

용융탄산염형 연료전지의 연구동향

기술해설 1

Research Trend of Molten Carbonate Fuel Cell

김 귀 열
(Gwi-Yeol Kim)

Key Words(중요 용어) : MCFC(용융탄산염형 연료전지), Research Trend(연구동향), Technical Status (기술현황)

1. 서 론

현재 사용하는 에너지 중 가장 편리한 양질의 에너지인 전기에너지는 지금까지 그 대부분이 화석연료의 연소에 의한 화력발전, 원자력발전 및 수력발전에 의존하고 있다. 그러나 화력발전은 여러 가지 장점이 있는 반면에 발전효율이 낮으며 공해 물질을 배출하고 수력발전은 발전효율이 높고 재생에너지이며 공해가 없는 장점이 있는 반면에 건설위치의 선정에 문제가 있으며 원자력발전은 발전 단가는 저렴하지만 방사성 폐기물의 처리와 건설 비용이 고가라는 문제점을 안고 있다.

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 장치로서 발전효율이 기존의 발전 장치보다 10 - 25% 더 높으며 조업 중 소음이 없고 저공해 발전설비이기 때문에 환경문제를 해결할 수 있으며 다양한 용량으로 제작하여 적용 범위가 넓다.

기본적으로 연료전지는 전해질의 종류에 따라 인산형 연료전지(PAFC), 알카리형 연료전지(AFC), 용융탄산염형 연료전지(MCFC), 고체산화물형 연료전지(SOFC) 등으로 구분할 수 있다.

용융탄산염형 연료전지는 연료전지발전의 일반적인 특징 이외에 그 동작원리로부터 발전시 동시에 CO₂를 회수하는 시스템 구축이 가능하다. 이 때문에 on site전원, 분산형전원, 화력대체전원등으로의 적용 때문에 신발전기술로서 그 실용화가 기대되고 있다.

MCFC의 개발은 30여년 전부터 미국에서부터 행하여졌다. MCFC의 개발은 DOE, EPRI 및 GRI의 협조로 진행되고 있다. 1985년경까지는 미국이 일본보다 앞섰고, 예산규모도 훨씬 많았지만 그 후 일본의 급성장에 의하여 거의 동등하게 되고 있다. 그 후 1989년 미국공영전력연합(APPA)은 MCFC 상용화의 본격 지원을 개시하고 1990년대에는 2MW급의 실증을 행할 계획으로 진행하고 있다. 또 MCFC의 상용화를 추진하기 위하여 전력회사,

가스회사등에 의한 사용자단체가 조직되어 상용기의 사양 결정으로 참여계획이나 plant의 도입계획 등 검토를 진행하고 있다.

일본은 1993년도에 100KW급의 전지 실증시험이 진행되었고, 이것과 병행하여 NEDO의 용융탄산염형 연료전지 발전시스템 기술연구 조합(이하 MCFC 연구조합)이 결성되어 1996년도부터 1997년도에 걸쳐 1000KW pilot plant실증을 위한 시스템 개발, 주요 component의 개발이 진행되고 있다.

한편 용융탄산염형 연료전지를 실용화하기 위하여 전지의 수명개선이 필요불가결하다. 10년전만 하더라도 소형전지에서 1000시간 운전은 꿈에 불과한 것으로 생각되었다. 따라서 현재 아주 작은 전지에서 40,000시간 운전에 도달했다는 보도가 있고, KW급 스택에서도 운전시간이 1만시간을 넘는 운전결과가 알려지고있다.

따라서 본 보고에서는 MCFC 기술개발의 연구동향과 기술과제들을 중심으로 살펴보고자 한다.

2. MCFC 발전시스템의 구성

MCFC발전시스템은 그림1에 표시한 것처럼 연료가리개,MCFC계,배열 회수계 및 직교변환계등 4가지로 구성된다. MCFC의 장점은 넓은 분야로 용도가 예상되는데,무체적으로 다양한 연료에 대응가능하다는 것,더욱 소용량의 열전병합으로부터 대용량의 집중형 발전까지 폭넓은 규모의 발전장치가 제공될 수 있다. 더군다나 대부분은 외부개질형 전지이지만 내부개질형의 형태도 있다. 외부개질형 전지본체의 실용화가 달성될 때는 그림1에서 연료처리계와 배열회수계의 선택에 의해 다양한 특성을 갖는 발전시스템이 구성된다.

