수소 연료전지 철도차량의 기술 동향

Technical Trends of Hydrogen fuel cell railway rolling stock

임성민*, 성순욱*, 이영근*, 김진우*

Sung-Min Lim*, Soon-Wook Sung*, Young-Keun Lee*, Jin-Woo Kim*

ABSTRACT : As the Paris Agreement was adopted in 2015, researches on eco-friendly green energy industries have become active around the world. Among them, hydrogen fuel cells are attracting attention in following three aspects: First, their high energy efficiency of more than 80 percent. Second, easy to supply raw materials. Third, no harmful exhaust fumes to the environment. In the railway industry, various studies have been conducted overseas under the name of Hydrail. This study look at technical trends of overseas railway rolling stocks applied with hydrogen fuel cells. And we suggest the potential and direction of Hydrails in Korea.

Keywords : Hydrogen, Fuel Cell, Hybrid, Rolling Stock, New Renewable Energy, Hydrail

초 록 : 2015년 12월 파리협정(Paris Agreement)이 채택됨에 따라 세계적으로 친환경 그린에너지 산업에 대한 연구가 활발해졌다. 그 중에서도 수소연료전지는 80%이상의 높은 에너지 효율을 가지고 있으며 원료 공급이 용이하고 환경에 유해한 배기가스를 전혀 배출하지 않는다는 점에서 주목을 받고 있다. 철도산업에서도 해외에서는 수소열차(Hydrail)라는 이름으로 여러 가지 연구가 진행되어왔다. 따라서 본 연구에서는 수소연료전지를 적용한 해외 철도차량의 기술 개발 현황 을 조사하고 우리나라 수소열차의 가능성과 방향성을 제시한다.

주요어 : 수소, 연료전지, 하이브리드, 철도차량, 신재생에너지, 수소열차

1. 서 론

2020년 만료 예정인 교토의정서를 대체하는 파리협정(Paris Agreement)이 2015년 12월에 채택됨에 따라 세계적으로 온실가스 배출 대책에 대한 연구가 활발해졌다.[1] 우리나라에서도 유해 배출가스 및 미세먼지에 대한 문제가 가시적으로 드러나며 국민적 관심이 커졌다.[2] 뿐만 아니라 화석연료의 경우 유가에 따른 가격 유동이 크며 3~40년 이내에 한정된 연료의 고갈이 예상되므로 대안이 시급한 상황이다.[3] 그 대안 중 한 가지가 디젤 연료 등의 화석에너지의 사용을 줄이고 친환경 그린에너지를 사용하는 것이다. 그 중에서도 수소연료전지는 에너지 효율이 80% 이상에 달하는 높은 효율성을 가지고 있으며 원료인 수소의 공급이 용이하고 환경에 유해한 배기가스를 전혀 배출하지 않는다는 점에서 주목받고 있다.[4] 철도산업의 경우 해외에서는 수소열차(Hydrail)라는 이름으로 수소 연료전지 하이브리드 동력을 적용한 기관차 및 트램(Tram) 등이 개발되어 상용화를 진행하고 있다.[5][6]

따라서 본 연구에서는 수소연료전지 철도차량의 해외 기술 사례를 분석하고 우리나라 미래 철도 산업으로의 수소열차의 가능성과 방향성을 제언하고자 한다.

* 한국철도공사 연구원 기술연구처

2. 본 론

2.1 수소 연료전지 철도차량의 개요

수소 연료전지 철도차량(Hydrogen fuel cell railway rolling stock)은 수소를 구동 에너지로 사용하는 연료전지 열차의 철도 차량으로 정의된다.[7]

수소 연료전지 철도차량은 연료전지 시스템, 수소 저장장치, 전장장치로 구성되어있으며 연료전지 시스템에는 연료전지 스택, 수소 공급장치, 공기 공급장치, 열관리장치 등이 포함되어있다.[8] 또한 수소 연료전지 시스템과 별도로 이차전지 구동 배터리를 내장하고 있으며 이 배터리는 주로 연료전지 스택 또는 구동장치의 회생제동을 통해 발생한 전기를 일시적으로 저장하는 기능을 수행한다.[8]

