

철도운전제어 개발동향 분석 (철도차량 동력장치의 제어방식을 중심으로)

Development Trend of Railway Operation Control

이현우*†, 양진송*, 이재훈*, 박준형*, 김선엽*, 최선우*, 이준형**, 한재현***, 박찬민**** 박정수*****

Hyun-Woo Lee*†, Jin-Song Yang*, Jae-Hoon Lee*, Jun-Hyong Park*, Seon-Yeop Kim*,
Seon-Woo Choi*, Jun-Hyung Lee**, Jae-Hyeon Han***, Chan-Marn Park****, Jung-Soo Park*****

초 록 증기의 힘을 동력으로 사용한 이래 영구자석형 동기전동기의 상용화 노력에 이르기까지 철도 운전제어기술은 내연기관 및 전기기기와 전력전자 기술의 발달을 힘입어 그 발걸음을 계속 하고 있다. 특히 초창기 철도차량에 적용된 견인전동기는 직류직권전동기를 장착한 철도차량을 운행했지만, 전력전자 기술과 고속 대용량 스위칭 소자의 발달로 개발된 3상농형유도전동기를 장착한 철도차량을 주로 운행하고 있으며 새로운 방식의 철도차량 동력장치 개발 및 기존에 사용 중인 동력장치의 고효율, 경량화, 소형화에 계속해서 힘쓰고 있다. 본 논문에서는 한국철도 역사에 따른 철도차량용 동력장치의 발전과정과 제어방식의 개발동향을 중점적으로 전개·분석하며 향후 발전 가능성과 방향을 함께 제시하고자 한다.

주요어 : 견인전동기, 직류직권전동기, 유도전동기, VVVF, 영구자석형 동기전동기

1. 서 론

1.1 한국철도의 역사로 본 철도 동력차의 변천

1899년 9월 18일 제물포-노량진 간 경인선 33.2km 구간 개통을 시작으로 한국은 본격적인 철도시대의 막을 올렸다. 1905년 1월 1일 서울~부산 간 경부선이 개통된 이후 한국철도는 비약적인 발전을 거듭하여 해방 이후까지 증기기관차에 의한 철도문화 전성기를 구가하였다. 1950년 6월 25일 발발한 동족상잔의 비극인 한국전쟁은 한편으로 철도역사의 대 전환점이 되는 기회를 제공하였다. 전쟁이 발발하고 미군은 전시수송용 디젤기관차 40량을 도입하여 운행하였고, 휴전선언 이후 1954년 4월 한국에서 디젤기관차 4량을 인수하게 된다. 1957년 10월 10일 디젤기관차 10대를 추가 도입하면서부터 한국

철도의 본격적인 디젤화 시대를 맞게 됐다. 이후 1967년 8월 31일을 기하여 한국철도에서 증기기관차에 의한 열차운행이 중지되고, 1970년 대한민국 정부와 프랑스 정부 간의 차관에 따라 프랑스 알스톰사의 BB15000형 전기기관차를 바탕으로 한국의 지리적 특성에 맞게 개량한 8000호대 전기기관차를 1973년 6월 20일 청량리-체천 간 중앙선 구간에 투입시킴으로서 AC 25kV의 전기철도가 운행을 시작했다. 또한 1974년 8월 15일 서울지하철 1호선과 수도권 전철이 개통되어 전기동차에 의한 본격적인 지하철도가 운행을 개시했다.

1.2 철도운전제어 개발동향 분석의 목적

철도차량 동력장치는 증기기관을 시작으로 현재 대부분의 철도동력차에 사용되고 있는 VVVF 인버터 제어를 통한 3상 농형유도전동기에 이르기까지 비약적인 발전을 거듭해오고 있다. 내연기관과 전기기기 및 전력전자 기술의 발달을 발판삼아 계속해서 개량되고 다듬어지면서 철도교통의 새바람 고속철도의 등장으로 항공, 선박, 자동차 등 다른 교통수단의 발달로 존재위까지 내몰렸던 입지를 다시 되찾으며 첨단기술이 집약된 고부가가치 산업으로 재도약하고 있다. 철도는 대량 수송뿐만 아니라 정

† 교신저자: 동양대학교 철도운전제어학과
이현우(this6mg@naver.com)

* 동양대학교 철도운전제어학과

** 동양대학교 철도건설안전공학과

*** 동양대학교 철도기계시스템학과

**** 서울교통공사 제1 관제센터

***** 동양대학교 철도운전제어학과 지도교수

시성, 신속성, 친환경성 등의 장점으로 인해 세계의 주요 대도시의 대중교통수단으로 많은 선호를 받으면서 도시 교통난을 크게 완화시키며 그 입지를 탄탄히 잡아가고 있고 이제는 21C 핵심운송수단으로 각광받고 있다. 이러한 ‘철도의 봄’이 찾아온 이면에는 철도교통 존폐위기에도 불구하고 철도차량의 특성에 맞춰 끊임없이 발전하고 개발된 철도차량 동력장치의 역할이 지대하였음을 누구나 쉽게 짐작할 수 있을 것이다. 본 논문은 한국철도의 역사적 흐름에 따른 철도동력장치의 발전과정 및 개발동향을 전개·분석하여 철도동력장치 발전의 흐름을 쉽게 파악할 수 있게 이해를 도우며 향후 철도동력장치가 발전해 나가야 할 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 철도의 특징과 철도차량의 분류

2.1.1 철도의 특징

철도는 레일에 의해 안내되는 1차원 운동을 하고 자동제어, 컴퓨터와 전자공학에 의한 대규모 사용에 유리하여 단위 수송량이 크게 증가, 즉 장대편성이 가능하여 대량수송에 유리하다. 이는 철도의 최대 장점으로 꼽히며 Table 1과 같이 도로수송보다 우수하고 토지의 점유 면적 당 수송력에서는 그 차이가 크다.

