

수소 에너지 상용화의 핵심: 연료 전지 기술의 활용

Abstract

다음 탐구 자료는 수소 연료 전지 선박의 사례로 연료 전지 기술을 소개한다. 그리고 탄소 배출을 줄이기 위한 수소 활용 기술의 중요성을 강조한다. 수소 연료 전지 선박의 사례로, 수소 활용 기술의 현주소와 효과에 관해 탐구할 수 있다.

학생은 어떤 수소 활용 기술이 먼저 개발되어야 하는지를 다양한 사회경제적 배경에서 탐구할 수 있다. 실질적인 넷제로를 달성하기 위한 수소 에너지의 중요성을 실감하며, 학생은 진로 관련 활동을 진행할 수 있다. 탐구 자료에서 제시하는 Example Question의 문항 외에도 다양한 방면에서 수소 활용 기술을 살펴봄으로써, 미래 에너지 공학의 연구자로 나아갈 초석을 다질 수 있다.(Zero, 2022)

도입

수소 활용 기술의 중요성

산업통상자원부의 발표에 따르면, 국내에서 연간 이백만 톤에 달하는 수소가 생산된다(2022년 기준). 또한 상업용 수소 충전소는 전국에 285기가 있다(2024년 1월 기준). 수소 튜브 트레일러는 현재 917대가량이 운행 중이고(2021년 기준), 수소 배관은 약 250km가 설치되었다(2022년 기준).(종합정보포털, 2024) 수소 에너지의 생산과 운송 분야의 기반 시설은 활발하게 상용화되고 있다. 활용 기술의 상황은 어떻게?

많은 전문가가 국내 수소 정책이 생산된 수소의 수요처 확보에는 다소 미흡하였다고 지적한다. 수소가 직접 쓰이는 활용 분야의 상용화가 늦어진다. 이로 인해 수소 경제의 활성화가 어려워진다. 수소의 생산량에 비해 활용량이 적으면, 생산업체는 손실을 보며 수소를 폐기하거나 생산량을 줄여야 한다. 또한 실질적인 탄소 배출량의 감축을 위해 수소 활용 기술의 완전한 상용화가 시급하다.(유환, 2024)

인천광역시와 창원시 등 여러 지방 자치 단체에서 통근 버스를 수소 버스로 바꾸며 수소 활용을 위한 협력에 나섰다. 그러나 예상 수소 생산량보다 수요량이 턱없이 부족하다. 현재 가장 상용화된 수소 활용 기술에는 수소 차량과 연료 전지가 있다. 2021년 정부가 발표한 '제1차 수소 경제 이행 기본 계획'에서는 2025년까지 수소 승용차 연간 10만 대, 수소 승용차는 연간 2,000대 생산을 목표로 잡았다. 그러나 지난해 '전 세계' 수소차 판매량은 만 오천 대가량에 그쳤다. 이러한 상황에서 탄소 배출의 실질적인 저감을 위해, 수소 에너지를 활용하는 다양한 기술의 상용화가 더욱 중요해지고 있다.(산업통상자원부, 2021)

연료 전지

수소는 에너지원 또는 화학 물질로써 활용된다. 수소를 에너지원으로 활용하는 기술에는 수소 연료 전지, 수소 터빈 발전, 수소 내연 기관이 있다. 수소를 화학 물질로 활용하는 분야에는 수소 제철, 석유 정제, 화학 물질 생산 등의 분야가 있다.

자료에서는 수소 에너지원 활용 기술 중에서 연료 전지를 중점적으로 설명하고자 한다.

연료 전지의 구조

연료 전지는 수소와 산소의 화학에너지를로 전기를 생산하는 장치이다. 연료 전지는 크게 막전극접합체(MEA, Membrane-Electrode Assembly), 전해질막, 촉매층, 가스 확산층, 가스켓, 분리판으로 구성된다.(Hickner and Pivovar, 2005)

MEA는 음극과 양극을 전해질막에 부착한 것이다. MEA는 연료 전지의 핵심 부품이다. 여기서 산소와 수소의 전기화학 반응이 일어난다. MEA에는 음극(Anode, 연료극), 양극(Cathode, 공기극), 전해질이 있다. 음극에 수소를 공급하고 양극에 산소를 공급한다. 음극에서는 촉매에 의한 수소의 산화 반응이 일어난다. 이로 인해 생성된 수소 이온은 전해질을 통해 양극으로 이동한다. 양극에서는 수소 이온과 산소가 결합하며 물이 만들어진다. 음극과 양극에서 발생하는 이온의 생성과 이동으로 인하여 전위차가 발생한다. 그 결과 전자가 음극에서 양극으로 이동하며 전류가 흐른다.(O'hayre et al., 2016)

연료 전지의 장점

연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 직접 변환한다. 이와 달리 기존의 가스 터빈 발전은 연료를 태워 화학 에너지를 열에너지로 바꾸고 이를 다시 터빈을 돌려 운동에너지로 변환한 다음 전기를 생산한다. 그래서 연료 전지가 가스 터빈보다 효율이 더 높다.

연료 전지는 반응의 부산물로 물을 배출한다. 전기를 생산하는 과정에서 온실가스 또는 독성물질을 배출하지 않는다.

