

## 초음파 디지털 자동 동조회로에 대한 연구

신 원 철\*, 이 명 호\*\*

### A Study On The Ultrasonic Digital Auto-Tuning Circuit

Won-Chul Shin\*, Myung-Ho Lee\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 초음파를 이용한 동력을 활용하는 기기에 필요한 자동 주파수 추적장치를 연구하고, 이를 개발하는 데 있다. 지금까지의 초음파 자동 주파수 추적은 아날로그 방식으로 이루어져 있으며 보다 정밀한 제어를 필요로 하는 분야에는 이 방식의 한계를 극복할 수 있는 새로운 방식의 추적장치를 필요로 한다.

#### Abstract

In this papers, It was researched Automatic frequency detection which need using ultrasonic utmost effort. As far as ultrasonic Automatic frequency detection, It was analog method, In more delicatated field, to solve a limit, It was needed a new method detection instrument.

---

\* 주성대학 컴퓨터프로그래밍학과  
\*\* 청주대학교 정보통신공학과

## I. 서론

압전 세라믹스를 이용하는 모든 기기들은 초음파 구동 회로가 필수적이며, 이러한 초음파 구동회로는 초음파 진동자에 전력을 공급하여 초음파를 발진시키는 회로이다. 이러한 초음파 구동회로를 구성하는 소자의 구조는 다결정으로 이루어져 있기 때문에 제조과정에서 일정한 품질의 소자를 생산하기 어렵고, 아울러 현재 생산되고 있는 소자는 상세한 데이터 시트를 만들 수 없을 뿐만 아니라 공진 주파수, 임피던스 및 용량 등의 데이터의 편차가 커서 근사적으로 측정하여 소자를 생산하고 있는 실정이다.

이러한 소자의 등가회로는 두 개의 공진회로가 포함되는 형태이므로 용량성분이나 유도성분을 포함하게 된다. 세척기, 파쇄기, 용접기 등과 같이 초음파 전력소자를 이용하는 있는 초음파 전력기기는 동작주파수가 공진을 이루는, 즉 피상전력이 최소인 점을 추적하는 회로가 반드시 요구된다 할 수 있다.

또한, 초음파 구동소자는 외부의 압력, 온도 및 습도 등의 영향으로 인해 공진 주파수 등이 바뀔 수 있는 특성이 있으며, 이러한 현상으로 인해 주파수를 자동으로 추적하지 않으면, 무효전력이 많아져서 효율이 떨어질 뿐만 아니라 구동부의 출력이 너무 커져서 제품에 고장이 발생하는 영향을 초래할 수 있게된다.

따라서, 본 논문에서는 소자의 자러발진을 이용하여 자동동조를 이용하고 있는 아날로그 방식보다 효율적이고, 정밀하며, 제어가 용이한 디지털방식을 이용하여 출력되는 결과를 측정하고, 최적의 주파수를 프로그램에 의해 판단하며, 결정된 주파수를 구동기에 입력하는 방식으로 고효율 구동기를 설계하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서 초음파 전력소자에 대해 고찰하였고, 3장에서 시스템 모델을 제시하였으며, 4장에서 자동동조회로를 이용한 시작품을 나타내었으며, 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

## II. 초음파 전력소자

### 2.1 압전소자

압전소자는 전기에너지와 기계에너지의 상호변환이 가능한 소자를 말한다. 이러한 압전소자에 그림 1과 같이 전압이 가해지면 전압의 값에 따라 비례적인 기계적인 변형이 일어나며, 반대로 그림 2와 같이 힘이 가해지면 전압이 발생하게 되는데 이를 압전현상이라 한다. 압전현상은 전자, 통신 및 기계 등의 다양한 분야에서 초음파 응용소자 및 변위발생소자, 그리고 각종 센서 등에 광범위하게 사용되고 있다. 특히 초음파 소자는 첫째, 전기적인 신호를 기계적인 에너지로 변환하거나, 둘째, 기계적인 신호를 전기적으로 변환하거나, 셋째, 전기적인 신호를 기계적인 신호로 변환하였다가 다시 전기적인 신호로 변환하는데 활용할 목적으로 이용되고 있으며, 표 1에 초음파소자를 이용하는 다양한 제품을 나타내었다.

