

## 차세대 철도화물차량의 성능향상방안에 관한 연구

함영삼\*(한국철도기술연구원), 홍재성(한국철도기술연구원), 오택열(경희대학교)

### A Study on the Performance Elevation Methods of Next Generation Railway Freight Vehicles

Y. S. Ham(KRRI), J. S. Hong(KRRI), T. Y. Oh(Kyung-Hee Univ.)

#### ABSTRACT

Research purpose of this project is intending Maintenance Free of freight car and speed up of freight train. At goods transport as heightening traveling by ship speed of freight train shortening raise railway share of physical distribution and stand on tiptoe to Northeast Asia physical distribution main country to contribute expect. This paper is the performance elevation methods of next generation railway freight vehicles.

**Key Words** : Speed-up (고속화), Heavy Weight Cargo (중량화), Maintenance Free (무보수화), Running Safety (주행안전성), Braking Distance (제동거리)

#### 1. 서론

21세기에는 CO<sub>2</sub> 등 오염물질 배출규제와 에너지 이용 효율화가 더욱 중요하게 될 것이며, 남북철도 연결 등으로 우리나라가 동북아시아 물류중심지역 역할을 하게 될 경우 장거리 대량 수송의 특성을 지닌 교통수단의 필요성은 더욱 부각될 것이다. 이러한 향후 여건을 전망할 때 환경친화성, 에너지효율성, 안전성, 수송효율성 및 장거리 대량수송의 장점을 지닌 철도교통의 이용이 보다 활성화되어야만 한다. 고속철도가 개통된 지 1주년이 경과된 시점에서 기존선의 활용을 극대화하고 물류 수송력을 증대시키기 위한 150km/h급 고속화차의 개발은 철의 실크로드 구축의 선봉에서 철도화물수송의 경쟁력을 제고시키는데 있어 반드시 필요한 수단이라 평가할 수 있다.

본 논문에서는 차세대 철도화물운송수단인 고속화차의 개발방향과 성능향상을 위한 기술적인 현안 문제와 대책방안을 제시하고자 한다. 화물의 수송력을 증대하고 운용효율을 높여 수익을 증대하게 되면 이에 따른 궤도부담력이 늘어나고 아울러 레일과 차량의 마모 및 궤도틀림도 증가하게 되어 궤도와 차량의 유지보수비용이 증가하게 된다. 그러므로

궤도의 유지보수비용과 차량의 검수비용을 최소화할 수 있도록 설계개념을 도입하여 차량을 설계하여야 한다.

#### 2. 현황 및 문제점

한국철도에서 사용되고 있는 화차의 대차는 Barber 대차와 용접구조 대차가 주종을 이루고 있는데, 이들의 제한최고속도는 Barber 대차 및 혼합편성시는 공차 70km/h 만차 90km/h이며, 용접대차 전용 편성시는 110km/h로 운행하고 있다.

##### 2.1 철도화물차량용 용접구조대차

한국철도에서 고속화차라고 부르고 있는 차량은 유럽의 Y25 Bogie를 기본으로 한 용접구조형 대차로서 1993년에 개발된 것인데 110km/h까지의 주행성능에는 문제가 없으나 대차의 분해검수에 투입되는 검수인공과 페데스탈 방식의 축상 마찰마모부의 재료비 등으로 인한 유지보수비용 증가가 검수 및 속도향상의 제한요소로 작용하고 있다. 이에 따라 용접구조형 고속화차 대차의 유지보수성을 개선방안이 요구되고 있는 시점이다.

현재 철도에서 운용되고 있는 용접대차는 H형 용접구조 후레임으로 축상(저어널 박스)부에 코일스프링 및 마찰감쇄기구의 현가장치를 적용하였으며, 접촉식 사이드 베리어와 반구형 센터피봇을 채택한 1 piece 대차구조로서 고속주행에 적합하게 설계되어 있다. 이러한 용접대차의 현가장치는 영공차 하중 변동폭이 크기 때문에 내측과 외측 2단의 코일스프링에 높이차를 두어 공차시에는 외측스프링만이 차량하중을 부담하고, 적재하중이 어느 정도 증가하면 (차량중량 약 33.6톤 부근) 내측스프링도 함께 하중을 부담하도록 설계되어 있다. 이는 부담하중에 적절한 수직방향 스프링 강성을 부여함으로써 차량이 비틀린 궤도를 원활하게 주행할 수 있도록 하며 아울러 적재중량의 증가에 따른 스프링의 처짐량도 구조적 한계 이내로 유지시키기 위함이다. 그러나 스프링 강성이 내측과 외측스프링이 동시에 작용하기 시작하는 분기하중에서 급격히 증가되기 때문에 이 분기하중조건과 궤도의 최대 비틀림 조건이 중첩되었을 경우 탈선에 대한 안전도가 급격히 감소되는 단점이 있다.

