Chungnam National University

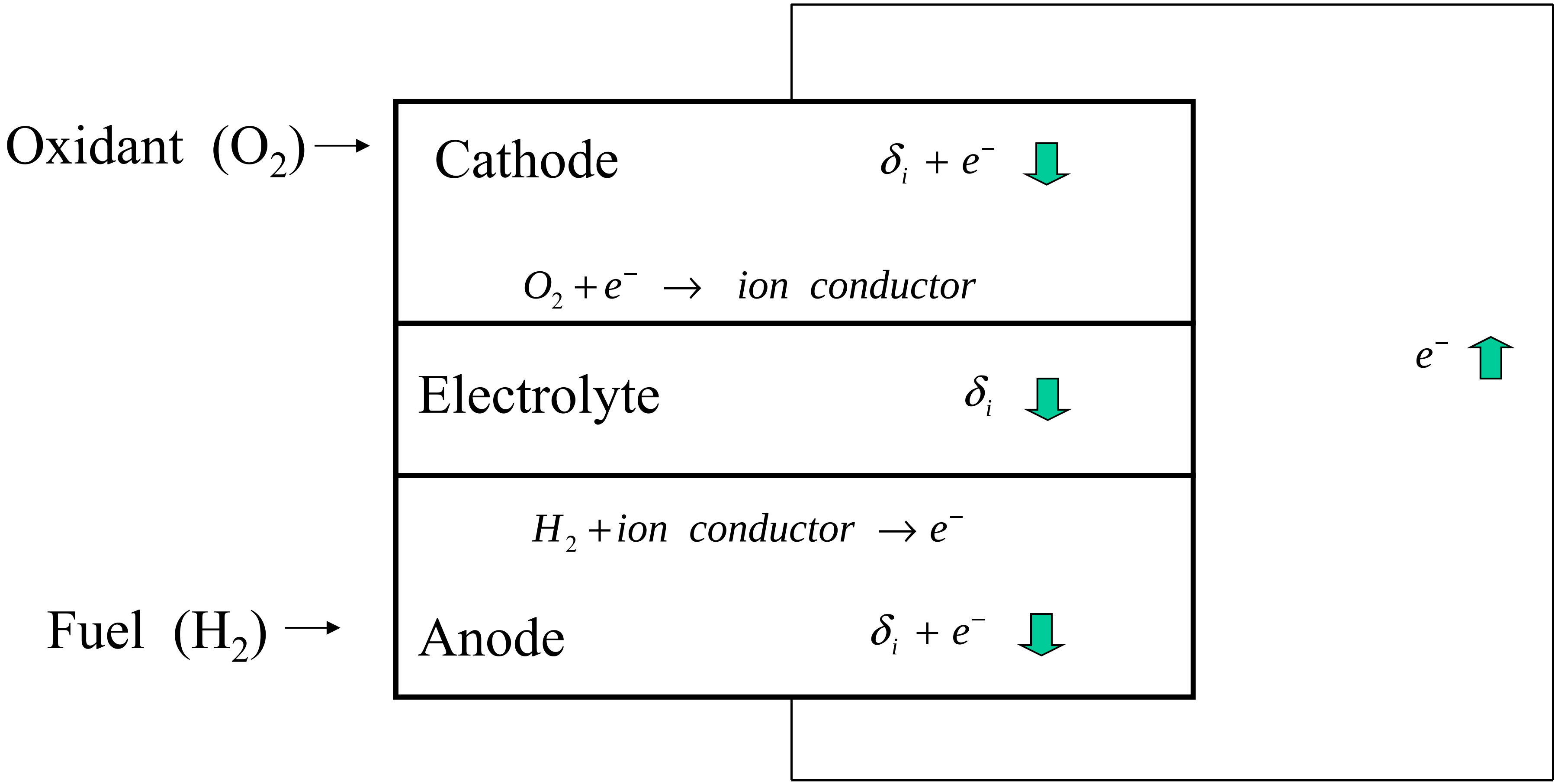
용융탄산염 연료전지 기술개발 현황 및 전망

Advanced ENERGY & ENVIRONMENT Research Lab.

