

## IVN 시스템을 위한 IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 개발

이 경 창 · 김 만 호 · 이 석\*

부산대학교 기계공학부

### Development of IEEE 1451 based Smart Module for In-vehicle Networking Systems

Kyung Chang Lee · Man Ho Kim · Suk Lee\*

School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received 16 June 2003 / Accepted 2 September 2003)

**Abstract** : As vehicles become more intelligent for convenience and safety of drivers, the in-vehicle networking(IVN) systems and smart modules are essential components for intelligent vehicles. However, for wider application of smart modules and IVN's, the following two problems should be overcome. Firstly, because it is very difficult that transducer manufacturers developed the smart module that supports all the existing IVN protocols, the smart module must be independent of the type of networking protocols. Secondly, when the smart module needs to be replaced due to its failure, only the transducer should be replaced these without the replacement of the microprocessor and network transceiver. To solve these problems, this paper investigates the feasibility of an IEEE 1451 based smart module. More specifically, a smart module for DC motor control has been developed. The module has been evaluated for its delay caused by the IEEE 1451 architecture. In addition, the time required for transducer replacement has been measured.

**Key words** : Smart transducer(스마트 트랜스듀서), IEEE 1451, In-vehicle networking(차량 내부 네트워킹), Controller area network (CAN), Intelligent vehicle(지능형 차량)

#### 1. 서 론

최근 들어, 승용차나 트럭, 산업용 차량, 군사용 차량 분야에서 지능화 차량(intelligent vehicle)에 대한 관심이 급속히 증대되어 가고 있다. 일반적으로, 지능화 차량이 구현되기 위해서는 차량의 위치나 속도와 같은 차량의 상태와 차량 외부의 환경이 실시간으로 인식될 수 있어야 할 뿐만 아니라, 차량이 반자동 또는 자동으로 제어될 수 있어야 한다. 이러한 이유로, 지능화 차량에서는 운전자의 편의를 위하여 차량 일부를 제어하는 운전자 보조 시스템

(driver assistance system)이나 운전자에게 정보를 제공하고 위험 상황을 경고하는 충돌 경고 시스템(collision warning system) 등과 같은 다양한 지능형 센싱 및 제어(intelligent sensing and control) 알고리즘이 요구된다. 현재, 이러한 지능화 차량은 지능형 교통 시스템(intelligent transportation system, ITS)의 구현에 있어서 매우 중요한 분야로서, 운전자의 안전성과 편의성을 향상시키는 데 있어서 필수적인 것으로 인식되고 있다.<sup>1,2)</sup>

특히, 차량의 지능화가 더욱 높은 수준으로 진행됨에 따라, 차량에서 사용되는 가속도 센서나 온도 센서, 레이더 센서, 각종 제어용 모터 등과 같은 전자 부품의 수는 급속도로 증가하게 되었다. 그러나,

\*To whom correspondence should be addressed.  
slee@pnu.edu

전자 부품과 전자제어기(Electronic Control Unit, ECU)나 스위치(switch)를 전선(cable)을 이용하여 일대일로 연결하는 전통적인 배선 시스템(harness system) 체계에서는, 전자 부품의 증가는 전선이 기하급수적으로 증대되는 결과를 초래하였다. 이러한 전선의 증가는 배선 체계를 더욱 복잡하게 함으로써 차량의 정비와 기능의 추가를 어렵게 하였을 뿐만 아니라, 차량 중량을 증가시켜 차량 성능을 악화시키는 결과를 초래하였다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 완성차 업계와 부품 업계는 전자 부품과 ECU 및 스위치를 한 가닥의 공유된 전선으로 연결하려는 차량 내부 네트워크 시스템(in-vehicle networking system, IVN)을 개발하기 시작하였다.<sup>3,4)</sup> 이러한 결과, 윈도우 모터나 윈도우 스위치 등과 같은 차량 제어용 프로토콜로 CAN(Controller Area Network)과 J1850, LIN(Local Interconnect Network) 등이 개발되었다.<sup>5)</sup> 특히, 최근에 들어서는 브레이크나 조향 시스템과 같은 실시간을 요구하는 차량 부품에서 IVN을 적용할 목적으로 TTP/C(Time Triggered Protocol/Class C)나 TTCAN(Time Triggered CAN), FlexRay 등과 같은 X-By-Wire용 프로토콜이 개발되고 있다.<sup>6,8)</sup>

이러한 결과로, 지능화 차량에 IVN 시스템이 적용됨에 따라, 운전자의 편의성과 안전성을 위하여 개발된 다양한 전자 부품들이 배선 시스템의 변경 없이 차량에 쉽게 설치가 가능해지게 되었다. 또한, 차량 내부에서 사용되는 전선의 감소로 인하여 차량의 연비 등과 같은 성능이 향상되었으며, 추가적인 공간의 확보나 조립 공정의 단순화, 정비의 효율성 등과 같은 추가적인 장점을 얻을 수 있었다.<sup>9)</sup>

최근에는 마이크로 프로세스의 가격이 하락함에 따라, 차량에 사용되는 전자 부품에 신호 필터링이나 데이터 연산 및 전송 기능이 통합된 네트워크 기반 스마트 모듈(network based smart module)에 대한 연구와 개발이 증대되고 있다. 즉, 차량에서 ECU의 부담을 줄이기 위하여 전자 부품과 마이크로 프로세스 및 네트워크 트랜시버를 하나의 모듈로 통합하려는 스마트 모듈이 제안되었다. 이러한 스마트 모듈은 전자 부품으로부터 신호를 센싱하고, 이를 디지털로 변환하고 필요한 연산을 수행한 후, 네트

워크 트랜시버를 이용하여 ECU로 직접 전송할 수 있는 기능을 가지고 있다.

