

# PID 서보제어기를 이용한 곡면유리 자동성형 시스템 개발

유 병 국, 양 근 호

한려대학교 멀티미디어정보통신공학과

## Development of Curved-Glass Automatic Shaping System using PID Servo-Drivers

Byung-Kook Yoo, Keun-Ho Yang

Dept. of Multimedia, Information & Telecommunication Engineering, Hanlyo University

### Abstract

This research presents the parallel control scheme of PID servo-driver for shaping of the curved glass. The designed system consists of a PC, main controller and 11 servo-drivers. Each elements are connected by using RS-232C and 8-bit bus communication. In order to guarantee the stability and the control performance, we use the LM629, a precision PID motion controller, and LMD18200, a H-bridge on the servo-drivers. PC calculates position values of 11 DC motors by using the pre-determined curvature value and offers the user interface environment operator.

리의 convey 시스템을 추가하여 완전한 곡면 강화유리 생산 시스템의 구축에 대한 기본 연구이다.

본 논문의 구성은 II장에서 자동 곡면유리 성형기 시스템의 전체 구성도와 제어에 필요한 파라미터의 계산을 위한 기계시스템의 모델을 분석하며 III장에서는 서보 드라이버단에 대한 언급과 본 연구에 사용된 PID 모터제어 전용 칩인 LM629의 동작 알고리즘에 대하여 소개한다. IV장에서는 주 제어기 동작 알고리즘과 각 부분들의 통신에 대하여 소개한다. V장에서는 개발된 사용자 인터페이스 프로그램에 대하여 서술하고 전체 시스템의 구성도를 보인다. 마지막으로 VI장에서는 결론과 차후 연구에 대하여 서술한다.

### I. 서 론

최근 주거공간의 아름다움을 추구하거나 제품의 질적 또는 형태적 다양화와 함께 곡면유리의 사용은 날로 증가하고 있다. 이러한 곡면유리는 일반적인 평면유리를 적정한 온도로 가열하여 미리 제작된 틀을 이용하여 곡면의 모양을 만들어낸다. 특히 곡률이 만들어진 가열된 유리를 차가운 공기를 이용하여 급속 냉각함으로써 강화유리로 변화시켜야 한다. 이러한 곡면 강화유리 제작기는 기존의 제품이 있으나 매우 고가이며 수입에 의존하는 상태이다. 또한 이 제작기의 단점은 곡률을 다양화 할 수 없는 단점을 가지고 있다. 즉, 하나의 판유리에 하나의 곡률만을 적용할 수 있다는 것이다. 현재 국내에서는 대부분 강판을 이용하여 필요한 곡면 틀을 제단과 용접을 통해 제작하고 이를 이용하여 곡면유리를 생산하고 있다. 이러한 틀 제작은 숙련된 기술자라 하더라도 수일이 소요되는 매우 어려운 작업이며 한 번 사용한 틀은 재생이 불가능한 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 11개의 DC 모터를 사용하고 이 모터에 기계적으로 연결된 스크류에 의해, 틀을 이루는 폴대(pole)의 위치를 컴퓨터에 의해 계산된 위치로 수초 이내에 필요한 틀 형태를 만드는 제어시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 곡면유리를 생산하기 위한 틀의 자동성형에 국한된 것이지만 여기에 공기를 이용한 냉각 시스템의 부차과 진동 및 가열된 유

### II. 자동 곡면유리 성형시스템과 모델링

다음 그림 1은 본 연구에서 개발된 자동 곡면유리 성형시스템의 구성도이다.

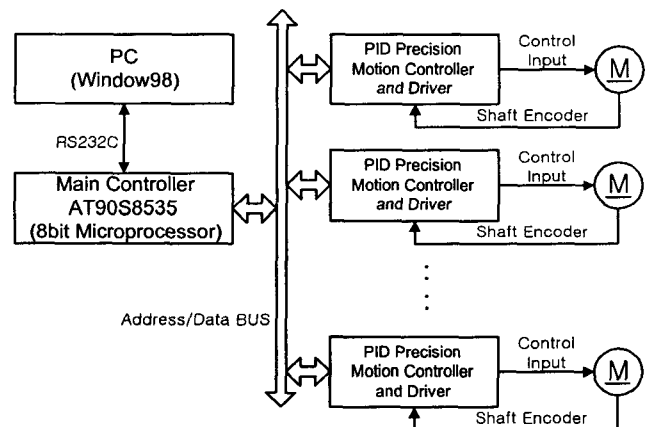


그림 1. 개발된 자동 곡면유리 성형시스템의 구성도

먼저 시스템을 구성하고있는 Personal computer는 작업자가 필요한 곡률반경값을 입력하면 이에 따라 11개의 폴대 위치 값을 계산하며 이 값을 토대로 모터 위치의 목표치를 계산한다. 이렇게 계산된 값은 RS-232C 통신을 사용하여 주제어기(main controller)에 전송시키며 또한 PC를 통해 입력받은 각종 제어 명령을 주제어기에 전송

