

피쉬펌프의 자동화 시스템 개발(I)
-간이화 PWM 인버터를 이용한 피쉬펌프의 가변속 제어-

정석권 · 신현옥 · 권오봉
부경대학교
(1999년 6월 26일 접수)

**Development of the Automation System
for a Fish Pump(I)
-Adjustable Speed Control of a Fish Pump
Using a Simplified PWM Inverter-**

Seok-Kwon JEONG, Hyeon-Ok SHIN and Oh-Boong KWON
Pukyong National University
(Received June 26, 1999)

Abstract

A fish pump makes very important roles in an automation system of an aquaculture farm, thus it has been used widely in order to transfer fishes from one place to the other place automatically. In spite of its significant roles, the efforts for developing performance and promoting efficiency of the fish pump are not sufficient yet. In this paper, a method which makes the fish pump automation system is suggested. Automation of the fish pump can be accomplished by using variable voltage and variable frequency inverter system including induction motors. Especially, very simple logic to generate Pulse Width Modulation(PWM) wave to control induction motor efficiently and three steps speed control method to regulate liquid quantity of the fish pump simply are suggested. Owing to the simplified speed control and PWM wave generation technique, a cheaper microprocessor, 80C196KC, than a Digital Signal Processor(DSP) can be used to operate control algorithm in induction motor systems for real time control. Also, a new idea of remote control for the simplified novel inverter system by Programmable Logic Controller(PLC) without special output unit, digital to analog converter(D/A), is suggested in this paper. Consequently the function of reliability, availability and serviceability of the fish pump system are developed. It will be expected to contribute expanding of application of the fish pump in aquaculture farms because the system can reduce energy consumption and some difficulties according to manual operation prominently.

서 론

피쉬펌프(fish pump)는 양어장에서 치어의 사육조건 이동, 크기선별기 또는 수송차량으로의 자동 이송 등 양식장 자동화에 중요한 역할을 담당한다. 또한, 선박에서는 어획한 어류의 선상 및 육상 이송용으로도 사용되고 있다¹⁾. 이에 관한 연구로는 피쉬펌프 자체의 성능 향상을 위한 설계법과 양어장 자동화 시스템의 개발에 관한 연구가¹⁻³⁾ 대부분이며 피쉬펌프 시스템의 효율적인 자동화와 생산비 절감을 위한 연구는 충분하지 못하다.

피쉬펌프는 구조상 펌프부와 펌프구동부로 크게 구분되며, 대상 어종과 사용 목적에 따라 특수 임펠러를 갖는 볼류트(volute) 타입 및 임펠러를 갖지 않는 제트(jet) 타입이 많이 사용되고 있다. 이 두 타입의 펌프구동부는 보수가 필요없고 가격이 저렴하며 수명이 길고 구조적으로 강건한 유도전동기가 육상분야에서 널리 사용되어지고 있다. 이러한 피쉬펌프는 운전상황에 따라 토출측의 유량제어를 필요로 한다. 유량제어는 定速度 전동기 구동하에서 펌프 토출측에 장착된 기계적인 밸브의 개폐도를 조절하거나 유도전동기의 회전속도 자체를 가변함으로써 가능하다. 기존의 유량제어법은 前者로서 수동조작의 번거로움과 막대한 에너지 손실을 초래해 왔다. 최근에는 에너지 절감과 자동화의 측면에서 인버터(inverter)를 이용한 유도전동기의 가변속 제어를 통해 유량을 제어하는 방법이 보편화되고 있다. 이 방법은 전동기의 가·감속시간 등의 운전 패턴을 사전에 인버터에 입력해 둬으로써 운전중 속도의 자동 조절이 가능하며, 기존의 방법에 비해 최고 30~40%의 에너지 절감을 꾀할 수 있는 이점이 있다.

