

# 1자유도의 압전 액추에이터를 위한 IEEE 1451.4 TEDS 제안

## The Proposal of IEEE 1451.4 for Piezoelectric Actuator of 1 degree of Freedom

김 정 도, 정 우 석\*, 김 동 진, 홍 철 호

(Jeong-Do Kim, Woo-Suk Jung, Dong-Jin Kim, and Chul-Ho Hong)

**Abstract :** It is important to define a standard method to store basic sensor information, such as the type and the structure for an piezoelectric actuator and there is no such method defined in the IEEE 1451.4 transducer electronic data sheet (TEDS) so far. The major challenge is to choose a suitable standard template that can be used with actuators for piezoelectric devices. In this paper, we propose a new template TEDS and the structure of interface for IEEE 1451.4 for piezoelectric actuators.

**Keywords :** IEEE 1451, piezoelectric actuator ultrasonic, TEDS

### I. 서론

초음파 액추에이터는 기존의 전자기식 모터와는 달리 철심과 코일이 없는 새로운 형태의 액추에이터이다. 초음파 액추에이터는 1973년 H.V. Barth에 의해 처음으로 제안된 이후, 구 소련에서 활발한 연구가 시작되어서 일본을 중심으로 본격적으로 연구, 개발이 시작 되었다[1].

1980년 T.Sashida는 처음으로 실용화에 가까운 진동편형 초음파 모터를 제안 하였으며, 1982년에 접촉면에서의 마찰 문제를 해결한 진행파형 초음파 모터를 제시하였다[2]. 그 후로 많은 연구가들에 의해 연구, 개발, 해석이 급속하게 진전되어 리니어 모터가 개발되었으며, 또한 카메라 등에 적용 가능한 리니어형 초음파 액추에이터가 개발되어 현재 상용화가 진행 중에 있다[3]. 또한 초음파 액추에이터의 진동을 이용한 cutter가 개발된 바 있으며, 촉감장치의 개발도 활발히 진행되고 있다. 특히 압전 초음파 액추에이터를 이용한 촉감장치의 경우, 다른 장치에서 표현하지 못하는 다양한 촉감의 표현이 가능한 것으로 알려져 있다.

초음파 액추에이터의 장점은 전자기식 액추에이터나 모터와는 달리 소음이 없고, 전자파 및 자계에 대한 영향이 없으며, 저속/고토크 특성을 가지고 있어 감속기어를 사용하지 않고 직접 구동 방식이 가능하며 백래쉬가 없다. 또한, 큰 홀딩 토크를 가지고 있어 정지 브레이크로 사용 가능하다. 가장 중요한 특징으로는 응답속도가 매우 빠르며 정밀제어가 가능하다[2]. 또한 기구적 설계에 따라 다양한 형태의 액추에이터 설계가 가능하다는 장점을 가진다.

이러한 장점에도 불구하고 압전 초음파 액추에이터가 상용화에 성공하지 못하는 이유가 존재한다

대표적인 이유로는 전자기식 액추에이터에 비해 입력에 대한 속도 변화가 상당한 비선형성을 가지며, 또한 오랜 시간동안 지속적으로 구동하면 세라믹의 온도가 변화하여 특성에 변화를 줄 수 있다는 단점을 가진다. 또한 기존 전자기

식 액추에이터가 같은 모델끼리 비슷한 동작 특성을 가지는데 비해, 압전 액추에이터의 경우 제조 시 압착의 차이에 약간씩 다른 동작을 가지게 된다.

이러한 초음파 액추에이터의 단점을 극복할 수 있는 방법은 무엇인가?

본 연구에서는 이 문제의 대안으로 액추에이터를 지능화할 것을 권고한다. 현재 센서와 액추에이터의 스마트화를 위한 표준인 IEEE 1451이 제정 중에 있다.

IEEE 1451 표준은 1993년 9월부터 표준화 작업이 시작되어, 현재 IEEE 1451.0부터 IEEE 1451.6까지 표준안이 출판되었거나 작업 중에 있다. 표준의 제목은 “A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuator”로서 네트워크와 트랜스듀서 간의 표준 인터페이스를 규정한다. 즉, 센서나 구동소자업체는 연결될 네트워크의 종류나 연결구조에 상관없이 오직 표준 인터페이스만 제공하면 되고, 네트워크의 입장에서는 연결될 트랜스듀서의 종류에 상관없이 공통 인터페이스를 통해 정보를 취득하고 제어 할 수 있게 하자는 것이다. 또한, 센서 자체에 TEDS(Transducer Electronic Data Sheet)라 불리는 센서 고유의 데이터시트를 포함시킨다. 이러한 표준을 지원하는 액추에이터를 기존의 센서와 구별하여 smart actuators라고 부른다[3,4].

