

자기부상열차용 대차 프레임의 설계

Design of bogie frames for Maglev

이재익*

Lee, Jae-ik

김국진**

Kim, Kuk-jin

ABSTRACT

Maglev is the vehicle which can run in levitated condition by the electro-magnets, and the vehicle can run without any contact condition. The vehicle is divided in two parts such as carbody and bogies, and the bogies are the driving device of the vehicle. There are many equipments in the bogie, and the frame endure many loads occurred in the operation of the vehicle. The bogie frame is designed and manufactured in the view of good safety and maintainability, and the engineers work to accomplish this purpose.

1. 서론

자기부상열차는 기존의 철도차량과는 달리 전자석의 힘에 의해 레일 위를 부상하여 주행하는 열차이다. 이러한 부상 시스템을 채용함으로써 자기부상열차는 기존 철도차량이 갖지 못했던 큰 장점을 갖는다. 즉 기존의 바퀴식 철도차량의 경우 주행시 발생하는 소음 및 진동을 막기 위해 터널 혹은 방음벽의 건설이 불가피하였으나, 자기부상열차의 경우 이러한 시설의 건설이 필요없게 되므로 노선의 건설비를 대폭 줄일 수 있게 된다. 그리고 비접촉 주행으로 인한 마모품의 감소로 유지보수비 또한 획기적으로 줄일 수 있다.

이러한 자기부상열차의 구조는 기존 철도차량과는 큰 차이가 있다. 즉 철도차량을 차체와 대차로 나누었을 때, 객실에 해당하는 차체는 기존 철도차량과 큰 차이를 보이지 않지만 주행장치에 해당하는 대차는 그 형태와 기능이 상당히 다르다. 기존의 철도차량의 차축의 역할을 전자석들이 담당하게 되며, 추진용 전동기로는 회전형이 아닌 선형 전동기를 사용한다. 그리고 기존의 철도차량용 대차와는 달리 자기부상열차용 대차 프레임은 레일을 완전히 감싸는 구조로 제작되어 기존의 철도차량의 대차와는 확연한 차이를 보이는 등 많은 부분에 있어서 자기부상열차는 기존의 철도차량과는 다른 구조를 갖는다. 본 논문에서는 자기부상열차용 대차의 특징과 그 구조의 설계개념을 소개하고, 이전의 연구결과 얻어진 대차 프레임의 특징을 비교하며, 향후 자기부상열차의 설계의 방향을 찾고자 한다.

* ㈜로템 중앙연구소, 비회원

** ㈜로템 중앙연구소, 정회원

2. 자기부상열차의 구조 및 대차의 구성

2.1 자기부상열차의 기본 사양 및 구조

현재 세계 각국에서 개발되고 있는 자기부상열차는 크게 고속형과 중저속형으로 나눌 수 있다. 고속형은 도시간을 연결하는 노선에 적용하기 위한 차량이며, 저속형은 도심 내의 경전철 노선에 적용하기 위한 차량이다. 이중 국내에서 개발되고 있는 자기부상열차는 저속형으로, 1량당 120명 내외의 승객을 탑승시킬 수 있으며 최고 100km/h로 운행되는 열차이다. 그림 1은 현재 설계되고 있는 실용화 자기부상열차의 일반도를 보여 주고 있다.

자기부상열차는 일반 철도차량과 마찬가지로 크게 차체와 대차로 구분할 수 있다. 차체는 승객을 수송하기 위한 공간을 이루며, 그 골격을 이루는 구체는 알루미늄 압출재의 용접 구조이다. 그리고 승객의 편의를 위한 여러가지 설비품들이 차체 내에 설치된다. 그리고 차체의 하부에는 각종 전기장치 및 기계장치들이 설치되어 차량의 각종 기능을 담당하게 된다.

