

유공압 분야에 있어 기능성 액추에이터 응용 기술 Functional Actuator Technology in Hydraulics & Pneumatics Area

윤소남 · 함영복 · 박중호
S. N. Yun, Y. B. Ham and J. H. Park

1. 서론

최근에 스마트 재료(smart material) 및 스마트 액추에이터(smart actuator)의 개발을 통하여 산업계에 적용하는 연구들이 매우 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 흐름은 스마트 재료 시대(Fig. 1 참조)라는 명칭을 받게 되었다고 볼 수 있다. 저자의 주관적인 입장에서 볼 때, 스마트라는 용어는 미국을 중심으로 유럽권에서 사용되는 있고, 아시아권에서는 일본을 중심으로 지능(Intelligence)'이라는 용어로 사용되고 있는 것으로 사료된다. 또한, 일부에서는 기능성 액추에이터라는 용어도 혼용하고 있는데, 일반적으로 협의적으로는 기능성 유체 액추에이터, 기능성 고체 액추에이터로 구분되지만 광의적으로는 이 모두가 스마트 액추에이터 군에 속한다고 볼 수 있다. 따라서, 이 해설에서는 "스마트" 용어에 "기능성"의 의미가 포함되어 있다는 전제를 두고 서술하고자 한다.

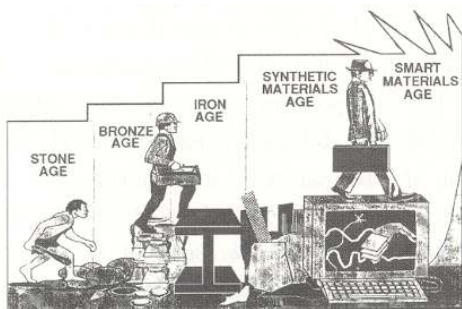


Fig. 1 Historical eras of materials science

Fig. 2에 보이는 바와 같이 스마트라는 용어는 재료가 주위환경에 따라 변화 할 수 있는 기능을 갖고, 미리 정해진 신호에 따라 반응한다는 의미이며, 스마트 액추에이터 시스템의 구성에는 입·출력 신호를 감지하는 센서기능과 감지에 대응하여 작동하는 액추에이터의 기능 및 신호처리와 판단을 위한 제어기능이 들어 있다. 액추에이터는 온도, 전기장, 혹은 자기장과 같은 외부자극의 변화에 대응하여 형상, 위치, 진동, 발생력 등의 기계적 특성이 변하는 것을

의미한다. 이러한 스마트 재료를 이용한 액추에이터는 스마트 액추에이터 혹은 self-calibrating actuator, self-testing actuator, inter-digital actuator 라고도 불려지고 있으며, 80여 종류의 액추에이터가 있고, 10여종이 지속적인 연구가 이루어지고 있는 것으로 보고되고 있다. 현재 세계적으로 가장 많이 연구되고 있는 스마트 액추에이터로는 압전(PZT), 형상기억합금(SMA), 능동 폴리머(electro-active polymer), 자왜소자(magnetostrictive), 정전소자(Electrostrictive), 열전소자, 수소저장합금, 전기점성유체(ERF), 자기점성유체(MRF), 전기공역유체(ECF), 자성유체(Ferrofluid) 등이 있다.

이 해설에서는 전술한 액추에이터들이 유공압 분야에 어떻게 응용되고 있는지에 대한 고찰을 하고자 한다. 유체제어용으로서의 액추에이터는 변위량(감도=변위량/구동파워)이 크고 재현성이 좋을 것(히스테리시스 적을 것), 응답이 빠르고 온도특성이 좋을 것, 적은 에너지로 구동이 가능하고 조작력이 클 것, 크기와 중량이 작고 장수명이며 가격이 싼 것 등을 요구하고 있는데, 이 해설에서 서술하는 스마트 액추에이터가 상당 부분 요구조건을 충족시킬 수 있을 것으로 전문가들은 전망하고 있다. 또한, 국내외적으로 많은 연구자들에 의하여 성능 향상 및 신기술 관련 연구들이 이루어지고 있고, 기업체를 중심으로 매크로에서 마이크로 크기의 다양한 제품들이 출시되고 있다.

