

## 고속 열차의 충돌 안전도 해석기술 현황



'83. 2 단국대학교 공과대학 기계공학과(학사)  
'85. 2 단국대학교 대학원 기계공학과(석사)  
'89. 9 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

김 유 일 (KIMM 신교통기술연구부 수송기계그룹)



77. 2 서울대학교 공과대학 기계설계학과(학사)  
'90. 8 창원대학교 대학원 기계공학과(석사)  
'96. 9 Ecole Central de Nantes(박사)  
'00. 1 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

김 동 성 (KIMM 신교통기술연구부 수송기계그룹)



'88. 2 서울대학교 공과대학 기계공학과(학사)  
'75. 2 서울대학교 대학원 기계공학과(석사)  
'86.10 Lehigh University, Pa, USA(박사)  
'87. 2 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

송 달 호 (KIMM 신교통기술연구부 수송기계그룹)



'94. 2 인하대학교 공과대학 기계공학과(학사)  
'96. 8 인하대학교 대학원 기계공학과(석사)  
'96. 9 - 현재 한국기계연구원 연구원

노 규 석 (KIMM 신교통기술연구부 수송기계그룹)

### 1. 서론

자동차와 항공기에 의한 여객 및 화물 수송수단의 발달과 더불어 철도는 20세기 후반으로 들어오면서 사양길에 접어든 것으로 인식되었다. 그런데 20세기 후반부터 급격한 산업화와 가속화된 도시의 인구 집중현상으로 인하여 도시간의 교통량이 급속도로 증가함에 따라 도로 교통량이 한계에 도달하고 자동차 및 항공기에 의한 교통수단의 단점이 부각되었다. 특히, 자동차의 급증으로 인한 교통 체증과 배기가스 및 소음 등의 환경공해는 물론 교통사고에 의한 인명 및 경제적, 사회적 손실 등의 문제가 전 세계적으로 심각한 문제로 등장하였다. 철도는 정시성, 안전성, 대량 수송성, 에너지 절감성, 저공해성, 고속성과 아울러 쾌적한 대중교통수단으로서 새로운 관심을 끌게 되었다. 그 결과, 고속전철이라는 새로운 교통수단의 탄생을 보게 되었다.

고속전철의 경우 항공기와 같이 비록 사고의 빈도는 작지만 일단 사고시는 많은 인명과 재산의 손실을 입는 대형 사고의 형태이고 그 여파로 인해 국가적, 사회적인 후유증이 심각하다. 고속전철을 자체 개발하여 상용화한 선진국들은 고속전철의 충돌사고시 승객의 안전도를 확보하기 위한 연구가 지난 수십년전부터 꾸준히 진행되어 이미 새로운 고속전철의 모델링 및 개념설계 단계에서부터 충돌 안전도를 고려하여 제작하고 있다. 이러한 철도시스템 설계의 근본적인 원칙은 적극적 안전성 즉 충돌사고가 발생하지 않게 철로, 열차의 관리 및 전체 시스템의 관리를 잘하므로써 사고를 최소화하는데 있다. 그러나, 철도시스템에 의해 완전히 통제하기 어려운

상황들에 기인해서 충돌이 있을 경우 발생하는 승객과 승무원의 상해를 최소화 시키기 위해 차량의 소극적 안전성을 고려함으로써 철도의 안전성을 상당히 향상시킬 수 있다. 이러한 목적을 위해 충돌에 대한 종합적이며 집중적인 연구가 필요하다.

## 2. 충돌 안전도 해석기술의 중요성

2000년대 산업 경제적 발전과 복지사회 구현을 위하여 범국가적인 교통체계 완비와 더불어 교통수단의 경제성, 신속성, 안전성, 쾌적성 등을 고려한 기술의 첨단화가 매우 중요하게 부각되고 있다. 우리나라에서도 낙후된 교통체계를 고도화하기 위하여 2002년 완공을 목표로 경부고속전철 건설사업을 진행하고 있으며, 동시에 이전되는 기술을 토대로 하여 이분야의 기술을 선진국 수준으로 발전시킬 수 있도록 350 km/h 급 한국형 고속전철 기술 개발 사업에 착수하였다. 고속전철 등 철도차량의 경우, 자동차에 비하여 사고율은 매우 낮지만 일단 사고가 발생하면 대규모 참사로 이어지는 경우가 많기 때문에 향후 예상되는 철도차량의 수요증가와 더불어 고속화 경량화 추세를 감안하면 충돌시 승객의 안전을 제고하는 것은 대단히 중요한 연구과제이다.

