

단일칩 마이크로컨트롤러를 이용한 차압식 유량제어기의 개발

Development of Differential Exhaust Flow Controller using One Chip Microcontroller

박 찬 원* 김 현 식** 주 용 규**
Park, Chan-Won Kim, Hyun-Sik Joo, Yong-Kyu

Abstract

In this paper, a Exhaust Flow Controller (EFC) technology for uniform application of film coater and developer device is introduced that spread and remove photo resister at semiconductor manufacturing process.

Because developed EFC device uses differential pressure sensing method as a differential flow meter and embodied smart A/D conversion by using a one chip microprocessor and devised by feedback Servo control, it has shown excellent performance and stability evaluation, as maximum 2000L/min flow, capability of installation to actual semiconductor equipment.

Keyword: Exhaust Flow Controller, Smart A/D conversion, One chip microprocessor

1. 서 론

In-line 배치처리를 기본으로 하는 최근의 반도체 제조공정은 생산성(throughput)의 향상에 따른 제반 특성의 균일화가 주요한 요소이다. 이때 각 공정마다 가장 빈번히 사용되는 사진 식각공정의 트래킹공정(track process)은 우수한 수율(yield)을 확보하기 위한 주요한 단계이며 특히 포토레지스터(photo resister)를 도포하고 제거하는 coater와 developer 공정에서 균일한 포토레지스터의 도포는 필수적인 핵심기술이다. Coater의 catch cup에서의 유체역학적인 균일한 배기의 분포는 박막의 균일성을 위해 아주 중요한데 이는 정확한 배기제어기(Exhaust Flow Controller : EFC)에 의해 가능하다. 한편, 현재 반도체 제조장비에 주로 이용되고 있는 EFC는 독립된 고가의 유량계를 사용하고 이 정보를 다시 유량제어 시스템으로 제어하는 기술을 주로 사용하고 있어 부피가 크고 가격이 고가이다. 따라서 In-line 공정에서 복수의 coater나 developer를 독립적으로 제작하고자 할 경우 필요 없는 예산의 낭비를 초래하여 경제성이 결여되어

오차범위 내에서의 간단하고 경제적인 EFC의 필요성이 요구되고 있다.[1-2]

본 연구에서는 이를 위한 정밀한 유량제어기술을 개발하고자 하였으며 개발된 EFC는 차동 압력센싱 방식을 이용하여 차압 압력 센서를 통해 측정된 아날로그신호를 A/D 변환하는 아날로그 회로부와, A/D 변환된 디지털 데이터와 공정에서 필요한 제어값으로 프리세팅된 데이터를 비교하여 서보제어기를 통해 유량을 적절히 제어할 수 있도록 하는 단일칩 마이크로프로세서를 포함하는 제어부, 그리고 제어부와 Host PC간의 시리얼통신을 통해 기능 진단 및 제어 데이터를 업데이트 시키는 기능을 갖는 통신부로 구성하였다.[3-4]

소프트웨어는 EFC의 모든 제어를 관리하는 메인 프로그램과, 서보모터 콘트롤부, 측정된 데이터를 계산하고 보정값을 서보모터를 통해 관리하는 콘트롤부, 위의 모든 프로그램사이의 통신을 담당하는 통신부등의 3개의 서브프로그램으로 구성되어 있고, 초기 EFC동작의 기본값을 위해 실험에 의해 만들어진 테이블 함수로 구성하였다.[5]

본 연구에서 개발된 장치의 제작 후 실험 결과 설정치의 변동에 대한 빠른 응답특성과 오차 범위 내에서의 제어특성에 대한 성능과 안정성 평가가 우수하여 실제장비에의 장착이 가능하였다.

