

IEEE 1451.2를 이용한 전자혀 설계

김동진 · 김정도[†] · 정우석 · 이정환 · 김명규* · 윤철오**

Design of electronic tongue using IEEE 1451.2

Dong-Jin Kim, Jeong-Do Kim[†], Woo-Suk Jung, Jung-Hwan Lee,
Myunggyu Kim*, and Chul Oh Yoon**

Abstract

The IEEE 1451 publication are available, this standard defines interface between sensor and processor, and plug and play in processor is possible. Also, Intelligence of sensor was possible because sensor includes transducer electronic data sheet (TEDS). In IEEE 1451 standards, IEEE 1451.4 is suitable standard in single sensor, and IEEE 1451.2 is suitable standard in multi-sensors (array sensor). In this paper, apply IEEE 1451 to electronic tongue system. In the case of electronic tongue system, because array sensor is used, it is that complex and difficult to apply IEEE 1451.4 that is standard for single sensor. In this paper, apply IEEE 1451.2 for array sensor to design of electronic tongue system. Communication interface method of IEEE 1451.2 for electronic tongue system is presented, and implemented TEDS of electronic tongue system.

Key Words : IEEE 1451, TEDS, plug and play, sensor, array sensor, electronic tongue

1. 서 론

IEEE 1451 표준은 1993년 9월부터 표준화 작업이 시작되어, 현재 IEEE 1451.0부터 IEEE 1451.6까지 표준안이 출판되었거나 작업 중에 있다^[1]. 표준의 제목은 "A Smart Transducer interface for Sensors and Actuator"로서 네트워크와 변환기(transducer)간의 표준 인터페이스를 규정한다. 즉, 변환기 제조업체는 연결될 네트워크의 종류나 연결구조에 상관없이 오직 표준 인터페이스만 제공하면 되고, 네트워크의 입장에서는 연결될 변환기의 종류에 상관없이 공통 인터페이스를 통해 정보를 취득하고 제어 할 수 있게 하자는 것이다. 또한, 변환기 자체에 TEDS(transducer electronic data sheet)라 불리는 변환기의 특성 정보를 표현하는 데이터시트를 포함시킨다. 이러한 표준을 지원하는 변환기를 기존의 센서와 구별하여 스마트 변환기라고 부른다.

전자코와 전자혀 시스템에 사용되는 센서의 경우도 표준 인터페이스와 스마트화를 위해 IEEE 1451을 적용할 필요가 있다. 전자코와 전자혀 시스템에서 사용되는 센서들의 대부분은 같은 센서라 하더라도 약간씩 다른 특성의 차이를 가지며, 그 차이 정도는 전자코와 전자혀 시스템에서 사용되는 센서가 아닌 다른 센서(온도, 압력 등)들에 비해 차이가 더 크다. 이러한 문제는 캘리브레이션 정보를 TEDS에 포함시킴으로써 해결할 수 있다. IEEE 1451의 등장은 전자코와 전자혀 시스템에서 사용되는 센서들을 지능화시킬 수 있는 방법을 제공하였다. 현재 IEEE 1451 표준에서 전자코와 전자혀 시스템에 사용하기 적합한 표준은 IEEE 1451.2와 IEEE 1451.4이다.

IEEE 1451.2와 IEEE 1451.4 표준을 비교하면 크게 두 가지를 비교할 수 있다. 첫째로 인터페이스에 관한 부분이 다르다. IEEE 1451.2 표준은 TII(transducer independent interface)를 통해 연결되고^[2], IEEE 1451.4는 MMI(mixed-mode interface)를 통해 연결된다^[3]. TII는 SPI 통신을 사용하여 연결되고, TEDS 정보와 변환기의 신호를 디지털로 연결한다. 그러나 MMI는 변환기의 신호는 아날로그로 연결하고, TEDS의 정보는 디지털로

호서대학교 전자공학과 (Department of Electronics Engineering, Hoseo University)

*한국전자통신연구원 (Electronics and Telecommunications Research Institute)

**쥘 맥사이언스 (McScience Co.)

[†]Corresponding author: jdkim@office.hoseo.ac.kr

(Received : December 19, 2006, Accepted : February 22, 2007)

연결된다. 두 번째로, TEDS의 구조가 다르다. IEEE 1451.4 TEDS 구조는 변환기 종류의 넓은 범위를 처리하기 위한 유연성과 확장성이 있고 매우 간결한 메모리의 저장을 허용한다. 실제로 IEEE 1451.2 TEDS는 하나의 변환기를 설명하는데 1376 비트가 필요한 반면에, IEEE 1451.4 TEDS는 오직 256 비트만 필요하다^[1]. 그리고 TEDS의 정보를 보면, IEEE 1451.2 TEDS는 변환기들을 연결하고 있는 시스템의 정보를 나타내는 Meta-TEDS가 있고, 변환기의 정보를 나타내는 Channel-TEDS 등으로 구성 된다. IEEE 1451.4 TEDS는 연결하고 있는 변환기의 정보만을 나타낸다. 다시 설명하면, IEEE 1451.2 TEDS는 한 개의 시스템과 그 시스템에 연결된 다수의 변환기들에 대한 정보를 포함하고, IEEE 1451.4 TEDS는 하나의 변환기의 정보만을 포함한다.