선진국의 경우 철도차량 충돌시 승객의 안전도를 향상시키기 위한 연구가 10여년 전부터 활발히 진행되고 있었으나 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이었다. 그러나 자동차의 경우 안전도 해석 및 설계기술 개발연구가 선도 기술 개발과제로 선정되어 국가의 적극적인 지원아래 산학연 협동 연구로 진행되고 있으며 충돌안전도를 고려한 해석 및 설계 기술이 거의 자립단계에 도달해 있다. 그러나, 철도 차량의 경우 복잡한 연쇄 충돌현상과 탈선 및 튀어오름 현상(override) 등으로 인하여 자동차 분야에서 개발한 기술을 직접 적용하기 어려운 문제점이

있다. 현재 한계사항에 도달한 도로교통을 감안하면 앞으로 철도의 수송 분담율이 더욱 높아져 사고가 증가할 것으로 예상된다. 따라서 사고시 승객의 피해를 줄일수 있는 철도차량의 충돌안전도 해석 기술과 차체구조설계 기술을 확보하는 것이 절실히 요망되고 있다.

## 3. 국외 기술개발동향

### 3.1 개요

영국, 프랑스, 폴란드, 포르투갈 등 유럽공동체 소속국가들이 철도차량의 충돌안전도 연구를 가장 활발하게 진행하고 있다. 유럽철도 연구조합(ERRI) 주도하에 지난 10여년 동안 충돌안전도에 대한 적극적인 투자와 연구가 이루어져 충돌시의 동역학적 거동, 차체의 충돌 에너지 흡수 매커니즘, 차체내부 설계가 승객안전에 미치는 영향 등에 관하여 괄목할 만한 성과가 있었다.

영국의 BR 연구소는 자체적으로 수년간 수행해 왔던 연구 결과를 1985년에 발표<sup>[1]</sup>하였는데, 이것이 열차사고에 대한 최초의 연구라 할 수 있으며 에너지 흡수원리와 점진적 좌굴붕괴 양상을 설계에 응용하는 방법을 제시하였다.

거의 같은 무렵 ERRI 산하에 UIC B165 위원회가 결성되었으며 여기서 열차사고 결과에 대한 분석, 부재의 에너지 흡수 양상, 붕괴되는 구조의 이론적 해석방법 등에 대한 연구를 주도하여 실차 충돌시험까지 실시하였다. 이러한 UIC·규정에 근거하여, scholes,<sup>[2]</sup> zeevenhoo-ven<sup>[3]</sup>와 pelt<sup>[4]</sup>가 설계기준을 제안하였다. 그들은 충돌의 종류를 충격속도에 의한 측면충돌(heavy shunt), 가벼운 충돌(light collision) 및 심한 충돌(heavy collision)을 표 1)과 같이 분류하였고, 그림 1)은 이러한 분류에 의해서 규정된 충돌 변형에 관한 설계 개념을 나타낸다.<sup>[5]</sup>

표 1. 열차충돌의 종류

충돌	최대속도(m/s)/(km/h)	최대가속도(m/s <sup>2</sup> )	하중(kN)	비고
측면 충돌 (Heavy shunt)	4/14.4	30	400	견인기어에서 에너지 확산이 되는 경우
가벼운 충돌 (Light collision)	8/28.8	50	800	안티클라이머(Anti-climber)가 작동 할 경우. 에너지는 간단한 교환장치에서 에너지 확산이 되는 경우
심한 충돌 (Heavy collision)	16/57.6	60	960	최대하중 3000kN을 초과하지 않는 범위에서 1m 이내에서 구조물 붕괴에 의한 1MJ흡수

