

연료전지 자동차용 TMS 히터 개발

한수동[†] · 김성균 · 김치명 · 박용선 · 안병기
현대자동차

Development of Thermal Management System Heater for Fuel Cell Vehicles

SUDONG HAN[†], SUNGKYUN KIM, CHIMYUNG KIM, YONGSUN PARK, BYUNGKI AHN
Hyundai Motor Company, 104 Mabuk-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-912, Korea

Abstract >> The TMS(Thermal Management System) heater in a fuel cell vehicle has been developed to prevent a decline of fuel cell durability and cold start durability. Main functions of the COD(Cathode Oxygen Depletion) heater are depletion of oxygen in a cathode as heat energy and consumption of electric power for rapid warming up of a fuel cell stack. This paper covers subjects including the design specification of a heater, heater controller for detection of overheat and reliability assessment including coolant pressure cycle test of a heater. To verify the design concept, burst pressure and deformation analysis of plastic housing were carried out. Also, temperature distribution analysis of heater surface and coolant inside of housing were carried out to verify the design concept. By designing the plastic housing instead of a steel housing, the 30% weight lightening and 50% cost reduction were attained. A module-based design of a TMS system including a heater or reducing the watt density of a heater is a problem to be solved in the near future work.

Key words : Fuel cell vehicles(연료전지 자동차), Thermal management system(열관리 시스템), TMS heater(열관리 시스템 히터), Fuel cell cold start(연료전지 냉시동)

1. 서 론

친환경 자동차의 개발이 지구 온난화와 미래 화석 연료의 고갈 해소에 큰 대안으로 떠오르고 있는 가운데, 연료전지 자동차는 친환경 자동차의 최종 개발 단계로 검토되고 있다. 연료전지 자동차는 기존의 가솔린/디젤 엔진 대신 연료전지 파워트레인이 장착되며, 주요 구성요소로는 연료전지 스택, 운전장치 시

스템, 전기동력 시스템, 제어시스템 등이 장착된다. 이 중에서 운전장치 시스템은 스택 운전에서 필수적인 시스템으로서, 열관리 시스템, 공기 공급 시스템, 수소 공급 시스템으로 구성된다¹⁻⁶⁾.

열관리 시스템에는 냉각수를 순환시키는 물펌프, 냉각수 온도에 따라 유로를 결정해 주는 3방 밸브, 냉각수 전기 전도도 유지를 위한 냉각수 이온 필터, 실내 공조 장치, 냉각모듈, 스택 냉시동성 및 내구성 향상을 위한 TMS 히터(COD 히터) 등으로 구성된다. 본 논문의 연구목적은 연료전지 스택의 내구성 향상 및 저온 시동성 개선을 위해 연료전지 냉각수 승용 COD 히터를 개발 적용하고자 하는데 있다. 개발

[†] Corresponding author : musma97@hyundai.com
[접수일 : 2012.8.8 수정일 : 2012.10.8 게재확정일 : 2012.10.26]
Copyright © 2012 KHNES

의 상세 내용으로 히터 사양, 하우징 내압 설계, 히터 과열 방지 제어기 적용, 강성 및 열유동 해석, 신뢰성 평가, 연료전지 차량 적용 효과 등에 대해 자세히 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 TMS 히터 개발 배경

일반 가솔린/디젤 엔진에서는 피스톤의 흡입/압축/폭발/배기의 4행정을 거치는 동안 크랭크축이 동력을 얻고 이러한 기계적 출력으로 주행을 하게 된다. 연료전지 자동차에서는 수소와 산소의 화학적 반응을 통해 얻어진 전기에너지로 모터를 구동시켜 연료전지 차량을 구동하게 된다. 수소와 산소를 반응시키면 전기에너지와 함께 부수적으로 물이 생성되는데 이는 저온 환경에서 결빙을 하게 되어 냉시동시 장애요인으로 작용하게 된다.

연료전지 스택이 일정 온도 이하에서 장시간 작동하게 되면 스택의 내구성이 떨어지게 되며 냉시동시 유로 결빙 현상이 발생하게 된다. 또한 차량의 Shut down시 스택 내 잔류 수소/산소를 제거해 주지 않으면 이 또한 스택 열화에 악영향을 주게 된다. 이러한 이유로 인해 열관리 시스템 내에 COD 히터를 장착하여 냉시동시 스택 부하 소모, 냉각수 승온, 차량 Shut down 시 스택 내 잔류 수소/산소를 제거하는 기능을 하게 하였다.

