

무가선 하이브리드 저상트램의 핵심요소 기술동향

Key Technologies of Battery Driven Hybrid Low-Floor Tram

*#정우태¹, 장승호², 박재호³

*#W. Jeong (wjeong@krri.re.kr)¹, S. H. Jang(shjang@krri.re.kr)², J. H. Kwak(jkwak@krri.re.kr)³
^{1,2,3} 한국철도기술연구원

Key words : Low-floor tram, On-board Battery, Hybrid propulsion, Green transportation, LRV

1. 서론

최근 국내외적인 관심인 지구온난화 문제와 관련하여, 온실가스 감축과 같은 환경에 대한 관심이 증대되면서 교통 및 수송시스템의 연구에 있어서도 CO₂, NO_x 등의 감축을 위한 연구가 주요한 관심사로 자리잡고 있다. 또한, 고유가와 화석연료사용의 감축을 위한 고효율 친환경 수송시스템에 대한 관심과 연구는 기술적 진보를 거듭하고 있다. 이에 현재의 도시교통시스템으로서의 철도기술은 기존 전기전동차의 에너지 효율성 향상을 위한 기술, 경량화기술, 소음진동 감소, 사용자 편의성 향상을 위한 기술개발에 주력하고 있다. 이러한 연구의 한 부분으로써 국제수송시스템 산업은 진보된 경량전동차에 대한 연구를 바탕으로 저상트램을 환경친화적이며 에너지효율성을 지니는 무가선형 하이브리드 에너지 저상트램의 개발로 그 무게를 옮겨가고 있다.

본 논문에서는 유럽과 일본을 중심으로 활발한 연구개발을 진행하고 있는 무가선 하이브리드 저상트램의 기술적 필요성과 핵심요소기술의 동향을 살펴보고, 초기 연구개발단계에 있는 국내 기술의 개발 방향에 대해서 살펴보고자 한다.

1.1 경제적 측면

현재 국내에서는 경량전철 기술개발 사업을 통하여 K-AGT 및 중저속 자기부상열차 기술개발을 바탕으로 실용화 사업을 추진 중에 있다. 이러한 경량전철 기술 개발은 중량전철(지하철 등)에 비해 건설비, 차량비용, 에너지효율성 등의 강점을 가지고 있으나, 여전히 높은 건설비용을 차지하는 전용(선)고가의 건설이 불가피하고, 자기부상열차의 경우 고압(전력)선의 설치가 필수적이다. 이러한 고비용의 토목건설비용 및 장기간을 요하는 공사기간은 여전히 국내 지방자치단체에는 부담으로 작용하여, 도입과 실용화를 주저하는 원인이 되고 있다. 그러나, 하이브리드 저상트램의 경우는 노면주행을 기본으로 함에 따라, 일반 타 경전철에 비해 토목건설 비용이 약 1/10에 해당하며, 그 공사기간 또한 절반이하로 줄어든다. 이는 보다 편리하고 정시성을 가진 경전철을 도입하고자 하는 지자체로 하여금 재정적인 부담을 줄이고 도시환경과 조화되며 이용편리성이라는 상대적 강점을 가진 하이브리드 저상트램이 대안이 될 것은 필연적이다. 이러한 사례는 외국의 주요 선진국 도시들의 저상트램 도입율이 전체 경전철의 85% 이상을 차지하는 시장성 점유로 나타나고 있으며 이것이 기술개발에 투자를 아끼지 않는 또 다른 이유이기도 하다.

