

객차 승차감 측정 시험결과 분석

Analysis of Ride Comfort Test Result for Passenger Coach

이지훈* 이창환** 유완식***
Lee, Ji Hoon Lee, Chang Hwan Yoo, Wan Suk

ABSTRACT

To design railway vehicles to ensure comfortable running, ride comfort of human exposed on vibrating carbody should be considered. Also, to improve ride comfort for passenger coach, many factors should be analysed and evaluated. There are many factors as suspension characteristics of railway vehicle, track characteristics to run etc. In this paper, passenger coach subjected to test on specific routine were evaluated using test results. Test routine were divided by 13 sections to analyse more detail. And the characteristics of every section were analysed distributions of radius curves, tunnel and bridge which could give impact to ride comfort. The evaluation of ride comfort were accomplished by UIC and ISO methods.

Key Word : Ride comfort, Passenger coach, Railway vehicle

1. 서론

철도차량은 레일 위를 대량으로 승객과 화물을 운반하는 수송수단으로서, 주행안정성의 확보는 필수적이다. 이와 더불어 승차감에 대한 요구와 기대감이 날로 높아지고 있으며, 고속주행시의 차체 진동을 완화해야 하기 때문에, 철도차량의 설계시 승차감과 진동 성능의 확보는 어느 성능보다도 중요한 설계 목표가 되고 있다.

철도차량의 주행시 레일로부터 승객 및 화물에 진동이 전달되는 주요 경로는 차륜, 1차 현가장치, 2차 현가장치, 차체 골조, 객실 바닥, 좌석으로 전달된다. 이러한 승차감과 진동 성능은 제작 전에 다양한 시뮬레이션 기법을 통하여 일정 수준의 성능을 확보 후, 성능을 입증하기 위한 실제 차량을 대상으로 한 주행시험이 실시된다. 일반적으로 객실 내 좌석에서 승객으로 전달되는 진동 가속도를 측정된 후 주파수 대역별로 감각보정치를 부여한 진동 측면에서의 승차감 수준을 평가하는 방법이 주로 사용된다.

이러한 철도차량이 주행시 승객이 느끼는 승차감에 가장 큰 영향을 주는 것은 주행시 레일의 불규칙도로부터 발생하는 가진력이며, 주행 구간 내의 각종 선로 선형도 많은 영향을 미친다.

* 정회원, 부산대학교 기계설계공학과 대학원
E-mail : yasha157@hotmail.com
TEL : (051)510-1457 FAX : (051)581-8514
**정회원, 공항철도(주) 기술본부, 공학박사
**정회원, 부산대학교 기계설계공학과, 교수

본 연구에서는 객차를 대상으로 하여, 승차감을 분석하기 위해 주어진 시험 구간에서 주행 시험을 실시하였으며, 전체 시험 구간은 보다 상세한 분석을 위하여 13개의 구간으로 분할하고, 구간 내에 존재하는 곡선반경, 터널, 교량 등의 분포를 분석하고, 주행속도에 따른 승차감을 분석하였다.

2. 승차감 시험 개요

2.1 시험 대상

시험 대상으로 무궁화 객차를 선정하여 실시하였으며, 주행 시험은 공차 상태의 중량 조건에서 실시하였으며, 실제 영업운전에서 적용되는 속도대역에서 측정함을 원칙으로 하였다. 시험대상 차량은 Fig. 1 과 같이 상대적으로 승차감 및 진동이 심한 열차 최후미 차량을 대상으로 시험을 실시하였다. 측정은 시험차량 전위대차 상부의 차체바닥중심 및 인접한 복도측 좌석에서 실시하였다. Fig. 2는 열차의 편성과 승차감 시험위치를 나타낸 것이다.



Fig. 1 Passenger coach for ride comfort test



Fig. 2 Configuration of the test train

2.2 시험 구간 및 특성 분석

주행 시험이 실시된 구간은 경부선 동대구-부산 구간으로 시험구간을 역간별로 Table 1과 같이 구간별 번호를 부여하였다. 그리고, Table 2는 시험 구간별로 급곡선에 해당되는 곡선반경 900m 이하의 곡선 분포를 조사하여 표에 나타내었다. 전체 시험구간중 가장 급곡선은 구간 12에서의 반경 400m로 나타났다.