* 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수, 공학박사

** 강원대학교 전기공학과 대학원 석사과정

2. 차압식 유량계

베르누이 법칙에 의하면 유체가 흐르고 있는 관로상의 일부를 축소시키면 유체가 그 부분을 통과할 때 속도는 증가하고 압력이 감소함으로써 조리기구 전후 압력차와 유량과의 사이에는 일정한 관계가 성립되어짐으로 이 차압을 측정하여 유량을 구하는 것이다. 기체의 단면적, 유속, 정압은 서로 불가분의 관계가 있으며, 곧 유체유량을 결정하는 중요한 함수로 실제 오리피스 전후 정압을 측정하여 베르누이 방정식과 연속의 법칙에 의해 유량을 산출하게 된다. 개발된 장치는 오리피스 전후단의 도관으로부터 각각 인출된 압력들을 차압 센서로 검출하고 차압에 따른 압력센서의 전기적인 출력신호를 연산기를 통해 연산한 후 이를 다시 유량으로 환산하고 프리세트된 제어하고자 하는 유량 값으로 일정하게 유지하기위해 서보제어기로 버터플라이 밸브를 조정하는 것을 기본 동작으로 한다. 즉 공기흐름의 량을 Q 라고 할 때 본 장치에서 관로 속을 흐르는 유속으로부터 측정된 차압 ΔP 는

$$Q = a\sqrt{\Delta P} \quad \text{또는} \quad \Delta P = \frac{Q^2}{b}$$

의 관계로 나타난다. (a, b ; 상수)

한편 본 장치에서는 균일한 유량의 제어를 확보하기 위하여 프리세트된 유량 값과 측정값을 상시 비교하고 그 차이 값을 서보제어기로 출력하여 유량조절 기구인 버터플라이 밸브를 피드백 제어하여 유량을 제어하는 구조로 구성하였다.[6]

3. 하드웨어의 구성과 동작

3.1 시스템 구성

Fig. 1은 개발된 EFC 시스템의 전체 하드웨어 구성도이다.

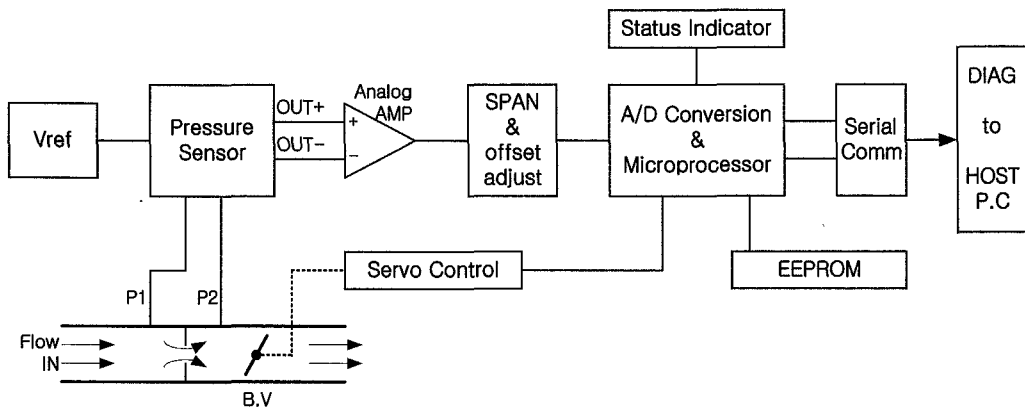


Fig. 1. Block diagram of hardware

회로의 구성은 마이크로 컨트롤러부(제어부)와 센서부, 서보 모터 구동부, 그리고 시리얼 통신을 위한 통신부로 구분 되는데 마이크로컨트롤러는 상품성 있는 모듈화를 지향하여 저가이면서 자체 A/D 변환기를 포함하면서 비교적 성능이 우수한 RISC칩 마이크로프로세서인 MicroChip社의 PIC17C756을 사용하였다. 차압 압력 센서를 통해 측정된 아날로그신호를 A/D 변환하는 아날로그 회로부와, A/D 변환된 디지털 데이터와 공정에서 필요한 제어값으로 프리세트된 데이터를 비교하여, 서보 제어기를 통해 유량을 적절히 제어할 수 있도록 하는 마이크로프로세서를 포함하는 제어부, 그리고 제어부와 호스트 PC간의 시리얼통신을 통해 기능 진단 및 제어 데이터를 업데이트시키는 기능을 갖는 통신부로 구성하였다. 각 부분의 구성과 동작은 다음과 같다.

