

고속철도차량 현가요소 운동변위에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Displacement of Suspension Element for High Speed Rolling-stock

허현무[†] · 김형진* · 유원희* · 박태원**

Hyun-Moo Hur · Hyung-jin Kim · Won-Hee You · Tae-Won Park

Abstract

The suspension elements like primary coil spring, yaw damper, body to body damper are core parts of high speed railway bogie and the faults relating to these elements are reported recently. Thus, this study is started to analyze the displacements characteristics of suspension elements of high speed railway rolling-stock for the purpose of preventing the faults and developing the maintenance technology for suspension elements like spring and dampers. For this purpose, we made a plan to measure the displacements of the primary coil spring, yaw damper and body to body damper in actual running condition. We developed the measurement device to measure the longitudinal displacement and angular displacement of suspension elements and installed this device to test suspension elements. Test to measure displacements of suspension elements is conducted in service line of high speed railway. The displacement data which is acquired from the test with actual vehicles was analyzed for its maximum displacement depending on the track sections. As a result of analysis, we obtained the displacement trends occurring with the sections and valuable results like maximum values and the displacement distribution.

Keywords : High speed rolling-stock(고속철도차량), Suspension element(현가요소), Spring(스프링), Damper(댐퍼), Displacement(변위)

1. 서론

고속철도차량의 개통은 국내 육상교통의 속도 한계를 증대시켜 생활 전반에 걸친 혁신적 변화를 초래하였고, 한편으로는 국내 철도 기술을 진일보시킬 수 있는 계기가 되고 있다. 그러나 고속철도 개통이전 최고속도 150km/h의 속도 범위에 머물고 있던 국내 철도기술 기반을 300km/h급의 속도 범위의 기술 기반으로 연계시키기에는 시기적, 경험적으로 기술 격차가 큰 것이 현실이다. 특히, 고속철도의 안정적 운용단계에 접어든 현 시점에서 고속철도차량 관련 설계기술 뿐만 아니라 안정적 유지보수 기술기반 구축을 위한 고속철도 차량부품 유지보수 기술 확보, 주요 핵심부품의 국산화 개발 문제가 현실적으로 시급히 대두되고 있다. 또한, 호남

고속철도 개발 계획과 맞물려 현 운용되고 있는 고속철도차량의 문제점에 대한 면밀한 분석은 신차 개발시 시행착오 예방 차원에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 고속철도차량 현가요소 중 고장 사례가 보고되고 있는 스프링, 댐퍼요소에 대한 고장 예방 및 유지보수기술 개발에 활용할 목적으로 실선로 주행 시 발생하는 변위특성에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

이를 위하여 고속철도차량 객차대차 현가계의 축상코일스프링(primary coil spring), 차체간댐퍼(body to body damper), 차체/대차간 요댐퍼(yaw damper)를 대상으로 실선로 주행 시 발생하는 실변위를 계측하였다. 현가요소 실변위 계측을 위한 측정장치 시제를 설계 제작하여 실차량에 취부 하였으며 고속철도차량 영업선로 구간 주행 시 발생하는 변위를 계측하였다. 실차시험시 발생한 변위 데이터를 운용구간 및 발생빈도에 따라 변위분포 특성을 분석하였다. 이를 통하여 향후 고장 분석 및 유지보수에 필요한 유용한 데이터를 얻을 수 있었다.

† 책임저자 : 회원, 한국철기술연구원, 철도시스템안전연구본부
E-mail : hmhur@krii.re.kr
TEL : (031)469-5245 FAX : (031)460-5289

* 한국철기술연구원, 철도시스템안전연구본부

** 아주대학교 기계공학과

2. 시험 개요

2.1 시험대상 현가요소

본 시험에서 대상으로 하는 현가요소는 최근 일부 고장 사례가 보고되고 있는 고속철도차량 부수대차용 축상코일스프링, 요댐퍼, 차체간댐퍼를 대상으로 하였다. Fig. 1에서와 같이 축상코일스프링은 1차 현가계 윤축과 대차간 구성요소로서 상부 하중을 지지하는 역할을 한다. 요댐퍼는 대차와 차체간 요방향 진동을 감쇠시키는 역할을 수행한다. 차체간댐퍼는 관절대차 전부 차량과 후부 차량 간의 길이방향 진동을 제어하는 역할을 수행한다[1,2,3,4].

2.2 계측시스템 구성

측정량은 시험대상 현가요소의 특성에 따라 Table 1과 같이 요소별로 상이하다. 즉 고장의 요인 분석 측면에서 각 요소별 운동 변위를 측정하였다.

