

MEMS 기술과 군수산업

(MEMS Technology in Military Application)

문 홍 기, 임 재 옥, 이 진 승

국방과학연구소 관성센서 연구실

요 약

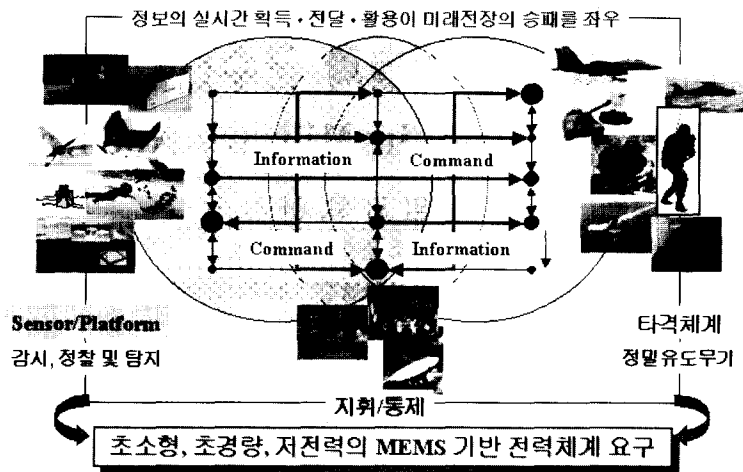
본 논문은 미래의 산업 전반에 걸쳐 엄청난 변화를 촉진시킬 것으로 예상되는 MEMS 기술의 군사응용분야에 대하여 기술하고 있다. 여기에서 정의하는 MEMS 기술은 센서와 액츄에이터로 대변되는 마이크로 소자를 제작하는 기술과 이를 이용한 소형 시스템 기술을 모두 포함하며 매우 다양하고 광범위한 측면에 대한 이해를 필요로 한다. 이러한 배경을 바탕으로 국내외 MEMS 기술의 현황과 발전추세를 파악하고 군사응용을 위한 MEMS 기술을 관성측정, 감지 및 구동, 정보통신, 추진 및 전원 분야 등 네 가지로 분류하였으며 이를 이용하여 개발할 수 있는 핵심적인 소형 무기체계들을 소개하였다. 결론으로는 민수 분야의 기술과 인프라를 바탕으로 군사용 MEMS 기술을 특화시켜 발전시켜야 할 필요성을 지적하고 국내 현실에 적합한 군사용 MEMS 기술 발전 방안을 제시하였다.

I. 서 론

과학기술과 무기체계의 발전은 항상 밀접한 관계를 갖으며 그 변화를 계속해 왔다. 지난 20세기만 돌이켜 보더라도 새로운 이론과 기술의 발견은 고도로 발전된 무기 개발의 단초를 제공하였으며, 또한 혁신적인 무기의 필요성은 많은 연구자들에게 도전을 제공하며 기존의 한계를 뛰어

넘는 연구결과를 촉진시켜 왔다. 이러한 맥락에서 한 시대의 과학기술력을 가장 극명하게 대변하는 분야가 바로 무기체계라는 사실과, 이러한 과학기술과 무기체계의 접목을 성공적으로 이끌어 낸 나라들이 국제사회에서 열강의 자리를 차지하며 군사·외교 분야 뿐 아니라 경제적 우위도 점하고 있는 현실은 우리에게 시사하는 바가 크다고 하겠다.

1950년대 트랜지스터의 발견은 현재까지도 전 산업 분야와 인간 생활에 엄청난 영향을 미치고 있다. 이제 우리는 “제2의 실리콘 혁명”이라고까지 불리는 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 도약을 지켜보고 있다. 이 기술이 10년 혹은 20년 후 어떻게 산업 전반과 일상 생활의 양상을 바꾸어 놓을지 예상하기조차 힘들 정도로 빠르고 다양하게 발전해가고 있음은 분명하다. 산업 분야와 학계에서 태동된 MEMS 기술은 선진국에서는 민수 및 군수 분야에서의 무한한 잠재력을 인식하고 선도 기술사업으로 분류하여 국가 차원의 대형 프로그램을 통해 막대한 예산을 투입하여 활발하게 개발이 진행되고 있다. 특히 미국에서는 MEMS를 21세기 군사 핵심기술로 선정하여 국방부와 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency) 지원 하에 1990년대 초부터 위성, 항공기, 잠수함, 전차, 미사일, 개인장비, 로봇 등에 활용할 수 있는 각종 MEMS 장치 및 시스템의 개발에 주력하고 있고 현재 관성측정기(inertial measurement unit), 지능탄(competent munitions), 고주파(RF) 등 몇 가지 분야에서는 실용화에 가까이 와 있는 실정이다. MEMS 기



〈그림 1〉 미래 전장에서의 MEMS의 역할

술의 군사분야 적용에 선진국들이 앞다투어 나서고 있는 이유로서는 앞에서 언급했듯이 신기술과 무기체계 발전은 서로 밀접한 관계를 갖으며 군사적·경제적인 이득을 도모할 수 있다는 역사적 교훈에서 찾을 수 있다. 또 한가지 동등하게 중요한 이유 중 하나는 MEMS의 초소형성, 다기능성, 고효율성, 고내구성 등이 미래 전장에서 줄 수 있는 많은 이점 때문이다^[1].