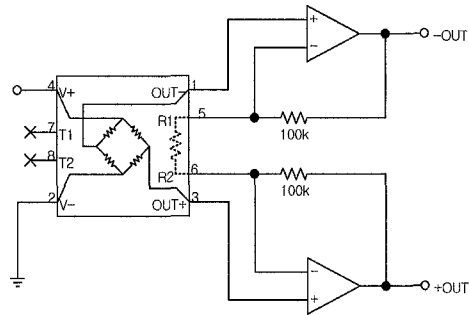


Fig. 2. Pressure sensor and analog circuit.

3.2 센서부

차압식 유량계의 구현을 위해 관로 내의 압력을 달리하는 두 곳의 차압센싱이 필요한데 본 연구에서는 반도체식 소형 차압식 압력센서를 이용하였다. 제작에 사용된 압력센서는 ICsensors社의 브릿지형 차압압력센서인 Model 1210A-001D를 사용하였다. 본 센서는 모듈화에 적합한 저전력 소비형으로서 $\pm 0.5\%$ 의 온도보상 오차와, $\pm 0.1\%$ 의 비선형성을 가진다. 또한 Fig. 2와 같이 외부 차동증폭기의 이득과 Gain set resistor에 의해 압력 센싱의 이득을 조절할 수 있게 되어 있다.

3.3 A/D변환과 디지털제어부

본 개발에서 사용한 PIC17C756A 단일칩 마이크로컨트롤러는 10bit A/D, 50개의 디지털 I/O, 2개의 USART, 그리고 10bit의 PWM 기능을 내장하고 있는 다목적CPU이며, 반도체 공정 데이터의 백업과 센서의 캘리브레이션을 위한 시리얼 불휘발성 메모리(EEPROM)를 보조로 사용하였다.

산업용 표준 24V의 직류 전원을 사용하는 제어부는 레귤레이터를 통해 12V와 5V를 각각 아날로그 회로와 디지털 회로에 공급하며, 진단과 데이터 프리세트를 위한 2쌍의 시리얼 통신포트를 가지고 있고, 공정에서 프리세트되는 유량을 제어하기 위한 DC서보모터구동을 위해 ACD단자를 사용하였다. [7]

3.4 서보 제어부

제작된 시스템에서는 Fig. 3의 직류 비례식 장치를 사용하여 유량을 제어한다. 본 서보 모터는 입력 펄스폭에 따라 그 제어 각을 조절할 수 있으며 입력 펄스가 1.5ms의 폭을 가지면 서보의 각은 0°를 유지하고, 1.0ms와 2.0ms에서는 각각 -45°와 45°의 제어각을 유지하게 된다. Fig. 4는 서보 모터로 인가되는 펄스폭에 따른 서보동작 각도변화를 설명하고 있다. Fig. 5는 +45도의 경우의 실제 측정된 출력 파형을 보여준다.

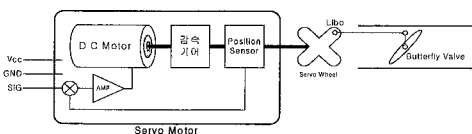


Fig. 3. Servo controller

4. 소프트웨어의 구성과 동작

개발된 EFC장치의 소프트웨어는 Fig. 6과 같이 크게 EFC 메인구동 프로그램과, 서브프로그램으로 나뉘어지며 서브프로그램은 control 과 Servo제어용 프로그램으로 구성되어 Communication

