

하이브리드형 질량 유량 제어기의 설계 및 실현

이명의* · 정원철*

Design and Implementation of a Hybrid-Type Mass Flow Controller

Myung-eui Lee* and Won-Cheol Jung*

요 약 본 논문에서는 반도체 제조장비의 핵심 부품 중에 하나인 질량유량제어기(MFC, Mass Flow Controller)를 설계하고 구현하였다. Microchip사의 마이크로컨트롤러(Microcontroller) PIC 16F876을 사용하여 개발된 MFC는 여러가지 문제점을 가진 아날로그(Analog) 방식의 MFC와 고가의 DSP(Digital Signal Processor) 및 고분해능의 AD변환기(Analog to Digital Converter)를 사용하는 디지털 MFC의 장점을 혼합한 하이브리드형(Hybrid-Type)이다. 본 논문에서 개발된 MFC는 크게 센서부(Sensor Unit), 제어부(Control Unit), 구동기부(Actuator Unit)로 구성되었으며, 성능향상을 위한 자동보정(Automatic Calibration) 알고리즘과 표준테이블(Reference Table) 방식을 사용하였다.

Abstract In this paper, an MFC (Mass Flow Controller) which is widely used in many semiconductor manufacturing processes for controlling the mass flow rate of a gas is designed and implemented using the PIC 16F876 of Microchip, Inc. The MFC implemented in this thesis has the form of hybrid-type, i.e., the mixed-type of the analog-type MFC, which has many problems such as low accuracy, and digital-type MFC, which use an expensive DSP (Digital Signal Processor) and an ADC (Analog to Digital Converter) with high precision. The MFC is consists of the sensor unit, the control unit and the actuator unit, and it has used the automatic calibration algorithm and the reference table method for the improvement of the performance.

Key Words : Thermal mass flow meter, mass flow controller (MFC), PIC

1. 서 론

유량(Flow Rate)은 온도(Temperature), 압력(Pressure), 레벨(Level), 습도(Humidity) 등과 함께 산업현장에서 가장 많이 측정되는 측정량 중의 하나이다. 특히, 현대의 산업현장에서는 많은 물질이나 에너지가 유체(Fluid)의 형태를 갖고 공급되고 있으므로 유량을 정밀하게 측정하고 제어하는 것은 매우 중요하다[1]. 그러나, 유체는 고체(Solid)와 달리 속도를 측정하기 위한 기준점의 설정이 힘들고, 흐르는 과정에서 형태가 변형되는 경우가 자주 있으므로 유속이나 유량의 측정은 고체의 속도를 측정하는 것보다 훨씬 어렵고 힘들다[1, 2]. 유량을 측정하는 방법에는 유체의 종류, 물성, 그리고 측정조건에 따라 차압 유량계(Differential Pressure Flow Meter), 용적 유량계(Positive Displacement Flow Meter), 전자 유량계(Electromagnetic Flow Meter), 초음파 유량계(Ultrasonic Flow Meter), 와류 유량계(Vortex Shedding

Flow Meter), 터빈 유량계(Turbine Flow Meter), 질량 유량계(Mass Flow Meter), 가변면적 유량계(Variable Area Flow Meter), 개수로 유량계(Open Channel Flow Meter) 등 여러 종류가 있다[1, 2].

이러한 유량계는 대부분 유량의 질량을 구하기 위하여 유체의 부피나 속도를 측정후 온도와 압력을 고려하여 질량 유량(Mass Flow)으로 환산한다. 그러나, 질량 유량계는 이러한 환산 없이 바로 유량의 질량을 측정할 수 있는 장점이 있다[3]. 또한, 질량 유량계를 사용하여 구성된 질량 유량 제어기(MFC, Mass Flow Controller)는 가스의 질량 유량을 정확하게 측정하고 조절하는 장치로 반도체 제조 전 공정에서 흔히 사용되는 반도체 제조장비의 핵심 부품 중의 하나이다. 이러한 MFC는 가스의 흐르는 양을 측정하는 유량센서(Flow Sensor)와 가스가 흐르는 양을 조절할 수 있는 구동기(Actuator)로 구성되어 있다[3, 4].

