

# KNR 신형 전기기관차용 대차에 관한 연구

## A STUDY ON BOGIE FOR KNR NEW ELECTRIC LOCOMOTIVE

양방섭\*

Yang, Bang-Sub

---

### ABSTRACT

In this study, Bolsterless bogie with col spring suspension for KNR new electric locomotive developed by Daewoo Heavy Industries LTD is introduced. Bogie is designed in order to have good ride comfort in high speed and easy maintenance and proved by the running test performed in korean railroad for 1 years.

---

#### 1. 서론

국내에서는 1972년부터 도입되어 운용중인 8000대 전기기관차(이하 구형전기기관차)의 수명 도래로 인한 교체시점에서 많은 유지보수 비용이 문제점으로 대두되어 구형기관차를 대체 할수 있으며, 차후 국철의 전철화시대에 대비하여 고속의 전기기관차가 요구되었다. 대우중공업(주)에 의해 시용청원방식으로 개발된 8100대 전기기관차(이하 신형 전기기관차)는 700톤의 여객열차를 평탄선에서 최고운행속도 140Km/h까지 운행가능하다. 신형전기기관차의 설계와 제작을 위해 약 2년간의 기간이 소요되었으며 약 1년간의 현차시험을 수행하였다. 신형전기기관차의 외형과 일반 제원은 그림 1, 표 1과 같다.

대차는 차체의 하중지지장치로서 주행시에는 차륜의 답면과 레일면 사이에서 발생하는 진동의 완충과 레일상의 주행이 안전토록 하며, 차륜과 레일면 사이에서 생기는 동륜주의 인장력을 대차의 센타피봇을 통해 차체에 전달하고 제동시 발생하는 제동력을 차체에 전달하는 전달장치의 역할을 한다. 본논문에서는 신형전기기관차용 대차인 코일스프링형 볼스타레스 대차의 구조와 성능에 대해 소개하고자 한다. 신형전기기관차용 대차(이하 대차)는 신형전기기관차 차량에서 요구하는 충분한 강도와 성능을 가지고 있으면서 기존의 구형 전기기관차에 비해 부품수가 적음으로 인해 정비가 용이하고 보수유지비가 적도록 설계되었으며, 또한 운전자의 피로감을 줄이기 위해 우수한 소음과 승차감을 갖도록 설계 및 제작되었다. 대차의 설계 및 제작은 국제철도규격(UIC, International Union of Railways) 및 한국철도청 표준규격(KRS, Korean Railroad Standards)에 의해 제작되었다.

---

\* 한국철도차량(주) 중앙연구소, 주임연구원, 비회원

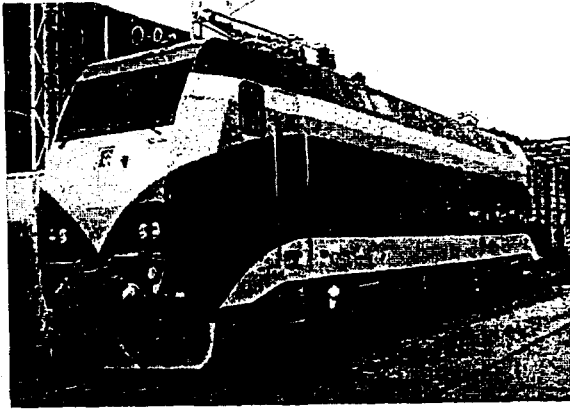


그림1. 신형전기기관차 외형

표 1 신형전기기관차의 제원

차 른 배 열	Bo' Bo'
전 기 시 스템	25KV, 60Hz
궤 간	1,435mm
연결기면간거리	18,980mm
대차중심간거리	9,900mm
축 간 거 리	3,000mm
연 속 정 격	5,200KW, 62.4Km/h ~ 150Km/h
역 율	거의 1에 가까움
최고 설계 속도	150Km/h
출 발 견 인 력	330KN
전 기 제 동	회생제동 160KN, 5Km/h ~ 117Km/h
공 기 제 동	압축공기제동
견 인 전 동 기	3상 비동기 전동기
용 도	여객, 화물겸용

## 2. 대차의 일반적인 제원

신형 전기기관차용 대차의 외형과 일반제원은 그림2, 표2와 같다.