과학기술의 발전으로 첨단 무기체계와 기술 집약적 정보전 양상으로 변하게 될 미래의 전장은 대규모의 화력이 중요시되던 기존의 개념에서 탈피하여, 다양하고 변화가 빠른 정보를 정확하고 시기 적절하게 확보하여 이를 최대한 활용하는 데에 그 성패가 달려 있다. 이는 단 한 대의 미국 정찰기가 일본 항공모함을 단지 10분 먼저 발견하여 신속하게 공격한 것이 태평양전쟁의 승패를 갈랐던 역사에서도 얻을 수 있는 교훈이다. MEMS 기술은 기존의 기술로는 구현할 수 없었던, 전장을 인지(sense)하고 정보를 처리(compute)하며 이를 통제(control)할 수 있는 능력을 갖춘 획기적인 통합시스템을 크기 15cm 이하의 초소형 무인기에 탑재하거나 개인병사의 조끼 안에 삽입될 수 있도록 해 줄 것으로 예상된다. 이러한 MEMS 기반의 첨단 무기체계는 미래 전장에서 통합적인 정보의 획득, 지휘, 통제체계의

구축을 통해 막연한 적 상황을 염두에 둔 대량 소모전에서 보다 명확하게 목표물을 인지한 상태에서 정확하게 타격할 수 있는 정밀 타격전을 가능하게 해 준다^[2].

이러한 미래 정보전에서는 여러 가지 측면에서 기술적 연계성이 있는 로봇공학, 첨단전원 및 추진, 소형화, 이동 및 적응 디지털 망, 생명과학 등 다섯 가지 주요 기술분야가 군사적인 혁명을 일으킬 것으로 예측되고 있다. MEMS 기술은 이 기술분야들의 구현을 위해서는 필수적인 개발 원동력으로 작용할 것이다^[3]. 본 논문에서는 이러한 군사적 응용 측면을 중심으로 MEMS 기술을 장치 수준(device level)과 시스템 수준(system level)에서 체계적으로 분류하고 그 현황 및 발전추세를 파악하여 향후 군사응용을 위한 국내 MEMS 기술발전 계획의 청사진을 제시하고자 한다.

II. 군사응용을 위한 MEMS 장치

MEMS 기술이 군의 새롭고 변화하는 요구에 적합한 기술로 발전할 잠재력을 갖는 이유로는 MEMS가 대량생산을 통한 저가, 다기능 및 정

〈표 1〉 군사응용에 따른 MEMS 장치 분류

구분	소요 MEMS 장치
관성측정	가속도계, 자이로
감지 및 구동	진동, 압력, 영상, 적외선, 유속유량 센서 구동기, 모터
정보통신	고주파(RF) 소자, 대용량 저장 장치, 디스플레이
추진 및 전원	엔진, 전력원

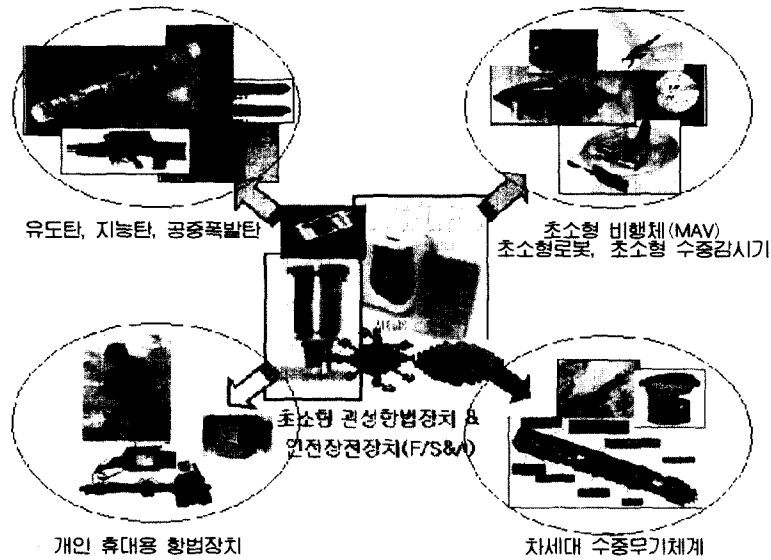
밀화, 소형화와 강인성, 저전력 소모 등과 같은 기본적인 장점을 가지고 있기 때문이다. 이러한 특징들을 가진 MEMS가 군사적 측면에서 가지는 효용은 무궁무진하다. MEMS는 군에 새로운 작전 능력을 부여하고 저가의 고성능-일회용 장비를 가능케 하며 기존 무기체계들의 성능, 운용성 그리고 수명을 획기적으로 확장시킬 것이다. 한 예로 MEMS 기술은 MEMS 자이로와 가속도계로 구성된 완전한 관성항법장치를 하나의 칩(one-chip)에 구현할 수 있도록 할 것이다. 현재의 관성항법장치는 크고 무겁고 고가이며 전력소모가 많기 때문에 고성능, 고가의 대형 무기체계에서만 수용할 수 있을 정도이다. 단일칩 MEMS 관성항법장치는 각종 군대와 군수물자의

추적을 위해 위성측위체계(GPS:Global Positioning System) 수신기의 단점을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 현재 비유도 대형폭탄에 정밀한 유도를 제공하여 명중률을 획기적으로 향상시킬 수 있다. 또한 단일칩 관성항법장치는 향후 기존의 관성항법장치와 동등하거나 보다 우수한 성능과 운용성을 갖출 것으로 예측되고 있다.

〈표 1〉에는 MEMS의 군사응용분야를 같이 크게 4개의 분야로 분류하였고 각 분야의 대표적인 MEMS 장치들을 예시하였다.

