

차세대 전동차 추진시스템의 기술개발 방향

김길동 · 이한민 · 오세찬 (한국철도기술연구원)

1 서론

정부의 복지정책과 문화생활의 질적 향상으로 도시철도 시스템에 대해서도 승차감 향상과 쾌적함, 그리고 사용의 편리성 등에 대한 요구가 커지고 있다. 또한 전 세계적으로 환경오염의 영향이 심각해지고, 환경규제가 강화되면서 친환경적인 도시철도 차량시스템의 필요성이 대두되는 시점에서 경제적이고 친환경적인 차세대 도시철도 시스템의 기술개발이 필요해지고 있고 선진국에서는 이러한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 이러한 연구가 미흡하여 기술적 종속성에서 탈피하지 못하고 있는 실정으므로, 철도차량 분야에서 선진기술을 추월하기 위하여 새로운 시스템에 대한 연구가 절실히 요망되고 있다.

따라서 본 연구에서는 차세대 도시철도 추진시스템의 핵심 개발기술인 직접 구동형 견인전동기 개발과 완전 전기회생 제동방법, 유지보수의 편리성을 위한 예방진단기술 개발에 대하여 연구하고자 한다.

2. 차세대 견인전동기

종래의 전동차는 견인전동기, 커플링 및 변속기 등 기어박스로 구성된 동력전달장치를 통하여 전동기 발생토크가 차륜에 전달되는 간접구동방식을 사용하여 왔고, 최근에도 널리 사용되는 방식이다. 이러한 방식

은 기어의 감속비율만큼 전동기 토크가 감소되어 전동기 부피 및 중량이 감소되고 Unsprung 질량이 직접구동에 비해 상대적으로 적어 레일로부터 전동기에 전달되는 충격이 작은 장점은 있지만, 구성적 측면에서 감속기어를 통한 동력전달로 시스템 구성이 복잡하고 취부공간의 확보가 요구된다. 또한 성능적 측면에서 감속기어의 전달손실만큼 시스템 효율 저하와 소음의 증가, 그리고 유지, 보수 측면에서 불리한 단점을 갖고 있다.

이러한 직접구동방식의 문제점을 해결하기 위하여 감속기 사용 없이 전동기 토크를 직접차륜에 전달하는 직접구동방식에 대한 연구가 1990년 후반부터 일본, 유럽을 중심으로 활발하게 이루어져 왔으며, 최근에는 영업운전을 완료하였다.

직접구동방식은 감속기어가 없기 때문에 감속비만큼 회전수는 감소하고 토크가 증가하므로 전동기의 부피 및 중량이 커지고, 전동기가 대차에 고정되지 않고 차륜과 일체화된 구조로 차량의 하부 스프링 중량으로 작용되며 Unsprung 질량이 크게 되어 차량으로부터 전동기에 전달되는 충격이 큰 단점을 갖고 있다. 그러나 그림 1에서와 같이 그 구성이 간단하며 별도의 동력전달장치가 필요 없는 구조로서 소음 및 유지보수 등이 우수하며 차량의 저상화가 용이할 뿐더러 장착공간, 중량, 소음, 전달손실, 보수 등의 문제를 없애고 차량 시스템 효율 및 성능이 우수한 구동시

시스템을 실현하는 것이 가능한 방식이다.

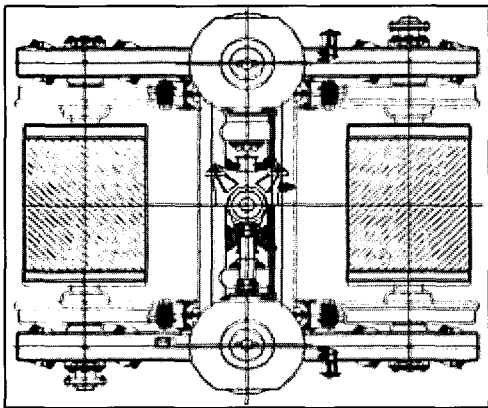
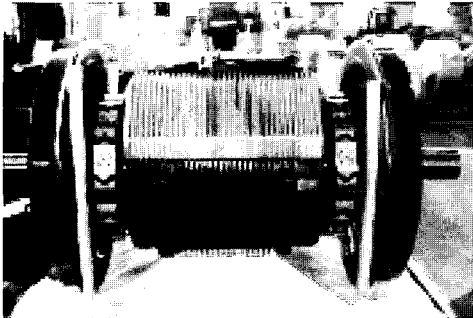