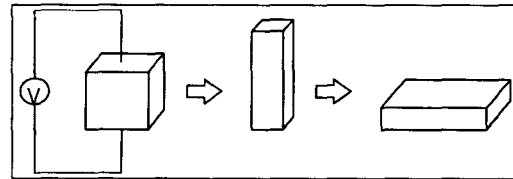


그림 2. 전기에너지를 운동에너지로 변환

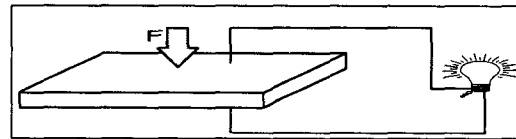


그림 3. 운동에너지를 전기에너지로 변환

표 1. 압전 세라믹스 응용분야

구분	압전 제품	응용 제품
전기계 기계계	초음파진동자 SONAR 압전 Buzzer 및 스피커 Actuator 및 초음파 모터	초음파 세척기, 용착기, 가습기, 분산기, 가공기 어군탐지기, 수심측정기 Audio, 전화기, 각종 가전제품 X-Y stage, 릴레이, 프린터, 카메라
기계계 전기계	압전착화소자 압전센서	가스레인지, 가스라이터 가속도센서, 마이크로폰, 혈압계 유량계, 자동문, 초음파진단기 NDT 센서, 거리센서, level 센서 속도계
전기계 기계계 전기계	레조네이터 세라믹 필터, SAW 필터 압전트랜스포머	리모콘 및 각종 가전제품 TV, Audio, 전화기, 휴대폰 노트북 PC, 캠코더

### 2.2 볼트 체결형의 소자들

그림 3은 압전 세라믹스를 볼트로 결합하여 내구성을 강화시킨 형태로 현재 초음파 세척기 등에 많이 활용되고 있는 초음파 세척기용 진동자를 나타낸 것이다. 이 소자의 전극판에 초음파를 발생할 수 있는 전압을 인가하면 압전 세라믹스는 전계의 세기에 따라 종축으로 기계적 진동이 발생하며, 이는 알루미늄 메스에 전달된다. 이를 이용하는 초음파 세척 메커니즘은 강력한 초음파를 세척액으로 방사하여 Cavitation 및 Implosion을 발생시키고, 세척물에 기계적 충격에너지를 전달하여 비용해성 오염물질을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 세척액을 이용하여 용해성 오염물질을 세척할 수 있다. 초음파 용착 메커니즘은 진동자에서 발생된 초음파 진동에너지를 증폭시켜주는 Booster 및 Horn을 통하여 플라스틱 등의 용착물에 전달되면 접합 면에서 순간적인 마찰열이 발생하여 플라스틱이 용해, 접착되어 강력한 결합이 이루어지게 된다. 즉, 열을 가하지 않고 플라스틱의 용착, 절단 등을 시행하여 세척기용 진동자와 기본 개념은 유사하나 단일 진동자의 용량이 월등히 크고 액체가 아닌 고체로 초음파를 방사하는 것이다.

