

DSP2812 마이크로프로세서를 이용한 복수전동기운전을 위한 CAN기반 지능형제어시스템개발

(CAN Based Networked Intelligent Multi-Motor Control System using DSP2812 Microprocessor)

김중곤 · 홍원표

(Jung-Gon Kim · Won-Pyo Hong)

요 약

이 논문은 자동차에서 제어 네트워크로 이미 신뢰성이 확인된 CAN(Controller Area Network) 필드버스를 산업계 복수전동기 제어에 적용하기 위하여 지능형 제어모듈로 CAN 이 내장된 DSP2812 프로세서를 이용하여 제어 및 모니터링기술을 개발하였다. 산업계에 광범위하게 사용되고 있는 유도전동기를 대상으로 여러 대의 유도전동기를 제어하기 위한 제어 알고리즘과 CAN기반제어네트워크 구축방법을 개발하였다. 이 시스템 성능을 평가하기 위하여 2대의 유도전동기 인버터 구동시스템에 적용하여 CAN 기반 네트워크 제어 실험을 수행하였다. 그 결과 광범위한 속도와 정역회전에서 실시간 네트워크 기반 제어성능을 확인하였다.

Abstract

This paper addresses the CAN based networked intelligent multi-motor control system using DSP2812 microprocessor. CAN built in DSP2812 microprocessor is used to control and monitor the multi-motor system with the inverter driving system. CAN network implementation schemes and the algorithm for multi-motor control and monitoring is also developed. We configure the multi-motor control experimental system to verify the proposed algorithm and the reliability of CAN networks system in the various operation of two induction motors. The experimental results show that CAN based networked intelligent multi-motor control system using DSP2812 microprocessor can carry out the real-time network based control in various speed range and the position control of induction motors.

1. 서 론

산업계의 발전소, 제지, 철강, 상하수도 등의 plant와 가정 및 빌딩에 동력원으로 전동기의 핵심적인 역할을 하고 있으며 그 수요는 점점 증대할 것으로 전망된다. 전동기의 제어, 감시, 유지관리 및 Data 이력관리 등은 산업계의 제품의 질과 경제성을 제고하는 데 핵심적인 사항이 될 것이다. 산업계 전동기 운전현황의 한 예로 보령복합화력발전소의 고저압 전동기는 561대가 운전되고 있다[1]. 인버터 등 반도체 전력회로로 구동되는 전동기 구동시스템도 기존의 1대의 전동기를 단독으로 제어하는 고립적인 구성에서 벗어나 서로 연관성 있는 전동기를 모두 네트워크로 연결하고 상호간의 효율적인 제어를 위하여 정보와 data를 교환하며 호스트 컴퓨터에서 이를 통합관리 하는 시스템을 구성하면 많은 장점을 가지게 된다. 각 필드버스 지능형 노드에 연결된 전동기는 각 전동기의 동작상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있고 고장진단도

제어 알고리즘에 특성에 따라 실시간으로 이루어지는 등 필드버스를 통하여 여러 전동기를 통합적으로 제어함으로써 전동기의 운전효율 향상은 물론 유지보수 비용의 절감 등을 통하여 신뢰성을 제고시킴으로서 전체 산업계에 큰 기여를 할 수 있다. 따라서 향후 인버터 설정 및 동작상태 정보 및 고장이력 정보 등을 네트워크를 통하여 양방향 통신이 가능할 수 있도록 필드버스 네트워크의 필요성과 현장 설치 운영이 점차 증가 될 것이다.

