

# 전후동력 새마을호 열차의 속도향상시 승차감에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Ride Comfort of a Push-Pull Saemaeul Train in Case of Speed-up

구병춘\*      신종한\*\*      김남포\*,      최성규\*\*\*  
Goo, Byeong-Choon    Shin, Jong-Han    Kim, Nam-Po    Choi, Sung-Kyu

### ABSTRACT

The speed-up of conventional trains is considered as one of the efficient methods to relieve traffic jam and to increase the capacity of transportation. In this study, we measured and analyzed the ride comfort of a push-pull Saemaeul Train with speed-up of 5km/h in curves and 10km/h on straight tracks as compared with present operation speed of the push-pull Saemaeul Trains. Four main lines-Honam, Kyungboo, Janghang, Kyungjeon- were chosen as representative lines for speed-up feasibility study. The increase of mean ride comfort index in case of speed-up is 0.5~2dB. The mean ride comfort index of vertical direction in case of speed-up is 107~110 dB for Honam line, 104~112 dB for Kyungboo line, 108~112 dB for Janghang line and 105~108 dB for Kyungjeon line, which are rather high as compared with German trains of similar grade with maximum vehicle speed of 160 km/h.

### 1. 서론

국내외를 막론하고 도로교통이 포화상태에 이르러 물류비가 증대하고 교통난이 심화됨에 따라 열차에 의한 수송량 증대와 교통난 해소를 위한 방안이 지대한 관심을 끌고 있다. 열차에 의한 수송량 증대방안 중의 하나가 신선건설에 비해 투자비가 적게 소요되는 기존 운행열차의 고속화이다. 국내에서는 경부선을 중심으로 고속화가 진행되어 1985년 140km/h까지 속도향상이 이루어졌으나<sup>(1)</sup> 그 이후 답보상태로 현재에 이르고 있다. 열차의 고속화 방안으로는 신선건설에 의한 고속 열차의 도입, 기존선로의 곡선부에서의 속도향상을 통해 전 구간의 표정속도를 향상하는 방안으로 킬링차량을 도입하거나 궤도와 차량의 일부보완으로 기존열차의 속도를 향상하는 방법 등이 사용되고 있다. 이러한 기존선의 고속화는 궤도, 노반, 전력, 신호, 환경, 차량 등 많은 분야의 종합적이고 유기적인 연구가 필요하고 타 교통수단과의 연계방안, 경제성 분석 등 검토하여야 할 항목이 매우 많다.

본 연구는 국내 주요 선로에서 기존 운행 열차의 속도향상 가능성을 확인하기 위해 호남선, 경부선, 장항선, 경전선에서 전후동력형 새마을호 열차로 현재의 운행속도에 비해 직선부에서는 10km/h, 곡선부에서는 5km/h 속도향상을 한 경우의 탈선계수, 소음, 터널에서의 압력변화, 곡선부의 횡가속도, 평균승차감 등에 관한 종합적인 실험결과 중 평균승차감에 대한 측정 및 분석 결과를 정리한 것이다. 그리고 측정된 승차감 지수는 독일의 열차 중 새마을호와 유사한 최고속도 160km/h급 열차의 승차감과 비교하여 보았다.

\* 한국철도기술연구원 차량연구본부 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 차량연구본부 위촉연구원

\*\*\* 한국철도기술연구원 차량연구본부 수석연구원, 정회원

## 2. 각 선로별 승차감 지수

### 2.1 진동 승차감 레벨 (Leq) 및 평가 기준

가장 일반적인 승차감으로 열차의 출발부터 정지까지의 전체구간에서 열차 주행 중의 흔들리는 정도를 진동가속도로 나타내어 평가를 행한다. 기존 ISO 규격에서 규정한 “피로능률감퇴한계(노출 시간 8시간 기준, 기준가속도  $10^{-6}$  ㄱ)

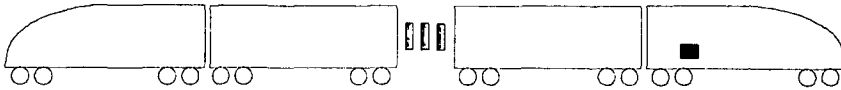
$$L_{eq}(dB) = 20 \text{ Log} \frac{A_w}{A_{ref}} \quad (1)$$

여기서  $A_{ref}$  : 진동의 기준치,  $10^{-6}$  ㄱ

$A_w$  : 감각 보정한 진동가속도의 실효치, ㄱ

#### 가. 측정 방법

측정위치 : PMC 171호 차량(1988년 대우형) 선두부 혹은 후미부 대차의 3위축에서 가장 가까운 복도측 좌석(8번 좌석)



측정방향 : 전후(X), 좌우(Y), 상하(Z)

측정조건 : Triaxial Seat-Acceler Meter를 지정된 좌석에 놓고 측정자가 편안한 자세로 앉아서 측정한다.