Table 1. Division of test sections

section	Test section	Sectional distance (km)	Cumulative distance (km)
1	동대구 → 고모	5.6	5.6
2	고모 → 경산	6.8	12.4
3	경산 → 삼성	7.1	19.5
4	삼성 → 남성현	7.6	27.1
5	남성현 → 청도	8.7	35.8
6	청도 → 상동	11.8	47.6
7	상동 → 밀양	9.4	57.0
8	밀양 → 삼랑진	12.6	69.6
9	삼랑진 → 원동	9.1	78.7
10	원동 → 물금	9.2	87.9
11	물금 → 화명	9.4	97.3
12	화명 → 구포	3.4	100.7
13	구포 → 사상	5.1	105.8

Table 2. Characteristics of test sections

section	Radius of curve(m)						Tunnel	Bridge
	400	500	600	700	800	900		
1	-	-	5	-	-	-	-	1
2	-	-	2	-	2	-	-	2
3	-	1	2	-	1	1	-	2
4	-	2	2	-	2	-	1	1
5	-	1	5	-	1	-	-	3
6	-	1	7	-	2	-	-	7
7	-	-	3	-	2	-	1	5
8	-	1	7	1	-	-	3	3
9	-	-	1	-	3	-	2	2
10	-	-	2	-	2	-	3	2
11	-	1	3	-	2	-	-	2
12	1	-	1	-	-	-	-	1
13	-	-	2	-	1	-	-	1

곡선 반경별 열차 주행 제한속도는 Table 3과 같다. 최소 곡선반경인 400m에서는 주행속도를 90km/h이하로 엄격히 제한하고 있다.

Table 3. Speed limits on curves

Radius of curve (m)	Speed limits (km/h)
400	90
500	100
600	110
700	115
800	125
900	130

2.3 시험 방법

승차감 시험은 ISO승차감 평가와 UIC 승차감 평가의 두 종류로 이루어졌다. ISO승차감 평가를 위해서 Fig. 3과같이 좌석 위에 3축 가속도계를 설치하였으며, UIC승차감평가를 위해서 Fig. 4와 같이 좌석 안장 위, 좌석 등부분, 바닥면에 각각 가속도계를 설치하였다.



Fig. 3 Measuring system for ISO method



Fig. 4 Measuring system for UIC method

Fig. 5는 승차감 시험을 위한 가속도계와 데이터 획득 장치 간의 결선도를 나타낸다. 그리고, 주행속도별 승차감 평가 및 분석을 수행하기 위하여 Fig. 6과 같이 주행장치의 대차프레임에 광학 타코센서를 부착하여 주행속도 및 거리를 환산할 수 있도록 하였다.

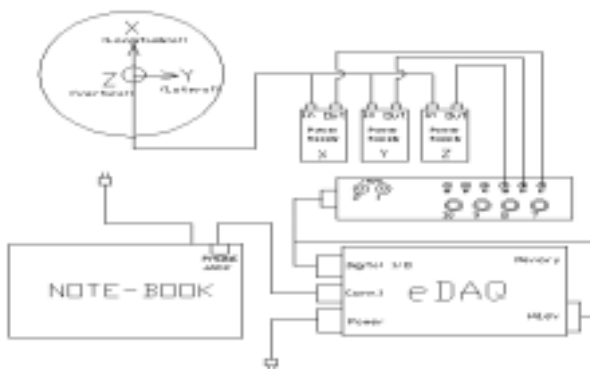


Fig. 5 Diagram of measuring system for ride comfort

Fig. 6 Installation of tachometer sensor on a passenger bogie

Table 4는 UIC정식법에 의한 가속도계의 위치에 대한 내용이다. 7개의 채널을 활용하여 시험하는데 안장에 3개 채널, 객실바닥 3개, 등부분에 1개 채널을 각각 할당하였다.