1. 관성측정

1920년대부터 시작된 관성측정 기술은 초기에는 가격보다 성능과 신뢰성의 개선이 새로운 기술의 추동력이었지만, 지난 30년간은 동일한 성능의 센서를 보다 저렴하게 생산하고자 하는 데에 기술개발의 초점을 맞추어 왔다. MEMS 기술은 기존 관성센서와 동일한 성능을 가진 관성센서의 소형화, 대량생산, 저가화를 가능케 해 줄 것이다. 과거 그 적용분야가 고가의 전략용 무기에 한정되었던 관성항법장치는 소형, 저가의 MEMS 관성센서를 이용한 초소형 관성항법장치의 개발로써 〈그림 2〉와 같은 다양한 무기체계에



〈그림 2〉 MEMS 관성측정기술 활용개념도

〈표 2〉 중기 GPS보정 관성항법장치 센서 및 가격 예측(측정 : 낮은 높이)

	비행제어/지능탄	전술유도탄	장거리유도탄	순항미사일 항공기 항법장치
가속도계 기술	MEMS	Quartz 진동계 MEMS	Quartz 진동계 MEMS	Quartz 진동계 MEMS
가속도계 안정도(μg)	1000	200	100	50
자이로 기술	MEMS	광섬유/MEMS	광섬유/MEMS	광섬유
자이로 안정도(deg/hr)	10	1	0.1	0.01
제작 단가	\$ 500	\$ 1,000	\$ 10,000	\$ 20,000

〈표 3〉 관성항법장치 등급의 MEMS 가속도계 제원

순번	년도	개발사	최대치	분해능	Drift	대역폭
1	94	Litton	100 G	10 μG	50 μG	—
2	95	Kearfott	40 G	1 μG	40 μG	—
3	95	Honeywell	20 G	10 μG	—	1 Hz
4	96	Honeywell	—	40 μG	—	100 Hz
5	98	JPL	9 G	25 $\mu\text{G}/\sqrt{\text{Hz}}$	—	100 Hz

서의 활용이 가능할 것이다.

또한 MEMS 관성센서 개발에 큰 영향을 주는 주요한 요인은 위성측위체계(GPS), 별추적기(star tracker) 혹은 탐색기(seeker)와 같은 외부 보조장치의 등장을 들 수 있다. 이와 같은 외부 보조장치는 기존 고가, 고성능의 관성센서를 대신하여 보다 저렴하고, 낮은 성능의 관성센서의 필요성 및 수요를 증대시켜 주었다. 현재 MEMS 관성센서는 가장 수요가 많은 중급 및 저 성능 응용분야에서 그 자리를 넓혀가고 있고, 가까운 미래에 전략용 무기체계에 적용될 센서를 제외한 고성능 및 중급성능의 응용분야에서 활용될 전망이다. 〈표 2〉는 장래의 관성센서 응용분야에 대한 전망과 적용분야에 따른 관성항법장치의 예측가격을 나타내었다⁴⁾.

자이로에 비해 개발 및 실용화가 먼저 이루어진 MEMS 가속도계의 경우 국내외 MEMS 연구 기관에서 속속 발표되고 있으며, 주목할 만한 것은 이러한 MEMS 가속도계의 개발이 선진국 유수의 방위산업 관련 연구소 및 업체에 의해 주도되고 있다는 점이다. 최근 국제 학술 대회 및

전문 학술지에 발표된 관성항법장치 수준의 MEMS 가속도계의 성능 및 제원이 〈표 3〉에 정리되어 있다. 여기서 보인 바와 같이 마이크로머시닝 기술로 제작되는 MEMS 가속도계로도 충분히 관성항법장치용 가속도계의 실현이 가능하다는 것을 알 수 있다.

MEMS 자이로 연구는 짧은 역사에도 불구하고 매우 발전 속도가 높은 편이다. 최근 마이크로머시닝 기술을 이용한 MEMS 자이로 및 그 응용에 관한 연구결과가 IEEE, Sensor&Actuator, Solid State Circuits 등 관련 학술지 및 학술대회에 다수 발표되고 있다. 80년대부터 90년대 초반까지는 주로 증착, 식각, 이온주입 방법 등 구조물 제작을 위한 단위 공정의 개발과 이를 응용한 간단한 구조물의 제작이 주된 연구과제였으나, 90년대 후반에 이르러 기초 기술 개발 단계를 벗어나 TFG(Tuning Fork Gyro), 링 구조 MEMS 자이로 등 다양한 시제품 개발이 보고되고 있다.

최근 MEMS 관성센서와 ASIC을 이용한 소형 관성측정장치의 시제품이 Allied Signal사와

Boeing사에서 개발되었는데 자이로의 반복도는 10~200deg/hr, 가속도계는 1.5~2mg, 작동 중 바이어스 안정도는 반복도의 10~30% 정도이며 감지범위는 1,000~2,000deg/sec, 70~100g로 비행체의 자기비행장치, 각종 안정화 장치, 단거리 미사일의 관성항법장치로 사용되기에 적합한 성능을 나타내고 있다. Charles Draper 연구소에서 개발한 MEMS/GPS 관성항법장치는 2,000년에 미 해군의 지능탄에 탑재 발사되어 그 성능과 체계적용성을 입증한 바 있다. 이러한 개발 예에도 불구하고 재래식 관성측정장치와 동등한 성능을 이루기 위해서는 MEMS 자이로의 성능이 수십 내지 수백 배 향상되어야 하는 숙제를 안고 있다.

2. 감지 및 구동

MEMS 실용화의 가능성이 높은 군사응용 분야 중 하나는 센서 및 구동기 분야이다. 각국의 군사분야 응용을 위한 MEMS 감지기 및 구동장치와 관련된 연구는 우주 및 항공분야에 활용하기 위한 저궤도 감시위성, MEMS 센서와 미세 유동조절을 위한 작동기 조합 지능외판(smart skin) 그리고, 감시 및 정찰을 위한 초소형 로봇과 비행체, 휴대용 생화학 탐지 및 차세대 소총 등의 미래병사체계 등 다양한 분야에서 이루어지고 있다.

