

철도차량 피난모델링을 위한 유동계수에 관한 분석

Analysis of Flow Rate for Egress Modeling of Passenger Car

김종훈* 김운형* 노삼규** 이덕희*** 정우성*** Gylène Proulx****
Kim Jong-Hoon*, Kim Woon-Hyung*, Roh Sam Kew**,
Lee Duck-Hee***, Jung Woo-Sung***, Gylène Proulx****

ABSTRACT

In order to rise up the accuracy of evaluation of egress safety for train car and facilities, analysis of egress route, scenario and the prediction by variation of flow rate were conducted. According to analysis of egress scenario for train, the extra time should be added to the time from train to safety area when the distance between the train car floor level and the track level exists. In the result of hand calculation, the egress time was 123.1 s at flow rate 0.5, was 61.5 s at flow rate 1.0, and was 41 s at flow rate 0.5.

국문요약

차량과 바퀴하단까지의 높이가 국내 차량의 경우 0.625m와 1.15m 였으며, 외국의 경우는 지면까지의 거리를 1.3m 높이로 한 경우도 있다. 이 높이는 정상 성인의 경우에는 뛰어내리는 것이 가능하지만, 아동, 노인, 장애인에게는 어려우며 추가적인 시간 소요가 발생하게 된다. 일본 신건축방재지침에서 제안된 피난계산식을 통해 분석해본 결과 CAR A의 경우 유동계수 0.5에서는 123.1초, 1.0에서는 61.5초, 1.5에서는 41초를 나타내고 있다. 정상상태의 유동계수 1.5로 한 후 추가적인 시간을 더하면 298.6초의 시간이 소요되는 것으로 예측되었다.

1. 서 론

화재로부터 안전을 확보하기위한 설계와 평가의 가장 중요한 목표는 바로 인명의 안전(Safety of Life)이다. 이러한 목표는 승객을 수송하는 철도차량과 철도역사, 그리고 터널 등의 설계 시에도 적용되는 중요한 사항임에 틀림이 없다. 철도차량과 역사, 그리고 터널 등에 대한 설계에 대해 이전에는 법적으로 제시되는 사양적 기준에 의해 많은 요소들의 값이 결정되었으나, 최근에는 성능기준설계(performance based design)의 도입으로 인해 화재안전에 대한 평가의 결과로 설계요소의 값들이 결정

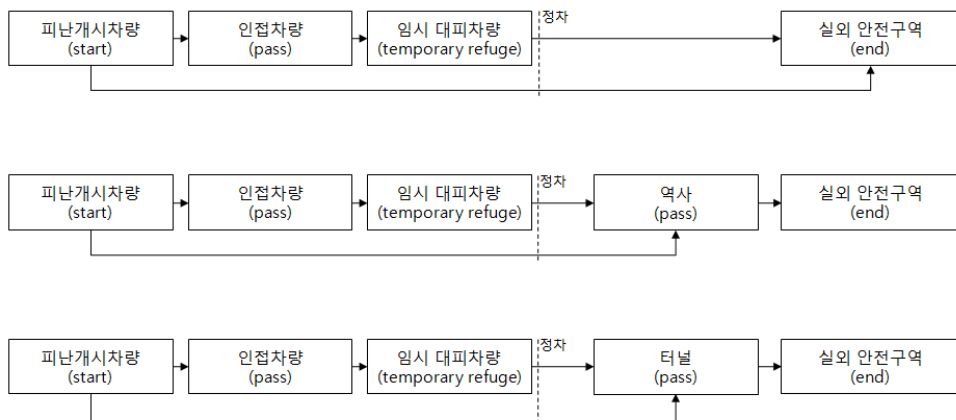
* 경민대학, 소방행정과, 비회원
E-mail : aina47@hanmail.net
TEL : (031)828-7312 FAX : (031)828-
** 광운대학교 건축학과
*** 한국철도기술연구원
**** National Research Council Canada

되는 경우가 빈번해지고 있으며, 차후 더욱 확대될 것으로 예상된다.

