



# 적외선 열화상 기법을 이용한 미래형 자동차용 연료전지 측정

김기범\*, 조명우  
(인하대학교)

## 1. 머리말

현재 자동차 산업계는 지구 온난화 방지를 위한 탄소 배출을 줄이는 것에 대한 규제가 강화되면서 점차 탄소 배출을 줄이는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 이러한 흐름에 따라 미래형 자동차 역시 탄소 배출을 최소화 하는 것이 필수 조건이 되고 있으며 이에 따라 자동차 엔진 기술은 기존의 화석 연료를 사용하면서 연비를 높이고 탄소 배출을 최소화하는 방식과 전기에너지를 사용하여 탄소 배출이 없는 새로운 방식에 대한 연구가 진행되고 있다. 전자의 경우 에너지 효율을 높일 수는 있지만 완전히 탄소 배출을 줄이는데 한계가 있는 반면 후자의 경우 탄소 배출이 거의 없다는 점에서 그 가치가 높게 평가되고 있다. 그러나 이 경우 현재 전기에너지를 저장 또는 공급하는 장치에 한계가 있어 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 전기자동차에 사용될 수 있는 친환경 동력원으로는 수소저장합금, 대용량 2차 전지, 연료전지 등이 있다. 현재의 기술로는 완전히 화석연료 사용하는 엔진을 대체할 수 없기 때문에 중간 단계인 화석연료와 전기에너지를 같이 사용하는 하이브리드 방식이 상용화되어 있다.

이 글에서는 연료전지에 대하여 리뷰를 진행하여 연료전지의 원리와 종류 그리고 열화상 기법을 이용한 측정 및 미래형 자동차에 적용 가능성

에 대하여 확인하였다.

## 2. 연료전지의 원리

연료전지는 메탄올, 수소, 석유, 천연가스 바이오메스가스와 같이 다양한 종류의 연료의 화학 에너지를 전기화학 반응에 의하여 전기에너지로 변환하여 전지로 사용하는 것을 의미한다. 연료전지의 원리는 그림 1과 같다. 연료전지는 기본적으로 음극, 양극, 내부 회로로 구성되어 있다. 양극에서는 수소 촉매에 의하여 산화되어 수소 이온( $H^+$ )과 전자로( $e^-$ )가 된다. 음극에서는 공기에서 공급된 산소와 전해질을 통해 이동한 수소이온, 내부 회로를 통해 이동한 전자가 반응하여 물( $H_2O$ )을 생성한다. 이 과정에서 전자의 움직임에 의하여 전기가 생성된다.

일반적인 연료전지는 앞서 언급한 반응을 기초로 하며 기본적으로 전기를 생산할 수 있는 연료전지 시스템은 연료개질장치, 본체, 전력변환 장치, 열 회수 시스템으로 구성되어 있다. 연료개질 장치는 탄화수소 계 연료의 수소 농도를 높여서 효율을 높이고 불순물을 제거하는 역할을 한다. 다음으로 본체는 위에서 언급한 것과 같이 수소와 산소 반응을 통하여 직류 전기를 생산하고 반응 생성물로 물과 열을 발생시킨다. 전력변환 장치는 화학 반응에 의해 생성된 직류 전기에너지를

\* E-mail : inhakimkb@gmail.com

표 1 주요 연료전지의 특징

구분	전해질	촉매	동작 온도(°C)	효율(%)
AFC	수산화칼륨(KOH)	니켈(Nickel)	50 ~ 120	60
PAFC	인산(H3PO4)	백금(Platinum)	150 ~ 250	36 ~ 45
SOFC	지르코니아(ZrO2+Y2O3)	니켈(Nickel)	600 ~ 1,000	50 ~ 60
MCFC	탄산염(Li2CO3 + K2CO3)	페로브스카이트(Perovskite)	550 ~ 700	45 ~ 60
PEMFC	이온교환막	백금(Platinum)	50 ~ 100	40 ~ 50
DMFC	이온교환막	백금(Platinum)	50 ~ 100	< 40

교류로 변환하며 마지막으로 열 회수 시스템은 본체의 반응에 의하여 생성된 열을 회수하여 연료개질장치를 예열하는 등에 사용하여 시스템의 효율을 높인다.