본 연구에 사용된 필드버스인 CAN(Controller Area Network)은 차량내의 각종 계측제어 장비들 간에 디지털 직렬통신을 제공하기 위하여 개발된 차량용 네트워크 시스템으로 1993년도 ISO에서 국제표준 규격으로 제정되었다[2-4]. CAN은 다른 자동화 통신망들에 비하여 가격대 성능비가 우수하며 지난 수년간 차량내의 열악한 환경에서 성공적으로 동작되어 신뢰도가 검증된 통신망이다. 이러한 장점들로 인하여 최근에 와서는 공장자동화와 공정 분산제어 등 각종 산업 설비에 서 제어 및 자동화 관련 장비들 간에 데이터 교환을

위한 통신망으로 널리 사용되고 있다. CAN을 사용하는 통신망으로는 DeviceNet, SDS, CAN Kingdom, CANopen/CAL 등이 있으며 이들은 모두 데이터링크 계층으로 CAN을 사용하나 응용계층은 서로 다른 프로토콜을 채택하고 있다. 또한 CAN프로토콜은 고속의 통신 인터페이스를 제공하고 데이터 프레임의 오버헤드가 적기 때문에 빠른 응답 특성을 갖고 있다. CAN의 높은 데이터 처리 속도, 전기적 장애에 대한 강력한 면역성과 에러를 감지하고 교정하는 능력 등이 뛰어나 자동차뿐만 아니라 공장자동화, 엘리베이터제어시스템, 섬유제조기기, 항공 및 철도 등의 다양한 분야에도 채택되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 장점을 가진 CAN 필드버스를 다수 전동기 네트워크 제어시스템 구축을 위한 CAN이 내장되어 있는 TI사의 TMS320LF28X 전동기구동 전용칩을 사용하여 CAN 네트워크를 구현함은 물론 전동기의 고장예지 및 고장정보를 실시간으로 진단하고 모니터링할 수 있도록 비교적 저가인 DSP2812칩을 선정하여 CAN기반 지능형 Multi-motor 제어시스템을 구축하고 실험을 통하여 그 유효성과 성능을 확인하였다.

2. CAN기반 복수전동기 제어 네트워크 구성

2.1 CAN 통신 특성

CAN 통신 프로토콜은 디바이스 간의 정보교환 방식을 ISO의 OSI모델에 의거하여 7개 층 중에서 하위 2개 층인 물리계층과 데이터 링크계층에 걸쳐 정의하였다. 응용계층은 벤더에 따라 서로 다른 프로토콜을 개발하여 산업응용 분야에 출시하여 사용하고 있다. CAN은 5kbps(kilobits per second)에서 1Mbps(megabits per second)까지 다양한 전송속도를 제공하며 토폴로지는 버스형(bus structure)과 스타형(star structure)을 지원한다. CAN 프로토콜은 데이터 링크 계층에서의 미디어 접근을 위해 충돌을 감지하고 중재할 수 있는 CSMA/AMP(Carrier Sense Multiple Access/Arbitration on Message Priority)방식을 사용하고 있다. 일반적으로 CAN은 BACnet의 하위계층으로 사용되는 Ethernet이나 ARCNET 등에 비하여, 센서단계에서 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 즉, CAN의 경우 대다수 반도체 제조 회사에서 원칩으로 구현이 가능한 저가의 마이크로 컨트롤러가 출시되고 있으며 CAN노드를 구성하기 위한 다양한 저가의 개발 툴이 존재하기 때문에 센서단

계에서 구현이 매우 용이하다는 장점을 가지고 있다[4]. CAN프로토콜은 고속의 통신 인터페이스를 제공하고 데이터 프레임의 오버헤드가 적기 때문에 빠른 응답 특성을 갖고 있다. 또한 식별자(identifier)를 이용한 충돌방지과 전송중재(arbitration)기능을 갖고 있어 실시간 제어 네트워크 프로토콜로서 피드백제어를 요구하는 시스템 환경에도 적합할 뿐만 아니라 모듈 개발에 매우 저렴한 비용으로 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 열악한 환경조건하에서 입출력형태가 비교적 고도의 정밀한 운전이 필요치 않는 저전압 유도전동기 시스템 운전을 위한 네트워크기반 제어 및 모니터링 시스템에는 매우 중요한 필드버스로 평가할 수 있다. 특히 최근에는 CAN을 홈 네트워크 및 홈 자동화용 프로토콜로서 적용하기 위한 논의가 CiA(CAN in Automation)를 중심으로 활발하게 논의되고 있다[5]. 또한 CAN은 인텔사의 16비트 마이크로제어기 80C196CA와 TI사의 DSP인 TMS320X243, TMS320LF240X, TMS320LF28X는 CAN이 내장되어 있어 전동기 제어에 DSP 칩을 사용하는 경우 1개의 DSP 칩으로 전동기 제어 뿐만 아니라 CAN 네트워크까지도 쉽게 할 수 있다[6].

