

연료전지와 마이크로 열병합 발전기술

손영목[†]

한국과학기술정보연구원, ReSEAT 프로그램

(2016년 9월 20일 접수, 2016년 11월 21일 수정, 2016년 11월 25일 채택)

Fuel cell based CHP technologies for residential sector

Young Mok Son[†]

ReSEAT Program, Korea Institute of Science and Technology Information, Seoul, Korea
(Received 19 September 2016, Revised 21 November 2016, Accepted 25 November 2016)

요약

연료전지는 전기를 발전하면서 동시에 열도 생산하며, 본고는 이 두 가지를 함께 이용하는 가정용의 마이크로 연료전지-열병합발전(μ FC-CHP) 시스템에 관한 조사보고서이다. 열병합발전 시스템을 구성하는 몇 가지 방안 중에서 연료전지는 전기와 열 효율을 합쳐 90%가 넘는 가장 높은 에너지 효율을 갖는 시스템을 구현할 수 있어 유용성이 높다. 연료전지에는 크게 다섯 가지 종류가 있으며, 이 중 가정용 μ FC-CHP로 적합한 것은 프로톤교환 막연료전지(PEMFC)와 고체산화물연료전지(SOFC)이다. μ FC-CHP 시스템은 독립전원으로서 송배전 손실을 줄일 수 있고 전기생산단가를 낮출 수 있으며, 오염물질을 배출하지 않는 친환경 기술이란 점 등의 장점이 많다. 단점은 초기 투자비용이 높다는 점인데, 기술의 발달로 제작 단가를 줄여 이를 해결해나가고 있다. 현재는 일본이 시장을 선점하고 있으나 우리나라도 100만대 보급 계획을 가지고 있고, 정부가 반 정도의 설치보조금을 제공하여 시장을 견인하고 있다. 본 고에서는 이와 함께 연료전지와 열병합발전을 연결하는 기술적 내용 및 각국의 동향을 기술한다.

주요어 : 연료전지, 열병합발전, 양자교환막연료전지, 고체산화물연료전지, FC-CHP 시스템.

Abstract - This article reports current status of micro fuel cell-combined heat and power (μ FC-CHP) systems which utilize both power and heat generated by fuel cells. There are several options for constructing CHP systems and among them, fuel cells are the most useful and their total energy efficiency combining heat and power can reach up to about 90%. Fuel cells are classified as five types based on the electrolyte, but the most suitable fuel cell types for the μ FC-CHP system are proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) and solid oxide fuel cells (SOFCs). μ FC-CHP systems have several advantages such as decrease of the transmission-distribution loss, reduced costs of electricity due to distributed power generation, and environmental-friendliness owing to zero emission. The main drawback of the μ FC-CHP systems is the high initial investment, however, it keeps decreasing as the technology development reduces production costs. Currently, Japan is the most leading country of the μ FC-CHP market, however, Korea tries to expand the market by planning the deployment of 1 million units of μ FC-CHP systems and governmental subsidiary supporting of half of the install price. In this report, integration technologies for connecting FC and CHP, and technology trends of leading countries are presented as well.

Key words : Fuel cells, combined heat and power, proton exchange membrane fuel cell, solid oxide fuel cell, FC-CHP system.

[†]To whom corresponding should be addressed.
tel: 02-3299-6231 e-mail: yongsun00@gmail.com

1. 서론

세계의 주거용 에너지의 평균소비량은 약 27%가 전기이고 38%가 열이다. 독일과 영국 같이 보다 추운 나라들은 70%의 에너지를 난방에, 9%는 온수에 사용한다. 반면 남아연방은 단지 13%의 에너지를 난방에 32%는 온수에 사용한다. 한국은 60%와 17%를 난방과 온수에 각각 사용한다⁽¹⁾. 대부분 나라들은 난방과 온수에 열병합발전을 사용하지 않는데, 핀란드의 주거용 에너지는 29%가 지역난방에서 오고 있다. 전체적으로 전력의 64%를 난방에 사용하고 나머지 36%는 가전기기에 사용하고 있다. CHP(Combine d Heat and Power)기술은 연료전지 운전 중에 발생하는 폐열을 회수하여 난방이나 온수 및 세탁기나 수영 풀 등에 사용한다. CHP는 낭비 에너지의 거의 반을 회수하여 시스템의 효율을 90%로 올리며 배출가스를 현저히 감소시킨다. 전체 CHP효율은 전력과 열을 사용한 연료로 나누어 표시하여 85-90%에 이르는데, 전기와 열을 각각 독립적으로 생산하는 에너지와 비교하여 더 높은 효율을 나타낸다. 이것은 코스트와 온실가스(GHG: Green House Gas)를 줄이는 효과적인 방법이다. CHP 기술은 높은 시스템 효율과 연료효율 및 낮은 CO₂를 배출하며, 또한 송전 손실을 줄이게 되는데 이는 분산 발전이 가능하기 때문이다. 따라서 CHP유닛은 수용처에 가깝게 설치해야하는데, 연료전지를 기반으로 하는 CHP는 근접 설치하면서 높은 효율과 낮은 배출이면서, 추가적인 컨트롤이 없어도 되는 장점으로 최근 십여년에 걸쳐 많은 관심을 보이고 있다.

