

차세대 철도차량용 직접구동방식 T/M개발관련 기술개발 동향

A Trend of Direct Drive Traction Motor for Next Generation Railway Vehicles

권중록** 김남해* 김근웅* 이정일* 이종인*
Kwon, Jung-Lock Kim, Nam-Hae Kim, Keun-Woong Lee, Joung-Il Lee, Jong-In

Abstract

The researches on the direct drive system, which directly transfers axle load of the traction motor to wheels, have been developed as a next generation drive system in Japan and Europe. As a result of excluding couplings and gear units, the direct drive system has advantages on the bogie mount space to be smaller sized, lower noisy, more efficient and less weighted than the conventional drive system - indirect drive system. Since the simplification of the direct drive system design depends on the design of the traction motors, the researches on the direct drive system with focusing on the traction motors get started.

The advantages/disadvantages of direct drive system, types, structures, cooling systems and interfaces of the traction motors are presented on this paper. Furthermore, the development of other countries on the electric equipments of the next generation railway vehicles are discussed and the necessity & requirement for developing new concepts of traction motors are assured

1. 서론

차세대 철도차량용 구동방식으로 주전동기의 축출력을 직접 차륜에 전달하는 직접구동방식을 적용하는 연구를 일본, 유럽 등에서 진행하여 현재 어느 정도 성과를 거두고 있으며, 종래의 간접구동방식(전동기의 축·출력을 커플링, 기어박스를 통하여 차륜에 전달하는 방식)보다 커플링과 기어박스가 필요 없는 관계로 대차 취부공간의 간소화, 저소음화, 고효율화 및 경량화가 가능한 이점이 있다. 궁극적으로 간단한 구동시스템의 실현이 가능하며, 이러한 실현의 가능성은 핵심부품인 견인전동기의 신개념의 모델개발에 의해 좌우되므로 이에 대한 타당성 조사 연구를 시작하였다.

본 논문에서는 기존의 간접구동방식과의 비교를 통한 직접구동방식의 장단점과 직접구동

*현대중공업 연구원, 정회원

**현대중공업 연구원, 정회원

방식에 적용되는 전동기에 대한 성능 및 특징을 검토하고, 차세대 철도차량용 전동기의 선진국 개발 방향 및 동향 등의 조사연구를 통해서 자국에서의 새로운 개념의 전동기 개발의 필요성과 세계시장에서의 주도적 개발 가능성을 확인하고자 한다.

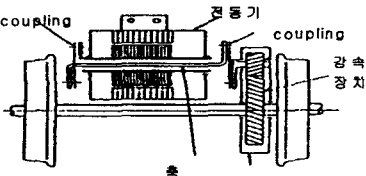
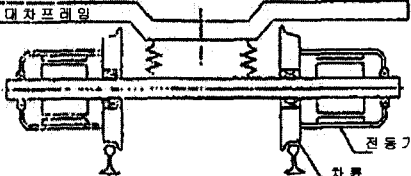
2. 동력전달방식 및 구조

2-1. 간접구동방식과 직접구동방식의 비교

종래의 전기차의 구동방식은 주전동기의 축출력을 직접차륜에 전달하지 않고, 커플링, 트랜스미션 및 기어박스로 구성된 전달장치를 걸쳐 구동(간접구동방식)한다. 이에 반하여 직접구동방식은 차륜과 전동기를 일체화하는 것이고, 그 특징을 표 2.1에 나타내었다.

즉 직접구동방식은 동력전달장치의 취부공간, 중량, 소음, 전달손실, 보수 등의 문제를 없애고 궁극적으로 간단한 구동시스템을 실현하는 것이 가능하다.

표 2.1 간접 및 직접 구동방식 특징[1][2]

	간접구동방식	직접구동방식
구조	 <p>coupling, 전동기, coupling, 감속장치, 축</p>	 <p>대차프레임, 전동기, 차륜</p>
특징	<ol style="list-style-type: none"> 1. 종래의 구동방식 2. 주전동기 - 커플링 - 감속장치 - 차륜 3. 주전동기에 가해지는 충격이 적음. 4. Un-sprung 질량이 작게 됨. 5. Inner Rotor 방식 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 차세대 구동방식 2. 주전동기 - 차륜 3. 간단한 대차구조 4. 동력전달장치가 불필요(저소음, 고효율) 5. 지상화 용이, 차량의 경량화 가능 6. 회전수가 낮아서 고투오크가 요구 7. 대부분 Outer Rotor 방식

