

철도차량의 대인접촉사고 통계분석 연구

Statistical study of train-to-human collision accidents

구정서*, 조현직**, 이승일***, 권태수****
Koo, Jeong-Seo, Cho, Hyun-Jik, Lee, Sung-Il, Kwon Tae-Soo

ABSTRACT

As Rolling stocks, which are composed of heavy units, run along predefined tracks at relatively high speeds, it is impossible to stop shortly without accidents using emergency braking in case a person stay on the track. Therefore train-to-human collision accidents over 200 cases occurs every year and the tolls suffer very serious damage. To consider some countermeasures to reduce injury at train-to-human collision accidents, the concerning statical data were analysed to investigate human injury severity for accident patterns and collision speeds. Based on these statistical data analyses, some standard scenarios for train-to-human collision accidents were derived to cover about 75% of the fatal accidents.

1. 서론

철도차량은 고속으로 주행할 뿐만 아니라 큰 중량을 가지고 있기 때문에 주행 중 선로에 사람이 있는 것을 발견하여 비상제동을 사용하더라도 대인 접촉사고를 회피하기는 어렵다. 이러한 이유로 국내에서는 매년 200건 이상의 열차 대인 접촉사고가 발생하고 있으며, 사고를 당하는 사람의 대부분은 사망, 중상 등 매우 심각한 상해를 입고 있다.

최근 자동차 분야에서도 대인 접촉 사고 발생시 보행자를 보호하기 위하여 여러 가지 대책들이 강구되고 있다. 대표적인 사례로 보행자 에어백을 승용차 본닛에 장착하는 연구가 진행되고 있다. 자동차 에어백의 경우 40kph 정도의 대인접촉사고에서는 우수한 상해저감 효과가 있는 것으로 밝혀지고 있다. 그림 1(a)는 승용차에 장착된 보행자 에어백의 한 사례를 보여주고 있다.

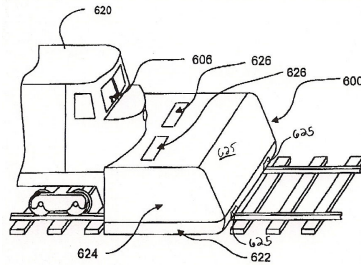
선진국에서는 선로에 위치한 작업자나 공중인명을 보호하기 위하여 그림 1(b), (c)와 같이 열차 전두부에 보행자 에어백과 유사한 개념의 장치를 도입하는 연구가 진행 중이다. 국내에서도 현재 진행 중인 철도종합안전기술개발 사업에서 유사한 개념의 공중 및 작업자 보호 장치를 열차 전두부에 도입하는 연구를 진행하고 있다. 본 연구는 이러한 연구의 한 부분으로서 국내에서 발생하는 대인접촉사고에 대하여 철도 유형별, 속도별, 접촉 대상 및 접촉부위별로 치명도를 조사 분석하고, 이를 토대로 대인접촉사고에서 상해치를 저감할 수 있는 대책을 수립하는 기초 자료로 활용하고자 하였다. 특히 본 연구는 작업자 및 공중인명

* 철도전문대학원, 교수, 정회원
** 철도전문대학원, 박사과정, 정회원
*** 철도대학, 정회원
**** 철도연구원, 선임연구원, 정회원

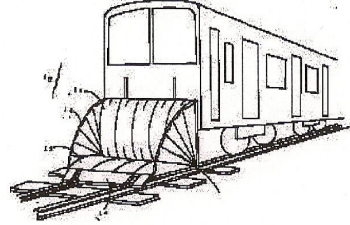
보호 장치를 설계하기 위한 사고 시나리오 및 설계 가이드라인을 도출하는 것에 주안점을 두었다.