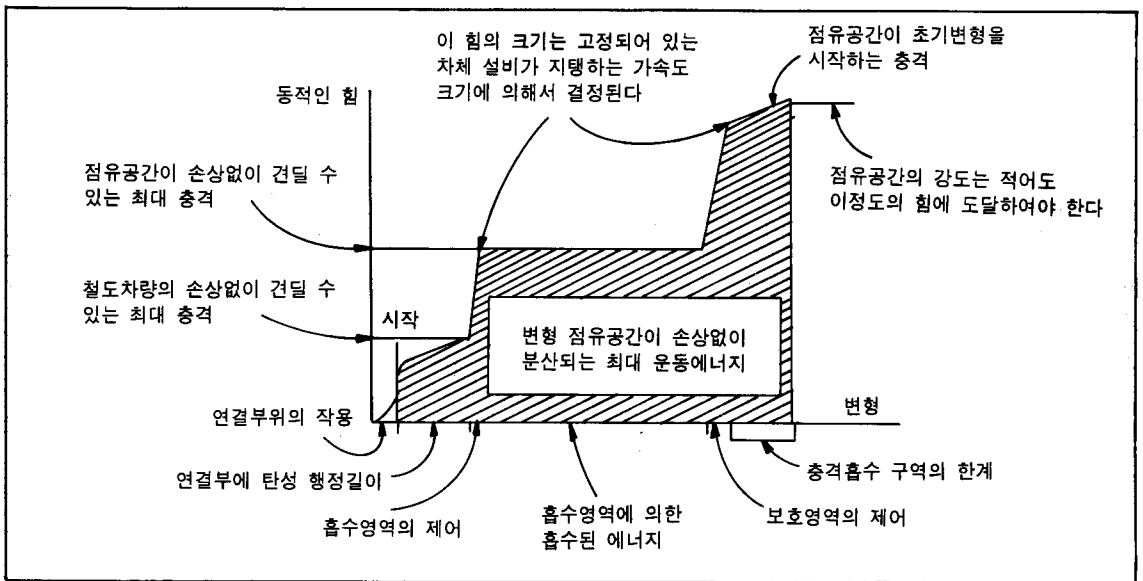


그림 1. 충돌 변형에 관한 설계개념

### 3.2 유럽철도 연구조합(ERRI)의 연구개발

ERRI의 연구개발 사업은 주로 전방충돌시 전 두차 운전실의 동적 저항 능력을 제고시키는데 집중되었다. 주요 연구목표는 충돌에 대한 저항

능력을 높일 수 있는 해석 및 설계 방법의 개발, 에너지 흡수능력을 높일 수 있는 주요 차체 부재 개발, 그리고 개발된 방법이 실차수준의 실험에서 타당성을 갖는가에 대한 검증 등이다. 여기서 개발된 구조설계 기법은 차량의 끝단에

서 충돌시 흡수되어야 할 에너지를 충분히 흡수할 수 있도록 합리적으로 압괴영역을 설계하는 것이다. 이 연구의 주요부분은 자체설계에 잘 부합할 수 있는 에너지 흡수부재를 선정할 수 있도록 각종 재료와 부재 형상에 관한 설계자료를 축적하는 것이다. 이러한 부재 중에는 알루미늄 한니콤, 충격판 부재, 강재 튜브 부재 등이 있으며 제작이나 가공 원가가 증가하지 않도록 하는 연구도 병행되었다.

충돌시험의 경우, 차량의 접근속도는 16m/s (36 mph) 이고, 차량의 질량은 40 ton으로 가정되었으며, 이 때 흡수하여야 할 에너지는 차량당 2.56 MJ 즉 한쪽 차량의 끝단에서 1.28 MJ 이었다. 이것은 평균 압괴 하중 2500 kN으로 0.512 m의 압괴거리가 발생하는 것으로서 운전실 내부로의 침입을 최소로 허용하는 범위내에서 쉽게 달성할 수 있는 설계이다. 1989년 폴란드에서 한량의 정지해 있는 차량에 한량의 움직이는 차량이 충돌하는 시험이 실시되었으며 개발된 연구결과들이 차량의 안전도 설계에 활용할 수 있을 만큼 충분히 타당성을 가진다는 것을 입증하였다.

### 3.3 SNCF의 COLFRONT 연구개발

SNCF는 차량업체, 연구기관, 대학과 공동으로 COLFRONT 프로젝트(1990-1997)를 진행하고 있다. 주요연구 목표는 정면 충돌시 가속도를 최소화 하기 위한 구조의 압괴 설계 기술, 타고오름 방지기술, 측면충돌시의 승객보호 대책, 승객의 2차 충돌 저감을 위한 내장부품 설계, 알루미늄과 복합재료와 같은 신소재의 응용 기술, 충격 완충장치의 설계 개선, 그리고 연구결과 활용기술로서 7가지의 주제로 이루어져 있는데 그 내용은 다음과 같다.

첫 번째 주제는 충돌시 차량의 동적 거동에 관한 것으로서, 전체 차량에 대한 1차원 보 모델 해석, 타고오름 현상 규명을 위한 3차원 보

모델 해석, 차체의 국부 변형 현상 규명을 위한 3차원 셸 모델 해석 등으로 이루어져 있다. 여기서 중점적으로 다루어진 문제는 차량의 타고오름 현상을 최대한 줄일 수 있는 새로운 연결장치의 설계에 관한 것이다.

두 번째 주제는 충돌시험에 관한 것으로서, 실차 스케일의 충돌 시험 장치를 개발하고, 축소된 모형이나 실제 스케일의 모형을 시험하는 것으로 구성되어 있다. 이 시험에는 재료제조 회사, 부품제작회사, 차량업체의 하청업체, 차량제작사 등이 다수 참여하였다.