한편 그림2에 MCFC발전시스템의 용도별에 의한 형태의 선택을 나타내고 있다.

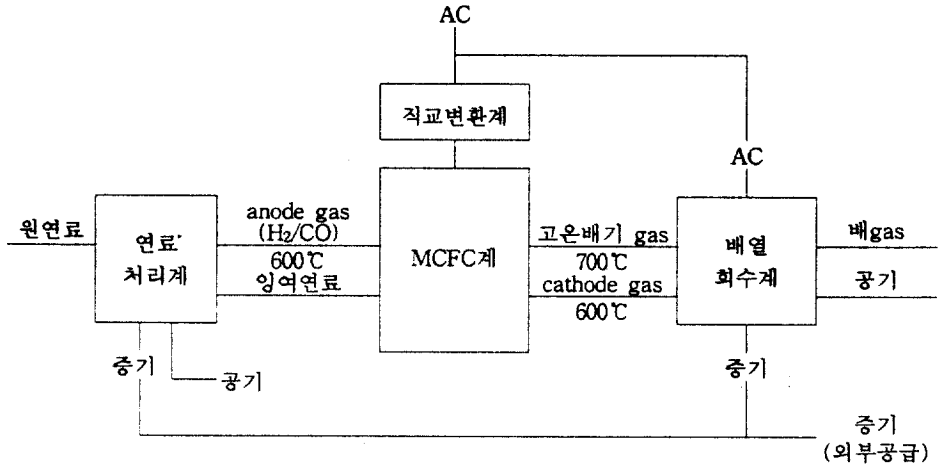


그림 1. 용융탄산염형 연료전지 발전시스템의 구성

Fig. 1. Process of MCFC power generation system

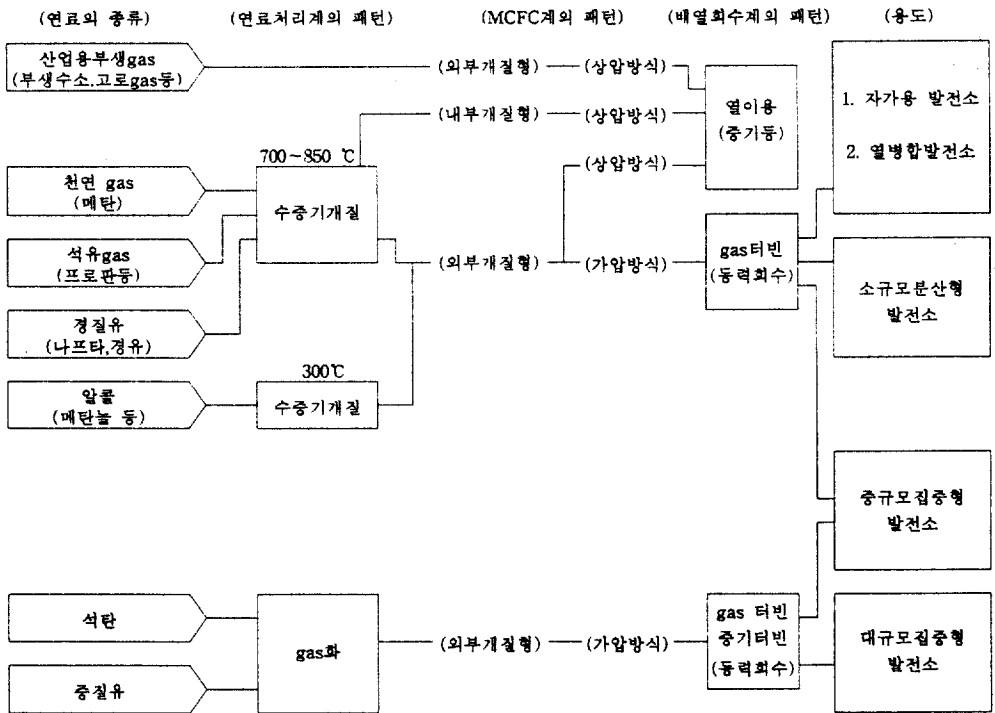


그림 2. 다양한 적용을 위한 시스템의 선택

Fig. 2. Choice of subsystems for various application

3. MCFC 발전 plant

표1에 대표적인 MCFC 발전 plant 의 설계 예를 나타내었다.