IEEE 1451.4는 하나의 변환기를 표현하는데 두 개의 TEDS-block(basic TEDS, template TEDS)이 사용되고, IEEE 1451.2는 시스템 정보를 나타내는 한 개의 TEDS-block(Meta-TEDS)과 한 개의 변환기에 한 개의 TEDS-block(Channel-TEDS)을 사용된다. 다시 말해, IEEE 1451.4 TEDS는 하나의 변환기를 표현하는데 모든 TEDS를 사용하고, 시스템에 대한 정보는 표현되지 않는다. 그러나 IEEE 1451.2 TEDS는 변환기가 연결된 시스템의 정보와 변환기의 정보를 모두 표현한다. 전자혀 센서를 위한 IEEE 1451.4 적용 방법은 Ulivieri 등^[1]이 제안한바 있으며, 전자혀 센서를 위한 IEEE 1451.4 적용방법은 Kim 등^[4]에 의해 제안된 바 있다.

그러나 다수의 센서들을 어레이하여 사용되는 전자혀와 전자혀 시스템의 경우, IEEE 1451.4 TEDS를 사용하면 메모리의 활용에 있어서는 큰 장점이 있으나, 다수 센서의 TEDS 정보를 표현하고 처리해야 하는 복잡성이 존재한다. 또한 센서를 연결하고 있는 시스템에 대한 정보를 표현할 수 없다. 따라서 IEEE 1451.4 TEDS의 정보의 복잡성과 시스템에 대한 정보를 표현할 수 없음을 고려해 볼 때, 하나의 센서를 표현하고 사용할 때는 적합하지만, 다수의 센서들을 어레이화하여 사용하는 경우와, 시스템에 대한 정보를 표현하는 점에 있어서 IEEE 1451.2 TEDS를 이용하여 표현해야 한다. 어레이화된 전자혀 센서를 위한 IEEE 1451.2의 적용은 Pardo 등^[5]에 의해 제안된 바 있으나, 어레이화된 전자혀 센서를 위한 IEEE 1451.2 적용은 아직 제안된 바 없다.

본 논문은 IEEE 1451.2를 이용하여 전자혀 시스템을 설계하는 것이다. 보통 전자혀나 전자혀를 설계할 때는 서로 다른 종류의 센서를 사용하는 경우도 있지

만, 대부분 같은 종류의 센서를 사용하게 된다. 본 논문에서 사용하는 센서는 같은 종류의 센서를 어레이화한 MACS(multi-array chemical sensor, McScience Co., Korea)이다^[6,7]. 하나의 칩에 7개의 센서와 한 개의 기준전극이 어레이화되어 있다.

제작된 전자혀 시스템은 MACS를 사용하고, 전자혀 시스템과 NCAP(network capable application processor)간의 연결은 TII를 이용하여 PnP(plug and play)가 가능하게 설계하였고, 외부 EEPROM에 시스템의 정보를 표현할 수 있는 Meta-TEDS, Meta-Identification TEDS와 센서의 정보를 표현하는 Channel-TEDS를 포함 시켰다.

2. IEEE 1451.2 개요

그림 1은 IEEE 1451.2 구조의 블록도이다. STIM(smart transducer interface module)은 변환기들을 연결하고 있는 시스템을 의미하며, 변환기들의 감지 및 제어에 관련된 모든 기능들을 수행한다. 변환기들은 STIM의 채널을 통해 인터페이스 된다. 변환기들은 센서, 액추에이터, buffered sensor, data sequence sensor, buffered data sequence sensor, event sequence sensor, 그리고 general transducer가 있다. STIM은 TII를 통해 NCAP(network capable application processor)으로 연결되며, NCAP은 STIM과 연결된 변환기의 정보 및 측정 데이터를 네트워크로 연결시키는 역할을 한다^[2,8].

2.1. STIM(Smart transducer interface module)

STIM은 NCAP에 의해 동작되며 모든 기능들을 수행한다. 기능들은 주소지정(addressing)에 의해 수행된다. NCAP은 주소지정을 통해 채널에 연결된 변환기들로부터 데이터를 읽고 쓰거나 제어하는데 사용된다. 전체 주소는 2바이트로 구성되며, 상위 1바이트는 기능 주소(functional address)에 관해 사용되고 하위 1바이트

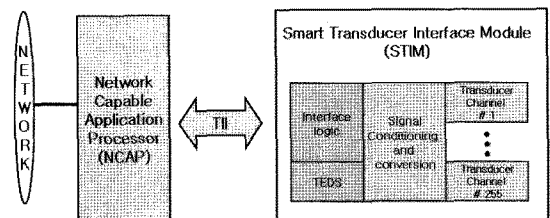


그림 1. IEEE 1451.2 구조의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the IEEE 1451.2 structure.

