

수소철도차량 연료전지 전력변환시스템 기술 동향

'15.12월 21차 유엔 기후변화협약 당사국총회에서 채택한 '파리기후변화협약'에 따라 우리나라를 비롯한 세계 각국은 탄소배출량 저감 목표 달성을 위하여 노력하고 있다. 수송 분야에서도 이러한 노력이 이루어지고 있는데 대표적으로 수소전기차 등 친환경 교통수단의 보급을 들 수 있다. '19.01월 우리 정부는 「수소 경제 활성화 로드맵」을 발표하였고, 이를 수행하기 위한 뒷받침으로 '19.03월부터 「수소 기술개발 로드맵」 수립을 위한 민관합동 전문위가 운영되고 있다. 수소에너지를 동력원으로 사용하려는 노력은 철도 분야에서도 이루어지고 있는데, 수소연료전지를 적용한 독립전원 방식의 수소연료전지 하이브리드 철도차량에서의 전력변환시스템 기술을 소개하고자 한다.

1. 서론

친환경 수송 수단으로 대표되는 전기차, 수소차 등은 기존 자동차 내연기관 기반의 동력장치를 배터리나 수소연료전지로부터 발생 되는 전기동력을 적용한 전기추진시스템으로의 개발이 선행되었다. 친환경 대량 승객/화물 운송수단으로 인지되는 철도는 주요 노선의 전철화에 따라 이미 전기동력 기반 추진시스템이 적용되어 있으나, 최근 전기차에서 논의되는 탄소 간접배출 관련 쟁점이나 철도 분야 환경오염의 주원인을 제공하고 비전철화 또는 혼합 구간을 운행 중인 노후 디젤철도차량(기관차, 동차 등)의 내구연한 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원 방식의 차량이 필요한 상황으로 새로운 방식의 친환경 철도차량에 대한 요구가 증가하고 있다.

수소차 중심으로 연구 및 제품개발이 이루어지고 있는 국내상황에서 철도 분야에 수소에너지를 적용하기 위해서는 해결이 필요한 현안 사항이 적지 않다. 특히 수소연료전지 스택의 경우 철도차량 적용을 위해서는 대용량, 고출력, 고전압, 고내구성이 요구되며 주변장치(BOP 등)는 철도차량의 주행특성이나 운행환경에 맞추어 재설계가 필요하다. 수소 충전 인프라도 마찬가지로 최근 수소 버스의 시범 운행으로 관련 충전 프로토콜 및 설비 등이 개발 중이나 이 역시 철도 분

야에 적용하기에는 단위시간 당 충전량 증가와 연속충전 지원 등의 개선이 필요하다. 수소철도차량이 운영되기 위해서는 수소 전주기(생산-저장-운송-활용) 기술개발이 병행되어야 실효성을 거둘 수 있을 것이다.

2. 수소철도차량 연료전지 추진시스템

전기철도를 기반으로 수소철도차량 구성을 검토하면 전차선으로부터 전력을 공급받는 부분을 수소연료전지 발전시스템으로 교체하면 완성된다. 수소연료전지 발전시스템은 수소연료전지 스택과 이를 위한 주변장치(BOP 등)나 수소저장용기, 배관/밸브 시스템 등으로 구성되는데, 하이브리드 동력시스템은 단방향 에너지 흐름을 가지는 수소연료전지와 회생 에너지를 저장할 수 있는 2차전지(배터리, 슈퍼커패시터 등) 등이 복합된 형태로 구성되어야 한다. 수소연료전지 출력은 승압형 전력변환장치를 거쳐 전장품 사용을 위한 직류단 전압을 형성하고 2차전지와 함께 추진제어장치와 보조전원장치에 전원을 공급하는 구조를 가진다.

