일반 판토그라프의 틸팅차량 적용을 위한 차량시스템의 개선안

문형석†, 엄기영**, 여인호*, 유원희**, 김남포*

Application of Normal Pantograph to Tilting Vehicle with Technical Modification of Vehicle System

Hyung-Suk Mun, Ki-Young Eum, In-Ho Yeo, Won-Hee You, Nam-Po Kim

Key Words: Pantograph (판토그라프), Tilting train(틸팅차량), Maintenance(유지보수), Coupler(연결기) Vehicle System Engineering (차량시스템 엔지니어링), Bogie frame(대차프레임)

Abstract

On curved rail, the speed of train must be reduced in order to keep riding comfort. So, the train has the speed limitation in conventional railway line. But if the train has the tilting mechanism, the speed of train is able to be increased while maintaining the riding comfort. Generally, the tilting train is faster than the non-tilting train about 30% in curve.

The tilting train technology and reduction of travel time has been carefully investigated by KRRI (Korea Railroad Research Institute). Based on the primary research result from KRRI, tilting control system and tilting operation interface are considered its core technology to apply tilting train to Korean conventional railway. In this paper application of non-tilting pantograph to tilting system will be introduced. New type of bogie frame and system modification of vehicle are invented to apply non-tilting pantograph to tilting train.

1. 서 론

틸팅은 곡선부 주행시 차체를 Fig. 1에서와 같이 곡선의 안쪽으로 기울이게 하는 기술로써 곡선부를 주행함으로써 발생하는 원심가속도 ($a_{cen} = V^2/R$)의 횡방향 성분($a_{cen}\cos(\alpha+\gamma)$)을 중력가속도($g$)의 횡방향 성분($g\sin(\alpha+\gamma)$)으로 감쇄시켜 결과적으로 승객이 느끼는 횡가속도를 저감시키는 기술이다. 차량에 이와 같은 틸팅 기술을 적용하면 승차감의 향상뿐만 아니라 곡선부 통과속도를 증가시킬 수 있게 되므로 운행시간이 단축되며, 곡선부 통과시의 가 감속 빈도도 줄어들어 그 만큼의 에너지 소비도 줄일 수 있게 된다.

틸팅은 곡선부에서 약 30%정도의 속도향상을 가능하게 해주는데 일반적으로 곡선부의 속도제한은 궤도여건이나 차량의 성능에 따른 제한보다는 승차감의 저하를 방지하기 위해 규정지어진 것이다. 즉, 곡선부 주행시 승객이 느끼는 횡가속도가 일정값(국내의 경우는 0.08g)을 초과하지 않도록 제한되어진 것이다.

위와 같은 틸팅의 원리에 따라, 틸팅차량은 노선에 곡선부가 많을수록 그 위력을 많이 발휘하는 반면, 고속신선과 같이 곡선부가 거의 없는 노선에서는 유용성이 많이 저감된다.

그러나 틸팅 기술은 많은 진보된 기구동역학에 기반을 둔 철도차량 설계기술을 요구하는데 크게 틸팅대차기술, 틸팅제어기술, 그리고 틸팅판토기술등으로 분류되어진다. 본 논문에서는 해외 선

† 한국철도기술연구원 선임연구원
E-mail : hsmun@krri.re.kr
TEL : (031)460-5682 FAX : (031)460-2699
* 한국철도기술연구원 선임연구원
** 한국철도기술연구원 책임연구원

진 틸팅 판토그라프 기술을 소개하고 차량시스템의 기술적 검토와 수정을 통한 일반 판토그라프의 틸팅차량 적용을 제안하고자 한다.

