

BA 420

2005년 미래유망 사업화아이템 이슈분석

마이크로 연료전지

상업화를 위한 선결과제

노현숙 · 박진남 · 고병열



한국과학기술정보연구원

머 리 말

21세기는 지식과 정보가 그 국가의 경쟁력을 좌우하는 지식기반 산업사회로 나아가고 있으며, 최고가 아니면 살아남을 수 없는 무한 경쟁시대가 되어가고 있습니다. 우리나라가 이러한 변화 속에서 생존하기 위해서는 국가경쟁력 강화가 필수 불가결한 것으로 인식되고 있으며, 이를 위해서는 선진국형 고부가가치 산업의 육성이 절실히 요구되고 있습니다.

이러한 시대적 요구 속에서 한국과학기술정보연구원에서는 우리나라가 지식기반 산업사회를 선도해 나갈 수 있도록, 미래유망 사업화 아이템을 도출·선정하고, 이에 대한 심층분석정보를 제공하고 있습니다. 이를 통해, 국가 과학기술 확산은 물론 국제경쟁력을 극대화시키기 위해 노력하고 있습니다.

미래유망 사업화아이템의 이슈분석사업의 일환으로 출간되는 본 보고서는 마이크로 연료전지 산업 발전에 많은 기여를 할 것으로 전망되고 있어, 많은 주목을 받고 있습니다. 마이크로 연료전지는 학문 분야에서는 연구의 수단으로, 산업분야에서는 기술개발의 도구로 점차 그 활용 폭을 확대해나가고 있습니다. 이와 같이 마이크로 연료전지는 여러 산업들에 파급효과가 매우 커서, 국가 산업 측면에서 중요성이 부각되고 있습니다.

본 보고서는 미래유망 사업화아이템의 도출과정 및 선정경위와 마이크로 연료전지에 대한 기술·시장의 분석, 이슈분석을 통해 체계적

이고 심도 있는 분석정보를 제공하고자 하였습니다. 본 연구의 결과가 관련 과학기술정보를 국내에 확산시키고, 이와 아울러, 관련 산업의 국제경쟁력 증대에 작으나마 도움이 되었으면 합니다.

끝으로 본 보고서는 노현숙 선임연구원, 고병열 선임연구원, LG화학 박진남 박사가이 공동 집필한 것으로서, 이 분들의 노고에 감사드리며, 수록된 내용은 한국과학기술정보연구원의 공식의견이 아님을 밝혀두고자 합니다.

2005. 11.

한국과학기술정보연구원

원장 조영화

목 차

I. 서 론	1
1. 마이크로 연료전지의 개념 및 분석 필요성	1
2. 분석방법	2
II. 선정 과정	5
1. 유망아이템 발굴/평가 프로세스	5
가. 프로세스 설계의 배경	5
나. 정성적 프로세스	7
다. 정량-정성적 프로세스	10
2. 마이크로 연료전지의 선정과정	14
가. 유망아이템 후보군의 도출	14
나. 마이크로 연료전지의 유망성 평가	17
III. 산업 시장 분석	21
1. 개요 및 특성	21
2. 동향 및 전망	23
가. 세계시장	23
나. 국내 시장	27
IV. 이슈 분석	29

ii

1. 연료전지 상업화의 장벽	29
2. 상업화를 위한 선결과제	30
가. 가격 저하	30
나. 시스템 소형화	33
다. 시스템 내구성 증대	34
라. 메탄올 규제 완화	34
마. 연료 인프라	35
바. 기타	36
V. 결 론	39
참고 문헌	41

표 목차

<표 2-1> 정량-정성적 유망아이템 발굴 프로세스	12
<표 2-2> 유망성 평가지표별 평가기준	13
<표 2-3> 미래 유망사업 아이템 후보군의 도출	16
<표 2-4> 미래 유망사업 아이템의 선정	17
<표 2-5> 마이크로 연료전지의 평가내용	19
<표 3-1> 연료전지 용도별 시장특성	22
<표 3-2> 2004년 출시가 예상되는 연료전지 탑재 휴대기기	24
<표 3-3> 일본 휴대용 연료전지 시장 예측	26
<표 3-4> 휴대용 연료전지의 2009년 시장 수요예측 종합	28
<표 4-1> 연료전지의 적용분야별 장벽 및 난이도	29

그림 목차

<그림 2-1> 정성적 프로세스 개발 방법	8
<그림 2-2> 정성적 유망아이템 프로세스	9
<그림 2-3> 선정단계에서의 유망성 평가기준	10
<그림 3-1> IT용 소형연료전지의 가치사슬 및 해당기업	22
<그림 3-2> 휴대용 연료전지 시장규모 예측	25
<그림 3-3> 휴대용 연료전지 비즈니스 모델	27
<그림 4-1> 연료전지 상업화를 위한 선결과제	29

I. 서 론

1. 마이크로 연료전지의 개념 및 분석 필요성

- 마이크로 연료전지란 휴대폰, 노트북 컴퓨터 등 휴대용 기기에 사용되는 출력 100Wh 이하의 소형 연료전지 시스템을 지칭함.
 - 무공해이며 이동성이 뛰어나다.
 - 기존의 2차 전지와 달리 충전이 필요 없으며 연료 카트리지의 교환으로 연속 사용 가능.
- 연료의 선택이 자유로워 관련 인프라 구축이 용이하고, 대형 연료전지 시스템에 비해 시장이 요구하는 가격과의 갭이 적음.
 - 휴대용 기기의 전력소모가 증가함에 따라 마이크로 연료전지의 필요성이 증대함.
 - DMFC(Direct Methanol Fuel Cell, 직접메탄올 연료전지)가 주류이며, PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 고분자 전해질 연료전지)와 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell, 고체산화물 연료전지)도 일부 연구되고 있음.
 - 상업화 성공시에 2차 전지 시장의 판도에 지대한 영향을 미침.

2 마이크로 연료전지

- 여러 가지 시작품이 발표되고 있으나 아직까지는 시장을 형성하기에 기술 수준과 가격이 미흡함.
 - DMFC의 경우는 출력 증대, 부피 감소, 가격 저감, 내구성 향상, 메탄올 공급인프라 구축 등이 과제임.
 - PEMFC의 경우 수소공급 인프라의 구축이 난제임.
- 본 연구에서는 마이크로 연료전지의 시장현황 및 실용화를 위한 이슈를 정리하였음.

2. 분석 방법

- 본 연구에서는 연료전지 중에서 가장 먼저 상업화가 될 것으로 예상되는 마이크로 연료전지를 중심으로 분석하였음.
- "II. 선정과정"에서는 미래 유망 사업 아이템으로서 마이크로 연료전지가 선정된 경위에 대하여 기술하였음. 사용된 주요 방법론은 미래 유망사업의 선정과 관련한 국내외 각종 기관 및 컨설팅사의 방법론을 참고로 하여 KISTI-SERI가 공동으로 개발한, 통합 프로세스 측면의 정성적인 방법론이었으며, IT 및 관련산업을 대상으로 하였음.
- "III. 산업 시장 분석"에서는 한국과학기술정보연구원(KISTI) 보유 문헌 분석, 국내외 조사전문기관의 발표자료 분석, 전문가 자문

및 업계실태조사 등의 방법을 통해 기술·산업·시장의 동향을 파악하고 전망하였음.