측정은 열차의 정상운전조건에서 측정함을 원칙으로 하되, 규정속도 이하의 서행 개소와 역에서의 정차시는 데이터처리에서 제외시킨다.

#### 나. 측정 기기

- Human Vibration Analyzer (AST, HVA 301)
- Graphic Printer(AST, XE 405)
- Triaxial Seat-Acceler Meter(AST, XE 327)

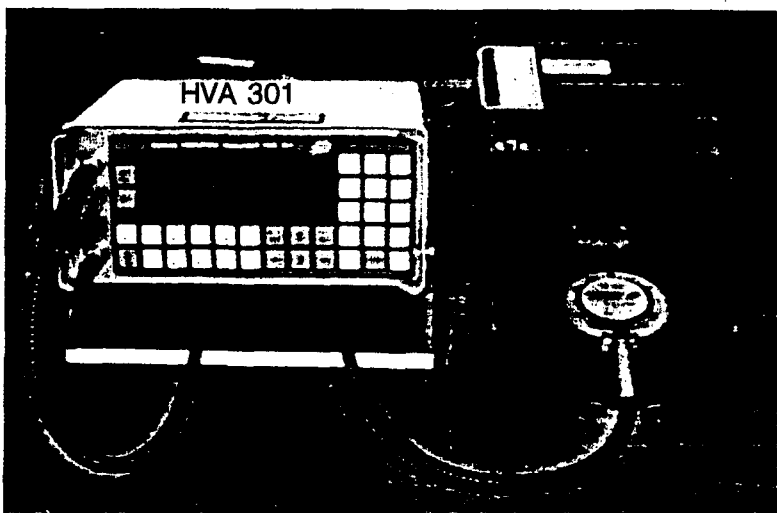


Photo 1 구간평균 승차감 측정장비

다. 승차감 지수의 기준치

상하(Z), 전후(X), 좌우(Y) 방향의 승차감 레벨의 기준치는 Table 1과 같다.<sup>(2)</sup>

Table 1 승차감 레벨 기준

등급	승차감 레벨(Leq) dB	구분	실효값(m/s)	
			수평방향	수직방향
A	103미만	우수	0.100 미만	0.141 미만
B	103이상 108미만	양호	0.100~0.178	0.141~0.251
C	108이상 113미만	보통	0.178~0.316	0.251~0.447
D	113이상 118미만	불량	0.316~0.562	0.447~0.794
E	118이상	극히 불량	0.562~	0.794~

2.2 호남선 평균승차감

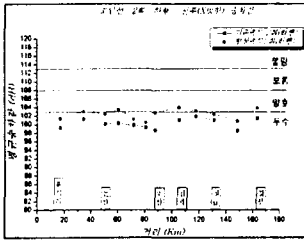


Fig. 1 X방향 승차감(전두부)

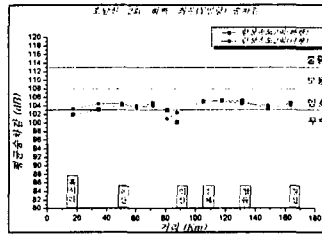


Fig. 2 Y방향 승차감(전두부)

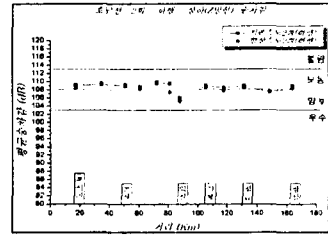


Fig. 3 Z방향 승차감(전두부)

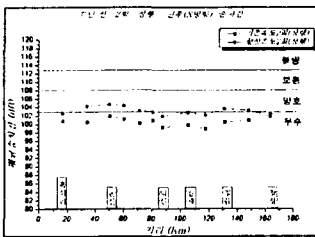


Fig. 4 X방향 승차감(후미부)

