

연료전지의 비선형성 검출방법에 대한 시뮬레이션 Simulation of detecting nonlinear characteristics of fuel cells

유승열¹, 이용빈², 윤종근¹, *#정명주¹

S. R. Yoo¹, Y. H. Lee², J. G. Yoon¹, *#M. J. Jung(jung8417@kut.ac.kr)¹

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부, ²강남대학교 전자공학과

Key words : fuel cell, monitoring, nonlinear, FFT, diagnosis

1. 서론

전 세계적으로 자원의 고갈 및 환경 오염이 큰 문제가 되고 있어서 깨끗하고 효율적인 에너지원의 개발이 요구되고 있다. 특히, 낮은 온도 범위에서 폭 넓은 활용이 가능한 연료전지와 2 차 전지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 일부 제품에서 상용화가 되고 있음에도 불구하고 안정성에 대한 문제가 제기되고 있으며 이러한 문제가 조속히 해결되어야 신뢰성을 얻을 수 있다.

최근 관심이 고조되는 연료전지와 같은 시스템은 3 차 이상의 비선형 특성을 가진다. 대부분은 선형구간에서만 작동이 되지만 예상치 못한 여러 변수에 의해 이상작동을 보일 수 있다. 예를 들어 연료전지의 경우 물의 Flooding 현상, 수소 부족, 산소 부족, 백금 입자의 탈락 등의 문제가 발생하였을 경우 이를 검출할 수 없다면 안정적인 성능을 내는데 어려움이 있을 것이다. 때문에 간단하고 효율적인 비선형성 검출방법을 적용한다면 결함의 발생을 초기에 발견하고 원인 해결 대책으로 사용될 수 있을 것이다[1].

기존 비선형 검출을 위한 방법으로는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, CVM(Cell voltage monitoring) 방법은 단위 셀마다 측정하는 방식으로써 상위 제어가 하위 제어기에서의 전압값을 받아서 분석하는 방법이다. 때문에 장치의 크기가 커지고 전체의 전압 값의 강하로 비선형 유무를 판단하였다[2]. 둘째, EIS(Electrochemical impedance spectroscopy) 방법은 변수의 개수가 많아서 분류하기가 어렵고, 실시간으로 검출이 어렵다는 단점이 있다[3].

본 연구에서는 연료전지의 작동 중 실시간 데이터를 획득하고 주파수 분석법을 이용하여 연료전지 비선형성의 유무에 따른 차이를 비교, 분석하였다.

2. 스택 진단 방법

연료전지의 일반적 V-I 곡선은 Fig. 1 과 같이 나타나는데 0.1~1.1(A) 구간의 선형구간과 활성화 손실이 있는 부분 있는 0~0.1(A) 부분과 물질 수송 손실 부분이 발생하는 1.1~1.4(A) 부분에서 비선형성이 존재한다.

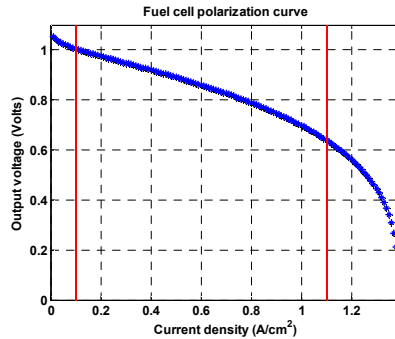


Fig. 1 Nonlinear characteristic curve

실제 제품에서는 이러한 비선형 구간이 아닌 저항 손실이 있는 0.1~1.1(A) 구간에서 작동구간을 형성한다. 하지만 작동 중 연료전지의 온도 상승과 셀 효율이 떨어지면 Fig. 2 와 같이 정상 구간이라 가정 한 곳에서도 비선형 구간이 나타나는 것을 확인할 수 있고, 갑작스런 비선형성으로 인해 전체적인 성능의 저하를 나타낼 수 있으므로 이를 빨리 검출 하는 것이 중요하다.