2. FC-CHP시스템

2-1. 연료전지(FC: fuel cells)시스템

연료전지는 외부로부터 계속 공급하는 연료나 산화제의 화학에너지를 전기에너지로 전환한다. 이때 중간 에너지 변화를 거치지 않고 바로 이루어지는데 열과 물을 부산물로 내며 무배출이거나 유해한 물질을 거의 배출하지 않는다. 연료는 알코올, 탄화수소나 이들로 부터 나오는 수소이다. 연료전지는 작게는 수백 mW에서 MW까지 발전한다. 내연기관과 배터리로 가동하는 장치는 연료전지로 대체되어 자동차와 휴대전화에 도입한다. 또 가정과 상업빌딩에 전기를 공급하는 발전기로 확대된다. 모든 연료전지는 전기화학 반응으로

작동하는 원리는 같으나 사용하는 전해질에 따라 대강 5가지로 분류한다. 그중에서 가정용 열병합 발전용으로는 PEMFC(proton exchange membrane fuel cell)와 SOFC(solid oxide fuel cell)가 있다. PEMFC는 저온(LT-)과 고온(HT-) 운전용으로 분류하는데, LT-PEMFC는 80℃에서 운전하고 열을 발생하는데, 온수나 저압 스팀(~2bar)으로 병원이나 대학 또는 상업용 빌딩에서 난방이나 온수로 사용한다⁽²⁾. HT-PEMFC는 LT-PEMFC에 비해 장점이 있는데, 이것은 상승한 운전온도 때문에 스택과 시스템 디자인 및 BOP(Balance of Plant) 등 구성을 하는데 유리하다. 고온이 되면 HT-PEMFC가 CO농도 5vol%까지는 성능 손실이 거의 없는 채, 연료 프로세서 또한 간단하고 저렴하게 설계 가능하고, 반응물을 가습하지 않아도 열 회수를 쉽게 할 수 있다⁽³⁾. SOFC는 700-1,000℃에서 운전하고 금속산화물 대신에 MEA(Membrane Elect rode Assembly)에 세라믹 재료를 사용한다. 대단히 높은 운전 온도 때문에 고가의 귀금속 촉매 대신에 니켈을 사용하는 장점이 있다. 이 연료전지는 정치형 발전소로는 상업화 전단계이다. 높은 운전 온도로 인해서 10bar의 스팀을 회수하여 내부 개질 공정에 공급하여 수소를 생산한다.

2-2. FC특성과 CHP의 구성

FC-CHP시스템은 가정용의 소규모 CHP시스템으로는 여타의 CHP시스템보다 전체적인 효율이 높아서 대단히 유용하다. FC-CHP는 보통 200kW와 2.8MW의 범위에 해당하는 높은 파워 범위의 상업/산업 분야나, <10kW의 낮은 파워를 요구하는 주거용과 소규모 상업용으로 사용한다. 사용하는 파워 범위에 따른 FC-CHP