- "IV. 상용화를 위한 선결과제"에서는 전문가 자문 및 업계실태조사 등의 방법을 통해 마이크로 연료전지의 상용화에 대한 이슈를 분석하였음.

II. 선정 과정

1. 유망아이템 발굴/평가 프로세스

가. 프로세스 설계의 배경

- 미래 유망 사업아이템(이하 아이টে으로 칭함) 발굴 프로세스는 연구기관별 채택하는 방법론에 따라 상이하게 나타나고 있지만, 기본적으로 ① 환경분석(메가트렌드 분석), ② 유망 아이템 후보군 발굴, ③ 평가/우선순위결정으로 구성됨.
- 국내 주요 연구기관의 미래 유망아이템 발굴 방법론은 해외예측기관의 발표자료를 종합하는 방법 또는 전문가 위원회의 구성을 통한 정성적 접근방법 등이 매우 중요시되고 있음.
 - 해외의 경우는, 전문가 위원회의 활용이 매우 체계적인 것으로 파악되지만, 정성적 접근이 중요시되는 점은 국내의 경우와 크게 다르지 않음.
- 이러한 정성적인 전문가 위원회의 활용은 각종 의사결정에 있어서 장점이 많은 방법이지만 절차의 복잡성과 과도한 시간 및 비

6 마이크로 연료전지

용 소요, 소수 전문가의 과도한 영향력 발휘에 의한 왜곡 등의 단점이 있음.

- 따라서 최근에는 전형적인 전문가 위원회 구성 방식 이외에 설문 통계분석, 기술연관분석(고병열, 2003), KDD(Knowledge discovery in database)/KM(Knowledge Mapping), Bibliometrics 등 보다 정량적이고 객관적인 방법이 주요 의사결정 시스템에 많이 도입되고 있음.
- 이 중에서 최근 주목받고 있는 방법은 방대한 과학기술정보를 수록한 과학기술 DB 데이터를 대상으로, Bibliometrics, Text mining, Mapping 기법을 활용하여 보다 객관적인 사실을 도출하고자 하는 KDD 방법임(Porter, 2004; 윤문섭, 2004, Yoon, 2005; 윤병운, 2005; NISTEP, 2003).
- 그러나, “미래 유망아이템”의 경우, 다양한 사회현상과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 시스템화된 정량적 발굴 프로세스를 100% 적용하기란 사실상 어려운 점이 있음.
- 따라서, 효과적으로 미래유망 아이템을 발굴하기 위해서는 정성적 프로세스(주지한 바와 같은 단점이 존재하지만) 및 정량적 프로세스와 병행하여 사용할 필요가 있음.
- 이에 따라, 본 보고서에서는 유망아이템 발굴에 대한 정성적 프

로세스와 정량적 프로세스를 모두 적용하였음.

- 한편, KDD/KM 등의 활용을 통한 정량적 프로세스의 적용은 기술분석 및 기술기획 관련 정책제언에 주로 적용되어 왔으나, 유망아이템 발굴과 같은 산업/시장분석¹⁾ 측면으로의 활용은 현재까지 전무함.
- 따라서, 본 보고서에서의 정량적 프로세스는 이에 대한 최초의 시도로 볼 수 있음.
- 종합하면, 본 보고서에서 개발한 미래유망 아이템 발굴 프로세스는 정성적 프로세스 및 정량-정성적 프로세스로 나뉘어짐.
- 정성적 프로세스를 통하여 IT 및 관련 산업분야 15대 유망아이템을 발굴하였고, 정량-정성적 프로세스를 통하여 화학-금속-바이오 산업분야 15대 유망아이템을 발굴하였음.

나. 정성적 프로세스

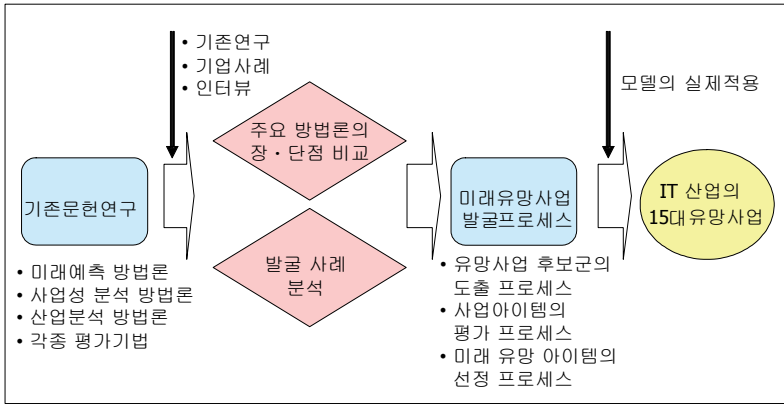
- 정성적 프로세스는 미래 유망사업의 선정과 관련한 국내외 각종

1) 예를 들어, 산업구조분석, 시장수요예측, 시장기회/위협요인 분석, 메가트렌드 분석 등이 해당되며 “유망아이템의 발굴”은 이러한 다양한 산업/시장분석 방법론이 종합된 형태로 볼 수 있음.

8 마이크로 연료전지

기관 및 컨설팅사의 방법론을 분석·비교하여 장단점을 파악한 후, 통합 프로세스를 고안하는 형식으로 개발하였음(<그림 2-1>).

<그림 2-1> 정성적 프로세스 개발 방법

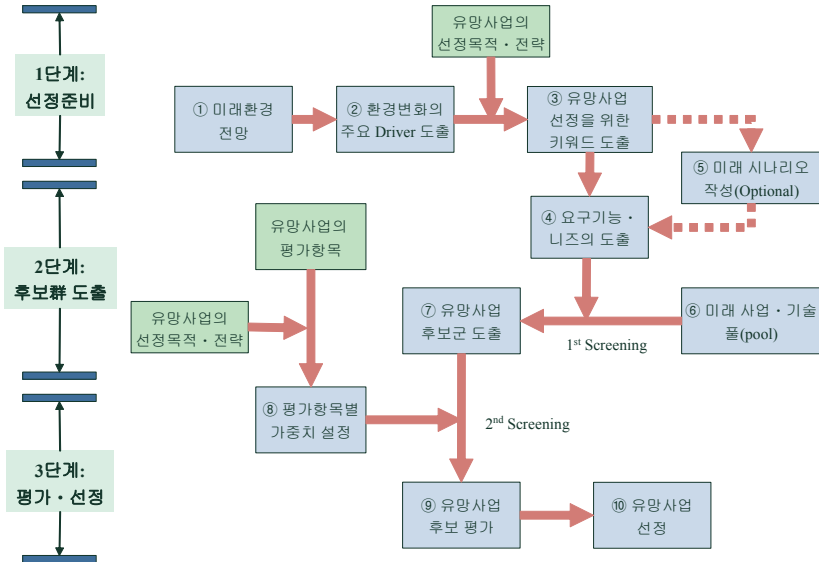


자료 : 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005, p.2.

