

MEMS의 최근 기술동향

(추진(구동분야))

박효덕, 박준식, 박철완*

(*전자부품연구원 마이크로머신그룹, **전자부품연구원 메카트로닉스 연구센터)

1. 서론

MEMS (MicroElectroMechanical Systems) 기술과 미세전자공학 기술의 진보는 초소형 PDA와 컴퓨터 같은 소형 전자기기와 마이크로 로봇 같은 이동형 기계의 개발을 가능하게 했으며, 이와 더불어 경량의 휴대 동력원에 대한 수요를 폭발적으로 증대시키게 될 것이다. 초소형 정밀기계용 휴대 동력원으로 사용될 수 있는 기술은 중대형 장치에 비해 필요한 에너지 크기가 작아 사용할 수 있는 에너지기술의 범주가 많이 다르다. 현재 휴대용 센서기기, 노트북, 휴대폰 단말기 및 전기자동차용으로 사용되는 배터리 기술과 축전지 기술뿐만 아니라 15cm 정도의 크기를 갖는 초소형 무인기 (Micro Air Vehicle)의 경우는 고출력을 고려한 마이크로 엔진 등 요구용도에 따라 다양한 추진·구동기술개발을 집중적으로 개발하고 있다.

미국의 DARPA 등에서 MAV나 마이크로 로봇과 같이 자유자재로 이동이 가능한 초소형 정밀기계에 관심이 높아지고 있고 MAV의 경우 다양한 추진·구동기술이 요구되고 있다. 그림 1은 현재 개발되고 있는 MAV의 구성요소를 나타낸 것이다. 이와 같은 초소형 기계들의 동력원은 고속이동시 짧은 시간내에 고출력을 발휘할 수 있는 고출력 전원인외 센서 및 미소요소부품 등의 구동을 위한 배터리 및 축전지 그리고 동력전달을 위한 마이크로 액츄에이터 등 다양한 기술이 요구되고 있다. 따라서 초소형 정밀기계의 추진·구동기술은 첫째, 저장장치의 특성을 가지는 fuel storage units (예, 수소저장물질, 압축탱크)와 energy storage units (예, 배터리, 축전지) 둘째, 발전의 특성을 가지는 휴대용 전력 생산 장치 (예, 소형 연료전지), 에

너지형질을 변화시키는 에너지 전환 장치 (압전 액츄에이터, 열전 에너지 전환장치) 그리고 최근에 MAV를 개발하기 위해 이루어지고 있는 마이크로엔진 등으로 구분할 수 있으며, 마이크로 시스템에서는 위의 네가지 범주의 기술이 결합양식과 용도에 따라 다양하게 쓰일 수 있게 된다. 일례로 소형 전자기기에 채택되는 동력원은 단지 전자기기를 구동시키고 다양한 기능을 구현하고자 할 때에만 필요로 하기 때문에 동력원의 무게 증가로 인해 부가적인 동력원의 증가가 요구되지 않고 고출력을 필요로 하는 장비가 장착되는 예가 드물어 고출력특성에 중요하지 않다. 그와 달리 이동형 기계에 쓰이는 동력원은 기동시키기 위해 쓰이는 동력이 큰 분율을 차지하고 기초설계에 있어 동력원의 무게자체도 동력원에 대한 부담으로 작용하게 되고 고속이동시 고출력 특성을 요구하게 되므로 소형 전자기기에

