

진동에 의한 연료전지 집전판의 접점 열화

박은하*, 김주한*, 김재훈*, 김윤형*, 한상옥*, 금영범**, 정귀성**, 고형진**
 충남대학교*, 현대자동차 환경기술연구소**

Contact Resistance of Current Collector for fuel cell by vibration

Eun-Ha Park*, Ju-Han Kim*, Jae-Hun Kim*, Yoon-Hyoung Kim*, Sang-Ok Han*
 Young-Bum Keum**, Kwi-Seong Jeong**, Haeng-Zin Ko**
 Chungnam National University*, Hyundai Motors**

Abstract - 본 연구에서는 수소 연료전지의 엔드플레이트와 외부 연결 부분의 금속을 진동시험기를 이용하여 접촉저항을 측정하였다. 수소 연료전지의 집전판에서의 전류밀도의 변화와 온도 분포의 변화를 비교해 볼 수 있었으며, 접촉저항을 측정 할 수 있었다. 진동시험기는 5~50 Hz의 범위까지 설계하였으며 진동에 대한 접촉저항의 변화도 확인 할 수 있었다.

로 연결된 것과 같아지므로 전류는 저항에 역비례하고 전압은 같아 두 접촉면에서 등전위선이 형성된다.

$$R_c = R + \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}} \quad (1)$$

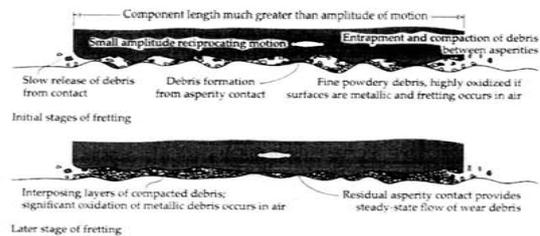
1. 서 론

접촉저항은 서로 다른 도체가 서로 접촉하고 있는 부위에 전류가 흐를 경우 그 접촉부 경계면에서 높은 전기저항이 형성되는 것을 의미한다. 따라서 접촉저항은 접점의 전기저항과 기계적 특성, 접점 표면의 거칠기, 그리고 표면에 존재하는 산화막, 압력, 주변 온도 및 환경, 진동에 영향을 받아 달라진다. 예를 들어 접점사이의 작용하는 힘이 증가할수록 접촉저항은 줄어든다. 또한 주울 열의 이론에 의하여 수많은 요인들에 의하여 열이 발생하는 것으로 알려져 있다. [1,2]

R_c : 접촉저항, R : 전류가 압축되며 생기는 저항
 N : 접점의 수, R_i : 접점표면의 저항

수소 연료전지의 단위전지에서 전기화학적 반응으로 얻어진 전류를 엔드플레이트에 취부된 집전판을 통해 외부 회로로 공급하는 과정에서 집전판의 전류 인출부와 같은 접속기구 사이에서 발생하는 접촉 저항은 줄열의 발생으로 이어지며, 수소연료전지 차량과 같이 부하율에 따라 수백 암페어의 전류가 흐르는 환경에서는 안전성에 심각한 문제가 발생할 우려가 있다. 특히 수소 연료전지를 동력원으로 사용하는 차량의 경우 운행 중에 다양한 진동환경에 노출될 수 있으므로 집전판의 전류인출부와 같은 전기적 접속기구에서의 진동은 접촉압력의 저하와 미동마모부식(fretting corrosion)을 초래하여 결국 접촉저항이 증가할 수 있다.

Slip의 진폭이 커지면서 마멸율도 증가하는데 debris의 보존은 'Mutual Overlap Coefficient'(MOC)라는 SLIP 중에 접촉 면적이 겹치는 비율로 설명할 수 있다. 낮은 MOC 값에서 노출된 표면에 남은 부스러기는 마멸이 진행 될 때 제거되지 않고 높은 MOC 값에서 마멸된 표면은 드러나지 않기 때문에 대부분의 부스러기는 표면에 그대로 남아 있게 된다. 따라서 이 부스러기는 새로운 조각에 의해 제거 될 때까지 축적된다.



<그림 1> 미동마모에 의한 부식 메커니즘

따라서 본 논문에서는 진동환경에 노출되는 수소 연료전지차량 집전판의 전류인출부를 모의하여 진동조건이 접촉저항에 미치는 영향과 그로 인한 줄열과의 관계에 대해 알아보고자 하였다.