압전 초음파 액추에이터의 경우는 특히 표준인터페이스와 스마트화를 위해 IEEE 1451을 반드시 적용할 필요가 있다. 압전 초음파 액추에이터의 경우, 같은 종류라 하더라도 약간씩 다른 특성의 차이를 가지기 때문에 액추에이터마다 자체의 TEDS를 칩에 내장하여 사용자가 쉽게 정보에 접근할 수 있도록 하여야 한다. IEEE 1451은 플러그 앤 플레이 기능을 제공하여 칩에 내장된 데이터 시트의 내용을 항상 파악할 수 있다는 장점 또한 제공하고 있다. 또한 입력조건(주파수, 위상 및 온도)에 따라 동작 특성의 비선형 문제는 캘리브레이션 정보를 TEDS에 포함시킴으로써 해결할 수 있다.

본 연구에서는 압전 초음파 액추에이터에 IEEE 1451.4를 적용하기 위한 표준 MMI를 제공하며, 압전 초음파 액추에이터의 정보를 저장하는 TEDS에 대하여 설계한다. 특히, 초음파 액추에이터의 단점을 극복하기 위하여 동작 특성의 다양성이 캘리브레이션 TEDS 내에 포함되며, 플러그 앤 플레이

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 19., 채택확정 : 2007. 8. 19.

김정도, 정우석, 김동진, 홍철호 : 호서대학교

(jdkim@hosoc.edu/wsujung@control.hoseo.ac.kr/djkim@hoseo.edu/ehong@hoseo.edu)

시에 현재 액추에이터의 총 동작시간을 파악할 수 있는 기능을 포함하였다. 이미 표준화된 IEEE1451.4의 경우 다양한 종류의 센서와 액추에이터에 대하여 접근 가능한 방법을 제시하고 있으나, 압전 초음파 액추에이터를 위한 표준은 제시되지 않고 있는 실정이다. 1자유도로 동작하는 대부분의 압전 초음파 액추에이터를 대상으로 하며, 로터리모터, 리니어 모터 및 진동 장치 등이 이에 해당한다.

**II. IEEE 1451.4 TEDS**

IEEE 1451.4는 아날로그 센서들에 플러그 앤 플레이 기능을 추가한 표준으로 2004년에 제정되었다. IEEE 1451.4 TEDS 정보는 스트링 매개변수, 교정 및 센서 벤더 등의 정보를 디지털 방식으로 EEPROM에 저장함으로써 문서화된 센서 데이터시트를 제거할 수 있고, 센서 구성을 단순화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 센서의 정보와 센서로부터 입력되는 정보는 MMI를 통해 연결되며, 아날로그 및 디지털 모두 연결이 가능하다[5]. MI를 통해 입력된 TEDS 정보는 TEDS 관독기를 이용하여 분석하고, 분석된 TEDS 정보와 센서에서 입력되는 정보는 NCAP을 통해 네트워크로 접속해 원격지로 데이터를 전송한다. IEEE 1451.4는 플러그 앤 플레이 기능을 가지고 있어, 이를 지원하는 소프트웨어 및 하드웨어를 이용하면 비전문가도 센서를 쉽게 시스템에 연결할 수 있다. IEEE 1451.4의 시스템 구조를 그림 1에 나타내었다.

IEEE 1451.4의 TEDS는 IEEE 1451.2에서 제안된 TEDS와는 다르다. 1376bit보다 적은 최대 320bit만 필요함으로 메모리 소모가 적다.

TEDS 정보는 기본 TEDS(basic TEDS), 표준 템플릿 TEDS (standard template TEDS), 캘리브레이션 TEDS 템플릿(calibration TEDS template), 사용자 데이터(user data) 영역으로 나눌 수 있다. 기본 TEDS에는 센서에 대한 제조사(manufacturer) ID, 모델 번호(model number), 버전 레터(version letter), 버전 번호(version number), 일련 번호(serial number)를 포함되며, 표준 템플릿 TEDS는 센서나 액추에이터의 중요한 특성인 센서타입, 선세의 감도, 측정범위, 대역폭 등이 기록된다. 그리고 캘리브레이션 TEDS 템플릿은 마지막 캘리브레이션 날짜, 교정 엔진 계수(correction engine coefficients) 등을 포함한다. 다시 말하면 TEDS는 센서를 이용하는데 필요한 것을 포함한다. 표 1은 IEEE 1451.4 표준 TEDS를 보여주고 있다.