한편, 피쉬펌프의 가변속 제어에 이용되는 유도전동기 구동용 인버터는 V/f (voltage/hertz) 일정 제어형이 대부분으로서 현재 국내업체에 의해 생산되고는 있다. 이 인버터는 그다지 엄밀한 속도 제어 정도가 요구되지 않는 유도전동기의 오픈루프(open loop) 속도제어에 주로 사용된다. 따라서, 비교적 저가이고 제어를 위한 전동기 정수의 입력을 필요로 하지 않기 때문에 서보용 벡터제어형 인버터에 비해서는 사용이 간편하다. 그러나, 다

양한 속도 제어용으로 개발된 현재의 인버터는 양식 현장에서의 피쉬펌프에 요구되는 특정 회전수 제어에 있어서 오히려 사용상의 번거로움을 초래한다. 또한, 현재의 인버터는 다용도 적용을 고려하여 고성능 연산소자를 사용하므로 고가격 등이 여전히 적용상의 문제점으로 남아 있다. 더구나 이 피쉬펌프 시스템이 치어계수기, 크기선별기 등의 자동화 기기와 조합되어 통합시스템의 한 모듈로서 운전될 경우, 통합컨트롤러는 인버터에 아날로그적인 가변속 지령을 주기 위해 별도의 특수 유닛(unit)을 장착해야만 하는 어려움도 발생된다. 이런 까닭에 일반 양식업 종사자들은 자동화와 에너지 절감효과를 꾀할 수 있는 인버터 시스템 사용을 기피하고 있는 실정이다. 따라서, 인버터의 RAS(신뢰성, 간편성, 보수성)기능 향상 및 저가격 실현이 이 분야에서의 인버터 적용 확대를 위한 주요 현안으로 지적되어 왔다.

본 연구에서는 이점에 주목하여 피쉬펌프 시스템에 적용 가능한 단순 기능의 저가격, 고 RAS 기능을 갖는 인버터를 개발하고 그 성능을 확인하기 위해 프로토타입을 제작하였으며 각종 실험을 수행하였다. 이 인버터의 특징은 우선 피쉬펌프의 속도 단계를 단순화하고 이를 바탕으로 연산소자도 저가의 16bit급 마이크로프로세서(μ -processor)인 80C196KC를 이용함으로써 회로의 간단화를 통한 인버터의 RAS기능 향상과 생산단가 저감에 기여하도록 했다. 또한, 80C196KC(이하 마이크로프로세서로 기술함)에 적합하도록 유도전동기 구동용 PWM(Pulse Width Modulation)파 발생 로직을 간단하게 구현하는 방법을 제안하였다. 더욱이, 본 연구에서는 피쉬펌프 시스템이 다른 자동화 장치와 함께 통합시스템의 한 모듈로서 운전될 경우에도, 통합컨트롤러에 별도의 특수 유닛을 사용하지 않고 외부 릴레이 출력에 의한 디지털 신호만으로 인버터에로의 원격 속도제어를 가능하게 하는 방안도 제안하였다.

본 론

1. PWM파 발생 로직의 간이화

본 연구에서 제안된 인버터는 우선, 피쉬펌프의

속도를 정지, 저속, 중속, 고속의 4단계로 간단하고, 피쉬펌프만의 단독운전과 다른 장치와의 통합운전이 가능하도록 2개의 운전 모드 선택 스위치를 갖도록 설계하였다. 단독운전 모드는 마이크로프로세서의 아날로그 입력포트와 가변저항을 이용하며, 통합운전 모드는 마이크로프로세서의 디지털 입력포트와 PLC로부터의 2bit 출력신호를 이용하여 실현함으로써 속도지령 주변회로를 최대한 간단하게 구현하였다. 다음으로, PWM과 발생 로직을 소프트웨어적으로 간단하게 실현할 수 있는 방안을 고안하였다. 이와 같은 제어기능 및 제어로직의 간략화로 제어 연산에 사용하는 연산소자도 현재의 범용 인버터에 사용중인 32bit의 DSP(Digital Signal Processor) 대신 16bit의 마이크로프로세서를 사용할 수 있게됨으로써 가격면에서 기존의 제품에 비해 25~30% 절감이 가능하게 되었다. 이하에서는 먼저 마이크로프로세서에서 구현되는 PWM과 발생 로직의 간략화에 대해 기술한다.