Table 1 철도와 도로의 수송 능력 비교

교통기관별 비교		철도(복선)		자동차(4차선)		
		여객 열차	화물열차	버스	승용차	트럭
폭(너비)		9.3 m		24.4 m		
조건	정원 또는 적재톤수	12량 편성 1,000명	50량 편성 750t	40명	4명	10t
	운전시각	3분	4분	15초	3초	10초
	운행횟수	20	15	360	1,800	540
1시간 당 수송력		20,000명	11,250t	14,400명	7,200명	5,400t
폭 1m 당 수송력		2,151명	1,210t	590명	295명	221t

<출처 백남옥 외 1명(1999), 철도차량 핸드북>

특히 철도는 자동차에 비해 환경오염이 낮고, 전기차량은 공해를 발생하지 않아 친환경 교통수단으로 자리매김하고 있다. 또한 전용레일로 안내되고 보

안설비의 설치로 안정성이 뛰어나 고속운전이 가능하며 정시운행의 신뢰도가 높다. 그러나 선로와 정차장 등의 전용 고정적 시설에 대한 막대한 초기투자비용이 필요하기 때문에 많은 수송량이 없으면 영업 채산성이 없다. 또한 대량수송을 주로하기 때문에 차량중량이 매우 큰 데 반해 레일과 차륜 간 마찰이 매우 적어 제동거리가 길고 관성에 의한 타행운전 거리 또한 길다. 따라서 전방의 장애물을 발견하여 즉시 비상제동을 체결하여도 안전하게 정지할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 그렇기에 최초 철도를 건설할 때 열차 운행에 있어서 신호 등의 보안설비가 불가피하다. 마지막으로 철도시설과 철도차량의 일부 고장이 열차운행 전체에 영향을 미친다는 점이다. 때문에 정비보수에 중점을 두고 시설과 차량의 신뢰성을 높이지 않으면 안된다. 이와 같은 단점도 있으므로, 다른 교통기관의 대열에서 철도를 유지·발전 시켜나가기 위해서는 장점을 살리고 단점을 보완하는 것이 필요하다.

2.1.2 철도차량의 분류

철도차량은 여러 기준에 따라 분류할 수 있으나 본 논문에서는 에너지원, 동력개수에 따라 분류하고자 한다. 에너지원에 따라 철도차량을 분류하면 크게 증기차량, 내연기관차량, 전기차량으로 분류하고 동력개수에 따라 분류하면 동력 집중식, 동력 분산식으로 분류할 수 있다.

Table 2 동력집중방식과 동력분산방식 비교

편성 항목	동력분산방식			동력 집중방식
	12M	6M6T	4M8T	
열차중량(%)	100	96	94	110
차량제작 가격(%)	100	88	84	86
가속성능 (km/h/s)	3.2	2.0	1.5	1.4

<출처 박정수(2017), 최신철도교통공학>

구분	동력분산방식	동력집중방식
열차종량	축중이 가벼워 선로에 미치는 영향이 적음	상대적으로 무거움
가속성능	동륜이 많으므로 우수함	상대적으로 분리함
고장을	많으나 고장 시 열차운행에 영향이 적음	적으나 고장 시 열차운행에 영향이 큼
초기 투자비	많음	적음
차량유지관리비	견인장치가 대용량이고 수량이 적어 저렴함	견인장치가 소용량이고 수량이 많아 불리함
가감속도, 전기 제동력	점착중량이 커서 큼	점착중량이 작아서 작음
양방향 운전	유리함	불리함
수송수요에 따른 분할, 합병	쉬움	어려움
소음 및 진동	차체하부의 동력장치에 의한 소음과 진동으로 승차감이 떨어짐	소음과 진동이 작고 승차감이 적음

<출처 박정수(2017), 최신철도교통공학>

2.2 철도차량의 구조 및 동력 제어

2.2.1 증기기관차

1776년에 증기의 힘을 이용한 제임스 와트의 증기기관이 발명되었고 여러 분야의 기계에 응용되기 시작하였으며 철도에 적용된 것은 1801년 영국인 리처드 트레비식에 의해서이다. 1829년 10월 영국의 리버풀과 맨체스터를 연결하는 46km의 구간에서 조지 스티븐슨이 제작한 ‘로켓호’가 최고속도 48km/h로 운행되었다. 이 구간의 궤간이 1,435mm로 오늘날까지도 세계철도의 표준궤간으로 사용되고 있다.

2.2.1.1 증기기관차의 구조 및 작용원리

Fig.1 은 C61형 증기기관차의 구조를 보여주고 있다.