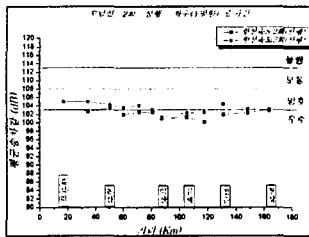


Fig. 5 Y방향 승차감(후미부)

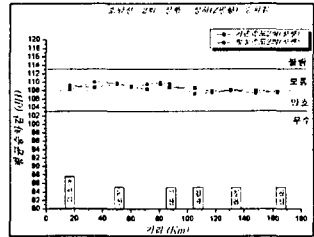
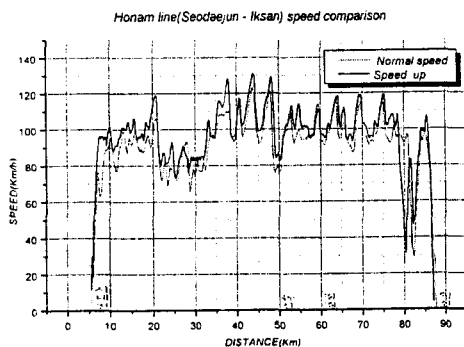
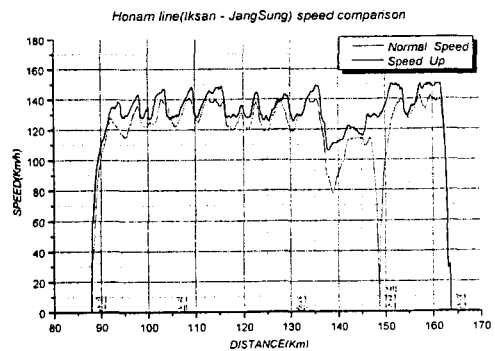


Fig. 6 Z방향 승차감(후미부)



a) 서대전-익산



b) 익산-장성

Fig. 7 속도향상 전후의 속도비교

### 1) Z 방향 평균승차감

Z 방향의 평균 승차감 지수는 107~110dB 범위에 위치한다. 기존속도와 향상속도 시험 모두에서 서대전-익산 구간에서의 평균승차감이 익산-장성 구간에 비해 1dB 정도 높다. 서대전-익산 구간은 '보통' 등급이고 익산-장성 구간은 '보통'과 '양호'의 경계에 위치한다. Z 방향의 평균승차감은 속도향상 전후나 상,하행 모두에서 뚜렷한 차이가 관찰되지 않는다.

### 2) X 방향 평균승차감

X 방향의 평균 승차감 지수는 98~105dB 범위에 위치한다. 기존속도에서는 '우수'에 들어가고 향상속도에서는 '양호'와 '우수' 사이에 위치한다. 1회 시험에서는 속도향상에 의한 뚜렷한 경향이 없으나 2회 시험에서는 어느 정도 경향이 보인다. 2회 시험 결과에 의하면 향상속도에서의 승차감 지수가 전반적으로 2~4dB 정도 높다. 상행과 하행의 결과에서는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않는다.

### 3) Y 방향 평균승차감

Y 방향의 평균 승차감 지수는 102~106dB 범위에 위치한다. 일부구간에서 속도향상에 의해 1~2dB 정도 증가하나 전구간에서 규칙적인 경향을 보이지는 않는다. 전체적으로 '우수'와 '양호'의 경계에 위치하며 상행과 하행의 결과에서는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않는다.

### 4) 고찰

속도향상에 따른 평균승차감은 Z 방향에서는 변화를 관찰하기가 어렵고, X, Y 방향의 승차감은 속도향상에 따라 일부 구간에서 증가하는 것이 관찰되나 전체적으로는 규칙적인 경향이 나타나지 않는다. 승차감 지수의 크기는 X 방향에서 98~105, Y 방향에서 102~106, Z 방향에서 107~110dB으로 X, Y, Z 방향의 순으로 증가한다.

