

논문 2004-41SC-2-2

인터넷 웹 기반의 PMSM 원격제어시스템

(Internet Web-Based Remote Control System For Permanent Magnet Synchronous Motor Drives)

김 대 현*, 최 양 광*, 김 영 석**

(Dai-Hyun Kim, Yang-Kwang Choi, and Young-Seok Kim)

요 약

산업이 발전되어감에 따라 일반 가정에서 산업의 각 분야에 이르기까지 각종 전동기의 사용이 증가하고 있으며, 그 종류도 날로 다양해지고 있다. 이러한 이유로 산업전반에 널리 보급된 인터넷을 이용하여, 가변속 구동 시스템에 대해 원격조작하고, 일괄관리하거나 실시간으로 관리기기의 상태를 파악하고, 데이터를 수집, 처리하는 것이 요구된다. 또한 인터넷을 통해 기기를 직접 제어, 관리함으로써 시간과 공간, 비용절감의 측면에서 큰 효과를 기대 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 인터넷 웹 기반의 PMSM 원격제어시스템 개발을 연구하였다. 인터넷을 이용한 원격제어를 위해 DSP 제어기 및 TCP/IP를 사용한 클라이언트/서버 시스템과 PMSM의 상태와 Data를 확인할 수 있는 웹 인터페이스를 개발하였다. 이 시스템은 웹 기반의 관리 프로그램을 통해 실시간으로 PMSM의 기동, 정지 및 가변속에 대한 제어와 모니터링이 가능하다.

Abstract

As the industry is developed, uses of various electric motor are increasing from general home to various fields of industry, and the kind becomes various daily. For these reasons, it is required to study the remote control and a package management about change of a speed drive system, the supervision of administration appliance by real time, and the collection and process data together using internet prevailed on industry whole. Also, we can expect big effect in time and space, side of cost-cutting by control directly and manage appliance through internet. This paper deals with the development of a Web-Based remote control system for permanent magnet synchronous motor drives. The client/server system using TCP/IP protocols and DSP controller for remote control through internet and the Web interface that users can confirm data and state of PMSM is developed. This system is available for driving, braking, variable speed control and monitoring for PMSM in real time through administration program of Web-Based.

Keywords : TCP/IP, PMSM, Sensorless, WinSock

I. 서 론

산업이 고도화됨에 따라 일반 가정에서부터 산업현장에 이르기까지 각종 전동기의 사용이 증가하고 있으며 그 종류도 날로 다양해지고 있다. 이러한 전동기에 대해 시간과 거리의 제약을 받지 않고 정보의 수집 및 처리

분배 하는 기술의 발달을 요구하게 되었으며, 새로운 정보처리를 위한 시스템 구축에 대한 요구가 더욱 가속화 되어 가고 있다^[1]. 특히 산업계의 각종 기계 및 플랜트에 있어서 원격에서 속도제어·위치제어나 급가감속 운전 등을 할 수 있는 가변속 구동 시스템에 대한 신뢰성 있는 정보의 수집 및 처리를 위한 시스템을 구축하지 않고는 생산성 및 품질의 저하를 피할 수 없다. 또한 최근 인버터 및 UPS 등의 전력 시스템 분야에도 원격 감시용 계측 시스템에 대한 적용이 활발해 짐에 따라 가변속 구동 시스템에 대한 정보들을 원격 계측하여 네

* 학생회원, **정회원, 인하대학교 전기공학과

(Inha university, Dept. of Electrical Engineering)

※ 본 연구는 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2001-041-E00146)

접수일자: 2003년9월12일, 수정완료일: 2004년1월30일

트위크를 통해 전송할 수 있는 시스템이 구축된다면 기업의 수익성 및 생산성을 상당히 향상시킬 수 있다^{[2][3]}.

본 논문에서는 이러한 측면을 고려하여 단위 무게 당 토크 비율 및 효율이 다른 전동기에 비해 월등히 높고, 정밀 속도 제어를 요구하는 산업용 기기의 응용 분야에 서보용으로 폭 넓게 사용되고 있는 영구자석 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor)를 선택하여 사용 환경제한, 가격 상승, 크기 증대 등의 PMSM 구동 문제 해결을 위해 현재 널리 연구 중인 센서리스 알고리즘^[4]을 적용하고 이 PMSM에 통신 인프라의 확산에 따라 어디서나 쉽게 접속이 가능하며 고속의 데이터 전송이 가능한 인터넷을 이용하여 웹 브라우저를 통해 간편하게 PMSM을 원격으로 ON, OFF 및 가변속 제어를 하고 실시간으로 시스템의 상태를 감시할 수 있는 원격제어시스템을 제안하고자 한다.