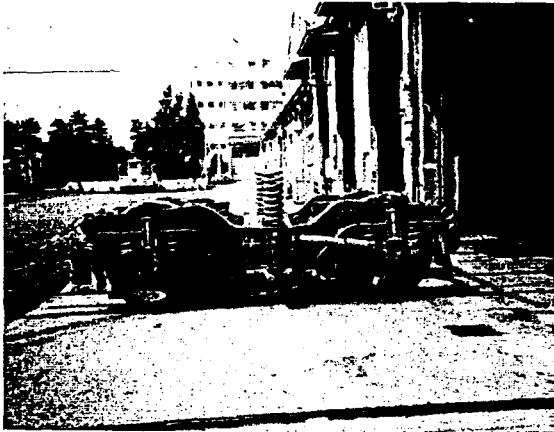


그림 2. 신형전기기관차용 대차의 외형

표 2. 대차의 일반적인 제원

대 차 형 식	볼스타레스 대차
1 차 현 가 장 치	코일스프링
2 차 현 가 장 치	코일스프링
견 인 장 치	완충형 센타 피봇
축베어링 중심간거리	2,080mm
차 른 직 경	1,250mm(new), 1,170mm(worn)
대 차 최 대 길 이	약 5,050mm
대 차 최 대 폭	약 2,625mm
2차 스프링 상면 높이	1,454mm
2차 스프링 좌우 간격	2,080mm
기 초 제 동 장 치	차륜 디스크형 제동

## 3. 대차 구조

### 3.1 윤 축

윤축은 차륜, 차축 디스크로 구성 되어 있으며 차륜은 R9T (UIC 812-3)로 만들어진 일체압연차륜이고  $\phi 1,040 \text{ mm} / 740\text{mm}$ 인 디스크가 장착되어 있으며 차륜의 직경은 신조시  $\phi 1,250\text{mm}$ 이며 답면형상은 1/20 답면을 채택하고 있다. 차축의 재질은 25CrMo4V (UIC 811-1)이고 차축과 차륜의 압입작업은 UIC 813에 의한다(그림3 참조).

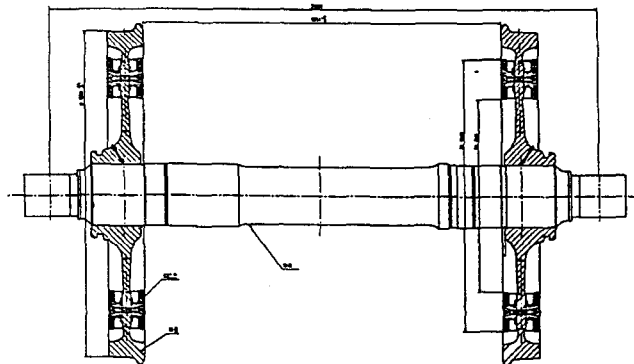


그림 3. 윤축의 형상

### 3.2 액슬박스 장치

액슬박스장치는 주철로 만들어진 액슬박스 그리고 액슬엔드 캡, 커버 등으로 구성되며, 내부에는  $\phi 160/\phi 270$  mm인 그리스 내장형 실린드릭 칼 롤러 베어링이 장착되어 있으며, 추천된 그리스와 규정된 운행조건에서 사용시 250만 Km이상의 수명을 보장한다(그림 4 참조). 또한 커버에는 접지장치, ATS 속도센서, 대차 활주 방지장치가 설치되어 있다.

