

# 자동화 크레인 시스템을 위한 IEEE1451 기반 스마트 모듈 개발

하경남\* · 김만호\* · 이경창\*\* · 이 석\*\*\*

\*부산대학교 지능기계공학과 대학원, \*\*부경대학교 제어계측공학과 교수, \*\*\* 부산대학교 기계공학부 교수

## Development of IEEE1451-based Smart Module for Automated Transfer Crane System

Kyoung-Nam Ha\* · Man-Ho Kim\* · Kyung-Chang Lee\*\* · Suk Lee\*\*\*

\*Department of Mechanical and Intelligent Systems Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea

\*\*Department of Control and Instrumentation Engineering, Pukyong National University, Pusan, 608-739, Korea

\*\*\*Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea

**요 약** : 항만 물류 시스템의 급속한 성장으로 인해 항만의 효율성을 증대하기 위한 자동화 크레인 시스템의 개발이 다양하게 진행 중이다. 자동화크레인은 통신 네트워크를 통하여 각종센서와 액츄에이터를 정밀 제어하게 되는데 이러한 시스템에 장착되는 네트워크 기반 스마트 모듈은 센서 신호획득 및 필터링 기능, 데이터 연산 및 통신기능이 한 보드상에 구축되어 있어 고장이나 프로토콜이 지원이 다른모듈을 사용할 경우 모듈 전체를 교체해야 되는 문제점이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 IEEE 1451 기반의 네트워크 독립적인 스마트 모듈을 제안하고 제안한 스마트 모듈의 성능을 평가하여 크레인 시스템에 적용 가능성을 확인하였다

**핵심용어** : 자동화 크레인 시스템, CAN(Controller Area Network), IEEE 1451, 스마트 모듈, 성능 평가

**Abstract** : Today's port systems require larger and faster operation of transfer cranes in order to accommodate rapidly increasing traffic. These cranes need precise control of their components for operational efficiency. This paper presents an IEEE 1451 based smart module that allows numerous sensors and actuators of the crane to attach themselves to various networks more easily. The smart module has been experimentally evaluated on a CAN network for its performance.

**Key words** : Automated transfer crane system, CAN(Controller Area Network), IEEE 1451, Smart module, Performance evaluation

## 1. 서 론

21세기 동북아시아의 급속한 경제 성장과 더불어, 항만 물류 시스템의 발전은 무역량의 증가와 함께 급격하게 진행되어 왔다. 초기에는 북미와 유럽간의 무역량 증가에 따라 컨테이너 물동량이 증가하게 되었고, 최근에는 아시아를 중심으로 북미, 유럽 간의 무역량의 증가에 따라 컨테이너 물동량이 급격하게 증가 하였다. 물동량이 증가함에 따라 컨테이너 선박의 대형화 및 고속화, 항만에서 효율적인 하역 및 선적을 위한 운반 및 하역 시스템의 대형화, 고속화, 자동화 및 지능화가 필요하게 되었다.

항만 물류 시스템은 대용량 컨테이너선 접안 기술, 지능형 컨테이너 부인 이송 및 적재 시스템 기술, 지능형 육상 운송 연계 기술, 지능형 고성능 컨테이너 하역 기술, 전체 시스템을 연동시키는 통합 정보 시스템 기술과 같은 지능형 종합 물류 시스템으로 변화하였다. 특히, 최근에는 크레인의 효율성을 높

이기 위하여 네트워크를 기반으로 한 미래형 항만 크레인 시스템에 대한 개발이 활발하게 진행되고 있다.(박, 2002; 홍 등, 2003; 손 등, 2000)

일반적으로 크레인은 컨테이너를 선박에 선적하는 작업을 하기 위해 반입하거나, 선박으로부터 하역 작업을 하여 반출 하기 위해 일시적으로 야드에 컨테이너를 적재하는 기능을 수행한다. 또한, 야드에서의 컨테이너 핸들링 작업의 효율성은 컨테이너 터미널 자체의 생산성을 좌우시키는 주요한 요인이다. 최근에, 야드의 적재 단수가 점차 증가하고 야드 크레인이 점차 대형화 되면서, 정밀 위치 제어 및 흔들림 제어 등과 같은 기술이 더욱 중요해지게 되었다.