따라서 인터넷을 통한 데이터전송을 위해 TCP/IP Protocol을 사용하고, 인터넷상에서 웹을 통해 원격 제어 및 감시를 위해 웹 서버 시스템을 구축하였다. 또한 기존의 PMSM 시스템에 대해 분석한 후 이를 기반으로 PMSM과 웹 서버 시스템을 연결시킬 뿐만 아니라 웹 브라우저를 통해 PMSM을 제어하고 감시할 수 있는 통합 관리 프로그램을 구현하였다.

II. 인터넷 웹 기반의 원격제어시스템 구성

1. 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성

대부분의 네트워크 응용 어플리케이션은 클라이언트/서버 모델로 구현되는데 서비스를 제공하는 장비를 서버라고 하고 서비스를 받는 장비를 클라이언트라 한다. PMSM의 인터넷을 통한 원격 제어를 위해서는 TCP/IP를 이용한 서버/클라이언트 모델의 시스템을 구성하여야 한다^[5].

본 연구에서는 DSP 보드를 사용한 제어 시스템과 서버는 RS-232 통신 라인으로 연결되어 있고, 클라이언트와 서버 사이는 TCP/IP를 사용한 인터넷을 통해 연결되어 있다. 따라서 서버에서는 프로토콜 변환기의 역할이 필요한데 여기서는 통신 프로토콜 변환 프로그램이 실행되어 클라이언트를 통해 입력된 Data를 RS-232방식으로 바꾸어 직렬 통신으로 DSP 보드를 사용한 제어 시스템에 전송한다. 또한 인터넷을 통해서 원격으로 기동, 정지 및 가변속에 대한 지령을 수행하고 PMSM 제어 시 실시간으로 처리되어야 할 부분은 제어기에서 담

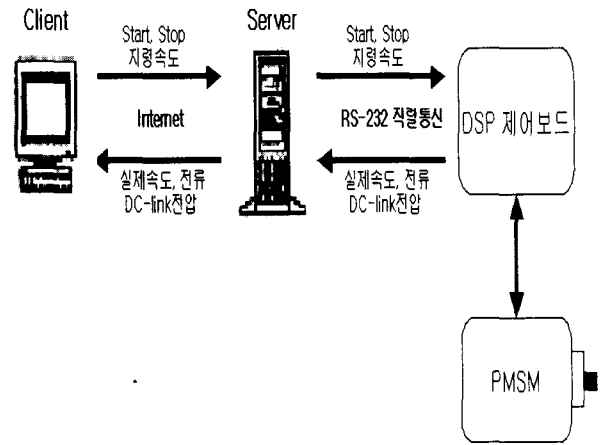


그림 1. 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성도.
Fig. 1. System block diagram of client/server model.

당하도록 구성하여 인터넷상의 통신 지연으로 인한 문제를 보완할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

그림 1은 클라이언트/서버 모델의 시스템 구성도를 나타내었다. PMSM의 원격 제어를 위해 클라이언트는 인터넷을 사용해 기동, 정지 및 가변속에 대한 지령 Data를 서버로 보내고 서버는 받은 Data를 직렬 통신을 통해 DSP 보드를 사용한 제어시스템으로 보내 기동, 정지 및 가변속 제어를 한다. 또한 특정 샘플링 시간마다 속도 및 전류, 전압에 대한 Data를 위와 같은 방식으로 서버를 통해 클라이언트로 전달하여 PMSM의 동작과 함께 특정 Data에 대한 모니터링이 가능하도록 구성하였다.

2. 월드 와이드 웹 기반을 위한 웹 서버 구성

인터넷 웹 기반의 원격제어시스템을 위해서는 웹 서버 구성이 필요하다. 클라이언트/서버 모델의 일반적인 제어시스템에서 서버의 기능은 클라이언트와의 인터페이스를 통해 데이터를 전달하고 시스템을 관리하며 보통의 산업현장의 설비와 마찬가지로 제어시스템이 TCP/IP를 지원하지 않기 때문에 클라이언트와 서버 사이의 TCP/IP 통신과 서버와 제어기 사이의 직렬 통신에서 상호 통신을 연결하는 프로토콜 변환기의 역할을 한다. 웹 서버는 여기에 추가로 사용자 인증과 별도의 프로그램 설치 없이 웹 브라우저를 통해 PMSM을 제어하는 관리 프로그램에 연결, 일반 홈페이지를 보듯이 PMSM을 제어할 수 있게 한다.

