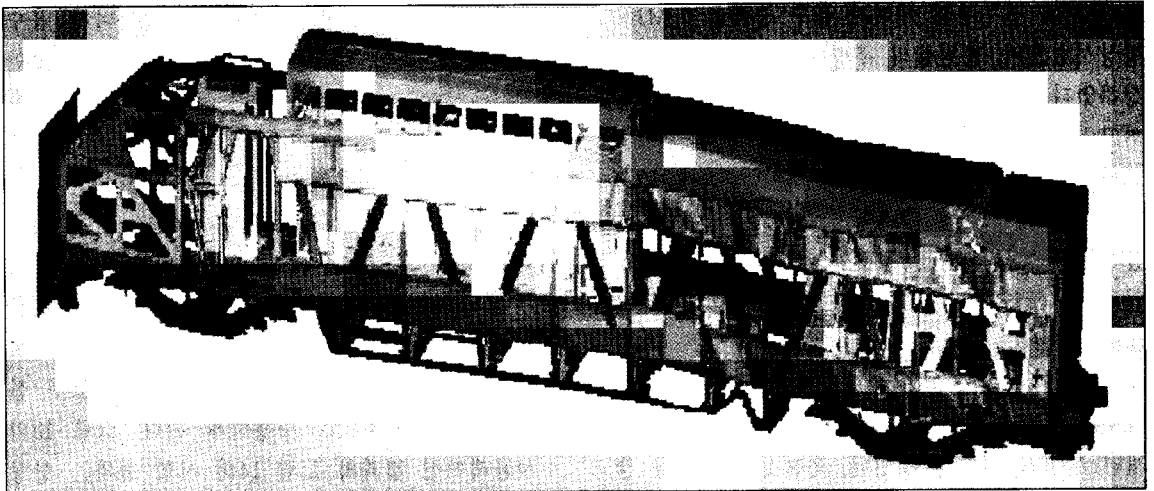


그림 13. TGV-Duplex 동력차의 충돌해석

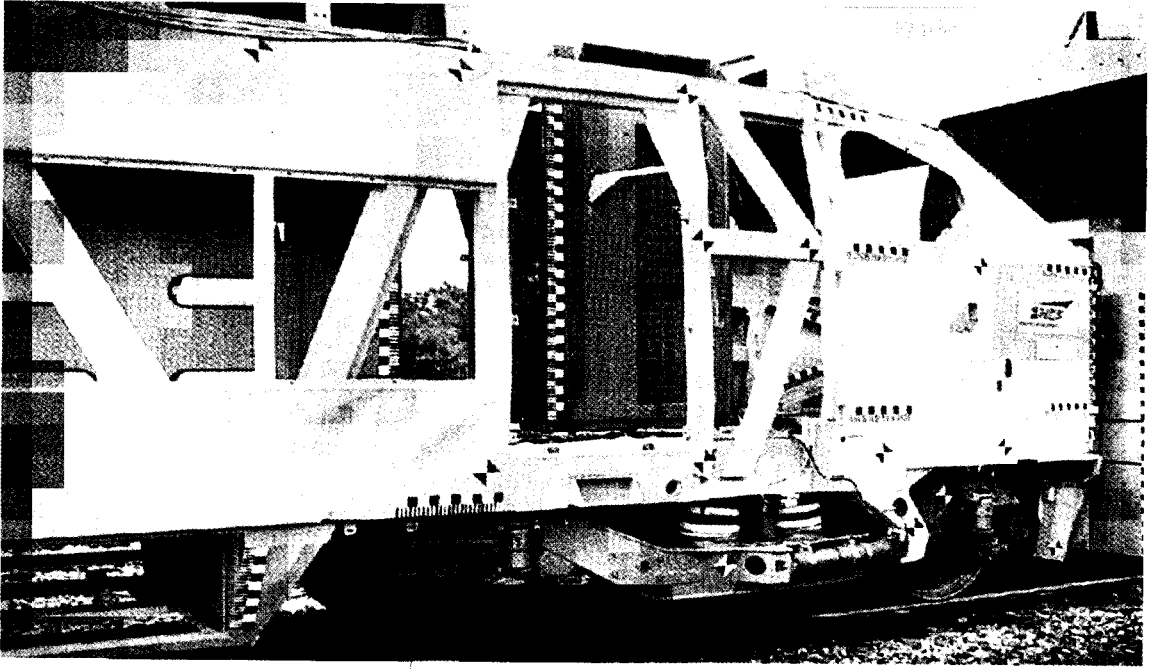


그림 14. TGV-Duplex 동력차의 충돌시험

충돌설계에서 유한 요소 해석기법을 대단히 중요한 수단으로 활용하고 있다.

