

# CAN 네트워크를 이용한 자동화 크레인 시스템의 구현

김만호\* · 하경남\* · 이경창\*\* · 홍금식\*\*\* · 이 석\*\*\*

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

## Implementation of Automated Transfer Crane System using CAN Network

Man-Ho Kim\* · Kyoung-Nam Ha\* · Kyung-Chang Lee\*\* · Keum-Shik Hong\*\*\* · 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 :** 전체 시스템을 최적상태로 유지하기 위한 정보공유의 필연성 등으로 대다수의 제어 시스템이 디지털 제어 시스템으로 대체되고 있다. 이러한 디지털 제어 시스템이 원활하게 운영되기 위해서는 전통적인 점대점 연결방식이 아닌 네트워크를 기반으로 한 시스템이 필수적이며, 이러한 산업용 네트워크를 지능형 항만 물류 시스템에 적용하기 위한 연구가 최근 다양하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 NMEA 2000의 기반이 되는 CAN 프로토콜을 이용한 크레인 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 단순화된 네트워크 기반 제어 시스템을 구현하였다.

**핵심용어 :** 자동화 크레인 시스템, 네트워크 기반 제어 시스템, CAN(Controller Area Network), PID 제어

**Abstract :** Recently, many control systems are replaced with digital control systems in an effort to optimize the overall performance. In order to operate these systems efficiently, the conventional point-to-point connection method must be changed to the signal exchange via a communication network. This paper investigates the technical feasibility of the crane system using CAN protocol which is a part NMEA 2000 by implementing a network-based control system emulating the crane control system.

**Key words :** Automated transfer crane system, NCS (Network-based Control System), CAN(Controller Area Network), PID control

## 1. 서 론

최근, 마이크로컨트롤러의 성능이 향상되고 가격이 저렴해짐에 따라, 대다수의 제어 시스템이 디지털 제어 시스템으로 구현되고 있다. 이러한 디지털 제어 시스템은 뛰어난 유연성과 적응성으로 인하여, 전통적인 공정 자동화분야 뿐만 아니라, 조립 자동화, 빌딩 자동화, 자동화 크레인 등과 같은 분야에서 활발하게 적용되고 있다. 특히, 많은 수의 센서, 구동기, PLC (Programmable Logic Controller)와 산업용 컴퓨터 등이 사용됨에 따라, 디지털 제어 시스템의 활용도는 급속하게 증가되었다.

그러나, 중앙집중식 디지털 제어시스템(CDCS : Centralized Digital Control System) 에서 사용되고 있는 제어기, 센서, 구동기와 같은 필드기기를 직접 연결하는 점대점(point-to-point) 연결 방식은 너무 많은 배선을 필요로 한다. 또한, 시스템의 유연성과 신뢰성 확보가 어려울 뿐만 아니라, 시스템의 유지 및

보수가 어렵다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 점대점 연결 방식을 공유된 전송매체로 대체하는 산업용 네트워크(industrial network)에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다 (Ray, 1988).

이러한 산업용 네트워크가 적용될 수 있는 대표적인 사례가 지능형 항만 물류 시스템이다. 지능화된 항만 컨테이너 터미널에는 컨테이너의 하역 및 적재, 운반을 위한 다수의 컨테이너 크레인, 대형 AGV(Automated Guided Vehicle), 컨테이너 트럭, UCT(Unmanned Container Transporter) 등이 이용되고 있다. 또한, 터미널의 효율적인 운영을 위해 운영요원의 지령에 따라 많은 수의 제어용 컴퓨터 간의 원활한 데이터 교환에 산업용 네트워크가 적용되어 있다. 특히, 지능형 항만 물류 시스템에서는 UCT와 AGV 같은 이동 시스템들 간의 정보 교환을 위하여 무선 통신 네트워크가 필요하며, 제어 센터나 센서 시스템 등과 같은 고정된 시스템들 간의 정보 교환을 위하여 유선 네트워크가 필요하다.

