

초소형 동력 장치

권세진*

MEMS Power Device

Sejin Kwon*

ABSTRACT

Thanks to the breakthroughs in micro fabrication technology, numerous concepts of micro aerospace systems including micro aerial vehicle, nano satellite and micro robot have been proposed. In order to activate these mobile micro systems, high density power in a small scale power source is required. However, we still do not have micro power source that has energy density that can support these systems. In the present article, status of micro power sources are described and alternatives that have been derived from the past experience are proposed.

초 록

마이크로 가공기술의 눈부신 발달에 힘입어 다양한 항공우주 시스템을 초소형화 하려는 시도가 있어 왔다. 마이크로 비행체, 나노 위성, 마이크로 로봇 등의 개념들이 등장하였다. 이들 독립 이동식 마이크로 시스템을 구동하는 데에는 기존의 배터리 보다 훨씬 에너지 밀도가 높은 동력원이 필요하다. 그러나 이와 같은 고에너지 동력원이 아직 존재하지 않는다. 이 논문에서는 초소형 동력원 연구의 과거와 현재를 살펴보고, 미래 발전 방향에 대한 제안을 시도하였다.

Key Words: MEMS(초소형 기전 시스템), Power MEMS(초소형 동력원), MAV(초소형 비행체), Nano Satellite(나노 위성체), Micro Power(초소형 동력)

1. 서 론

작년 1월 일본의 코베에서는 IEEE의 제 20회 MEMS Conference가 열렸다. 이 학술대회에서는 20회를 기념하여 대대적인 홍보가 있었다. 같은 해 4월 국내에서도 KMEMS 2007 학술회의

가 제주에서 있었는데, 지난 수년간 국내 MEMS 분야의 눈부신 발전이 소개되었다. MEMS 분야의 비약적 발전에도 불구하고, 일부에서는 비판적인 관측이 대두되고 있기도 하다.

MEMS 분야가 새로운 돌파구로 노력을 집중하고 있는 분야가 마이크로 시스템이다. 과거에 축적된 MEMS 요소가공 기술에서 한 걸음 더 나아가, 하나의 시스템으로 구현하려는 노력이다. 이러한 시도는 특별히 항공우주분야에서

† 2008년 1월 2일 접수 ~ 2008년 2월 10일 심사완료

* 중신회원, 한국과학기술원 항공우주공학과
연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

활발히 이루어지고 있는데, 그 이유는 MEMS의 특징인 소형, 경량이라는 특성이 항공우주 분야에서 특별히 중요한 요소이기 때문이다. 이미 제안된 마이크로 시스템에는 마이크로 로봇, 마이크로 비행체, 나노 인공위성 등이 있다. 이들 마이크로 시스템이 실현된다면, 여러 가지 유용한 목적에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

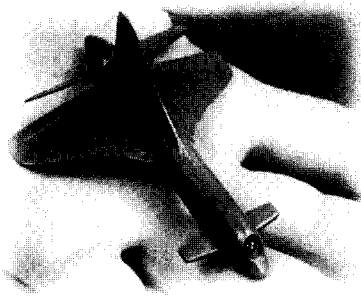


Fig. 1 MAV (MIT Lincoln Lab, 위)와 나노 위성의 개념도 (IEEE Magazine, Spectrum, 아래)

이러한 마이크로 시스템이 제안된 지 이미 10여년이 경과했으나, 아직 우리 주위에서 이들을 발견할 수 없는 가장 큰 이유는 이들을 구동할 수 있는 동력원의 부재이다. 특별히 마이크로 항공우주 시스템은 모바일 장치로서 기계적인 일을 수행하게 된다. 기계적인 일의 수행에는 전자적인 일의 수행에 비해 훨씬 높은 밀도의 동력을 소모하게 된다.