기본 TEDS는 IEEE 1451.4 TEDS의 처음 64bit이며, 비휘발성 메모리에 저장되어야 한다. 센서 및 액추에이터의 제조사 및 제품 정보 등이 기록되어 있다. 표 2는 기본 TEDS를 나타내었다. 여기서 제조사 ID는 아스키 파일 형태로 IEEE 표

준화 위원회에서 할당하고 관리한다. 그 외 나머지는 제조사 재량으로 할당하여 사용할 수 있다.

표 1. 표준 TEDS.

Table 1. Standard TEDS.

Basic TEDS (64bits)
selector (2bits)
Template ID (8bits)
Standard Template TEDS (ID = 25 to 39)
Selector (2bits)
Template ID (8bits)
Calibration TEDS Template (ID = 40 to 42)
Selector(2bits)
Extended End Selector (1bit)
User Data

표 2. 기본 TEDS.

Table 2. Basic TEDS.

	Bit Length	Allowable Range
Manufacturer ID	14	17 - 16381
Model Number	15	0 - 32767
Version Letter	5	A - Z (data type Chr5)
Version Number	6	0 - 63
Serial Number	24	0 - 16777215

표 3. IEEE 1451 표준 템플릿.

Table 3. IEEE 1451 standard template.

Type	Template ID	Name of Template
Transducer Type Template	25	Accelerometer & Force
	26	Charge Amplifier (include attached accelerometer)
	27	Microphone (built-in preamplifier)
	28	Microphone with built-in preamplifier
	29	Microphones (capacitive)
	30	High-Level Voltage Output Sensors
	31	Current Loop Output Sensors
	32	Resistance Sensors
	33	Bridge Sensors
	34	AC Linear/Rotary Variable Differential Transformer (LVDT/RVDT)
	35	Strain Gage
	36	Thermocouple
	37	Resistance Temperature Detectors (RTDs)
Calibration Template	38	Thermistor
	39	Potentiometric Voltage Divider
	43	Charge amplifier template (include attached fore transducer)
	40	Calibration Table
	42	Frequency Response Table

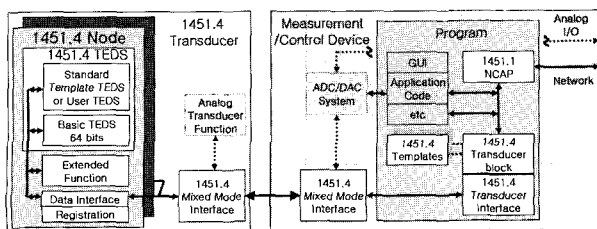


그림 1. IEEE 1451.4 데이터시스템 구조.

Fig. 1. Structure of IEEE 1451.4 Data system.

표 3은 표준 템플릿 TEDS를 나타내었다. 표준 템플릿 TEDS는 센서의 일반적인 분류를 통해 템플릿 ID를 정의한다. 템플릿 ID 25-39는 특정한 종류의 센서에 필요한 성질을 포함한다. 템플릿 ID 40-42는 캘리브레이션 템플릿이다. 각각의 템플릿 ID는 센서의 종류, 센싱 회로의 구성, 출력신호, 동작 온도 등에 따라 분류한다. 분류된 템플릿 ID는 각각 센서들의 센싱을 위한 출력신호의 레벨, 신호의 단위, ADC의 분해능 등이 기술되어 있다.

III. IEEE 1451.4 적용을 위한 PUA의 분류

1. PUA의 구조적 분류(1자유도를 대상)

초음파 액추에이터는 동작형태에 따라 크게 로타리 타입, 리니어 타입과 진동타입의 세가지로 분류할 수 있다. 이외에 각도가 출력되는 형태가 존재하는데, 대부분 다 자유도를 가진다. 하지만 본 논문은 1 자유도의 초음파 액추에이터를 대상으로 하기 때문에 이에 대한 논의는 배제한다.

그림 2(a)는 로타리 형태의 초음파 액추에이터를, (b)는 shaking beam 형태의 리니어형 초음파 액추에이터를, (c)는 the radial mode of bimorph를 이용하는 리니어형 액추에이터를[8], (d)는 압전 진동현상을 이용하는 초음파 cutter를 보여주고 있으며 (e)는 압전 진동현상을 이용하는 tactile display device를 보여주고 있다.

2. PUA의 구동방법

초음파 액추에이터를 구동하기 위해서는 높은 진폭을 가진 두개의 사인파가 인가되는 것이 보통이다. 하지만 반드시 사인파가 인가되어야 하는 것은 아니다.