한다. 주제어기는 PC로부터 두 종류의 데이터를 전송 받는다. 하나는 제어파라미터 값이며 하나는 제어 명령이다. 이 데이터를 11개의 서보 드라이버로 8-bit BUS 통신을 통해 전송한다. 이렇게 전송받은 파라미터나 명령은 서보 드라이버의 동작 제어기에 의해 처리되고 H-bridge 회로를 통해 모터를 동작시킨다. 이 때 각 모터 축에 연결되어있는 shaft encoder 신호를 동작 제어기에 feedback시키게 된다.

먼저 곡면유리의 형태를 결정하는 곡률의 수와 곡률의 중심 위치에 따른 11개의 각 폴대의 위치 값을 계산하기 위해 단일 곡률모드의 경우에 대하여 모델링을 하면 다음 그림 2와 같다.

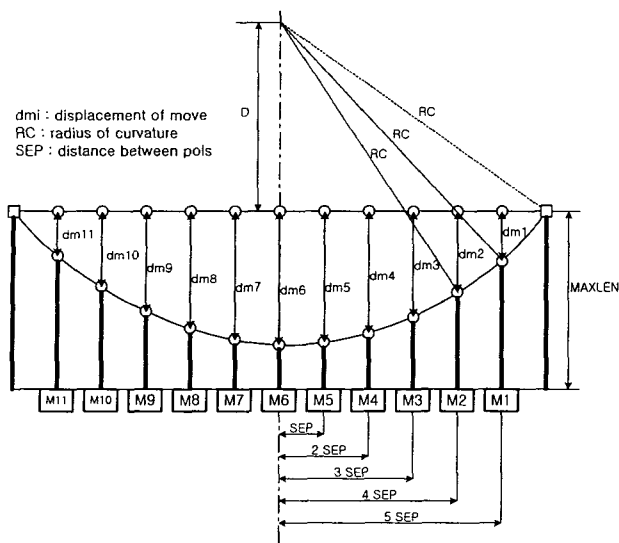


그림 2. 단일 곡률모드의 경우에 대한 시스템 모델링

이 때 각 폴(pole)의 이동 거리는 다음과 같이 계산된다.

$$D = \sqrt{RC^2 - (6 \times SEP)^2} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} dm1 &= dm11 = \sqrt{RC^2 - (5 \times SEP)^2} - D \\ dm2 &= dm10 = \sqrt{RC^2 - (4 \times SEP)^2} - D \\ dm3 &= dm9 = \sqrt{RC^2 - (3 \times SEP)^2} - D \\ dm4 &= dm8 = \sqrt{RC^2 - (2 \times SEP)^2} - D \\ dm5 &= dm7 = \sqrt{RC^2 - (SEP)^2} - D \\ dm6 &= RC - D \end{aligned} \quad (2)$$

이 값을 이용하여 모터의 위치를 계산하여야 하는데 각 모터의 회전위치 값은 다음과 같이 계산되어진다.

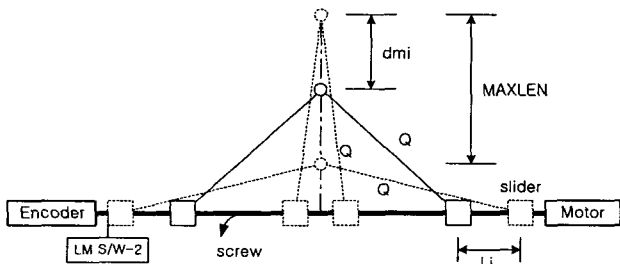


그림 3. 모터의 회전위치 값 계산을 위한 단일 pole 모델링

여기서  $Q$ 는 스크류에 의해 각도가 변하는 bar의 길이를 나타내며  $L_i$ 는  $i$ 번째 모터에 의해 이동시킬 폴의 변위  $dmi$  만큼 이동시키기 위한 슬라이더(slidebar)의 이동 거리를 나타낸다.  $dmi$ 에 의한  $L_i$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$L_i = dmi \quad (3)$$