연료전지는 다음과 같은 특징을 가지고 있어 미래형 자동차 동력원으로 연구되고 있다. 첫째 특징은 높은 효율이다. 기존의 발전 방식은 전기를 얻는 과정에서 열 뿐만 아니라 운동 에너지를 소모하기 때문에 많은 에너지 손실이 발생한다. 연료전지의 경우 열 손실 등을 감안하더라도 30 ~ 60% 이상으로 열병합발전을 고려하면 80% 까지 효율이 올라가게 된다. 또한 전통적인 발전의 경우 출력 규모가 커져야지만 발전 효율이 높아지지만 연료전지의 경우 크기에 상관없이 일정하게 높은 효율을 유지한다는 점에서 그 효율성이 높다. 두 번째 특징은 저공해이다. 일반적으로 연료전지는 반응 생성물이 전기, 물, 열이기 때문에 일반적인 발전에서 생기는 이산화탄소, NOx, 황산화물과 같은 공해 물질이 생성되지 않기 때문에 친환경적이다. 세 번째 특징은 발전규모 조절이 용이하다는 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 연료전지는 크기에 상관없이 높은 효율을 가지기 때문에 소규모에서 대규모까지 필요에 따라 제작할 수 있어 다양한 적용 분야를 가진다.

### 3. 연료전지의 종류

연료전지의 종류는 용량, 사용되는 전해질에 따라 나눌 수 있다. 먼저 연료전지 용량의 경우 1 ~ 10 kW의 경우 건물용, 10 ~ 100 kW의 경우 수송용(자동차), 100 kW ~ 10 MW의 경우 발전용으

로 나뉜다. 다음으로 사용되는 전해질에 따라 분류하면 알칼리 연료전지(AFC, alkaline fuel cell), 인산형 연료전지(PAFC, phosphoric acid fuel cell), 고체산화물 연료전지(SOFC, solid oxide fuel cell), 용융탄산염 연료전지(MCFC, molten carbonate fuel cell), 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, polymer electrolyte membrane fuel cell), 직접메탄올 연료전지(DMFC, direct methanol fuel cell)로 나뉘며 그 특징은 표 1에 정리되어 있다.

종류에 따른 특징을 살펴보면 알칼리 AFC의 경우 동작온도가 낮고 효율이 높기 때문에 주로 사용되는 용도는 우주발사체 전원으로 사용되고 있다. PAFC의 경우 효율이 높은 편은 아니지만 동작온도가 상대적으로 낮기 때문에 200 kW 급 중형건물 발전용으로 사용된다. SOFC의 경우 높은 동작온도가 요구되지만 효율이 높기 때문에 1 kW에서 MW급에 이르는 다양한 용량의 발전이 가능하다. PEMFC의 경우 동작 온도도 낮고 효율도 높으며 용량은 1 ~ 10 kW 정도로 수송용과 가정용으로 사용되고 있다. 마지막으로 DMFC의 경우 효율은 떨어지지만 동작 온도가 낮아 1 kW 이하의 휴대용 발전으로 사용된다.

### 4. 적외선 열화상 기법을 이용한 연료전지의 측정

연료전지의 구조는 그림 2와 같다. 기본 구조는 음극, 양극, PEM(polymer electrolyte membrane)으로 되어 있다. 여기에 가스확산층(GDL, gas-diffusion layer), 미세다공층(MPL, micro porous layer)과 같은 층들을 겹겹이 배열하여 연료전지