현가장치에는 주행중 발생하는 진동을 감쇄시키기 위한 건마찰 감쇄기구가 설치되어 있다. 이 건마찰 기구는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 외측스프링에 작용하는 하중(P)이 4번 링크와 2번 스프링 켈을 통해 전달되도록 함으로써 3번 푸시로드에 차량 길이 방향 하중을 유지시킨다. 이 유지되는 힘은 외측스프링에 작용하는 수직하중(P)에 4번 링크의 설치각  $\sin 21^{\circ} 40'$ 의 곱이며, 이 힘이 푸시로드와 축상 측부와와의 건마찰에 대한 법선력이 된다. 따라서 본 감쇄기구는 적재하중에 비례한 마찰작용이 진동에너지 흡수하는 방식으로 유럽의 고속 화차에 많이 적용되는 구조이나, 마찰부의 마모에 따라 마모판의 교환이 필요하며 링크구조가 복잡하게 연결되어 있어 분해조립이 까다로운 보수 유지 측면의 단점이 있다고 할 수 있다. 이에 따라 Fig. 2와 같은 축상 등 대차 습동부에서의 마모로 인하여 마모판을 교환하여야 하기 때문에 검수주기를 단축하여야 하는 에로사항이 현실적으로 존재하고 있다.

## 2.2 주강대차

철도화물차량용 주강대차는 1차 현가장치인 축스프링이 생략된 2차 현가장치로 볼스터 스프링을 채택한 대차이다. 1개의 볼스터와 2개의 사이드프레임을 기본으로 구성하기 때문에 3 piece 대차라고도 불리는데, 화물차량용 대차 가운데 가장 전통적인 모델로 구조적으로는 안전성이 입증되었으나 고속주행시에 불안정하게 되고 강한 측방향 충격을 유발하여 차체를 안정도를 감소시킴으로 인하여 최

고속도를 90km/h로 제한하고 있다.

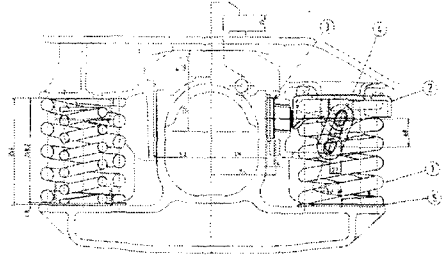


Fig. 1 Shape of Welded Bogie Suspension

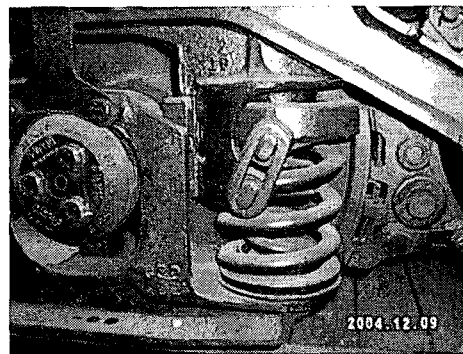


Fig. 2 Welded Structure Bogie

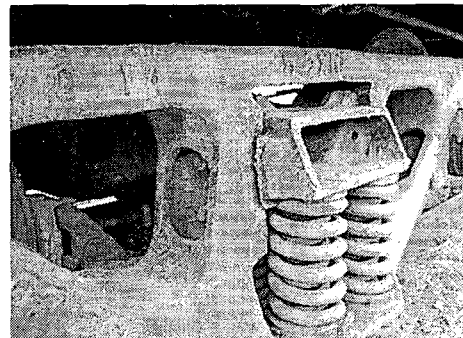


Fig. 3 Cast Steel Bogie

## 3. 개선방안

화물차량의 유지보수성을 개선하고 속도향상을 위해서는 페데스탈 타입의 건마찰 감쇠기구를 없애고 헌팅안정성과 조향기능을 강화하기 위하여 LSA(List Steering Arm)이나 TRANSOM을 추가하는 방안을 생각할 수 있다. 본 절에서는 조향기능을 부여하여 차륜 플랜지의 마모를 감소시키면서 습동부를 줄인 대차들의 설계와 적용방안을 검토하였다.

### 3.1 Conical Rubber Spring Bogie

국내의 고무현가장치는 철도차량용 1차현가장치 또는 축스프링용 현가장치로 개발된 것으로 금속과 고무가 다수의 층으로 일체 성형된 코니컬형 고무스프링과 유압식 감쇄장치가 일체로 조밀하게 구성되어 있다.

