

IEEE 1451.4를 이용한 전자혀 시스템의 표준화 방안

김동진[†] · 김정도 · 변형기* · 함유경 · 한동원**

The way to standardize electronic tongue system using IEEE 1451.4

Dong-Jin Kim[†], Jeong-Do Kim, Hyung-Gi Byun*, Yu-Kyung Ham, and Dong-Won Han**

Abstract

The IEEE 1451.4 standards defines an architectural model for interfacing smart transducers for sensors & actuators. This standard allows analogue transducers to communicate their identification and calibration data in a digital format. A digital format is called the TEDS (transducer electronic data sheet). However, the standard template TEDS of IEEE 1451.4 do not supports sensors to use in electronic tongue system, such as arrayed-potentiometric and voltametric sensors. In this paper, a solution to standardize sensors for E-Tongue (electronic tongue) and electronic tongue systems is presented.

Key Words : IEEE 1451.4, TEDS, E-Tongue, array, potentiometric sensor, voltametric sensor

1. 서 론

센서는 주변의 환경을 감지하고, 감지된 정보를 신호로 변환한다. 변환된 신호는 마이크로프로세서와 같은 다른 장치에 연결되어야 한다. 센서와 센서의 정보를 받아들이는 다른 장치와의 연결은 매우 중요하다. 센서의 사용은 감지된 정보를 처리하고 활용하기 위함이다. 그러나 센서의 종류는 무한하고, 센서의 제조회사에 따라 각각 다른 연결 방식을 가지고 있다. 센서의 연결에서 호환성의 문제는 감지된 정보를 처리하고 활용할 수 있으나 없냐의 문제가 될 수 있고, 새로운 연결 회로를 필요로 한다. 따라서 센서의 형태에 따른 설정 정보와 특성에 대한 정보를 센서에 저장하여 다른 장치와의 연결 시 상호 호환이 가능하게 한다면 매우 효율적이고 정확하게 감지 정보를 얻을 수 있다. 이는 PC에서 사용하고 있는 플러그 앤 플레이(plug and play) 기능이라 할 수 있다. 플러그 앤 플레이 기능을

가지는 센서를 사용하면 사용자는 어떤 센서가 연결되어 있는지, 어떠한 신호를 출력하는지 알 수 있어 초기 설정 시간을 줄이고, 부가되는 새로운 회로를 제작하지 않아도 된다. 1993년 NIST(national institute of standards and technology)와 IEEE(institute of electrical and electronics engineers)가 공동으로 제정하여 발표된 IEEE 1451은 센서와 마이크로프로세서의 연결을 용이하게 하여 플러그 앤 플레이 기능의 유연성과 편리한 유지보수의 제공을 목표로 한다. 표준화는 1997년 IEEE 1451.2가 처음으로 제정되었다. IEEE 1451.2에는 센서와 마이크로프로세서 간의 통신 프로토콜 및 TEDS(transducer electronic data sheet)의 포맷을 정의하였다^[1]. 그리고 2004년 IEEE 1451.2를 기초로 IEEE 1451.4를 표준화하였다^[2]. IEEE 1451.4는 MMI (mixed mode interface)와 보완된 TEDS를 표준화 하고 디지털 및 아날로그 센서를 모두 포함한다. 제정된 표준화를 이용하여 National Instruments사는 TEDS정보를 아날로그 센서와 함께 EEPROM 메모리에 넣을 수 있게 하였고, 임베디드 메모리를 사용할 수 없는 고전적인 센서들과의 연결을 위해 가상 형태(virtual TEDS)로 만들어 사용할 수 있게 하였다. Honeywell Sensotec사는 센서 신호 조절을 위한 플러그 앤 플레이 및 교정 시스템을 출시하여 센서 연결 시 TEDS 정보를 읽어 캘리

호서대학교 전기정보통신공학부(Div. of Electrical Information and Communication Eng., Hoseo University)

*삼척대학교 정보통신공학과(Information and Communication Eng., Samcheok University)

**한국전자통신연구원(ETRI)

[†]Corresponding author: djkim@control.hoseo.ac.kr

(Received : September 22, 2005, Accepted : November 16, 2005)

브레이션을 한다^[3,4]. 유럽에서는 NOSE II Network라는 인공 후각 센싱 표준화 위원회(artificial olfactory sensing community)가 결성되었다. 이 위원회는 IEEE 1451.4의 표준화를 이용하여 전자코 시스템의 센서의 연결에 대한 표준화 작업이 진행 중이다^[5]. 국내에서는 한국표준과학연구원에서 마이크로폰과 가속도미터에 IEEE 1451.4 TEDS를 포함하여 통신프로토콜을 구현하였다^[6]. 현재 Wilcoxon사에서 IEEE 1451.4 TEDS를 탑재한 가속도 센서를 제작 판매하고 있다. IEEE 1451.4 TEDS에는 센서 구조 및 측정 회로의 종류에 따라 17개의 표준 템플레이트(template)를 가지고 있다. 그러나 이러한 센서의 구조 및 측정 회로들에 의해 모든 센서들이 적용이 되는 것은 아니다. 특히 단일 센서를 사용하지 않고 다수의 센서를 어레이화하여 사용하는 경우, 여러 센서들의 정보를 표현하기에는 어렵다.

