

# ATmega 128 소자를 이용한 자기부상계 제어용 원-보드 컨트롤러의 설계

## One Board Controller Design with ATmega 128 Chip for Manetic Levitation System

정광교 · 양주호  
K. G. Choung and J. H. Yang

(접수일 : 2009년 7월 8일, 수정일 : 2009년 12월 28일, 채택확정 : 2010년 2월 8일)

**Key Words** : One Board Controller(원-보드 컨트롤러), Magnetic Levitation System(자기부상계), Pid Control(비례·적분·미분제어)

**Abstract** : Magnetic levitation system is nonlinear and inherently unstable, so it is difficult to control. Analog control circuit was widely used as the controller of magnetic levitation system, but digital controller is now substituted for analog controller according to development of digital electronics. In this study, Atmel AVR series, ATmega 128 which is a kind of  $\mu$ -processor for digital controller is used because the chip is cheap and popular. We designed and made ATmega 128 one-board controller and aimed to verify validity through the experiance of levitation response.

### 1. 서 론

자기부상계는 비선형계로서 본래 불안정한 계이다. 이러한 불안정한 계의 위치제어를 위하여는 정상위치에서의 선형화, 실시간 위치 피드백 등이 필요하며, 이러한 실시간 제어를 위하여 개인용 컴퓨터를 이용한 컨트롤러가 많이 이용되고 있고, 또한 원-보드 컨트롤러로는 i80C196KC<sup>[2]</sup>, TMS320VC33<sup>[3]</sup>, TMS320C31<sup>[4]</sup> 등을 이용한 컨트롤러가 널리 이용되고 있다.

그러나 본 연구에서는 저렴하면서도 근래 사용이 증가되고 있는 Atmel사 AVR 시리즈 마이크로컨트롤러 중 ATmega 128을 이용한 원보드 컨트롤러를 설계하고 시작품을 제작하여, 자기부상계의 제어용 컨트롤러로서의 유효성 검증을 목표로 하였다. 이를 위하여 제어대상으로서 자기부상계를 제작하였고, 회로구성이 비교적 단순한 APEX사의 파워연산증폭기인 PA12소자를 이용하여 전류 앰프를 제작하였다. 자기부상계를 제어하기 위한 제어기는

비례·적분·미분(PID)제어기, 진지상보상기, 퍼지 제어기 등 많은 제어기가 적용될 수 있지만, 산업 현장에서 많이 사용되고 비교적 쉽게 구성할 수 있는 비례·적분·미분제어기를 이용하여 자기부상계 제어용 원-보드 컨트롤러의 유효성 확인에 중점을 두었다.

### 2. ATmega 128의 특성

ATmega 128을 비롯한 AVR 패밀리는 프로그램 메모리와 내부 데이터 메모리를 액세스하기 위한 버스를 독립적으로 사용하는 하버드 구조(Harvard Architecture)와 파이프라인 처리방식을 기반으로 하는 RISC(Reduced Instruction Set Computer)기술을 적용하여 매우 빠른 명령처리 속도를 자랑한다. 또한 AVR은 플래시 메모리 기술을 접목하여 칩내에 프로그램 코드용 플래시 메모리를 내장하고 여기에 사용자 프로그램을 다운로드할 수 있는 ISP(In-System Programming) 방식을 적용하였다. 또한 ATmega 128 소자는 가격 면에서 저렴할 뿐 아니라 Atmel사에서 통합개발환경(IDE) 소프트웨어인 AVR 스튜디오와 매크로어셈블러를 무료로 제공하고 있고, C

양주호(교신저자) : 부경대학교 기계공학부  
E-mail : yangjh@pknu.ac.kr, Tel. 051-629-6193  
정광교 : 선박안전기술공단

컴파일러로는 GCC 계열의 WinAVR을 무료 사용할 수 있다는 이점이 있다. ATmega 128의 주요 특징은 참고문헌 7 및 10에 서술되어 있다.