2. 압전 액추에이터(piezoelectric actuator)

100여년의 역사를 갖는 압전특성(piezo-electric effect)의 응용은 음향기기, 초음파기기, 통신기기, 계측기기 뿐만 아니라 오늘날에는 각종 놀이기구의 진동제어, 항공기 날개의 진동제어, 백미러 및 차량유리의 물기 제거, 브레이크 라인 제어, 자동차 서스펜션 제어, 디젤차량 커먼레일 시스템 초고압 연료분사 제어, 고속 온-오프 밸브, 초고속 서보밸브 및 초미니 펌프 구동용 액추에이터 등 매우 놀라운 속도로

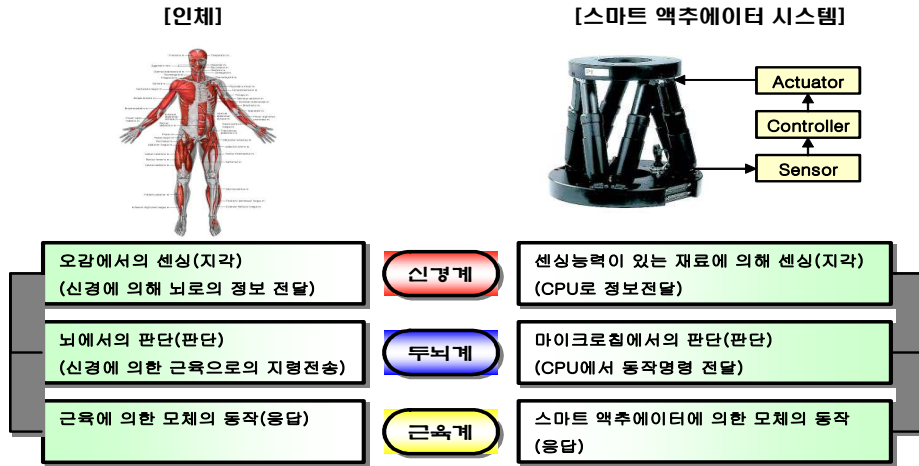


Fig. 2 Definition of smart actuator system

발전을 거듭하고 있다. Fig. 3은 잉크젯 프린터 헤드 용 압전 액추에이터를 보이는 것으로 유니모프형, 적층형 뿐만 아니라 원통형에 이르기까지 매우 다양하다. Fig. 4는 유체의 방향 및 양을 조절하는 밸브에 적용되는 압전 액추에이터의 예를, Fig. 5는 레저용 디젤차량의 커먼레일 시스템에 적용되는 적층형 압전 액추에이터의 응용을 보이는 것이다.

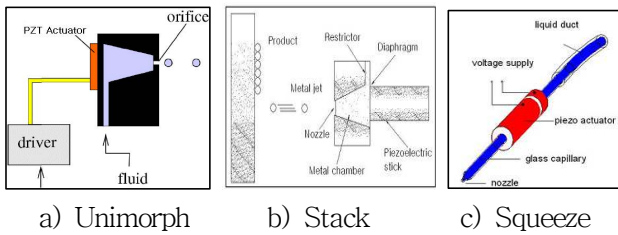
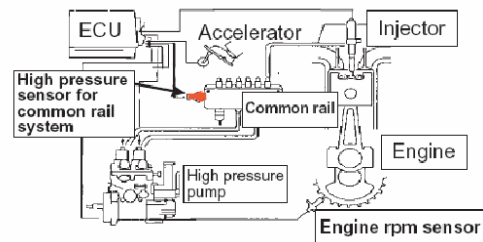
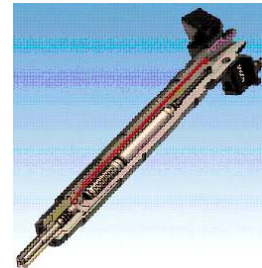


