

IEEE 1451.4를 이용한 전자코 시스템의 인터페이스 방안

The way to interface for electronic nose using IEEE 1451.4

김동진*, 김정도**, 변형기***, 정영창**, 함유경*, 정우석*, 이정환****
(Ding-Jin Kim, Jeong-Do Kim, Hyung-Gi Byun, Young-Chang Jung, Yu-Kyung Ham, Woo-Suk Jung and Jung-Whan Lee)

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 TEDS(transducer electronic data sheet). However, the standard template of IEEE 1451.4 TEDS do not supports gas sensors to use in electronic nose system, such as array sensors. In this paper, a solution to standardize sensors for electronic nose systems is presented.

Key Words : IEEE 1451.4, TEDS, Electronic nose, Gas sensor, array sensor

1. 서 론

1993년 NIST(national institute of standards and technology)와 IEEE(institute of electrical and electronics engineers)가 공동으로 센서와 마이크로프로세서 사이에 플러그 앤 플레이를 위한 IEEE 1451을 제정하였다. 1997년 표준화로 제정된 IEEE 1451.2는 센서와 마이크로프로세서 간의 통신 프로토콜 및 TEDS(transducer electronic data sheet)의 포맷을 정의 하였다[1]. 그리고 2004년에는 IEEE 1451.2를 기초로 IEEE 1451.4를 표준화하였다[2]. 또한 NI(national instruments)와 Honeywell Sensotec사를 비롯하여 많은 회사들이 IEEE 1451.4 TEDS를 이용하기 위한 방법들을 제시하고 있다[3][4][5]. 유럽에서는 NOSE II Network라는 인공 후각 센싱 표준화 위원회(artificial olfactory sensing community)가 결성하여, IEEE 1451.4의 표준화를 전자코 시스템의 센서의 연결에 대한 표준화 작업이 진행 중이다[6]. 국내에서는 한국표준과학연구원에서 마이크로폰과 가속도미터에 IEEE 1451.4 TEDS를 포함하여 통신프로토콜을 구현하였다[7-8]. 현재 Wilcoxon사에서는 IEEE 1451.4 TEDS를 탑재한 가속도 센서를 제작 판매하고 있다[9]. 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 다 수의

센서를 어레이화 하여 사용하는 경우, 여러 센서들의 정보를 표현하기에는 어렵다. 보통, 전자코, 전자혀 시스템은 단일 센서를 사용하지 않고 다수의 센서를 어레이화 하여 사용한다. 특히 단일 가스에 선택적으로 반응하지 않는 화학식 가스 센서를 사용하는 전자코 시스템에서는 어레이된 센서에서 측정되는 신호를 통해 물질의 특징을 추출한다.

본 연구에서는, 전자코 시스템에서 사용하고 있는 가스 센서를 IEEE 1451.4 표준화에 적용하여 보고자 한다. 이를 위해 전자코 시스템에서 사용되는 센서들에 대한 템플레이트를 새롭게 정의한다. 또한, 전자코 시스템에서는 다수의 가스센서를 어레이화 하여 사용하기 때문에, 각각의 센서마다 각각의 TEDS를 제공하여야 하는 IEEE 1451.4 TEDS는 실제 적용하기에 많은 불편함을 가지게 된다. 다수의 센서를 어레이하여 사용하는 전자코 시스템의 경우에는 센서의 개념보다는 시스템의 개념으로 접근해야 한다. 그래서 본 연구에서는, 센서 하나하나에 IEEE 1451.4 TEDS가 있는 것이 아니라, 센서 어레이를 하나의 시스템 관점으로 파악하여 한 개의 TEDS와 다수의 템플레이트를 가지는 방법을 제안한다.

2. IEEE 1451.4 TEDS

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. 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 센스타입, 센서의 감도, 측정 범위, 대역폭 등이 기록된다. 그리고 캘리브레이션 TEDS 템플레이트는 마지막 캘리브레이션 날짜, 교정 엔진 계수

저자 소개

- * 湖西大學教 電子工學科 博士課程
- ** 湖西大學教 電氣情報通信工學部 教授·工博
- *** 三陟大學教 情報通信工學科 教授·工博
- **** 湖西大學教 電子工學科 碩士課程

(correction engine coefficients)등을 포함한다. 다시 말하면 TEDS는 센서를 이용하는데 필요한 것을 포함한다. 표 1은 IEEE 1451.4 표준 TEDS를 보여주고 있다.