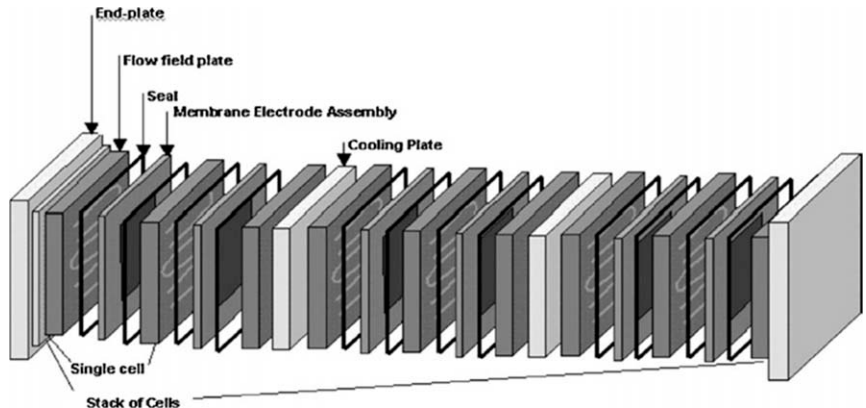


그림 2 PEMFC의 스택



(a) 연료 전지 스택

(b) 첫 번째 스택의 열화상 이미지

(c) 두 번째 스택의 열화상 이미지

그림 3 PEMFC 스택의 누수 진단

의 효율을 높이고 생산하는 전기에너지를 증대시킨다. 이렇게 기능을 가지고 있는 각 층들을 배열하여 결합한 것을 스택(stack)이라고 한다. 연료전지는 최대 효율을 내는 최적 온도가 정해져 있기 때문에 작동 온도에 대한 측정을 통한 정상 작동 여부가 필요하다.

연료전지의 정상 작동여부에 대한 측정에는 먼저 측정 대상에 대한 정의가 필요하다. 화학반응에 의하여 생기는 물, 열, 전기에너지의 측정을 통하여 연료전지의 작동 여부를 확인해 볼 수 있지만 물, 전기에너지의 경우 최종 결과물이기 때문에 어느 부분이 어떻게 작동하고 있는지에 대한 측정 대상으로는 부적합하다. 하지만 온도의 경우 정상작동 여부에 따라 각 층 또는 영역에서 분포가 다르게 나타나기 때문에 문제가 되는 위치까지도 확인할 수 있다.

연료전지의 온도를 측정하는 방법에는 온도 프로브를 이용하는 방법이 있지만 전체 영역에 대한 측정이 불가능 하고 접촉해야 한다는 점에서

한계가 있다. 이에 반해 적외선 열화상 기법(IRT, infrared technology)의 접촉식이 아닐 뿐만 아니라 전체 영역에 대한 실시간 측정이 가능하기 때문에 연료전지 측정에 적합하다.

열화상기법을 이용하여 연료전지 측정의 목적은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 그림 3과 같이 연료전지의 결합, 불량에 대한 측정과 그림 4와 같이 작동하는 연료전지의 시간, 생산되는 전기에너지에 따른 온도 분포를 시각적으로 확인할 수 있다.

먼저 결합 측정의 경우 그림 3(a)와 같이 스택 형태로 되어있는 연료전지의 내부결합이 있는 경우 출력 되는 전기에너지를 통하여 결합을 확인할 수 있지만 결합이 어느 위치에 발생하였는지는 알기 어렵다. 하지만 열화상 기법을 이용할 경우 그림 2(b),(c)와 같이 서로 다른 결합을 가지고 있는 연료전지에 대하여 온도분포를 시각적으로 알 수 있을 뿐만 아니라 연료전지 작동 중에 실시간으로 확인할 수 있어 결합 찾기에 효과적이다. 특히 전기에너지만을 통하여 결합, 불량을