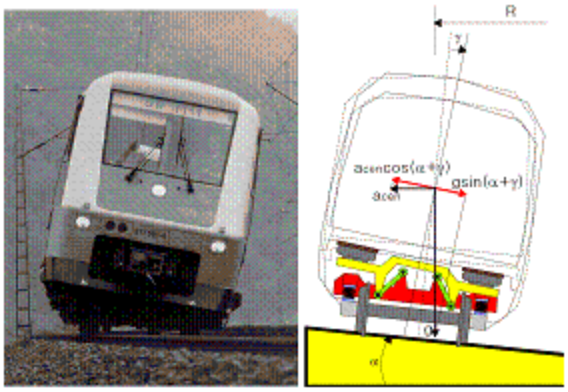


Fig. 1 틸팅차량의 횡가속도 저감의 원리

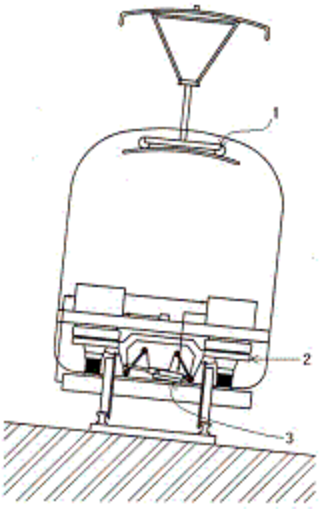


Fig. 2 틸팅차량의 주요핵심기술의 구성

2. 해외 주요 틸팅판토그라프 기술의 소개

2.1 판토그라프 일반

판토그라프는 전기식 철도창량의 집전장치로서 가선의 전압을 차량으로 공급한다. 판토그라프는 기계적으로 견고하여야하며 특히 가선의 설계속도까지 모든 속도의 범위에서 견인 부하와 보조부하를 견인부하와 보조부하를 공급 할 수 있어야한다. 판토그라프는 공기압에 의하여 상승하며 차량초기 운전시 보조공기압축기에 의하여 작동되게 된다. 틸팅차량에 적용되는 판토그라프는 차량이 틸팅시 곡선의 가선을 추종할 수 있도록 설계되어 가선으로부터의 전압을 안정적으로 차체에 공급하여야 한다.

Fig. 3 판토그라프의 사진

2.2 강제식 틸팅판토그라프

강제식 틸팅판토그라프는 전세계의 틸팅차량에 적용되는 가장 일반적인 틸팅 집전기술이다. 이미 전세계의 틸팅시장을 가장 많이 점유하고 있는 이태리 Pendoline 차량이 강제식 틸팅판토를 사용하고 있다. 북유럽 노르웨이의 틸팅차량인 Signature 역시 강제식 틸팅판토그라프 사용하고 있다.

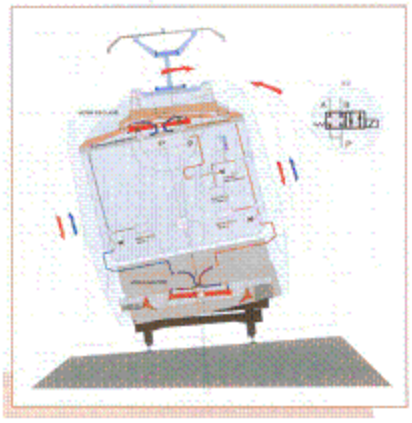


Fig. 4 강제 틸팅판토의 작동도

강제식 틸팅차량의 작동원리 및 구성은 Fig. 4에

서 알 수 있듯이 차체의 상부에 틸팅 가이드를 설치하며 그 가이드 위에 판토그라프를 설치한 구조로서 능동 엑츄에이터를 사용하여 판토그라프를 틸팅시키게 된다. 차체가 틸팅이 되더라도 판토그라프는 집전을 위하여 가선의 중심에 위치하고 이러한 작동은 차체의 지붕에 설치된 가이드레일과 차량의 횡가속도를 인식하여 작동되는 엑츄에이터의 운동에 따라 가능하게 된다. 본 시스템의 특징은 틸팅구조가 차체를 침범하지 않는다. 복잡한 구조를 가지고 있으므로 제어기를 포함하여 유지보수성이 상당히 떨어진다.