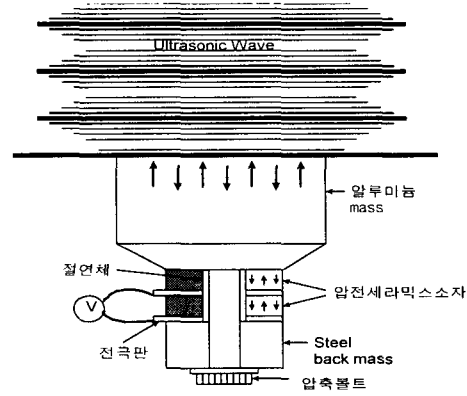


그림 4. 초음파 세척기용 진동자

### 2.3 자동 동조회로

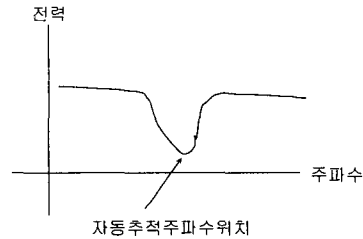


그림 5. 초음파의 주파수 대 전력 특성

그림 4는 초음파 소자의 주파수와 전력의 관계를 나타낸 것이며, 본 연구의 목적은 요구되는 중심 주파수의 위치를 자동으로 추적하고자 하는 것이다. 중심주파수는 외부환경 즉 압력, 온도 및 습도 등에 의해 변화될 수 있으며, 주파수가 공진하는 자동추적 주파수 위치에서 유효전력이 최대이고, 무효전력이 최소가 되므로 고효율의 전력을 얻을 수 있게 된다.

변화된 주파수를 자동 추적하기 위해 본 논문에서는 현재의 전력 값과 과거의 전력 값을 비교하고, 현재의 주파수 진행방향을 상호 비교한 후 이를 판단하여 다음 주파수의 위치를 예측하는 이산적인 디지털 추적 방법을 사용하였으며 중심 주파수 지점에 대한 등가회로를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 C1, L2, C2, R2는 공진 시 소자의 등가회로를 의미하며, 외부환경에 의해 변화된다. 각 소자의 값이 변화될 때 최대 유효 전력을 얻기 위해서는 소자의 용량성분과 유도성분을 모두 제거해야 하기 때문에 우선 L1을 이용하여 C1 성분을 제거해야 하고, L2와 C2 성

분도 제거해야 한다. 용량성분과 유도성분을 제거하면 순수한 저항성분 R2만이 남게되어 유효전력 성분을 얻을 수 있다. C1이 가변되면 외부에서 L1을 가변시키면 되고, L2와 C2가 가변되면 외부에서 주파수를 가변시켜서 이 성분이 제로가 되는 지점을 추적하면 공진 주파수를 자동으로 추적할 수 있게 된다.