- 개발된 프로세스를 IT 및 관련산업에 적용하여 15대 미래유망사업 아이템을 도출하였음.
- 문헌고찰, 사례연구, 전문가 브레인스토밍, 과거 시장자료 DB 분석 등의 연구방법을 주로 사용하였음.
- 정성적 유망아이템 발굴 프로세스는 1) 선정준비, 2) 후보발굴, 3) 평가·선정의 3 단계에 걸쳐 총 10개의 세부모듈로 구성됨.2)

2) 한국과학기술정보연구원과 삼성경제연구소가 공동으로 개발하였음.

<그림 2-2> 정성적 유망아이템 프로세스



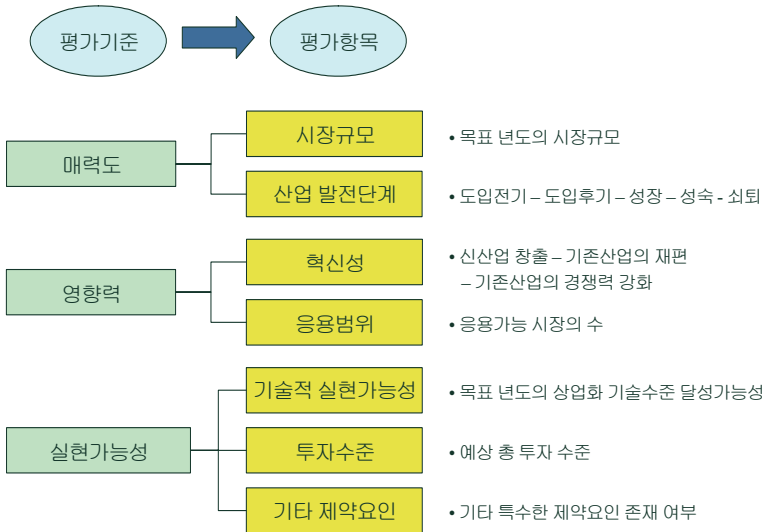
자료 : 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005, p.29.

- 선정준비 단계 : 미래환경전망, 환경변화의 주요 動因 도출, 유망사업 선정을 위한 키워드 도출
 - 후보발굴 단계 : 미래 시나리오 작성, 요구기능니즈 도출, 대상산업의 미래 사업기술목록 작성, 유망사업 후보군 도출
 - 평가선정 단계 : 평가항목별 가중치 설정, 후보사업 평가, 유망사업 선정.
- 선정단계에서 유망성 평가기준은 매력도(시장규모 및 산업발전단계), 영향력(신사업 창출 가능성, 사업응용 범위), 실현가능성(국내

10 마이크로 연료전지

기술수준, 투자수준, 기타 제약요인)으로 설정하였음(<그림 2-3> 참조).

<그림 2-3> 선정단계에서의 유망성 평가기준



자료 : 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005, p.46.

다. 정량-정성적 프로세스

○ 동 프로세스의 개발은, 상용화에 근접한 기술을 파악할 수 있는 특허 DB에 미래 유망아이템의 후보군이 존재한다는 기본 개념에서 출발함.

- 대상 특허 DB는 미국특허이며, 이 중 IPC C 코드로 한정하였음.

즉, 산업분야로 볼 경우, 화학, 금속, 바이오 산업의 영역으로 볼 수 있음.

- 특허는 IPC라는 기술분류 체계를 따르고 있기 때문에, 이를 산업/제품 분류 체계와 연관지을 경우 매우 유용한 결과를 도출할 수 있음.

- 즉, 최근 들어 급격히 부상하고 있는 특허 분류코드 및 키워드들을 파악하고 이들을 산업/제품 분류체계에 대응시킬 경우 미래 유망아이템 후보군을 도출할 수 있고, 해당 기술/산업 분야의 메가트렌드를 파악할 수 있게 된다는 의미임.

- 이는, “현 시점에서 기술혁신 활동이 활발한 기술분야와 연관된 산업/제품이 미래 유망산업/제품이 될 가능성이 높다”³⁾는 의미와 상통함.

- 이상과 같이 후보군이 도출되면 간단한 평가지표를 사용하여 우선순위를 결정하였음.

- 이상의 기본 개념을 바탕으로 <표 2-1>과 같이 유망아이템 발굴 프로세스를 설계하였음⁴⁾.

- 기술-산업 연계구조 및 특허 키워드 분석 등 KDD/KM 측면의

3) 가능성이 높다는 측면에서 유망아이템 후보군이라는 표현을 사용하였으며, 이후의 선정 단계에서 유망아이템을 최종 발굴한다.

4) 고병열, 노현숙, “기술-산업 연계구조 및 특허 분석을 통한 미래유망 아이템 발굴,” 기술혁신학회지, 8(2), 2005, 863-887.

12 마이크로 연료전지

접근을 시도한 것을 특징으로 함.

<표 2-1> 정량·정성적 유망아이템 발굴 프로세스

단계	내용	방법론	
① 분석대상 선정	최근 10년간 출원빈도가 급증하는 IPC 분류코드 (부상코드)와 정채되어 있는 분류코드(정채코드)의 선정	· 특허추세분석	정 량 적
② 메가트렌드 분석	부상코드와 정채코드의 IOM/SOU 분석을 통하여 기술혁신 추세변화가 산업에 미치는 영향을 분석	· IOM/SOU* 분석 (기술-산업연계구조 분석)	
③ 유망아이템 후보군 도출	부상코드 내에서, 1990년 대비 2000년에 새로이 출현한 키워드(부상키워드) 및 이들간의 동시발생분석 분석결과를 대상으로 하여 산업적으로 의미있는 아이템화하여 도출	· 키워드 분석 · 키워드 동시발생분석	
④ 유망아이템 선정	유망아이템 후보군을 대상으로 메가트렌드 부합도, 시장규모, 시장성숙단계, 기술의 혁신성 등의 평가지표를 사용하여 스크리닝	· 주요 평가지표를 사용한 평점모형	정 성 적

주* : 캐나다 지적재산권 관리국에서는 1972년부터 1995년까지 출원된 30만건 이상의 특허에 대해서 각 기술의 IPC 분류 코드를 해당 기술이 개발된 산업(Industry of Manufacture : IOM)과 그 기술이 활용되어지는 산업(Sector of Use : SOU)으로 분류하였음. Yale 대학에서는 이를 차용하여 IPC 분류 코드가 특정 IOM-SOU 조합으로 분류될 확률을 계산하였고, IPC 분류에 따른 특허자료를 연관된 IOU-SOU 행렬로 변환하는 공정을 최종 완성하였음(Johnson, 2002).

자료: 고병열, 노현숙, “기술-산업 연계구조 및 특허 분석을 통한 미래유망 아이템 발굴,” 기술혁신학회지, 8(2), 2005, p.873.

- 발굴된 유망아이템 후보군으로부터 평가과정을 거쳐서 최종적으로 유망아이템의 우선순위를 결정하는 과정(④)은, 아이템의 매력도 및 영향력 등을 객관적으로 가늠할 수 있는 평가 지표를 도출한 후 이에 따라 후보아이템별로 평점을 부여하고 합산하는, 평점모형 방식으로 수행하였음.
- 이 단계에서는 DB의 정량적 활용이 어려워 기존의 모형(김은선 외, 2004; 삼성경제연구소, 2005)을 간략한 형태로 적용하였음 (<표 2-2>).

