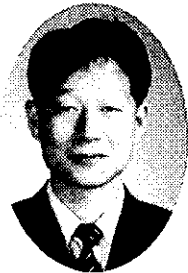
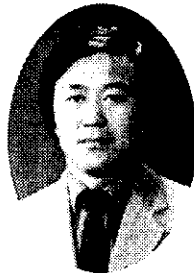


## 고기능성 디바이스로서의 스마트액추에이터



신 광 호

(경성대 정보과학부 전임강사)



사공 권

(동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수)



荒井賢一

(동 대학 전기통신연구소 교수)

### 1. 서 론

최근 정보화사회가 진전됨에 따라 정보통신기기를 구성하는 고기능성 디바이스개발의 필요성이 날로 중요해지고 있다. 이 중에서 마이크로액추에이터는 단순히 힘이나 변위를 발생시키는 기존의 개념을 넘어서 고기능성을 갖게 하는 즉, 스마트화 되어야 할 필요가 생긴 것이다. 여기서 스마트액추에이터(Smart actuators)는 일반적인 스마트시스템(Smart systems)(1)의 일종으로 볼 수 있다.

재료적인 측면에서는 기능성재료의 센싱기능과 액추에이팅기능을 적극적으로 복합적으로 이용하여 고기능성을 창출한다는 개념의 스마트재료(Smart materials)(2-4)의 범주에 속한다고 할 수 있다. 한편 구조적으로는 분산된 액추에이터와 센서, 그리고 신호처리기를 복합화시켜 구조물이 외적인 요소에 대하여 능동적으로 반응하여 최적의 상태를 유지하게 한다는 개념인 스마트구조(Smart structures)(5)의 범주에 속한다. 이러한 개념은 최근 일본에서 연구가 활성화되고 있는 지능재료(Intelligent Materials)(6)와 동일한 발상에서 시작되었다고 할 수 있다.

지능재료라는 개념은 기존 연구에서 수행되어 온 재료를 하드웨어로 보고 정보처리분야, 즉 컴퓨터를 이용하는 것을 소프트웨어로 하여 결합시킨 것으로, 외부의 상황에 대응하여 재료나 구조가 적응한다는 것으로 볼 때, 스마트재료나 스마트구조와 같은

기원의 개념으로 볼 수 있다.

정보처리 기기나 고기능성 장치들이 점차 소형화되어 가고 있고, 기존 디바이스의 한계를 뛰어 넘는 새로운 기능이 요구되고 있다. 또한 기능성디바이스로서의 액추에이터도 소형화되고 보다 정밀한 구동특성을 갖도록 요구되고 있다. 이를 만족시키기 위해서는 단순히 전압신호와 같은 입력을 기계적인 에너지로 변환하는 기능만으로는 액추에이터를 구성하는 재료의 특성(예를 들면 압전체의 히스테리시스나 Creep현상)때문에 기존의 한계를 뛰어 넘는 정밀한 동작을 나타낼 수가 없다. 그러므로 액추에이터 자체에 하이브리드화 되어 있는 검출기능(Sensing function)으로 자체 동작(변위나 힘의 발생)을 보정해 가면서 구동되어야만 한다. 이러한 검출기능과 액추에이팅기능을 동시에 가지는 디바이스를 스마트액추에이터라고 한다.

스마트액추에이터는 자체적으로 변위를 검출하는 센서부분과 힘이나 변위를 발생시키는 액추에이터부분, 그리고 센서부분으로부터의 신호를 처리하여 액추에이터의 동작을 보정하게 하는 신호처리기 부분으로 구성된다.

펜실베이니아 주립대학의 R. E. Newnham(1)이 외부환경에 반응하는 재료를 스마트재료로 정의하고 이에 관한 대부분의 개념들을 생물환경에서 도입하려고 했던 것처럼, 스마트액추에이터도 극단적으로 단순화시킨 동물의 신경·운동체계에 비유될 수 있을 것이다. 즉, 어떠한 외부적인 상황을 신경으로 감지하고 뇌로 처

리하여 근육으로 대응하는 것처럼 스마트액추에이터는 센서부분으로 관련된 외부요소를 감지하고 신호처리기부분으로 처리하여 액추에이터부분에 신호를 전달하면 액추에이터가 이에 적절하게 대응하도록 하는 것이다.