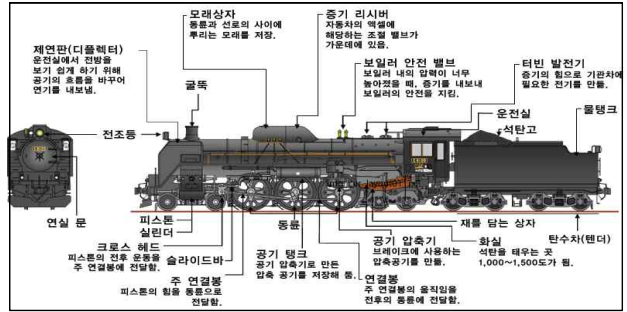


Fig.1 C61형 증기기관차의 구조

증기기관차의 작용원리는 Fig.2 와 같다.

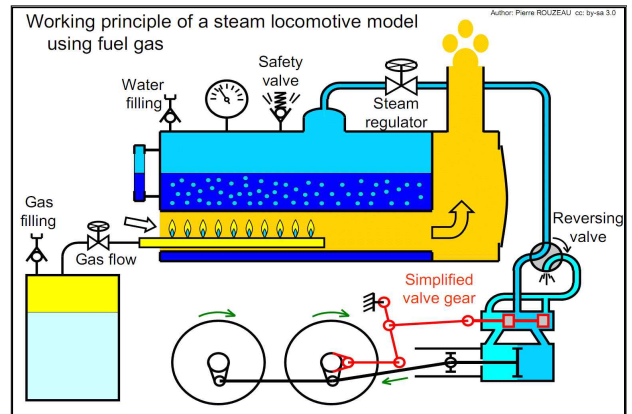


Fig.2 증기기관차의 작용원리

[작용 1]

보일러실에서 만들어진 증기가 흡입구로 들어가 우측 실린더실로 들어가서 피스톤을 왼쪽으로 밀면 Piston rod에 의해 차륜이 시계방향으로 1/2 회전한다. 이 때 미끄럼 밸브를 오른쪽으로 이동시켜 증기흡입구의 방향을 바꾼다.

[작용 2]

증기가 흡입구를 통하여 좌측 실린더실로 들어가서 피스톤을 오른쪽으로 밀면 Piston rod에 의해 차륜이 다시 시계방향으로 1/2 회전하게 되고 미끄럼 밸브는 다시 왼쪽으로 이동한다. 이와 같은 과정을 반복하여 피스톤의 전·후 운동은 직선운동으로서 연결봉에 전해지는데, 연결봉의 다른 끝은 주동륜의 크랭크에 연결되어 있으므로 내(內)운동을 하여 동륜을 회전시킨다. 또 주동륜의 크랭크의 바깥쪽에는 귀환크랭크가 붙어 있어서 주동륜이 회전한다. 이 회전은 편심봉·가감링크·레이디얼 로드(rod)에 피스톤과는 다른 전·후 운동을 주어서 이 조작에 의하여 기관차의 전진·후퇴가 가능해진다. 증기기관차의 속도제어는 운전실 내의 조절밸브 핸들을 열고 닫는 양과 역전핸들의 조작을 통하여 이루어진다.

2.2.2 디젤기관차

1892년 독일 기술자 R.디젤이 디젤엔진을 발명하였지만 고도의 생산기술력을 필요로 하기 때문에 실제적으로 생산된 것은 1897년 이후로, 1913년 스웨덴 동차에 처음으로 디젤기관이 탑재되었다. 또한 1912년 독일에서 디젤엔진 탑재 기관차가 개발되어 1930년부터 본격적인 운영을 시작하였다. 우리나라에는 휴전선언 이후 1954년 4월 미군이 사용했던 디젤기관차 4량을 인수하였고 1957년 10월 10일 디젤기관차 10대를 추가 도입하면서부터 한국철도의 본격적인 디젤화 시대를 맞게 됐다.

2.2.2.1 디젤기관차의 동력전달방식 별 구조 및 작용원리

디젤기관은 실린더 내의 공기를 흡입, 압축하여 고온, 고압으로 만들고 여기에 경유 또는 중유연료를 분사하여 연소, 폭발시켜 이 연소가스가 팽창력으로 피스톤을 움직이고, 피스톤에 연결된 연결봉에 의해 크랭크축에 회전력을 발생하여 동력을 발생시킨다. 디젤기관차는 동력전달방식에 따라 기계식(치차식)·액체식·전기식으로 분류한다.

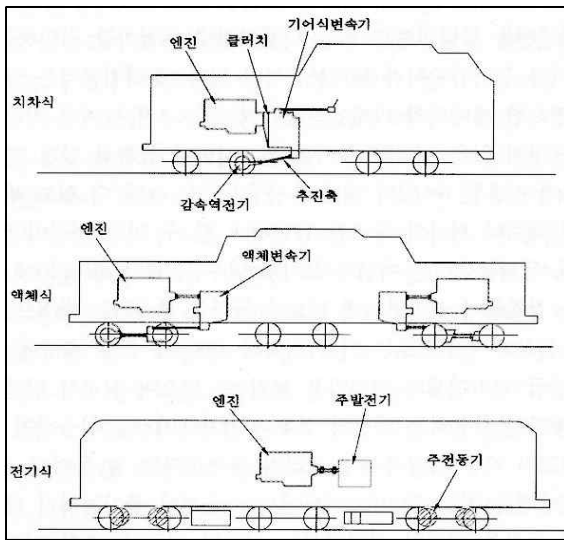


Fig.3 디젤기관차의 동력전달방식 종류

먼저 기계식은 엔진출력을 클러치, 기어변속기, 추진축, 감속기, 동륜으로의 동력전달이 기계적 방법에 의해 이루어지는 방법으로 기동/변속 시에 쇼크가 크고, 총괄제어가 곤란하여 증련운용이나 편성운전에 부적합하다. 현재는 100~200HP 정도의 소형 산업용 기관차 이외에는 거의 사용하지 않는다.