축상코일스프링, 요댐퍼의 경우 스프링의 길이방향, 요댐퍼의 길이방향 운동변위를 측정하였다. 이를 위하여 케이블형식의 변위센서(Patriot사, Model MP-20A)를 사용하였다. Fig. 2는 스프링 변위를 측정하기 위하여 대차와 윤축 액슬박스에 취부한 센서 및 지그를 나타낸다. Fig. 3은 요댐퍼의 변위를 측정하기 위하여 요댐퍼 마운팅 브래킷 양단에 설치한 센서 및 지그를 나타낸다.

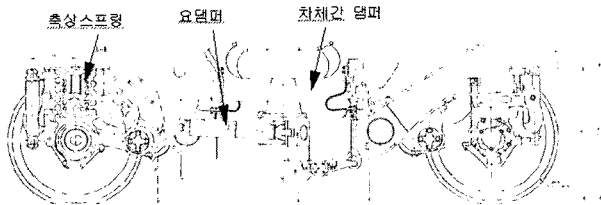


Fig. 1. Suspension elements of carrying bogie

Table 1. Test outline

시험구간	영업선로(고양-부산, 고양-익산)
시험차량	고속철도차량 부수대차
측정대상	차체간댐퍼, 요댐퍼, 축상스프링
측정량	- 차체간댐퍼 : 요 각변위, 피치 각변위, 길이방향 운동변위 - 요댐퍼 : 길이방향 운동변위 - 축상코일스프링 : 길이방향 운동변위
계측 시스템	- Sensor : cable extension transducer, absolute rotary encoder - Signal conditioner - DAQ system

차체간댐퍼 마운팅부에는 ball-and-socket joint가 장착되어 있어 인접하여 연결된 차체의 움직임에 요방향 및 피치방향으로 $\pm 15^\circ$ 이내의 제한된 범위 내에서 회전 운동 할 수 있게 되어 있다. 따라서 댐퍼의 길이방향 운동변위, 댐퍼 마운팅부 ball-and-socket joint의 요, 피치방향의 각변위를 계측하였다. 길이방향 운동변위는 차체간댐퍼의 길이를 고려하여 처짐이 없는 고정력의 cable extension position transducer(Spaceage control사, Model PN 162-2735-C7SU)를 사용하였다. 조인트부의 요 및 피치방향 각변위 계측을 위하여 Fig. 4와 같이 absolute type 엔코더(Koyo사, Model TRD-NA1024NW)를 활용한 각변위 측정치구를 제작하였다. 이 치구는 2개의 엔코더를 이용하여 회전각을 측정할 수 있도록 고안하였다. Fig. 4는 각변위 측정치구의 개념도를 나타내며 Fig. 5는 객차대차 차체간댐퍼 마운팅부에 취부한 형상을 나타낸다.

센서 전원 공급 및 신호 변환을 위하여 Signal conditioner를 각 센서 특성에 적합하게 제작하였으며 이를 거친 신호는 DAQ system에 저장할 수 있도록 계측시스템을 구성하였다. Fig. 6은 차실 내에 설치된 DAQ system을 나타낸다.