MEMS 기술을 이용한 감지기 개발은 압력센서를 시작으로 진동, 유량/유속, 적외선 센서 등으로 확대되고 있다. 현재 민수 분야에서의 성공에도 불구하고 이러한 센서들이 군사분야 응용을 위해서는 기존의 MEMS 기술을 한 단계 발전시켜야만 가능하다. MEMS를 지능탄, 신관, 상태기반보수(condition based maintenance) 등과 같은 극한 환경조건에서 사용하기 위해서는 기존의 상용 MEMS 센서와는 다른 설계와 재료, 제작 기술이 필요하다. <표 4>는 각종 MEMS 센서의 다양한 군사응용 가능 분야를 보여준다.

MEMS 구동장치는 현재 거의 모든 MEMS 기기 및 응용에 사용되고 있으며 그 기능 및 종류 또한 다양하다. 주요한 응용분야로는 밸브, 펌프, 노즐 등과 같은 마이크로 유동(microfluidics), 마이크로 전자광학기계(MOEMS), 마이크로 전자회로, 무선통신 소자, 로봇이나 비행체 같은 운반체, 관성 센서, 유체 제어 등이 있다. 이 중 대부분이 그 상위 시스템의 기능을 가능케 해주는 역할을 하게 된다. 또한 마이크로 구동기를 이용한 다양한 구조와 성능의 군사용 초소형 로봇 등의 개발이 활발히 진행될 것이다. MEMS 구동장치는 그 기능과 운동형태에 따라 다음 <표 5>와 같이 분류될 수 있다.

<표 4> 각종 MEMS 센서의 군사응용 분야

감지기	군사응용 분야
압력센서	<ul style="list-style-type: none"> ◦인공위성 등의 우주항공용 ◦어뢰, 20mm탄환 등의 각종 신관 ◦항공기 엔진 등 주요 기기 감시장치
진동센서	<ul style="list-style-type: none"> ◦탱크, 장갑차등 차량용 무기의 진동 측정장치 ◦초소형 로봇의 동작 제어 및 자세 교정에 활용
유량/유속센서	<ul style="list-style-type: none"> ◦탱크, 미사일의 포탄 각도 및 거리 설정을 위한 풍향/풍속의 측정 ◦전투기, 유도탄이 받는 공기저항 측정장치 ◦전투함, 어뢰 등이 받는 바닷물의 유속 및 풍향/풍속 측정
적외선센서	<ul style="list-style-type: none"> ◦차세대 개인용 군용 화기 ◦휴대 열상 장비 ◦소형/다중배열 열추적 시스템

〈표 5〉 기능 및 운동형태에 따른 MEMS 구동장치의 분류

분류기준	설 명	사 례
기 능	외부환경과 접촉하며 그 환경을 변화시키거나 운동에 필요한 에너지를 공급	모터, 유연표면 마이크로 유동기기
	MEMS 기기 내부에서 작동하여 그 기기의 기능을 가능하게 해주는 메카니즘 발생	정전기 캔틸레버 (고주파 기기) 빗살 구동 (자이로, 가속도계)
운동형태	변위와 힘을 강제운동을 통해 공급	모터
	변위와 힘을 기계적 변형을 통해 공급	캔틸레버
	액체나 고체의 팽창/수축 이용	마이크로 유동기기

3. 정보통신

현재의 기술로는 기관 단위에서 수십 개의 개별 고주파 부품과 모놀리틱 고주파 집적회로(MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit) 칩을 구현함으로써 부피가 큰 무선 송수신 모듈을 만드는데, 이 기술은 차세대 이동 및 무선통신 단말기가 요구하는 초소형화, 저전력화, 저가화, 그리고 고성능화의 경향에 적절하지 못하다. 이에 대한 해결책으로 기존의 전기적 소자로는 얻을 수 없는 MEMS 소자의 특성을 이용해 기존 제품에 대한 경쟁 우위를 가지는 고주파 모듈의 기술개발이 진행되고 있는데, 예로서 수신기 모듈의 칩외(off-chip) 부분들은 MEMS 기술을 이용한 고역률 인덕터, 스위치, 평면 안테나, 그리고 미소기계 기반의 가변 캐패시터를 사용하여 단일칩화 하는 해결책이 제시되고 있다. 이러한 MEMS 기술을 이용한 초소형 무선 송수신 모듈은 군수 통신 단말기나 개인병사체계로의 응용뿐만 아니라 초소형 로봇과 비행체의 원격제어와 데이터 송수신 등에도 응용 가능하다.

MEMS 기술은 가변형 캐패시터, 고역률 인덕터, 미소기계 필터, 안테나 등 고주파 분야에서 적용가능성이 더 넓어질 것이며, 주파수가 높아질수록 저손실 스위치 등에서 강점을 나타낼 것이다. 많은 군수업체와 대학에서는 잠재적으로 MEMS 고주파 소자가 삽입되는 군사체계로는 안테나와 수신기를 예상하고 많은 노력을 하고 있다.

안테나 부분에서는 우주공간에서 운용되는 $4 \times 8m^2$ 크기의 MEMTenna의 개발(Raytheon)과 순항미사일 요격용 종말유도장치의 저가의 레이더 탐색기 등의 개발을 예로 들 수 있겠다. 탐색기의 경우 MEMS 조향장치를 이용하면 현재보다 가격면에서 3배 이상 저렴한 \$30,000 정도로 가격을 낮출 수 있을 것으로 예상하고 있다. 전자주사 안테나(ESA) 소자도 MEMS기술로 소형화할 수 있을 것으로 예상된다. 수신기 부분에서는 고주파 MEMS 소자를 사용하여 가격, 중량, 전력소비 면에서 10배 이상 향상된 소위 "Ultra Comm Receiver"가 실현 가능할 것으로 보인다. 이 MEMS 수신기의 크기와 무게는 현재의 신용카드 만한 것으로 다른 MEMS 장치들과 마찬가지로 각종 비행체에 적용되어 유효탐재량을 획기적으로 증대시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 개인장구로서의 MEMS 기반 수신기는 미래 개인병사체계에 필수적인 장비로 주목되고 있다.