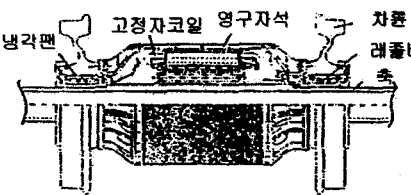
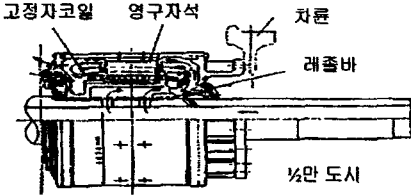
2-2. 직접구동방식의 구조특징

2-2-1. 양륜 구동방식과 각륜 구동방식

양륜구동방식은 좌우의 차륜이 일체가 되어 회전하는 방식(양륜 구동)으로 종래의 방식과 거의 동일하다. 각륜 구동방식에 비하여 비교적 구조가 간단하며, 무게 또한 상대적으로 적은 편이다. 이에 반하여 각륜구동방식은 좌우의 차륜이 독립으로 회전 가능한 방식으로 차륜 각각에 전동기가 부착되어 있고, 전동기 각각을 개별 제어한다. 회전자의 한편은 차륜에 의해 지지되고, 다른 한편은 주전동기 베어링에 의해 차축에 지지되는 구조로 좌우의 차륜이 독립적으로 회전 가능하므로 소위 독립차륜방식의 전동대차를 구성할 수 있다. 양륜 구동방식보

다 구조가 약간 복잡하나, 직선부의 주행 안정성 향상이나 미끄러지는 곡선통과성능 향상 등의 장점이 있고, 좌우가 기계적으로 독립이기 때문에 궤간 조정이 가능하므로 궤간가변 대처로서도 구성이 쉽다. 표 2.2에서 양륜과 각륜 구동방식의 특징을 비교하였다.

표 2.2 양륜과 각륜 구동방식 특징[3]

	양륜구동-PMSM	각륜구동-PMSM
구조		
특징	<ol style="list-style-type: none"> 1. 좌우 차륜이 일체가 되어 회전하는 방식 2. 구조가 간단 3. 무게가 각륜방식에 비하여 적음. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 좌우 차륜이 독립이 되어 회전 가능한 방식 (곡선통과 성능 향상) 2. 구조가 복잡 3. 무게가 양륜방식에 비하여 많음.

2-2-2. 각륜 구동방식의 취부 공간에 따른 특징

각륜 구동방식의 취부 방식에 따른 특징은 표2.3과 같다.

차륜의 내측에 취부하는 방식은 궤간 내에서는 대차구성의 컴팩트화가 가능하나 궤간 사이의 간격이 넓어지는 단점이 있고, 차륜의 외측에 취부한 경우는 궤간 내의 저상화가 가능하므로 저상 차량구성이 용이하나, 대차구조가 복잡해지는 단점이 있다.

차륜의 양측(내측과 외측)에 주전동기를 취부한 경우보다 차륜의 중심에 취부한 경우가 큰 출력을 얻는 것이 가능하다.

3. 직접구동용 주전동기의 특징분석

주전동기에 있어서는 감속 치차장치(통상, 치차비가 1:6~7)가 없는 만큼 토크 증가능력이 필요로 되지만, 회전자에 고성능 영구자석을 사용한 영구자석전동기는 회전자측의 손실을 크게 저감시키고 효율의 향상을 달성하는 것이 가능하며, 동일 냉각방식인 경우, 고성능 영구자석을 사용하는 것에 의해 유도기를 사용할 경우의 질량에 비해 66%로 줄이는 것이 가능하다. 유도기의 적용시는 직접구동하기 때문에 저속 高토크화나 전폐형化에 의한 주전동기의 대형화가 우려되므로 철심과 차축간에 통하는 수로에 의한 냉각방식의 채용에 의해 주전동기의 소형화를 꾀할수 있다.