대차는 차량의 주행 기능을 담당한다. 즉 차량의 부상, 추진, 제동, 및 기타 운행에 필요한 모든 기능들이 대차를 통해 수행된다. 그리하여 대차에는 이러한 기능들을 수행하기 위한 장치들이 장착된다. 대차의 하부에는 부상용 전자석이 대차당 8대씩 설치되며, 차량의 추진을 위해 선형 유도 전동기가 대차당 2대씩 양쪽으로 설치된다. 또한 차량의 제동방식으로는 회생제동과 공기제동을 병용하며, 회생제동은 진술한 선형 유도전동기에 의해, 그리고 공기제동은 대차내에 설치된 기초제동장치에 의해 수행된다.

그리고 승차감의 향상을 위해 차체와 대차 사이에는 2차 현수장치를 설치한다.

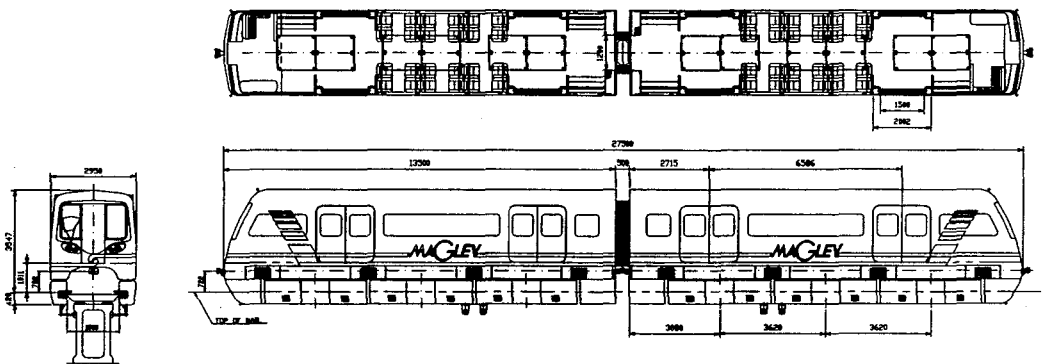


그림 1. 자기부상열차 일반도

2.2 자기부상열차용 대차의 구성

주행장치에 해당하는 대차의 구조는 구체와 마찬가지로 알루미늄 용접 구조이며, 두개의 용접 구조와 두개의 Tie beam 이 Hinge 로 결합되는 구조이다. 대차의 경우 구체와는 달리 그 기능 및 유지보수성 향상을 위해 완전한 압출계 용접구조로 제작하는 것은 곤란하며, 기본적인 압출계에 판재 혹은 주조품으로 이루어진 구조를 용접하여 제작한다. 이러한 구조에 그림 2와 같이 부상용 전자석, 추진용 선형 유도전동기, 제동장치 및 현수장치 등의 여러가지 기구들이 장착된다.

차량 주행시 궤도의 불균일성에 의해 발생하는 진동이 차체에 전달되는 것을 막기 위하여 차체와 대차 사이에는 공기현수장치가 설치된다. 이 공기현수장치는 일반 철도차량에 적용된 현수장치와 유사하며, 하중의 변화에 관계없이 차체의 높이를 일정하게 유지할 수 있도록 레벨링 밸브를 설치한다. 또한 차체의 상하 및 좌우 진동을 동시에 감쇠시키기 위하여 경사형 댐퍼를 적용한다.