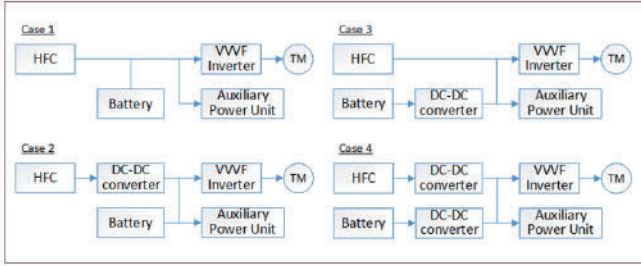


그림 1 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 구성방안(예)

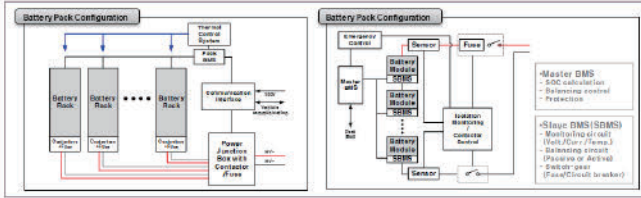


그림 2 대용량 2차전지 시스템 구조 및 구성방안(예)

2.1 수소연료전지 하이브리드 동력시스템

철도차량은 역과 역 사이를 정해진 시간 내에 일정한 패턴으로 운행하는 주행특성 때문에 대상 노선이 정해지면 노선 정보에 따른 에너지 소모량과 회생량을 계산할 수 있으며, 이를 기반으로 수소연료전지와 2차전지를 설계할 수 있다.

특히, 철도차량은 제동 시 발생하는 회생 에너지가 큰 특성을 가지기 때문에 이 에너지를 저장하고 활용할 수 있도록 2차전지와 하이브리드 구성이 필수적이다. 2차전지는 배터리, 슈퍼커패시터 등으로 구성할 수 있는데 철도차량 전장품을 구성하는 직류단 사용전압에 따라 승압형 전력변환장치와 함께 구성하거나 2차전지 단독으로 구성할 수 있다. 자동차의 경우 DC 1000V 이하로 2차전지를 구성하지만, 철도차량의 경우 DC 1500V 이상의 전압을 사용하기 때문에 적용 시스템에 따라 동력시스템 설계를 최적화하고 기대수명을 연장할 수 있도록 에너지 관리에 큰 노력을 기울여야만 한다.

2.2 수소연료전지용 DC-DC 컨버터

고전압 대전류 전력변환장치가 요구되는 전기철도차량은 경량전철 DC 750V, 도시철도 DC 1500V, 고속철도 DC 2800V의 직류단 전압을 사용하기 때문에 부하 조건에 따라 수소연료전지의 출력전압(DC 250V에서 DC 500V)을 철도차량에서

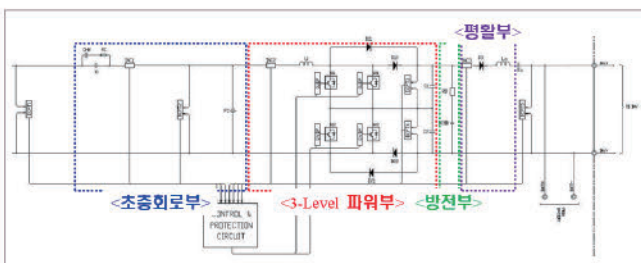


그림 3 3-Level DC-DC converter 회로 구성(예)

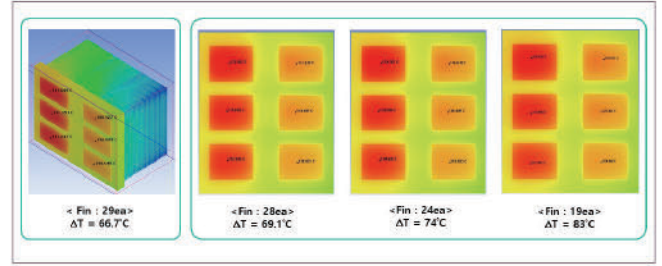


그림 4 방열설계를 위한 열 해석(예)

사용할 수 있는 범위로 승압할 수 있는 단방향 DC-DC 컨버터가 필요하다.