현재 국내 MEMS 관련 연구 현황을 살펴보면, 마이크로 시스템 분야에서는 상대적으로 낙후되어 있다. 특히 모바일 마이크로 시스템의 동

력원이 되는 Power MEMS 분야 연구는 미국, 일본 등과 비교하여 현저하게 저조한 상황이다. MEMS가 아직도 국내에서는 인접분야 연구자들이 자유로이 진입하여 고유의 영역을 개척하기가 어려운 폐쇄성 때문으로 생각된다. Power MEMS는 그 자체가 하나의 마이크로 시스템으로서, 가공기술 뿐 아니라 마이크로 스케일 열유동 해석 및 설계 문제를 포괄하고, 마이크로 가공은 그 일부분에 불과하기 때문에 고전적인 MEMS식 접근법이 통하지 않은 것 또한 국내에서 이 분야에 진입을 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 이 글에서는 이러한 초소형 추진 동력장치의 개발과 관련된 과거, 현재의 현황을 살펴보고, 미래의 개발 방향을 예측해 보고자 한다.

2. 초소형 동력장치 연구 - 과거로부터의 교훈

2.1 연소 기반 내연기관 동력장치

초소형 동력장치를 개발하는 데 있어서 가장 손쉽게 시도할 수 있는 것이 매크로 스케일 동력장치의 형상축소(miniaturization)일 것이다. 현재 매크로 스케일 영역에서 사용하고 있는 모든 동력발생 장치들의 축소화가 시도되었다. 이러한 시도의 배경에는 액체 탄화수소연료의 높은 에너지 밀도를 활용할 수 있다는 점이 작용하였다. 대부분 탄화수소 연료의 에너지 밀도는 1kg당 43MJ정도이며 형상축소로 인해 열효율이 낮아진다 하여도 1kg당 5MJ, 또는 1g당 5kJ이라는 높은 에너지를 동력으로 변화시킬 수 있는 이점을 활용하게 된다. 이러한 에너지 밀도는 가장 성능이 좋은 2차전지의 질량대비 에너지와 비교하여도 10배에 달하기 때문에 연소에 기반을 둔 다양한 형태의 Power MEMS 개발이 시도되었다.

여기에는 MIT의 마이크로 가스터빈, UC Berkeley의 마이크로 로타리 엔진, KAIST의 마이크로 왕복동 엔진 등이 포함된다. MIT의 마이크로 가스터빈 연구는 여러 가지 핵심적인 문제점들만 노출 시킨 채 중단되고 말았으며, UC Berkeley의 마이크로 로타리 엔진은 작동이 확인

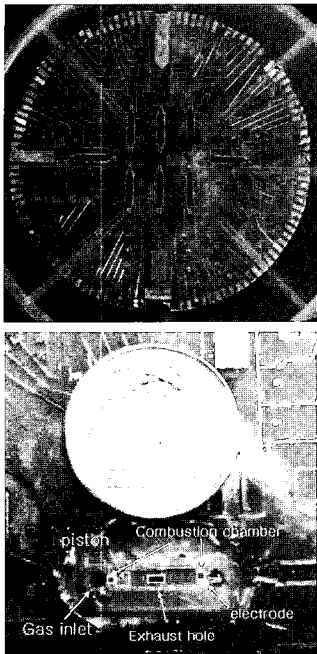


Fig. 2 MEMS 왕복동엔진 기관(위)과 조립된 실린더 형상 (Rocket Lab KAIST)

된 바 없다. KAIST의 마이크로 왕복동 엔진은 수소를 연료로 하여 피스톤이 움직이는 것 까지 확인하였으며, 이를 축동력 또는 전력으로 추출하는 데 까지 이르지 못 하고 있다.

마이크로 내연 기관은 개념적으로는 매력적이지만, 구현하는 데에는 여러 가지 제약 조건이 따르게 된다. 첫째, 연소기의 초소형화는 연소효율의 저하를 초래한다. 통상 연소실에서 화염이 안정적으로 전파하기 위하여, 연소에 의하여 발생하는 열이 가스를 점화온도 이상으로 가열할 수 있어야만 한다. 그러나 연소기의 스케일이 작아지면서 주위로의 열손실이 과도해지게 되고, 이러한 열평형이 국부적으로 만족되지 않을 수가 있게 되는 데, 이 때 소염(Quenching)이 일어나게 되며, 연소효율이 급격히 저하된다. Lee and Kwon [1]은 폭이 10mm이고 높이가 1mm인 원통형 연소실에서 연소효율이 67%미만임을 발견하였다. 연소효율의 저하는 고온가스의 온도