Bimorph의 radial mode를 사용하는 초음파 액추에이터의 경우에는 일종의 톱니파가 인가되는 것이 보통이다. 초음파 액추에이터를 구동제어하는 방법은 크게 세가지로 구분되는데, 주파수제어, 위상제어와 진폭제어가 사용된다. 이 중에서 주로 진폭제어의 경우는 나머지 두 개에 비해서 거의 사용되지 않는다. 어떤 경우에는 각 구동방식을 결합하여 사용하기도 하지만 구동회로의 복잡성 때문에 크게 선호되지는 않는다.

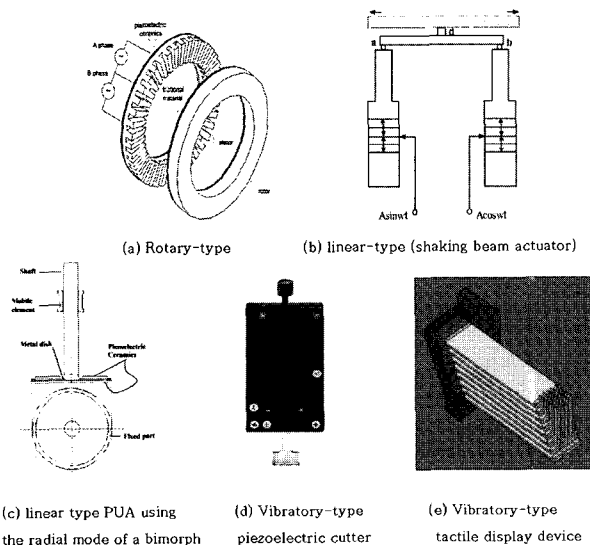


그림 2. 다양한 PUA의 구조.  
Fig. 2. Variable structure of PUAs.

3. PUA에서 IEEE 1451.4의 필요성

초음파 액추에이터의 장점은 전자기식 액추에이터나 모터와는 달리 소음이 없고, 전자파 및 자계에 대한 영향이 없으며, 저속/고토크 특성을 가지고 있어 감속기어를 사용하지 않고 직접 구동 방식이 가능하며 백래쉬가 없다. 또한, 큰 홀딩 토크를 가지고 있어 정지 브레이크로 사용 가능하다. 가장 중요한 특징으로는 응답속도가 매우 빠르며 정밀제어가 가능하다. 또한 기구적 설계에 따라 다양한 형태의 액추에이터 설계가 가능하다는 장점을 가진다. 이러한 장점에도 불구하고 압전 초음파 액추에이터가 적용에 제한적이며 상용화에 성공하지 못하는 이유는 무엇이며 대안은 무엇인가?

첫번째 이유로는, 전자기식 액추에이터에 비해 입력에 대한 속도 변화가 상당한 비선형성을 가진다. 그림 3은 2개의 초음파 액추에이터의 구동주파수-속도 특성의 비선형성을 보여주고 있다. 초음파 액추에이터가 상당한 비선형 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한, 그림 4은 두 개의 액추에이터의 구동 주파수-속도 특성이 서로 다르다는 것을 보여주고 있다. 이 비선형성을 사용자가 보상하여 사용하게 하기 위하여 각 액추에이터가 가지는 구동주파수에 대한 속도의 변화를 다항식으로 표시하여 사용자에게 제시할 필요가 존재한다. IEEE 1451.4에서는 캘리브레이션 TEDS를 통해 이러한 비선형곡선에 대한 다항식을 정의할 수 있으며, 이를 메모리에 저장하여 사용자에게 캘리브레이션을 위한 정보를 제공하는 것이 가능하다.

두 번째 이유로는, 기존 전자기식 액추에이터는 같은 모델끼리 비슷한 동작 특성을 가지는 데 비해, 압전 액추에이터의 경우 제조 시 압착의 차이 때문에 약간씩 다른 동작을 가지게 된다.

그림 4는 표준 임피던스 분석기로부터 측정된 액추에이터의 캐패시터와 공진 주파수 간의 특성을 보여주고 있다. 그림으로부터 두 액추에이터의 주파수 구간과 동작대역이 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 각각의 모터의 동작 주파수 구간을 캘리브레이션 TEDS에 의해 제공하고, 플러그 앤 플레이 기능을 통해 사용자에게 제시하여야 한다.