2.2 CAN 노드의 구성

그림 1은 통합 CAN 컨트롤러를 이용한 CAN 인터페이스의 구조로 구성된 CAN 기반 제어시스템의 통신 응용계층의 모델링을 나타낸다. 트랜시버를 통해 들어오고 나가는 메시지를 관리하는 통신 관리 부분과 공유 메모리를 이용한 메시지 필터링 기능 및 송신과 수신 식별자를 저장할 레지스터를 제어하는 부분, 그리고 제어 알고리즘이나 데이터 처리 등의 프로세스를 담당하는 애플리케이션 관리 부분으로 이루어진다. 두 노드간에 발생하는 지연시간은 계산지연 시간과 통신지연 시간으로 구분할 수 있다. 계산지연 시간은 로컬노드에서의 CAN 컨트롤러, 또는 트랜시버와 같은 하드웨어의 수행으로 인한 하드웨어적인 지연요소와 메시지의 입출력, 또는 제어프로세스의 처리를 위한 소프트웨어의 지연요소로 구성된다. 또한 통신지연시간은 메시지가 다른 노드에서 전송되기 위하여 매체를 점유하기 위하여 지연되는 매체 접근 지연요소와 메시지가 네트워크 매체를 통해 전송되는 전송지연요소로 이루어진다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 Integrated CAN 컨트롤러 인터페이스를 이용하여 제어시스템을 구성하였을 때 소프트웨어 프로세스와 CAN 컨트롤러 사이의 메시지 처리를

위한 ISR(Interrupt Service Routine)수행 지연 시간은 개략적으로 40 μ s에서 50 μ s까지 걸린다. 그림 1에서 보면 독립 CAN 노드로부터 전송된 메시지는 트랜시버를 통하여 CAN 컨트롤러에 전달된다.

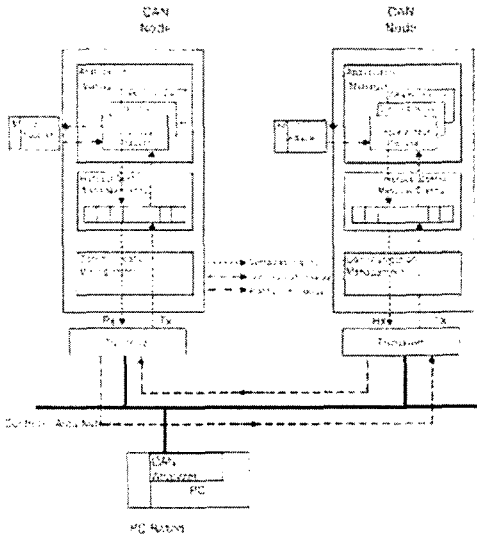


그림 1 CAN 통신 응용계층 구조

수신된 메시지는 우선 통신관리(communication management)서비스에 의하여 메모리에 저장되고 식별자를 이용한 메시지 필터링을 통해 응용프로그램에 전달된다. 그리고 응용관리자에 의하여 제어프로세스가 수행된다. 반대로 송신 메시지의 처리는 응용프로그램의 CAN API 프로세스에 의하여 메시지를 필터링한 후 통신관리서비스에 의하여 트랜시버에 전달되고 네트워크 매체를 통하여 다른 노드에 전달된다. 오른쪽의 독립CAN 노드에는 센서나 액추에이터가 하드 커플링(Hard coupling)되어 있으므로 플랜트를 제어하기 위한 정보 교환이 이루어진다.