4. 추진 및 전원

마이크로 시스템의 추진/구동 장치중 하나인 마이크로 엔진은 통상적 추진체계로서의 내연기관인 디젤, 가솔린, 터빈, 제트 엔진 등을 미세가공기술을 사용하여 제작한 것을 일컫는다. 마이크로 엔진은 열기관의 근본적인 한계인 카르노(Carnot) 싸이클의 제약을 받기 때문에 일반적인 열기관과 마찬가지로 15~20%의 낮은 에너지 효율을 보여주지만 기타 형태의 추진체계에 비해

고출력을 발휘할 수 있어(모터구동방식의 약 100 배) 고출력이 필요한 마이크로 시스템에 채용 가능성이 높은 시스템이다.

이 기술은 이동형 추진/구동체계 중 활동반경이 수십 km 이상인 경우를 목적으로 하고, 고속이동이 요구되는 초소형 비행체용 추진구동체계로 적합하다. 이 기술은 종래의 추진체계 기술을 그대로 사용하되 MEMS 공정을 이용하여 제조하게 된다. 제조된 마이크로 엔진은 모터구동 시스템의 약점이라 할 수 있는 고속 순항용 초소형 비행체를 만드는데 적합하다 할 수 있다.

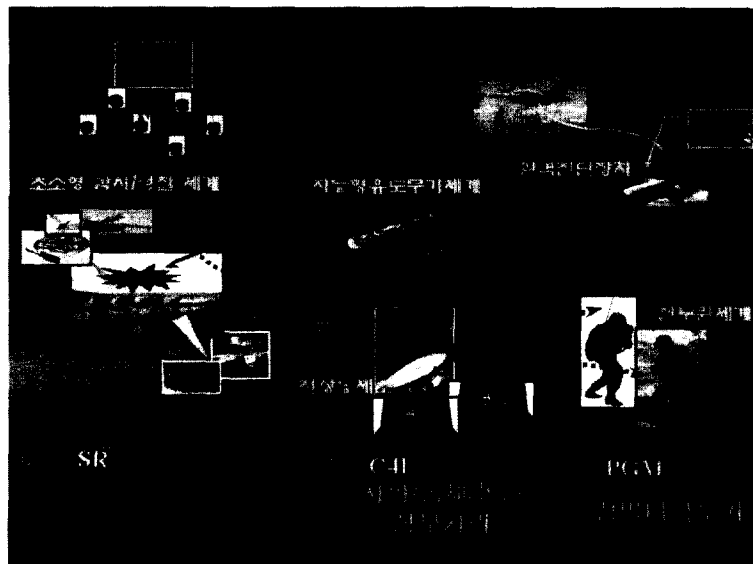
현재 개발되고 있는 초소형 로봇이나 초소형 비행체는 전원을 독립적으로 공급받아 무선으로 동작해야하기 때문에 휴대 동력원을 채용하여야 한다. 동력원의 한계가 임무 수행능력의 한계와 직결되며 그에 따른 활동반경의 제약도 일어난다. 단위부피 및 질량당 에너지 밀도가 높은 휴대 동력원 기술이 절실하지만 현재의 기술로는 비행체인 경우 수십 분 이상 기동할 수 없는 상황이다. 다양한 형태의 탐지기술과 정보취득기술이 개발된다 할 지라도 그 기능을 보유하고 있는 초소형 비행체나 초소형 로봇이 전원을 공급받아야만 역할을 수행할 수 있다는 점을 감안한다면 고

에너지 밀도 및 에너지 효율의 동력원의 개발이나 주변의 환경으로부터 에너지를 취득할 수 있는 동력시스템이 절실하다 할 수 있다.

초소형 동력원은 탄화수소계의 연료를 사용하는 미소규모의 자동점화 내연기관으로 전력을 공급하는 MEMS 자유 피스톤 노크엔진(Honeywell), 화학연료를 전력원으로 사용하는 집적미소 화학연료 처리기(MIT), 메탄올, 부탄, JP-8 그리고 디젤 등의 액체연료로부터 수소를 생성하는 연료처리기와 이 수소를 이용하여 전력을 발생시키는 집적 연료전지(Battelle) 이상의 3가지 범주의 기술을 토대로 발전할 것으로 전망할 수 있다.

III. MEMS의 무기체계 응용

<그림 3>과 같이 MEMS의 무기체계 응용 가능성은 개인병사체계부터 인공위성에 이르기까지 무궁무진하며 점점 더 확대되어가고 있는 상황이다. MEMS 기술은 트랜지스터가 진공관을 추방시킨 1950년대를 능가할 정도로 전자기기 기술의



<그림 3> MEMS의 무기체계 응용 개념도

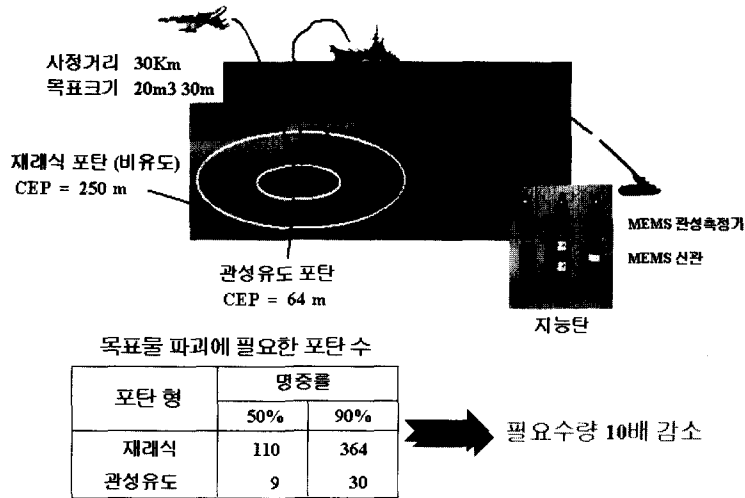
변혁을 가져올 것임에 틀림없다. 앞에서 언급한 바와 같이 MEMS 기술이 무기체계에 적용되면 경량화, 성능향상, 특수임무 수행, 비용 대 효과 측면에서 엄청난 파급효과를 낼 수 있기 때문에 선진국들은 MEMS 관련기술 개발에 엄청난 투자를 하고 있는 것이다.