세번째 이유로는, 초음파 액추에이터는 오랜 시간동안 지속적으로 구동하면 세라믹의 온도가 변화하여 특성에 변화

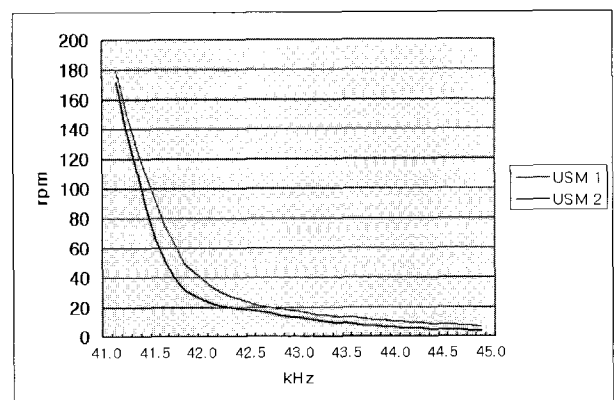


그림 3. PUA의 비 선형성.  
Fig. 3. The nonlinear characteristic.

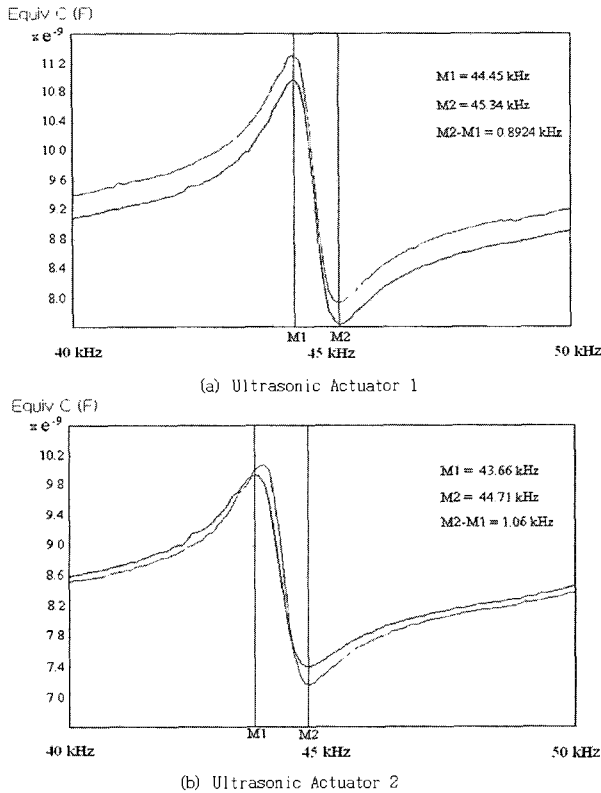


그림 4. 두 초음파 액추에이터의 주파수 특성.  
Fig. 4. Frequency characteristics of two PUAs.

를 줄 수 있다는 단점을 가진다.

이러한 온도 보상문제 역시 캘리브레이션TEDS를 통해 사용자에게 제공되어야 한다. 위에서 언급한 것과 같이, IEEE 1451.4의 TEDS는 초음파 모터가 가지는 문제점에 대한 해결 방안을 사용자에게 제공할 수 있게 한다.

이러한 필요성 이외에, 세라믹의 압착을 사용하는 초음파 액추에이터는 수명에 대한 문제를 가지고 있다.

표 4. 제안하는 템플릿 TEDS.

Table 4. New proposal template TEDS.

Field	property/command	Description	Access	Bits	Data type	Unit	
Basic information on actuator	TEMPLATE	Template ID	-	8	Integer(value = 45)		
	%MovMethod	Moving Method	ID	2	See Table 5		
	Select Case ( Type of actuator )				1	Assign = 0 "Rotary type" Assign = 1 "Linear type"	
Driving Information of actuator	case 0	%MaxSpeed	Maximum speed	ID	10	ConRes(0 to 1000, step 1)	rpm
		%MinSpeed	Minimum speed	ID	10	ConRes(0 to 1000, step 1)	rpm
		%Resolution	Resolution	ID	11	ConRes(-1000 to 1000 step 1)	$\mu$ m
		%MaxTorque	Maximum Torque	ID	8	ConRes(0 to 100, step 0.5)	Kg. cm
	case 1	%MaxSpeed	Maximum speed	ID	10	ConRes(0 to 1000, step 1)	mm/s
		%MinSpeed	Minimum speed	ID	10	ConRes(0 to 1000, step 1)	mm/s
		%MaxHoldingForce	Holding Force	ID	6	ConRes(0 to 30, step 0.5)	N
		%MaxPullPushForce	Pull/Push Force	ID	6	ConRes(0 to 30, step 0.5)	N
	%MaxTrustForce	trust force	ID	6	ConRes(0 to 30, step 0.5)	N	
	%StrokeVal	Resolution	ID	11	ConRes(-1000 to 1000 step 1)	$\mu$ m	

기존의 전자기식 액추에이터의 경우 비교적 긴 수명을 가지고 있지만, 로터리형 초음파 모터의 경우 5000시간 이하의 수명을 가진다.