저하와 함께 열효율의 저하를 초래하게 되어, 자칫 열동력 장치의 높은 에너지 밀도를 달성하지 못하게 하는 요인이 될 수 있다. 이러한 문제점으로 인하여, 로타리 엔진이나 왕복동 엔진과 같이 가스상태(Homogeneous) 연소를 이용하는 동력장치는 내연기관의 핵이 되는 마이크로 연소실 때문에 태생적인 문제점을 지닌다. 마이크로 내연기관은 이밖에도 동력발생을 위한 기구학적 방법이 필요한 데, 이 메카니즘을 마이크로 스케일에서 안정적으로 수행하는 것은 매우 어렵다.

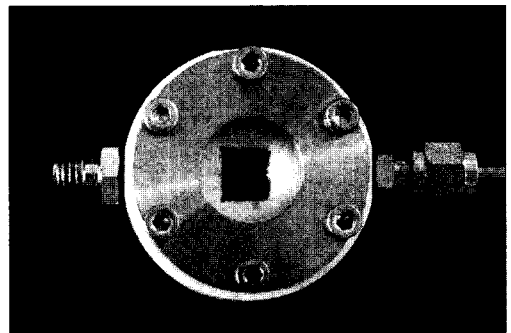


Fig. 3 축매 연소기, 연료-공기 혼합가스가 오른쪽 튜브로 유입 (Rocket Lab KAIST)

연소실 소형화의 문제를 해결하기 위해 Choi and Kwon [2]은 축매 연소를 시도하여, 초소형 연소실 공간에서 95%이상의 연소효율을 달성하였다. 축매 연소는 저온에서도 반응을 완료하기 때문에 연소기의 온도를 낮게 유지할 수 있으며, 이를 통하여 주위로의 열전달을 최소화할 수 있다. 마이크로 축매 연소기는 마이크로 가스터빈에 채택되어 일부 성공을 거두었지만, 가스터빈에서는 연소기 외에 회전체 문제로 인하여 난관에 봉착해 있는 상태이다. 동력발생에 적절한 최소한의 압축을 위해서 마이크로 가스터빈의 컴프레서 요소는 회전수가 1,000,000rpm에 이르러야 한다. 이러한 회전 속도에서 안정적으로 견딜 수 있는 로터의 개발이 거의 불가능하다. 이것은 압축효과가 회전체의 반경에 비례하기 때문에 자명한 결과이기도 하다. 초소형 컴프레서 디스크의 윤활을 위하여 air bearing 등의

새로운 개념이 시도되었지만, 최종 결과는 만족스럽지 못 하였다. 일반적으로 스케일이 작아지면 관성력에 비하여 점성효과가 크게 증대하게 된다. 따라서 마이크로 스케일 동력장치에서는 움직이는 부품을 가급적 최소화 하여야 한다. 그런 측면에서 본다면, 마이크로 가스터빈은 결코 좋은 컨셉이 아니다.

MIT 마이크로 가스터빈 연구를 통하여 밝혀진 다양한 문제점을 피해 나가기 위하여, Tohoku 대학과 Belgium의 연구그룹은 MIT보다 10배 이상 큰 스케일의 가스터빈에 관해 연구하고 있다. 이러한 스케일의 가스터빈도 매크로 가스터빈과 비교하였을 때는 약 1/10에 불과하며, 이때 동력발생을 위한 최소 컴프레서 회전수는 약 200,000rpm인 것으로 보고되었다. 2006년 11월 UC Berkeley에서 개최되었던 Power MEMS Conference에서 발표된 Belgium의 마이크로 가스터빈 연구는 대형 학제간 연구로서 많은 연구비가 투자되어 모델 케이스로 이루어는 것으로 보고 되었다.

국내 관련 연구로는, 서울대학교와 KIST에서는 터보기계 요소가 고압의 콜드가스 유동장에서 수천 rpm의 회전속도로 회전하는 것을 확인한 바 있다.