\* 대표저자 : 김만호(정회원), kmh@pnu.edu 051)510-3091

\*\* 정회원, 0vincent@pnu.edu 051)510-3091

\*\*\* 정회원, gcleee@pknu.ac.kr 051)620-1693

\*\*\*\* 정회원, kshong@pusan.ac.kr 051)514-2454

\*\*\*\*\* 정회원, slee@pnu.edu 051)510-2320

한편, 최근 들어, 항만 관련 산업 현장에서 사용되는 다양한 전자기기들 간의 호환성 있는 통신을 위하여, 미국 NMEA (National Marine Electronics Association)에서 NMEA 2000 을 발표하였다. 현재, NMEA 2000은 다양한 항만 물류 시스템에서 전자 부품과 제어기 및 스위치를 연결하기 위한 네트워크로서 적용되고 있다. 뿐만 아니라, 자동화용 크레인에서도 네트워크를 이용한 전자 부품의 연결과 네트워크를 기반으로 한 네트워크 기반 제어 시스템(Networked Control System, NCS)에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 NMEA 2000 프로토콜의 물리 계층인 CAN(Controller Area Network)을 기반으로 한 네트워크 기반 크레인 시스템을 제안하였다. 일반적으로, CAN은 다른 필드버스 프로토콜에 비하여, 구현 비용이 낮다는 장점을 가지고 있다. 즉, CAN의 경우 대다수의 반도체 제조 회사에서 CAN 기능을 내장한 저가의 마이크로컨트롤러가 출시되고 있으며, CAN 노드를 구성하기 위한 다양한 저가의 개발 툴이 존재하기에 쉽게 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 자동차, 로봇, 산업 자동화, 홈 네트워크 등과 같은 다양한 분야에서 많이 응용되어 신뢰성이 입증되어 있다. 따라서, 이러한 장점을 가진 CAN을 네트워크 기반 자동화 크레인 시스템에 적용하는 경우, 보다 효과적으로 크레인 제어 및 자동화 크레인 시스템을 구성할 수 있을 것이다(Bosch, 1991 ; Lawrenz, 1997).

## 2. CAN 기반 자동화 크레인 시스템

### 2.1 전통적인 크레인 구조

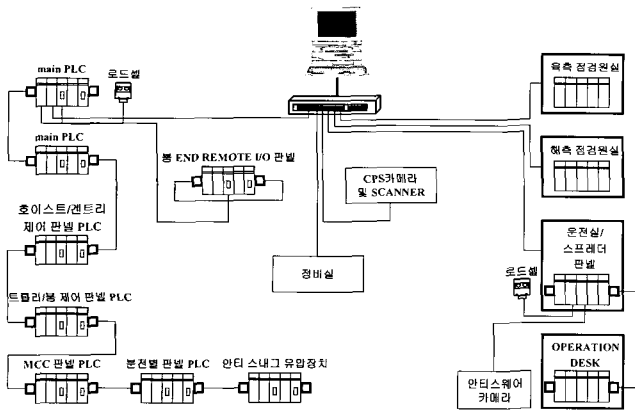


Fig. 1 Connection diagram of PLC

Fig. 1에서 보듯이, 전통적인 크레인 시스템은 전기실, 육측 점검원실, 해측 점검원실, 운전실/스프레더 판넬, 안티스웨이 카메라, GPS 카메라 및 스캐너 등으로 구성되어 있다. 전기실은 기상 상태 모니터링을 위한 로드 셀 및 풍향 풍속계, 중앙 제어를 위한 주 판넬 PLC, 호이스트 갠트리의 제어를 위한 호이스트 갠트리 판넬 PLC, 트롤리 갠트리를 제어하기 위한 트롤리 갠트리 판넬 PLC, 중앙 배선을 관리하는 중앙 제어 판넬 PLC, 동력 전달용 변압기 판넬 PLC, 분전반, 워크스테이션 등과 같은 다수

의 센서, 액츄에이터 및 제어 모듈로 구성되어 있다. 또한, 크레인 시스템에서 주 PLC 등은 이더넷(Ethernet)을 이용하여 상위 시스템과 연결되어 있으며, 분산 제어가 수행되고 있다.