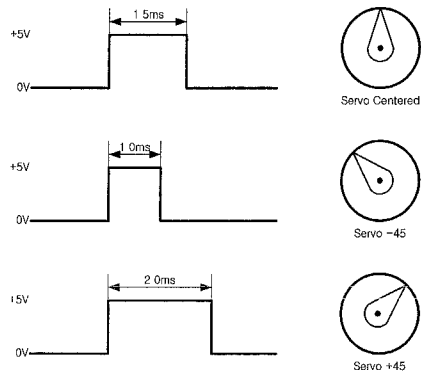


Fig. 4. Servo Positions

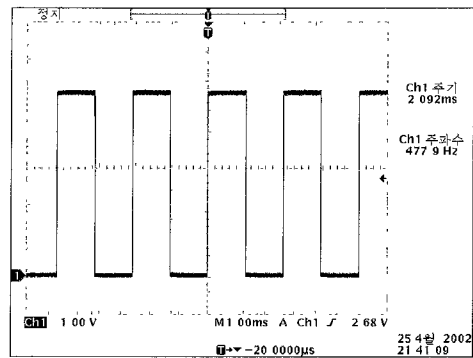


Fig. 5. Waveform of Servo +45° position.

프로그램, Control 프로그램, Servo Motor 구동 프로그램 등이 포함된다. EFC Main 프로그램은 시스템의 KEY 스위치와 LED제어를 위한 루틴과, 각 서브프로그램의 장치들을 모든 서브프로그램들을 인터럽트 관리를 통해 제어하고, 이들의 동작 메모리 영역에 대한 정의 루틴을 포함한다. 또한, 인터럽트 프로그램에서 받아들인 센서 데이터를 변환하는 부분들을 가지고 있다

Communication 프로그램은 EFC 시스템과 제어용 PC간의 통신을 수행하며, EFC 시스템에게 새로운 데이터를 보내거나 이상신호를 PC에게 전달해주는 역할을 한다. Control 프로그램에서는 센서의 온도변화에 대한 보상값을 계산하고, 프리세트되어 구동값으로 변환된 데이터를 서보모터에 전달해주며 제어펄스를 보다 정확하게 보상처리해주는 동작을 한다. Servo Motor 구동 프로그램은 센싱된 차동압력 신호가 CPU에 의해 A/D변환되어 입력되면 Control 프로그램에서 보내진 제어 펄스에 따라 유량을 조절한다.

Fig. 7의 Main 프로그램의 시작에서는 사용할 메모리를 Clear하고, 타이머와 인터럽트를 초기화하고 활성화시키는 마이크로프로세서를 초기화 작업을 수행한다. 또한 서브프로그램을 로딩하고 이들을 각각의 초기화하여 전체 시스템의 동작준비를 한다. EFC 시스템의 동작중 현재의 유량을 측정하여, 프리세트값과 비교하여 버티플라이벨브의 변화가 필요하다면 인터럽트의 발생하여 Control 프로그램에 의해 필요한 보정값이 계산되어지고 서보 모터를 제어하여 유량을 제어한다. 또 이 데이터는 직렬통신을 통해 host PC에 전해지며, PC는 보정

즉, 압력센서로 측정하여 얻어진 차압신호를 환산한 유량을 초기값으로 기억하고, 서보모터의 개폐 상태를 기록하여 닫힌 것을 초기값으로 취한다.

모든 초기값들의 설정이 완료되면 CPU에게 현 상태를 알려주고 실제 동작준비를 하게 된다 일정 주기로 압력센서의 차압을 측정하고 A/D변환하고 CPU에 전달하면, CPU는 필요한 값을 계산하고 반환하여 서보모터의 적정한 제어값을 지시한다.

서보모터 제어 프로그램은 최초 서보모터의 기본 동작을 셋팅하는 것으로 시작한다. 다음으로 서보모터의 정확한 동작을 파악하기 위한 Check 루틴이 시작되는데, 이를 위해 전체 프로그램에서의 모

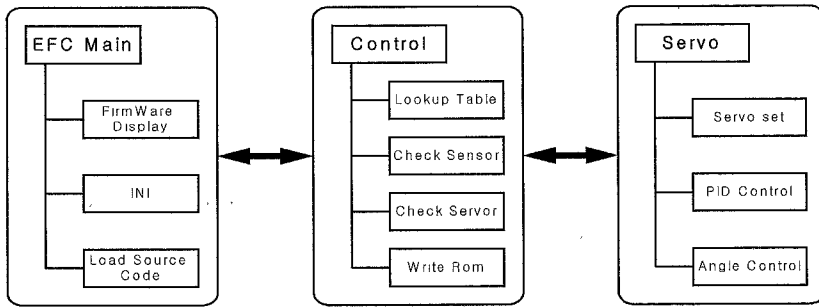


Fig. 6. Block diagram of Software Program

든 데이터를 현재의 초기값으로 기억한다.

