

마이크로 동력원의 분류와 특징

오창보* · 최범석*

1. 서론

“마이크로 동력원” 또는 “마이크로 동력발생장치”란 휴대용 장비나 소형 무인자가작동장비 등 동력을 필요로 하는 기기에 독립적으로 동력을 공급해 줄 목적으로 제작되는 초소형 전원공급장치를 말한다.

현재 휴대용 기기나 전기, 전자기기, 로봇 등의 동력원은 대부분 2차전지를 사용하고 있다. 국내에서는 1999년 이후 2차전지 생산에 집중 투자하면서 세계시장의 22% 정도 (2005년 기준)를 차지하고 있으며, 2010년에는 세계시장 40%의 점유율을 달성하기 위하여 집중 연구와 투자를 진행하고 있다.

휴대 전화나 휴대용 정보단말기 (PDA), 노트북, 캠코더 등 소형 휴대용 전자기기의 기능이 복잡, 다양화됨에 따라 요구되는 전력도 커지고 있다. 이러한 요구 전력 증가에 대비하기 위하여 탑재 전지의 고에너지, 고밀도화가 요구되고 있다. IT 기기나 휴대용 장비가 요구하는 고에너지밀도의 이동전원을 확보하기 위해서 기존의 2차전지를 개선하여 에너지밀도를 향상시키는 연구가 당분간 진행될 것으로 보인다.

현재 사용되고 있는 노트북, PDA 등의 휴대용 기기는 리튬 2차전지가 주로 탑재되고 있으며, 2차전지의 고기능화에 힘입어 IT 기기의 고기능화가 가능하였다. 그러나, 대표적인 상용 2차전지는 연속 사용시간이 짧고, 충전하는데 오랜 시간이 걸리는 단점이 있으며, 에너지 밀도 또한 이론한계치에 근접하여 있다. 휴대용 전자기기의 고성능화가 기존 2차전지로는 해결할 수 없는 상황까지 진행되고 있어 새로운 마이크로 동력공급장치의 필요성과 시급성이 매우 커지고 있는 상황으로 볼 수 있다.

탄화수소계 연료는 높은 에너지 밀도를 가지고 있어

이 에너지의 5% 정도만 이용할 수 있는 시스템이 개발된다면 동 중량의 2차전지의 에너지 밀도를 상회하므로 (Fig. 1 참조) 이들 연료의 높은 에너지 밀도를 이용하는 동력원 개발이 필요하다.

마이크로 동력발생장치는 기본적으로 에너지 밀도 (Energy Density: Wh/kg 또는 Wh/L)가 기존의 동력원보다 높아야 개발의 당위성이 보장되며, 에너지밀도가 높은 동력발생장치를 새로 개발하기 위해서는 기본적으로 기존의 에너지밀도가 높은 에너지원을 이용하여야 한다.

시스템 설계/제작 측면에서 에너지밀도를 높이기 위해서는 시스템의 에너지원 이용 효율을 높일 수 있어야 하며, 시스템의 경량화, 컴팩트화 설계/제작 가능 여부가 마이크로 동력원의 실용화에 중요한 요소 중의 하나이다. 2차전지를 대체할 수 있는 마이크로 동력원은 기존의 전지에 비해 (1)에너지 밀도와 출력밀도가 높아야 하며, (2)충전이 편리하고, (3)전지보다 친환경적이며, (4)범용성이 있어야 한다.

2. 마이크로 동력원의 분류

마이크로 동력발생장치는 Fig. 2와 같이 에너지 발생

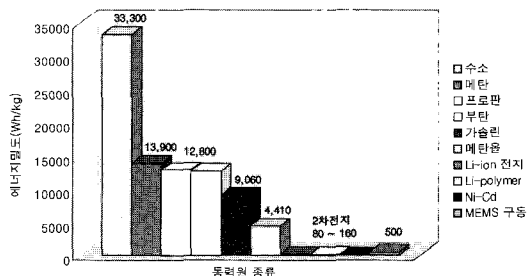


Fig. 1 각종 동력원의 에너지 밀도 비교

* 한국기계연구원 에너지기계연구센터

E-mail : cboh@kimm.re.kr,



Fig. 2 마이크로 동력발생장치의 분류

메커니즘에 따라 크게 전기화학적 발생장치, 열화학적 발생장치, 생화학적 발생장치, 기계적 에너지 및 기타 에너지원 이용장치 등 크게 4가지로 분류된다.