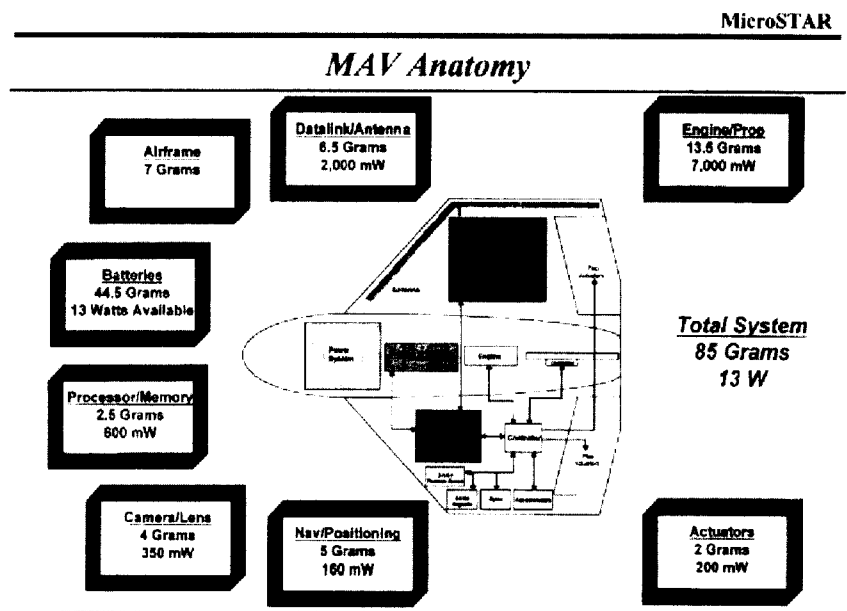


그림 1. Micro Air Vehicle 구성도

쓰이는 동력원과는 전혀 다른 사양을 요구한다.

최근, 미국 코넬대에서 발표된 세균을 제거하거나 약을 전달할 수 있는 바이러스와 같은 크기를 갖는 나노 헬리콥터와 같이 살아 있는 세포내에서 작동할 수 있는 초소형 기계, 무선으로 동작되면서 각종 정보를 제공하는 센서, 군수용으로 실용화 단계에 있는 초소형 무인기(MAV, Micro Air Vehicle), 의수·의족과 같은 생체용 로봇 그리고 마이크로 로봇 등 21세기에 선보일 각종 초소형 정밀기계의 동력원으로 사용될 추진·구동기술을 개략적으로 살펴봄으로써 MEMS 연구자들에게 이해와 관심을 높여 MEMS 기술의 완성도를 높일 수 있는 기회가 되었으면 한다.

1.1 연료 및 에너지 저장장치

저장기술중 연료저장장치는 흔히 접할 수 있는 내연기관과 연료전지와 연관되어 쓰인다. MIT에서 연구되고 있는 마이크로 터빈엔진같은 내연기관과 DARPA주도하에 연구되고 있는 소형 연료전지의 경우 화석연료와 메탄올을 저장할 수 있는 저장탱크를 연료 저장장치로 쓸 수 있겠고 수소를 연료로 쓰는 형태의 연료전지는 수소 저장 재료 기술을 기반으로 한 저장장치를 필요로 한다. 에너지 저장장치는 전기화학 캐패시터, 태양전지와 최근에 개발된 리튬이온 전지 기술에 기초한 리튬 이온 전지 및 리튬 폴리머 전지를 예로 들 수 있다. 여기서 전기화학 캐패시터는 기존의 전해 캐패시터만으로 마이크로 시스템에서는 충분히 사용할 수 있으므로 큰 효율을 가질 수 없다는 점을 유념해야 한다. 기계 및 열 에너지를 전기에너지로 바꾸는 에너지 전환장치는 마이크로 시스템에서 중요도가 높아진 것으로 압전물질을 이용해 만든 장치는 기계에너지를 전기에너지로 바꾸는 에너지 변환 소자의 역할뿐만 아니라 전기에너지를 동력으로 받아 추진·구동원으로 사용할 수도 있다.

국내의 마이크로 전지의 개발은 박막전극의 제조 및 특성에 관한 기초 연구가 수행되어 왔으나 각 구성 재료의 특성 연구에 그쳤으며, 완전형 전지의 구성이나 제작 등에 관한 연구는 거의 이루어져 있지 않다. 현재 출연연구기관을 중심으로 하여 비정질 Li-Mn-O 활물질과 마나튬산화물을 양극으로 채용한 리튬계 완전형 마이크로 전지와 V₂O₅계 리튬 박막 이차 전지 연구 진행 중에 있고 대학에서 결정질 Li-Mn-O 양극개발 이후 전해질 중심의 연구가 재개되었고 양, 음극 활물질에 대한 연구가 간간히 진행되고 있다. 모든 기관이 테스트 수준에 머물러 학연중심으로 연구되었을 뿐, 산업체의 연구결과는 전무한 상태이다. 연료전지는 물의 전기분해를 반대로 한 것으로 물에 직류를 흘려주면 분해되어 수소와 산소가 되나 반대로 수소와 산소를 반응시키면 전기와 물이 나오게 되며, 전기를 저장하지 않고 생산하는 소형발전소와 같은 역할을 하는 것이다. 국내에서 수소를 원료로 하는 PEMFC의 원형을 제작하였으나 10g 휴대용 단말기를 구동시키기 위해 수소가 아닌 메탄올과 물의 혼합용액을 연료로 한 소형 연료전지를 개발하고 있다. 그 이외에 기존의 리튬이온 전지기술을 소형화시키는

연구동향은 국내에서는 전무한 상태이다.