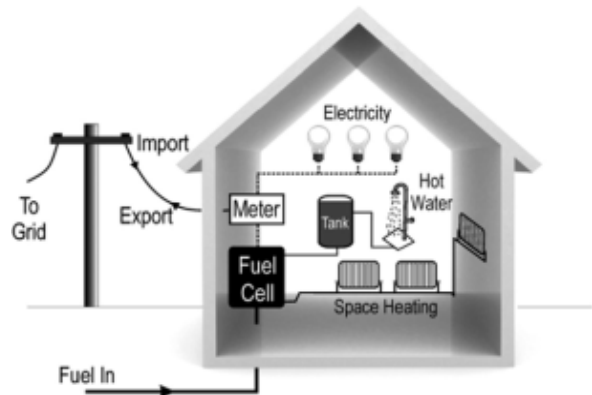


Fig. 1. Overview of μ FC-CHP system with home application

Table 1 . FC-CHP s systems class ified by power range

파워범위	MW	sub-MW		마이크로CHP	
FC타입	MCFC	PAFC	SOFC	PEMFC	SOFC
전력용량	300kW-2.8MW	400kW	<200kW	<10kW	
운전온도,℃	600-700	160-220	700-1,000	60-80 ^a	700-1,000
				100-200 ^b	
전해질	알루미나 메트릭스에 안정화시킨 Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃	SiC메트릭스에 안정화시킨 100%인산	ZrO ₂ 지지세라믹 전해질	Nafion ^a PBI ^b	ZrO ₂ 지지세라믹 전해질
용도	유틸리티, 대학교, 산업체	상업용, 빌딩용	상업용, 빌딩용	주거용, 소형 상업용	
연료 소스	NG, 바이오가스, 기타	NG	NG	NG	
연료 호환성	H ₂ , C H ₄ (내부개질)	H ₂ (외부개질)	H ₂ , C H ₄ , CO(내부개질)	H ₂ , 메탄올or에탄올(외부개질)	H ₂ , C H ₄ , CO(내부개질)
산화제	O ₂ /CO ₂ /공기	O ₂ /공기	O ₂ /공기	O ₂ /공기	
장점	고효율, 확장성, 연료유연성	높은 열병합발전효율	고효율	시스템 유용성 >97%	
전기효율	43-47%	40-42%	50-60%	25-35%	45-55%
CHP효율	85%	85-90%	90%	87-90% ^a 85-90% ^b	90%
CHP용도	스팀, 온수, 냉난방사이클	온수, 냉방	사용기술에 따름	시설가열	
1차 오염 민감도	황	CO<1%, 황	황	CO<10ppm ^a CO<5% ^b , 황, N H ₃	황

a LT -PEMFC

b HT -PEMFC

시스템에 대한 구분을 Table 1 에 나타낸다⁽²⁾. Fig. 1 은 가정에 들어가는 μ FC-CHP시스템의 개략도이다⁽⁴⁾.

HT-PEMFC와 SOFC로 연고자하는 전기효율은 45% 인데, LT-PEMFC는 이에 미치지 못한다. SOFC시스템 만이 CHP모드를 적용하여 90%효율을 얻게 된다. Table 1에서 보는 바와 같이 우리들은 주거용의 열병합 발전에 적용하기에 적당한 연료전지는 PEMFC와 SOFC 이다. 일본에는 2014년까지 1kW 미만의 FC-CHP시스템이 138,000대가 설치되었다.

3. PEMFC와 SOFC를 CHP에 적용할 때의 기술력

3-1. CHP시스템 효율

전기와 전체 CHP시스템 효율은 전기/열 부하와 사용한 연료전지의 형태에 따라 변한다. 연료전지 시스템, 전기/열효율은 스택 부하의 직접적 함수다. 연료전지를 소규모 파워에 적용하면 다른 CHP기술보다 전기효율이 높다. SOFC 의 전기효율은 45-60%까지 얻을 수 있어 전체 효율은 85-90%까지 올라간다. LT-PEMFC시스템은 전기효율이 ~39%에 이르고 CHP 까지 합하면 ~90-95%에 이른다. HT-PEMFC는 전기