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

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

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

표 3은 표준 템플레이트 TEDS를 나타내었다. 표준 템플레이트 TEDS는 센서의 일반적인 분류를 통해 템플레이트 ID를 정의한다. 템플레이트 ID 25~39는 특정한 종류의 센서에 필요한 성질을 포함한다. 템플레이트 ID 40~42는 캘리브레이션 템플레이트이다. 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.

Table 3. IEEE standard template

Type	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	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

3. 전자코 시스템 센서

전자코 시스템의 센서는 화학식 가스센서로, 가스에 노출되면 이들의 질량(mass), 전기전도도, 용량성(capacitance) 등이 변화된다. 센서들은 동작원리에 따라 분류할 수 있으며, 각각 종류에 따라 다른 감도(sensitivity)와 선택성을 갖는다. 센서들은 제조방법 및 원료, 센싱 물질, 온도 등의 변화에 특성이 바뀔 수도 있다. 보통 전자코 시스템에서 가장 많이 사용되는 센서는 MOX(metal oxide), QCM(quartz crystal microbalance), SAW(surface acoustic wave), CP(conducting polymeric) 센서이다[6].

3.1. Metal Oxide (MOX) sensors

반도체 산화물을 이용한 가스센서로 ZnO와 SnO2를 기본으로 한다. 센서의 응답은 반도체 산화물 표면의 화학반응의 결과로 두 개의 전극 사이에 나타나는 저항의 변위로 측정되어진다. 또한 반도체 산화물 표면의 감지 동작온도(250~400°C)를 유지시키는 히터를 내장하고 있다. 반응 속도가 빠르고 설치가 간단하며, 부식성 가스와 습도에 도 좋은 특성을 보이는 장점을 가지고 있다.

3.2. Quartz crystal microbalance(QCM) sensors

제조방법은 단일 수정의 결정축을 따라 자르고, 얇은 판의 양쪽 면에 전극들을 붙여 닫는다. QCM의 양면은 마지막으로 분무(spray) 코팅과 같은 일반적인 코팅 기술을 사용하여 polymer로 coating한다. 측정동안 정의되어진 주파수를 갖는 AC 전류가 BAW(bulk acoustic wave)들을 발생시키기 위해 전극에 가하여진다. 일반적인 동작 주파수들은 10에서 30MHz의 범위를 갖는다. 수정의 진동주파수는 가스 상으로부터 분석 분자의 흡수로 인하여 발생하는 polymer matrix내의 부가적인 mass의 부하로 인하여 Sauerbery의 방정식에 따라 선형적으로 변한다. 센서응답은 진동 궤환 루프(oscillating feedback loop)의 공진 주파수의 변화로 측정되어진다. QCM 센서는 농도범위가 10ppm이상으로 제한되어 있고, 상온동작이 가능하며, 높은 재현성을 가진다.

3.3. Surface acoustic wave(SAW) sensors

SAW 센서는 앞서 언급된 QCM 센서와 비슷한 원리로 mass 변위를 주파수의 변위로 나타낸다. 이 센서는 이름에서도 나타난 것처럼 600MHz와 같이 높은 주파수를 갖는다. SAW 센서는 양쪽으로 분리되어진 substrate 상에 전극들의 두개의 IDT(interdigital transducers)로 구성되어진다. IDT 돌기(finger)들의 간격은 파장으로 결정되고, 하나의 IDT에 교류전류를 인가하면 표면의 팽창이나 축소가 일어나는 원인이 된다. 이러한 운동이 substrate를 따라 진행되어지면 표면파(surface wave)가 발생되어진다. IDT의 수신 단에는 주파수 카운터를 연결하여 측정한다.