Functional Address					Channel Address				
r/w	Functional code				Channel number				
MSB				LSB	MSB				LSB

그림 2. 주소 구조
Fig. 2. Address layout.

표 1. 전역 기능 주소
Table 1. Global functional address

Functional address	Global function (Channel address=0x00)
0	Write global transducer data
1	Write global control command
3	Write triggered channel address
5	Write global standard interrupt mask
64	Reserved
65	Reserved
96	Write global End-Users' Application-Specific TEDS
128	Read global transducer data
130	Read global standard status
132	Read global auxiliary status
160	Read Meta-TEDS
161	Read Meta-Identification TEDS
192	Reserved
193	Reserved
224	Read global End-Users' Application-Specific TEDS

표 2. 채널 기능 주소
Table 2. Channel functional address

Functional address	Channel function (Channel address≠0x00)
0	Write channel transducer data
1	Write channel control command
3	Reserved
5	Write channel standard interrupt mask
64	Write Calibration-TEDS
65	Write Calibration-Identification TEDS
96	Write End-Users' Application-Specific TEDS
128	Read channel transducer data
130	Read channel standard status
132	Read channel auxiliary status
160	Read channel-TEDS
161	Read channel-Identification TEDS
192	Read Calibration-TEDS
193	Read Calibration-Identification TEDS
224	Read End-Users' Application-Specific TEDS

는 채널 주소(channel address)에 관해 사용된다. 그림 2에 주소 구조를 나타내었다^{2,8)}.

기능 주소의 최상위 bit는 STIM의 정보를 읽거나 쓸 때 사용한다. ‘0’은 STIM에 정보 쓰기를 지시하고, ‘1’은 STIM에서 정보 읽기를 지시한다. 표 1과 2는 기능들의 주소를 보여준다. 표 1은 채널 주소가 0x00일 때 전역 기능 주소를 제공한다. 표 2는 실제 채널 변환기로부터 데이터를 읽고 쓰기 위해 사용하는 채널에 대한 기능 주소를 설명한다^{2,8)}.

2.2. IEEE 1541.2 TEDS

TEDS는 변환기의 형태, 동작, 특성들에 대한 모든 정보 갖고 있다. TEDS의 정보는 STIM에 연결되는 변환기에 따라 달라진다. TEDS는 변환기를 사용하는데 필요한 모든 정보를 표현한다. Table 3은 변환기 정보를 표현하는 TEDS의 종류를 보여준다. Meta-TEDS와 Channel-TEDS는 TEDS 블록들에 반드시 사용해야 한다. 그러나 다른 TEDS 블록인 Meta-Identification TEDS, Channel-Identification TEDS 등은 응용에 따라 선택적으로 사용할 수 있다.

2.3. Transducer Independent Interface (TII)

IEEE 1451.2에서 변환기는 PnP 동작을 한다. STIM은 NCAP에 연결되면 PnP 기능에 의해 자동으로 동작된다. STIM은 TII를 통해 NCAP과 통신한다. TII는 4개의 다른 그룹으로 나누어지고 10개의 라인으로 연결된다. 10개의 라인 중 두 개의 라인은 5V 전원을 인가하는데 사용된다. 그러나 높은 전원이 액추에이터를 구동하기 위해 인가되어야 하는 어떤 경우에 두 개 이상의 선을 선택적으로 연결 할 수 있다.

그림 3은 NCAP과 STIM을 TII로 연결한 것을 보여 주고, 표 4는 TII내의 각각 라인에 기능을 설명한다^{2,8)}.

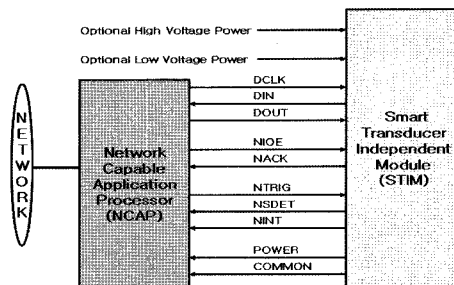


그림 3. 변환기 독립 인터페이스
Fig. 3. Transducer independent interface.