보통, 전자코와 전자혀 시스템은 단일 센서를 사용하기 보다는 어레이화된 다수의 센서를 사용하는 것이 일반적이다. 전자코와 전자혀 시스템에서 사용하는 센서들은 하나의 물질에만 선택적으로 반응하지 않고 다수의 물질에 반응하기 때문에 센서를 어레이하여 각각 센서에서 측정되는 신호의 패턴을 이용하여 측정 물질의 특징을 추출해야 한다. 전자혀 시스템은 전위차(potentiometric) 방식, 전류전압(voltammetric) 방식, 압전소자(piezoelectric) 방식, 광학적(optic) 방식을 이용한다. 이 중에서, 전위차 방식과 전류전압 방식이 가장 많이 사용되며, 대표 센서로는 전기 화학식 전극(electrode)을 사용한다. 또한 기준 센서(reference electrode:이하 기준센서)와 다수의 작동센서(working electrode:이하 작동센서)들 간의 차이를 이용하여 측정한다. 최근에는 MEMS(micro electro mechanical system) 기술의 발전으로, 하나의 칩(chip)에 다수의 전극을 어레이화한 센서 에레이가 개발되고 있다.

본 연구에서는, 대부분의 전자혀 시스템에 적용하고 있는 측정 방식인 전위차 방식과 전류전압 방식의 센서를 IEEE 1451.4 표준화에 적용하여 보고자 한다. 이를 위해 전자혀 시스템에서 사용되는 센서들에 대한 템플레이트를 새롭게 정의한다.

또한, 전자혀 시스템에서는 기준센서와 작동센서를 사용하여 측정이 이루어지며, 또한 다수의 작동센서를 어레이화하여 사용하기 때문에, 각각의 센서마다 각각의 TEDS를 제공하여야 하는 IEEE 1451.4 TEDS는 실제 적용하기에 많은 불편함을 가지게 된다. 다수의 센서를 어레이하여 사용하는 전자혀 시스템의 경우에는 센서의 개념 보다는 시스템의 개념으로 접근해야 한다. 그래서 본 연구에서는, 센서 하나 하나에 IEEE 1451.4 TEDS가 있는 것이 아니라, 센서 어레이를 하나의 시스템 관점으로 파악하여 한 개의 TEDS와 다수의 템플레이트를 가지는 방법을 제안한다.

본 연구에서는, 센서 하나 하나에 IEEE 1451.4 TEDS가 있는 것이 아니라, 센서 어레이를 하나의 시스템 관점으로 파악하여 한 개의 TEDS와 다수의 템플레이트를 가지는 방법을 제안한다.

2. IEEE 1451의 개요

IEEE 1451은 센서와 마이크로프로세서/네트워크 연결을 용이하게 하고, 플러그 앤 플레이 기능의 유연성과 편리한 유지보수의 기능 제공을 목표로 제정되었다. 현재 IEEE 1451.1~4가 표준화 되었고 추가로 IEEE 1451.5가 2003년에 제안되어 있다. 그림 1은 IEEE 1451의 연결 시스템 구조를 보여주고 있다^[7]. IEEE 1451은 크게 TIM(transducer interface module)과 NCAP(network capable application processor)로 나눌 수 있다. TIM은 TEDS, 센서 및 액추에이터(actuator), 데이터 변환 회로, 주소 로직(address logic) 등으로 구성되며, NCAP는 네트워크 프로토콜 스택과 응용 펌웨어 동작을 하며 센서 모듈 및 네트워크와의 통신을 담당한다. TIM과 NCAP의 연결인 센서 인터페이스는 그림 2에 나타내었으며, IEEE 1451 각 계열(family)에 다른 연결 구조를 나타낸다^[7].

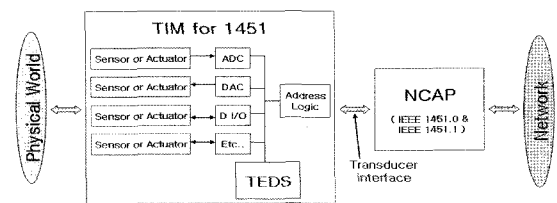


그림 1. IEEE 1451 스마트 트랜스듀서 인터페이스 시스템 구성도

Fig. 1. IEEE 1451 smart transducer interface system diagram.

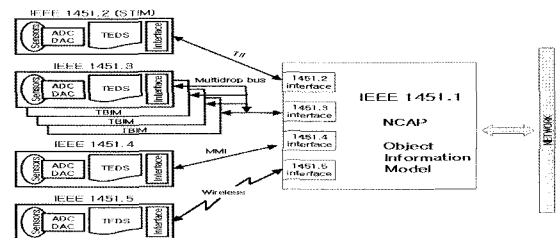


그림 2. IEEE 1451의 연결 구조

Fig. 2. Interface architecture of IEEE 1451 family.

IEEE 1451에 대해 간략하게 소개하면 다음과 같다^[7-9].

- IEEE 1451.1 (1999년 표준화)
 - 스마트 센서를 위한 정보모델을 정의
 - NCAP (network capable application processor)의 모델을 정의
 - 응용 동작을 수행하기 위해 센서의 변환기 기능
 - 센서들의 시스템으로의 통합을 용이하게 한다.
- IEEE 1451.2 (1997년 표준화)
 - 마이크로프로세서와 센서의 통신프로토콜 정의
 - TII (transducer independent interface) 이용하여 연결
 - 전기적인 연결과 TEDS를 이용하여 다수의 네트워크에 접근이 용이
 - 자동 인식을 통한 시스템 통합 및 설치, 운영의 용이성을 제공
 - UART 지원
- IEEE 1451.3 (2003년 표준화)
 - 디지털 시스템 연결
 - 분산 멀티 시스템을 위한 TEDS 포맷 지원
 - 멀티드롭 버스 (multidrop bus) 이용하여 연결
- IEEE 1451.4 (2004년 표준화)
 - MMI 통신 프로토콜 지원
 - 플러그 앤 플레이 지원
 - 보안된 TEDS 포맷 지원
- IEEE 1451.5 (2003년 제안)
 - 무선 통신을 통한 센서 인터페이스 및 프로토콜

3. 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 데이터 시트(data sheet)를 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. MMI를 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 3에 나타내었다.