Fig. 3 PZT actuator for DoD printing

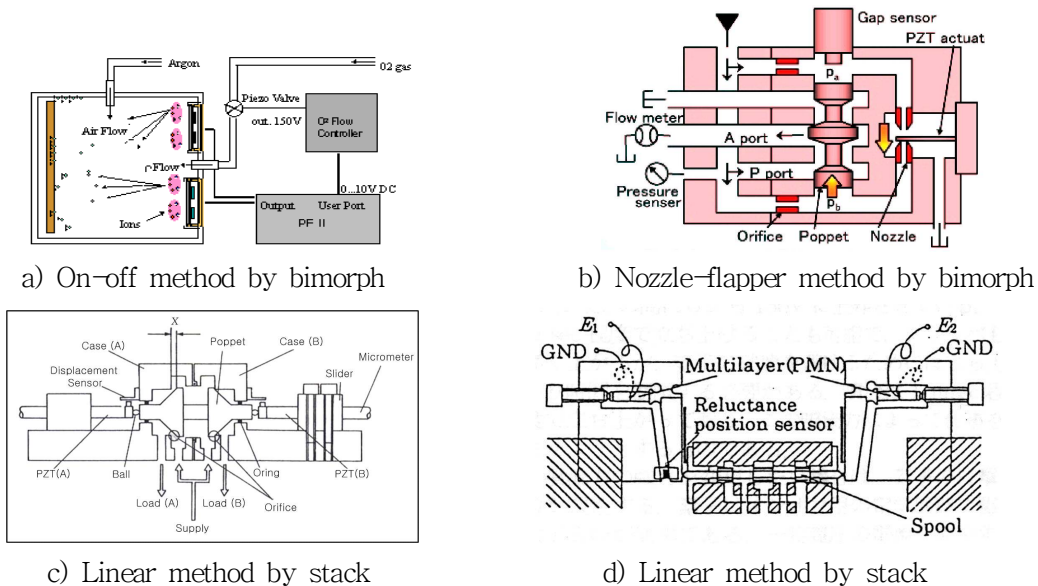


a) System structure



b) high pressure injector

Fig. 5 Common rail system for Diesel engine

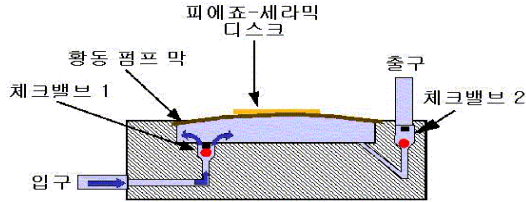


c) Linear method by stack

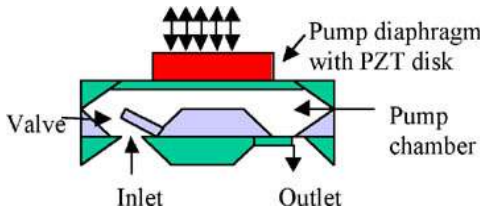
d) Linear method by stack

Fig. 4 PZT actuator for fluid control

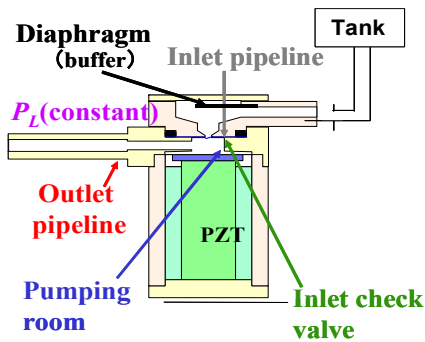
Fig. 6은 압전형 마이크로 펌프의 응용으로 압전 액추에이터의 체적운동을 펌프에 적용시킨 것으로 유니모프와 바이모프형 액추에이터에서 적층형에 이르기까지 다양하고 현재 바이오/의료/에너지 분야에 응용되고 있다.



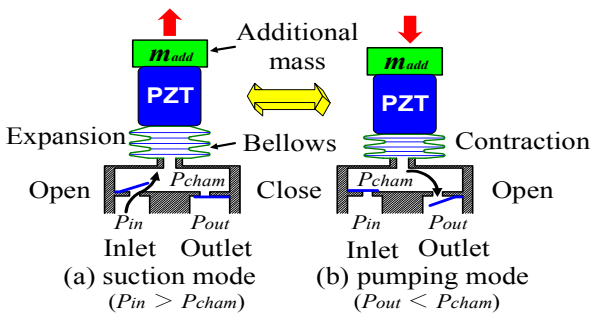
a) Unimorph-ball check type



b) Unimorph-seat check type



c) Stack type

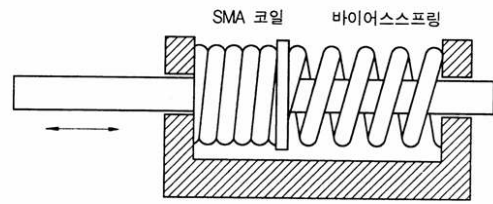


d) Stack-resonant type
Fig. 6 PZT type micropump

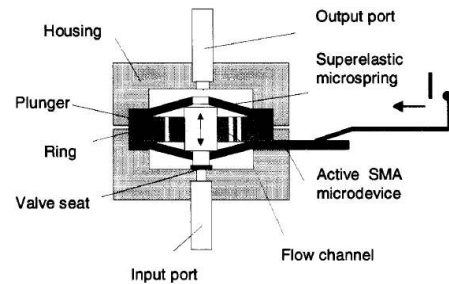
3. 형상기억합금 액추에이터(SMA actuator)