### 3. 제어용 원-보드 컨트롤러의 설계

#### 3.1 설계사양

자기부상계의 제어를 위하여 최소 2개 이상의 차동 아날로그 디지털 변환(Differential ADC) 채널을 확보하고, 제어대상의 상측 코일 및 하측 코일에 제어신호를 보내기 위하여 2개의 디지털 아날로그 변환(DAC) 채널을 구성하였다. 또한 제어입력, 자기부상 위치 등을 실시간 메모리에 저장한 후, 개인용 컴퓨터로 출력하기 위하여 32k 바이트의 외부메모리 및 RS232C의 직렬통신 기능을 포함시켰다. 또한 부수적으로 실험의 편리성을 도모하기 위하여 16×2의 텍스트 LCD 및 128×64의 그래픽 LCD를 포함하고, 외부 인터럽트를 이용할 수 있도록 컨트롤러를 구성하였다.

#### 3.2 설계회로도<sup>7)</sup>

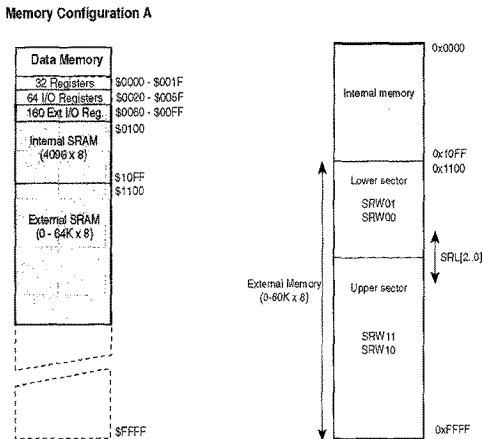


Fig. 1 Data memory of ATmega 128

데이터 메모리는 32개의 범용레지스터, 입출력 레지스터, 내부 정적메모리(SRAM), 외부 정적메모리(SRAM) 등이 Fig. 1과 같이 매핑되어 있다. 외부메모리중 2000H ~ 2300H 번지에 텍스트 LCD, 그래픽 LCD 등을 배치하고, 8000H ~ FFFFH 번지에 외부 데이터 메모리 62256을 배치하였다. 또한 1100H ~ 7FFFH의 하위 섹터(lower sector)에 배

치된 LCD 등의 소자는 액세스(access) 시간이 늦으므로 1 지연 사이클(wait cycle)을 주었고, 상위 섹터(upper sector)인 8000H ~ FFFFH에는 0 지연 사이클(wait cycle)로 설정하였다.

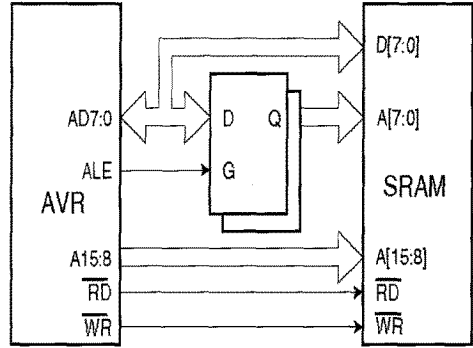


Fig. 2 External memory interface

ATmega 128을 비롯한 AVR 패밀리는 프로그램 메모리와 내부 데이터 메모리를 액세스하기 위한 버스를 독립적으로 사용하는 하버드 구조이지만, 외부 메모리 인터페이스의 경우 AD7 ~ AD0은 핀수를 절약하기 위하여 어드레스 버스의 하위 8비트와 데이터 버스를 시분할 다중화 시켜야 하기 때문에 74573소자에 어드레스 래치 인에이블(ALE)신호를 사용하여 그림. 2와 같이 래치(latch) 시켰다.

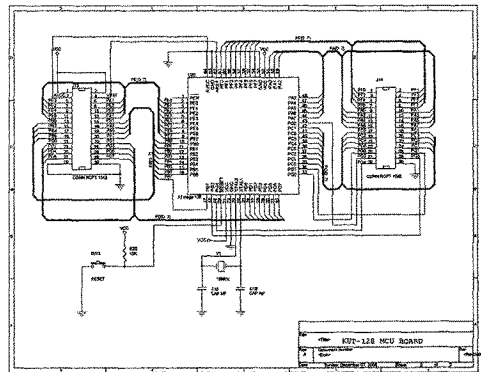


Fig. 3 MCU board

AVR128은 64핀의 TQFP 표면실장형으로 납땜의 편의를 위하여 Fig. 3과 같은 시판의 확장보드를 사용하였다<sup>8)</sup>.