COD 히터는 히터 기능별로 start up(이하 S/U), shut down(이하 S/D), warm up(이하 W/U), cold start(이하 C/S) 등으로 분류하였고, 필요시 각 릴레이 ON/OFF 제어를 통해 동작하도록 구현하였다.

Fig. 1은 히터를 포함한 열관리 시스템의 개략도이다. 열관리 시스템 루프는 냉각수온이 낮은 경우 라디에이터를 거치지 않고 바이패스하게 되며 냉각수온이 높은 경우 라디에이터를 거쳐서 냉각을 시키게 된다. 또한 공조히터와 이온 필터를 지나는 분기 루프는 실내 난방과 냉각수 전기 전도도 유지를 위해 항상 냉각수가 흐르는 루프이다.

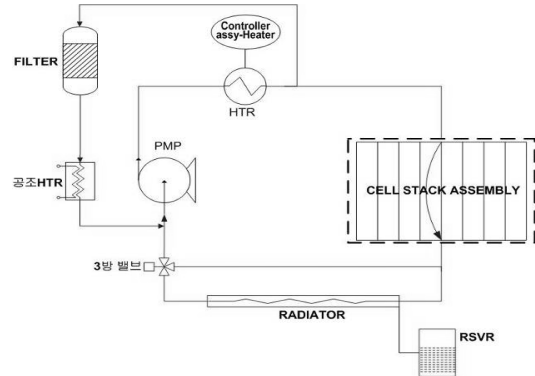


Fig. 1 Thermal management system (TMS) for fuel cell

2.2 히터 설계 사양 및 구조

2.2.1 히터 사양

100kW급 연료전지 차량은 스택 냉시동 기준 전체 스택 전압에서 스택 냉시동 부하 소모 전류를 20~50A 급으로 설계하였다. 그리고 합성 저항은 전체 발열량을 히터 표면적의 발열 밀도를 고려하여 최적화를 진행하였다. 여러 개의 히터를 병렬로 연결한 후, 필요시 다단 제어를 할 수 있도록 C/S, S/D용으로 각각 분류하였다. 각각의 히터는 스택 운전시 3kW급 이상까지 발열할 수 있으며, 이는 산업용 히터의 발열량에 비해 매우 고밀도 발열이라 할 수 있다. 따라서 냉각수 미순환시 또는 히터 표면의 공기 노출시에는 히터가 소실되는 경우가 발생할 수 있다. 히터 ON의 조건에서는 냉각수 순환여부 및 냉각수 리크를 필히 점검하여야 하는데 이는 차량 운전시 매번 점검이 불가능하므로 히터 자체 표면온도를 기준으로 과열 감지용 제어기를 장착하게 되었다.

2.2.2 히터 과열 방지

히터 내부에 열전온도계를 삽입하면 히터 내부 온도 변화에 비례하는 기전력 출력을 내게 된다. 히터 온도가 올라가면 그에 따라 기전력 출력도 증가하게 되는데, 만약 설정된 기전력값 이상의 전압출력을 나타내게 되면 히터 과열로 판단하여 히터의 전원부 릴레이를 OFF시키는 로직을 구현하였다. 표면이 냉

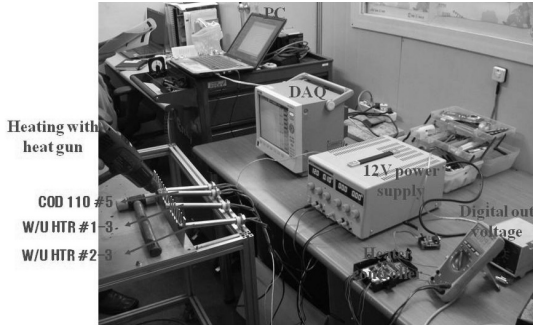


Fig. 2 Experimental set-up for overheating test of a heater

각되어 다시 기준 전압 이하의 출력을 내게 되면 다시 릴레이를 ON하여 히터를 작동시키게 된다.

Fig. 2는 히터 과열 모사 실험 사진이다. 과열 모사는 개별 히터들을 히팅건으로 가열하여 히터 표면온도가 40°C가 되면 히터 과열로 판단하여 제어기 전압 출력을 5V에서 0V로 낮춰서 출력 신호를 내보내게 된다. 그러면 차량의 연료전지 통합 제어기에서 히터 과열로 판단하여 히터부 전원 릴레이를 OFF시키게 된다. 다시 히터가 냉각이 되면 출력전압이 5V가 되고 다시 히터 전원부 릴레이를 ON시키게 된다.