3. CAN 기반 Multi-motor 제어 모듈 제작 및 실험

3.1 CAN기반 Multi-motor 제어모듈 제작 및 실험시스템 구현

CAN이 내장된 DSP2812를 이용하여 Multi-motor제어 시스템을 구축하기 위하여 그림 2와 같이 시스템을 설계하고 이를 근거로 제작하였다. CAN를 이용하여 여러 대의 전동기를 제어

하기 위하여 각종 제어명령이나 속도, 위치정보 및 감시제어 정보 및 현장에서 발생하는 고장정보를 검출 실시간으로 진단하는 것이 필드버스 네트워크로 가능하게 되었다. 2대의 인버터 전동기 구동 시스템을 구축하고 이를 CAN 네트워크 기반 제어시스템을 구축하였다. 따라서 Host노드에서 Master노드에 임의의 속도 명령을 주면 DSP2812 마스터 제어기는 host의 명령신호를 받아 인버터 시스템의 입력에 이 명령신호를 입력시키면 전동기의 속도는 정해진 속도에 추종하여 운전하게 된다. 또한 마스터 제어기는 슬레이브 시스템에 같은 속도의 명령을 CAN 통신을 통하여 슬레이브 제어기에 전달하면 이 명령신호는 인버터시스템의 입력에 전달되어 마스터와 같은 속도로 동기 되어

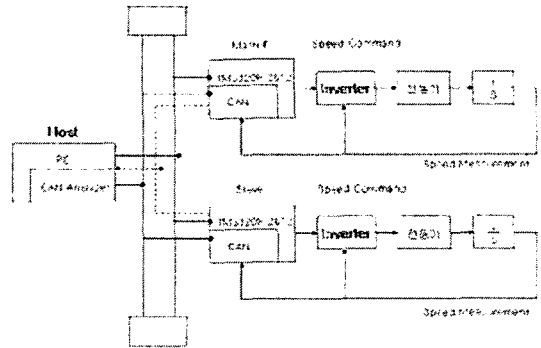


그림 2 CAN 기반 Multi-motor 제어 시스템 구성

블럭도

운전되게 된다. 본 실험에서는 오픈 loop시스템과 closed loop 시스템에서 각각 실험을 수행하였다. 그림 3은 위치제어 시스템 블럭도를 나타낸 것이다. CAN기반 복수전동기의 속도 CAN 네트워크 기반 추종시스템은 Host제어기, DSP2812마스터제어기, DSP2812 슬레이브 제어기를 이용하여 버스인터페이스를 구현하였다. 각각의 슬레이브 제어기와 마스터제어기는 입출력보드를 겸하게 제작하였다. 즉, 입출력보드에서 전동기의 속도정보를 얻고 CAN 네트워크를 통하여 이를 호스트에 전송하는 역할을 하며 호스트에는 마스터 속도정보를 이용하여 계산된 슬레이브 속도명령을 출력하여 CAN 통신을 통하여 슬레이브 전동기에 인버터구동드라이브에 입력을 명령함으로써 슬레이브 전동기는 마스터의 속도를 추종하게 된다. 이는 통하여 엔코더를 속도를 검출하여 인버터프로세스와 마스터제어기와 슬레이브제어기의 입력으로

받아드림으로서 피드백제어를 할 수 있도록 구성 되어 있다.

