

차세대 전동차 기술개발 방향

김길동 <한국철도기술연구원>

1 서 론

차세대도시철도차량은 수송의 안정성 향상 및 유지보수성이 획기적으로 개선하기위해서 차세대 전동차량을 개발하고, 차량의 핵심이 되는 기술을 개발하여 기존 기술을 체인지하여 국가에게는 기술경쟁력을 가지고, 운영기관에게는 차량운영유지비를 절감시키고, 승객에게는 IT기술을 이용하여 저비용구조로 다양한 서비스를 제공할 수 있는 기술을 개발하고자 한다. 차세대 전동차량의 concept을 보면 운영비용 절감을

위해 각 차륜 개별 회전이 가능한 직접구동방식을 개발하고, 기존의 공기제동방식을 추진인버터를 이용하여 완전 전기제어방식에 의한 정지하는 구조로 하고, 직접구동방식 적용할 수 있는 새로운 방식의 차세대 대차를 개발하고, 제어장치에는 고장후 조치가 아닌 고장전 사전에 알려주는 예방진단개념을 적용하고, 차량의 신뢰성을 높이기 위해 분산제어를 수행하고, 에너지 절감을 위해 에너지 저장시스템을 개발하고, 역사의 안전성을 높이기 위해 화상 검지방식에 의한 열차 정지시스템을 개발할 예정이다.

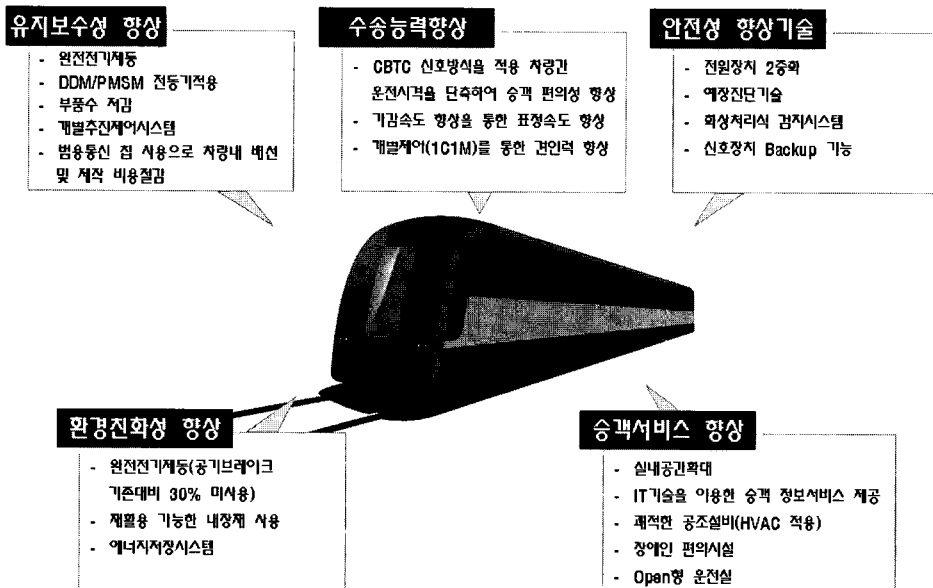


그림 1. 차세대 전동차 개발 Concept

2. 차세대 전동차 개발 Concept

21세기에 어울리는 도시철도차량으로는 운영비용을 획기적으로 저감하기 위한 COST저감기술, 수송의 안전성 향상기술, 승객서비스 향상기술, 에너지 저감기술 등 여러 가지 기술 등이 요구되고 있다. 이러한 요구조건들을 충족시키기 위한 차세대전동차 concept은 다음과 같다.

- 시스템체인지에 의한 전체 운영비용 저감
 - 개별독립구동대차
 - 완전 전기제동 방식에 의한 차량정지
 - 개별직접구동전동기(DDM)
- 수송의 안전성 향상
 - 차량 분산제어 통한 신뢰성 향상
 - 사전 고장 예방진단 적용
 - 수송 장애의 조기회복
 - 화상검지에 의한 차량정지
- 승객서비스 향상
 - IT활용에 의한 차내에서 정보서비스 제공
 - 쾌적한 공간제공
- 에너지 효율향상
 - 에너지 효율향상위한 회생에너지저장
 - 개별구동 적용
 - Zero emission(내장재재료를 recycle하기 쉬운 재료 적용)
 - 차량중량 감소

3. 기술개발 개요

3.1 시스템 체인지

차세대 전동차는 기존의 각종장치의 기술을 한 단계 높이기 위해 시스템 체인지를 통하여 운영비용을 저감하기 위해 차체구조의 간소화, 범용전기기술 활

용에 따른 차내 배선의 삭감, 개별 차륜방식에 따른 레일 및 차륜운영비용의 저감하고, 경량화 및 에너지 효율 향상하여 동력비용을 저감하고, 편성내의 기기 수를 삭감하여 maintenance free화로 유지보수비용을 저감하고, 환경을 고려하여 디스크마찰로 발생하는 분진을 제거하기위해 완전 전기제동방식에 의한 정시시스템을 적용하고, 내장 재료나 부품 교환이 용이한 차체구조로 하고, 에너지 활용을 극대화 하기 위한 에너지 저장시스템을 적용하고, 역사에 화상검지 시스템을 적용하여 인명낙하 발생시 자동정지하는 시스템을 개발하고자 한다.

