

수소트램용 스택 열관리 시스템 분석에 관한 연구

이호성*, 전한별*, 조연호**, 구영모**, 박종원**
*한국자동차연구원 융합연구본부 열제어연구센터
**지엠비코리아 연구3팀
e-mail:leehs@katech.re.kr

A Study on Thermal Management System for the Stack on Hydrogen Electric Tram

Ho-Seong Lee*, Han-Byeol Jeon*, Yeon-Ho Cho**, Young-Mo Goo**, Jong-Won Park***
*Thermal Management Research Center, KATECH
**Future Powertrain Technologies Research Laboratory, KATECH
***3rd Tem, GMB Korea

요약

본 연구에서는 200kW급 연료전지 시스템을 사용하는 수소트램에 대한 열관리 시스템에 대한 새로운 레이아웃을 제안하였고, 성능에 대한 분석을 위해, 해석적 및 실험적으로 연구를 진행하였다. 판형열교환기를 사용하여, 수소트램의 높이 제한에 대응할 수 있고, 열교환 성능 측면에서도 적절한 수준을 보인다는 것이 해석적으로 검증되었다. 제시된 열관리 시스템의 핵심부품인 판형열교환기에 대한 성능 분석을 진행하였을 때, 200kW의 연료전지 운전에도 열관리 성능이 확보될 수 있을 것으로 실험적으로 검증되었다. 추후에 판형열교환기의 성능 데이터 베이스를 만들어서, 1D 해석에 적용하고, 열관리 시스템 최적운전에 대한 연구를 진행할 예정이다.

Key words : Thermal management system(열관리 시스템), Plate heat exchanger(판형열교환기), Heat capacity(방열 성능), 1D simulation(1D 해석), Hydrogen electric tram (수소트램)

Nomenclature

cp : specific heat [kJ/kg·k]
m : mass flow rate [kg/h]
T : temperature [°C]
Q : heat capacity [kW]

Subscripts

c : coolant
i : inlet
o : outlet

1. 서론

현재의 운송수단에서 가장 널리 사용되고 있는 자동차의 경우 이제까지 화석연료 기반의 에너지를 사용하고 있어서, 심각한 환경오염문제와 화석연료의 고갈이라는 문제를 안고 있다. 이러한 이유로 전 세계적으로 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지원의 개발에 많은 노력을 하고 있고, 그 결과로 전기 자동차와 연료전지 자동차와 같이 무공해 전기에너지를 사용하는 차량의 개발이 많은 주목을 받고 있다. 연료전지 자동차는 전기동력을 활용하여서, 구동원으로 활용하고 있기 때문에, 구동원이 아닌 소모동력의 사용을 최

소화하여야, 연비가 향상되는 효과를 볼 수 있다. 연료전지 트램의 경우도, 연료전지 시스템으로부터 발전되는 전기에너지를 활용하여, 전기동력원으로 사용하여, 화석연료의 사용을 줄이기 위한 운송수단의 일부가 되었다. 그렇지만, 수소트램의 경우, 터널 통과등으로 인하여, 높이 제한이 있는데, 연료전지 시스템의 효율운전시 필요한 열관리 시스템 입장에서는 불리한 상황이다.