그림 1은 Ampex사에서 개발한 비디오퀴세트용 헤드Positioner(7)로 사용된 스마트액추에이터의 한 예를 나타낸 것이다. 액추에이터의 끝 부분에 전극을 분할하고 인가전압을 역전시켜서 휘어지는 방향을 바꾸는, 즉 S자 형태로 휘어지는 구조로 되어있다. 액추에이터의 전극에 전압신호를 인가함으로써 액추에이터를 구동시키고, 센서전극으로부터 헤드의 위치에 대한 정보를 얻는다. 이 검출된 신호를 제환(Feed back)시켜 정밀한 구동을 실현하는 것이다. 이와 같이 스마트액추에이터는 액추에이터와 센서를 결합시킴으로써 각각의 소자만으로는 구현이 불가능한 고기능성을 얻을 수 있게 된다.

다음은 스마트액추에이터의 구성과 최근의 연구동향 및 전망. 그리고 본 연구그룹에서 초고밀도 저장(Storage)시스템을 구현하기 위해 개발한 정밀구동용 스마트액추에이터에 대하여 소개한다.

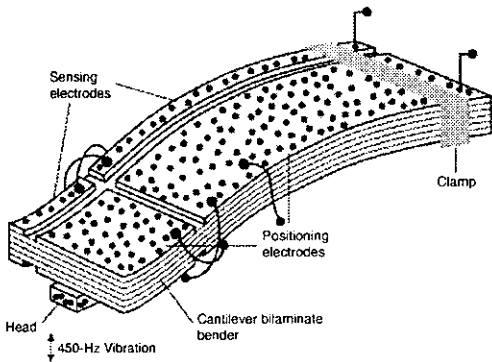


그림 1. 비디오퀴세트용 헤드Positioner에 적용된 스마트액추에이터

## 2. 스마트액추에이터의 구성

스마트액추에이터는 액추에이터부분과 이에 탄성적으로 결합된 센서부분, 그리고 센서에서 검출된 신호를 처리하여 액추에이터에 제어신호를 인가하는 신호처리기 부분으로 구성되어진다.

표 1은 지금까지 제안된 스마트액추에이터의 예를 나타낸 것이다(8-15). 일반적으로 액추에이터는 변위나 스트레인을 발생시켜야 하므로 고체액추에이터(Solid state actuators)가 사용되고, 센서로는 액추에이터에서 발생한 스트레인을 검출해야 하므로 스트레인센서가 사용되고 있다. 신호처리기는 각각의 액추에이터와 센서의 특성과 사용용도에 적합하도록 구성되어지며 시스템적으로 안정화되어야 한다.

### 2.1 액추에이터

스마트액추에이터는 구조가 간단하고 소형화되어야 하므로 기본적으로 스트레인을 발생하는 고체액추에이터(Solid state actuators)가 사용된다. 전형적인 예를 들면 PZT를 대표로 하는 압전체(8-11), PMN과 같은 전액재료, 희토류금속(보통 Tb나 Sm)과 천이금속(보통 Fe)의 합금으로 된 초자재재료를 포함하는 자액재료, 그리고 Ni-Ti로 대표되는 형상기억합금 등이다.

스마트액추에이터용 재료로는 압전체가 가장 많이 사용되며, 전압인가에 의해 스트레인(혹은 스트레스)이 발생된다. 이들 재료는 역으로 스트레인(혹은 스트레스)에 의해 전압이 발생되기도 하므로 액추에이터는 물론 센서부분에 사용되기도 한다. 액추에이터로서 사용될 때 전압인가에 의해 연속적인 동작을 나타내지만 다른 Ferro-materials과 마찬가지로 히스테리시스를 나타낸다. 여기서 Ferro(強)-materials에는 강유전(Ferroelectric), 강자성(Ferromagnetic) 및 강탄성(Ferroelastic)재료가 이 범주에 속한다. 이러한 재료들은 전기장이나 자기장, 혹은 기계적인 스트레스에 의해 움직일 수 있는 분역(Domain)구조를 가지고 있기 때문에 히스테리시스 특성을 나타낸다.

표 2는 스마트액추에이터를 구성하기 위한 액추에이터 재료들의 특성을 비교한 것이다. 일반적으로 압전액추에이터는 페로브스카이트구조를 가지는 세라믹재료로 구성되지만 PVDF(10)와 같은 고분자재료나 세라믹/고분자 복합재료를 이용할 수도 있다. 전액재료는 압전체와 매우 유사하나, 압전체에 비하여 히스테리시스가 거의 없는 구동이 가능하고, 분극처리를 행할 필요가 없는 장점이 있다. 그러나, 일반적으로 변위특성이 비선형이므로 구동을 위해서는 바이어스전압을 필요로 하고, 압전체에 비하여 응답속도가 늦다. 또한 열에 민감하며, 발생력이나 변위가 작다는 단점을 가지고 있다.