III. 인터넷 웹 기반의 원격제어시스템 구현

1. PMSM의 센서리스 제어

그림 2는 PMSM의 센서리스 제어를 위한 알고리즘을 나타낸 것이다. 그림의 알고리즘은 상전류를 검출하여 이를 회전자 좌표계로 변환한 후, 속도 및 위치 추정 알고리즘에 적용하여 회전자의 속도를 추정하고 이를 적분하여 회전자의 위치를 추정한다^[6]. 추정된 속도와 지령 속도의 오차 분을 비례 적분하여 토크 분 전류인 i_{sq} 의 지령치 i_{sq}^* 을 산출하여 i_{sd}^* 와 i_{sq}^* 를 비례적분한 후, 각각의 간섭을 제거하기 위해 비 간섭 전류제어기를 구성한다. 비 간섭 전류제어기의 출력은 지령전압 v_{sq}^* 와 v_{sd}^* 를 산출하고, 산출된 v_{sq}^* 와 v_{sd}^* 를 고정자 좌표계로 변환하여, SVM(Space Vector Modulation) 알고리즘[7]에 적용한다. SVM알고리즘에서는 V_{sd}^* , V_{sq}^* 와 DC-link 전압을 검출하여, 각 상의 Gate의 on 및 off 신호를 산출하여 인버터를 구동한다.

일반적으로 센서리스 알고리즘을 적용하여 PMSM을 제어할 경우 실제 센서로 측정된 값이 아닌 복잡한 추정식에 의해 속도를 계산하여 제어하므로 긴 연산시간이 필요하며, 추정에 따른 오차를 줄이기 위해 얼마나 빠른 샘플링 주기를 가지고 제어되는가는 안정적인 센서리스 제어를 하는데 중요한 조건이 된다. 따라서 원격 제어를 위해 서버와의 통신을 위한 데이터 전송 시간이 포함될 경우 연산시간이 더욱 길어져 센서리스 시스템이 불안정해진다. 본 연구에서는 실시간으로 안정적인 센서리스 및 원격 제어를 하기위해 제어시스템이 지령 명령을 받을 때는 각 샘플링 주기마다의 확인을 통해 서버로부터 지령 데이터가 수신된 경우에만 지령치 변경을 수행하고, 데이터 모니터링을 위한 서버로의 데이터 전송은 하나의 데이터 당 두 번의 샘플링 주기로 나누어 수행함으로써 연산시간 증가에 따른 시스템의 영향을 줄여 안정적인 센서리스 제어가 가능하도록 구현하였다.

2. 관리 프로그램 구현

관리 프로그램은 모드 설정을 통해 하나의 프로그램으로 클라이언트 및 서버, Local 모드로 설정할 수 있으며 설정된 모드로 시스템의 기동, 정지 및 가변속에 대한 제어변수 입력과 위 그림 2의 센서리스 알고리즘의 추정 속도(ω)와 전류(i_a), DC-Link 전압(v_{dc})에 대한

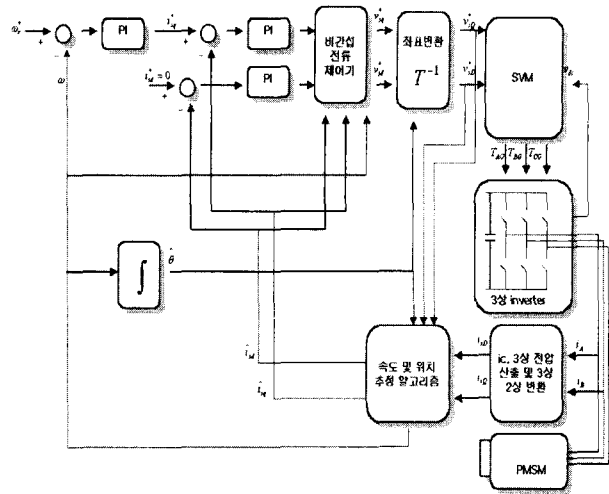


그림 2. PMSM의 센서리스 제어 알고리즘.
Fig. 2. Sensorless control algorithm of PMSM.

Data를 모니터링 및 저장할 수 있게 구현된 프로그램이다. 또한 Visual Basic을 사용하여 윈도우즈 기반으로 개발하였기 때문에 Windows 계열을 사용하는 모든 컴퓨터에 설치하여 사용할 수 있으며 웹 서버를 이용, 월드 와이드 웹으로 구성함으로써 별도의 프로그램설치 없이 웹 접속을 통해 PMSM을 관리할 수 있다.