가속도계 설치 및 시험장비의 점검이 완료된 후, 열차가 주행을 시작하는 시점부터 측정이 시작되었으며, 시험중에 정차한 경우는 측정을 정지시키고 재출발시 측정을 다시 시작하였다. Fig. 7 은 주행 중 방석형 3축 가속도계로부터 계측되는 3축 방향의 가속도에 대한 신호 데이터들의 출력 결과이다.

Table 4. Locations of accelerometers for UIC method

Channel No.	Measuring directions	Measuring points
CH1	Xq	Seat pan
CH2	Yq	Seat pan
CH3	Zq	Seat pan
CH4	Xp	Floor
CH5	Yp	Floor
CH6	Zp	Floor
CH7	Xd	Seat back

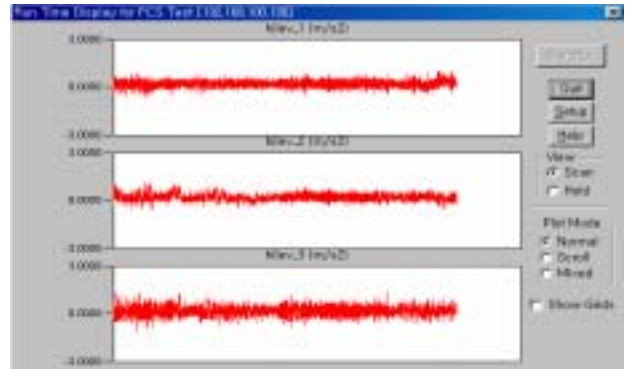


Fig. 7 Signals from seat pad accelerometers

3. 승차감 시험 결과 분석

3.1 시험 결과

Fig. 8은 승차감 측정시스템으로부터의 결과로서, 세부 내용으로는 계측데이터, 감각보정곡선, 감각보정 데이터, PSD(Power Spectral Density)비교 곡선, 승차감 레벨 산출 및 평가로 구성되어 있다.