유도전동기의 회전속도 $N(rpm)$ 는 전원 주파수 $f(Hz)$ 와 슬립 s 및 극수 P 로부터 식(1)과 같이 결정된다. 일반적으로 슬립 s 의 영향이 무시 가능한 경우, 회전속도는 전원주파수에 비례한다.

$$N = 120 \frac{f}{P} (1-s) \quad (1)$$

기존의 펌프 구동은 피쉬펌프에 필요한 최적 회전수가 구해지면 상용 전원 하에서 식(1)에 의한 적절한 극수의 전동기를 선택하는 정속도 운전방식이다. 이때 유량제어는 펌프의 토출측 기계식 밸브의 개폐도를 2~3단계 수동으로 조작함으로써 이루어진다. 최근에는 이러한 밸브의 수동조작에 의한 불편함과 유량에 관계없이 정속운전을 함으로써 야기되는 에너지 낭비를 막기 위해 유도전동기의 가변속제어가 요구되고 있다. 이를 위해서는 식(1)에서 주파수 f 의 제어가 필수적이다. 유도전동기의 가변속 제어를 위해서는 전원 주파수 f 만을 가변시키면 되지만, 약여자에 의한 토크 부족현상 및 과여자에 의한 자기포화 등의 문제가 발생한다. 따라서, 효율적인 속도제어를 위해서는 인버터의 출력 주파수와 출력 전압을 일정 크기의

비율로 제어하는 V/f 일정 제어법을 쓴다. 또한, 이를 디지털적으로 실현하기 위해 PWM과 발생법이 사용되고 있다.

Fig. 1은 본 연구에서 제안한 PWM과 발생에 대한 개념도로서 3상의 전압 가운데 임의의 한 상을 나타내고 있다. 그림에서 전압 파형의 1주기 T 는 동일한 샘플링 주기 t_0 를 갖는 n 개의 등 구간으로 나누어지고 각 구간에서의 아날로그적인 정현파 전압은 각 샘플링 구간 내에서 일정 펄스폭을 갖는 디지털 신호에 대응되어 있다. 그림에서 최하부 굵은 실선은 전압의 기준레벨 0V를 의미하고 임의의 폭을 갖는 직사각형은 전압이 온(on) 상태인 것을 나타낸다. 그림에서 전압의 주파수를 f 로 하면 샘플링 시간 t_0 는 식(2)와 같이 된다.

$$t_0 = \frac{T}{n} = \frac{1}{nf} \quad (2)$$

식(2)는 샘플링 시간 t_0 를 변화시킴으로써 원하는 주파수의 전압파형 생성이 가능함을 보여주고 있다. 결과적으로 피쉬펌프 구동에 필요한 회전수가 구해지면 인버터에서 출력되어야 할 주파수 지령은 식(1)로부터 산출된다. 또한, 이를 실현하기 위해 마이크로프로세서에서 인버터로 출력되어야 할 주파수 지령은 식(2)를 통해 결정된다.

다음은 V/f 일정 제어를 수행하기 위한 전압치 결정법에 대해 기술한다. Fig. 1에서 샘플링 시간 t_0 내에서 듀티비(duty ratio) 100%일 경우의 전압을 E 로 하고, $2\alpha + \beta$ 의 전압을 발생시키기 위한 펄스 전압의 온 시간을 $t_{2\alpha + \beta}$ 로 하면, 이들 사이에는 식(3)의 비례 관계가 성립된다.

$$E : t_0 = 2\alpha + \beta : t_{2\alpha + \beta} \quad (3)$$

여기서, α , β 는 디지털적으로 실현 가능한 정현파 교류 전압 진폭의 최대치(maximum value)와 마이크로프로세서에서 실현 가능한 최소 수행시



Fig. 1. Basic concept of PWM wave generation.

간에 의해 결정되는 전압의 최소치를 각각 나타내고 있다. 또한, 전압 E 는 마이크로프로세서에서 연산된 값을 출력하기 위한 외부 단자 공급 전압으로서 일정한 값이다. V/f 의 값을 k 로써 일정하게 제어한다면, $V=kf$ 로 둘 수 있다. 디지털적으로 실현하고자 하는 정현파 전압의 최대치를 $V_m=2\alpha+\beta$ 로 두고 식(3)에 식(2)와 이 관계를 대입하면 펄스 전압의 온 시간은 식(4)와 같이 유도된다.

$$t_{2\alpha+\beta} = \frac{k}{n \cdot E} \quad (4)$$

식(4)는 샘플링 시간 t_0 와 주파수 f 에 관한 항을 포함하고 있지 않다. 따라서, 정현파 전압의 최대치에 상응하는 펄스 전압의 온 시간은 식(4)의 우변 상수항만으로 결정됨을 보여준다. 결국, 일정 크기의 토크 출력이 가능한 구간(정토크 구간)에서는 전압 E 와 등구간 수 n 을 일정하게 하였을 때, V/f 값인 k 를 일정하게 하기 위해서는 $t_{2\alpha+\beta}$ 의 값을 일정하게 하면 된다.