표 3. TEDS 구조^[9]
Table 3. TEDS structure^[9]

Type of TEDS	TEDS Function
Meta-TEDS	Contains the mandatory machine-readable data that describes the entire STIM. The data may include information such as the revision of the IEEE standard, version of the TEDS, number of channels and timing restriction.
Channel-TEDS	Contains the mandatory machine-readable data that describe each transducer channel in the STIM. The data may include information such as the transducer type, calibration model, physical units, limits range, data format and the timing restriction for the relevant transducer channel.
Meta-Identification	TEDS* Provides the optional human-readable (Text/ASCII) data for the overall STIM. Data may include information such as manufacturer's name, model number, serial number, version codes, date codes and product description.
Calibration TEDS*	Contains the optional machine-readable data when a correction engine is used in the STIM. The data may include information such as the calibration coefficients, intervals, date and time for the each transducer channel that requires calibration.
Channel-Identification TEDS*	Provides the optional human-readable data similar to Meta-Identification TEDS, except that it is for an individual channel. This data is used when a STIM is built with multi-channel transducers from different manufacturers.
Calibration-Identification TEDS*	Provides the optional human-readable data when a correction engine is used in the STIM. The data may include information such as the calibrator id and the calibration standard used.
End-User's Application-Specific TEDS*	Provides the additional human-readable data not covered by the specific TEDS described above. The data may include information such as the location of the STIM and the contact information for the technical inquiry.
Generic Extensions TEDS*	Allows an option for the future extension to the TEDS described above

*Optional TEDS

표 4. 인터페이스 신호 라인
Table 4. Interface signal lines

Group	Lines	Logic	Function
Data	DIN	Positive logic lolloologic	Address and data transport form NCAP to STIM
	DOUT	Positive logic	Data Transport from STIM to NCAP
	DLCK	Positive edge	Positive going edge latches data on both DIN and DOUT
Triggering	NIOE	Active low	Signals that the data transport is active and delimits data transport framing
	NTRIG	Negative edge	Performs triggering function
	POWER	N/A	Nominal 5 V power supply
Support	COMMON	N/A	Signal common or ground
	NACK	Negative edge	Serves two functions: - Trigger acknowledge - Data transport acknowledge
	NSDET	Active low ac	Use by the NCAP to detect the presence of a STIM
Interrupt	NINT	Negative edge	Use by the STIM to request service from the NCAP

3. IEEE 1451.2 기반의 전자혀 시스템 설계

본 논문에서는 IEEE 1451.2 표준을 전자혀 시스템에 적용하여 STIM을 개발하였다. 개발된 STIM은 제

어 모듈로 PIC18F8720을 사용하였고, 8개의 변환기 채널을 가지고 있다. 각 채널에는 7개의 센서와 한 개의 기준전극을 연결하였다. 채널에 사용된 센서와 전극은 칩 형태로 어레이화된 MACS를 사용하였다. IEEE

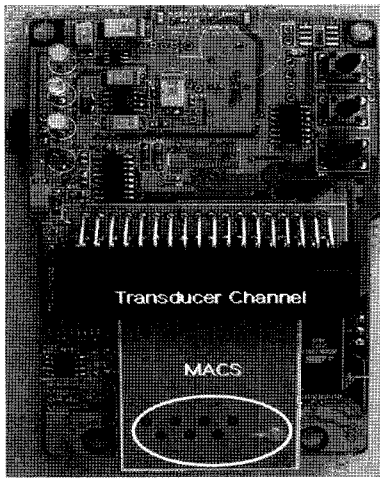


그림 4. 스마트 변환기 인터페이스 모듈
Fig. 4. Smart transducer interface module.

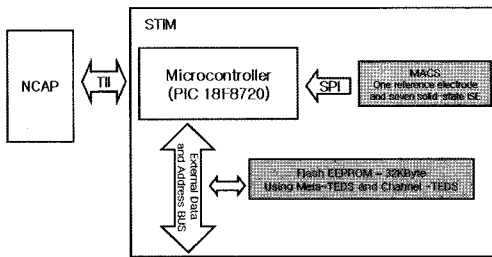


그림 5. STIM 제어 모듈의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the STIM control module.

1451.2 TEDS의 구성을 위해 32KB의 EEPROM을 사용하였다. 그림 4는 개발된 STIM이다.

3.1. STIM 제어 모듈

STIM 제어 모듈은 IEEE 1451.2 표준에 정의된 모든 일들의 실행을 관리하고 있다. 우리는 PIC18F8720 마이크로 컨트롤러와 외부 메모리(32 Kbyte flash EEPROM)를 사용하여 STIM을 개발했다. 그림 5는 개발된 STIM 제어 모듈의 블록도이다.

3.2. STIM 변환기 채널 (MACS)

본 논문에서는 전자책 시스템에 MACS(그림 6)를 사용하였다. 하나의 기준 전극과 7개 다른 이온 선택막 전극(pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻)들을 포함하는 고체 상태의 칩 센서는 표면 처리된 평면 기판(substrate, 35×30 mm²)상에 제작되었다. 기판 내부의 전극들은 0.1 M FeCl₃ 용액을 이용하여 전 처리 하였다.