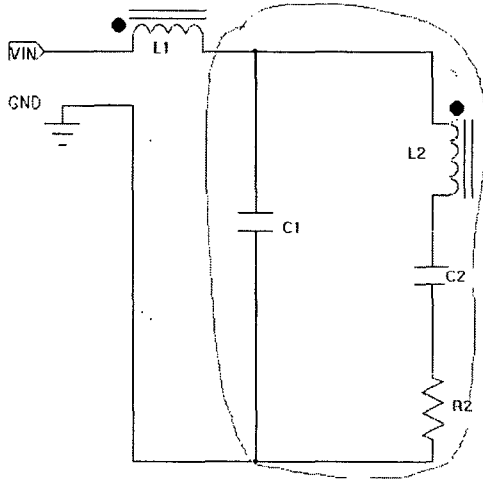


그림 6. 공진시 소자의 등가회로

### Ⅲ. 시스템 모델

#### 3.1 하드웨어

##### 3.1.1 전체 블록도

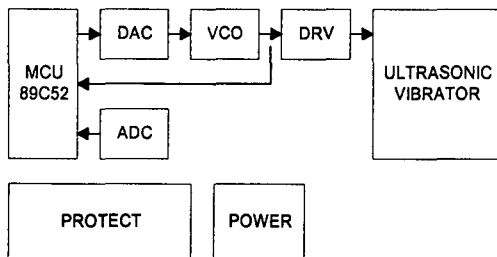


그림 6. 고효율 구동기의 블록다이어그램

그림 6에 마이크로 프로세서를 기반으로 발진기를 설계하기 위한 전체 블록다이어그램을 나타내었다. 회로의 전체 제어를 위해 8비트 범용 마이크로 프로세서를 사용하였고, 제어 데이터를 아날로그 신호를 변환하기 위해 DAC0800 D/A 변환기를 사용하였다. 또한, 아날로그 전압에 의해 발진되는 VCO는 NE555를 채용하여 Pulse Position Modulator로 그 기능을 대신하였다. VCO에서 발생하는 주파수는 드라이브 단을 거쳐 초음파 진동자에 입력될 되고, 마이크로 프로세서의 타이머로 입력되어 현재 발진하고 있는 주파수를 측정하도록 설계하였다. 초음파 진동자에 공급된 주파수에 의해 공급된 전력은 A/D 변환기를 통해 검출되며, 측정된 데이터는 마이크로 프로세서로 전송된다. 마이크로 프로세서에서는 탑재된 소프트웨어를 이용하여 발진주파수를 자동으로 추적하게 된다. 또한, 전원이 입력될 때 드라이브 단에 공급되는 과도응답을 제거하기 위해 보호회로를 추가하였다.

##### 3.1.2 DA 컨버터

그림 7에 설계된 회로의 D/A 변환기부를 나타내었다. D/A 변환기의 출력은 전류의 형태이고, 100ns, Fullscale error  $\pm 1$  LSB, 온도에 따른 비선형성이  $\pm 0.1\%$ 의 특성을 가지고 있으며, D0~D7에 주어진 2진수의 값이 전류의 양으로 출력이 된다. 초단의 U5A인 LM358은 1차 증폭 단이면서 입력으로 들어오는 전류를 전압으로 변환시킨다. 증폭률은 1K 반고정 저항을 이용하여 이는 드라이브 단에 공급되는 주파수의 범위를 결정하기 위해 사용된다. 즉, 증폭률이 크면 넓은 범위의 주파수를 조정 가능하지만 정밀도가 떨어지므로 본 회로에서는 2KHz정도의 범위를 사용하였다. 또한, 정밀도를 높이면 초음파진동자의 정밀도 때문에 소프트웨어 캘리브레이션 범위를 벗어나므로 문제가 발생한다. LM555가 요구하는 OFFSET 전압을 맞추기 위해 U6A인 LM358 연산증폭기를 채용하였고, 5K 반고정 저항으로 원하는 제어점을 설정하였다.

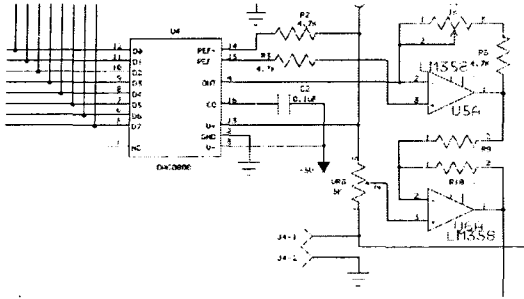


그림 8. D/A 변환기

3.1.3 VCO(Voltage Controlled Oscillator)

그림 8에는 설계된 회로의 전압제어 발진기부를 나타내었다. 본 논문에서는 Pulse Position Modulator를 이용하여 전압제어발진을 대신하였다. 그림에서 보듯이 R2와 R3를 통해 C2에 전하가 충전되어 CV전압보다 커지면 내부 플립플롭에 의해 Discharge 핀에 신호가 인가되고, R3를 통해 방전이 시작된다.