1.2 기술적 측면

앞에서 설명한 바와 같이, 이미 저상트램의 도입은 그 시스템이 가진 수많은 장점으로 인하여 세계적인 추세이다. 또한, 최근에는 환경성과 에너지효율성을 극대화한 무가선 하이브리드 저상트램의 기술 개발이 유럽과 일본을 중심으로 연구개발에 있다. 무가선 하이브리드 저상트램의 기술 실용화를 위해서는 기존철도시스템 대비 높이가 70~80% 이하로 줄어든 저상대차의 시급한 개발과, 하이브리드 추진제어시스템 개발, BMS를 통한 배터리 제어기술이 전제되어야 한다. 이러한 기술은 외국의 경우 철저한 보안과 특허출원으로 국내에 자체개발없이 보급될 경우 막대한 기술료의 유출이 불가피하다. 이러한 기술의 조기 개발 수행은 향후 수 조원 이상의 수출대체효과 및 수출수입증대를 예상할 수 있다. 따라서, 향후 기술의 사용성과 실용화 시장성의

규모를 고려해 볼 때 무가선 하이브리드 저상트램의 핵심 요소기술 개발은 타 경전철 연구에 선행되어야 한다.

1.3 에너지효율성/편리성/환경성 측면

무가선 하이브리드 저상트램은 타 경전철에 비해 지상/지하역사가 가지는 승객 승하차 및 이용의 편리성을 한 층 증대시킬 수 있을 있다. 또한 타 경전철이 가지지 못하는 2차전지(배터리)를 기본 탑재함으로써, 제동시 회생제동을 발전에너지의 100% 저장 및 재사용이 가능하고, 기존의 가선을 통한 회생제동 에너지의 문제점인 회생실효 문제를 보완하여 에너지 효율성을 극대화할 수 있다. 이는 단위 셀의 집적체인 고용량 차상형 배터리제어기술(BMS)와 이와 연동된 전기제동을 기본 사용함으로써 제로매연배출(Zero pollutant emission)의 실현이 가능하며 대기오염과 같은 환경성에 최적화 될 수 있다. 또한, 저상대차를 이용한 저상화된 차량은 지하나 고가의 역사와 같은 특화된 시설물 대신 노면에 설치된 정거장의 이용이 가능하게 함으로써 교통약자와 이용자에게 접근성과 편의성을 향상시킬 수 있다.

1.4 안전성 측면

지하 및 고가로 운영되어야 하는 지하철과 일반적인 경전철 시스템은 재난 및 사고, 고장시 긴급 피난이 어려운 구조적이 단점을 가지고 있다. 이에 대비하기 위해서는 추가적인 피난로나 시설물이 필요하고, 사고시에는 대형 참사로 이어지기 쉬운 단점을 가지게 된다. 이러한 단점에 비해, 지하나 고가가 아닌 노면선로를 무가선으로 운행하는 하이브리드 저상트램은 긴급피난이 기본적으로 확보되며, 피난로 등의 추가 구조물을 필요로 하지 않는다. 또한 고압의 가선을 제거함으로써, 고압 전차선에 의한 감전와 같은 사고의 위험이 사라지게 된다. 다만, 기존 교통시스템과 연동된 효율적인 운행시스템의 개발로 운행의 안전성을 살릴 필요가 있다. 복합교통의 문제는 국제적으로 많은 연구를 통해 효율적인 교통 시스템을 개발하고 있으며, 많은 도시에서 최적화된 시스템이 현재 적용 및 운행중이다.

2. 무가선 저상트램의 기술개발동향

현재 유럽과 일본 등 선진국들을 중심으로 가선을 이용하는 노면전철에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 가선방식의 저상트램은 도시환경성과 에너지 효율화의 도시적 국가적 요구에 부합하여, 점차 차상 에너지저장장치의 도입을 통한 무가선 차량의 개발로 바뀌어 가고 있다. 해외의 무가선 하이브리드 저상트램 개발 현황은 표1과 같다.

Table 1 Summary of hybrid low-floor tram development

해외 연구기관	주요 연구 및 상용화 내용
일본 RTRI	- 무가선 하이브리드 트램 개발 및 시험 (Hi-Tram)
일본 가와사키 중공업	- 하이브리드 저상트램 SWIMO-X 개발 및 시험
독일 Siemens	- 가선방식 100% 저상트램 Combino, Avanto 개발 및 상용화
캐나다 Bombardier	- 저상트램 최대 공급 업체 (City-Tram 등)
프랑스 Alstom	- 부분 무가선 하이브리드 저상트램 (Citadis) 개발 및 상용화 (프랑스, 니스, Ni-MH) - 제3세대형 무가선 저상트램 상용화 (프랑스 보르도)

이러한 무가선 하이브리드 저장트램은 기존의 철도시스템 기술에 하이브리드 추진시스템을 결합해야 하는 첨단기술이며 고부가가치 기술로서, 여러 선진국에서 최근 많은 연구투자와 개발을 진행중이며 연구개발 초기단계에 있다.

