

단결정(Al_2O_3)성장 爐의 온도 조절용 GAS압력 제어기의 구현

조현섭^{1*}

The Embodiment of GAS Pressure Controller for Temperature Control of Sing Crystal (Al_2O_3) Growing Furnace

Hyun-Seob Cho^{1*}

요약 본 논문에서는 단결정(Al_2O_3) 성장을 DC-Motor로 제어하여 양질의 결정을 얻도록 하는 자동 가스 조절용 DC-Motor의 운영 시스템과 실시간 모니터링 시스템을 연구 개발하였다. 인조 보석류나 예물시계의 유리와 고열 내화용 투명유리 등에 사용되는 단결정(單結晶: Al_2O_3) 제품은 대부분의 가열-소성제품처럼 결정 성장 중에 로(爐)내의 열 흐름에 의해 제품의 품질과 특성에 결정적인 영향을 받게 된다. 따라서 수소와 산소를 적절히 혼합하여 로(爐)내에서 연소시킴으로 공정시간 동안 로(爐)의 온도를 최적의 상태로 유지시키는 것이 양질의 단결정(Al_2O_3)을 제조하는 핵심 요소가 된다. 본 연구에서 수행한 가스 조정용 전동 밸브는 기존의 수작업으로 수행하던 압력 밸브의 제어를 기기 작동 밸브의 압력을 샘플링 하여 변위 값들을 일련의 명령어로 변환한 후 컴퓨터의 제어 신호로 바꾸어 밸브를 조정 하도록 함으로서 직경이 확대된 단결정의 제조를 가능하게 하였다.

Abstract Abstract It is a quite quality concerning to control the temperature of single crystalline growth as it does when we get most of heat treating products. It is also important factor to control the temperature when we make the Al_2O_3 (single crystalline) used to artificial jewels, glass of watches, and heat resistant transparent glasses. Thus, it is a major interest to get the proper temperature in accordance with the time process while we are making mixture of oxygen and hydrogen to have the right temperature. In this paper, we will study of electrical valve positioning system with DC-Motor for the gas mixture to improve the quality of products.

Key Words : Single Crystal, DC-Motor, A/D Converter

1. 서론

DC 서보모터(Servo Motor)는 고 정밀도 특성에 의해 산업현장의 정밀 제어용 기계에 널리 사용되고 있다[1,2]. 또한 인조 보석류나 예물시계의 유리와 고열 내화용 투명유리 등에 사용되는 단결정(單結晶: Al_2O_3) 제품은 대부분의 가열-소성제품처럼 결정 성장 중에 로(爐)내의 열 흐름에 의해 제품의 품질과 특성에 결정적인 영향을 받게 된다. 따라서 수소와 산소를 적절히 혼합하여 로(爐)내에서 연소시킴으로 공정시간 동안 로(爐)의 온도를 최적의 상태로 유지시키는 것이 양질의 단결정(Al_2O_3)을

제조하는 핵심 요소가 된다. 하지만 현재 국내에서는 단결정 제조 기술의 미비로 인해 수작업(手作業)이 주를 이루고 있으며, 고부가가치의 고 정밀도 제품은 해외의 생산 공정과 기술을 도입해 생산하고 있는 실정이다. 따라서 보다 향상된 제품의 개발(대 직경 단결정체)에 있어서는 아직도 해결해야할 많은 문제점들이 있다[1,2]. 따라서 단결정(Al_2O_3) 성장시, 기존 생산시스템에서 수동식 밸브를 DC-Motor로 제어하여 수소와 산소 가스를 적절히 혼합 하고, 공정 시간동안 적정온도(1200~1300℃)를 유지시켜 준다면 대 직경의 양질의 결정을 얻을 수 있다. 본 연구에서 수행한 가스 조정용 전동 밸브는 기존의 수작업으로 수행하던 압력 밸브의 제어를 기기작동 밸브의 압력을 샘플링 하여 변위 값들을 일련의 명령어로 변환한 후 컴퓨터의 제어 신호로 바꾸어 밸브를 조정 하도록 함으로서 직경이 확대된 단결정의 제조를 가능하게 하였

이 논문은본 2006년도 청운대학교 학술연구구성비의 지원을 받아 연구되었음.