<표 2-2> 유망성 평가지표별 평가기준

평가지표		평가 기준					
		5점	4점	3점	2점	1점	0점
세계 시장규모 (단위: 억달러)		300 이상	100 ~ 299	10 ~ 99	1 ~ 9	1 미만	
발전단계		성장기	도입후기	도입전기	성숙기 현시점이 도입기인 경우 현시점이 성장기인 경우		쇠퇴기
혁신성 ⁵⁾		Radical (신산업창출)		Disruptive (기존산업 재편)		Sustaining (기존산업의 경쟁력강화)	
메가트랜드 부합도	B2C화					부합	비부합
	바이오화					부합	비부합
	서비스화					부합	비부합

자료: 고병열, 노현숙, “기술-산업 연계구조 및 특허 분석을 통한 미래유망 아이템 발굴,” 기술혁신학회지, 8(2), 2005, p.874.

5) 기술의 혁신성이 높을수록 미래의 신산업 창출로 연결가능성이 높을 것으로 판단하여 높은 점수를 부여

2. 마이크로 연료전지의 선정과정

- 마이크로 연료전지는 IT 및 관련 산업에 속하는 아이템으로서, 앞서 제시된 프로세스 중 정성적 프로세스를 통하여 발굴되었음.

가. 유망아이템 후보군의 도출

1) IT 산업의 미래사업·기술 리스트

- 국가과학기술지도 및 중·장기 과학기술예측 자료를 IT 산업의 미래사업·기술 리스트로 활용함.
 - 국가과학기술지도(과학기술부, 2002)의 “정보-지식-기능화 사회구현” 비전에 따른 IT 관련 부문의 미래기술·사업을 기본 목록으로 사용. 국가과학기술지도의 IT관련 세부기술은 총 214개임.
 - 국가과학기술지도의 목표 년도가 2012년으로 본 보고서의 목표년도인 2015년과 비교적 근거리이므로 큰 차이는 나지 않을 것으로 판단하여 이를 후보군에 포함하였음.
 - 최근 발표된 『제3회 국가과학기술예측』의 정보·지식 분야의 중·장기 미래기술 목록 중 국가과학기술지도와 중복되지 않는 기술들을 포함(과학기술부, 2005). 이 중 실현 예측시기가 2015년경 이내인 70개 기술들만 대상에 포함하였음.
 - 일본 문부과학성이 실시한 제7회 기술예측보고서의 「정보·통신」 및 「일렉트로닉스」 분야 중 국가과학기술지도 및 제 3회 국가과학기술예측과 중복되지 않는 기술을 포함(일본문부과학성,

2002). 이 중 실현 예측시기가 2015년 경 이내인 107개 기술들만 대상에 포함하였음.

2) 환경분석을 통한 유망아이템 후보군 도출

- 2015년의 유비쿼터스 환경에 필요한 요구기능·니즈 및 제약요인을 기준으로 IT 산업의 미래사업·기술 리스트로부터 유망사업 후보군을 도출하였음.
- 요구기능·니즈로부터 내용상 중복되는 것을 제외하고 총 8가지의 선별기준을 정함.

< 유비쿼터스 미래의 핵심 니즈·기능 >	
① 실시간·대용량 통신 네트워크	② 대용량 컴퓨팅
③ 정보 보안	④ 실시간 위치확인
⑤ 원격·상시 건강상태 확인·진료	⑥ 소형화·휴대성
⑦ 주택용·차량용 각종 기기의 지능화	
⑧ 기타 유비쿼터스 활용 서비스·솔루션	

- 상기 8가지의 니즈를 기준으로 미래사업·기술의 관련성 여부를 평가하여 총 22가지의 유비쿼터스 관련 유망기술 후보군을 <표 2-3> 과 같이 도출하였음.

<표 2-3> 미래 유망사업 아이템 후보군의 도출

기능	미래사업·기술	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
표시	Flexible 디스플레이						○		
	전자종이						○		
저장	차세대 메모리		○				○		
통신	4G 이동통신	○				○			
	UWB(Ultra Wideband)	○					○	○	
프로세싱	SoC					○	○	○	
	Grid 컴퓨팅		○						
전원	2차전지					○	○		
	마이크로 연료전지						○		
감지	바이오센서					○			
컨텐츠	가상현실 시스템								○
	전자화폐·금융 시스템								○
	오감형 미디어 콘텐츠								○
	S/W Agent							○	
	광·양자 암호			○					
응용	착용형컴퓨터						○		
	Telematics							○	
	U헬스					○			
	가정용 서비스로봇					○		○	
	biometrics			○					
	Interactive TV							○	
	RFID				○		○		

- 주 : 1) 표의 번호는 본문 박스 내에 있는 8가지 미래의 핵심니즈·기능의 번호임.
 2) 상기 표에서 미래사업·기술 별로 8가지 핵심 니즈·기능을 실현하는 것과 관련이 있는 항목에 ○ 표시를 함

자료 : 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005, p.83.

나. 마이크로 연료전지의 유망성 평가

- 이러한, 22개 유비쿼터스 관련 후보 사업·기술에 대해 기존 자료 및 연구진의 토의를 통해 평가항목별로 평점을 부여(<표 2-4>)하였음.

<표 2-4> 미래 유망사업 아이템의 선정

유망아이템 후보군	총점	시장 규모	발전 단계	혁신성	응용 범위
가중치	1.00	0.1	0.2	0.2	0.2
Telematics	4.60	5	5	5	5
RFID	4.40	3	5	5	5
SoC	4.30	5	5	3	5
Flexible 디스플레이	4.20	2	4	5	5
마이크로 연료전지	4.20	3	5	3	5
바이오센서	4.20	3	3	5	5
S/W Agent	4.20	3	5	3	5
4G 이동통신	4.10	5	5	4	5
U헬스	4.10	5	3	5	5
차세대 메모리	4.00	4	5	2	5
Grid 컴퓨팅	3.80	3	5	4	2
오감형 미디어 콘텐츠	3.70	4	4	3	5
가정용서비스로봇	3.70	5	4	5	4
가상현실 시스템	3.60	2	3	3	5
Interactive TV	3.60	5	5	2	2
전자종이	3.20	2	4	4	2
2차전지	3.10	4	1	1	5
착용형컴퓨터	3.00	3	3	3	3
biometrics	3.00	5	5	2	1
UWB(Ultra Wideband)	2.70	2	4	2	3
전자화폐, 금융시스템	2.60	5	1	1	1
광·양자 암호	2.30	1	3	4	1

(계속)

18 마이크로 연료전지

유망아이템 후보군	기술실현 가능성	투자 요인	계약 요인	계약요인 내용
가중치	0.2	0.1		
Telematics	5	1		
RFID	5	4	-0.3	개인정보유출
SoC	5	2		
Flexible 디스플레이	5	2		
마이크로 연료전지	5	3		
바이오센서	5	3		
S/W Agent	4	5		
4G 이동통신	5	1	-0.3	정책, 시장의 불확실성
U헬스	5	3	-0.3	법률, 제도 정비 필요
차세대 메모리	5	2		
Grid 컴퓨팅	4	5		
오감형 미디어 콘텐츠	2	5		
가정용서비스로봇	3	3	-0.3	안정성 문제
가상현실 시스템	4	4		
Interactive TV	5	3		
전자종이	4	2		
2차전지	5	3		
착용형컴퓨터	3	3		
biometrics	4	4	-0.3	윤리적 문제
UWB(Ultra Wideband)	3	4	-0.3	정책 불확실성
전자화폐, 금융시스템	5	5		
광·양자 암호	1	4		

자료 : 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005, p.87.