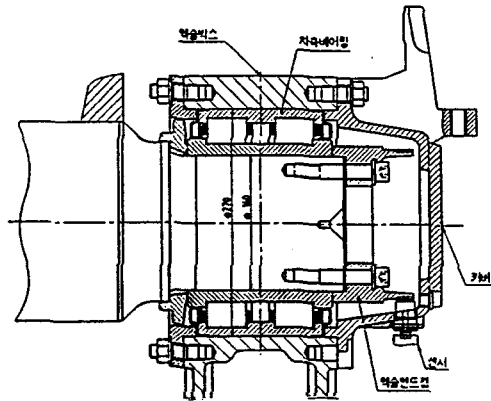


그림4. 액슬박스장치 형상

### 3.3 대차후레임

기본구성은 사이드프레임, 크로스빔, 양단부의 엔드빔으로 형성된 日형으로 되어 있고(그림5 참조) 주요재질은 SWS490YA가 사용되었으며 사이드 프레임은 t10된 된 사이드 판과 t16, t20로 된 상하판을 용접한 박스 단면 구조형으로 내부 보강을 간소화하여 제작이 용이하도록 설계되었으며, 크로스빔과 사이드프레임의 내부에 공기 통로를 만들어 용접의 기밀성을 확인하기 위한 시험을 할 수 있도록 되어 있다. 엔드빔은 파이프로 되어 있어 기초 제동 장치를 고정하기 위한 브라켓이 부착된다.

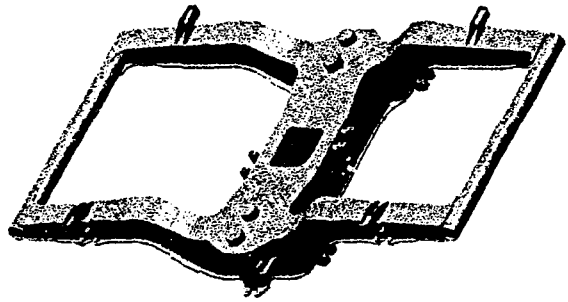


그림5. 대차후레임 형상

### 3.4 1차 현가장치

1차 현가장치는 주로 차량의 주행 안전성 확보를 위해 설치되며 코일스프링, 부쉬형 가이드 봉 및 1차 수직 댐퍼등으로 구성되어 있다(그림6 참조). 코일스프링의 하면에 설치된 완충고무와 가이드봉의 부쉬는 곡선통과시 차륜 마모를 감소하기 위해 완충고무가 설치되며, 차량이 운행시 진동에 의한 파손을 방지하기 위해 대차후레임 하면과 액슬박스 상면과의 높이인 축상고를 42~47mm를 유지하도록 설계되어 있다. 대차후레임 및 윤축의 수직방향의 진동에 대하여 적절한 감쇄력을 가진 1차 수직 댐퍼가 설치되어 있다.

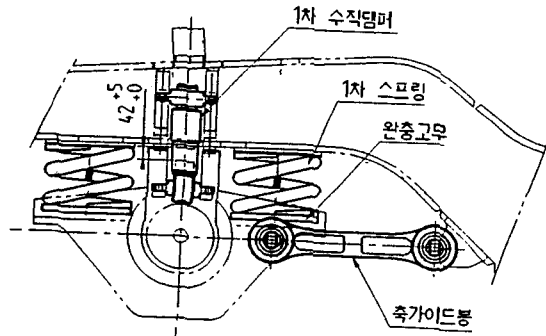


그림6. 1차 현가장치 형상

### 3.5 2차 현가장치

2차 현가장치는 차체를 지지하면서 탑승객의 승차감을 결정하는 장치로서 대차후레임의 양상단부에 위치한 복렬식 코일스프링 과 대차후레임과 차체 사이에 설치된 2차 수직 댐퍼 및 회전댐퍼로 구성되어 있다. 코일스프링의 상하면에는 원형 완충고무가 설치되어 곡선통과가 부드럽게 되도록 하였으며 차체와 대차간의 간격은 라이너를 사용하여 영차시 30~35 mm로 유지할수 있도록 제작되어 졌다(그림7 참조).