철도차량에 대한 화재안전성능평가를 수행함에 있어서도 분석해야할 중요한 현상 중 하나는 승객의 피난이다. 철도차량 내부에서 발생한 화재에 대해 그 차량의 구조와 재질, 그리고 차량을 구성하는 부품들이 충분한 안전성능을 가졌는지 여부를 판단하기위한 중요한 기준 중 하나가 바로 승객의 안전이기 때문이다.¹ 철도차량의 화재위험성평가에 대한 표준 가이드인 ASTM E 2061을 보면 화재안전의 목표에 대한 부분에서 화재안전의 가장 중요한 목표는 화재의 발생 시 철도운송차량의 모든 탑승자들의 안전한 피난을 확보하는 것이다.² 라고 서술하고 있다.² 그러므로 철도차량의 피난안전성능을 평가하는 일은 매우 중요하다. 이러한 피난안전성능평가에서 가장 중요한 부분은 피난시간과 정체구간에 대한 예측할 수 있는 피난모델의 사용이다. 피난모델의 사용결과는 철도차량의 설계 뿐만 아니라, 차량에서 나와 안전지대까지 이동하는 경로가 되는 역사와 터널의 중요 설계요소들의 값을 결정하는데 중요한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 철도차량에 있어서 피난시나리오와 피난경로를 분석해보고, 유동계수의 변화에 따른 결과에 관한 분석을 수행하여 보았다.

2. 철도차량 피난모델링을 위한 시나리오의 분석

철도차량내의 승객에 대해 화재로 인한 위험이 발생하는 경우를 시나리오로 나타내면, 첫 번째는 차량이 이동 중 화재가 발생하였으나, 계속 이동하여 다음역이나 회차하여 이전 역으로 이동해 화재 대응을 하는 경우이다. 이러한 경우에는 차량 내 피난인들은 화재와 반대방향의 차량으로 이동하면서 정차이전까지 안전을 확보해야 한다. 두 번째는 차량의 화재발생으로 정차를 해야 하는 경우이다. 정차를 하는 공간이 개방된 실외공간인 경우와 터널인 경우가 있다. 정차한 공간이 실외라면 차량의 외부로 나오는 순간부터가 화재로부터는 안전을 확보하는 것이 된다. 그러나 터널의 경우는 차량을 나오더라도, 터널이라는 구조물의 내부에 있게 되는 것이므로, 이 터널을 벗어나 외부로 나오게 되는 순간부터가 화재로부터는 안전을 확보하는 것이 된다. 세 번째는 차량이 역사에 정차하고 있는 상황에서 화재가 발생한 경우이다. 이러한 경우 역사를 통해 실외로 대피하게 되는 순간부터가 화재로부터는 안전을 확보하는 것이 된다. [그림 1]을 분석해보면, 화재발생시 피난인들은 피난을 시작하는 차량에서 바로 역사, 터널, 또는 안전구역으로 가거나, 인접차량, 임시대피차량을 경유하여 역사, 터널, 또는 안전구역으로 이동하게 된다.



[그림 1] 화재로 인한 위험발생 시 철도차량 승객의 피난 경로

3. 철도차량과 외부의 높이 차이에 대한 분석

일반적인 건축물의 피난을 분석하는 경우 이동 경로의 상태는 평면 이거나 계단이며, 약간의 단 차이는 무시하기도 한다. 철도차량의 경우도 차량이 정차했을 경우 외부가 차량의 바닥과 높이가 같은 플랫폼이면, 차량에서 플랫폼으로의 구간의 상태를 평면으로 볼 수 있다. 그러나 차량과 플랫폼 간에

단차이가 존재하거나, 차량이 터널에 정차하였을 경우 지면과 차량 바닥간의 높이차이가 존재하는 경우는 명확한 자료 없이 평면구간이라고 보기에는 어렵다. 차량과 외부사이는 바로 연결되는 경우도 있지만, 차량과 외부사이에 계단이 있는 경우도 있어, 이 경우도 평면구간이 된다고 보기는 어려운 점이 있다. 현재 입수된 도면 중 지하철 전동차와 ○○○차량을 대상으로 분석해본 결과 차량의 바닥에서 바퀴하단까지의 거리는 계단이 있는 경우 0.65m 와 계단이 없는 경우는 1.15m가 나오는 것으로 나타났다. 실제 철로위에 있고, 기타 사항까지 고려한다면 차이는 더 커질 가능성이 높다. Peter Kangedal 등에 의하여 수행된 연구 자료를 보면 위험성평가에서 차량 바닥과 선로 바닥의 높이를 약 1.3m로 규정하고 있기도 하다.³