IEEE 1451.4의 TEDS는 IEEE 1451.2에서 제안된 TEDS와는 다르다. 1376 bit보다 적은 최대 320 bit만 필요하므로 메모리 소모가 적다. 단일 센서에 관한 TEDS의 구조는 매우 컴팩트하며, 유연성과 확장성을 가지므로 센서 종류들의 넓은 범위와 요구 등을 다룰 수 있다.

TEDS 정보는 기본 TEDS(basic TEDS), 표준 템플레이트 TEDS(standard template TEDS), 캘리브레이션 TEDS 템플레이트(calibration TEDS template), 사용자 데이터(user data) 영역으로 나눌 수 있다^[10]. 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 템플레이트 TEDS는 센서나 액추에이터의 중요한 특성인 센서타입, 선세의 감도, 측정범위, 대역폭 등이 기록된다. 그리고 캘리브레이션 TEDS 템플레이트는 마지막 캘리브레이션 날짜, 교정 엔진 계수(correction engine coefficients) 등을 포함한다. 다시 말하

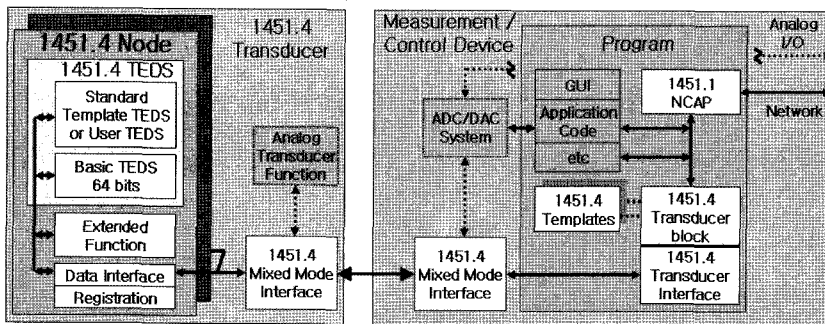


그림 3. IEEE 1451.4 데이터 시스템 구조
Fig. 3. The IEEE 1451.4 data system architecture.

표 1. 표준 TEDS

Table 1. Standard TEDS content

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

표 2. 기본 TEDS

Table 2. Basic TEDS content

	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

면 TEDS는 센서를 이용하는데 필요한 것을 포함한다. 표 1은 IEEE 1451.4 표준 TEDS를 보여주고 있다.

기본 TEDS는 IEEE 1451.4 TEDS의 처음 64 bit이며, 비휘발성 메모리에 저장되어야 한다. 센서 및 액추

에이터의 제조사 및 제품 정보 등이 기록되어 있다. 표 2는 기본 TEDS를 나타내었다. 여기서 제조사 ID는 아스키 파일 형태로 IEEE 표준화 위원회에서 할당하고 관리한다. 그 외 나머지는 제조사 재량으로 할당하여 사용할 수 있다.

표 3은 표준 템플레이트 TEDS를 나타내었다. 표준 템플레이트 TEDS는 센서의 일반적인 분류를 통해 템플레이트 ID를 정의 한다. 템플레이트 ID 25~39는 특

표 3. IEEE 표준 템플레이트

Table 3. IEEE standard template

Type	Template ID	Name of Template	
Transducer Type Template	25	Accelerometer & Force	
	26	Charge Amplifier (w/ attached accelerometer)	
	27	Charge Amplifier (w/ attached force transducer)	
	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 Sensors (LVDT/RVDT)	
	35	Strain Gage	
	36	Thermocouple	
	37	Resistance Temperature Detectors (RTDs)	
	38	Thermistor	
	39	Potentiometric Voltage Divider	
	Calibration Template	40	Calibration Table
		41	Calibration Curve (Polynomial)
		42	Frequency Response Table

정한 종류의 센서에 필요한 성질을 포함한다. 템플레이트 ID 40-42는 캘리브레이션 템플레이트다. 각각의 템플레이트 ID는 센서의 종류, 센싱 회로의 구성, 출력신호, 동작 온도 등에 따라 분류한다. 분류된 템플레이트 ID는 각각 센서들의 센싱을 위한 출력신호의 레벨, 신호의 단위, ADC의 분해능 등이 기술되어 있다.

4. 전자혀 시스템 센서

인간의 오감 중에서 맛을 느끼는 미각은 감지 대상 물질의 성분들이 얼마나 되는가 하는 정량적인 데이터가 아니라 혀에서 느끼는 미뢰에 어느 정도 영향을 주는가에 따라 감지 대상 물질을 혀에서 분석하는 결과이다. 이러한 인간의 미각을 모방하기 위한 장비가 전자혀 시스템이다. 전자혀 시스템은 인간의 혀를 대신하여 센서를 사용하고, 감지된 데이터를 분석하여 맛의 종류를 판단할 수 있다. 전자혀 시스템에서 사용되는 센서는 전기 화학식 센서로 측정 방식에 따라 표 4와 같이 분류할 수 있다^[11,12].