그림 1. 직접 구동 방식

현재 전동기는 전력변환장치의 급격한 발달에 힘입어 직류기에서 유도기로 전환되면서 현격한 소형 및 경량화와 에너지 절감을 달성했다. 유도전동기는 고정자와 회전간의 슬립에 의해 토크가 발생되기 때문에 차륜경, 노선 조건 등의 변화에 의해 각각의 전동기에 토크 또는 속도 차이가 발생하여도 지정된 속도 및 토크로 복원이 가능하기 때문에 1대의 인버터에 여러 대의 전동기를 병렬운전 할 수 있는 특징이 있어 인버터 비용을 저감할 수 있다. 그러나 차량용 전동기로 동기전동기를 사용하는 경우 차륜경, 차륜경 공전 속도, 노선의 구배 및 곡선 반경 등의 차이에 의한 다수개의 전동기가 동일한 속도로 회전할 수 없기 때문에 병렬운전이 불가능한 단점을 갖고 있다. 그러나 최근 전력전자 기술의 급속한 발전으로 고속 스위칭이

가능한 IGBT가 상용화되었으며, 개별제어가 가능하게 되어 철도차량용으로 동기전동기의 적용이 가능하게 되었다. 동기전동기 중에서도 유도전동기에 이어 차세대 주전동기 주목 받는 것은 소형, 경량화가 유리하면서도 효율이 높은 전폐형 영구자석 동기전동기(PMSM)이다.

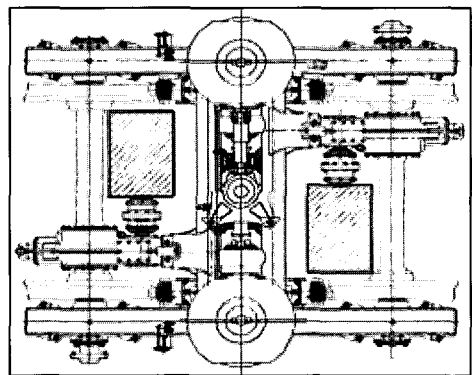
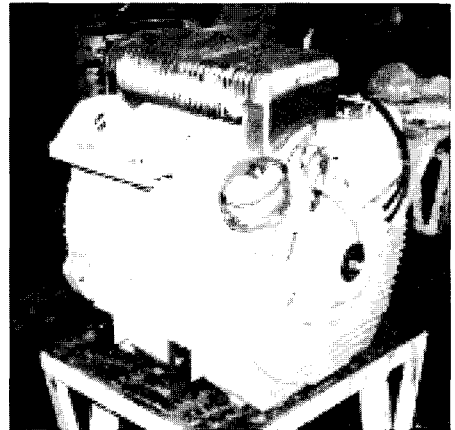


그림 2. 전폐형 영구자석 동기전동기

영구자석 전동기는 장착공간의 제한으로 소형, 경량화가 요구되는 철도차량, 전기 자동차용으로 연구 개발이 활발히 진행되어, 차세대 전동기 특징은 구동 시스템의 단순화로 감속기어, 베어링 등 보수를 요구하는 부품의 제거로 비용저감, 에너지 절감을 이룩할 수 있다.

그림 3은 전폐형 PMSM 냉각구조로 내부 순환 팬

에 의해 발생된 열이 냉각 Unit를 통해 외부에 전달 되는 구조이며, 냉각 유닛에는 냉각성능 향상을 위해 부분적으로 냉각 팬이 설치되었다. 베어링 구조는 분해주기 연장을 위해 고 내열 베어링 적용과 전동기 분해 없이도 윤활제 교환이 가능한 방식이며, 고효율화를 위해 저손실 전기강판을 적용하였다. 즉 기존에 비해 대폭적으로 유지보수 저감, 저소음 실현, 에너지 절감을 실현한 전동기이다.

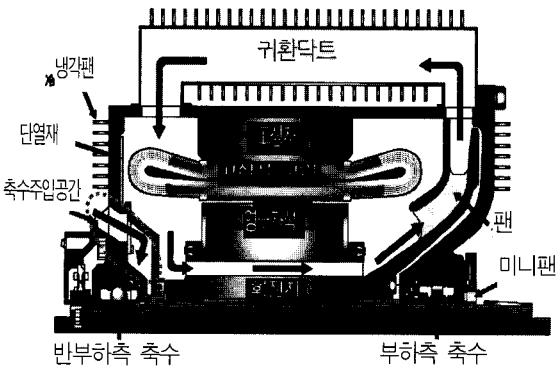


그림 3. PMSM 냉각 구조

개념의 제어 방식이 완전 전기제동으로 변환되는 과정을 나타내고 있다.