Fig. 3은 개발 완료된 히터 과열 방지 제어기의 실험 결과 그래프이다. 실험은 히터 과열 상황을 모사하기 위하여 히팅건으로 각 히터를 가열하여 히터 표면 온도를 설정 온도 이상으로 올려 각각의 기전력 출력을 얻었다. 3개의 히터 중 1개라도 설정 전압 이상의 출력을 내게 되면 히터 과열 상황으로 판단하여 히터 제어기는 0V 전압 출력을 내게 된다. 이 전압 신호는 연료전지 통합 제어기로 보내져 COD 히터의 전원 릴레이를 OFF하는 기능을 하게 된다. 히터 표면의 과열 판단 온도는 차량 적용시 150°C 이상으로 설정하였으며, 히터군 중 하나라도 150°C 이상에 해당하는 기전력 이상의 전압 출력시 과열로 판단하게 된다. 히터 표면이 냉각되어 기전력 출력이 모두 설정 전압 이하로 되면 다시 히터 제어기 출력은 5V로 높아지게 되는 것을 볼 수 있다. 이러한 과열 감지 로직을 적용한 제어기를 차량에 장착함으로써 히터 과열 감지를 실시간으로 모니터링하여 히터

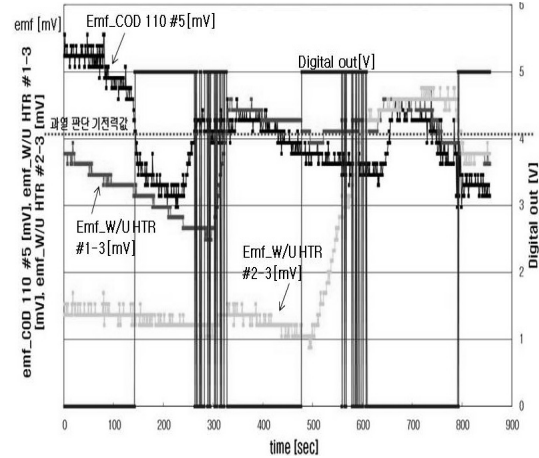


Fig. 3 Experimental result for overheating test of a heater

과열로 인한 화재 위험성을 원천적으로 방지하고자 하였다. 히터 제어기 역시 진동 내구 시험을 포함한 환경 내구 시험을 완료하였다.

2.2.3 냉각수 내압 및 강성 설계

COD 히터 설계시 히터 측면에 이온 필터를 장착하였는데 진동시 하우징 크랙으로 인한 냉각수 리크 방지를 위하여 내부 인서트를 하우징과 띄워서 장착하게 설계하였다. 이러한 구조로는 U클립을 비롯한 다른 대안도 많이 있다.

또한, 기존 연료전지 자동차의 온도나 압력센서는 NPT 나사산을 이용한 방식으로 장착을 하였는데 플라스틱 바디부가 크랙 나는 경우가 발생해 냉각수 리크가 발생하곤 했다. 이러한 단점을 보완하기 위해 측면 오링 씬을 적용하고 클립으로 하우징에 고정하게 되었다.

Fig. 4는 상기 냉각수 내압 및 강성 설계를 하여 제작된 샘플을 가지고 내부 냉각수 압력 사이클 실험을 진행한 사진이다. 작동 유체는 변속기 오일을 사용하였으며 작동온도 50°C 이상, 압력변화 0~2.0bar(G), 압력주기 3초 이내, 시험 사이클 수 50,000회 이상을 진행하였다. 총 압력사이클 50,000회 이상을 시행한 후 샘플의 변형, 균열, 파손, 누수 등을 확인한 결과 이상이 없음을 확인하였다.

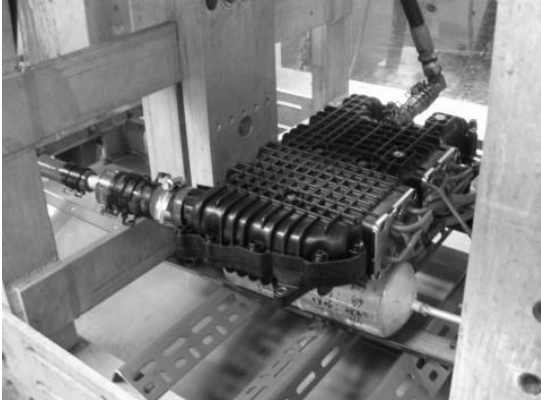


Fig. 4 Experimental set-up for coolant pressure cycle

2.2.4 히터 하우징 강성 해석

연료전지 차량 패키지 레이아웃을 고려하여 부피와 중량을 축소하기 위해 COD 히터는 스택과 직접 체결되도록 설계하였다. 히터에는 스택의 고전압이 바로 인가가 되므로 스택의 전기적 절연 성능을 확보하고 경량화를 실현하기 위하여 하우징을 플라스틱으로 설계하였다. 초기 SUS 하우징의 부품을 플라스틱으로 설계하였을 때 냉각수 내압에 의한 부풀음 및 크랙으로 인한 냉각수 리크가 다수 발생하여 품질확보에 어려움이 많았다.