또한, 마이크로 동력발생장치는 크게 능동형 동력발생장치 (active power generation system)와 수동형 동력발생장치 (passive power generation system)로 분류할 수도 있다. 능동형 동력발생장치는 연료와 같은 “화학적 에너지를 투입하여 의도적으로 높은 에너지밀도를 갖는 전기동력을 발생시키는 장치”로서 얻을 수 있는 동력 수준은 보통 1 W급 이상이 되며, 수동형 동력발생장치는 “미활용의 미소 에너지를 수확 (harvest) 또는 긁어모으는 개념 (scavenge)의 에너지 재생장치”로서 얻을 수 있는 동력 수준은 대략 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ 급 정도이다.

Figure 2의 마이크로 동력발생장치 중에서 전기화학적 동력발생장치와 열화학적 동력발생장치는 능동형 동력발생장치로 분류할 수 있으며, 생화학 및 기타 동력발생장치들은 주로 수동형 동력발생장치로 분류할 수 있다.

본 기사에서 다루고자 하는 마이크로 동력발생 시스템은 에너지 발생량이 상대적으로 적은 수동형 동력발생장치보다는 능동형 동력발생장치 위주로 설명하기로 한다.

3. 마이크로 동력원의 특징

앞서 설명한 네 가지 분류에 따른 마이크로 동력발생 장치의 세부적인 내용과 특징들을 살펴보면 다음과 같다.

3.1. 전기화학적 (electro-chemical) 동력발생장치

3.1.1. 1, 2차전지

1, 2차전지는 충전이 불가능한 1차전지와 충전 후 재사용이 가능한 2차전지로 구분된다. 대표적 2차전지의 하나인 리튬이온 (Li-ion) 전지의 경우, 이론 에너지밀도는 400 Wh/kg 정도이나 실제적으로는 110~160 Wh/kg (200~250 Wh/L) 정도에 이르며 높은 동력밀도 (power density)를 가지며 (Li-ion 전지의 경우 $\sim 700\text{W/kg}$), 저온에서의 성능도 비교적 우수하다.

장점으로는 휴대가 간편하여 현재 가장 보편적으로 사용되는 휴대용 전원이나, 2차전지의 충전에 많은 시간이 소요되며, 전지의 폐기비용이 큰 단점이 있다. 향후 요구되는 휴대용 기기나 MEMS 동력원의 에너지밀도 (최소 500 Wh/kg)를 만족시키기 힘들 것으로 전망되고 있어 대체 동력원의 개발이 요구되고 있다. 2차전지의 종류로는 Lead-acid, Ni-Cd, Ni-MH, Li-ion (LIB), Li-Polymer (LIPB), Li-S-Polymer (LSPB) 전지 등이 있다.

3.1.2. 연료전지

연료전지는 1, 2차전지와 마찬가지로 전기-화학작용에 의해 전기를 생산하며, 전지의 anode에서 연료전지 종류, 전기-화학작용 및 셀 온도는 전해질의 종류에 의해 결정된다. 맥박 조정기의 전원 공급용인 마이크로 연료전지부터 분산발전용 대규모 연료전지에 이르기까지 현재 매우 활발히 개발 중에 있다.

연료전지는 비교적 높은 열효율을 가지면서도 열기관에 비해 작동온도가 낮다. 그러나, 가격이 고가이며 사용수명이 짧고, 동일 출력대비 시스템 무게가 많이 나가는 문제 등 해결해야 할 문제점들이 많이 남아 있다. 부정적인 관점에서 본다면, 현재 연료전지의 개발과정에서 직면하고 있는 문제들은 이미 40~50년 전에 알려진 문제점임을 감안한다면 문제점 극복에 근본적으로 어려움이 있을 수도 있다.

마이크로 동력발생장치용 마이크로 연료전지 후보로는 두 가지 연료전지가 가능성이 높다. 첫째는 고분자 전해질 연료전지 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)로서 액체 탄화수소 연료에서 개질기를 이용하여 분리된 수소를 이용하는데, 연료개질을 위한 전체 시스템 구성이 복잡하고, 추가적인 열을 공급하여야 하는 단점이 있다. 두 번째는 직접 메탄올 연료전지

(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC)로서 연료개질기 없이 메탄올을 직접 이용 가능하므로 소형 시스템 제작에 유리하다. 그러나, 메탄올이 전기를 생산하지 않고 anode에서 cathode로 통과해버리는 문제 (crossover)가 있어 효율이 낮은 단점이 있다.