4. 국내의 연구동향

그 동안 국내 철도 차량업체에서는 말레이시아, 태국, 싱가포르 등 동남아 국가들이 발주하는 수출 차량에 대하여 충돌 안전도 설계 평가 자료를 요구받는 사례들이 있었으므로 연구의 필요성은 느끼고 있었으나, 차량제작의 대부분을 차지하는 국내 발주 물량에는 충돌 안전도 설계에 관한 요구가 없었으므로 본격적인 연구 개발에 돌입하지 못하고 있었다. 그러나 최근에 고속전철 도입과 함께 일부 핵심기술이 이전되었고, G7 과제를 통하여 차세대 한국형 고속전철 개발에 충돌 안전도 설계를 적용하는 연구가 진행되고 있는 등 충돌안전도 설계에 대한 기술개발 활동에 활기를 띠고 있다. 이 G7 연구개발 사업의 충돌안전도 기술개발과제^[5]에는 Alstom으로부터 이 분야의 기술을 이전 받아서 주도적으로

연구를 수행하고 있는 한국기계연구원 신교통기술연구부를 비롯하여, 자동차의 충돌 안전도 분야에 경험이 있는 서울대, 강원대, 국민대, 한국기술교육대 등이 참여하고 있다. 이 과제의 참여기업인 대우중공업, 한진중공업, 현대정공 등 철도차량업체는 고속전철 뿐만 아니라 도시철도차량, 국철 차량의 충돌안전도 해석기술 확보에 많은 관심을 가지고 있다. 또한 향후에는 G7과제에서 안전도 설계를 고려한 차량을 개발한 후 성능을 시험 평가하기 위하여 한국철도연구원과 긴밀한 협조 관계를 유지하며 연구를 수행할 예정이다.

그러나 현재까지는 사고 시 철도승객 및 운전자의 안전을 확보하는 기술을 개발적용할 수 있는 국내여건이 미비하여 국내에서 운행 중인 철도차량에 충돌사고에 대한 안전이 고려된 차량이 전혀 없는 실정이다. 지난 6월 3일에는 독일의 고속전철인 ICE가 탈선하여 후방객차들이 선로를 가로지르는 고가도로의 교각과 충돌하는 최악의 사고(그림 15 : jackknifing 현상을 나타내

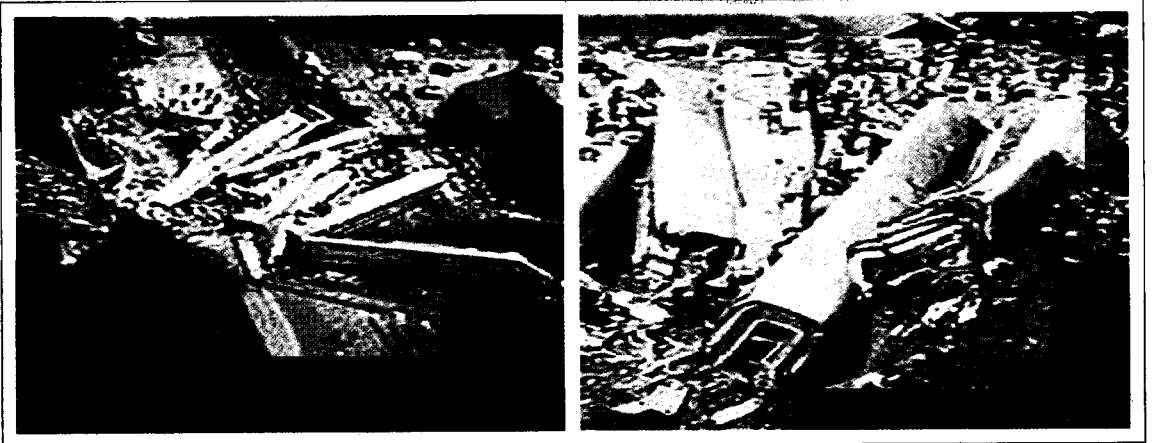


그림 15. ICE의 충돌사고

고 있는 ICE)가 발생하여 철도 차량의 안전도에 관한 일반의 관심이 높아지고 있다. 따라서 국내에서도 철도차량 사고시에 안전도를 향상시킬 수 있는 충돌사고 시나리오를 포함한 설계 가이드라인과 설계 사양을 제정하여 운전자와 승객의 안전을 제고하고, 경미한 충돌사고시 차량의 보수비용을 최소화할 수 있는 대책을 마련할 필요가 있다.

