

# 인버터 시스템의 PC에 의한 원격제어 프로그램 개발에 관한 연구

이 기 광<sup>1)</sup>, 盧 彰 注<sup>2)</sup>

## A study on the Development of Remote Control program for an Inverter system controlled by PC

Kee-Kwang Lee

### Abstract

In this paper, Remote Control Program development is carried out for an Inverter system controlled by IBM-PC, which is widely used in industrial field. Mostly, factory machinery are controlled by the control operator and displayed the condition by display equipment such as LCD or 7segment. It is difficult to control and observe the condition of factory machinery from a distance, because they don't have communication device to other system and usual inverter system can't control, nor display motor condition from a distance. Hence, in this paper an inverter system which adopt regular sampling PWM pattern for the control of inverters is established and remote control program for user to control and monitor the condition of 3 phase induction motor is developed. The remote control program is written using Turbo-C and I/O interface card for the purpose of communication between PC and inverter system is made. Also, LC filter is designed and applied to reduce ripple component of the source voltage.

---

1) 한국해양대학교 기관학과 석사과정

2) 한국해양대학교 전기공학과 교수

## 1. 서 론

최근 FA분야에 급속한 발달과 더불어, 각종 산업기기의 자동화추세가 가속되고 있다. 현재 산업전반에 걸쳐 적용되고 있는 교류전동기의 가변속장치인 인버터의 제어방법은 인버터기기 자체에 부착되어 있는 'Operator'를 이용하거나, 릴레이, 또는 PLC(Programmable Logic Controller)에 의한 외부접점에 의하여 가능하다. 또한, 인버터시스템의 동작상태(Hz, 전류, 현 기기상태표시 등)는 대부분 인버터시스템자체의 디스플레이모듈(LCD, 7segment 등)을 통하여 출력하게된다. 그 이유는 인버터시스템의 동작상태를 다른 시스템으로 데이터를 전달하여 모니터링 할 수 있는 장치와 프로그램이 없으므로, 약간의 거리가 떨어져 있는상태에서 인버터 시스템을 제어하는것은 불가능하며, 또한 현재의 동작상태를 인버터 내에 부착되어 있는 디스플레이 모듈이외에 확인할 수있는 방법이 없는 것이 현재의 실정이다. 현재 추진되고 있는 공장자동화에 발맞추어 산업플랜트의 여러 기기를 한 대의 PC상에서 제어, 관측할 수있는 프로그램의 개발은 필수 불가결하다. 본 연구에서는 이러한 취지에 QWS(Quarter Wave Symmetry) 및 HWS(Half Wave Symmetry)특성을 가진 인버터를 원격제어를 수행하기위하여 제작하였다.<sup>1)</sup> 본 연구는 또한 인버터에 있어서 전류리플, 전류피크 등을 감소하고 신호전송체계에 노이즈를 억제하며 기기의 오동작을 방지하기위한 LC필터를 적용하여 PC상에서 원격제어를 수행하였다.

## 2. 인버터 구성

### 2.1 PWM 알고리즘

인버터를 구동하는 스위칭방법은 여러 가지가 있으나, 그 중 Regular Sampling PWM 방식은 Natural Sampling PWM 방식에 비해 디지털화가 용이하고 샘플링 위치와 값을 정확히 예측할 수있는 장점이 있다. 이러한 RSPWM방식에는 대칭방식(Symmetric Method)과 비대칭방식(Asymmetric Method)의 두 가지가 있는데, 먼저 대칭방식 RSPWM을 살펴보면, Fig.1에서 보는 바와 같이 변조파의 함수  $f(t)$ 는 식 (1)과 같이 표시되어지므로,

$$f(t) = M \times \sin(\omega_m t) \quad (-1 < f(t) < 1) \quad (1)$$

따라서, 결정되어지는 펄스폭  $t_{pw}$ 는

$$t_{pw} = \frac{T}{2} (M \times \sin(\omega_m t) + 1) \quad (2)$$

과 같이 표시되어진다.

비대칭변조방식은 두 개의 다른 변조파의 검출에 의하여 펄스의 시작과 끝이 정해지게 되므로, 얻어지는  $t_{pw}$ 는

$$t_{pw} = \frac{T}{2} [1 + \frac{M}{2} (\sin(\omega t_k) + \sin(\omega t_{k+1}))] \quad (3)$$

과 같이 표시되어진다.

비대칭방식의 고조파스펙트럼은 대칭방식에 비하여 상당히 우수하지만, 대칭방식에 비하여 더 많은 데이터를 요구하게되는 단점이 있다.