(a) 승용차의 보행자 에어백



(b) 미국의 공중구명장치



(c) 일본의 공중구명장치

그림 1 보행자 보호용 에어백 사례

2. 국내 철도의 대인접촉사고 통계

2.1 대인접촉사고 통계처리 방법

국내 철도의 대인접촉사고 통계를 분석하기 위하여 '98년 - '03년 기간에 발생한 주요 사고 및 운행 장애 발생현황을 수록한 철도청 (현 한국철도공사) 사고 및 장애월보를 이용하였다. 조사내용은 사고날짜, 사고유형, 열차종류, 차종, 충돌장소, 원인, 제동방법, 출발시간, 정차시간, 접근속도, 전방거리, 제동거리 등을 조사하여 정지거리, 마찰계수, 충돌직후 속도를 계산하였다.

본 연구에서 사용된 사고장애월보는 대인접촉사고 통계처리에 필요한 항목들을 일관되게 포함하고 있는 보고서 기술양식이 아니어서 많은 애로사항이 있었다. 특히 대인접촉 충돌속도는 매우 중요한 통계처리 항목임에도 불구하고 누락된 경우가 많아서 접근 속도(없는 경우 접촉사고 후 정지거리) 등을 이용하여 추정하였다. 고상 홈에서 접촉사고인 경우에는 대부분의 통계자료에 접촉속도가 명시되어 있지 않았으므로 고상홈 접근 속도인 25km/h를 접촉속도로 추정하였다.

우선 통계적으로 발생하는 열차 대인 접촉사고에서 피사고자가 생존할 가능성과 생존이 가능한 접촉속도를 조사하였다. 본 조사 결과는 전체열차, 일반열차, 도시철도로 구분하여 각각에 대하여 사망, 중상, 경상으로 분류하고 평균 접촉속도를 구하였다. 1차적으로 조사한 결과를 토대로 접촉속도 외에 어떤 인자들이 상해에 영향을 미치는지를 분석하였다. 본 2차 분석에서는 접촉사고 장소, 차량종류(전두부 모양) 및 접촉위치, 피사고자의 접촉자세(선 자세, 앉은 자세, 누운 자세), 초기접촉부위(머리, 몸통, 팔다리), 접촉후 자세(통겨나옴, 깔림), 피해자 유형(공중, 직무, 자살, 여객) 등 상해의 심각도와 관련이 될 수 있는 다양한 인자들을 분석하였다.

2.2 대인접촉속도 산출 방법

열차는 중량이 무겁고 공기제동 장치를 사용하므로 자동차에 비하여 제동 응답시간이 매

우 긴 특성이 있다. 즉 운전자가 피사고자를 발견한 후 비상제동을 취급하더라도 운전자의 응답시간, 압축공기의 유동 응답시간, 제동장치의 유간 간격 등에 의하여 제동이 완전히 작동하기까지는 그림 2와 같이 일정한 공주시간이 발생한다. 따라서 피사고자까지의 전방거리가 공주거리보다 짧은 경우에는 제동이 안 된 것으로 간주하여 열차의 접근 속도를 대인접촉속도로 간주하고, 그렇지 않은 경우에는 제동 효과를 고려하여 대인접촉속도를 계산하였다.

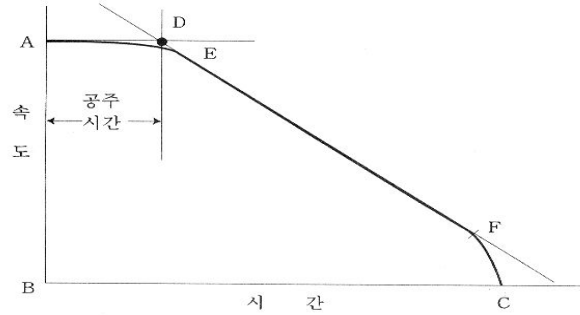


그림 2. 경과시간과 속도변화와의 관계 곡선

표 1 차종별 제동유형별 공주시간

차종	비상제동	상용제동
여객열차	2~4	5~9
화물열차	3~9	5~12
전동차	1.5	2.5~3

먼저 공주거리(S_1)을 계산하기 위하여 공주시간(t)을 산정하여야 하는데, 표 1의 차종별 공주시간을 참조하여 차종별로 비상제동시 걸리는 최소시간을 적용하였다. 이렇게 구한 공주시간과 사고장애 보고서에 기록된 접근속도를 식(1)에 대입하여 공주거리를 계산하였다.