그러나, 스마트 모듈이 IVN 시스템에서 보다 효율적으로 적용되기 위해서는 다음과 같은 두 가지 문제가 고려되어야 한다. 첫째, 스마트 모듈은 IVN 시스템에서 사용되는 프로토콜의 종류에 관계없이 적용될 수 있어야 한다. 현재, 차량용 프로토콜로는 CAN, LIN, TTP/C 등과 같은 다양한 프로토콜이 사용되고 있기 때문에, 스마트 모듈을 개발하려는 부품 업체는 여러가지 프로토콜을 모두 지원할 수 있는 스마트 모듈을 만들어야 한다. 그러나, 이러한 문제는 부품 업체의 입장에서는 매우 어려운 문제이기 때문에, 스마트 모듈의 발전을 지연시키는 주요한 요인이 되고 있다. 따라서, 스마트 모듈은 차량용 프로토콜에 대하여 독립적으로 설계 및 제작될 수 있어야 한다.

둘째, 스마트 모듈을 교체하는 경우, 교체 비용이 작아야 한다. 스마트 모듈에는 기존 차량 부품에 비한다면 상대적으로 고가인 마이크로 프로세서나 네트워크 트랜시버 등이 차량 부품 등에 통합되어 있다. 이로 인하여, 스마트 모듈을 교체하게 되는 경우, 네트워크 트랜시버 등도 함께 교환하게 됨으로써, 교체 비용이 많이 소요된다는 문제점이 존재한다. 따라서, 스마트 모듈을 교체하는 경우, 마이크로 프로세서나 네트워크 트랜시버의 변경 없이 차량 부품만을 바꿀 수 있는 방법이 요구된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 IVN 시스템을 위한 IEEE 1451 기반 스마트 모듈에 대하여 제안하고자 한다. IEEE 1451<sup>10,11)</sup>은 공장 자동화 시스템에서 스마트 트랜스듀서(smart transducer)를 위하여 개발된 국제 표준으로서, 스마트 모듈의 센싱 및 신호 필터링 기능과 데이터 연산 및 통신 기능을 두 개의 모듈로 분리하도록 규정하고 있다.<sup>12,13)</sup> 따라서, 이러한 IEEE 1451이 IVN 시스템을 위한 스마트 모듈에 적용되면, 차량 부품 업체에서는 네트워크 프로토콜에 독립적인 스마트 모듈의 개발이 가능해질 것이며, 완성차업체는 차량 부품의 종류에 관계없이 IVN 시스템의 개발이 가능해질 것이다. 또한, 스마트 모듈의 교체 시 차량 부품만을 교체하면 되므로, 모듈 교체 비용 절감이 가능

해 질 것이다.

본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 스마트 센서와 IEEE 1451에 대하여 간략하게 서술하였으며, 3장에서는 CAN 네트워크 모듈에서 IEEE 1451의 적용 방법에 대하여 제시하였다. 4장에서는 실험 모델을 구현하여 센서 및 액추에이터를 교체하는 경우의 제안된 모델의 성능을 평가하였다. 마지막으로, 5장에서는 결론과 향후 과제를 제시하였다.

## 2. 스마트 모듈 설계를 위한 표준:IEEE 1451

IEEE 1451은 공장 자동화 시스템에서 스마트 트랜스듀서의 개발을 위하여 제안되었다. 스마트 트랜스듀서를 구성하는 데 있어서 핵심적인 부분인 IEEE 1451은 그림 1에서 보는 바와 같이 STIM(Standard Transducer Independent Module)과 NCAP(Network Capable Application Processor)으로 구성되어 있다. 여기에서, STIM은 트랜스듀서와의 인터페이스, 신호 변환 그리고 신호 처리 기능을 수행한다. 즉, 그림에서 보는 바와 같이, STIM은 트랜스듀서(XDCR)로부터 아날로그 신호를 측정하고, 측정된 아날로그 신호를 A/D 변환기(ADC)를 이용하여 디지털 데이터로 변환하고, 이를 NCAP으로 전달한다. 그리고, NCAP으로부터 전달받은 디지털 데이터를 D/A 변환기(DAC)를 이용하여 아날로그 신호로 변환한 후 트랜스듀서에 전달하는 역할도 함께 수행한다.