- 이 중, 마이크로 연료전지는 다음과 같이 평점을 부여받아 2015년 유망아이템으로 선정(<표 2-5>)되었음.

<표 2-5> 마이크로 연료전지의 평가내용

평가항목	평점	가중치	가중평점	평가내용
시장규모	3	0.1	0.3	2015년 세계시장 수십억 달러
발전단계	5	0.2	1.0	2015년 성장기에 접어들음
혁신성	3	0.2	0.6	Disruptive technology, 기존산업 재편
응용범위	5	0.2	1.0	다양한 응용시장 창출
기술실현가능성	5	0.2	1.0	선진국대비 90%의 기술수준
투자요인	3	0.1	0.3	적정수준의 투자규모
제약요인	-			
합계			4.2	

자료 : KISTI 작성

Ⅲ. 산업 시장 분석

1. 개요 및 특성

- IT용 소형연료전지 시장은 휴대폰, PDA 등의 제품발전 양상, 2차 전지 기술의 발전수준, 연료의 공급인프라 구축 여부 등 다양한 요인에 의해 시장형성 여부가 결정될 것임.
- 그러나 시장동인, 인프라 의존도, 규제 등에서 타 연료전지에 비해 매우 유리한 시장환경을 가지고 있음(<표 3-1> 참조).
 - 휴대폰 전자기기의 고성능화가 기존 2차전지로는 해결할 수 없는 상황까지 진행되고 있어 시장 도입의 니즈와 시급성이 크게 증대된 상황임.
 - 또한, 휴대폰 등의 휴대폰 전자기기는 신모델 PLC가 1년미만이 고, 소비자들의 제품 교환주기도 2년 내외로 매우 짧기 때문에 DMFC와 같은 휴대폰 연료전지의 보급속도 또한 매우 빠를 것으로 기대됨.
 - 수소인프라에 대한 의존도가 낮기 때문에 향후 안정성, 소형화 및 가격만 만족시킨다면 시장이 급속히 확대될 것으로 전망됨.

22 마이크로 연료전지

<표 3-1> 연료전지 용도별 시장특성

	자동차용	거치용(주택/산업용)	휴대용
시장동인	· 환경규제 · 에너지 위기	· 에너지 경제성 · 에너지 위기 · 비상전원	· 휴대기기 전력소 모 급증 · 연료전지 혁신
인프라 의존도	· 매우 높음	· 매우 높음	· 거의 없음
보급촉진 주요인	· 규제 · 가격	· 규제 · 가격	· 혁신(소형화 등) · 가격

자료 : 김재윤, 에너지혁명: 연료전지 산업의 현황과 발전전망, 삼성경제연구소, 2004. 9, p.45.

- IT용 소형연료전지 산업은 전극·촉매, 이온교환막, 세퍼레이터 등의 재료 및 부품을 공급하는 단계, 이러한 부품으로 구성된 다수의 연료전지를 결합하는 스택 제조 단계, 그리고 이를 휴대용 전자기기 시스템에 결합하는 단계로 나눌 수 있음(<그림 3-1> 참조).

<그림 3-1> IT용 소형연료전지의 가치사슬 및 해당기업



자료: 전자부품연구원, 소형 연료전지 산업동향, 2003.(박동운, 박창걸, 김은선, "IT용 소형 연료전지: 2차전지 침투가능성 분석," 한국과학기술정보연구원, 2004. 11에서 재인용)

- 연료전지 산업은 기술개발에 따른 사업화가 급속하게 전개되고 있는 기술주도형(technology push) 산업분야임.
 - 그러나, 기술진입장벽이 높아 대기업이라 하더라도 단기간의 대규모 투자로 양산화가 어렵고, 외국 선도기업으로부터의 기술 도입이 어려울 것으로 예상되는 분야임.
- 따라서, 연료전지 산업에서 부품의 경우에는 기술력위주의 전문벤처기업형이나 대기업에서 분사된 벤처기업형에서, 연료전지 완제품의 경우 수요처를 확실히 확보하고 있는 대기업에서 수행하는 것이 유리할 것으로 예상되는 산업분야임.

2. 동향 및 전망

가. 세계시장

- DMFC와 같은 소형 연료전지의 세계시장은 2002년경부터 형성된 것으로 추정되며, 2003년 NEC, 도시바 등에서 이것을 이용한 제품이 전시회 등에서 발표되어 일부 샘플이 출하된 것이 시장진출의 시초임.
 - 본격적인 제품화(양산화)는 2004년 이후가 될 것으로 전망되며, 초기단계에는 거치형 노트북 PC용이 중심으로 전개되고(<표

24 마이크로 연료전지

3-2>), 모바일 제품용은 기술적 과제가 해결되는 2010년 무렵이 될 것으로 예측됨.

- 따라서, 현 시점에서는 수급동향과 같은 구체적 시장 동향을 논하기는 불가능함.

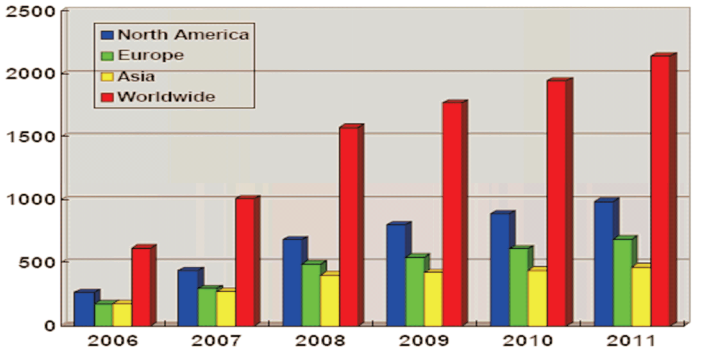
<표 3-2> 2004년 출시가 예상되는 연료전지 탑재 휴대기기

업체	용도	출력	연료형태	구동시간
NEC	노트북	14W(최대 24W)	메탄올	5hrs
도시바	노트북, PDA	12W(최대 20W)	메탄올	5hrs
Micro Fuel Cell	노트북	20W(최대 50W)	메탄올	7hrs
MTI Micro FC	휴대폰, 군용라디오	0.5W(최대 3W) 5W(최대 25W)	메탄올	-

자료 : 日經 비즈니스, 2003. 10. 20.(김재윤, 에너지혁명: 연료전지 산업의 현황과 발전전망, 삼성경제연구소, 2004, p.39에서 재인용)

- 휴대용 연료전지 시장은 현재까지는 본격적인 시장이 형성되지 않고 있음.
- Darnell Group의 2003년도 1월 보고서에 따르면 2006년도 세계 시장을 6,500억원으로 예상하였는데, 이를 보면 마이크로 연료전지의 시장 진입이 예상보다 더뎠을 수 있음(<그림 3-2> 참조).
- 2000년도 초기에는 2003-4년에 시장 형성을 예측하였으나, 지금은 2007-8년을 시장 형성기로 보고 있음.