그러나, 이와 같은 전통적인 구조에서는 하위 센서 및 모터 레벨의 연결은 기존의 점대점 방식을 사용하기 때문에, PLC에 연결된 모든 장치마다 별개의 케이블이 필요하다. 크레인 시스템이 자동화되고 정밀한 제어를 하게 됨에 따라 크레인 시스템의 부속장치의 수가 늘어나면, 케이블의 수는 기하급수적으로 증가할 것이다. 이는 설계단계에서 설계변경을 어렵게 하고 설계 오류를 증가시킨다. 또한, 운영단계에서는 크레인 시스템의 유지보수 및 고장진단을 매우 어렵게 만든다.

### 2.2 네트워크 기반 자동화 크레인 구조

Fig. 2는 네트워크를 이용하여 구성한 네트워크 기반 크레인 시스템을 나타내고 있다. 각 기능에 따라 분류되어 있는 크레인의 상위 레벨은 기존의 이더넷을 이용하여 서로 통신을 수행할 수 있도록 구성된다. 크레인의 제어를 위하여 독립된 내부 네트워크를 구성하였으며, 디지털 통신 방식을 이용하여 상호 데이터 교환이 가능하도록 설계되었다. 특히, 다수의 PLC, 센서, 모터, 스위치, 모니터링 컴퓨터, remote I/O, servo controller 사이의 개별적인 배선을 제거하고 네트워크를 통하여 정보를 교환하게 함으로써 전통적인 시스템이 갖는 단점을 회피할 수 있다.

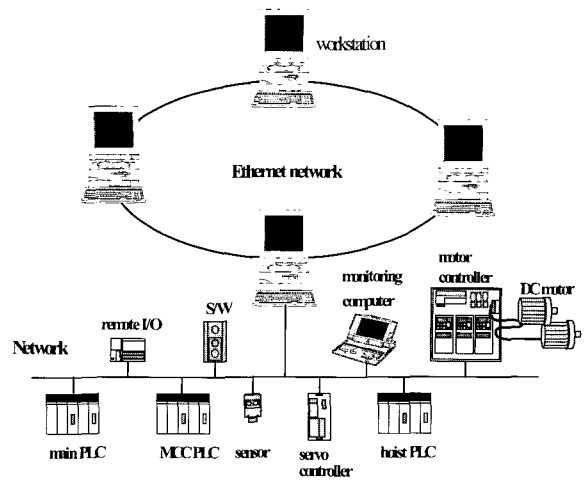


Fig. 2 Structure of network-based crane system

최근 들어, 이러한 네트워크 기반 크레인 제어 시스템의 구현을 위하여, 기존의 크레인에서 하나의 전동기를 단독으로 제어하는 고립적인 구성에서 벗어나, 서로 연관성이 있는 전동기 구동 시스템을 모두 LonWorks 네트워크로 연결하여 호스트 컴퓨터에서 총괄 제어하는 방식이 제안된 바 있다 또한, 실시간성이 요구되는 산업용 시스템에 네트워크를 적용할 때 발생할 수 있는 실시간 데이터의 전송 지연의 불확실성을 해결하기 위한 방법으로서, 스위치드 이더넷(switched Ethernet)의 적용에 관한 연구가 진행되었다(전, 2001).

### 3. CAN 기반 크레인 시스템 구현

#### 3.1 CAN 프로토콜 개요

CAN은 차량 내의 센서나 모터, ECU(Electronic Control Unit)들 간에 디지털 통신을 제공하기 위하여 1980년대 Bosch에서 개발되었으며, ISO 표준으로 제정되었다(ISO, 1994). CAN은 다른 필드버스 프로토콜에 비하여 구현 비용이 저렴할 뿐만 아니라, 대다수의 반도체 제조 회사에서 원칩 형태의 마이크로컨트롤러로 개발되어 가장 대중화되어 있는 프로토콜로 인정받고 있다. 이러한 장점으로 인하여, CAN은 자동차분야 뿐만 아니라, 공장 자동화와 빌딩 자동화, 로봇, 선박, 공작 기계 등과 같은 다양한 분야로 응용 범위가 확대되어 가고 있다.