$$S_1 = \frac{V}{3.6} \times t \quad (1)$$

열차 단위중량당 감속력(F : 제동력에 의하여 산출)를 정의하면 접촉직전 실제동거리는 식(2)와 같다. 이때 총제동거리는 식(3)과 같다.

$$S_2 = \frac{4.3(V_1^2 - V_2^2)}{F} \quad (2)$$

$$S_0 = S_1 + S_2 \quad (3)$$

여기서, S_0 : 전방거리(m), S_1 : 공주거리 (m), S_2 : 접촉직전 실제동거리(m), V_1 : 제동초속도(km/h), V_2 : 접촉속도(km/h), F : 단위중량당 감속력(kg/ton)

따라서 식 (2), (3)으로 부터 접촉속도는 식 (4)와 같이 계산된다. 또한 전동열차의 고상홈 접촉사고는 접근속도와 전방거리에 대한 데이터가 명시되어 있지 못하여 접근속도 및 접촉속도를 25 km/h로 하였다.

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - \frac{(S_0 - S_1)F}{4.3}} \quad (4)$$

3. 철도 종류별 접촉속도 분석

1998년부터 2003년 기간동안 철도청이 관리하는 노선에서 발생한 사고 및 장애를 기록한 보고서를 정밀 분석하였다. 본 자료를 토대로 전체열차, 일반열차(화물차 포함), 도시철도(수도권전철)에 대하여 사망사고, 중상사고, 경상사고로 분류하고, 각 유형의 사고가 발생할 때 열차와 피사고자(공중 및 작업자)의 평균접촉속도를 구하였다. 여기서 고상홈에서의 접촉사고는 규정 운전속도인 25 km/h 로 산정하였다.

(가) 전체 열차를 대상으로 한 공중/작업자의 사상사고 분석

사고통계조사분석 기간 내 발생한 전체열차 대인접촉사고(총 1585건) 피해에 대한 유형별 통계는 다음 그림 3과 같다.

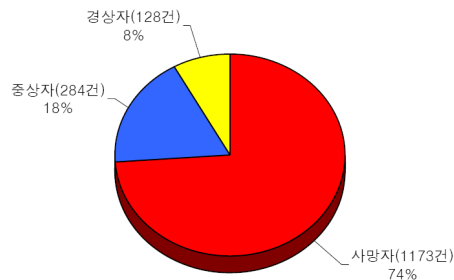


그림 3. 전체열차 대상 대인접촉사고의 피해 유형별 분류

그림 3에 표시된 사망 발생 대인접촉사고(1173건)의 평균접촉속도는 51.11 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 4와 같다. 사망의 경우 그림 4에서 대인접촉사고의 76%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

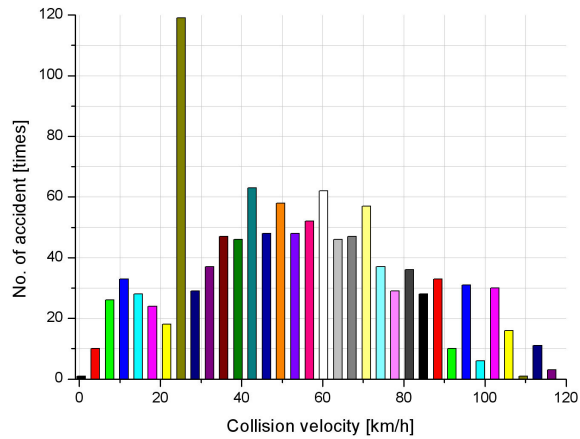


그림 4. 사망사고 발생 대인접촉속도 분류(전체열차)

그림 3에 표시된 중상 발생 대인접촉사고(284건)의 평균접촉속도는 40.25 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 5와 같다. 중상인 경우 대인접촉사고의 82%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