또한, 연료 전지의 원료인 수소는 화석연료뿐만 아니라 신재생 에너지 등의 다양한 에너지원으로 생산할 수 있다. 그래서 연료 전지로 전력을 생산하면, 우리나라의 해외 자원 의존도를 낮추고 에너지 안보를 강화할 수 있다.(Mekhilef et al., 2012)

연료 전지의 종류

MEA 속 전해질의 종류에 따라 연료 전지를 구분한다. 연료 전지의 종류에는 고분자 전해질 연료 전지(PEMFC), 고체 산화물 연료 전지(SOFC), 알칼리 연료 전지(AFC), 용융탄산염 연료 전지(MCFC), 인산 연료 전지(PAFC), 직접 메탄올 연료 전지(DMFC) 등이 있다. 또한 새롭게 개발되는 재생형 연료 전지의 형태도 주목할 만하다.

1. 고분자 전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)

고분자 전해질 연료전지, PEMFC는 말 그대로 고분자 물질을 전해질로 사용하는 연료 전지이다. 양성자 교환 박막형 연료전지라고도 불린다. 전해질로는 고체 고분자 물질과, 백금 촉매를 함유하는 다공성 탄소 전극을 사용한다. 다공성 탄소 전극이란, 탄소 나노 소재를 활용하여 만든 전극이다. 전기 전도도가 높고 표면적이 넓어 촉매와 반응 물질과의 접촉 면적이 넓어 효율적인 반응이 가능하다. 연료 전지의 가동을 위해, 수소, 공기 중의 산소, 작동을 위한 물이 필요하다.

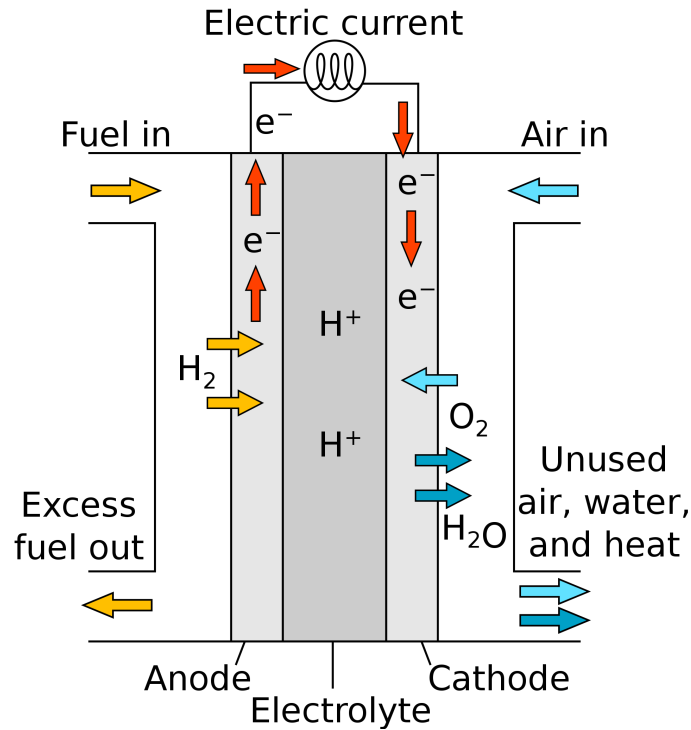


Figure 1. PEMFC의 구조

PEMFC는 다른 연료 전지와 비교해서 전력 밀도가 높다. 전력 밀도란, 일정 공간에서 처리할 수 있는 전력량을 측정한 것이다. 부피 단위당 처리되는 전력량을 세제곱미터당 와트 또는 세제곱인치당 와트 단위로 수량화한 것이다. 전력 밀도의 효율이 향상하면 기기의 크기가 감소한다. 기기의 부피 감소, 부품 감소, 비용 구조 개선 등과 같은 다양한 긍정적인 파급 효과가 발생한다. 또한, PEMFC는 중량과 체적이 적다. PEMFC는 상대적으로 낮은 온도인 80°C 에서 작동한다. 그리고 가동의 준비 시간이 짧다. 그 때문에 빠른 시동이 가능하여 전력 수요에 즉각적인 대처가 가능하다. PEMFC는 가동 시 시스템의 마모 정도가 작아 내구성이 뛰어나다. 그러나 PEMFC는 백금과 같은 귀금속 촉매가 필요하다. 그래서 초기 설치 비용이 높다는 단점이 있다.

PEMFC는 주로 수송용과 정치형에 사용된다. 여기서 정치형이란 특정 장소에 설치하여 사용하는 연료 전지의 형태를 말한다. PEMFC는 운전의 시동이 빠르고, 출력하는 동력 대비 중량의 비율이 적절하다. 그래서 자동차와 같은 수송 수단에 설치하기에 유리하다. 또한 연료 전지의 특성으로 인하여 연비가 기존의 LPG, 가솔린 차량보다 높은 경향이 있다. 수소 연료전지 차량의 연비를 가솔린 차량 기준의 연비로 환산하면 약 33.4km/l이다.

연료 전지 차량이 활발하게 개발되고 있으나, 아직 상용화 단계까지는 이르지 못하였다. 기술의 한계로 가솔린 차량에 비해 충분한 수소 연료를 싣기가 어렵다. 또한 밀도가 높은 액체 수소 연료를 사용하면, 개질 장치(수소 기체로 변환하는 장치)를 차량에 실어야 한다. 그래서 생산 비용이 상승하고, 유지와 보수의 필요성이 증가한다.(Wang et al., 2011)

2. 고체 산화물 연료 전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)

SOFC는 이온 전도성 세라믹을 전해질로 사용한다. 이온 전도성 세라믹 전해질은, 고온에서 이온의 이동이 가능한 세라믹 소재를 바탕으로 만든 전해질막이다. 세라믹 전해질은 고체 물질이다. 그