수소연료전지용 DC-DC 컨버터는 고효율 경량화가 요구되며 정상 상태에서는 출력을 일정하게 유지하고 운전모드에 따라 출력을 증가 또는 감소시킬 수 있어야 한다. 또한, WBG(Wide-Band-Gap) 소자 기반 최신 전력반도체를 적용하여 스위칭 주파수, 손실, 냉각시스템, 권선물 설계 등에 대한 최적화가 요구된다.

2.3 추진제어인버터-견인전동기 시스템

유한한 에너지를 기반으로 이동하는 수송 수단에서 추진제어장치의 효율은 주행거리를 결정하는 중요한 요소이다. 일본을 중심으로 철도차량용 전장품에 SiC 소자 기반 전력반도체를 적용하여 소형/경량화 및 손실 감소에 따른 효율 향상 결과를 얻고 있다. SiC 전력반도체 적용 시 중요한 부분이 방열설계인데 대상 노선에 따른 주행 시물레이션을 기반으로 열 손실을 산정하여 냉각시스템 설계를 최적화하여야 한다. 또한, 제동 시 발생하는 회생 에너지를 극대화하고 효율도 개선할 수 있는 영구자석 동기전동기 적용으로 단위 부피당 출력을 증가시키고 있다.

2.4 보조전원장치

철도차량 운행에 필요한 보조전력과 승객 편의장치 등에 전력을 공급하는 보조전원장치는 운행 중 동작이 정지되지 않도록 시스템 설계가 필요하며 독립전원 방식이기 때문에

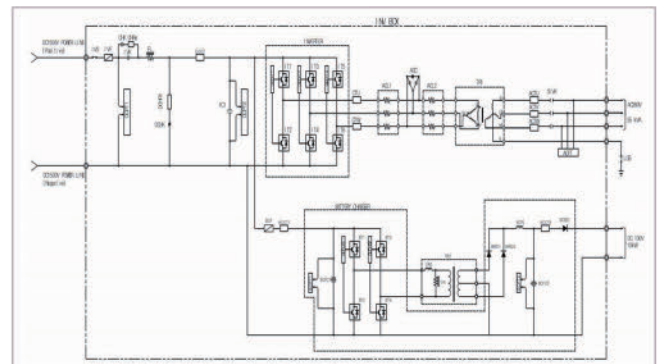


그림 5 계통연계형 보조전원장치 회로 구성(예)

표 1 주행모드별 에너지 관리 방법

	주행모드	연료전지	2차전지	SOC 관리
1	역행(powering)	발전	방전	↑
2	타행(coasting)	발전/대기	충전/대기	↓
3	제동(braking)	대기	충전	↑
4	정차(stopping)	발전/대기	충전/대기	↓

외부 계통에 연결하여 전력을 공급할 수 있는 T2G(Train to Grid) 기능을 구현할 수도 있다.

철도차량은 보조전원장치 고장 시 승객 편의장치 등에 전력을 공급하기 위해서 복수 이상의 보조전원장치를 설치해야 하는데 이에 따른 용량 설계와 분산 제어, 모듈화 설계 등이 연구되고 있다.

2.5 에너지 관리 시스템

수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템을 기반으로 철도차량 주행에 필요한 추진제어장치, 보조전원장치 등을 구동하기 위해서는 동력시스템의 에너지 관리가 매우 중요하다. 에너지 관리 방법에 따라 수소연료전지와 2차전지의 유지보수 주기, 기대수명, 생애 전주기 비용 관점에서의 전장품 관리 등에 영향을 미칠 수 있다.

철도차량의 주행모드는 크게 역행-타행-제동-정차로 구분할 수 있는데 각 주행모드별 에너지 관리 방법은 표 1과 같다. 또한, 정해진 노선을 운행하는 철도특성에 따라 소비/회생 에너지를 예측하여 하이브리드 동력시스템의 에너지 관리를 최적화하는 방안도 적용된다.