3.4. Conducting Polymer(CP) sensors

가스가 흡착되었을 때 고분자 필름의 저항 변화를 DC로 측정하는 가스센서들은 이미 널리 사용되고 있다. Polypyrrole과 Polyaniline이 가장 많이 연구되고 사용되는 고분자들로써 센서의 역할을 수행하고 있으나, Polythiophene, polyindole, 또는 Polymer들의 혼합 등으로 센서를 만들 수 있다. CP 센서는 앞서 언급된 MOS 센서와 반대로 상온에서 사용할 수 있고, 온도변화에 민감하다.

4. 전자코 시스템 센서를 위한 IEEE 1451.4 제안

TEDS는 센서 및 액츄에이터의 모든 정보가 수록되어야 한다. 따라서 전자코 시스템의 TEDS에도 센서의 모든 정보가 수록되어야 한다.

제안하는 전자코 시스템 센서의 TEDS는 IEEE 1451.4의 표준 TEDS를 수정하여 전자코 시스템 센서에 적합하게 구성하였다. 본 논문에서는 전자코 시스템에서 사용하는 센서에 대해 적용하는 것이 아니라, 전자코 시스템에 대해서 적용하였다. 따라서 기본 TEDS는 전자코 시스템 센서에 대한 정보를 표현하지 않고, 전자코 시스템에 대해 표현한다. 전자코 시스템을 위해 수정한 기본 TEDS는 표 4와 같다. 제조사 ID는 IEEE에 요청을 하여 받아야 한다. 본 논문에서는 제조사 ID는 16383으로 설정하였다. 모델 번호와 일련번호는 제조사에서 붙여야 하기 때문에 특별한 의미 없이 넣었다. 버전 레터와 버전 번호는 제조사에서 할당할 수 있게 하였다. 마지막으로 일련번호는 제품의 생산 시 붙여지는 번호로 표준 TEDS에는 24bit가 할당되어있다. 그러나 전자코 시스템은 하나의 센서를 사용하지 않고 다수의 센서를 어레이화 하여 사용한다. 따라서 일련번호를 분할하여, 상위 20bit는 제품의 일련번호로 사용하고, 하위 4bit를 이용하여 전자코 시스템의 센서 수를 표현하였다. 일반적으로 센서 어레이의 경우 16개를 넘는 경우가 없기 때문에 하위 4bit만을 사용하여 어레이된 센서의 숫자를 표현하였다.

Table 4. Revision of Basic TEDS (proposal)

	Bit Length	Allowable Range	Examples of Electronic Nose
Manufacture ID	14	17-16381	Electronic Nose 16383
Model Number	15	0-32767	10245
Version Letter	5	A-Z (data type Chr5)	V
Version Number	6	0-63	1
Serial Number	20	0-1048575	0998852
	4	0-15	Number of Sensor

일련번호 하위 4bit가 '0'이면 전자코 시스템의 센서는 하나가 사용되었고, '1'이면 두 개의 센서가 어레이 되었다는 이야기가 된다. 또한 표준 템플레이트 TEDS도 몇 개를 사용하는지를 알 수 있다.

전자코 시스템 센서를 IEEE 1451.4의 표준 템플레이트 TEDS에 적용해보면, CP 센서와 같이 저항의 변화를 측정하는 경우에는 템플레이트 ID=32에 적용이 가능하고, QCM 센서의 경우에는 주파수를 출력하기 때문에 FVC(frequency to voltage converter)를 사용하여 전압출력을 측정하면 템플레이트 ID=30에 적용이 가능하다. 그리고 CP 센서와 MOX 센서를 브릿지 형태로 사용한다면 템플레이트 ID=33으로 표현할 수 있다. 이렇듯 IEEE 1451.4의 표준 템플레이트 TEDS를 적용하여 전자코 시스템의 센서를 표현할 수 있다. 그러나 IEEE 1451.4 TEDS는 일반적인 센서에 대해서 표현을 한 것이기 때문에 전자코 시스템 센서에 특성을 표현할 수는 없다. 따라서 IEEE 1451.4의 표준 템플레이트 TEDS를 수정하여 전자코 시스템에 사용할 수 있는 표준 템플레이트 TEDS를 나타내었다.