금속-고무의 다층 고무스프링은 상하방향의 큰 변위를 허용할 수 있어 안락한 승차감을 제공할 수 있으며, 전후 및 좌우방향으로는 상대적으로 큰 강성을 부여할 수 있어 차량의 주행안정성을 향상시킬 수 있다. 일반적으로 감쇄장치는 스프링과 병렬로 설치되어 공진주파수 영역에서는 진동을 감쇄시켜 진동전달을 낮추어 주지만 그 이상의 고주파대의 진동에 대해서는 진동이 스프링보다는 감쇄장치를 통해 전달이 되는 경향이 있기 때문에 오히려 진동전달을 증가시킨다는 단점이 있다. 상기의 고무현가장치에는 유압식 감쇄장치가 스프링 역할을 하는 고무와 직렬로 설치되어 있어 공진 주파수대의 진동을 감쇄시키고 그 이상의 고주파대의 진동에 대해서도 고무의 내부감쇄를 통해 감쇄시키기 때문에 우수한 진동전달 차단효과가 있다. 이 고무스프링과 일체로 된 감쇄시스템은 마찰부나 시일(seal)이 없기 때문에 수평기간동안 보수가 필요 없다는 특징이 있다. Conical Rubber Spring Bogie는 설정된 설계변수가 동역학적 요구성능을 충분히 만족시키고 있는 지에 대해서 유지보수에서 가장 중요한 요소인 피로 내구성 시험을 통하여 확인하여야 한다.

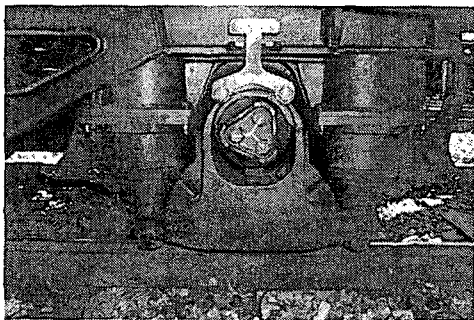


Fig. 4 Conical Rubber Spring Bogie

### 3.2 Swing Motion Bogie

Swing Motion Bogie는 주행성능의 질(승차감)을 확보하면서 고속운행을 하기 위하여 개발되었다. 비록 전통적인 2차 현가장치를 기본으로 하였지만, Swing Motion Bogie는 화물의 손상을 줄일 수 있으며, 선로에 전해지는 충격력을 줄여서 화차의 속도가 여객열차를 따라갈 수 있게 하였다.

Fig. 5의 전개도에서 볼 수 있듯이 Bolster와 Side Frame이 Transom이라는 추가의 구성품과 연계되었고 Adapter도 변화되었다. Swing motion Bogie의 향상된 성능은 두 가지 새로운 설계에서 기인하는데, 그것은 Swing 운동의 결이 역할을 하는 Transom과 좌우로 작용하는 힘의 중심(횡방향 충격점)의 위치를 아래로 내린 점이다.

Swing Motion Bogie는 Bolster가 횡방향으로 2mm 까지 운동할 수 있게 한다. Swing운동은 Pedestal과 Adapter 사이에서 발생하고, 양 Side Frame을 연결하고 있는 Transom(스프링을 받치고 있는)이 Rocker Seat를 통해서 움직이므로 연동되는 것이다. Side Frame 속에 부착된 Wear Plate(Friction Wedge와 접촉)의 넓은 면적은 스프링의 수직 운동과 Transom의 횡방향 운동에 대한 흡수력을 제공한다.

Transom은 H-frame Bogie와 같이 대차의 H 형태를 견고히 유지한다. 또한, Bolster는 보수를 가장 많이 요구하는 Gib가 없기 때문에 Side Frame에 간혀 있는 것이 아니다. 대신, Transom 상부와 Bolster 하단에 위치한 Lateral Stops가 서로 접촉하게 되는데, 이러한 설계는 길어진 횡방향 운동과 횡방향 충격점(좌우 충격의 중심 Center of Rotation)이 낮게 위치하도록 한다. 횡방향 운동의 중심 높이를 낮추는 것은 차량의 들림 현상을 감소시켜, 결국 탈선 위험도를 낮추는 것이다.

이러한 Design은 승차감 확보, 수송 화물 보호, 선로보수 및 차량운용비용(보수비 포함)의 문제가 일반 대차로서 해결되지 않을 때, Swing Motion Bogie가 선택될 수 있음을 의미한다.

Swing Motion Bogie는 우리나라 화차의 하중조건에 적합하도록 스프링상수를 개선하고, 대차/차체/제동장치 등 상호간에 인터페이스에 충분한 연구검토가 요구되며, 대차 프레임에 제외한 부품(특히 조향기능을 발휘하는 대차 부품)들과 차량시스템으로서의 피로내구성 검증이 선행되어야 한다.