최근 K. Nakamura(16)는  $\text{LiNbO}_3$ 기판을 큐리온도 부근의 고온에서 열처리를 행하면 전계의 인가없이 분극이 반전되어 자연적으로 바이몰프형(Bimorph type) 액추에이터가 얻어지는 기구(Mechanism)에 대해 발표하여 주목을 받고 있다. 일반적인 바이몰프형 액추에이터는 접합에 의해 제작되는 데 반해 이 공법에 의해 액추에이터를 제작하면 소형화가 용이하며 기계적으로 우수한 디바이스를 구현할 수가 있다. 그러나  $\text{LiNbO}_3$ 의 압전계수가 다른 압전세라믹·전액재료보다 작으므로 변위가 작다는 단점이 있으나, 큐리온도가 높으므로 열적으로 안정하고, 정전용량이 작으므로 구동전류가 작으며, 유전손실과 기계적인 손실이 작으므로 변위의 드리프트가 작아지는 장점이 있다.

압전체는 전압인가에 대한 변위특성에서 히스테리시스를 나타내므로, 단순히 전압을 인가하는 것만으로 정밀한 위치를 제어한다는 것은 어렵다. 이러한 문제점을 해결하고 선형적인 동작을 얻기 위한 방법으로는 펄스폭변조방식(17), 콘덴서삼입방식(18), 전하구동방식(19), 셀프센싱방식(20), 피드백제어방식(20-21), 액추에이터의 히스테리시스를 3차방정식으로 근사시

표 1. 각종 스마트액추에이터

Actuator	Sensor	Shape	Merits	Demerits
PZT	PZT	Box beam Thin walled beam	High electromechanical coupling factor High sensitivity	Only dynamic operation Low sensitivity in low frequency
PZT	PVDF	Cantilever beam	High electromechanical coupling factor High sensitivity	Only dynamic operation Low sensitivity in low frequency
PZT	Resistive strain sensor	Cantilever beam	High electromechanical coupling factor	Low sensitivity
SMA	Resistive strain sensor	Cantilever beam	High deflection	Low speed Low sensitivity
TiDyFe	Coil	Cantilever beam	Remote excitation	Complex structure Large
Magnetostrictive particle/polymer composite	Resistive strain sensor	Cantilever beam	Remote excitation	Complex structure
PZT	Magnetoelastic strain sensor	Cantilever beam	High electromechanical coupling factor High sensitivity High speed	Narrow sensing limit

표 2. 액추에이터 재료의 특성

Actuators	Mechanism	Free strain [10 <sup>-4</sup> ]	Young's modulus [10 <sup>4</sup> psi]	Band width	Merits	Demerits	Linearity
PZT	Piezoelectric	1000	9	High	High power High efficiency	Brittle	First order linear
PVDF	Piezoelectric	700	0.3	High	Variety of shape	Low power Low efficiency	First order linear
TeDyFe	Magnetostriction	2000	7	Moderate	High power High efficiency Low voltage	Complex structure Eddy current loss	Non linear
NiTi	Shape memory	20000	4 <sup>o</sup> -13	Low	Remote excitation Low efficiency High power High strain	Low speed	Non linear

켜 입력전압을 근사식으로 변환시켜 소자에 입력하는 방식(20-21) 등이 있다.

이 중 펄스폭변조방식은 펄스를 인가함으로써 압전체의 선형 구동을 실현하는 방식으로 제어방식으로서는 우수하다고 볼 수

있다. 그러나 고주파의 펄스를 사용하기 때문에 소자의 내구성을 악화시키거나 발열로 인한 문제를 야기시킬 우려가 있다. 콘덴서 삽입방식은 간단하며 낮은 비용으로 실현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 충분한 효과를 얻기 위해서는 삽입하는 콘덴서의 용

량을 크게 할 수밖에 없으므로, 결과적으로 전압에 따른 액추에이터의 변위감도(변위/전압)를 작게 하는 단점이 있다.

전기구동방식은 압전체의 히스테리시스가 전압에 따라 나타나며, 전하에 대해 선형적이라는 특성을 이용하여 투입전하량에 의해 변위를 제어하는 방식으로, 간단하며 실용성이 높은 방식이라 할 수 있다. 또한 교류구동이나 액추에이터재료의 절연저항이 매우 커서 이상적인 캐패시터로 볼 수 있는 경우에는 매우 유용한 방법이다. 그렇지만 정적인 구동 시에는 투입전하가 액추에이터 내부에서 누설되는 문제점으로 인하여 안정된 제어를 할 수 없게 된다.