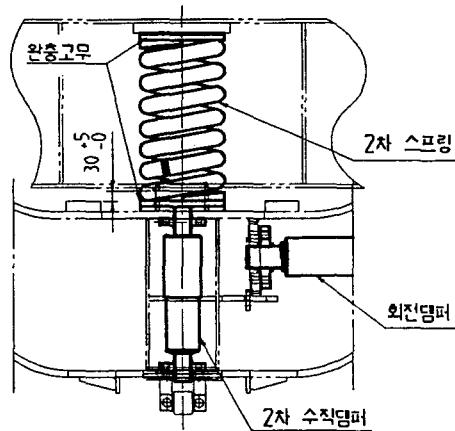


그림7. 2차 현가장치 형상

### 3.6 견인장치

견인장치는 대차에서 발생된 구동력 및 제동력을 차체에 전달하기 위해 설치되며 주강으로된 사각형 센타피봇과 좌우, 전후의 고무스프링으로 구성된 완충형 견인장치가 설치되어 있다. 센타피봇과 대차후레임의 간격은 전후방향으로 3mm, 좌우방향으로 35 mm를 유지하도록 되어 있으며 비상시 차체 리프팅시 대차도 함께 들어 올려지도록 센타피봇의 하면에는 고정판이 설치되어 있으며 고정판은 한쪽면에는 횡댐퍼를 취부하고 있으면 횡 댐퍼의 다른쪽은 대차후레임에 장착되어 있다(그림8 참조).

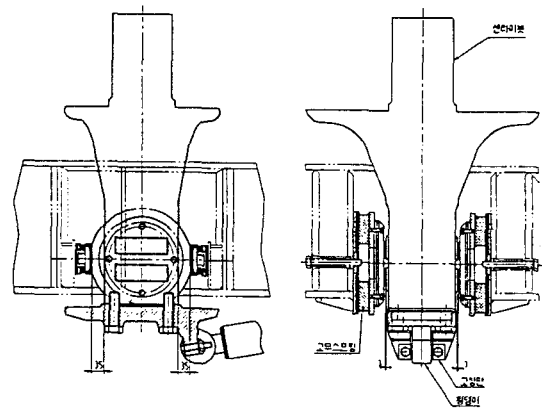


그림8. 견인장치 형상

### 3.7 기초제동장치

기초제동장치는 대차당 4개의 디스크와 제동 실린더로 구성된 차륜 디스크 형식을 채택하고 있다. 실린더에는 디스크와 라이닝의 간격을 1mm로 일정하게 유지시켜 주는 자동 간격 조정기가 내장되어 있으며 실린더의 직경은 10인치로 축당 1개씩은 주차 제동식 실린더가 설치되어 있다. 디스크는 주강, 라이닝은 비석면 재질로 되어 있으며 라이닝은 UIC 기준에 의해 제작되며, 라이닝의 두께는 24mm이며 라이닝의 마모한계는 5mm 이다(그림9 참조).

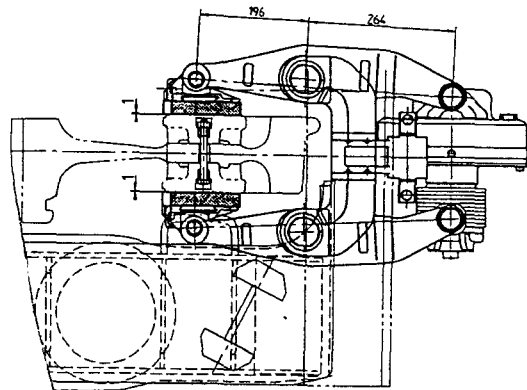


그림9. 기초제동장치 형상

### 3.8 구동장치

구동장치는 차량을 주행하도록 하는 장치로서 대차당 2세트의 구동장치가 설치되어 있으며 기어와 모터로서 구성되어 있다. 모터가 차축에 매달린 형태로 부착되어 있으며 대차후레임과는 토르크 지지봉을 이용하여 연결되어 있다.(그림10 참조).