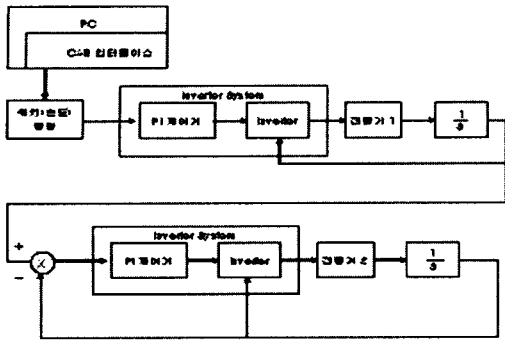


그림 3 위치제어시스템 블록도

그림 4는 CAN기반 Multi-motor 실험셋트의 제어시스템을 구현하여 실험장치의 전경이다. 전동기 2대를 제어하기 위하여 2대의 DSP2812 제어모듈을 제작하였으며 host에서 임의 속도명령을 받은 마스터 모듈은 즉시 마스터 구동시스템에 명령받은 속도로 구동시키고 이 속도를 CAN 통신을 통하여 전송받아서 슬레이브 모듈에 전송하여 슬레이브 모듈은 실시간으로 슬레이브 구동시스템에 명령을 수행하여 추종 속도제어 하도록 구성한 것이다. 여기에 예물레이터2대를 설치하여 각각의 전동기 속도 데이터와 운전명령데이터를 실시간으로 받기위한 기능을 수행하기 위한 것이다. PC는 CAN Converter로 USB 포트에 연결시키기 위한 인터페이스 장치로 본 실험에서는 host 제어기로 CAN 통신을 통하여 마스터 모듈에 임의의 제어 명령을 수행할 수 있도록 하였다. [3]에서 베어링 고장진단실험실 set를 구축하기 위하여 3대의 전동기를 구축하였으며 이번 실험에서는 2대의 인버터 구동시스템을 가진 전동기를 대상으로 실험하였다. 본 실험에서 사용된 전동기와 인버터 구동시스템 사양은 [3,7,8]에 표시하였다.



그림 4 CAN 기반 Multi-motor 제어실험시스템 전경

(1) CAN 기반 제어모듈 사양 및 회로도

DSP2812 칩으로 기반으로 제작된 CAN기반 복수전동기용 제어모듈을 그림 5에 나타내었다. 2대의 전동기를 제어하기 위하여 2대의 DSP2812 제어모듈을 제작하였다. 이 한개의 모듈당 2개의 보드로 되어 있으며 1개의 보드(A 보드)는 DSP2812, D/A converter, CAN 트랜시버가 주요 디바이스로 구성되어 졌다. 다른 하나의 보드(B 보드)는 D/A 변환기에서 나온 4.09V 신호를 증폭하여 8.18V로 출력된 값을 인버터 입력단에 접속시킨다.

• A 보드 :

1) DSP2812 회로도 및 사양

- 클럭 : 30MHz 크리스탈 사용, 내부 PLL에서 5배 증가시켜 150MHz로 동작 리셋시에 XF_XPLLDIS상태가 0이면 PLL 기능을 사용하지 않는다. 본 회로에서는 PLL기능을 사용하여 30MHz를 5배 증가시킨 150MHz 동작을 시키기 위함으로 XF_XPLLDIS핀을 1(High)상태로 해야한다.

2) JTAG커넥터

XDS510과 같은 예물레이터를 접속하기 위한 커넥터로 TI에서는 14핀 2열 커넥터를 사용한다. 여기서 TRST핀을 pull-up하면 DSP가 동작하지 않는다.

3) 전원 리셋트회로

TI사의 TPS767D38 소자를 사용하여 5V 전원을 입력하여 3.3V, 1.8V, 리셋트 신호를 생성한다

5) D/A 변환기 인터페이스 회로

DAC7612는 BB사에서 만든 직렬(SPI 통신) 12bit 2채널 D/A변환기로 단일 전원 5V로 동작하고 4개 신호만을 필요로 하며 소형 8핀 크기이다. 주요특징으로 12bit 2채널, 저소비전력(3.7mW), 셋틀링시간(7usec), 출력전압영역 (0-4.09V) 및 SPI클럭속도는 20MHz에서 동작한다.