세 번째 주제는 인체역학 해석에 관한 것으로서, 충돌시 승객거동을 해석하는 방법과 적절한 더미 모델을 개발하고 검증하는 것이다. 이를 위하여 수치해석 방법과 썰매시험을 병행하고 최종적으로 구해진 연구 결과는 내장부품의 설계에 활용될 수 있게 함으로써 2차 충돌에 의한 승객의 피해를 저감시키는 것이다.

네 번째 주제는 설계영향 인자 규명에 관한 것으로서, 구조의 안전도 설계나 충돌현상의 수치해석과 관련되는 주요 인자들을 분석함으로써 첫 번째 연구주제를 보완해 주는 것이다. 특히 에너지흡수 관련 주요부재들의 충돌속도에 따른 국부좌굴 모우드의 변화를 집중적으로 규명하는 것이다.

다섯 번째 주제는 안전도 최적화에 관한 것으로서, 충돌시 승객이 받는 가속도를 최소화되게 하는 것이다. 설계에 사용된 주요 에너지 흡수부재의 특성과 충돌시 승객이 받는 동역학적 특성의 상관 관계를 규명하는 것이 목표이다.

여섯 번째 주제는 안전 설계 기준을 마련하는 것으로서 차량제작사에서 새로운 차량을 개발할 때 승객의 안전도 향상을 위하여 이행하여야 할 안전 설계 기준을 제공하는 것이다.

마지막으로 일곱 번째 주제에서는 위에서 개발된 모든 연구 내용을 종합하고 정리하여 안전도 설계에 활용 가능하도록 하는 것이다.

SNCF는 지난 10 여년간의 연구를 바탕으로

가장 위험한 2가지 사고 유형을 제시하고 있는데, 첫 번째는 50-70 km/h 의 속도로 정면 충돌하는 경우로서 10-300 MJ 의 고 충돌 에너지가 발생하는 사고유형이고, 두 번째는 건널목 사고로서 100 km/h 의 속도로 80 ton 정도의 대형 자동차와 충돌하는 사고이다. 전방 충돌의 경우 타고오름 현상이 발생하면 훨씬 위험하다.

SNCF에서 기획한 자체 연구 수행을 위하여 PAMCRASH, DYNA 등의 유한요소법을 이용한 충돌해석 프로그램과 많은 충돌시험이 행하여 졌다. 최근에 개발된 2층으로 된 TGV 차량은 위의 두 번째 사고 유형(110 km/h)에 대하여 동력차 8 MJ, 객차의 끝부위는 6MJ 의 에너지 흡수 능력을 가지고 있으며, 타고 오름현상은 발생하지 않았다. 이것은 기존의 TGV 객차가 2 MJ 의 에너지 흡수 능력을 가진 것에 비하면 상당히 개선된 결과이다.<sup>[5]</sup>

### 3.4 포르투갈의 TRAINCOL 연구개발

포르투갈의 SOREFAME 은 1991년부터 1995년까지 TRAINCOL 이라는 프로젝트를 수행하였는데 유럽 공동체의 연구개발 프로그램의 일환으로 4개국 이 참여하였다. 이 연구는 열차의 충돌현상에 대한 이해의 폭을 넓히고 보다 나은 해석 방법을 개발할 목적으로 수행되었다. 신차 개발시, 표준 규정 조건 및 제작상의 기술적 제약 조건 하에서 구조해석과 최적 설계 기법을 이용한 설계 가이드 라인과 최종적인 상세 설계를 도출하는 절차 및 정·동적 시험 방법에 관한 연구가 이루어 졌다. 특히 이 연구에서 각 설계 단계에서 효율적으로 활용될 수 있는 전산 이용 설계 수단들을 계통적으로 정리하고 그들의 정확성을 검토하였다.

승객 거동 연구에서는 자동차의 표준 규정에 대비시켜 상해 관련 지수들을 평가하였다. 이 연구를 통하여 1차원 및 3차원 동역학적 거동 해석 프로그램과 3차원 변형 거동 해석 프로그

램이 개발되었으며 이들 프로그램에는 최적화를 수행할 수 있는 기능이 구비되었다. 또한 실차에 대하여 동적 시험이 실시되고 이 결과는 프로그램의 검증과 해석 모델의 타당성 검토에 활용되었다.