사용도중 수명이 다하는 경우가 생길 가능성이 존재하게 된다. 이 문제는 사용시간을 TEDS 내의 메모리에 저장함으로써 해결할 수 있다. TEDS 데이터를 저장하는 공간은 EEPROM이기 때문에 사용시간을 모터의 전원을 끌 때 저장하는 것이 가능하다.

IV. PUA 를 위한 IEEE 1451.4 의 새로운 제안

IEEE 1451.4 표준에는 센서와 액추에이터를 위한 인터페이스가 잘 정의되어 있다. 그러나, TEDS 정보의 경우 대부분 센서에 대하여서는 잘 정의되어 있으나, 액추에이터의 경우는 거의 정의되어 있는 것이 없다. 본 논문에서는 초음파 액추에이터에 IEEE 1451.4 표준을 적용하려고 한다.

1. PUA를 위한 Mixed Mode Interface(MMI)

초음파 액추에이터의 인터페이스를 위해 IEEE 1451.4의 MMI Class 2에 적용할 수 있다. MMI Class 2는 트랜스듀서의 신호와 디지털 TEDS의 신호를 분리해서 사용하고, 동시에 연결이 가능한 인터페이스 방법이다. 본 논문은 IEEE 1451.4 MMI Class 2의 4-20mA 인터페이스를 보여준다. Class 2를 이용하여 연결된 초음파 액추에이터의 블록도를 그림 5에 나타내었다.

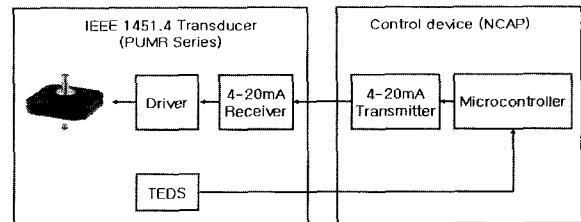


그림 5. 초음파 액추에이터의 하드웨어 구성도.  
Fig. 5. Hardware structure of PUA.

초음파 액추에이터를 구동하고 제어하기 위해서는 주파수, 위상 그리고 진폭의 일정한 범위 내에서 변화를 주어야 한다. 이러한 주파수, 위상 그리고 진폭의 변화를 주기 위해 4-20mA의 신호를 이용하였다.

2. PUA를 위한 템플릿 TEDS의 제안

IEEE 1451.4 표준 템플릿 TEDS에서 액추에이터는 정의되지 않았다. 따라서 초음파 액추에이터를 위한 새로운 템플릿 TEDS를 정의하여 템플릿 ID를 45로 제안한다. 표 4와 6은 새롭게 정의된 템플릿 TEDS이고, 표 5는 액추에이터의 구동 방식을 나타낸다.

초음파 액추에이터는 3가지의 구동방식으로 나뉘며 표 5에서와 같이 주파수 구동방식, 위상차 구동방식 그리고 전압 제어 방식으로 나뉘며 초음파 액추에이터를 구동방식에 따라 구분하지 않아도 템플릿TEDS를 통해 액추에이터의 특성을 충분히 나타낸다.

또한 초음파 액추에이터는 구동원리에서 크게 로터리형과 리니어형으로 구분되며 리니어 액추에이터는 토크 대신 힘으로 표현된다.

로터리형과 리니어형에서 기본적으로 갖추어야 할 구동 전압 범위, 구동 주파수 범위, 총 구동시간, 소비전력 등의 속성은 공통 요소로 표현하였고 이 속성 중에서 초음파 액추에이터를 구동 시 중요한 요소는 구동 주파수 부분이다. 초음파 액추에이터는 구동주파수가 약간씩 다르고 그 주파수에 따른 속도가 다르기 때문에 최대 주파수와 최소 주파수까지의 범위를 반드시 나타내야 하고 구동전압도 초음파 액추에이터의 특성에 따라 다르므로 나타내야한다. 또한, 초음파 액추에이터는 영구적인 구동이 가능하지 못하기 때문에 액추에이터의 총 구동가능시간과 캘리브레이션 요소에 현재까

표 5. 구동 방법의 형태

Table 5. Type of moving method.

Case	Type of Moving Method
0	Frequency
1	Phase
2	Voltage

표 6. 제안하는 템플릿 TEDS(계속).

Table 6. New proposal template TEDS(continue).