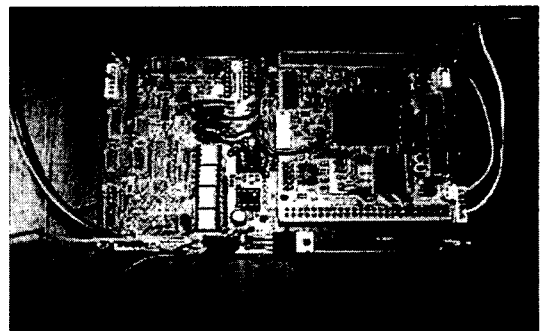


그림 5 DSP2812보드(A)와 아날로그회로 보드(B)의 전경

• B보드(아날로그 회로)

아날로그 파트는 B보드에 설치했다. 이 보드는 실험을 위하여 PCB를 설계하여 제작한 것이다.

1) D/A 변환기 인터페이스 회로

그림 6은 DSP2812로부터 디지털 값으로 출력된 값이 DAC7612 변환기에 SPI통신을 통하여 입력되어 DAC0와 DAC1이 출력되어진다. 본 연구에서는 DAC0 출력 포트를 사용하였으며 이 출력은 그림 7의 DA0에 입력된후 2배로 증폭되어 필터를 거친 후 인버터의 입력단에 접속된다.

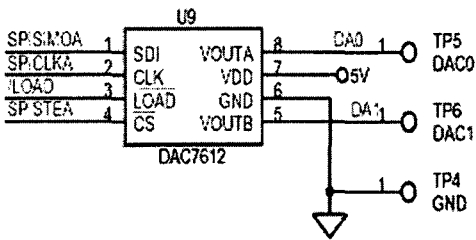


그림 6 DAC의 입출력 포트

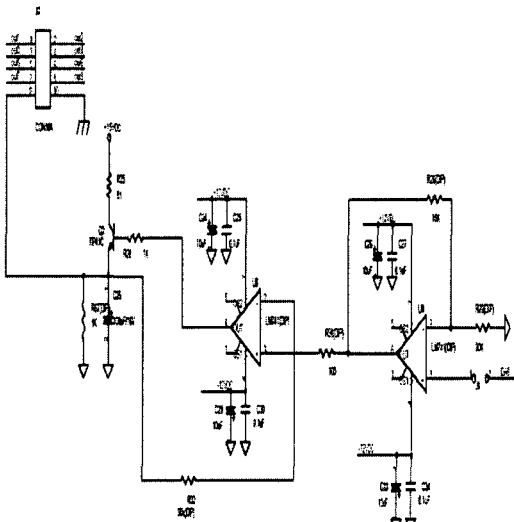


그림 7 D/A 변환기 신호의 증폭 및 필터회로

2) 엔코더 인터페이스

엔코더에서 출력된 5V의 펄스를 3.3V로 변화시켜 DSP2812의 입력단자에 입력시킨다. 그림 8은 3.3V 입력을 발생시켜 DSP입력포트로 연결되는 회로도이다. 또한 그림 9는 유도전동기 속도를 검출하기위하여 사용한 엔코더 설치 전경이며 사양은 표1과 같다.