반면, NCAP은 STIM에서 받은 데이터를 연산 처리한 후 네트워크를 통하여 디지털의 형태로 전송하는 기능을 수행한다. 여기에서, NCAP과 STIM은

그림 1에 표시한 바와 같이 데이터 전송을 위한 디지털 인터페이스를 정의한 TII(Transducer Independent Interface)를 이용하여 서로 통신을 수행한다. 특히, NCAP는 초기화될 때, STIM 내부에서 트랜스듀서의 종류나 보정 데이터와 같은 트랜스듀서에 관한 정보를 저장하고 있는 TEDS(Transducer Electronic Data Sheet)를 통하여 트랜스듀서에 대한 정보를 읽어오게 된다. 이러한 방법에 의하여, IEEE 1451에서는 NCAP을 초기화하거나 STIM을 교체하더라도 NCAP은 TEDS로부터 트랜스듀서에 대한 정보를 읽게 됨으로써, 관리자의 특별한 보정없이도 즉시 스마트 모듈의 사용이 가능하게 된다.

## 3. IEEE 1451 기반 CAN 모듈의 설계

본 절에서는 IEEE 1451을 이용하여 스마트 모듈을 설계하는 방법에 대하여 설명한다. 그림 2는 CAN 기반 스마트 모듈에서 IEEE 1451을 적용하기 위한 개념도를 나타내고 있다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이, 전통적인 스마트 모듈에서는 트랜스듀서의 측정 기능과 A/D나 D/A와 같은 신호 변환 기능, 데이터 처리 및 전송 기능 등이 하나의 모듈에 통합되어 CAN 네트워크에 접속되어 있음을 알 수 있다. 그러나, 그림 2(b)에서 보는 바와 같이, IEEE 1451 기반 스마트 모듈에서는 신호 측정과 변환 기능은 STIM에, 데이터 처리 및 전송 기능은 NCAP으로 분리되어 있으며, 두 개의 모듈은 TII에 의하여 연결되어 있음을 알 수 있다. 이러한 방법에 의하여, STIM을 포함하는 트랜스듀서는 NCAP에 의하여 구현되는 네트워크 트랜시버에 관계없이 운영이 가능하다.

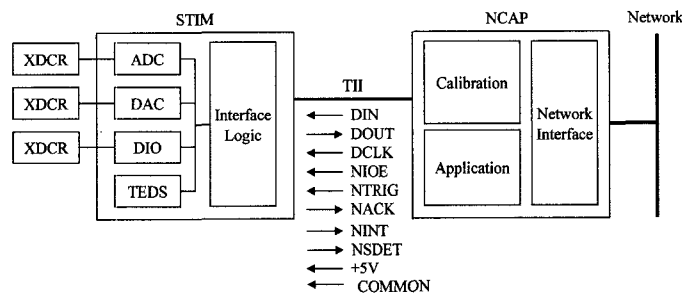


Fig. 1 Schematic structure of IEEE 1451 based smart model

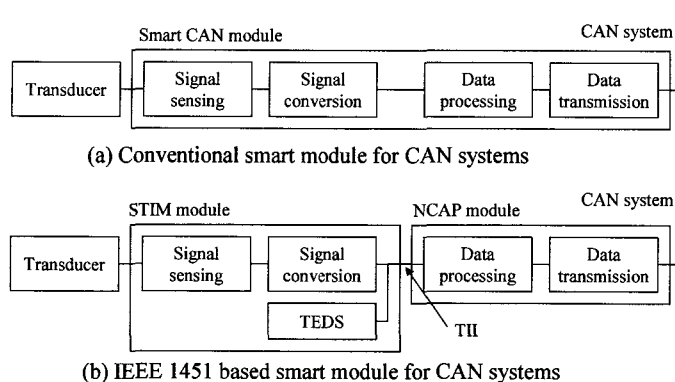


Fig. 2 Comparison on block diagram of conventional and IEEE 1451 based smart module

### 3.1 STIM 모듈의 설계

STIM은 센서에서 받은 아날로그 데이터를 필터링하고, A/D 변환을 거쳐 디지털 데이터로 변경하는 기능을 수행하는 모듈로서, STIM의 동작 알고리즘을 나타내면 그림 3과 같다. 그림에서, STIM은 초기화 과정을 거친 후에, TII의 NIOE 신호선이 high 레벨(1의 값)인 경우, STIM은 데이터가 전송되고 있지 않다고 판단하고 트리거 명령을 수행하기 위하여 다음 단계로 진행한다. 그리고 나서, TII의 NTRIG 신호선이 low 레벨(0의 값)인 경우에는 트리거 명령을 수행하고, 그렇지 않은 경우에는 다시 NIOE의 값을 검사하기 위하여 앞 단계로 진행한다. 만약, NIOE 신호선이 low 레벨인 경우에는 데이터

전송이 이루어질 것임을 나타낸다. 마지막으로, STIM과 NCAP은 기능 주소(functional address)와 채널 주소(channel address)와 데이터를 차례대로 데이터를 교환한다.