<그림 3-2> 휴대용 연료전지 시장규모 예측



자료 : Darnell Group, Fuel Cells for Portable Power, 2003. 1, p.144.

- 시장 형성이 늦어지는 이유는 마이크로 연료전지의 가격 절감에 큰 기여를 할 수 있는 소재 부문에서의 돌파구가 아직 나오지 않았기 때문이며, 소재부문의 돌파구가 나오면 시스템 부문은 양산 및 연구를 통해 저가화가 가능함.
- 2004년 10월의 후지경제 보고서는 상당히 현실적인 수치들을 제시하였으며, 마이크로 연료전지의 성장 예측은 <표 3-3>과 같음.
- 마이크로 연료전지의 상용화는 노트북용이 가장 먼저 진행될 것이며, 그 후 휴대폰 등의 소형 휴대기기용 시장이 형성될 것임.

<표 3-3> 일본 휴대용 연료전지 시장 예측

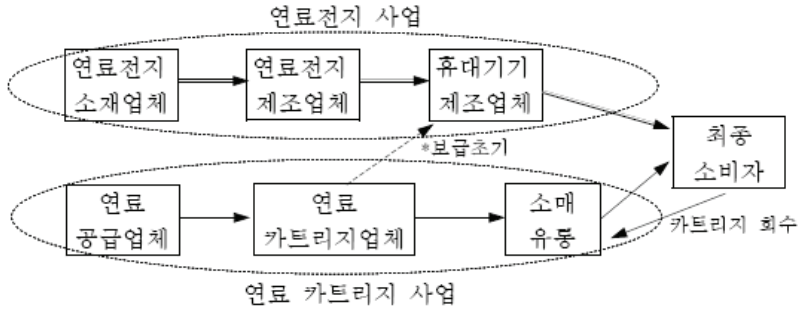
(단위 : 백만원)

구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2015	2020
대수	-	-	100	400	5,000	15,000	2만	60만	300만
시장	-	-	10	28	250	600	600	3,000	3,000
내용	제품화		실용화		상용화			시판화	

자료 : 후지경제, 연료전지 관련기술의 장래전망, 2004. 10, p.1.

- 노트북용의 경우, 내장형과 외장형 전원의 두 가지 형태가 가능하며, 배터리 Charger의 개념을 가진 외장형 전원이 먼저 보급될 것으로 보이며, 2007~8년경에 시장 진입을 예상함..
 - 이후에 고가의 제품을 수용할 수 있는 niche market인 PDA, 디지털 카메라, 캠코더 등의 시장이 형성될 것임.
 - 마지막으로 가장 큰 시장인 mobile phone용 시장에 진입하게 될 것이며, 이는 많은 기술적 진보와 소재 및 부품 생산기술 그리고 연료 인프라 구축을 필요로 함.
- 메탄올 카트리지 생산업체는 인프라 구축이 용이하여야 하며, 이의 성공은 마이크로 연료전지의 성공에 직접적인 영향을 미침 (<그림 3-3> 참조)
- 현재 프랑스의 BIG, 일본의 Tokai 등이 메탄올 카트리지 개발을 진행하고 있으며, 국내에는 개발회사가 없음.

<그림 3-3> 휴대용 연료전지 비즈니스 모델.



자료 : 김재윤, 에너지혁명 : 연료전지산업의 현황과 발전전망, 삼성경제연구소, 2004, p.51.

나. 국내 시장

- 한편, 국내시장의 경우 세계시장의 15% 내외를 차지할 것으로 추정되는데, 현재 휴대기기의 전원으로 주로 사용되는 리튬 2차전지의 세계시장에서 국내시장이 차지하는 비율을 도입한 것임.
- 이는 DMFC의 주요 표적시장이 리튬 2차전지 시장과 매우 유사하며, 궁극적으로 리튬 2차전지의 지역별 시장규모 형태로 구축될 것으로 예상되기 때문임.
- <표 3-4>의 휴대용 연료전지 시장은 PEMFC, SOFC를 포함하며, 수백 W급의 휴대용 PEMFC 시스템을 포함하므로 시장이 큼.

28 마이크로 연료전지

<표 3-4> 휴대용 연료전지의 2009년 시장 수요예측 종합

(단위 : 백만불)

	세계 휴대용 연료전지	세계 DMFC	국내 DMFC
적극적 예측	5,962	3,000	450
소극적 예측	1,768	900	135

자료 : 고병열, 노현숙, 박현우, 연료전지: 휴대용 연료전지 업체의 제휴전략
및 파나소닉 모델 분석, 한국과학기술정보원, 2004. 11, p.23.

IV. 이슈 분석

1. 연료전지 상업화의 장벽

- 연료전지는 <표 3-1>에서 보는 바와 같이 적용분야별로 넘어야 할 기술적 장벽들이 존재하며, 휴대용 소형연료전지의 경우 아직 내구성, 시스템소형화, 연료 및 패키징 등에 대한 기술개발이 더 필요함.

<표 3-1> 연료전지의 적용분야별 장벽 및 난이도

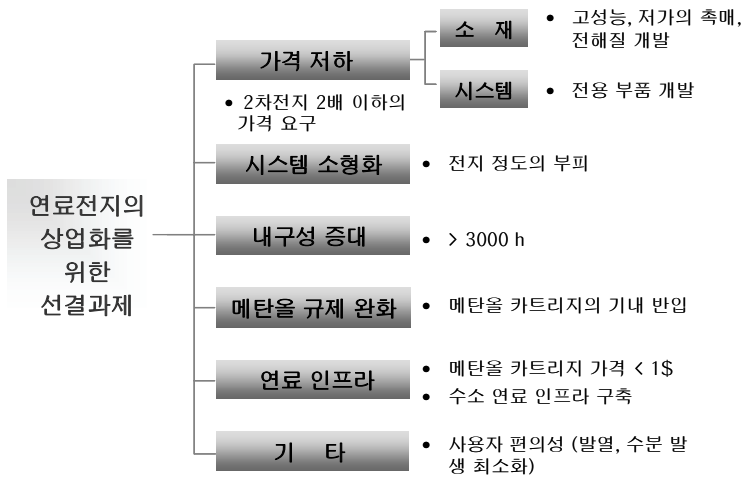
적용	장벽	난이도
수송용	비용 내구성 연료인프라 수소저장	높음 높음 높음 높음
정지형	비용 내구성 연료인프라 연료저장	높음 약간 높음 낮음 중간
휴대용	비용 내구성 시스템소형화 연료 및 패키징	중간 중간 높음 중간

자료: 조용호, 연료전지 산업동향, 전자부품연구원, 2003, p.7.