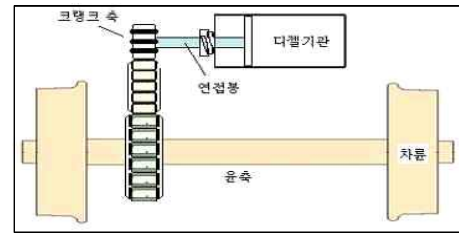


Fig.4 기계식 디젤기관차 동력전달 구조

액체식은 엔진출력을 액체변속기, 역전기구, 감속기, 동륜으로의 동력전달이 기계적 방법에 의해 이루어지는 방식이다. 액체의 압력을 이용하므로 기동 시 엔진에 무리가 없으며, 충분한 토크를 얻음과 동시에 연속 변속도 가능하다. 그러므로 기계식보다 부드럽고 원활하게 주행이 가능하고, 총괄제어를 할 수 있다는 장점이 있다. 동력전달효율은 기계식에 비해 떨어지지만 중량이 가볍고, 제작비가 저렴하여 현재도 광범위하게 사용된다. 국내에는 CDC, RDC 동차가 액체식을 채택하여 운행 중이다.

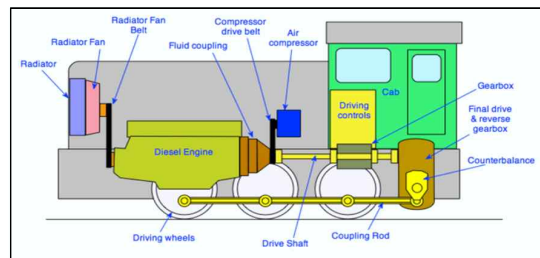


Fig.5 액체식 디젤기관차 동력전달 구조

전기식은 디젤엔진의 회전력으로 발전기를 구동하여 직류 또는 교류 전기를 얻고, 얻어낸 전력을 견인전동기에 공급하여 동륜을 구동시키는 방법으로, 엔진, 발전기, 전동기 등 중량·고가의 장치를 탑재하여 차량 중량이 무겁고 제작비가 높다. 2,000HP 이상의 대형 엔진에 사용가능하고, 총괄제어에 용이한 장점이 있다. 국내에서는 EMD사의 GT26CW-2 7300~7500호대 및 GE사의 3상 농형유도전동기를 장착한 7600호대 기관차가 운행 중이다.

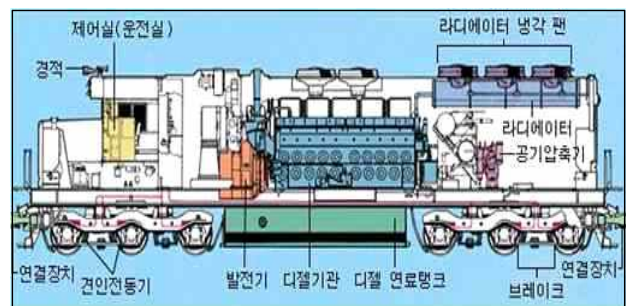


Fig.6 전기식 디젤기관차 동력전달 구조

2.2.3 전기기관차의 등장

전기기관차는 전차선에서 공급받은 전기를 사용하여 견인전동기를 구동, 견인전동기를 통해 발생된 기계적 에너지를 동력으로 사용하는 기관차이다. 산업혁명으로 인한 급속한 산업화에 따라 대량수송 수요를 감당할 수 있는 동력의 필요 및 철도로 인한 대기·소음공해로 환경오염이 심각해지면서 친환경 교통수단의 도입이 시급해졌고 이를 해결하기 위해 1837년 스코틀랜드인 로버트 데이비슨에 의해 갈바니전지를 이용한 최초의 전기기관차가 발명되었으나 일반 철도에서 기관차를 움직이에는 역부족이었다. 이후 1895년, 볼티모어&오하이오 철도의 볼티모어 벨트 선에 세 대의 Bo'Bo' 기관차가 도입되어 최초의 전기기관차를 통한 운행이 시작되었다. 우리나라는 1968년 5월 10일 산업철도 전철화 계획에 따라, 1969년 9월 12일 산업철도인 중앙, 태백, 영동선 전철화를 착공하여, 1972년 6월 9일 고한 ~ 증산간 10.7Km 전철화가 완공되어 프랑스로부터 도입한 8000호대 전기기관차가 시운전에 들어감으로서 본격적인 전기 철도시대가 막을 열게 되었다. 최근에는 신형전기기관차인 8100~ 8200호대와 8000호대를 대체할 8500호대 기관차가 운행 중이다.