3.2. 열화학적 (thermo-chemical) 동력발생장치

열화학적 동력발생장치는 고출력밀도와 고에너지밀도를 가지고 있기 때문에 마이크로 가공기술을 이용한 터빈, 연소기 등의 마이크로화 연구가 추진되고 있다.

3.2.1. 정적시스템 (static system)

작동유체는 움직이지만, 움직이는 부품이 없어 소음이 없고 시스템이 간단한 장점이 있다. 주로 열원부분과 전기를 생산하는 부분으로 구분된다. 효율과 출력이 낮은 문제가 있으며, 응답특성이 느린 단점이 있다. 효율을 높이기 위해서는 지속적인 소재 (TEM, TPV cell 등)의 개발이 필요하다.

전기생산 방식에 따라 다음과 같이 두 가지로 구분된다.

(가) TEM (Thermo Electric Module)을 이용한 동력발생장치

TEM의 효율이 낮으므로 전체 시스템 효율이 낮지만, 구조가 간단하여 초소형화에 유리하고 저가 생산이 가능하다. 현재, TEM 효율을 향상시키기 위한 많은 연구들이 진행 중이며, TEM 효율이 향상된다면 향후 유용성이 증가될 가능성이 있다. 모니터링 센서용 분산전원을 위해 연구되는 경우도 많다. 이 경우에는 출력이 매우 작다 ($\mu\text{W} \sim \text{mW}$ 정도).

(나) TPV (Thermo Photo Voltaic)를 이용한 동력발생장치

현재까지 보고된 바에 의하면 TPV의 효율은 최고 23.6%에 달한다고 알려져 있다. 그러나, 지금까지 TPV를 이용하여 제작된 마이크로 동력발생 시스템들의 효율은 매우 낮으며 (< 1%), 전기 생산까지의 시스템 응답특성이 느린 단점이 있다.

3.2.2. 동적시스템 (dynamic system)

시스템 내외부에 움직이는 부품을 포함하고 있으며,

주로 초소형 터보기계, 외연, 내연기관 등을 포함한 열기관이 이 범주에 속한다.

(가) 극초소형 터보기계

연속연소가 가능한 장점이 있으며, 부품의 정밀도가 시스템 효율에 큰 영향을 주므로 정밀제작이 매우 중요하다. 크기가 줄어들면서 연소기에서 공기 유입부나 압축기로의 열전달이 증가하여 압축기 효율이 저감되는 문제가 있으며 초고속회전과 고온에 잘 견디도록 시스템을 설계해야 하는 어려움이 있다.

(나) 마이크로 외연기관

연속연소가 가능한 장점이 있다. 효율은 높을 것으로 보이나, 시스템이 커질 가능성이 있기 때문에 질량 에너지 밀도가 낮을 것으로 예상되고 있어, 초소형 휴대용 동력원으로의 이용 가능성은 비교적 낮은 것으로 전망되고 있다. 또한 초소형 스케일에서 액체연료의 직접 이용에는 한계가 있다고 알려져 있다.

(다) 마이크로 내연기관

높은 에너지 밀도를 가지고 있어 초소형 동력원으로 가능성이 높다. 마찰손실, 작동유체의 누설문제, 연소손실 등이 문제점이 되고 있다. 전기생산, 기계적 동력 및 기계적 추력 (고압) 등과 같이 동력을 얻을 수 있는 방법이 다양한 장점이 있다.

3.2.3. 정적시스템 (static system) 초소형 추진 시스템 (propulsion system)

전력발생이 목적이 아니라 연소를 통해 출력 (추력)을 직접 얻는 것을 목적으로 한다. 인공위성 발사체 또는 로켓 등에서는 높은 발사비용 때문에 수요가 정체상태에 있으며, 발사수요가 증가하지 않기 때문에 비용저감이 안된다는 악순환에 빠져있다. 이 때문에 발사비용을 획기적으로 감축하기 위해 마이크로 위성파 각종 마이크로 로켓의 개발이 미국 NASA를 중심으로 추진되고 있다.