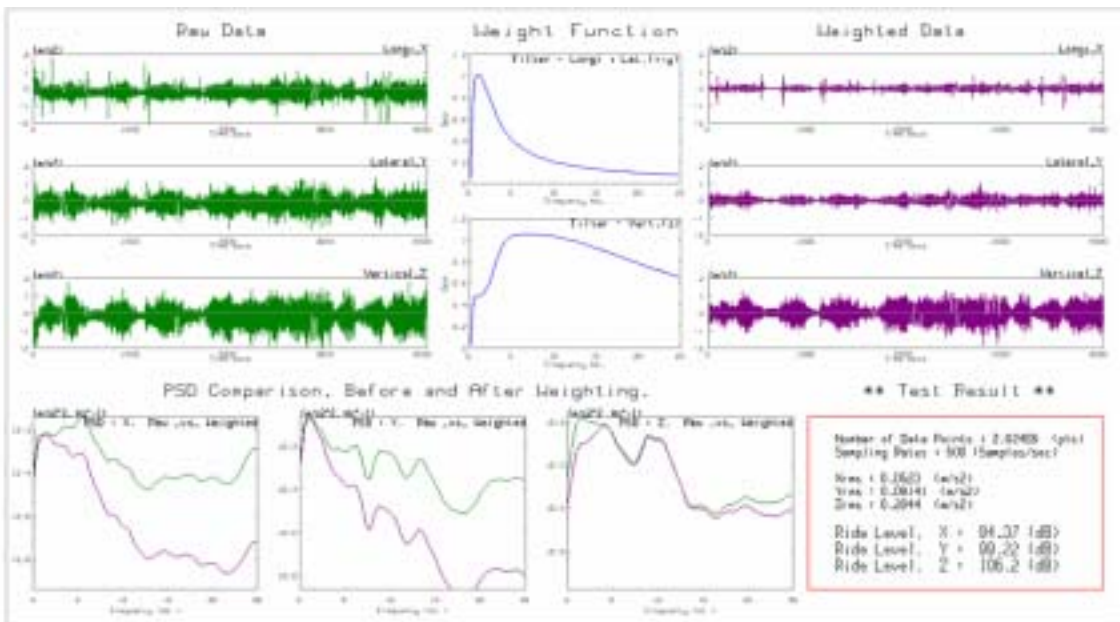


Fig. 8 Test result of ride comfort

3.2 UIC 승차감 분석

시험 구간 전체에 대하여 약식법으로 산출된 입석시의 승차감 지수 Nmv 는 정식법으로부터 산출된 지수 (Nva, Nvd)보다 더 좋은 지수값을 가지는 것으로 나타났다. Table 5는 UIC 규격 승차감 지수 이다. 착석시에는 정식법으로부터 산출된 승차감 지수(Nva)가 가장 낮음으로서, 승차감이 가장 우수한 조건임을 알 수 있었다. Table 6은 UIC 승차감 지수 시험 결과이다.

Table 5. Evaluation of UIC ride quality index

Ride Index(N)	Evaluation
$N < 1$	Very comfortable
$1 < N < 2$	Comfortable
$2 < N < 4$	Medium
$4 < N < 5$	A little uncomfortable
$N > 5$	Uncomfortable

(b) Full method in seated position

Acceleration	Weighted value(m/s ²)	Ride quality index
$a_{zp,95\%}^{Wb}$	0.178	Nva = 1.39
$a_{yq,95\%}^{Wd}$	0.173	
$a_{zq,95\%}^{Wb}$	0.238	
$a_{xd,95\%}^{Wc}$	0.023	

3.3 ISO 승차감 분석

Table 7은 ISO규격 승차감 레벨이며, 시험구간 전체에 대하여 ISO 승차감 분석법으로부터 얻는 방향별 RMS값과 그로부터 산출된 승차감 레벨은 Table 8과 같다. 시험결과로부터 전후(longitudinal)방향으로의 승차감 레벨이 가장 낮은 (very comfortable)반면, 수직방향(vertical)으로의 승차감 레벨이 가장 높음(comfortable)을 알 수 있었다.

Table 7 Evaluation of ISO ride comfort level

Ride comfort level	Evaluation
Less than 100	Very comfortable
100~105	Comfortable
105~110	Medium
110~120	Uncomfortable

Table 6. Test results of UIC ride quality index

(a) Simplified method

Acceleration	Weighted value (m/s ²)	Ride quality index
$a_{xp,95\%}^{Wd}$	0.078	·Nm _v = 1.53
$a_{yp,95\%}^{Wd}$	0.164	
$a_{zp,95\%}^{Wb}$	0.178	

(c) Full method in standing position

Acceleration	Weighted value (m/s ²)	Ride quality index
$a_{xp,50\%}^{Wd}$	0.033	Nvd = 1.47
$a_{yp,50\%}^{Wd}$	0.068	
$a_{zp,50\%}^{Wb}$	0.103	

Table 8. Test results of ISO ride comfort level

Acceleration	Weighted RMS (m/s ²)	Ride comfort level
$a_{xq,rms}^{Wd}$	0.049	93.81
$a_{yq,rms}^{Wd}$	0.095	99.60
$a_{zq,rms}^{Wb}$	0.165	104.40

3.4 주행 속도별 승차감 분석

주행시험은 실제 영업운전과 동일 조건에서 실시되었으며, Fig. 9는 평균 주행속도에 대한 3가지 UIC 승차감 지수를, Fig. 10은 3방향에 대한 ISO 승차감 레벨을 그래프로 나타내었다. 분석 결과로부터, 승차감 지수와 레벨은 주행속도 증가에 따라 대체적으로 높아지는 경향이 나타났다. 이로부터 진동 승차감은 열차 주행속도에 비례하여 악화되는 특성이 파악되었다. 분석 결과 특이사항은 주행속도 90km/h 부근에서 상대적으로 높은 승차감 지수와 승차감 레벨이 나타난 것으로 보아 외부로부터의 횡방향 외란 즉, 궤도 불규칙도가 크게 작용한 것으로 보인다.