과거의 1세대 반도체 장비용 MFC는 단순히 일정한 유량을 공급하는 니들밸브(Needle Valve) 대체용으로 사용되었으며, 원격제어(Remote Control) 기능과 압력 변동에 대한 내성 등이 요구되었다. 2세대 MFC는 집

*한국기술교육대학교 정보통신공학과
Tel: 041-560-1186

적회로(Integrated Circuit) 패턴의 미세화와 웨이퍼(Wafer) 크기의 대형화로 인하여 생산량(Throughput) 향상을 위한 고속화가 요구되었다. 최근에는 고집적도의 LSI(Large Scale Integrated Circuit)를 양산하는 웨이퍼 공정에서 가스의 유량제어가 매우 중요시되고 있으며, 특히 유량을 고속·정밀하게 제어하는 MFC에 대한 요구와 관심이 높아지고 있다. 또한, 3세대 MFC는 이러한 고속·정밀제어 뿐만 아니라 효율적 관리를 위한 네트워크(Network)화와 소형화를 위한 디지털(Digital)화가 요구되고 있다[5]. 이런 추세에 따라 각 MFC 생산업체에서는 디지털화된 모델을 선보이고 있으나 가격이 너무 높으며, 국내 업체의 경우에는 여러 기반 기술의 특허문제 등으로 인해 완제품을 생산하는 업체는 없는 실정이다[3]. 따라서, 본 논문에서는 MFC의 유량센서부(Flow Sensor Unit)와 구동기부(Actuator Unit)의 전반적인 제어를 담당하는 전자회로 제어기에 저가의 마이크로프로세서(Microprocessor)를 사용하여 이를 제어하는 알고리즘을 개발하고, 기존의 아날로그형(Analog-Type) MFC를 보완한 하이브리드형(Hybrid-Type)의 MFC를 개발하고자 한다. 본 논문에서는 이를 위하여 유량센서 측정값에 대한 처리와 구동기 정밀제어를 위한 회로설계, 그리고 이들을 이용한 유량의 고속·정밀제어를 위한 알고리즘을 연구하였으며, 이러한 연구를 바탕으로 MFC를 실제로 구현하여 그 성능을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MFC의 구성과 기본원리를 설명한다. 3장에서는 하이브리드 형

태의 MFC를 설계하고 Microchip社의 PIC 16F876을 사용하여 이를 실제로 구현한다. 4장에서는 개발된 MFC의 성능과 특성을 실험하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. MFC의 개요

이 장에서는 MFC의 구성과 기본원리에 대하여 설명한다. 본 논문에서 구현한 MFC에 사용된 센서(Sensor)와 구동기 방식은 각각 열질량유량(Thermal Mass Flow) 방식과 압전(Piezo) 방식을 사용하였다.

2.1 MFC의 기본 구성

가장 일반적인 형태의 아날로그형 MFC는 Fig. 1과 같이 6부분으로 나눌 수 있다[3, 6].

① 전압 조정기(Voltage Regulator)

외부로부터 적절한 직류전압(DC Voltage)을 인가받아 MFC 전체에 필요한 전원을 공급하며 과전압, 과전류 보호회로를 포함하고 있다.

② 외부 접속장치(External Interface)

현재의 유량 및 경보(Alarm) 발생여부 등을 외부로 알리고, 유량에 대한 설정치를 입력받는다. 아날로그형 MFC의 신호는 일반적으로 0~5[V] 사이의 직류전압으로써 0~100[%]의 유량을 설정한다. 즉, MFC가 0~100 [SCCM]을 제어할 수 있다면 2.5[V] 직류신호에 반응하여 50[SCCM]의 가스가 흐르게 된다.

③ 센서부(Sensor Unit)

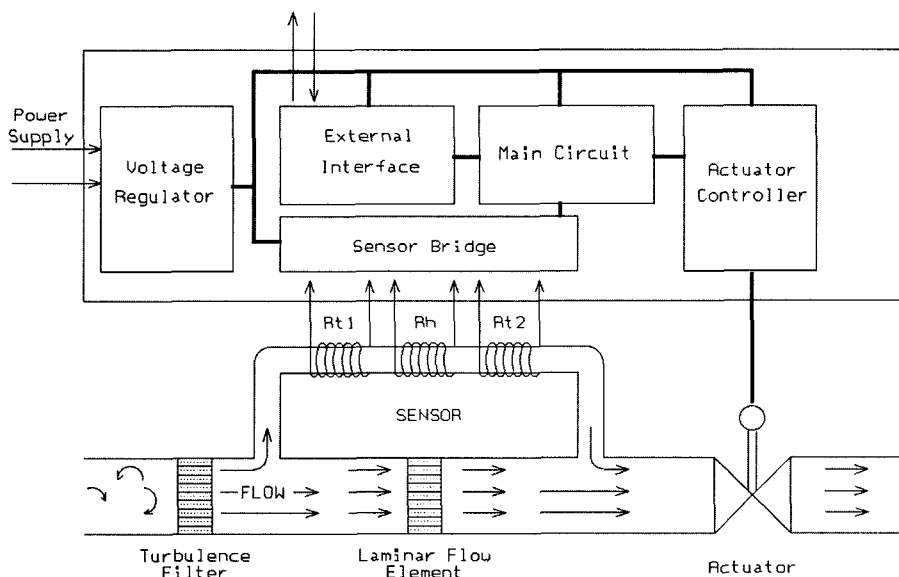


Fig. 1. The Basic Structure of an MFC.