CAN은 메시지의 내용에 따라 식별자(identifier, ID)를 부여하여 모든 메시지를 구별하고 메시지의 우선권을 정하는 내용 기반 주소 지정 방식(content-based addressing)을 사용한다. 즉, 만약 어떤 스테이션이 메시지를 전송하기 시작하면, 나머지 스테이션들은 수신된 데이터가 자신이 가진 ID와 관련이 있는지를 비교한다. 만약, 자신이 가진 ID와 관련이 있으면 받아들이고, 관련이 없으면 무시한다.

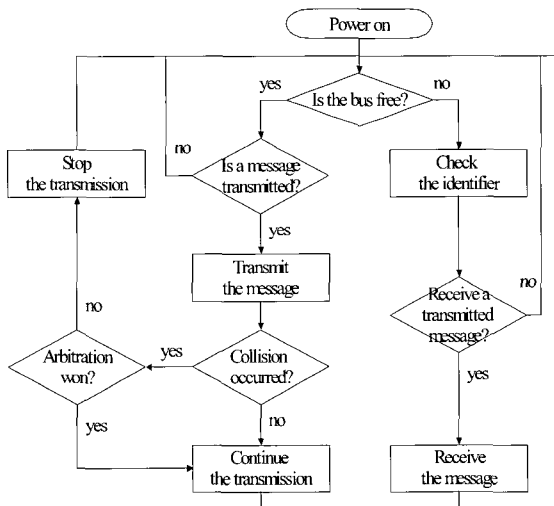


Fig. 3 Flowchart of CAN protocol

또한, 둘 이상의 스테이션에서 거의 동시에 전송을 시도했을 경우에는 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 상황에서, CAN은 충돌된 메시지들의 ID를 한 비트씩 비교하여 가장 낮은 ID 값을 가진 메시지(우선순위가 가장 높음)만 전송을 계속하고, 나머지 메시지는 즉시 전송을 중단하는 Fig. 3과 같은 CSMA/NBA (Carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration)을 사용한다.

#### 3.2 크레인 시스템을 위한 CAN 네트워크 구축

CAN 기반 크레인 시스템을 모사하기 위하여 Fig. 4와 같이 실험 모델을 구성하였다. 실험 모델은 모두 6개의 모듈과 네트워크의 메시지를 모니터 하는 CANoe 소프트웨어를 설치

한 컴퓨터로 구성되어 있다. 호이스트 모듈은 호이스트 제어기 모듈이 보낸 제어 신호에 따라 모터 구동 회로를 이용하여 모터를 구동한다. 또한, 이 모듈은 모터의 회전 각도를 측정하여 이를 호이스트 제어기 모듈로 전송한다. 호이스트 제어기 모듈은 운전자의 입력을 A/D 변환을 통하여 받아들이고 피드백된 모터의 회전 각도를 제어 알고리즘에 입력하여 제어 신호를 생성하여 호이스트 모듈로 전송한다. 나머지 모듈1부터 모듈4는 네트워크에 접속되어 있는 다른 장비들을 모사하기 위한 것이다. 하지만 본 연구에서 이 네 개의 모듈을 작동시키지 않은 상태에서 네트워크를 운용하였다.

각각의 모듈은 CAN protocol controller를 내장한 Motorola의 68HC12D60A를 사용하였다. 68HC12D60A는 16비트 마이크로컨트롤러로서 24개의 DIO 포트, 18개의 A/D 포트, 8개의 Counter, 4개의 PWM 포트를 갖고 있다. 또한, SPI 통신 기능과 SCI 통신 기능을 내장하고 있다. 송수신을 담당하는 transceiver로는 Siemens의 PCA82C50을 사용하였다. Fig. 5는 사용된 모듈을 보여주고 있다.