1960년대 미국 해군연구소의 블러에 의해 발견된

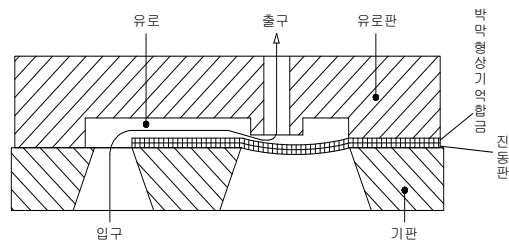
형상기억합금(Ni-Ti 합금)은 전투기의 파이프 연결, 인공위성의 안테나, 온실창의 개폐장치, 화재경보기나 방열기의 온도제어, 치열교정, 여성용 브래지어, 안경테 등 다양한 분야에 사용되고 있으며, 유체제어 분야에 적용되는 예를 살펴보면 다음과 같다. Fig. 7은 형상기억합금을 내장한 마이크로밸브의 구조를 보이는 것으로, Fig. 7의 b)에 나타난 온-오프형밸브는 하우징, 링, 플런저, 초탄성 형상기억합금 마이크로 스프링, 수평메모리 형상을 갖는 능동 형상기억합금 마이크로 디바이스로 이루어져 있으며, 입력되는



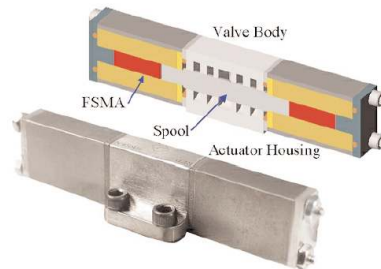
a) Principal of SMA actuator



b) Simple on-off type



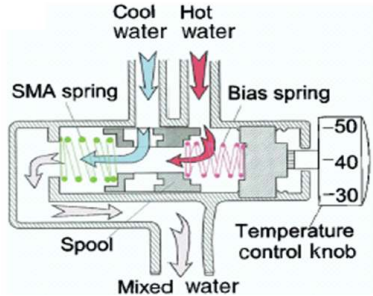
c) Diaphragm type



d) Internal view of spool type

Fig. 7 Fluid control valve using SMA actuator

열에 의하여 플러저의 동작이 이루어지고 마이크로 밸브로서의 동작을 수행하게 된다. Fig. 7의 c)는 Fig. 7의 b)와 동일한 동작을 수행하는 마이크로밸브 이나, 박판의 형상기억합금으로 되어 있는 구조이다. Fig. 8은 형상기억합금을 이용하여 실생활에 응용되는 자동온수 조절장치의 예를 보이는 것이다.



a) Internal structure

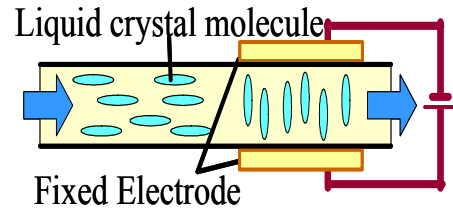


b) Photo view

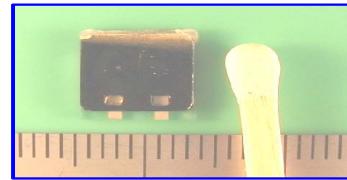
Fig. 8 Hot water control equipment

4. 전기점성유체 액추에이터(ERF actuator)

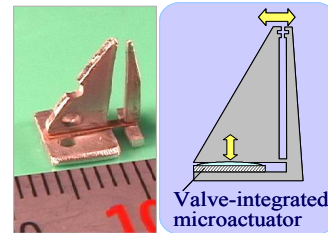
1947년 미국의 윈슬로에 의하여 발견된 전기점성 유체(ERF: electro-rheological fluid)는 실리콘 오일과 같은 절연성 액체에 수 μm 크기의 도전성 입자들을 섞어놓은 혼탁액으로서, 전기장을 인가하면 항복 응력의 증가에 의해 Bingham 유체로서의 유동특성을 나타내고, 전기장을 부여하지 않으면 원래의 뉴턴 유체 특성으로 돌아가는 성질을 갖고 있는 것으로, 이 과정에서 발생하는 압력제어의 우수한 특성으로 인하여 간단한 마이크로밸브에서 대형 우주구조물에 이르기까지 응용범위가 매우 광범위하다. Fig. 9는 일본 동경공대 요코타 교수팀에서 전기점성유체를 이용하여 연구하는 마이크로 그리퍼를 보이는 것으로 마이크로 팩토리(micro factory) 분야에 매우 흥미있는 연구라 볼 수 있다. Fig. 10은 자동차 분야에 적용되는 전기점성유체 클러치 및 댐퍼의 예를 보이는 것이다.