대칭방식에서 반송파의 한 주기 T는 식 (4)와 같으며,

$$T = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{R f_s} \quad (4)$$

$f_c$  : 반송파의 주파수 [Hz]

$f_s$  : 변조파의 주파수 [Hz]

$$R : \text{변조지수 } (R = \frac{f_c}{f_s})$$

따라서, 최종적으로 결정되어지는  $t_{pw}$ 는

$$t_{pw} = \frac{T}{2} [1 + M \sin(\pi \frac{(2n+1)}{R})] \text{ (단, } n=0, 1, 2, \dots, (\frac{R}{4}-1)) \quad (5)$$

과 같이 나타내어진다.<sup>2)(3)</sup>

## 2.2 펄터 설계

인버터시스템은 인버터의 직류전원 공급을 위하여 정류기를 이용하게된다.

전파정류기(full-wave rectifier)는 출력전압에 6펄스 리플인 고조파성분을 포함한다. 각 다이오드는  $120^\circ$  동안 도통하며 정류기의 출력에 포함된 고조파성분은 부하가 직렬로 인덕터를 연결하면 전류의 리플성분이 감소한다. 일반적으로 정류기의 출력전압을 평활하게 하기 위해 LC필터를 이용한다.

LC필터를 설계할 때, 일반적으로 식(6)이 성립하도록  $C_F$  값을 설정한다.

$$\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} \gg \frac{1}{n\omega C_F} \quad (6)$$

$$\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} \approx \frac{10}{n\omega C_F}$$

위 식의 조건하에서는 부하의 영향은 무시해도 된다. 그리고, 출력에 나타나는 제  $n$ 차 고조파 성분  $V_{on}$  은

$$V_{on} = \frac{1 / (n\omega C_F)}{(n\omega L_F) - 1 / (n\omega C_F)} V_n = \frac{1}{(n\omega)^2 L_F C_F - 1} V_n \quad (7)$$

$n$ 차의 고조파 리플 전류가 LC필터를 쉽게 통과하려면, 부하 임피던스가 캐퍼시터 임피던스보다 대단히 커야 한다. 식 (6)에 의하여 결정되어지는  $C_F$  값은

$$C_F = \frac{10}{4\pi f \sqrt{R^2 + (4\pi f L)^2}} \quad (8)$$

이고,  $R$ 은 부하 저항,  $L$ 은 부하인덕턴스,  $f$ 는 전원주파수이다.

리플률  $RF$ 는

$$RF = \frac{V_{RP}}{V_{dc}} = \frac{V_{dc}}{V_{dc}} = \frac{V_2}{V_{dc}(4\pi f)^2 L_F C_F - 1} \quad (9)$$

식 (9)와 같이 표시되어지며, 리플률은 5%이내를 만족해야 한다.

본 연구에서는 이와 같이 디지털화가 용이하며, QWS, HWS 특성을 가진 대칭방식 RSPWM으로 구동되는 인버터에 LC필터를 적용하여 출력전압 파형을 개선하였으며 PC상에서 인버터시스템의 제어 및 모니터링을 실험하였다.

### 3. 원격제어 알고리즘

#### 3.1 알고리즘 기법

현재 산업현장에서 적용되고 있는 인버터를 제어하는 방법은 인버터 자체에 7segment 및 LCD로 모듈화된 표시 및 설정장치인 'Operator'를 이용하는 것과 인버터시스템의 내부에 부착되어 있는 접점을 외부의 릴레이 등에 의한 접점개폐에 의하여 제어하는 것의 두 가지가 있다. 인버터를 이러한 'Operator'를 통하여 조작하여하는 경우 외부단자의 하드웨어 없이 시스템자체의 'Operator'를 통하여 조작이 이루어지며, 현재 기기의 상태(주파수, 전류, 이상표시 등)를 확인할 수 있는 장점

이 있으나, 사용자와 인버터와의 거리가 멀 경우에는 제어 및 현재 기기의 상태를 확인할 수 없는 것이 단점이다. 외부단자를 이용하여 인버터를 제어하는 경우, 인버터와 릴레이등이 모듈화된 콘트롤 패널의 거리가 멀어도 제어를 할 수 있는 장점이 있으나, 콘트롤 패널에서 이루어질 수 있는 제어는 -인버터를 제조하는 회사마다 다르지만- 대부분 시스템의 기동과 정지, 정·역회전의 선택과 비상정지 등의 기능으로 제한이 되며, 현재 기기의 상태를 확인할 수 없는 단점이 있다.