액추에이터의 히스테리시스를 3차방정식으로 근사시키는 방식은 입력전압이 단조로운 증가를 반복하는 경우에 유용하다. 그러나 이산적인(Random) 입력전압에 대응하기 위해서는 구동회로가 복잡해지는 경향이 있다. 반면 피드백제어방식은 안정도가 확보되는 경우, 히스테리시스 등의 비선형성이 개선되어 입출력간의 선형화가 얻어진다. 또한 주파수응답의 평활화, 노이즈에 대한 영향이 작아지는 장점을 가지고 있으며, 피드백제어를 위한 센서부에 금속스트레인센서나 반도체스트레인센서를 사용할 수 있다.

셀프센싱방식은 압전체가 구동될 때 발생하는 전압을 검출하여 구동신호에 피드백을 가하는 방식으로 기본적으로는 피드백제어방식과 유사하다. 그렇지만 액추에이터 자체에서 발생하는 전압신호를 변위검출신호로 사용할 수 있으므로 별도로 센서부를 가지지 않는다는 점이 피드백제어방식과 다르다.

위에서 기술한 센서를 직접 액추에이터에 탄성적으로 결합시켜서 변위 혹은 스트레인을 검출하고, 검출한 신호를 신호처리기를 통하여 처리하여 액추에이터의 구동신호로 피드백시키는 것이 스마트액추에이터이다.

스마트액추에이터용 재료로서 형상기억합금(22-25)은 매우 큰 힘과 변위를 발생시킬 수 있기 때문에 매우 매력적이라 할 수 있다. 이 재료는 특정한 온도에서 반복적인 상변화(Phase transformation)를 일으키는 데, 낮은 온도에서 점성변형을 시키고 상변화 온도 이상으로 가열하면 원래의 모양으로 복원되는 것을 이용하여 액추에이터를 구성하거나, 상변화 전후에서 탄성율이 급격히 변화(보통 고온영역의 탄성율은 저온의 영역의 탄성율보다 3~5배정도 높다)되는 것을 이용하여 액추에이터를 구성할 수 있다.

재료를 변형시켜 액추에이터를 구동시키는 방법으로 전류를 흐르게 할 때 발생하는 Joule열을 이용하는 것이 있다. 이는 열에 대한 재료의 반응속도가 빠르지 않으므로 액추에이터의 동작속도가 늦은 단점이 있다. 그러나 열에 대한 액추에이터의 반응속도는 액추에이터의 크기가 작아질수록 빠르게 되므로 형상기억합금을 박막으로 형성시켜 마이크로액추에이터를 구성하면 경우에 따라서는 이러한 문제점이 해결될 수가 있을 것이다.

최근 각광을 받고 있는 초차액재료(26-29)는 미국 해군전략연구소의 A. E. Clark박사를 중심으로 발명된 이후, 1970년대 초반부터 세계각국의 연구자들에 의해 활발히 연구되고 있다. 이

재료는 자계의 인가에 의해 철계 전이금속에 비하여 약 100배의 큰 변위를 나타내며, PZT에 비해서도 수배 이상의 변위를 나타낸다. 그러나 이들은 자계에 대한 변위특성에 히스테리시스가 나타나는 점과 자계 인가를 위한 코일시스템과 자기회로의 저항을 낮추기 위해 리턴패스(Return path)를 사용해야 하므로 구조가 복잡해지고 소형화가 어려운 단점이 있다.

결과적으로 액추에이터로서의 성능은 발생하는 스트레인 또는 스트레스, 대역폭, 동작속도 등으로 평가되며 선형구동성, 온도에 대한 안정성, 기계적인 강도, 밀도, 효율 등을 고려하여야 한다.

## 2.2 센서

스마트액추에이터는 동작신호를 자체적으로 검출하여 구동용 제어신호로 사용하므로 액추에이터의 변위 검출을 위한 센서부분은 필수적이다. 액추에이터의 변위나 스트레인을 검출하기 위해서 비접촉식 센서를 사용할 수도 있다. 그러나, 디바이스의 소형화나 구조의 단순성, 응답속도 등을 고려하면 탄성적으로 결합시켜서 변위에 수반되는 액추에이터의 스트레인 변화를 검출하는 방법이 스마트액추에이터를 구성하는 관점에서 매우 유리하다고 볼 수 있다.