회전자계를 생성하기 위해 유도전동기에 인가되는 3상 전압 v_u, v_v, v_w 는 일반적으로 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} v_u &= V_m \sin \omega t \\ v_v &= V_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ v_w &= V_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, ω 는 각속도를 나타낸다. 저가의 마이크로프로세서에서는 삼각함수 연산이 불가능하므로 각 샘플링 시간에서의 정현(sine)함수값은 테이블로 작성하여 메모리에 저장한 후 식(5)의 연산시 이용한다. 사인 테이블은 3상 가운데 임의의 1상분에 대한 값만을 미리 작성하여 특정의 레지스터에 입력시키고, 3상 전압 지령연산시는 작성된 데이터의 $2\pi/3, 4\pi/3$ 에 해당하는 번지수를 각각 건너뛰게 프로그래밍함으로써 $2\pi/3$ 의 위상차를 갖는 정현파 전압 출력이 가능하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 u 상에 관한 정현함수값을 이산시간계에서 계산하는 방법에 대해서만 기술한다. 이산시간계에서의 정현함수값은 식(2)와 $\omega=2\pi f$ 및 $t=k \cdot t_0$ 를 이용하면 다음 식과 같이 유도된다.

$$\sin(\omega t) = \sin\left(\frac{2\pi k'}{n}\right) \quad (k' = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

또한, 본 연구에서는 변조방식이 Fig. 1과 같이 비대칭형이고 정현함수는 $-1 \leq \sin(\omega t) \leq 1$ 이므로 그 값을 최종적으로 식(7)과 같이 구해진다.

$$SIN_T(k) = \sin\left(\frac{2\pi k'}{n}\right) + 1 \quad (7)$$

여기서, n 이 큰 값일수록 정현파에 근사한 출력파형이 얻어지나, 사용하는 마이크로프로세서의 메모리 용량이나 샘플링 시간으로의 영향 등을 고려하여 그 크기를 적절히 선정할 필요가 있다. 최종적으로 u 상 아날로그 전압은 식(4) 및 식(7)을 이용하여 이산시간계에서는 식(8)과 같은 온시간을 갖는 펄스전압으로 간단하게 구해지게 된다.

$$T_u(k) = \frac{k}{nE} SIN_T(k) + t_\beta \quad (8)$$

여기서, t_β 는 마이크로프로세서의 시간 레지스터(time register)에 써 넣을 수 있는 시간의 최소값을 나타낸다.

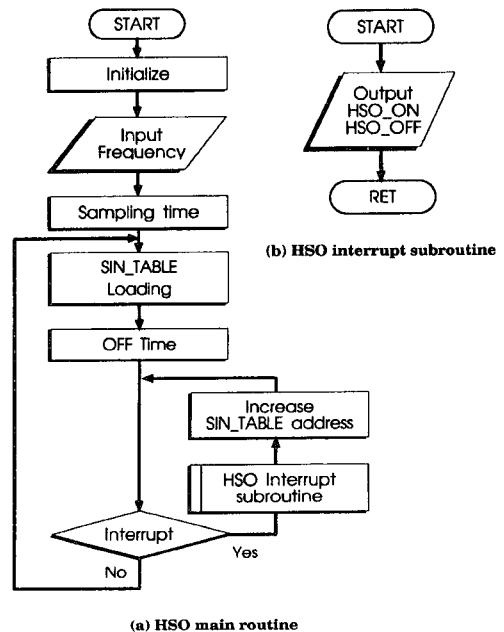


Fig. 2. Software flow chart of the PWM wave generation.