따라서 스크류를 회전시켜 슬라이더를  $L_i$ 만큼 이동 시켜야 한다.  $L_i$ 에 대한 모터회전위치는 다음과 같다.

$$T_i = \frac{1}{G_r} \times \frac{L_i}{P_s} \quad (4)$$

여기서  $T_i$ 는  $i$ 번째 모터의 회전수(turns)를 나타내며  $G_r$ 은 감속기의 기어비(gear ratio)이며  $L_i$ 는  $i$ 번째 모터에 대한 슬라이더의 이동 거리이고  $P_s$ 는 스크류 나사산의 거리, 즉 스크류의 피치(pitch)이다.

다 곡률모드 및 편 곡률모드의 형태는 다음 그림 4와 같이 다양하게 할 수 있으며 각 방식에 따른 계산식은 생략한다.

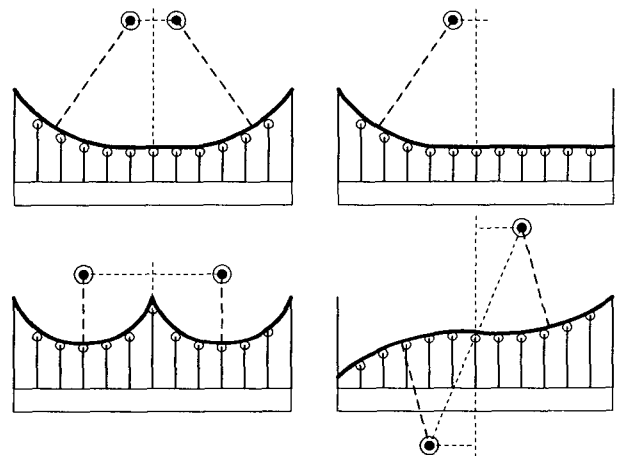


그림 4. 다 곡률모드 및 편 곡률모드의 다양한 형태

### III. 서보 드라이버와 PID 제어방식

#### 1. 서보 드라이버

본 연구에서 설계된 서보 드라이버단의 구성은 다음 그림 5와 같다. 이 회로는 LM629칩을 사용하여 구성되었으며 11개의 드라이버를 구분하는 ship selection 신호에 의해 해당 드라이버가 선택되어지도록 설계되어졌다. 주 제어기와 통신에 사용되는 BUS는 모두 32개의 line으로 구성되며 각 line의 사용은 표 1과 같다. 또한 각 폴의 초기위치와 최대 변위를 센싱하기 위해 각 드라이버에 2개씩의 리미트 스위치가 사용된다.

#### 2. LM629 PID Controller의 PID Control

설계된 드라이버의 LM629 칩은 주 제어기로부터 전송

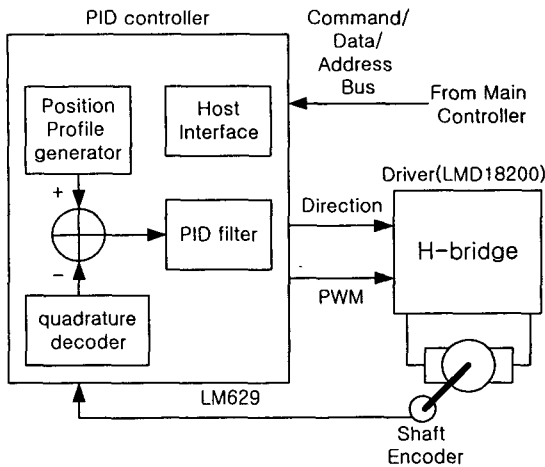


그림 5. 서보 드라이버단의 구성

표 1. 주제어기와의 BUS 통신 구성

Line	Name	Description
1-8	D0 - D7	Data, Commands
9-13	RD,WR,PS,CLK,RST	RD : Read from LM629 WR : Write to LM629 PS : Command/Data Sep. CLK : Clock RST : Reset LM629
14, 15	LM S/W 1, 2	LM S/W 1 : Initial position LM S/W 2 : Max. position
16-30	SEL1 - SEL15	Driver Selection Signal
31, 32	VCC, GND	Power

받은 PID 제어 파라미터를 사용하여 PWM 신호로 DC모터를 제어한다. 주제어기로부터 전송 받는 파라미터는 proportional gain,  $K_p$ , derivative gain  $K_d$ , integral gain  $K_i$ , integration limit coefficient  $I_l$ 이다. 이 파라미터를 이용한 제어입력은 다음과 같다.