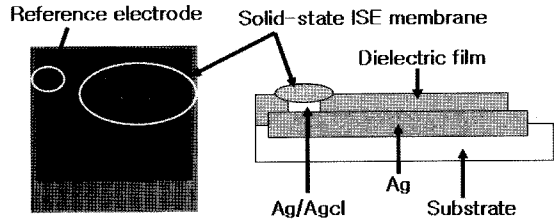


그림 6. 다중 배열 화학 센서
Fig. 6. MACS (multi-array chemical sensor).

ISE(ion selective electrode)는 polyurethan/polyvinylchloride의 polymer matrix로 구성되고, 고체 상태의 ISE에 사용되며, valinomycin, nonactin, TDMANO₃, calix-4-arene, ETH1001 같은 다양한 물질들은 bis-2(ethylhexyl)adipate와 2-NPOE 가소제를 가진 ISE에 사용된다. 모든 ISE 전극들의 potentiometric 감도는 이온 농도 범위 10⁻⁴~10⁻² M과 pH 4-10에서 테스트 하였고, Ca²⁺ 전극과 다른 ISE의 감도가 22 mV/dec 이상이 되기 위해 테스트 하였다. 표준 버퍼 용액으로 0.05 M tris-H₂SO₄를 사용한다.

3.3. 변환기 채널 인터페이스

개발된 STIM은 8개의 채널을 가지고 있다. 하나의 기준전극과 7개의 서로 다른 센서를 연결하였다. 그림 7은 변환기 채널의 인터페이스 블록도이다.

3.3.1. Buffer and low pass filter

버퍼는 MACS와 회로의 임피던스 정합을 위해 사용한다. 전자책 시스템의 MACS는 높은 임피던스를 갖고 있기 때문에, 출력 전류가 매우 약하다. 센서로부터 출력신호가 수~수십 mV만큼 낮기 때문에, 센서 입력단에 버퍼를 구성하여 측정회로가 신호원에 영향을 주지 않도록 하였다. 버퍼를 통과한 신호들은 신호 소스에 포함된 고주파 잡음을 없애기 위해 LPF(low pass filter)에 의해 연결 된다. 버퍼는 높은 입력 임피던스(1012 Ω 또는 그 이상)와 낮은 출력 임피던스의 연산 증폭기를 사용하고, 1의 이득을 갖는 voltage follower로

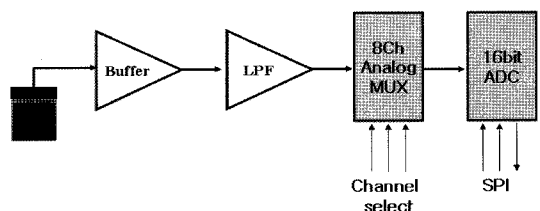


그림 7. 변환기 채널 인터페이스의 블록도
Fig. 7. Block diagram of Transducer channel interface.

구성한다. 필터는 2차 LPF이고 차단 주파수(f_c)는 전원 소스 잡음과 외부 고주파 잡음을 제거하기 위해 32 Hz로 설정하였다.

3.3.2. Multiplexer and ADC

다중화기는 아날로그 입출력이 가능한 8채널 CMOS형이다. 다중화기는 마이크로 컨트롤러의 제어에 의해 순차적으로 MACS로부터 신호를 받고, 출력한다. 출력 신호는 다른 버퍼를 통해 전송되고 ADC에 입력된다. ADC는 16 비트의 높은 분해능을 갖는 것으로 사용하였다. MACS는 평균 ± 300 mV 또는 그 이하의 전압을 출력한다. ADC의 기준전압(3.3 V)을 102 μ V/1 LSB의 분해능을 갖도록 설계하였다. ADC는 마이크로 컨트롤러의 SPI를 통해 데이터를 전송한다.

3.4. Transducer electronic data sheet (TEDS)

IEEE 1451.2의 TEDS에는 시스템의 정보를 알 수 있는 Meta-TEDS, Meta-Identification TEDS, 그리고 채널에 연결된 센서의 정보를 알 수 있는 Channel-TEDS, Channel-Identification TEDS 등이 포함된다. 본 논문에서 개발한 STIM에는 메인 컨트롤러인 PIC18F8720에 32 KB의 flash EEPROM을 외부 BUS로 연결하여 TEDS 정보를 포함시켰다. 구현된 TEDS는 STIM의 시스템 정보를 알 수 있는 Meta-TEDS, Meta-Identification TEDS, 그리고 센서의 정보를 알 수 있는 Channel-TEDS를 구현하였다. 개발된 STIM은 7개의 센서와 한 개의 기준전극을 연결하였다. 채널에 연결된 센서와 기준전극은 모두 아날로그 신호를 출력한다. 따라서 센서의 형태가 같기 때문에 하나의 채널 그룹으로 사용하였다.