전위차 방식과 전류전압 방식은 전기 화학식 센서의 측정 방법으로 최소한 두 개의 센서와 전해질을 필요로 한다. 전자혀 시스템에서 가장 많이 사용하는 방식으로 일정한 전위를 가지는 기준 센서와 측정에 사용하는 작동 센서를 사용하여 두 센서의 차이에 의해 측정되는 방식이다. 전위차 방식은 전해질을 포함한 시료용액에 적당한 센서를 넣어 전기화학 전지를 만들고 센서 전위를 측정하여 물질을 정량하는 방식이다. 이러한 측정 방식을 사용하는 소자는 이온 특성을 측정하는데 많이 사용되고 있다. 특히 pH 센서가 주로 사용되며, 칼슘, 칼륨, 나트륨과 염화물을 측정하기 위한 센서도 있다. 전류·전압 방식은 기준 센서, 작동 센서와 보조 센서가 사용되며, 작동 센서와

보조센서 사이에 공급되는 전압에 따른 전류의 변화를 통해 분석시료에 대한 정보를 얻어내는 분석 방식으로, 분석대상 물질에 대한 감응이 우수하고 감응시간이 빨라 분석이 용이하다. 또한 광학적 방식과는 달리 시료의 탁도 및 색에 영향을 받지 않기 때문에 시료의 전처리 단계가 필요 없으며 제조가 비교적 간단하다.

압전소자 방식은 물질의 질량을 감지하는 방식이다. 수정(crystal)은 규칙적인 진동 발진을 하는 물질이다. 수정진동자(quartz crystal resonator)의 센서 면에 물질이 부착하면 그 물질의 질량에 대응하는 주파수가 변동되는 성질을 이용하여 극미량(ng)의 질량 변화를 측정할 수 있다.

광학적 방식은 특정 파장의 빛 흡수에 기반을 둔다. 화합분자들은 구별되는 흡수 스펙트럼을 가지고 있다. 어떤 파장의 영역을 검색함으로써 그 샘플에 대한 특정한 스펙트럼을 얻을 수 있다. 광학적 방식은 높은 재현성과 안정성을 제공한다. 또한 SPR(surface plasmon resonance)기술이 사용되었다. SPR은 금속 박막이 전자들이 집단적인 표면 진동을 광학적인 방법으로 유도하는 현상이다. SPR기술은 방사성 물질이나 형광물질을 이용한 표식 없이도 단백질 등 생체물질의 결합 친화도를 측정할 수 있는 기술로서 최근 그 유용성이 부각되고 있다. SPR현상을 이용한 센서는 프리즘과 금속 박막이 증착된 커버 글라스(glass)가 밀착된 간단한 구조로, 시료와 금속 박막의 유전을 차이를 측정원리로 하므로 감도가 우수하며 측정 시간이 짧고 전처리가 필요 없는 장점을 가진다.

앞에서 설명한 측정방식에 따른 전자혀 시스템 센서 중 현재 가장 많이 사용되어지는 센서는 전위차 방식과 전류전압 방식의 센서이다. 그림 4와 5는 현재 가장 많이 사용되고 있는 전자혀 시스템의 센서를 나타내었다.

표 4. 전자혀 센서 종류

Table 4. A type of E-Tongue sensor

Measurement Method	Sensor Type
Potentiometric	PH sensor
	Ion-Selective Electrode (ISE) Ion-Selective Field-Effect Transistor (ISFET)
Voltammetric	Clark Oxygen electrode
Piezoelectric	Shear Horizontal Surface Acoustic Wave (SH-SAW)
Optical	Surface Plasmon Resonance (SPR)

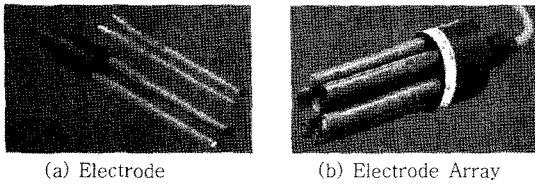


그림 4. 전자혀 시스템 센서
Fig. 4. The sensors of electronic-tongue system.

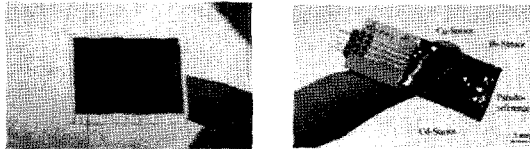


그림 5. 전자혀 시스템 센서 어레이
Fig. 5. The sensors array of electronic-tongue system.

5. 전자혀 시스템 센서를 위한 IEEE 1451.4 제안

TEDS는 센서 및 액츄에이터의 모든 정보가 수록되어야 한다. 따라서 전자혀 시스템의 TEDS에도 센서의 모든 정보가 수록되어야 한다. 기본 TEDS는 유일한 식별자 TEDS로 센서의 타입, 제조사 및 센서의 일련 번호 등을 포함하며 TEDS에 꼭 포함되어 있어야 한다.