Energy Conversion for Electricity

- **Fossil fuel (coal/LNG/petroleum) power plant**
  - chemical → thermal → mechanical → electrical
  - chemical → kinetic → mechanical → electrical
- **Nuclear power plant**
  - nuclear → thermal → mechanical → electrical
- **Hydroeletric power system**
  - hydrodynamic → mechanical → electrical
- **Fuel cell device**
  - chemical → electrical
- **Photovoltaic cell**
  - solar → electrical

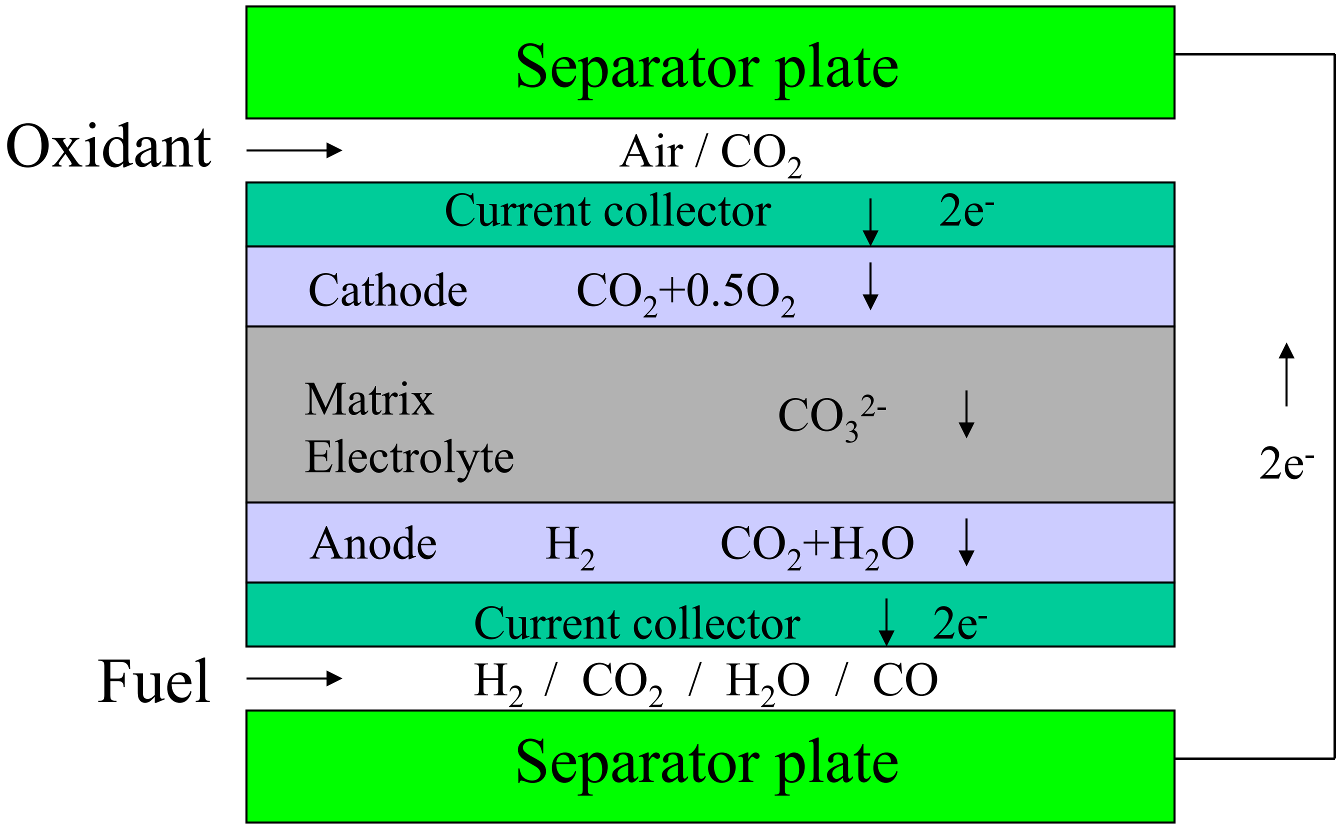
Fuel Cell


Oxidant (O_2) →
Cathode
$\delta_i + e^-$
$O_2 + e^- \rightarrow$ ion conductor
Electrolyte
δ_i
$H_2 +$ ion conductor $\rightarrow e^-$
Fuel (H_2) →
Anode
$\delta_i + e^-$
e^-

Types of Fuel Cells

	Electrolyte	Ion conductor	Operation Temp.	Application
AFC(alkaline fuel cell)	Alkaline Solution(KOH)	Hydroxide (OH^-)	200°C	Space Shuttle
PAFC (phosphoric Acid fuel cell)	Aq. Phosphoric Acid (H_3PO_4)	Proton (H^+)	200°C	Stationary Power plant
MCFC (molten carbonate fuel cell)	Molten salt	Carbonate (CO_3^{2-})	650°C	Stationary Power plant
SOFC (solid oxide fuel cell)	Ceramic oxide	Oxygen (O^{2-})	1000°C	Stationary Power plant
PEFC (polymer electrolyte fuel cell)	PEM (proton exchange membrane)	Proton (H^+)	100°C	Electric vehicle