신호 입력채널을 Fig. 4와 같이 구성하여 차동입력 및 10배의 증폭기능을 이용할 수 있도록 하였으

며, 자기부상계의 상측 및 하측코일을 제어하기 위하여 PORTB, PORTD 및 DAC0800으로 2채널의 출력을 구성하였다.

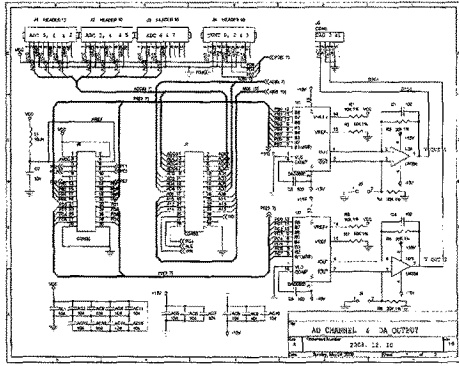


Fig. 4 AD channel & DA output

외부메모리 및 직렬통신(RS232C) 계통은 Fig. 5와 같이 구성하고, 외부 인터럽트를 이용하기 위하여 PE6핀에 접점을 추가하였다.

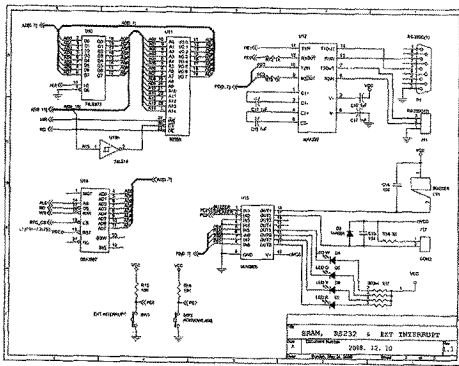


Fig. 5 Ext. memory, RS232 & ext. INT

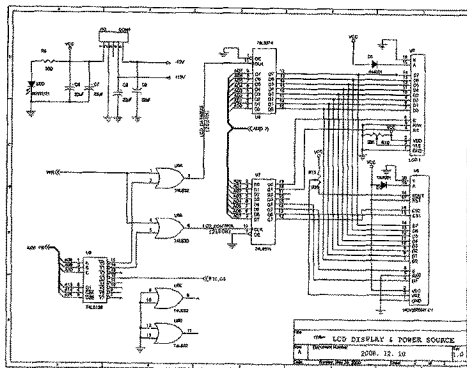


Fig. 6 LCD display system

실험의 편의성을 위하여 텍스트 LCD 및 그래픽 LCD를 Fig. 6과 같이 구성하였으며 전원부를 구성하였다.

### 3.3 시작품 제작

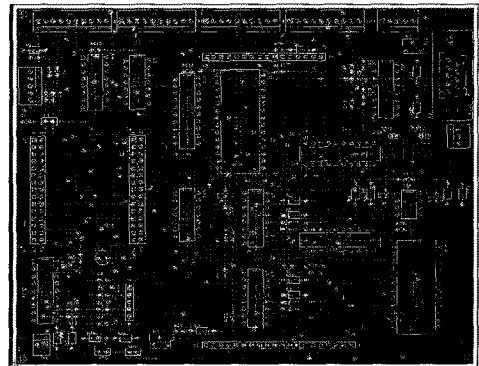


Fig. 7 PCB layout (MAX)

앞절에서와 같이 전체 회로를 오아캐드 캡처(OrCAD CAPTURE)로 작성한 후, 오아캐드 레이아웃(OrCAD LAYOUT)을 이용하여 Fig. 7과 같이 프린트 기판을 설계하여 기판을 주문제작하였다<sup>5)</sup>.

Photo 1은 제작된 기판에 각 부품을 직접 조립하여 실제 자기부상계를 제어하고 있는 모습이다.