현재 사용되고 있는 인버터시스템의 동작상태는 자체내에 부착되어 있는 'Operator' 중 디스플레이장치(LCD, 7segment등)인 표시부를 통하여 현재의 주파수, 전류, 각종 파라메터값(Start, Stop, 정·역회전방향등)들을 출력하게 된다.

이와 같이 인버터시스템의 두 가지 제어방법이 안고있는 단점중의 하나는 사용자가 인버터시스템 가까이에 있지 않다면 시스템의 동작상태(주파수, 전류, 고장상태등)는 인버터시스템자체의 디스플레이장치를 통하여 않고서는 알 수 없다는 것이다. 본 연구는 이러한 현재의 실정에 우리 생활에 널리 쓰이는 IBM-PC를 사용하여 인버터시스템을 IBM-PC상에서 제어하며, 현재 기기의 상태를 모니터 상에서 확인할 수 있는 원격제어 프로그램을 작성하여 보았다. 그리고, FA용 전동기 제어장치에 필요한 원격제어가 되도록 하기 위하여 지령속도를 화면상에서 입력하고 그 결과를 화면상에 표시한다. 또한 다양한 지령속도를 화면상에서 지령 및 수정이 가능하고 그에 따른 결과도 도시되도록 하였다. 인버터를 제어 및 관측하기 위한 원격제어 프로그램의 알고리즘은 Fig.2.(a),(b)와 같다. Fig.2.(a)는 사용자가 PC상에서 메뉴에 의해서 받아들인 명령 및 데이터를 인버터로 출력함을 알 수 있다. Fig.2.(b)는 PC상에서 인버터의 기동 및 정지를 명령하게되면 그에 따라 인버터가 기동 및 정지함과 동시에 화면에 모터의 동작상태를 확인할 수 있음을 Fig.2.(b)의 알고리즘을 통하여 알 수 있다. Fig.3에 원격제어 프로그램의 초기화면을 도시하였다.