표 2.3. 각륜 구동방식의 취부 방식에 따른 특징[4][5]

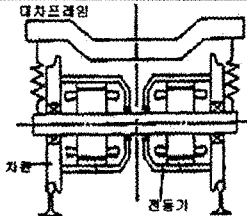
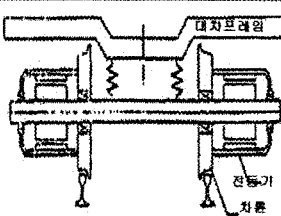
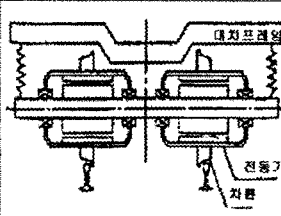
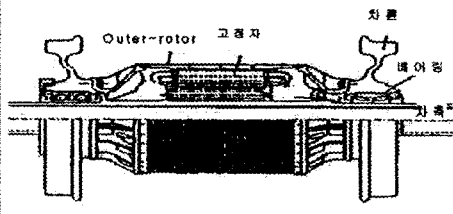
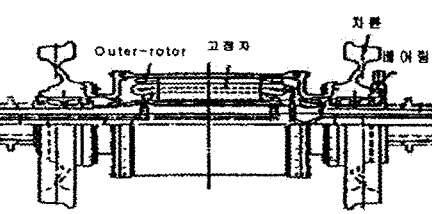
		각륜(독립)구동방식		
		차륜의 내측에 취부	차륜의 외측에 취부	차륜의 중심에 취부
구조				
특징		장점 : 차량구성의 콤팩트화 가능 단점 : 궤간 넓어짐	장점 - 궤간내 지상화 가능 차량의 지상화가 가능 단점 - 대차구조가 복잡해짐 적용 - 일본 NEXT 250	장점 - 큰출력의 전동기 설치 가능 단점 - 대차구조가 복잡해짐 적용 - 유럽 LRV

표 3.1은 동일 차량제원에 Outer-rotor형 전폐자냉식 동기전동기와 전폐수냉식 유도전동기의 적용시 특징분석을 요약하였다. 영구자석전동기가 출력대비 38.9% 증가에 비해 중량은 7.2% 정도 감소, 효율은 9.5% 증가한 것으로 소형,경량화 및 고효율화를 기할수 있는 것으로 사료된다.

표 3.1 특징분석 요약[6]

		Outer Rotor-PMSM	Outer Rotor-농형유도기
구조			
특징		1. 차량제원 : 11량(6M5T), max.110km/h - 차륜경 : 845(new) 2. 전동기(1시간) - 125kW-690V-145A-92.5% - 305rpm-3914Nm - Ø606mm-L910mm/865kg - Nd-Fe-B계 - 전폐자냉 - 소형, 경량, 고효율화	2. 전동기(1시간) - 90kW-1000V-81A-83% - 240rpm-3581Nm - Ø550mm-L910mm/927kg - 전폐수냉 - 저효율, 전폐자냉불가(대형화)

4. 선진국의 연구성과

4-1. 일본

일본에서의 연구배경은 신간선을 제외한 종래선(궤도가 취약, 궤간이 협소, 곡선반경이 작음)의 고속화를 위해 지상시스템의 전면적인 개조성이 필요했고, 재래선의 고속주행하기 위한 차체내 요구되는 특성(경량화, 저상화, 단면적 감소)을 만족시키기 위해 직접구동방식에 대한 연구가 1993년부터 현재까지 활발히 진행되었다. 연구성과는 종래선을 개조하여 250km/h를 달릴수 있는 NEXT 250 Project, 130km/h의 ST21 Project를 진행하여 현재는 시험운행중에 있다. 일본의 직접구동방식의 연구성과를 표 4.1에 요약하였다.

표 4.1 직접구동방식의 연구성과

고효율화[6]	1. 시스템 고효율-간접구동방식의 기어박스의 손실(약 3%)이 없음. 2. 직접구동방식에서 PMSM을 적용하므로 인해 6% 효율 향상
저소음화[2][7]	1. 영구자석 주전동기가 유도기보다 소음치 20dB(A)이상 저감 2. 차량 주행시 대차상의 소음시험에서 간접구동방식보다 10dB(A)이상 저감
경량화[5]	1. 구동시스템의 단순화로 시스템의 경량화 가능(1축분 약 800kg감소)

4-2. 유럽

구동대차 및 그 밖의 대차를 차축이 없는 독립회전차륜방식으로 하고 객실의 저면을 100% 저상화한 차량, 즉 초저상 LRV(Light Rail Vehicle)를 개발하여 운행되고 있으며, 이에 적용되는 구동장치는 차륜·모터·감속장치를 일체화한 차륜일체형전동기(Wheel hub motor)이다 [8]. IGBT사용의 인버터와 수냉식 3상 교류 유도전동기가 채용되고 있다.

현재는 유럽의 차량 Maker인 Alstom, Giemens 및 Bombordier 등에서 산학연에 의한 중축형 및 횡축형의 영구자석형 전동기[9]를 개발중에 있다.