3. 국내외 기술 동향

3.1 국내 기술 동향

3.1.1 수소철도차량 핵심기술 개발

'18.04월부터 '수소연료전지 하이브리드 동력시스템 (1.2MW 이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발' 국가 R&D가 국토교통부의 지원을 받아 한국철도기술연구원 주관으로 (주)우진산전, 한국철도공사 등이 참여하여 연구개발을 수행 중이다. 과제에서는 수소연료전지 기반 하이브리드 추진시스템뿐만 아니라 시험차량 설계/제작, 운영기술 및 철도차량 기술기준(안) 개발, 수소충전소 설계방안 및 임시충전소 구축 등의 연구내용이 포함되어 있다. 수소철도차량에 대한 구성품 및 완성차시험 완료 후 철도종합시험선로(오송)에서 '22.12월까지 시운전시험을 실시할 계획이다.

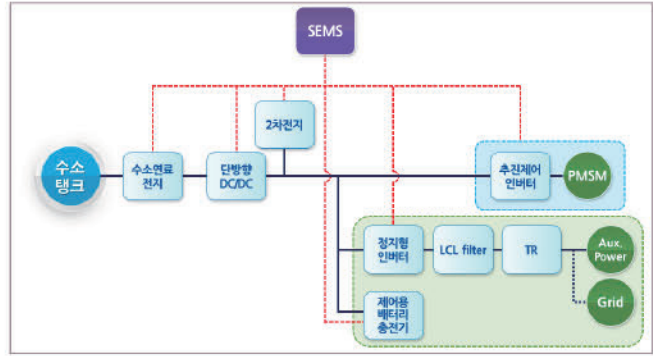


그림 6 수소철도차량 추진시스템 블록도

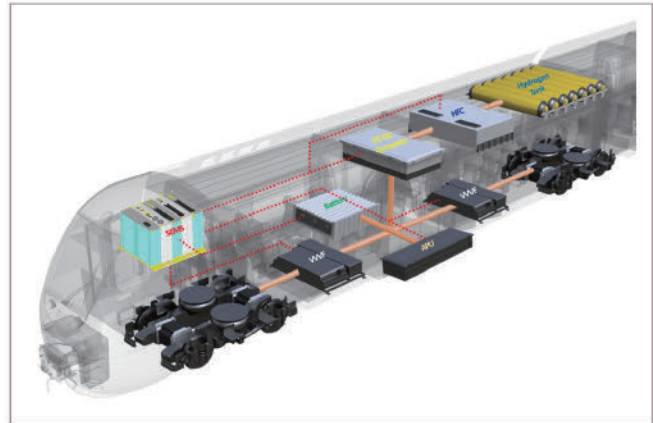


그림 7 수소철도차량 시스템 개념도

표 2 수소철도차량 개발 사양

최고설계속도	110km/h 이상
동력시스템	연료전지-배터리 하이브리드
연료전지	PEMFC 400kW(200kW×2)
연료전지용 전력변환장치	승압형 DC/DC 컨버터
2차전지	리튬이온배터리 1,000kW(500kW×2)
견인전동기	영구자석 동기전동기 최대 340kW×4
주행거리	1회 충전 연속 주행거리 600km 이상
수소저장용기	Type IV, 70MPa, 약 168kg

성능검증이 완료되면 실증과정을 거쳐 내구연한이 도래한 노후 디젤 철도차량을 대체하거나 경량전철이나 도시철도 등에 적용하여 차세대 친환경 철도차량 시스템 기술로 활용할 수 있다.

3.2 국외 기술 동향

3.2.1 프랑스

일반적으로 전력 공급을 위한 전철 전력설비가 없는 비전철화 구간은 대부분 디젤 철도차량으로 운행하는데, 유럽 철도 강국인 4개국(영국, 프랑스, 이탈리아, 독일)조차도 전체



그림 8 프랑스의 수소연료전지 여객열차 및 구성

운영 노선의 75%가 비전철화 구간으로 통계에 따르면 유럽 내 디젤 철도차량 시장의 가치는 약 €650 millions로 추산된다.

프랑스 철도차량 제작사 Alstom은 '14년부터 수소연료전지 철도차량 개발을 위하여 독일 정부와 협력해왔으며, 열차 지붕에 설치되는 연료전지에서 수소와 산소를 결합해 전기에너지를 만들고 이를 리튬이온배터리로 전송하여 한 번 충전으로 승객 300명을 태우고 하루 최대 800km를 달릴 수 있는 수소연료전지 여객열차(Coradia iLint)를 개발하였다.