Fig. 5는 초기 SUS 하우징을 플라스틱 하우징으로 설계 변경한 과정을 나타낸다. 하우징을 히터가 삽입되는

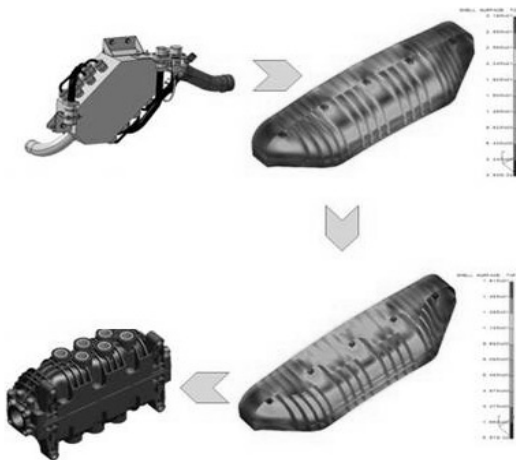


Fig. 5 Stiffness analysis of a heater housing

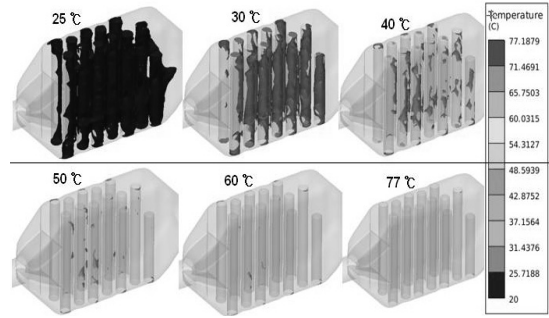


Fig. 6 Temperature distribution analysis of a coolant

길이 방향으로 파팅을 나눌 경우 내압에 의한 부풀음이 매우 심하게 되어 히터가 삽입되는 방향의 수직 방향으로 파팅을 나누는 컨셉으로 설계를 진행하게 되었다.

파팅을 나눈 후 반쪽 모델을 가지고 강성해석을 진행하였다. 해석은 NASTRAN을 이용하여 진행했으며, 하우징 내부에 50°C 이상의 냉각수 2bar(G)를 가한 후 하우징 부풀음 현상을 해석하였다. 내압에 비교적 강한 C형의 하우징 형상을 적용하고 볼트가 체결되는 곳은 리브를 세우고 이중 격벽 구조를 지니게 하여 볼트의 응력을 분산시키는 한편 하우징이 내압에 의해 부풀어지는 현상을 최대한 억제하였다. 또한 볼트 체결 부위의 이중 격벽 구조를 라운드화 하고 라운드가 없는 부분은 길게 격벽을 늘림으로써 강성을 최대한 확보하였다. 그 결과 최대 변위 1mm 이내로 강성을 확보할 수 있게 되었다.

2.2.5 냉각수 온도 해석

히터 입구에 25°C 냉각수 100LPM의 Mass flow inlet 조건을 주고 히터 출구는 상압의 Pressure outlet 조건을 주고 냉각수 온도 해석을 진행하였다. 상용 해석 툴인 STAR-CD를 이용하여 해석을 진행하였으며 히터의 표면 발열 밀도(heat flux)는 전체 발열량을 히터 표면적으로 나누어 계산하였다.