5. 향후 전망

일반적으로 사람이 이용하는 수송수단의 개발에 있어서 가장 중요한 설계관점은 안전성의 확보이다. 철도 차량의 경우에는 자동차와 달리 대량의 수송 수단이고 사고 발생시 철도 운영회사 또는 차량 제작사에서 피해를 보상하여야 한다. 특히 대형사고 시에는 막대한 보상금과 더불어 사회적 파장도 매우 심각하므로 안전도 설계가 대단히 중요하다고 할 수 있다. 전번에 발생한 ICE의 사고를 분석해보면 시속 200 km/h에서 발생한 최악의 사고임에도 불구하고 사망자보다 훨씬 많은 생존자가 있었다는 사실은 차체 구조의 충돌안전도 설계에 대한 필요성을 역설적으로 말해 주는 것이라 하겠다. 앞에서 소개한 Haute Picardie 지역에서 발생한 TGV의 탈선사

고는 294 km/h의 속도에서 유실된 철로 위를 주행하였음에도 불구하고 경미한 피해만 발생하여 전 세계의 찬사를 받고 TGV의 안전도에 대한 이미지를 획기적으로 제고시킨 사례가 있는 반면, 지난 번 ICE 사고는 인적 물적 피해뿐만 아니라 제품에 대한 신뢰도와 이미지 측면에서 치명적인 손실을 입었음을 상기하면 사고시 안전도를 확보하기 위한 노력이 얼마나 중요한지 알 수 있다.

철도차량의 충돌 안전도 설계는 일반인의 인식과 달리 아주 경제적이고, 그 효과가 큰 것으로 알려지고 있다. 이것은 철도 차량의 충돌에 많은 양의 운동 에너지가 관련되어 있기는 하지만 객차 앞부분에 위치하는 동력차나 기관차와 같이 승객이 탑승하지 않는 차량이 있고 이 차량들의 변형 에너지를 이용하면 승객에게 미치는 충격가속도를 크게 감소시키면서 운동 에너지를 용이하게 흡수할 수 있기 때문이다. 그러나 충돌하는 앞부분에 탑승하고 있는 운전자에게는 상당히 위험한 사고가 발생할 수 있으므로 운전실 내의 비상대피소나 운전자 보호 장구 등을 개발하여 그 위험도를 저감할 수 있는 방안들이 강구되어야 한다. 선진국에서는 충돌안전도 설계에 대한 기술축적과 함께 그 효과와 경제성을 충분히 인식하고 있으므로 철도 차량의 표준설

계 규정(UIC 규정 등)에 포함시키는 작업을 진행하고 있다.

작년 9월 8일 프랑스의 아키텐 지방에서 지역 급행열차가 탱크로리와 충돌하여 13명 사망에 40여명이 부상한 사고가 있었다. 이러한 일반열차에서의 사고는 고속전철 사고와 비교하면 사회적 파장은 작은 편이지만, 오히려 피해의 정도가 큰 경우도 있고 발생 빈도는 훨씬 높아서 일반 철도차량의 충돌 안전도 설계도 초미의 관심사가 되고 있다. SNCF에서도 최근에 설계하는 일반 철도차량에 대하여 SNCF 사고 시나리오를 만족시킬 수 있는 설계를 요구하고 있다. 또한 영국의 BR은 십수년 전부터 일반 철도차량의 충돌안전도 설계/평가 기술을 연구 개발하여, 현재는 실차 설계에 적용하고 있다.^[6] 미국 역시 1970년부터 FRA(Federal Railroad Administration)를 중심으로 철도차량 안전에 대하여 많은 노력을 기울여 왔으며, 이에 부응하여 AMTRAK은 철도차량의 엄격한 충돌 안전도 설계 기준을 제정하여 국내 제작 차량은 물론이고 외국 수입 차량에 대해서도 이 기준을 만족시키도록 요구하고 있다. 그 동안 이 분야의 연구에 비교적 소극적이었던 독일의 DB^[7]와 일본의 RTRI^[8]도 최근에는 국내 안전도 설계에 대한 인식의 제고와 해외 수출 물량에 대한 안전도 설계 요구에 대응하기 위하여 적극적으로 연구를 수행하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서도 향후 예상되는 철도차량의 충돌 안전도 설계에 대한 기술적 환경의 변화에 적극적으로 대처하기 위하여 이 분야의 연구에 많은 노력을 경주

할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. A. Smith, Crashworthiness moves from art to science, Railway Gazette International, April, 1995, pp.227-230.
- [2] E. J. Lombard, Amtrak's high speed trainset program, 1995 IEEE/ASME Joint Railroad Conference, 1995, pp.1-7.
- [3] L. T. Kisielewicz and K. Ando, Crashworthy rolling stocks, PUCA' 93, pp.73-81.
- [4] L. M. Cleon, Tolerance a la collision des materials ferroviaires: optimisation de la securite passive des structures de vehicule, WCCR' 94, pp.885-891.
- [5] 구정서, 송달호 외 7, 충돌안전도 해석기술 개발(2차년도 연차보고서), 한국기계연구원, 1998, 10.
- [6] A. Scholes and J. H. Lewis, Development of crashworthiness for railway vehicle structures, IMechE, Proc Instn Mech Engrs, Vol.207, 1993, pp.1-16.
- [7] H. Waldeck, Crashworthiness simulations of the ICE power unit, KRUPP notes, 1995, pp.975-983.
- [8] 小美濃 幸司, 衝突時 乗客 舉動豫測, RRR, April, 1997, pp.28-31.