STIM과 NCAP간에 주고 받는 모든 데이터는 그림 4에 도시한 바와 같이 기능 주소와 채널 주소, 전송할 데이터의 형식을 가진 프레임으로 정의되어 있다. 여기에서, 기능 주소에는 STIM이 실행하여야 할 기능들과 TEDS 또는 트랜스듀서의 읽기나 쓰기에 관련된 기능들이 정의되어 있다. 그리고, 채널 주소에는 STIM에 붙어 있는 각 채널들 중 어느 채널을 선택할 것인가에 대한 정보가 정의되어 있다. 예로, 채널 주소가 0인 경우에는 전체 채널을 나타내며, 1부터 255까지는 해당 채널을 나타내게 된다. 그리고, 기능 주소가 0인 경우에는 트랜스듀서에 데이터를 쓰는 명령이며, 128인 경우에는 트랜스듀서로부터 데이터를 읽는 명령이다. 마지막으로, 데이터의 길이는 기능 주소와 채널 주소에 따라 정해지는 기능에 따라 유동적으로 변한다.

특히, 트랜스듀서의 특성을 기술하는 TEDS는 모

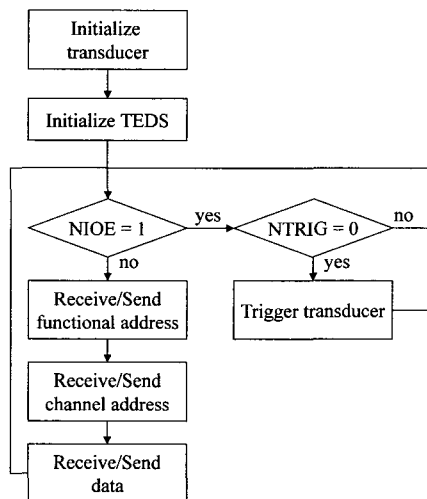


Fig. 3 Operation algorithm of STIM

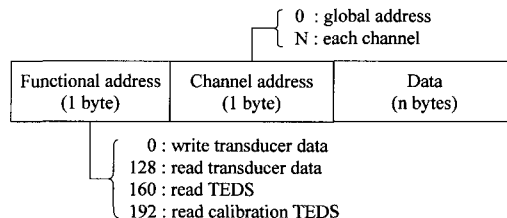


Fig. 4 Layout of TII frame

든 트랜스듀서(채널)에 있어서 공통적인 정보를 포함하는 하나의 Meta-TEDS와 각 트랜스듀서에 관한 정보를 포함하는 하나 이상의 Channel-TEDS 및 Calibration-TEDS로 구성되어 있다. 여기에서, Meta-TEDS에는 구현된 채널의 수, 최악의 경우에서의 타이밍 값과 지원할 수 있는 데이터 전송 속도 등에 대한 정보가 저장되어 있으며, Channel-TEDS는 채널의 종류(센서 또는 액추에이터), 데이터의 한계값, 각 채널의 타이밍 값 등에 대한 정보를 가지고 있다. 마지막으로, Calibration-TEDS에는 보정 곡선의 특성값과 같은 Calibration에 필요한 정보들이 저장되어 있다.

이상과 같은 STIM 기능을 구현하기 위하여, 본 논문에서는 그림 5와 같은 회로도설계를 하였다. 그림에서, STIM 모듈에는 마이크로칩사의 PIC16F877 마이크로프로세서가 사용되었다. 여기에서, PIC16F 시리즈는 SPI 포트를 지원하고 플래시 메모리 타입의 프로그램 메모리를 가지고 있으며, 내부에 256바이트의 EEPROM을 가지고 있다. 회로도에서 포트 입력부에는 풀업 저항이 연결되어 있으며, 출력부에는 회로 손상을 방지하기 위하여 직렬 저항이 연결되어 있다. 또한, 트랜스듀서와의 연결 포트는 점퍼2(JP2)에 의하여 연결되어 있으며, 센서의 경우에는 A/D 포트에 신호가 들어가고 액추에이터의 경우에는 PWM 포트로부터 출력 신호가 나가게 된다. 또한, TEDS는 읽기 쓰기가 가능한 EEPROM을 이용하여 설계하였다.