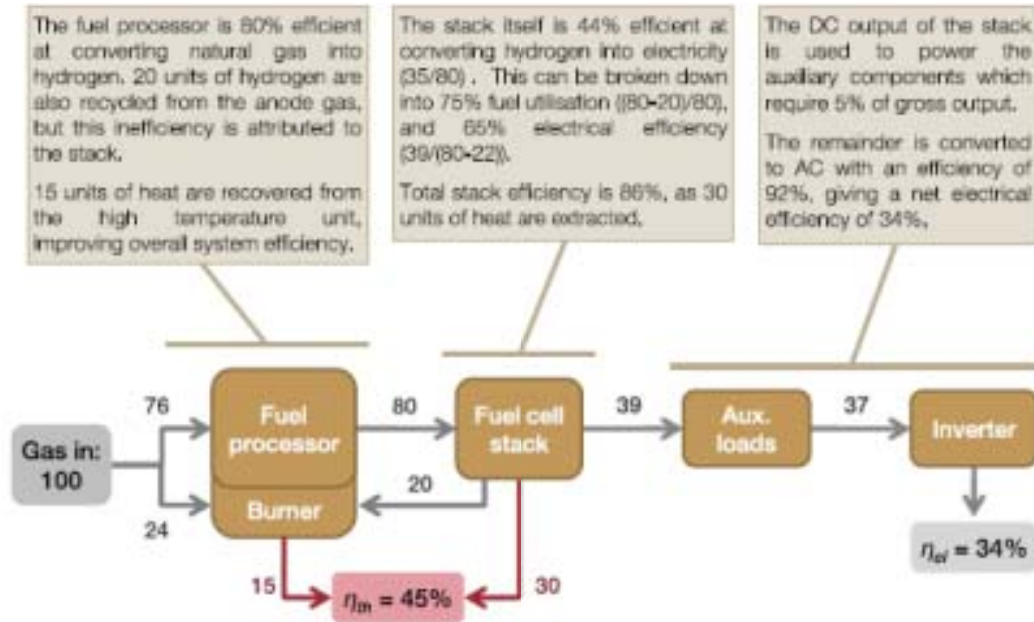


Fig. 2. Typical breakdown of the overall efficiency of a μ FC-CHP system

효율이 LT-PEMFC에 비해 다소 낮는데 온수는 80℃로 양질의 열을 공급한다. HT-PEMFC는 LT-PEMFC에 비해 가습 가스가 필요치 않기 때문에 부수적인 파워 소요가 덜하다. US DOE의 목표는 2020년까지 연료전지 CHP시스템 효율을 90%로 정하고 있다⁽⁵⁾. FC-CHP 시스템에서 일어나는 효율손실은 펌프, 팬/블로워, 연료프로세서와 컨트롤러 같은 부대 시스템이다. 이들의 손실은 전체 전기효율손실에서 20-33%에 해당한다⁽⁶⁾. μ FC-CHP의 전체 효율에서 부문별로 들어가는 효율 분포를 Fig. 2에 나타낸다⁽²⁾. FC-CHP시스템의 시동시간은 스팀 개질기나 부분산화로 된 리포밍 과정의 시동 시간과 스택의 예비 가열 시간에 좌우된다. 스팀 리포머는 시동시간이 30분이다. PEMFC스택은 SOFC스택에 비해 시동 시간이 훨씬 짧다. SOFC의 시동시간은 2.5-20시간으로 US DOE 2008의 목표인 60분을 훨씬 넘는다. HT-PEMFC는 시동 시 예비 가열할 때 캐소드 공기를 사용한다. 이것은 시동시간을 현저히 줄여 준다.

연료전지의 수명은 80% 출력으로 최하 40,000시간이 가능하다. Panasonic은 최근 그들의 LT-PEMFC CHP의 내구성을 60,000시간으로, 다른 일본 CHP회사는 80,000시간 까지 보증한다고 보고하였다⁽⁷⁾. EneFarm 시스템은 현재 일본에서 보수나 고장 없이 10년 보장으로 판매하고 있다. EU의 다른 주택용 시스템은 10,000-20,000시간을 보장하면서 팔린다.

3-2. FC-CHP시스템의 주력 구성품

3-2-1. 연료전지 스택

연료전지 스택은 수소의 화학에너지를 전기로 전환하고 열과 물을 부산물로 낸다. 막전극접합체(MEA)는 연료전지의 심장이며 이것이 운전 조건과 성능을 결정한다. FC-CHP시스템과 관련한 구성을 Fig. 3에 보여준다. LT-PEMFC는 60-120℃에서 운전하나 긴 수명 유지를 위해 80℃ 이하로 운전한다. LT-PEMFC의 단점은 반응물을 가습 해야 하기 때문에 물관리를 하는데 이것이 복잡하고 어렵다. 애노드에 공급하는 수소 중 CO 농도는 Pt촉매의 피독 때문에 10ppm 이하로 운전해야한다⁽⁸⁾. 이런 문제를 극복하기 위하여 더 높은 운전온도를 적용하는 HT-PEMFC를 도입한다. 이때 CO함량은 <5% CO 까지 가능하며 멤브레인은 고온에 견디는 폴리벤즈이미다졸(PBI)을 쓴다. 이것은 반응물의 물관리를 할 필요가 없고 200℃까지 운전한다⁽⁹⁾. SOFC 스택은 보통 550-1,000℃에서 CO가 높아도 운전한다. 2가지 형태의 스택이 있는데, 평판형과 튜브형 설계가 있다.

3-2-2. 연료프로세서

연료프로세서는 가장 중요한 구성품으로 BoP 코스트의 80%를 차지한다. 연료를 정화하는 부대시스템은 SOFC에 탈황과 LT-PEMFC에 CO제거시스템이 추가된다. 수소는 주로 화석연료에서 생산하는데 48%가