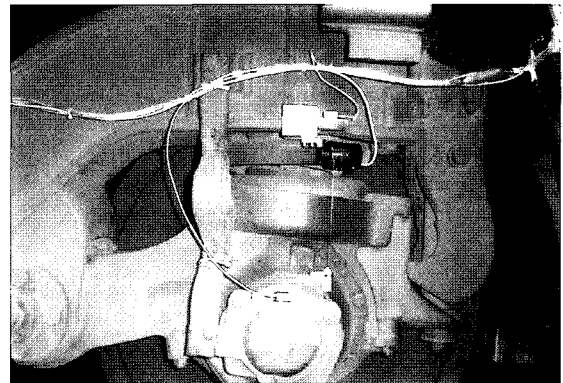


Fig. 2. Displacement sensor for measuring the primary spring displacement

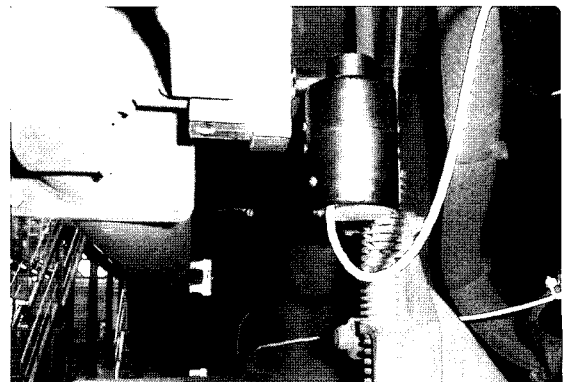


Fig. 3. Displacement sensor for measuring the yaw damper displacement

2.3 실선로 실차시험

실선로 주행 중 현가요소에 발생하는 변위를 측정하고자 실차시험을 실시하였다. 시험구간은 고속철도차량이 주행하는 영업선로 중 고양-부산, 고양-익산 구간으로 하였으며 2차에 걸쳐 시험을 실시하였다. 시험차량은 공차상태의 하중조건으로 하였으며 주행속도는 영업운행 속도 조건을 적용하였다.

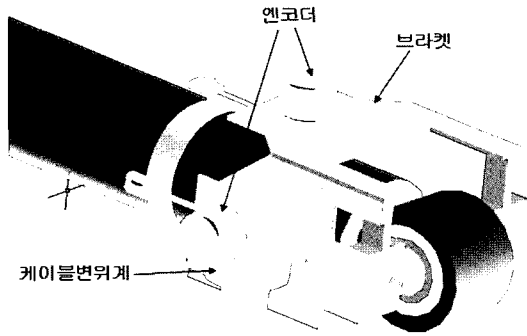


Fig. 4. Jig for measuring the angular displacement of the damper

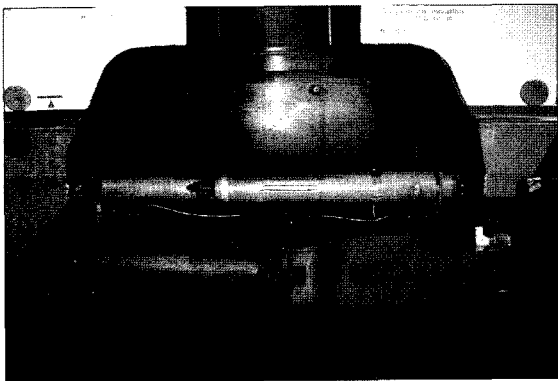


Fig. 5. Measuring equipment installed the body to body damper

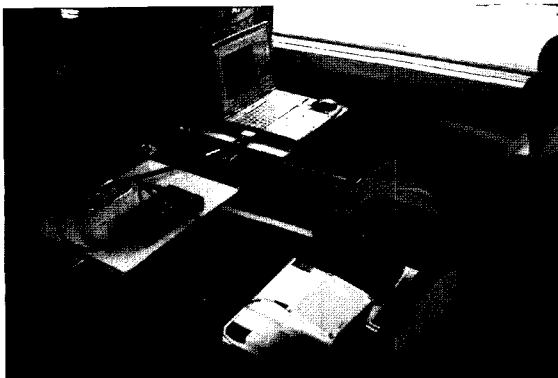


Fig. 6. DAQ system

3. 현가요소 변위특성 시험 결과

3.1 구간별 최대 변위

실선로 주행 시 운행 구간에 따라 발생하는 현가요소의 변위 특성을 분석하고자 구간별로 최대 변위량을 분석하였다. 구간의 시종점은 역사를 기준으로 하였다. Fig. 7~Fig. 11, Table 2~Table 6은 현가요소별 측정량에 대한 분석 결과를 나타내며 그 결과는 다음과 같다.

- 고양~부산 구간을 대상으로 한 차체간댐퍼 길이방향 운동변위 측정결과, Fig. 7, Table 2에서와 같이 발생된 최대 변위는 107.6mm로서 차체간댐퍼 운동변위 허용치($\pm 295\text{mm}$) 이내임을 알 수 있다.
- 고양~동대구~익산 구간을 대상으로 한 차체간댐퍼 ball-and-socket joint의 요 각변위 및 피치 각변위 측정결과, Fig. 8~Fig. 9, Table 3~Table 4에서와 같이 최대치는 각각 12.1° , 10.4° 로서 ball-and-socket joint의 각변위 허용치 ($\pm 15^\circ$) 이내임을 알 수 있다.
- 고양~동대구~익산 구간을 대상으로 한 요댐퍼 운동변위 측정결과, Fig. 10, Table 5와 같이 최대변위는 69.6mm로서 요댐퍼 운동변위 허용치($\pm 132.5\text{mm}$) 이내의 결과를 보이고 있다.