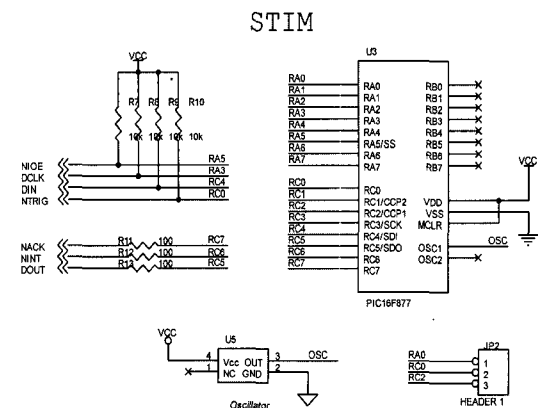


Fig. 5 Electric circuit of STIM

### 3.2 NCAP 모듈 설계

NCAP은 스마트 모듈의 데이터 처리 기능과 데이터 전송 기능을 수행하는 모듈로서, NCAP의 동작 알고리즘을 나타내면 그림 6과 같다. 그림에서, NCAP은 I/O 포트와 CAN 포트를 초기화한 후에, STIM과 연결되어 있는지를 검사한다. 만약 NCAP과 STIM이 연결되어 있지 않은 경우에는 COMMON선과 연결되어 있는 TII의 NSDET선을 통하여 high 레벨의 신호가 들어오게 되므로, NCAP은 지속적으로 STIM과의 연결 상태를 검사한다. 반대로, NCAP과 STIM이 연결되어 있는 경우에는 NSDET선으로 low 레벨의 신호가 들어오게 되므로, NCAP은 STIM에 전원을 공급하고, TEDS가 안정화될 때까지 일정한 시간을 기다린다. 그리고 나서, NCAP은 TEDS를 읽기 위해 Read TEDS 메시지를 보내며, 이 신호를 받은 STIM은 내부 메모리에 저장되어 있는 TEDS 정보를 NCAP으로 보내게 된다. NCAP은 이렇게 받은 정보를 이용하여 STIM에 대한 초기화 과정을 거치게 되며, 현재 연결되어 있는

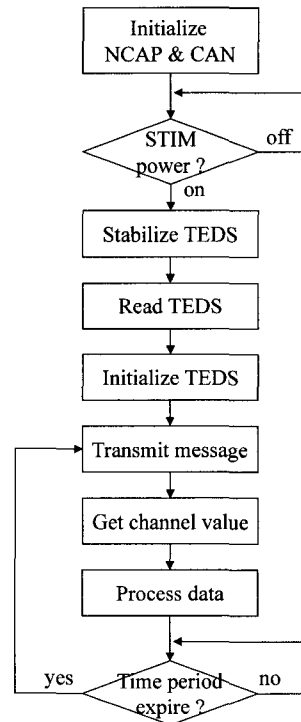


Fig. 6 Operation algorithm of NCAP

트랜스듀서의 종류나 보정값 등을 파악할 수 있게 된다. 마지막으로, NCAP은 STIM으로부터 트랜스듀서의 값을 얻기 위하여 주기적으로 데이터를 받아서 내부 메모리에 저장한 후 보정 함수를 수행하고 난 후, CAN 트랜시버를 이용하여 다른 노드로 전송한다.

그림 7은 STIM과 NCAP 간의 read/write 프레임의 전송 방법을 도시한 것이다. 먼저, NCAP이 NIOE assert 신호를 STIM에게 보내면, STIM은 보내야 될 데이터가 있는 경우에 NACK assert 신호를 NCAP으로 보낸다. 그리고 나서, NCAP과 STIM은 TII를 이용하여 데이터를 교환한다. 데이터의 교환이 끝나게 되면, STIM은 NACK negate 신호를 NCAP으로 보내고, NCAP은 NIOE negate 신호를 STIM에게 보내어 read/write 프레임의 전송이 종료하게 된다. 만약, 트리거 신호를 보내는 경우, NCAP은 NTRIG assert 신호를 STIM으로 보낸다. 그리고 나서, STIM은 트랜스듀서를 트리거하고 나서, NACK assert 신호를 NCAP으로 전송한다. 그 신호를 받은 NCAP은 NTRIG negate 신호를 STIM에게 보내고, NCAP은 NACK negate 신호를 STIM에게 보내어 트리거 신호의 전송이 종료하게 된다.