MCFC 발전 plant 의 특징

(1) 높은 발전효율

MCFC의 발전에 의하여 얻어진 700°C급의 고온 배열은 보토밍 사이클이나 열수유에 이용 가능

표 1. 용융탄산염형 연료전지 발전시스템의 구성

Table 1. Several types of MCFC power generation plant

항목 \ 용도	집중형 발전		분산형 발전	on site 열전 병합	비고
발전출력(MW)	500	300~500	30	1	송전단
연료	석탄 gas화		천연 gas		
보토밍 사이클		有		無	
발전효율(%)	50	55	54	43	송전단, HHV기준
고온열회수(%)		—		17	0.69MPa(7kgf/cm ²)증기
저온열회수(%)		—		20	70℃온수
총합열효율(%)	50	55	54	80	
설치면적(m ² /MW)	250		100		
동작압력(MPa) [kgf/cm ²]	0.69(7)			대기압	
전지stack용량(MW)	2.5		1	0.5	

하다. LNG를 연료로 하는 MCFC발전 plant 에서는 보토밍 사이클에 배기가스터빈을 사용하여 효율 55% HHV 의 발전plant를 달성할 수 있다.

(2)연료의 다양성

MCFC는 고온작동이기 때문에 백금등의 전극촉매가 불필요하며,연료가스로서 수소이외에 일산화탄소도 이용 가능하다. 따라서 LNG,메탄올,나프타,등유,석탄가스화 가스등 폭넓은 연료를 이용 가능하다.

(3)넓은 적합성/짧은 건설공기

MCFC는 수만 KW로부터 100만 KW까지 넓은 범위에 걸친 수요에 고효율의 발전 plant를 제공할 수 있다.임지용이성과 더불어 MCFC발전 plant는 넓은 적합성을 갖는다.또 주유기기인 연료전지 본체는 module 구조이며,표준화가 용이하고,공장에서 완성되기 때문에 고품질이며, 더욱 건설공기는 짧다.냉각수 취급을 위한 토목공사도 불필요하다.

4. MCFC의 개발상황

용융탄산염형 연료전지는 세계 각국에서 개발이 추진되고 있으며, 그 개발상황은 표 2와 같고 이것으로부터 알 수 있는 바와 같이 stack의 내용량화는 cell의 대면적화 및 고적층화의 양면으로부터 진행되고 있다.

4.1 미국

미국은 DOE 및 EPRI 의 주도로 개발이 진행되고 있다.

1) M-C Power Cor.

가장 오래전부터 연구를 계속한 것은 IGT (Institute of Gas Technology) 이며, 본격적으로 용융탄산염형 연료전지의 상용화를 목표로 하고 1987년에 M-C power사를 설립하고, 1989년에 시

카고 교외에 공장을 만들었다.

동사의 특징은 시판의 열교환기의 plate 를 사용하는 IMHEX (Internal Manifolhed Heat Exchang Separator Plate Design) 라 불리는 신형의 내부 manifold 열교환기형 separator를 사용하고 있다.

현재까지 유효전극 면적 0.1m² - 70 cell 에 의한 최대 출력 8.7kW의 stack에서 1500 시간을 행하고 있으며, 1992년에는 유효전극 면적 1m² 20 cell에 의한 20kW stack을 개발했다. 1993년에는 1m²의 유효면적을 갖는 250개의 cell에 의해 발전 용량 250kW stack을 개발했다.

2) International Fuel Cells Cor.

IFC에서는 1985년에 다른 회사에 비하여 가장 일찍 유효 전극면적이 0.75m²로서 20 cell에 의한 25kW stack을 2,200 시간 시험했다.

그 후 상용화를 향하여 cost down에 관한 연구를 계속하고 있다

3) Energy Research Cor.

ERC에서는 내부 개질형 stack을 개발하고 있으며, 현재까지 유효 전극면적 0.1m² - 60 cell에 의한 5kW stack으로서 고적층화 기술을 확립하고, 0.36m² 5 cell에 의한 2kW stack 및 11 cell에 의한 3kW stack을 각각 4,000 시간 이상 연속 운전하여 대면적화에 대한 기술을 확립하였다.