$$u(n) = K_p \cdot e(n) + K_i \cdot T \cdot \sum_{n=0}^n e(n) + \frac{K_d}{T_s} \cdot [e(n) - e(n-1)] \quad (5)$$

여기서  $u(n)$ 은 샘플링 시간의 모터제어신호이며  $e(n)$ 은 시간  $n$ 에 대한 위치오차이고  $T$ 는 샘플링 구간이며  $T_s$ 는 미분 샘플링 시간이다. 시스템의 제어에 있어서 기계적 상황에 따라, 그리고 부하의 상황에 따라 각 계수들은 적절히 설정되어야 하며 위치 오차에 비례하는 입력에 사용되는  $K_p$ 는 0이 되지 않아야 하며  $K_d$ 는 과도상태의 특성을 결정하는 것으로 너무 크면 overshoot가 발생되므로 너무 크게 설정하지 않도록 해야한다. 정상상태 오차를 줄이기 위한  $K_i$ , 그리고 입력 중 적분치의 크기가 프로세서내의 레지스터에 오버플로우가 발생되지 않도록 하기 위한  $I_l$ 을 적절히 선택하여야 한다. 본 시스템 설계에서는 11개의 풀과 스크류의 특성이 일정치 않고

제어알고리즘이 LM629에 의해 결정되기 때문에 각 제어 파라미터 값을 시행착오를 통하여 결정하였으며 최종적으로 결정된 제어 파라미터는 다음과 같다.

$$K_p = 20, K_d = 12, K_i = 5, I_l = 1000 \quad (6)$$

특히 LM629의 동작은 제어 파라미터만을 필요로 하는 것이 아니며 궤적에 필요한 파라미터도 필요하게 된다. 즉, 가속도 또는 감속도 값, 등속도 값, 최종 위치 값을 주제어기로부터 전송 받아 그림 5의 position profile generator에 의해 다음과 같은 제어궤적이 생성된다.

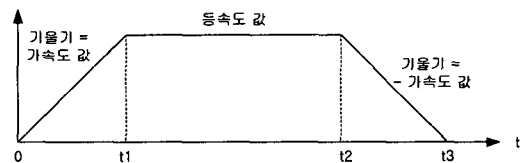


그림 6. LM629의 제어궤적

그리고 드라이버단에서 모터에 가해지는 입력은 시스템의 안정성 확보를 위해 3A(최대 순간 5A), 최대전압 55V 용 H-bridge인 LMD18200 칩을 사용하였다. 이 칩의 사용을 통해 기계적 오류로 인한 과전류시 칩의 온도를 체크하여 자동으로 전원을 차단하기 때문에 특별히 다른 보호회로를 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있다.

#### IV. 주 제어기

본 연구에서 설계된 주 제어기는 범용 제어용 칩인 Atmel사의 8-bit microprocessor인 AT90S8535를 사용하였다. 주 제어기에 탑재된 프로그램 흐름도는 그림 7과 같다.

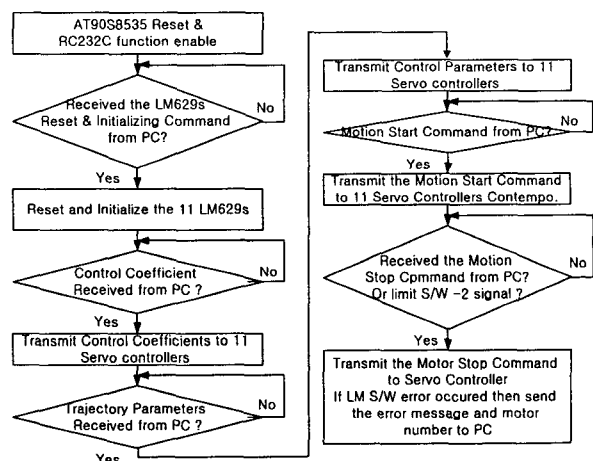


그림 7. 메인 제어기의 프로그램 흐름도

#### V. 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스 프로그램은 Visual Basic으로 개발

되었으며 시스템을 동작시키는 단계는 다음 표 2와 같다.

