

충돌 감가속도 산출을 위한 평가방법에 대한 고찰 및 특성인자 연구

A Study on the Evaluation Method and Characteristic Factors for Calculating the Mean Deceleration in the Crashworthiness Requirement

이배화*[†], 김영재*, 김승택*, 이장욱*

Bae-hwa Lee*[†], Young-jae Kim*, Seung-tech Kim*, Jang-wook Lee**

초 록 본 연구에서는 최근 개정된 철도차량 충돌안전적용규격의 요구사항 중 감가속도 평가방법의 변경에 따라, 그 유의차를 확인하고 충돌거동에서 평가결과에 영향을 주는 특성인자를 연구한다. 이를 위해 평가모델은 기존 규격을 만족하는 도시철도차량을 활용하고 상용 비선형 해석프로그램인 LS-Dyna를 사용해 3차원 시뮬레이션을 수행하였다. 개정된 평가방법에 의거한 결과와 기존 값의 비교 및 산출위치에 따른 감가속도를 영향 등을 분석하였다. 또한 차체 내부에 가속도 센서 요소를 부착하여 얻어진 국부적인 가속도 값과 규격 상의 산출방식인 Net contact force 기반의 결과와 비교·분석을 하였다.

주요어 : 충돌안전, EN15227, 평균감가속도, 생존공간, 철도차량기술기준, Passive safety

1. 서론

운송수단으로서 철도차량은 높은 경제성과 정시성은 운영자 및 사용자로 하여금 다른 운송방식에 비해 상당히 매력적인 수단으로 인정받고 있다. 그리고 대규모 인적 및 물적 자원의 수송은 높은 안전성을 요구하고 있다. 하지만 예상치 못하거나 불가피한 사유로 발생한 추돌/충돌사고는 운송수단의 효과를 상쇄할 만큼 큰 피해가 발생할 수 있고 특히 인명사고는 사회적 문제로 확대되므로, 전세계적으로 철도차량의 충돌안전 관련 적용규격이 강화되는 추세에 따라 충돌하중관리 및 에너지 흡수를 위해 다양한 흡수장치를 차량에 적용하려는 시도[1]를 하고 있다. 이에 본 연구는 최근 개정된 충돌안전규격의 생존공간 감가속도 평가에 대한 분석과 다양한 접근방식을 통해 해당 평가의 특성인자를 연구하였다.

2. 충돌 감가속도평가

2.1 생존공간 감가속도

철도차량기술기준에서 요구하는 충돌안전관련 평가항목, 평가방법. 판단기준은 유럽철도기술규격인 EN15227[2]의 요구사항을 따르도록 명시되어 있고, 그 규격은 최근 개정(EN15227:2020)을 통해 평가방법이 일부 업데이트가 되었다. 이에 따라 감가속도 산출 시 이동평균구간(Moving average duration) 개념이 적용되어, 산출구간을 30ms와 120ms로 구분해 평가한다. 이는 감가속도 평가에 있어 연속적인 추세확인이 가능하도록 개선된 것이다. 또한 30ms 구간과 같이 순간적으로 발생한 가속도에 대한 평가기준도 추가되었다.

2.2 충돌해석모델

감가속도 평가에 사용된 차량모델은 편성당 10량으로 구성되어 최근 운행이 시작된

† 교신저자: 현대로템 기술연구소
(bhlee@hyundai-rotem.co.kr)