이 프로그램은 인터넷을 위해 클라이언트/서버 모델을 사용하며 Data Interface를 위해 윈도우즈에서 TCP/IP 응용 프로그램을 만들 때 사용하는 윈속(Windows Socket) API를 사용하였다. 클라이언트와 서버의 통신은 Visual Basic의 TCP/IP를 이용한 통신을 제공하는 윈속 컨트롤을 사용하였으며 서버와 제어시스템의 통신은 직렬 통신 기능을 제공하는 MSComm 컨트롤을 사용하여 구현하였다. 그림 3은 윈속을 사용한 클라이언트/서버 프로그램의 작동 방식을 나타내었다.

3. 원격제어 시스템 구현

제안된 시스템은 통신기능 뿐만 아니라 PMSM의 원격제어의 기능을 수행한다. 본 연구에서 제안된 PMSM의 센서리스 및 원격제어를 위해서는 고속의 연산이 필요하다. 따라서 이러한 기능을 갖는 제어시스템 구성을 위해 마이크로프로세서로 사용된 DSP소자는 고속, 고정도의 연산이 가능하며, 부동소수점 처리가 가능한 TI(Texas Instrument)사의 DSP(Digital Signal Processor)인 TMS320C31을 사용하였다. 또한 AMD사의 직렬통신 컨트롤러인 AM85C30을 통해 제어시스템과 서버와의 통신이 가능하도록 구현하였다. 인버터의 스위

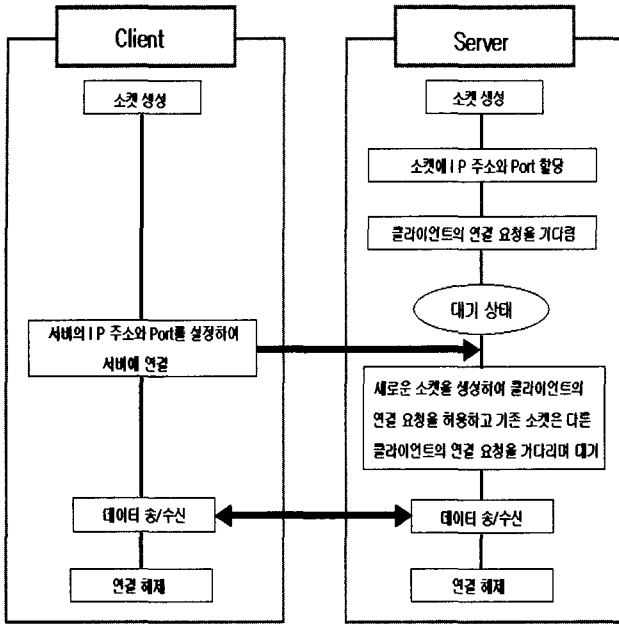


그림 3. 클라이언트/서버 프로그램의 작동 방식.
Fig. 3. Operating process of client/server program.

칭 소자는 Fuji사의 IGBT(7MBR30NF060) 모듈을 사용하였으며, 일반적인 3상 풀브리지 형태를 취하는 전력 회로를 구성하였다. 공간 전압벡터 변조법의 구현은 전용 프로세서인 Analog Devices사의 ADMC200을 사용하였으며, DSP에서 계산된 기준전압벡터의 시간은 샘플링 시간마다 ADMC200에 입력되며, ADMC200은 IGBT구동을 위한 게이트 구동 신호를 발생한다. 게이트 구동회로 및 보호회로는 40kHz까지 구동 가능한 게이트 드라이버(EXB841)를 사용하였다.

웹을 통한 시스템 제어를 위해서는 Active X 컨트롤을 사용하여 웹 서버를 구현하였으며 웹 서버 접속 시 사용자 인증을 거치도록 하여 사용자 제한이 가능하게 하였고 동시에 어떤 사용자가 접속해 있는지, 언제 시스템을 사용했는지에 대한 Data를 확인할 수 있도록 구성하여 관리자 측면에서 사용자 관리가 용이하게 하였다.