2. 상업화를 위한 선결 과제

- 휴대용 연료전지의 상업화를 위해서는 가격저하, 시스템 소형화, 내구성 증대와 같은 기술적인 요인 이외에도 메탄올 규제 완화, 연료인프라 구축과 같은 법적, 사회적인 기반 구축도 요구되어짐(<그림 4-1> 참조).

<그림 4-1> 연료전지의 상업화를 위한 선결과제



자료: KISTI 작성

가. 가격 저하

- 직접 메탄올 연료전지가 현재의 배터리와 경쟁하기 위해서는 2 - 4 \$/Wh의 가격(리튬이온 전지: 1.5 \$/kWh, 리튬폴리머 전지: 2.5 \$/Wh)을 실현해야 하며, 현재가격은 5 - 10배(20 \$/Wh) 높은 가

격임.

- 전체 시스템에서 스택의 가격 비중이 60-65%로 높으며, 이 중 MEA 가격이 전체시스템 비용의 40% 차지함.
- 백금 촉매의 사용량이 10 mg/cm²로서 PEMFC보다 10 배 가량 많음.

(1) 소재

- 연료전지 강국이 되기 위해서는 연료전지의 핵심이라 할 수 있는 소재산업의 경쟁력을 확보하여야 함.
 - 대부분의 메이저 업체는 특화된 자기만의 소재사업을 한 가지 이상 보유하고 있으며, 이는 사업경쟁력으로 이어짐.
- DMFC 시스템의 가격 절감을 위해서 고성능 저가 촉매의 개발이 필수적임
 - DMFC 시스템은 PEMFC에 비해 출력밀도가 낮으므로, 이를 증대시킬 수 있는 고효율 촉매의 개발이 필요함.
 - 현재 메탄올 전극촉매로 PtRu black을 사용하고 있으며, 귀금속 담지량이 5 mgPt/cm²으로 PEMFC보다 10배 많음.
 - Metal black 이외에 PEMFC에 적용되고 있는 탄소에 담지된 금속촉매를 이용하는 방안도 많이 연구되고 있으나, 아직은 뚜렷한

32 마이크로 연료전지

성과가 없음.

- DMFC 시스템의 효율향상 및 가격 저감을 위해 고성능 전해질 막의 개발이 필요함.
 - 나피온 막이 고가이므로, 이를 대체할 수 있는 저가 탄화수소막과 같은 전해질막의 개발이 중요함.
 - 전해질막을 통한 메탄올 크로스오버가 전체시스템 효율을 떨어뜨리므로 프로톤 전도도를 유지하면서 메탄올 투과를 억제하는 전해질 막의 개발이 필요함.
 - 많은 곳에서 신규 전해질 막을 개발 중이나, 아직까지 나피온을 능가하는 물질이 없음.
- DMFC 시스템 가격저감 및 부피감소를 위해서 스택의 개선이 필요함.
 - 기존의 그래파이트 분리판을, 저가이며 경량인 PCB 기판으로 대체하는 연구가 활발히 진행 중임.

(2) 시스템

- 소형시스템에 특화된 전용 부품이 없으므로 고효율이면서 저전력을 소비하는 저가 부품을 입수하기 어려움.

- 시장확대에 따른 가격 저감을 위해 생산 확대가 우선인지, 소비 증대가 우선인지의 chicken and egg 문제가 존재함.
- 시장이 미성숙한 상황에서 fan, 펌프, 센서 등의 전용 부품의 개발에 집중하는 것이 어려움.
- 시스템 구성과 가격저감을 위해 저가이며 소형인 메탄올 센서의 개발이 요구됨.

나. 시스템 소형화

- DMFC가 실용화되기 위해서는 시스템 부피의 축소가 필요함.
 - 소비자는 기존의 노트북과 Mobile phone에서 배터리가 차지하던 것과 동일한 부피를 원함.
 - 노트북의 경우 120 Wh 출력의 시스템이 0.3 리터 이하의 부피를 가져야 함.
 - 연료전지 단독으로는 초기 기동시 필요에너지와 피크파워에 대한 대응이 어려우므로 2차전지와 하이브리드 시스템이 필요함.
- 단위 부피당 출력 증가를 통한 시스템 부피 축소.
 - 수동형 연료전지 시스템의 성능을 최대화시킬 수 있는 시스템 구성의 연구가 필요함.
 - 부피감소를 위해 bipolar형 스택 구조에서 monopolar형 스택 구조로 옮겨가고자 하는 시도가 있음.

34 마이크로 연료전지

- 고효율 전력변환 장치의 개발.
 - 스택에서는 일정 전압의 DC 출력이 발생하므로, 이를 고효율로 DC/DC 또는 DC/AC 변환할 전기회로의 개발이 필요함.

다. 시스템 내구성 증대

- 연료전지 시스템의 내구성 및 안전성 증대.
 - 휴대용 기기의 경우 3,000 시간 이상의 내구성을 요구함.
 - 내충격성을 가질 수 있는 구조를 필요로 함.
 - DMFC 시스템의 특성상 소량의 메탄올이 기상으로 시스템 밖으로 누출될 가능성이 있으며, 이를 완전히 차단하는 것은 제품화를 위한 중요 요소임.

라. 메탄올 규제 완화

- DMFC가 실용화되기 위해서는 고농도 메탄올의 휴대가 가능하여야 함.
 - 비행기 탑승칸에서는 25% 이상의 고농도 메탄올 카트리지가 금지됨.
 - 현재 이를 완화하기 위한 노력이 진행 중이며, 2007년 내에는 메탄올 연료카트리지의 기내 반입이 가능할 것으로 예상됨.

- 일본에서는 JEMA (The Japan Electrical Manufacturers' Association)이 여러 협력회사들과 마이크로 연료전지의 규격을 공동으로 만들고 있으며, 이것이 국제규격이 될 확률이 높음.

마. 연료 인프라

- 저가의 안전성과 내구성을 가지는 카트리지의 개발이 필요함.
 - 카트리지는 임의로 메탄올을 추출할 수 없는 구조를 가져야 함.
 - 카트리지는 회수하여 재사용 가능하여야 함.
 - 카트리지의 가격은 시장형성에 큰 영향을 미치며, 시장형성 시의 목표가격은 개당 1불 미만임.
- 수소를 연료로 사용할 수 있는 인프라가 구축된다면, 마이크로 연료전지 시장을 PEMFC가 일순에 석권할 수 있음.
 - 고체수소 저장기술이 적어도 저장시스템 무게의 5 wt% 이상으로 발전하여야 함.
 - 기술의 발전 이외에도 연료공급 인프라를 구축하는 것이 더욱 어려움.
 - 현재 기술은 2-3 wt% 수준이며, DOE의 자동차 적용을 위한 개발목표는 2010년까지 6 wt% 저장용량을 달성하는 것임.
- NaBH₄를 연료로 사용할 경우, 5만원/kg으로 아직은 비싼 연료이

36 마이크로 연료전지

며, 연료의 안정성에도 문제가 있음.