TEDS의 정보를 저장하기 위해서 EEPROM을 영역별로 할당하였다. 각각의 TEDS의 정보를 저장하고, 사용하지 않은 TEDS를 위해 영역을 남겨두었다. 표 5는 할당된 메모리 구조이다. TEDS구현에 사용된 메모리는 총 945 바이트(Meta-TEDS: 80 바이트, Meta-Identification: 65 바이트, Channel-TEDS: 800 바이트)를 사용하였다.

표 5. TEDS의 메모리 구조
Table 5. Memory map for the TEDS

TEDS	Memory address	Size
Meta-TEDS	0000 h-07FFh	2 KByte
Channel-TEDS	0800 h-37FFh	12 KByte
Meta-Identification TEDS	3800 h-3FFFh	2 KByte
Reserved	4000 h-7FFFh	16 KByte

4. 결과 및 고찰

본 논문에서 개발된 STIM은 TII를 통해서 연결된다. TII를 통해 NCAP과 연결함으로써 PnP가 가능하다. 개발된 STIM은 PC와 PDA에 연결하기 위하여, SPI를 RS-232C로 변환하는 장비를 제작하여 사용하였다. PnP를 가능하기 위해서 RTS(return to send), CTS(clear to send)를 사용하여, TII를 통해 STIM이 연결되었을 때 PnP가 가능하게 하였다.

TEDS는 STIM이 처음 사용되기 전에 EEPROM에 저장되어야 한다. 따라서 제작된 소프트웨어는 TEDS의 정보를 STIM에 저장하기 위한 편집 기능과, 읽을 수 있는 기능이 가능하다. 본 논문에서 TEDS 정보는 Meta-TEDS, Meta-Identification TEDS and Channel-TEDS를 구현하였다. 이 정보를 읽고, 쓸 수 있도록 소프트웨어 프로그램을 제작하였다.

그림 8은 구현된 TEDS 정보의 Meta-TEDS를 읽고, 쓸 수 있는 프로그램이다. EEPROM으로부터 읽어온 STIM의 정보를 보여준다. 그림 8에서 읽어온 Meta-TEDS는 STIM이 NACP에 연결되었을 때 자동으로 읽어오는 정보로 전자혀 시스템을 제작할 날짜와 위치정보, 시스템으로부터 읽어오는 통신 속도, 데이터 획득을 위한 시간 등의 정보를 얻을 수 있다.

그림 9는 EEPROM에서 읽어온 Meta-Identification TEDS의 정보이다. Meta-Identification TEDS의 정보는

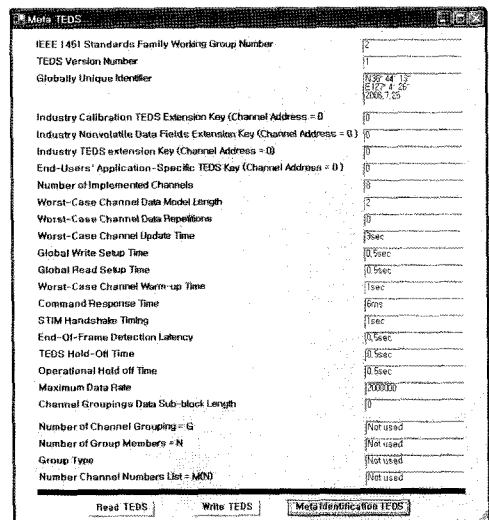


그림 8. Plug and Play 기능이 부가된 STIM의 EEPROM으로부터 읽어온 Meta-TEDS
Fig. 8. Meta-TEDS information reading from EEPROM in STIM using the plug-and-play operation.

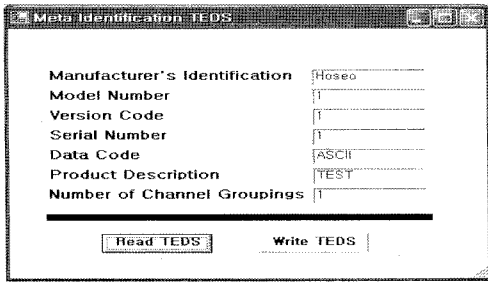


그림 9. Plug and Play 기능이 부가된 STIM의 EEPROM 으로부터 읽어온 Meta-Identification TEDS
Fig. 9. Meta-Identification TEDS information reading from EEPROM.

Meta-TEDS의 정보를 읽어올 때 읽어오는 정보로, STIM을 제작한 제조자의 정보를 알 수 있다.

그림 10은 STIM에 연결되어 있는 각 센서의 정보를 표현하고 있는 Channel-TEDS를 보여준다. Meta-TEDS와 Meta-Identification TEDS의 정보를 읽어올 때 같이 읽어온다. 그림 10을 보면, 현재 STIM에 연결되어 있는 센서가 출력하는 신호의 단위, 센서로부터 측정되는 데이터를 읽어올 수 있는 시간 등의 정보를 표현한다.