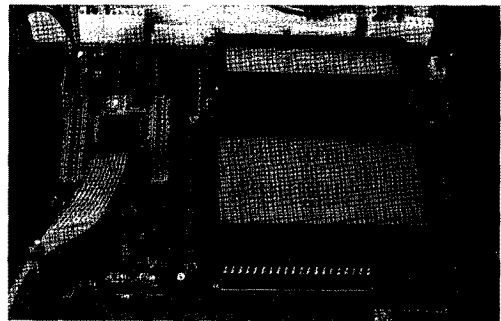


Photo. 1 Trial controller of magnetic levitation system

### 4. 자기부상계 및 전류 AMP 제작

제어대상으로서의 자기부상계는 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 전자접촉기(Magnetic Contactor) 2개를 이용하여 Fig. 8 및 Photo 2와 같이 상하의 자기부상계를 구성하였고, 가동철심 중앙의 아크릴판에 반사판을 부착 후, 레이저 변위센서를 이용하여 자기부상 위치를 계측하였다.

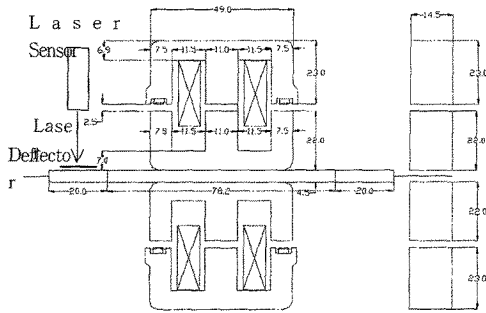


Fig. 8 Magnetic levitation system

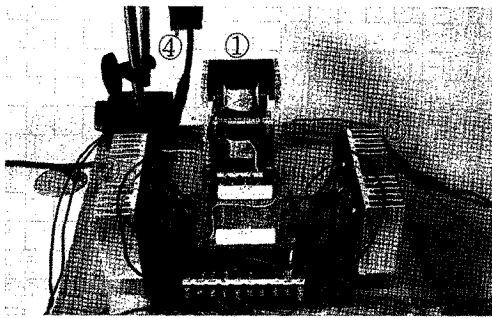


Photo. 2 Magnetic levitation system & current amp

- ① magnetic levitation device
- ② power amp
- ③ amp circuit
- ④ laser sensor

자기부상계를 구동하기 위하여 Fig. 9<sup>10)</sup>와 같이 비교적 회로구성이 단순한 APEX사의 파워 OP 앰프인 PA12를 이용하여, Photo 2와 같이 전류 앰프를 제작하였다<sup>6)</sup>.

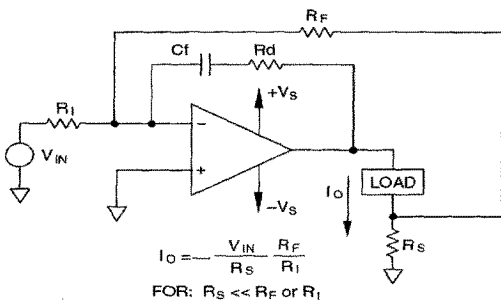


Fig. 9 PA12 current amplifier

## 5. 실험 및 결과고찰

### 5.1 프로그램 구현)

제어프로그램은 C언어로 작성하였으며, 주요부분

은 메인함수와 타이머 인터럽트 서비스루틴 및 외부 인터럽트 서비스루틴으로 구성하였다.

#### 5.1.1 메인함수

메인함수에서 마이크로 컨트롤러 유닛을 초기화하고 직렬통신 (USART 0)의 통신속도, 인터럽트 사용, 데이터길이 8비트, 패리티 사용 안함과 스톱비트 1개 사용토록 초기화하였다. AD 입력 채널을 지정하고, 매 1 mSec의 간격으로 인터럽트를 발생하도록 지정한 후 무한루프를 만들었다.