또한 대차에서 발생하는 견인력 및 제동력을 차체에 전달하기 위하여 Traction rod 가 설치된다. 일반적인 철도차량의 경우 견인력을 전달하기 위하여 Center pivot을 설치하지만, 자기부상열차의 경우 3대 이상의 대차를 적용하게 되므로 곡선구간의 주행을 위해서는 Center pivot의 적용이 불가능하며, 대신 그 역할을 Traction rod 가 수행하게 된다. 그리고 대차 주구조, Tie beam, 그리고 Traction Rod 가 Link 구조를 이루어 곡선 구간 주행시 그 곡률에 따라 변형되어 곡선 구간을 원활히 주행하게 된다. 일반적인 철도차량의 경우 대차 중심에 센터 피벗을 설치하여 대차가 센터 피벗을 중심으로 회전하도록 하여 곡선 구간을 원활히 주행하도록 하고 있으나, 본 자기부상열차의 경우 한 차량에 3대의 대차를 적용하므로 센터 피벗을 적용할 경우 다양한 반경의 곡선 구간을 주행할 수 없게 된다. 그리하여 본 자기부상열차에서는 센터 피벗을 배제하고, 대차의 주구조, 타이빔, 그리고 Traction rod 로 이루어지는 Link 구조를 구성하여 대차의 횡방향 변위 및 각변위를 구현한다. 이러한 구조를 적용함으로써 본 자기부상열차는 기존 철도차량으로 주행하기 힘든 급곡선 구간을 주행할 수 있게 된다.

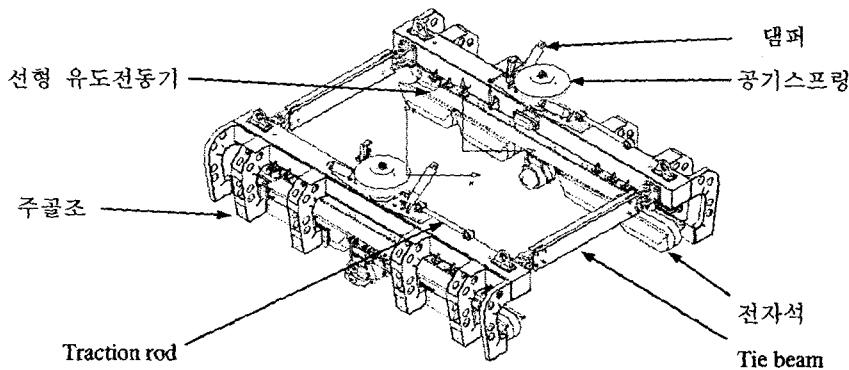


그림 2. 자기부상열차용 대차의 외형

3. 대차 프레임의 설계

3.1 대차 프레임의 설계 요건

전술한 모든 기능품들은 대차 프레임에 장착된다. 그러므로 대차 프레임은 이 기능품들의 하중과 차체의 하중, 그리고 주행시에 외부로부터 작용하는 각종 하중에 대해 항복이 일어나지 않아야 하며, 강도뿐만 아니라 강성에 관한 제약조건도 갖게 된다.

이와는 반대로 부상계의 관점에서 생각하면 대차프레임은 어느 정도의 유연성을 가질 필요가 있다. 즉 본 자기부상열차의 경우 대차의 4 코너에 대한 독립적인 부상 제어를 실시하고 있으며, 이러한 시스템의 경우 대차 프레임이 유연해야만 각 코너가 다른 코너의 영향을 받지 않고 부상 기능을 수행할 수 있게 된다.

그리하여 자기부상열차용 대차 프레임 설계시에는 일반적인 구조물에 적용하는 강도 및 강성뿐만 아니라 적당한 유연성을 확보하기 위한 수단도 강구해야 한다.

3.2 대차 프레임의 특징 비교

3.2.1 HML-03 및 UTM-01의 1호차량

'93년 대전 엑스포 기간동안 운행한 HML-03 자기부상열차와 과기부 국책과제로 개발한 UTM-01 자기부상열차 1호차량의 대차는 알루미늄 합금으로 만들어진 대형 외판을 기본으로 하여 내부에 보강재를 용접한 구조로 제작되었다. 그리하여 일반적으로 항공기에 적용하는 세미 모노콥 구조와 유사한 구조를 갖고 있다. 이렇게 제작된 대차 프레임의 경우 비교적 경량으로 상당히 높은 강성을 가질 수 있다. 다만 전술한 바와 같이 부상시스템의 관점에서는 대차프레임이 어느 정도 유연성을 갖는 것이 바람직하므로, 이러한 방식으로 제작된 UTM-01 1호차량의 경우 부상 기능에 있어서 약간의 불안정성이 관찰되기도 하였다. 또한 용접된 외판으로 인하여 대차 내부의 유지보수 작업을 위해 별도의 점검창을 설치하였다.