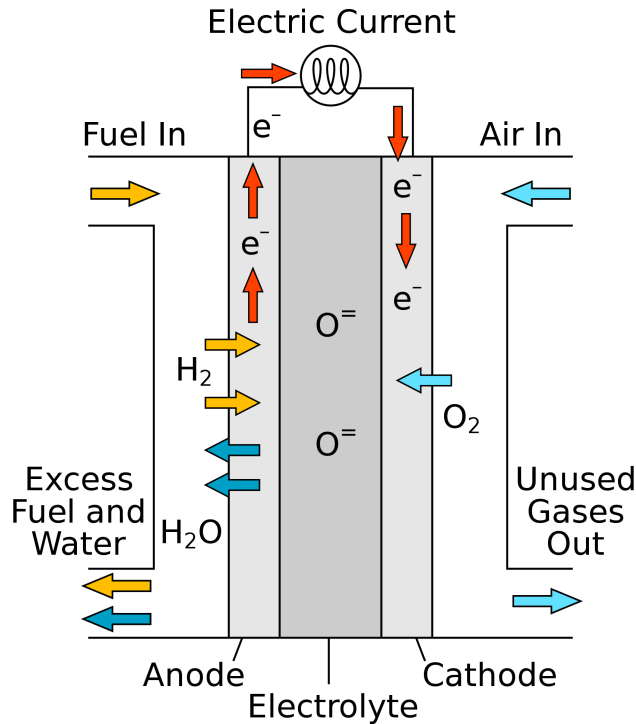


Figure 2. SOFC의 구조

서 SOFC는 다른 연료전지처럼, 전해질을 판 구조로 만들 수 없다. 전해질의 기하적 형태에 따라 SOFC를 원통형, 평판형, 일체형 등으로 구분한다. 이 중 원통형 연료전지의 기술이 가장 많이 개발되었고, 평판형이 그 뒤를 따른다. 또한 소형 시스템부터 대형 시스템까지 여러 분야에서 SOFC의 기술 개발이 이루어지고 있다.

SOFC는 연료전지 가운데 가장 발전효율이 높고, 공해가 적다는 장점이 있다. SOFC는 연료를 전기로 변환하는 효율이 약 50~60%, 시스템의 폐열을 회수하여 사용하는 열병합발전의 종합 효율은 최고 80~85%에 이른다. SOFC는 약 1,000°C에 이르는 높은 온도에서 가동한다. 그래서 저온에서 가동하는 연료 전지에서 필요한 귀금속 촉매가 필요하지 않다. 그래서 초기 설치 비용이 비교적 적고 경제적이다. MCFC와 마찬가지로 SOFC는 내부에서 수소의 개질이 가능하다. 그래서 시스템에서 개질기와 관련된 비용을 줄일 수 있다. SOFC는 황에 쉽게 오염되지 않는다. 그래서 다른 연료 전지에 비해 더 많은 양의 황에 노출되어도 괜찮다. SOFC는 CO와 석탄에서 추출한 가스 등 다양한 물질을 연료로 사용할 수 있다. SOFC는 액체 전해질을 사용하고 저온에서 작동하는 PAFC 및 MCFC와는 달리, 부식, 고가의 촉매로 인한 높은 초기 설치 비용, 전해질 제어의 어려움, 외부 개질기 도입의 필요와 관련된 문제는 없다.

그러나 고온의 작동 조건으로 인한 여러 단점이 있다. 우선, 시동에 오랜 시간이 걸린다. SOFC는 작동에 적합한 온도를 달성할 때까지의 시간과 자원이 다른 연료전지에 비해 더 많이 소요된다. 고온의 작동 환경 때문에, SOFC는 대부분 세라믹 및 내열성 금속으로 구성된다. 이때 세라믹은 금속 소재보다 내구성이 약해, SOFC는 충격에 민감하다. 이러한 긴 시동시간, 낮은 내구도, 고온의 작동 환경 등 때문에 SOFC는 수송이나 소형 휴대으로는 적절하지 않다. 또한 전력의 생산의 목적으로 SOFC를 설치한다면, 열을 유지하고 사람을 보호하기 위한 열 차폐 시설이 별도로 필요하다.

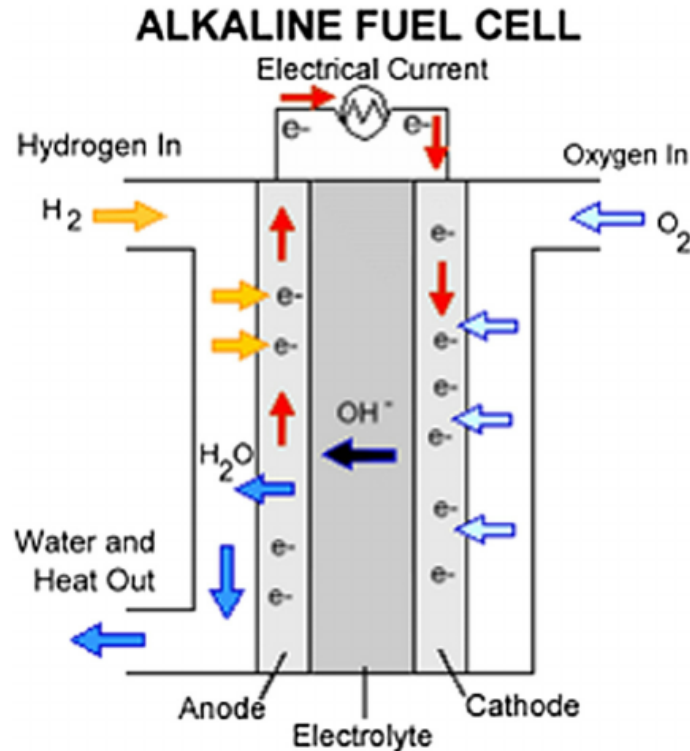


Figure 3. AFC의 구조

그리고 내구성이 높으면서 저가인 재료의 개발이 필요하다. 현재 저온 SOFC를 개발하려는 연구가 이루어지고 있다. 800 °C 이하의 온도에서 SOFC가 작동하게끔 만드는 것이 목적이다.(Minh, 2004)

3. 알칼리 연료 전지(AFC, Alkaline Fuel Cell)

AFC는 전해질로 수산화칼륨 수용액을 사용한다. 그리고 양극과 음극에서 촉매로 매우 다양한 범위의 값싼 금속을 사용한다. 이러한 장점으로 AFC는 연료전지의 개발 초기에 많이 개발되었다. 주로 우주선에서 전기와 물을 생산하려는 목적으로 미국 우주 프로젝트 등에서 소규모로 활용되었다.