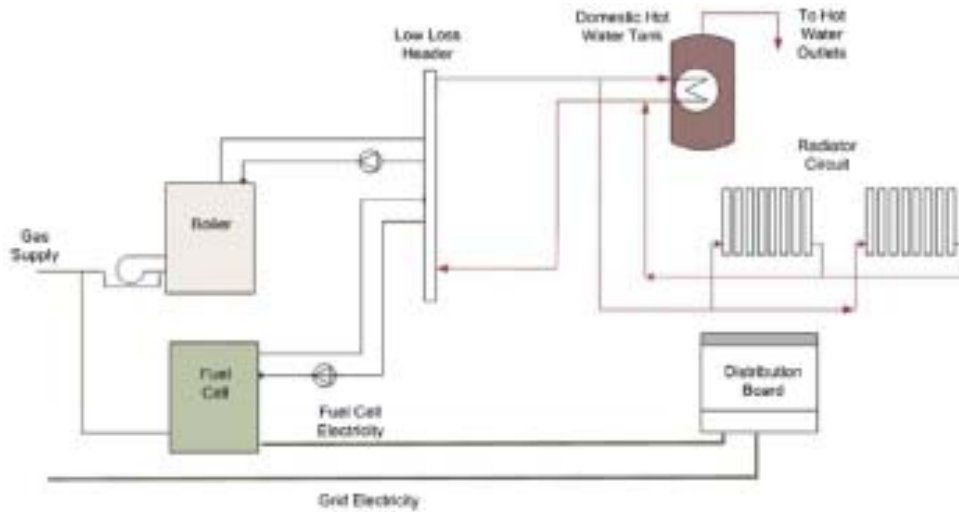


Fig. 3. Outline of μ FC-CHP system design

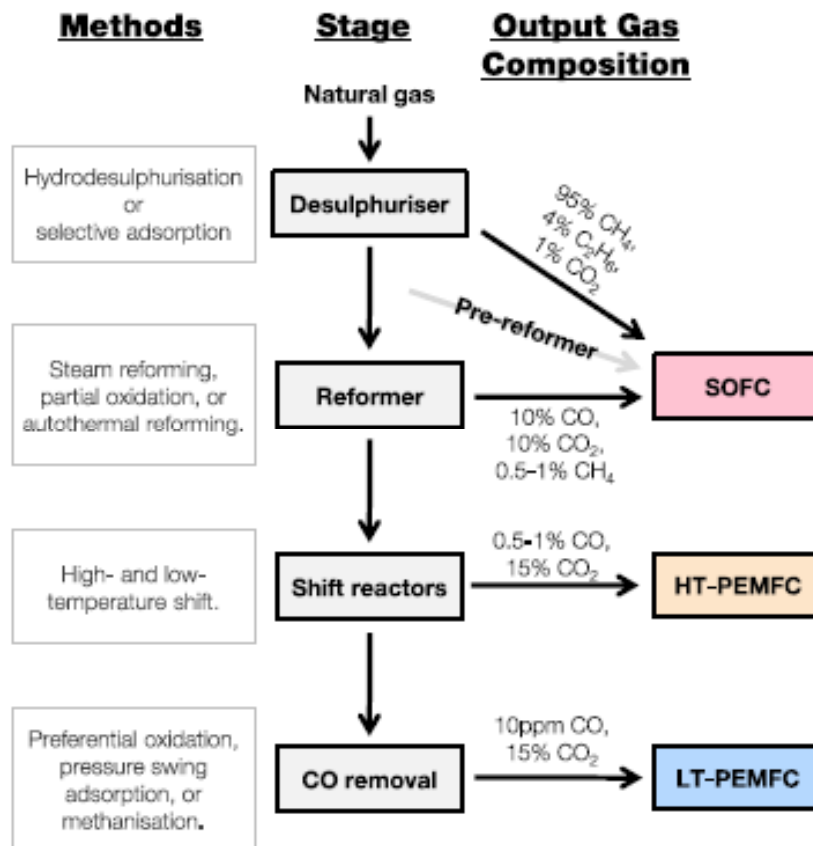


Fig. 4. Fuel processing concept of the fuel cell system⁽⁶⁾

천연가스, 30%는 정유사의 오프가스, 18%는 석탄 및 4%는 수전해로부터 온다. 주로 사용하는 천연가스는 스팀리포밍(SR), 부분산화(PO)와 자동열리포밍(ATR)

이 있다⁽¹⁰⁾. 연료전지 시스템에서 연료 프로세싱을 하는 전체적인 흐름도를 Fig. 4에 보여준다.

3-2-3. 파워 컨디셔닝

인버터와 컨버터가 마지막 소비자의 전력 질을 좋게 하기 위하여 비선형 DC 출력을 조정하는데 사용한다. 연료전지 전극면적과 단셀의 수에 따라 DC 출력은 변한다. 각 셀의 전압은 전기 부하가 증가하면서 감소하는데, 파워컨디셔닝에서는 스택 출력은 인버터에 높은 전압을 주기위해 더 높이기도 한다.

○ DC/AC인버터는 조정된 AC출력을 주기위해 높은 주파수에서 펄스폭전압제어(PWM: pulse width modulation)를 보통 사용한다. 파워컨디셔닝 장치의 효율은 코스트에 반비례하는데, 인버터 효율은 10kW FC-CHP에서 약 85-95%이다⁽⁴⁾. AC 전기는 가정에 사용하고 잉여 전기는 그리드에 공급하던가 아니면 배터리에 저장한다.