바. 기타

- 사용자 편의성을 고려하여야 함.
 - 시스템의 열관리 디자인을 통해 사용자가 느끼는 발열을 최소화하여야 함.
 - 공기극에서 발생하는 수증기 배출 조절을 통해 사용자가 느끼는 수분 발생을 최소화하여야 함.
- 메탄올의 유독성으로 인해 에탄올을 연료로 사용하는 직접에탄올 연료전지도 개발되고 있으나, 현재의 낮은 DMFC 출력의 1/2 이하로 실용화는 어려움.
- 값싼 전이금속 촉매를 사용한 값싼 DMFC 시스템을 제조하여, 이를 1회용 제품으로 판매하고자 하는 개념도 있음.
- 장기적 관점으로 볼 때, 가스터빈을 소형화한 마이크로터빈(Microturbine)도 소형 전원으로 경쟁력이 있음.
 - MIT의 연구팀은 가로 세로 2 cm, 두께 3 mm 크기로 10-20W급의 경제적인 마이크로터빈 제작함.

V. 결 론

- 휴대용 기기의 발전과 배터리 성능의 한계로 말미암아 충전이 필요 없고 고출력을 낼 수 있는 마이크로 연료전지에 대한 필요성이 증대되고 있음.
- 기술의 성숙도는 PEMFC가 유리하나, 실용화의 더욱 중요한 요인인 연료 인프라의 구축에 있어 DMFC가 우세하여 대부분의 마이크로 연료전지는 DMFC 시스템을 채택하고 있음.
- 연료전지 시장의 형성을 위해서는 가격 저감과 내구성의 검증이 가장 중요한 요소이며, 이를 위해서는 소재기술에서의 혁신이 필수적임.
- 북미와 유럽에서는 노트북을 구동할 정도의 외장형 시스템에 관한 연구가 주류이며, 독일의 Smart Fuel Cell 사는 어느 정도 초기시장을 개척하였음.
- 일본은 노트북용 내장용 전원 및 휴대용 기기의 내장용 전원 연구가 많이 이루어지고 있으며, PDA 규모의 소형시스템에 관한 연구가 매우 활발함.

38 마이크로 연료전지

- 마이크로 연료전지휴대용 기기의 시작품이 많이 발표되고 있지만 아직도 가격과 내구성 문제로 실용화는 어려우며 2-3년 후에 시장이 열릴 것으로 예상됨.
- 2009년 마이크로 연료전지의 시장예측은 세계 9천억-3조원, 국내 1,350억~4,500억원의 범위임.
- 국내에서도 삼성과 LG에서 DMFC를 이용한 마이크로 연료전지를 개발 중이나, 아직 상용화를 이야기하기에는 이룸.
- 2차전지를 대체할 수 있는 차세대 성장사업이 될 수 있으나, 현재의 기술 수준으로 시장을 형성하기에는 미흡하며, 이를 기업만의 노력으로 극복하기에는 어려움이 많음.
- 북미, 일본, 유럽 모두 기업 주도로 연구가 진행 중이며 정부의 지원은 미흡한 실정이나, 차제에 역으로 정부차원의 연구지원을 통해 국가 경쟁력을 증대하기 위한 노력을 기울일 필요가 있음.

참고 문헌

1. 고병열, 노현숙, “기술-산업 연계구조 및 특허 분석을 통한 미래 유망 아이템 발굴,” 기술혁신학회지, 8(2), 2005, pp.863-887.
2. 고병열, 노현숙, 박현우, “연료전지: 휴대용 연료전지 업체의 제휴전략 및 파나소닉 모델 분석”, 한국과학기술정보원, 2004.11.
3. 고병열, 홍정진, 손종구, 박영서, “기술연관분석을 통한 중소기업형 전략적 기술개발과제의 우선순위 도출,” 기술혁신학회지, 6(3), 2003, pp.373-390.
4. 과학기술부, 국가과학기술지도, 2002.
5. 과학기술부, 제3회 과학기술예측조사, 2005.
6. 김경연, “리튬이온 2차 전지 시장전망과 주요 이슈,” LG주간경제, 2003.10.22, pp.36-41.
7. 김경연, “마이크로 연료전지”, LG주간경제, 2003.3.19, p.31.
8. 김경연, “소형2차전지의 기술진화방향,” LG주간경제, 2002.9.18, pp.20-24.
9. 김은선, 고병열, 박창걸, 황규희, “기업의 성공적 사업다각화를 위한 유망사업군 발굴 프로세스의 설계”, 기술혁신학회 춘계학술대회, 2004, pp.174-191.
10. 김재윤, "에너지 혁명: 연료전지산업의 현황과 발전전망", 삼성경제연구소, 2004.
11. 문고영, "이동용 연료전지 기술 로드맵", <http://www.eic.re.kr>, 2003. 8.
12. 삼성경제연구소, 유망아이템 발굴 프로세스 개발, 한국과학기술정보연구원, 2005.

13. 수소연료전지 사업단, <http://www.h2fc.or.kr>
14. 윤문섭 외, 국가연구개발의 전략기획을 위한 새로운 연구기획방법론 개발 : 기술로드맵(TRM)과 지식맵(KM)의 통합적 접근, 과학기술정책연구원, 2004.
15. 윤병운, 특허 분석을 통한 기술 지식의 관리와 신기술 개발 방법론, 공학박사학위논문, 서울대학교, 2005.
16. 일본 문부과학성 과학기술정책연구소·미래공학연구소, 한국과학기술정보연구원(역), 2030년의 과학기술, 2002.
17. 이상현, 문고영, "이동형 연료전지 개발동향과 시장" 전자부품, 2005.1, pp.48-53.
18. 전자부품연구원, "소형 연료전지 산업동향", <http://www.eic.re.kr>, 2003.8.
19. 후지경제, 연료전지 관련기술의 장래전망, 2004.10.
20. Colson-Inam, S., "Micro-Fuel Cells: where do the consumers' needs fit?", *Fuel Cell Today*, 2003.4.
21. Darnell Group, *Fuel Cells for Portable Power*, 2003.1.
22. Johnson, Daniel K.N., The OECD Technology Concordance (OTC), Patents by Industry of Manufacturer and Sector of USE, OECD STI Working Paper, 2002.
23. Jollie, D., "Fuel Cell Market Survey: Portable Applications", *Fuel Cell Today*, 2004.9.1.
24. Mullet, J. T., "Reality Checks to Commonly Heard Direct Methanol Fuel Cell Myths", <http://www.fuelcelltoday.com>
25. Porter, A., "Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods," *Technological Forecasting &*

- Social Change*, 71, 2004, pp.287-303.
26. Yoon, B. and Park, Y., "A systematic approach for identifying technology opportunities: Keyword-based morphology analysis," *Technological Forecasting & Social Change*, 72, 2005, pp.145-160.
27. NISTEP, 「科學技術の中長期發展に係る俯瞰圖的 豫測調査, 急速に發展しつつある研究領域調査」, 2003年 調査報告書, NO.82, 2003.
28. <http://www.antig.com>.

저자 소개

노 현 속

- 공학 박사
- 현, 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 저서 : 「연료전지 재료」 등

박 진 남

- 공학 박사
- 현, LG화학기술연구원 선임연구원 (PEMFC용 기술개발 팀장)

고 병 열

- 공학 박사
- 산업기술정보원 책임연구원
- 현, 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 저서 : 「기술분석 및 특허정보분석」 등