



고분자 전해질 연료전지

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

PEMFC



◆ PEMFC

- ☒ 1960년대 Gemini 우주선 사용
- ☒ 1970년대 Apollo 우주선 계획
- ☒ 1980년대 말 무공해 차량 동력원으로 연구

◆ PEMFC의 다른 이름

- ☒ Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell (SPEFC)
- ☒ Solid Polymer Fuel Cell (SPFC)
- ☒ Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)
- ☒ 저온 산성 연료전지

PEMFC의 장점



- ☒ 간단한 디자인 및 제조
- ☒ 적은 부피와 무게
- ☒ 짧은 시동시간
- ☒ 부하 변화에 따른 빠른 응답
- ☒ 다양한 범위의 출력
- ☒ 부식문제가 거의 없음
- ☒ 긴 작동수명 ($> 40,000$ h)
- ☒ 저온 운전 ($20 - 110$ °C)
- ☒ 높은 비에너지 밀도 ($200 -$ 수천 Wh/kg)
- ☒ 단위 면적 당 높은 출력 밀도 (3.5 W/cm²)
- ☒ 높은 에너지 효율 (45%)



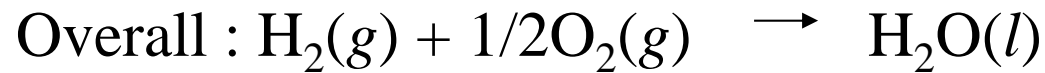
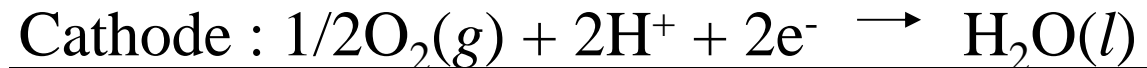
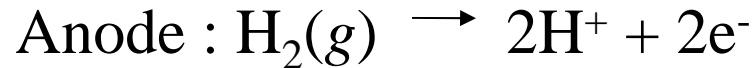
PEMFC의 단점



- ❌ 비싼 촉매 가격
- ❌ 수소에 함유되어 있는 CO에 의한 활성 저하
- ❌ 전해질의 비싼 가격
- ❌ 운전 중 고분자 막 수분 함량 조절의 어려움
- ❌ 높은 발전 비용
- ❌ 낮은 운전 온도로 인한 폐열 활용 불가능

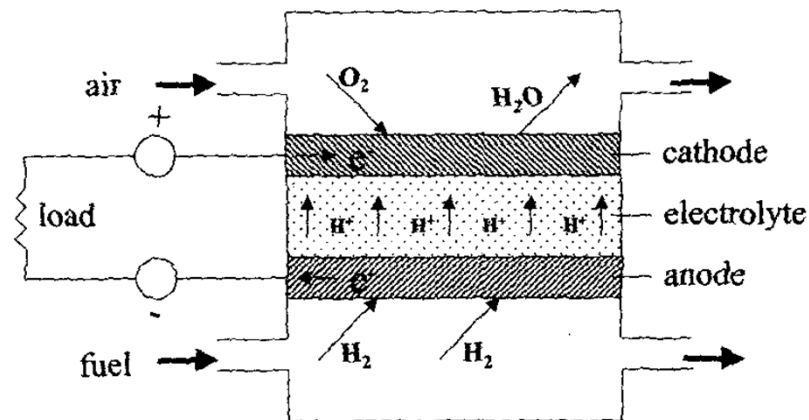


발전원리



$$E = E_0 + (RT / 2F) \ln(P_{\text{H}_2} P_{\text{O}_2}^{1/2} / P_{\text{H}_2\text{O}})$$

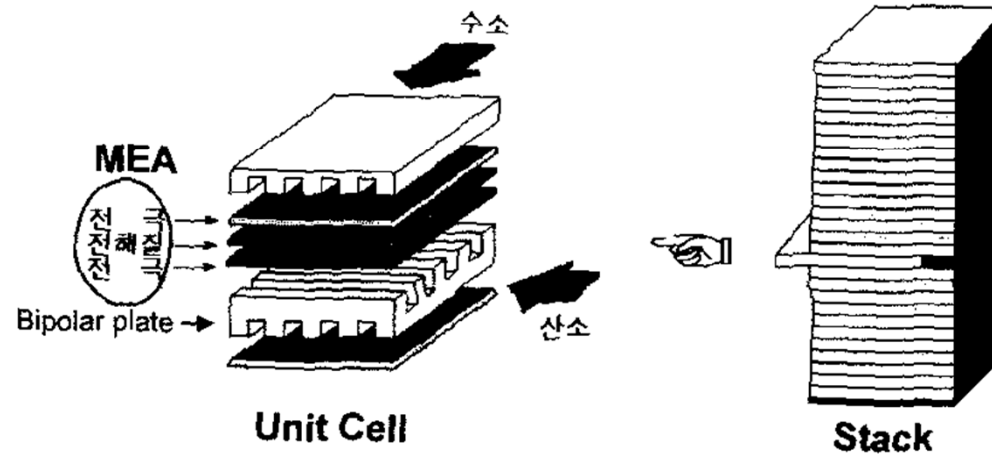
$$E_0 = 1.129 \text{ V}$$



PEMFC의 주요 구성 요소



- ☒ 고분자 전해질 막
- ☒ 전극(Anode, Cathode)
- ☒ MEA(Membrane-Electrolyte Assembly) : 전해질 막 + 전극
- ☒ 분리판 : stack 구성을 위한 단위전지의 분리



