

열차 내 안전벨트 적용에 대한 고찰.

A study for the application of the safety belt in the train

김주원*, 김대식*, 정형일*, 소진섭*, 김진우*, 이성준*, 김용한*

Ju-Won Kim*, Dae-Sik Kim*, Hyoung-Il Jeong*, Jin-Sup So*, Jin-Woo Kim*, Sung-Jun Lee*, Yong-Han Kim*

Abstract After the train injury, such as the commuter train derailment in New York that occurred in December 2013 the past, there is an argument that attempts to apply the seat belt also train as automobiles and airplanes always. There is also opinion to counter this, the seat belt would not have been helpful to ensure the safety of the train for the physical characteristics train has. US FRA 2002 years, to see the effect of the seat belt through the collision experiments of the actual train, In UK RSSB 2007 year to check the effectiveness of the seat belt by using the human body model and trains the model of actual size and analyzed past major accidents. We discuss the application effect of the seat belt in the car through the analysis of case studies overseas.

Keywords : Safety, Seat belt, Train accident, Impact test

초 록 지난 2013년 12월 발생한 뉴욕 통근열차 탈선사고와 같은 열차 사상사고 이후에는 항상 자동차나 비행기와 같이 열차내에도 안전벨트를 적용하자는 주장이 나오고 있다. 이에 맞서 열차가 가지는 물리적 특성 때문에 안전벨트는 열차 안전확보에 도움이 되지 않는다는 의견도 있다. 2002년 미국 FRA는 실제 열차충돌 실험을 통해 안전벨트의 효과를 확인하였으며 2007년 영국 RSSB에서는 실제크기 열차모형과 인체모형을 통해 안전벨트의 효과를 확인하고 중요 사고사례를 분석하였다. 해외 연구사례 분석을 통해 열차 내 안전벨트 적용 효과에 대해 고찰하고자 한다.

주요어 : 안전, 안전벨트, 열차사고, 충돌시험,

1. 서 론

자동차에 3점식 안전벨트가 보급된 이후 철도사고로 인한 부상자가 발생될 때마다 열차 내 안전벨트는 승객 안전확보를 위한 중요한 대책으로 꾸준히 고려되었다. 하지만 열차는 자동차에 비해 사고확률이 매우 낮은 통계적 특성, 무겁고 가감속이 느린 물리적 특성차이 때문에 열차 내 안전벨트를 통해 사고발생시 실제 안전도 향상에 기여할 수 있는지에 대한 의문 역시 반복되었다. 이에 대한 답안을 찾기 과거 국내에서 인체모형(Dummy)을 탑재한 실물 열차 충돌실험을 기획한바 있었으나 여러 가지 현안문제로 이뤄지지 못하였다. 하지만 미국 FRA(Federal Railroad Administration)[1]에서는 2002년 열차간 충돌시 물리적 거동과 안전벨트 착용효과에 대한 현차실험을 수행하였으며 영국 RSSB(Rail Safety&Standards Board)[2]에서는 2007년 열차 모형시험을 통해 안전벨트의 효과분석 연구를 수행하였다.

* 한국철도공사 연구원

본 논문에서는 인체모형 시험과 과거 철도사고 사례 분석방법을 바탕으로 열차 내 안전벨트와 안전간의 상관관계를 조사한 미국 FRA, 영국 RSSB의 연구사례 분석을 통해 안전벨트의 효과에 대해 고찰해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 FRA Rail Passenger Equipment Impact Tests

2.1.1 실험개요

2002년 수행된 이 실험은 기관차와 여객차량과의 현차 충돌시험을 통해 이루어졌다. 정지한 기관차에 여객차량이 30mph 속도로 충돌할 때 안전벨트를 착용한 인체모형과 착용하지 않은 인체모형의 부위별 부상 위험도를 분석하였다. 부상발생은 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)의 부상기준(Injury Criterion) 초과여부를 통해 판단한다. NHTSA Injury Criteria는 머리충격, 목 충격(하중, 신축), 가슴압박, 대퇴골 하중(좌, 우) 6가지 항목에 대해 기준값을 초과할 시 부상이 발생하는 것으로 판단한다.