국외기술동향으로는 미소전원시스템의 경우는 미국 에버레디사와 Oak Ridge National Lab. (ORNL)에서 시작된 마이크로 전지가 완전형 전지 개발까지 도달하였고 그에 대한 특허가 선행 출원된 상태이다. 하지만 국내와 마찬가지로 실험실 수준의 연구단계에 머물러 있으며, 준생산 규모의 생산조차 보고된 예가 없다. 프랑스의 CNRS는 비산화물계 활물질을 이용한 박막전지연구를 중심으로 진행하고 있는 것으로 알려져 있다. 리튬 이온 이차전지의 선진국인 일본조차도 아직 마이크로 전지에 대한 구체적인 연구흐름은 보이지 않으며, 1999년 하반기에 리튬 이온 이차전지를 박막화시켜 마쓰시타전자공업에서 0.4 mm두께의 리튬 금속 이차전지가 시연된 바가 있고 세이코전자공업에서 수 mm 크기의 코인형 소형 리튬 이온 전지를 개발 상품화한 전례가 있다. 1999년 중간판 노무라보고서를 보더라도 마이크로 전지는 시장이 형성되지 않은 까닭에 조사항목에서 배제되어 있어 제반 기술수준의 통계는 수치화되어 있지 않은 상태이다. 초소형 연료전지는 주로 미국의 연구진을 중심으로 속속들이 시제품이 발표되고 있는 상태이다. DARPA가 주축이 되어 연구가 진행되고 있고 DMFC형으로 Los Alamos National Lab., CWRU의 Yeager 연구센터, Manhattan scientific에서 시제품이 발표되어 있다. 리튬 이차전지의 경우 초소형 정밀기계용으로는 전원의 경량화를 달성하기 위해 LIB보다 LIPB가 적합하다 할 수 있다. LIPB는 미국의 Telcordia형과 최근 Sony Energytec.에서 양산형으로 개발한 형태로 대별할 수 있으며 경량화차원에서도 수 밀리 크기의 이동형 기계에 사용할 수 있는 초소형 동력원으로 적합할 것으로 생각된다. 배터리와 연료전지 외에 주목할 만한 연구결과는 Vanderbilt 대학의 '소형 로봇 벌레'를 구동시킨 piezoelectric actuator로서 추진 및 구동장치로의 이용 가능성을 제시하였다. 이 시스템은 배터리와 연료전지를 동력원으로 사용한 DC 전기모터에 비해 30%이상 높은 에너지 보존효율을 보여주는 것으로 보아 추진 구동장치를 piezoelectric actuator로 사용하고 배터리, 연료전지 등의 초소형 동력원을 결합시킨 것이 최적의 추진·구동 및 동력원 결합의 일례가 될 수 있다.

1.2 마이크로 엔진 (내연기관)

마이크로시스템의 추진/구동 장치중 하나인 마이크로엔진(microengine)은 통상적인 추진체계인 internal combustion engine인 diesel, galsoline, turbine, jet engine들을 초소형 정밀기계 기술을 사용하여 제작한 것을 일컫는다. 마이크로엔진은 열기관의 근본적인 한계인 carnot cycle의 제약을 받기 때문에 일반적인 열기관과 마찬가지로 15-20%의 낮은 에너지효율을 보여주지만 기타 형태의 추진체계에 비해 고효력을 발휘할 수 있어 (motor-driven type의 약 100배) 고효력이 필요한 마이크로시스템에 채용 가능성이 높은 시스템이다. motor-driven engine은 carnot cycle의 한계를 극복한 에너지효율을 극대화시키는 방향으로 개발되어온