기존의 고온 AFC는 100~250 °C에서 작동한다. 그러나 최근의 AFC 설계에 따르면 비교적 상온에 가까운 저온인 23~70 °C에서도 작동이 가능할 것으로 예상된다. 현재 상용화된 AFC의 작동 온도는 약 60~120 °C이다. 또한, AFC는 화학 반응의 속도가 빨라 성능이 좋다. 우주에서 사용하여도 60% 정도로 높은 발전 효율을 보인다. 그리고, AFC는 작동 시간이 약 8,000시간 이상으로 비교적 오래 안정적으로 전기를 생산한다는 장점이 있다. 그러나 대규모 발전 분야에서 연료전지가 완전히 상용화되기 위해서는 작동 시간이 40,000시간에 도달하여야 한다.

AFC의 단점은 이산화탄소에 민감하다는 것이다. 알칼리 전해질은 이산화탄소와 쉽게 결합하여 오염된다. 전해질이 오염되어 OH⁻ 이온의 농도가 감소하면, 연료극에서 반응 속도가 감소한다. 또한 점성이 증가하여 물질의 확산 속도가 감소하므로 전류가 감소한다. 이산화탄소에 의해 생성된 탄산염은 녹지 않고 가라앉는다. 침전된 탄산염은 다공성 전극의 공극을 막아 전극을 손상한다. 산소의 용해도도 감소하여 공기극의 반응 속도도 감소하며, 전해질의 전도도 또한 감소한다. AFC는 순수한 수소와 산소만을 이용하여야 한다. 그래서 저온에서 작동하는 PEMFC가 개발된 이후로 항공우주 분야에서만 사용된다.(McLean et al., 2002)

4. 용융탄산염 연료 전지(MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell)

Figure 4. MCFC의 구조

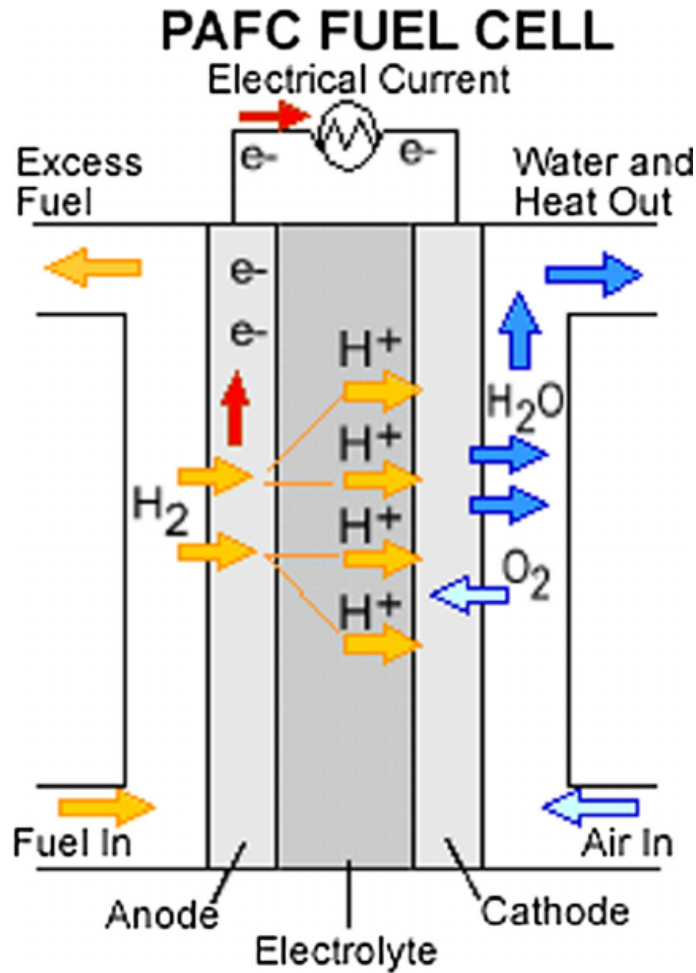


Figure 5. PAFC의 구조

MCFC의 전해질은 리튬-칼륨(Li-K) 탄산염이다. MCFC는, PEMFC나 PAFC보다 고온에서 작동한다. 그래서 저온에서 작동하는 연료전지보다, 연료 투입량 대비 전력 생산의 효율과 전체 시스템의 에너지 사용 효율이 높다. 또한 고온에서 작동하기 때문에 양극과 음극에 니켈 촉매를 사용할 수 있다. 니켈 촉매는 저렴하므로 초기 설비 비용을 절감할 수 있다. MCFC의 효율은 약 50%이고, 폐기되는 열을 회수하여 활용하면 전체 효율을 85%까지 높일 수 있다. MCFC는 높은 온도의 전지 내부에서 연료가 수소로 바뀌는 '내부 개질' 과정이 일어난다. 따라서 다른 연료 전지와 다르게 외부에 개질기를 설치하지 않아도 된다. MCFC는 연료로 CO₂를 사용할 수 있다. 다시 말해 다른 연료 전지와는 다르게 CO 또는 CO₂에 의한 오염이 일어나지 않는다.