Coradia iLint를 도입하게 되면 기존의 차량기지 시설 외에도 수소를 공급하기 위한 설비 구축 및 관리 능력도 갖추어야 하는 요구사항을 해결하기 위해서 철도차량뿐만 아니라 수소 시스템 관리 및 유지보수까지 패키지(all-in-one solution)로 포함하여 제시하고 있다.

Coradia iLint는 '17년까지 양산 차량이 각종 시험 및 인증 작업을 마치고 '18년 초 독일 북스테후데-룩스하펜에 시험적으로 영업 구간에 투입되었으며 현재까지 영업 시운전을 진행 중이다. 수소저장용기의 안전성(열차 충돌 시 폭발 위험성 등) 및 누출에 대해 집중적으로 인증작업이 이루어졌으며,

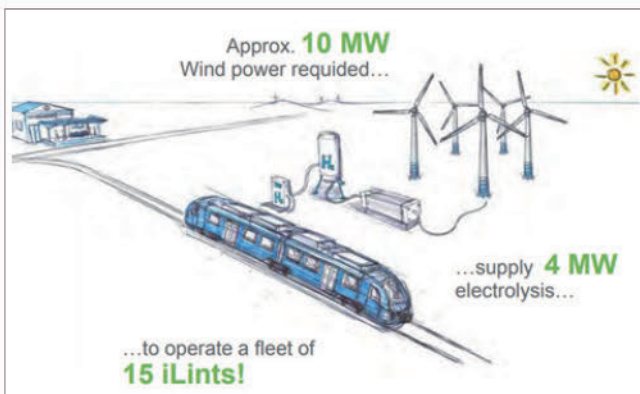


그림 9 수소철도차량 운영을 위한 충전 인프라 솔루션

표 3 프랑스 수소연료전지 여객열차 주요 사양

최고설계속도	140km/h
동력시스템	연료전지-배터리 하이브리드
연료전지	PEMFC 400kW(200kW×2)
연료전지용 전력변환장치	승압형 DC/DC
2차전지	리튬이온배터리 900kW(450kW×2)
2차전지용 전력변환장치	양방향 DC/DC
견인전동기	3상 유도전동기 314kW×2
수소저장용기	Type III, 35MPa, 약 188kg

출처 : Alstom & Hydrogen and Fuel Cells in Passenger Rail Transit, Hydrail Conference, 2017

리튬이온배터리 또한 운행 중 불량 시 모바일 네트워크를 통한 경고 메시지 전달 기능을 겸비하여 인증시험을 무난히 통과하였다. 독일 정부의 전폭적인 지원 덕분에 최소한 독일에 서만큼은 수소연료가 디젤연료보다 경제성에서 다소 앞선 것으로 분석되었으며, 또한 독일 정부는 수소연료사용 확산을 위해 점진적으로 인프라를 구축하기 위한 장기 계획까지 세워 놓고 있어 수소연료의 장점이 더욱 커질 것으로 예측된다.

가속 단계에서 연료전지의 출력은 주로 인버터를 통해 차체 구동 전력 공급에 사용되고 보조 컨버터를 통해 내부 시스템 전력에 사용되며 이 단계에서 리튬이온배터리가 가속도를 향상하기 위해 사용된다. Coradia iLint가 사용하고 있는 수소연료전지 스택은 Hydrogenics사의 제품이며 향후 협력 파트너십을 지속해서 연계할 예정이다.

3.2.2 일본

일본은 원자력, 화석연료 사용의 저감을 위한 신재생에너지의 적극적 활용과 천재지변 등에 따른 국민적 재난 경험 등에 의한 가정 및 병원 등 수소연료전지 자가발전 증가 및 수송용 수소연료전지의 활용 증가 등에 힘입어 철도 분야에서 전철화를 통해 건설비 회수가 어려운 비전철화 영업노선에서 운영될 철도차량 대체 목적으로 개발이 시작되었다.