¹청운대학교 전자공학과

*교신저자: 조현섭(chohs@chungwoon.ac.kr)

다. 본 논문에서는 단결정(Al₂O₃) 성장을 DC-Motor로 제어하여 양질의 결정을 얻도록 하는 자동 가스 조절용 DC-Motor의 운영 시스템과 실시간 모니터링 시스템을 연구 개발하였다.

2. DC 모터의 동특성 모델링

제어시스템에서는 일반적으로 DC 모터를 구동기로 사용한다. DC모터는 직접 회전동작을 수행하기도 하고, 휠(wheel) 또는 드럼(drum) 그리고 케이블(cable)과 연결되어 과도(過渡)동작을 수행할 수도 있다[3,4]. 또한 DC 모터는 전류에 비례하여 토크(torque)가 발생하므로 선형(線型) 제어기의 구성을 가능하게하며, 비교적 간단한 회로를 구성하여 안정된 제어기 설계를 가능하게 한다. DC 모터의 제어는 트랜지스터에 의한 펄스 폭 변조방식(PWM)이 주류를 이루는데, 이 방식은 사용 주파수 전원을 정류하여 직류를 얻어 이 직류 전원이 모터에 인가되는 시간 폭이 주파수의 반송파에 의해 변환되어 가변전압을 만든 후 모터의 속도를 제어한다. 그러나 실제로 모터의 구동을 제어할 경우, 제어대상인 모터의 정확한 동특성(動特性)이 파악되지 않으면 성공적인 제어를 하기가 힘들고 따라서 정확하고 빠른 구동이 이루어지기 힘들다. 그러므로 모터의 동특성을 분석하여 정확한 동특성 모델링을 얻고, 이로부터 정밀 구동제어가 이루어지게 하는 것이 무엇보다도 중요하고 필요하게 된다[5,6].

2.1 8255A의 구조

8255A는 3종류의 동작모드를 가지고 있고 이것들은 프로그램에 의해 선택되어 사용될 수 있다. 또한, 합계 24 핀의 포트는 동작모드를 독립적으로 설정할 수 있는 2개의 그룹 A와 B로 나눌 수 있다. 그룹 A는 모드 0, 1, 2의 3종류 어느 것에도 설정 할 수 있고, 그룹 B는 모드 0, 1의 어느쪽에도 설정할 수 있다. 그림 2.1은 8255A의 핀배치도를 나타내고 그림 2.2은 8255A의 구조를 나타낸다.

2.2 데이터 버스 버퍼(data bus buffer)

데이터 버스 버퍼는 3-스태이트(state) 양방향 8비트 버퍼로 시스템의 데이터 버스와 8255A를 인터페이스 시키는데 사용된다. 데이터는 CPU에서 보내지는 입력/출력 명령의 실행에 의하여 전송된다. 제어워드(Control Word: CW)나 상태 정보(Status Information)도 역시 데이터 버스를 통하여 전달된다. 읽기/쓰기(read/write)와 제어 로직(control logic) 기능은 데이터와 제어 신호, 상태 정보의

내부, 외부 전송을 관리하는 것이다. CPU로부터의 어드레스와 제어 버스의 입력을 받아서 각 제어 그룹에 제어 신호를 발생시키게 된다.