2.2.3.1 전기기관차의 구조 및 작용원리

전기기관차는 집전장치인 팬터그래프로 변전소에 서 공급되는 전차선 전력을 받아 정류장치를 거쳐 직류전동기에 공급하고, 기어변속을 통해 차륜을 회전시킨다.



Fig.7 전기기관차의 구조

또한 견인전동기의 속도제어는 SCR Thyristor을 통한 초과제어방식을 통해 이루어진다. 최근에는 전력전자기술의 발달로 개발된 GTO Thyristor와 IGBT 소자를 사용한 VVVF INVERTER를 통해 3상유도전동기를 사용할 수 있게 되어 소형·경량화, 고효율화의 두 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있게 되었다.

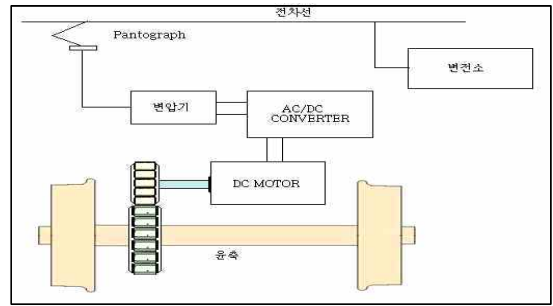


Fig.8 전기기관차의 동력전달 구조

2.2.4 전기동차의 등장

전기동차는 전기를 동력원으로 사용하며 차체 하부에 동력이 분산되어있는 방식의 철도차량을 말한다. 산업혁명으로 산업화, 도시화가 가속화됨에 따라 도시로 모이는 인구를 감당하기 위해서 짧은 거리를 고가속, 고감속으로 많은 수송량을 감당할 수 있는 교통수단이 필요해졌고, 동력이 집중되어있는 동력집중식의 기관차를 이용한 철도는 이에 적합하지 않았다. 이를 해결하기 위해 1893년 영국 리버풀 고가철도에서 최초의 전기동차를 도입했고 이는 철도에 상당한 영향을 주었다. 전기동차는 주로 도시철도에 적용되었으나 제어방식과 전동기의 발달로 고속철도와 신교통 시스템에 이르기까지 다양한 형태로 운행되고 있다. 전기동차의 특징은 다음과 같다.

- ① 총괄제어가 가능하다.
- ② 동력이 분산되어 있다.
- ③ 고가속, 고감속 운전이 가능하다.
- ④ 차량의 사용효율이 높다.
- ⑤ 출입문이 많아 승하차가 신속하다.

2.2.4.1 전기동차의 동력전달 구조 및 견인전동기 제어방식

전기동차는 전기기관차와 마찬가지로 변전소에 공급되는 전차선 전력을 팬터그래프를 통해 견인전동기에 공급되는 방식을 채택하였고, 직류직권전동기의 경우 주변압기-정류장치를 통해 얻어낸 직류전원을 견인전동기에 공급한다. 이후 VVVF인버터 장치의 개발로 3상 농형유도전동기를 사용하기 시작하였고 이때 주변압기-주 변환장치(C/I)를 통해 얻어낸 3상 교류전원을 견인전동기에 공급한다.

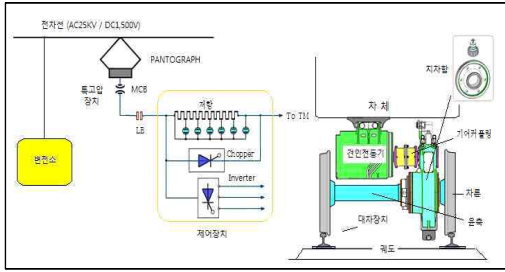


Fig.9 전기동차의 동력전달구조

전기동차 견인전동기 제어방식은 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

① 저항제어

전기동차의 초기 제어 방식으로 차체하부에 저항기를 설치해 견인전동기에 공급되는 전력량을 조절해 가속하고 제동 시 운동에너지를 저항에서 열에너지로 소모하는 발전제동이 가능하다. 견인전동기는 주로 직류직권전동기, 제어방법으로는 직병렬제어와 저항제어, 약계자(Weak Field)제어를 사용한다. 저항제어방식은 구조가 간단 하지만 발전제동으로 회수된 전력을 저항기를 통해 열에너지로 소모시켜 에너지 낭비가 있고 차체하부 저항의 발열이 발생하는 등의 단점이 있다.

② 쇼퍼(Chopper)제어

저항제어방식의 단점을 극복하기 위해 고속 고빈도로 스위칭 동작이 가능한 Thyristor를 설치해 주전동기에 공급되는 전력을 제어해 가속하는 방식이다. 견인전동기는 저항제어와 마찬가지로 직류직권전동기를 사용한다. 제동 시 운동에너지를 전기에너지로 변환 후 가선전압보다 높은 전압으로 회생시켜 동력운전중인 다른 전동차에 공급하는 회생제동이 가능해 종전의 저항제어방식에서의 에너지낭비를 크게 줄이는 효과를 가져왔다.

③ VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 제어

반도체 기술과 전력 제어 기술이 발전함에 따라 교류유도전동기와 이를 제어할 VVVF 제어방식이 철도차량에 적용되었다. PWM 컨버터와 VVVF 인버터로 구성된 주변환장치를 통해 3상농형유도전동기를 구동한다. 3상농형유도전동기는 기존 직류직권전동기가 가지고 있는 정류장치나 브러시가 없어 구조가 간단하다. 3상 기계적인 조작성이 상당히 줄어 부품수가 감소해 전체 시스템의 크기 및 무게가 대폭 줄었다. 점착성능이 향상되어 가감속 성능향상, 회생제동 분담 증가로 에너지 효율 역시 뛰어나다. 각 제어방식 별 비교는 다음 Table.3 와 같다.

구분	저항제어	쇼퍼제어	VVVF 인버터 제어
견인 전동기	직류직권 전동기	직류직권 전동기	3상농형 유도전동기
소자	- 고정저항 - 가변저항	- SCR Thyristor - GTO Thyristor	- GTO Thyristor - IGBT
제어 방식	- 직병렬제어 - 저항제어 - 약계자 제어	- Notch 별 통류율 제어 - 약계자 제어	- 전압제어 - 주파수제어 - 극수변경 제어
제동 방식	- 공기제동 - 발전제동	- 공기제동 - 회생제동	- 공기제동 - 회생제동

Table. 3 제어방식 별 비교

초기 VVVF 인버터에 사용된 반도체 소자는 GTO Thyristor 로 견인전동기 제어의 획기적인 발전에 기여했지만 반도체 소자의 오점호가 잦고 OFF 동작이 복잡하였으며, OFF 시 Arc 발생하여 이를 해결하기 위해 저항, 커패시터, 인덕터를 병렬로 접속한 lunit의 Arm을 구성하였고 Arc를 소호시키는 과정에서 많은 양의 열이 발생하여 이를 냉각시키기 위한 별도의 송풍기가 필요했다. IGBT는 ON, OFF동작 모두 간편하고 열 손실이 적어 별도의 냉각장치가 필요 없으며 GTO Thyristor에 비해 Turn ON, Turn OFF 동작이 훨씬 빨라 고속스위칭이 가능하여 GTO Thyristor의 단점을 완벽히 보완하였고 주 변환장치의 소형·경량화 및 고 효율화에 크게 기여하였다.

Table.4 GTO Thyristor와 IGBT의 비교

구분	GTO	IGBT	
명칭	Gate Turn-off Thyristor	Insulated Gate Bipolar Transistor	
형상			
정격	4500V/3000A	3300V/1500A	
소자구성	자기소호형 Thyristor	FET + Transistor	
스위칭주파수	Max 500Hz	Max 2kHz	
특징	보호기능	없음	없음 (별도 보호회로 필요)
	취부성	복잡	나사를 이용한 간단취부
	구조 및 용량	복잡/중량	단순/경량
	유지보수성	불편 (Stack 조립장치 필요)	간편 (현장조지 가능)
	취부시 절연	별도 절연소재 필요	자체 절연
병렬접속	복잡	간단	

<출처 이상오, 구정서, 한성호, 김태도, 김주태, 고윤권, 임동원. (2016). 도시철도차량 추진제어장치 전력변환 소자 혼용 운용에 관한 연구>

2.3 철도 신교통시스템 및 제어방식 소개

1960년대 이후 지하철과 버스의 중간정도의 수송력을 가진 신개념 도시철도시스템이 탄생하였다. 이는 도로교통의 한계성과 중량전철의 재정적 부담을 극복하기 위해 도입한 시스템으로 정거장 간격이 500~1,000m로 짧아 접근성이 용이하며 수송수요에 따라 탄력적 운용 가능 및 화려한 외관으로 도시재생 기능을 겸비한 첨단 과학기술 도입으로 완전자동, 무인운전화가 가능한 시스템이다. 현재 운영 중인 신 교통 시스템으로는 AGT, LIM, 모노레일, 자기부상열차, 노면전차가 있으며 국내에는 부산 4호선, 부산·김해 경전철, 인천 2호선, 대구 3호선, 용인경전철, 의정부경전철, 우이·신설경전철, 세종특별자치시 BRT 등이 운영 중에 있다. 본 논문은 철도차량 동력장치 제어방식을 전개·분석하는데 그 목적이 있으므로 새로운 견인전동기 방식인 LIM AGT와 자기부상열차에 대해서만 언급하도록 한다.

2.3.1 LIM AGT(Linear Induction Motor)

LIM AGT는 철제차륜 AGT에서 기존 원형의 전동기를 일자로 편 상태로 만든 선형유도전동기를 사용한 신교통 시스템이다. 동력이 차륜과 레일에 직접적으로 작용하지 않고 차량과 가이드웨이 간 전자력을 이용하여 주행하는 특성을 가지고 있어 비 접촉식 철도로 분류되기 때문에 급구배에 유리하다. 선형모터의 사용으로 차량높이를 줄였으며 주행 시 발생하는 소음과 분진발생을 크게 저감시켰다. 또한 조향대차를 사용함으로써 반경 50m곡선 주행이 가능, 4.5% 상구배 등판이 가능하여 눈, 비 등 악천후에도 운행이 유리한 장점이 있다.