그림 4.1과 4.2는 100 % Low-Floor Street-Tram (저상노면 전차)에 적용하고 있는 전동기와 대차구조를 도시하고 있다.

5. 결론

본 조사연구에서 커플링과 기어박스가 필요없는 직접구동방식 적용으로 대차취부공간의 간소화가 가능하며, 주전동기로서 수냉식 전폐형 유도기, 영구자석형 동기기 등의 개발·적용을 통해 저소음화, 고효율화, 경량화의 달성이 가능함을 확인하였고, 차세대 철도차량에 적용되는 구동방식 및 전인전동기에 대한 세계적인 기술 동향을 확인할 수 있었다.

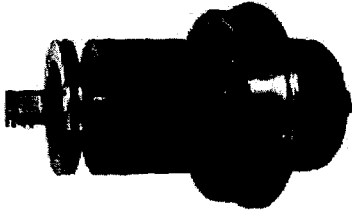


그림 4.1 Wheel Hub Motor

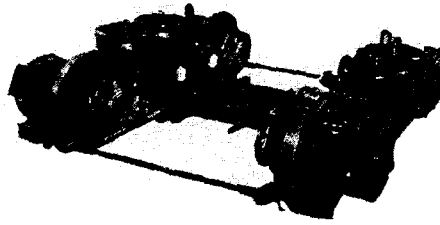


그림 4.2 Wheel Hub Motor의 대차 구조

직접구동방식 전동기의 개발시 필요기술로는 인터페이스 관련 시스템 분석, 설계최적화 및 3차원 해석기술(전자기해석, 열해석, 강도해석 등), 제작기술(영구자석 적용기술, core 제작기술 등), 시험 및 평가기술이 있다.

현재 국내에서는 이와 관련된 연구·개발이 전무한 상태이며, 지금부터 개발에 착수한다고 해도 일본, 유럽등 선진국에 비해 약 10년 정도 뒤지게 된다. 따라서 향후 동북아 물류 전진기지의 역할과 철의 실크로드화를 위한 차세대 철도시스템에 적합한 추진시스템 확보를 위한 직접구동방식의 차량 및 추진전동기의 개발을 서둘러야 될 시점이라 판단되며 이를 위해서 당사의 준비사항은 영구자석형 추진전동기의 상용화를 대비한 영구자석형 회전기기 상품화 개발을 위한 기반기술 확보계획을 수립, 철도차량뿐 아니라 타 분야에서도 증대될 것으로 예상, 과거 기 확보된 영구자석형 전동기 상품화 기술을 바탕으로 선박추진, 풍력발전 등으로 적용하기 위한 증장기 상세 연구를 진행하고 있다.

아울러 국가차원의 직접구동방식용 전동기 국산화 고유기술을 확보하기 위해 국책 과제화 등의 여건을 마련할 필요가 있다고 판단되며 산학연의 컨소시엄을 통해 차량시스템과 연계개발을 할 필요성도 있으므로 본 발표가 이에 조금이라도 기여할 수 있기를 희망한다.

참고문헌

1. 松岡孝一, "最近の轉送システムにおける回轉機技術" 電學論D, 117권, 9호, 1997.
2. 松岡孝一, "Development of Direct Drive Traction Motor System for Next Generation Commuter Train", 日本機械學會第6回交通·物流部門大會講演論文集, 1997
3. Kouichi Matsuoka, "Trial Production of Fully-enclosed Self-cooling Wheel-in Traction Motor with Permanent Magnets" RM-96-83, 1996
4. Kouichi Matsuoka, "Conception of Next 250(Narrow Gauge Express Train for 250km/h) and Investigation of the Wheel-in Traction Motor", 日本電氣學會産業應用部分全國大會, pp. 509-514, 1993
5. 松岡孝一, "鐵道車輛用車輪一體形主電動機の開發", TER-95-19, 1995
6. 松岡孝一, "車輪一體形主電動機における誘導機と永久磁石同期機の比較", 1996
7. 松岡孝一, "直接驅動方式主電動機の騒音特性(本線走行試驗結果)", RTRI Report Vol. 13, 1999
8. 松本, "LRT - 新世代市街電車", T. IEE Japan, Vol. 113-D, No.6, 1993
9. R.BLISSNBACH AND G.HENNEBERGER, "New Design of a Transverse Flux Machine for a Wheel Hub Motor in a Tram", PCIM, Germany, 1999