Single Cell Structure of MCFC



MCFC Electrode Reactions

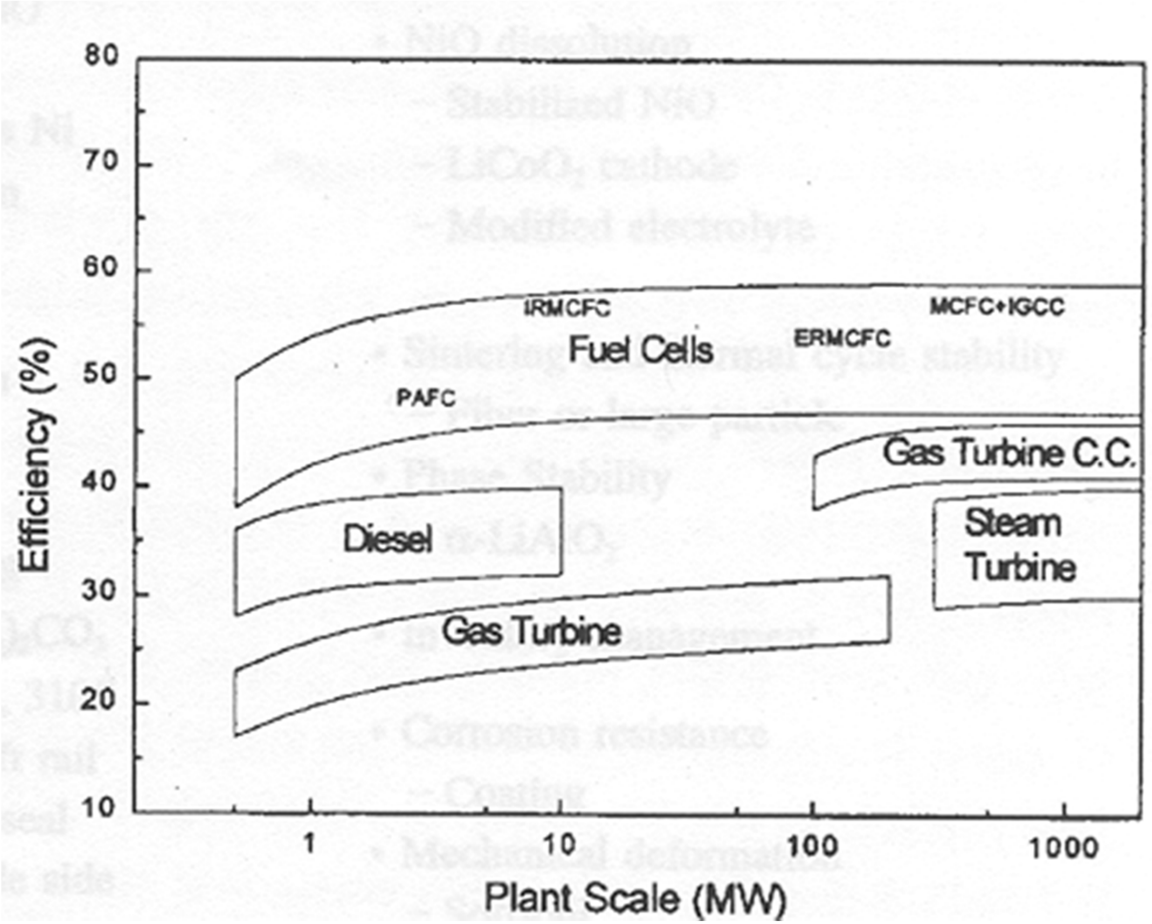
- Cathode O_2 reduction : $CO_2 + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
- Anode H_2 oxidation : $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow CO_2 + H_2O + 2e^-$
- Reaction rate (Faraday's law)
- Overall reaction : $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + Energy$
  - produces electrical energy ($2e^-$ per molecules-H_2)
  - produces thermal energy ($\Delta H_{650°C}$= -247 kJ/mole-H_2)
- Enthalpy change of the overall reaction : exothermic