우리나라는 저장대차 등 일부 요소기술 측면에서 선진국에 비해 부족한 것이 사실이지만, 세계적으로 인정받고 있는 2차전지의 집적 및 제어 기술을 바탕으로 세계적인 수준의 무가선 하이브리드 트램의 개발이 가능한 것으로 판단된다. 선진국에서도 고용량 배터리 탑재기술은 연구개발의 초기단계에 있기 때문에, 우리나라가 강점이 있는 2차전지 및 BMS 기술 등을 바탕으로 선진국 기술의 추월이 가능하다고 보여진다. 이러한 기술의 국내 연구개발 추진은 국내 최초로 독자적인 초저상 대차 개발 기술 확보와 더불어, 차량 경량화 기술 및 하이브리드 차량 제어기술 등의 고도화를 통해서 세계적인 기술 주도권을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

노면전철은 세계적으로 인기 있는 대중교통수단의 하나로 많은 도시에서 운행되고 있거나 건설이 계획되어 있다. 전 세계에서 개량형 노면전철을 운행하고 있는 도시는 340개 이상이며 이는 전세계 경량전철 수요의 85% 이상을 차지한다. 비록 노면전철의 구체적인 해외시장 규모는 정확하게 알려져 있지 않지만, 도심지의 교통난이 가중되고 환경 및 에너지 문제가 심각해질수록 건설비와 운영비가 저렴한 노면전철에 대한 관심과 관련 시장의 규모는 증가할 것이다. 이러한 측면에서 저장트램은 시장이 국소적인 타 경전철시스템과 비교하여 해외시장 진출 전망이 매우 넓다고 할 수 있다. 무가선 하이브리드 저장트램 개발의 국내 기술수준은 표 2와 같다.

Table 2 Current technology level for Hybrid low-floor tram

	차량설계 기술	인프라 핵심기술	Hybrid시스템 기술
기술 내용	- 저장대차 설계 - 구동모터설계 - 차체설계 기술 - 부품최적화 - 인터페이스 기술	- 노면선로 기술 - 정비 및 운행 시스템 - 주행안전성, 신뢰성 확보기술 - 교통및 신호 기술	- 2차전지집적기술 - BMS 개발 - 하이브리드 추진제어 기술 - 회생제동 기술 - 고전압 양방향 인버터 개발
수준	50%	40%	70%

3. 핵심요소기술

3.1 하이브리드 추진제어 및 저장대차 기술

하이브리드 추진시스템은 차량 내에 에너지 저장설비(배터리)를 갖추어 전차선에서 공급받은 전력을 2차전지에 저장하고, 전차선 설치가 불가능한 특정 구간에서는 저장된 동력을 최적 분배하여 추진력을 생성한다. 배터리를 사용한 하이브리드 추진 방식은 아래 그림 1에서 보여지는 바와 같이 가선(외부 전원을 통한 충전가능상태) 또는 무가선 상에서 배터리 충방전을 통한 추진력을 생성한다. 제동 시나 하향구배 운행 시에는 회생발전을 통하여 얻어진 전력을 인버터를 통하여 다시 2차전지로 충전함으로써, 일반적으로 가선을 통하여 회생에너지를 이용하는 시스템에 비해 회생효율을 방지할 수 있고, 비 회생제동 차량에 비해 약 30% 정도의 에너지 효율을 가져올 수 있다.

하이브리드 추진제어 시스템과 연동된 저장대차는 레일면과 객실바닥까지의 높이가 350mm 이하이고, 차량 회전반경을 20m 이하가 가능하며, 승차감/진동/소음 특성을 향상시킬 수 있는 저장대차를 설계 기술을 포함한다. 이러한 대차는 곡선 추종성 향상을 위한 조향기능, 탄성 차륜 적용 및 분산구동 등의 기능을 갖도록 개발하여야 한다. 100% 저장차량의 경우 초저상 대차 설계기술이 추가로 요구되며, 이와 함께 연관된 요소품들의 저장화와 추가 인터페이스 기술이 요구된다.