Fig. 6은 냉각수 온도 분포 해석 결과이다. 냉각수의 고온 영역은 주로 히터 표면 근처에서 발생하고 냉각수 최고 온도는 77°C로 유속이 급격히 저하되는 히터 후단 영역에서 국부적으로 발생함을 알 수 있

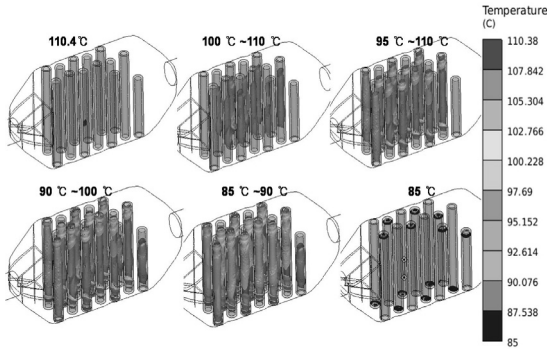


Fig. 7 Temperature distribution analysis of a heater

다. 냉각수의 국부적인 고온 영역은 히터 입구 유동 가이드 배플 설계를 최적화함으로써 최소화할 수 있었다. 또한 국부적인 히터 표면 과열부의 내구성능은 히터의 전기적 내구 시험을 통하여 이상이 없음을 별도 신뢰성 시험을 통하여 검증하였다.

2.2.6 히터 표면 온도 해석

히터의 발열밀도 관련해서는 해석과 실험을 병행하여 히터의 내구성 검증을 진행하였다. 발열밀도는 히터의 전체 발열량을 히터의 발열 표면적으로 나눈 값으로 이는 산업용 히터에 비해 발열밀도가 수배 높은 히터로 냉각수 강제 순환에 의한 강제 냉각을 필수 운전 조건으로 설정하였다.

STAR-CD를 이용하여 해석하였으며 해석 조건은 냉각수 입구 온도 20°C, 유량 100LPM 조건을 주고 출구는 대기압 조건으로 설정한 후 히터 발열밀도는 20W/cm² 이상값으로 설정하였다.

Fig. 7의 해석 결과와 같이 히터 표면 온도는 대략 90~110°C의 온도 분포를 보였으며 110°C 이상의 고온 영역은 매우 국부적으로 형성되었다. 해석과 함께 전기적 내구 시험을 병행하여 히터 표면의 과열 및 손상 여부를 추가 검증하였다.

2.3 신뢰성 평가 시험

2.3.1 신뢰성 평가 항목

신뢰성 평가는 상기 Fig. 8과 같은 순서대로 진행

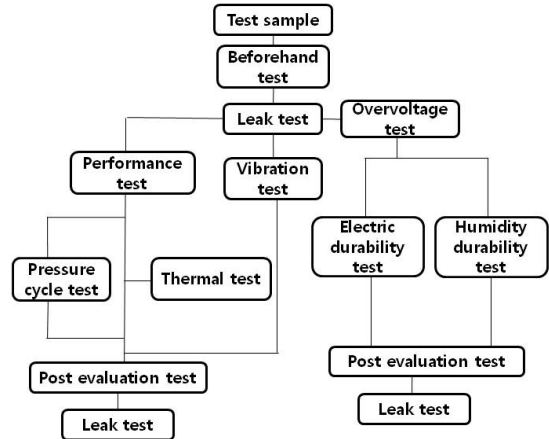


Fig. 8 Reliability test procedure of a heater

하였다. 신뢰성 평가를 위한 총 시료는 5개를 제작하였다. 모든 시료는 신뢰성 평가 전 사전기능 시험(저항/절연저항/초기작동/육안 검사)을 진행하여 합격한 시료에 한해 시험을 진행하였다. 신뢰성 시험 완료 후에는 사후기능 시험(사전기능 시험과 동일)을 진행하여 시료의 정상 유무를 판단하였다.