표면의 스트레인을 측정하는 센서로는 스트레인에 의해 전기저항이 변화하는 금속스트레인센서가 많이 사용되고 있다. 금속스트레인센서(30)는 금속선이나 금속박막의 형상이 스트레인에 의해서 변화될 때 전기저항의 변화를 이용하는 것으로 감도가 나쁘고, 보통 고배율의 증폭기를 함께 사용하기 때문에 응답속도가 늦은 단점이 있다. 이 센서의 성능지수(단위스트레인당 저항의 변화)는 약 2 정도이므로 액추에이터의 스트레인이  $10^{-5}$ 이인 정밀구동이 필요한 경우와 고속동작이 필요한 경우에는 이를 사용하기가 어렵다.

표 3은 스마트액추에이터 구성용 각종 스트레인센서들의 특성을 요약한 것이다.

고감도 스트레인 센서로 알려진 반도체스트레인센서(31)는 성능지수가 약 200정도로 금속스트레인센서의 약 100배에 가까운 고감도를 나타낸다. 그러나 온도특성이 불안정하고 구조가 복잡하며 제작이 어려운 단점을 가지고 있다. 한편 압전필름을 스트레인 센서로 이용하려는 제안이 보고된 바 있다.(32-33) 이 경우 비교적 높은 감도를 얻을 수 있으나, 감도가 주파수에 비례하게 되므로 저주파수 혹은 정전적 스트레인의 특성측정의 어려움이 있다.

최근 본 연구그룹은 철계아몰퍼스 자왜재료(a-FeCoSiB)의 자기기계결합계수가 매우 높고 거의 이상적인 연자성을 나타낸다는 점과 전도성자성체에 고주파전류를 흘리면 그 자기적인 특성에 따라 고주파임피던스가 급격히 변화될 수 있다는 점에 착안하여 자기탄성스트레인센서를 제안하였다.(34-36) 자기탄성스트레인 센서는 그 성능지수(단위 스트레인당 고주파임피던스의 변화)가 무려 2000정도이며, 구조가 간단하다. 또한 소형화나 제작이 용이하며, 고주파캐리어를 사용하므로 응답속도가 빠르다. 반면 스

표 3. 각종 스트레인 센서의 특성

Sensors	Sensitivity	Free strain [10 <sup>-6</sup> ]	Size [mm]	Band width	Merits	Demerits
Resistive strain	$F \approx 2$	1000	0.2	0~acoustic	Wide band width	Low sensitivity
Semiconductor strain sensor	$F \approx 200$	700	0.8	0~acoustic	High sensitivity	Thermal problem Complex structure
Magnetostrictive strain sensor	$F \approx 2000$	2000	0.2	0~100MHz	High sensitivity	Narrow bandwidth
Piezoelectric film sensor	Depended on freq.	20000	0.8	0.1~GHz	High sensitivity	Low sensitivity in low freq.

트레인에 대한 출력전압의 선형성이 수백ppm정도의 좁은 영역에서 얻어지는 단점이 있으나, 정밀구동용 스마트액추에이터를 구성하는 경우에는 문제가 되지 않는다.

### 3. 초고밀도 저장시스템의 구현을 위한 스마트액추에이터

정보화사회가 급속히 발전되어 감에 따라 컴퓨터에서 다루는 정보도 문자나 수치정보에서 음성이나 영상정보 위주로 전환되어 가고 있다. 따라서 하드디스크를 중심으로하는 정보저장장치의 용량도 급속히 증가되어야 하는 실정이다. 이러한 요구에 부응하여 일본에서는 차세대 하드디스크의 개발을 목적으로 1998년도 부터 "초고밀도 정보저장 부품"에 대한 연구를 지역혁신사업연구 개발사업[신에너지산업기술종합개발기구의 프로젝트]의 일환으로 수행하고 있다.

이 연구는 하드디스크를 구성하는 핵심기술인 메카서보기술, 기록매체, 기록재생헤드 등의 각 분야에서 괄목할 만한 성과를 올리고 있는 산·학·연의 11개의 연구그룹들이 긴밀히 연계하여 현행기술의 한계를 극복하는 신기술을 개발하여 차세대의 초고밀도하드디스크를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 연구에서는 하드디스크의 기록밀도를 높이기 위하여 헤드와 기록매체 사이의 간격을 약 10nm정도로 유지하면서, 디스크가 10,000rpm이상으로 고속으로 회전할 때 충돌로 인하여 헤드나 매체가 손상되지 않도록 하는 액추에이터의 개발을 연구목표의 하나로 하고 있다. 본 연구그룹이 제안한 고속·정밀구동용 스마트액추에이터의 적용을 검토한 바 있었다.