유량을 측정하는 부분으로 부피를 측정하는 방법과 질량을 측정하는 방법이 있다. 부피를 측정하는 경우에는 온도와 압력의 변화에 따라 가스의 밀도가 변하기 때문에 정확도가 떨어지므로 질량측정법이 더욱 정확하다. 질량을 직접 측정하는 방법에는 열선이 부착된 온도센서를 사용하는 열(Thermal) 방식과 코리올리스(Coriolis) 힘을 이용하는 코리올리스 방식 등이 있다[2].

④ 센서 브릿지(Sensor Bridge)

센서부로부터 받은 유량변화에 대한 저항값의 변화를 이용하여 유량을 측정할 수 있는 전압이나 전류의 형태로 변환시켜 준다. 이 회로의 형태는 대부분 브릿지(Bridge) 회로의 형태를 띠고 있으며 정전류형, 정온도형, 정온도차형 등이 있다.

⑤ 구동기 제어기(Actuator Controller)

구동기 종류에 따라서 열 방식, 솔레노이드(Solenoid) 방식, 압전 방식 등이 있다. 열 방식은 느린 응답속도로 인해 현재 거의 사용되지 않으며, 솔레노이드 방식은 적용할 수 있는 유량의 범위가 넓고 유지·보수가 쉽다는 장점으로 인해 아직까지 저가형 MFC에서 많이 사용되어지고 있다. 압전 방식은 압전체에 전압을 인가함에 따라 팽창·수축하는 정도가 변화는 원리를 이용하는 것으로 응답속도가 빠르고 발열이 없어 현재 가장 이상적인 방식으로 많이 사용되어진다.

⑥ 주회로(Main Circuit)

현재의 유량과 설정하고자 하는 유량과의 비교를 통해 구동기 제어기에 적절한 신호를 제공한다. 이 신호의 형태는 직류전압 형태 또는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호 등이다. 기존의 아날로그 방식에서는 센서 브릿지에서 확인된 전압과 유량에 대한 설정치(0~5[V]의 직류전압)를 비교하여 그 전압의 차에 따라 구동기를 조정하는 방식을 사용하였다. 하지만, 유량에

따른 센서의 선형성이 보장되지 못하므로 이에 대한 복잡한 보정회로가 요구되며, 이 회로에서 오차를 줄여 선형성을 유지하는 것이 MFC 전체의 성능을 좌우하게 된다.

2.2 MFC의 기본 원리

MFC의 유량 측정원리를 설명하기 위해 먼저 유량 측정을 실제로 담당하는 센서부를 살펴보자. 센서부의 세부구성은 Fig. 2와 같다[3]. 가스 공급원으로부터 MFC 입력부에 공급된 가스는 난류(Turbulence)인 상태이므로 그대로 센서부에 공급된다면 정확한 유량을 측정할 수 없다. 따라서, 난류필터(Turbulence Filter)를 통과시켜야 안정된 상태의 가스를 공급하게 된다. 안정화된 가스는 센서관(Sensor Tube)과 측관(Bypass Section)의 두 갈래로 나뉘게 된다. 센서관 내를 흐르는 유량은 한계가 있으므로 그 이상의 유량을 측정하기 위해서는 센서관과 병렬로 배열된 별도의 통로를 갖추어야 하는데, 이 별도의 통로를 측관이라고 한다. 측관에 위치한 제한기(Restrictor 또는 Laminar Flow Element)는 유입된 가스를 측관과 센서관에 일정한 비율로 나누어 주는 역할을 한다[2, 3, 5].

Fig. 2에서는 하나의 히터(Heater)와 2개의 센서로 구성된 형태를 보여주고 있다. R_h 는 백금선(Platinum Wire) 등으로 만들어진 히터로 양쪽 센서에 동일한 열을 전달하여 준다. 히터가 없는 형태는 센서가 히터와 온도 센서의 역할을 동시에 한다. R_{t1} 과 R_{t2} 도 역시 백금선으로 이루어진 저항체로서 저항값은 기체의 흐름이 없는 상태에서는 동일한 온도로 같은 저항값을 가지게 된다. 따라서, 기체의 흐름이 없는 상태에서는 브릿지 회로의 전위차(Potential Difference)는 0이다. 기체가 유입되기 시작하면 입력에 가까운 R_{t1} 에서 열을 뺏어