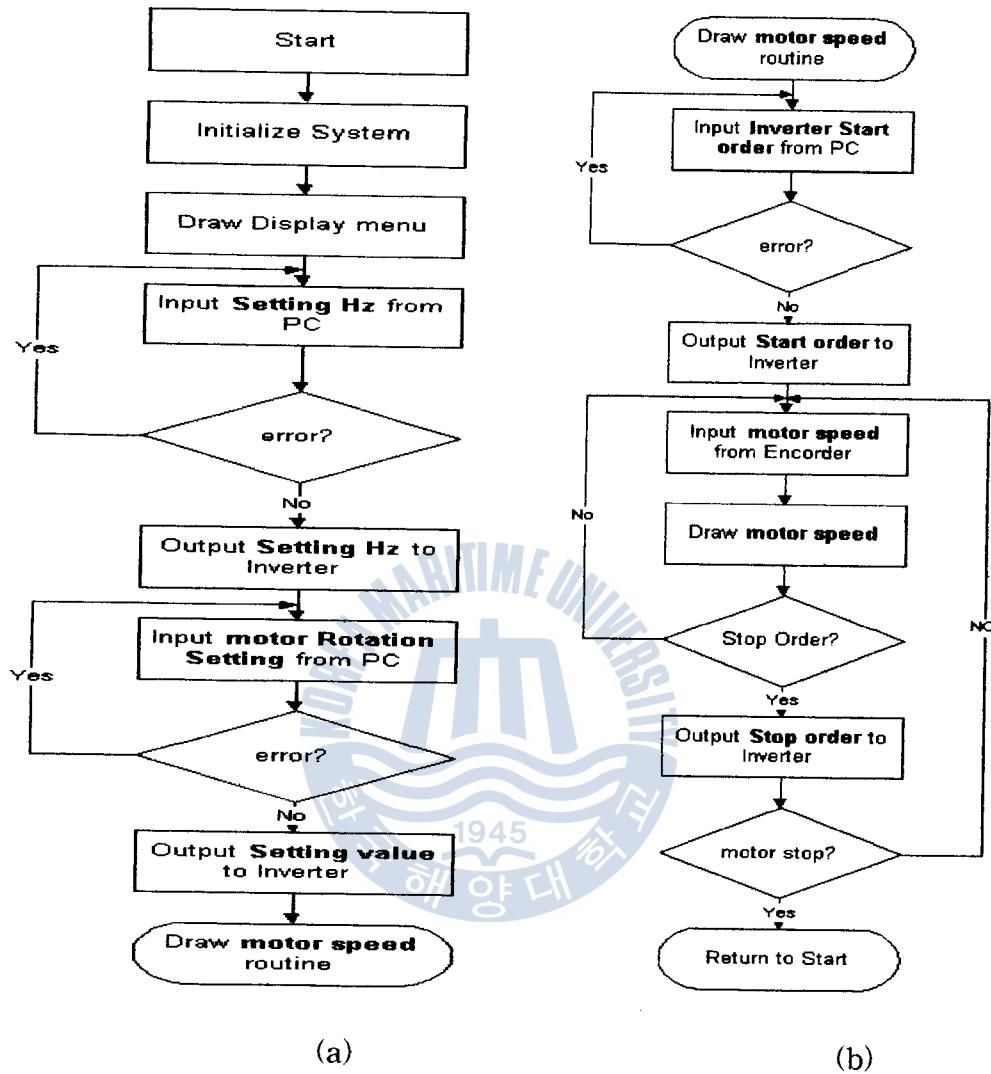


Fig. 2 Algorithm for Screen Control program

### 3.2 원격제어 함수

본 연구에서 제시한 원격제어 프로그램을 수행하기 위한 원격제어함수는 다음과 같다.

- Init\_graph · Main\_Menu · Sub\_Menu\_In\_Out
- Graph\_Value\_Draw · Error\_Msg

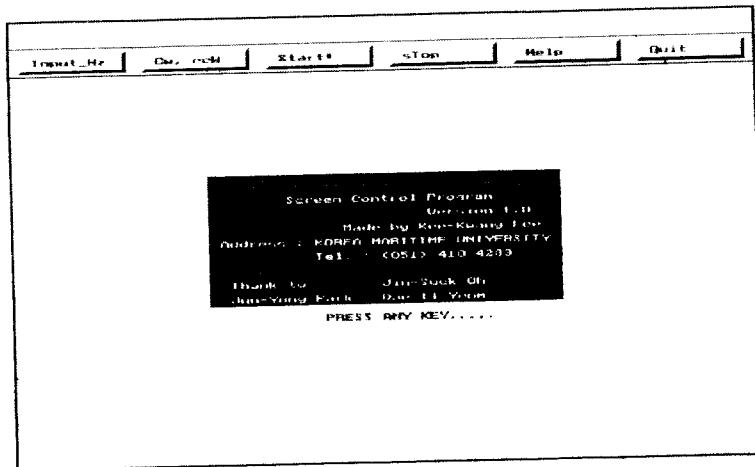


Fig. 3 Start Screen of Screen Control Program

Init\_graph함수는 현재 PC에 장착되어 있는 그래픽카드를 검출하고 그래픽드라이버를 초기화하는 함수로서 DETECT명령을 수행하여 자동검출기능을 이용하였다. Main\_Menu함수는 프로그램의 전체적인 모듈을 형성하기위하여 색상함수 setcolor()를 사용하여 현형 그림색을 설정한 후 setfillstyle()함수를 이용하여 현재의 채움패턴과 현재의 채움색을 설정하였다. 또한, bar(), rectangel(), line()함수 등을 사용하여 메인화면을 구성한후, Text()함수를 사용하여 메뉴에 따른 문자들을 화면에 배치하였다. 현재 어떤 명령이 실행중인지 사용자가 알 수 있도록 키보드로부터 메뉴에 따른 키입력시, 각 키에따른 메뉴의 상태가 반전됨으로 Draw\_upper(), Draw\_lower()함수를 사용하였다.

Sub\_Menu\_In\_Out함수는 크게 두가지로 구분될 수 있다.

첫 번째는 메뉴바에 따른 화면상의 입력조건으로서 전동기의 지령속도, 회전방향 등의 메뉴가 선택되었을 때, 그에따른 설정치를 입력받는 부분으로서 Sub\_Win()으로 구성되어있다. Sub\_Win()에서 입력받은 데이터는 먼저 화면상에 나타내어지도록 Draw\_Value()함수를 통하여 어떤 설정치를 입력하였는지 화면으로 알 수 있도록 구성하였다. 두 번째는 이렇게 입력받은 데이터를 인버터로 출력하는 부분으로서 Out\_Value()함수로 구성되어있으며, 여기까지의 입력이 끝난 후에 인버터의 기동 및 정지의 지령을 대기하게 된다.