Fig. 1 Hydrogen fuel cell railway rolling stock

2.2 해외 수소 연료전지 철도차량 기술 동향

철도차량에 수소연료전지 기술이 최초로 적용된 것은 2002년 캐나다 퀘벡(Quebec)주의 발도르 (Val-d'Or)지역에서 시연된 수소동력 컨셉(concept) 채광 기관차이다.[9] 이듬해인 2003년 미국교통부 초청 강연에서 수소열차(Hydrail)라는 용어가 처음 언급되었으며 2004년 국제수소저널에서도 이 용어가 사용되었다.[5][10] 2005년부터 국제 수소열차 컨퍼런스(International Hydrail conference)가 개최되며 본격적으로 연구되기 시작하였다. 2006년에 동일본 철도회사(JR-East)에서 세계 최초로 수소 연료전지와 축전지를 동력으로 하는 하이브리드 철도차량을 개발하여 주행시험을 공개했다.[11][12] 시험차량은 1량으로 최고 설계속도는 100km/h이며 시험주행에서는 50km/h로 검증하였다. 수소저장용기는 당시 법령 적합성과 취급성 등을 고려하여 35Mpa 고압수소용기를 사용하였다.[13] 연료전지는 자동차용으로 개발된 65KW 출력의 고분자전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) 2대를 탑재하였으며 기존의 디젤 하이브리드 열차에서 디젤과 발전기를 연료전지로 경유탱크를 고압수소탱크로 대체하고 컨버터를 승압장치로 개조하는 것으로 개발되었다.[13] 이후 2009년 미국 텍사스 주 BNSF(Burlionton Northen Santa Fe) 철도에서 최대 속도 64km/h 에 127톤의 무게를 운반 할 수 있는 납축전지 수소 연료전지 스위처(Switcher) 기관차 HH20B를 개발했으며 이는 구동효율 49%로 330마력에 1MW 이상의 전력을 생산 가능한 수소연료전지 열차이다.[14] 2015년에는 중국 CRRC 칭타오 시팡(China Railway Rolling stock Corporation 青島市委)社에서는 수소연료전지 추진 트램(Tram) Skoda15T를 발표하였고 현재 탕산(唐山) 지역에서 시험 운행 중이다.[6][15] 3량으로 구성된 이 트램은 380명까지 탑승이 가능하며 최고 속도는 70km/h이고 1회 3분 수소충전으로 100km까지 주행이 가능하다. 전체적인 시스템은 일본 하이브리드 철도차량과 유사하며 그와 비교하여 연료전지의 용량은 2배 이상 증가하였지만 수소탱크의 경우는 기존과 동일하게 35MPa를 사용하였다.[6] 750V 직류전압 버스로 수소연료전지는 직류 전압을 공급하고 리튬이온 배터리와 슈퍼 커패시터 배터리는 공급과 회생이 가능하도록 구성하였고 전동기는 가변전압 가변주파수(VVVF, Variable Voltage Variable Frequency) 제어 기술로 동작하도록 구성하였다.[6] 현재 일본정부는 인프라 구축이 우선이라고 판단하고 수소 경제사회 뛰어들기 정책 등으로 운영 환경을 구축하고 있다.[6][11][12] 2016년 프랑스 철도회사 알스톰(Alstom)에서는 국제철도기술박람회(InnoTrans)에서 수소열차 코라디아 아이린트(Coradia iLint)를 공개하였다.[16] 코라디아 아이린트의 설계 최고 시속은 140km/h이며 최고 운행속도는 100km/h이다.[16] 기존 디젤열차와 비교하여서 가속 및 제동, 승객 수용 등에서 큰 차이가 없으며 수소저장탱크를 지붕에 장착하였다. 1량에

94kg의 수소를 저장 할 수 있으며 1회 충전으로 600~800km까지 주행이 가능하다.[16] 이에 독일, 영국 등에서 코라디아 아이린트 운행계약을 체결하였다.[15] 영국에서는 2021년 이내에 수소열차를 운행할 예정이며 노후화된 100대의 디젤기차를 수소기차로 교체하는 사업을 시작한다. 영국 조 존슨(Jo Johnson) 철도부 장관은 2040년까지 영국의 3900대의 디젤기차를 폐기시킬 것이라고 발표했다.[15] 이외에도 캐나다 온타리오(Ontario)나 오스트리아 빈(Wein)에서도 전차선 가설이 힘든 노선이나 입환용(入換用) 기관차 활용을 목적으로 수소 연료전지 기관차의 개발을 진행하고 있다.[15]

3. 결 론

본 연구에서 알아본 바와 같이 수소연료전지열차는 각국에서 꾸준한 연구개발이 이루어져 왔으며 최근에는 디젤열차와 비교하여 성능 및 승객 수용 등에 큰 차이가 없는 수준에 이르렀다. 또한 전차선 가설이 힘든 노선이나 입환용 기관차 등에 적용하기 위한 수소열차 개발이 활발하게 진행되고 있다.

수소연료전지는 자체 발전이 가능하고 원재료인 수소의 공급이 용이하며 유해한 배기가스를 전혀 배출하지 않아 친환경 에너지원으로 각광을 받고 있다. 공기오염의 주범이며 고갈의 위험성이 있는 화석에너지의 대체 에너지로 적절하다. 특정지역에 매장된 양에 따라 영향을 받는 화석연료와는 달리 기술력이 곧 에너지인 수소연료전지 기술은 지하자원이 부족한 우리나라의 경우 적합하며 매우 매력적인 에너지임에 틀림없다. 이미 자동차 분야에서는 2018년 3월에 2세대 수소 연료전지 자동차인 넥쏘(NEXO)를 출시하였고 국내에서 주요 부품기술을 확보하여 기술 개발을 선도하고 있다.[15] 수소 연료전지의 적용분야는 자동차뿐만 아니라 발전, 우주, 항공, 선박에서부터 지게차, 드론 등에 이르기까지 다양한 산업으로 확산되고 있다.