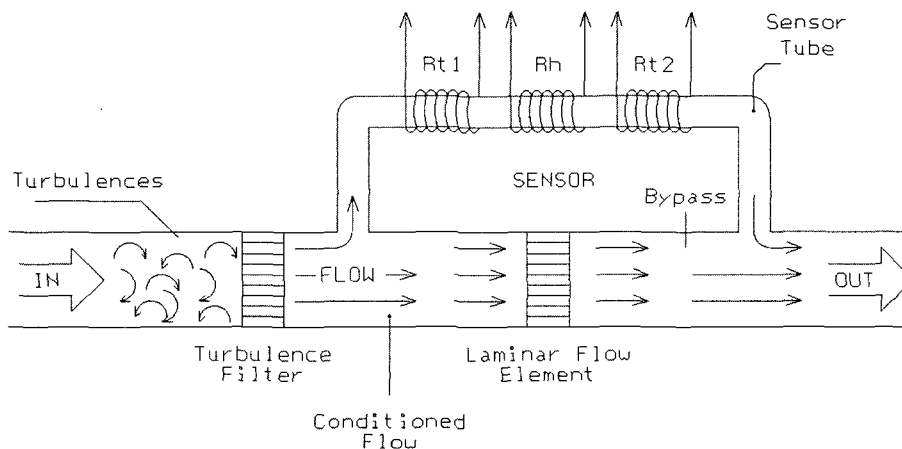


Fig. 2. The Structure of the Sensor Unit.

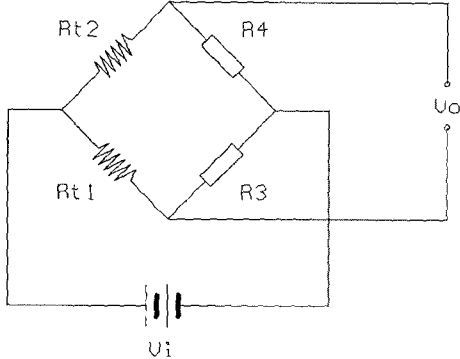


Fig. 3. Bridge Circuit.

기체의 온도는 증가하고 R_{t1} 의 온도는 내려가게 된다. 이 온도의 변화는 유입된 기체의 질량유량에 비례하게 된다. R_{t2} 는 기체의 온도가 상승하므로 열을 거의 빼앗기지 않거나 오히려 올라가는 현상이 생긴다. 따라서, R_{t1} 과 R_{t2} 의 온도차로 인해 저항의 차이가 발생하고 이 차이는 기체의 질량유량에 비례한 값이 된다. 이와 같이 저항차를 이용해 전압을 발생시키는 브릿지 회로는 Fig. 3과 같다. 여기서, R_3 와 R_4 는 정밀한(오차율 $\pm 0.01\%$) 고정저항이다. 따라서, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\Delta T \propto V_o = V_i \left(\frac{R_{t1}}{R_{t1} + R_3} - \frac{R_{t2}}{R_{t2} + R_4} \right). \quad (1)$$

여기서, V_i 와 V_o 는 브릿지 회로의 입력전압과 출력전압이고, ΔT 는 R_{t1} 과 R_{t2} 의 온도차로 다음과 같다.

$$\Delta T = T_2 - T_1 [K]. \quad (2)$$

Fig. 4는 유량의 변화에 따른 센서의 온도변화를 나타

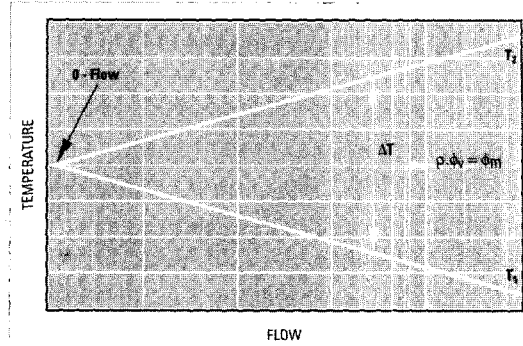


Fig. 4. Flow vs. Temperature.

낸 것이다. 온도차 ΔT 는 다음 식을 사용하여 구할 수 있다.

$$\Delta T = k C_p \rho \Phi_v, \quad (3)$$

또는

$$\Delta T = k C_p \Phi_m. \quad (4)$$

여기서, C_p 는 비열, ρ 는 밀도, Φ_v 는 부피유량(Volume Flow), Φ_m 은 질량유량을 나타낸다. 따라서, 출력전압 V_o 는 식 (1)과 (4)에 의해 유량으로 환산될 수 있다.

