**PEMFC 기체공급라인의 습도에 따른 영향 분석**

저자: 강지한, 김민지, 유로사, 기나연, 이금선, 이채연, 임채연

광영여자고등학교-에너지심층탐구동아리

 Supporting Information Placeholder (Highly Recommended)

ABSTRACT: ( 1) 서론 (2) 재료 및 방법 (3) 결과 (4) 토의 및 결론

환경문제 해결을 위해 신재생에너지가 중요하며, 특히 태양광과 수소가 주목받고 있다. 태양전지는 상용화가 진행됐지만 수소는 아직 기술·인프라 한계가 있다. 수소연료전지는 수소와 산소 반응으로 전기를 생산하는 친환경 장치로, 이산화탄소 배출이 없고 효율이 높다. 그중 PEMFC는 낮은 온도에서도 작동하고 전력밀도가 높아 유망하다. 이는 수소이온의 독특한 이동 방식인 Grotthuss 메커니즘 덕분으로, 수소이온은 다른 이온들보다 월등히 빠른 전도도를 보여 높은 전력밀도를 낼 수 있다.

서론 ( Introduction )

환경문제는 현재 전 세계가 직면한 문제이다. 이러한 환경문제를 해결하기 위해서 신세계에너지를 적극적으로 사용하는 것은 중요한 탄소절감의 해결책이다. 대한민국 또한 신재생에너지에 주목하고 있지만 2023년 기준 9.67%의 신재생에너지 비율을 보이고 있기에 더욱 에너지 분야를 발전해야 될 필요성이 보인다. 현재 신재생에너지 중 가장 주목을 받고 있는 분야는 태양광과 수소로, 각각 태양전지와 수소연료전지라는 기술을 갖추고 있다. 태양전지의 경우는 많이 실용화가 되고 있지만 아직까지 수소는 기술문제, 인프라 문제로 활발히 쓰이고 있지 않다. 이 글은 수소에너지 기술의 발전을 위해 수소연료전지의 습도에 따른 효율을 구한다.

수소연료전지란 수소와 산소의 화학 반응을 이용하여 전기를 생산하는 친환경 에너지 변환 장치이다. 발전 후 이산화탄소와 오염 물질을 생성하지 않고 효율이 좋아 차세대 에너지로 주목받고 있다. 특히 PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 고분자 전해질 연료전지)은 높은 전력밀도와 낮은 온도에서도 작동할 수 있는 장점으로 많은 주목을 받고 있다. PEMFC의 작동방법은 다른 연료전지와 다르지 않다. 수소극(음극)에 수소를 공급하면 수소 기체가 수소 이온과 전자로 산화되며 전자는 회로로, 수소이온은 고분자 전해질을 통과해 이동하게 되고, 고분자 전해질 막은 수소이온만을 선택적으로 통과시킨다. 이때 전자의 흐름에 의해 전류가 생성되는 것이다. 그렇게 이동한 수소이온과 전자는 산소극(양극)에 도착하게 되며, 결국 산소와 만나 물을 생성해 수소연료전지에서 방출된다. 이것이 기본적인 PEMFC의 작동 과정이다. PEMFC는 높은 전력밀도를 가지고 있는데 이는 PEMFC의 작동 과정과 관련이 있다. PEMFC가 작동할 땐 수소이온이 이동한다. 그리고 수소이온은 타 이온들보다 이온전도도가 높다. 이는 다른 이온들과 다른 수소이온의 이동방식 때문이다. 수소이온은 수용액에서 보통 하이드로늄 이온(H₃O⁺)으로 존재한다. 이때 이 이온이 수소 원자핵 하나를 다른 물분자에게 넘겨주며 자신은 다시 물분자가 되고 원자핵을 넘겨받아 물분자였었던H₃O⁺은 또 다음 물분자에게 수소 원자핵을 넘겨주는 반응이 연쇄적으로 일어나며 수소이온은 매우 빠르게 이동한다. 이를 Grotthuss 메커니즘이라 한다. 실제로 이온전도도를 봤을 때 H+는36.23, Na+는 5.19, K+ 7.62으로 수소이온이 월등히 따른 것을 확인할 수 있다. (단위: u/(10−8m2 s−1V−1)) 이러한 특성 때문에 PEMFC는 전력밀도가 높은 특성을 가지고 있다. 전력 밀도는 이온전도도와 비례하는 특성이 있다.