기어는 헬리컬 기어로서 기어비는 6.294(107/17)이며 기어와 피니언의 재질은 17CrNiMo6이고 기어케이스 재질은 구상흑연 주철로 제작되었다.

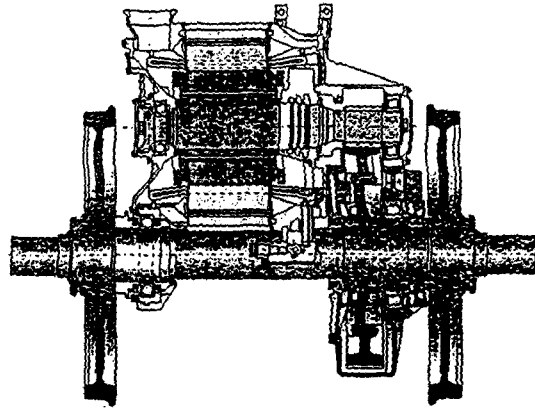


그림10. 구동장치 형상

### 3.9 기타.

차량과 레일의 점착력을 증진하기 위해 각 차륜에는 살사장치가 설치되어 있으며 주행시 플랜지의 마모를 줄이기 위해 300m마다 차륜의 플랜지 면에 그리스를 분사하는 분사식 도유기가 설치되어 있다.

## 4. 대차후레임 구조해석과 시험

대차후레임의 구조해석과 시험은 대차 정하중시의 하중조건 및 평가방법(JIS E4207,4208 참조)을 적용하였으며, 해석은 범용 구조해석 소프트웨어인 I-DEAS를 이용하여 수행하였다. 해석을 수행한 결과 합성응력은 사이드프레임에서 평균응력이 5-6 Kgf/mm<sup>2</sup>고 모재부 최대응력이 11.845-6 Kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났으며 가장 높게 나타났으며 구동시의 변동응력 분포는 평균응력의 분포와 비슷한 경향이었으며 최대값은 사이드 프레임에서 5.33 Kgf/mm<sup>2</sup>로 나타났다.

제동시의 합성응력과 변동응력은 모두 구동시와 비슷한 경향을 보이고 그값도 비슷하였다. 그 이유는 모터구동반력과 제동반력에 의한 응력값이 그리 높지 않고, 응력집중 부위도 합성시의 최고 응력이 나타나는 부위와 떨어져 있기 때문이다. 구동시 피로내구선도를 그림 11에 표시하였는데 모두 안전 범위 이내로 들어온다. 구조해석의 결과를 바탕으로하여 대차후레임의 주요 응력부의 안전도를 확인하기 위해 대차 후레임 정하중 시험을 실시하였으며 측정점은 57개소였다. 그림 12는 대차후레임의 피로내구선도를 나타내고 있다. 그림 11과 그림 12에 의하면 대차후레임은 주어진 하중조건하에서 적절한 강도와 피로 내구성을 가지고 있다고 판단된다.

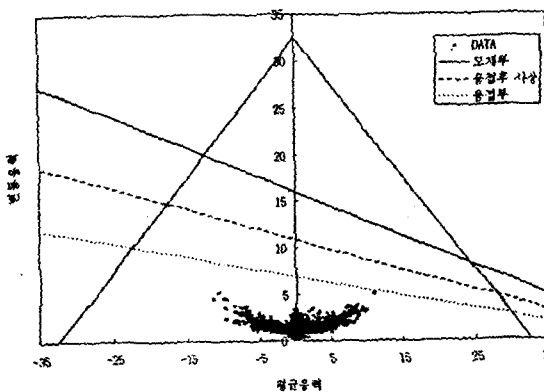


그림 11. 피로내구선도(SWS490YA,해석치)