3. 하이브리드형 MFC의 설계 및 구현

이 장에서는 기존 MFC의 제어회로를 개선한 하이브리드형의 MFC를 설계하고 구현한다. 개발된 하이브리드형 MFC는 자동보정(Automatic Calibration) 알고리즘과 표준테이블(Reference Table) 방식의 비선형 보정 기술을 적용하여 아날로그형의 MFC보다 성능이 우수

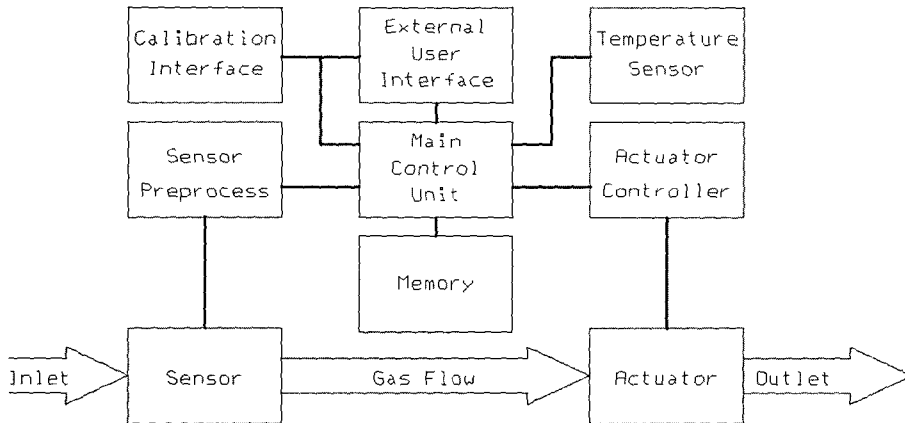


Fig. 5. The Block Diagram of the Hybrid-Type MFC.

하고 보정에 사용되는 시간을 줄일 수 있으며 마이크로 컨트롤러(Microcontroller)를 사용하여 다양한 부가기능을 추가할 수 있는 장점이 있다.

3.1 구성 및 설계명세(Design Specification)

Fig. 5는 본 논문에서 개발된 MFC의 구성도이다.

① 주 제어부(Main Controller Unit)

설계된 MFC의 전반적인 제어를 담당하는 부분으로 Microchip社의 PIC 16F876을 사용하였다. 이 마이크로 컨트롤러는 10[Bit] 분해능(Resolution)의 AD 변환기(Analog to Digital Converter), 10[Bit] 분해능의 PWM 발생기, 8[KByte]의 프로그램메모리(Program Memory), 368[Byte]의 데이터메모리(Data Memory), 256[Byte]의 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), USART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) 등을 내장한 형태여서 소형·저가의 MFC 제작을 가능하게 하였다[7]. 또한 플래시 메모리(Flash Memory)가 내장되어 있어 별도의 외부 기억장치를 필요로 하지 않는다.

② 센서부

2개의 센서 R_{t_1} , R_{t_2} 로 구성된 일본 STEC社의 열식 질량유량센서(Thermal Mass Flow Sensor)를 사용하였다.

③ 센서 전처리부(Sensor Preprocess Unit)

센서부와 함께 정전류형 브릿지 회로를 구성하여 유량이 0~100[SCCM]으로 변화할 때 직류 0~5[V]를 발생하게 하였다. 이 전압의 범위는 PIC 16F876에 내장된 AD변환기의 전압 입력범위이다.

④ 구동기 제어부(Actuator Controller Unit)

주제어부로부터 형성된 제어신호(10[Bit] 분해능의 PWM 파형)를 받아들여 구동기를 작동시키기 위한 0~100[V] 사이의 직류전압을 만들어낸다. 실제 MFC의 구현에서는 0~100[SCCM]을 제어하기 위해 필요한 20~50[V] 사이의 전압을 단계로 제어하였다.

⑤ 구동기

구동기 제어부로부터 직류전압을 받아 실제로 유량을 제어하는 부분으로 일본 STEC社의 압전 방식 구동기를 사용하였다.

⑥ 기억장치(Memory)

MFC의 제어를 위한 프로그램이 저장되는 프로그램 메모리와 프로그램에 필요한 테이블 값이나 각종 데이터를 저장하는 데이터메모리로 구성된다. 이들은 프로그램 실행 중 쓰기 작업이 가능한 비휘발성 기억장치여야 한다. 실제 제작에는 PIC 16F876에 내장된 플래시 메모리를 사용하였다.

⑦ 외부 사용자 접속장치(External User Interface)

유량이나 경보의 설정과 표시, 외부 기타 장치들과의

인터페이스(Interface)를 위한 부분이다. RS-232 직렬통신(Serial Communication) 방식을 이용하여 외부장치에 MFC에 대한 정보를 표시할 수 있으며, MFC 자체에 12키(Key) 방식의 키패드(Key Pad)와 7-세그먼트(7-Segment)를 설치하여 자체에서 유량의 확인과 설정이 가능하도록 설계되었다.

⑧ 보정 인터페이스부(Calibration Interface Unit)

보정모드(Calibration Mode)를 위하여 질량유량계와의 인터페이스를 담당하며, 유량에 대한 정보를 전기적인 신호로 교환한다.