2.2 연소 기반 마이크로 열전소자 동력발생장치

이 방식의 동력발생은 내연기관 방식과 동일하게 연료의 연소에 기반을 두고 있지만, 움직이는 요소가 없다는 점에서 훨씬 유리하다. 장치의 원리는 Seebeck 효과를 이용하는 것으로, Thermocouple의 작동원리와 동일하다. 즉, 메탈 Junction에 온도차를 걸어주면 기전력이 발생하는 현상을 이용한 것이다. 현실적으로 5% 정도의 효율을 얻을 수 있으며, 향후 이 효율은 증대될 것으로 기대된다. 이 방식 동력발생에서 문제점은 현재 시판되는 열전소자의 허용온도가 200~250°C에 불과하다는 점이다. 일반적인 열기관의 열효율이 고온 열원의 온도에 비례하는 것처럼, 열전소자의 경우에도 작동 온도가 높을수록 높은 열효율을 낼 수 있어, 높은 작동온도를

견딜 수 있는 열전소자 재료를 개발하는 것이 이 장치를 실현하는 데 관건이다. 열전소자에 쓰이는 재료는 초소형 냉각용 Peltier소자와 유사하거나 동일하다.

열전소자와 연계하여 초소형 연소기가 필요하다. 이 연소기에는 몇 가지 제약 조건이 따르게 되는데, 첫째는 액체 연료를 사용하여야 하고, 둘째는 연소시의 온도가 200~250°C로 통제할 수 있어야 한다는 점이다. 가스 상의 촉매 연소는 비교적 수월하게 이루어지지만, 액상 연료를 사용하는 촉매연소기의 설계는 여러 가지 문제점을 해결하여야 한다. Jin and Kwon [3]은 액상 메타놀과 공기를 촉매로 연소하는 장치를 가공하여 시험한 바 있다. 이들은 또한 촉매연소기의 시스템 구성을 위해 산화제 까지도 액상을 사용하는 또 다른 방식의 촉매 연소기를 시험하고 있다. 산화제로는 70~80%의 과산화수소를 사용하였다. 두 가지 방식 모두 매우 높은 연소효율을 달성하였으며, 온도 역시 열전소자의 최적 작동 범위 이내로 조절이 가능함을 확인하였다.

2.3 연료전지

연료전지는 연소에 기반을 둔 내연기관에 비하여 초소형화 하기가 용이하다. 첫째, 연료전지는 움직이는 요소가 없기 때문에 가스터빈이나 왕복동 엔진이 내포하고 있는 여러 가지 문제로부터 자유롭다. 둘째로, 연료전지에서는 연료와 산화제가 낮은 온도에서 느린 속도로 결합하기 때문에 비가역성이 낮고 이는 또한 높은 열효율로 연결 지어진다. 다양한 연료전지 타입 가운데 초소형화가 많이 시도되는 것은 DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)과 PEM FC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) 이다. 일부에서는 SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) 타입 연료전지의 초소형화가 시도된 바도 있다.

DMFC는 소형 또는 초소형화가 가장 많이 시도된 연료전지 타입이다. 이 타입의 장점은 액상의 메타놀을 개질 없이 연료로 사용하기 때문에 연료밀도가 매우 높다는 점이다. 그러나 연료전지 가동을 위하여 메타놀을 물과 섞어야 하기

때문에 에너지 밀도가 다소 떨어지며, 또한 Fuel Cross-over 현상이 심각한 기술적 장애로 대두되고 있다. 프로토타입 DMFC가 다양한 연구그룹에 의해 보고되었지만, 아직도 실용화는 요원한 실정이다.