이상과 같은 NCAP 기능을 구현하기 위하여, 본 논문에서는 그림 8과 같은 회로도를 설계하였다. 그

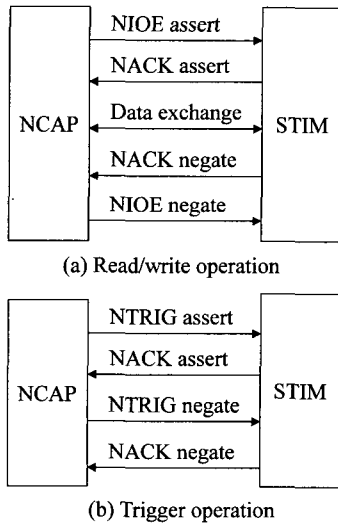


Fig. 7 Transmission method of signal between STIM and NCAP

NCAP

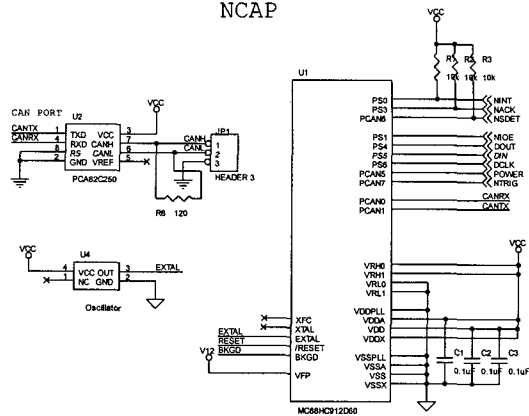


Fig. 8 Electric circuit of NCAP

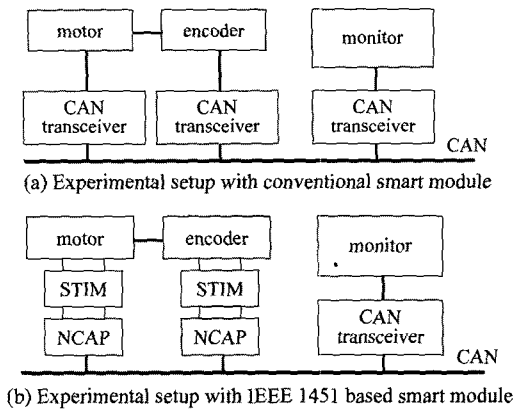
림에서, NCAP 모듈로는 CAN 통신 기능을 수행하는 msCAN 컨트롤러가 내장된 모토콜라사의 16비트 마이크로 컨트롤러인 MC68HC912D60이 사용되었다. 회로도에서 STIM과의 통신선인 TII는 MC68HC912D60 마이크로 컨트롤러의 9개의 디지털 I/O 포트가 구성된다. 또한, CAN 통신을 위하여 CAN RX와 CANTX의 CAN 포트가 사용되었으며, CAN 트랜시버로는 필립스사의 PCA82C250이 사용되었다.

#### 4. IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 성능 평가

##### 4.1 스마트 모듈의 적용에 의한 시간 지연

본 논문에서는 트랜스듀서에 IEEE 1451을 적용하는 경우에 발생할 수 있는 시간 지연의 영향을 평가하기 위하여 그림 9와 같은 실험 모델을 구성하였다. 그림 9(a)는 CAN을 이용한 전통적인 연결 방식으로서, CAN 버스에는 전통적인 모터 노드와 모터의 속도를 측정하기 위한 엔코더 노드, 네트워크의 상황을 관찰하고 관리할 수 있는 모니터 노드가 접속되어 있다. 반면, 그림 9(b)는 IEEE 1451 기반 스마트 모듈을 이용한 방식으로서, IEEE 1451 기반 스마트 모터 노드와 스마트 엔코더 노드, 모니터 노드가 접속되어 있다. 마지막으로, 그림 9(c)는 본 논문에서 구현된 STIM과 NCAP 모듈을 나타내고 있다.

본 논문에서는 이러한 실험 모델을 이용하여, IEEE 1451을 도입하는 경우의 시간 지연을 평가하기 위하여 단위 계단 입력을 가진 전통적인 모터 노



(a) Experimental setup with conventional smart module  
 (b) Experimental setup with IEEE 1451 based smart module  
 (c) STIM and NCAP module for experimental model

Fig. 9 Experimental model for evaluating the time delay of IEEE 1451 based smart module

드와 스마트 모터 노드의 속도 변화를 관찰하였다. 먼저, 실험 모델에서, 모터의 속도는 무부하 상태에서 975rpm으로 정속 회전하다가 일정 시간이 지난 후에 모니터 노드에서 CAN 네트워크를 통하여 트리거 신호를 보내면, 모터가 2,400rpm으로 회전하도록 설정하였다. 또한, 엔코더 모듈은 4ms 주기로 모터의 속도를 측정하도록 하였다. 마지막으로, 모터의 제어를 위하여 PD 제어기가 사용되었으며,  $K_p$ 는 0.18,  $K_d$ 는 0.009로 설정하였다.

그림 10은 전통적인 노드와 스마트 노드의 모터 속도를 나타내고 있다. 전통적인 노드의 경우, 모터의 속도는 0.9876초에서 증가되기 시작하여 1.0163초에 2,400rpm으로 안정화되었다. 그러나, 스마트 노드의 경우에는 전통적인 노드에 비하여 8.2msec가 지연된 0.9958초에서 증가되기 시작하여 1.0285초에 안정화되었다. 즉, 본 실험에서 전통적인 노드에 IEEE 1451을 도입하는 경우, 모터 스텝 응답은 약 8msec, 즉, 2샘플링 타임의 지연이 발생함을 관찰할

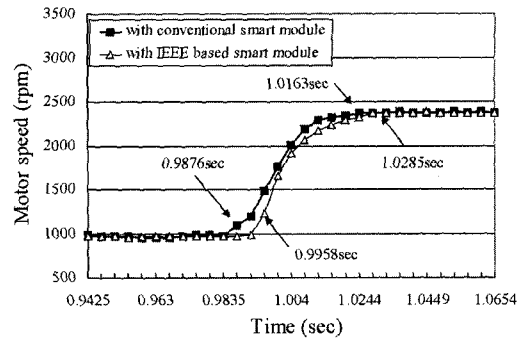


Fig. 10 Step response of motor by conventional and smart node

수 있다. 이러한 지연은 IEEE 1451의 적용에 따라 발생하는 것으로서, TII 인터페이스를 통한 STIM 모듈과 NCAP 모듈간의 통신에 의한 지연과 하나의 스마트 모듈을 두 개의 모듈(STIM과 NCAP 모듈)로 분리하였기 때문에 발생된다. 그러나, 이러한 지연은 윈도우 모터, 윈도우 스위치, 오토 락 스위치 등으로 구성되는 바디 제어 네트워크(body control network)와 같은 차량용 네트워크의 성능에 큰 영향을 주지 않을 것으로 평가된다. 이는 차량의 윈도우 모터에 있어서 8msec의 지연은 운전자에게 큰 영향을 주지는 않을 것이기 때문이다. 이상과 같은 실험 결과로부터, IEEE 1451 기반 스마트 노드는 전통적인 CAN 노드에 비하여 성능 면에서 큰 차이가 없을 것이라고 할 수 있다. 하지만, 이러한 고찰은 바디 제어 시스템에 국한된 것이며 보다 엄밀한 실시간을 요구되는 X-By-Wire 시스템에 대해서는 추가적으로 시간 지연이 시스템 안전성과 성능에 미치는 영향을 평가하는 연구가 필요하다.