Table 2. Test Results for the displacement of the body to body damper

구간	인장(+)	압축(-)	비고
부산-동대구	46.7	43.6	- 시험구간: 고양 ~ 부산 - 차체간댐퍼 허용운동변위: $\pm 295\text{mm}$ 이내
동대구-대전	41	41.3	
대전-광명	47.8	40.2	
광명-서울	60.9	59.6	
서울-고양	96.6	107.6	
최대변위	107.6		

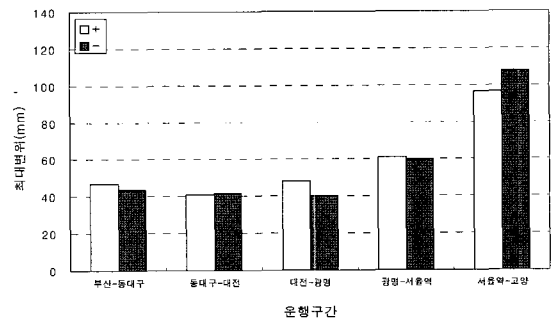


Fig. 7. Maximum displacement of the body-body damper

Table 3. Test Results for the yaw displacement of the body to body damper

구간	+ 방향	- 방향	비고
고양-서울	11.2	4.1	- 시험구간 : 고양 ~ 동대구~ 익산 - 차체간댐퍼 all-and-socket joint 허용각 변위: ± 15deg 이내
서울-광명	9.6	3.3	
광명-대전	2.3	3.1	
대전-동대구	9.8	4.4	
동대구-대전	10.9	3.7	
대전-광명	11.9	1.7	
광명-서대전	12.1	3.4	
서대전-익산	4.4	4.2	
익산-서대전	3.1	4.1	
서대전-광명	2.5	3.6	
광명-서울	2.8	5.2	
서울-고양	4.7	8.4	
최대변위	12.1		

Table 4. Test Results for the pitch displacement of the body to body damper

구간	+ 방향	- 방향	비고
고양-서울	3.6	6.3	- 시험구간 : 고양 ~ 동대구~ 익산 - 차체간댐퍼ball -and-socket joint허용각변위: ± 15deg 이내
서울-광명	3.3	6.6	
광명-대전	3.7	3.3	
대전-동대구	3.9	5.2	
동대구-대전	3.1	6.5	
대전-광명	3	10.4	
광명-서대전	3.1	10.3	
서대전-익산	3.2	3.3	
익산-서대전	1.8	2.7	
서대전-광명	1	2.6	
광명-서울	2.7	3.5	
서울-고양	2.2	3.9	
최대변위	10.4		

Table 5. Test Results for the displacement of the yaw damper

구간	+ 방향	- 방향	비고
고양-서울	29.2	29.9	- 시험구간 : 고양 ~ 동대구~ 익산 - 요댐퍼 허용 운동 변위: ±132.5mm이내
서울-광명	26.7	24.3	
광명-대전	15.5	15.9	
대전-동대구	32.1	36.9	
동대구-대전	29.8	23.3	
대전-광명	23.7	23.1	
광명-서대전	30.1	16.5	
서대전-익산	33.2	27.7	
익산-서대전	36.9	28.9	
서대전-광명	34.2	21	
광명-서울	36.1	31.3	
서울-고양	69.6	68.5	
최대변위	69.6		

고양~부산 구간을 대상으로 한 축상코일스프링 운동변위 측정결과, Fig. 11, Table 6과 같이 최대변위는 23.8mm로서 축상코일스프링 운동변위 허용치(±67mm) 이내임을 보이고 있다.