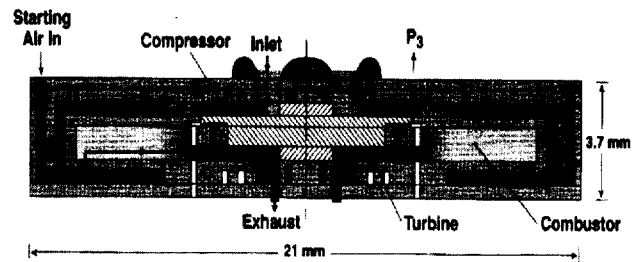
엔진시스템이라 한다면 마이크로엔진은 기존의 열기관의 특징을 그대로 가진 채 고효율과 개선된 에너지효율을 목적으로 하는 것이라 할 수 있다. 전세계적으로 마이크로엔진에 대한 연구는 극히 드물고 전략적으로 수행되고 있고 모터를 사용한 추진체계 외에는 찾아보기 힘든 실정이다. 내연기관형태의 마이크로엔진이 가지는 문제점은 약 80-85%의 비효율적인 에너지는 대부분 열로 전환됨에 따른 발열 문제를 지적할 수 있다. 발열에 따라 금속을 이용해 엔진의 금형을 미세가공을 하는 경우 많은 문제점을 유발시킬 수 있다. 발열문제를 해결하기 위해 다른 재료를 사용하는 경우는 내연기관의 제작이 힘들기 때문에 그러한 문제점은 여전히 산재해 있다. 그러나 이와 같은 근본적인 문제점을 갖고 있으나 본 기술은 이동형 기계의 추진·구동체계중 활동반경이 수십 km이상인 경우에 가장 적합한 시스템으로 특히, 고속이동이 요구되는 UAV용의 주동력원으로 가장 적합한 것으로 판단되어 이를 개발하기 위한 연구가 MEMS 연구자들을 중심으로 하여 집중적으로 이루어지고 있고 종래의 추진체계 기술을 그대로 사용하여 MEMS 공정을 이용해 제조하게 된다. 마이크로엔진 기술을 선도적으로 시작하여 주목받고 있는 곳은 Cambridge에 소재한 MIT의 gas turbine lab으로, 25센트짜리 주화크기의 gas-turbine engine을 개발했다. 이 turbine engine은 전체 무게가 1g에 불과한 것이다. Lab director인 Alan Epstein에 따르면 이 turbine engine은 silicon microfabrication method를 이용하여 제작되었으며 현재 lithographic technique을 사용하여 다른 형태의 radial inflow turbine engine을 silicon carbide를 사용하여 제작할 계획이라고 한다.



그림 2. Silicon으로 제작된 Radial Inflow Turbine Wheel

그림 2는 deep reactive ion etching으로 silicon으로부터 제작한 radial inflow turbine wheel의 일례이다. 계산결과에 의하면 이 정도 크기의 turbine driving electrostatic induction generator가 생산할 수 있는 수십 와트의 전력을 연속적으로 공급할 수 있는 수준이라 할 수 있다. 만일 Si 대신에 SiC와 같은 내열성 재료를 사용하여 제작하는 경우에는 1 cm³이하의 부피를 가지는 시스템이 50 W급의 전력을 생산할 수 있다. 이러한 엔진 시스템이 가지는 장점은 액상의 화석연료가 가지는 에너지 밀도가 최상의 배터리 시스템의 20 - 30배에 달한다는 것이다. 마이크로 엔진개발에 대한

연구는 기존의 엔진 기술을 그대로 채용한 대신에 축소형 엔진을 MEMS 기술을 이용하여 제작하는 방향으로 진행되고 있다. 엔진크기를 축소함에 따라 일어나는 문제점이나 기타 재료의 한계 (예. 실리콘의 creep 특성)을 해결하는 방향으로 기술이 발전되고 있다. 하지만 아직은 엔진의 turbine부의 제작연구에 그쳐있는 실정이며, 연소실의 제작 기술 등 기타 핵심기술은 아직 제대로 보고된 바가 없으므로 기술발전의 방향은 각 엔진 모듈의 성공적인 축소가 이루어진다는 것을 일차 전제로 하여 진행될 것이다. 그 외 MEMS 기술뿐만 아니라 극한 조건에 견디는 소재기술이 병행되어 발전하게 될 것이므로 SiC와 같이 내화성이 뛰어난 구조재료의 가공기술개발도 동시에 이루어질 것이다.