크레인의 초고속, 초정밀 제어 기술은 컴퓨터를 이용한 분산형 실시간 제어를 통해서 이루어진다. 즉, 상호 연관성을 가지는 여러 개의 모듈 동시에 제어함으로써, 관련 정보를 수직 및 수평적으로 통합하여 제어하는 것이다. 특히, 높은 제어 성능이 요구됨에 따라, 크레인에서 사용되는 제어용 모더나

\* 대표저자 : 하경남(정회원), 0vincent@pnu.edu 051)510-3091  
\* 정회원, kmh@pnu.edu 051)510-3091  
\*\* 정회원, gcllee@pknu.ac.kr, 051)620-1693  
\*\*\* 정회원, slee@pnu.edu 051)510-2320

센서와 같은 전자 부품의 수가 급속도로 증가하게 되었다. 그러나, 전자 부품과 제어기나 스위치를 전선을 이용하여 일대일로 연결하는 전통적인 배선 시스템에서는, 전자 부품의 증가는 전선이 기하급수적으로 증대되는 결과를 초래하였다. 이러한 전선의 증가는 배선 체계를 더욱 복잡하게 함으로써 크레인의 정비와 기능의 추가를 어렵게 하였을 뿐만 아니라, 크레인 중량을 증가시켜 크레인의 성능을 약화시키는 결과를 초래하였다.(홍, 1998)

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 자동화용 크레인을 중심으로 전자 부품과 제어기 및 스위치를 한 가닥의 공유된 전선으로 연결하는 Crane-By-Wire와 같은 네트워크를 기반으로 한 제어 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 같이 분산 제어를 위한 네트워크를 크레인에 적용하기 위한 연구로서 기존의 1개의 전동기를 단독으로 제어하는 고립적인 구성에서 벗어나, 서로 연관성이 있는 전동기 구동 시스템을 LonWorks 네트워크로 연결하여 호스트 컴퓨터에서 총괄 제어하는 방식이 제안되었다. 또한, 실시간성이 요구되는 산업용 시스템에 네트워크를 적용할 때 발생할 수 있는 실시간 데이터 전송 지연의 불확실성을 스위치드 이더넷(switched Ethernet)을 이용하여 해결하기 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다.(진, 2001)

또한, 자동화 크레인 시스템이 발전함에 따라 보다 많은 센서와 액츄에이터가 크레인에 사용되게 되고 이들의 통신을 위한 네트워크의 적용을 위해 스마트 모듈의 사용이 필수적이게 된다. 그러나 이러한 스마트 모듈이 자동화 크레인 시스템에서 보다 효율적으로 적용되기 위해서는 다음과 같은 두 가지 문제가 고려되어야 한다. 첫째, 스마트 모듈은 크레인 시스템에서 사용되는 프로토콜의 종류에 관계없이 적용될 수 있어야 한다. 현재, 자동화 크레인은 다양한 벤더의 서로 다른 형태의 통신 방법을 지원하는 모듈이나 센서가 혼재되어 사용되고 있기 때문에, 스마트 모듈을 개발하는 업체는 여러 가지 프로토콜을 모두 지원할 수 있어야 하기 때문에 스마트 모듈의 실질적 응용을 막는 주요한 요인이 되고 있다. 따라서 스마트 모듈은 특정 프로토콜에 대하여 독립적으로 설계 및 제작될 수 있어야 한다. 둘째, 항만에 설치되는 자동화 크레인의 특성상 외부 환경에 의한 센서나 액츄에이터와 같은 모듈의 파손이 쉽게 일어날 수 있어서 그 교체비용이 적어야 한다. 스마트 모듈에는 기존의 아날로그 센서에 비해 상대적으로 고가인 마이크로 프로세서나 네트워크 트랜시버 등이 통합되어 있다. 이로 인해 스마트 모듈을 교체하게 되는 경우, 네트워크 트랜시버 등도 함께 교환하게 됨으로써 교체 비용이 많이 소요되며 특정 센서에 맞는 보정값을 반영한 네트워크 프로그램의 재설계 비용도 증가하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 크레인 시스템에 적용 가능한 IEEE 1451 기반의 스마트 모듈에 대해 제안하고자 한다.