고분자 전해질 막



- ✘ 수소이온 전도체, 전자 절연체
- ✘ 수소와 산소의 접촉 방지
- ✘ 조건 : 고 수소이온 전도성, 저 전자 전도성
이온이동 > 반응기체 및 물의 이동
기계적, 화학적 안정성
- ✘ 1959년 Grubb에 의해 최초 도입
- ✘ $-\text{SO}_3\text{H}$ (sulfonic acid)를 포함한 고분자
- ✘ 초기 : 탄화수소계열 고분자 사용
Sulfonated phenolformaldehyde
Polystyrene-divinylbenzene sulfonic acid (Gemini 사용)
- ✘ 안전성 문제로 fluorine이 치환된 고분자로 전환 :
Polytrifluorostyrene sulfonic acid
Nafion (perfluorinated sulfonic acid 계열)

수분 조절 문제



☒ 고분자 전해질 막 내부는 적정 수분유지가 중요 :

과수분 : flooding 현상

저수분 : 수소 이온 전도도 감소, 막 수축

→ 반응 속도 저하

☒ 막 내의 수분 : cathode → anode로 이동(back diffusion)

- cathode : 과잉생산 → 제거

cathode에 과량의 산화기체 사용, anode water removal,
cathode 심집법

- anode : 부족 → 반응기체 물로 포화

외부가습법 : bubble법, 물 투과성 중공사법, 물입자 분산법

내부가습법 : 다공성 고분자막 법, 직접 가습법, 다공성 분리판 법

사용되는 전해질 막



Product	Manufacturer	Equivalent weight (g/mol SO ₃ ⁻)	Thickness dry (μm)	Water content (%)	Conductivity (S/cm)
Nafion -115	Du pont (USA)	1100	130	34	0.059
XUS	Dow Chemical (USA)	800	125	54	0.114
Dow	Dow Chemical (USA)	800	125	54	0.114
Gore -Secect	W.L.Gore & Associate (USA)	1100	20	32	0.53
Aciplex -S	Asahi Chemical (Japan)	1000	120	43	0.108
Flemion	Asahi Glass (Japan)	900	80(A),50(B)		

: Product C (Cholorine Engineer, Japan)
 Neosepia -F (Tokuyama Soda, Japan)
 Hoechst(Germany)



전극



☒ 촉매층, 결합체, 지지체로 구성

☒ 촉매층 : Pt 입자(2 - 5 nm) 사용

물질전달 저항 최소 위해 두께가 얇고 균일해야 함

산소 환원 반응이 느리므로 cathode의 촉매량이 더 큼

☒ 결합체 : teflon (소수성)

☒ 지지체 : carbon paper, carbon cloth

촉매 지지, 기체 확산층, 집전체, 생성된 물의 제거 통로 역할

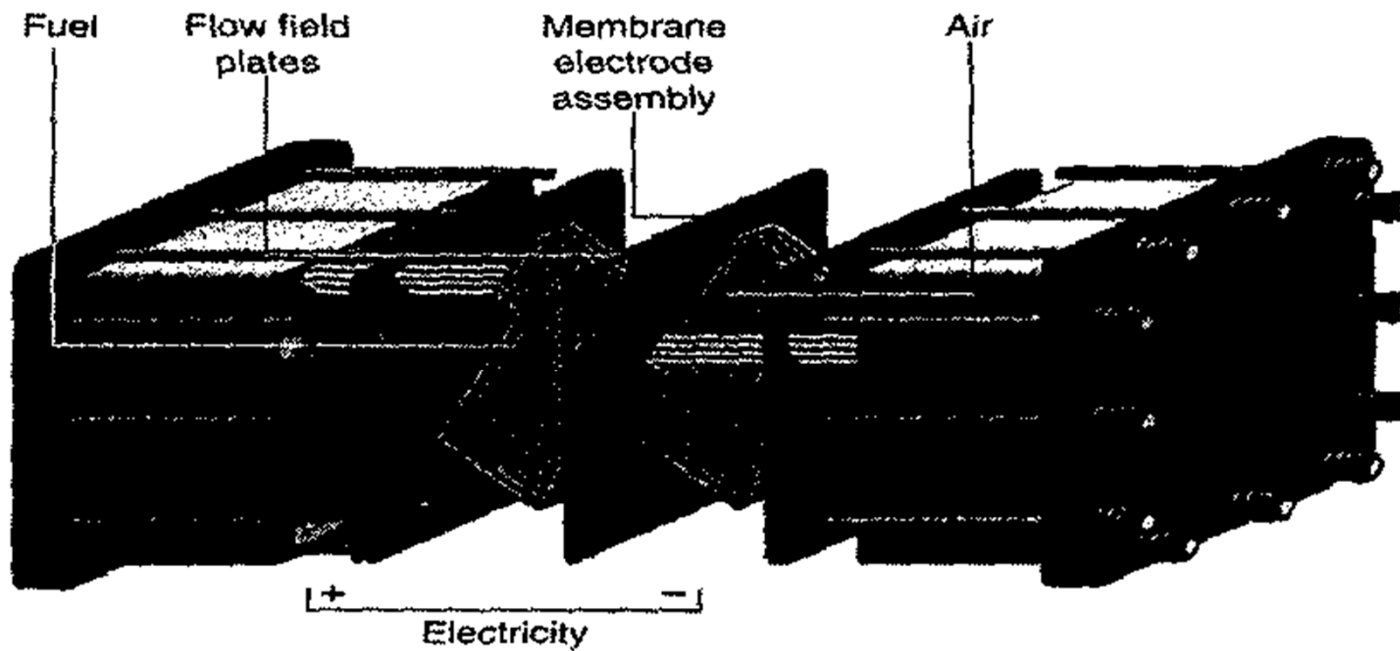
☒ 코팅법 : brushing, pressing, rolling, spraying, screen printing 등