MCFC의 단점은 내구성이 약하다는 것이다. MCFC는 부식성의 전해질이 부품을 파손시킨다. 또한 작동 온도가 상대적으로 높아 다른 연료 전지보다 파손과 부식이 가속화되어 전지의 수명이 짧아진다.(Dicks, 2004)

5. 인산 연료 전지(PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cell)

PAFC는 전해질로 액체 인산을 사용한다. 그리고 테프론이 결합된 실리콘 탄화물 모체와 백금 촉매

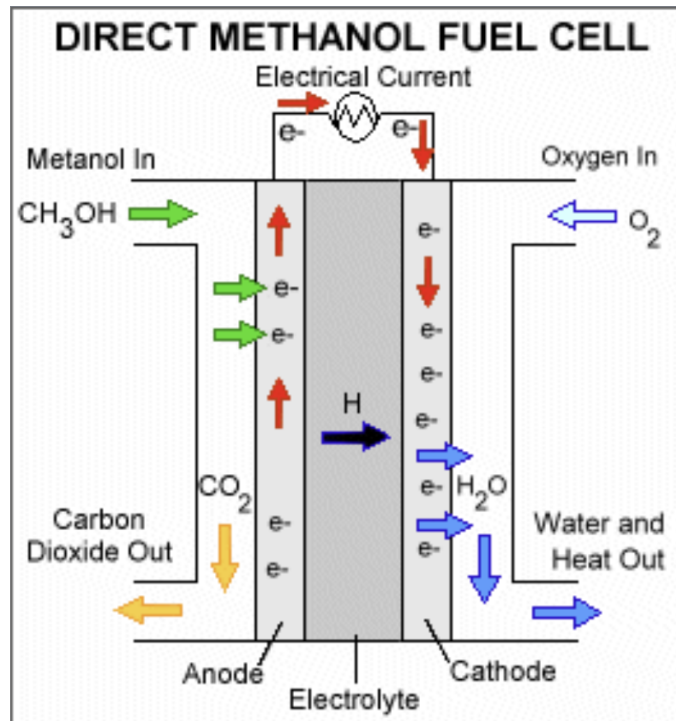


Figure 6. Configuraion of DMFC

를 포함하는 다공성 탄소 전극을 사용한다. PAFC는 기술성숙도가 높고, 상용화가 빠르게 된 연료 전지이다. 일반적으로 정치형 동력원의 목적으로 사용되지만, 일부 PAFC는 도시형 버스와 같은 대형 차량의 동력원으로 사용된다.

PAFC는 PEMFC보다는 수소 개질 시에 불순물에 쉽게 오염되거나 파괴되지 않는다. 또한 전기와 열을 함께 사용하는 열병합발전에서는 약 85%의 효율 갖는다. 그리고 전기를 단독으로 생산할 때는 37.42%의 비교적 낮은 효율을 갖는다(화력발전소는 33.35%).

PAFC는 같은 중량과 체적에서 다른 연료전지보다 출력이 작다. 그래서 일반적으로 기기가 크고 무겁다. PEMFC와 마찬가지로 백금 촉매가 필요하기 때문에 가격이 비싸다. 또한 황, 연료 불순물 등의 성분에 민감하게 반응하는 특성이 있다.(Sammes et al., 2004)

6. 직접 메탄올 연료 전지(DMFC, Direct Methanol Fuel Cell)

DMFC는 PEMFC의 한 부류로, 메탄올과 산소를 전기, 열, 이산화탄소와 물로 변환한다. 대부분 연료 전지는 순수한 수소를 직접 사용하거나, 연료를 수소로 개질하여 사용하는 반면, DMFC는 메탄올을 직접 연료로 사용한다는 특징을 가지고 있다. 메탄올은 수소보다 에너지 밀도가 높으므로 연료 저장의 문제를 해소할 수 있으며, 크고 무거운 수소 저장 장치와 개질 장치가 필요하지 않다. 또 메탄올은 가솔린과 같은 액체이기에 현재의 인프라를 사용하면 연료의 수송과 공급이 원활하다는 장점이 있다.

DMFC는 PEMFC와 비교할 때 높은 전류를 얻기 위해 탄소 기질 위에 고가의 백금/루테튬 촉매가 많이 필요하다. 단일 DMFC에 의해 생성되는 전압은 부하에 따라 0.3에서 0.9V 사이로 나타난다. 이러한 DMFC 기술은 수소를 사용할 수 없는 영역에서 사용할 수 있는 저온 연료전지 시스템으로, 순수한 수소를 연료로 사용하는 다른 연료전지보다 상대적으로 새로운 기술이다.(Hamnett, 1997)

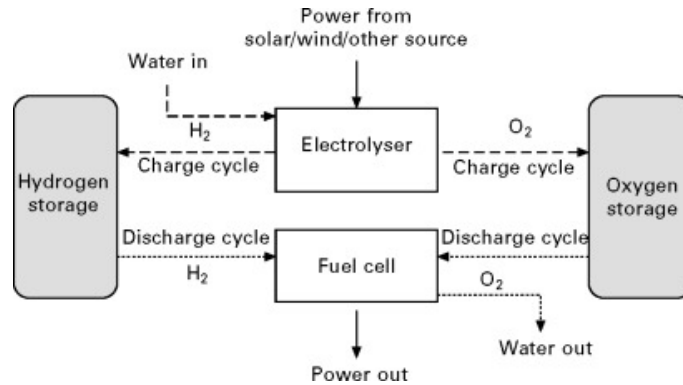


Figure 7. RFC의 구조

7. 재생형 연료 전지(RFC, Regenerative Fuel Cell)

RFC는 여느 연료 전지처럼 수소와 산소(또는 공기)로 전기, 물, 폐열을 생산한다. 그러나 연료 전지 반응의 역반응인, 물의 분해 반응 또한 RFC에서 일어난다. RFC는 전기를 생산하는 연료 전지 모드와 수소를 생산하는 전기 분해 모드로 구분해 가동한다. RFC의 시스템에서는 자체적으로 수소를 생산하고, 이를 통해 전기를 생산한다. 즉 수소를 공급하는 인프라 없이도 연료 전지 발전을 할 수 있다는 것이다.