이들의 기술을 기초로 1990년내에는 20kW stack (54 cell)을 개발하고, ERC에서 425 시간 운전하고 그 후 PG&E (Pacific Gas & Electric Company)에서 계속하여 약 500 시간 운전했다.

더욱, 1991년에는 75kW stack (234 cell)을 개발하여 운전평가를 행하고 있으며, 1992년에는 0.54m² - 234 cell에 의한 100kW stack을 개발하였다.

표 2. cell 면적 및 stack 용량의 현황
Table 2. Technical status of cell and stack.

	연구 기관	cell 면적 [m ²]	cell 수 [매]	용량 [kW]	운전시간 [h]	개질방식	압력 [ata]
미 국	ERC	0.10	60	5	1700	직접내부	1
		0.36	11	5	5000	직접내부	1
		0.36	234	20		직접/간접	1
	IFC	0.72	20	25	1700	외부	1
	MC Power /IGT	0.10 (IMHEX)	10	1	1225	외부	1
일 본	Hitachi	1.21	22	25	1612	외부	1
		1.21 (복합대용량)	22	25	> 5000	외부	6
	IHI	1.00	10	10	4300	외부	5
		1.00 (변형대용량)	50	50	2300	외부	1
	Mitsubishi	0.50	192	100	2308	간접내부	1
		0.50	5	3	5070	직접내부	1
	Toshiba	0.16	63	10	500	외부	1
	Fuji	0.20	40	9.3	250	외부	1
네덜란드	ECN	0.10 (FLEXSEP)	3	0.1		외부	1

주) ERC : Energy Research Corporation
 IFC : International Fuel Cells Corporation
 MC-Power : M-C Power Corporation
 IGT : Institute of Gas Technology
 IMHEXTM : Internal Manifoldded Heat Exchanger Separator Plate Design
 ECN : Netherlands Energy Research Foundation
 FLEXSEP : Flexible Separator

4.2. 일본

통상산업성 공업기술원의 moonlight 계획중에서 신에너지 산업기술 총합 개발기구 (NEDO) 가 추진 모체로 되어 개발을 진행하고 있다.

1987년에 Hitachi 와 Toshiba가 10kW의 stack 시험에 성공하고, 동시에 후지 전기, IHI 및 미쓰비시 전기도 독자로 10kW급 stack의 발전 시험에 성공하였다.

이들의 결과를 근거로 1987년 부터 1993년까지 천연 gas를 연료로 하는 2종류의 100kW급 외부 개질형 stack과 1종류의 30kW급 내부 개질형

stack의 개발을 진행하고 있다. 더욱, 1997년까지 효율 45% 이상, 운전시간 5,000 시간 이상의 1,000kW급 pilot plant의 건설, 운전이 예정되고 있다.

4.3. 유럽

유럽에서는 네덜란드와 이태리를 중심으로 하여 개발이 진행되고 있다. 1986년에 시작된 네덜란드의 개발 계획은 주로 ECN (네덜란드 에너지 연구재단)이 국가로부터 연구의 위탁을 받아 특히 1987년부터는 신 5개년계획을 start하여 6.4억 달러로서

외부 개질형의 stack을 개발하고 있으며, 1992년말까지 유효 전극면적 4,000cm², 가압 동작의 10kW stack 개발을 진행하고 있다.

이 stack에서는 FLEXSEP (Flexible Separator)라 불리는 separator를 개발하고, 내부 manifold 방식을 채용하고 있다. 동시에 상압 동작의 내부 개질형 1kW stack도 개발중이다.

이태리는 1986년부터 국가 project로서 ENEA 주도의 불타 계획이 진행되고 있으며, 1992년에는 0.1m² cell에 의한 2.5kW stack을, 1993년에는 1m² cell에 의한 20kW stack을 그래서 1994년까지 외부 개질형 50~100kW stack의 개발을 계획하고 있다.

그 외 독일, 덴마크, 스페인 등에서도 개발이 진행되고 있다.