3-2-4. BoP

BoP(Balance of Plant)구성품은 1-2kW짜리 낮은 시스템에는 고가이다. 그러나 시스템 사이즈와 제작대수가 증가하면서 코스트는 감소하고 있다⁽¹¹⁾. FC-CHP 시스템의 코스트는 연료프로세서, 연료전지 스택, 파워컨디셔닝 및 펌프나 열교환기 등 부품을 포함한다. 예외적으로 특수부품이 들어가기도 하는데, H T-PEMFC에는 인산을 잡기위한 활성탄 베드, LT-PEMFC에는 금속오염물을 잡는 탈 이온 필터가 들어가며 SOFC는 반응물의 사전 가열로 고온의 열교환기가 추가로 들어간다.

4. FC-CHP의 장단점

4-1. FC-CHP의 장점

4-1-1. CO₂ 감축

CHP를 개발 보급하면 2015년에 4% 이상 CO₂배출을 줄이고, 2030년에는 저감량이 10%까지 늘어나서 인도가 일년에 배출하는 CO₂양의 1.5배에 해당하게 된다⁽¹²⁾. 따라서 CHP는 배출 안정에 기여하는 중요성과 비용이 덜 드는 GHG 감축 기회를 열어준다. 연료전지는 재래의 탄소강도(Carbon Intensity)가 높은 열기술보다 낮은 배출로 역시 배출 감축에 기여한다. 연간 CO₂절감량을 구하는 것은 히팅시스템에 따른 탄소강도가 국가에 따라 다르고, 열과 전기의 수용에 따른 설비의 차이 때문에 산정하기 어렵다. 1kW 주거용 FC-CHP 시스템은 일본과 독일의 경우 매년 1.3-1.9t CO₂를 감축한다고 보고 있다.

4-1-2. 탄소이력(carbon footprint)

연료전지의 탄소발자취 혹은 탄소발현(embodied carbon)은 이를 제작하는 과정에서 나오는 GHG를 측정하는 것이다. 카본 배출을 평가하는 몇 가지의 전과정평가(LCA)로 연료전지는 어떻게 제작되는가와, 소요되는 재료의 양 및 이들 재료는 여하히 제작되는가를 평가한다. 연료전지에서 니켈과 백금 같은 촉매는 에너지가 많이 소요되는 재료들이다. 1kW 주거용 FC-CHP시스템을 제작하는데 0.5-1t의 CO₂가 배출되는데, 100 kW상업용은 25-100tCO₂를 배출한다. 기술 사이에 차이가 있으나 나라와 제작 방법 사이의 차이는 그리 크지 않아 대동소이하다고 볼 수 있다. 저카본기술을 비교하면 주거용 PEMFC와 SOFC는 1kW 전기 생산에 10-20gCO₂를 발생한다. 이는 비교적 낮은 배출로 태양전지는 40-80g/kWh, 핵분열에는 10-30g CO₂/kWh로 보고되어 있다⁽¹³⁾.

4-1-3. 발전 코스트의 감소

FC-CHP시스템이 생산하는 전기는 천연가스 발전소보다 3.0-3.5배로 경제적인 가치가 높다. FC-CHP는 천연가스 같은 저가의 연료로 고가의 전기로 바꾸는데, 이로써 가구주는 에너지를 줄일 수 있다. 화석 연료를 사용하는 발전소는 효율이 35-37%로 1차 연료의 2/3를 폐기물로 낭비한다. 중앙 발전소는 열병합 발전을 합쳐 80%의 효율을 가진다. 이의 송배전 손실이 순 발전의 9%를 차지한다. 이것은 다시 말해 약 1/3이 고객에게 돌아간다는 뜻이다. 송배전 손실은 발전소와 사용처까지의 거리, 전압과 변전 단계의 숫자에 따른다. World Bank Data에 따르면 송배전 손실은 1.85-54.60%의 범위에 이르고 세계 평균은 8.10%로 알려져 있다. 2030년까지 미국은 CHP 발전소 프로젝트 투자를 7%까지 절감할 수 있다고 보고 있다. Fig. 5는 기존의 그리드 발전과 분산형 μFC-CHP에 대한 비교를 간략히 보여준다⁽⁶⁾.

4-2. FC-CHP의 단점

FC-CHP의 중요한 단점은 높은 초기 투자와 시장에서 다른 CHP 발전기술과 경쟁해야하는 점이다. 발전 코스트와 시스템의 적합성이 CHP기술을 선정하는 요인이다. 지금까지 CHP시스템은 소량 판매되었고 고정형 연료전지는 대부분 정부의 보조금 지원으로 판매되었다. μFC-CHP시스템의 실제가격은 미국 에너지부(US DOE)가 목표하는 가격보다 30-50배 높다.