그림 11은 STIM이 NCAP(본 논문에서는 PC or PDA)에 연결되고, TEDS 정보를 모두 읽어 온 후에 동작을 보여준다. 각 센서로부터 측정된 데이터와, 측정 데이터를 PCA(principal component analysis)를 통해서 분석한 결과이다. 또한 전자혀 시스템은 센서를 캘리브레이션하기 위해 기준용액에 일정시간 넣어야 한다. 캘리브레이션을 하면서 센서를 안정화 되는 과정을 모니터링 할 수 있게 하였다.

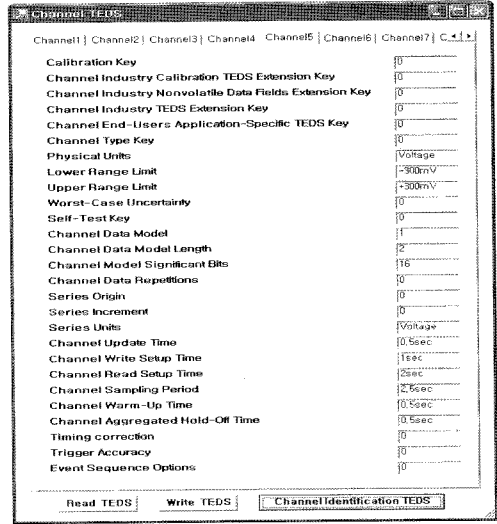


그림 10. Plug and Play 기능이 부가된 STIM의 EEPROM 으로부터 읽어온 Channel-TEDS
Fig. 10. Channel-TEDS information reading from EEPROM in STIM using the plug-and-play operation.

본 논문에서 전자혀 시스템을 IEEE 1451.2에 적용하여 개발하였다. IEEE 1451.2 기반의 전자혀 시스템을 검증하기 위해서 프로그램을 작성하였고, 작성된 프로그램을 통해 구현된 시스템을 검증하였다. 작성된 프로그램은 PnP기능을 가질 수 있었고, 그림 8, 9 그리고 10과 같이 전자혀 시스템으로부터 센서의 정보 및 시스템의 정보를 표현하는 TEDS의 정보를 얻을 수 있었다. 또한 TEDS를 통해 얻어진 센서의 정보 및 시스템의 정보를 이용하여 그림 11과 같이 전자혀 시스템의

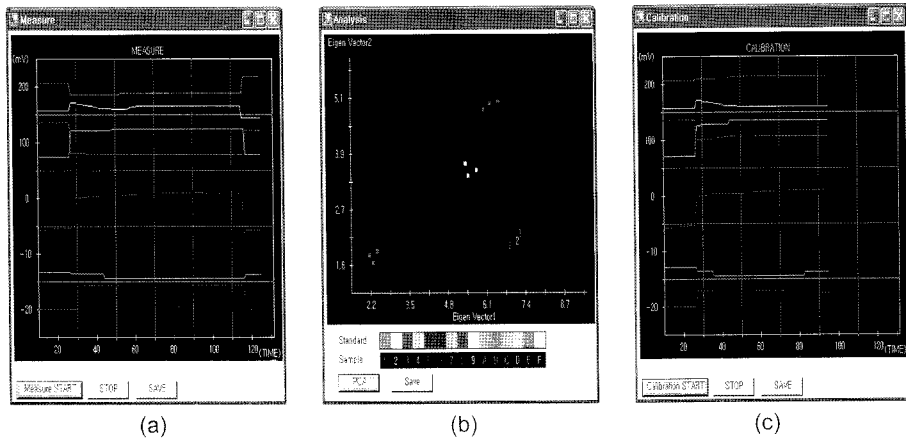


그림 11. (a) 측정 처리, (b) PCA 사용 분석, (c) 교정 처리
Fig. 11. (a) measurement procedure, (b) analysis using PCA, (c) calibration procedure.

측정데이터를 획득할 수 있었다. IEEE 1451.2는 TEDS 정보를 통해 센서를 스마트화 할 수 있고, PnP 기능과 얻어진 센서 및 시스템의 TEDS 정보를 통해 데이터의 측정이 가능한 표준임을 확인하였다.

5. 결 론

IEEE 1451.2는 변환기를 위한 인터페이스 표준이다. 본 논문은 다수의 센서를 어레이하여 사용하는 전자혀 시스템에 IEEE 1451.2를 적용해 보았다. 사용된 센서는 다수의 센서를 어레이한 MACS를 사용하였다. MACS는 7개의 센서와 한 개의 기준전극을 가지고 있다.

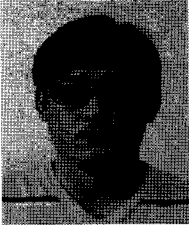
본 논문에서는 7개의 센서와 한 개의 기준전극에 대한 TEDS(Channel-TEDS)를 구현하였고, 센서를 연결하고 있는 전자혀 시스템에 대한 TEDS(Meta-TEDS, Meta-Identification TEDS)도 구현하였다. 그리고 구현된 TEDS를 전자혀 시스템의 메모리에 저장할 수 있는 프로그램을 작성하여, 메모리에 저장하였다. 또한 PnP 기능을 부여하기 위해 전자혀 시스템과 PC와 TII를 이용하였다. 그리고 구현된 TEDS와 PnP 기능을 검증하기 위해 프로그램을 작성하여 검증해 보았다.