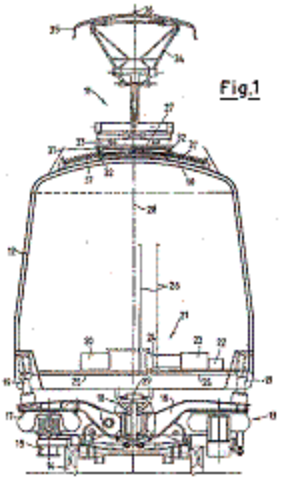


Fig. 5 능동제어 틸팅판토의 일반구조도

본 시스템은 능동제어 방식이므로 제어 실패시 신뢰성이 떨어질 수 있다. 또한 혹한기 차량운행시 결빙으로 인한 판토그라프의 가이드레일 작동에 문제가 생길 수 있으나 어름 차단막의 설치나 결빙방지 장치등 통하여 틸팅 판토그라프의 오작동의 문제를 해결할 수 있다.

2.3 대차 연결구조 틸팅 판토그라프

Fig. 6 대차 연결구조 장착 틸팅차량

Fig. 7 에서 보여 주듯이 차체의 상부에 틸팅 가이드를 설치하며 그 가이드 위에 판토그라프를 설치한 구조로서 대차와 케이블, 또는 링크로 연결하여 판토그라프를 틸팅시킨다. 틸팅구조가 차체를 침범하여 차체 설계시 판토그라프에 필요한 공간을 고려하여야 한다. 제어기가 없으므로 유지보수성이 우수하고 수동방식으로 신뢰성 또한 높으나 대차와 판토의 틸팅을 한번에 자동 제어하는 틸팅시스템의 적용이 일반적인 추세여서 틸팅 차량에 많이 사용되어지지는 않는다. 그러나 상당히 우수한 메카니즘으로 평가되고 있다. 주로 적용되어 사용되어지고 있는 차량은 유럽의 ETR460 Series 383 차량이다.

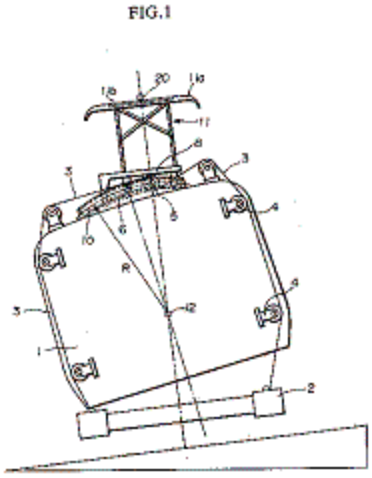


Fig. 7 강제 틸팅판토의 작동도

2.4 원통형 틸팅차량 적용 판토그라프

틸팅차량은 틸팅대차, 틸팅판토그라프, 그리고 틸팅제어 시스템으로 구성된 고도의 기구동역학 및 제어기술이 요구되는 기존선을 고속화하는 철도 차량으로 기존 틸팅차량의 기술적 어려움을 극복하기 위하여 설계되어졌다.

원통형 틸팅차량의 가장 큰 장점은 틸팅대차나 판토그라프를 사용하지 않고 일반대차의 적용이 가능하다는 것인데 차체를 원통으로 제작하여 여기에 일반 대차와 일반 판토그라프를 적용하는 것이다.

주요 구성품은 원통형 차체(6), 차체지지대(9), 차체 회전기어등이며 복잡한 틸팅메카니즘의 적용없이 곡선부 승차감을 향상 시킬 수 있는 장점이 있다.