### 3.5 영국 BR 연구소의 연구 결과

영국의 BR 연구소에서는 1993년까지의 연구 결과를 WCCR conference에서 발표하였다. 정면 충돌시 타고오름 현상 규명에 초점을 두고 연구가 진행되었으며, 완전 정면 충돌에 대하여 차량 각 끝단부에서 1MJ 의 에너지 흡수 능력을, 타고오름이 있는 경우에는 0.5 MJ 의 흡수능력을 가져야 하는 것이 구조안전도 설계의 표준규격으로 제안되었다. 이러한 에너지 흡수능력은 64 km/h 의 속도에서 충돌 안전도 설계를 가능하게 한다. 또한 이 표준규격에는 충돌시 차체 구조에 가해지는 최저, 최대 하중 수준을 정하고 있다. 최저하중은 차량의 상시 사용을 가능하게 하는 하중 수준이고, 최대 하중은 타고오름 현상의 방지와 승객과 차체에 가해지는 가속도

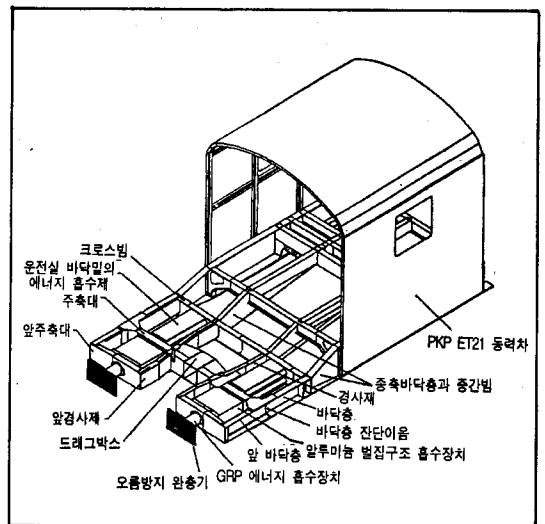


그림 2. 충돌에 견딜수 있는 운전석의 언더프레임 골조

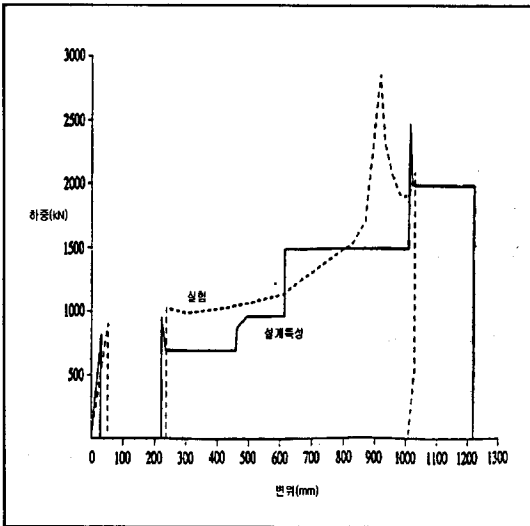


그림 3. 타고오름이 일어나지 않는 동적실험의 하중-변형도 특성도

를 제한하기 위하여 정해지는 하중 수준이다. 그러한 충돌에 견딜수 있는 운전석의 언더프레임 골조와 실험 및 하중-변형도 특성을 그림 2)와 그림 3)에 나타내었다.<sup>[6]</sup>

한편 BR 연구소에서는 실차시험의 번거로움과 비용문제를 줄이기 위하여 crush 시험에 대한 연구를 중점적으로 수행하고 있으며, 대형 crush 시험 장치를 개발하여 실차 충돌 시험의 난점을 완화하고 정적시험과 동적시험의 차이에 대한 완전한 이해와 합리적인 보정방법 등에 대하여 많은 연구를 수행하였다. 또한 사고시 승객과 승무원 거동을 해석하고 이들에게 가해지는 상해치를 분석하여, 32 km/h 의 속도변화에서 HIC 값을 500 이하(자동차의 경우 1000)로, 머리부분에 걸리는 하중을 4 kN 이하(자동차의 경우 10 kN)로 제한하는 규정을 제안하였다. 충돌시 무릎, 어깨 및 머리부분에 대한 승객의 거동을 분석한 결과는 그림4)에서 보여준다.<sup>[7,8]</sup>

그밖에 실차시험과 15년에 걸친 34 건의 타고오름 충돌 사고를 조사하여 커플러, 완충기, 하부골조 구조의 변형이 충돌시 타고오름 현상과

전체 차량의 측방향 좌굴에 미치는 영향을 분석하고, 브레이크 어웨이 커플러(break away coupler, 타고오름 방지용)의 특성과 끝단부 구조의 압괴 거동 등에 관한 요구조건들을 제시하였다.