a) 작동원리

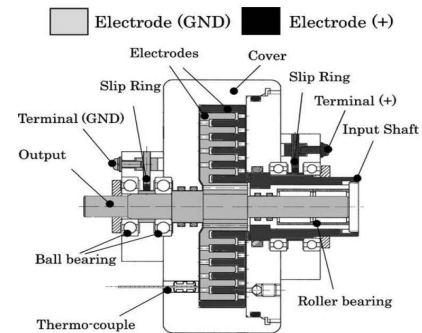


b) 마이크로 밸브



c) Micro-gripper

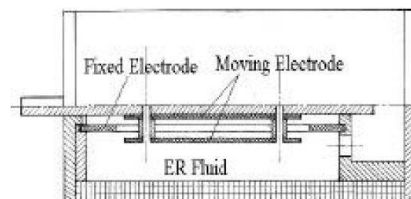
Fig. 9 Micro actuator using ERF



a) Structure of fluid friction clutch



b) External view of damper



c) Internal view of damper

Fig. 10 Automobile field application of ERF actuator

5. 자기점성유체 액추에이터(MRF actuator)

1948년 미국인 래비노에 의해 처음 보고된 자기점성(MR: magneto-rheological) 현상은 4장에서 서술한 전기점성유체와 비슷한 특성을 갖고 있는 것으로, 유체에 코일을 사용하여 자기장을 공급하면 자기장에 반응하는 입자들의 운동에 의해 유동저항이 발생하고, 자기장이 없으면 원래의 유체 형태로 되돌아오는 성질을 가진 유체를 칭하며, 이러한 유체를 액추에이터화하여 산업계에 많이 응용하고 있다. Fig. 11은 자기점성유체의 동작원리와 자기점성유체를 이용한 마이크로밸브 및 댐퍼의 예를 보이는 것으로 특히, 자동차 분야의 적용을 위하여 많은 연구들이 이루어지고 있다.

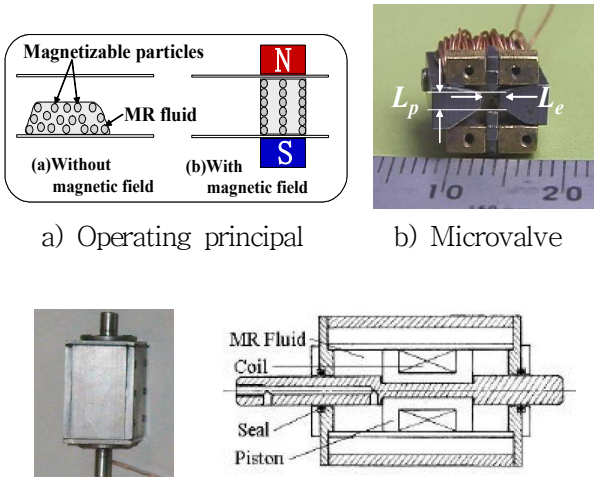


Fig. 11 MRF actuator application

6. 자성유체 액추에이터(MF or ferrofluid actuator)

자성유체 (magnetic fluid 혹은 ferrofluid)라는 것은 강자성 미립자의 표면을 불포화 지방산으로 피복하고, 이를 계면활성제를 사용하여 지방족 혹은 방향족 탄화수소, 물 또는 기름 등의 용매 중에 안정하게 분산시킨 콜로이드 액체를 일컫는 것으로 강자성이라 불리는 금속 특유의 성질과 유동성이라 불리는 유체 고유의 성질을 겸비한 유체이다. 자성유체는 분산성이 우수하고, 분리현상이 일어나지 않는 특징이 있으며, 씰(seal) 및 자기링크, 자기베어링, 자기센서에 응용되고 있다. Fig. 12는 혈액펌프의 샤프트 씰(seal)로 응용되는 자성유체를 보이는 것으로 폴 피스(pole piece)와 쉴드(shield), 영구자석, 축으로 구성되어 있

다. 폴 피스와 축 사이에 자성유체를 주입하면 자성 유체부에 자속이 발생하고 이로 인하여 오링(o-ring)과 같이 씰 역할을 하게 된다.

