

EN규격을 적용한 철도차량의 승차감 평가 Evaluation of Ride Comfort for Railway Vehicle according to EN Standard

*김영국¹, 박찬경¹, 김기환¹

*Y. G. Kim(ygkim@krri.re.kr)¹, C. K. Park¹, K.H.Kim¹

¹한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

Key words : continuous comfort, mean comfort, comfort on curve transitions and discrete events, statistical method, ride index, frequency weighting curve

1. 서론

철도의 승차감은 주로 "ISO 2631규격"[1]과 Sperling이 제안한 "승차감 지수(Wz)"[2]로 평가하는 평가법이 오랫동안 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 국제철도협회(International Union of Railways, UIC), 국제표준위원회(International Standardization Committee, ISO) 및 유럽표준위원회(European Committee for Standardization, CEN)에서 UIC 513R과 ISO 10056, ISO 2631-4, EN12299 등의 규격을 새로이 제정하여 사용하고 있다[3, 4]. 이들 규격과 문헌에서는 철도차량의 승차감 평가 방법으로 가속도 실효값(mms) 이용방법, 진동 가속도를 사용한 통계적 방법 및 Wz 방법 등을 제안하고 있다. 이렇듯 다양한 철도차량의 승차감 평가방법에 대해 철도의 사용주체마다 각기 다른 승차감 평가방법을 적용하고 있으나, 철도망이 잘 형성되어 있는 유럽에서는 유럽표준위원회의 내부규약에 따라 EN 규격을 강제적으로 사용하도록 하고 있기 때문에 EN12299을 철도의 승차감 평가에 사용하고 있다.

본 논문에서는 EN12299에 규정된 승차감 평가방법에 대하여 고찰하고 국내에서 운행되는 KTX 산천이 고속선을 운행할 때에 발생하는 승차감을 이 규격을 적용하여 분석해 보고자 한다.

2. EN 12299에 따른 승차감 평가분석

EN 12299에서는 UIC 513R, ISO 10056 등 다른 규격에서와 마찬가지로 철도 승차감에 대한 평가방법, 평가절차 등에 대하여 자세히 규정하고 있다. 본 규격에서는 철도의 승차감을 '연속승차감(continuous comfort)', '평균승차감(mean comfort)', '완화곡선부에서의 승차감(comfort on curve transitions)', '갑작스런 변동부에서의 승차감(comfort on discrete events)'의 4가지 방법으로 평가하도록 하고 있으나, 대부분의 다른 규격에서는 '평균승차감'에 대해서만 규정되어 있다. '평균승차감'의 경우에

는 다른 규격의 통계적인 방법과 동일하다.

본 규격에서 사용되는 주파수보정곡선을 나타낸 것으로써 '완화곡선부와 갑작스런 변동부에서의 승차감'에 사용되는 W_p 보정곡선을 제외하고는 UIC 518규격과 동일하다[3].

Table 1은 '연속승차감'과 '평균승차감'을, Table 2는 '완화곡선부 및 갑작스런 변동부에서의 승차감'을 평가하는 평가지수를 각각 구하는 절차를 요약한 것이다. '연속승차감'은 '평균승차감'의 평가를 위해 사용되는 5초 간격의 실효치(block's rms)를 이용하여 필요한 구간에 대해 연속적으로 평가지수를 구하여 평가하며, '평균승차감'은 표준방법(standard method)과 완전방법(complete method)의 두 종류로 기본적으로는 표준방법을 사용하여 평가하고 참조로 완전방법으로 평가하도록 되어 있다. 이 두 방법 모두 60개의 5초 간격의 실효치에 대해 통계치를 사용한 평가지수를 구하여 승차감을 평가한다. '완화곡선부 및 갑작스런 변동부에서의 승차감'은 가속도, 롤각속도가 급격하게 변하는 완화곡선이나 특정한 선로구간에 대하여 특정시간 동안의 평균치와 피크-피크치(peak-peak)를 사용한 승차감 지수를 구하여 승차감을 평가한다.

Fig.1은 KTX 산천이 고속선로를 운행할 때에 '연속승차감'을, Fig. 2는 '평균승차감'을 평가한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 열차는 300 km/h으로 운행되고 있으며, 그 때에 승차감 지수는 C_y max와 C_z max는 각각 0.19 m/sec²과 0.39 m/sec²로 승차감은 '보통($0.3 \leq C_c < 0.4$ m/sec²)'임을 알 수 있다. '평균승차감'은 Fig.2에서 보는 바와 같이 표준방법으로 평가한 승차감지수가 완전방법으로 평가한 경우보다 크며, 이는 본 규격에서 규정되어 있는 바와 같이 '평균승차감'의 기본적인 평가를 표준방법으로 할 것을 의미한다. '평균승차감'의 최대값은 2.33으로 '안락($1.5 < N_{mv} < 2.5$)'다고 평가할 수 있다. 그러나, '연속승차감'의 경우는 '보통'인데 반하여 '평균승차감'이 '안락'하다는 것은 특정구간에서의 승차감이 나쁘다는 것을 의미하며, 이는 특정구간의 상하방향에 대한 선로조건이 좋지 않다는 것이다.

'완화곡선과 갑작스런 변동부에서의 승차감' 결과 그래프는 본 논문에서 나타나지 않았으나 완화곡선부에 대한 승차감 지수(P_{CT})는 10 이하, '갑작스런 변동부'의 승차감 지수(P_{DE})는 0으로 기준치 100보다는 훨씬 작음을 확인하였다. 이는 고속선의 곡선반경이 크며 선로의 갑작스러운 변동부가 없기 때문이다.