제안하는 전자코 시스템 센서에 대한 템플레이트 TEDS는 표 6에 나타내었다. 총 4개의 영역으로 나누어 결정하였다.

첫 번째 영역은 센서의 기본 정보를 표현한다. 템플레이트 ID를 44라고 하였다. 이는 IEEE 표준화 위원회에서 지정해주는 부분으로 현재 사용하지 않는 ID로 설정하였다. 그리고 [%TypeSen]는 전자코 시스템 센서의 종류에 대해서 표현하였다. 8bit로 설정하였고, 표 5와 같이 ASCII 형태로 표현한다. [%OrderSen]는 현재 템플레이트 TEDS에서 표현하고 있는 센서가 센서어레이에서 몇 번째 센서인가를 표현하고 있다.

Table 5. Proposal of version letter

Char	Type of Electronic nose sensor
'M'	Metal oxide sensor
'Q'	Quartz crystal microbalance(QCM) sensors
'S'	Surface acoustic wave(SAW) sensors
'P'	Conducting Polymer(CP) sensors
⋮	⋮

두 번째 영역은 센서에 대한 정보로 측정된 신호의 출력 및 센서 저항, 응답 시간 등을 나타내었다. 또한 전자코 시스템에서 사용하는 가스센서에는 센싱부의 온도를 유지시키기 위해 히터를 내장하고 있다. 따라서 히터에 대한 정보도 포함 되어야 한다. 세 번째 영역인 센서의 제형상에 대해서 표현하였다. 센서가 측정할 수 있는 농도, 센서와 히터의 공급 전원, 히터의 전류 등에 대한 정보를 표현한다. 네 번째 영역은 센서의 캘리브레이션에 대한 정보를 표현한다.

IEEE 1451.4 표준 TEDS를 이용하여 다수의 센서 어레이를 표현하면, 기존 TEDS와 표준 템플레이트가 센서의 수만큼 있어야 하지만, 전자코 시스템을 위해 제안하는 방법을 사용하면 기존 TEDS 하나에 다수의 표준 템플레이트 TEDS를 사용하여도 된다. 그림 1은 IEEE 1451.4를 이용하여 4개의 센서에 TEDS를 적용한 모습이고, 그림 2는 제안된 방법을 이용하여 적용한 모습이다.