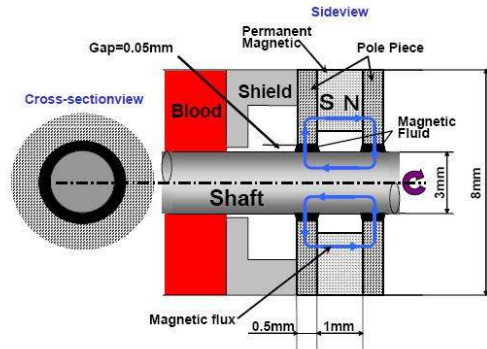


Fig. 12 Ferrofluid actuator

7. ECF(electro-conjugate fluid) 액추에이터

ECF(electro-conjugate fluids)는 전기유전성의 액체 중에 담겨 있는 전극간에 직류고전압을 인가하면, 고전위전극으로부터 저전위전극으로 활발한 유동(ECF 제트)을 발생시키는 기능성 유체이다(Fig. 13 참조). ECF 제트 발생의 메커니즘은 아직 명확히 규명되어 있지는 않지만, 평판전극과 같은 균일한 전기장보다는 얇은 선 및 니들 선단부와 같이 전위구배가 급격한 불균일한 전기장에서 발현되는 것이 알려져 있다. ER(electro-rheological) 유체와 MR(magneto-rheological) 유체의 유동저항을 변화시키는 기능과는 다르게 ECF는 전력을 직접 유체동력으로 변환할 수 있다는 독특한 특징을 가지며, 소형화에 유리한 구조 및 구동원리 때문에 마이크로 모터 및 마이크로 액추에이터에 활발히 응용이 되고 있다. 특히, 마이크로 ECF 모터와 같은 경우는 소형화하면 할수록 단위체적당 출력비가 증가하는 특성을 나타내기 때문에 마이크로 구동장치로서 매우 적합하다고 할 수 있다. Fig. 14는 일본 동경공대 요코타교수 연구팀에서 연구 중인 실린더형과 디스크형 ECF 마이크로 모터의 예를 보이는 것이다.

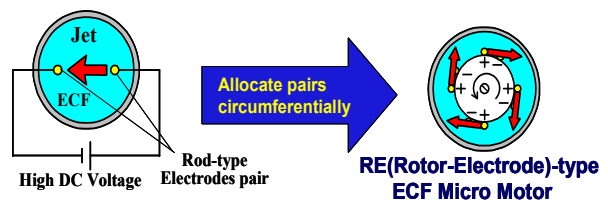


Fig. 13 Operating principal of ECF

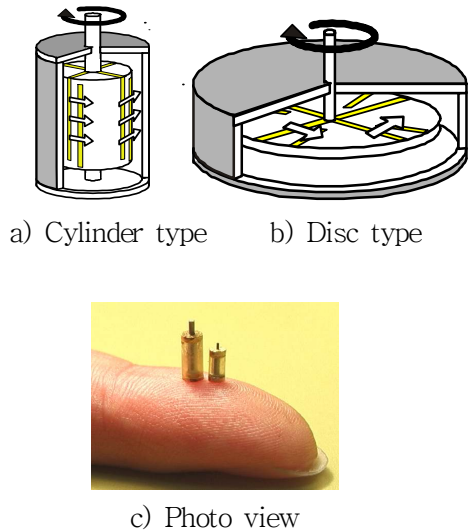


Fig. 14 Micro-motor using ECF actuator

8. 결 론

지금까지 스마트 액추에이터의 유공압 분야 적용 기술 및 부품 개발 동향을 살펴보았다. Fig. 15는 최근 미국 Hydraulics & Pneumatics 저널에 실린 내용에서 발췌한 것으로, 적층형 압전액추에이터를 구현하는 일례이며 미래 기술로서 압전 액추에이터를 지목하고 있는 것은 매우 흥미로운 일이라 사료된다. Fig. 16은 최근 그린에너지면에서 차세대 기술로 지목되고 있는 디젤엔진 시스템에 적용되는 FVVT(Fully Variable Valve Timing) 장치의 일례를 보이는 것으로, 다양한 분야에서 이 해설에서 제공하는 액추에이터들이 연구되고 있음을 알 수 있다.