스런 변동부에서의 승차감'이 있음을 확인할 수 있었다. 국내에서 운행되는 고속열차에 대해 본 규격에서 정의하고 있는 승차감 평가방법을 적용하여 평가를 해 봄으로써 차후 차세대 고속철도 기술개발 사업으로 개발되는 분산형 고속열차의 승차감 평가에 적용할 수 있는지를 확인하였다.

Table 1 Summary of evaluation method for mean and continuous comfort

	Continuous comfort (1block)		Mean comfort(60 blocks)			
			N_{MV}	N_{VA}	N_{VD}	
Floor (x)	5sec rms	$C_w(t) = a_{XP} \frac{W_x(t)}{XP}$	$a_{XP95} \frac{W_x}{XP95}$	—	$a_{XP50} \frac{W_x}{XP50}$	
Seat back-rest(x)		—	—	$a_{XD95} \frac{W_x}{XD95}$	—	
Floor (y)		$C_w(t) = a_{YP} \frac{W_y(t)}{YP}$	$a_{YP95} \frac{W_y}{YP95}$	—	$a_{YP50} \frac{W_y}{YP50}$	$a_{YP95} \frac{W_y}{YP95}$
Seat (y)		—	—	$a_{YA95} \frac{W_y}{YA95}$	—	—
Floor (z)		$C_w(t) = a_{ZP} \frac{W_z(t)}{ZP}$	$a_{ZP95} \frac{W_z}{ZP95}$	$a_{ZP95} \frac{W_z}{ZP95}$	$a_{ZP50} \frac{W_z}{ZP50}$	—
Seat(z)		—	—	$a_{ZA95} \frac{W_z}{ZA95}$	—	—

- Standard method $N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{\left(a_{XP95} \frac{W_x}{XP95}\right)^2 + \left(a_{YP95} \frac{W_y}{YP95}\right)^2 + \left(a_{ZP95} \frac{W_z}{ZP95}\right)^2}$
 - Complete method
 for seated $N_{VA} = 4 \cdot \left(a_{ZP95} \frac{W_z}{ZP95}\right) + 2 \cdot \sqrt{\left(a_{YA95} \frac{W_y}{YA95}\right)^2 + \left(a_{ZA95} \frac{W_z}{ZA95}\right)^2 + 4 \cdot \left(a_{XD95} \frac{W_x}{XD95}\right)^2}$
 for standing $N_{VD} = 3 \cdot \sqrt{16 \cdot \left(a_{XP50} \frac{W_x}{XP50}\right)^2 + 4 \cdot \left(a_{YP50} \frac{W_y}{YP50}\right)^2 + \left(a_{ZP50} \frac{W_z}{ZP50}\right)^2 + 5 \cdot \left(a_{YA95} \frac{W_y}{YA95}\right)^2}$

Table 2 Summary of evaluation method for comfort for curve transition and discrete events

	frequency Weighting curve	Curve Transitions	Discrete Events
		P_{CT}	P_{DE}
$\dot{\varphi}$	W_p	$ \dot{\varphi}_{1s} _{\max}$	—
\ddot{y}		$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	—
		—	$ \ddot{y}_{2s}(t) $
$\frac{d}{dt}(\ddot{y})$		$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	—

$- P_{CT} = 100 \cdot \left\{ \max \left[\left(0.284 \cdot |\dot{\varphi}_{1s}|_{\max} + 0.2069 \cdot |\ddot{y}_{1s}|_{\max} - 0.111 \right); 0 \right] + \left(3.64 \cdot |\dot{\varphi}_{1s}|_{\max} \right)^{2.283} \right\}$
 $- P_{DE}(t) = 100 \cdot \max \left[0.1662 \cdot \ddot{y}_{pp}(t) + 0.2701 \cdot \ddot{y}_{2s}(t) - 0.37; 0 \right]$

3. 결론

본 논문에서는 EN12299 규격에 규정된 승차감 평가방법을 대하여 고찰하였으며, 다른 규격에 없는 승차감 평가방법('연속승차감', '완화곡선부와 갑작

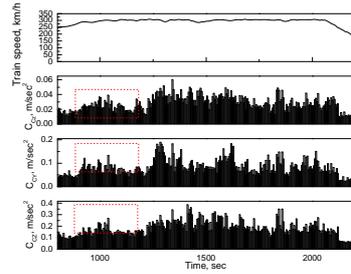


Fig. 1 Continuous comfort

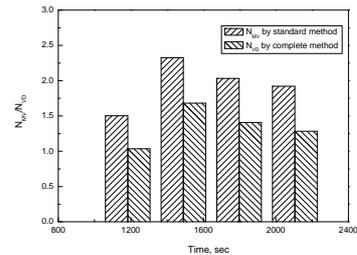


Fig. 2 Mean comfort

후기

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 차세대고속철도기술개발사업 “분산형 고속철도시스템 통합 및 총괄”과제의 지원을 받고 있음을 밝힙니다.

참고문헌

1. International Organization for Standardization(ISO), ISO Code 2631-1, 1997.
2. Garg, V. K., et al., Dynamics of Railway Vehicle Systems, Academic Press, 1984.
3. Y.G. Kim, C.K. Park, S.W. Kim, K.H. Kim and J.S. Paik, Analysis of the Frequency Weighting Curve for the Evaluation of Ride Comfort, Vol. 13, No. 6, pp552-558, 2010.
4. European Committee for Standardization, EN Code 12299, 2009