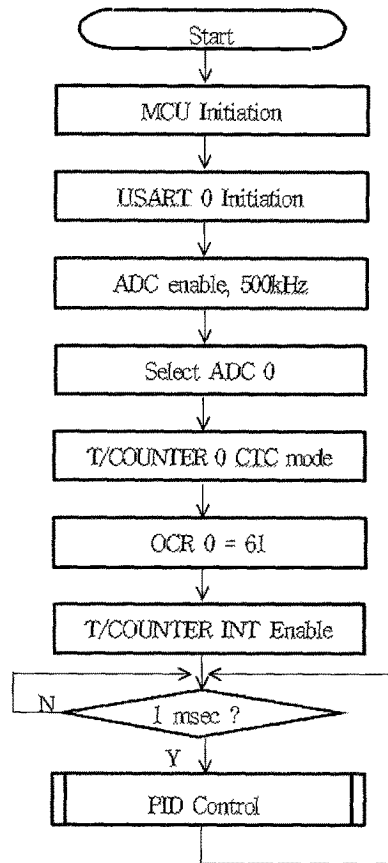


Fig. 10 Main function

#### 5.1.2 타이머 인터럽트 서비스 루틴

매 1 mSec 마다 인터럽트가 발생하면 인터럽트 서비스 루틴에서 레이저 변위계를 사용하여 자기부상체의 위치를 측정하는데, 측정오차를 줄이기 위하여 2회 연속 측정 후 평균값을 취하고, 기준 값과의 오차를 계산한 후 제어칙에 의한 제어출력 값을 연

산하여 PORTB를 거쳐 파워 OP 앰프로 출력하여 제어하고, 이때의 제어출력 값과 자기부상체의 위치 값을 외부메모리에 저장한 후, 메인함수로 돌아가도록 구성하였다. 2회의 AD 변환에 214  $\mu$ Sec, 제어칙 연산에 688  $\mu$ Sec 가 소요되고, 전체 인터럽트 서비스 루틴의 수행에 903  $\mu$ Sec 가 소요된다.

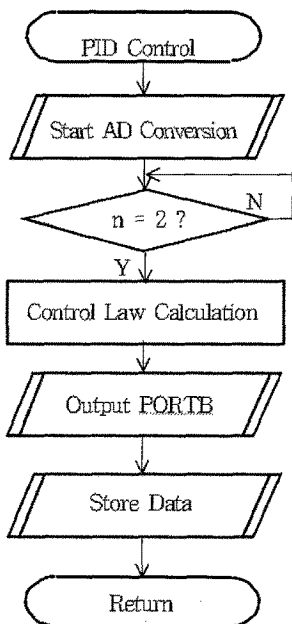


Fig. 11 Timer interrupt service routine

### 5.1.3 외부 인터럽트 서비스 루틴

제어가 끝난후 외부 인터럽트를 발생시키면 32k 바이트의 62256 SRAM에 저장된 데이터를 직렬통신 (USART 0)을 이용하여 개인용 컴퓨터로 송출하고, 이 데이터를 엑셀파일(Excell File)로 변환하여 원보드 컨트롤러의 제어성능을 확인하였다.

### 5.2 실험결과 및 고찰

설계 제작한 원보드 컨트롤러의 유효성을 검증하기 위하여 비례·적분·미분 제어를 사용하였고, 비례게인, 미분게인 및 적분게인은 Ziegler-Nichols 조정방법<sup>9)</sup>에 의하여 각각  $K_p = 0.27$ ,  $K_d = 0.003$ ,  $K_i = 1.000$  로 선정하였고, 샘플링 타임은 유도성 부하에서 제어입력 신호전압에 따른 전류출력의 시간지연을 고려하여 0.001sec를 선정하였다. 이러한 계인을 이용하여 Fig. 12와 같이 원보드 컨트롤러의 자기부상체 제어 결과를 얻었으며, 0.15 Sec까지의

데이터를 확대하면 Fig. 13과 같다. 한편 Photo 3은 자기부상체 전체 실험장치 모습이다.