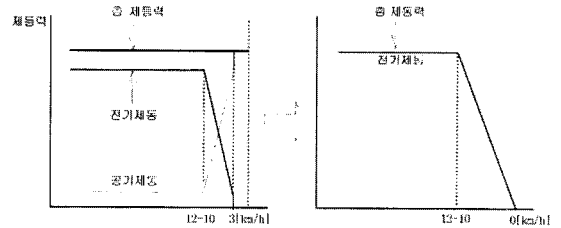


그림 4. 브렌딩 제동 및 순수전기 회생제동

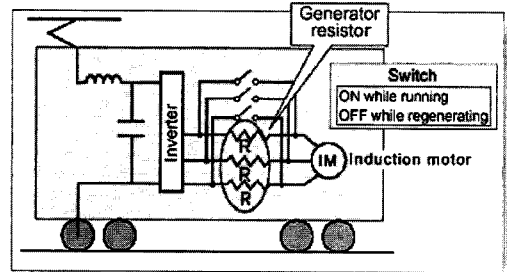


그림 5. 주회로 시스템

3. 완전 전기회생 제동

현재의 전동차는 대체적으로 속도 12~10(km/h) 사이에서 전기와 공기의 브렌딩제동을 사용하여 속도 5(km/h) 이하에서 전기제동은 차단되고, 완전한 공기제동으로 차량을 정지시킨다. 이때 공기제동을 사용하면서 M차의 제동장치에 연결된 제륜자에서 발생하는 기계적 소음이 대단히 크므로 승객들에게 불쾌한 승차감을 제공한다. 그러나 속도 0(km/h)까지 M차에서 전기제동을 사용하면 제동시의 소음저감, 이 소음저감으로 인한 승차감 저하 원인을 제거할 수 있다. 그리고 제륜자의 소모율을 저감할 수 있다. 그리고 회생되는 에너지의 양이 커지므로 전동차의 역행에 대한 회생시의 에너지 효율을 상승시킬 수 있다. 그림 4는 전기, 공기 브렌딩

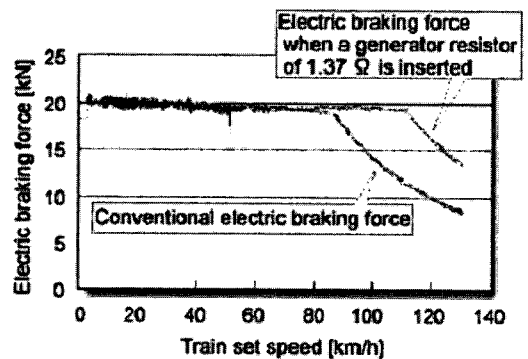


그림 6. 전기 제동력 시험 결과

국내의 전동차는 아직까지 속도 0(km/h)까지 전기제동을 사용하는 전동차는 존재하지 않는다. 그러나 승객의 쾌적한 승차감과 에너지 효율과 저음저감을 위하여 순수전기제동의 필요성이 대두되고 있다.

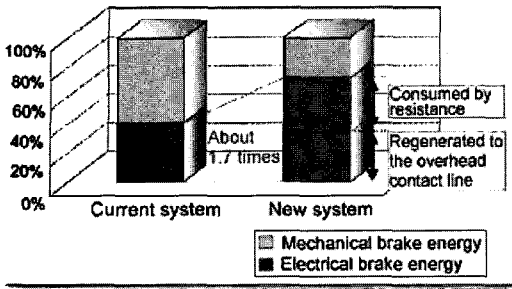


그림 7. 기존방법과 저항삽입 방법의 전기제동력 비교

4. 전장품의 예방진단기능

국내 철도의 단계적인 전철화 사업추진과 광역 전철망 구축에 따라 인버터-견인전동기 구성의 전기철도차량이 널리 사용되면서 열차운전제어기술의 급격한 발달과 최신 차량시스템의 도입에 따른 기술대처 능력이 미흡한 실정이다. 특히 추진제어 장치는 차량 운행 중 경험하는 기계적, 전기적, 환경적 스트레스에 의한 마모 및 열화를 항시 경험하게 되며, 또한 고속 스위칭 전력용 반도체의 채용으로 인버터 스위칭 주파수의 고조파화와 전압 또는 전류의 급격한 스위칭 과도현상이 초래되어 고조파 누설전류, 전도성과 방사성의 전자방해, 전동기 권선절연의 복합열화, 전동기 축전압과 베어링 전류 등의 장애가 초래되어 관련 설비나 장치의 운전 중의 돌발고장과 수명단축의 위험성은 심각한 수준이다. 그리고 노후 정도나 열화 상태를 고려치 않고 검사시점에서 양, 부만을 판정하는 획일적인 한계치 관리로 인해 신뢰성 및 고장을 평가하는데 어려움을 겪고 있으며, 또한 고장발생시 정확한 원인분석과 시스템적인 평가 없이 단순히 고장부위만을 수리, 교체하는 상황에서 개별이력 경향관리 및 고장분석 분재로 사고재발이 우려되며, 돌발고장에 대처할 수 없어 운행 안전성 확보에 어려움을 겪고 있다.