BR 연구소에서는 브레이크 어웨이 커플러와 끝단부 구조의 압괴 특성을 최적화함으로써 새로운 안전도 설계를 실시하였는데, 종전에는 60 km/h 충돌속도에서 2편성 열차가 충돌했을 때 1 m 의 타고오름 현상과 타고오른 부위에서 1 m 의 압괴침투가 발생하였는데, 새로운 설계에서는 같은 속도에서 5편성 열차를 충돌시켰을 때에도 타고오름 현상 없이 안정적으로 순차적 충돌을 완료하였으며 충돌 부위에서는 1.1m 의 압괴가, 끝부위를 제외한 나머지 연결 부위에서는 평균 0.44 m 의 압괴가 발생하였다.

그동안 BR 연구소에서 구한 수치해석 결과와 crush 시험 결과 및 crash 시험 결과를 비교분석하여 얻은 결론은 수치해석이나 두가지 시험 방법에 의하여 얻은 결과의 경향은 상당히 유사하며, 동적 효과가 고려된 경우에는 충돌부위에서는 20 % 정도 에너지 흡수 능력이 증가되고, 나머지 연결부위에서는 15 % 정도가 증가된다는 것이다. 지금까지 BR에서 연구되어진 결과들은 지금 상용 투입된 차량이나 신차 개발 중인 차량에 적용되어 좋은 평가를 얻고 있다.

### 3.6 유럽의 SAFETRAIN 연구개발

유럽에서는 최근에 SAFETRAIN 이라는 충돌 안전도 분야의 과제를 공모하였는데 이 과제는 BRITE/EURAM을 포함하여 5개국 12개 기관이 지원하고 있다. 철도교통이 화물운송 위주로 구성되어 있는 미국이나 능동안전도 개념 중심으로 안전도 설계만이 중요하게 다루어 온 일본의 경우에도 최근에는 수동안전도 향상에 관한 관심이 고조되고 있으며 기초적인 분야에서 연구가 착실히 진행되고 있다.

## 4. 국내 기술개발동향

### 4.1 개요

국내의 기술 현황을 언급하면 우선 유사 기술 분야인 자동차의 충돌안전도 해석/설계에서 찾아야 할 것이다. 자동차 분야에서는 승객의 안전에 대한 충돌법규(미국의 FMVSS 208조, 유럽의 안전법규 등)가 제정되어 차체안전 설계를 유도하고, 한편으로는 이 조건을 충족시키지 못하는 차량은 판매를 할 수 없게 하는 등 안전도 설계는 신차 개발에 있어서 가장 중요하게 고려되고 있다. 최근에는 의무법규의 만족여부에서 더 나아가 소비자의 품질선택의 기준이 되는 안전도 평가 기준들(NCAP 등)이 다양하게 제공되고 있어서 고안전 설계는 신차 개발의 승패에 큰 영향을 미치는 요인이 되고 있다. 국내 자동차 업계에서도 자동차 수출과 승객 보호를 위하여 지난 10여년간 이 분야의 연구에 주력한 결과 지금은 거의 독자적으로 설계를 할 수 있는 수준에 도달해 있다. 특히 1992년부터 국가적 지원 아래 산학연 협동연구로 진행된 G7 차세대 자동차 기술 개발과제 중 고안전 차량개발을 위한 충돌 특성 연구와 전산용용 안전도 해석기술 연구는 이 분야 기술수준 향상뿐만 아니라 인력 양성과 기술 저변확대라는 측면에서도 큰 기여를 했다.

그러나 철도차량 분야에서 충돌안전도 해석 및 설계에 관한 연구는 거의 없었다. 건설교통부에서 주도하고 있는 제4차 교통안전기본계획안(1997-2001)에서도 열차의 충돌안전도 향상에 관한 내용이 빠져 있을 정도로 이 분야에 대한 인식이 부족한 실정이다. 모든 안전사고가 그렇지만 사고의 발생 자체를 근원적으로 차단하는 것이 최선의 사고피해 저감 대책임은 두말할 나위도 없다. 그러나 인간의 부주의나 천재지변과 같은 예상치 못한 원인에 의하여도 사고는 발생할 수 있으므로 보다 적극적인 사고 피해저감

대책은 사고발생 건수를 줄이는 것과 사고 발생시의 피해를 최소화하는 방향으로 추진되어야 한다. 선진국에서는 사고의 유발요인을 최소화하는 능동적 개념의 안전도(active safety) 향상뿐만 아니라 사고시 피해를 최소화시키는 수동적 개념의 안전도(passive safety) 향상에도 큰 노력을 기울이고 있다.