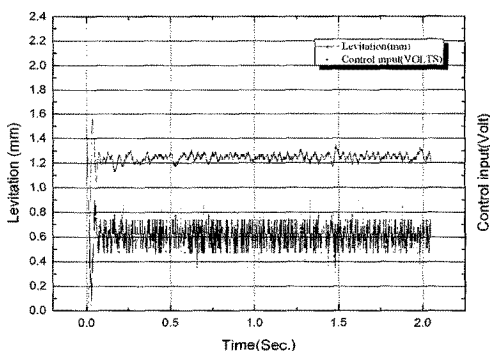


Fig. 12 Step response

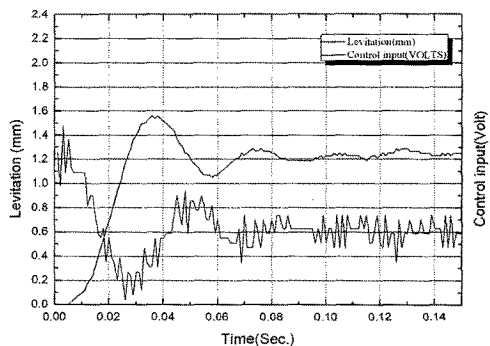


Fig. 13 Enlargement of step response

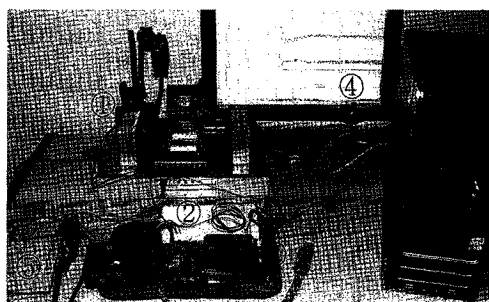


Photo. 3 Complete experimental device

- ① magnetic levitation device
- ② data aquisition
- ③ one board controller
- ④ desk top pc
- ⑤ sensor amplifier
- ⑥ power supplier

### 5.3 검토

스텝응답에 대한 시스템의 시간역 성능을 살펴보면 다음과 같다.

- 오버슈트 : 27%

- 지연시간 : 0.019 sec
- 상승시간 : 0.015 sec
- 정착시간(5%) : 0.065 sec

이 결과를 검토할 때 간단한 실험에 의한 Ziegler-Nichols 조정방법을 사용하여 설계파라미터를 선정하였지만, 충분한 성능을 확인할 수 있었으며, 좀더 조직적으로 제어를 설계한다면 보다 향상된 성능을 확보할 수 있을 것으로 생각된다.

8. 신동욱, 2008, "졸업작품 만들기(III)", Ohm사, 서울.
9. 김종식, 1992, "선형 제어시스템 공학", 청문각, 서울.
10. [www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature).

## 6. 결 론

자기부상계 제어용 원-보드 컨트롤러를 ATmega 128을 사용하여 설계 제작한 후 제어성능의 유효성을 검토한 결과, 스텝응답에 대한 시간역 성능은 자기부상계의 원-보드 컨트롤러로서 충분한 성능을 갖고 있다. 한편 정상상태의 변동폭이 약간 크게 나타나지만 시스템동정을 하지 않았고, 비례·적분·미분 제어기 역시 간단한 실험에 의한 Ziegler-Nichols 조정방법을 사용하였기 때문이라 생각된다. 차후 정확한 시스템 동정을 하고 조직적으로 제어를 설계한다면 보다 향상된 제어성능을 발휘할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. 김창화 외 4인, 1997, "자기부상계의 변위추정 회로설계에 관한 연구", 한국동력기계공학회지, 제1권, 제1호, pp. 144~153.
2. 김창화, 양주호, 1998, "2자유도 제어기법에 의한 자기부상계의 센서리스 실험에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회지, v22. no.6, pp 888~893.
3. 김우연 외 4인, 2008, "자체 자기부상이 가능한 영구자석형 리니어모터", 대한기계학회논문집, A권, 제32권, 제10호, pp 850~855.
4. 김정재, 송승호, 2004, "선형화 기법을 사용한 자기부유기 모델링과 DSP 기반 가변위치제어", 전력전자학회논문지, vol. 9, No. 2, pp 158~162.
5. 조용범, 김종오, 김훈학, 2005, "실무와 예제를 중심으로 한 OrCAD", 북두출판사, 서울.
6. 이동주, 홍준희, 박종권 공역, 2001, "자기베어링의 기초와 응용", 시그마프레스, 서울.
7. 윤덕용, 2007, "AVR ATmega128 정복", Ohm사, 서울.