IV. 시스템 실험 및 고찰

1. 관리 프로그램 실행

사용자는 인터넷이 연결된 컴퓨터를 통해 웹 서버에 접속한다. 접속한 후 웹 브라우저 상에서 ID 및 패스워드 입력을 통해 사용자 인증을 완료하면 클라이언트 모드로 관리 프로그램을 실행한다. 따라서 인터넷이 연결된 어디서든 사용자 인증 과정을 통해 기기에 접속,

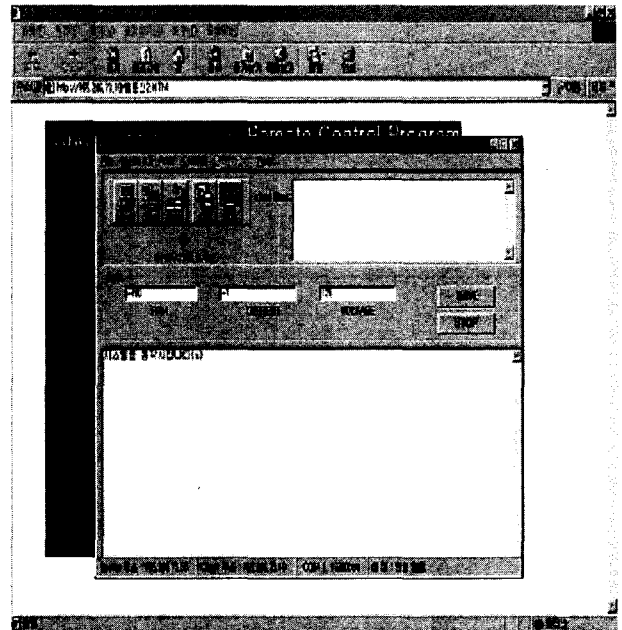


그림 4. 동작 화면 (초기 시작).
Fig. 4. Operated screen (initial start).

PMSM을 제어하고 상태를 점검하며 모니터링 할 수 있다. 그림 4,5의 프로그램 아래의 상태 창은 클라이언트와 서버의 IP 주소 및 소켓 연결에 대한 여러 정보를 보여주는데 “접속 완료”라는 메시지가 뜨면 클라이언트와 서버가 접속이 완료된 상태이므로 프로그램의 Control 메뉴를 이용하여 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어를 할 수 있다. 또한 클라이언트와 서버가 접속된 상태에서 PMSM을 제어하고 모니터링 하기 위해서는 관리 프로그램의 Baud rate 설정 창을 통해 직렬통신 컨트롤러의 bps(bit per second)와 같은 속도로 동기시켜야 하는데 클라이언트로부터 설정된 Baud rate의 정보는 서버를 통해 직렬통신 컨트롤러로 전송되어 자동으로 동기를 시키도록 구성되었다. 그림 4,5는 웹 서버 접속 및 관리 프로그램 실행 화면을 나타내었다.

그림 4는 클라이언트에서 초기 Start 명령을 내릴 경우의 동작화면으로 클라이언트의 Operating Ramp를 통해 기기의 동작상태를 확인하며 시스템동작 중 Data 창을 통해 속도, 전류, 전압에 대한 Data를 실시간으로 모니터링 하고, Save 버튼을 통해 원하는 시간에 PMSM의 상태정보를 기록할 수 있다. PMSM의 기동, 정지, 가변속은 프로그램의 툴바(Tool Bar)나 Control 메뉴 창의 버튼을 누름으로써 쉽게 명령할 수 있다. 그림 5는 클라이언트의 Control 메뉴 창의 버튼을 이용하여 PM

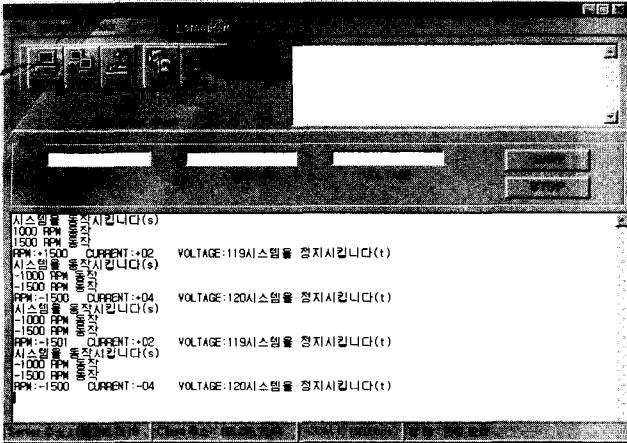


그림 5. 동작 화면 (기동, 정지, 가변속 제어).
Fig. 5. Operated screen (start, stop, variable speed control).