제어기와 플랜트가 직접적으로 연결되어 있지 않기 때문에 교환되는 신호는 필연적으로 지연을 겪게 된다. 이러한 지연은 두 가지로 나눌 수 있는데 그 하나는 비트를 순차적으로 전송하는데 필요한 전송지연(transmission delay)이고 나머지 하나는 네트워크를 사용할 수 있는 권리를 갖기까지 걸리는 네트워크 접근지연(network access delay)이다. 전송지연은 송신하려는 메시지의 길이에 따라 정해지는 반면 네트워크 접근지연은 다른 모듈의 상태에 따라 변화하는 랜덤 변수이다.

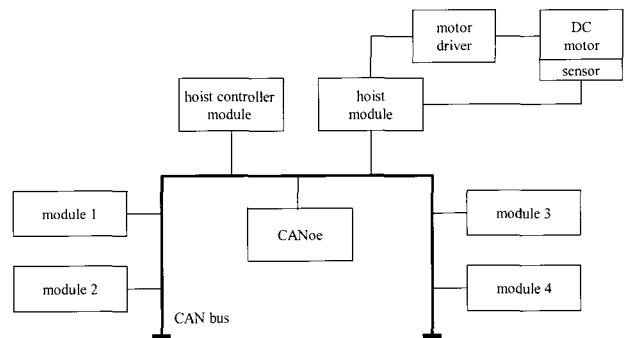


Fig. 4 Experimental module for CAN-based crane system

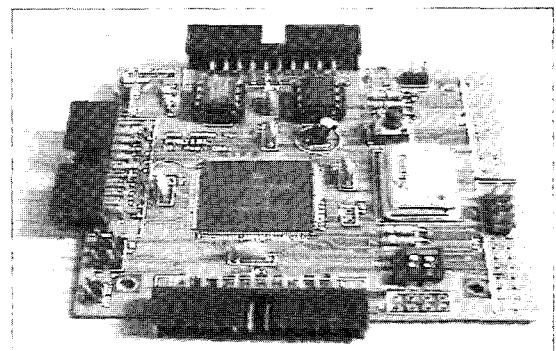


Fig. 5 Hoist controller module

29비트의 ID를 사용할 경우의 최대전송지연은 아래의 식을 이용하여 계산된다(Tindell, 1994).

$$C_m = \left( \left\lfloor \frac{54 + 8s_m}{4} \right\rfloor + 67 + 8s_m \right) \tau_{bit} \quad (1)$$

여기서,  $\tau_{bit}$ 는 CAN의 비트 타임으로서, 전송 속도의 역수인데 이는 한 비트를 전송하는 시간을 의미한다.  $S_m$ 은 전송하려는 데이터의 크기를 바이트 수로 표시한 것이다. 첫째항은 동일한 부호가 지속적으로 반복되는 것을 방지하기 위한 stuff bit의 최대수를 의미한다. 이항의  $\lfloor X \rfloor$ 는 X를 초과하는 최소의 정수를 나타내는 기호이다. 두 번째 항은 CAN 메시지가 의무적으로 갖는 오버헤드 비트의 수이고, 세 번째 항은 전송하려는 데이터의 비트수이다.

네트워크 접근지연은 생성된 메시지를 보내려고 할 때 다른 모듈이 네트워크를 사용하고 있는 경우에 발생한다. 현재 진행 중인 메시지의 전송이 완료될 때까지 기다려야 하고 그 후에도 다른 모듈과 경쟁하여 네트워크의 전송 권리를 획득하는 과정에서 추가적인 지연이 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 네트워크 접근지연은 각각의 모듈에서 생성되는 메시지의 생성주기와 길이에 직접적인 관련이 있다. 이를 예측하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔는데 메시지 길이가 지수 분포를 따르고 메시지의 생성이 Poisson 프로세스일 때와 같은 특정한 가정 하에서 몇몇 수학적 모델이 개발되었다. 하지만, 실질적인 제어자동화용 네트워크에서는 고정된 길이의 메시지가 주기적으로 발생하기도 하고 가변 길이의 메시지가 비주기적으로 발생하기도 한다. 이러한 이유 때문에 네트워크 접근지연에 대한 수학적인 모델을 사용하기 어려운 경우가 있고 많은 경우에 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 크기를 추정할 수 있다.