Fig.4는 원격제어함수의 기본구조를 나타내며, Fig.5는 그래픽함수를 통한 지령속도의 입력화면을 나타낸다.

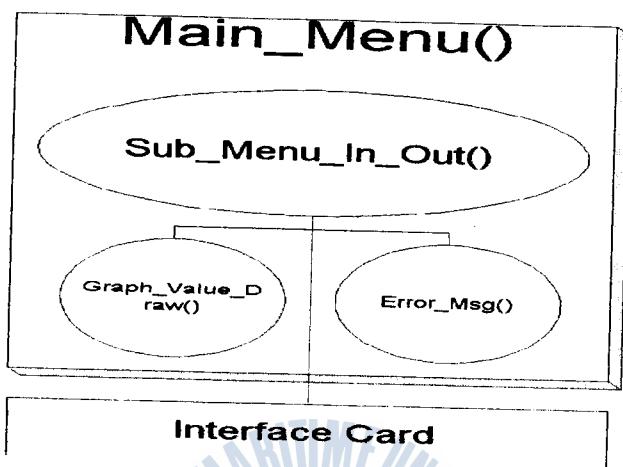


Fig. 4 Basic structure of Screen Control function

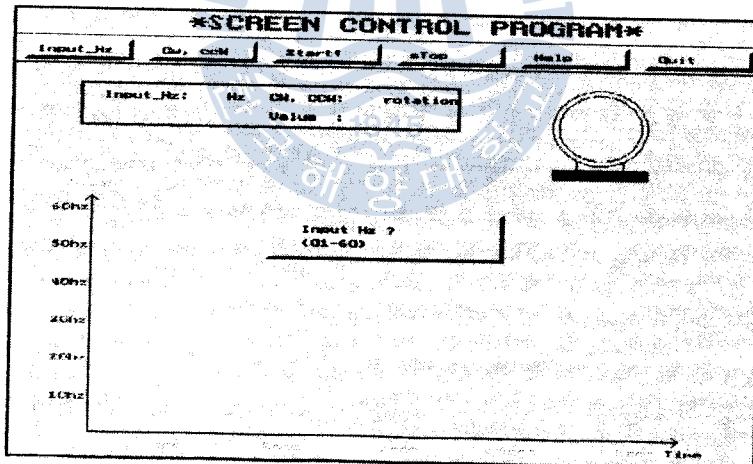


Fig. 5 Input Value Screen of use Graphic function

Graph\_Value\_Draw함수는 인버터의 기동 및 정지의 지령이 입력되면 제어명령을 인버터로 출력함과 동시에 Graph\_xy()함수를 통하여 엔코다에서 발생하는 파형의 데이터를 입력받아 프로그램내에서 계산한 후 화면상에 그래프로 표시하게 되며, 그와 동시에 G\_Value\_Draw()함수는 받아들인 데이터값을 아날로그값으로 화면상에 표시하게 된다. 만약, 사용자가 실수로 메뉴바에 해당하지 않는 키를 입력하거나

나, 지령속도 및 제어명령 등을 잘못입력하는 경우 Error\_Msg함수를 통하여 현재 어떤 에러가 발생하였는지와 어떤 수치를 입력해야하는지를 화면상에 도시되도록 하였다. Fig.5는 PC의 인터페이스카드와 시스템과의 구조도를 나타낸다.

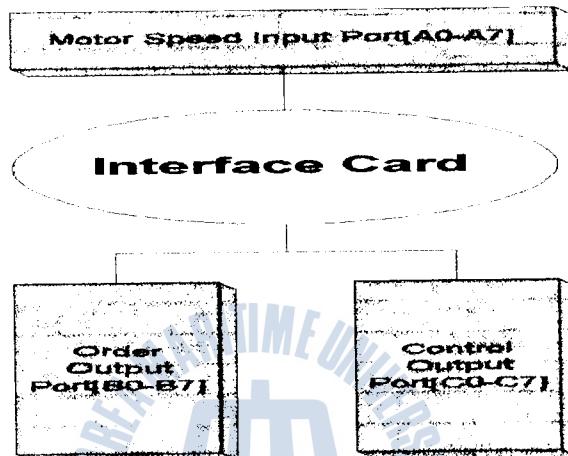


Fig. 5 Structure between Interface card and Inverter System

Fig.6은 이러한 원격제어함수를 통하여 실행중인 원격제어프로그램의 메인화면을 나타낸다. 메인화면을 통하여 알 수 있듯이 지령속도를 60Hz로 설정하였으며, 모터는 정회전으로 구동되도록 지령된 것을 화면상에서 확인할 수 있다.