⑨ 내부 온도 검출부(Temperature Sensor Unit)

MFC 내부의 온도를 측정하기 위하여 내부(센서부 부근)에 온도 센서를 가진다. 내부온도의 심한 변화에 의해 발생하는 유량의 오차를 보정하기 위해 필요한 부분이다.

3.2 제어 프로그램

위와 같이 설계 및 제작된 하이브리드형 MFC를 제어하기 위한 프로그램과 성능향상을 위한 자동보정 알고리즘 및 표준데이터블은 다음과 같다.

(1) MFC 제어 프로그램

개발된 MFC의 제어 프로그램은 보정모드와 동작모드(Operation Mode)로 나누어진다.

보정모드는 MFC의 최대조절유량(Maximum Flow Rate), 유량조절간격(Flow Rate Step)에 따라 동작모드에 필요한 구동기 테이블(Actuator Table)과 센서테이블(Sensor Table)을 자동으로 작성하는 모드(Mode)이다. 이러한 테이블(Table)들은 HP社의 Soap Film Flow-meter를 이용한 반복실험에 의하여 얻어진 측정값을 사용하여 작성하였다.

동작모드는 보정모드를 통해 생성된 센서테이블과 구동기 테이블을 이용하여 실제로 유량제어를 수행하는 모드이다. 동작모드가 실행되면 flow_set(N)을 0으로 설정한다. 그러면, 구동기는 완전히 막히게 되고 유량이 전혀 없게 된다. 이후 MFC는 사용자로부터의 설정을 기다리는 대기상태로 들어가게 된다. 이때, 사용자로부터의 유량설정이 들어오면 flow_set(N)에 이 설정값을 적용하게 된다. 여기서, N은 0~100 사이의 변수로써 최대조절유량의 몇 %인가를 의미하며, 현재의 N과 다음 N과의 간격은 유량조절간격을 의미한다. 예를들어, MFC의 최대조절유량이 100[SCCM]이고, N=50이라면 N=50[%]=50[SCCM]을 나타내며, 유량조절간격이 0.5이면 N은 0.5단위로 변화함을 의미한다. 다시 N값을 이용해 구동기 테이블을 참조하여 구동기 제어전압변수(actuator_con)에 그 값을 저장함으로써 마이크로콘트롤

러 내부의 PWM 신호발생기에 필요한 레지스터값을 변경하게 되고 실제 구동기의 제어전압을 변경하게 된다. N 값을 이용해 센서테이블을 참조하여 표준센서검출변수(reference_sensor)에 저장하게 된다. 이 값은 N 이라는 유량이 실제 흐르고 있는 상태에서 센서부에서 검출되는 10[Bit]의 디지털 데이터이다. 그리고, 실제 센서부에서 검출되는 현재의 값을 현재센서 검출변수(present_sensor)에 저장한다. 이제 MFC는 표준센서검출변수와 현재센서 검출변수의 두 값을 비교하여 미세 조정 단계를 거치게 된다. 이 단계에서는 더욱 빠른 응답특성을 구현하기 위해 표준센서검출변수와 현재센서 검출변수의 차이에 따라 구동기 제어전압변수의 증가·감소의 정도를 달리한다. 즉, 두 변수의 차가 크면 큰 값의 변화를 주고, 작으면 작은 값의 변화를 준다. 이러한 동작모드의 흐름도(Flowchart)는 Fig. 6에 주어져 있다.

(2) 표준테이블과 자동보정 알고리즘 방식의 비선형 보정

예를들어 MFC가 0~100[SCCM] 사이를 0.5[SCCM]

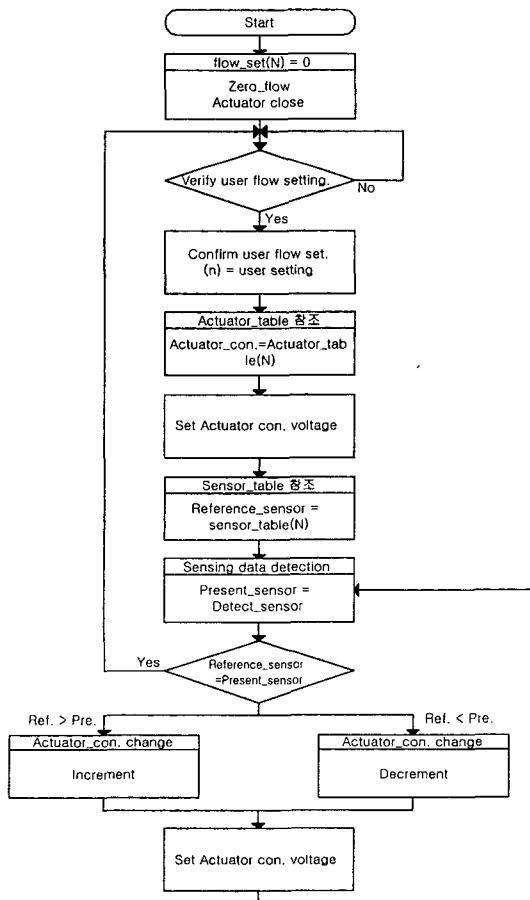


Fig. 6. Operation Mode Flowchart.