네트워크 접근지연의 확실적인 요소가 제어신호 송수신에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 각 모듈이 전송을 시도하는 시간을 사전에 고정하는 중앙 집중식 폴링(centralized polling)의 원리를 사용하였다. 폴링은 토큰링(token ring)으로

대표되는 분산형 라운드 로빈(distributed round robin) 방식에 비하여 토큰(token)을 사용하지 않으므로 토큰의 분실 및 중복을 방지하기 위한 토큰 관리를 하지 않아도 되는 장점을 가진다. 또한, 중앙 집중식 가상의 시간 마스터를 설정함으로써 마스터의 설정을 통해 전체 시스템을 원활히 제어할 수 있는 장점도 가질 수 있다.

호이스트 제어기 모듈은 Fig. 6과 같이 start message를 전송하면 각각의 모듈이 start message의 전송 시각에 대하여 상대적인 오프셋을 갖도록 모듈을 프로그래밍하였다. 모든 모듈은 동기화 신호에 따라 내부 타이머를 작동시켜 가상의 시간 마스터(time master)의 시간과 일치 시킨다. 이후, 각 모듈은 주어진 정보를 차례대로 전송한다. 여기에서, 마지막 모듈이 데이터를 전송하고 나면, 호이스트 제어기 모듈은 스케줄링된 사이클이 완료되었음을 확인하고, 새로운 사이클을 수행하기 위한 start message를 다시 전송한다. Table 1에서는 각 모듈의 ID와 데이터 크기를 표현하였다. 여기에서, ID는 각 통신 모듈의 데이터의 중요도에 따라 부여되었다.

Table 1 ID allocation of crane control system

ID value	transmitter	length	message name
0x11	hoist controller module	2byte	start message
0x12	hoist module	2byte	hoist message
0x13	hoist controller module	2byte	control message
0x14	module1	2byte	message 1
0x15	module2	2byte	message 2
0x16	module3	2byte	message 3
0x17	module4	2byte	message 4