IEEE 1451은 공장 자동화 시스템에서 스마트 트랜스듀서(smart transducer)를 위하여 개발된 국제 표준으로서, 스마트 모듈의 센싱 및 신호 필터링 기능과 데이터 연산 및 통신 기

능을 두 개의 모듈로 분리하도록 규정하고 있다. 하지만 현재 이러한 표준에 따라 개발되는 센서는 그 연구가 시작단계에 있으며 무엇보다, 이를 자동화 시스템에 적용하기 위한 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 이러한 IEEE 1451을 크레인의 제어 모듈에 적용하는 경우, 네트워크 프로토콜에 독립적인 스마트 모듈의 개발이 가능해 질 것이며, 네트워크의 종류에 관계없이 Crane-By-Wire 시스템 개발이 가능해 질 것이다. 또한, 스마트 모듈의 교체 시 고장 난 부품만을 교체하면 되므로, 모듈 교체 비용의 절감도 가능해 질 것이다.(K. B. Lee et al., 1999; E. J. Manders et al., 2002)

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

## 2. IEEE1451 기반의 스마트 모듈

IEEE 1451은 공장 자동화 시스템에서 스마트 트랜스듀서의 개발을 위하여 제안되었다. 스마트 트랜스듀서를 구성하는데 있어서 핵심적인 부분인 IEEE 1451은 Fig. 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.

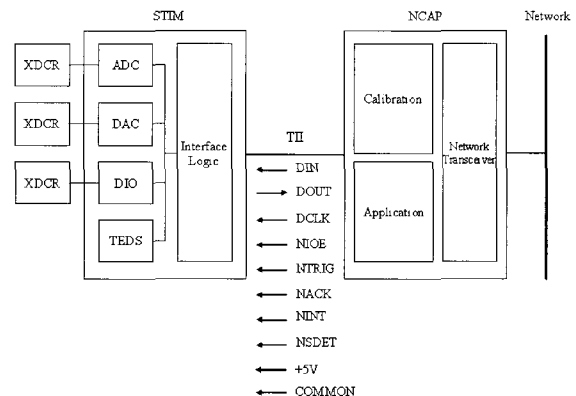


Fig. 1 Schematic structure of IEEE 1451 based smart module

반면, NCAP은 STIM에서 받은 데이터를 연산 처리한 후 네트워크를 통하여 디지털의 형태로 전송하는 기능을 수행한

다. 여기에서, NCAP과 STIM은 Fig. 1에 표시한 바와 같이 데이터 전송을 위한 디지털 인터페이스를 정의한 TII (Transducer Independent Interface)를 이용하여 서로 통신을 수행한다. 특히, NCAP은 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 TEDS로부터 트랜스듀서에 대한 정보를 읽게 됨으로써, 관리자의 특별한 보정 없이도 즉시 스마트 모듈의 사용이 가능하게 된다.

### 3. IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 구현

본 절에서는 IEEE 1451을 이용하여 크레인용 스마트 모듈을 설계하는 방법에 대하여 설명한다. Fig. 2는 CAN 기반 스마트 모듈에서 IEEE 1451을 적용하기 위한 개념도를 나타내고 있다. Fig. 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, Fig. 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.

#### 3.1 STIM 모듈의 설계

STIM은 센서에서 받은 아날로그 데이터를 필터링하고, A/D 변환을 거쳐 디지털 데이터로 변경하는 기능을 수행하는 모듈이다. STIM 기능을 구현하기 위하여, 본 논문에서는 Fig. 3과 같이 마이크로칩사의 PIC16F877 마이크로프로세서를 이용하여 구현하였다.

메모리 타입의 프로그램 메모리를 가지고 있으며, 내부에 256 바이트의 EEPROM을 가지고 있다. 포트 입력부에는 풀업 저항을 연결하였으며, 출력부에는 회로 손상을 방지하기 위하여 직렬 저항을 연결하였다. 또한, 트랜스듀서와의 연결 포트는 점퍼2(JP2)에 의하여 연결되어 있으며, 센서의 경우에는 A/D 포트로 신호가 들어가고 액추에이터의 경우에는 PWM 포트로부터 출력 신호가 나가게 된다.

STIM의 동작은 Fig. 4와 같이 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 교환한다.