3.2.2 UTM-01의 2호차량

UTM-01 1호차량의 경험을 바탕으로 2호차량에서는 외판을 열 수 있는 구조로 제작하였다. 즉 그림 3에서 보는 바와 같이 알루미늄 압출재와 판재의 용접구조로 대차 프레임을 제작하고, FRP로 제작된 착탈식 외판을 설치하였다. 그 결과 대차에 걸리는 하중은 대차 프레임이 완전히 부담을 하게 되어 어느 정도 유연한 구조로 제작할 수 있었으며, 이로 인하여 부상기능의 안정화에 기여할 수 있었다. 또한 유지보수 작업시 외판을 완전히 제거할 수 있으므로 유지보수성을 대폭 향상시킬 수 있었다.

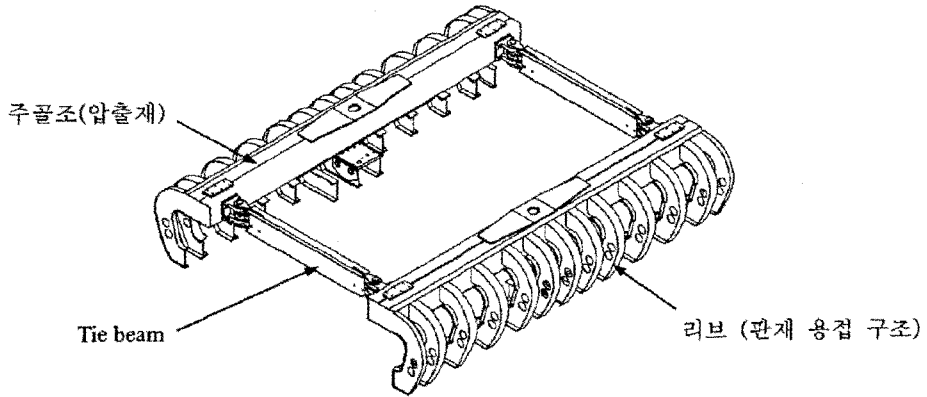


그림 3. UTM-01 2호차량용 대차프레임의 형상 (외판 제외)

3.2.3 실용화 모델 자기부상열차

현재 당사에서 설계중인 자기부상열차의 대차 프레임 구조는 기본적으로 UTM-01 2호차량과 유사하다. 즉 알루미늄 압출재로 이루어진 주구조에 리브를 용접하여 전체적인 구조를 만들고, 경량 재질의 외판을 부착하는 형태이다. 다만 그림 4에서 보는 바와 같이 UTM-01과는 달리 리브의 구조가 알루미늄 판재의 용접구조가 아닌 주조품으로 이루어진다. 이는 기존의 2개의 리브를 하나로 연결한 형태의 상자형 주물 리브를 적용함으로써 제동시 차량의 진행방향으로 작용하는 하중에 대한 강성을 높이고, 또한 용접 작업에 필요한 공수를 절감하기 위함이다.