Thrust = 11 g Turbine inlet temp = 1600°K (2421 °F)
 Fuel burn = 16 g/hr Rotor speed = 1.2 x 10⁶ RPM
 Engine weight = 1 gram Exhaust gas temp = 970°C

그림 3. 마이크로 엔진

1.3 마이크로 액츄에이터

마이크로 액츄에이터는 마이크로시스템에 있어서 매우 중요한 다양한 기회들을 제공하고 있다. 최근 10년 이상 마이크로 액츄에이터에 대한 연구개발은 매우 활발히 진행되어 왔으며, 마이크로 센서와 반도체 공정 기술에 바탕을 둔 기술 개발이라고 할 수 있다. 연구 개발은 기존의 마이크로 액츄에이터 시스템의 경박단소화, 고부가가치화 및 고성능화의 방향에 맞추어 점차 Macro → Meso → Micro 로 진행되어 왔다. 이로 인한 파급 효과는 매우 큰 반면, 마이크로화에 따른 새로운 문제들도 함께 제기되고 있어 이를 해결해야 하기 위한 많은 노력도 동시에 필요하게 되었다.

가장 초기의 마이크로 액츄에이터 소자의 개발 결과로 우선 1987년에 Howe R.T.에 의해 개발된 resonant micro-sensors를 들 수 있다. 이는 electrostatic forces에 의해 진동되는 구조물의 공진주파수의 측정을 통해 습도를 검출하는 원리로 되어있다. 또한, 1988년에는 van Lintel H. 등이 개발한 실리콘 구조물상에 형성된 piezoelectric micropump와 1993년에는 Gravesen P. 등에 의해 개발된 thermopneumatic forces를 이용한 micropump 등이 있다. 한편 1987년 Fan L. S. 등에 의해서는 보다 정교하고 새로운 구조의 micro

spring, gear, crank 등이 개발되었으며, 1990년 Muller R. S. 에 의해 microdynamics에 대한 연구 결과가 보고되었고 1988년 Fujita H.에 의해서 microactuator와 micromachines에 대한 연구 논문이 보고되었다.

1988년에 최초의 IC-processed rotational electrostatic micromotor가 Fan L. S. 등에 의해 개발되었다. 그러나 이러한 직경이 100 μ m 정도의 작은 기계를 어떠한 분야에 응용할 것인지가 그 당시로서는 어려운 문제였다. 그 이후 수많은 연구 개발은 액츄에이터의 개선과 응용분야를 찾기

위한 연구가 집중적으로 이루어졌다. 그러나 아직도 friction과 stiction에 대한 문제는 여전히 풀어야 할 과제로 남아 있다.

micropump나 microvalve와 같은 microfluidics 소자는 현재 가장 집중적으로 연구개발되고 있는 액츄에이터 응용 분야이며, 그 시장도 매우 크게 형성되고 있다. 예를 들면, 1998년 Papautsky등에 의해 micro Total Analysis System (μ -TAS) 또는 nanoliter dosing systems 소자 등에 대한 개발 결과가 보고되었다. 또한, 수많은 연구자들을 통해 다

표 1. 액츄에이터종류에 따른 특성

Type of Actuator	Stress (MPa)	Strain (%)	Strain Rate (Hz)	Power Density (W/kg)	Efficiency (%)
Electrostatic (macroscopic composite)	0.04	>10	>1	>10	>20
Cardiac Muscle (human)	0.1	>40	4	>100	>35
Polymer (polyacrylic acid/polyvinyl alcohol)	0.3	>40	0.1	>5	30
Skeletal Muscle (human)	0.35	>40	5	>100	>35
Polymer (polyaniline)	180	>2	>1	>1,000	>30
Piezoelectric Polymer (PVDF)	3	0.1	>1	>100	<1
Piezoelectric ceramic	35	0.09	>10	>1,000	>30
Magnetostrictive (Terfenol-D)	70	0.2	1	>1,000	<30
Shape Memory Alloy (NiTi bulk fiber)	>200	>5	3	>1,000	>3

표 2. 응용분야별 추진·구동요소기술

	Micro Capsule	Mother Ship	Inspection Module (without wire)	Operation Module (with wire)
Energy Supply	Micro dynamo	Micro battery (Hydrogen absorption alloy)	Microwave transmission Photo-electric conversion (solar battery type)	Photo-electric conversion (p-n junction type)
Actuator Mechanism	Electromagnetic motor for steering Speed increaser	Pneumatic clamping Electrostatic driving mechanism	Inching worm driving mechanism Piezoelectric motion drive Functional connection	SMA manipulator Photo stimulated operation Gear train Locomotion High power source
Sensor	Ultrasonic detection Micro gyroscope	Photo-scanning device	Ultrasonic micro sonar Micro visual sensor Micro photo spectroscopy	Environment recognition by image fiber
Communication	Signal transmission by piezo composite		Communication network	
Control	Dynamic motion control	Behavior control Group control	Teleoperation Coordination control	Multi-joint manipulator control