## 2.3 경부선 평균승차감

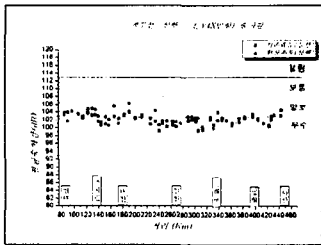


Fig. 8 X방향 승차감(전두부)

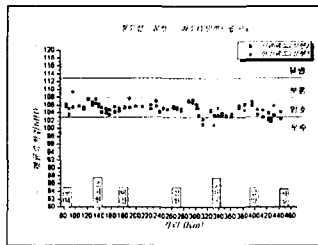


Fig. 9 Y방향 승차감(전두부)

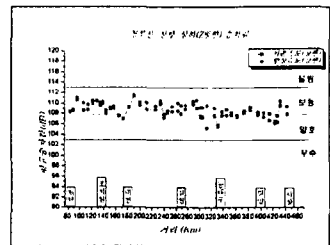


Fig. 10 Z방향 승차감(전두부)

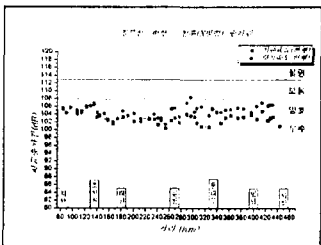


Fig. 11 X방향 승차감(후미부)

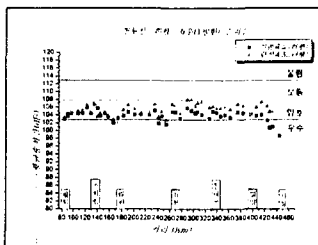


Fig. 12 Y방향 승차감(후미부)

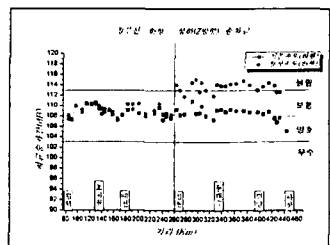
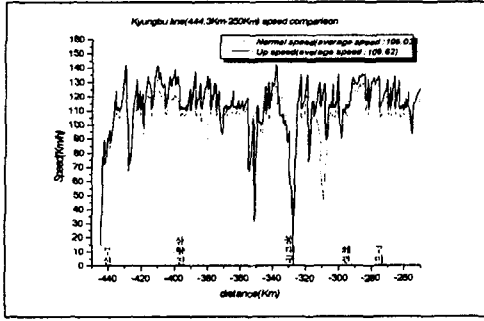
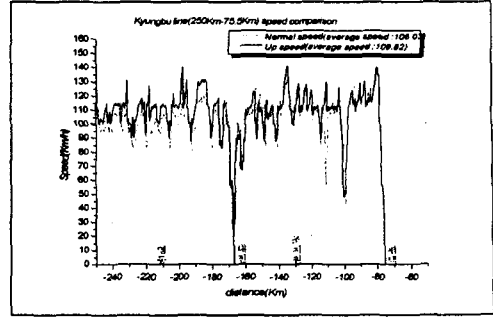


Fig. 13 Z방향 승차감(후미부)



(a) 경부선 444.3Km-250Km 구간



(b) 경부선 250Km-75.7Km 구간

Fig. 14 속도향상 전후의 속도비교

### 1) Z(상하)방향 평균승차감

Z방향의 평균승차감 지수의 경우 104dB부터 115dB범위에 위치한다. 하지만 향상속도조건, 하행의 경우 김천부터 사상까지의 구간에서 2차 현수 장치인 공기스프링의 레벨링 밸브가 뒤집혀 제 기능을 발휘하지 못했으므로 그 구간의 데이터를 제외하면 104dB-112dB로 대부분 '보통' 구간에 위치하게 된다. 본 시험은 속도향상폭이 미약하여 속도향상 전후의 평균승차감 변화가 거의 없다.

### 2) X(전후)방향 평균 승차감

X방향의 평균 승차감 지수의 경우 99dB부터 109dB 사이에 위치하는데 Z방향에서와 마찬가지로 레벨링 밸브의 영향을 제외하면 99dB-107dB 사이로 평균 승차감 지수는 상,하행, 속도향상 전, 후 모두 '양호'와 '우수'의 경계에 위치한다.

### 3) Y(좌우)방향 평균 승차감

Y방향의 평균 승차감 지수의 경우 99dB부터 109dB 사이에 위치하는데 레벨링 밸브의 영향을 제외해도 99dB-109dB 사이에 위치하여 속도향상 전후 상, 하행 모두 대부분 '양호'의 구간에 위치한다.