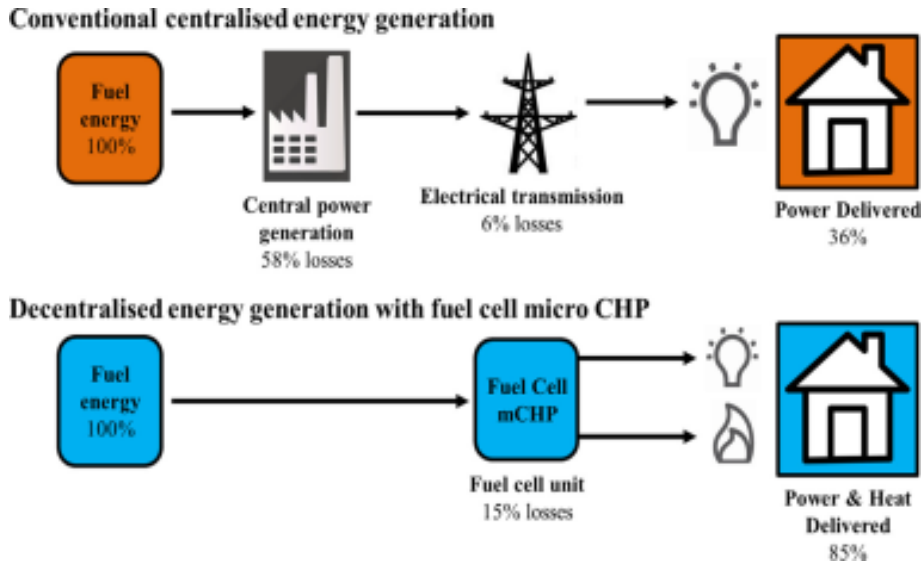


Fig. 5. Comparison of distributed μ FC-CHP system and conventional grid

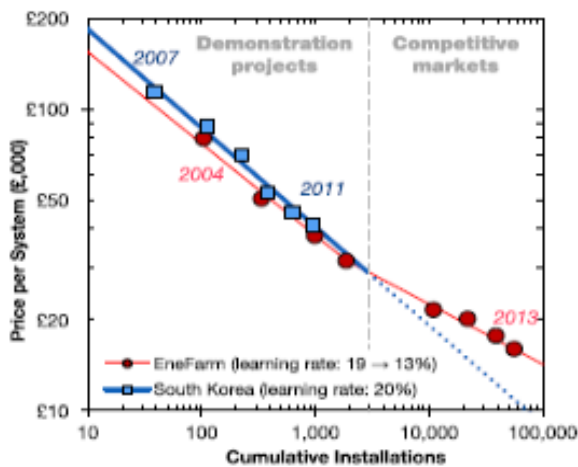


Fig. 6. Learning curves fitted to historic prices of Korea and Japanese residential FEMFCs

그러나 이 가격은 점점 떨어지고 있다. 한국과 일본에서의 PEMFC의 가격하락에 대한 그래프를 Fig. 6에 보여준다. 한국과 일본에서 시범 프로젝트를 수행하는 동안 주거용 PEMFC의 가격은 거의 20%가 하락하였다⁽¹⁴⁾. Fig. 6에서 예측할 수 있듯이 앞으로 4-6년 사이에 수백만기의 주거용 시스템이 US\$7,000-14,000의 가격으로 설치할 수 있으리라 보고 있다.

5. FC-CHP시스템 개발현황

독일은 전체 발전량에서 CHP가 12.6%를 차지하며 21GW의 설치 용량(2005)을 가지고 있다. 독일의 새

로운 CHP법은 2020년까지 발전을 배로 늘릴 계획을 가지고 있다. 덴마크는 마이크로FC-CHP를 개발하고 실증시험을 활발하게 하는 9개 회사로 구성된 협업체이다. 영국은 발전차액 지원제도(Feed in Tariff)를 도입하고 있다. 호주의 Ceramic Fuel Cells Limited(CFCL)가 주택, 학교 및 소규모 비즈니스를 위한 BlueGen을 2013년에 진입시켰다. 고객들은 10년 FIT에 서명, 전기값을 줄이고 그 후에는 시스템을 소유하는 것이다. 일본의 CHP 연구개발과 실증시험(RD&D)은 가정용 1kW PEMFC CHP를 개발하면서 1990년대에 정부가 추진하였다. 2005년까지 주택에 CHP 50기를 성공적으로 설치하고 대형 시범 프로젝트를 시작하였다. 첫 단계에서 마이크로 μ FC-CHP 3,357기를 2008년까지 설치하고, 2009년부터 상업화 단계가 시작되었다.

정부 지원금은 2012년에 수소와 연료전지 R&D에 US\$ 40억이 지원되었다. 한국 정부는 연료전지가 미래 유망기술임을 확인하고 2003-2012년 기간에 기술개발 예산 US\$ 11.8억을 배분하였다. 2004년에 첫 1kW 용량의 가정용 연료전지 시스템(RPG, Residential Power Generator)을 시운전에 들어갔다.