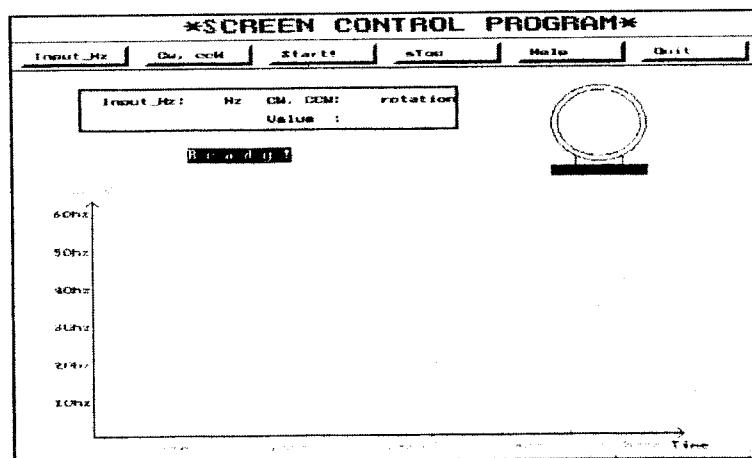


Fig. 6 Main Screen of Screen Control Program

본 프로그램은 현재 산업현장에 적용되고 있는 여러 FA기기 중 인버터에 적용하였으므로 Fig.6의 우측에 모터를 나타내었으며, 인버터의 기동시 화면에서도 같이 회전하도록 하였다. 또한, 지령속도입력시 직접 숫자를 대입하는 방식을 지향하기 위하여 화살표를 통한 입력방식을 취하여 화면상에서 확인하며 지령할 수 있도록 하였다. 다수의 인버터를 대상으로 할 때 인터페이스카드를 수정하면 다중 제어 및 관측이 가능하다. 본 프로그램은 1대의 PC로 1대의 인버터를 제어 및 관측하는 것에 목적을 두었다.

#### 4. 실험 및 실험결과

##### 4.1 실험내용

Fig.7은 원격제어에 의한 인버터시스템의 하드웨어 구성도를 나타낸다.

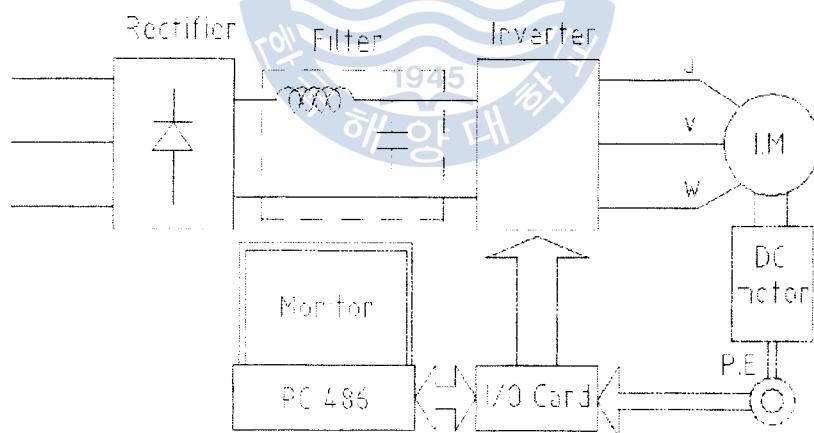


Fig. 7 Block diagram of hardware

본 연구에서는 필터설계과정을 통하여 도출된  $L_F$  및  $C_F$ 값을 기준으로 LC필터를 구성하였다. 인버터중 RSPWM파형을 내는 하드웨어는 8051CPU를 사용하여 PC의 I/O와 서로 데이터를 주고받을 수 있도록 하였으며, 3상유도전동기에는 부하실험을 위해 DC모터를 부착한 후 현재의 속도를 화면상에 도시하기위한 목적

으로 1회전당 1000펄스를 발생하는 엔코더를 장착하였다. Fig.8은 LC필터가 있는 경우(a)와 없는 경우(b)의 출력파형이다. 필터를 적용한 (a)가 적용하지 않은 (b)보다 출력파형의 왜곡률이 감소함을 알 수 있다.