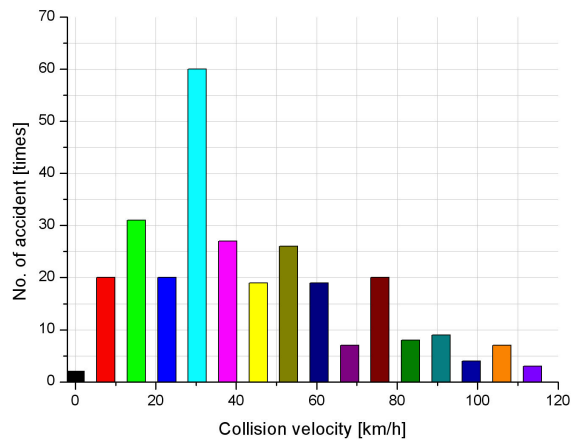


그림 5. 중상사고 발생 대인접촉속도 분류(전체열차)

그림 3에 표시된 경상 발생 대인접촉사고(128건)의 평균접촉속도는 35.94 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 6과 같다. 경상인 경우 대인접촉사고의 86%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

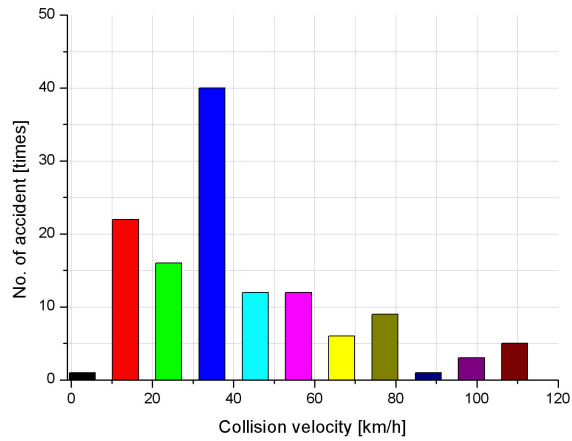


그림 6. 경상사고 발생 대인접촉속도 분류(전체열차)

(나) 일반 열차를 대상으로 한 공중/작업자의 사상사고 분석

사고통계조사분석 기간 내 발생한 일반열차 대인접촉사고(총 1306건) 피해에 대한 유형별 통계는 다음 그림 7과 같다.



그림 7. 일반열차 대상 대인접촉사고의 피해 유형별 분류

그림 7에 표시된 사망 발생 대인접촉사고(1006건)의 평균접촉속도는 53.67 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 8과 같다. 사망의 경우 그림 8에서 대인접촉사고의 73%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

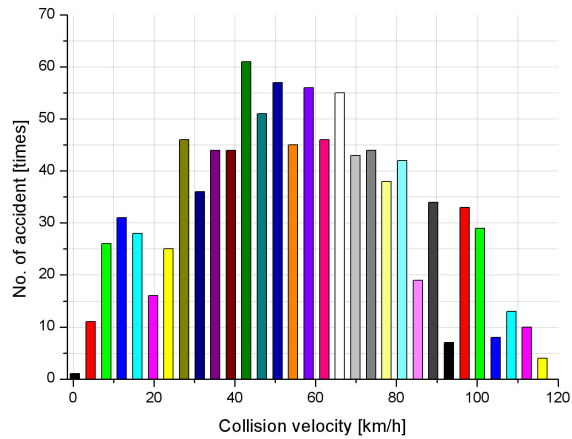


그림 8. 사망사고 발생 대인접촉속도 분류(일반열차)

그림 7에 표시된 중상 발생 대인접촉사고(218건)의 평균접촉속도는 43.23 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 9와 같다. 중상인 경우 대인접촉사고의 77%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