* 현대로템 기술연구소

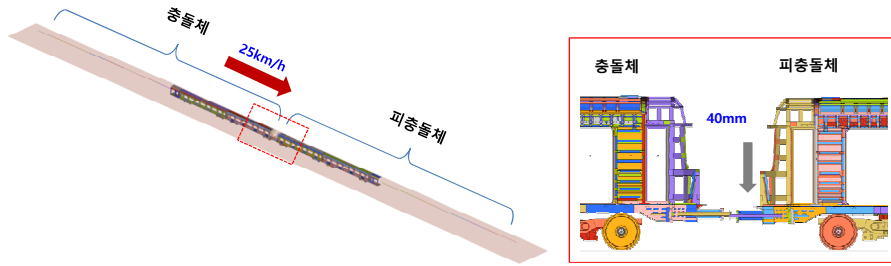
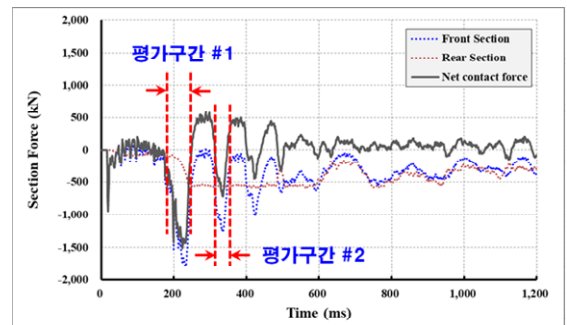


Fig. 1 FE model of a head-on collision for calculating the mean deceleration.

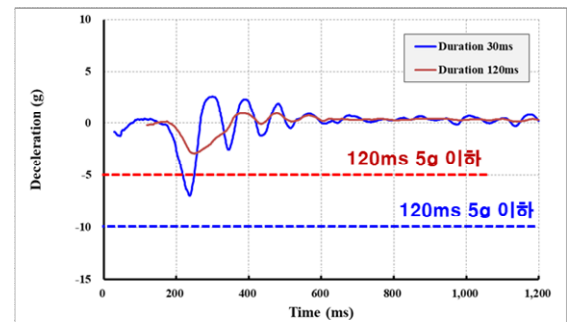
도시철도차량으로 선정하였다. 이 차량은 기존 규격(EN15227:2008+A1:2010)을 만족하고 있어 개정된 규격과의 비교분석에 매우 유의미한 결과를 얻을 수 있다. 평가차량의 충돌 해석은 상용프로그램인 LS-Dyna[3]를 사용하였으며 가장 큰 충돌하중이 인가되는 첫번째와 두번째 차량을 3D 모델링을 적용하였고 후위차량은 1D 및 질점요소를 사용하였다. 그리고 평가에 사용된 시나리오는 표준충돌사고각본에서 사고심각성이 가장 높은 정면충돌을 고려하였다.

2.3 감가속도 평가결과

감가속도는 일반적으로 선두차량이 충돌초반과 후위차량과의 충돌시점에서 가장 크게 발생한다. 기존방식으로 평가할 경우, 162-250ms 구간과 313-348ms 구간에서 가장 큰 감가속도가 발생하며 각각 3.89g와 3.20g를 가진다. 이는 허용기준인 5g 이내에 해당하므로 해당규정을 만족하고 있다. 그리고 개정방식으로 평가하면, 30ms 기준 236ms에서 6.95g와 120ms 기준 250ms에서 2.88g로 산출된다. 허용기준은 30ms 기준일 때 10g 이하이고 120ms 기준 일 때 5g 이하이므로 개정방식으로 적용하여도 규정을 만족한다. 두 방식 모두 유사한 시점에서 가장 큰 값이 계산되었고, 허용기준 대비 약 30% 안팎의 마진도 동일하다. 결국 충돌안전설계가 적용된 차량에서 발생한 감가속도가 계산에 고려되는 충돌구간이 120ms 초과하여 발생하지 않을 경우, 개정규정의 요구사항도 충족할 것으로 판단된다.



(a) EN15227:2008+A1:2010



(b) EN15227:2020

Fig. 2 The Evaluation durations and crash forces for calculating deceleration

2.4 하중분석 및 가속도 측정

2.4.1 차체 구간 별 하중변화

충돌하중은 최초충돌부위에서부터 시작하여 차체의 길이방향을 따라 후위로 전이되면서 점차 감소한다. 이때 감소된 충돌하중은 차체의 후위부를 지지하는 반력(반작용)에 따라 그 크기가 결정되는데, 일반적으로 차량 간에 설치된 연결기의 흡수체나 단부에 부착된 흡수부재의 작동하중 값이 된다. 각 위치 별 충돌하중과 전달과정의 변화량을 측정하기 위해 차체의 해석모델에 등간격으로(약 2미터) 측정평면을 삽입하였고, 이를 통해 그 하중들

이 선형에 가깝게 감소하는 것을 알게 되었다. 또한 전위부터 후위까지(차체길이 20미터) 전달되는데 소요된 시간은 약 10ms 가량 되므로, 규격에 따른 가속도를 산출하는데 있어 차체 양단의 충돌하중은 시간차에 의한 영향이 미미한 것으로 나타났다.