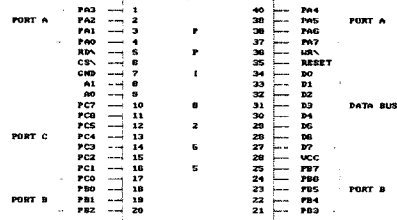


그림 2.1 8255A의 핀 배치도

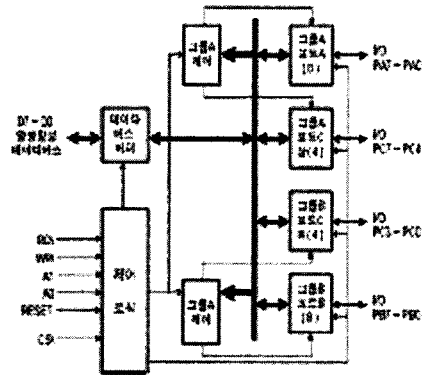


그림 2.2 8255A의 내부 구성

2.3 CS(Chip Select) 단자

대부분 CS 단자에는 어드레스 디코더의 출력이 연결되어 특정한 어드레스가 할당되어 동작하게 된다. 이 입력 핀이 Low가 되면 동작가능상태가 되어 CPU와 8255A 사이의 통신이 가능해지며, 만약 이 단자가 High가 되면 동작불능상태가 되어 3-스태이트 상태가 된다. 그러나 포트 A, B, C에는 영향을 미치지 않는다.

2.4 RD(Read) 단자

RD 단자는 Low가 되면 A0, A1에 의해 지정된 포트 어드레스의 데이터를 CPU의 데이터 버스에 내보낸다. 즉, 이 입력은 CPU가 8255A로부터 정보를 읽는 것을 허용하게 되는 것이다.

2.5 WR(Write) 단자

WR 단자는 Low가 되면 CPU가 8255A에 데이터나 제어 워드를 쓰는 것이 허용된다.

2.6 A0과 A1(port select 0, port select 1)

A0과 A1은 RD, WR와 함께 사용되어 3개의 포트와 제어 워드 레지스터(control word register)중에서 하나를 선택하는데 사용된다. 이 입력은 보통 어드레스 버스의 LSB(Least Significant Bit) 두 비트(A0, A1)에 연결된다.

그림 2.4와 같이 8255A에는 모두 4개의 8비트 레지스터(PA, PB, PC, CWR)가 있으므로 이들을 제어하기 위한 I/O 어드레스는 모두 4개가 되어야하며 이는 2비트의 어드레스 선택단자(A0, A1)로 실현되고 있는 것이다(2비트로 나타낼 수 있는 모든 경우는 4가지(00(0), 01(1), 10(2), 11(3))이다. 표 2.1은 데이터의 입출력이다.

표 2.1 데이터의 입출력

A1	A0	RD	WR	CS	동작
0	0	0	1	0	포트A → 데이터 버스
0	1	0	1	0	포트B → 데이터 버스
1	0	0	1	0	포트C → 데이터 버스
0	0	1	0	0	데이터 버스 → 포트A
0	1	1	0	0	데이터 버스 → 포트B
1	0	1	0	0	데이터 버스 → 포트C
1	1	1	0	0	데이터 버스 → 제어 레지스터
x	x	x	x	1	데이터 버스 → 3 스테이트
1	1	0	1	0	금지상태

입력동작
IN 명령으로
(Read)

출력동작
OUT 명령으로
(Write)

컨트롤

2.7 제어 워드 레지스터(CWR: control word register)

제어워드레지스터는 8255A를 제어하기 전 제일 먼저 행하며 8255A가 알맞은 모드에서 동작할 수 있도록 지시해 주는 것이다. CWR은 모두 8비트를 갖는다. CWR은 두가지 용도로 사용된다. 한가지는 각 포트의 입력/출력과 모드지정을 위한 것 이고, 다른 한가지는 포트 C를 한 비트씩 제어하기 위한 것이다. 이 두가지 역할은 CWR의 MSB(Most Significant Bit, 최 상위 비트(D7))의 상태에 따라 결정된다. 그림 2.3과 같이 D7이 0인 경우에는 모드 1이나 모드 2에서 포트 C가 제어 신호로 될 때에 신호의 세트/리셋을 행할 수 있다.