재료 및 방법 ( Materials and Methods )

PEMFC키트(전해조·연료전지·튜브·전선 포함), 전원공급장치, 멀티미터, 소형 DC 모터, 탈이온수, 황산나트륨, 비커·메스실린더, 태양광 패널, 인공 광원, 각도 조절 장치, 가습기 및 연결 부품.

PEMFC 작동시키기

1. PEMFC 전기분해 장치에 전력을 가한다

2. 공급된 전력을 사용해 PEMFC가 물(탈이온수+황산나트륨 전해질)을 수소와 산소로 분해한다.

3. 생산된 수소는 튜브를 통해 두번째 PEMFC로 전달되어 전기에너지로 바뀐 후 연결된 모터를 작동시킨다.

**태양광 패널과 PEMFC 연료 전지의 출력 전압 비교 실험**

1. 태양광 패널 전압 측정

1) 태양광 패널을 인공 광원에 일정한 각도로 고정한다.

2) 멀티미터를 DC 전압 측정 모드로 설정한다.

3) 멀티미터의 빨간 리드를 태양광 패널의 (+) 단자, 검정 리드를 (–) 단자에 연결한다.

4) 광원의 밝기를 일정하게 유지한 상태에서 멀티미터에 표시되는 전압을 측정·기록한다.

2. PEMFC 연료 전지 전압 측정

1) PEMFC 키트의 수소·산소 공급 상태를 점검한다.

2) PEMFC의 (+) 단자에 멀티미터 빨간 리드를, (–) 단자에 검정 리드를 연결한다.

3) PEMFC가 정상 작동하도록 하고, 출력 전압을 멀티미터로 측정·기록한다.

3. 결과 비교

 두 전원의 출력 전압을 비교하여 에너지원의 출력 특성 차이를 분석한다.

**PEMFC 연료 전지의 습도 변화에 따른 출력 전압 비교 실험**

1. 기본 조건(저습 상태)에서 전압 측정

1) PEMFC의 기체 공급 라인을 가습기 없이 연결한다.

2) PEMFC가 정상 작동할 수 있도록 수소와 산소를 공급한다.

3) 멀티미터를 DC 전압 측정 모드로 설정한다.

4) PEMFC의 (+) 단자에 멀티미터 빨간 리드를, (–) 단자에 검정 리드를 연결한다.

5) 출력 전압을 측정하여 기록한다.

2. 가습기를 사용한 고습 상태에서 전압 측정

1) PEMFC의 기체 공급 라인에 가습기를 연결하여 기체가 충분히 가습된 상태로 공급되도록 설정한다.

2) PEMFC가 정상 작동할 수 있도록 수소와 산소를 공급한다.

3) 멀티미터를 이용해 PEMFC의 출력 전압을 측정·기록한다.

3. 결과 비교

저습 상태와 고습 상태에서 측정한 출력 전압을 비교하여 습도가 PEMFC 출력 특성에 미치는 영향을 분석한다.

결과 ( Results )

PEMFC를 작동시킨 결과 전기분해 장치는 약 1~2분에 걸쳐 매우 소량의 기체만 생성하였으며 장치에 주입해 전해질로 사용된 황산나트륨 수용액이 노란색으로 변색되었다.



<그림 1> (PEMFC의 셀 구조 /출처: eflowen.imweb.me/34)

PEM의 셀은 기본적으로 샌드위치 구조로 되어있으며 실험에 사용한 셀도 같은 구조로 되어있다. 다만 실험에서 사용한 셀의 경우 전해질 막, 촉매, 전류 수집 층으로만 구성된 간단한 장치를 사용하였다. 실험 중 작동 이상을 느끼고 장치를 분해한 결과 전류 수집기의 금속 부위에 심한 녹이 발생했고, 전해질막도 녹에 의해 오염된 상태였다. 촉매층의 경우 산소극의 촉매가 누락되어 있어 정상적인 전기화학 반응이 불가능한 상태였다.