Fig. 2는 PWM과 발생을 위한 소프트웨어의 흐름도이다. 마이크로프로세서에서는 실현하고자 하는 아날로그 전압을 Fig. 2(b)와 같이 이에 상응하는 펄스의 온·오프(off) 시간으로 제어하게 된다. 본 연구에 사용하는 마이크로프로세서는 PWM을 위한 전용 포트 및 HSO(High Speed Output) 포트를 가지고 있다⁷⁾. 유도전동기와 같이 3상의 각기 다른 지령치를 독립적으로 출력하고, 또한 제어의 주기를 가변적으로 설정하는 데에는 HSO가 더욱 적합하므로 이하에서는 HSO를 사용한 출력 결과를 보인다.

2. 마이크로프로세서에 의한 PWM과 발생

실험에서는 $n=33$, $E=5$ 로 우선 설정하였다. 여기서, $n=33$ 은 정현파 전압 파형 1주기의 등 구간수로서 사인 테이블(sine table)의 단계 수와 같고, $E=5$ 는 마이크로프로세서 보드에서 출력되는 전압의 최대치이다.

Table 1은 본 실험에 사용된 u 상에 대한 사인 테이블로서 기본적으로는 식(6)에서 구해지나 실험에 사용한 마이크로프로세서의 전압 분해능을 최대한 이용하기 위해 식(9)와 같이 구한 후 16진수로 변환한 값을 나타낸다. 나머지 v, w 상에 대한 출력 연산시는 Table 1에서와 같이 전체 단계 수의 1/3과 2/3만큼 각각 건너뛴 번지의 값이 최초의 값으로 이용된다.

$$SIN_T(k) = 128 * \left\{ \sin\left(\frac{2\pi k}{n}\right) + 1 \right\} \quad (9)$$

어셈블리를 이용한 프로그램에서 듀티비를 100%로 가정할 때 $V/f=0.083$ 이 되나, 이는 디지털적으로는 사실상 실현 불가능하므로 97%의 듀티비 실현을 전제로 $V/f=0.082$ 로 설정하였다. 사인 테이블의 최고값은 사용하는 마이크로프로세서의 bit 분해능을 최대한 이용하여 256으로 설정하였으므로 실제 연산시에는 이 값을 2배하여 식

(4)가 만족되도록 하였다. 또한, 식(4)의 연산시에는 마이크로프로세서의 연산 단위가 μs 이므로 구해진 값에 10⁶배를 한 값이 고려되었다. 사용된 마이크로프로세서의 클럭주파수는 16MHz, 설정 가능한 최소 시간 t_{β} 는 2 μs 로 설정하였다. 3단계 속도에 해당하는 주파수는 피쉬펌프의 특성과 운전 상황을 고려하여 임의값으로 설정 가능하나, 본 연구에서는 일정 크기의 토크 출력이 가능한 영역의 20Hz, 30Hz, 50Hz를 저속, 중속, 고속에 각각 대응하도록 설정하였다.

Fig. 3은 HSO로부터 출력된 각 상전압 지령치에 대응하는 파형을 각각 나타내고 있다.

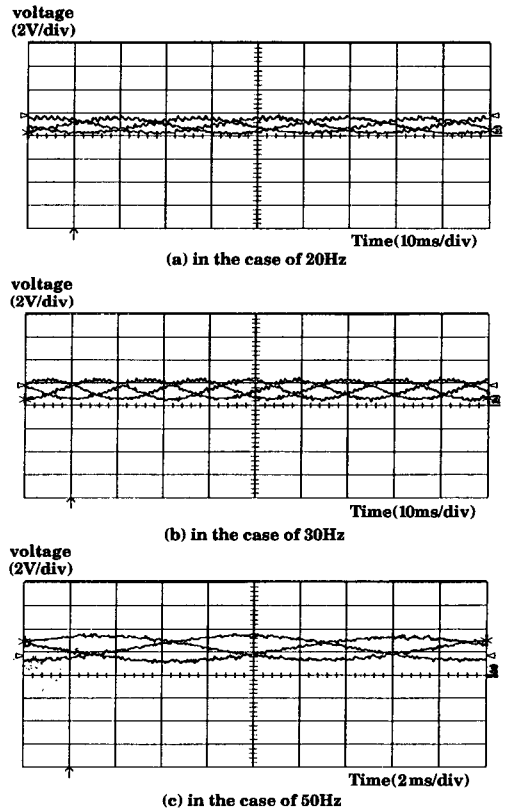


Fig. 3. Voltage waves treated by low pass filter.