차량-플랫폼은 평지와 같은 조건이기 때문에 차량이 플랫폼에 정차되어있는 상황을 분석할 경우에는 일반 건축에서 사용되는 피난모델을 사용해 분석해도 이 부분에서 불확실성이 발생할 가능성은 낮다. 또한 0.625m ~ 1m 정도의 높이는 신체적으로 아무런 이상이 없는 성인인 뛰어내릴 수 있는 높이라는 주관적인 생각을 가질 수 있다. 그러나 수평보행에서는 이동이 가능했던, 아동, 고령자, 그리고 장애인에게는 상당한 위험을 감수해야하는 높이일 수 있으며, 보행을 위한 보조도구들을 사용했던 고령자와 장애인에게는 타인의 도움 없이 이동을 할 수 없는 구간일수도 있다.

그러므로 현재 아무런 자료나 정보 없이, 차량-계단-플랫폼, 차량-외부 등에 대한 분석을 수행하는 것은 결과에 대한 불확실성을 현저하게 증가시키는 결과를 가져올 것이며, 이로 인해 화재안전설계의 요소들이 결정된다고 한다면 오히려 위험을 증가시키는 결과를 가져올 염려도 있는 것이다.

4. 피난시간에 대한 유동율의 영향

차량-계단-플랫폼, 차량-외부 사이의 경로구성과 높이차에 의한 이동시간의 변화는 발생될 것이다. Peter. K.는 그의 보고서에서 한 승객이 차량으로부터 지면으로 하차하는데 소요되는 시간은 추천할 수 있는 값을 찾지 못하여, 근사값을 사용할 수 밖에 없으며, 이를 Frantzich. H의 연구에서 인용하였다. Frantzich. H는 지하운송시스템의 터널내부에서의 피난에 대한 연구에서, 평균적으로 한 사람당 4.6초의 추가적인 시간 소요를 제시하였다. 피난에 사다리를 이용하는 것과 이용하지 않는 상황 등에 대한 연구가 수행되었으나, 이에 대한 자료 분석은 차후 수행할 예정이다.

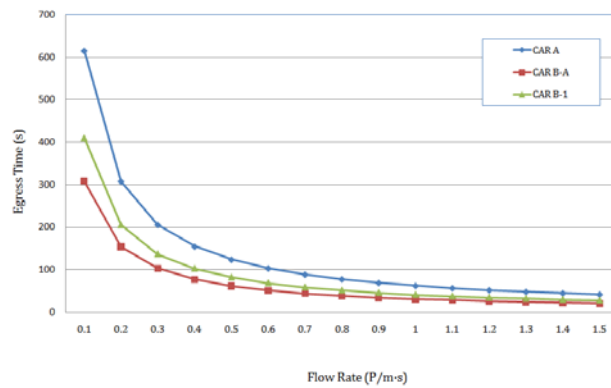
그러므로 본 연구에서는 유동율의 변화에 따른 모델 차량들의 피난시간변화와 일반적인 유동율에 한 사람당 4.6초의 시간을 추가한 자료를 토대로 하여 그 예측 값들을 비교해 보았다. 이러한 유동율의 변화에 의한 시간 변화를 계산하기 위하여 수계산공식을 사용하였다.

[표 2] 분석 차량별 설정값과 4.6 s/p에 의한 추가 값

	인원	문폭	개수	최종 문폭	4.6 s/p에 의한 추가값	비고
CAR A	56	0.91m	1	0.91m	257.6	문한개 개방
CAR B-A	160	1.30m	4	5.20m	736/4 = 184	4개 문 모두 개방
CAR B-1	160	1.30m	3	3.90m	736/3 = 245.3	3개 문 개방

$$t_p = \frac{P}{f \cdot \sum W} \quad (1)$$

t_p : Egress time (s)
 P : People(N)
 f : Flow rate (N/m-s)
 W : Width of Door (m)



[그림 3] 유동계수 변화에 따른 피난시간의 변화

수식(1)은 일본 신건축방재지침에서 제안된 피난계산식에서 정해진 인원이 피난문을 통과하는데 소요되는 시간이며, 유동계수로는 1.5를 사용하고 있다. CAR A의 경우 유동계수 0.5에서는 123.1초, 1.0에서는 61.5초, 1.5에서는 41초를 나타내고 있다. 정상상태의 유동계수 1.5로 한후 추가적인 시간을 더하면 298.6초의 시간이 소요되는 것으로 예측되고 있다.