RTRI와 JR동일본을 주축으로 수소연료전지 철도차량을 개발해 왔다. RTRI는 세계 최초로 2001년부터 3개년씩 3단계(1단계: 30kW 대차구동, 2단계: 100kW 단편성 주행시험, 3단계: 2량 1편성 주행시험)로 나누어 수소연료전지 전동차를 개발하였고 현재까지도 지속해서 관련 연구를 진행하고 있다. 철도 민간회사인 JR동일본은 2006년에 연료전지와 축전지를 조합해 달리는 하이브리드 열차 주행시험을 처음으로 공개하였다.

수소연료전지 전동차는 제동 시 발생하는 에너지를 저장하고 이를 가속 시에 연료전지의 출력 부족에 따라 보충 활용하는

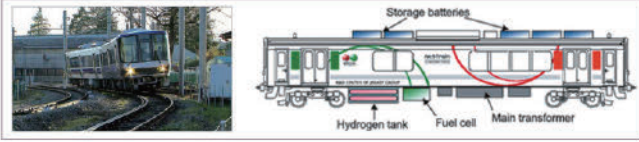


그림 10 일본의 수소연료전지 시험 전동차 및 구성

표 4 일본 수소연료전지 시험 전동차 주요 사양

최고설계속도	100km/h
동력시스템	연료전지-배터리 하이브리드: DC 155V
연료전지	PEMFC 120kW
연료전지용 전력변환장치	승압형 DC/DC(800→1500V, 600kW)
2차전지	리튬이온배터리 36kWh, 360kW
2차전지용 전력변환장치	양방향 DC/DC(600V~1500V, 360kW)
견인전동기	3상 유도전동기 95kW 2대
수소저장용기	Type III, 35MPa, 약 720L

출처: 세계최초의 연료전지 하이브리드 철도차량 개발, KISTI

방식이며 이번 시험차량은 1량으로, 차체 아래에 6개의 수소 탱크와 2개의 연료전지, 그리고 지붕 위에 5개의 축전지를 탑재하고 있으며 최고속도 시속 100km의 사양이나 시험주행에서는 시속 50km의 속도를 검증하였다.

에너지 관리 제어시스템은 차량의 가·감속, 연료전지 발전량 및 축전지의 충·방전량의 제어를 위해 연료전지, 축전지, 수소탱크, 승압 장치, 인버터 등 각종 장치로부터 정보를 집약하고, 수소저장용기는 당시 일본의 법령 적합성과 취급성 등을 고려하여 35MPa 고압 수소저장용기를 채용하였다.

3.2.3 중국

세계 최대 온실가스 배출국이라는 오명을 가지고 있었던 중국에서 '20년까지 3,600억 달러 이상을 신재생에너지 분야에 투자할 계획이고 현재 전 세계에서 가장 많은 풍력 에너지를 생산하고 있으며 청정에너지 분야 투자 규모는 전 세계의 30% 규모로 관련 개발을 지속하고 있다.



그림 11 중국의 수소연료전지 트램 및 구성

표 5 중국의 수소연료전지 트램 주요 사양

최고설계속도	70km/h
동력시스템	연료전지-배터리-슈퍼캡 하이브리드
연료전지	PEMFC 300kW(150kW X 2)
연료전지용 전력변환장치	승압형 DC/DC
2차전지	리튬이온배터리 396V, 20Ah 슈퍼커패시터 528V, 48F
수소저장용기	Type III, 35MPa, 약 10kg

출처: Fuel Cell Based Hybrid Power System Design for a Passenger Tram, 2016

또한, 중국 정부가 내연기관 자동차의 판매·생산 금지 법제화를 논의하기 시작하면서 수소/전기 관련 분야가 강세를 보이며, 관련하여 중국 상해시는 '20년까지 도심에 수소충전소를 5~10개 신규로 설치하고, 3천 대의 수소연료전지 자동차를 보급하겠다는 계획을 발표하였다.