3.2 차량구성

차세대 차량은 개발차량이기 때문에 6량 1편성으로 개발하고자 한다. 최초에는 신규노선을 목표로 하여 관철대차를 고려하여 차체를 기존보다 작은 형태로 개발하려고 하였으나, 기존선과 호환성에 문제가 많이 검토되었다. 따라서 현재 국내에 도입된 차량이 내구연한(25년)이 도래한 차량이 이사업종료 개발완료시점과 동시에 차량발주 수요가증할 것으로 예측되어 기존차량과 같은 길이나 기존보다 업그레이드된 사양을 기반으로 하여 안전 및 기능면에서 체인지한 차량시스템, 유지보수성 및 성능 면에서 체인지된 기술을 적용하여 개발하고자 한다.

4. 핵심기술개발 개요

4.1 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 방식은 기어의 감속비율만큼 전동기 토크가 감소되어 전동기 부피 및 중량이 감소되고 Unsprung 질량이 직

접구동에 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 효율저하와 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 용이 할뿐더러 장착공간, 중량, 소음, 전달손실, 보수 등의 문제를 없애고 차량 시스템 효율 및 성능이 우수한 구동시스템을 실현하는 것이 가능한 방식이다.

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 여러대의 전동기를 병렬운전할 수 있는 특징이 있어 인버터 비용을 저감할 수 있다. 그러나 차량용 전동기로 동기전동기를 사용하는 경우 차륜경, 차륜경 공전속도, 노선의 구배 및 곡선 반경 등의 차이에 의한 다수

개의 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.

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

전폐형 PMSM 냉각구조로 내부 순환 팬에 의해 발생된 열이 냉각 Unit를 통해 외부에 전달되는 구조이며, 냉각 유닛에는 냉각성능 향상을 위해 부분적으로 냉각 팬이 설치되었다. 베어링 구조는 분해주기 연장을 위해 고내열 베어링 적용과 전동기 분해 없이도 윤활제 교환이 가능한 방식이며, 고효율화를 위해 저 손실 전기강판을 적용하였다. 즉 기존에 비해 대폭적으로 유지보수 저감, 저소음 실현, 에너지 절감을 실현한 전동기이다.

4.2 완전 전기제동시스템

완전 전기제동방식은 전 속도영역에서 필요한 정지 브레이크를 전기와 공기제동의 병용이 아닌 전 전기제동으로만 지하철을 정지하는 것으로 인버터 제어방식을 이용하여 완전 전기제동을 수행하는 효과적인 제동방법이다. 종래의 전동차 운전·정지 방식은 차량용 추진제어 장치인 인버터에 의해 기동되어 출발하고, 역에 도착시에 정지를 하는데 기존방식은 최고속도로 운행하다가 5(km/h)까지는 전기제동 감속제어

를 수행하고, 5[km/h] 이하는 공기제동장치의 동작으로 공기압력에 의한 디스크 마찰방식으로 차량이 정지하는 방식이다. 기존의 방식은 벡터제어를 수행하고 있지만 전동기 위치를 검출하기 위해서는 전동기에 부착된 검출기를 이용한다. 그러나 1회전시 60~100[pulse] 정도 발생하기 때문에 저속에서 정확한 벡터제어 수행이 불가능하였다. 또한 전동차 정지를 과거에 전기·공기 혼합방식(전공블렌딩)을 사용하던 것을 추진제어장치 제어 기술이 발달되고 반도체 소자의 스위칭 주파수가 상승함으로써 5[km/h] 이하 저속영역에서 고속·정밀 제어가 가능하게 되었다. 전기제동방식을 구현하기 위해 추진인버터를 이용하여 전동기 위치를 저속에서도 정밀제어할 수 있도록 속도검출(Encoder) 정밀성을 높이고, 저속에서 토크 보상하는 제어방법을 개선함으로써 저속에서도 제어가 되어 차량정지를 할 수 있는 추진인버터

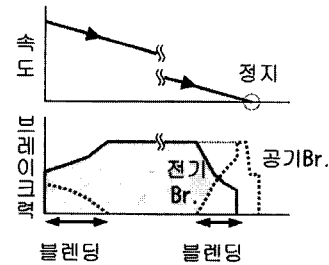
제어장치를 개발하고, 기존의 추진시스템은 1C4M제어를 수행하므로 인하여 정밀제어가 곤란하였고, 특히 재점참 제어 한계를 가지고 있었다. 이번 신개념의 1C1M인버터 제어기술을 적용하여 완전전기제동방식과 견인 및 제동의 효율을 한층 더 높일 것으로 판단된다.