1. 유도무기체계

MEMS 기술은 재래식 전자 기계 기술로는 달성할 수 없는 새로운 계산, 감지 및 구동 기능을

발휘할 뿐만 아니라 유도무기체계의 크기, 중량, 비용 및 전원에 대한 요구 조건도 감소시킬 수 있다. 시스템 초소형화, 저가화와 더불어 고내충격성, 고기동성 획득은 기존 유도탄 뿐 아니라 차기전차 지능탄 및 포발사 유도탄 등의 자세제어와 관성유도가 가능하게 해줌으로써 <그림 4>에서 보듯이 정밀 타격능력 향상, 경제성 획득 등 그 파급효과가 막대하다 할 수 있다.

<표 6>은 미 육군의 미사일 연구개발 기술 센터의 임무 중에서 핵심이 되는 요소와 그러한 임



<그림 4> MEMS 기술을 이용한 지능탄의 정밀도 향상

<표 6> MEMS 기술과 유도무기체계 연구개발과의 관계

임 무	MEMS 응용
유도제어 및 종말 유도	미사일과 운반체의 관성유도장치
	추진제 혼합효율 제고를 위한 마이크로 제트 배열
	탐색기
원격 진단 및 감시	상태기반 보수(Condition Based Maintenance)
	미사일 상태 원격진단
	각종 감지센서
추진	유동 및 추진 제어를 위한 능동 변형외판
무기체계 내장 컴퓨터	표적 식별을 위한 대용량 저장장치
일반 요소	고주파 소자
	MEMS 제조공정 개발
	신관 및 안전장치

무 안에서 MEMS 기술을 응용할 수 있는 핵심 분야를 보여주고 있다^[6].

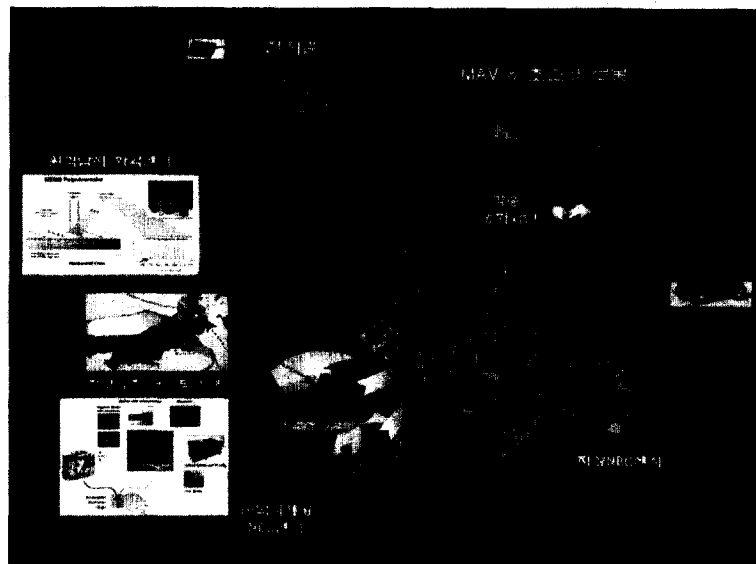
2. 초소형 감시·정찰·탐지 체계

MEMS 관성센서, 구동기, 엔진, 감지센서, 송수신기 등을 이용한 초소형 감시·정찰·탐지체계는 중요한 MEMS 응용분야의 하나이다. 이는 미래 전장은 물론 군사적으로 특히 민감한 정찰과 테러진압 등에 유용하게 사용될 수 있기 때문이다. 현재 육·해·공군에서 운용될 각종 초소형 감시·정찰·탐지 체계들이 개발되고 있으며 그 실용화도 가까워 보인다.

미국의 국방 주간지 "Defense News"(1996. 11.11-17)에 의하면, 미국의 Sandia 국립 연구소는 동전 크기와 비슷한 획기적인 핵/생화학물질 초소형 정찰 로봇을 3년 이내에 실용화시킬 계획이다. 이 초소형 로봇은 개발 기간이 5년, 개발비가 연간 600만 달러에 달하고 있다. 벽돌이나 암석으로 변장한 구두와 같은 모션을 공중에서 투하시키거나, 정보 요원이 직접 정찰해야 하는 시설에 근접하여 설치할 수도 있다. <그림 5>에서와 같이 수많은 미니 로봇은 통풍구나 벽의 균열을 통하여 시설 내부에 침입, 돌아다니면서

핵/생화학 물질의 유무를 탐지하게 된다. 각 로봇은 사전에 프로그램된 행동 경로를 따라서 돌아다니지만 초소형이기 때문에 발견되기가 어렵다. 미니 로봇은 2종류가 있는데, 이 중에서 광학 센서형은 제조공장, 무기고 등의 내부 배치도를 그려 낼 수가 있다. 이것에 반하여 탐지 센서형은 샘플을 흡수하여 핵/생화학 물질의 유무, 종류 및 강도 등을 분별할 수 있다.