본 연구그룹에서 제안한 스마트액추에이터는 PZT를 액추에이터로 사용하였고, 센서로는 자기탄성스트레인센서를 사용하였다. 그 결과 자기탄성스트레인센서가 급속스트레인센서에 비하여 약 1,000배나 높은 성능지수를 얻을 수 있었고, 동시에 고속응답특성도 나타내었으며[34-36], 약 30nm정도의 정밀도로 구동되었다.[37]

그림 2에 본 연구그룹에서 구성한 스마트액추에이터의 블록도 이어그램을 나타내었다. 실리콘기판 상에 스파터링으로 형성시킨

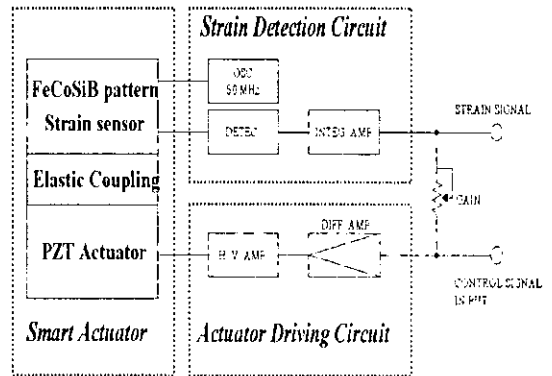


그림 2. 스마트액추에이터의 블록도

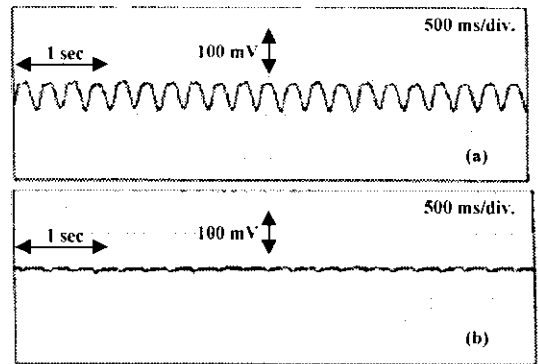


그림 3. 스마트액추에이터를 이용한 회전시각 실험 결과: (a)open loop, (b)close loop.

아몰퍼스상의 FeCoSiB박막을 포토리소그래피를 이용하여 미안더패턴으로 가공하여 자기탄성스트레인센서를 제작하였다. 제작한 센서를 PZT 액추에이터와 접합시키고 스트레인 검출회로와 액추에이터구동회로를 장착하여 스마트액추에이터를 제작하였다.

그림 3은 하드디스크 회전시각장치를 이용하여 디스크회전시

의 헤드와 디스크의 접촉실험을 실시한 결과를 나타낸 것으로, 제작한 스마트액추에이터를 외팔보(Cantilever)형태로 고정시키고 끝 부분에 헤드를 장착하여 회전하는 디스크에 접촉시켰을 때, 스마트액추에이터의 센서에서 발생하는 전압을 측정할 것이다. 이 전압은 헤드에 걸리는 부하를 나타내는 것으로 그림에서와 같이 Open loop로 동작시킬 때에는 전압이 약 70mV, Close loop로 동작시킬 때에는 전압이 약 18mV로 측정되었다. 이 결과로서 스마트액추에이터의 센싱기능을 능동적으로 이용함으로써 헤드에 걸리는 부하를 대폭 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 연구동향 및 전망

Scientific American에서는 스마트재료와 스마트액추에이터를 21세기의 핵심기술의 하나로 지목하였다[38]. 이러한 현실을 감안하여 Michigan대학에서는 Smart Materials and Structures라는 Course를 만들어 교육을 실시하고 있다. 그 요목(Syllabus)을 보면 압전재료와 전액재료, 형상기억합금, 자액재료 등의 스마트액추에이터를 구성하기 위한 재료, 이러한 재료들을 이용한 액추에이터와 이와 관련한 센서들, 그리고 진동이나 형상의 제어에 관련한 내용으로 구성되어 있다. 이는 스마트재료와 스마트액추에이터에 대한 최근의 진보와 비전을 반영한 것으로 볼 수 있다.