### 4) 고찰

속도향상 전후에도 승차감 지수는 큰 차이를 보이지 않으며, 상, 하행에서도 뚜렷한 차이를 보이지 않는다. 2차 현수 장치인 레벨링 밸브의 영향은 Z방향의 승차감에만 큰 영향을 주었고, X, Y 방향의 승차감에는 큰 영향을 주지 못했다. 전체적으로 속도향상에 의한 평균승차감의 변화를 관찰하기 어려운데 이것은 속도 향상 실험시 속도의 증가치가 약 3Km/h정도로 미소하여 실제 승차감에 큰 영향을 미치지 못했기 때문으로 예측된다. 평균 승차감지수의 크기는 전후(X)방향에서 99dB-107dB, 좌우(Y)방향에서 99dB-109dB 상하(Z)방향에서 104-112dB로 X, Y, Z 방향의 순으로 증가한다. 속도향상시 레벨링 밸브의 기구가 뒤집히므로 동일한 설계차량은 전면적인 검사를 하여야 할 것이다.

## 2.4 장항선 평균승차감

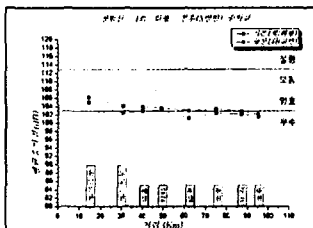


Fig. 15 X방향 승차감(전두부)

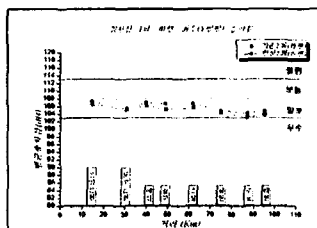


Fig. 16 Y방향 승차감(전두부)

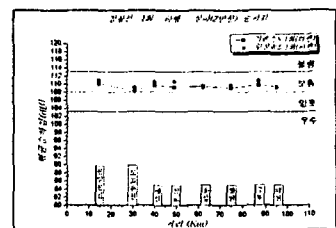


Fig. 17 Z방향 승차감(전두부)

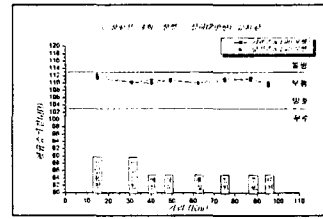
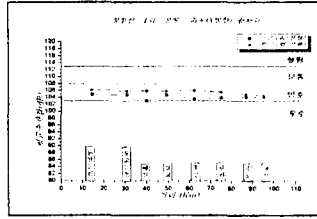
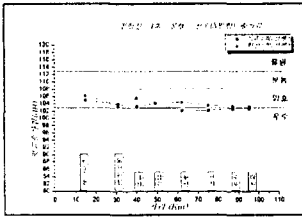


Fig. 18 X방향 승차감(후미부) Fig. 19 Y방향 승차감(후미부) Fig. 20 Z방향 승차감(후미부)

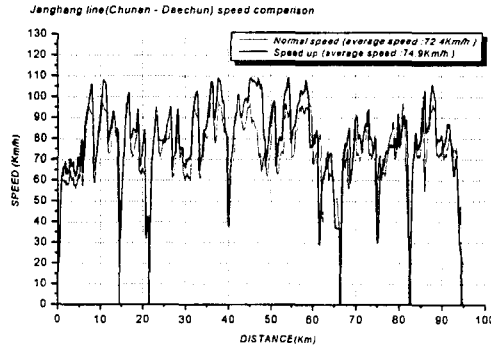


Fig. 21 속도향상 전후의 속도비교(천안-대천)

1) Z(상하)방향 평균 승차감

Z방향의 평균승차감 지수의 경우 108dB부터 112dB범위에 위치한다. 하지만 기존속도와 향상속도의 속도차가 3Km/h에도 미치지 못하므로 승차감차도 1dB-1.5dB 정도의 차이만을 가진다. Z방향의 평균 승차감 지수는 상, 하행 모두 보통 이내에 위치한다.

2) X(전후)방향 평균 승차감

X방향의 평균 승차감 지수의 경우 101dB부터 108dB 사이에 위치하는데 Z방향에서와 마찬가지로 기존속도와 향상속도의 승차감 차이는 1-1.5dB 이다. X방향의 평균 승차감 지수는 상, 하행 모두 양호와 우수 이내에 위치한다.