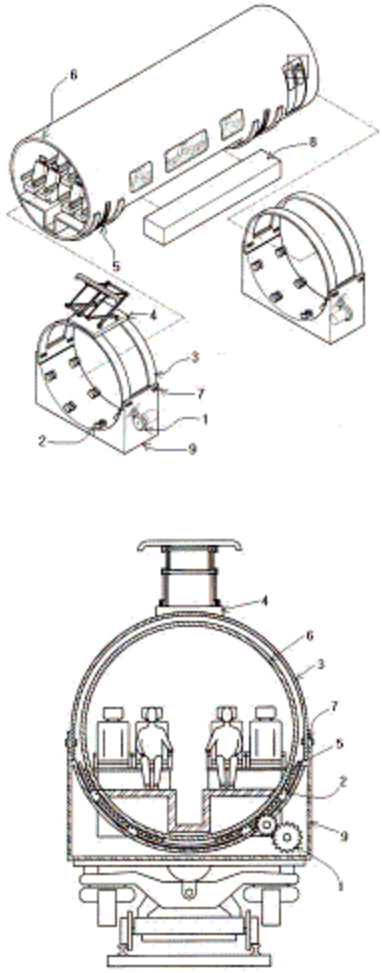


Fig. 8 원통형 틸팅차량 적용 판토그라프

본 틸팅차량은 앞에서 소개한 많은 장점이 있는 반면에 기존 차량에 비행 좁은 실내공간과 틸팅센타(Tilting Center)가 높아서 차량의 주행 안전성에 문제가 발생할 소지가 있어 이를 보완한 신 원통형 틸팅 차체가 설계 중에 있다.

2.5 차체관통 대차 고정형 판토그라프

차체관통 대차고정형 판토그라프는 틸팅차량 개발초기에 적용된 기술로서 판토그라프와 대차 사이를 Fig. 10 에서 보여주는 기둥으로 수직 연결하여 차체의 틸팅과 상관없이 판토그라프는 항상 가선의 중간에 위치하도록 한다.

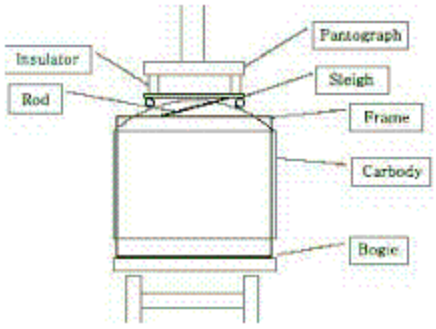
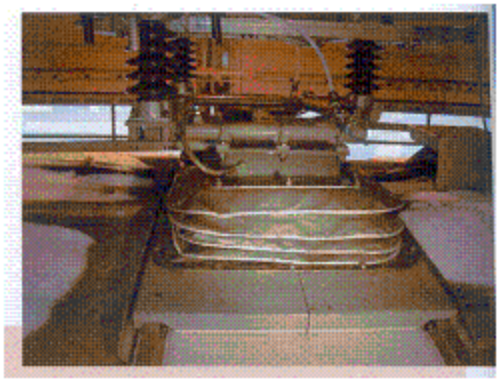


Fig.9 차체관통 대차고정형 판토그라프 구성도

Fig. 9를 통하여 대차 고정형 판토그라프의 구성을 살펴보면 판토그라프 하부에 Insulator가 설치되고 판토그라프는 Frame에 고정되며 이 Frame은 대차 Frame에 연결되게 된다. 따라서 차체의 회전운동과 상관없이 판토그라프는 항상 대차의 중심에 위치하여 가선으로 부터의 전력을 차량에 공급하게 된다.



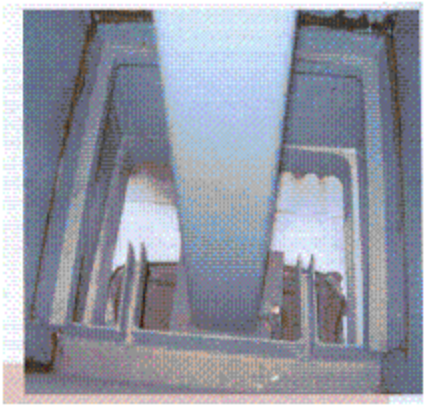


Fig.10 차체관통 대차고정형 판토그라프의 주요 구성품

그러나 구성의 간편함에도 불구하고 본 시스템의 가장 큰 단점은 Fig. 10에서 알 수 있듯이 대차와 판토를 연결하는 Frame이 통과할 수 있는 통로를 차체내부에 제공하여야 하고 이 통로의 여유 공간은 연결막으로 밀폐시켜야 한다.