### 4.2 G7 고속전철 연구개발

현재 신교통기술연구부 수송기계그룹에서는 산학연 공동으로 충돌안전도해석에 관한 연구를 추진하고 있다. 각 대학과 산업체의 특성에 맞추어 역할을 배분함으로써, 시스템 설계, 핵심부품설계 및 제작은 업계에서 추진토록 하고 있다. 이에따라 전체 차량편성 해석 및 동력차 해석은 당 그룹에서, 동력궤차 및 객차해석은 강원대에서, 충돌시 승객거동 연구는 한국기술교육대에서, 소재 충격특성 연구는 국민대에서 추진토록 하고 있다. 이러한 연구 추진체계는 표 2)와 같다.

이러한 추진체계를 통하여 1차년도(1997)에는 재해석을 통한 한국형 TGV 충돌안전도 설계분석, 충돌안전도 관련 기본사양 결정 및 충돌안전도 설계방법 정립 및 개념설계, 2차년도(1998)에는 구조부품 충돌안전 개념설계, 인체상해 안전도를 고려한 내장부품 개념설계, 충격흡수 구조의 설계를 위한 해석기술 개발 및 신소재 충격흡수 부재개발, 3차년도(1999)에는 구조부품 충돌 안전 상세설계, 인체상해 안전도를 고려한 내장부품 상세설계, 충격흡수구조의 상세설계와 안전도 평가기술 개발을 통하여 고속전철 차량의 충돌시 발생하는 전체 차량의 압괴와 탈선 및 전복을 시뮬레이션 할 수 있는 해석기술을 개발하여 충돌에너지를 충분히 흡수하고 승객피해를 최소화 할 수 있는 설계대책을 제시하므로써 차세대 한국형 고속전철의 충돌시 고도의 안전성 확보 및 승객의 상해등 인명의 피해를 최

소화 하는데 있다.

충돌 사고시 승객과 승무원의 안전을 확보할 수 있는 구조 해석 및 설계기술을 통하여 철도 차량의 안전도를 한 단계 높일 수 있는 좋은 계기가 될 것으로 기대된다. 현재 국내 운행중인 모든 철도 차량은 합리적인 충돌 안전도 설계 개념 없이 제작되어 운행되고 있으며 일단 충돌 사고가 발생하면 대형 참사로 이어질 우려가 많다. 국내에서도 기존 철도사고의 분석, 사고시 차량 구조 압괴가 승객의 안전에 미치는 영향 분석, 체계적인 수치해석 및 최적 설계방법 연구, 새로운 차체 설계에 적용할 가이드 라인 제정 등이 시급히 이루어져야 사고 발생시 인명 피해를 최소화할 수 있을 것이다. 유럽 제국을 위시한 선진국의 안전도 관련 설계요건 강화에 능동적으로 대처할 수 있을 것이며, 궁극적으로 우리 철도 기술의 고급화와 대외 경쟁력 제고에

도 일조할 수 있다고 생각된다.

또한 향후 동서 고속 전철, 호남 고속전철, 범아시아 유럽 철도망 계획 등이 실현된다면 철도 차량 설계에 있어서 질적 양적인 면에서 기술적 수요가 대폭 증가할 것이며, 본 연구를 통하여 개발된 기술은 장래에 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 한편 고속도로의 한계상황과 대도시 교통난 해소를 위하여 기존 국철, 지하철 및 경량전철, 자기부상 열차 등의 신규 건설과 차량의 고속화 또는 경량화 추세가 가속화 될 전망이다. 따라서 충돌 안전도 해석 및 설계 기술에 대한 중요성이 더욱 증가될 것이다. 본 연구가 성공적으로 수행되면 350 km/h 급 한국형 고속전철의 안전도를 획기적으로 제고시킬 수 있음은 물론이고, 국내에서 이 분야에 대한 연구분위기를 활성화하여 향후 철도 차량의 안전도 향상에 크게 기여할 것으로 전망된다.

표 2. G7 고속전철 연구 추진체계

전체 차량편성 해석 기계(연)	· 전체 차량의 동적 거동 및 충돌안전도 해석 기술 개발 · 1차원, 3차원 및 hybrid 모델링 해석 기술
동력차 해석 기계(연)	· 주요 충격에너지 흡수 구조설계기술 개발 · mock-up의 crash/crush 시험 및 평가
동력객차 해석 강원대/김현영 교수	· 동력 객차 차체 및 구조물의 3차원 모델링 해석 기술 · 차량연결 장치부품의 설계 기술 개발
객차 해석 서울대/강신유 교수	· 차체구조부품의 충돌 안전설계 기술 개발 · 차량간 타고오름 및 측방향좌굴 해석 기술 평가
충돌시 승객거동 연구 기술교육대/윤영한 교수	· 더미 모델을 이용한 승객 거동해석기술 개발 · 승객손상 최소화 내장부품 설계기술 개발
소재 충격특성 연구 국민대/허승진 교수	· 알루미늄, 복합재, 허니컴 등 신소재 충격특성 · 충격흡수 구조설계를 위한 DB 설계기술개발