Table 1. Sine table

Phase	Value										
u	80	98	AF	C5	D8	E8	F4	FC	FF	FE	F8
v	EE	E0	CF	BA	A4	8C	73	5B	45	30	1F
w	11	07	01	00	03	0B	17	27	3A	50	67

Fig. 3에서의 파형은 HSO로부터의 출력인 5V의 온·오프의 펄스 파형을 아날로그 파형으로 재생하기 위해 LPF(Low Pass Filter)처리한 파형이다. 설계된 R-C회로의 R 및 C의 값은 $R=45K\Omega$, $C=10^{-7} F$ 이다. 그림에서 20Hz의 전압파형에 가장 많은 리플 성분이 중첩되어 있음을 알 수 있다. 이는 저 주파수 영역일수록 주기는 길어지는데 비해서 1주기를 분할하는 등 구간수 n 은 전 주파수에 걸쳐 일정하기 때문에 다른 주파수에 비해 상대적으로 분해능이 떨어지는 것에 기인한다. 그림을 통해 지령 주파수와 V/f 의 비가 설계한 바대로 출력되고 있음을 확인할 수 있다.

3. PLC에 의한 원격제어

본 연구에서는 피쉬펄프가 향후 양어장의 전체 자동화 차원에서 어류크기선별기 등의 다른 생력화기기와 더불어 네트워크를 형성하여 통합제어될 경우를 상정한다. 통합제어를 수행할 최적의 컨트롤러는 현장에서의 내노이즈성, 고신뢰성, 장치의 추가 접속시 소프트웨어적으로 대응가능한 유연성과 가격 대비 성능 등을 종합적으로 고려하여 PLC가 가장 유력시된다. 현재 개발되어 있는 대부분의 인버터들은 이 PLC로부터 디지털적인 원격제어 동작 신호 및 아날로그적인 속도지령 신호를 받아 전동기의 가변속 제어를 수행할 수 있도록 되어 있다. 특히, 아날로그적인 속도지령을 위해서는 PLC의 D/A 유닛 장착이 필수적이어서 특수 유닛 장착에 따른 시스템 구축 비용 상승과

Table 2. The ports of microprocessor to operate automatic and remote control according to the mode

Mode	Mode selection (Port1 #7 bit)	Speed reference
Automatic	Low	P0 (Analog)
Remote	High	P1 #0, #1 bit (Digital)

Table 3. 2bit digital reference using D/I port of microprocessor

Speed level	2 bit digital signal
Stop	00
Low	01
Middle	10
High	11

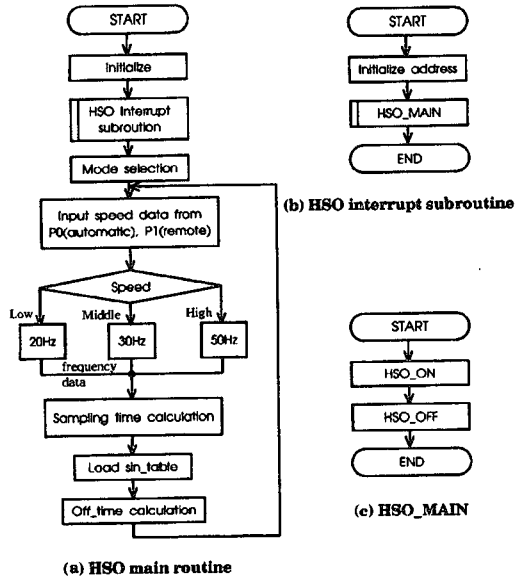


Fig. 4. Flow chart of the software for experiment.

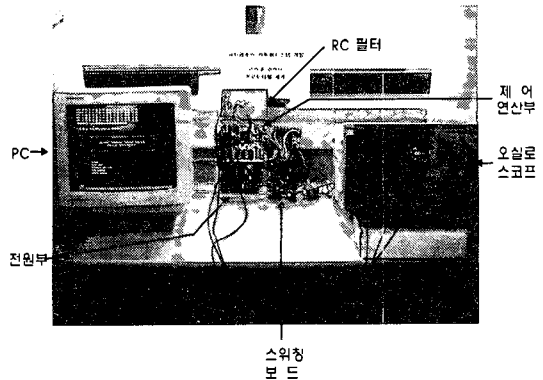


Fig. 5. The experimental system.