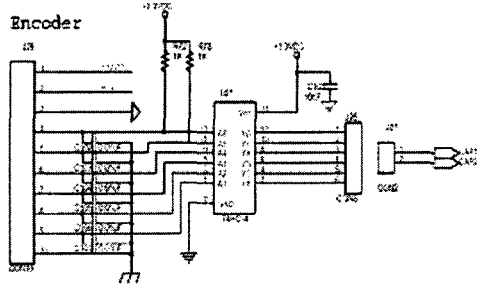


그림 8 엔코더 출력(5V)을 3.3V로 변환하는 회로

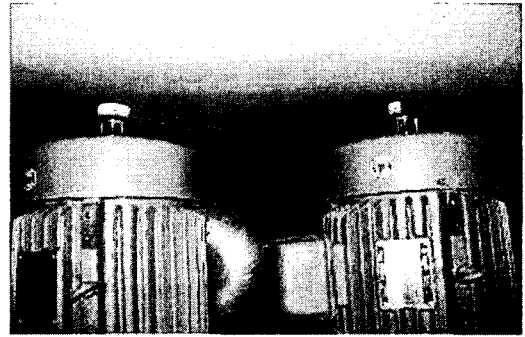


그림 9 엔코더 설치 예

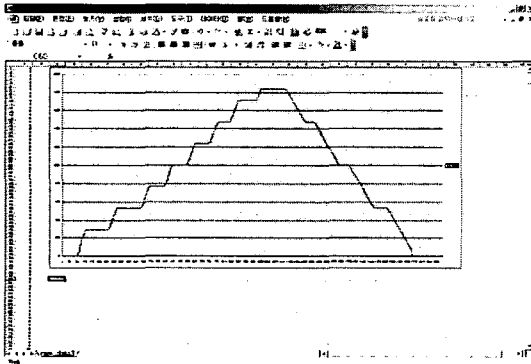
표 1 로터리 엔코더 사양

제작사	Metronix사
외경	40mm
pulse 수	512
형식 Line	Line drive(차동형)
전원전압	5V± 5%

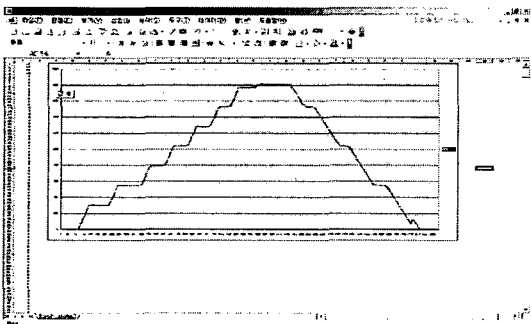
3.2 실험결과

CAN이 내장된 TMS320F2812 DSP칩을 이용하여 제어모듈을 개발하고 Multi-motor제어 시스템을 구축하여 실험을 수행하였다. CAN 제어기를 이용하여 버스 네트워크를 그림 4와 같이 구축하였다. Host 노드(PC)에서 임의의 제어명령을 Master 전동기 구동시스템의 DSP제어모듈에 명령하여 임의의 속도를 제어하도록 하였다. 이 속도를 엔코더로 피드백하여 Master제어장치가 슬레이브 제어장치에 CAN통신을 통하여 전송하여 슬레이브 구동시스템에서 Master시스템의 회전속도를 실시간으로 추종하도록 하였다. 그림 10은 정속도에서 실험 결과를 나타낸 것으로 마스터구동시스템(그림 10 (a))의 속도를 슬레이브구동시스템(그림 10 (b))이 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 이때 반

주기는 인버터제어시스템의 사양에 맞추어 6초로 설정하여 시험하였다. 마지막으로 그림 11은 정역을 연속적으로 운전한 위치제어 실험한 결과이다. 이 실험에서도 구동시스템은 정역운전 전영역에서도 실시간으로 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 이 실험 Data는 DSP2812 외부메모리에 XINTF Zone(0x100000-0x180000)메모리에 16진수로 저장된 Data를 인터저 Data로 변환하여 엑셀 툴로 그림을 그린 것이다. 이 결과 Master전동기의 회전 속도(정역운전)를 광범위한 운전범위에서 Slave 전동기가 지연 없이 실시간으로 추종하고 있음을 확인 할 수 있다. CAN 통신은 비교적 적은 노드를 가진 소규모시스템의 모타 구동시스템에 적합한 것을 알 수 있다.