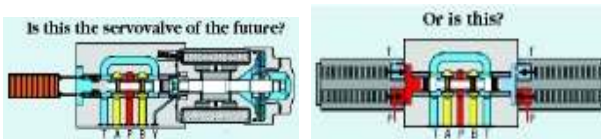


Fig. 15 Servo valve with piezo actuator

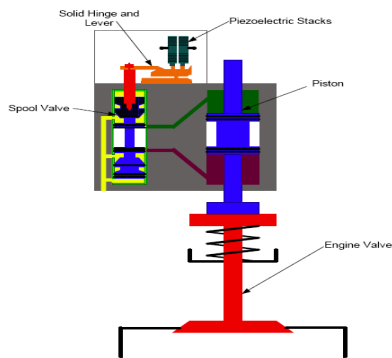


Fig. 16 PZT valve for FVVT

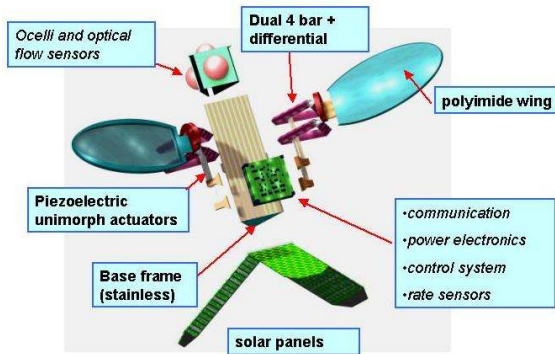
Fig. 17은 스마트 액추에이터의 연구 영역을 나타내는 그림으로 스마트 액추에이터는 기본적으로 재료, 기계, 센서 이외에 나노, 섬유, 생명, 신호처리, 제어, 정보, 생체모방, 신경회로망, 마이크로프로세서, 항공우주기술에 이르기까지 매우 광범위하다. Fig. 18은 스마트 액추에이터를 이용한 마이크로 인공근층의 연구 분야를 보여주는 것으로 이미 미국을 필두로 하여 전세계적으로 연구가 수행되고 있는 과제로서 전술한 스마트 액추에이터를 모두 적용할 수 있는 매우 경쟁력 있는 연구 분야라 할 수 있다. 또한, 스마트 액추에이터 연구자들이 연구 중이거나 예견하는 응용분야는, 혈당량을 측정하고 인슐린 펌프를 작동하는 스마트 의료기, 나르는 속도와 받는 압력에 따라 모양을 바꾸어 연료를 적게 쓸 수 있도록 하는 스마트 비행기 날개, 소변에 있는 요소를 검사하여 건강 상태를 알려주는 스마트 변기, 우주에서 중력이 없어짐에 따라 나타나는 문제를 보상해 줄 수 있는 스마트 구조, 사람의 활동이나 기후에 따라 알맞게 반응하는 주택용 전자색채유리, 강한 스패싱이나 드롭 샷을 할 때마다 적절히 반응하는 스마트 테니스 라켓, 전기장에 반응하는 스마트 근육, 형상기억합금으로 만든 스마트 의료기기, 소음을 잡아내고, 그 원인을 제거하여 잠수함이나 배가 적의 레이더에 감지되지 않도록 하는 스마트 추진력 시스템, 독성물질을 감지하여 제거하는 스마트 정수기 시스템 등이 있다.



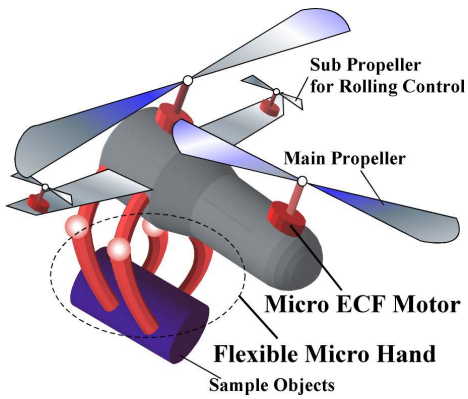
Fig. 17 Research field for smart actuator technology

스마트 액추에이터 분야는 전술한 바와 같이 차세대 기술로서 많은 연구자들에 의해서 연구가 이루어지고 있으나, ① 값이 싸고, 저전압 혹은 저전류에서 작동하는 액추에이터 개발, ② 강건 제어기 내장 집적형 액추에이터 개발, ③ 히스테리시스 특성이 우수한 액추에이터 개발, ④ 환경친화형 액추에이터 개발 등 해결해야 할 과제도 많이 있는 것이 사실이다. 때문에 스마트 액추에이터 관련 많은 분야에서 보다 적극적인 연구들이 이루어져야 할 것이고, 특히 응용이 쉬운 유공압 분야를 위하여 유공압 관련 연구자