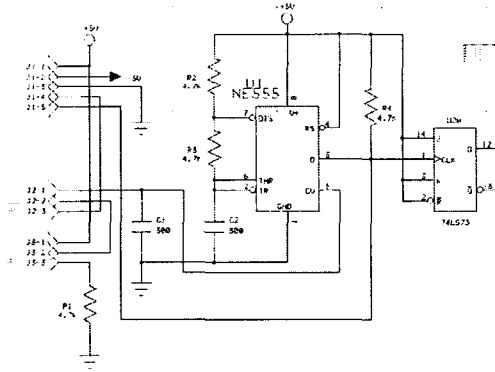


그림 9. 전압제어 발진기

내부의 분할전압이 약 1/3지점 이하이면 다시 플립플롭에 의해 Discharge핀에 신호가 단전되고, 재충전을 시작한다. 이와 같은 동작을 반복함으로써 발진이 계속된다. 만일 CV의 전압이 2/3지점이 되면 이의 전압을 바꿈으로써 충전시간을 조절할 수 있는데 이 시간이 조정됨으로써 출력되는 주파수를 조절할 수 있게 된다. 이러한 방식의 변조방법을 PPM이라고 말한다. 그림 8의 발진기에서 나오는 출력 주파수의 듀티비 50%를 얻기 위해 T-FF를 통과시켜 Q와 /Q신호를 얻었다. PCB회로를 만들 때 R2, R3, C2는 가능하면 외부 노이즈에 영향을 받지 않는 곳에 배치를 했다.

3.2 소프트웨어

그림 9에 설계된 시스템의 자동추적기능을 위한 전체적인 플로우 차트를 나타내었다. 동작과정을 살펴보면 처음 전원이 인가되면 power on 모드로 전체적인 시스템 환경을 초기화하고 select menu로 이동한다. 사용자는 주파수와 간헐적인 동작을 위한 타이머 설정 그리고 초기 자동주파수 검출 등을 선택하여 동작 시킬 수 있도록 하며 완전한 메뉴얼 모드를 설정하여 자동 추적이 불가능할 경우 수동으로 작동 가능하도록 했다.

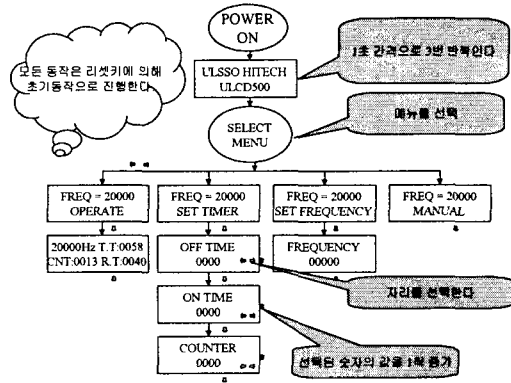


그림 10. 자동추적기능에 대한 플로우차트

3.2.1 Main Program

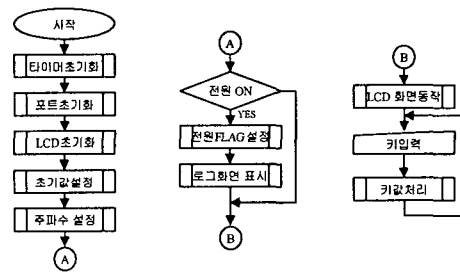


그림 11. 메인 흐름도

그림 10에는 전체회로의 메인 흐름도를 나타내었다. 회로에 전원이 인가되어 MCU가 RESET되면 내부에서 사용하는 각종의 주변기능들을 초기화한다. 여기서 사용된 주변회로는 타이머회로, 포트, 인터럽트 등이 있으며, 이를 초기화 한 후 LCD를 초기화한다. 또한, EEPROM에 설정되어 있는 각종의 파라미터들을 읽어들이어 초기 값을 설정한다. 전원을 ON 상태가 되게 한 후에 RESET

인지 아니면 RESET키에 의한 것인지를 판단하여 전원 ON 상태이면 로그화면을 표시한 후 LCD의 OPERATE 메뉴로 이동하고 키 입력을 기다리게 된다.