5. 용융탄산염형 연료전지의 고성능화 과제

용융탄산염형 연료전지는 인산형에 이어 제 2세대 연료전지로서 실용화가 기대되고 있다. 따라서 그 때문에 해결해야만 할 기술적 과제가 많으며, 현행보다 고성능인 MCFC를 제작하지 않으면 안된다.

현재 MCFC 개발에서 가장 중요한 과제로서 지적되고 있는것은 전지 본체의 고출력 밀도화와 전지 본체의 장수명화이다.

5.1 용융탄산염형 연료전지의 고출력 밀도화

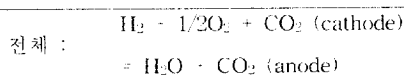
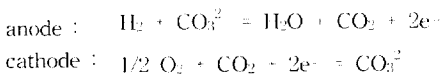
1) 가압하에서 전지운전 전지의 출력 전압 (V_{cell})은

$$V_{cell} = E_{cell} - \Delta E_{Ne} - |\eta_c| - \eta_a - iR$$

로 표시된다.

E_{cell}은 입구측 gas 조성의 nerst 전위, η_c, η_a는 각각 cathode 측, anode 측의 과전압, iR은 내부 저항에 의한 전압 강하분으로 표시한다.

또 전지내에서 반응 gas는 소비되기 때문에 전지 입구와 출구와는 반응 종류의 농도가 다르므로, 입구측 gas 조성에 대한 nerst 전위는 보장하지 않으면 안된다. 이것을 nerst loss라 부르고 ΔE_{Ne}로 표시한다. MCFC의 전지 반응은



이다.

일반적으로 cathode 측과 anode 측의 CO₂ 분압은 다르므로, MCFC의 열역학적 기전력 E_{cell}은

$$E_{cell} = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_H P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right) + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_{CO_2,c}}{P_{CO_2,a}} \right)$$

로 표시된다.

가압 운전 압력을 P₁에서 P₂로 변화시켰을때, 기전력의 변화량은

$$\begin{aligned} \Delta E_P &= E(P_2) - E(P_1) \\ &= \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_{1,a}}{P_{2,a}} \right) + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_{2,c}^{0.5}}{P_{1,c}^{0.5}} \right) \end{aligned}$$

이다.

anode 와 cathode의 압력이 같다면

$$\begin{aligned} \Delta E_P &= \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) + \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_2^{1.5}}{P_1^{1.5}} \right) = \\ & \frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \end{aligned}$$

로 되고, 650°C에서는

$$\Delta E_P (mV) = 46 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

이다. 즉 전지의 운전 압력이 10으로 되면 46mV의 기전력 상승이 바람직하다. 그런데 실제로 얻어진 기전력의 상승은 이 열역학적으로 예상되는 상승분보다 낮게 된다.

가압하에서 전지의 운전은 높은 출력전압을 얻을 수 있으며, MCFC의 고출력 밀도화가 가능하게 된다.

2) 가스 확산형 다공질 전극 구조의 개선

MCFC 고성능화의 한가지로서 전극 구조의 개선이 있다. MCFC 계의 전극 반응은 gas 전극 반응이며 반응성 gas, 탄산염용체, 전극의 3상이 관여한다.

따라서 전지의 출력밀도를 크게 하기 위하여는 전극 면적이 크고 또 탄산염용체중의 전극 활성 종류의 물질이동 더욱 기상중의 반응성 gas의 물질 이동도 용이하게 되는 구조를 갖는 전극이 필요하다.

MCFC계에 사용하는 gas 확산형 다공질 전극은 분체의 소결체이며 다공성이기 때문이다

- 반응성 gas의 전극 기공내의 확산이 용이하다.
- 활성영역에서는 전해질상이 박막을 형성하기 때문에 iR 강하가 크게된다.
- 반응성 gas, 탄산염용체, 전극의 3상이 동시에 접촉하는 활성영역 (3상 계면)을 안정하게 확보할 연구가 필요하게 된다.
- 외관상 전극면적에 대하여 실제 전극면적을 크게 할수가 있으며, 작은 체적의 전극에서 대전류를 얻을 수 있다는 등 특징을 갖는다.

이상적인 gas 확산형 다공질 전극에서는 전극 표면은 탄산염용체의 얇은 피막이 입혀져 있고 장시간에 걸쳐 안정하게 3상 계면이 유지되는 것이 바람직하다.