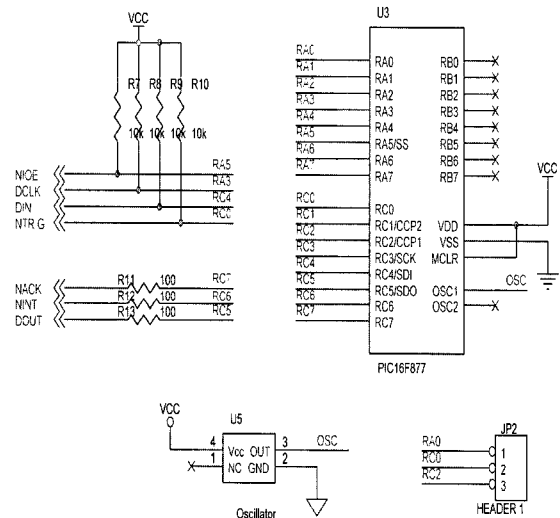


Fig. 3 Schematic diagram of the STIM module

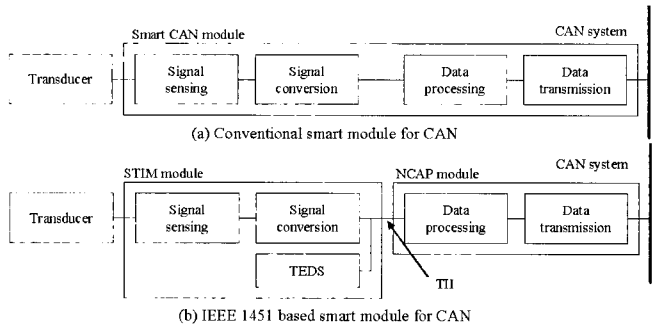


Fig. 2 Comparison of block diagram of conventional and IEEE 1451 based smart module

여기에서, PIC16F 시리즈는 SPI 포트를 지원하고 플래시

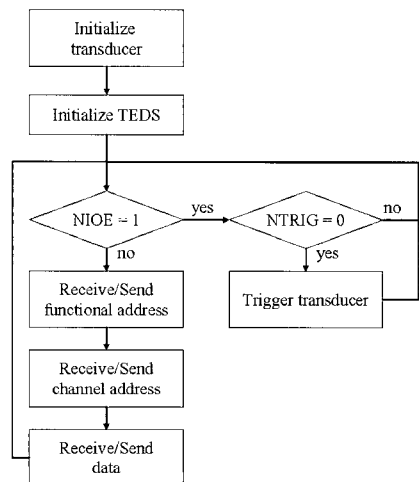


Fig. 4 Running procedure of the STIM module

특히, 트랜스듀서 및 네트워크의 호환성을 유지할 수 있게 해 주는 TEDS는 모든 트랜스듀서(채널)에 있어서 공통적인 정보를 포함하기 위하여 Meta-TEDS를 갖고있다. 또한 트랜스듀서에 관한 정보를 포함하는 하나 이상의 Channel-TEDS 및 Calibration-TEDS를 갖고 있다. 이러한 정보는 PIC 모듈에 내장된 EEPROM 을 이용하여 읽기 쓰기가 가능하게 하였다.

### 3.2 NCAP 모듈 설계

NCAP은 스마트 모듈의 데이터 처리 기능과 데이터 전송 기능을 수행하는 모듈이다. NCAP 기능을 구현하기 위하여, 본 논문에서는 Fig. 5와 같이 CAN 통신 기능을 수행하는 CAN 컨트롤러가 내장된 모토롤라사의 16비트 마이크로 컨트롤러인 MC68HC912D60을 사용하였다. STIM과의 통신인 TII 는 MC68HC912D60 마이크로 컨트롤러의 9개의 디지털 I/O 포트에 구성하였고, CAN 통신을 위하여 CANRX와 CANTX 의 CAN 포트가 사용되었으며, CAN 트랜시버로는 필립스사의 PCA82C250이 사용하였다.

NCAP의 동작은 Fig. 6에서 보듯이 최초에 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 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.