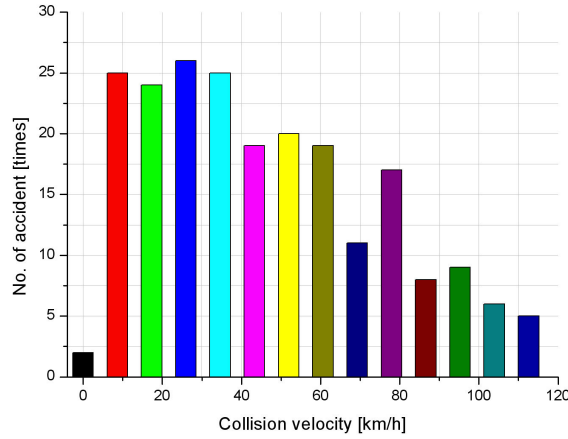


그림 9. 중상사고 발생 대인접촉속도 분류(일반열차)

그림 7에 표시된 경상 발생 대인접촉사고(128건)의 평균접촉속도는 42.42 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 10과 같다. 경상인 경우 대인접촉사고의 79%가 접촉속도 70 km/h 이하에서 발생한다.

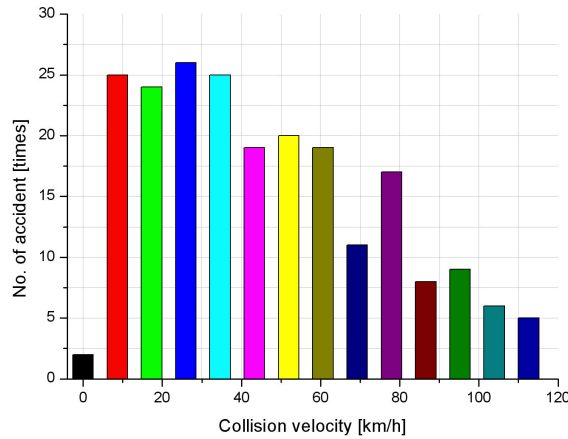


그림 10. 경상사고 발생 대인접촉속도 분류(일반열차)

(다) 도시 철도를 대상으로 한 공중/작업자의 사상사고 분석

사고통계조사분석 기간 내 발생한 도시철도차량의 대인접촉사고(총 279건) 피해에 대한 유형별 통계는 다음 그림 11과 같다.

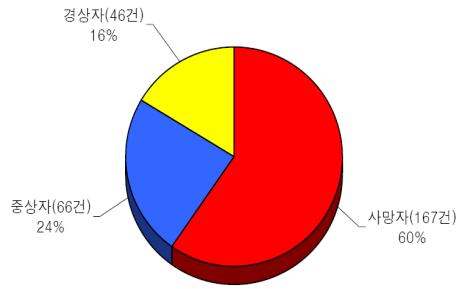


그림 11. 도시철도 대상 대인접촉사고의 피해 유형별 분류

그림 11에 표시된 사망 발생 대인접촉사고(167건)의 평균접촉속도는 35.98 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 12와 같다. 사망의 경우, 그림 12에서 대인접촉사고의 84%가 접촉속도 55 km/h 이하에서 발생한다.

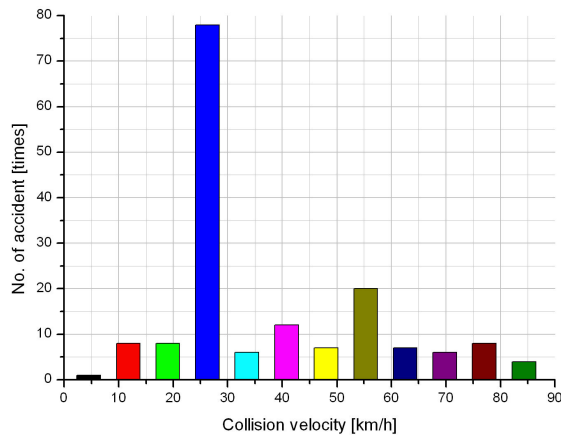


그림 12. 사망사고 발생 대인접촉속도 분류(도시철도)

그림 11에 표시된 중상 발생 대인접촉사고(66건)의 평균접촉속도는 30.39 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 13과 같다. 중상인 경우 대인접촉사고의 96%가 접촉속도 55 km/h 이하에서 발생한다.