전자혀 시스템 센서를 IEEE 1451.4에 적용시켜보면, 전위차 방식의 센서의 출력 신호는 전압으로 표준 템플레이트 TEDS ID=39(potentiometric voltage divider)와 유사한 점이 많다. 또한 전류전압 방식의 센서는 전기분해의 결과로 측정 신호가 전류이기 때문에 ID=31(current loop output sensor)과 유사하다. 그러나 IEEE 1451.4의 표준 템플레이트 TEDS는 단일 센서에 대한 정보만을 표현하기 때문에, 항상 두 개의 센서를

사용하는 전자혀 시스템의 경우에는 어렵다. 그리고, 전자혀 시스템에서 사용하는 센서들은 항상 액체 시료에 넣어서 측정하기 때문에, 측정이 가능한 시료의 제한된 농도, 온도 등에 대한 정보를 포함 시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 전자혀 시스템 센서를 IEEE 1451.4 표준 템플레이트에 적용할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. 제안하는 전자혀 시스템 센서의 TEDS는 IEEE 1451.4의 표준 TEDS를 수정하여 전자혀 시스템 센서에 적합하게 구성하였다. 센서의 유일한 식별자인 전자혀 시스템 센서의 기본 TEDS는 표 5와 같다. 제조사 ID는 IEEE에 요청을 하여 받아야 한다. 본 논문에서는 제조사 ID는 16382로 설정하였다. 모델 번호와 일련번호는 제조사에서 붙여야 하기 때문에 특별한 의미 없이 넣었다. 또한 센서 어레이 구성 시 사용하는 센서는 같은 측정 방식을 사용하는 센서를 사용하기 때문에, 버전 레터를 전자혀 시스템 센서의 측정 방식을 표현하게 하였다. 버전 번호는 제조사에서 할당할 수 있게 하였다. 마지막으로 일련번호는 제품의 생산 시 붙여지는 번호로 표준 TEDS에는 24 bit가 할당되어 있다. 그러나 전자혀 시스템은 항상 두 개 이상의 센서를 사용한다. 또한 어레이 센서를 사용한다. 따라서 일련번호를 분할하여, 상위 20 bit는 제품의 일련번호로 사용하고, 하위 4 bit를 이용하여 전자혀 시스템의 센서 수를 표현하였다. 일반적으로 센서 어레이의 경우 16개를 넘는 경우가 없기 때문에 하위 4 bit를 사용하였다. 일련번호 하위 4비트의 값이 '0'일 경우에는 기준 센서만 있는 것이고, '1'일 때는 기준 센서와 작동센서가 각각 하나씩 있다는 이야기가 된다.

표 6은 버전 레터를 나타낸다. 센서의 측정 방식의 형태에 따라서 버전 레터를 정의하였다. 새로운 측정 방식이 생긴다면 추가할 수 있도록 여유 공간을 남겨 두었다. 표 7은 전위차 방식의 기준 센서와 작동센서(pH센서) 하나씩을 사용해서 제작된 전자혀 시스템에 대한 기본 TEDS를 예로 들었다.

표 5. 제안하는 기본 TEDS. - 전자혀 시스템 센서
Table 5. Proposal of Basic TEDS. - A sensor of electronic-tongue system

	Bit Length	Allowable Range	Examples of Electronic tongue
Manufacture ID	14	17-16381	Electronic tongue 16382
Model Number	15	0-32767	10245
Version Letter	5	A-Z (data type Chr5)	Type of Device
Version Number	6	0-63	1
Serial Number	20	0-1048575	0998852
	4	0-15	Number of Sensor

표 6. 제안하는 버전 레터. - 측정 방식에 형태

Table 6. Proposal of version letter. - Type of measurement method

Version Letter	Type of Electronic tongue sensor
P	Potentiometric Method
V	Voltammetric Method
Z	Piezoelectric Method
O	Optical Method
:	:

표 7. 기본 TEDS의 예. - 전위차 방식의 pH 센서

Table 7. Example of basic TEDS. - pH sensor of potentiometric method

	Bit Length	Allowable Range
Manufacture ID	14	16382
Model Number	15	10245
Version Letter	5	P (See table. 6)
Version Number	6	1
Serial Number	20	0998852
Number of Sensor	4	1

제안하는 전자혀 시스템 센서에 대한 템플레이트 TEDS를 4개의 영역로 나누어 결정하였다. 첫 번째 영역은 시스템에 대한 정보로 템플레이트 ID 및 어레이 센서에 대한 센서의 위치 등을 나타낸다. 두 번째 영역은 센서의 정보를 표현한다. 세 번째는 시료에 대한 제한성을 표현한다. 액체 시료를 사용하기 때문에 시료의 pH, 온도 등에 대한 제한성이 있다. 마지막 네 번째로 캘리브레이션에 대한 정보를 표현한다.

첫 번째 영역인 센서의 정보는 표 8과 같다. 전자혀

센서에 대한 템플레이트 ID를 43이라 하였다. 이는 추후 IEEE에서 지정해주어야 하는 부분이긴 하지만 현재 사용하고 있는 많은 ID도 설정하였다. [%ElecSigType]은 전기적인 신호의 형태를 나타내며 IEEE 1451.4 표준 템플레이트에 정의된 값으로 '1'일 경우는 전류 출력 센서(voltammetric sensor)를 나타낸다. '5'일 경우는 전위차방식 전압 분배 센서(potentiometric voltage divider sensor)를 표현한다. [%OrderSen]은 어레이된 센서의 순서를 의미한다. 예를 들어 5개의 센서를 어레이한 경우에 '4'로 표현 되었다면 4번째 센서에 대한 정보를 의미한다. '0'일 경우가 기준 센서를 나타낸다. 어레이된 센서의 숫자와 연관 있으므로 기본 TEDS의 버전 번호와 같이 6 bit를 설정하였다. [%TypeSen]는 센서의 종류를 나타낸다. 어레이센서에 대해서도 표현을 하기 위해 센서의 종류를 나타내야 하는 부분이다. 8 bit로 할당하였으며, 추가될 수 있도록 여유를 남겨두었다.

표 9는 현재 전자코 시스템에 사용되어지고 있는 센서들의 종류를 나타내었다. 전위차 방식과 전류전류 전압방식의 센서로 33종이 조사되었다. 표 9에 나타내지 못한 센서에 대해서는 추가가 가능하도록 설정하였다.