표 2. 시스템 동작 순서

Step	동작 내용	비 고
1	폴의 위치 결정	자동/수동, 다곡률/단곡률
2	동작 모터 지정	1 ~ 11번
3	통신포트의 초기화	RS232C, PC : Main controller
4	모터위치 초기화	폴의 수평 세팅
5	제어파라미터 세팅	PC -> Main controller -> Drivers
6	동작 개시명령	Motion Start
7	전체 모터 정지	모든 모터를 정지

이러한 목적으로 설계된 화면은 다음과 같다.

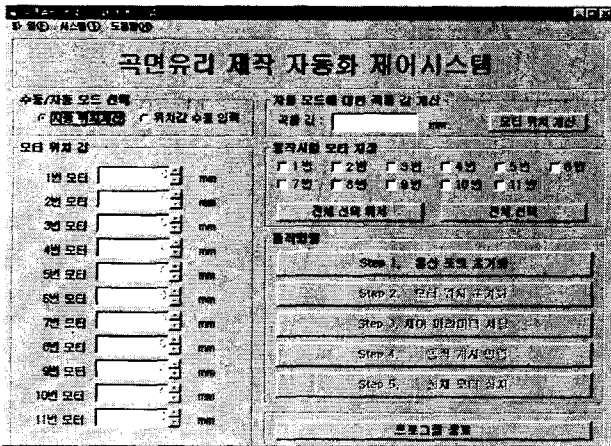


그림 8. 설계된 사용자 인터페이스 주화면

특히 기계적 파라미터(폴 간격, 최대 허용 변위, 스크류의 피치 등)를 설정할 수 있도록 하였으며 제어 파라미터를 사용자가 손쉽게 변화시킬 수 있도록 하였으며 단계별 세팅 화면은 생략한다. 본 연구에서 개발된 시스템의 각 부분과 기계구조물은 다음 그림 9, 10, 11, 12과 같다.



그림 9. 주제어기



그림 10. 서보 드라이버

## VI. 결론

본 연구에서는 곡면 강화유리 생산 시스템 설계의 기

본 단계로서 곡면 틀 성형기의 자동화 부분에 관한 연구이다. 제안된 시스템은 기존의 단순한 곡면만을 만드는

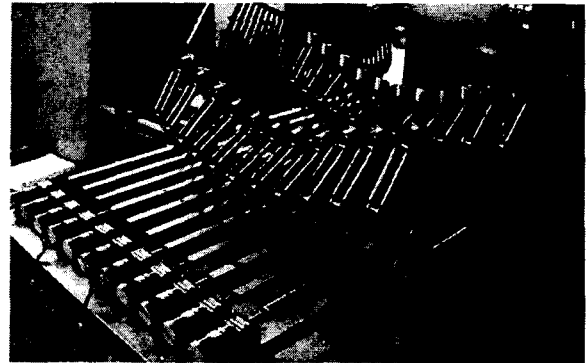


그림 11. 전체 제어시스템

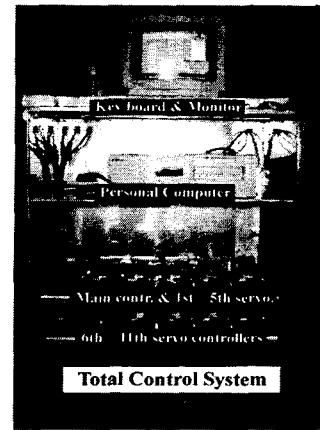


그림 12. 개발된 기계시스템과 연결된 제어 시스템

단점과 틀의 재사용이 불가능하다는 단점을 보완하여 다양한 형태의 곡면모양을 간단한 조작으로 성형할 수 있으며 또한 반복하여 사용할 수 있다. 그리고 이 시스템의 개발로 고가의 수입장비를 대체하는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 앞으로의 연구는 개발된 시스템에 공기 냉각장치와 진동장치를 부착함으로써 강화유리를 생산할 수 있도록 하는 부가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 2002년 중소기업청 기술혁신과제의 중앙곡면유리 위탁과제에 의해 연구된 결과입니다.

## 참고문헌

- [1] B. C. Kuo, "Automatic Control Systems", Prentice Hall, 1995.
- [2] "LM628/LM629 Precision Motion controller", National Semiconductor, 1999.
- [3] "LM628 Programming Guide", National Semiconductor, 1999.
- [4] "LMD18200/18201 3A, 55V H-Bridge", National Semiconductor, 1999.
- [5] 김철오, 임규만, 박생하, "예제로 배우는 AVR", 성안당, 2001.
- [6] 주경민, 박성완, 김민호, "Visual Basic Programming Bible Ver. 6.x", 영진출판사, 2001.