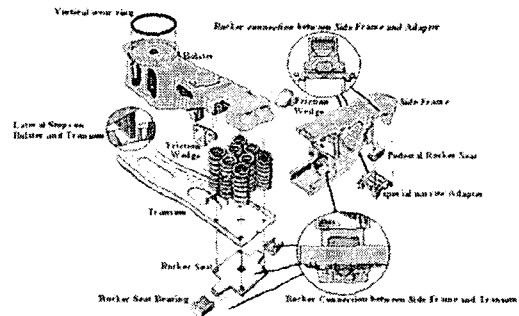


Fig. 5 Development of Swing Motion Bogie

### 3.3 Scheffel Bogie

Scheffel Bogie는 남아공에서 개발된 대차로서 곡선통과성능을 향상시킴과 동시에, 고속 주행시에도 안정성을 높이기 위해 특수 담면 차륜을 채용하고 축상을 X자 형의 지축으로 연결하여 Seif Steering을 실시하는 획기적인 대차로 소개되고 있다. 차륜과 레일의 마모감소, 소음의 저감, 화차의 고속화 면에서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 알려지고 있지만 국내에는 본격적으로 해석이나 시험이 이루어지지 않은 미지의 대차이다.

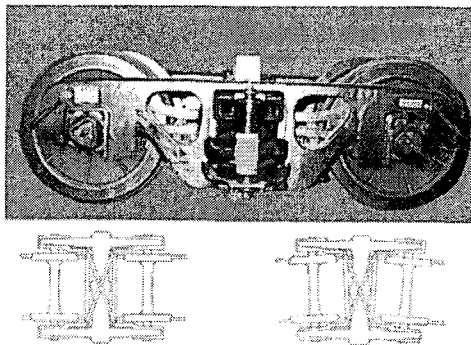


Fig. 6 Shape of Scheffel Bogie

### 4. 결론

차세대 화물차량의 성능향상방안은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 기존차량과 호환성을 유지하면서 150km/h의 고속주행이 가능하도록 주행장치와 제동장치를 제외한 부분은 기존차량과 형식을 통일한다.

② 150km/h급 고속화차의 대차주행장치에는 페데스탈 타입의 마모부위를 억제하여야 하고, 제동장치는 EP제동을 도입하여 제동충격을 방지하고 신속한 완해가 이루어지도록 해야 하며 담면제동방식을 탈피하여 차륜 또는 차축의 디스크 브레이크를 채택하여야 한다.

③ 화물의 수송력을 증대하고 운용효율을 높여 수익을 증대하게 되면 이에 따른 궤도부담력이 늘어나고 아울러 레일과 차륜의 마모 및 궤도틀림도 증가하게 되어 궤도와 차량의 유지보수비용이 증가하게 된다. 그러므로 궤도의 유지보수비용과 차량의 검수비용을 최소화할 수 있도록 차량을 설계하여야 하는데 이때 기술적으로 검토하여야 할 사항들은 다음과 같다.

◆ 고속화 : 열차주행속도가 증가하는데 비례하여 궤도의 충격계수 증가

◆ 중량화 : 축중이 증가하는 만큼 궤도, 도상, 침목의 작용응력 증가

◆ 무보수화 : 유지보수비를 최소화하면서 검수주기 연장

◆ 주행안전성 : 탈선계수, 윤중감소, 횡압허용한도

◆ 내구성 : 내용년수 보장

◆ Interface : 시스템간의 유기적인 조화

◆ 제동거리 : 속도 150km/h에서 1,100m 확보

### 참고문헌

1. 함영삼, 화물수송용 스윙모션보기의 탈선계수 측정 및 분석, 한국정밀공학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp.130~133, 2003.10.17
2. 함영삼, 오택열, 화물수송용 철도차량 현가장치의 설계변수와 진동성능에 관한 연구, 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 B, pp.507~512, 2001.6
3. Y.S.Ham, H.C.Chung, W.J.Chung, T.Y.Oh, A study and test of the swing motion bogie for application on korean railroad, International Symposium on speed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems STECH'03, Transportation and Logistics Division (TRANSLOG) Japan Society of Mechanical Engineering(JSME), JSME No.03-205, pp.202~207, 2003. 8
4. Young-Sam Ham, Heung-Chai Chung, Woo-Jin Chung, Strength Evaluation of Swing Motion Bogie by Finite Element Analysis, Key Engineering Materials, Vols. 270-273(2004), pp. 1153-1158, © 2004 Trans Tech Publications, Switzerland
5. 함영삼, 오택열, 화물수송용 스윙모션보기의 임계속도와 주행성능 평가, 2003년 12월호 한국철도학회 논문지 제6권 제4호, pp. 215~220, 2003. 12