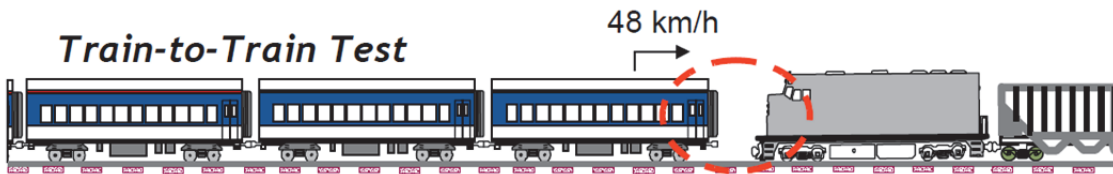


Fig. 1 Schematic of Train to Train Test(FRA Report)

승객의 위치와 좌석형태에 따라 4가지 조건에서 6개의 인체모형 시험결과를 도출하였다. 다만, 실험 결과를 볼때 고려할 점은 현실적으로 국내 열차에는 적용이 불가능한 3점식 안전벨트에 대한 실험만 진행한점, 안전벨트 미착용군에 대한 실험값은 5개인반면 착용군에 대한 실험값은 1개라는 점이다. 국내 열차에 3점식 안전벨트를 적용하기 위해서는 단순히 안전벨트 부품만 장착해서는 안되고 좌석강성과 차체 연결부위 강성 확보를 위한 개조작업이 필요하기 때문이다.

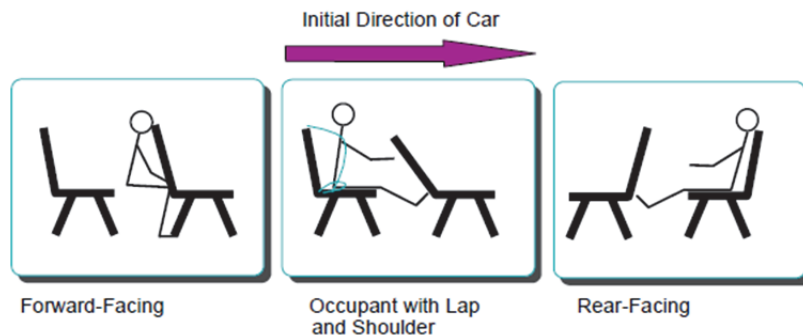


Fig. 2 Schematics of Passenger-Protection Strategies(FRA Report)

2.1.2 실험결과

안전벨트 미착용시 실험결과를 Table 1에 종합하여 나타내었다. 인체모형 종류에 따라 Injury Criteria 가 다르기 때문에 Condition 1,2로 나누었으며 각 Condition에서 Fig 2와 같이 앉은 방향에 따라 Record 1,2로 나누었다. Un-Restrained Condition 2의 Record 2는 정지상태에서 충돌된 기관차 운전실 인체모형 측정값으로 다른 조건보다 더 낮은 값을 나타낸다. 결과를 살펴보면 안전벨트를 착용하지 않았음에도 불구하고 모든 조건에서 Injury Criteria를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 1 Experimental Data on Un-restrained condition

	Un-restrained Condition 1			Un-restrained Condition 2		
	Criteria	Record 1	Record 2	Criteria	Record 1	Record 2
HIC	<700	16	10	<700	44	5
Neck Fz(lbf)	+937/-899	+199/-100	+139/-59	+1131/-1086	+75/-418	+219/-24
Neck Nij	Nij<1.0	0.13	0.18	Nij<1.0	0.29	0.05
Chest(G)	60	6	5	-55	5	5
Left Femur(lbf)	-2,250	-183	-185	-2,857	-599	-304
Right Femur(lbf)	-2,250	-43	-179	-2,857	-76	-86

안전벨트 착용시 측정결과는 Table 2와 같다. 측정값이 표시되지 않은 항목은 안전벨트로 인해 인체모형이 좌석에서 이탈되지 않으므로 충격을 측정할 수 없기 때문이다. 전반적으로 안전벨트 미착용시보다 낮은 값을 나타내고 있으나 그 차이가 크지 않고 특히 목의 신축도를 나타내는 Neck Nij의 경우 Condition 1상황에서 안전벨트를 착용하지 않는 경우보다도 높은 값을 나타내었다.

Table 2 Experimental Data on Restrained condition

	Restrained Condition 1		Restrained Condition 2	
	Criteria	Record	Criteria	Record
HIC	<700	-	<700	-
Neck Fz(lbf)	+589/-566	+67/-64	+1131/-1086	+107/-60
Neck Nij	Nij<1.0	0.32	Nij<1.0	0.2
Chest(G)	60	-	-55	-
Left Femur(lbf)	-1530	-	-2,857	-
Right Femur(lbf)	-1530	-	-2,857	-