초소형 비행체(MAV: Micro Air Vehicle)는 1990년대 초 기술적인 검토가 시작되어 현재 그 실현 가능성이 확인된 상태로 최대크기 15cm, 무게 100gram, 항속거리 10Km, 속도 60~80 Km/h, 비행시간 20~60분을 목표로 개발이 이루어지고 있다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해서는 비행체와 추진, 비행(제어/유도) 및 센서 같은 주요 하부 시스템에 관한 소형화 및 저전력화 연구가 필수적이며, 다른 기술 즉 고성능 전산, MEMS 및 전자 제품용 첨단 패키징 같은 기술도 함께 개발되어야 한다. 학계, 산업체, 군에 있는 전문가들은 MAV를 이용하기 위해서는 수많은 기술이 필요한데 이 가운데서 소형 전자 기계장치, 위성 항법시스템 장비, 카메라 및 송신기 기술 등은 현재 가용하다고 인정하고 있으나,



<그림 5> 초소형 로봇 및 비행체를 이용한 화생방지역 정찰 및 감시

충분한 전원 확보는 초소형 비행체 개발에서 계속 문제점으로 남아있다.

3. 개인병사체계

도시지역에서의 정밀교전은 다양각색의 밀집된 시설물, 이러한 시설물에 대한 불필요한 피해 회피, 민간인 보호 대책의 강구 등으로 인해 어려움을 겪어왔다. 미래 도시작전에서도 기존의 간접 사격체계가 중요한 역할을 계속 수행하겠지만, <그림 6>와 같이 초소형 로봇, 무인장비 등과 연동된 개인병사체계는 미래도시의 정밀교전 능력이 광범위한 역할을 수행하게 될 것이다.

개인병사체계의 핵심은 C4I(Command, Control, Communication, Computer & Information), 교전 및 적극적인 생존성 보장체계가 장착된 전투복장이며 각개 병사에게 종합적인 상황파악능력을 제공할 수 있어야 한다. 이것은 각개 병사 및 우군요원들에게 실시간에 최신정보를 제공해 줄 수 있는, 사용 간편한 통합 통신 및 항법장치를 말하는 것이다. 이 체계는 다양한 로봇 체계 초소형 비행체 및 기타 감시체계와 연결되어 각개 병사가 위치한 주변의 건물내부나 도로

상에서 이루어지고 있는 각종 상황을 주·야를 막론하고 파악할 수 있어야 한다. 각 개인의 병사나 항공부대로부터 발사되고 운반되도록 고안된, 초소형 비행체는 24시간의 광범위한 전투 기능을 수행할 수 있으며, 가능한 임무 중에는 정찰, 감시, 표적탐지, 통신연락, 화생방 오염탐지 등이 포함되어 있다. 또한 미래전에는 먼지처럼 보여 인식이 거의 불가능한 전자 조각을 적 상공에 살포하여 적부대의 이동상황을 증계하거나 치명적인 화학 물질을 감지하게 될 것으로 예상하고 있다. MEMS 기술을 이용한 초소형 감시장치인 전자운(instrument cluster)은 정밀 전자조각을 포함한 여타 미세한 조각으로 구성하여 구름처럼 형성시킨 후, 군의 정찰 및 탐색 임무에 이용될 것이다.

미래의 개인병사체계는 기존의 개방된 전장환경으로부터 시가전으로 양상을 달리하게 될 미래의 전장에 대비하기 위해 초소형 로봇, 초소형 비행체, 야시장비 및 저격수의 공격을 탐지하여 대응할 수 있는 피복 등을 이용하여 새롭게 무장할 것이다. 예를 들면 피아를 식별하기 위한 각개 전투병사용 식별장비, 저격수의 사격을 역 추적하



<그림 6> MEMS 이용 각종 시스템과 연동된 개인병사체계

여 반격하기 위한 체계, 폭약을 탑재하여 원격으로 조종되는 차량과 같은 시가전용 로봇체계 그리고 야간에 운용하기 위한 성능개량형 야시장비 등이 포함된다. 미래의 초소형 지상 로봇 차량의 용도는 정찰, 전방관측, 함정 및 부비트랩 탐지, 장애물 제거 등이 포함되어 있다. 이 차량은 무선으로 250m 거리에서 원격조정 가능하며, 광섬유 링크, 적외선 조명, 열상장치 및 각종 NBC (Nuclear Biological Chemical) 센서 등이 탑재 가능하다. 따라서 최소한 각개 병사의 휴대품은 각 품목의 중량감소와 군수 지원요소의 감소를 통해 대폭적으로 경량화시켜야 한다. 예를 들어 열상장비는 MEMS 소자를 이용하여 더 가벼운 장비로 만들고, 초소형 무인차량이나 초소형 비행체를 통해 얻은 정보와 정밀사격을 통해 소요자재를 줄일 수 있다.

IV. 결 론

첨단기술에 대한 과감한 투자에 의해 쌓여진 기술력이 경쟁우위의 무기체계 개발로 발전되는 과정에서 얻을 수 있는 교훈은, 무기체계 개발에 있어 과거 선진국 제품의 모방 생산이나 고가의 핵심부품을 수입에 의존하던 단계에서 벗어나 고도의 정밀무기체계의 국내 독자개발 능력이 절실히 요구된다는 것이다. 따라서 20~30년 이후의 국방전력을 결정하게 될 현 시점에서 미래의 기술집약적 정보전과 정밀타격전 개념에 적절한 무기체계의 자력개발 전략과 이에 부응하는 기술력의 제고가 필요하다. 이와 같은 관점에서 기존의 무기체계의 성능, 운용성 및 수명을 획기적으로 향상시킬 뿐 아니라 혁신적인 무기체계의 등장에 촉매가 될 MEMS 및 군사응용 기술 개발에 박차를 가해야 할 것으로 사료된다.