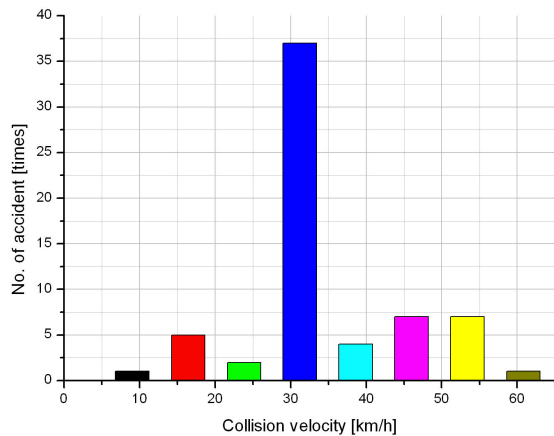


그림 13. 중상사고 발생 대인접촉속도 분류(도시철도)

그림 11에 표시된 경상 발생 대인접촉사고(46건)의 평균접촉속도는 24.39 km/h 이고, 접촉속도별 사고 발생 분포는 그림 14와 같다. 경상인 경우 대인접촉사고의 98%가 접촉속도 55 km/h 이하에서 발생한다.

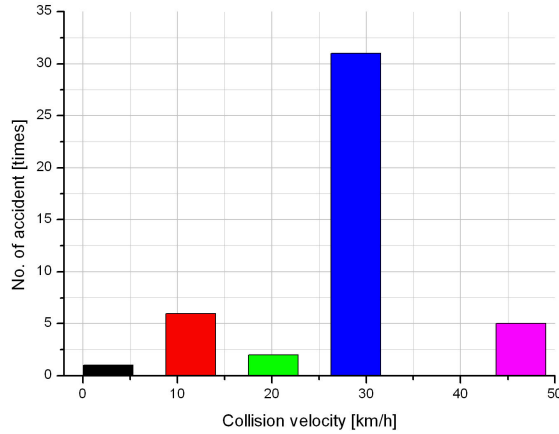


그림 14. 경상사고 발생 대인접촉속도 분류(도시철도)

4. 접촉 유형별 상해심각도 통계자료 분석

대인접촉사고 피해저감 설계 가이드라인 도출을 위해 접촉 조건이 상해 심각도에 미치는 영향 분석을 분석하였다. 그림 15는 차종별 접촉사사고 발생건수를 나타낸 것이다. 표 3에 나타낸 바와 같이 대부분의 대인접촉사고는 여객열차(78%)에서 발생하고 있으며, 다음으로 화물열차(16%)에서 발생한다. 따라서 현재 발생하고 있는 대부분의 접촉사고(94%)는 선부에 배치된 전동차, 디젤동차나 디젤 기관차 등에서 발생한다.

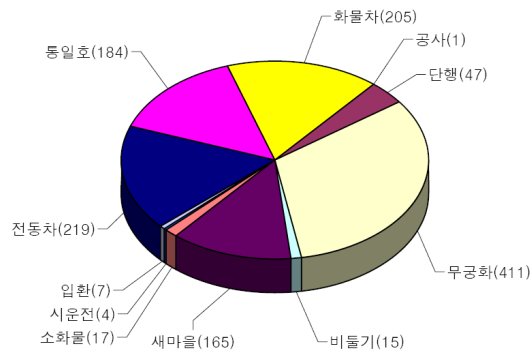


그림 15. 차종별 접촉사사고 발생 건수

표 3 차종별 대인사고 발생 빈도

새마을	무궁화	통일호	비둘기	전동차	화물차	소화물	단행	입환	시운전	공사
165	411	184	15	219	205	17	47	7	4	1
12.9%	32.2%	14.4%	1.2%	17.2%	16.1%	1.3%	3.7%	0.6%	0.3%	0.1%

그림 16은 대인접촉사고 발생시 열차와 접촉하는 부위를 조사한 것이다. 표 4의 통계를 참조하면 피사고자가 선두차 전두부와 접촉할 확률은 99.9% 이상이며, 선두차의 좌우측 측면과 충돌하는 경우가 대부분(66.7%)을 차지한다.