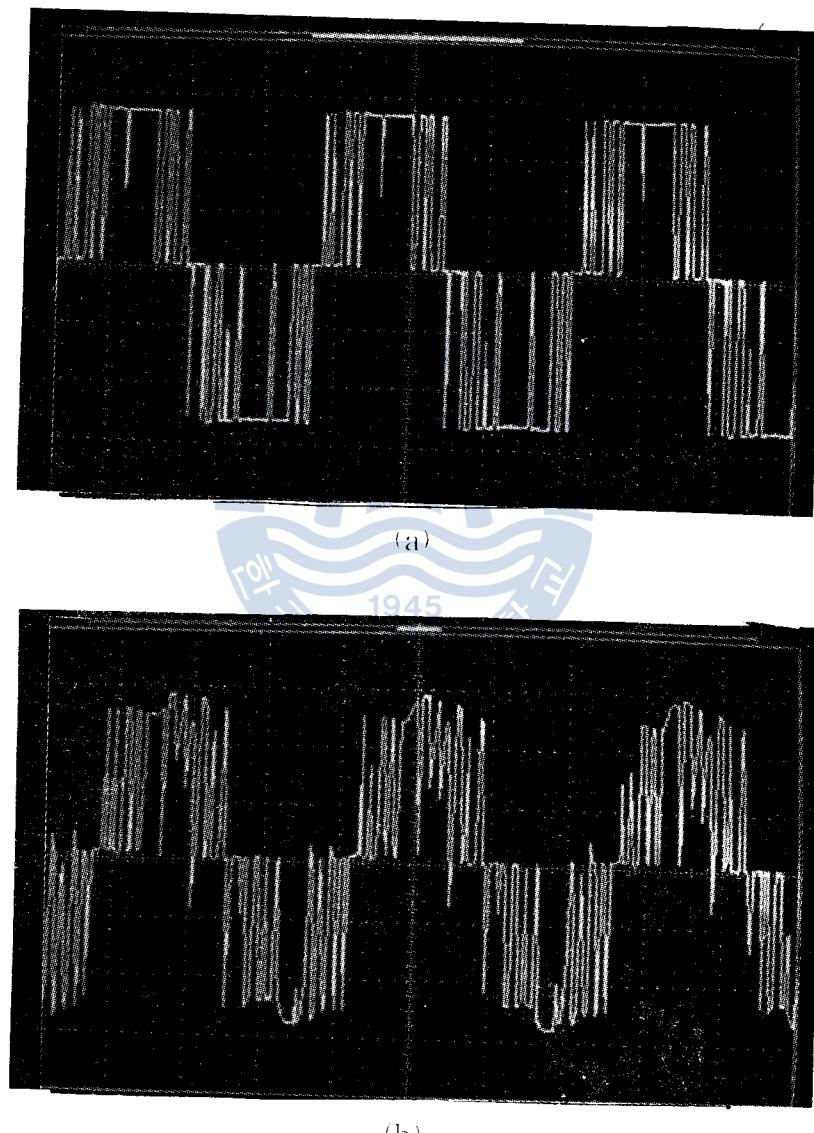


Fig. 8 Output waveform of the Inverter  
(a) with the LC filter (b) without the LC filter  
(X : 5ms/div Y : 50V/div)

## 4.2 실험결과

Fig.9와 Fig.10에 원격제어에 의한 RSPWM 인버터의 동작상태를 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 모터의 가속 및 감속시에 속도의 변화와 그 순간마다의 값들이 모니터상에서 실시간으로 표시됨을 알 수 있다.