표 10은 센서 정보에 대한 영역을 나타낸다. [%MinElecVal], [%MaxElecVal]는 센서의 측정 신호의 최대 값과 최소 값을 나타낸다. 측정 방식에 따라 출력 신호의 단위가 결정된다. 전류전압 방식의 센서면 전류의 값을 출력하고, 전위차 방식의 센서면 전압을 출력하게 된다. [%sensorImped]는 센서의 임피던스를 나타내고, [%RespTime]는 센서의 응답시간을 나타낸다.

표 11을 전자혀 시스템 센서의 제한성을 나타내었다. 센서를 시료에 넣어서 측정하기 때문에 시료의 온도, 농도, pH 등에 영향을 받을 수 있기 때문에 제한을 표현하였다. 또한 센서의 공급 전압 및 전류의 크기에 대한 제한도 표현한다.

표 8. 제안하는 템플레이트 TEDS. - 시스템 기본 정보

Table 8. Proposal of template TEDS. - Basic information of System

property / command	Description	Bits	Value
TEMPLATE	Template ID	8	Integer (ID = 43)
%ElecSigType	Electrical signal type	8	1 = Voltammetric sensor 5 = Potentiometric sensor
%OrderSen	Order of Sensor	4	0 = Reference sensor 1 = First sensor
%TypeSen	Type of Sensor (see Table 9)	8	0 = Reference sensor 1 = pH sensor

표 9. 센서의 종류 [%TypeSen]

Table 9. Type of Sensor [%TypeSen]

Case	Type of Sensor	Case	Type of Sensor	Case	Type of Sensor
0	Reference	12	NH ₄ ⁺	24	Gold
1	pH	13	Ag ⁺	25	Antimony
2	Br ⁻	14	NO ₃ ⁻	26	Mercury
3	Ca ⁺⁺	15	Pb ⁺⁺	27	S ⁻
4	Cu ⁺⁺	16	Ag/Agcl	28	Carbon
5	Cl ⁻	17	Hg/Hg ₂ Cl ₂	29	Ba ⁺⁺
6	CN ⁻	18	Hg/Hg ₂ SO ₄	30	Cd ⁺⁺
7	SO ₄ ⁻	19	Red Rod	31	CO ₃ ⁻
8	F ⁻	20	Na ⁺	32	Hg ⁺⁺
9	H ⁺	21	SCE	33	K ⁺
10	I ⁻	22	Platinum	⋮	⋮
11	Na ⁺	23	Silver		

표 10. 제안하는 템플레이트 TEDS. - 센서 정보

Table 10. Proposal of template TEDS. - Information of Sensor

property / command	Description	Bits	Value
%MinElecVal	Minimum electrical Value	32	Voltammetric = mA Potentiometric = mV
%MaxElecVal	Maximum electrical Value	32	Voltammetric = mA Potentiometric = mV
%MapMeth	Mapping Method	-	Linear
%SensorImped	Sensor input impedance	12	Unit [MΩ]
%RespTime	Sensor Response Time	6	Unit [Seconds]

표 11. 제안하는 템플레이트 TEDS. - 센서의 제한성

Table 11. Proposal of template TEDS. - Limitation of Sensor

property / command	Description	Bits	Value
%MinBoilTemp	Minimum Boiling Temperature	32	Unit [°C]
%MaxBoilTemp	Maximum Boiling Temperature	32	Unit [°C]
%MinpH	Minimum pH	4	pH 0 - 15
%MaxpH	Maximum pH	4	pH 0 - 15
%MaxConcent	Maximum Concentration		Unit [ppm]
%MinSuppVol	Minimum Supply Voltage	16	Unit [V]
%MaxSuppVol	Maximum Supply Voltage	16	Unit [V]
%MaxExciCurr	Maximum Excitation Current	16	Unit [mV]
%NormExciCurr	Normal Excitation Current	16	Unit [mV]

표 12. 제안하는 템플레이트 TEDS. - 캘리브레이션 정보

Table 12. Proposal of template TEDS. - Information of Calibration

property / command	Description	Bits	Value
%CalDate	Calibration Date	16	Month/day/year
%CalInitials	Calibration initials	15	
%CalPeriod	Calibration period	12	days
%MeasID	Measurement location ID	11	
%SenModel	Sensor Model	-	Sensor Model No.
%UsrData	User Data (Comment)	-	HOSEO Univ.

표 12는 전자혀 시스템 센서의 캘리브레이션 정보를 나타낸다. 캘리브레이션 날짜, 캘리브레이션 주기 등의 정보를 가지고 있다. 또한 전자혀 시스템에서 사용되는

센서의 모델 번호도 표현하였다.

앞에 보인 것과 같이 전자혀 시스템의 단일 및 어레이 센서에 대한 TEDS를 제안하였다. IEEE 1451.4

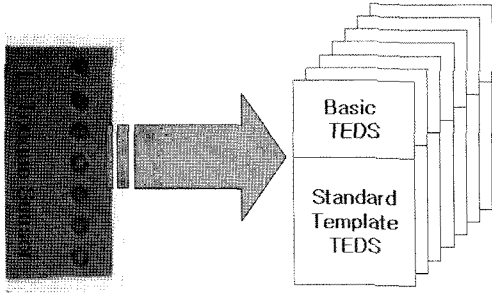


그림 6. 센서 어레이 TEDS. - IEEE 1451.4 이용
Fig. 6. TEDS of Sensor array. - Using IEEE 1451.4.