현재 몇 가지 MEMS 제품에 대해 민수 분야에서 성공에도 불구하고 군사분야로 응용하기 위해서는 무기체계에서 요구되는 성능 및 환경조건을 고려할 때 해결해야 되는 많은 기술적 문제

점을 갖고 있다. 한 예로 관성항법을 위한 관성센서의 민감도와 안정도는 현재 최상급의 MEMS 관성센서의 성능보다 수십 배 내지 수백 배의 개선이 필요하다. 또한 MEMS 장치를 지능탄, 신관, 로켓 엔진 등과 같은 극한 환경조건에서 사용하기 위해서는 기존 상용 MEMS와는 다른 설계와 재료, 제작기술이 필요하다. 일례로 연소체와 같이 150°C 이상의 고온에서는 상용 MEMS의 주재료인 실리콘을 사용할 수 없다. 그 대안으로 대두되고 있는 실리콘 카바이드는 온도 한계를 거의 3배까지 늘릴 것으로 예상된다. 이렇게 군사분야는 같은 기능을 요구할지라도 응용 시스템의 특징과 운영조건 그리고 미세한 성능의 차이 등이 주요 개발변수이기 때문에 민간분야에 대한 투자와 병행하여 MEMS의 군사응용으로 특화된 개발전략이 필수적이라 하겠다.

군사기술의 이전이 엄격히 통제되고 있는 현 여건을 볼 때, 21세기 핵심 군사기술로 분류되어 있는 MEMS 기술을 선진국으로부터 이전 받을 수 있는 기회는 전무할 것이다. 그러나 MEMS의 모체인 상용 반도체 기술 및 생산능력 면에서 이미 세계적 선두 수준을 점유하고 있는 국내 기술수준을 고려할 때, 독자적인 기술개발이 가능하다고 판단된다. 이러한 MEMS 기술은 민간분야와 군사분야에서의 효용가치가 무한대에 가까운 정도로 크다는 점을 고려하여 국가 전략적 차원에서 민·군 겸용 기술개념으로 공동 개발하여 상호 이용할 수 있는 체계를 구축해 나가야 할 것이다. 이를 위해 MEMS 기술의 군사분야 적용을 위한 가교역할을 담당하며 상용화 기술개발 지원 및 공통 기반기술 확보를 목적으로 민·군 공용이 MEMS 전용시설이 확보된 MEMS 특화센터를 중심으로 기술개발 협력체계를 구축할 필요가 있다.

이상과 같이 언급한 MEMS 기술은 선진국에서도 불과 20여 년 정도의 일천한 역사를 가지고 있는 최신 기술로써, 군사분야에서는 향후 10여 년 정도를 초기 상용화 가능 시기로 예상하고 있는 신기술 분야이다. 그러나 앞서 밝힌 바와 같이 미래 무기체계 개발에 있어 MEMS 기술의 무한

한 잠재력은 군사기술혁신을 선도하게 될 미래의 핵심기술임을 다시 한번 강조할 필요가 있다. 기존의 반도체 제품과 마찬가지로, MEMS 제품들은 생산공정이 확립된 후 생산단가는 저렴하지만 초기 설비투자를 위해 많은 재원이 소요된다. 그러나 “미래는 꿈꾸는 자의 것”이라는 말과 같이 미래 핵심기술 개발이라는 훌륭한 비전을 가지고, 이를 구현하기 위한 국가차원의 중·장기연구개발계획을 수립하고 적극적인 투자를 아끼지 말아야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] “Microelectromechanical Systems-A Dual Use Technology Industrial Assessment”, Final Report, Department of Defense, 1995. 12
- [2] 이호승, “미래전 양상과 정보화 군 방향”, 국방과 기술, pp. 24~35, 1월 1998년
- [3] “2020 Vision”, Jane’s Defense Weekly, pp. 21~25, October 2000
- [4] Neil Barbour and George Schmidt, “Inertial Sensor Technology Trends”, The Proceedings of the 1998 Workshop on Autonomous Underwater Vehicles, pp. 55-62 August 1998
- [5] 유인중, “MEMS의 무기체계 응용”, 국방기술정보 제4권 11호, 7월 1998년

저 자 소 개



文 鴻 起

1956년 1월 31일생, 1978년 2월 충남대학교 기계공학 학사, 1986년 2월 충남대학교 기계공학 석사, 2000년 2월 충남대학교 기계공학 박사, 1978년 3월~2001년 2월 현재: 국방과학연구소, 책임연구원, 관성센서연구실 팀장, <주관심 분야: 자이로 동역학(Gyro Dynamics)을 전공하였으며 MEMS 기술을 이용한 반도체형 관성센서를 기반으로 하는 초소형 관성항법장치의 개발 및 응용>



林 宰 煜

1969년 10월 17일생, 1991년 2월 한국과학기술대학 기계공학 학사, 1993년 8월 University of Maryland항공학 석사, 1996년 12월 University of Maryland항공학 박사, 1969년 12월~2001년 2월 현재: 국방과학연구소, 선임연구원, 관성센서연구실, <주관심 분야: 전자기계식 관성센서와 관성측정장치, MEMS 기술을 이용한 반도체형 관성센서를 기반으로 초소형 관성항법장치>



李 眞 昇

1974년 4월 18일생, 1996년 2월 한국과학기술원 기계공학 학사, 1998년 2월 포항공과대학교 기계공학 석사, 1998년 2월~2001년 2월 현재: 국방과학연구소, 연구원, <주관심 분야: 초소형 구조물 설계, MEMS 기술을 이용한 각종 센서 개발 및 응용>