RFC는 아직 상용화보다는 기술의 개발 단계에 있다. RFC의 개발에서 두 가지 사항을 고려하여야 한다.

(1) 가역 연료 전지를 만드는 데 별도의 비용이 들어간다.

한 가지 반응만을 이용해서 전력을 생산하는 연료 전지들과 다르게, RFC는 두 가지 반응을 고립된 시스템에서 모두 발생시켜 수소와 전력을 생산하므로 초기 투자 및 설치 비용이 비교적 많이 발생한다. 또한 적절한 밀폐 시스템을 개발하기 위한 연구 및 개발이 필요하다.

(2) 수소를 생산하기 위해 전력을 사용하여야 한다.

연료 전지 반응에 필요한 수소를 자체적으로 생산하기 위해서, 전력을 투입하여야 하는 모순적인 상황이 발생한다. 심지어 현재 대부분의 전기는 화석연료를 바탕으로 생산하므로, 기존의 전기를 활용한다는 것은 환경 오염의 소지가 있다. 심지어 화석연료로 전기를 생산하고 이를 다시 수소 에너지로 변환하는 과정에서, 단순히 내연 기관을 가동하는 것보다 더 많은 온실가스를 배출한다. 그러나 재생에너지를 통해 생산한 전력의 공급을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있다.(Mitlitsky et al., 1998)

수소 연료 전지 선박의 사례 소개

수소 연료 전지 선박의 중요성

수소 연료 전지는 자동차, 비행기, 기차, 선박 등 다양한 운송 수단의 동력원으로 활용될 수 있다. 현재 다양한 이유로 여러 모빌리티 중, 수소 연료 전지 선박이 주목받고 있다. 이러한 무탄소 선박의 중요성이 증가하게 된 배경에 대해 알아보자.

IMO(국제 해사 기구)의 발표에 따라, 전 세계적으로 해운업계는 2030년까지 탄소 배출을 30% 2040년까지 80%를 감축해야 하며 2050년까지 넷제로를 달성해야 한다(김타영, 2021). 또한, 목표 달성을 위하여 IMO의 각 회원국은 연료별 온실가스 집약도를 단계적으로 제한하는 '목표 기반 연료유 표준제'와 배출되는 온실가스에 가격을 부과하는 제도를 도입하기로 합의했다.(해양수산부, 2023)

이와 같은 제도와 협약으로, 조선 사업자들은 선박에서 배출하는 온실가스를 최소화하여야 한다. 일정 수준의 온실가스를 감축하지 못할 시 배출권을 구매한 후 온실가스를 배출하여야 하므로, 선박 사업자는 경제적인 손실을 볼 수 있다. 그러나 황산화물과 질소산화물의 저감 기술인 스크러버나 LNG 연료 사용을 통한 선박의 추진 등 기존 기술만으로는 탄소 감축 목표에 도달하기 어렵다.

그래서 수소 활용 기술을 도입하여 획기적으로 탄소의 배출량을 줄여야 한다. 이미 미국에서는 수소가 차세대 선박 연료로 사용될 것으로 판단하고 2018년도부터 수소 연료 전지 선박 개발에 박차를 가하고 있다. (정두현, 2022) 우리나라의 과학기술정보통신부에서도 무탄소 선박 전환을 위한 혁신 기술 중 하나로 '수소 연료 전지와 배터리'를 내세우고 있다.

수소 연료 전지 선박의 원리 및 구조

이제 수소 연료 전지 선박의 원리와 구조에 대해 알아보자. 연료 전지 선박은 수소를 연료 전지에 공급하여 전기에너지를 생산하고, 생산된 전기 에너지로 추진 모터를 구동하여 작동한다. 수소 연료 전지 선박은 크게 수소 연료 저장 및 공급 시스템, 에너지 저장 장치(ESS), 수소 연료 전지, 선박 추진 및 제어 시스템으로 구성된다.

1. 선박용 수소 연료 저장 및 공급 시스템은 연료탱크와 연료공급시스템으로 분류된다. 연료 탱크는 다시 고압 저장탱크와 액화 저장탱크로 구분한다.

고압 저장탱크는 상온에서 기체 수소를 30MPa 70MPa에서 가압하여 저장한다. 이는 상대적으로 연료 소모가 적은 소형선박에 적합하다. 고압 저장탱크의 경우, 저장 용기의 내·외벽 구조 설계, 보강재 및 저장 용기 지지 구조 설계와 같은 기술의 개발이 필요하다.

액화 저장 탱크는 0.5 1MPa에서 수소를 -250도 이하로 액화시켜 저장한다. 상대적으로 연료 소모가 큰 중대형 선박에 적절한 방식이다. 액화 저장탱크의 경우, 극저온과 수소 취화(금속에 수소가 흡수되면 취약해지는 현상)에서 충분한 안전성을 확보할 수 있는 강재가 필요하고, -250도 이하의 극저온 환경에서 액체수소의 상을 유지할 수 있는 단열재료와 구조의 기술이 필수적이다.