시간이 지난 후 마멸된 자국은 포화되고 이 단계를 넘어서면 두층은 부스러기에 의해 분리된다. <그림 1>에 나타난 바와 같이 진동에 의해 Pin 표면이 계속적인 흔들림 마찰에 노출되어 산화 막의 손상부분은 더욱 크게 증대 되고 접촉저항도 급격하게 증대 되어 정상적인 신호 전달이 어려워진다. [3]

2. 본 론

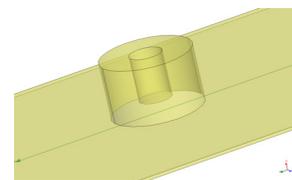
2.1 미동마모에 의한 부식 메커니즘

접촉저항은 두 전기 접점 사이에 존재하며 두 접점 사이에 접촉저항이 존재하게 되는 이유는 접점 표면에 존재하는 수많은 돌기들로 인해서 접점이 서로 완벽하게 접촉되지 않기 때문이다. 이 때 전류를 흘리게 되면 전류는 접촉면 전면을 통하여 흐르는 것이 아니고 일부의 전기적으로 접촉된 부분만을 흐르면서 전류는 국부적으로 집중하게 되고, 과도한 열이 발생하여 접점이 용융될 우려가 있다.

2.2 집전판 및 전류인출부 전류밀도 해석

모의한 연료전지 집전판을 <그림 2>와 같이 모델링하여 전자계 FEM 소프트웨어를 이용하여 전류인출부의 전류밀도를 계산하였으며, 이를 통해 전류인출부 각 부위의 발열량과 비교해보고자 하였다.

또한 두 접점 간에 힘이 작용하게 되면 돌기들의 변형이 발생하게 되고 실 접촉 면적은 증가한다. 힘이 증가할수록 실 접촉면적은 증가하고 접촉저항은 줄어든다. 하지만 일정한 힘에 도달하게 되면 돌기의 변형이 멈추고 접촉저항은 더 이상 줄어들지 않고 포화된다.[2]



<그림 2> 집전판

전류가 흐르는 접촉점을 a-spot이라고 하면, 전류는 a-spot을 통하여 흐르는데 이 때 전류는 a-spot 부근에서 압축되어 접촉면을 통과하게 된다. a-spot의 집합을 생각해 볼 수 가 있는데 이들 접점은 각기 병렬

2.3 실험

2.3.1 실험 방법

집전판 전류인출부의 진동시험을 위해 본 실험에서는 KS R 1034 자동차 부품 진동 시험 방법을 참고하여 실험을 진행하였다. 시험의 방법은 진동을 주고 있을 때의 부품 기능을 조사하는 진동 기능시험을 선택하였다. 진동시험 조건은 <표 1>의 진동수의 범위인 5~50 Hz사이의 범위 안에서 실험을 진행하였으며, 진동시험을 위해 모의 제작한 집전판 전류인출부를 시험장치와 동일한 토크로 체결한 후 상하방향으로 진동을 인가하였다.

<표 1> 인가된 진동 조건

Frequency(Hz)	Dwell time(min)	Amplitude(mm)
5~50	10	0.4

2.3.2 실험 장치 구성

실험 장치는 <그림 3>과 같이 본체와 제어부로 나누어져 있으며 모터 이용하여 상하, 수직 진동 및 모터 rpm을 제어할 수 있게 설계되었다. 진동수 범위는 모터의 rpm으로부터 환산하였으며 집전판 전류인출부의 접촉저항과 발열량은 각각 마이크로 옴미터와 적외선 온도계를 이용하였다.



<그림 3> 진동 시험 장비

2.2.1 실험 결과

적외선 온도계를 이용하여 온도와 습도를 알 수 있었으며 습도는 24%이다. 또한 저항률 구하는 식에 의해서 저항률을 알 수 있었다.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_0 (T - T_0)] \quad (2)$$

ρ : 저항률 [$\Omega \cdot mm$], ρ_0 : T_0 에서 저항률
 α_0 : 저항률의 온도계수, T : 나중온도 [$^{\circ}C$], T_0 : 처음온도 [$^{\circ}C$]

<그림 5>와 같이 집전판 전류인출부에서의 진동에 의한 온도변화를 일곱 부분으로 나누어 측정하였다. 구리의 기준온도에 따른 20 $^{\circ}C$ 에서의 구리 저항률 값은 약 17 $\mu\Omega \cdot mm$, 온도계수는 0.00393, 진동 주파수는 30Hz, 금속의 면적과 길이의 비(l/A)는 약 0.15 mm이다.