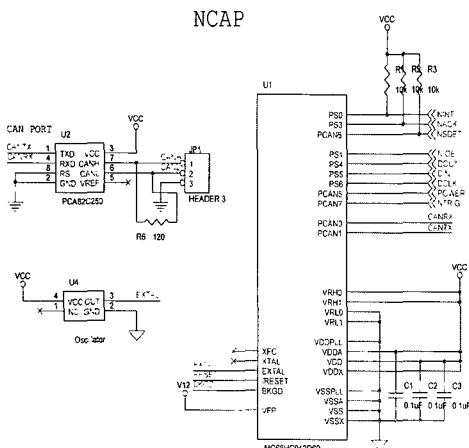


Fig. 5 Schematic diagram of the NCAP module

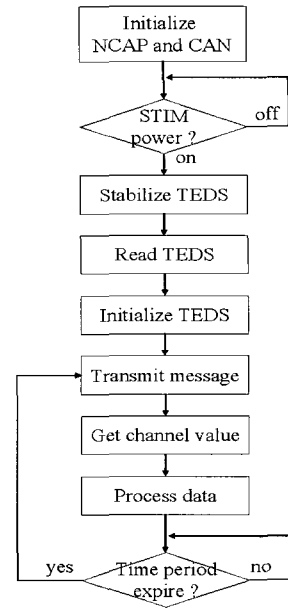


Fig. 6 Running procedure of the NCAP module

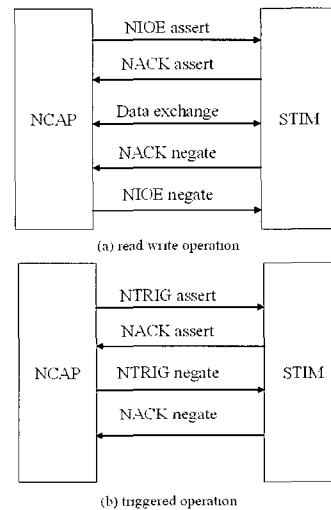


Fig. 7 Running procedure of the NCAP module

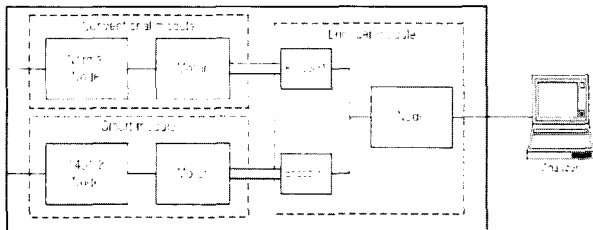
Fig. 7은 STIM과 NCAP 간의 read/write 프레임의 전송 방법을 도시한 것이다.

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.

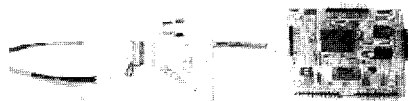
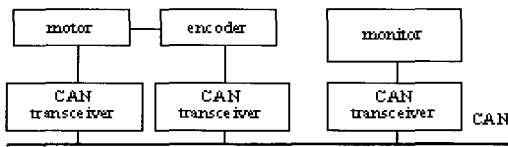
그 신호를 받은 NCAP은 NTRIG negate 신호를 STIM에게 보내고, NCAP은 NACK negate 신호를 STIM에게 보내어 트리거 신호의 전송을 종료하게 된다.

#### 4. 자동화 크레인 시스템에 적용을 위한 성능 평가

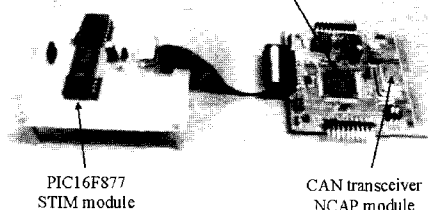
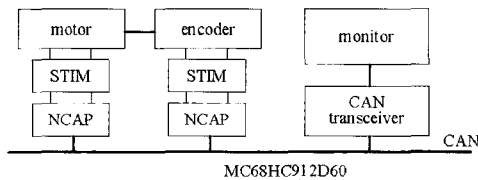
본 논문에서는 동일한 하드웨어 조건에서 기존의 전통적인 트랜스듀서 모듈에 IEEE 1451 표준을 적용함에 있어서 발생할 수 있는 시간 지연에 관한 영향을 관찰하기 위하여 DC 서보모터 속도 제어 실험을 수행하였다. 테스트 시스템은 Fig. 8(a)와 같이 구성하여 MC68HC912D60 마이크로 컨트롤러와 타마가와사의 TS3728 DC모터, 속도를 측정하기 위한 엔코더 노드, 네트워크의 상황을 관찰하고 관리할 수 있는 모니터링 노드를 사용하였다. Fig. 8(b)에서 CAN을 이용한 전통적인 연결 방식의 구성도와 실제 구현한 모듈을 보여주고 있으며, 그림8(c)에서 IEEE 1451 기반 스마트 모듈을 이용한 방식의 구성도와 구현된 STIM과 NCAP 모듈을 나타내고 있다.



(a) Experimental setup for motor control



(b) Experimental setup with conventional module



(c) Experimental setup with IEEE 1451 based smart module

Fig. 8 Experimental model for evaluating the time delay of IEEE 1451 based smart module

본 논문에서는 이러한 실험 모델을 이용하여, 크레인 시스템에 IEEE 1451을 도입하는 경우의 시간 지연을 평가하기 위하여 단위 계단 입력을 가하여 전통적인 방식의 노드와 1451 기반의 스마트 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 제어가 사용되었으며,  $K_p$ 는 0.18,  $K_d$ 는 0.009로 설정하였다.