Thermodynamics in MCFC Model

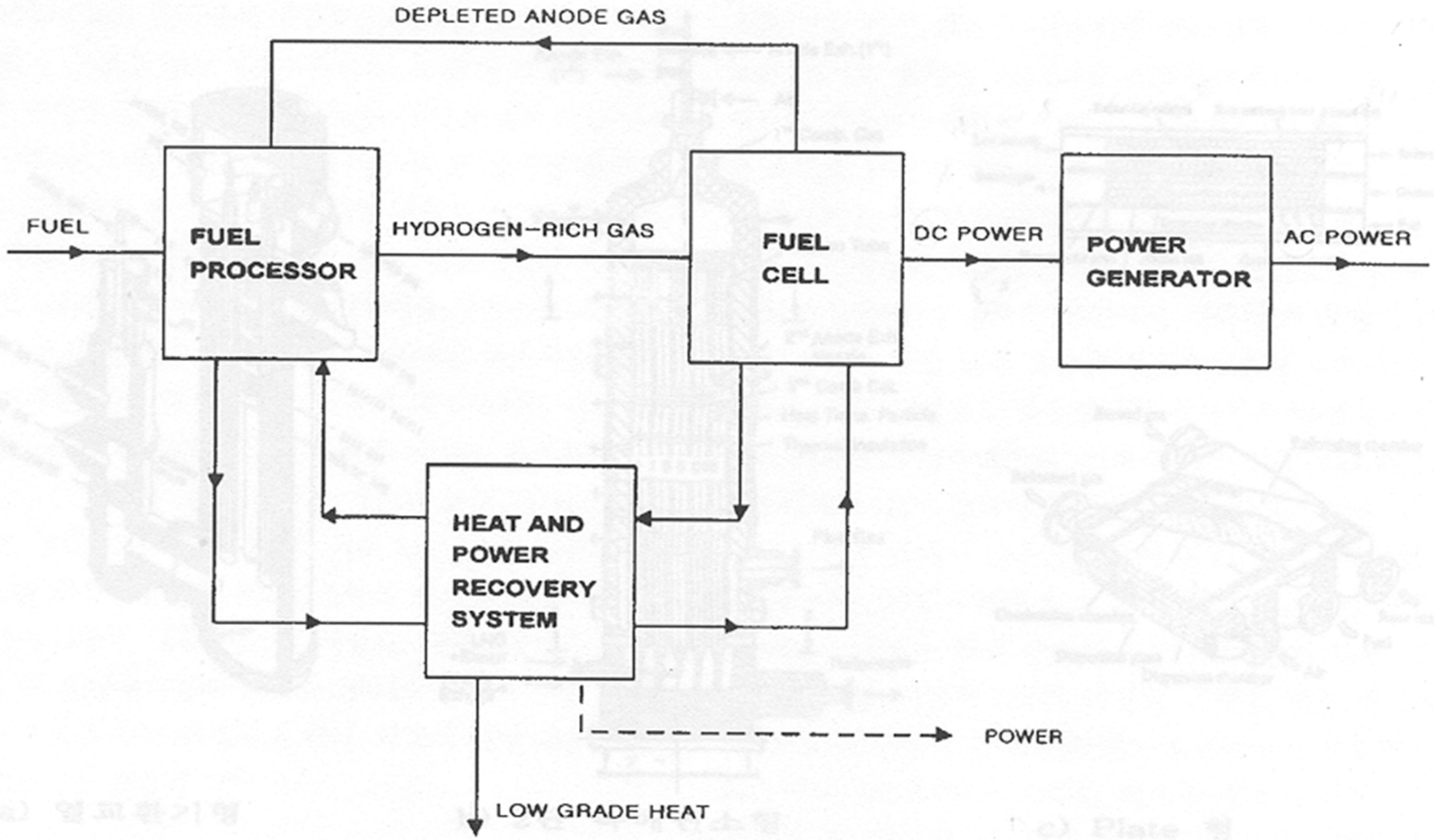
$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O \qquad (\Delta H_{650°C} = -247 kJ/mole)$$

$$\Delta H_{f,H_2O} = \Delta H_{cathode} + \Delta H_{anode} + Electricity$$

- $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ (negative for energy production)
- $\Delta G = -zFE_{cell}$ (conversion into electrical energy)
- $T\Delta S = \Delta Q_{rev}$ (reversible thermal energy released)
- Fuel cell efficiency : $\eta_{rev} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$



< 발전용량에 따른 연료전지 및 경쟁 발전기술의 효율 비교 >



< 연료전지 발전 시스템 개념도 >

Fuel Cell R&D

1. Development of component materials

- High-performance cell components
- Cell electrochemistry / kinetics

2. Maximize cell/stack performance

- Manufacturing large-area cells
- Enhancing initial performance
- Long-term operation (40,000hours)