Stack



☒ 단위전지를 수십 - 수백 개 적층하여 구성



☒ PEMFC의 이상적 연료 : 수소

☒ 연료로 탄화수소가 쓰이는 경우 :

개질을 통해 수소를 촉매적으로 생산하여 공급

☒ 개질법 : 부분산화, 증기 개질, 분해

☒ 문제점 : 소량의 CO 발생 → Pt 피독 → 성능 저하

☒ 해결방안 : CO 산화법(CO₂ 발생), H₂ 선택투과막 법,

새로운 촉매의 개발(Pt/Ru 합금),

고온 운전법(고온에 견디는 전해질막 필요)

응용분야



- ☒ 무공해 차량의 동력원
- ☒ 현지 설치형 발전
- ☒ 우주선용 전원 및 물 공급
- ☒ 이동용 전원
- ☒ 군사용 전원



국외 기술 개발 현황



Application	Manufacturer	Output	Fuel	Oxidant	Operation
Test	Sanyo	168kW	H ₂	Air	94 -
Vehicle		10kW	H ₂	O ₂	94 -
	Ballard	120kW	H ₂	Air	93 -
	Matsuda/Ballard	8kW	H ₂	O ₂	94 -
	Tanaka Kikinzoku	360W	H ₂	O ₂	94 -
Stationary	Dow Canada/Ballard	30kW	H ₂	Air	92 -
	Energy Part	3kW	H ₂	O ₂	93 -
	MHI/Tokyo Gas	5kW	H ₂	Air	93 -
	Fuji/KEPKO	5kW	H ₂	Air	94 -
Space	Ergenics Power System	200W	H ₂	O ₂	88 -
	Siemens	34kW	H ₂	O ₂	93 -
Portable	Ergenics Power System	400W	H ₂	O ₂	88 -
	Ballard	4kW	MeOH	Air	90 -
	Fuji	4kW	H ₂	O ₂	93 -



국내 기술 개발 현황



☒ 에너지자원기술지원센터 연료전지 개발 기본계획 (1987) :

1단계 : 기초연구 (1988 - 1991)

2단계 : 1kW급 stack 개발 (1992 - 1996)

3단계 : 15kW급 시스템 개발 (1997 - 2001)

4단계 : 25kW급 시스템 개발 (2002 - 2006)

☒ 상용화를 위해 연구 개발되어야 할 사항 :

- 구성요소 기술 : 촉매, 전극구조, 전해질 개량, MEA
- 스택 기술 : 고성능, 대용량 스택, 장기운전, 냉각시스템, 가습
- 개질기 기술 : 개질 조건 최적화, CO 전환, 소형화
- 상용화 : 경박 단소화, 가격 저감화, 주변장치와의 시스템화, 동력원 및 자동차 시스템 엔지니어링, 안정성 확보, 운전 비용의 절감

연료전지 자동차



- ☒ 환경 친화성
- ☒ 연료 효율성
- ☒ 연료 공급 편리성

1993	DOE	2004	PEMFC PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles)
1993	Ballard		PEMFC
1994	Daimler -Benz		PEMFC (NECAR 1)
1995	Ballard		PEMFC
1996	Daimler -Benz		PEMFC (NECAR 2)
1996	Toyota		Metal hybride PEMFC
1997	Toyota		PEMFC
1998	GM	2004	PEMFC
1998	Crysler	2004	가 PEMFC