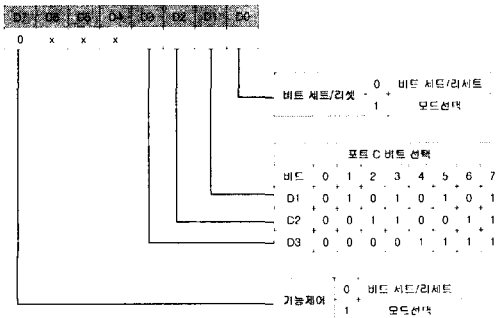


그림 2.3 비트 세트/리셋

3. 전동밸브 구성 시스템 및 모니터링 시스템 설계

그림 3.1은 기존 수동식 밸브 장치로서 숙련된 작업자가 매 시간마다 밸브를 수동으로 조절하여야 함으로 효율적인 작업 능률이 낮았다. 그림 3.1은 기존 수동식 단결정 성장용 제어계로서, 본 논문에서는 기존 수동 시스템을 자동 시스템으로 변환하고자 한다.

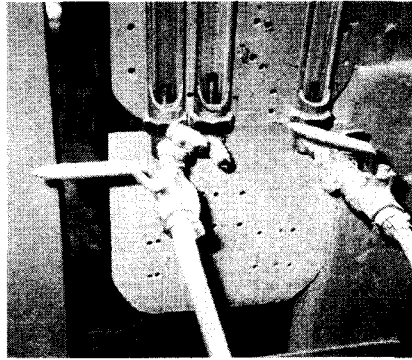


그림 3.1 기존 수동식 밸브 장치

3.1 자동가스 조절용 전동밸브의 특성

본 논문에서 구성된 자동가스 조절용 전동 밸브는 수작업 공정 중 시간 간격으로 샘플링 된 산소 밸브의 변위값을 컴퓨터 내에 파일로 저장하고 이를 DC 모터를 제어하는 명령어로 변환하여 동작 하도록 구현 하였다. 구현에 앞서 전동식 밸브에 사용될 밸브, 치차(齒車), 전동기 등의 선정에서 주의가 요구 되었으며 밸브의 선정시 다음과 같은 사항을 고려하였다.

- ① 밸브의 용량 : 같은 크기라도 밸브의 형태에 따라 용량이 다르다.
- ② 조절범위 : 조절범위가 밸브에 따라 다르기 때문에 특히 주의해야 한다.
- ③ 부식(Corrosion) : 화학적인 재질의 변화
- ④ 침식(Erosion) : 물리적인 마모
- ⑤ 밀폐성(Tight Shut Off)
- ⑥ 소음(Noise)

또한 전동식 밸브의 조작 시 조정속도와 이동량이 일정하게 유지될 수 있도록 180:1의 감속기를 전동기의 샤프트에 연결하였고, 전동기와 밸브를 연결하는 치차비를 3:1로 설정함으로써 전체 정밀도를 540:1의 비율로 조정 가능하도록 하였다. 그리고 파워 트랜지스터(Power

Transistor) 드라이버 회로와 각종 동작을 위한 스위치로 구성된 작업대를 별도 제작하였으며 작업대에서 스위치를 수동위치에 두었을 때에는 작업자에 의한 수동 동작을 수행하고 자동위치에 두었을 때에는 컴퓨터 제어에 의한 자동동작을 수행 하도록 하였다.