의 단위로 유량을 조절한다고 하자. 이 경우에 200단계의 각 유량을 흘릴 수 있는 200개의 PWM 제어용 구동기 테이블과 실제 200단계의 각 유량이 흐르고 있는 상태에서 센서에서 검출되는 0~5[V] 직류전압을 10[Bit] 분해능으로 AD(Analog to Digital) 변환한 값을 저장한 센서테이블을 가리켜 표준테이블이라고 한다. 즉, 정확한 유량이 흐르고 있을때 센서에서 검출되는 값을 저장한 센서테이블과 빠른 응답특성을 구현하기 위해 정확한 유량을 흘릴 수 있는 상태로 구동기를 제어하는 값을 저장한 구동기 테이블을 합쳐 표준테이블이라 부른다. 이러한 표준테이블을 자동으로 생성시켜주는 프로그램 절차를 자동보정 알고리즘이라고 한다.

원하는 유량이 설정되는 순간 MFC는 설정유량에 해당하는 구동기 테이블을 참조하여 구동기를 제어하기 시작한다. 동시에 설정유량에 해당하는 센서테이블을 참조하여 현재 응답되어야만 하는 값과 실제로 측정되고 있는 값을 비교하여 미세조정을 한다. 이러한 표준테이블 방식을 사용하면 센서부의 선형성이 보장되지 않더라도 정확한 유량을 제어할 수 있다.

센서부에서 발생하는 비선형성은 유량의 증감에 따른 열 전달량의 비가 일정하지 못하기 때문이다. 결과적으로 열전달량의 차가 곧 보정에 사용되는 기존의 방식의 경우 전체 제어에 있어 비선형성 보정이 요구된다.

그러나, 테이블 방식을 사용하게 되면 필요한 유량에 대해서 필요한 제어 전압과 이때 검출되어야하는 센서 값을 바로 알 수가 있다. 즉, 특정 유량이 흐르게 할 수 있는 구동기 제어 전압과, 특정 유량이 흐를 때 센서를 통해 검출되어야하는 센서 값을 측정할 수 있다. 따라서, 각각의 유량에 대한 개별적인 테이블을 보유하여 센서의 비선형성과는 무관하게 된다.

4. 실험결과

본 논문에서 설계하고 구현한 MFC의 특성을 측정하기 위하여 질소(N_2) 가스를 대상으로 실험을 하였다. Fig. 7~10는 유량의 초기값과 설정값을 서로 다르게 하였을 경우에 오실로스코프(Oscilloscope)로 측정한 센서와 구동기의 전압이다. Fig. 7과 Fig. 8는 유량이 전혀 없는 초기상태 0[SCCM]에서 각각 40 및 70[SCCM]으로 유량을 제어하는 실제 측정값이다. Fig. 9와 Fig. 10은 초기 유량이 0이 아닌 20[SCCM]일때 각각 40 및 70[SCCM]으로 유량을 제어하는 과정을 측정하였다. 채널(Channel) 1은 MFC의 구동기에 공급되어지는 직류 전압이며 채널 2는 센서부와 브릿지 회로를 거친 출력 전압이다. 센서부의 평균 응답시간은 약 2.8초이며 다른 상용의 유량계와 비슷한 성능을 보였다. 그러나, 이

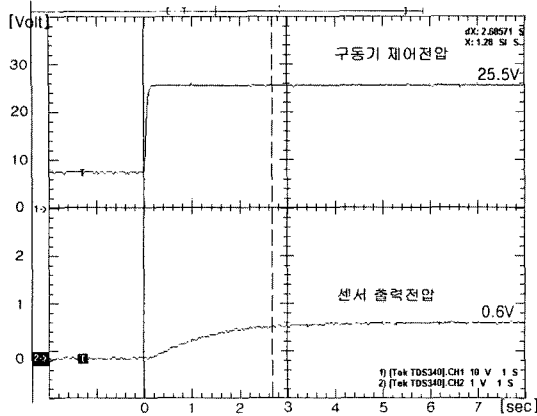


Fig. 7. 0[SCCM] → 40[SCCM].