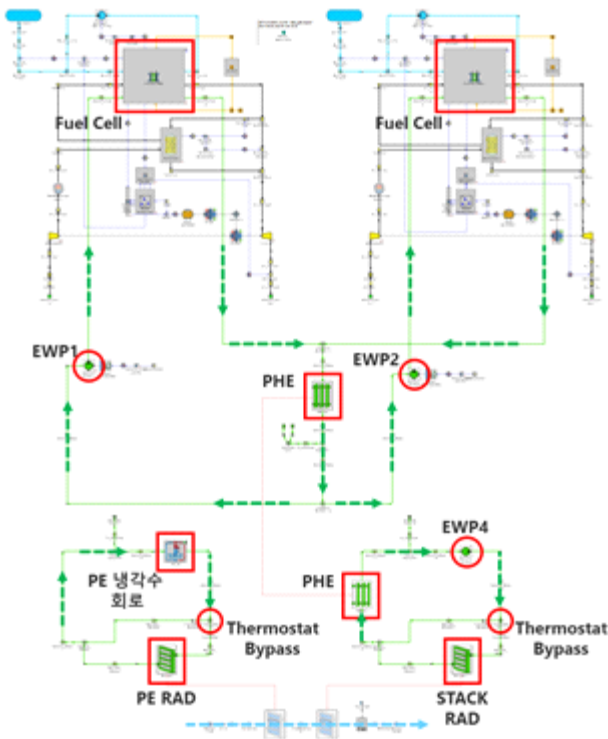
연료전지를 운송수단에 적용하였을 때, 내연기관 차량과 비교해 열효율이 우수하지만, 배기 손실이 적기 때문에, 냉각 손실이 매우 크다. 게다가 일반적으로 연료전지의 허용 수온은 내연기관과 비교해 낮게 설정되기 때문에, 라디에이터의 냉각수 입구온도와 공기측 입구온도의 온도차를 크게 할 수 없다. 이러한 이유에 의해, 연료전지차량에 탑재되는 라디에이터는 내연기관 차량에 비해 2배 이상의 방열량이 요구된다.^(1~3) MatthewH.Fronk[1]는 비슷한 용량의 내연기관 자동차 대비 연료전지 자동차의 냉각성능을 향상시키기 위한 냉각시스템 설계적인 측면과 차량의 운전조건에 영향을 대해서 연구를 수행하였다. 또한 열관리 시스템중에서 스택 냉각 시스템의 성능을 확보하고자 하는 연구들이 많이 진행이 되어서, 한재영 등(4)의 논문의 경우, 연료전지 열관리시스템에 대한 동적 거동을 해석적 연구를 수행하였다. 수소트램의 열

관리 시스템에 대한 기존 연구들이 부족한 상황에서 본 연구에서는 수소스택의 높이 제한에 걸리지 않고, 열관리 성능을 확보할 수 있는 시스템의 개발을 위해서, 대형 판형 열교환기를 사용하여, 열관리 시스템을 통합화 하는 새로운 시스템을 제안하고자 한다.

본 연구에서는 새로이 제안된 수소스택용 연료전지 열관리 시스템에 대한 해석적인 연구를 진행하고, 실험적으로 검증할 예정이다.

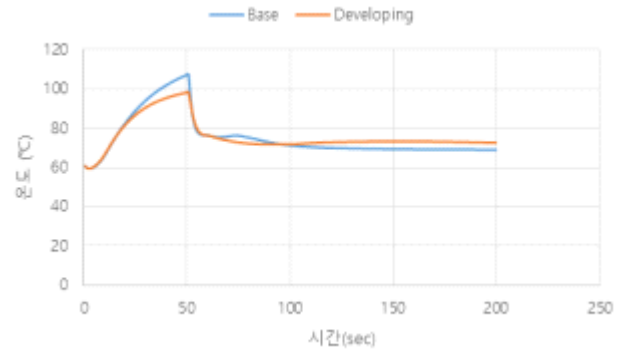
2. 해석 모델 및 해석 결과

200kW급 수소스택 연료전지 시스템 열관리 시스템은 Fig.1에서 보여주는 것 처럼, 스택을 통과한 냉각수가 판형 열교환기를 거쳐서, 대용량 라디에이터를 거쳐서, 최적 온도로 스택에 다시 들어가기 위하여, 구성되어있다. 본 연구에서는 상기 핵심부품들에 대한 1D 해석 모델링을 구축하였고, 기존의 100kW급 스택 2개를 병렬로 연결하여, 진행한 시스템 대비 비교 분석을 해석적으로 접근하였다.