### 3.2.2 LCD program

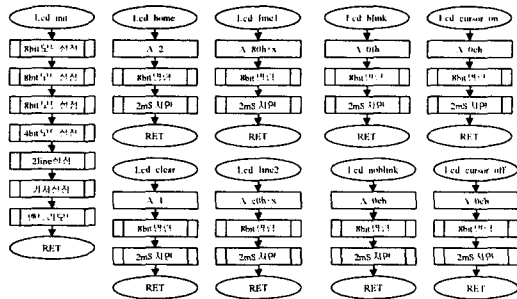


그림 12. LCD 구동 흐름도

그림 11은 LCD를 구동하기 위한 서브루틴들이다. 처음은 LCD의 초기화를 하는 곳으로 3번의 기본호출 후 4비트 모드, 2line, 커서설정을 한다. Lcd\_home 서브루틴은 커서를 홈에 옮긴다. Lcd\_clear은 LCD화면에 나타난 모든 글자를 지운다. Lcd\_line1과 Lcd\_line2는 LCD에 커서를 위치시키기 위해 사용한다. Lcd\_blink는 LCD 커서를 깜빡거리게 하고 Lcd\_cursor\_on은 커서를 보이게 하고 Lcd\_cursor\_off는 커서를 화면에서 지우는 기능을 수행한다. 그림 12에는 타이머 인터럽트를 나타내었다.

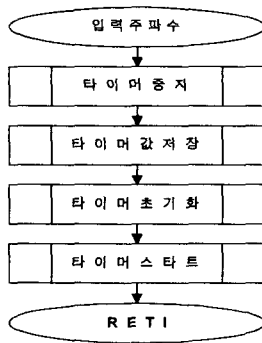


그림 13. 타이머 인터럽트

### 3.2.3 Timer program

Timet program은 주파수를 검출하기 위한 루틴으로 일단 타이머 인터럽트가 발생하면 현재 입력되고 있는 클럭을 중지하고 저장되어 있는 타이머의 값을 임시 버퍼에

저장한다. 버퍼에 타이머의 값이 저장된 후 카운트된 값을 검출하기 위해 현재의 타이머 값을 클리어하고 타이머를 동작상태로 옮긴다.

### 3.2.4 EEPROM program

그림 13에 EEPROM의 흐름도를 나타내었다. EEPROM의 기본 서브루틴은 ENABLE, DISABLE, ERASE, READ, WRITE에 대해 5가지 루틴을 가지게 된다. ENABLE 루틴은 EEPROM이 WRITE가 가능하도록 하고, DISABLE 루틴은 WRITE동작이 불가능한 상태로 만들어서 비정상적인 오동작에서도 EEPROM의 자료가 지워지지 않도록 하며, 특정할 주소의 자료를 삭제하고자 할 때는 ERASE 루틴을 호출하고, 특정주소의 자료를 읽으려면 READ루틴을 호출하며, WRITE루틴을 호출함으로써 자료를 쓸 수 있는 것이다. EEPROM은 전기적으로 지워질 수 있기 때문에 기기의 전원을 OFF할 경우나 ON할 경우 원하지 않는 잡음에 의해서 데이터가 파손될 우려가 있다. 그러므로 반드시 자료를 저장한 후에는 DISABLE 루틴을 호출하여 저장 불가능한 상태로 있도록 해야 한다.

동작을 할 때 사용하는 키이며 다섯 번째 키는 설정 값을 설정할 때 엔터 키로 사용하며 매뉴얼 모드에서는 누를 때에만 동작하는 키로 사용한다. 아래 오른쪽에는 전원스위치 가 배치되어 있으며, 이 키를 위로 누르면 전원이 인가되고, 아래로 누르면 꺼진다. 아래 가운데는 현재 출력되고 있는 상태를 표시하고 있으며 이는 파쇄기의 상태를 나타내고, 최적의 상태로 조정할 때 사용한다. 아래 오른쪽의 손잡이는 출력되는 파워를 조정하기 위한 것이며 현재 5단의 출력을 조정할 수 있다.