3. Develop/Optimize system configuration

- BOP units
- Competitive energy efficiency

Current MCFC Cell Components

Component	Requirement	Current material
Electrolyte	● High ionic conductivity	Li_2CO_3 / K_2CO_3 (70/30)
Matrix	● Mechanically stable ● Good electrical insulator ● Micropores(0.1-0.5 ㎛)	γ -$LiAlO_2$
Cathode	● High electrical conductivity ● Large porosity (70-80%) ● Pore size 6-10 ㎛	$Li_xNi_{1-x}O$
Anode	● High electrical conductivity ● Porosity (40-50%) ● Pore size 3-5 ㎛	Ni-Cr alloy (10%Cr)
Separator/ Current collector	● High electrical conductivity ● Corrosion resistance ● Cheap and easy processing	SS316L (Ni for anode current collector)

R&D for Cell Component Materials

Cell components	Problems	Alternatives
Electrolyte (Li_2CO_3/K_2CO_3)	● Metal corrosion ● Evaporation ● Cathode Ni dissolution	● Li_2CO_3/Na_2CO_3
Matrix (γ-$LiAlO_2$)	● Mechanical stability ● Phase change($\gamma \rightarrow \alpha$)	● Fiber-reinforced ● α-$LiAlO_2$
Cathode ($Li_xNi_{1-x}O$)	● NiO dissolution ● Ni-precipitation	● Additive (Mg) ● $LiCoO_2$
Anode (Ni-10%Cr)	● Creep/sintering during the operation	● Ni-Al alloy
Separator (SS316L)	● Hot corrosion in wet-seal area	● SS310S ● Al coating

System Configuration

Sub-system	Units	
Fuel processor	● Gas tank ● Reformer ● CO_2 vaporizer	● Flow controller ● Gas preheater ● Air compressor
Power generator	● Stack ● Vessel	● Electrical loader ● AC/DC converter
Exhaust and recycle	● Condenser ● Gas burner ● Recycle gas catalytic combustor	● Recycle blower ● Pressure controller
Heat recovery	● Steam generator(HRSG)	

R&D Issues in MCFC Stack

- Stack design/manufacturing
  - Processing of large-area cells
  - Separator design

- Stack operation
  - Thermal management
  - Gas flow/pressure distribution
  - Current load and power management

Advantage & Disadvantage of MCFC

Advantage

- 경제성 면에서 유리.(백금→니켈)
- 다양한 연료(석탄가스, 천연가스, 메탄올, 바이오매스)의 연료 선택성을 제공.
  (수성가스 전환반응을 통하여 연료로 이용)
- 전체 발전 시스템의 열효율을 약 60%이상으로 제고.
  (HRSG등을 이용한 bottoming cycle로 양질의 고온 폐열을 회수 사용)
- 전체시스템의 열효율이 증가, 시스템 구성이 간단.
  (내부개질형 용융탄산염 연료전지는 전기화학반응의 발열량을 별도의 외부 열 교환기 없이 직접 흡열반응인 개질반응에 이용)

Disadvantage

- 고온에서 부식성이 높은 용융탄산염을 사용하기 위한 내식성 재료의 개발.
- 장기운전시 성능저하

Present Conditions of MCFC

제작자	연구소	최대출력(kW)	장소
아시아	히타치	113	Agaki, 일본
	IHI	129	Agaki, 일본
	한전	7.6	대전, 한국
	미쓰비시전기	109	Melco, 일본
	산요	30	Saitama, 일본
	도시바	5	Kawasaki, 일본
유럽	Ansaldo	100	Madried, 스페인
	ECN	10	Alkmaar, 네덜란드
	MTU	280	Munchen, 독일
미국	ERC	2,140	Santa Clara, 미국
	MC Power	250	Miramar, 미국

기대효과 및 활용성

- 화력발전에 비해 10%이상의 에너지절약 효과를 볼 수 있어서 IMF경제난 극복에 기여.
- SO_X, NO_X, 소음 등 공해배출이 거의 없는 무공해 발전기술의 실용화.
- 화력발전에 비해 CO_2 배출량 30%저감이 가능하므로 지구온난화 방지에 기여.
- 첨단 기술 및 연료전지 발전기 수출이 가능하므로 외환사정 극복에 기여.
- 대형건물, 병원 등 건물의 자가발전에 활용 하므로서 전기에너지의 합리적이용.
- 연료전지 자동차 전원용으로 사용 가능하므로 무공해 자동차 실용화에 기여.
- 군사용 등 이동용 발전 전원용.