4.3 차량제어의 분산화

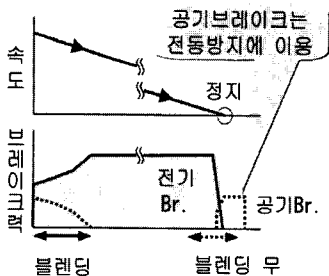
지금까지 차량의 제어 시스템에 관해서는 가능한 통합화를 꾀하고, 기능을 집중화함으로써 cost down에 크게 기여해 왔다. 그러나 가령 제어계의 중요기기에 고장이 발생하면 차량전체에 영향을 주게 된다. 그래서 차세대 전동차개발에 있어서는 종래와는 역 발상적으로 제어시스템을 자율분산화 해서 만일 개개의 기기에 고장이 있더라도 전체의 운전의 정지에 이르지 않도록 하여 수송의 안전성을 크게 기여하도록 할 것이다.

4.4 에너지 저장시스템

에너지 절약은 국가적인 핵심과제로 떠오르고 있고, 국내 차량에서 발생하는 회생에너지는 제대로 활용되지 않아 국가적으로 큰 손실이 발생하고 있는 실정이고, 산업에서도 다양한 에너지를 저장할 수 있는 장치가 없어 에너지 활용이 되지 않고, 축전지가 있다고 하여도 효율에 한계가 있다. 따라서 에너지 저장시스템 개발시 산업에 다양한 전력을 활용할 수 있는 계기가 된다고 판단되어 차량시스템에도 감속시 발생하는 전기에너지를 저장장치에 순간적으로 저장하였다가 가선에서 필요시 공급해주는 방식의 저장시스템을 개발할 예정이다. 에너지 저장시스템은 변전소 모선에 연결되어 차량이 회생할 때 차량에서 발생된 전력에 의해 전차선 전압이 올라가면 에너지 저장장치에 저장하고, 차량이 역행하면 전차선 전압이 내려가므로 에너지 저장장치에서 에너지를 전차선을 통해 공



(a) 기존 제동시스템



(b) 완전 전기제동시스템

그림 2. 전전기제동시스템

급해주는 방식이다. 에너지 저장방식은 플라이휠 방식은 중량이 크고 회전체방식이기 때문에 개발에 어려움이 있으나, 에너지 저장시간을 높일 수 있는 장점이 있고, Super Capaciter 방식은 출력밀도가 높고 급속 충방전이 가능한 장점을 가지고 있으나, Capaciter 수명 및 에너지 저장시간에 단점이 있어 개념설계를 통하여 최종 방식을 결정할 예정이다.

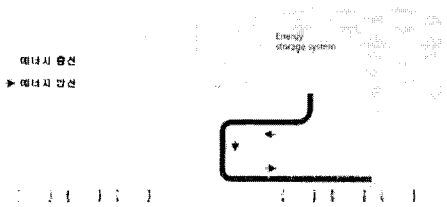


그림 3. 에너지 저장시스템

4.5 화상처리식 감지시스템 개발

도시철도 역에는 혼잡을 매우 높게 운영되고 있고 이로 인한 역 구내에서 안전사고가 상시 작용하고 있고, 특히 플랫폼에서 낙상에 의한 인명사고가 일어나고 있다. 현재 설치되어 있는 CCTV에 의한 감시는 제한적이고, 수동적인 대책으로 운영되고 있어 안전에 한계가 있다고 판단된다. 따라서 화상처리 기술을 이용한 감지기술은 최소의 비용으로 최대의 효과를 거둘 수 있는 대책이라 판단되어 역사에 Stereo 카메라를 이용하여 플랫폼에 낙하한 물체를 인식하여 열

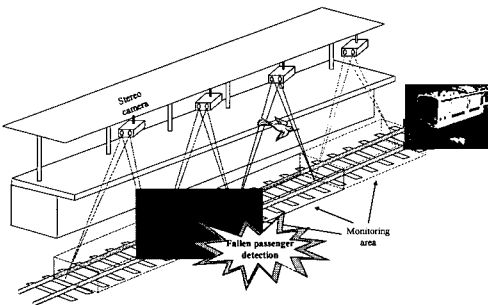


그림 4. 화상처리식 감지시스템

차 진입 하는 차량을 신호장치에 의해 즉시 정지할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다.

5. 결 론

차세대 전동차 개발에 대한 기본 방향을 소개하였다. 차량분야에 전체적인 면을 자세히 소개하지는 않았지만 기존기술과 change되는 핵심기술이 주로 기본방향을 제시하였다. 이번 차세대 전동차는 기존기술을 한 단계 업그레이드하는 기술로 운영비용 저감, maintenance free화로 유지보수비를 저감하고, 에너지 효율을 향상할 수 있고, 소음을 저감할 수 있고, 디스크제동을 사용하지 않아 환경친화적인 시스템이 될 것으로 판단된다. 향후 차세대 전동차 개발을 통하여 국가경쟁력을 가지며, 운영자에게는 운영비용 절감을 고객에게 편리성과 안정성을 제공하는 시스템이 될 것으로 판단된다.

◇ 저 자 소개 ◇



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.