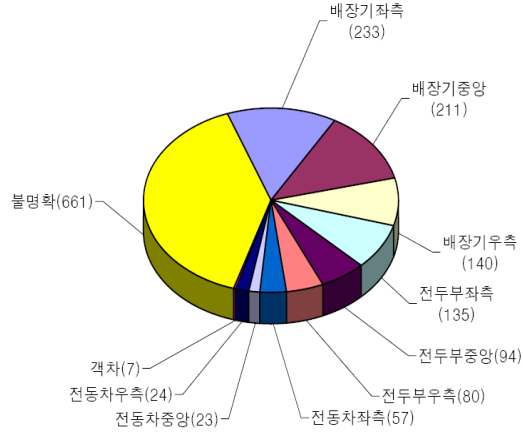


그림 16. 대인 접촉사고 시 차량의 접촉부위

표 4 차량의 대인접촉 발생 부위별 빈도

배장기 좌우측	배장기 중앙	전두부 좌우측	전두부 중앙	전동차 좌우측	전동차 중앙	객차
373	211	215	94	81	23	7
37.2%	21%	21.4%	9.4%	8.1%	2.3%	0.1%

그림 17은 피사고자의 초기 신체 접촉부위 (머리, 몸, 팔, 다리)를 분석한 것이다. 대부분의 초기접촉부위가 머리(48.6%) 또는 몸통(40.5%)이며, 이 경우 사망률은 75%가 넘는다.



그림 17. 피사고자의 초기 신체 접촉부위

그림 18은 접촉사고 발생당시 피사고자의 자세를 분석한 것이다. 대부분의 경우 선자세 (67.2%)로 접촉사고가 발생하며 앉은 자세나 누운 자세는 16.5% 수준으로 거의 동등하게 발생한다. 또한 사고발생시 자세가 높을수록 사망률은 약간씩 저감된다.

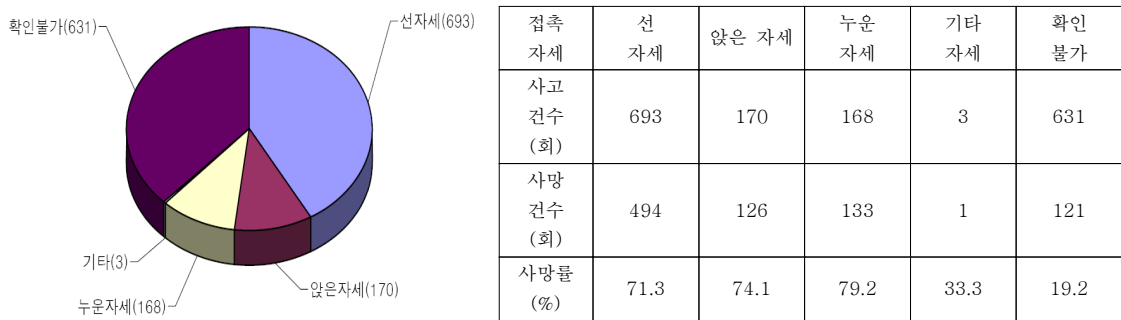


그림 18. 사고 당시 피사고자의 자세

그림 19는 대인 접촉사고 발생장소를 분석한 것인데, 사고 발생 장소에 따라서 사망률은 크게 변한다. 열차가 정상적인 속도로 운행하는 선로, 교량, 터널 구간에서는 사망률이 70%를 상회하며, 비교적 운행속도가 낮은 역구내, 고상홈, 건널목 등에서는 사망률이 50% 수준을 하회한다. 또한 비슷한 속도 구간에서는 접촉시 대피 여유 공간이 있는 경우(선로, 건널목 등)가 그렇지 않은 경우보다 사망률이 낮다. 선로 및 건널목에서 발생하는 대인접촉사고는 장소가 확인된 전체사고 건수의 86.1%를 차지한다.