#### 4.2 스마트 모듈의 교체로 인한 시간 지연

최근에는 차량 시스템에서 고장에 대한 대처 능력의 향상과 안전성 및 편의성의 향상을 위하여, 두 개 이상의 트랜스듀서나 두 개 이상의 통신 모듈을 사용하는 중복 모듈 (redundant module)에 대한 관심이 증대되고 있다.

이러한 상황에서, IEEE 1451 기반 스마트 모듈은 STIM에 저장되어 있는 TEDS를 이용하여 트랜스듀서에 대한 정보를 읽고 초기화를 수행할 수 있기 때문에, 네트워크 프로그램의 재 설계 없이도 네트워

크 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않고도 교체가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서, 중복 모델을 구성하는 데 있어 IEEE 1451은 매우 효과적인 도구가 될 수 있을 것이다.

본 절에서는 이러한 특성을 평가하기 위하여, 그림 11과 같은 실험 모델을 구성하였다. 실험 모델에는 두 쌍의 엔코더(old encoder와 new encoder)와 STIM 모듈(old STIM과 new STIM)이 하나의 NCAP 모듈에 연결되어 있다. 그리고, 모터는 3500rpm으로 정속 주행하고 있으며, 모니터 노드는 엔코더 노드로부터 4msec 간격으로 모터의 값을 수신하고 있다. 이 때, 네트워크에 결합되어 있는 엔코더에 고장이 발생하는 경우, 스위치를 조절하여 기존의 스마트 엔코더(old STIM)를 새로운 스마트 엔코더(new STIM)로 교체하였다. 이러한 상황에서, STIM의 초기화 및 재구성에 걸리는 시간을 관찰하였으며, 다른 보정값을 가지는 엔코더로도 CAN 네트워크 프로그램의 수정 없이 스마트 모듈이 정상적으로 동작하는지를 관찰하였다.

그림 12는 스마트 엔코더가 교체되는 시점에서, 모니터 노드가 수신하고 있는 엔코더의 값을 나타내고 있다. 그림에서, 기존의 스마트 엔코더(old STIM)가 3.9738초에 고장이 발생하였다고 가정하였다. 그림에서, 고장이 발생되기 직전인 3.9738초까지는 스마트 엔코더로부터 정상적인 값(3,500)이 수신되고 있음을 알 수 있다. 그러나, 스마트 엔코더가 고장이 발생한 직후, 스마트 엔코더의 스위치를 새로운 스마트 엔코더(new STIM) 방향으로 바꾸게 되면, 스위치 조작이 완료되는 5.0655초까지는 송신이 일어나지 않는다. 스위치 조작이 완료되고 나면, 새로운 스마트 엔코더는 STIM의 초기화와 TEDS의 재구성 단계를 거치게 된다. 그림에서, 모니터 노드는 5.0655초부터 5.2931초까지 초기화를 의미하는 0값을 수신하게 되며, 이후부터 새로운 스마트 노드는 정상적인 동작을 의미하는 엔코더 값을 수신하게 된다.

이러한 실험 결과로부터, 새로운 스마트 모듈이 초기화 과정을 거쳐 정상 동작하는 데까지 약 228m초의 지연 시간(5.2931-5.0655)이 걸렸음을 알 수 있다. 즉, 고장이 발생할 때, 네트워크 시스템의 운영을 중단하지 않을 뿐만 아니라 NCAP에 들어있는 네트워크 프로그램의 수정 없이도, 새로운 스마트

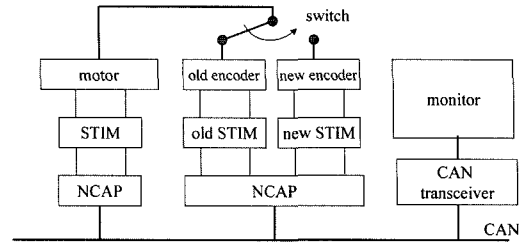


Fig. 11 Experimental model to exchange IEEE 1451 based smart module for fault tolerance

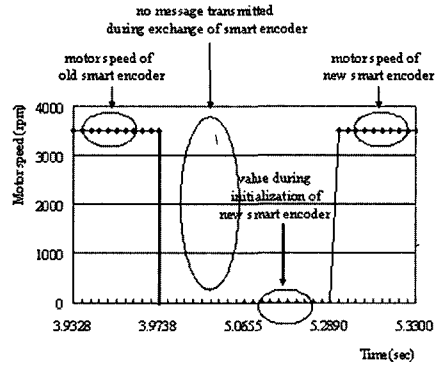


Fig. 12 Step response in case of exchange of IEEE 1451 based smart module

모듈로 교체할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 바디 제어 시스템에서 생성되는 메시지는 수 초 이내로 전송되면 되기 때문에, 바디 제어 시스템을 위한 중복 모듈에서 트랜스듀서의 교체에 걸리는 228ms의 시간 지연은 차량의 성능에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 평가된다.