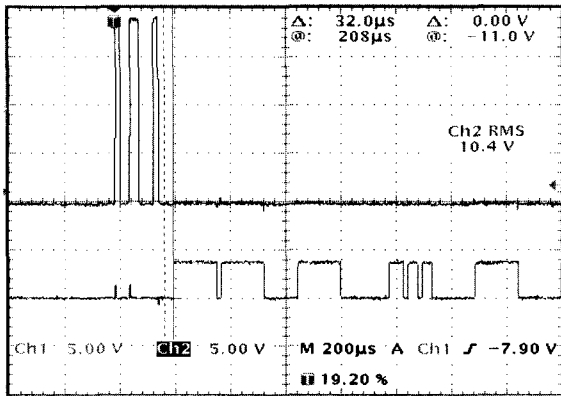


그림 6. 원격제어 기동명령(상)과 모니터링 데이터(하).
Fig. 6. Startinag command of the remote control and monitoring data.

SM에 다양한 가변속 및 기동, 정지 명령을 내릴 경우의 동작 화면으로 아래의 텍스트 창은 제어명령에 대한 상태정보를 표시하고 정지 명령 시는 각 변수(속도, 전류, 전압)의 최종 값을 반환한 뒤 시스템을 정지시킨다.

2. 인터넷 웹 기반의 PMSM 원격 제어 실험

그림 6은 센서리스 알고리즘을 적용한 원격제어 시스템에 기동 명령을 내렸을 때 서버로부터 제어시스템으로 가는 지령 데이터와 PMSM 동작과 함께 서버로 모니터링 되는 속도 데이터를 나타내었다. 그림 6에서 확인한 결과 기동 명령과 처음 모니터링 되는 데이터의 시간 차이는 약 250 μs이고, 데이터는 320 μs마다 모니터링 된다.

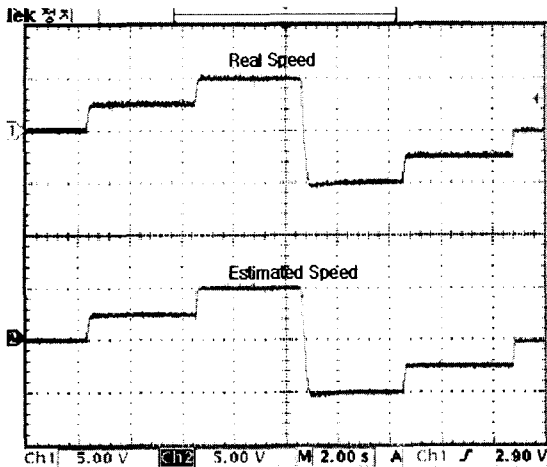
따라서 제안된 시스템은 서버의 기동 명령에 따라 약 250 μs 정도 빠른 속도로 응답하며 두 번의 샘플링 주기

표 1. PMSM의 파라미터.
Table 1 Parameters of PMSM.

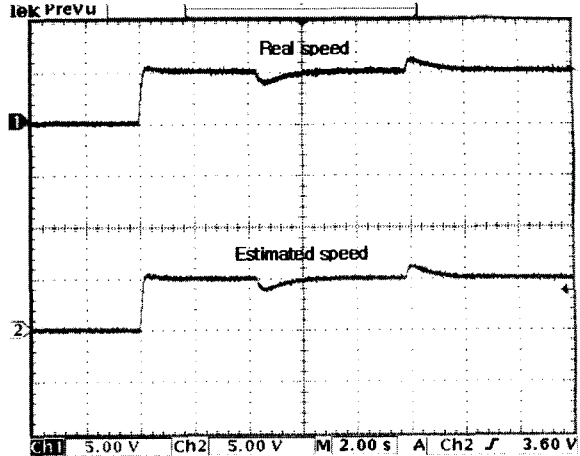
정격용량	1.8[kw]	고정자 저항	0.22[Ω]
정격 토크	5.84[N · m]	고정자 인덕턴스	0.88[mH]
정격 속도	3000[rpm]	역기전력 상수	0.0522 [V/r/min]
극수	8극	관성 계수	18.6×10 ⁻⁴ [Kg · m ²]

(320 μs)로 데이터를 모니터링 하고, 기동 명령을 받은 후 PMSM은 160 μs의 샘플링 주기로 실시간 제어가 된다.