위의 각 측정량별 결과와 같이 요소별 변위의 최댓값은 각

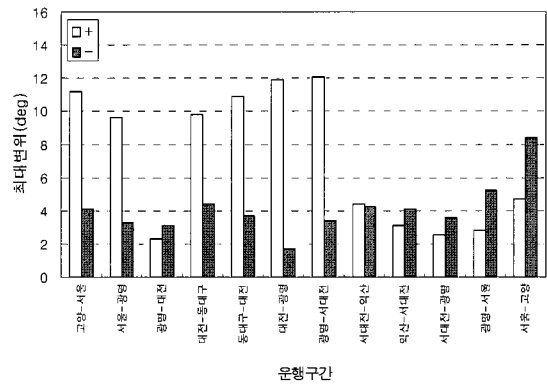


Fig. 8. Maximum yaw displacement of the body to body damper

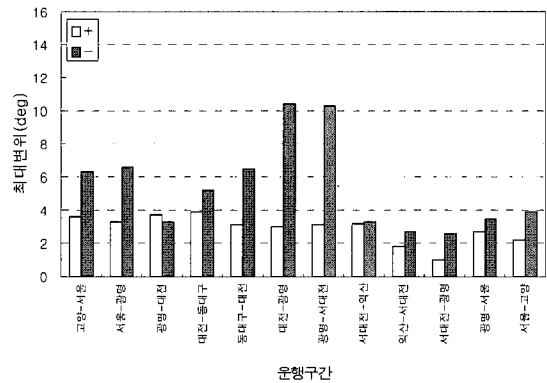


Fig. 9. Maximum pitch displacement of the body to body damper

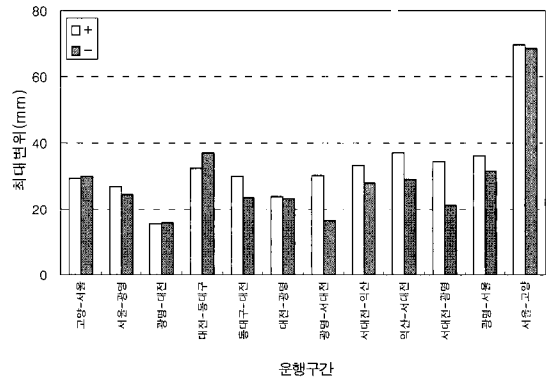


Fig. 10. Maximum displacement of the yaw damper

Table 6. Test Results for the displacement of the coil spring

구간	인장(+)	압축(-)	비고
부산-동대구	14.6	17.8	- 시험구간: 고양~부산 - 축상코일스프링 허용운동변위: 약±67mm이내
동대구-대전	16.9	14.1	
대전-광명	17.6	14.5	
광명-서울	14.8	17.4	
서울-고양	23.8	9.0	
최대변위	23.8		

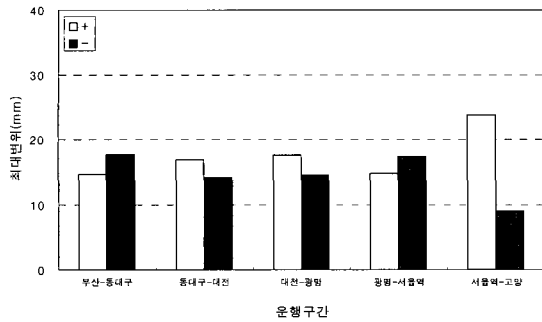
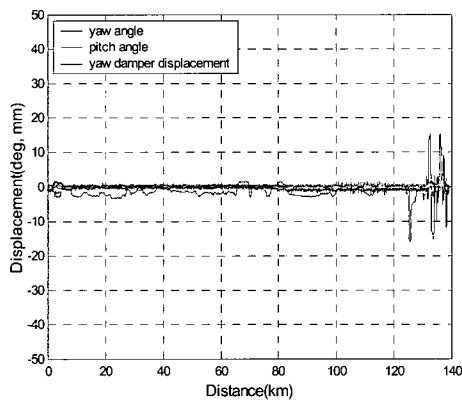
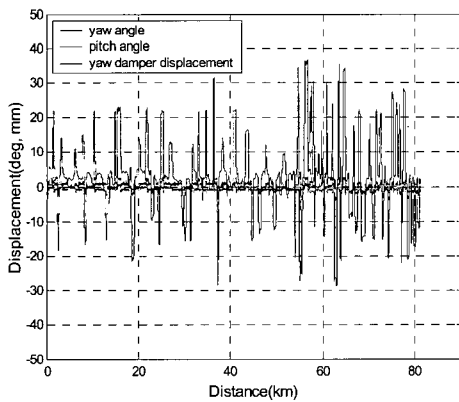


Fig. 11. Maximum displacement of the coil spring



(a) high speed line(kwangmyung-daejeon)



(b) conventional line(iksan-seodaejeon)

Fig. 12. Displacement for the section type

요소의 설계 허용기준치 이내의 값을 보이고 있다. 구간별 발생하는 변위의 최댓값은 운행구간중 급곡선 빈도가 많은 기존선 구간이나 고속선과 기존선의 연결 분기구간 통과시 발생한다고 할 수 있다. 실제 Fig. 12와 같이 고속선 구간(광명~대전)과 기존선 구간(익산~서대전) 주행 시의 변위 측정 데이터 선도를 비교하면 기존선구간의 변위 발생 빈도가 높고 변위량이 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 반면 고속선구간은 발생빈도가 거의 없고 변위량이 매우 미미하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 다만, 고속선 구간의 시종점인 기존선과 연계구간에서 분기 구간 통과시 변위량이 증가하는 경향을 보이고 있으며 특히 차체간댐퍼의 요각 및 피치각의 변화가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다.