대차와 판토그라프를 연결하고 지지하는 기둥이 차체의 내부를 통과함에 따라 차체의 내부의 공간이 좁아져 승객에게 충분한 공간을 제공하지 못하게 된다.

3. 차량시스템의 개선을 통한 일반 판토그라프의 틸팅차량 적용

3.1 차량 편성과 시스템의 소개

6량 1편성의 틸팅차량의 구성은 Fig.11과 같이 TC, M1, M2 차량으로 이루어진다. TC차량은 열차가 운행하는 방향에 전두에 편성된 차량으로 운전석이 있고 TC 차량의 대차는 구동력이 없게 된다. 그 이외의 차량의 대차는 구동력을 가지며 판토의 설치 유무에 따라 M1, M2로 분리된다.

Fig.11 일반 틸팅 차량의 편성 및 시스템의 구성

3.2 차량 편성의 연결구조

일반적인 차량의 편성은 차체의 언더프레임의 하부에 Fig.12에서 보여주는 연결기를 통하여 연결되게 된다. 밀착 연결기는 차체의 틸팅 동작을 고려하였을 때에 틸팅 차량에 적용하기에는 어려움이 있고 틸팅차량에는 Fig. 13에서 보여 주는 보다 유연성을 가지는 특수 연결기가 사용되어진다.

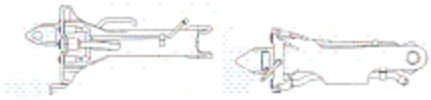


Fig.12 차량 편성용 밀착 연결기

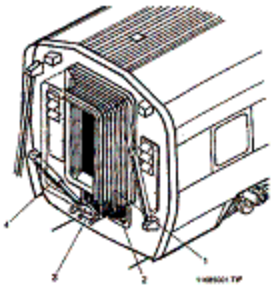
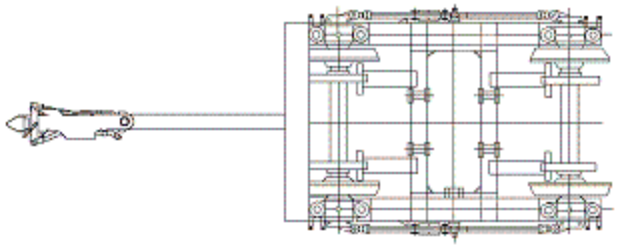


Fig.13 틸팅차량 적용 연결기의 예

3.3 차량 시스템의 수정을 통한 일반 판토그라프의 틸팅 차량 적용기술

일반판토를 틸팅차량에 적용하기 위해서는 두 가지 기술이 요구되는데 첫째는 차량과 차량을 연결하는 방법이다. 일반적으로 차체의 언더프레임에 연결기를 연결하는 것이 아닌 대차프레임에 연결기를 연결하여 차량과 차량을 연결 견인하는 것이다. 이를 위해서 새로운 대차프레임 구조와 이에 호환되는 연결기를 적용하여야 한다.



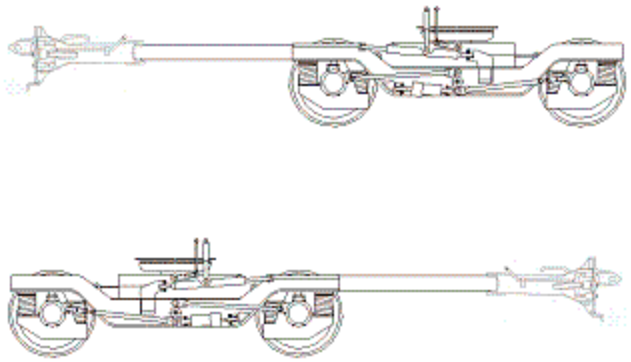


Fig.14 대차 프레임 연결기 장착의 예

대차와 대차를 연결하는 구조는 틸팅 차량의 1 편성시 2개의 대차가 사용된다.