기존의 액추에이터로 구현이 불가능한 정밀구동이나 외부요소에 대하여 신속하게 대응하여 동작하는 스마트액추에이터에 대한 연구는 주로 미국의 군사분야의 응용에서 활성화되었다. 1970년 후반경 항공기의 날개와 같이 유체에 의해 진동되는 구조를 안정화시키는 데에 응용될 수 있음이 알려진 뒤부터 주목을 받기 시작하였다. 그 후 항공기의 날개나 헬리콥터의 Rod blade에서 발생하는 진동을 억제하여 구조적인 피로를 줄이고 재료에 가해지는 부하를 최소화하려는 데 응용되기도 했다.

1990년대 초부터 스마트재료의 응용을 목적으로 하는 학술연구센터가 미국, 캐나다, 일본, 유럽에서 발족되어, 현재에는 수십 개의 회사들이 스마트재료나 스마트액추에이터에 관련한 새로운 분야의 응용에 대한 연구를 동시 다발적으로 진행하고 있다.[39] 한 예로 TOYOTA에서는 두 종류의 다층형 압전세라믹을 각각 액추에이터와 센서로 이용하는 스마트액추에이터를 이용하여 자동차의 충격을 흡수하는 장치를 개발하였다. 이는 센서로 검출된 진동신호는 신호처리를 통하여 분석된 후 액추에이터에 피드백되어 자동차에 충격이 최소화되도록 액추에이터가 동작하는 장치이다.

W. B. Spillman(40)은 댐핑을 기대할 수 없는 무중력상태에서 사용되는 위성중계기의 구조를 제어하기 위하여 스마트액추에이터의 사용을 제안하였다. 무중력상태에서는 중력이나 공기에 의한 댐핑이 작용하지 않기 때문에 진동이 억제되고 능동적으로 위치를 제어하는 것이 중요한 기술이 될 수 있다. 이를 위해 광파이버센서를 이용하여 진동을 검출하고 내장된 신호처리기로 해석

하여 액추에이터를 동작시켰다.

지금까지 스마트액추에이터는 항공분야나 자동차, 기계구조 등의 능동적인 진동제어나 구조의 안정화를 위한 분야에서 주로 응용되어 왔다. 향후에는 보다 다양한 분야에서의 응용연구가 더욱 활성화될 것이다. 특히, 하드디스크의 헤드위치제어[41]와 같이 Nano order(nm)의 정밀구동을 필요로 하는 분야에 응용될 것으로 예상된다. 아울러 MEMS분야의 거의 모든 시스템에서 필수적인 핵심소자인 마이크로액추에이터도 단순한 소형화에 초점을 맞출 것이 아니라 고기능성을 가지게 하기 위해서는 스마트화가 진행되어야 할 것이다.[42]

#### 참고문헌

- [1] Robert E. Newnham and Gregory R. Rusch : J. Ame. Cer. Soc., 74(3), pp. 463~480, 1991.
- [2] P. F. Gobin, G. Guenin, M. Morin, M. Salvia and J. Tatibouet : J. Intel. Sys. and Struct., 7, pp. 353~357, 1996.
- [3] The Science and Art of Smart Materials: M. Kemp. Mat. World 2 (12) pp. 632~633, 1994.
- [4] J. Hodgkinson : Materials World 1 (8), pp. 449~450, Aug. 1993.
- [5] Robert G. Loewy : Smart Mat. Struct., 6, pp. R11-R42, 1997.
- [6] Toshinori Takage : I<sup>st</sup> European Cong. on Smart Struct. and Mat., Glasgow, pp. 13-18, 1992
- [7] Robert E. Newnham and Ahmed Amin : Chemtech, 29(12), pp. 38~46, 1999.
- [8] M. Anjanappa et al : Smart Mar. Struct., 3, p. 383, 1994.
- [9] M. Anjanappa et a : Smart Mat. Struct., 6, p. 393, 1997.
- [10] C. E. Seeley et al. : Smart Mat. Struct., 2, p. 135, 1993.
- [11] S. Na et al. : Smart Mat. Struct., 7, p. 833, 1998.
- [12] S. Sherrit et al : SPIE, 3321, p. 104, 1998.
- [13] S. W. Rhee et al. : Smart Mat. Struct., 2, p. 104, 1994.
- [14] K. H. Shin, K. Imamura, M. Inoue, and K. I. Arai : J. of the Mag. Soc. of Jap., 24(4-2), pp. 975~978, 2000.
- [15] K. H. Shin, K. Imamura, M. Inoue, and K. I. Arai : J. of the Mag. Soc. of Jap., 23(4-2), pp. 1661~1664, 1999.
- [16] K. Nakamura and K. Yamada : Proc. of MRS Fall Mtg Symp.