가령 만약 과잉 전해질이 전극내에 존재하는 기공을 메운다면 분극 저항이 현저히 증가하고 전지 특성은 열화한다. 즉 3상 계면에서의 각상의 접촉 상태가 전지의 분극 특성에 큰 영향을 미친다.

그런데, PAFC 에서는 carbon 전극에 결합체로서 발수성인 teflon 을 공존시켜, 전해질상과 전극의 접촉상태를 제어할 연구가 되고 있다. 반면 고온에서 운전되는 MCFC 에서는 탄산염용체에 대하여 접촉 상태를 제어 가능한 적당한 재료는 보여지지 않는다.

따라서 MCFC 에서는 전극 및 전해질 유지판의 기공 구조, 기공 분포에 의하여 용체/전극간의 표면 장력이 변하는 것을 이용하고 접촉상태를 변화시키는 방법외는 없다.

더욱 현행의 MCFC cathode 에서는 NiO 가 주로 사용되고 있다. 이 NiO cathode 의 제작 방법에서는 다공질 Ni 판을 cell 에 부착시켜 전지의 승온시에 산화되어 NiO 로 변화시키는 방법 (in situ법) 과 미리 NiO 소결체로 제작하고 나서 cell 에 조합시키는 방법 (Preoxidation 법)이 있다. 현재 전자가 일반적이다.

한편 고성능인 NiO cathode를 제작하기 위하여 다공질 Ni 소결체가 in situ 산화되어 가는 과정인 kinetics 및 산화 속도의 결과등 기초 data를 축적하고 최적인 승온 과정을 선택해야만 한다.

5.2 용융탄산염형 연료전지의 장수명화

1) NiO cathode의 안정성 개선

NiO cathode 는 리튬 이온이 도핑된 p형 반도체이며 전극으로서 충분한 도전성을 갖는다. 그러나 이 NiO cathode 는 전해질인 용융탄산염중에서 용

출되기 쉽고, 장시간 MCFC 를 운전했을때 전지 수명을 제한한다.

NiO cathode의 용출 문제는 1981년에 UTC사가 전지 시험후의 전해질중으로 다량의 금속 Ni이 석출하고 있는 것을 확인한 것이 시초이다. 이 금속 Ni은 NiO cathode 로부터 전해질중으로 용출, 확산한 Ni 이온이 anode 측으로 부터 확산한 수소에 의해 환원되어 석출한 것이다.

금속 Ni이 석출하는 것에 의해 전해질중에는 늘 Ni 이온의 농도 기울기가 존재한다. 따라서 cathode의 용출현상은 Ni 이온의 평형 용해도에 도달한 중에서도 끝나지 않고 금속 Ni 의 성장은 계속한다.

MCFC의 전해질층은 iR 강하를 저감할 목적으로 0.25~0.5mm만큼 얇은 $LiAlO_2$ 층을 사용하고 있기때문에 MCFC를 장시간 운전한 경우에는 전지 내부에서의 단락을 일으키기 쉽고 전지본체의 수명이 제한된다.

MCFC 실용화의 목표로 되는 전지 수명은 대기압하의 운전에서 40,000시간으로 되고 있지만, 현재의 기술 수준에서는 10,000시간이 달성되기가 그다지 충분치 못하다.

고출력 밀도화를 위하여 전지를 가압하에서 운전한 경우에는 더욱 전지 수명이 짧아질 위험이 있다. 따라서 이 문제는 MCFC 실용화를 위하여 해결하지 않으면 안되는 과제이다. 이 문제의 해결을 위하여 즉 전해질층의 두께를 두껍게 한다. 그리고 NiO cathode 의 대체 재료를 개발하며, NiO cathode 의 용출을 최소로 억제한 조건에서 전지를 운전한다.

2) 신규 내식성 금속재료의 개발

MCFC의 전해질로서 사용되는 용융탄산염은 강한 부식성을 갖는다. 이것에 의한 전지 구성재료의 부식은 전해질의 소모, 내부 저항의 증대, gas 흐름 분포의 불균일등 전지 성능저하를 일으키고 전지 수명을 제한한다.