2.3.2 내전압 시험

COD 히터는 저항이 일정한 발열체이고 스택 전압이 변함에 따라 발열량이 변하는 구조로 되어 있

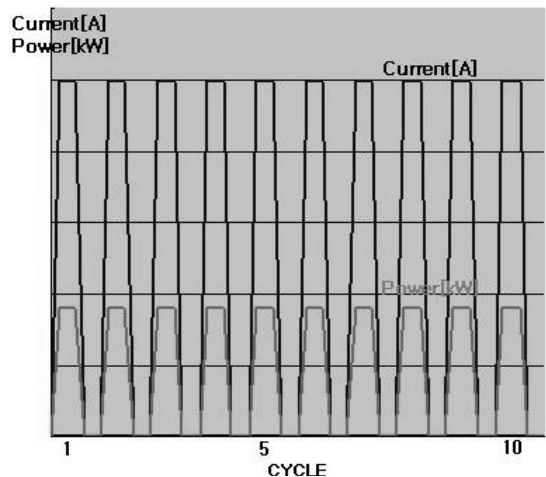


Fig. 9 ON/OFF repetition durability test

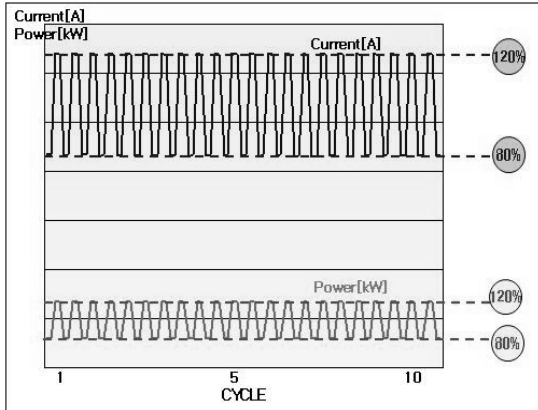


Fig. 10 Voltage fluctuation durability test

기 때문에 전압의 ON/OFF 시험, 과전압 시험, 전압 변동시험 등을 진행하였다.

히터의 전원 ON/OFF 내구 시험은 냉각수 유량을 100LPM으로 고정시켜 놓고 ON/OFF 각 1분씩 총 5,000회 이상 반복 내구시험을 진행하였다.

Fig. 9는 히터 전원 ON/OFF 반복 내구 시험시 히터 소비 전류와 전력 변화를 나타낸 것이다. 총 5,000회 이상 반복 내구를 진행하였다. 과전압 시험은 히터 사용 정격 전압의 120% 전압을 5분간 인가하여 히터의 정상 작동 유무를 점검하였다.

전압변동시험은 정격 사용 전압의 80% → 120% → 80% → 120%를 1회로 하여 총 5,000회 이상 반복 내구시험을 진행하였다. Fig. 10은 10사이클 동안의 반복 내구 시험 결과를 나타낸다. 내구 시험 후 히터는 정상 작동하는 것을 확인하여 히터의 내전압 내구성을 확인하였다.

2.3.3 내환경 내구성

내환경 내구성 검증을 위하여 고온방치/저온방치/열충격/내습도/진동 시험을 실시하였다.

고온 방치 시험은 히터 ASSEMBLY를 대기온도 60°C 이상에서 60시간 이상 방치 후, 90°C 이상에서 10시간 이상 방치하였다. 저온 방치 시험은 -30°C 이하에서 60시간 이상 방치하였다.

열충격 시험은 히터 ASSEMBLY를 고온/상온/저



Fig. 11 Humidity durability test

온에서 각각 2시간씩 시험하고 역순으로도 각각 2시간씩 시험하였다. 내습도 시험은 30°C 이상/RH 80% 이상 조건에서 300시간 이상 방치(24시간에 1회 절연저항 정상 확인)하였다. Fig. 11은 히터의 내습도 환경 내구 시험 사진을 나타낸다.

진동시험은 차량 장착 상태로 히터를 진동 시험 지그에 장착한 후 X, Y, Z축 방향으로 정해진 가속도, 주파수로 각각 6시간 이상씩 시험을 진행하였다.

각 내구시험 전후로 저항/절연저항/초기작동/리크 검수를 진행하였으며 모두 이상이 없을 경우 내구 시험 합격으로 판단하였다.

2.4 연료전지 차량 적용 효과

2.4.1 차량별 냉시동시 히터 전류 제어

연료전지 차량별로 히터의 저항을 다르게 적용하고 용량별로 별도 릴레이 제어가 가능하도록 히터를 그룹별로 와이어링을 하였다. 가령, 냉각수 급속 승온이 필요한 경우는 릴레이를 다수 붙여서 발열량을 크게 유도하고 극저온 냉시동과 같이 셀전압 안정성을 고려해야 하는 경우에는 릴레이를 1개만 붙여 안정적 냉시동을 유도하도록 하였다.

Fig. 12는 차량별 냉시동시 사용 가능한 히터 전류

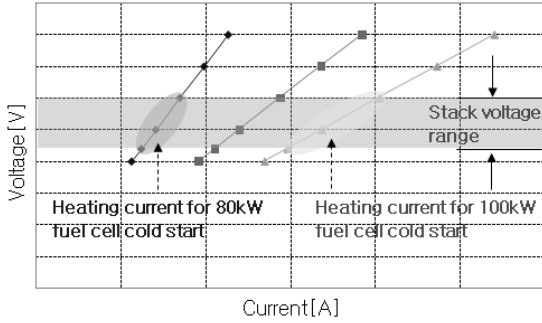


Fig. 12 Cold start heater current

범위를 나타낸다. 80kW급 연료전지차에는 전장냉각수 라인에 히터 용량이 작은 COD 히터를 장착하여 1단 제어만 가능하도록 하여 스택 전압에 따라 소량의 전류를 사용 가능하도록 설계하였다. 100kW급 연료전지차량에는 릴레이 ON되는 개수에 따라 히터 저항이 가변되어 냉시동 및 승온시 스택 전류 제어가 가능하도록 하였다.

