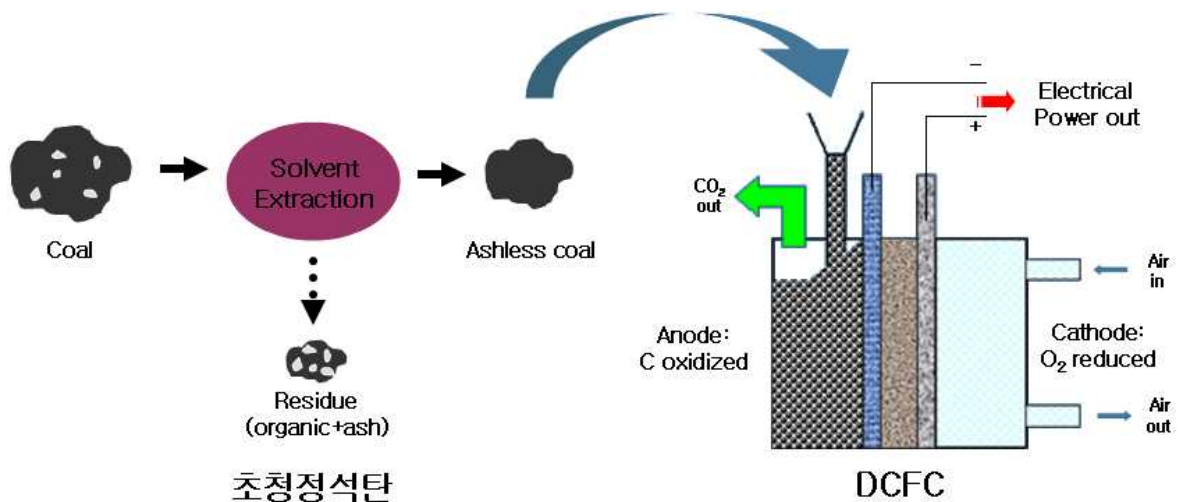


직접탄소 연료전지(Direct Carbon Fuel Cell) 기술의 개요 및 특징

* 기술의 개요 (내용)

○ 기술의 정의

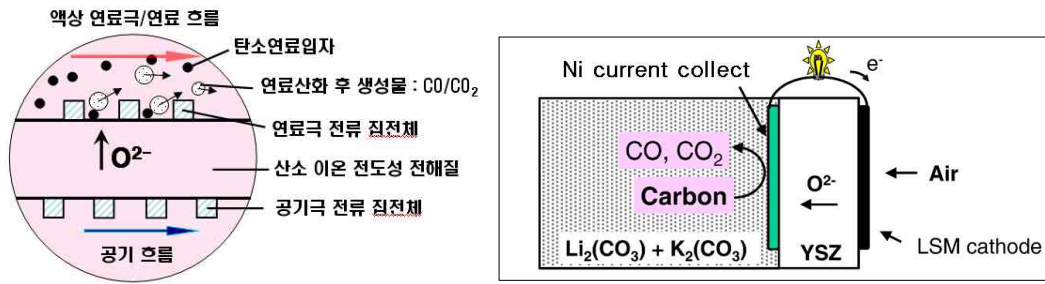
- 회분이 거의 없는(200ppm 이하) 초청정석탄을 DCFC (Direct Carbon Fuel Cell)의 연료로 적용하기 위한 전처리 및 공정개발 기술.



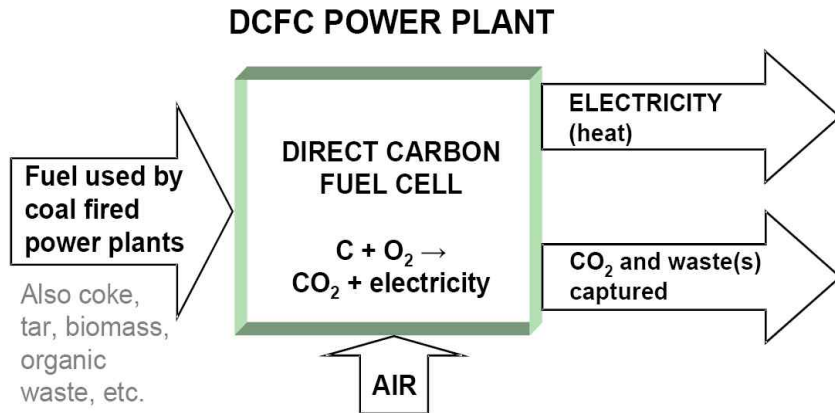
[그림 1] 초청정석탄의 DCFC 적용기술 개요.