양한 마이크로 액츄에이터를 이용한 ink jet print head는 가장 대표적이고 잘 알려진 microfluidics 분야의 액츄에이터 응용 소자이기도 하다.

Microoptic and electronic system 또한 중요한 마이크로 액츄에이터 응용분야이다. 예를 들면, 1997년 Zhou S. 및 1998년 Walker S.J. 등에 의해 optical switch, relay, scanner, display, variable capacitor 및 inductor 등에 대한 연구개발 결과가 보고 되었다. 또한, AFM 및 STM 뿐만 아니라 대용량의 DATA storage system은 recording과 scanning을 위해 마이크로 액츄에이터를 이용하게 된다. 가장 최근인 2000년 4월에는 Venderbilt 대학에서 작은 전지로 약 1/2 mile을 갈 수 있는 마이크로 액츄에이터를 이용한 움직이는 마이크로 로봇의 개발 결과가 보고되었다. 이 마이크로 로봇의 용도는 군사용 정찰 및 정보 입수를 위해 개발된 것으로 알려졌다. 마이크로 액츄에이터 기술은 기존의 시스템에 들어가는 부품의 대치뿐만 아니라 새로운 마이크로 시스템에 적용되는 새로운 시장을 창출할 것으로 보여 마이크로 액츄에이터 응용 부품 및 시스템의 수요는 점차 증가될 것으로 판단된다. 또한 군사용으로서도 마이크로 액츄에이터를 이용한 다양한 구조와 성능의 마이크로 로봇 등의 개발이 활발히 진행될 것으로 생각된다.

MEMS 기술은 21세기 사회에 크게 3가지로 기여할 수 있다. 첫째, 보다 많은 사람들이 정보 습득이 용이하도록 하고, 둘째, 인간의 삶을 환경과 보다 친숙해지도록 하며, 셋째, 인간의 사회복지를 향상시키는 것 등에 있다. 곤충을

닮은 유연하고, 고감도의 초소형 정밀기계는 십년 이내에 실현될 것이다. 그러한 초소형 정밀기계는 의료 시술 및 진단 등의 인간의 건강을 지키는데 유용하게 사용될 것이다. 또한, 이러한 초소형 기계에 있어서 설계, 저비용 제조 및 설계에 대한 문제가 중요한 문제로 연구될 것이다. 재료과학분야에 있어서도 이론적인 기초를 확립하기 위한 새로운 분야가 열리게 될 것이다. 초소형 동력원은 서론에서 밝힌 바와 같이 3가지 범주의 기술을 토대로 발전할 것이다. 기존의 초소형 DC모터와 Vanderbilt 대학의 piezoelectric actuator를 이용한 추진·구동체계를 근간으로 마이크로 전지 (배터리, 초소형 연료전지), 태양전지와 압전 및 초전재료를 이용한 에너지 변환 기술등이 결합되어 복합동력원으로 발전되리라 전망할 수 있다.

하늘을 나는 새와 같이, 손바닥보다 작은 비행체가 곤충과 같은 지능을 가지고 있고 제작비용도 1,000 달러 수준으로 10km 밖에 있는 물체의 유용한 영상 정보를 얻을 수 있는 시대가 되었다. 10년 전 만해도 그러한 얘기는 군사적인 교범보다는 코믹한 만화에서나 찾아볼 수 있는 대상이었다. 그러나 이제는 초소형 비행체 (MAV: Micro Air Vehicle)를 포함한 초소형 기술에 관련된 수많은 사람들이 초소형 정밀기기 제작에 필요한 각종 기술들이 급속하게 실용화되고 있다고 주장하는 상황이다.