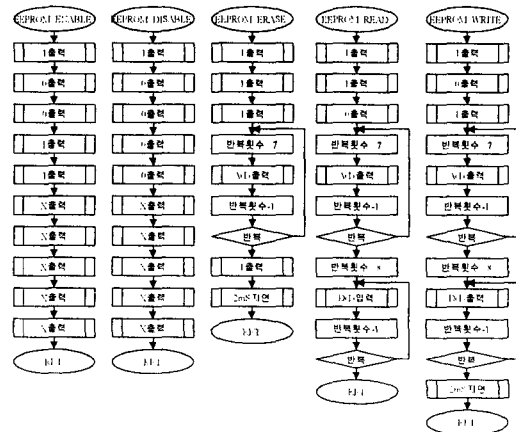


그림 14. EEPROM 흐름도

#### IV. 시작품

그림 14는 자동동조회로를 채용한 구동회로의 시작품을 나타내었으며, 그림 15와 그림 16에 700W급의 구동기와 400W급의 구동기를 각각 나타내었다.

자동 동조회로를 채용한 구동기회로는 출력전력이 최소가 되는 지점을 수렴하도록 되어 있는데 전면에 이를 확인할 수 있도록 계기 판을 보여주고 있다.

본 연구에서 구현한 구동기회로는 현재 커다란 문제없이 시험 중에 있다.



그림 14. 자동추적회로를 채용한 구동회로의 전면



그림 15. 700W급 구동기 내부



그림 16. 400W급의 구동기 내부

#### III. 결론

본 논문에서는 디지털 제어방식을 이용하여 초음파 전력 기기의 동작주파수가 공진을 이루는 위치를 추적할 수 있는 자동동조회로를 채용한 구동회로를 설계하였으며, 마이크로 프로세서를 이용하여 압전 소자의 용량성분과 유도성분을 제어할 수 있도록 하였다. 설계된 구동기회로는 출력전력이 최소화되는 지점으로 수렴하였다. 뿐만 아니라 디지털 제어방식에서도 소자들이 정상적으로 동작할 수 있음을 확인하였다.

또한, 700W나 4000W급에서 설계된 자동 동조회로를 채용한 구동기를 가동하면서 시스템이 대형화될수록 디지털 방식에 의한 제어가 아날로그 방식에 의한 제어보다 편리하고, 정밀하며, 저가격화를 이룰 수 있다는 것을 확인하였다.

본 논문에서 설계된 회로를 기본으로 보다 정밀하고, 편리하며, 자동화된 구동기를 제작하기 위해서는 앞으로 이 분야에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다. 향후 디지털 방식을 이용한 전력제어나 진동자의 특성을 추적하는 추적회로, 전압과 전류를 측정하여 유효소비전력이 최적화되는 지점을 찾는 회로, 고전력을 취급함으로써 디지털 회로의 잡음을 제거하는 회로에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되며, 아울러 전력을 증가시키기 위한 방식으로 모듈화를 통하여 산업현장에서 대전력을 요구하는 곳에 저가로 사용할 수 있는 회로에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Mohamed Rafiguzzaman, "Micro Processors and Mircro computer based system design", CRC Press, 1990.
- [2] G. Boothroyd and P. Dewhurst, Handbook design for assembly, University of Massachusetts, Ancherst, May 1984
- [3] National Semiconductor, "Programmable Logic Devices" DAtabook and design guide, 1972
- [4] Intelligent Control: Power Electronic Systems Oxford 1998
- [5] Sensors in Intelligent Buildings (Sensers Applications Vol.2)
- [6] Computer-Intensive Methods in Control and Signal Process, Birkhauser, Warwick, 1997
- [7] Girslie, G. "16bit mordern microcomputers", The Intel 8086 family, Prentice-Hall, 1985
- [8] 황희용, 차영배, "초보자를 위한 8051", 다다미디어, 1992
- [9] 탑시스템, "8051 자동화 시스템 프로그래밍", 두남, 1993
- [10] 나중래, 문세홍, "인텔 8051 구조와 설계응용", Ohm사, 1990

### 저자 소개



#### 신 원 철

1990.2 청주대학교 대학원 전자계산학과 졸업 (공학석사)

현재 : 청주대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
주성대학 컴퓨터 프로그래밍과 조교수



#### 이 명 호

1981.2 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1991.8 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

현재 : 청주대학교 첨단공학부 교수