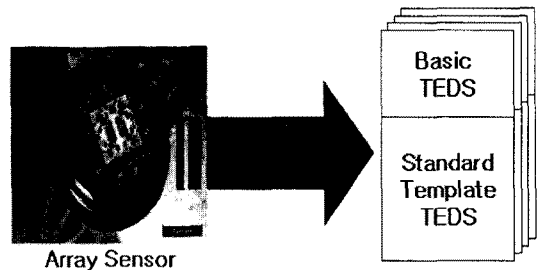


Fig. 1. TEDS of Array sensor using IEEE 1451.4

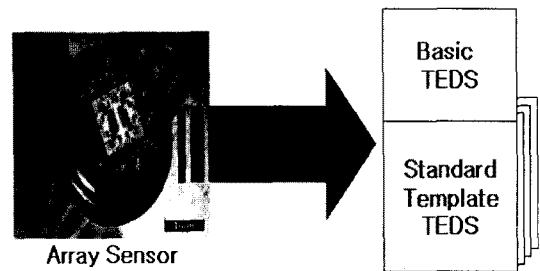


Fig. 2. TEDS of Array sensor - A way to proposal

Table 6. Proposal of template TEDS

Field	property / command	Description	Bits	Value
Basic information of System	TEMPLATE	Template ID	8	Integer (ID = 44)
	%TypeSen	Type of Sensor	8	see Table 5
	%OrderSen	Order of Sensor	4	0 = Frist sensor
Information of Sensor	%MinElecVal	Minimum electrical Value	32	Resistance output = Ω Voltage output = mV Current output = mA
	%MaxElecVal	Maximum electrical Value	32	
	%MapMeth	Mapping Method	-	
	%MinSenR	Minimum Sensor Resistance	12	Unit [Ω]
	%MaxSenR	Maximum Sensor Resistance	12	Unit [Ω]
	%HeaterR	Heater Resistance	12	Unit [Ω]
	%RespTime	Sensor Response Time	6	Unit [Seconds]
Limitation of Sensor	%MinDetRan	Minimum Detection Range	32	Unit [ppm]
	%MaxDetRan	Maximum Detection Range	32	Unit [ppm]
	%MinSenSuppVol	Minimum Sensor Supply Voltage	16	Unit [V]
	%MaxSenSuppVol	Maximum Sensor Supply Voltage	16	Unit [V]
	%MinHeatSuppVol	Minimum Heater Supply Voltage	16	Unit [V]
	%MaxHeatSuppVol	Maximum Heater Supply Voltage	16	Unit [V]
Information of Calibration	%TypHeatCurr	Typical Excitation Current	16	Unit [mA]
	%CalDate	Calibration Date	16	Month/day/year
	%CalInitials	Calibration initials	15	
	%CalPeriod	Calibration period	12	days
	%MeasID	Measurement location ID	11	
	%UsrData	User Data (Comment)	-	HOSEO Univ.

5. 결 론

센서는 점차 시장의 요구에 따라 소형화, 지능화, 그리고 무선화로 나갈 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 등에까지 점차 센서들의 활용 영역을 넓혀가고 있다.

전자코 시스템도 미래의 변화에 대응하기 위해서는 전자코 시스템 센서에 맞는 인터페이스 표준이 필요하다. 스마트 센서 표준인 IEEE 1451은 그런 의미에서 적용 가능한 표준이다. 본 논문은 전자코 시스템에서 사용하는 가스 센서를 IEEE 1451.4 TEDS에 적용하여 보았다. 그러나 단일 센서에 대한 정보만을 표현하는 IEEE 1451.4의 표준으로는 전자코 시스템의 센서를 표현하기에 적합하지 않았다. 전자코 시스템에서는 단일 센서를 사용하기 보다는 센서를 어레이화 하여 사용하고, 어레이 모듈화 되어 진 센서들을 사용하기 때문에 현재 제정된 표준을 사용하기 어렵다. 따라서 IEEE 1451.4 TEDS를 수정하여 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 모든 전자코 시스템 센서에 대해서 고려된 것은 아니고 가장 많이 사용되고 있는 센서들에 대해서만 고려되었다. 향후 더 많은 센서들에 대해 조사하고, 더 많은 실험을 통해 보완이 되어야 할 것이며, 현재 개발 중인 전자코 시스템에 적용해 볼 예정이다.

참 고 문 헌

[1] TC-9 Committee on Sensor Technology, "IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats", 1997.

[2] TC-9 Committee on Sensor Technology, "IEEE Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats", 2004.

[3] National Instrument, "IEEE 1451.4 Sensor Templates Overview", <http://zone.ni.com/devzone/>

[4] National Instrument, "IEEE 1451.4 Standard Overview", <http://zone.ni.com/devzone/>

[5] 전자연지니어링, "IEEE 1451.4에 적합한 교정설비 출시", 2004.

[6] N. Ulivieri, " IEEE 1451.4 : A way to standardize gas sensors" Workshop on HW/SW Standard interfaces for Gas Sensors and Sensor Networks(NoSE), 2004.

[7] 이상태, "계측기를 위한 통신 프로토콜(IEEE 1451)구현", <http://library.kriss.re.kr/rcmi/education/data/stlee.ppt>, 2001.

[8] 이상태, "IT 기반 원격 정밀 측정 표준 인터페이스 프로토콜", 표준측정, 25권, 1호, pp. 23-27, 2002.

[9] <http://www.wilcoxon.com>

[10] P. Doyle, D. Heffernan, 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

[11] L. Camara, O. Ruiz, A. Herms, J. Samitier, J. Bosch, "Automatic generation of intelligent instruments for IEEE 1451", Measurement, Vol. 35, Issue 1, pp. 3-9, 2004.

[12] V. Kochan, K. Lee, R. Kochan, A. Sachenko, "Approach to improving network capable application processor based on IEEE 1451 standard", Computer Standards & Interface, In Press, Available online 1 July 2005.

[13] Joachim P. Kloock, Yulia G. Mourzina, Jurgen Schubert 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.