전류 수집 층의 녹을 사포로 제거하고 장치를 다시 작동시켰으나 산소극의 촉매 부재로 인해 반응이 매우 느리게 진행되었다. 또한 전압의 문제를 고려하여 직류전원장치를 통해 서서히 전압을 올려봤지만 전혀 전류가 흐르지 않았다. 이러한 이유로 수소를 다른 방식을 통해 공급하는 방법을 택하였다. 비커에서 나트륨-물 반응을 통해 수소를 생산하고 수소관과 연결한 라텍스 장갑을 비커위에 덮어 직접적으로 수소를 PEMFC에 가했으나 모터는 작동하지 않았다. 이에 모터 자체의 이상여부를 확인하기 위해 모터에 직류전원장치를 통해 전기를 가했지만 모터는 정상 작동하였다. 나트륨-물 반응이 진행되는 동안 수소가 발생하는 여부도 확인해 보았지만 물에서 기포가 발생하는 모습이 육안으로 명확히 확인되었기 때문에 수소는 충분히 발생한 것으로 판단되었다. 따라서 기타 원인이 아닌PEMFC 자체 기능에 문제의 원인이 있는 것으로 파악된다.

토의(Discussion), 결론(Conclusion)

PEMFC가 정상적으로 작동하지 않은 이유를 조사해 총 세가지의 가설을 세웠다.

첫번째는 전해질 막에 충분한 수분공급이 되지 않았을 경우이다. 실험을 진행할 당시 PEMFC에 아무런 처리를 하지 않고 진행했으며 장치엔 보조 가습 장치가 탑재되어 있지 않았다. PEMFC에 충분한 습기가 제공되지 않은 경우 전기전도도가 크게 떨어지고 양성자가 정상적으로 이동할 수 없어 전기화학 반응이 제대로 일어나지 않는다. 증류수나 탈이온수를 사용해 PEMFC에 적절하게 습도를 가하고 다시 수소를 공급하면 PEMFC가 정상 작동할 가능성이 있다.

두번째는 온도가 적절하지 않았을 경우이다. 일반적인 PEMFC의 적정 온도는 60도~80도이다. 본 실험은 실온에서 진행되어 PEMFC의 적정 온도를 맞추지 못했다. 하지만 실험을 진행한 장치의 목적은 실사용보다 실험에 사용되기 위해 제작된 키트로 실온에서도 작동이 가능하게 제작되었을 가능성이 높다. 오히려 무리하게 열을 가하면 키트에 결함이 생길 수 있기에 가열은 피했다.

세번째는 PEMFC 도 앞선 PEM 전기분해 장치와 같이 내부의 장치에 결함이 있을 가능성이다. 전체 장치에서 PEM 전기분해 장치는 나사로 조립되어 있어 분해가 가능했지만 PEMFC의 경우 장치와 일체형이어서 분해가 불가능했다. 때문에 내부를 확인하지 못해 장치의 결함을 제대로 확인하지 못했다. PEM장치처럼 전해질막, 촉매, 전류수집기에 녹이 발생했거나 심각한 결손이 일어났거나 누락되어 있으면 반응이 제대로 일어나지 않을 것이다. 이 경우엔 문제가 있는 부분을 수리하거나 PEMFC 장치 자체를 교체하는 방법을 사용할 수밖에 없다.

REFERENCES

Applied Energy Volume 205, 1 November 2017, Pages 1012-1020 Long-term operation of a proton exchange membrane fuel cell without external humidification

PEMFC 스택의 열관리, 한국과학기술정보연구원 전문연구위원 손영목

지표누리- 신·재생에너지발전비율

atkins’ physical chemistry, p. atkins & j. de paula, 10th edition (2014), chapter on electrolyte conductivity