

壓電액츄에이터와 超音波電動機



김전수
한국교원대학교 기술교육과
조교수



Kenju Uchino
Director of International Center for
Actuators and Transducers and
professor of Electrical Eng. at the
Pennsylvania State University.



이덕출
인하대학교 전기공학과 교수
공대 학장, 대한전기학회 회장.

1. 서 론

최근 정보화 시대가 되면서 각종 기기의 정밀 제어와 소형화가 요구되고 있다. Silicon wafer의 가공, astronomy, optics, fluid control 등의 여러 분야에는 microdisplacement 소자가 반드시 필요하게 된다. 즉 그림1에서 보는 바와 같이 산업의 발전에 따라 측정의 정밀도는 1 nm 범위가 가능하지만, 가공의 정밀도는 $1 \mu\text{m}$ 에 불과한 실정이다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여 actuator의 개발이 진

행중이다. 액츄에이터를 Uchino는 다음과 같이 정의하고 있다.

“Actuators are defined as the transducers capable of transducing an input energy into a mechanical output energy(displacement/force).”

이를 micro-positioning controllability의 관점에서 구동원에 따라 분류한 것을 [표1]에 나타낸다.

특히 [표1]에서 보는 바와 같이 압전 세라믹스를 사용하여 제작하는 piezoelectric actuator는 displacement range가 0.1mm정도, displacement accuracy가 $0.01 \mu\text{m}$, response speed가 0.1msec이므로, 앞으로 정보화 시대에는 소

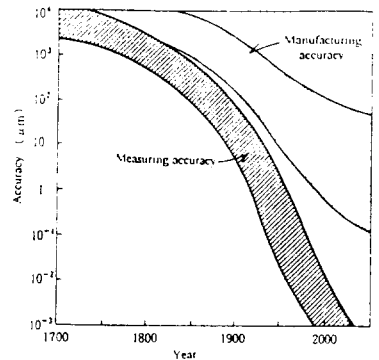


Fig. 1. Change in the manufacturing and measuring accuracies with year.

표 1. 각종 액츄에이터의 미소변위 제어성

구동원	명칭	변위변화	변위정교	방출력	응답속도
공기압식	공기압모터	회전	—	5 kgm	10 sec
	공기압실린더	100 mm	1000 μ m	10^{-2} kh/mm ²	10 sec
유압식	유압모터	회전	—	10 kgm	1 sec
	유압실린더	1000 mm	100 μ m	10 kg/mm ²	1 sec
전기식	AC 서보모터	회전	—	3 kgm	100 msec
	DC 서보모터	회전	—	20 kgm	10 msec
	스텝모터	1000 mm	10 μ m	30 kg	100 msec
	보이스코일	1 mm	0.1 μ m	30 kg	1 msec
	압전액츄에이터	0.1 mm	0.01 μ m	3 kg/mm ²	0.1 msec

형 정보통신기기에 사용이 크게 증가할 것으로 생각한다.

따라서 압전, 전왜 액츄에이터에 사용되는 세라믹 대표의 물성과 종류에 대해서는 다른 저자가 자세히 기술할 것이며, 여기서는 압전 액츄에이터의 원리와 구조에 관하여 간단히 알아보고, 특히 최근 가장 주목받고 있는 초음파 전동기에 대하여 설명하고, 미국에서의 최근 연구 내용을 소개하기로 한다.

2. 세라믹 액츄에이터의 구조

세라믹 재료를 사용한 액츄에이터의 구조를 그림2에 나타내며, 크게 단순형소자(simple device)와 복합형 소자(complex device)로 분류한다.

simple device는 인가 전계에 대하여 longitudinal 또는 transverse의 방향으로 유도되는 변형(strain)을 직접 사용하는 것으로, 그림에서 simple disc(단판 소자)와 multilayer(적층 소자)는 전자에 해당되고, cylinder(관상 소자)는 후자에 해당된다.

반면에 complex device는 전계에 의해 유도된 strain을 직접 사용하지 않고, displacement를 확대하기 위하여 magnification mechanism으로 unimorph (유니몰프), bimorph(바이몰프), moonie(무니), hinger lever(힌지레버), inch-

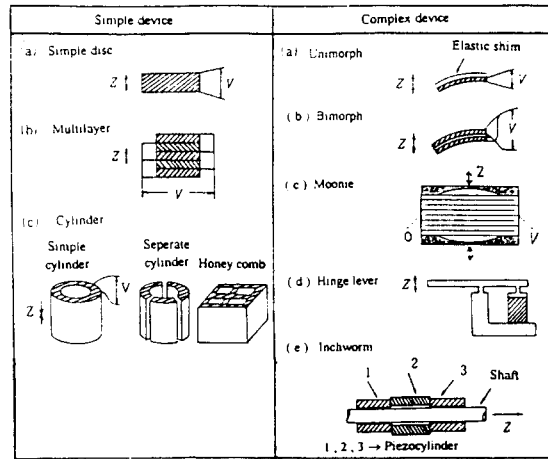


Fig. 2. Structures of ceramic actuators.

worm(인치웜) 등을 사용하는 것이다. 이들은 각각의 design에 따라 장단점이 있으며 새로운 구조를 갖는 actuator에 대한 연구가 진행되고 있다.