검증 결과, 전자혀 시스템이 PC에 연결되었을 때 PnP가 되었으며, 전자혀 시스템에 연결되어 있는 센서의 종류 및 특성 정보를 얻을 수 있었다. IEEE 1451.2는 TEDS 정보를 통해 센서를 스마트화 할 수 있고, PnP 기능과 얻어진 센서 및 시스템의 TEDS 정보를 통해 데이터의 측정이 가능한 표준이다. 또한 IEEE 1451.2는 센서 및 시스템을 네트워크로 연결할 수 있는 표준으로 다수의 시스템이 네트워크에 연결되어 있을 때, TEDS 정보를 통해 시스템과 센서의 정보를 얻을 수 있어 어떠한 장치가 연결되어도 PnP가 이루어질 수 있어 장치간의 호환성(interoperability)을 갖는다.

현재 필드버스 프로토콜로 사용되고 있는 MODBUS 프로토콜^[10]은 IEEE 1451.2와 같이 PnP를 지원한다. 그러나 MODBUS 프로토콜은 연결된 시스템의 정보나 시스템에 연결된 변환기에 대한 정보를 표현할 수 없기 때문에 장치들 간의 호환성을 가지지 못한다. 따라서 IEEE 1451.2 표준은 필드버스에서도 사용될 수 있는 표준이며, 현재 세계적인 관심사인 유비쿼터스 센서 네트워크에 적용이 되어야 한다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] Institute of Electrical, Electronics Engineers Inc., "IEEE Std 1451.2-1997, 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 and Electronics Engineers Inc., Piscataway, NJ, 1997.
- [3] 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.
- [4] J.-D. Kim, D.-J. Kim, H.-G. Byun, Y.-K. Ham, W.-S. Jung, D.-W. Han, J.-S. Park, and H.-L. Lee, "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] A. Pardo, L. Camara, J. Cabre, A. Perera, X. Cano, S. Marco, and J. Bosch, "Gas measurement systems based on IEEE 1451.2 standard", *Sensors and Actuators B*, vol. 116, issue 1-2, pp. 11-16, 2006.
- [6] <http://www.mcscience.com/>.
- [7] J.-D. Kim, H.-G. Byun, D.-J. Kim, Y.-K. Ham, W.-S. Jung, and C.-O. Yoon, "A simple taste analyzing system design for visual and quantitative analysis of different tastes using multi-array chemical sensors and pattern recognition techniques", *Talanta*, vol. 70, no. 3, pp. 546-555, 2006.
- [8] <http://iee1451.nist.gov/>.
- [9] <http://www.eesensors/IEEE1451.html/>.
- [10] <http://www.modbus.org/>.
- [11] 김동진, 김정도, 변형기, 함유경, 한동원, "IEEE 1451.4를 이용한 전자혀 시스템의 표준화 방안", *센서학회지*, 제14권, 제6호, pp. 444-453, 2005.
- [12] 김정도, 김동진, 함유경, 정영창, 윤철오, "Fuzzy C-Means Algorithm을 이용한 휴대용 전자혀 시스템 설계", *센서학회지*, 제13권, 제6호, pp. 446-453, 2004.



김 동 진

- 2007년 2월 호서대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 1월~2004년 6월 (주)제니스테크 기술연구소 선임연구원
- 2007년 3월~현재 호서대학교 전임강사
- 주관심분야 : 센서 응용, 오감정보, 스마트인터페이스



김 정 도

- 1994년 2월 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월~2004년 2월 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과 교수
- 2004년 3월~현재 호서대학교 전자공학과 교수
- 주관심분야 : 시스템제어, 오감정보, 스마트인터페이스



정 우 석

- 2005년 3월~현재 호서대학교 전자공학과 박사과정
- 2007년 1월~현재 KIST 위촉연구원
- 주관심분야 : 시스템제어, 지능알고리즘, 센서응용



이 정 환

- 2007년 3월~현재 호서대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 스마트인터페이스, 센서응용



김 명 규

- 1994년 매릴랜드 주립대학교(이학박사)
- 1994년 10월~1997년 6월 서울대학교 자연과학종합연구소 연구원
- 1997년 6월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

윤 철 오

- 1988년 3월 서울대학교 물리학과(이학박사)
- 1992년 2월~1994년 12월 University of California Santa Barbara 고분자 연구소 연구원
- 1994년 12월~2004년 4월 (주)금호석유화학 연구소
- 2000년 5월~현재 (주)텍사이언스 대표이사