철도차량 제작사 CRRC 칭다오 시팡(Qingdao Sifang)은 '13년부터 수소에너지 관련 전문가들과 함께 기술개발에 힘써 수소연료전지 전동차 응용 방법을 제시하였다. 일본의 수소철도차량과 비교하여 배터리와 연료전지 용량이 2배 이상 증가하였고 35MPa 수소저장용기로 구성하였다. 수소 트램은 750V 직류 전압버스로 수소연료전지는 직류전압을 공급하고, 리튬이온배터리와 슈퍼커패시터는 양방향 동작이 가능하도록 구성하였다. 충돌방지 시스템까지 갖춰져 있으나 아직 항속거리가 짧고 관련 망을 추가로 완비해야 하는 문제점이 남아있다. 최초로 제작한 3량의 수소 트램 Skoda15T는 최대 380명까지 탑승할 수 있으며, 현재 시험 운행 중이다.

3.2.4 미국

화물 철도망을 운영하는 BNSF는 다양한 연료전지 자동차를 개발/시연하는 엔지니어링사 Vehicle Projects INC와 협력을 통해서 '03년부터 미국 국방성의 지원으로 1.2MW의 수소연료전지를 적용한 기관차를 개발해 왔다.

수소전기기관차는 콜로라도 푸에블로(Pueblo)에 있는 트랜스포테이션 테스트 센터(the Transportation Test Center)와 로스앤젤레스 기지에서 실제 철도 환경에 따른 다양한 운전

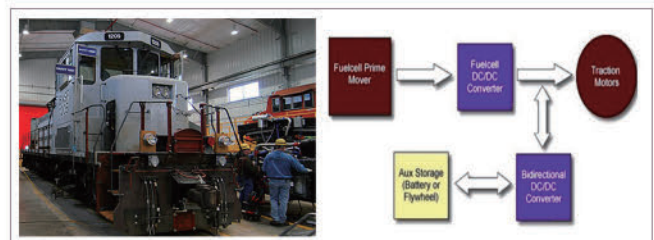


그림 12 미국의 수소연료전지 기관차 및 구성

표 6 미국의 수소전기기관차 주요 사양

최고설계속도	64km/h
동력시스템	연료전지-배터리 하이브리드
연료전지	PEMFC
연료전지용 전력변환장치	승압형 DC/DC
2차전지	납축전지
수소저장용기	Type III, 35MPa

출처: The Employee Magazine of Team BNSF, Jan./Feb. 2008

시험을 진행하였고, 디젤전기기관차와 전기 공급을 위한 인프라 구조에 대한 사회적 비용을 고려하면 수소전기기관차가 대기 환경 규제가 있는 지역들을 위한 가장 저렴한 해법으로 제안되었다.

연료전지 구동 시스템은 BNSF, 미국 국방성 외 다수의 협력 업체 지원을 통해 개발되었으며 기관차-전력망 연계와 같은 시스템으로서 군사용 용도와 대규모의 정전 발생 시에 이용될 수 있다.

수소전기기관차는 기존 디젤 배터리 하이브리드 차량을 기초로 개조하였으며, 탑재된 연료전지는 평균 5.73kg/h로 연료를 소비하고, 구동 효율은 최대 49%이며, 330마력으로 1MW 이상의 전력을 생산해낼 수 있다. 철도차량의 무게는 약 9,000kg이고, 최대 12t의 무게를 운반할 수 있도록 설계되었다.

미국 국방성은 이 시험용 수소전기기관차가 완성되면 민간 재난구조에 차량 동력원의 예비용으로 사용될 수 있을 것으로 계획하였다.

3.2.5 독일

프랑스 Alstom社의 수소 여객열차 Coradia iLint를 세계 최초로 상용화하였으며 독일 교통부는 제작사 Siemens와 Aachen 공대를 수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 '21년 상용화를 목표로 진행하고 있다.

Mireo Plus H 프로젝트에서는 차세대 수소연료전지, 모듈형 수소저장용기, SiC 소자 적용 전력변환장치, 리튬 티타늄 화합물(LTO) 배터리 등을 적용 예정이다.