향후 100kW급 연료전지차량에서는 -25°C 환경에서의 냉시동도 가능하며 아울러 셀전압이 급격히 낮아지거나 역전압이 걸리지 않도록 저항이 다른 두 모듈로 히터군을 구성할 예정이다.

셀전압을 안정적으로 유지하면서 공기 과급을 이용한 스택 자체발열과 COD 히터를 이용한 냉각수 승온을 동시에 이용한 냉시동시에는 큰 저항의 히터를 사용하고 겨울철 도심 저속운전이나 IDLE 운전시 냉각수 온도 유지 혹은 급속 승온시에는 두 히터를 병렬로 연결하여 작은 저항의 합성저항을 스택에 연결하여 보다 큰 발열량을 유도할 예정이다.

2.4.2 냉시동 시간 단축 및 냉각수 가열 효과

현재 연료전지 차량 냉시동 로직은 공기블로어 과급을 이용한 스택 자체발열 냉시동 로직과 공기블로어와 COD 히터를 동시에 사용하는 냉시동 로직이 있다. 공기블로어 과급을 이용한 냉시동 로직은 냉시동시 블로어 소음 문제를 해결하여야 하며 COD 히터를 이용한 냉시동 방법은 냉시동시 소모 전류를 줄여 스택 셀 전압 안정성을 확보해야 하는 문제점

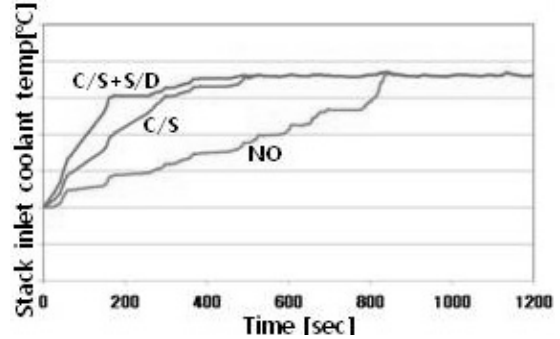


Fig. 13 Transient behavior of coolant temperature according to the heater resistance

을 가지고 있다.

블로어 과급 자체 발열 냉시동 로직은 블로어로 과급을 한 후, 스택 출구 공기 온도가 일정 온도 이상이 되면 rpm을 줄이는 로직으로 구성되며 이때 스택 냉각수 펌프 및 COD 히터는 작동하지 않게 된다.

반면, 공기블로어와 COD 히터를 동시에 사용한 냉시동 로직은 상기와 동일한 블로어 운전 로직과 함께 스택 냉각수 펌프, COD 히터 ON 후 스택 냉각수 입구가 일정 온도 이상시 냉각수 펌프 및 COD 히터를 OFF 하는 로직으로 구성되어 있다. 이 로직을 적용하면 냉시동 완료 시간은 블로어 과급 자체 발열 냉시동 로직에 비해 냉시동 시간을 20초 이상 단축할 수 있는 반면 셀전압 안정성은 떨어지며 수소 사용량은 늘어나게 된다.

블로어와 히터를 동시에 적용하여 냉시동 시간 단축을 도모함과 동시에 큰 저항을 사용하여 스택 전류를 좀 더 작게 소모하면 냉시동시 스택 셀전압 안정성과 수소 사용량 감소에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 단, S/D과 C/S의 합성저항은 큰 변동이 없으므로 냉각수 승온 시간에는 많은 영향은 주지 않게 된다.

냉각수 승온을 하게 될 경우 히터를 사용하지 않게 되면 Fig. 13과 같이 많은 시간이 걸리게 된다. 반면 동일 운전 조건하에서 C/S히터를 사용하게 되면 승온시간은 50% 이하로 단축하게 되며 S/D히터와 C/S히터를 동시에 사용하게 되면 승온시간은 현저히

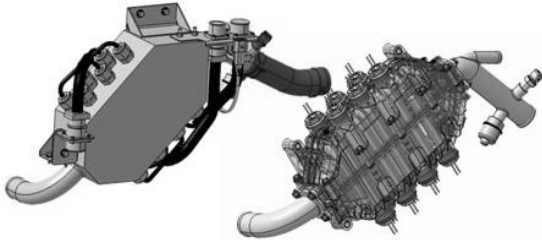


Fig. 14 Weight lightening of a heater

줄어들게 된다. 이러한 냉각수 승온 효과는 저온 대비 상온에서 스택 내구 열화율을 현저히 낮추는 효과가 있으며 스택의 저온 운전 시간을 단축시킴으로써 Flooding에 의한 전극 촉매 손상을 방지하는 효과가 크다. Fig. 13은 COD 히터 저항에 따른 냉각수 온도 상승 결과를 나타낸 그림이다.