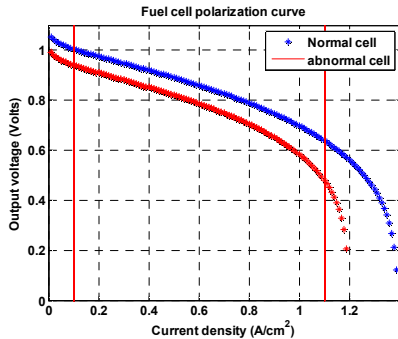


Fig. 2 Normal cell vs. abnormal cell V-I curves

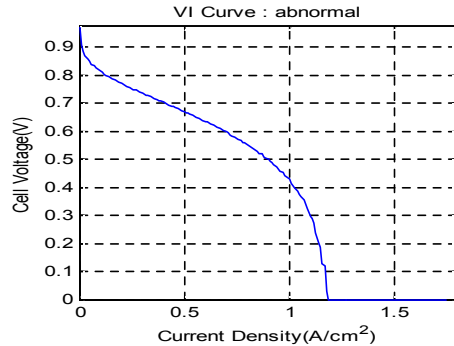


Fig. 3 Abnormal cell V-I test

3. 이론적 배경

비선형 모델을 3 차의 수식으로 간단히 정의 하였을 때 식(1)과 같이 다항식으로 표현 할 수 있다.

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (1)$$

식(1)의 입력 X 는 시간에 대한 함수인 X(t)로 나타낼 수 있고, X(t)는 서로 다른 주파수를 갖는 식(2)로 표현할 수 있다.

$$X(t) = \hat{A} \cdot \sin(\omega_1 t) + X(t) = \hat{B} \cdot \sin(\omega_2 t) \quad (2)$$

입력신호 X(t)에 크기와 주파수가 다른 두 개의 신호를 인가하여 시스템에 비선형성이 존재하는 경우, 출력 Y(t)는 고조파 성분이 나타나며 식(4)와 같이 나타낸다[4].

$$Y(t) = a + b(\hat{A} \cos \omega_1 t + \hat{B} \cos \omega_2 t) + c(\hat{A} \cos \omega_1 t + \hat{B} \cos \omega_2 t)^2 + d(\hat{A} \cos \omega_1 t + \hat{B} \cos \omega_2 t)^3 \quad (3)$$

4. Simulation 결과

실험을 위해 선택된 신호의 크기 및 주파수는 Table 1 에 표시되었다.

Table 1 Simulation conditions

Input signal Type	Double Frequency
Magnitude	0.02
Frequency(Hz)	2+3

비선형 구간이 커지는 1(A) 부분에서 주파수 분석법을 사용하여 측정된 결과 그래프는 Fig. 4 와 같다.

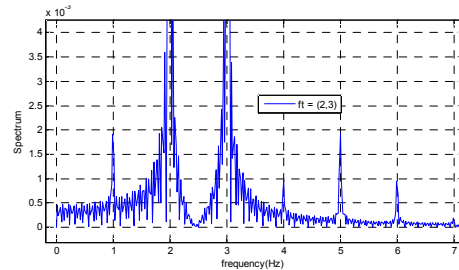


Fig. 4 Abnormal cell result of two-tone THD(%)

5. 결론

본 연구에서는 크기와 주파수가 다른 두 개의 입력 신호에 의한 연료전지 이상진단 방법을 제안하였으며, 비선형성 검출 실험을 통해 유용함을 검증하였다. 향후 실제 차량에 장착하여 비교 실험을 통해서 이상진단 방법의 정확성을 더 높일 수 있다.

참고문헌

1. Wu J, Yuan XZ, Wang H, Blanco M, Martin JJ, Zhang J. Diagnostic tools in PEM fuel cell research, Part I, Electrochemical techniques. Int J Hydrogen Energy, pp1735-46, 2008
2. Web D, Moller Holst S. Measuring individual cells of a PEMFC stack. J Power Sources, pp54-60, 2002
3. J.R. Macdonald, Impedance Spectroscopy, Emphasizing Solid Materials and System, John Wiley & Sons, Inc., 1987
4. Warren, W.J., and Hewlett, W.R., "An Analysis of the Intermodulation Method of Distortion Measurement," Fellow, I.R.E, No. 36, pp.45 7-466, 1948