Field	property/command	Description	Access	Bits	Data type	Unit
Electronic characteristic of actuator	%MinDrvV	minimum driving volt	ID	9	ConRes(1 to 500, step 1)	v
	%MaxDrvV	Maximum driving volt	ID	9	ConRes(1 to 500, step 1)	v
	%MinFreq	Minimum frequency	ID	14	ConRes(0 to 100, step 0.01)	kHz
	%MaxFreq	Maximum frequency	ID	14	ConRes(0 to 100, step 0.01)	kHz
	%Power	Power consumption	ID	15	ConRes(0 to 100, step 0.005)	W
	%MaxElecVal	Minimum temperature	ID	8	ConRes(0 to 100, step 0.5)	°C
	%MaxElecVal	Maximum temperature	ID	8	ConRes(0 to 100, step 0.5)	°C
Information on calibration	%LifeTime	Lifetime	ID	7	ConRes(0 to 90, step 1)	h
	%UseTime	Used Time	CAL	7	ConRes(0 to 90, step 1)	days
	%UsrData	User data (comment)	USR	-	Hoseo University	-

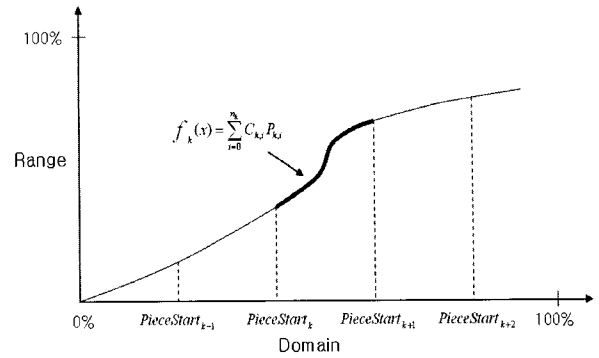


그림 6. 캘리브레이션 특성 곡선.

Fig. 6. Calibration curve properties.

지의 사용된 시간을 포함하여 액추에이터의 특성을 나타내었다.

캘리브레이션 템플릿 TEDS는 PUA의 비선형적 특성 곡선을 나타내기 위하여 사용되고, 이는 PUA의 사용자가 이 데이터를 획득하여 비선형 특성을 쉽게 파악하고 비선형 특성을 보상하도록 하기 위함이다.

캘리브레이션 템플릿은 기존에 정의된 ID 41을 사용하였고 이 캘리브레이션 템플릿 TEDS의 내용은 표 7과 같다.

표 7의 데이터를 통해 그림 6과 같이 특성 곡선을 표현한다.

CalCurve\_Domain는 electrical 또는 physical 파라미터를 선택하기 위한 값으로 0이면 전기적 특성을 가리키고, 1일 경우는 물리적 특성을 나타낸다.

곡선은 각 세그먼트로 분할되고 CalCurve\_PieceStart는 세그먼트의 시작점을 나타내고, 각 세그먼트의 시작점들은 CalCurve\_PieceStart의 연속된 값으로 표현한다.

따라서, 값  $k$ 는  $CalCurve\_PieceStart_k$ 와  $CalCurve\_PieceStart_{k+1}$  사이 영역의 시작점을 나타내고,  $PieceStart_k$ 는  $\%CalCurve\_PieceStart$  속성에서 읽혀진  $k^{th}$ 값을 나타내고,  $PieceStart_k$ 와  $PieceStart_{k+1}$ 사이로 정의된  $k$ 번째 영역에서 다항식은 다음으로 정의된다.  $n_k$ 는  $k$ 번째 영역을 위한 계수이고,  $CalCurve\_Poly$ 로서 TEDS에서 읽혀지고,  $C_{ki}$ 는  $k$ 번째 영역에서의  $i^{th}$ 의 다항식 계수이며  $CalCurve\_Coef$  속성으로 TEDS에서 읽혀진다.

표 7. 캘리브레이션 템플릿 TEDS.

Table 7. Calibration template TEDS.

Function	Property/command	Description	Access	Bits	Data type and Range	Units
ID	Template	Template ID	-	8	Integer (value = 41)	-
Curve data	%CalCurve_Domain	Domain parameter	CAL	1	Enumeration : Electrical Physical	-
	STRUCTARRAY CalCurve	Number of Calibration Curve Segments	CAL	8	Dimension size of 1 to 255	-
	%CalCurve_PieceStart	Start of segment (array of size CalCurve)	CAL	13	ConRes(0 to 100, step 0.0123)	%
	STRUCTARRAY CalCurve_Poly	Number of Polynomials	CAL	7	Dimension size of 1 to 127	-
	%CalCurve_Power	Power of domain value (2D array with dimension sizes of CalCurve and CalCurve_Poly)	CAL	7	ConRes (-32 to 32, step 0.5)	-
	%Cal_Curve_Coef	Polynomial coefficient (2D array with dimension sizes of CalCurve and CalCurve_Poly)	CAL	32	Single	-

$P_{ki}$ 는 영역을 나타내는 변수  $x$ 의 파워로  $k$ 영역에서 계수  $C_{ki}$ 로 나타낸다.