시스템의 복잡성 등을 야기시킨다. 따라서, 본 연구에서는 PLC에 D/A 유닛을 장착하지 않고 PLC의 외부 출력부인 릴레이 유닛의 2bit를 통해 정지, 저속, 중속, 고속이 실현되도록 고안하였다.

Table 2 및 Table 3에 단독 및 원격 속도제어를 위해 설정된 마이크로프로세서의 포트와 속도지령에 대응하는 bit 신호를 각각 나타내었다.

Fig. 4는 실험에 사용된 소프트웨어의 흐름도를, Fig. 5는 실험에 사용된 장치의 구성도를 각각 나타낸다.

결 론

본 연구에서는 양어장 자동화에 중요한 역할을 담당하고 있는 피쉬펌프의 효율적인 자동화 시스템 구축 방안이 제안되었다. 현재의 기계식 밸브에 의한 피쉬펌프의 유량조절을 유도전동기의 가변속 제어로 대체함으로써 시스템의 자동화는 물론 막대한 에너지 절감효과를 피할 수 있도록 하였다. 이 과정에서 인버터의 속도제어 단계와 PWM파의 발생로직을 간략화함으로써 회로의 간소화는 물론 불필요한 고장개소를 없애고, 시스템이 간단화되어 저가의 마이크로프로세서로서도 원하는 속도제어가 가능하도록 하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 인버터의 전 속도범위에서의 가변속 제어를 피쉬펌프에 요구되는 4단계 속도제어로 간소화하여 회로의 간단화와 이를 통한 피쉬펌프 자동화 시스템의 고신뢰성 확보가 가능하게 되었다.

(2) PWM파의 발생로직을 간이화함으로써 저가의 16bit 급 마이크로프로세서로도 유도전동기의 실시간 가변속 제어가 가능하게 되었다.

(3) PLC에 의한 인버터의 원격제어시 D/A 특수 유닛을 사용하지 않고 2 bit의 디지털 신호만으로 피쉬펌프의 속도제어가 가능하게 되었다.

이상의 결과에 의해 피쉬펌프 자동화용 인버터는 구조의 간략화, 기능의 단순화로 신뢰성, 간편성, 생산단가의 절감이 실현되었다. 또한, 양식장 전 자동화를 위한 다른 생력화장치와의 통합제어가 최소의 비용으로 구축 가능하게 되었다. 개발된 시스템에 의한 피쉬펌프 구동시의 에너지 절감 효과등에 관한 정량적분석은 차후의 과제로 남겨둔다.

후 기

본 연구는 부경대학교 해양산업개발연구센터의 연구비 지원(과제번호 96O3-1506-01-07-1 및 97K4-1506-00-02-3)으로 수행된 연구결과 일부로서 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한, 이 연구를 위해 실험과 자료 정리를 도와준 부경대학교 제어기계공학과 이병혁군에게 사의를 표한다.

참고문헌

- 1) 장지원(1980) : 물고기펌프 제작시험에 관한 연구, 수산진흥원연구보고서 Vol. 24, 67-72.
- 2) 오병화, 권오봉(1998) : 노즐형상에 따른 환형 제트 펌프의 특성 연구, 한국어업기술학회지, Vol. 34, No. 4, 442-449.
- 3) 강호원, 이성호, 김재운, 정석권, 김상봉(1995) : 양어장 자동화 시스템의 개발 (1. 모형 수조를 중심으로), 한국수산학회지, Vol. 28, No. 3, 309-315.
- 4) 전봉환, 정석권, 김환성, 김상봉(1996) : 단일칩 마이크로프로세서에 의한 전 디지털화 PWM의 실현, 대한전기학회지, Vol. 45, No. 5, 674-682.
- 5) 정석권, 양주호(1995) : 유도전동기의 토크 속도 제어법에 관한 벡터적 해석, 한국어업기술학회지, Vol. 31, No. 4, 393-401.
- 6) 日本電氣學會(1993) : AC 드라이브産業應用における擴大, 高度化技術, 第462.
- 7) 차영배(1997) : Micro Controller 80196.