따라서 MCFC의 실용화에서는 고내식성 재료의 개발이 필요 불가결하지만 용융탄산염에 의한 금속재료의 부식에 대하여는 그 부식 기구를 기원으로서 불명확한점이 많다.

종래 용융탄산염에 의한 금속 부식은 열역학적 검토, 도포 시험, 부식 거동의 전기화학적인 검토 등이 행해졌다. 이들에 의하면 용융탄산염중에서 비교적 안정하게 존재하는 금속은 금을 기원으로 하는 귀금속이다. 그러나 MCFC를 실용화하기 위하여는 귀금속으로 전지를 구성할 수 없고, 가격이

저렴한 내부식성의 금속재료, 합금재료가 필요하게 된다.

그런데 용융탄산염에 관한 열역학 데이터가 충분히 정비되어 있지 않다는 것, 금속과 용융탄산염과의 접촉상태에서 부식정도가 크게 변한다는 것, 분위기 gas의 영향이 큰 것으로부터 부식 현상의 mechanism의 해명은 어렵다.

따라서 신규 내식성 금속재료를 개발하기 위하여는 먼저 용융탄산염 공존하에서의 금속 부식을 계통적, 공학적으로 검토하고 고내식성 재료 선정의 명확한 지침을 얻을 필요가 있다.

3) 불순물 gas에 의한 전지 특성 열화의 대책

장래적으로는 MCFC의 연료 gas에 석탄개질 gas를 사용한 것이 계획되고 있다. 그러나 이것에 포함된 미량의 불순물이 전지 특성 및 수명을 열화시킨다.

각 불순물에 기여하는 영향을 표 3에 나타낸다. 이들 연료 gas중에서 불순물 gas의 제거로는 특별한 장치가 필요하게 되고 MCFC system의 cost를 높이게 된다. 따라서 이들의 불순물 gas를 포함하는 연료 gas에서도 전지 특성을 열화시키지 않는 연구가 필요하다. 그 때문에 먼저 이들의 불순물 gas에 의한 전지 특성 열화의 mechanism을 명확히 할 필요가 있다.

표 3에서 거론한 불순물 gas 중에서 전지 특성에 가장 영향을 미치는 것은 유황물(H₂S)이며, 수 ppm 크기의 농도에서 특성은 열화한다.

6. 맺음말

현재 용융탄산염형 연료전지의 본체개발은 수백 KW급이 개발되고 있으며, MW 급 시스템개발이 진행중이다. 한국의 MCFC기술수준은 짧은 기간동안 수KW급 전지본체를 개발할수 있는 단계에 이르러되었다. 우수한 특성을 갖는 MCFC 발전plants는 향후 전력공급 능력 증대와 성에너지, 전력수요의 지역간 격차 확대로의 대응, 지구환경문제로의 대응 및 연료원의 장기안정 확보등 과제들에 대하여 적극적 해결을 해야만 한다.

참고 문헌

1. Leo J.M.J.Blomen and Michael N. Mugerwa, "Fuel Cell Systems", Plenum Press. pp.345-456, 1993
2. M. Warshay, "Fuel Cell Program and Abstracts", Courtesy Associates, INC., 1994
3. D. Shores et al, "Carbonate Fuel Cell Technology", Electrochemical Society, 1993
4. 일본전기학회, "연료전지발전" corona사. pp.51-72, 1994

표 3. 전지특성에 대한 불순물 가스의 영향

Table 3. Effect of impurity gas for cell performance.

Class	Contaminant	Potential Effect
particulates	Coal fines, ash	· Plugging of gas passages
Sulfur-containing compounds	H ₂ S, COS, CS ₂ , C ₂ H ₂ S	· Voltage losses · Reaction with electrolyte via SO ₂
Halogen-containing compounds	HCl, HF, HBr, SnCl ₂	· Corrosion · Reaction with electrolyte
Nitrogen-containing compounds	NH ₃ , HCN, N ₂	· Reaction with electrolyte via NO _x
Trace metals	As, Pb, Hg, Cd, Sn, Zn, H ₂ Se, H ₂ Te, AsH ₃	· Deposits on electrode · Reaction with electrolyte
Hydrocarbons	C ₆ H ₆ , H ₁₀ H ₈ , C ₁₁ H ₁₆	· Carbon deposition