2.4.2 가속도계를 통한 측정

충돌하중에 의해 계산된 감가속도와 국부위치에서 가속도를 직접 측정했을 때와의 차이를 확인하고자 해석모델의 차체 생존공간 내부에 등간격으로 가속도 측정요소(accelerator element)를 추가하였다. 충돌초반에는 측정위치와 관계없이 동일하게 감속이 이뤄졌으며, 200ms 이후에는 차체는 인장과 압축이 반복하며 특히 차체 후위부에서 높게 감속이 발생한다. 측정된 감속도는 EN15227의 이동평균구간 방식의 결과와 유사한 수준으로 확인되어 개정된 규격의 평균감가속도 산출방식이

Table 1 Peak crash force and time per section position

Section plane	Max. contact force	
#1	1,460kN@231ms	100%
#2	1,220kN@232ms	83.6%
#3	1,120kN@234ms	76.7%
#4	1,110kN@234ms	76.0%
#5	905kN@237ms	61.9%
#6	822kN@237ms	56.3%
#7	786kN@238ms	53.8%
#8	635kN@239ms	43.5%
#9	550kN@245ms	37.7%

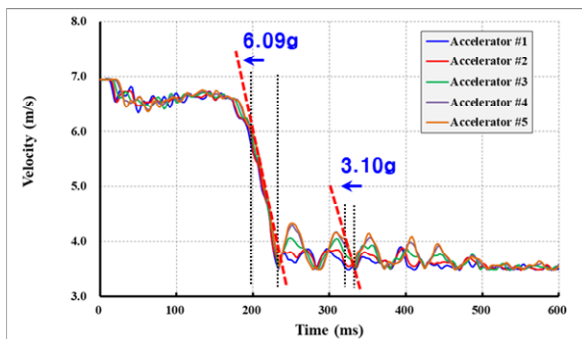


Fig. 3 The deceleration measured by accelerators in the carbody structure.

기준규격 대비 보다 직접적이며 보수적인 평가결과를 가진다. 이는 개정규격의 산출방식은 30 ms의 제한된 평가구간을 통해 충돌거동에서 발생하는 미소한 감가속도 변화에 대해 충분히 반영할 수 있음을 의미한다.

3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 충돌안전성 평가의 감가속도 산출에 대해 Net contact force를 기반한 기존과 개정 규격의 비교와 감가속도계를 통해 가속도 측정값과의 비교·분석을 수행하였고, 이를 통해 얻어진 주요 결론은 아래와 같다.

첫째, 개정된 방식을 적용할 경우 얻어진 감가속도 값이 다소 증가하였으나 규격이 요구하는 기준에 대한 마진율을 동일하므로 규격의 개정으로 인해 기존 EN15227의 감가속도 규정을 만족하는 차량도 개정된 규정 역시 준수한다.

둘째, 개정 규격은 가속도 요소로 측정된 값과 유사하고 기존방식 대비 거동현상을 더욱 잘 표현하므로 보다 효과적인 평가방식으로 판단된다.

셋째, 다양한 요구조건에 맞춰 철도차량은 충돌안전을 위한 흡수장치들을 다르게 설계되므로 흡수특성을 달리한 조건에서 비교·분석한 연구가 더 필요하다.

참고문헌

[1] G. J. Jung, J. W. Bae and S. H. Jeon (2016) A Study on the Performance Evaluation Methods of Impact Energy Shock Absorption Feature for Railway Vehicle, *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 267-872.

[2] BS EN 15227, Railway applications - Crash worthiness requirements for railway vehicle bodies.

[3] LSTC, LS-DYNA Theory manual, Livermore Software Technology Corporation, 2019.