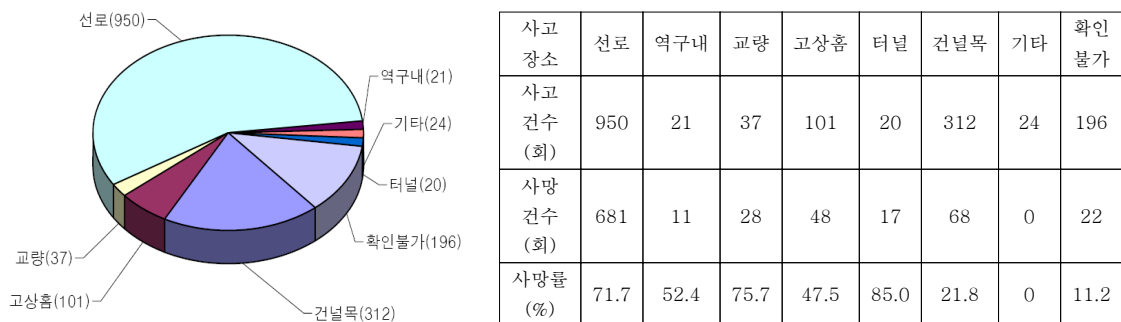


그림 19. 대인 접촉사고 발생 장소

5. 결론

대인 접촉사고에서 접촉속도에 따른 사상자를 분석한 결과 대인접촉사고 피해를 줄이기 위하여 다음과 같은 사고 시나리오와 설계가이드라인을 만족시킬 수 있는 장치 개발이 필요하다.

- 일반철도의 경우: 70 km/h 접촉 (현재 발생 접촉사고의 70% 이상에 해당)에서 중상, 45km/h 접촉 (현재 중상자의 평균 접촉속도)에서 경상일 조건
- 도시철도 : 55 km/h (현재 발생 접촉사고의 80% 이상에 해당) 접촉에서 중상, 30km/h 접촉 (현재 중상자의 평균 접촉속도) 에서 경상일 조건

이 경우 현재 대인접촉사고 사망자의 75% (200명/년인 경우 150명/년 저감) 저감 가능하

고 승용 및 승합차의 건널목 사고에서도 일정한 효과가 기대된다.

또한 대인접촉 사고시 여러가지 접촉인자가 상해의 심각도에 미치는 영향인자 도출하기 위하여 사고 통계자료를 분석한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 대인접촉사고 발생시 선두차 전두부와 접촉할 확률은 99.9% 이상이며, 선두차의 좌우측 측면과 충돌하는 경우가 대부분(66.7%)을 차지한다.
- 대부분의 초기 신체접촉부위가 머리(48.6%) 또는 몸통(40.5%)이며, 이 경우 사망률은 75%가 넘는다.
- 대부분의 경우 선자세(67.2%)로 접촉사고가 발생하며 앉은 자세나 누운 자세는 16.5% 수준으로 거의 동등하게 발생한다. 또한 사고발생시 자세가 높을수록 사망률은 약간씩 줄어든다.
- 사고 발생 장소에 따라서 사망률은 크게 변하는데, 열차가 정상적인 속도로 운행하는 선로, 교량, 터널 구간에서는 사망률이 70%를 상회하며, 비교적 운행속도가 낮은 역구내, 고상홈, 건널목 등에서는 사망률이 50% 수준을 하회한다. 한편 비슷한 속도 구간에서는 접촉시 대피 여유 공간이 있는 경우(선로, 건널목 등)가 그렇지 않은 경우보다 사망률이 낮다. 선로 및 건널목에서 발생하는 대인접촉사고는 장소가 확인된 전체사고 건수의 86.1%를 차지한다.

따라서 선두차 전두부에 적절한 장치를 탑재함으로써 대인접촉사고 피해를 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 특히 머리카나 몸통을 충격으로부터 보호할 수 있는 장치가 필요하다. 또한 대부분의 경우 피사고자가 선자세로 선로 등 열린 공간 있는 구간에서 접촉되므로 이러한 조건을 우선적으로 고려하는 것이 필요하다.