17. K. Uchino : 壓電電歪Actuator, p. 132, 1995.

[18] H. Kaizuka and B. Siu : Jpn. J. Appl. Phys., 27(5), p. L773, 1993.

[19] C. V. Newcomb and I. Flinn : Electronics Lett., 18(11), p. 442, 1982.

[20] Z. Jiang and S. Chonan, T. Yamamoto and Y. Fuda : J. Jpn. Soc. of Mech. Eng., 64(617), pp. 149~155, 1998.

[21] Z. Jiang and S. Chonan, T. Yamamoto and Y. Fuda : J. Jpn. Soc. of Mech. Eng., 60(580), pp. 189~196, 1995.

[22] B. J. Pokines et al. : Smart Mater. Struct., 7, p. 105, 1998.

[23] P. Krulevitch et al. : J. Microelectromechanical System., 5, p. 270, 1996.

[24] R. G. Loewy : Smart Mat. Struct., 6, p. R11, 1997.

[25] J. K. Lee et al. : Ferroelectrics, 32, p. 93(1981), p. 21-29, 1994.

[26] A. Clark : Appl. Phys. Lett., 11, p. 642, 1973.

[27] A. E. Clark and H. Belson : AIP Conf. Proc., No. 5, p. 1498, 1972.

[28] A. E. Clark and H. Belson : Phys. Rev., B5, p. 3642, 1972.

[29] A. E. Clark and H. Belson : IEEE Trans. Mag. MAG-8, p. 477, 1972.

[30] 渡辺 理 : ひずみゲージとその應用, 日刊工業新聞社, p. 14, 1968.

[31] 渡辺 理 : ひずみゲージとその應用, 日刊工業新聞社, p. 127, 1968.

[32] S. Webster et al : Sensors and Actuators, A49, p. 61, 1995.

[33] A. S. Fiorillo : Sensors and Actuators, A41, p. 406, 1994.

[34] K. H. Shin, M. Inoue and K. I. Arai : J. Appl. Phys., 85(8) pp. 5465~5467, 1999.

[35] K. H. Shin, M. Inoue and K. I. Arai : J. Mag. Soc. of Jap., 23(4-2), pp. 1425~1428, 1999.

[36] K. H. Shin, M. Inoue and K. I. Arai : The Trans. of the Inst. of Elect. Eng. of Jap., 120-A(3), pp. 295~399, 2000.

[37] K. H. Shin, K. Imamura, M. Inoue and K. I. Arai : J. of the Mag. Soc. of Jap., 24(4-2), pp. 975~978, 2000.

[38] Scientific American, 1999.

[39] Franklin Hoke : The Scientist, Vol.6, No.9, p. 13,

April 27, 1992.

[40] W. B. Spillman : Proc. of the 1<sup>st</sup> European Conf. on Smart Struct. and Mat., pp. 97~113, 1992.

[41] Y. Soeno, S. Ichikawa, T. Tsuna, Y. Sato and I. Sato : IEEE Trans. Mag., 35(2) pp. 983-987, 1999.

[42] B. J. Pokines and E. Garcia : Smart Mat. Struct., 7, pp. 105~112, 1998.

## 저 자 약 력

**성명 : 신 광 호**

**❖ 학 력**

1993년 동아대 공대 전기공학과 졸업.

1995년 동 대학원 졸업(석사).

1999년 Tohoku대학(공학박사).

**❖ 경 력**

2000년 삼성종합기술원 MEMS LAB 전문연구원

2000년 9월-현재 경성대학교 정보과학부 전임강사

**성명 : 사공 건**

**❖ 학 력**

1968년 영남대 공대 전기공학과 졸업.

1973년 1986년 동 대학원(공학박사).

**❖ 경 력**

1983년-1985년 The Penn. State Univ.,  
MRL(Visiting Scientist)

1993년 일본 동경공업대학(객원연구원),

1994년 The State Univ. of New Jersey(Visiting  
Scientist),

1997년-1998년 Virginia Tech.(Visiting Professor)

1979년-현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수

1998년-현재 본학회 부산경남울산지부장

**성명 : 荒井賢一**

**❖ 학 력**

1966년 Tohoku대학 전자공학과 졸업

1971년 동 대학 대학원 공학연구과 (공학박사)

**❖ 경 력**

1974년 동 대학 전기통신연구소 助手

1975년 동 대학 조교수

1986-현재 동 대학 교수