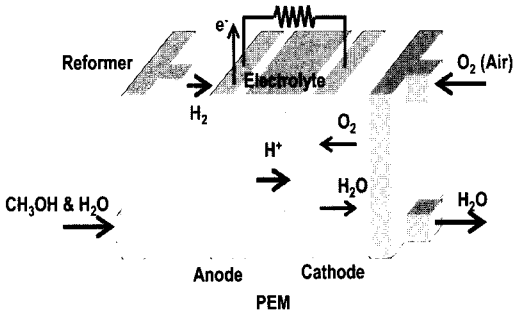


Fig. 4 PEM 연료전지와 개질기

PEM 연료전지는 연료전지 가운데 가장 오래되고 성능이 검증된 타입이다. 출력밀도가 높고, DMFC와 같은 Fuel Cross-over의 문제도 없다. 다만, PEM 연료전지는 연료로 수소를 사용하기 때문에 이를 여하히 공급하느냐 하는 데 그 기술적인 제약이 따른다. 수소는 초소형 용기에서 액화가 불가능하고 비교적 높은 에너지 밀도를 위해서는 700기압 이상으로 압축을 해야 하는 데, 이는 초소형 장치에서는 실현 불가능하다. 대안은 액상의 연료에서 수소를 추출하는 연료 개질기를 사용하거나, 메탈수화물로부터 수소를 발생시키는 법을 들 수 있다. 연료 개질에는 메탄올 스팀 리포밍이 널리 이용되고 있으나, 이 반응은 흡열반응이기 때문에 별도의 열원이 있어야 하고, 또 개질된 가스에 다량의 CO가 함유되어 있어, 이를 제거해야만 PEM 연료전지에 사용할 수 있다. 현재 이 분야는 많은 연구가 이루어지고 있으나, 아직까지 안정적으로 작동하는 연료 개질기와 PEM 연료전지 통합 시스템은 나와 있지 않은 상태이다. Kim and Kwon [4]은 최근 초소형 개질기용 열원으로 촉매연소기 대신 과산화수소 분해 반응기가 메탄올 개질반응에 성공적으로 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한 개질반응기와 과산화수소 분해반응기를 통합

하여 ATR (Auto Thermal Reforming)화 하는 실험을 성공적으로 수행하였으나, 아직 개질 가스의 CO를 연료전지 전극에 안전한 수준까지는 낮추지 못하고 있는 실정이다.

3. 초소형 발전 동력장치의 향후 전망

90년대 후반에 개념이 도입되기 시작한 초소형 발전 동력장치 연구는 지난 10년간의 연구 개발에도 불구하고 아직 가시적인 성과를 내지는 못하고 있다. 그러나 과거의 경험으로부터 몇 가지 중요한 교훈을 얻었으며, 이는 앞으로 초소형 동력장치 관련 연구에 방향을 제시하고 있다. 그 첫째는 움직이는 부분을 최소화 하는 개념이 적절하다는 점이다. MEMS 가스터빈이나 MEMS 왕복동 엔진의 개발은 중단될 것으로 기대된다. 가스터빈과 왕복동 형태의 동력원은 MEMS보다는 다소 스케일이 큰 장치로 향후 연구가 당분간 지속될 것으로 예상된다.

연료전지 분야에서 DMFC가 기대에 부응하지 못 함에 따라, 분야 재조정이 있을 것으로 기대된다. 한편, PEM FC는 상대적으로 주목을 받을 것으로 예상된다. PEM FC는 MEMS 개질기, MEMS 발열 반응기, 연료전지 스택 등을 포함하는 복합 시스템이므로 좀더 대규모 연구 개발이 필요하다. 개발 중인 동력원은 일단 마이크로 로 봇이나 미세 비행체와 같이 2차 전지의 에너지 밀도가 감당하기 어려운 분야에 적용하는 목적을 표방하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 이러한 분야는 시장이 비교적 작지만, 시스템 요구조건을 유연하게 조정할 수 있고, 궁극적으로 소비자 동력원을 목표로 하더라도, 그 중간 단계로 연구개발에 대한 관심을 유지시키는 데도 유리하다. 향후 더욱 탐색 연구가 필요한 분야로 연소에 기반을 둔 열전소자 방식 발전장치와 메탈 하이드라이드를 수소원으로 사용하는 PEM 연료전지 시스템을 고려할 수 있다.