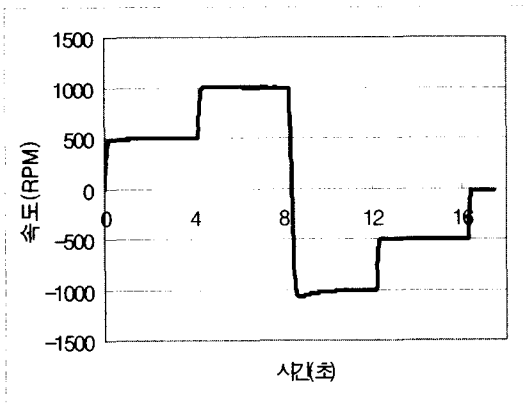
그림 7,8은 원격제어 시스템에 구현된 관리 프로그램을 사용하여 PMSM 원격 제어 실험을 한 것이다. 실험에 사용한 PMSM의 사양은 표 1과 같으며 관리 프로그램의 Baud rate는 57,600 baud rate를 사용하였다. 실험은 구현한 시스템에서 관리 프로그램을 실행하고 클라이언트의 제어명령에 따라 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어가 되는지 PMSM의 동작상태를 D/A 컨버터(Digital-to-Analog Converter)의 출력 파형을 통해 확인하고 실제 D/A 컨버터의 출력 파형과 PMSM 동작과 동시에 관리 프로그램의 Data 창을 통해 기록된 Data를 비교해 보았다. 그림 7은 클라이언트가 4[sec]간격으로 기동, 정지 및 다양한 가변속 제어명령을 내릴 경우, 이에 따른 PMSM 동작 동안의 D/A 컨버터 출력 파형과 PMSM 동작과 동시에 관리 프로그램을 통해 서버에 기록된 Data를 나타내었다. 그림 7의 (a)는 원격지에서 웹 서버에 접속한 클라이언트가 500, 1000, -1000, -500rpm 순서로 제어명령을 내릴 경우의 센서리스 알고리즘에 따른 PMSM의 실제속도와 추정속도를 나타내었으며, 그림 7의 (b)는 PMSM 동작과 동시에 관리 프로그램을 통해 1rpm 단위로 모니터링 된 센서리스 알고리즘의 추정 속도(ω) Data를 나타내었다. 그림 8은 무 부하 상태에서 1000[rpm]으로 운전 중 정상상태에서 부하토크를 3.5[N·m]로 스텝으로 인가할 경우의 응답 파형을 나타내었다. 그림 7,8에서 D/A 컨버터 출력 파형의 속도에 대한 종축의 단위는 1000[rpm/div]이다. 인터넷 웹 브라우저를 이용한 원격 제어로 센서리스 알고리즘을 적용



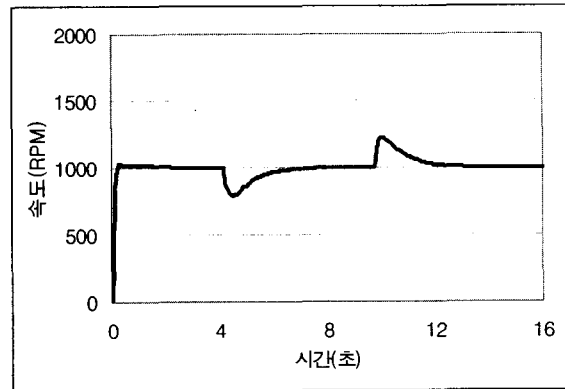
(a) 500, 1000, -1000, -500rpm 가변속 제어 시 실제속도와 추정속도 (D/A출력).



(a) 1000rpm 운전 시 추정속도 (D/A출력)



(b) 500, 1000, -1000, -500rpm 가변속 제어 시 저장된 데이터.



(b) 1000rpm 운전 시 저장된 데이터

그림 7. 가변속 제어 시 D/A 컨버터 속도 출력과 저장된 속도 Data.

Fig. 7. D/A converter speed output and stored speed data at variable speed control.

한 PMSM의 기동, 정지 및 가변속 제어에 대한 실험 결과에서 구현된 시스템을 통해 제어 명령을 보내고 Data를 받는데 통신 에러는 발생하지 않았고, 그림 7,8의 실제 속도와 추정속도의 비교를 통해 추정 속도가 실제 속도를 정확히 추정함을 확인하여 원격지에서 웹 서버에 접속한 클라이언트가 지령 명령을 변화시킬 때 속도의 다양한 범위와 정역운전시의 급변하는 속도변화에서도 고정도 속도제어가 가능하고, 부하토크를 인가할 경우에도 안정적인 센서리스 운전이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 PMSM 기동 명령과 동시에 모니터링 되는 센서리스 알고리즘의 추정 속도 데이터를 저장하여 D/A 컨버터 출력과의 비교를 통해 원격으로 PMSM의 기동,

그림 8. 스텝 부하변화에 대한 D/A 컨버터 속도 출력과 저장된 속도 Data.

Fig. 8. D/A converter speed output and stored speed data of response with step load torque.

정지 및 가변속 제어와 실시간 모니터링이 가능함을 확인할 수 있다.