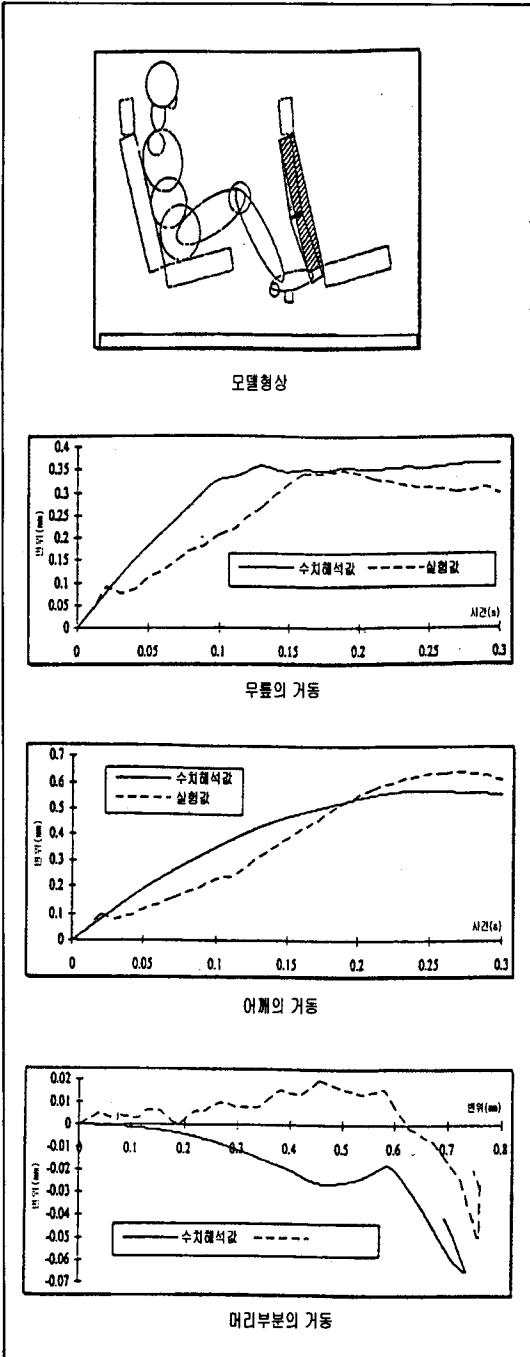


그림 4. 승객에 대한 수치해석과 실험결과 비교 (무릎, 어깨, 머리부분)

## 5. 결 언

이상으로 고속열차 충돌 안전도에 있어 기본적인 개념과 개발동향을 간략하게 서술하였다. 당 그룹에서 진행하는 충돌안전도 해석기술 개발은 고속전철 차량충돌시 발생하는 전체 차량의 동적거동 해석기술을 통하여 충돌에너지를 충분히 흡수하고 승객 피해를 최소화할 수 있는 설계 대책을 제시하여 한국형 고속전철의 충돌 안전성을 높이고자 한다.

이를 통하여 장래에 건설이 예상되는 동서 고속전철, 호남 고속전철의 안전도 설계에 크게 기여할 것으로 기대되며, 국철, 지하철 및 경량전철, 자기부상 열차 등의 철도차량 사고시 철도 승객의 안전도 향상에 크게 기여할 것으로 전망된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Scholes, "Passenger vehicle design loads and structural crashworthiness", IMechE, Conference on railway vehicle body structures, Paper No. C284/85, pp. 147-154, Mechanical Engineering Publications, London, 1985.
- [2] A. Scholes, "Railway passenger vehicle design loads and structural crashworthiness", IMechE, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 201, pp. 201-207, 1987.
- [3] H. Zeevenhooven, "A fresh approach to the problems of car body design", IMechE, pp. 129-136, 1985.
- [4] J. V. Pelt, "Design of the front part of railway vehicle (in case of frontal impact)", IMech, pp. 155-159, 1985.

- [5] L. M. Cléon, "Tolérances à la Collision des Matériels Ferroviaires : Optimisation de la Sécurité Passive des Structures De Véhicule".
- [6] J. H. Lewis, "Development of crashworthy vehiclestructures for railways", 1993.
- [7] A. Scholes BR Research Derby, UK, Developing crashworthiness technology in Europe, 1995.
- [8] P. Drazetic, P. Level, B. Canaple and P. Mongenie, "Impact on planar kinematic chain of rigid bodies : application to movements of anthropomorphic dummy in a crash.", Int. J. Impact Eng., Vol. 18, pp. 505-516, 1996.