3.3. 생화학적 (bio-chemical) 동력발생장치

박테리아가 폐기물을 분해하여 만들어 낸 가연가스

나 태양빛에서 제조한 수소 등은 생화학적 동력발생 장치의 에너지원으로 이용 가능하다. 생화학적 동력발생 장치의 종류도 매우 많지만 여기서는 다음과 같이 크게 분류하여 간단히 언급하였다.

(가) 바이오 연료전지

세포 내의 전기-화학적 작용, 효소 등의 작용을 이용하여 전기를 생산하거나, 생물의 생화학작용 (광합성, 물질대사 등)을 이용한 전기를 생산한다. 세포수준에서 발생하는 에너지는 매우 미소한 양으로서, 원격센서나 심장박동 조절기 등의 구동에 사용될 수 있을 것으로 전망되고 있다.

(나) 기타 동물의 동작 메커니즘을 모방한 동력발생장치

관련 연구들이 일부 진행 중이지만, 전반적으로 이 분야의 연구는 매우 초기단계의 연구들이 대부분이다.

3.4. 기타 동력발생장치 (energy harvesting, scavenging 장치)

매우 다양한 동력발생장치들이 이 범주에 속한다. 미활용 에너지를 활용하여 에너지를 저장, 생산하기 때문에 얻을 수 있는 출력이 매우 작다. 주로 MEMS 센서, 네트워크 센서의 구동을 목적으로 연구되고 있다. 대표적인 종류는 다음과 같다.

- (가) 진동을 이용한 장치
- (나) 미소열을 이용한 장치
- (다) 마이크로파를 이용한 장치
- (라) 압전소자를 이용한 장치 등

4. 마이크로 동력원의 응용

마이크로 동력원의 주요 적용처인 IT 기기는 휴대폰, PDA 등의 제품발전 양산, 이동전원 기술발전수준 등 다양한 요인에 의해 시장형성 여부가 결정될 것으로 보인다. 휴대용 전자기기의 고성능화가 기존 2차전지로는 해결할 수 없는 상황까지 진행되고 있어 2차전지 대체용 마이크로 동력원의 시장도입의 필요성과 시급성이 매우 커지고 있는 상황으로 볼 수 있다.

모바일 동력원 (이동전원)을 사용하는 아이템들과 각 아이템들의 소요동력, 사용시간의 관계를 기존의 2차 전

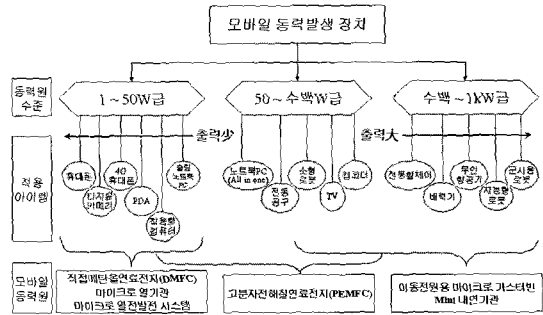


Fig. 3 각종 모바일 장비 및 모바일 동력발생장치의 분류와 적용가능한 마이크로 동력원

지를 대체할 수 있는 차세대 신개념의 동력원과 연결지어 고려해 보면 Fig. 3과 같이 대략 3가지 급의 동력원 수준과 적용 아이템들로 분류할 수 있다.

지능형 로봇과 군사용 로봇 분야에서는 기존 이차전지의 한계를 절실히 느낄 수 있는 분야로서 이 분야의 성공은 새로운 이동전원의 개발과도 매우 밀접한 관련이 있으며, 향후 로봇의 상업화에 큰 영향을 주는 인자로 모바일 동력원이 작용할 것으로 보인다. UAV (무인항공기)를 포함한 군사용 장비인 경우에도 장시간 사용 가능하면서 부피와 무게가 적은 이동전원의 개발이 절실한 분야라고 할 수 있다.



최신 CFD 해석 분야 기술 현황 및 소개

- 유동소음 해석 프로그램: CAA++
- 다중물리 해석 프로그램: COMSOL Multiphysics
- CFdesign v.9: 3D CAD 통합이라는 최신 CFD
경향의 선두 주자
- Piping Systems FluidFlow v.3: 배관망 유동해석/
설계 소프트웨어