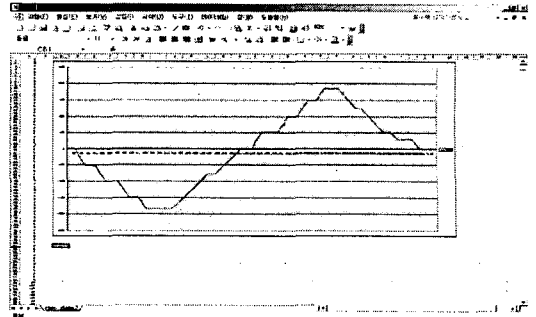


(a) Master 전동기 정회전 운전 모드

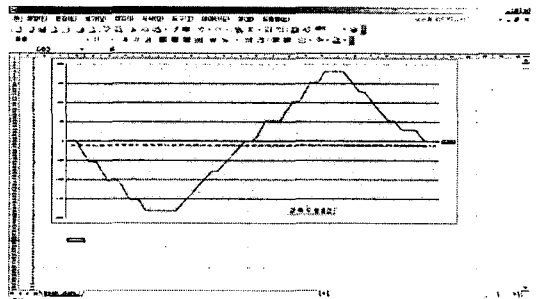


(b) Slave 전동기 정회전 운전모드

그림 10 유도전동기 정회전 운전모드



(a) Master 전동기 정역회전 운전모드



(b) Slave 전동기 정역회전 운전모드

그림 11. 유도전동기 위치제어 운전모드

4. 결론 및 토의

CAN 통신이 내재된 DSP2812 고성능 마이크로 프로세서를 이용하여 복수전동기 네트워크제어 시스템을 구축하고 실험을 수행한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 국내에서 최초로 DSP2812를 이용하여 CAN기반 복수모타 제어알고리즘을 개발하고 제어시스템을 구축하였다.
- 2) 복수모타를 다양한 전동속도범위와 모타위치제어에서 실험한 결과 실시간으로 신뢰성있는 운전 성능을 확인하였다.
- 3) 네트워크기반 복수전동기 피드백제어시스템 구축기술을 개발하였다.

추후 통신트래픽 지연 메카니즘을 분석하여 현장 대규모 전동기를 네트워크로제어하는 현장제어기술을 개발할 예정이다.

Acknowledgment

The authors would like to gratefully acknowledge the financial support of KESRI (Korea Electrical Engineering & Science Research Institute) under project R-2003-B-285 and also ETPT of KEPRI under the project number A3050.

References

- [1] 홍원표, "지능형전동기 구동시스템개발(2차년도 중간 보고서)", 기초전력연구원(산업자원부), 2005.8.26.
- [2] 홍원표, "빌딩자동제어시스템용 CAN 필드버스 모듈 개발 및 적용기술에 관한 연구", KIIEE Vol. 18, No 6, pp. 121-127 Nov.2004.
- [3] 홍원표, "DSP 마이크로컨트롤러를 사용한 CAN 네트워크 기반 유도전동기 고장진단 시스템 설계", KIIEE Vol. 19, No. 5, pp. 80-86 July 2005.
- [4] W.Lawrenz, "CAN system Engineering", Springer-Verlag, New-York, Inc. 1977.
- [5] M.Farsi, "CANopen Implementation application to industrial networks", Research Studies press co. 2000.
- [6] EDU2812Kit, <http://www.realsys.co.kr>.
- [7] Won-Pyo Hong, "Induction Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", KIIEE Vol. 19, No. 7, pp. 70-77 Sep. 2005.
- [8] Won-Pyo Hong, "Stator Current processing-Based Technique for Bearing Damage Detection in Induction Motor", ICCAS2005, June2-5, 2005, Korea.
- [9] Won Pyo Hong, "Networked Intelligent Motor-Control Systems Using IEEE/EIA 709.1 Fieldbus", International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications(ISCIIA2004), DEC.20-24, Hainan Univ., Haikou, China, 2004