한편 Control 프로그램에서는 실험에 의해 만들어진 look-up table을 참조하여 압력센서와 서보모터의 현재상태, 온도 등을 파악한다.

은 인터럽트 값에 대해 영향을 받지 않는 명령을 사용한다. 모터의 Check후에 이상이 없으면 다시 제어부(Main) 루틴에서의 인터럽트를 받아들일 수 있도록 준비하고 서보는 동작 명령을 기다리게 되고 필요하다면 원하는 만큼의 각으로 butterfly 밸브를 움직여 유량을 제어한다. 현재 유지되고 있는 각도에 대한 필스는 유속 때문에 조금씩 변화될 수도 있지만, 이는 Control 프로그램의 PID 제어에 의해 오차를 최소화할 수 있도록 되어있다.

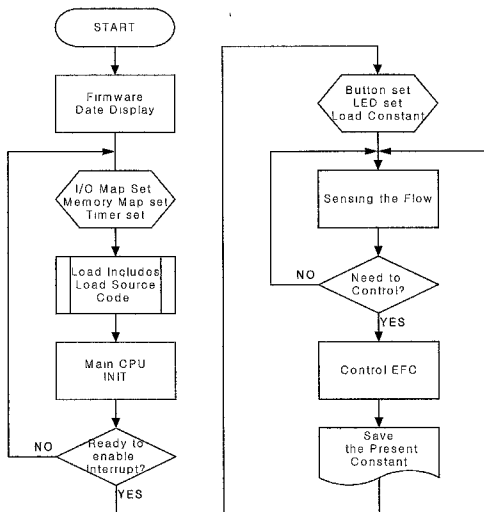


Fig. 7. EFC Main Program

5. 실험측정 및 결과

개발된 EFC 시스템의 성능평가를 위해 실험측정은 200 lpm - 1000 lpm 사이의 유량을 5단계로 나눠 측정하였다. 측정의 비교평가를 위해 설치된 정밀급 유량계는 일본 SMC사의 0.1%급의 정밀유량계를 사용하였으며 배기펌프의 배기량은 상시 2000 - 3000lpm으로 설정하였다

Fig. 8은 EFC장치의 배기유량의 프리세트 값에 대한 실제 장치가 동작하여 측정된 유량값중 700 lpm - 790 lpm 사이에 시간에 따른 응답속도를 보기위한 그래프이다. 기본값 500 lpm을 기준으로 700 lpm으로 약 30초간 동작시키고 200 lpm으로 5초간 동작 후 다시 10 lpm씩 순차적으로 증가시키

단일칩 마이크로컨트롤러를 이용한 차압식 유량제어기의 개발

는 과정을 10번 반복하였다. 그림의 실측에서 나타난 결과와 같이 반도체 coater장치로서 각 단계별 원하는 유량비율을 빠른 응답속도로 비교적 정확한 값을 나타냄을 알 수 있다.

Fig 9의 그래프는 500 lpm과 590 lpm 사이의 유량 제어시 서보 제어를 확인하기위하여 세트된 값에 대한 실제로 유량제어 측정값에 대한 실험 결과이다.

Fig 10의 그래프는 위의 실험을 통해 얻어진 데이터 값을 최대 및 최소값과, 이에 대한 평균치의 비교를 표시한 그래프이다.

EFC장치의 배기유량의 프리세트 값에 대한 실제

장치가 동작하여 측정된 유량값 중 400lpm - 590lpm사이의 실측된 결과를 보여주고 있다

실험에서의 측정은 full scale 1%정밀급 유량계를 배기펌프와 EFC장치사이에 연결하여 측정한 결과이며 그림의 실측에서 나타난 결과와 같이 반도체 coater장치로서의 실용오차 범위 내에서 잘 동작하는 것으로 평가되었다.