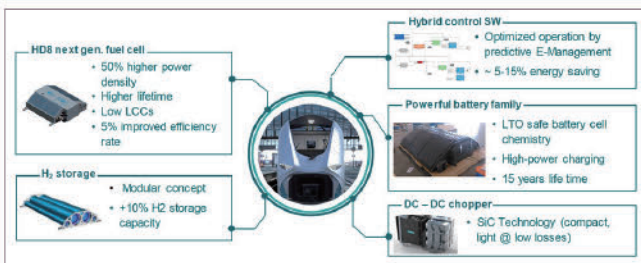


그림 13 독일의 Mireo Plus H 개발 방향



그림 14 영국의 HydroFLEX 및 구성

3.2.6 영국


HydroFLEX라는 영국 최초의 수소철도차량 개발 프로젝트를 진행 중이며 제작사 Porterbrook과 Birmingham 대학이 공동연구를 추진하여 '40년까지 디젤 철도차량 퇴출을 목표로 하고 있다. 현재 HydroFLEX는 기존 전동차 내부에 수소저장용기, 수소연료전지, 2차전지, 전력변환장치 등을 탑재하여 시험 운행 중이다.

영국의 철도망은 유동인구가 많은 지역을 중심으로 전체 노선의 36%가 전철화되었으며, 철도차량은 전기 철도차량 70%, 디젤 철도차량 24%, 겸용(bi-mode) 철도차량 6%를 보유하고 있어서 친환경 수소철도차량으로의 대체 시 경제성을 확보가 가능한 구조이다.

4. 결론

수소연료전지를 적용한 철도차량 추진시스템에서의 전력 변환시스템 기술에 대하여 개략적으로 살펴보았다. 이미 전기추진시스템을 채택하고 있는 철도차량에 수소연료전지를 동력원으로 적용하기 위해서는 대용량, 고출력, 고내구성 등의 철도 운행환경에 적합한 제품들의 개발이 병행되어야 하며 철도 분야 수소 전주기(생산-저장-운송-활용) 기술이 함께 구축되어야 실용화 및 수소 경제 활성화에도 기여할 것으로 예상된다.

수소연료전지와 2차전지 하이브리드 동력시스템은 수소차 중심의 연구개발에서 대용량 응용 분야로의 확대를 위하여 출력, 내구성 등을 개선하여야 하며 이와 연계된 DC-DC 컨버터, 추진제어인버터와 보조전원장치 등의 전장품은 최신 전력전자 기술을 적용하여 소형/경량화/모듈화로 시스템 효율을 향상하고 생애 전주기 비용을 절감하도록 설계되어야 한다. 수소전기차와 비교하면 수소철도차량은 대량 승객/화물

운송수단으로 수소시스템 적용에 따른 화재·폭발에 대한 위험도 분석, 안전성 평가 등의 체계적인 안전 관리가 중요하며 국내 최초로 적용되는 시스템 관련 안전설계나 관리기술의 기반 마련을 위하여 과학적인 위험도 평가 및 시스템 표준화가 필요하다. 또한, 친환경 수소철도차량의 도입으로 수소에너지에 대한 국민 의식 변화에도 이바지할 수 있도록 안전성 홍보에 더욱 큰 노력을 기울여야 할 것이다. 

참고문헌

- [1] M. Ritter and M. Kammerer, "Hydrogen and fuel cells in passenger rail transit," Hydrail Conference, 2017.
- [2] 정현갑, 세계최초의 연료전지 하이브리드 철도차량의 개발, ReSEAT 프로그램.
- [3] C. Weirong, L. Zhixiang, and Z. Xuexia, "Fuel cell based hybrid power system design for a passenger tram," Hydrail Conference, 2016.
- [4] BNSF RAILWAY, The employee magazine of team BNSF, Jan./Feb, 2008.
- [5] Workshop, "Fuel cells and hydrogen in the railway environment," 17 May 2019.

류준형 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부 추진시스템연구팀 책임연구원
 1972년 9월 13일생. 1997년 아주대 제어계측공학과 졸업.
 1999년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박).
 2005년~현재 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부 책임연구원.