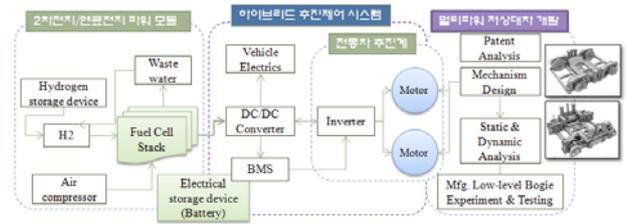


Fig. 1 Hybrid Propulsion System for Low-level Bogie
3.2 차상용 2차전지 스택 및 제어기술

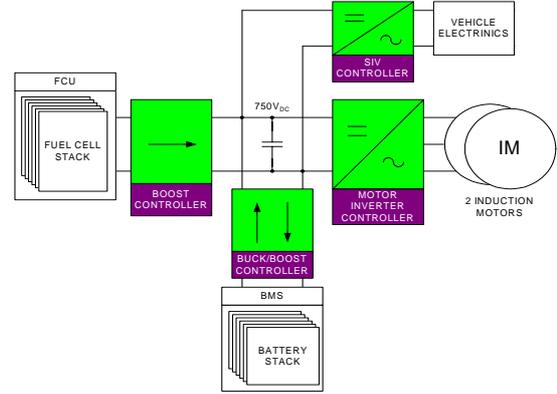


Fig. 2 Power Converting Module for Multi-power Hybrid System

무가선 하이브리드 저장트램에는 전동차에 탑재 가능한 고용량 배터리 스택 기술(100kW급 이상)과 2차전지의 고효율화 및 고속 충방전 기술, 그리고 고용량 셀을 제어하고 안전성 확보를 위한 모니터링 및 제어 기술(BMS)을 포함한다.

3.3 하이브리드용 고효율 전력변환 시스템 기술

하이브리드용 고효율 전력변환 시스템은 Battery 전압 증폭 및 회생전력을 배터리에 저장하기 위한 고효율/고전압/대용량 양방향 (BUCK/BOOST) 컨버터 제어기술, 2개 이상의 전동기를 동시에 구동하기 위한 인버터 전동기 제어기술, 및 전동차의 전기기기를 구동하기 위한 전원공급용 Static Inverter (SIV) 제어 기술을 포함하며 그림 2에 표시된 바와 같다.

3.4 노면선로 및 인프라시스템 기술

노면선로 및 도로교통과 복합된 신호시스템의 개발, 인프라시스템의 구축을 위한 추가 기술확보는 개발된 하이브리드 저장트램의 효율적 운영과 성공적인 실용화를 가능하게 할 수 있다.

4. 결론

현재 국내에서는 서울과 수도권, 지방 대도시를 중심으로 지하철을 꾸준히 건설/운영 중이다. 그러나 지하터널과 고가의 건설로 인한 막대한 건설비와 환기, 배수, 조명, 안전 등 운영, 유지비가 많고 지하역사나 터널내의 환경문제도 지속적인 문제로 나타나고 있다. 또한, 중소 지방도시에서는 지하철의 거대한 건설비용과 공사기간의 장기화로 인한 교통정체, 소음 및 공해발생 등의 부수적 문제점을 가진다. 따라서, 환경친화적이며 편리성, 안전성, 에너지 효율성이 확보된 무가선 하이브리드 저장트램의 핵심 기술개발을 통한 철도교통시스템의 기술자립과 고부가 수출산업으로서의 육성이 무엇보다도 필요하다.

참고문헌

1. SCI Light Rail Vehicles 2006/2007, Markets, Manufactures Strategies, Trends.
2. 도시철도시스템 기술의 이해, 한국철도기술연구원, 2007.
3. International Trade Fair for Transport Technology 2008 .