앞으로 다가올 21세기는 전자 기기의 소형화, 고집적화에 따라 초소형 정밀 기기를 응용하는 분야가 비약적으로 확대되는 전성기가 될 것이다. 이러한 초소형 정밀 기기에 필

수 불가결한 초소형 전원 공급 장치는 기술 확보와 미래 산업의 발전 속도를 더욱 가속화시키는 중추적인 역할을 할 뿐만 아니라 다양한 응용 분야를 창출하여 일반 시민의 생활양식 등 사회, 문화적인 흐름을 바꾸어놓을 수 있는 능동적인 역할을 하는 중요한 분야가 될 것이다. 개발 결과로 얻어지는 결과물들을 on-chip화하여 사용할 수 있도록 시스템 개발자들과의 정보 교류를 활성화한다. 전자 산업이 발전할수록 고집적화, 초소형화, 고정밀화된 전자 부품이 개발되는 추세로 미루어 볼 때 앞으로 본 기술을 응용하여 실제 적용 가능한 분야로는 원격 조정이 필요로 되는 초소형 remote sensing 기기 분야, 비접촉식 연산이 가능한 교통 제어 시스템 분야, 인체 내에 삽입하여 환자의 상태를 지속적으로 관찰,

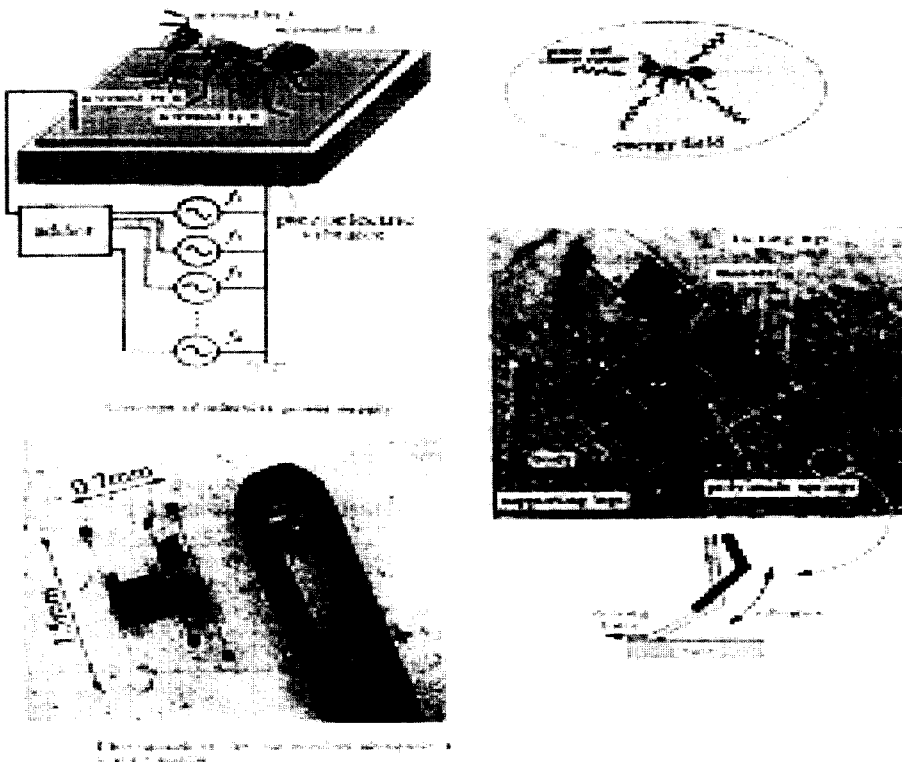


그림 4. Mechanical ant actuated from a vibrating platform.

유지시키는 의료 분야 등과 같이 인류의 실생활과 밀접한 거의 모든 분야에 응용될 것을 믿어 의심치 않는다.

저자 소개



박효덕(朴孝德)

1960년생. 1984년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1986년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 동대학원 전자공학과 졸업(공박). 1993년-현재 전자부품연구원 마이크로머신그룹 수석연구원



박준식(朴浚植)

1968년생. 1992년 한양대학교 재료공학과 졸업(학사). 1994년 동대학원 재료공학과 졸업(석사). 1994년-현재 전자부품연구원 마이크로머신그룹 선임연구원



박철완(朴哲完)

1971년생. 1994년 서울대 공대 공업화학 과 졸업. 1996년 동대학원 공업화학 과 졸업(석사). 2000년 동대학원 공업화학 과 졸업(공박). 현재 전자부품연구원 메카트로닉스 연구센터 전임연구원.