현행 시간주기 유지보수 체계의 기술한계를 극복하

고 운행 중의 돌발 사고를 예방하기 위해서는 신뢰성 있는 진단기법 적용과 중요 감시대상에 대한 열화상태 및 경향 관리에 의한 수명주기 분석에 의한 예방진단 유지보수 체계로의 전환이 시급하다. 그리고 진단 자료의 추적, 운행이력 관리 및 체계적인 고장분석에 의한 손상 정도의 파악과 열화판정 기준 확립을 통해 조기에 고장을 검지하고 고장정보의 상호연계에 의한 단계적인 고장대응 체계를 구축하여 사고재발 방지와 개량보전을 통해 차량운행의 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

체계적인 시험 관리와 상태진단을 통해 얻어진 각종 운행이력, 상태진단 및 유지보수 관련 자료의 D/B 구축에 의한 활용가치 제고와 경향관리를 통해 설비나 부품의 취약점을 도출하고 문제점을 개선 강화하는 개량보전을 실시하여 고장저감을 도모하고, 정비 절차, 고장판단 및 조치내용 등의 정보화 연계에 의한 자동진단시스템을 구축하여 운전 중의 사고 가능성을 최소화하기에 충분한 조건의 정비 보증과 유지보수의 필요성과 적절한 투입시기 판단뿐 아니라 운행중단시의 손실 및 보전비용 등의 경제성을 평가할 수 있는 종합적인 유지보수 계획 수립에 큰 기여를 할 수 있는 것이다.

5. 결 론

친환경성과 고효율성을 가지며 유지보수의 편리성을 극대화한 차세대 첨단 도시철도차량이 주변 환경과 기술 발전에 따라 절대적으로 요구되고 있다. 첨단 도시철도 차량의 엔진 역할을 하는 추진 장치의 핵심 요소기술을 미리 개발하여 기술선점과 기술중속을 탈피하고 해외 시장을 개척을 위하여, Gearless형 직접구동 전동기와 영구 자석형 전동기를 적용함으로써 6[%]의 효율이 상승하게 되고 인버터장치와 전동기는 기존보다 작은 용량으로 설계 설계되도록 연구를 진행하고 있다. 또한 완전 전기회생제동 적용으로 에

너지절감 효과와 안정성 확보가 확인되면 차세대 도시 철도차량에 적용이 가능하여 기술선점은 물론 수입대체 효과와 수출까지도 가능하도록 차세대전동차 추진시스템 개발연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] Development of main circuit system using direct drive motor, 2002, JR east technical review no1.
- [2] S.Inarida et al., "Train traction systems for passenger comfort and easier maintenance," Hitachi review 50, pp.134-138, dec 2001.
- [3] 조만, 기술동향 분석보고서, 2004. 1, 한국과학 기술정보 연구원.
- [4] Robert K. Winters, "The world's Power and Transportation Industries", April 2000.
- [5] Hugh M. M. Anderson, James P. Lo Gerfo, CFA, "Energy Technology Industries overview" June 2000.
- [6] M. Bork, R. Blissenbach, G. Henneberger "Identification of the loss distribution in a transverse flux machine", Department of Electrical Machines, Aachen Institute of Technology, D-52056 Aachen, Germany.
- [7] Prof. G Henneberger and Mr. R. Blissenbach, "Transverse Flux Motor with Efficiency for a Direct Drive of an Electric Vehicle", Aachen Institute of Technology (RWTH), Germany.

◇ 저 자 소 개 ◇



김길동(金吉童)

1967년 9월 20일생. 1986년 명지대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국철도기술연구원 차세대전동차연구팀장/책임연구원.



이한민(李翰旻)

1973년 3월 27일생. 1997년 중앙대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년~현재 한국철도기술연구원 차세대전동차연구팀.



오세찬(吳世燦)

1977년 9월 8일생. 2002년 강원대학교 공과대학 정보통신공학과 졸업. 2004년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사). 현재 한국철도기술연구원 연구원.