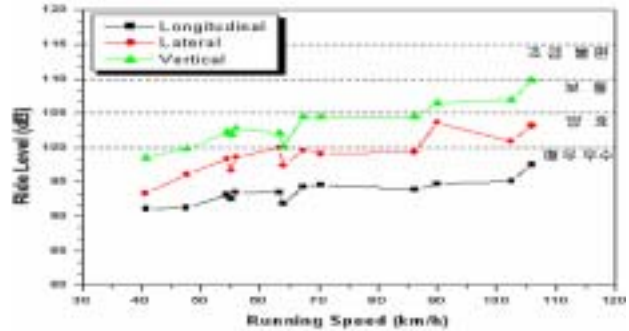
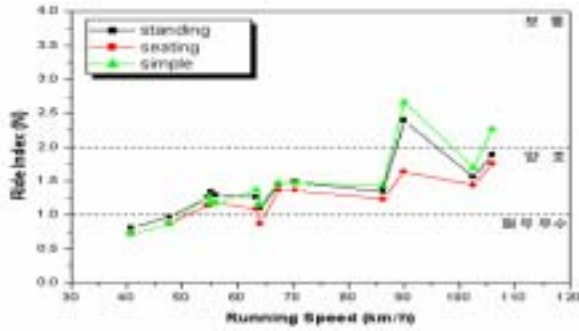


Fig. 9 UIC ride quality indices against running speed Fig. 10 ISO ride comfort levels against running speed

3.5 시험 구간별 승차감 분석

시험 구간 전체를 구간별로 상이한 운행 및 선로 조건에 따라 승차감의 분포를 파악하기 위하여 13개 구간으로 나누어 승차감 분석을 실시하였다. Table 9에서는 구간별 평균 주행속도와 해당 UIC 승차감 지수를 표로 나타내었고, Fig. 11에서는 구간별 UIC 승차감 지수의 분포를 막대그래프의 형태로 나타내었다. UIC 승차감 분석의 결과로부터 입석 승차감 지표인 Nmv , Nvd 는 구간 6에서 가장 높게 나타났다. 구간 6(청도-상동 간)의 주행조건 및 특성은 주행속도는 89.99km/h로 상대적으로 높았으며, 900m 이하의 급곡선과 철교가 전체 구간 중 가장 많았다. 반면 좌석 승차감 지표 Nva 는 구간 2(고모-경산 간)에서 가장 높게 나타났는데 주행속도는 105.9km/h로 가장 높은 구간이며, 급곡선이나 철교는 상대적으로 적었다. 이 결과로부터, 좌석의 승차감은 주행속도에 크게 좌우되는 것으로 나타났다.

Table 9. Test results of UIC ride quality indices for each test section

section	Average speed (km/h)	UIC-ride index		
		Nmv	Nva	Nvd
1	55.98	1.29	1.18	1.18
2	105.90(max.)	1.88	1.75(max.)	2.26
3	55.15	1.34	1.15	1.18
4	47.62	0.96	0.86	0.86
5	54.52	1.25	1.14	1.25
6	89.99	2.39(max.)	1.63	2.65(max.)
7	70.34	1.48	1.36	1.46
8	67.40	1.45	1.36	1.47
9	102.50	1.55	1.43	1.69
10	63.31	1.26	1.08	1.36
11	86.18	1.34	1.23	1.43
12	64.04	1.09	0.87	1.15
13	40.78(min.)	0.81(min.)	0.72(min.)	0.72(min.)