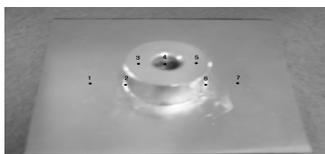
$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

R : 저항 [Ω] ρ : 저항률 [$\Omega \cdot mm$]
 A : 면적 [mm^2] l : 길이 [mm]

<표 2> 진동에 의한 접촉저항의 변화

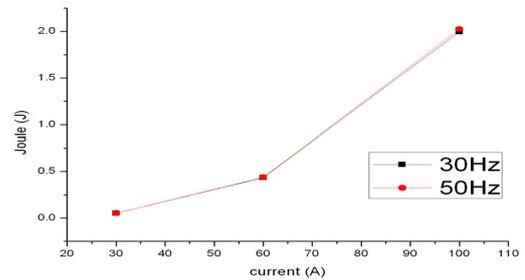
Dwell time(min)	T($^{\circ}C$)	Contact Resistance($\mu\Omega$)
10	26.62	174.42
20	26.71	174.48
30	27.31	174.88

<표 2>와 같이 인가시간이 길어짐에 따라 접촉저항이 다소 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 <그림7>과 같이 인가전류와 진동 주파수의 변화에 대한 실험에선 계측기에서 발생할 수 있는 오차 범위의 작은 저항값을 고려하면 단시간에서의 주파수의 변화는 접촉저항에 큰 영향을 못 미치는 것을 알 수 있었다.

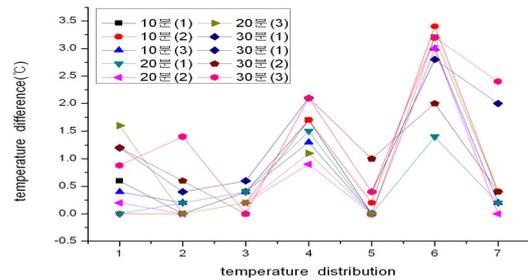


<그림 4> 집전판 전류 인출부의 온도 측정 부위

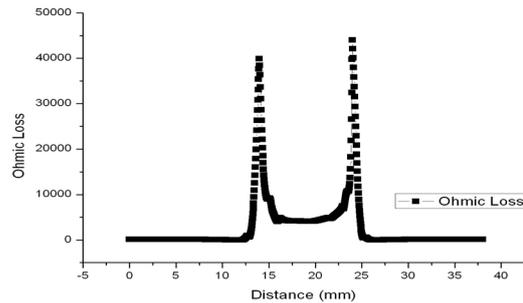
반복실험을 통해 <그림 4>와 같이 집전판의 전류인출부의 온도 측정 부위의 온도 변화를 <그림 6>과 같이 나타냈으며, <그림 7>와 같이 전자계 FEM 소프트웨어를 이용한 전류밀도 분포와 비교하였다. 반복된 실험값을 분석해 본 결과 집전판과 전류인출부의 체결부 납땜이 불량하여 해당부위에서 온도차이가 심한 것으로 확인되었다.



<그림 5> 주파수에 따른 주열열 변화



<그림 6> 엔드플레이트 온도 변화



<그림 7> 외부접점과 연결부분의 저항 손실 분포

3. 결 론

본 논문에서는 수소 연료전지의 집전판 전류인출부와 외부 연결접점에서의 진동에 의한 접촉저항을 측정하고 시간에 대해 비례하는 것을 실험결과로 확인하였다. 또한 수소 연료전지의 집전판 전류인출부의 온도변화와 전자계 FEM 소프트웨어를 이용한 전류밀도 분포를 비교하였다. 하지만 집전판 전류인출부 연결부분에서 완전 접합이 되지 않았기 때문에 예측한 결과와 다르게 접촉저항 오차가 있는 것으로 예측된다. 또한 단시간 진동, 저주파에서는 진동에 의한 접촉저항의 변화가 거의 없는 것으로 사료된다. 그에 따라 진동에 의한 접촉저항의 변화는 장기간의 실험진행이 필요하며 고주파에서 더욱 뚜렷한 변화가 있을 것으로 추측된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ragnar Holm, "Electrical Contacts", Theory and Applications 4th Ed Berlin Springer Verlag, pp1-26, 1979
- [2] Paul G Slade, "Electrical Contacts", Principles and Applications, pp1-83
- [3] 유환신, 박형배 "차량용 주석 도금된 구리 커넥터에서 미세진동에 의한 전기접촉 저항변화에 관한 연구", 한국향행학회 논문지 제12권 제6호, pp653-658, 2008

감사의 글

본 연구는 건설교통부 교통체계효율화사업 연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행 되었습니다.