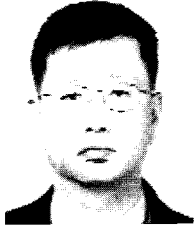
### V. 결론

이미 표준화된 IEEE1451.4의 경우 다양한 종류의 센서와 액추에이터에 대하여 접근 가능한 방법을 제시하고 있으나, 압전 초음파 액추에이터를 위한 표준은 제시되지 않고 있다. 본 연구에서는 압전 초음파 액추에이터에 IEEE1451.4를 적용하기 위한 표준 MMI를 제공하며, 압전 초음파 액추에이터의 정보를 저장하는 TEDS에 대하여 설계한다. 특히, 초음파 액추에이터의 단점을 극복하기 위하여 동작 특성의 다항식이 캘리브레이션 TEDS 내에 포함되며, 플러그 앤 플레이 시 현재 액추에이터의 총 동작시간을 파악할 수 있는 기능을 포함하였다. 1자유도로 동작하는 대부분의 압전 초음파 액추에이터를 대상으로 하였다.

하지만, 아직 초음파 액추에이터에 대한 모든 장치를 대변한다고 볼 수는 없다. 향후 좀더 많은 자료를 축적하여 좀더 정확한 TEDS의 구성이 요구된다.

### 참고문헌

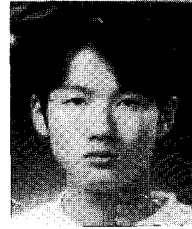
- [1] H. V. Barth, "Ultrasonic driven motor," IBM Tech., *Disclosure* Bull, vol. 16, no. 7, pp. 2263. 1973.
- [2] T. Sashida and T. Kenjo, "An introduction to ultrasonic motors," Oxford, Clarendon Press, 1993.
- [3] N. Ulivieri, C. Distanto, T. Luca, S. Rocchi, and P. Siciliano, "IEEE 1451.4: A way to standardize gas sensors," *Sensors & Actuators B*, vol. 114, Issue 1, pp. 141-151, 2006.
- [4] J.-D. Kim et al., "The definition of basic TEDS of IEEE 1451.4 for sensors for an electronic tongue and the proposal of new template TEDS for electrochemical devices," *Talanta*, vol. 71, no. 4, pp. 1642-1651, 2007.
- [5] Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc., "IEEE Std 1451.4-2004, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats," *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, New York, NY, USA, 2004.
- [6] <http://www.piezo-tech.com/>
- [7] J.-D. Kim et al., "Nano-positioning system using linear ultrasonic motor with 'shaking beam'," *Journal of Electroceramics*, vol. 12, no. 3, pp. 169-173, 2004.
- [8] H. P. Ko, et al., "A novel tiny ultrasonic linear motor using the radial mode of a bimorph," *Sensors & Actuators A*, vol. 125, Issue 2, pp 477-481, 10 January 2006.



### 김 정 도

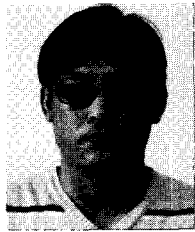
1987년 성균관대학교 전자공학과(공학사). 1990년 성균관대학교 전자공학과(공학석사). 1995년 성균관대학교 전자공학과(공학박사). 1995년~2004년 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과 교수. 2004년~현재 호서대학교 전자공학과 교수.

수. 관심분야는 센서 응용 및 로봇틱스, 유비쿼터스, 오감정보처리.



### 정 우 석

2003년 호서대학교 전자공학과(공학사). 2005년 호서대학교 전자공학과(공학석사). 2005년~현재 호서대학교 전자공학과(박사과정). 2007년~현재 KIST 위촉연구원. 관심분야는 초음파모터, 시스템 제어, 지능알고리즘, 센서 응용.



### 김 동 진

1998년 호서대학교 제어계측공학과(공학사). 2000년 호서대학교 전자공학과(공학석사). 2007년 호서대학교 전자공학과(공학박사). 2000년~2004년 (주)제니스테크 기술연구소 선임연구원. 2007년~현재 호서대학교 교수. 관심분야는 센서 응용 및 유비쿼터스, 오감정보처리, 스마트인터페이스.

수. 관심분야는 센서 응용 및 유비쿼터스, 오감정보처리, 스마트인터페이스.



### 홍 철 호

1977년 성균관대학교 전자공학과(공학사). 1981년 성균관대학교 전자공학과(공학석사). 1989년 성균관대학교 전자공학과(공학박사). 1989년~현재 호서대학교 정보제어공학과 교수. 관심분야는 로봇틱스 및 시스템 제어.