Fig. 9는 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 8.2 msec가 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 수 있다. 이러한 지연은 IEEE 1451의 적용에 따라 발생하는 것으로써, 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 크레인의 정밀 위치 제어용 모터나 센서의 제어 네트워크의 성능에 큰 영향을 주지 않을 것으로 평가된다. 이는 크레인의 위치 및 자세 제어에 있어서 8msec의 지연은 제어에 큰 영향을 주지는 않을 것이기 때문이다. 이상과 같은 실험 결과로부터, IEEE 1451 기반 스마트 노드는 자동화용 크레인 시스템에서 전통적인 네트워크 기반 노드에 비하여 성능 면에서 큰 차이가 없을 것이라고 할 수 있다.

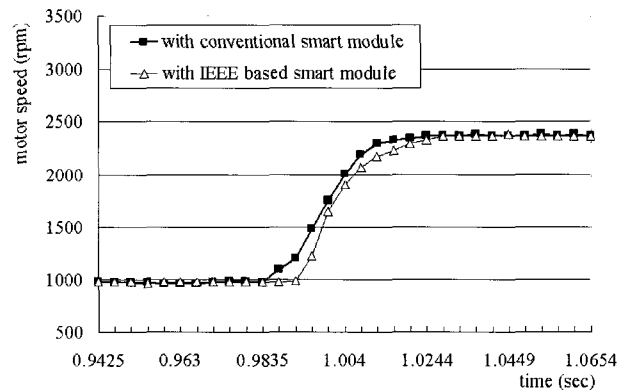


Fig. 9 Comparison on step response of conventional and IEEE 1451 based smart module

#### 5. 결론

본 논문에서는 크레인용 네트워크를 구현함에 있어 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위하여, IEEE 1451 기반 스마트

모듈의 설계 방법에 대하여 제안하였다. 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 자동화 크레인 시스템에 적용하는 경우, 크레인의 적용되는 특정한 네트워크와 무관한 독립적인 센서 모듈의 개발이 가능함을 확인하였다. 즉, 자동화 크레인과 같은 다양한 형태의 센서를 적용해야 하는 시스템에서 센서 모듈의 고장이 발생하는 경우, STIM 모듈만을 교체하면 되기 때문에, 네트워크 프로그램의 재설계 없이 모듈을 교체할 수 있다. 또한 상대적으로 가격이 비싼 통신 모듈을 교체할 필요가 없으므로, 고장 발생 시 모듈의 교체 비용이 크게 절감될 것이다.

둘째, IEEE 1451 기반 스마트 모듈을 사용하게 되는 경우, 프로세서의 추가로 인한 메시지 처리 시간이 증가한다는 문제가 발생할 수 있다. 그러나, 이러한 문제는 크레인 시스템과 같은 제어 시스템의 성능에 큰 영향을 줄 만큼 크지 않음을 실험을 통하여 확인하였다.

본 연구에서는 크레인용 네트워크에 적용 가능한 IEEE 1451 기반 스마트 모듈의 제안에 초점을 맞추었다. 향후에는 이러한 연구 결과를 확장하여, 크레인에서 스마트 모듈에서 고장이 발생하는 경우, 고장을 자동으로 감지하고, 새로운 스마트 모듈로 자동으로 교체할 수 있는 고장에 강인한 스마트 모듈에 대한 연구가 필요할 것이다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구소(NRL) 사업(과제번호:M1 -0302-00-0039-03-J00-00-023-10)에서 지원하여 연구하였습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박경택, "항만물류 시스템 지능화 기술", 한국정밀공학회지, Vol. 19, No. 2, 2002
- [2] 홍금식, 이권순, "항만하역 장비자동화 기술", NRL 워크샵, 2003
- [3] 손유식, 김영복, "컨테이너 크레인의 흔들림 방지장치 개발에 관한 연구", 한국해양공학회지, Vol. 14, No. 4, 2000
- [4] 홍성수, "분산 실시간 제어 시스템의 개발", 제어자동화시스템공학회논문지, Vol. 4, No. 15, 1998
- [5] 전태원, "Lonworks 네트워크를 이용한 야드 크레인 구동용 전동기 위치 제어", 대한전기공학회논문지, Vol. 50, No. 1, 2001
- [6] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols under Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Format (1997), IEEE Std 1451.2.
- [7] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor Information Model (1999), IEEE Std 1451.1.
- [8] K. B. Lee, R. D, Schneeman (1999), "Internet-based Distributed Measurement and Control Applications," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol.2, No. 2, pp.23-27.
- [9] E. J. Manders, L. A. Barford, G. Biswas (2002), "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.

원고접수일 : 2005년 3월 14일

원고채택일 : 2005년 4월 29일