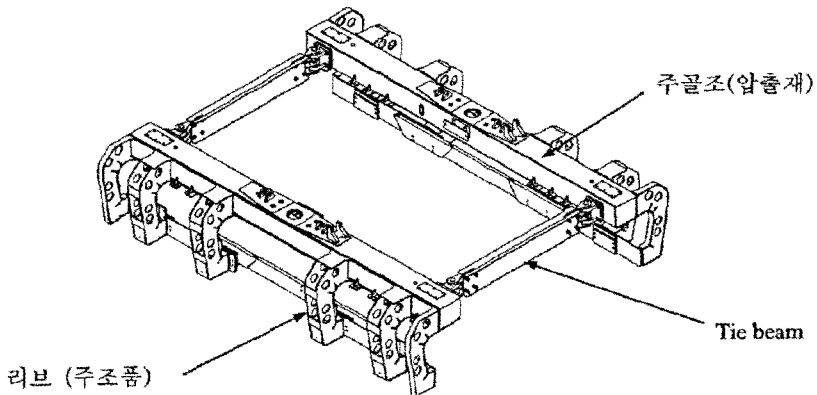


그림 4. 실용화 모델 자기부상열차용 대차 프레임의 형상

3.3 향후 대차의 설계 방향

3.3.1 전자석 모듈의 적용

차량의 조립 및 대차의 유지 보수를 보다 용이하게 하기 위해서는 전자석의 Pole과 리브를 하나의 모듈로 제작하여 설치하는 방법을 생각할 수 있다. 즉 현재 차량의 경우 대차를 레일에 먼저 설치한 후 차체를 대차에 설치를 하게 되므로 작업시 애로 사항이 발생할 수 있지만, 전자석 모듈을 적용하게 되면 대차프레임과 차체를 먼저 조립한 후 레일상에서 전자석 모듈을 대차프레임에 볼트로 고정하게 되므로 차량의 조립이 보다 용이해질 수 있다. 이 경우 현재 차량의 조립시에 필요한 공수를 상당히 절감할 수 있을 뿐만 아니라 대차 내부의 유지 보수 작업시 대차 프레임을 용이하게 제거할 수 있으므로 작업성을 대폭 향상시킬 수 있다. 이러한 전자석 모듈은 현재 독일에서 개발중인 고속형 자기부상열차 Transrapid-08 차량에 실제로 적용되고 있다.

3.3.2 전자석 설치의 정밀도의 향상

자기부상열차는 레일 위를 10mm정도 부상하여 주행하는 차량이므로 자기부상열차용 대차는 상당히 높은 정밀도를 가져야 한다. 현재의 차량에서는 전자석의 높이에 대한 정밀도를 확보하기 위하여 Key가 부착된 특수 부재를 적용하고 있으며, 향후 대차의 설계시에는 전자석의 하면을 대차 프레임에 고정시키는 방안을 검토하고 있다. 즉 전자석을 현재와 같이 측면으로 고정시킬 경우 처짐을 막기 위해 특수 부재를 적용해야 했지만, 전자석의 하면을 고정시킬 경우에는 전자석이 설치되는 면의 정밀도를 높임으로써 설치상의 정밀도를 충분히 얻을 수 있게 된다.

4. 결론

자기부상열차는 레일 위를 부상하여 주행하는 첨단 교통 시스템이다. 이러한 시스템에 있어서 차량의 주행을 담당하는 대차는 차량의 어떤 분야보다 중요한 분야라 할 수 있다. 그리하여 궁극적으로 차량의 기능을 충분히 발휘할 수 있고, 안전도 및 신뢰도를 높이며, 또한 차량의 제작 및 유지보수시의 공수를 절감할 수 있는 대차 프레임 설계에 대한 끊임없이 노력이 요구된다.

참고문헌

1. 김인근 외(1998), “도시형 자기부상열차 개발사업 (최종보고서)”, 과학기술부, p82~87
2. 박계서 외(1999), “인천국제공항 PMS 노선의 자기부상화를 위한 기획조사사업”, 과학기술부, p2-4-1 ~ p2-4-4
3. Joachim Ebmeyer 외 (1998), “Mechanical structure of the vehicle TRANSRAPID 08”, The 15th International Conference of Magnetically Levitated System and Linear Drives.
4. Luitpold Miller (2000), “Test result for the qualification of the Maglev vehicle Transrapid 08, The 16th International Conference of Magnetically Levitated System and Linear Drives.