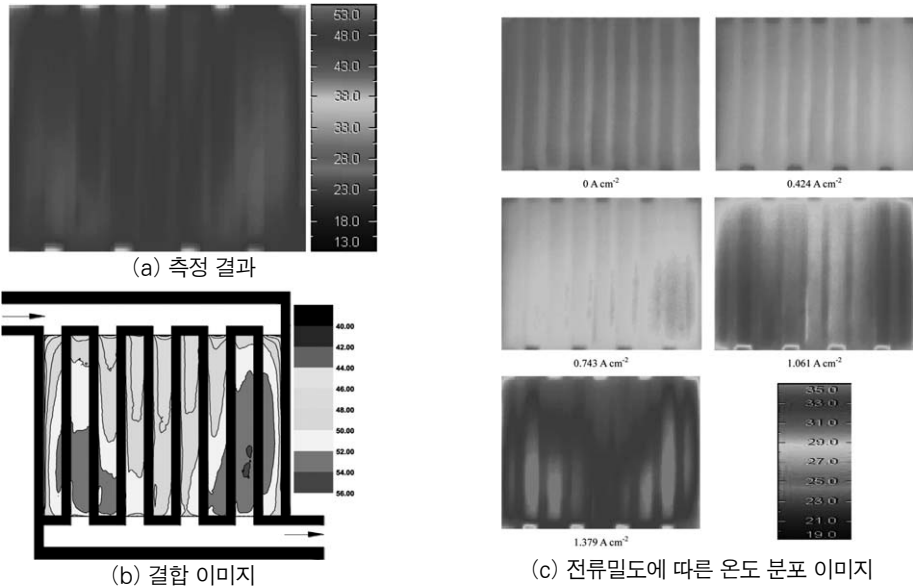


그림 4 MEA의 양극에서의 열 분포 이미지

판달 할 경우 그림 3(b),(c)와 같이 완전히 다른 양상의 결합임에도 동일한 전기에너지를 출력할 수 있기 때문에 부정확 하지만 적외선 열화상 기법을 이용하면 명확하게 차이를 확인할 수 있다.

다음으로 작동하고 있는 연료전지의 측정이다. 그림 4와 같이 MEA(membrane electro assembly)에서 멤브레인 층 뒤에 채널이 있는 경우 일반적인 측정 방법으로는 채널의 위치 및 온도 분포를 알기 어렵다. 적외선 열화상 기법을 이용할 경우 그림 4(a),(c)와 같이 멤브레인 층 뒤에 있는 채널을 확인할 수 있을 뿐만 아니라 출력되는 전류밀도에 따른 MEA의 온도 분포를 확인할 수 있다. 또한 이미지 프로세싱을 통하여 채널의 정확한 위치와 열화상 이미지를 중첩하여 보다 정확한 온도 분포를 확인할 수 있다. 따라서 연료전지가 전기에너지를 생산할 때 얼마나 균일한 온도 분포를 보이는지를 확인할 수 있다.

## 5. 맺음말

연료전지는 기존의 발전에 비하여 에너지 효율이 높으며, 전기에너지 생산 시 생성 물질이 물이기 때문에 공해가 발생하지 않으며 크기에 상관

없이 일정한 효율을 가지고 있다. 이러한 특징 때문에 미래형 자동차의 동력원으로 사용할 수 있다. 하지만 모든 종류의 연료전지가 수소용 동력원으로 적합한 것은 아니다. 각 연료전지에는 작동 온도와 같은 최적 조건이 존재하므로 이를 고려하여 상대적으로 효율은 낮지만 작동 온도가 낮고 가능 연료와 전해질을 고려하면 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)가 미래형 자동차에 적합하다. 이후 효율을 높이고 작동 온도를 낮추는 연구가 필요할 것이다.

스택 구조로 되어 있어 일반적인 방법으로는 측정이 어려운 연료전지는 적외선 열화상 기법을 이용하면 보다 효과적으로 측정할 수 있다. 작동중인 연료전지의 불량, 결합 여부 뿐만 아니라 발생 지점까지 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 멤브레인에 의해 보이지 않는 채널의 위치 및 온도 분포를 확인할 수 있어 작동 조건에 따른 측정을 확인할 수 있다. 미래형 자동차에 장착될 연료전지에 대한 측정은 적외선 열화상 카메라를 설치하여 실시간 검사하는 것 보다는 장착 전 연료전지의 검수 또는 사용자가 정기 점검 시 정밀 검사를 통하여 정상 작동 여부 및 교환에 대한 판단 기준으로 사용할 수 있다. KSNVE