3) Y(좌우)방향 평균 승차감

Y방향의 평균 승차감 지수의 경우 103dB부터 108dB 사이에 위치하는데 Z, X방향의 승차감과 같이 속도 향상에 따른 승차감의 변화가 크지 않고 X방향의 평균 승차감 지수는 상, 하행 모두 양호, 우수 이내에 위치한다.

4) 고찰

승차감 지수는 큰 차이를 보이지 않으며, 상, 하행에서도 뚜렷한 차이를 보이지 않는다. 전체적으로 속도향상에 의한 평균승차감의 변화를 관찰하기 어려운데 이것은 속도 향상 시험시 속도의 증가치가 약 2.5Km/h정도로 미소하여 실제 승차감에 큰 영향을 미치지 못했기 때문으로 예측된다. 향상속도의 경우 기존속도와 큰 차이를 보이는 데이터는 거의 없으며 그림들에서 보는 바와 같이 기존속도와 향상속도의 차이가 약 1-1.5dB 정도에 그친다. 평균승차감지수의 크기는 상하(Z)방향이 제일 크며 상,하행 모두 103-108dB사이인 보통 구간에 위치한다. 또 전후(X)방향과 좌우(Y)방향에서는 모두 108dB 이하인 양호, 우수 구간안에 들어간다.

## 2.5 경전선 평균승차감

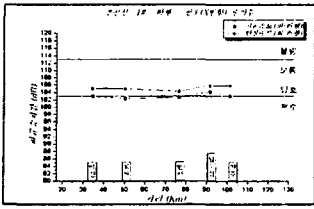


Fig. 22 X방향 승차감(전두부)

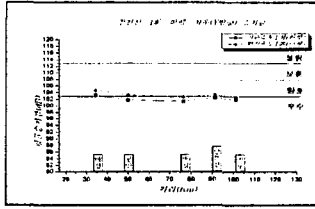


Fig. 23 Y방향 승차감(전두부)

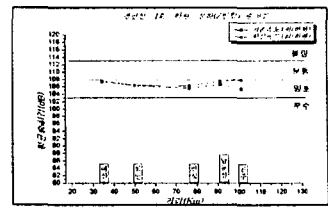


Fig. 24 Z방향 승차감(전두부)

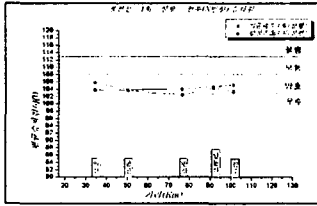


Fig. 25 X방향 승차감(후미부)

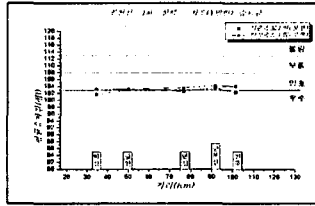


Fig. 26 Y방향 승차감(후미부)

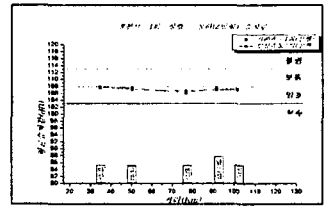


Fig. 27 Z방향 승차감(후미부)

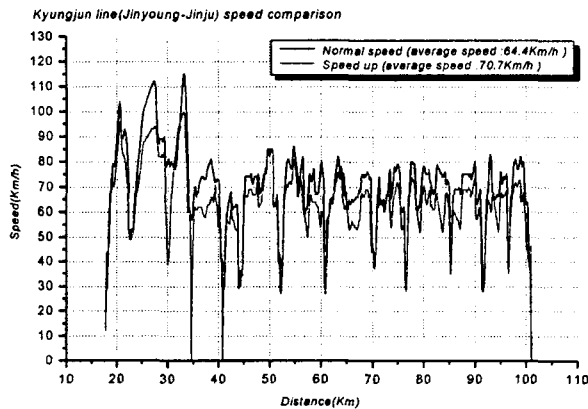


Fig. 28 속도향상 전후의 속도비교 (진영-진주)

### 1) Z(상하)방향 평균승차감

동력차의 Z방향 평균 승차감 지수의 경우 105dB부터 108dB범위에 위치하며 객차의 경우 102부터 106dB의 사이에 위치하여 상,하행 모두 양호와 우수 이내에 위치한다.