3.1 열전소자 발전방식 (TEG)

열전소자 방식의 발전은 소위 Seebeck 효과

라고 부르는 현상을 이용한다. Seebeck 효과는 에스토니아 물리학자 Thomas Johann Seebeck이 1821년에 발견한 현상으로 두 종류의 금속 도선을 연결하고, 두 연결부위의 온도가 다른 경우 기전력이 발생하는 것을 일컫는다. 온도 차이를 직접 기전력으로 변환 시키기 때문에, 엔진과 같은 기구학적 요소를 필요로 하지 않아서 소형화에 매우 유리하다. 이 효과는 두 금속 도선뿐 아니라 일부 반도체 연결점이 상이한 온도에 놓여 있을 때에도 기전력을 발생한다. 이렇게 발생하는 전력은 미약하여서 온도 1도 차에 대해 수 마이크로 볼트 정도의 기전력을 발생하게 된다. 재료가 단위 온도차에 대해 기전력을 발생하는 효율을 나타내는 데에 Thermopower 또는 Seebeck Coefficient를 이용한다. 이 파라미터는 V/K의 단위를 갖으며, 단위 온도차에서 발생하는 기전력을 나타낸다. 열전소자 방식 발전기의 개발은 크게 두 부분으로 구분할 수 있다. 첫째는 발전소자의 고온부를 가열하는 가열기이다. 이 가열기에는 초소형 연소기를 사용할 수 있다. 그러나 현재 최적으로 작동하는 열전소자 재료가 견디는 온도가 200~250 °C이기 때문에 연소기 열원이 온도를 유지해야만 한다. 일반적인 화염 연소에서는 이렇게 낮은 온도를 유지하는 것이 불가능 하다. 그러나 촉매 연소기에서는 연소기 온도를 낮게 유지하면서 높은 연소효율을 내는 것이 가능하다.

열전소자 방식 발전에서 주요한 또 한 가지의 문제는 열전소자의 재료 물질이다. 현재 널리 쓰이는 발전소자는 Bi-Te을 재료로 하는데, 이들을 용해 후 결정으로 성장시킨다. 결정성장을 위한 싹에 해당하는 핵이 필요하며 이러한 핵을 embryo 라 한다. 발전소자는 일반적으로 냉각소자로 쓰이는 열전소자와 embryo가 다르며 온도 차에 따른 발전 효율을 최대로 올려놓은 소자이다. 발전소자는 냉각소자에 비해 제품이 다양하지 않으며 일부 국내외 업체는 러시아에서 재료를 제작하여 국내에 시판하고 있다.

3.2 메탈하이드라이드 수소원과 PEM 연료전지

앞서 기술한 바와 같이 연료전지 가운데 출력밀도가 가장 우수한 것이 PEM 연료전지이다. 그러나 PEM의 경우 수소를 연료로 사용하기 때문에 수소를 여하히 공급하는가 하는 것이 개발의 관건이 되고 있다. 마이크로 PEM과 연계하여 사용하기 위한 연료개질기가 많이 연구되고 있으나, 아직은 CO 제거 및 촉매 안정성 등 여러 가지 문제점이 해결되지 않은 상태이다. 좀더 안정적인 개질 반응기가 개발되기 까지 사용할 수 있는 것이 메탈 하이드라이드의 가수분해로부터 수소를 발생하는 방식이다. 현재 많이 사용되는 메탈 하이드라이드는 NaBH_4 이다. 이 물질을 물 및 NaOH와 적정 혼합하여 촉매층을 통과시키면 가수분해 과정으로 순수한 수소를 발생한다. 이렇게 생성된 수소에는 CO와 같이 연료전지 전극을 피독하는 물질이 포함되지 않아 직접 전력 생산에 활용할 수 있다. 메탈 하이드라이드를 수소원으로 사용하면, 에너지 밀도는 압축 기체 수소 보다 현저히 높지만, 액체 탄화수소 연료의 개질보다는 낮다. 또 메탈 하이드라이드의 개질 반응이 빠르지 않기 때문에 빠른 반응이 필요한 응용이 어렵다.