철도산업의 경우 디젤열차의 경우 유해배출가스 배출로 인하여 대기오염에 악영향을 끼치고 있으며 화석연료의 고갈을 고려하여 대체 방안이 필요하다. 또한 많은 수량의 디젤열차가 노후화되어 있어 대체가 필요한 상황이다. 전동열차의 경우 그 특성에 따라 고압 전차선의 인프라가 요구된다. 이를 구축하는데 들어가는 비용과 유지보수 비용이 적지 않은 편이기 때문에 탑승객이 많지 않은 일부 구간의 경우 전차선 인프라 유지관리적인 측면에서 큰 손실을 감수 할 수 밖에 없는 실정이다.

수소열차는 전동열차에 대비하여 고압 전차선 설비 등이 요구되지 않아 인프라 구축 설비 투자비용이 약 50%에 불가하며 유지관리 비용 또한 절반가량 줄어들 것으로 추정된다.[17] 즉, 초기 수소열차의 도입비용은 들지만 차선 설비 인프라 등이 필요하지 않은 점과 철도차량의 평균 수명인 20~40년을 기준으로 하여 유지비용 등에서 크게 절감할 수 있다는 점에서 경제적인 경쟁력을 가진다.[15] 이에 따라 이미 독일, 영국 등에서는 노후화된 디젤열차를 대체하는 대안으로 수소열차가 그 자리를 차지하고 있다. 비전철화 구간과 입환용 기관차, 그리고 고속열차가 요구되지 않는 일부 구간에서 수소열차는 충분한 경쟁력을 가질 것으로 판단된다.

수소열차가 운행이 되기에는 성능, 안전, 법령, 정책, 인프라 등 아직까지 많은 부분에서 검토가 필요하다. 하지만 다가오는 수소 경제사회에서 수송산업의 주요 분야인 철도산업 또한 경쟁력을 갖추어야 할 것이며 이를 위하여 정부, 관련기업, 연구소, 대학 등에서 적극적으로 참여하고 정보를 교류하여야 수소열차의 실용화를 앞당길 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업 “수소연료전지 하이브리드 동력시스템[1.2MW이상]을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용기술개발” 2세부 수소연료전지 하이브리드 철도차량 운영 및 관리방안 연구(18-RTRP-B146016-01) 사업의 연구비로 수행한 결과입니다.

참고문헌

[1] 김재경(2017),「자동차의 전력화(electrification) 확산에 대비한 수송용 에너지 가격 및 세제 개편 방향 연구」, 에너지경제연구원 기본연구보고서 17-18

[2] 관계부처 합동(2017) 미세먼지 관리 종합대책

[3] 고동균(2012) 정적연소기내 HLPG 연료의 연소 및 배출가스 특성에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 국민대학교 pp.12-45

[4] Shell(shell Deutschland Oil Gmbh)(2017) Energy of the Future? : Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2, *Shell Hydrogen Study*.

[5] Grey, Eva.(2016) German state thrusts hydrogen-powered hydrail into the spotlight, railway-technology.com

[6] Bloomberg(2015) Powered future starts in trams, not cars.

[7] 한국철도기술연구원(KRRI)(2006), 수소연료전지 철도차량(TRAIN POWERED BY HYDROGEN FUEL BATTERY USING IONIZATION REACTION OF HYDROGEN), 특허 등록번호 1008381770000

[8] 이주영(2017) 수소전기차 바람이 분다-②수소전기차 부품, 어디에 어떤 제품 사용되나, 월간수소경제 2017년 10, 11호, pp.28-32

[9] Sandia National Laboratories(2004) Fuel Cell Powered Mine Locomotive.

[10] Stan Thompson and Jim Bowman(2004) The Mooresville Hydrail Initiative, International Journal of Hydrogen Energy 29(4): 438, in "News and Views" (a non-peer-reviewed section)

[11] East Japan Railway Company(2006, Accessed 6 Feb 2011) Development of the World's First Fuel Cell Hybrid Railcar.

[12] Hydrail comes of age(2018) railengineer.uk.

[13] 古田 良介, 中神 匡人(2007) 世界初の燃料電池ハイブリッド鐵道車輛の開發, 「自動車技術(日本)」, 61(9), pp.107~112.

[14] BNSF Railway(2009) BNSF Railway and Vehicle Projects Demonstrate Experimental Hydrogen-Fuel-Cell Switch Locomotive.

[15] http://www.h2news.kr

[16] Doll, Von Nikolaus(2016) Erster Wasserstoff-Zug der Welt fahrt in Deutschland, welt.de

[17] Angelo Moreno(2018) Status of hydrogen and fuel cell technology development and supply in Europe, International Gas Safety Seminar