### 2) X(전후)방향 평균 승차감

동력차의 X방향 평균 승차감 지수의 경우 102dB부터 106dB 사이에 위치하며 객차의 경우는 98-103dB 사이에 위치하여 평균 승차감 지수는 상, 하행 모두 양호와 우수 이내에 위치한다.

### 3) Y(좌우)방향 평균 승차감

동력차의 Y방향 평균 승차감 지수의 경우 101dB부터 105dB 사이에 위치하며 객차의 경우는 99-102dB 사이에 위치하여 평균 승차감 지수는 상,하행 모두 양호, 우수 이내에 위치한다.

#### 4) 고찰

1회차 하행의 승차감 지수는 Z(상하)방향으로는 큰 차이를 보이지 않으나, X, Y방향으로는 평균 2dB 정도 속도향상시가 크게 나타났다. 하지만 1회차 상행에서 서행운전으로 인하여 승차감의 큰 차이를 볼 수 없었다. 동력차의 평균 승차감지수의 크기는 상하(Z)방향이 제일 크며 상,하행 모두 105-108dB 사이인 양호 구간에 위치한다. 또 전후(X)방향과 좌우(Y)방향에서는 모두 106dB 이하인 양호, 우수구간에 들어간다. 객차의 평균 승차감지수는 상하(Z)방향에서 106dB 이하의 양호, 우수구간 그리고 전후 (X)방향과 좌우(Y)방향에서는 모두 102dB 이하인 우수구간에 들어간다.

### 3. 검토 및 결론

평균 승차감은 속도향상에 따라 0~2dB 정도 증가하는 경우도 있으나 전체적으로 일관성 있는 경향을 나타내지 않았다. 상하방향을 기준으로 할 때 운행속도가 낮은 경전선의 경우 '양호'에 들어오고 나머지 세 노선은 속도 향상 전 후 모두 '보통'의 영역에 위치하므로 양호의 영역에 들어오도록 지속적인 연구개발이 필요하다 하겠다. 특기할 사항으로는 경부선 시험시 공기스프링의 레버가 뒤집힌 경우 승차감이 불량수준으로 증가하였다. 공기스프링 레버는 과거에도 뒤집힌 경우가 있으므로 속도향상시 설계검토가 필요하다고 판단된다.

표 2, 3은 새마을호 열차와 유사한 등급이라 할 수 있는 독일의 RE열차와 틸팅열차인 V610에 대해 측정된 평균승차감 지수이다. 차량운행속도가 새마을호보다 높지만 평균승차감은 5~9dB 정도 낮음을 알 수 있다. 승차감에는 선로조건과 차량상태가 함께 영향을 미치므로 각각의 영향을 정량적으로 평가하기는 어렵다. 국내의 경우도 연구개발을 통하여 승차감을 개선할 필요가 있다고 판단되며 표 2, 3의 자료는 향후 국내열차의 승차감 목표치를 설정하는데 이용될 수 있을 것이다.

Table 2 디젤기관차 견인 RE 열차, 최고속도 160km/h, Leipzig→Hof 구간

	Leq(dB)			LPk(dB)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1구간	99.4	99.3	102.7	122.7	119.8	127.4
2구간	99.2	98.6	105.1	121.5	117.8	123.4
3구간	98.0	98.7	104.7	120.2	121.5	121.5
4구간	98.3	97.9	103.8	116.3	115.4	120.5
평균	98.72	98.62	104.07			

Table 3 V610 틸팅 디젤동차, 2량편성 최고속도 160km/h, Hof→Nurnberg 구간

	Leq(dB)			LPk(dB)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1구간	93.3	98.7	105.7	110.0	118.9	132.0
2구간	95.3	100.4	102.8	109.8	115.4	120.1
3구간	94.5	98.8	101.8	110.3	114.0	120.6
4구간	97.9	100.6	103.1	120.8	117.2	119.8
평균	95.25	99.62	103.35			

#### 참고문헌

1. 최성규 외 "기존선 고속화를 위한 시스템에 관한 연구," 한국철도기술연구원, 1999.
2. 유원희 외 "곡선부 고속주행용 대차설계기술 개발," 한국철도기술연구원, pp. 63, 1999.