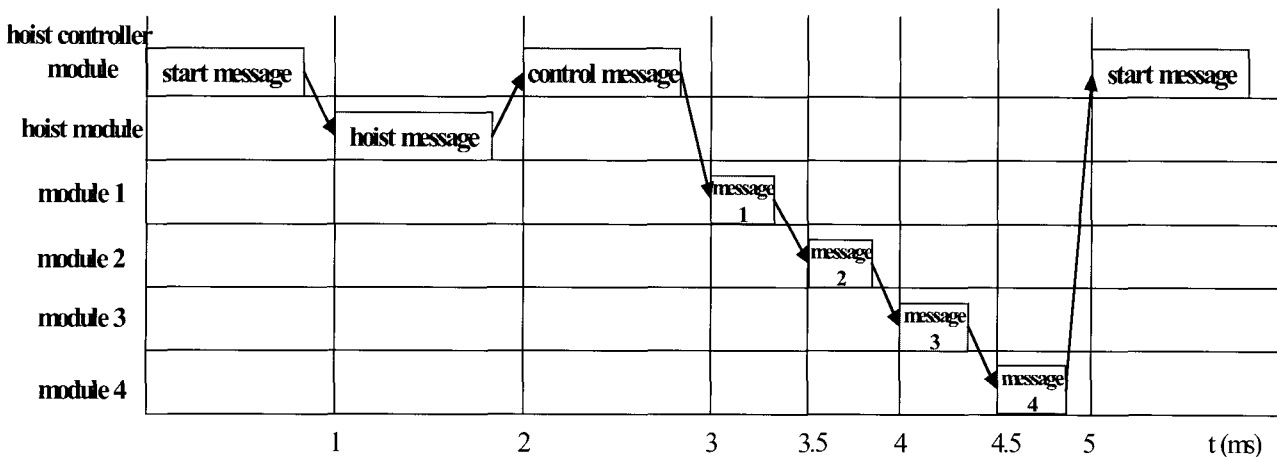


Fig. 6 Transmission schedule of message

각 모듈의 전송을 위하여 할당된 폴링 시간은 식(1)에 의하여 계산된 전송지연에 근거하여 선정하였다. 500kbps(kilobit per second)의 속도로 8 byte의 데이터를 전송하기 위해서는 약 312μs가 필요하다. 통신과 제어연산 등의 추가적인 시간을 고려하여 호이스트 제어기 모듈과 호이스트 모듈에 각각 1ms의 시간을 할당하였고 모듈 1~4는 이 실험에서 사용을 하지 않았지만 추후의 실험을 위하여 0.5ms의 시간을 각각 할당하였다. 이러한 시간 할당의 결과로 폴링 사이클의 주기는 5ms로 결정되었다.

### 4. CAN 기반 크레인 시스템의 성능 평가

#### 4.1 CAN 네트워크 기반 제어기 설계

CAN 기반 크레인 시스템의 성능을 평가하기 위해, Dongjin사의 DC 모터를 플랜트로 선정하여 실험을 수행하였다. 모터의 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Motor specification

Parameter	value
Rated Voltage	12, 24V
No-Load Current	3A(at 12V)
Rated Torque	600kgf.cm(58.8Nm)
Rated Current	Max 18A(at 12V)
Reduction Rate	1/156

플랜트의 전달 함수는 스텝 입력에 대한 응답을 이용하여 실험적으로 결정하였고, 그결과 식 (2)와 같이 2차 함수로 표현하였다(Ogata, 1990 ; Lee & Lee, 2002).

$$G_c(s) = \frac{0.619}{s^2 + 0.821s + 0.619} \quad (2)$$

모터 제어기의 설계 사양을 최대오버슈트(Mp)는 20% 이하, 10% 정착시간(Ts)은 2sec이하로 설정하여 근궤적법(root locus)을 이용하여 PID 제어기를 설계하면 식 (3)과 같다. 여기에서, Kp는 비례 이득, Kd는 미분 이득, Ki는 적분 이득이며, Kp = 0.011, Ki = 0.2, Kd = 0.0001로 하였다.

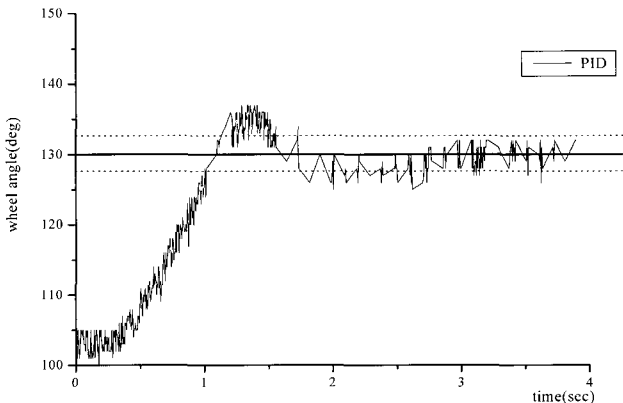


Fig. 7 Response using PID controller

$$G_{md}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{0.0001s^2 + 0.011s + 0.2}{s} \quad (3)$$

설계된 제어기를 사용하여 플랜트의 스텝 응답을 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 그림에서 PID 제어기를 일대일로 연결하였을 경우 Mp=16.6%, Ts=1.5sec로 나타났으며, 설계된 PID 제어기는 설계 사양을 만족함을 확인하였다.

#### 4.2 크레인 시스템의 성능 평가

Fig. 8은 식 (3)의 PID 제어기를 사용하여 제작한 크레인 실험 모델에서 모터를 제어할 경우의 위치 제어 성능을 나타내고 있다. 성능 평가를 위하여 ramp input을 사용하였다. 시스템의 성능을 지수화하기 위해 식 (4)의 절대 오차 시간곱 적분(integral of time multiplied by the absolute error, ITAE) 성능 지수를 사용하였다(Astroem, 1995).