3. 액츄에이터의 분류

Kenji Uchino에 의하면, 압전 및 전왜 액츄에이터(piezoelectric and electrostrictive actuators)를 크게 둘로 분류하였는데, 디바이스에 가해진 구동 전압(driving voltage)의 형태와, 전압에 의해서 유도된 strain의 특성에 의해서이다. 이를 그림3에 나타냈는데 rigid displacement device(리지드 변위 소자)는 가해진 직류 전계에 따라 strain이 단방향으로 유도되

는 것이고, resonating displacement device(공진변위 소자)는 mechanical resonance frequency(기계적 공진 주파수)에서 교류 전계에 의하여 alternating strain(교번 변형)이 유도되는 것을 말한다.

전자에 속하는 것으로는 servo displacement trasducer(서보 변위

변환기) 및 pulse drive motor(펄스 구동 전동기)가 있으며, 후자에 속하는 것으로는 ultrasonic motors(초음파 전동기)가 있다.

특히 서보 변위 소자로 응용되는 분야는 high precision interferometric dilatometer, deformable mirros, microscope stages, precision linear motion guide mechanism, oil-pressure servo valves, VCR head tracking actuators, vibration suppression systems 등이 있고, 펄스 구동 전동기로 응용되는 분야는 swing CCD image sensor, inchworm device, dot-matrix printer heads, ink jet printers, piezoelectric relays 등이 있다.

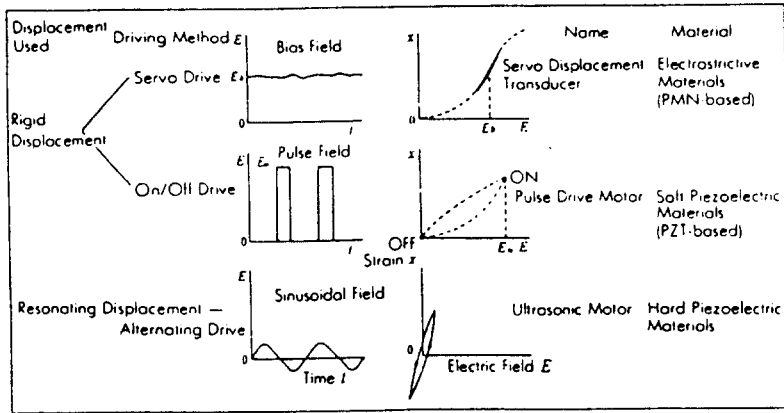


Fig. 3. Classification of piezo electric/electrostrictive actuators

4. 초음파 전동기

바로 앞절에서 설명한 액츄에이터 중 공진변위 (resonating displacement)를 이용한 소자가 초음파 전동기(ultrasonic motors)인데, 그 응용 분야는 매우 넓게 증가할 것이다. 초음파 전동기의 개발역사, 초음파 전동기의 동작원리에 따른 종류 등에 관하여는 전기학회지에서 설명한 바 있으며, 여기서는 고정자 구조에 따른 초음파 전동기의 종류에 대하여 간단히 설명하기로 한다.

우선, 초음파 전동기는 기존의 전자식(electromagnetic type) 전동기와는 그 동작 원리와 구조가 전혀 다른 것인데, 최소한 직경이 수 mm짜리의 초소형 전동기 제작이 가능하기 때문에 앞으로 정보 통신 기기의 동력원으로 사용될 전망이다.

초음파 전동기란 초음파 영역의 전기 입력 신호를 압전 세라믹스(고정자 부분)에 가할 때 발생하는 탄성 진동에 의하여, 적당한 압력으로 접촉되어 있는 슬라이더(회전자 부분)가 회전 운동을 하게 되는 것이다.

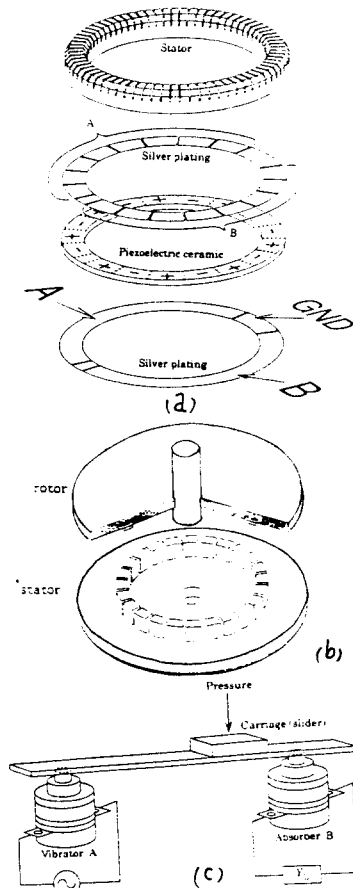


Fig. 4. Typical kinds of ultrasonic motors (a)ring type (b)disk type (c)linear type