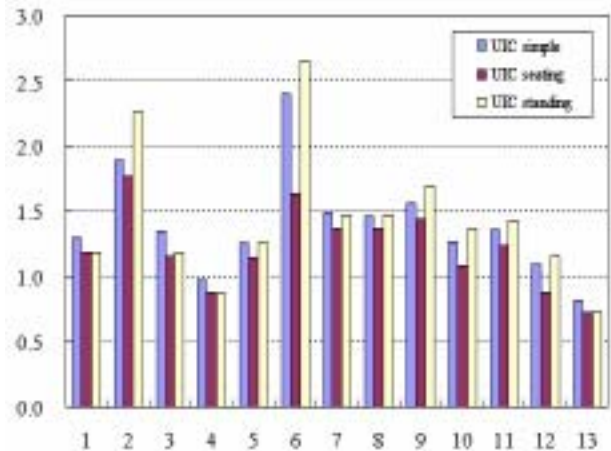


Fig. 11 UIC ride quality indices for test sections

Table 10에서는 구간별 평균 주행속도와 산출된 ISO승차감 레벨의 수치를 표로 나타내었고 Fig. 12 에서는 구간별 ISO 승차감 레벨의 분포를 막대그래프의 형태로 나타내었다. ISO 승차감 분석 결과에서도 주행속도가 가장 높은 구간 2에서 승차감 레벨이 전체적으로 가장 높은 값을 나타내었다. 구간 13(구포-사상 간)에서는 UIC 승차감 지수와 ISO 승차감 레벨 모두 가장 낮은 값을 나타내었는데 이 구간은 주행속도가 가장 낮은 평균 40.98km/h이고, 상대적으로 곡선구간과 철교가 적었기 때문에 판단된다.

Table 10. Test results of ISO ride comfort levels for each test section

section	Average speed (km/h)	ISO ride comfort level(dB)		
		Longitudinal	Lateral	Vertical
1	55.98	93.48	98.60	102.88
2	105.90(max.)	97.50(max.)	103.18	109.78(max.)
3	55.15	92.52	96.65	101.95
4	47.62	91.23	96.08	99.82
5	54.52	93.17	98.38	102.22
6	89.99	94.72	103.62(max.)	106.46
7	70.34	94.58	99.07	104.43
8	67.40	94.29	99.58	104.45
9	102.50	95.09	100.91	106.99
10	63.31	93.49	99.96	102.08
11	86.18	93.91	99.36	104.51
12	64.04	91.82	97.43	100.10
13	40.78(min.)	91.11(min.)	93.34(min.)	98.53(min.)

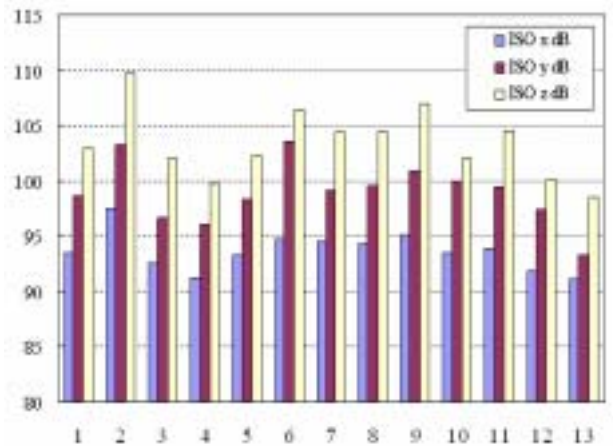


Fig. 12 ISO ride comfort levels for test sections

4. 결론

본 연구에서는 주어진 구간에 대해서 객차를 대상으로 승차감 측정시험을 실시하였으며, 승차감에 영향을 주는 여러 요소 가운데 주행속도와 선로 조건 즉, 곡선반경, 터널분포, 교량분포와 같은 요소들에 대하여 승차감에 미치는 영향을 시험결과를 통해 분석하였다. 시험 결과로부터, 각종 선로 조건들이 승차감을 악화시키는 주요 요인으로 파악되었다.

참고문헌

1. 이창환, 유완석, “철도차량의 승차감-진동평가시스템의 개발”, 한국철도학회지 논문지, 제6권, 제2호, pp114~121,2003
2. UIC Code 513R, "Guidelines for Evaluating Passenger Comfort in Relation to Vibration in Railway Vehicles", International Union of Railway, 1995
3. ISO 2631-1, "Mechanical Vibration and Shock- Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration -
4. KS R 9216, "철도차량-승차감 측정 및 평가 방법“, 한국표준협회, 2000