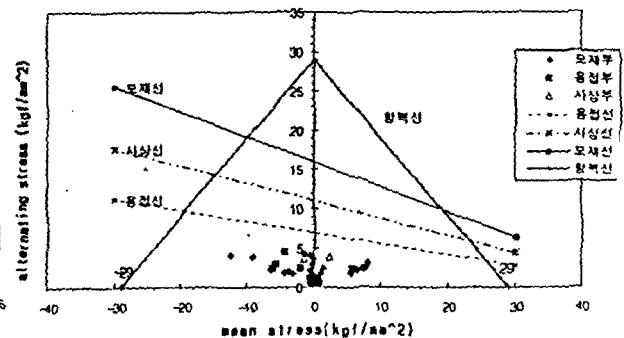


그림 12. 피로내구선도(SWS490YA,시험치)

### 5. 동특성 해석

차량의 동특성해석은 차량의 주행안전성, 승차감, 곡선 추종 성능을 극대화 할 수 있는 대차장치의 현가장치에 대한 인자를 추출하기 위해 수행되어지며 본해석에 사용된 현가장치의 주요인자는 표3에 나타나 있다.

신형 전기기관차의 차량은 42 자유도의 수학적 모델로 구성하여 해석을 수행하였으며, 궤도 불규칙도는 현 한국철도 기술연구원에서 경부선 일부구간(서울->대전)을 측정하여 Data화 한 설로를 채택하여 사용하였다. 해석에 사용된 소프트 웨어는 영국 국철에서의 실험을 통해 그 신뢰성이 입증된 British Rail Research에서 개발한 VAMPIRE(Vehicle Dynamic Modelling Package In a Railway Environment)를 사용하였다.

표3. 현가장치의 주요인자

구분	항 목	특 성 치	단 위
1차 현가장치	전후방향 스프링 상수/차륜	5.30	MN/m
	좌우방향 스프링 상수/차륜	5.30	MN/m
	수직방향 스프링 상수/차륜	2.40	MN/m
2차 현가장치	전후방향 스프링 상수/EA	0.194	MN/m
	좌우방향 스프링 상수/EA	0.194	MN/m
	수직방향 스프링 상수/EA	0.680	MN/m
댐 퍼	1차수직댐퍼 감쇄계수	0.05	MN/m/s
	2차수평댐퍼 감쇄계수	0.16	MN/m/s
	2차수직댐퍼 감쇄계수	0.08	MN/m/s
	회전 댐퍼 감쇄계수	0.60	MN/m/s

#### 5.1 주행안정성 해석

답면구배 0.10에서 0.40까지의 넓은 영역에 대해 안정성 평가를 실시하였다. 해석결과, 답면구배 0.10에서의 임계속도는 210Km/h로서 최고속도 150Km/h를 상회함으로 충분한 안정성이 있는 것으로 평가하였다.

#### 5.2 승차감 해석

승차감은 차량이 선로위를 달릴 때 궤도 불규칙도에 의해 외력이 가해질 때 발생하는 진동이 승객에게 주는 쾌적의 정도를 나타내는 것으로 본 해석에서는 경부선(서울->대전간)의 궤도 불규칙도를 적용하여 시간 영역 적분 방법에 의해 승차감 해석을 실시하였고 속도 150Km/H일 때의 운전실 상부에서 각 방향별 승차감 지수가 아래표와 같이 보통 수준이다.

방 향	위 치	RMS 가속도	Leq	평 가
수직방향	운전실 상부	36.86mg	111.1dB	보통(108dB~113dB)
좌우방향	운전실 상부	41.19mg	112.1dB	보통(108dB~113dB)

\* 상기 평가방법은 철도기술연구원에 정한 기준에 의함.