3.2 구간별 변위빈도분포

각 구간별로 발생하는 변위량에 대한 빈도분포를 파악하기 위하여 변위 빈도분포를 분석하였다. Fig. 13, Fig. 14는 경부선 상행 부산→고양간 전 구간에서 발생하는 차체간댐퍼, 요댐퍼 변위량 크기에 대한 빈도를 분석하여 구간별로 나타난

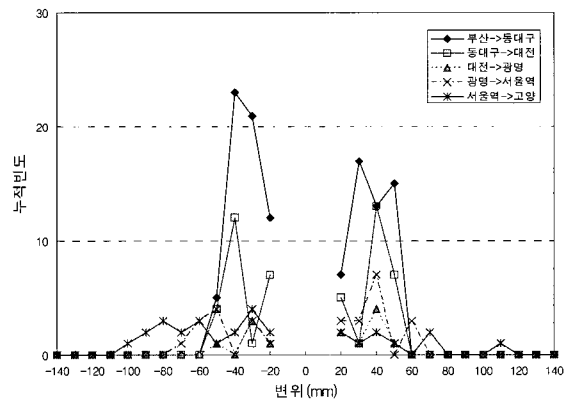


Fig. 13. Displacement distribution of the body to body damper

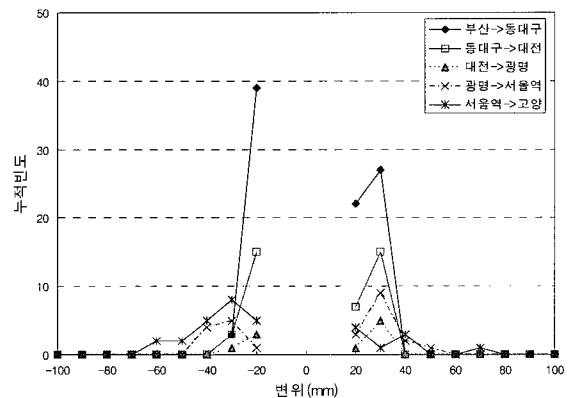


Fig. 14. Displacement distribution of the yaw damper

변위 빈도분포선도이다. 앞서 분석한 최대변위와 같이 기존선 구간을 혼용하고 있는 서울-고양, 광명-서울, 부산-동대구 구간에서 상대적으로 큰 변위량과 빈도를 보이고 있다. 반면, 고속선 구간인 동대구-대전, 대전-광명구간에서의 변위 분포는 기존선 혼용구간의 변위분포에 비하여 변위량의 크기가 작으며 빈도 역시 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

고속철도차량 주요 현가 요소에 대한 변위특성 실차시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

상기 분석결과와 같이 객차대차 현가계 구성요소인 차체간 댐퍼, 요댐퍼, 코일스프링을 대상으로 한 실선로 변위시험 결과, 급곡선 빈도가 많은 기존선 구간의 변위량 및 빈도가 고속선을 포함한 구간에 비하여 상대적으로 크게 발생하고 있다. 또한, 계측한 현가요소의 최대 변위는 모두 설계 사양 상의 허용치 이내임을 나타내고 있다. 그러므로 고속철도차량의 기존선 혼용으로 인한 차량 운용조건이 현가요소의 운동

범위를 벗어나게하는 데이터는 발견할 수 없었으며 따라서 이와관련된 현가요소 성능 저하나 고장 유발에 영향을 미칠 외적 요인은 발견되고 있지 않다고 사료된다.

따라서 향후 고장 예방 및 신뢰성 확보측면에서 현가요소 각 요소에 대한 고장 메커니즘 규명 및 내구수명에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이라 사료된다.

참고 문헌

1. Korea TGV Consortium (1996), "Technical Specification for Supply of The Carbody to Carbody Dampers"
2. Korea TGV Consortium (1996), "Calculation Note : Carrying Bogie Suspensions"
3. Korea TGV Consortium (1996), "Calculation Note : Motorized Trailer Motor Bogie Suspensions"
4. 대원강업(1998), "현가장치개발 2차년도보고서", 건설교통부, pp.15-88