연료 공급시스템은 수소를 연료전지에 공급하는 시스템이다. 수소 공급 장치, 열교환기, 수소 기화기 등으로 구성된다. 적절한 온도와 압력을 유지하여 연료전지 가동에 필요한 수소를 일정하게 공급하여야 한다. 이를 위해 액화 수소를 가열하여 기체 상태로 변환하는 기화기를 설치한다. 그리고 기화기, 열교환기 등 장치들의 안전성 평가가 필요하다.

2. 수소 연료 전지는 수소를 연료전지에 공급하여 화학 에너지를 전기 에너지로 직접 변환하는 고효

울의 무공해 발전 장치다.

- 에너지 저장 장치(ESS)는 수소 연료 전지로 생산한 전기 에너지 중 선박 이동을 하고 나서 남은 전기 에너지를 저장했다가 필요한 경우에 사용할 수 있도록 하는 장치이다.
- 추진 및 제어시스템은 전기추진시스템과 통합 제어 및 모니터링 시스템으로 구성된다. 전기추진 시스템은 핵심 모듈과 이를 구성하는 동력계(인버터, 드라이브 등) 설비로 구성된다. 통합 제어/모니터링 시스템은 선박 내 통합 제어시스템, 전력 관리 및 배분을 최적화하는 기술 등을 포함한다.

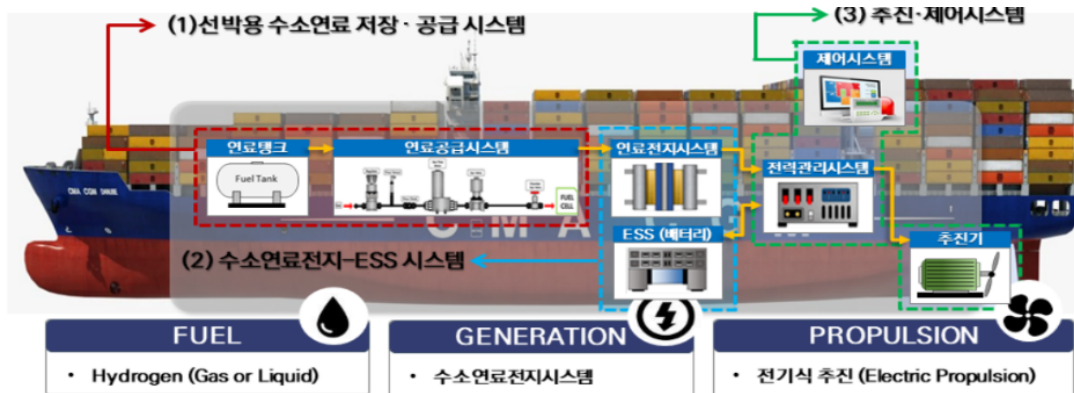


Figure 8. 수소연료전지선박 원리 및 구조

수소 연료 전지 선박의 장점

수소 연료 전지 선박은 기존의 선박에 비해 여러 장점이 있다.

첫 번째로 연료 전지 선박은 환경친화적이다. 수소 연료 전지 선박은 온실기체를 배출하지 않기 때문에 앞서 언급한 IMO의 환경 규제에 대응하기가 쉽다. 일반적으로 선박의 크기가 커질수록 연료소비량 또한 증가하여 배기가스가 많이 배출된다. 규모가 큰 선박은 환경 규제에 따라 배기가스를 처리하는 비용이 더욱 많이 발생한다. 그러나 수소 연료 전지를 도입한다면, 이러한 환경적인 비용을 대폭 줄일 수 있다.

두 번째 장점은 연료 전지의 발전 효율이 높다는 것이다. 일반적으로 가솔린 엔진은 약 25%, 디젤 엔진은 약 35%의 효율을 가지지만, 연료전지의 발전효율은 약 47% 60%로 평가되고 있다. 발전효율이 높은 만큼 선박 운항 시의 연료 비용을 줄일 수 있다.

세 번째 장점은 선박 운항 시 소음 및 진동이 없다는 것이다. 수소 연료 전지 선박은 전기 모터로 운영되기 때문에 대형 디젤엔진이 가지는 소음 및 진동이 없다.(이제명 et al.) 선박을 운행하는 주변 바다 생태계를 교란하지 않는다는 측면에서 환경친화적이다.

이처럼 수소 연료 전지 선박은 에너지 측면과 경제적인 측면에서 우수하다. 하지만 현재 수소 선박과 수소 선박 충전소에 관련된 안전 기준이 마련되어 있지 않다. 또한, 수소의 생산, 운송, 충전이 모두 가능한 에너지 생태계가 조성된 수소 항만을 구축하여야 한다. 따라서 수소 연료 전지 선박의 상용화를 위해서는 안전기준 마련, 수소 에너지 생태계 조성 등과 같은 과제들을 해결하여야 한다.(한상원, 2023)

Example Questions

해당 문항을 제외한 자유주제로 연구해도 무관함.