들이 관심이 더욱 필요하다고 사료된다.



a) from UC Berkeley



b) from Tokyo Institute of Technology



c) New concept for flying robot

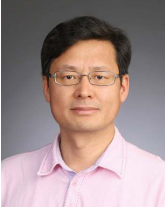
Fig. 18 Artificial insect using smart actuator

참고 문헌

- 1) Mel Schwartz, "Encyclopedia of SMART Materials", John Wiley & Sons, Inc., pp. 214~223, 2002.
- 2) K. Worden, W.A Bullough and J. Haywood, "Smart Technology", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2003.
- 3) Jose L. Pons, "Emerging Actuator

- Technology", John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- 4) George K. Knopf, Amarjeet S. Bassi, "Smart Biosensor Technology", CRC Press., 2007.
- 5) 이기준 외 6, "공학기술 복합시대", 생각의 나무, pp. 178~208, 2003.
- 6) 강원호, "세상을 바꾸는 신소재", 단국대학교출판부, pp. 261~329, 2003.
- 7) 유재영 외 2, "압전 세라믹스", 한국과학기술정보연구원, 2002.
- 8) 김호기, 신병철, "압전·전왜 세라믹스", 반도체출판사, 1991.
- 9) Yasuhiro Kakinuma 외 5, "Occurrence mechanism of shear stress in ER gel", JFPS, Vol.3 6, No. 1, pp.15~21, 2005.
- 10) So-Nam Yun 외 2, "Development of the Pneumatic Valve with Bimorph Type Piezoelectric Actuator", 1st International Workshop on Piezoelectric Materials & Applications in Actuator, p. 118, 2004.
- 11) J-H Park, So-Nam Yun 외 3인, "Resonantly-driven Piezoelectric Micropumps Using Active Check Valves", 9th International conference on new actuators & 3rd International exhibition on smart actuators and drive systems(Actuator 2004 Bremen), pp. 557~560, 2004.
- 12) 윤소남, 조정대, "합전세라믹스 액추에이터와 유공압밸브", 기계와재료, 제12권, 제2호, 통권44호, pp.79~84, 2000.
- 13) Frank Bauer and Hubertus Murrenhoff, "Piezo actuators: The future of servovalves?", Hydraulics & Pneumatics(www.fpweb.com).
- 14) 윤소남, 안병규, "치능형 유체제어밸브 개발동향", 자동제어계측, pp.43~47, 2003
- 15) 윤소남, 박중호, "합전 액추에이터 내장형 밸브의 연구동향", 세라미스트 8권 1호, pp. 1~7, 2005.
- 16) Nader Jalili, Jhon Wagner and Mohsen Dadfarnia, "A piezoelectric driven ratchet actuator mechanism with application to automotive engine valves", Mechatronics(13), pp. 933~956, 2003.

[저자 소개]



윤소남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1963년 7월 29일생

1990년 부경대학교 기계공학부 석사,

1994년 동 대학원 박사과정 졸업, 2005년

어번대 마이크로나노시스템/재료연구실 객

원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압밸브 및 에너지 수확기 개발 연구에 중사, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 동력기계공학회, 한국정밀공학회, 일본유공압시스템학회 등 회원, 공학박사

소, 1990년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 관심 연구분야는 유압 피스톤 펌프 및 모터, 수압 피스톤 펌프, 압전소자 응용 펌프 및 노즐. 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

[저자 소개]



박중호

E-mail : jhpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7607

1968년 6월 19일생

1999년 Tokyo Institute of

Technology 정밀기계시스템 전공 박사과

정 졸업, 1999년 Tokyo Institute of

Technology 정밀공학연구소 Assistant Prof., 2004년 한국기계연구원 입사, 2009년~현재 한국기계연구원 선임연구원, 마이크로 유체제어 시스템, 스마트 액추에이터 및 센서 응용 연구에 중사, 대한기계학회, 한국정밀공학회, 유공압시스템학회 회원, 공학박사

[저자 소개]



함영복

E-mail : hyb665@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7157

1965년 10월 23일생

1987년 금오공과대학교 기계공학과 학사,

1990년 동 대학원 석사, 2003년 동 대학원

박사, 2004년 동경공업대학 정밀공학연구