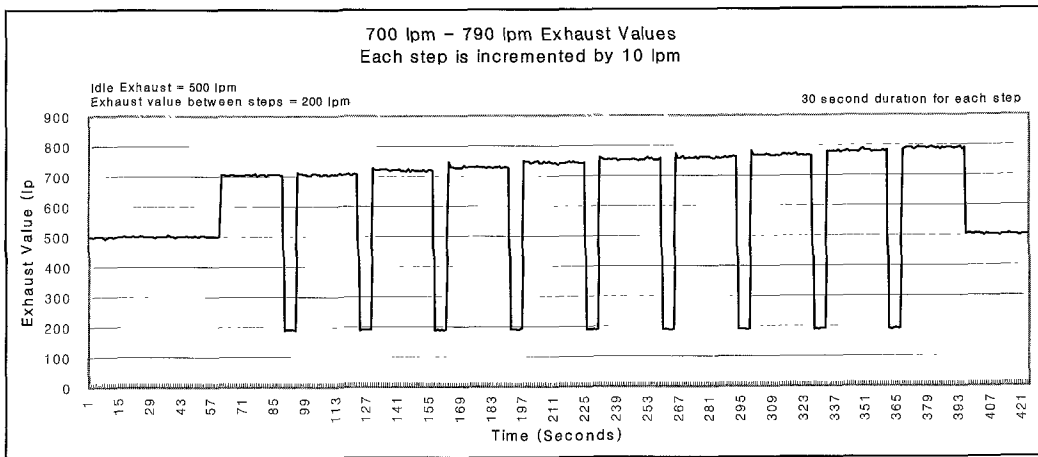


Fig. 8. 700 lpm - 790 lpm Exhaust Values

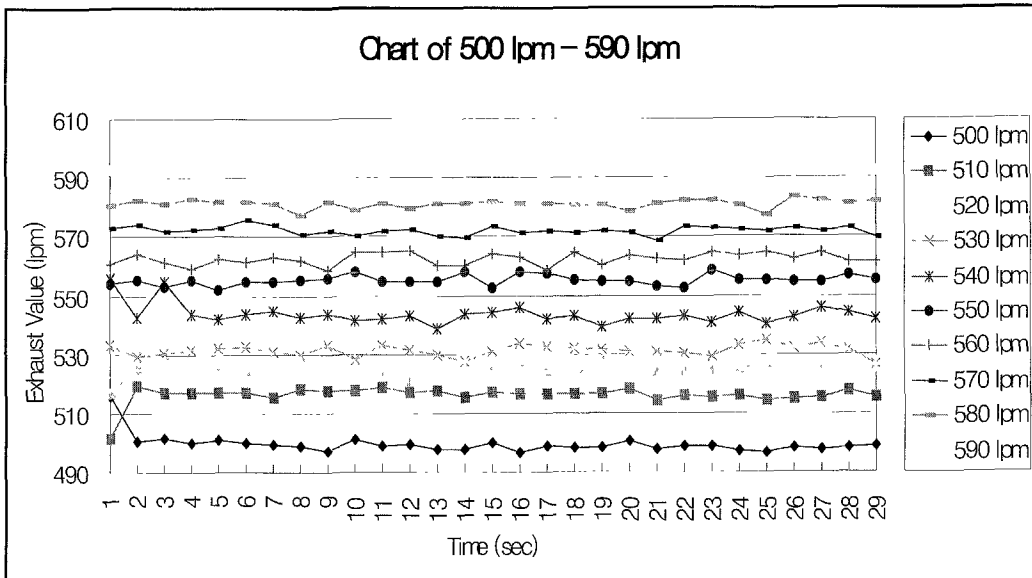


Fig. 9. Test of Various Exhaust Settings. (500lpm - 590lpm)