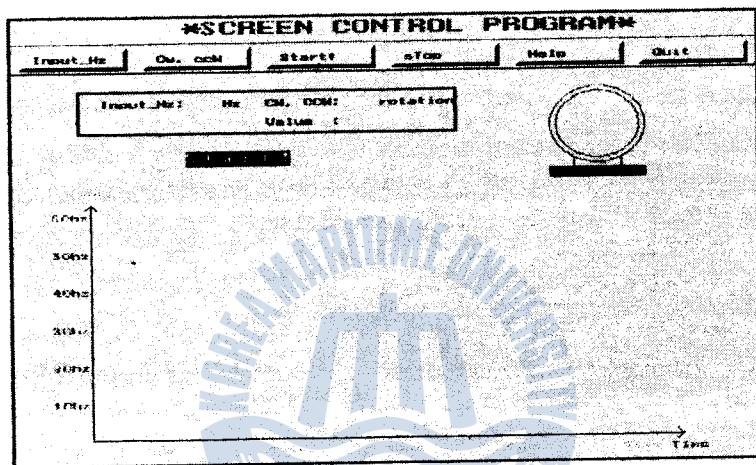


Fig. 9 Screen of increase speed of the Inverter

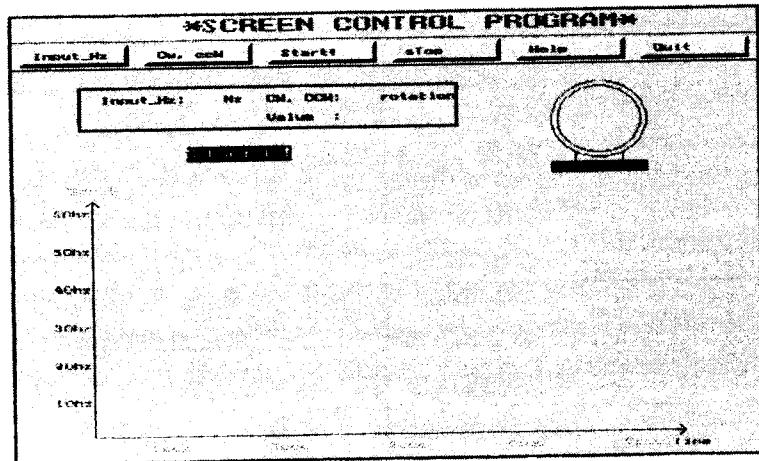


Fig. 10 Screen of decrease speed of the Inverter

## 5. 결 론

본 연구에서는 RSPWM 알고리즘을 가진 인버터와 PC의 인터페이스카드를 제작하여 원격제어 프로그램을 작성하였다. 또한, 출력전압의 리플성분을 제거하기 위한 LC필터를 설계 및 인버터에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PC의 인터페이스를 통하여 RSPWM으로 구동되는 인버터를 PC상에서 제어할 수 있었으며, 사용자의 제어명령을 인버터가 추종하는 것과 PC상에서 그 래프와 아날로그값을 실시간(Real time)으로 확인할 수 있었다.
- 2) 시리얼통신으로 데이터를 주고받는 방식이 아닌 병렬로 데이터를 전송하기 때문에 프로그램과 하드웨어설정은 간단하였으며 제어가 원활히 이루어 졌으나, 인버터 시스템과 PC와의 거리를 길게 할 수 없었다.
- 3) 제시한 설계과정을 통하여 구성한 LC필터로 리플성분 억제능력을 원격제어 프로그램으로 인버터를 제어하면 실험한 결과 고조파 왜곡률이 현저히 감소함을 확인하였다.

이상의 연구결과를 정리하면 인버터 스위칭 순간에 발생되는 전류리플 성분을 최대한 억제하기 위해 LC필터를 부착하여, FA분야의 인버터 구동용 기기들을 원격제어기법으로 제어를 수행하면, 오조작 및 오동작이 현저히 감소된 우수한 제어기가 될 것으로 사료된다.

더불어, 신뢰성을 갖춘 FA용 제어기가 되기 위하여 실용화 실험을 통하여 제어알고리즘 및 인터페이스장치의 보정이 필요할 것이다. 그리고, 제어거리를 고려한 제어신호 전송계통 및 통신방법과 적합한 인터페이스장치의 개발에 관련된 연구가 계속되어야 할것이다.

### Appendix Dimensions and Parameters of 3 Phase motor

전 압	220/380V	출 력	1/4 HP(0.2KW)
극 수	4P	회 전 수	1720R.PM
주파수	60Hz	효율	65%
$R_s$	29.41Ω	$L_s$	41.25mH
$R_r$	14.68Ω	$L_r$	62.33mH
$M$	78.48mH	$j$	0.00339kg · m'

### 참 고 문 헌

- 1) 오진석, 김윤식, 노창주, “하이브리드 RSPWM 인버터 스위칭 기법에 관한 연구” 전기학회지, 제 44 권, 제 9 호, 1995, pp. 1171~1176
- 2) P. Enjeti and P. D. Ziogas, "New Current Control Scheme for PWM Inverter", IEE Proc., Vol. 135, Pt.B, No.1, 1988.
- 3) S. Garcia-otero and M. Devaney, "Minimization of Acoustic Noise in Variable Speed Induction Motor Using a Modified PWM Drive", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 30, No.1, 1994.
- 4) P. N. Enjeti and P. D. Ziogas, "A New PWM Speed Control System for High-performance AC Motor Drives", IEEE Trans. Ind. Elec., Vol. 37, No.2, 1990