1. 화석 연료를 사용하는 산업의 에너지를 수소 에너지로 대체하면, 탄소 배출량을 효과적으로 줄일 수 있다. 현재 탄소 배출량이 많은 국가(2 3개 정도)는 어느 곳이며, 그 규모는 어떠한지 찾아보자. (어떠한 기준 및 지표로 국가별 탄소 배출량을 비교할 수 있는지 찾아보자. 또한 그러한 기준이 타당한지 고민하여 보자.)
2. 특정 국가에서 탄소 배출량이 많은 산업 분야는 무엇이며, 산업별 이산화탄소 발생량의 비율은 어떠한가? (탄소 발생량을 나타내는 기준과 지표는 무엇이며, 비교의 근거는 타당한지 살펴보자.)
3. 탄소 배출량이 많은 산업 분야에서, 수소 연료 전지를 활용하여 기존의 화석 연료 기반 에너지를 대체할 수 있는지 고민하여 보자. 또한 다른 수소 활용 기술을 사용할 수 있는지도 살펴보자.
4. 수소 활용 기술 중 수소 연료 전지의 활용처는 무궁무진하다. 다양한 에너지 기술과 결합하여 수소 연료 전지로 탄소 배출량을 효과적으로 줄일 방법을 고안하여 보자.
5. 3번과 4번 문항에서 수소 활용 기술을 통해 얻을 수 있는 환경적 및 경제적 이익은 어느 정도일까? 가능한 다양한 관점에서 살펴보자.

References

- Dicks, A. L. 2004. Molten carbonate fuel cells. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* **8**:379–383.
- Hamnett, A. 1997. Mechanism and electrocatalysis in the direct methanol fuel cell. *Catalysis today* **38**:445–457.
- Hickner, M., and B. Pivovar. 2005. The chemical and structural nature of proton exchange membrane fuel cell properties. *Fuel cells* **5**:213–229.
- McLean, G., T. Niet, S. Prince-Richard, and N. Djilali. 2002. An assessment of alkaline fuel cell technology. *International Journal of Hydrogen Energy* **27**:507–526.
- Mekhilef, S., R. Saidur, and A. Safari. 2012. Comparative study of different fuel cell technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**:981–989.
- Minh, N. Q. 2004. Solid oxide fuel cell technology—features and applications. *Solid State Ionics* **174**:271–277.
- Mitlitsky, F., B. Myers, and A. H. Weisberg. 1998. Regenerative fuel cell systems. *Energy & Fuels* **12**:56–71.
- O'hayre, R., S.-W. Cha, W. Colella, and F. B. Prinz. 2016. *Fuel cell fundamentals*. John Wiley & Sons.
- Sammes, N., R. Bove, and K. Stahl. 2004. Phosphoric acid fuel cells: Fundamentals and applications. *Current opinion in solid state and materials science* **8**:372–378.
- Wang, Y., K. S. Chen, J. Mishler, S. C. Cho, and X. C. Adroher. 2011. A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research. *Applied energy* **88**:981–1007.
- Zero, O. N. 2022. What is Net Zero? Net Zero Climate <https://netzeroclimate.org/whatis-net-zero>.
- 김타영, 2021. 더 엄격해지는 탄소배출 규제? 韓 조선사들엔 '기회'. *FOURTUNE KOREA*. <https://www.fortunekorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=30309>.
- 산업통상자원부, 2021. 제1차 수소경제 이행 기본계획. <https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCLc01b2801b/67130/view>.
- 유환, 2024. 성큼 다가온 수소생태계...수요처 확대가 '급선무'. <https://www.economidaily.com/view/20240229165547927>.
- 이제명, 김정현, 김슬기, 김태욱, and 김명성. ??? 수소연료전지선박 개요 및 기술개발 동향 소개. 부산대학교.
- 정두현. 2022. 美, 수소연료전지 선박 최초 개발한다. *가스신문* <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=83582>.
- 종합정보포털, 2024. 국내 수소산업 생태계 현황. <https://h2hub.or.kr/main/stat/stat.abroad.ecosystem.do>.
- 한상원. 2023. [기획] 기대되는 수소모빌리티, 지게차와 선박시장의 미래는 규제 많고 높은 기술력 요구되나 국내시장 강점 많아. *가스신문* <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=108446>.
- 해양수산부, 2023. 국제해운 2050 탄소중립 실현 목표로 하는 '2023 온실가스 감축전략' 채택. 해양수산부. <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=52282&bbsSeq=10&menuSeq=971>.

CONTRIBUTORS



Yeowon Kim

M. ywkimb@kentech.ac.kr

Presently an undergraduate engineer at KENTECH, my focus lies in the realms of Hydrogen technology and Grid modernization. My ongoing research delve deeply into the entire lifecycle chain of hydrogen, encompassing its liquefaction processes and diverse applications.



Hyunhwa Lee

M. lhhjsjs@kentech.ac.kr

Currently an undergraduate enginner @KENTECH, I have a lot of interest of hydrogen and carbon capture and utilization technologies. I am an undergraduate research student at HYLOT, working on onboard carbon capture technology. My ultimate goal is to develop an economical and efficient carbon dioxide capture technology and commercialize hydrogen energy



Jaeyeon Yang

M. jannn@kentech.ac.kr

Jaeyeon Yang is a junior at KENTECH, focusing on enhancing device efficiency through nano electrochemistry with Professor Jeongmin Kim. Her interests lie in optimizing energy systems across all scales and cultivating societal engagement in the energy transition. By advancing sustainable energy technologies, she aspires to pave the way for a more sustainable society.



Seonwoo Choi

M. csw030930@kentech.ac.kr

Deputy editor. Major in secondary battery and new material engineering. Belonging Prof. DH Seo's PNCSEE group, KENTECH as undergraduated researcher. The wide range of knowledge and occasional creativity surprise people sometimes.



Kiho Bae

M. kbae@kentech.ac.kr

Assistant professor and leader of the Multiscale Structuring and Characterization Lab. at KENTECH. Professional research background in clean hydrogen production and utilization, particularly ceramic materials operating at high temperatures, as well as in nanoscale manufacturing and characterization.