3.2 DC 모터 구동 회로

DC모터를 제어하기 위하여 파워트랜지스터(Power Transistor) 드라이버 회로와 각종 동작을 위한 스위치로 구성된 회로로서 그림 3.2의 SW5를 매뉴얼(Manual) 위치에 두었을 때에는 작업자에 의한 수동동작을 수행하고 SW5를 자동(Automatic)의 위치에 두었을 때에는 컴퓨터 제어에 의한 자동 동작을 수행한다. 먼저 수동 동작과정을 살펴보면 SW5를 매뉴얼 위치에 두고 그림 3.3의 SW3과 SW4를 On/Off함으로써 모터를 CW 방향과 CCW방향으로 조작할 수 있다. SW3을 On 했을 경우에는 DC 5V의 전압이 그림 3.2의 1kΩ을 통하여 Q1의 베이스(Base)에 인가되어 Q1을 On시켜 K1 릴레이(Relay)를 구동하여 결국 모터를 CCW방향으로 회전하게 한다. 마찬가지로 SW4를 On 했을 경우에는 DC 5V의 전압이 1kΩ을 통하여 Q2의 베이스에 인가되어 Q2를 On시켜 K2 릴레이를 구동하여 결국 모터를 CW 방향으로 회전하게 한다. 각각의 SW 조작 시 마다 가시성을 확보하기 위하여 D3과 D4 LED로 모터의 회전방향을 표시해 준다. 작업의 동작중에 컴퓨터는 각각의 시간마다 모터의 변위 값을 샘플링하여 A/D 변환 후 파일로 저장하게 된다. 수동작에서 샘플링된 매시간에서의 변위 값들은 일련의 명령어로 변환되어 SW5를 자동 위치에 두었을 때 컴퓨터의 제어신호로서 동작하도록 하는 것이다. 컴퓨터에서 출력한 CW 신호와 CCW 신호는 수동 동작과 같이 각각 Q1, Q2를 On/Off하여, K1, K2를 구동하여 모터의 회전방향을 제어한다.

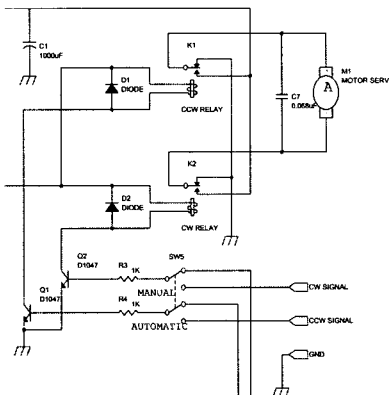


그림 3.2 DC 모터 구동 회로 (A)

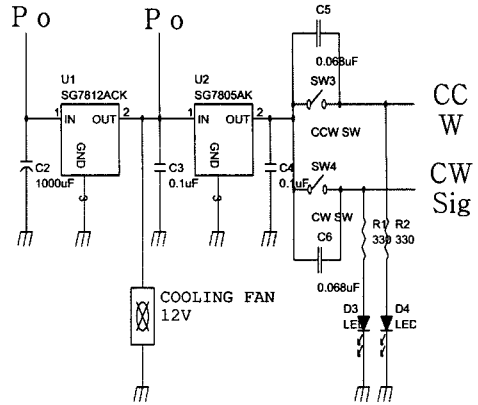


그림 3.3 DC 모터 구동 회로 (B)

3.3 모터의 회전수 검출

본 논문에서는 구현된 모터의 회전수를 검출하기 위해 포토 인터럽터(Photo Interrupter)를 활용하였다. 모터와 같은 축 위에 걸리는 슬릿원판을 포토 인터럽터로 집고, 이것에 의한 빛의 ON/OFF신호를 모터의 회전수로서 검출하는 것이다. 모터의 1회전당의 분해능도 높게 잡을 수가 있기 때문에 본 논문에서 구현된 모터와 같이 저속회전인 때에도 안정적인 출력 신호를 얻게 되며, 고정도의 위치 결정 등에는 불가결의 것이다[7].

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제작된 12bit Counter의 A/D Converter를 위한 센서는 사진 4.1과 같다. 또한 특정 부분에 대한 전문가의 지식을 기반으로 하여 오차의 범위를 효과적으로 제한하였고 그림 4.2는 스텝별 밸브위치에 따른 가스 압력의 변화량을 그래프로 나타낸 것이다. 가로 부분은 스텝별 시간 축, 세로 부분은 산소의 압력이다. 산소의 압력을 0~100으로 보았을 때 각 스텝별 시간마다 밸브의 위치를 조정하여 산소의 압력을 변화 시켜준다. 전 스텝별 시간을 모두 합하면 총 작업시간은 8시간 18분이며, 작업이 완료되면 밸브의 위치는 처음 상태로 돌아가게 된다.