○ 기술의 특징

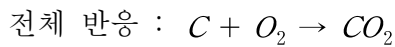
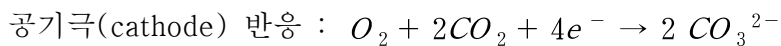
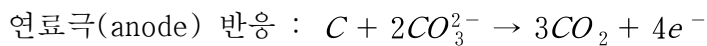
- DCFC는 고체 탄소를 연료로 직접 사용하여 탄소연료가 갖는 화학에너지를 전기화학반응을 이용하여 직접 전기로 변환시키는 신개념 발전장치임.
- DCFC의 공기극(cathode)에서 산소의 환원 반응에 의해 생성된 산소 이온은 전해질을 통해 연료극(anode)으로 이동하며, 연료극에서는 산소이온과 탄소가 반응하여 이산화탄소가 생기고, 이 이산화탄소가 다시 산소 이온과 반응하여 카보네이트 이온을 생성하고, 생성된 카보네이트 이온이 탄소를 산화시켜 이산화탄소와 전자를 생성하면서 발전이 진행됨.
- DCFC에서 탄소연료를 이용한 발전 반응 개요 모식도와 반응식은 [그림 1, 2]와 같음.
- DCFC의 에너지 변환효율은 80% 이상으로서, 현존하는 발전방식 중 가장 효율이 높음. 이 값은 실험적으로도 검증된 값으로서 다른 어떤 연료전지보다 높으며 기존 석탄화력 발전소의 두 배에 달함.



[그림 2] YSZ 전해질을 사용하는 DCFC의 전기화학 반응 개요.



[그림 3] DCFC 발전의 모식도.



연료극 전위 :

$$E_{\text{anode}} = E^0 - \left(\frac{RT}{4F} \right) \ln [P_{CO_2}^3(w)] + \left(\frac{RT}{4F} \right) \ln [P_{CO_2}^2(r) P_{O_2}(r)]$$

여기서 E^0 는 정상상태(standard condition)에서의 연료극의 전위, R 은 가스상수, T 는 셀의 온도 $P_{CO_2}(w)$ 는 작업전극(working electrode)에서 CO_2 의 분압, $P_{CO_2}(r)$ 과 $P_{O_2}(r)$ 은 각각 기준전극(reference electrode)에서의 CO_2 와 O_2 의 분압임.

<표 1> 기존의 연료전지와 DCFC의 운전특성 비교.

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC	DCFC
Electrolyte	Polymer	Phosphoric acid	Molten carbonate salt	Ceramic	Fused KNO ₃
Operating Temperature	80 °C (175 °F)	190 °C (375 °F)	650 °C (1200 °F)	1000 °C (1830 °F)	700 °C (1110 °F)
Fuel(s)	H ₂ reformat	H ₂ reformat	H ₂ /CO/reformat	H ₂ /CO ₂ /CH ₄ reformat	Solid carbon
Reforming	External	External	External / internal	External / internal	Not necessary
Oxidant	O ₂ /air	O ₂ /air	CO ₂ /O ₂ /air	O ₂ /air	Humidified air
Efficiency (HHV)	30-35%	40-50%	50-60%	45-55%	80%

*출처: ERDC-CERL Fuel Cell Program Report, DCFC: Converting Waste to Electricity, 2007.

<표 2> 연료에 따른 연료전지와 효율 비교.

Fuel	Theoretical limit $\Delta G^\circ(T)/\Delta H^\circ_{std}$	Utilization efficiency (μ)	$V(i)/V(i=0)=\epsilon v$	Actual efficiency $(\Delta G/\Delta H^\circ_{std})(\mu)(\epsilon v)$
C	1.003	1.0	0.80	0.80
CH ₄	0.895	0.80	0.80	0.57
H ₂	0.70	0.80	0.80	0.45

Efficiency of a fuel cell is defined as: (electrical energy out)/(heat of combustion (HHV) of fuels input) = [theoretical efficiency $\Delta G/\Delta H$][utilization fraction μ][voltage efficiency ϵv] = $[\Delta G(T)/\Delta H^\circ][\mu][V/V^\circ] = [\mu][nFV]/\Delta H^\circ$ (where $\Delta G(T) = -nFV^\circ = \Delta H - T\Delta S$).

- DCFC는 타 연료전지에 비해 간단한 시스템 구성이 가능하며, 수소연료를 사용함에 따른 고가 인프라 설비의 설치가 필요 없음.
- 청정석탄 연료를 적용한 DCFC의 경우 단위단가의 전력을 생산하기 위해 소요되는 연료 비용이 수소 연료전지의 1/3 이하 수준으로 수소 연료전지에 비해 경제적임.
- DCFC에서 발생하는 가스는 고순도 CO₂로서 이산화탄소의 회수 비용을 크게 절감할 수 있으며, 기존 화력 발전소 대비 CO₂ 방출량을 90% 이상 저감 가능함.