5. 결론

차량-지면 간의 높이 차이에 의한 유동계수의 변화는 철도차량 내부의 피난성능 뿐만 아니라 시설물에 대한 피난성능 평가에도 그 결과의 신뢰도를 높이는 데 중요한 부분이라 할 수 있다. 그러므로 이에 대해 앞으로 추가적인 실험과 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2008년 철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발" 과제의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김종훈, 김운형, 이덕희, 정우성, "철도차량에 대한 피난모델 적용", 한국철도학회
2. ASTM E 2061 Standard Guide for Fire Hazard Assessment of Rail Transportation Vehicles
3. P. Kangedal, D. Nilsson, "Fire Safety on Intercity and Interregional Multiple Unit Trains", Lund University, 2002
3. E.D.Kuligowski et al, "A Review of Building Evacuation Models", NIST Technical Note 1471, 2005.
4. 김운형, 윤명오, "피난모델의 검토 - SIMULEX", 한국화재소방학회 춘계학술발표회, 1999
5. 김운형, 윤명오, E.R.Galea, "EXODUS 피난모델의 검토", 한국화재소방학회 춘계학술발표회, 2000
6. 김운형, 김종훈, 김병찬, "Exodus 모델을 적용한 Day care 시설의 피난안전성능 검토", 한국화재소방학회 춘계학술발표회, 2007

철도차량 피난모델링을 위한 유동계수에 관한 분석

Analysis of Flow Rate for Egress Modeling of Passenger Car

김종훈* 김운형* 노삼규** 이덕희*** 정우성*** Gylène Proulx****
Kim Jong-Hoon*, Kim Woon-Hyung*, Roh Sam Kew**,
Lee Duck-Hee***, Jung Woo-Sung***, Gylène Proulx****

ABSTRACT

In order to rise up the accuracy of evaluation of egress safety for train car and facilities, analysis of egress route, scenario and the prediction by variation of flow rate were conducted. According to analysis of egress scenario for train, the extra time should be added to the time from train to safety area when the distance between the train car floor level and the track level exists. In the result of hand calculation, the egress time was 123.1 s at flow rate 0.5, was 61.5 s at flow rate 1.0, and was 41 s at flow rate 0.5.

국문요약

본 연구에서는 철도차량에 있어서 피난시나리오와 피난경로를 분석해보고, 유동계수의 변화에 따른 결과에 관한 분석을 수행하여 보았다. 시나리오 분석 결과에 의하면, 화재발생시 피난인들은 피난을 시작하는 차량에서 바로 역사, 터널, 또는 안전구역으로 가거나, 인접차량, 임시대피차량을 경유하여 역사, 터널, 또는 안전구역으로 이동하게 되며, 차량바닥과 지면사이의 높이 차이가 발생하는 경우, 피난에 추가적인 시간이 소요될 것으로 예상된다. 차량과 바퀴하단까지의 높이가 국내 차량의 경우 0.625m와 1.15m 였으며, 외국의 경우는 지면까지의 거리를 1.3m 높이로 한 경우도 있다. 이 높이는 정상 성인의 경우에는 뛰어내리는 것이 가능하지만, 아동, 노인, 장애인에게는 어려우며 추가적인 시간 소요가 발생하게 된다.

일본 신건축방재지침에서 제안된 피난계산식에서 정해진 인원이 피난문을 통과하는데 소요되는 시간이며, 유동계수로는 1.5를 사용하고 있다. CAR A의 경우 유동계수 0.5에서는 123.1초, 1.0에서는 61.5초, 1.5에서는 41초를 나타내고 있다. 정상상태의 유동계수 1.5로 한후 추가적인 시간을 더하면 298.6초의 시간이 소요되는 것으로 예측되고 있다. 차량-지면 간의 높이 차이에 의한 유동계수의 변화는 철도차량 내부의 피난성능 뿐만 아니라 시설물에 대한 피난성능 평가에도 그 결과의 신뢰도를 높이는 데 중요한 부분이라 할 수 있다. 그러므로 이에 대해 앞으로 추가적인 실험과 연구를 수행할 예정이다.

* 경민대학, 소방행정과, 비회원
E-mail : aina47@hanmail.net
TEL : (031)828-7312 FAX : (031)828-
** 광운대학교 건축학과
*** 한국철도기술연구원
**** National Research Council Canada