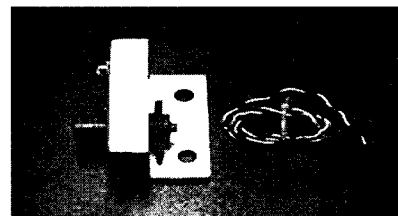


사진 4.1 12bit Counter A/D 변환용 센서

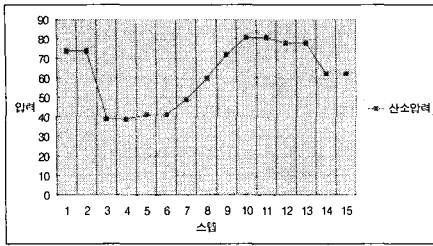


그림 4.2 시간별 압력 변화

그림 4.3은 성장된 단결정을 나열한 것이며 온도제어용 전동 밸브를 사용한 실험을 통해 직경이 30φ로부터 최대 60φ까지 확대되었음을 알 수 있다. 그리고 그림 4.4는 수작업에서 직경을 늘리기 위해 무리하게 밸브를 조정하다 실패한 결정을 보여 준다.

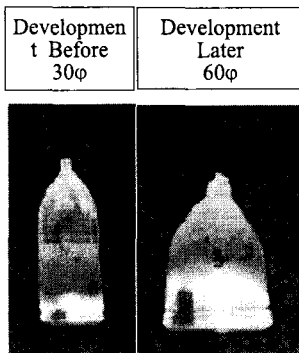


사진 4.3 단결정 성장 결과 비교

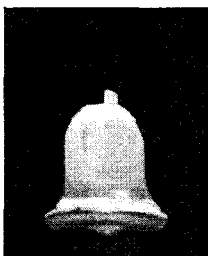


사진 4.4 무리한 작업으로 실패한 결정

5. 결론

본 논문에서는 정밀 제어가 요구되는 단결정 성장 자동화 공정에서 수동 조작으로 인한 밸브 제어의 문제점을 개선하여 효율적인 제어 성능을 보장할 수 있도록 하는 단결정 성장 장치의 자동화 시스템을 구현하였다. 구현된 제어기의 성능은 실제 산업현장의 적용을 통해 확

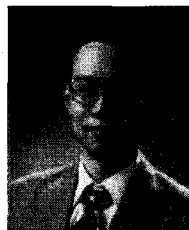
인 할 수 있었으며, 그 결과 직경이 확대된 단결정은 물론 매우 높은 작업 성공률을 획득할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Howard Kaufman, Izhak Bar-Kana and Kenneth Sobel, "Direct Adaptive Control Algorithms," Springer-Verlag, 1999
- [2] B. C. Kuo, Automatic Control Systems, Prentice-Hall, 1991
- [3] C. Canudas De Wit, N. Fixot, "Robot Control Via Robust State Estimated Feedback," IEEE Trans, Automatic Control, Vol.36, No.12, pp.1497-1501, Dec, 2001
- [4] Robert H. Bishop, Modern Control System Analysis and Design Using MATLAB, Addison-Wesley Publishing Company
- [5] S. R. Ahuja, et al., The Rapport Multimedia Conferencing System : A Software Overview, Proc. Of 2nd IEEE Conference on Computer Workstations, PP 52-58, March, 1998
- [6] W. Reinhard et al., CSCW Tools : Concept and Architecture, IEEE Computer, Vol. 27, No 5, pp. 28-36, May, 1994
- [7] Benjamin C. Kuo, DIGITAL CONTROL SYSTEMS, Saunders College Publishing, 2nd Edition, 1992

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[정회원]



- 1965년3월15일생.
- 1990.2 원광대학교 공과대학 전기공학과 졸업
- 1992.2 원광대학교 공과대학 전기공학과(석사)
- 1996.2 원광대학교 공과대학 전기공학과(박사)
- 1996.1 ~ 1997.6 Department of

Electrical and Computer Engineering, University of California Irvine(UCI) 연구원

- 1998.1 ~ 현재 한국전력기술인협회 고급감리원(전력감리원)
- 1998.10 ~ 현재 중소기업청 기술경영력 평가위원
- 1997.3 ~ 현재 청운대학교 부교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자