2.4.3 경량화 및 원가절감

100kW급 연료전지차량에 적용된 플라스틱 하우징의 COD 히터는 SUS 하우징의 COD 히터에 비해 약 30%의 경량화를 달성하였다. 플라스틱의 밀도와 SUS의 밀도차를 감안할 때 경량화 효과가 크지 않은 이유는 내압 설계를 고려한 이중 격벽 구조와 많은 리브들이 들어갔기 때문으로 판단된다. Fig. 14는 SUS 하우징의 COD 히터와 플라스틱 하우징의 COD 히터를 나타낸 그림이다.

플라스틱 사출을 통한 원가절감은 약 50% 달성하였다. 향후 연료전지 파워트레인 모듈화 등을 통해 하우징 삭제, 히터 용량 최적화 등을 검토할 예정이며 추가로 중량, 부피, 원가 등을 지속적으로 줄여 나갈 계획이다.

3. 결 론

연료전지 차량의 스택 내구성 및 저온 냉시동성 향상을 위해 열관리 시스템 냉각 루프에 히터를 설계 장착하였다.

- 1) COD 히터의 주요 기능은 냉시동시 스택 부하 소모, 냉각수 승온, 차량 S/D시 스택 내 잔류 수소/산소를 제거하는 기능이다. 히터를 용도별로 구분하여 각 모듈별로 릴레이 ON/OFF 제어를 하였다.
- 2) 히터 온도에 따라 전압 출력이 바뀌는 열전온도계를 히터 내부에 삽입하여 과열 감지용 히터 제어를 별도로 장착하였다.
- 3) COD 히터의 하우징은 플라스틱 사출품으로 냉각수 내압 및 강성설계를 진행하였다. 온도/압력센서 장착방식은 기존의 나사산 체결방식에서 클립 삽입 체결방식으로 변경하였다.
- 4) 내압에 비교적 강한 C형의 하우징 형상을 적용하고 볼트가 체결되는 곳은 리브를 세우고 이중 격벽 구조를 지니게 하여 볼트의 응력을 분산시키는 한편 하우징이 내압에 의해 부풀어지는 현상을 최대한 억제하였다.
- 5) COD 히터의 내전압 및 내환경 내구 검증 시험을 완료하였다. 내전압 시험은 전압의 ON/OFF 시험, 과전압 시험, 전압변동시험 등을 진행하였으며 내환경 시험은 고온방치/저온방치/열충격/내습도/진동 시험을 실시하였다.
- 6) 연료전지 차량별로 히터의 저항을 다르게 적용하고 용량별로 별도 릴레이 제어가 가능하도록 히터를 그룹별로 와이어링을 하였다.
- 7) 히터를 이용한 냉각수 승온 효과는 저온 대비 상온에서 스택 내구 열화율을 현저히 낮추는 효과가 있으며 스택의 저온 운전 시간을 단축시킴으로써 Flooding에 의한 전극 촉매 손상을 방지하는 효과가 크다.
- 8) 플라스틱 사출 공법을 적용하여 SUS 하우징 대비 30% 경량화와 50% 원가절감을 달성하였다.

후 기

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참 고 문 헌

1. J. Larminie, "Fuel Cell System Explained", John Willy&Sons, 2003.
2. B. K. Ahn, T. W. Lim, "Past, Present and Future of the Fuel Cell Vehicle Development at Hyundai-Kia Motors", KSAE, 2006.
3. R. O'Hayre, S. W. Cha, W. Colella, F. B. Prinz, "Fuel Cell Fundamentals", John Wiley&Sons, 2006.
4. F. Barbir, "PEM Fuel Cells: Theory and Practice", Elsevier, 2005.
5. W. Vielstich, A. Lamm, H. A. Gasteiger, "Handbook of Fuel Cells: Fundamentals", John Wiley&Sons, 2005.
6. M.Y LEE, J.P WON, C.W CHO, H.S. LEE, "Experimental Study on the Mutual Influence of Thermal Management System for Hydrogen Fuel Cell Vehicle", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society. Vol. 22, No. 6, 2011, pp. 852-858.