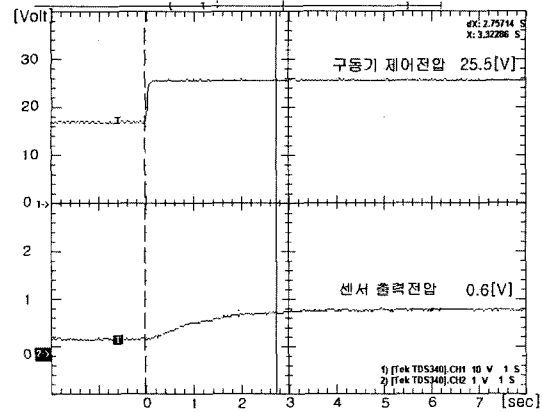


Fig. 9. 20[SCCM] → 40[SCCM].

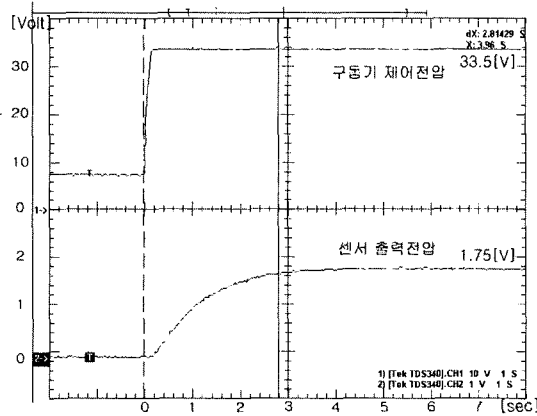


Fig. 8. 0[SCCM] → 70[SCCM].

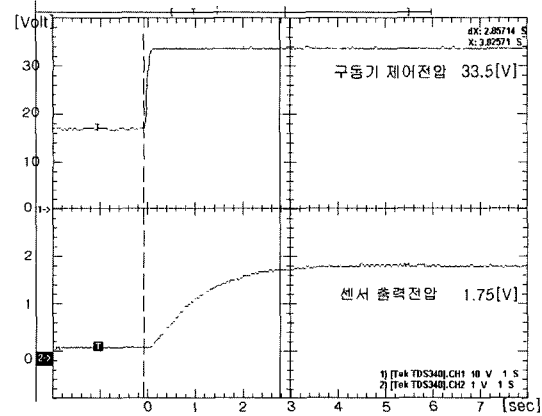


Fig. 10. 20[SCCM] → 70[SCCM].

응답시간은 센서가 질소가스 질량의 증감에 반응하여 열을 교환하는데 걸리는 시간일 뿐이며 실제로 질소가스의 증감이 늦는 것은 아니다. HP社의 Soap Film Flowmeter로 질소가스의 유량을 측정하여 보면 구동기 제어전압의 변화와 거의 동시에 유량의 변화가 생김을 확인할 수 있었다. 또한, 이러한 실험 결과들은 센서에서 검출되는 값이 설정값 변경후 일정한 전압을 유지하는 것을 보여준다. 이는 본 논문에서 개발된 MFC가 안정하게 동작하는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 반도체 제조의 전 공정에서 많이 사용하는 MFC를 설계하고 구현하였다. 고가의 DSP 및 고분해능의 AD변환기를 사용하는 디지털 유량계와 여러 가지 문제점을 갖고 있는 기존의 아날로그 방식을 혼합하여 개발된 하이브리드형 MFC는 유량센서부와 구동

기부의 전반적인 제어를 담당하는 전자회로 제어기로 10[Bit]의 AD변환기가 내장된 저가의 마이크로프로세서를 사용하였다.

또한, 성능향상을 위한 자동보정 알고리즘과 표준 테이블 방식을 채택하여 제어 프로그램을 개발하였으며 이에 대한 특허를 출원하였다. 본 논문에서의 하이브리드형 MFC는 센서부의 비선형성에 대한 문제를 해결하였고, 안정되게 유량을 조절하는 사실을 실제 질소가스를 사용한 실험에서 그 동작을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 어수해, "유량계에 대한 소고", 월간자동계측제어, Jul. 2000.
- [2] 지대성, "유량센서의 기술동양 및 활용", 월간자동계측제어, Jun. 2000.

- [3] 한일영, 질량유량계 선서관의 성능에 영향을 미치는 인자들에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 한국과학기술원, 2001.
- [4] S. J. Kim and S. P. Jang, "Experimental and numerical analysis of heat transfer phenomena in a sensor tube of a mass flow controller", *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 44, pp. 1711-1724, 2001.
- [5] 鈴木 勳, "マスフローコントローラの最新動向", 日本工業出版 計測技術, Nov. 1999.
- [6] L. Lo, M. Tsai, T. Tsai, C. Fan, C. Wu, and R. Huang, "A silicon mass flow control micro-system", *Mec. & Ind.*, vol. 2, 363-369, 2001.
- [7] 신철호, 원칩 마이컴 PIC 16C 5X 핸드북, 성안당, 1994.