미국은 2012년에 상업빌딩과 공공건물은 13%의 CHP시스템이 적용되어 있다. 미국의 CHP설치 용량은 82GW로 국가의 발전량의 8%인데, 매년 MW로 쳐서 12%에 해당한다. 호주는2009년에 CFCL이 첫 FC-CHP 제품을 주거용으로 출시했는데, 2010년까지 세계적으로 수기가 시험되어 전기효율 60%, 전체 효율 85%가 입증되었다.

6. 결 론

μ -CHP시스템은 분산 발전으로 높은 효율의 전기에너지를 생산할 수 있는 매력적인 방법이다. 이 기술은 에너지를 생산하는데 가장 장점이 많은 기술이나 현재 가장 문제되는 단점은 높은 초기 투자인데 이는 낮은 생산량에 기인한다. 많은 시범 프로젝트를 통하여 일본은 생산을 배가하고 상업화를 이룩하면서 모두 38%의 FC-CHP 가격을 저감할 수 있었다.

많은 나라들이 FC-CHP시스템을 보조금을 지원하는 등의 방법으로 보급하는 정책을 개발하고 있다. 기술 경제적 분석과 에너지 수요에 의하면 FC-CHP시스템으로 시장성이 가장 좋은 타깃은 주거용 전기와 열을 생산하는 1kW_e짜리 유닛이다.

이 기술에 적합한 연료전지 기술은 SOFC와 PEMFC이다. SOFC는 고온의 운전열을 발생하나 시동시간이 긴 문제가 있다. LT-PEMFC의 높은 파워밀도는 큰 장점인 것이 분명하나, 문제는 물관리가 복잡하고 고순도의 연료를 공급해야하는 점이다. HT-PEMFC는 괜찮은 성능과 시스템의 구성이 줄어 레이아웃을 단순화 할 수 있고, 코스트를 저감하므로 좋은 대안으로 판단된다.

사사:

이 논문은 미래창조과학부의 과학기술진흥기금과 복원기금 출연사업인 한국과학기술정보연구원이 수행하는 ReSEAT 프로그램의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. H. Nakagami, C. Murakoshi, Y. Iwafune, International comparison of household energy consumption and its indicator, ACEEE Summer Study Energy Effic. Build.; Pacific Grove, CA, USA, 2008, 214-224. <http://goo.gl/F6F xjv>(accessed 23.03.15).
2. Harikishan R. Ella mla, Iain Staffell, Piotr Bujlo, Bruno G. Pollet, Sivakumar Pasu pathi, "Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector", Journal of Power Sources 293, 2015, pp.312~328.
3. N. Zuliani, R. Taccani, "Microgeneration system

based on HTPEM fuel cell fueled with natural gas: Performance analysis," Appl. Energy 97, 2012, pp. 802-808.

4. A.D. Hawkes, I. Staffell, D. Brett, "Fuel cells for micro-combined heat and power generation." Energy Environ. Sci. 2, 2009, pp. 729-744.
5. J. Spendelov, J. Marinkoski, D. Papageorgopoulos, Micro CHP Fuel Cell System Targets, Department of Energy (DOE), USA, 2012. <http://goo.gl/fqDvZ1>.
6. I. Staffell, Fuel Cells for Domestic Heat and Power: Are they Worth it?, University of Birmingham, 2009. <http://goo.gl/JB4Yjp>.
7. T. Shimizu, Panasonic's Latest Technology Trend in EN E-farm and Penetration Strategy, FC-EXPO, Tokyo, 2013.
8. J.M. Zalc, D.G. Loffler, "Fuel processing for PEM fuel cells: transport and kinetic issues of system design", J. Power Sources, 111(1), 2002, pp. 58-64.
9. P. Bujlo, S. Pasu pathi, J. Scholta Ulleberg, M.V. Nomnqa, A. R abiu, et al., "Validation of an externally oil-cooled 1 kW_e HT-PEMFC stack operating at various experimental conditions", Int. J. Hydrog. Energy 38, 2013, pp. 9847-9855.
10. Y. S. Seo, A. Shirley, S.T. Kolaczowski, "Performance of fuel cell integrated combined heat and power" J. Power Sources 108, 2002, pp. 213-225.
11. B.D. James, A.B. Spisak, W.G. Colella, Manufacturing Cost Analysis of Stationary Fuel Cell Systems, 2012. Arlington, <http://goo.gl/CR2d80>.
12. World Energy Outlook (WEO). <http://www.world-energyoutlook.org>.
13. Carbon Footprint of Electricity Generation, 2011. London, <http://goo.gl/NwUREz>.
14. I. Staffell, R. Green, "The cost of domestic fuel cell micro-CHP systems" Int. J. Hydrog. Energy 38, 2013, pp. 1088-1102.