2.2 RSSB Assessment of passenger restraints fitted to seats on rail vehicles

2.2.1 실험개요

RSSB의 실험은 실물크기 모형시험을 통해 안전벨트와 안전과의 관계를 분석한 연구이다. 주목적이 안전벨트 착용효과를 확인하기 위한 연구인 만큼 FRA의 실험보다 다양한 조건에서 안전벨트의 효과를 살펴보고 있다. FRA의 실험조건과 다른 점은 현차를 사용하지 않고 실물크기 모형열차를 사용했다는 점, AV/ST9001 Crash Pulse 충돌조건을 사용했다는 점, 2점식과 3점식 안전벨트를 모두 실험한 점, 부상 척도판단을 위해 HIC(두부 충격), N_{ij} (목 신축도) 2가지 조건만을 활용한 점, 좌석간 앞뒤 간격을 중요한 충격변수로 실험한 점이 있다. AV/ST9001 Crash Pulse 조건은 ‘철도차량 안전기준에 관한 지침’ 중 ‘철도차량 객실의자 안전 세부기준’ 에서 정하는 충격시험 조건과 동일한 조건으로 FRA의 30mph 충돌보다 강한 충격조건이다.

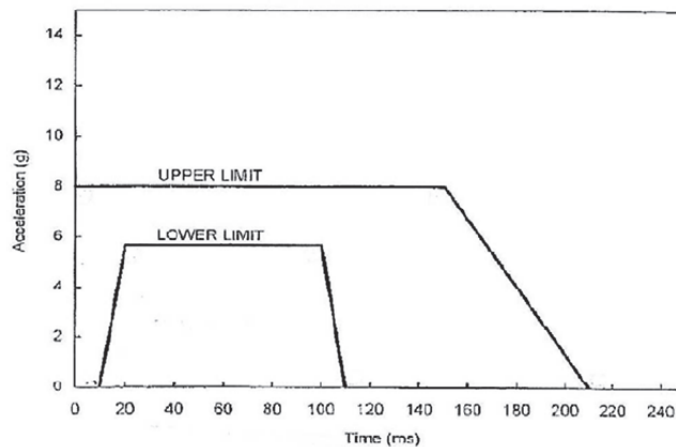


Fig. 3 AV/ST9001 Crash Pulse(RSSB Report)

2.2.2 실험결과

2점식 안전벨트를 착용한 경우와 안전벨트를 착용하지 않은 경우 좌석 간격별 목 부상위험 정도를 나타내는 N_{ij} 값은 Fig. 4와 같다. FRA의 기준과 마찬가지로 N_{ij} 값이 1을 초과할 경우 부상위험이 높은 것으로 판단하므로 값이 작을수록 안전하다. 결과를 살펴보면 2점식 안전벨트를 착용한 경우 좌석간격에 관계없이 안전벨트를 착용하지 않은 경우보다 목 부상위험이 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 안전벨트를 착용하지 않은 경우가 앞좌석 쿠션부분에 충격흡수에 용이한 자세가 되기 때문이다.

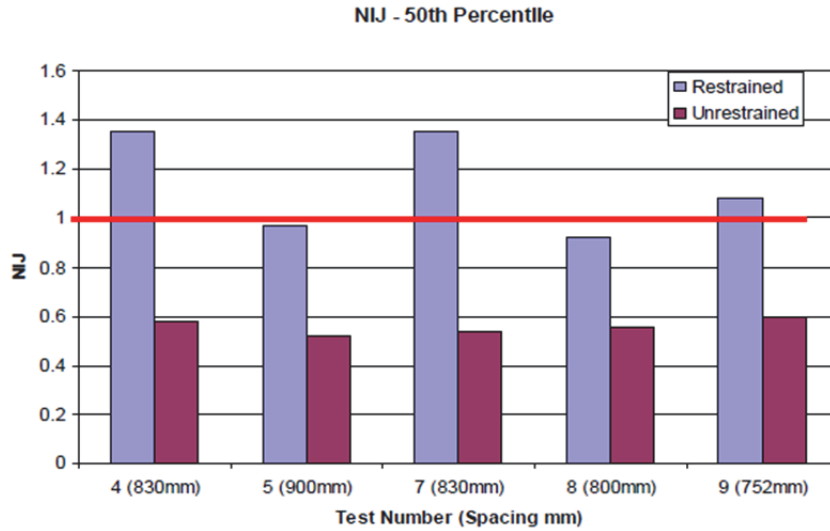


Fig. 4 2-point seat belt vs un-restrained Nij Value(RSSB Report)

3점식 안전벨트와 안전벨트를 착용하지 않은 경우의 부상위험은 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 대부분 상황에서 3점식 안전벨트를 착용한 경우 두부 충격과 목 부상위험이 감소되는 것으로 나타났다. 하지만 안전벨트를 착용하지 않은 경우에도 Nij가 0.7 수준으로 Injury Criteria 1.0보다 낮았으며 HIC역시 최대 250 미만으로 기준치 700보다 월등히 낮은 수치를 보여주고 있다.