$$ITAE = \int_0^T t|e(t)|dt \quad (4)$$

Fig. 8에 보인 실험결과는 약 352 정도의 ITAE 값을 가졌다. 실험 결과를 살펴보면 시스템의 추종성능이 일정하지 않음을 알 수 있다. 이러한 현상은 여러 가지 원인으로 발생할 수 있는데 운전자의 입력을 받아들이는 센서에서의 잡음이 그 중 하나일 수 있다. 또한, stuff bit의 수에 따른 전송지연의 변화와 호이스트 제어 모듈과 호이스트 모듈간의 동기화 부족으로 인한 추가적인 시간 지연도 그 원인이 될 수 있다고 추정된다. 이 연구에서는 고려되지 않았지만 모듈 1-4가 작동하고 스케줄링 기법이 사용되지 않는다면 네트워크 접근 지연이 제어 성능에 큰 영향을 미칠 것이다.

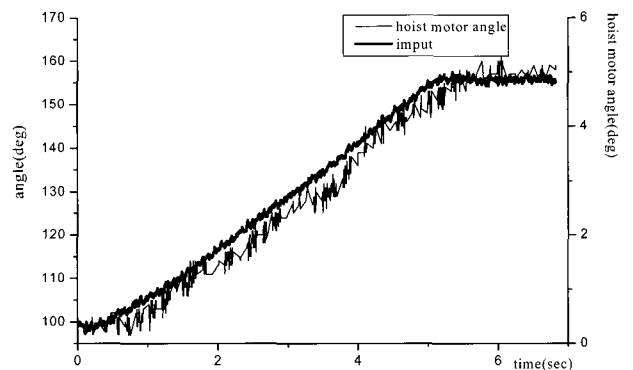


Fig. 8 Crane control with CAN network

### 5. 결론

본 논문에서는 자동화 크레인의 부속 장치들을 통합하기 위하여 CAN 네트워크를 사용하는 방안에 대하여 다루었다. 특히 모터 제어를 위하여 제어기와 모터를 CAN 네트워크로 연결하였고 이러한 구성에서의 제어 성능을 검증하였다.

이상의 결과로부터 본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, CAN 네트워크를 통하여 구성된 모터 제어시스템을 구축하였고 제어 성능을 검증함으로써 네트워크 기반 자동화 크레인을 위한 CAN의 적용가능성을 확인하였다.

둘째, CAN 네트워크에서 발생할 수 있는 시간지연을 파악하고 변동성이 큰 네트워크 접근지연의 영향을 줄이기 위한 스케줄링을 제안하였다.

향후 모듈을 추가한 실험을 통하여 네트워크 접근지연의 영향을 평가하는 연구를 진행할 계획이며 이 영향을 줄이는 방안에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. 또한, 시스템의 신뢰성을 향상시키기 위한 fault tolerance에 대한 연구도 절실히 요구된다.

## 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] 전태원(2001), "Lonworks 네트워크를 이용한 야드 크레인 구동용 전동기 위치 제어", 대한전기공학회논문지, Vol. 50, No. 1.

[2] Astroem, K. J.(1995), Haegglund Tore, "PID controller: theory design and tuning", International Society for Measurement and Control.

[3] CAN Specification version 2.0(1991), Robert Bosch GmbH.

[4] Lawrenz W.(1997), "CAN System Engineering From Theory to Practical Applications", Springer.

[5] Lee, K. C. and Lee S.(2002), "Implementation of Network Control System using a Profibus-DP Network", International Journal of KSPE, vol. 3, no. 3, pp 12-20.

[6] Ogata, K.(1990), "Modern Control Engineering", Prentice-Hall.

[7] Ray A.(1998), "Networking for Computer-Integrated Manufacturing," IEEE Network, vol. 2, no. 3, pp. 40-47.

[8] Road Vehicles-Interchange of Digital Information-Controller Area Network for High-Speed Communication(1994), ISO 11898.

[9] Tindell, K., Hansson, H. and Wellings, A.(1994), "Analysing real-time communications: controller area network (CAN)," Proceedings of IEEE Real-Time Systems Symposium, pp. 259-263.

---

원고접수일 : 2005년 3월 28일

원고채택일 : 2005년 8월 18일