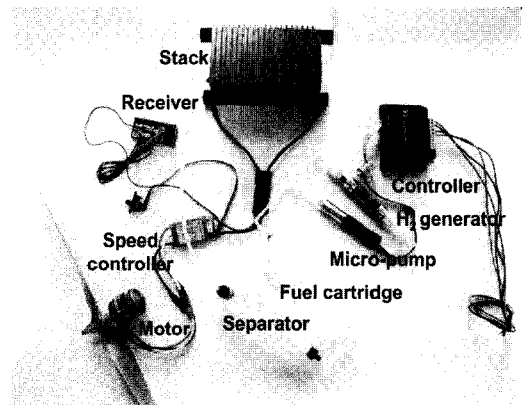


Fig. 5 NaBH_4 가수분해 반응기와 PEM 연료전지 스택의 통합 시스템 (KAIST)

Kim and Kwon [5] 은 NaBH_4 수용액의 가수분해에 Co-Pt 촉매를 사용하여 좋은 결과를 얻었다. 또한 이 수소발생기와 PEM FC을 연결하여, UAV(Unmanned Aerial Vehicle)용 동력장

치를 구성하였으며, 이를 비행체에 탑재하여 시험비행에 성공하였다. 이들이 사용한 상용 연료전지 스택의 출력은 20W였으며, 10cm² 면적의 전극 20장으로 이루어졌다. 이륙이나 기동등에는 갑자기 요구출력이 증대할 수 있다. 이에 대비하기 위해 무인기 탑재 동력장치에서는 리튬-폴리머 2차 전지와 하이브리드 동력시스템을 구성하여, 이륙동력은 2차전지로 공급하고, 연료전지는 2차 전지를 충전하는 방식으로 설계하였다. 소형 무인기에 연료전지 동력장치를 적용하는 연구는 미국의 해군연구소(Naval Research Lab)와 Georgia Tech에서 일부 시도한 바가 있으나, 이들 연구는 압축기체 수소를 고압용기에 저장하여 PEM 연료전지와 연계함으로써 에너지 밀도가 매우 낮다. 이런 방식의 연료전지로는 2차전지의 에너지 밀도 한계를 극복하기 어렵다.

현재 미국이나 이스라엘에서 실용화 되고 있는 연료전지 무인기의 순항시간은 45분에 불과하다. 그러나 메탈하이드라이드 가수 분해 반응기와 PEM 연료전지를 연계하는 동력장치를 사용한다면, 최소 5시간에서 최장 20시간까지의 연속 비행이 가능할 것으로 기대된다. 연료전지 UAV는 내연기관과 달리 소음과 진동이 발생하는 메카니즘이 없기 때문에, 주로 감시-정찰 임무가 주인 소형 UAV의 동력장치에 매우 적절하다. 이러한 군사적 응용에는 소비자 전원과 달리 안전상의 요구조건이 까다롭지 않아 시스템 구현이 보다 손쉬운 것도 장점이다.

4. 결 론

이상에서 모바일 마이크로 시스템을 구현하는 데 가장 절실한 문제인 마이크로 발전 및 동력장치 개발의 과거와 현재, 그리고 앞으로의 과제를 살펴 보았다. 지난 10여년간의 연구개발을 향후 초소형 발전 동력장치 연구의 방향을 제시

하는 데 많은 도움이 되고 있다. 앞으로의 장치는 열전소자와 PEM 연료전지 분야에서 많은 진전이 이루어질 것으로 기대된다. 아울러 국내에서도 동력 MEMS 분야의 연구개발이 보다 활성화 되기를 기대한다.

후 기

이 연구는 방위사업청 지정 국방 MEMS 특화센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Dae Hoon Lee and Sejin Kwon, "Heat transfer and quenching analysis of combustion in a micro combustion vessel," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 12, No. 5, 2002, pp.670-677
2. 최원영, 권세진, "적외선 열화상 온도 측정법을 이용하여 살펴본 서브밀리미터 스케일 촉매 연소기에서의 수소-공기 예혼합 가스의 촉매 연소 특성," *한국연소학회지*, Vol. 10, No. 3, 2005, pp.17-24
3. 진정근, 김충기, 권세진, 이성호, "초소형 연소기를 위한 촉매합성, 담지방법 및 담지체," *한국연소학회지 (Journal of Korean Society of Combustion)*, Vol. 11, No. 2, 2006, pp.7-14
4. Taeyu Kim and Sejin Kwon, "Catalyst Preparation for Fabrication of a MEMS Fuel Reformer," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 123, No. 3, 2006, pp.93-102
5. 김태규, 심현철, 권세진, "무인 항공기용 연료전지 동력시스템 개발," *한국추진공학회 2007년도 춘계학술대회 논문집*, 2007, pp.1-4