[Fig. 1] Thermal management system with plate heat exchanger for hydrogen electric tram

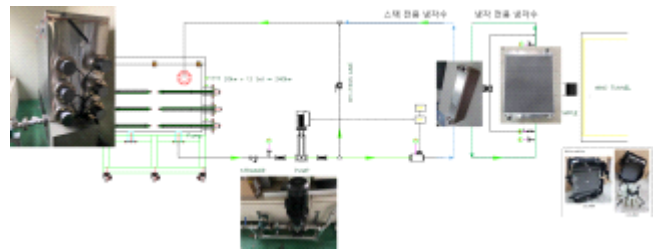
기존 시스템과 새로 제안된 시스템과의 비교 분석은 200kW의 연료전지 시스템 운전을 진행하였을 때, 냉각수 온도 변화 특성을 분석하였다. Fig. 2는 기존 시스템과 개발 시스템과의 냉각수 온도 변화 특성을 비교한 것으로, 새로운 시스템의 경우, 스택 냉각수 온도가 약 9%정도 더 낮아지는 결과를 보이고 있다.



[Fig. 2] Coolant temperature variation when operating 200kW fuel cell system

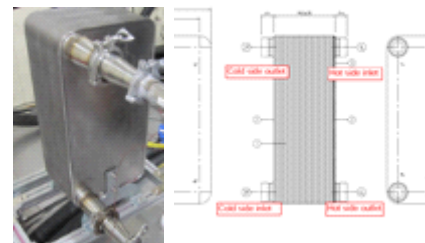
3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 100kW 연료전지 시스템 2개 운전시 병렬로 연결된 열관리 시스템을 직렬 연결하는 단순한 시스템으로 만들기 위해서, 판형열교환기를 사용하였다. 판형열교환기를 적용하였을 때의 성능 변화 특성을 알아보기 위해서, 실험 장치를 구축하였고, 200kW급 연료전지가 운전되었을 경우의 성능 특성을 분석하였다. Fig. 3은 판형열교환기를 적용한 열관리 시스템에 대한 성능 특성을 평가할 수 있는 평가 장치의 개략도를 보여주고 있다.



[Fig. 3] Schematic of Thermal management system with plate heat exchanger for hydrogen electric tram

Fig. 4는 본 연구에서 활용한 대용량 판형열교환기의 형상 및 제원을 제시하고 있다.



[Fig. 4] Tested plate heat exchanger for 200kW hydrogen electric tram's thermal management system

수소스택의 운전조건인 냉각수입구온도 60°C, 냉각수 유량 400 liter min⁻¹ 조건에서 방열량 식(1)에 의해서 분석되었고,

약 180.1kW를 보여주고 있어서, 수소트램이 200kW 연료전지 시스템 운전을 하여도, 판형열교환기에서 충분한 방열이 가능하다는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다.

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (1)$$

4. 결론

본 연구에서는 200kW급 연료전지 시스템을 사용하는 수소트램에 대한 열관리 시스템에 대한 새로운 레이아웃을 제안하였고, 성능에 대한 분석을 위해, 해석적 및 실험적으로 연구를 진행하였다.

- 1) 판형열교환기를 사용하여, 수소트램의 높이제한에 대응할 수 있고, 열교환 성능 측면에서도 적절한 수준을 보인다는 것이 해석적으로 검증되었다.
- 2) 제시된 열관리 시스템의 핵심부품인 판형열교환기에 대한 성능 분석을 진행하였을 때, 200kW의 연료전지 운전에도 열관리 성능이 확보될 수 있을 것으로 실험적으로 검증되었다.

추후에 판형열교환기의 성능 데이터 베이스를 만들어서, 1D 해석에 적용하고, 열관리 시스템 최적운전에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 자동차산업기술개발사업(수소전기트램실증 사업, 과제번호 : P0018649)에 의해서, 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이호성, 김정일, 이무연, “연료전지 스택 폐열 활용 전동식 히트펌프 시스템 난방 성능 특성 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 19권 12호, pp. 924-930, 2018년.
- [2] Matthew H. Fronk, David L. Wetter, David A. Masten, Andrew Bosco, “PEM Fuel Cell System Solutions for Transportation”, SAE 2000 World Congress, No.2000-01-0373, 2000.
- [3] Toshihiro Yamashita, Takayuki Ishikawa, Hitoshi Shimonosono, Minoru Yamada, Mitsuru Iwasaki, “The development of the cooling system for FCV”, 2004 JAMA annual conference, No.88-04, 2004.
- [4] J.Hager, L.Schickmair, “Fuel cell vehicle thermal

management system simulation in Contrast to conventional vehicle concepts”, 2005 SAE International.