V. 결론

현대 사회에서 인터넷은 일반 사용자들이 쉽게 접근하여 사용할 수 있는 대중적인 매체로 발전하였으며, 다양한 인터넷 응용프로그램들이 웹 기반으로 통합화되고 있다. 이와 함께, 통신기기, 가전·멀티미디어 기기, 자동화·제조기기 등 여러 응용분야에서 인터넷을 통한 기기 관리 및 제어를 하기 위해 많은 노력을 하고 있고 이제 이 기술은 시간과 비용절감의 측면에서 필수적인 요소라고 할 수 있다.

본 연구에서는 가정용 기기와 산업현장에서 많이 쓰이고 있는 PMSM에 센서리스 알고리즘을 적용하여 원격거리에서 웹을 통해 기동, 정지 및 가변속에 대한 원격제어가 가능하도록 하며 이때, PMSM에 대한 Data를 모니터링하고 기록하게 함으로써 실시간으로 기기의 상태를 파악하고 거리에 상관없이 Data의 수집 및 처리가 가능한 시스템을 구현하고자 하였다. 따라서 위와 같은 PMSM의 원격제어를 위해 TCP/IP를 이용한 서버 및 클라이언트 프로그램을 만들고 PMSM의 Data와 상태를 사용자가 확인할 수 있는 웹 인터페이스를 구현하였다.

여기에서 제안된 시스템이 인터넷을 통한 기기의 원격관리 및 동작상태 확인, 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 개발환경, 관리기기의 Data 저장 및 관리 활용 측면에서 적용된다면 기업의 관리비용절감 및 업무효율증대, 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

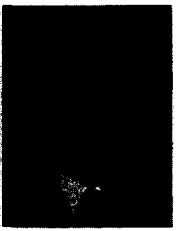
참고 문헌

- [1] Takafumi Matsumaru, Syun'ichi Kawabata Tetsuo Kotoku, Nobuto Matsuhira, "Task-based Data Exchange for remote Operation System through a communication Network", IEEE Proc. International Conf Robot & Autom, Vol. 1, pp. 557-564, 1999.
- [2] Yen-Shin Lai, Jennshing Wang, Zhong-Qing Lin, Min-Hao Wang, Su-Chen Tien, "Internet-based monitoring and control of fuzzy-controlled inverter system" IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the], Vol. 3, pp. 2365-2370, Nov. 2002.
- [3] Pollo, L.F., Jansch-Porto, I., "A network-oriented power management architecture" Integrated Network Management, 2003. IFIP/IEEE Eighth International Symposium on, 24-28, pp. 693-706 March 2003.
- [4] R. Wu and G. R. Slemon, "A Permanent Magnet Motor Drive without a Shaft Sensor," IEEE Tran. on Ind. Appl, Vol. 27, No. 5, pp.1005-1011, 1991.
- [5] Overstreet, J.W.; Tzes, A., "Internet-based client/server virtual instrument designs for real-time remote-access control engineering laboratory", American Control Conference, Vol. 2, pp. 1472~1476, June 1999.
- [6] Yoon-Seok Han, Jung-Soo Choi, Young-Seok Kim, "Sensorless PMSM drive with a sliding mode control based adaptive speed and stator resistance estimator", Magnetics, IEEE Transactions on , Vol. 36, pp. 3588-3591, Sept 2000.
- [7] R. Zhang, D. Boroyevich, V.H. Prasad, H.-C. Mao, F.C. Lee, S. Dubovsky, "A three-phase inverter with a neutral leg with space vector modulation", APEC '97 Conference Proceedings 1997. Twelfth Annual, Vol. 2, pp. 857-863, 1997.

— 저 자 소 개 —



김 대 현(학생회원)
 2003년 인하대학교
 전기공학과 졸업.
 2004년 현재 인하대학교 대학원
 전기공학과 석사과정.
 <주관심분야 : 전력전자, PMSM
 센서리스제어>



김 영 석(정회원)
 1977년 인하대학교
 전기공학과 졸업.
 1987년 일본 나고야대 대학원
 전기공학과 졸업 (공학)
 1987년~1989년 전기연구원
 전력전자연구실장.

현재 인하대학교 전기공학과 교수



최 양 광(학생회원)
 2001년 인하대학교
 전기공학과 졸업.
 2002년 동 대학원 전기공학과
 석사과정 졸업.
 현재 동 대학원 박사과정.
 <주관심분야 : 전력전자, PMSM
 센서리스제어>

현재 동 대학원 박사과정.