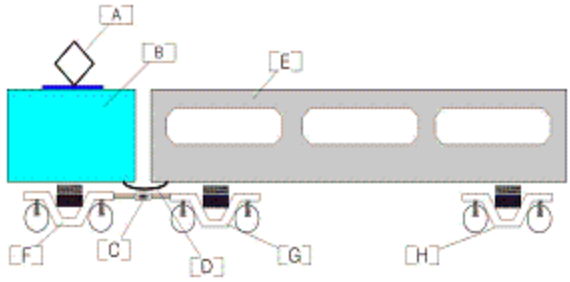


Fig.15 일반 판토그라프 틸팅차량 적용 시스템 구성도

A : 일반 판토그라프 (Non-tilting Pantograph)
B : 전력공급차량 (Non-tilting Vehicle)
C : 일반 연결기 (Non-tilting Coupler)
D : 전력공급 케이블
E : 차체 (Tilting Car-Body)
F : 일반대차 (Non-tilting Bogie)
G : 틸팅대차 대차프레임 연결기 장착
H : 틸팅대차 대차프레임 연결기 비장착

Fig. 15는 연결기 장착 대차프레임을 사용한 틸팅차량의 차량 시그템 구성도를 보여주고 있다. 전체차량 편성시 차량편성 후미부 끝단에는 전력 공급 차량과 이 차량과 연결되는 연결기 장착 대차프레임을 가지는 틸팅 대차로 구성된다. 실제 차량이 곡선부에 틸팅이 되더라도 전력공급 차량은(B)은 틸팅작동 없이 일반 판토그라프로부터 전력을 받아 전력공급선(D)를 통하여 모든 차량에 필요한 전력을 공급하게 된다. 여기서 모든 틸팅작동은 대차 프레임 상부에서 이루어지므로 틸팅을 하지 않는 전력공급차량의 차체와 (B)과 틸팅차량의 차체(E) 사이에는 아무런 기구학적 간섭 문제가 발생하지 않으며 단지 유연성을 가지는 전력공급 케이블(D)를 통하여 전력만 공급 받게된다.

4. 결 론

틸팅차량은 기존선에서 속도향상을 이루는 대표적인 기술이다. 본 논문에서는 틸팅 차량의 핵심기술인 틸팅판토그라프의 해외개발사례를 소개하였고 개발된 판토그라프의 장단점을 분석하였다.

그리고 차량시스템의 개선과 연결기가 장착된 대차프레임의 설계를 통하여 일반판토그라프의 틸팅차량 적용(안)을 제시하였다. 본 설계의 장점은 크게 두가지로 요약되는데 첫 번째 장점을 정리하면 우선 복잡한 작동방식을 가지는 틸팅판토그라프가 아닌 기존의 일반판토그라프를 사용하여 전체 틸팅시스템 및 제어알고리즘의 간소화가 이루어지며 이에 따라 틸팅 시스템의 신뢰성이 향상되고 제작비용 역시 적어진다는 것이다.

둘째로는 유지보수 측면으로 일반적으로 철도차량유지보수의 중요한 항목인 판토그라프를 필요에 따라 차량의 편성에서 분리하여 따로 유지보수 할 수 있어 판토그라프 고장 발생시 교체가 용이하고 따라서 전체적인 유지보수 비용이 절감될 것이다. 물론 복잡한 구조를 가지는 틸팅판토그라프의 적용에 따른 추가적인 유지보수 비용이나 기술도 불필요하게 된다.

판토그라프의 이선이나 그밖의 요인으로 판토그라프의 추가 설치가 필요 할 경우 가선의 동특성 해석을 통해 차량편성 마지막에 추가적인 전력공급차량을 편성하여 가선으로부터의 이선문제에 대응 할 수 있을 것이다.

참고문헌

(1) Hyung-Suk Mun, Ki-Young Eum, Nam-Po Kim, August 19, 2003, " Development for Tilting Vehicle Car Body with New Technology", Speed-up and service Technology for railway and Maglev System, JSME No.03-205, pp. 41-45

(2) Won-Hee You, Nam-Po Kim, December 30, 1999, " Design Technique Development of Bogie for High Speed Cuving", Korea Railroad Research Institute