### 5. 요약 및 결론

본 논문에서는 지능형 차량을 구현하는 데 있어서 필수적인 IVN 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 설계 방법에 대하여 제시하였다. 본 논문에서는 CAN 네트워크에서 센서나 액추에이터에 IEEE 1451을 적용하기 위하여, STIM과 NCAP 모듈의 설계 방법에 대하여 제안하였다. 또한, 모터와 엔코더를 이용한 실험 모델을 구성하여 IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 성능을 평가하였다.

이상과 같은 실험 결과로부터 본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 논문에서 제안된 IEEE 1451 기반 스마트



모듈을 사용하는 경우, 네트워크에 독립적인 스마트 모듈의 개발이 가능해진다. 즉, 스마트 모듈에 고장이 발생하는 경우 STIM 모듈만을 교체하면 되기 때문에, 네트워크 프로그램의 재 설계 없이 스마트 모듈을 쉽게 교체할 수 있다. 뿐만 아니라, 상대적으로 가격이 비싼 통신 모듈을 교체할 필요가 없으므로, 고장이 발생하였을 경우 스마트 모듈의 교체 비용의 절감이 가능해질 것이다.

둘째, IEEE 1451 기반 스마트 모듈을 사용하게 되는 경우, 프로세서의 추가로 인한 메시지 처리 시간이 증가한다는 문제가 발생할 수 있다. 그러나, 이러한 문제는 바디 네트워크 시스템과 같은 IVN 시스템의 성능에 큰 영향을 줄만큼 크지 않음을 실험을 통하여 확인하였다. 다만, IEEE 1451 기반 스마트 모듈을 브레이크나 조향 시스템과 같이 시간에 민감한 특성을 가진 시스템에 적용하는 경우에는, 설계자의 요구 전송 지연을 만족시킬 수 있도록 스마트 모듈의 세심한 설계가 요구된다.

본 연구에서는 IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 고장이 발생하였을 때, 오프라인 상태에서의 교체에만 초점을 맞추었다. 향후에는 이러한 연구 결과를 확장하여, 스마트 모듈에서 고장이 발생하는 경우, 고장을 자동으로 감지하고, 새로운 스마트 모듈로 자동으로 교체할 수 있는 고장에 강인한 스마트 모듈에 대한 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 연구(보조)비(4년 과제)에 의한 연구임.

## References

- 1) A. Broggi, "Intelligent Vehicle Applications Worldwide," IEEE Intelligent Systems, Vol.15, No.1, pp.78-81, 2000.
- 2) L. Figueiredo, I. Jesus, J. A. T. Machado, J. R. Ferreira, J. L. Martins de Carvalho, "Towards the Development of Intelligent Transportation Systems," 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, pp.1206-1211, 2001.
- 3) M. S. Shin, W. T. Lee, S. Y. Han, M. H. Sunwoo, "Development of a Body Network System with OSEK/VDX Standards and CAN Protocol," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.175-180, 2002.
- 4) G. Cena, L. Durante, A. Valenzano, "A New CAN-like Field Network based on a Star Topology," Computer Standards & Interfaces, Vol.23, No.3, pp.209-222, 2001.
- 5) Road Vehicles-Interchange of Digital Information-Controller Area Network for High-Speed Communication, ISO 11898, 1994.
- 6) E. Dilger, T. Fuhrer, B. Muller, S. Poledna, "The X-By-Wire Concept : Time-Triggered Information Exchange and Fail Silence Support by New System Services," SAE Technical Paper, 1998.
- 7) H. Kopetz, "A Comparison of CAN and TTP," Annual Reviews in Control, Vol.24, No.1, pp.177-188, 2000.
- 8) G. Leen, A. Bohannon, "Time-triggered Controller Area Network," Computing & Control Engineering Journal, Vol.12, No.6, pp.245-256, 2001.
- 9) H. A. Hansson, T. Nolte, C. Norstrom, S. Punnekkat, "Integrating Reliability and Timing Analysis of CAN-based Systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.49, No.6, pp.1240-1250, 2002.
- 10) IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols under Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Format, IEEE Std 1451.2, 1997.
- 11) IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor Information Model, IEEE Std 1451.1, 1999.
- 12) K. B. Lee, R. D. Schneeman, "Internet-based Distributed Measurement and Control Applications," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol.2, No.2, pp.23-27, 1999.
- 13) E. J. Manders, L. A. Barford, G. Biswas, "An Approach for Fault Detection and Isolation in Dynamic Systems from Distributed Measurements," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.51, No.2, pp.235-240, 2002.