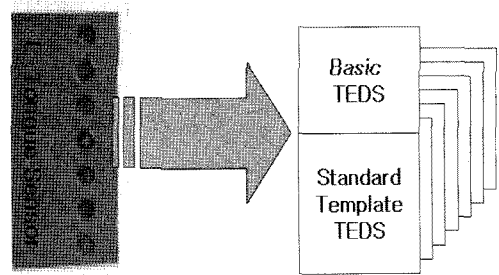


그림 7. 센서 어레이 TEDS. - 제안된 방법
Fig. 7. TEDS of Sensor array. - A way to proposal.

표 13. 제안하는 템플레이트 TEDS
Table 13. Proposal of template TEDS

Field	property / command	Description	Bits	Value
Basic information of System	TEMPLATE	Template ID	8	Integer (ID = 43)
	%ElecSigType	Electrical signal type	8	1 = Voltammetric 5 = Potentiometric
	%OrderSen	Order of Sensor	6	0 = Reference sensor 1 = First sensor
	%TypeSen	Type of Sensor (see Table 9)	8	0 = Reference sensor 1 = pH sensor
Information of Sensor	%MinElecVal	Minimum electrical Value	32	Voltammetric = mA Potentiometric = mV
	%MaxElecVal	Maximum electrical Value	32	Voltammetric = mA Potentiometric = mV
	%MapMeth	Mapping Method	-	Linear
	%SensorImped	Sensor input impedance	12	Unit [MΩ]
	%RespTime	Sensor Response Time	6	Unit [Seconds]
Limitation of Sensor	%MinBoilTemp	Minimum Boiling Temperature	32	Unit [°C]
	%MaxBoilTemp	Maximum Boiling Temperature	32	Unit [°C]
	%MinpH	Minimum pH	4	pH 0 - 15
	%MaxpH	Maximum pH	4	pH 0 - 15
	%MaxConcent	Maximum Concentration	-	Unit [ppm]
	%MinSuppVol	Minimum Supply Voltage	16	Unit [V]
	%MaxSuppVol	Maximum Supply Voltage	16	Unit [V]
	%MaxExciCurr	Maximum Excitation Current	16	Unit [mA]
%NormExciCurr	Normal Excitation Current	16	Unit [mA]	
Information of Calibration	%CalDate	Calibration Date	16	Month/day/year
	%CalInitials	Calibration initials	15	
	%CalPeriod	Calibration period	12	days
	%MeasID	Measurement location ID	11	
	%SenModel	Sensor Model	-	Sensor Model No.
	%UsrData	User Data (Comment)	-	HOSEO Univ.

TEDS의 표준을 이용하여 전자혀 시스템 어레이 센서를 표현한다면, 어레이된 센서 하나마다 기본 TEDS와 표준 템플레이트 TEDS를 가져야 한다. 즉 7개의 센서를 어레이 한다면 기본 TEDS 7개와 표준 템플레이트 TEDS 7개를 가져야 한다는 이야기가 된다. 제안된 방법은 7개의 센서를 어레이하면, 하나의 기본 TEDS를 가지고 7개의 표준 템플레이트 TEDS를 사용하면 된다. 그림 6은 7개의 센서가 어레이된 경우, IEEE 1451.4 TEDS를 이용하여 표현된 모습을 나타낸다. 그림 7은 제안된 방법으로 어레이 센서를 표현하는 모습으로 기본 TEDS 하나에 표준 템플레이트를 센서의 개수만큼 추가한 것이다.

표 13에 제안된 전자혀 시스템의 템플레이트 TEDS를 나타내었다.

6. 전자혀 시스템에 IEEE 1451.4 TEDS 적용

제안하는 새로운 방법의 TEDS를 개발된 전자혀 시

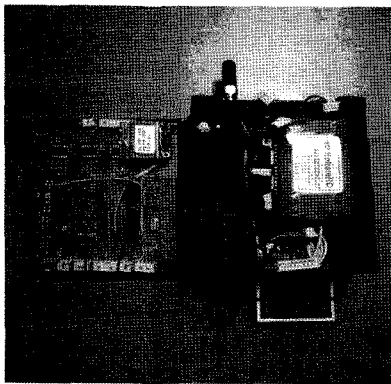


그림 8. 전자혀 시스템
Fig. 8. Electronic tongue system.

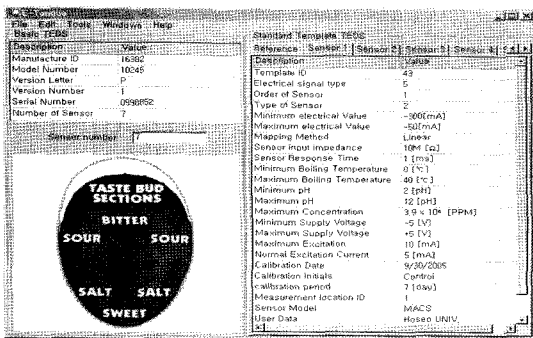


그림 9. TEDS 정보를 읽어오는 프로그램
Fig. 9. Program for TEDS reading.

스템에 적용하여 보았다. 개발된 전자혀 시스템은 하나의 기준 센서와 7개의 센서를 어레이한 센서를 사용하였다. 또한 TEDS 정보를 위해 EEPROM을 사용하여 개발하였다. 그림 8은 개발된 전자혀 시스템을 나타내었고, 그림 9는 전자혀 시스템의 TEDS 정보를 읽어, 표현해주는 프로그램 화면이다.