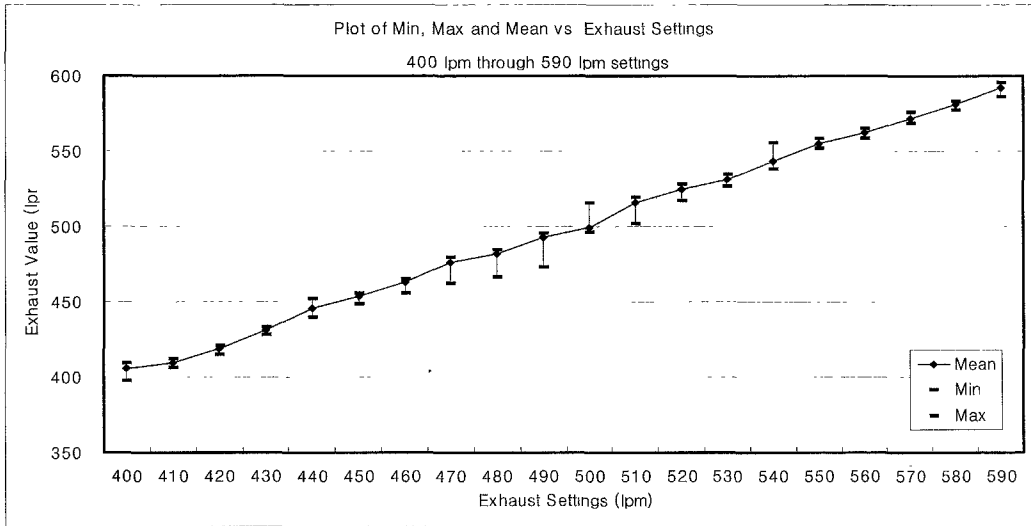


Fig. 10. Plot of Min, Max and Mean vs. Exhaust Settings. (400lpm - 590lpm)

6. 결 론

본 연구에서는 반도체 제조공정에서 포토레지스터를 도포하고 제거하는 coater와 developer 장치에서 도포 막의 균일화를 위한 배기장치의 정밀한 유량제어기술을 소개 하고자 하였다. 개발된 배기 제어장치는 차압식 유량제로서 차동 압력센싱 방식을 이용하고 단일칩 마이크로프로세서로 A/D 변환과 피드백 서보제어로 장치를 구현하여 압력센서를 통해 취득한 차압신호로서 유량에 대한 데이터를 마이크로프로세서에 의해 A/D 변환 및 서보모터에 의한 빠른 동작 명령으로 수시로 변화하는 유량에 대해 실시간 제어가 가능하도록 설계 되었다.

제작 후 정밀한 고가의 유량미터(오차범위 0.1%이내)를 사용하여 비교 실험한 결과, 유량 제어범위(측정결과 1%이내) 내에서의 우수한 제어특성과 유량 변화에 빠른 응답속도로써 만족할만한 성능을 보여 주었으며, 본 장치를 실제 시스템에 적용시 정확한 포토레지스터의 균일한 박막두께의 제어가 가능하여 박막 코팅시에 발생할 수 있는 불균일에 의한 웨이퍼의 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J.Brayzek, "Evolution of smart transducer technology", *Sensor 95*, pp.45-50, 1995
- [2] F.M.L. van der Goes, P.C. de Jong, and G.C.M. Meijer, "Concepts for accurate A/D

- converters for transducers", The 7th international conference on solid-state sensors and actuators, pp.331-334, June 1993
- [3] W.J.Tompkins and G.Webster, *Interfacing Sensor to the IBM PC*, Prentice-Hall Inc., 1988
- [4] David F. Hoeschele, "Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversion Techniques", John Wiley & Sons, 1994
- [5] Kevin M. Daugherty, "Analog to Conversion a Practical Approach", Mc Graw-Hill, INC. 1995
- [6] J.Michael Jacob, *Industrial Control Electronics Applications and Design*, Prentice-hall. Inc, 1989
- [7] David M.Auslander & Paul Saques, "Microprocessor for Measurement and control", 1981