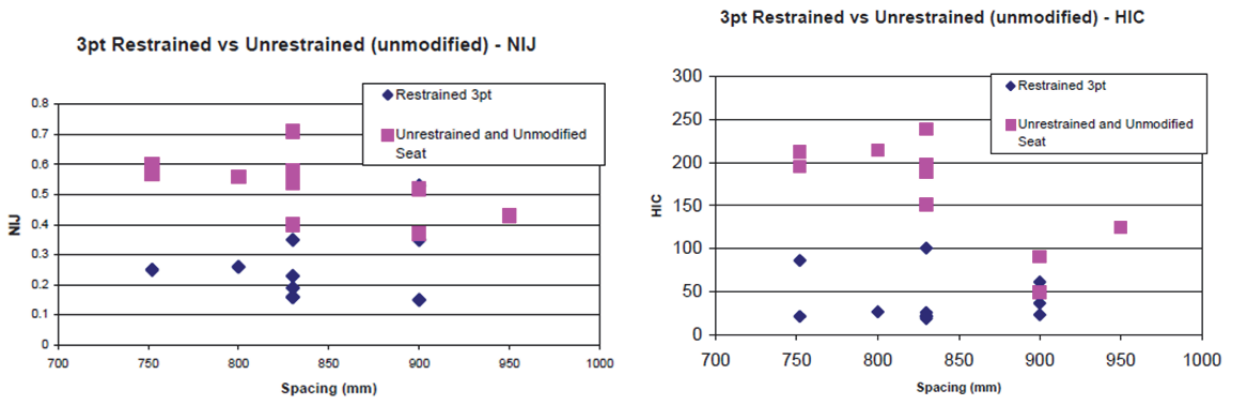


Fig. 5 3-point seat belt vs un-restrained Nij(Left), HIC(Right) Value(RSSB Report)

다시말해 안전벨트를 착용하지 않는 경우, 3점식 안전벨트를 착용한 경우보다 다소 높은 신체 충격이 발생할 가능성이 있으나 부상 기준치보다 낮은 수준으로 안전벨트를 통해 부상위험을 확연하게 감소시킨다고 볼 수 없다.

2.2.3 영국 과거 열차사고 사례 분석결과

RSSB에서는 충돌실험 외에 96년~04년 사망자가 발생한 영국 내 중대철도사고 6건에 대한 분석을 추가로 실시 하였다. 앞에서 살펴본 것처럼 안전벨트 적용을 통해 부상위험 감소효과는 크지 않으나 사고시 차체 이탈방지 목적으로서 안전벨트가 어떤 효과가 있는지 분석하기 위해서 이다. Table 3을 보면 차체 이탈로 사망한 사람은 11명인데 반해 차체 손상에 의해 발생한 사망자는 14명이다. 중요한 점은 생존공간이 유실된 좌석이 220석으로 만약 모든 차량에서 모든 승객이 안전벨트를 착용했다고 가정하면 사망자는 88명으로 늘어나게 된다.

Table 3 Comparison of Ejection and loss of survival space

Accident	Fatalities Due to Ejections	Fatalities Due to loss of survival space	Number of Seats with Loss of Survival Space	affected by loss of survival space
Ufton Nervet	4	0	42	16
Potters Bar	4	0	0	0
Great Heck	0	5	62	11
Hatfield	0	4	26	8
Southall	2	5	46	25
Watford	1	0	44	28
Totals	11	14	220	88

3. 결론

열차 내 충격 발생시 3점식 안전벨트의 경우 일부 충격완화 효과가 있었지만 안전벨트가 없는 경우에도 부상 기준치를 초과하는 충격이 발생되지 않았고 2점식 안전벨트는 부상위험이 안전벨트 미착용시보다 더 높아지는 것으로 나타났다. 열차 특성상 사고 발생시 승객의 이탈로 인한 사망자 보다 생존공간의 유실로 인해 발생할 수 있는 사망자가 월등히 많다. 다시말해 안전벨트 착용후 차체 파손사고 발생시 사망 위험이 상승할 가능성이 높다. 자동차에 적용되는 안전벨트에 대한 개념을 열차에 적용하는데는 분명 문제가 있으며 안전벨트 보다는 열차내 충격완화 설비, 비상탈출을 위한 구조개선이 더욱 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] FRA(2003) Passenger Rail Train to Train Impact Test Volume II : Summary of Occupant Protection Program, US Federal Railroad Administration
- [2] RSSB(2007) Assessment of three-point passenger restraints fitted to seats on rail vehicles, UK Rail Safety & Standards Board
- [3] RSSB(2007) Improving the design of seats and tables, and evaluating restraints to minimize passenger injuries(T201) – Review of Two-Point Passenger Restraints, UK Rail Safety & Standards Board