2.3.1.1 LIM의 동력전달구조 및 작용원리

선형유도전동기 추진원리는 기존 철도차량의 3상 유도전동기와 비슷하다. 3상 유도전동기에서 U, V, W 3상 교류 전원을 공급받는 1차측(고정자)과 차륜과 연결되어 회전을 하는 2차측(회전자)를 통해 열차가 움직인다. 반대로 2차측이 고정자라면 회전자계의 반대 방향으로 1차측이 회전한다. 이런 3상 유도전동기를 펼쳐 2차측을 지상에, 1차측을 차량하부에 설치한 것이 선형유도전동기이다. 용인경전철의 경우 DC 750V의 전원을 제 3궤조를 통해 공급 받아, 3상 교류전원을 1차측에 공급하고, 자기

장으로 운동자계가 만들어지고 운동자계의 반대 방향으로 열차가 움직이게 된다. 전동기 입력전류와 주파수 변환으로 차량의 속도를 제어한다.



Fig.10 LIM의 구조



Fig.11 LIM의 동력전달구조

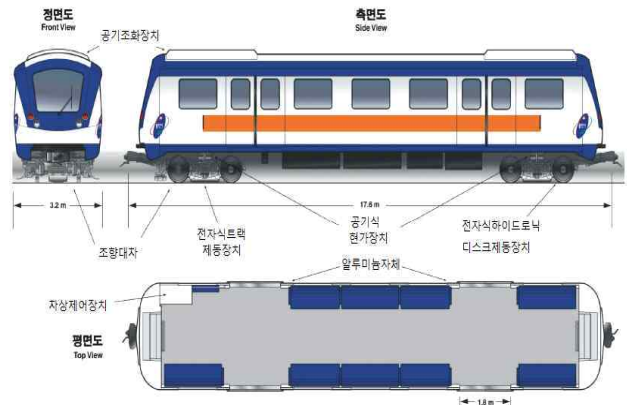


Fig.12 용인경전철 LIM AGT의 구조

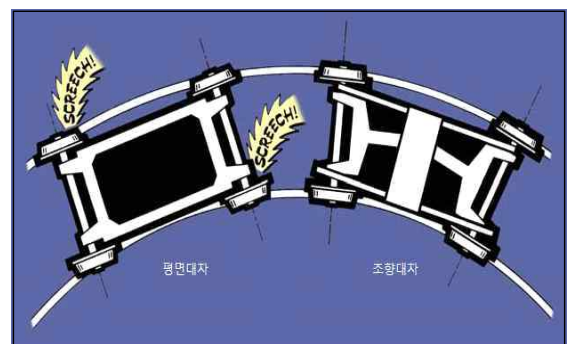


Fig.13 평면대차와 조향대차의 차이점

2.3.2 자기부상열차(Magnetic System)

전자석으로 발생된 자기력으로 레일에서 낮은 높이로 부상해 차륜을 사용하지 않고 선형유도전동기를 사용해 추진하는 방식의 신교통 시스템이다. 레

일면을 끌어당겨 부상하는 상전도 부상방식과 레일을 밀어내서 부상하는 초전도 부상방식 방식이 있으며 상전도 부상방식 자기부상열차가 주를 이룬다. LIM AGT와 동력방식은 동일하나 차륜이 없어 직접 레일에 닿지 않기 때문에 마찰력이 없기 때문에 소음과 진동이 거의 없고 마모되는 부품이 적기 때문에 유지보수에 유리하다. 주행 시 모노레일과 비슷하게 레일을 감싸고 주행하기 때문에 탈선의 위협에서 안전하다.

2.3.2.1 자기부상열차의 동력전달구조 및 작용원리

부상전원공급장치(MDPD)를 통해 부상 전자석에 전원을 공급하여 자력을 발생하도록 하면, 자력(흡인력)이 발생한 전자석에는 레일과 붙으려는 힘이 작용하여 차량이 부상하게 된다. Gap sensor(GS)가 지속적으로 거리(부상 공극)를 측정하여 부상제어기(MD)에 전송하면 GS 제어신호에 따라 MD는 전자석으로 보내는 전력을 제어하여 8mm의 부상공극을 유지하는 원리이다. 견인전동기의 원리는 LIM AGT와 동일한 방식이며 전동기 입력전류와 주파수 변환으로 차량의 속도를 제어한다.

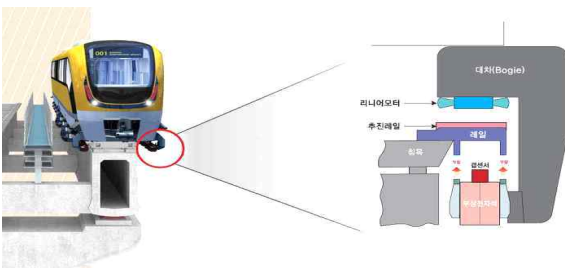


Fig.15 자기부상열차의 부상원리

2.4 철도차량 견인전동기의 개발동향

철도차량용 견인전동기 기술의 경우, 최근 대학 및 기업을 중심으로 대용량 시스템용으로 설계 및 제어기술 연구가 활발히 진행 중이며, 국내 기술은 선진국 기술과 비교하여 대략 90% 정도 확보가 되었으며, 최근 자동차 분야와 유사하게 철도 분야에서도 에너지 Saving이 중요한 문제로 대두되면서, 철도차량용 견인전동기의 고효율화, 소형화 및 최적화 기술 연구가 활발히 진행 중이다.