#### 5.3 곡선 주행 성능 해석

곡선 주행 성능해석은 차량이 곡선 주행시 선두 차륜의 탈선계수, 선두차축의 좌우 차륜에 대한 윤증감소를 계산하여 정해진 한도내에 있는지를 평가하는 것으로 본해석에서는 반경 400m, 600m, 800m의 곡선 궤도를 적용하여 실시하였으며 해석 결과는 아래표와 같이 탈선계수 및 윤증감소를 이 안전함 범위에 있음이 확인되었다.

곡 선 반 경	400m	600m	800m	기 준
운 전 속 도	90Km/H	110Km/H	130Km/H	
탈선계수 최대값	0.7644	0.6610	0.5594	1.1이하
윤 증 감 소 율	78.06%	54.9 %	65.13%	80% 이하

#### 5.4 차륜 마모 해석

차륜 마모해석은 정량적 예측보다는 차륜간 상대적 마모정도를 알아보기 위해 수행되어 졌다 곡선 주행시 선두차축이 외측궤도와 접하는 차륜(우측)과 내측에 접하는 차륜(좌측)에서 얻어진 마모계수 값이 아래표에 나타나 있다. VAMPIRE 제작사인 BRR에서는 차륜의 마모계수가 160이상인 경우 정상적인 마모 보다 심한 마모가 발생한다는 기준을 제시하고 있다.

곡 선 반 경		400m	600m	800m	기 준
운 전 속 도		90Km/H	110Km/H	130Km/H	
마모계수	차륜담면(좌측)	56.5	34.03	10.31	160이하(추천치)
	차륜담면(우측)	60.0	15.83	10.32	
	차륜플랜지	112.2	126.8	101.1	

#### 5.5 승차감 시험

신형 전기기관차의 승차감을 확인하기 위한 현차시험을 실시한 결과 아래 표와 같으며, 측정구간의 최고속도인 80Km/h에서 승차감이 양호한 것으로 나타났다.

측정구간	측정속도	방 향	위 치	측정치	평 가
제천<-> 단성	80Km/h	수직방향	운전실 상부	104dB	양호
제천<-> 단성	80Km/h	수평방향	운전실 상부	101.5dB	양호

#### 6. 본선 현차 시험

신형 전기기관차는 산업선(서울 청량리 <-> 동해)에서 1998. 9 ~ 1999. 9부터 본선 현차시험을 실시하였다. 1년간의 본선 현차시험(10만 Km운행)을 실시한 후 대차상태의 결과는 표4와 같다.

표 4. 본선 현차조사 결과

조 사 내 용	상 세 내 용	결 과
대차후레임 상태	대차후레임의 크랙 조사	없음.
디스크 상태 및 마모량	디스크 크랙 조사 및 마모량 조사	크랙없음, 마모량 0.3mm
라이닝 상태 및 마모량	라이닝의 크랙 조사 및 마모량 조사	크랙없음, 마모량 5mm
뎀퍼의 상태	뎀퍼의 파손 흔적 조사	없음.
차륜의 담면상태	차륜의 담면의 흠 및 크랙 조사	없음.
차륜의 삭정량	1년간 차륜의 삭정량 조사	계동시험후 1번(약 2mm)
각종 고무류의 상태	고무류의 파손 흔적 조사	없음
각종 볼트류의 상태	볼트의 조임 상태 조사	양호

#### 7. 결 론

신형 전기기관차용 대차인 코일스프링형 볼스타레스 대차는 각종 해석 및 시험, 국내선로에서 약 1년간의 현차 운영을 통하여 140Km/h의 고속용으로서의 신뢰성 및 우수한 주행성능, 정비의 용이성이 확인되었으며, 향후 국내 및 국외에 사용될 기관차 및 동차용 대차로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 8. 참고문헌

- [1] 철도청 신형 전기 기관차 상세설계 승인자료, 대우중공업(주), 1997
- [2] 서사범 저, 선로공학, 삶 과 꿈, pp7 ~ pp11
- [3] 철도차량기술, 철도차량기술검정단, pp69 ~ pp82