7. 결 론

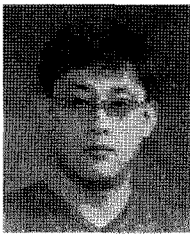
센서는 점차 시장의 요구에 따라 소형화, 지능화, 그리고 무선화로 나아갈 것이다. 이러한 센서의 기능은 운동적, 광학적, 화학적, 생물적 현상들을 전기 신호로 변환하는 센서 기능 외에 논리제어 기능, 유/무선 통신 기능, 인지 판단 기능 등을 갖는다. 이러한 센서의 지능화는 전통적인 센서들의 활용 분야를 초월하여 지능형 홈 네트워크, 환자진료 시스템, 또는 환경감시 시스템 등에게까지 점차 센서들의 활용 영역을 넓혀가고 있다.

전자혀 시스템 센서도 미래의 변화에 대응하기 위해서는 전자혀 시스템 센서에 맞는 인터페이스 표준이 필요하다. 스마트 센서 표준인 IEEE 1451은 그런 의미에서 적용 가능한 표준이다. 본 논문은 전자혀 시스템 센서의 타입, 측정 범위, 민감도와 설치 정보 그리고 캘리브레이션과 같은 특성을 포함하는 정보를 IEEE 1451.4의 TEDS에 적용하여 보았다. 그러나 단일 센서에 대한 정보만을 표현하는 IEEE 1451.4의 표준안으로는 전자혀 시스템 센서를 표현하기에 적합하지 않다. 전자혀 시스템에서는 단일 센서를 사용하기 보다는 센서를 어레이화 하여 사용하고, 어레이화 모듈화 되어진 센서들을 사용하기 때문에 현재 제정된 표준안을 사용할 수 없다. 따라서 새로운 TEDS를 제안하였다. 제안된 TEDS는 모든 전자혀 센서에 대해서 고려된 것은 아니고 가장 많이 사용되고 있는 형태의 센서들에 대해서만 고려되었다. 향후 더 많은 센서들에 대해 조사하고, 더 많은 실험을 통해 보완이 되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Institute of Electrical, Electronics Engineers inc., "IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators - transducer to microprocessor communication protocols and transducer electronic data sheet (TEDS) formats", *Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc.*, 1997.
- [2] Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc., "IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators-mixed-mode communication

- protocols and transducer electronic data sheet (TEDS) formats”, *Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc.*, 2004.
- [3] 전자엔지니어링, “IEEE 1451.4에 적합한 교정설비 출시”, 2004.
- [4] Martin Armson, “The status of IEEE 1451.4 plug and play”, Hareywell Sensotec, Inc., 2003.
- [5] N. Olivieri, “IEEE 1451.4 : A way to standardize gas sensors”, *Workshop on HW/SW Standard interfaces for Gas Sensors and Sensor Networks(NOSE)*, 2004.
- [6] 이상태, “IT 기방 원격 정밀 측정 표준 인터페이스 프로토콜”, 표준측정, 제25권, 제1호, pp. 23-27, 2002.
- [7] P. Doyle, D. Heffernan, and D. Duma, “A time-triggered transducer network based on an enhanced IEEE 1451 model”, *Microprocessor and Microsystems*, vol. 28, issue 1, pp. 1-12, 2004
- [8] L. Camara, O. Ruiz, A. Herms, J. Samitier, and J. Bosch, “Automatic generation of intelligent instruments for IEEE 1451”, *Measurement*, vol. 35, issue 1, pp. 3-9, 2004.
- [9] V. Kochan, K. Lee, R. Kochan, and A. Sachenko, “Approach to improving network capable application processor based on IEEE 1451 standard”, *Computer Standards & Interface*, In Press, Available online 1 July, 2005.
- [10] National Instruments, Inc., “An overview of IEEE 1451.4 transducer electronic data sheets(TEDS)”, National Instruments, Inc., (<http://ni.com>).
- [11] Joachim P. Kloock, Yulia G. Mourzina, Jurgen Schuber, and Michael J. Schoning, “A first step towards a microfabricated thin-film sensor array on the basis of chalcogenide glass material”, *Sensors*, vol. 2, issue 9, pp. 356-365, 2002.
- [12] F. Winqvist, C. Krantz-Rulcher, and L. Lundstrom, “Electroinc tongues”, *MRS Bulletin*, pp. 726-731, October, 2004.
- [13] 김정도, 김동진, 함유경, 정영창, 윤철오, “Fuzzy C-Means Algorithm을 이용한 휴대용 전자혀 시스템 설계”, *센서학회지*, 제13권, 제6호, pp. 446-453, 2004.



김 동 진

- 2000년 8월 호서대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 호서대학교 전자공학과 박사 수료
- 2000년 1월 ~ 2004년 6월 (주) 제니스 테크 기술연구소 선임연구원
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스



김 정 도

- 1990년 2월 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 2004년 2월 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과 교수
- 2004년 3월 ~ 현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스, 시스템 제어



변 형 기

- UMIST 공학박사
- 현재 삼척대학교 정보통신공학과 교수
- 주관심분야 : 계측 및 신호처리



함 유 경

- 2003년 2월 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과(공학석사)
- 2005년 3월 ~ 현재 호서대학교 전자공학과 박사과정
- 2002년 10월 ~ 2004년 3월 (주)화동인 터네셔널 연구소 연구원
- 2004년 5월 ~ 현재 (주) 맥사이언스 연구소 연구원
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스

한 동 원

- 1992년 한남대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 충남대학교 컴퓨터과학과 박사과정 수료
- 1982년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원, 차세대 PC 연구 그룹장
- 주관심분야 : 인터넷 정보가전, 멀티미디어 정보단말