2.4.1 철도차량용 견인전동기의 새로운 돌풍, 영구자석형 동기전동기

최근에는 철도차량의 고속화, 경량화, 고효율화가

중시되면서 유도전동기 보다 고속화, 경량화, 고효율화에 유리한 영구자석형 동기전동기 연구가 새로운 화두로 떠오르고 있다. 영구자석형 동기전동기의 경우 가전제품, 전기자동차 분야 등에서 이미 충분한 연구 및 실용화가 이뤄진 만큼 철도시스템 분야로의 기술 확대가 용이할 것으로 판단된다.

국내에서는 철도차량용 유도전동기의 설계 및 제작 기술은 선진국 수준에 도달하였으나, 영구자석형 동기전동기 부문에 있어서는 아직 선진국 수준에 미치지 못하고 있는 실정이다. 해외의 경우, 고속철도용 견인전동기로 영구자석형 동기전동기를 개발하여 적용한 단계이며, 출력밀도가 1.0 kW/kg 수준인 반면, 국내의 차세대 고속열차(Hemu-430X)에 적용된 3상 농형유도전동기는 출력밀도가 0.75 kW/kg로 국제수준에 미치지 못하고 있다.

3. 결론

최근 교통시스템의 가장 큰 화두는 친환경성과 Energy Saving이며, 이러한 흐름에 맞추어 철도차량에 있어서도 소형-경량화가 가능하며, 친환경적인 전기추진시스템 기술의 연구가 활발히 진행 중이다. 철도차량에 취부 되는 견인전동기의 경우 크기 및 중량의 제약이 심하며, 또 주행과 제동 시 발생하는 진동 및 충격에도 견딜 수 있도록 견고하게 설계되어야 한다. 이러한 요구에 부응하기 위해 철도차량 분야에서도 추진용 견인전동기는 소형·경량화 및 고효율화를 위해 끊임없이 업그레이드되고 있는 상황이다. 본 논문에서는 한국철도의 역사적 흐름에 따른 철도차량 동력장치의 발전과정 및 개발동향에 대하여 살펴보았다. 증기기관과 초기 디젤기관은 대부분 해외 철도차량의 기술을 그대로 인수받았고 1980년대 현대차량(주)에서 미국 GMC로부터 기술을 제휴 받아 국산 디젤기관차를 조립·생산하기 시작하면서 철도차량 및 부품 국산화에 본격적인 시동을 걸기 시작하였다. 견인전동기의 관점에서 보았을 때 국내의 철도차량의 기술수준은 1970년대 직류직권전동기 단계, 1980년대 유도전동기 단계로 발전하여 약 30년 동안 유도전동기 단계에서 머물러 있는 실정이다. 철도차량 견인용 유도전동기에 있어서는 세계적 수준에 버금가는 수준이지만 영구자석형 동기전동기 부문에 있어서는 아직 선진국 수준에 미치지 못하고 있다. 국내 주요 제작사들은 해외 주요 제작사와의 기술제휴를 통하여 제작 관련 원천기술을 습득하였지만, 아직 내구성 면에서는 차이를 보이고 있어 유지보수 측면, 냉각기술 측면에서의 지속적인 연구가 필요한

실정이다. 이를 극복하기 위하여 정부 및 국내 관련 업체들의 적극적인 R&D 투자가 요구되며 이를 위한 전문인력 양성에도 힘써야 할 것이다. 또한 국내 주요 제작사들의 부단한 노력을 통해 고사양 견인전동기를 개발·생산 및 상용화하여 경전철 급의 트램에서부터 대형 전기기관차에 이르기 까지 다양한 제품을 전 세계 수많은 철도차량 제작사에 납품함으로써 새로운 수출활로를 늘려가 글로벌 철도시장의 리더가 된다면 활발한 국제교류와 국가 경제에 큰 도움이 될 것이라 예상된다.

참고문헌

- [1] 박찬배. (2018). 철도차량용 견인전동기의 기술 개발 현황. 한국자기학회 학술연구발표회 논문개요집, 28(1), 14-16.
- [2] 손영진 외 3명(2011), 신편철도차량공학
- [3] www.kric.or.kr(철도산업정보센터)
- [4] 백남욱, 장경수(1999) 철도차량 핸드북
- [5] 박정수(2017) 최신철도교통공학
- [6] <https://www.jreast.co.jp/kr/>(JR동일본철도주식회사)
- [7] 박찬배, 정광우. (2016). 철도차량 추진용 전기기기 기술동향. 전력전자학회지, 21(4), 27-34.
- [8] <http://www.railway-technical.com/trains/> (철도기술웹사이트)
- [9] 이상오, 구정서, 한성호, 김태도, 김주태, 고윤권, 임동원. (2016). 도시철도차량 추진제어장치 전력변환 소자 혼용 운용에 관한 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 561-567.
- [10] 장승민, 박준형, 양진송, 류경수, 박정수. (2018). 철도신호시스템의 역사 및 동향분석. 한국철도학회 학술발표대회논문집, , 46-52.