고정자 구조에 따른 대표적인 초음파 전동기의 종류에는 링형, 디스크형, 선형 초음파 전동기 등이 있는데 이를 그림4에 나타낸다. 링형(ring type, 또는 원환형) 초음파 전동기는 그림4(a)에 나타낸 것과 같은 구조를 가지고 있는데, 고정자(stator) 제작을 위하여는 압전 세라믹스를 링형태로 가공한 후, 표면을 잘 연마하여 은 전극을 분할하여 만든 후, 분극 처리한 후 양 면에 금속 탄성체를 접착시킨다. 이때 압전 세라믹스에서 발생하는 초음파 진동을 확대하기 위하여 금속 탄성체는 돌극 구조를 갖고 있는 것이다. 그림4(b)는 디스크형(disk type, 또는 원판형) 초음파 전동기의 개략적인 구조를 나타낸 것이며, 원판형의 압전체 위에 홈이 나 있는 금속 탄성체를 접착시켜서 초음파 진동의 최대 변위를 얻을 수 있다. 그림4(c)는 선형(linear type) 초음파 전동기의 개략적인 구조를 나타낸 것이며, 이것은 종파와 횡파가 결합된 진행파에 의하여 탄성체인 전파봉의 표면 입자가 타원 궤도로 진동함으로써 슬라이더가 좌우로 이동을 할 수 있는 것이다.

5. 미국에서의 연구 동향

세라믹스를 이용하여 제작할 수 있는 액츄에이터 분야에 대한 연구는 국내에서는 아직은 생소한 분야라고 생각된다. 그러나 외국에서는 정보 통신 기기 및 군사용에 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔는데, 지난해에 본인이 1년간 연구를 수행했으며, actuator 분야에 탁월한 업적물을 내고 있는 미국 Pennsylvania State Univ.의 Kenji Uchino 교수팀의 연구실에 대하여 소개하고자 한다.

Penn State Univ.의 재료연구소 (Materials Research Laboratory, MRL)는 1962년 Rustum Roy 교수에 의하여 재료 연구를 위한 학제간 연구소로 설립되어 오늘에 이르고 있으며 41명의 교수가 연구소 독립 건물에 속해 있는데, 급속한 발전에 의하여 MRL 연구소 내에는 4개의 연구센터로 분할되어 있다. 즉 ICAT(International Center for Actuators and Transducers), CDS(Center for Dielectric Studies), DRMC(Diamond and Related Materials Consortium), CCBC(Consortium on Chemically Bonded Ceramics)인데, 이 중에서 ICAT은 1992년에 Kenji Uchino에 의하여 설립되었고, 이에 16명의 교수가 포함되어 연구를 하고 있다. 국내에서도 2개의 연구소가 ICAT 회원사로 되어 있으며, 최근 ICAT에서 actuator 분야에 관하여 진행되고 있는 연구 주제는 다음과 같다.

- High electromechanical cou-

pling in relaxor ferro-electrics

- Electronechemical characteristics in various ceramics with vibration-level change using constant current/velocity driving method
- Compact ultrasonic motors
- Windmill ultrasonic motors
- Examination of the domain and phase boundary phenomena using high resolution and high speed CCD camera system
- Photostrictive actuators using PLZT ceramics prepared by coprecipitation method
- Shape memory/phase switching ceramics
- Composite actuators of moonie and cymbal
- Reliability of actuators to improve the life time of the multilayer actuators
- Uniaxial compressive stress dependence of field induced strains for piezoelectric ceramics
- Piezoelectric thin films for MEMS
- Actuator modeling using FEM

6. 결 론

이상에서 설명한 바와 같이 압전 세라믹스를 이용한 actuator와 ultrasonic motors 등의 분야에 대한 연구가 국내에서도 활발히 시작되었으면 하는 바램이고, 21세기의 정보화 시대에는 초소형의 압전 액츄에이터와 초음파 전동기

가 널리 사용될 시기가 올 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. I. Inazaki : Sensor Technology 2, 2, 65 (1982)
2. K. Uchino : Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Kluwer Academic Publishers Inc., Boston. USA. (1997)
3. K. Uchino. Private communication (1998.2)
4. 内野研二 : 壓電/電歪アクチュエータ, 森北出版, 東京, 日本 (1986)
5. 김진수, 이덕출 : 압전 세라믹스에 의한 초음파 전동기의 개발 동향, 전기학회지 46, 9, pp. 23-28. (1997)
6. T. Sashida, T. Kenjo : An Introduction to Ultrasonic Motors, Clarendon Press. Oxford (1993)
7. 임기조, 강문성 : 초음파 모터의 응용, 전기학회지, 43, 7, pp.32-38. (1994).
8. 류주현 외 : 전기학회논문지, 46, 8, 1189-1194. (1997).
9. Jin-Soo Kim and Kenji Uchino : 19th ICAT Smart Actuator Symposium, State College, PA, USA (1996, 10)
10. A. Dogan, K. Uchino et al : Ferroelectrics, 156, 1-6, (1994).
11. K. Uchino et al, Ferroelectrics, 87, 331-334, (1988).
12. B. Koc, K. Uchino et al : JJAP, 35, 8, 4547 - 4549, (1996).

< 김진수 위원 >