
적응형 TMS 면적식 유량계

곽두성* · 김 온* · 조기량*

Adaptive TMS Variable Area Flow Meters

Doo-sung Kwak* · On Kim* · Ki-ryang Cho*

요 약

본 논문에서는 적응형 TMS(굴뚝배출가스 감시시스템) 면적식 유량계를 제안하였다. 이 유량계는 투명한 재질의 유리 테이퍼관 내부에 흐르는 유량의 증감에 따라 상하로 움직이는 플로트의 위치를 테이퍼관을 따라 일직선상으로 배열된 광센서로 검지하고, 설정한 값에 대응한 가스 유량이 가스 분석기에 인입되도록 실시간으로 서보모터 구동회로를 최적 제어하는 방법을 채택하였다. 제안한 유량계는 테이퍼 관에 흐르는 유량을 단계별로 검지할 수 있을 뿐만 아니라 연속적으로 유량을 제어하기 때문에 튜브라인의 막힘 현상이 발생할 가능성을 미연에 방지할 수 있다.

ABSTRACT

A new adaptive TMS variable area flow meter that is used to the environment measuring equipment is proposed. This system is consist of a ball moving within the tube line which corresponds to gas flow and photo sensor array which monitoring the movement of ball. This system can monitoring the position of ball in case of the very few gas flow in various levels. And it can automatically adjust the gas flow at the highest and the lowest level to prevent the tube line blockage.

키워드

TMS flow meter, Photo sensor array, variable area flow meter, taper tube, adaptive flow control

I. 서 론

산업발전과 더불어 아황산가스(SO₂), 일산화질소, 이산화질소 등 산화질소 계열인 NO_x, 일산화탄소(CO) 등과 같은 대기오염물질로 인한 환경공해 문제가 사회적으로 크게 부각되고 있다. 이에 따라 대기환경 개선책 제정 등 정부차원에서의 환경보전을 위한 노력과 함께 대기오염물질을 배출하는 사업체에서도 이들 물질을 허용기준치 이하로 낮추기 위한 노력을 다양하게 전개하고 있다. 이를 위하여 산업현장에서는 가스 분석기를 도

입하여 공해를 유발하는 대기오염물질을 자체적으로 감시하고 있다.

환경계측장비에는 측정 유체의 종류, 검출부의 구조, 측정량, 측정환경, 그리고 측정 목적 등에 따라 다양한 종류의 가스 유량계가 사용된다[1-5].

대기오염물질 분석을 위한 가스 분석기에는 정밀한 성분분석이나 장애 방지를 위하여 일정한 양의 가스가 유입되어야 한다. 그러나 대기오염물질을 배출하는 업체들이 일반적으로 사용하는 on/off 방식의 가스 유량계는 가스가 완전히 흐르지 않은 상태에서만 경보가 발생

하도록 구성되어 있기 때문에 사전 예방 차원의 감시가 불가능하다는 문제점을 가지고 있다. 그리하여, 자동적인 유량 제어에 따른 가스 분석기의 장애 방지는 물론, 고효율, 저비용, 그리고 설치환경에 구애를 받지 않는 유량계의 개발은 그 설비가 갖는 중요성으로 보아 관심을 갖고 연구해야할 분야로 대두되고 있다.

본 논문에서는 위의 사항들을 고려하여 가스 유량의 경감에 대응하여 투명한 재질의 유리 테이퍼관 내부를 상하로 움직이는 플로트의 위치를 광센서 배열을 이용하여 단계적으로 감지하는 기술[6-7]과 가스 분석기에 일정한 가스 유량이 유입되도록 하기 위한 최적제어기술을 접목시킨 적용형 TMS 면적식 유량계를 제안하였다.

II. 대기오염물질 분석을 위한 TMS

그림 1은 굴뚝(stack)에서 배출되는 가스를 분석하기 위한 샘플용 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

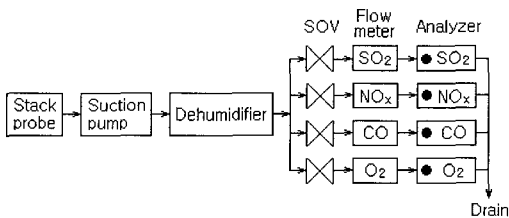


그림 1. TMS에서의 가스 흐름
Fig. 1 Gas flow of TMS

여기에서 유량계를 경유하여 가스 분석기로 유입되는 가스는 분석기의 장애방지나 오염물질의 정밀한 성분분석을 위하여 일정한 흐름(유량)을 유지하여야 한다. 그러나 펌프 고장이나 튜브라인의 막힘, 그리고 튜브의 파손 등으로 인한 유체의 누설로 인하여 가스의 유량이 변동하는 경우에 일반적으로 사용되고 있는 on/off 개념의 유량계를 이용하면 가스 유체가 완전히 흐르지 않은 상태에서만 가스 분석기가 알람을 발생하도록 되어 있어서 장애를 미연에 방지하는 것은 불가능하다.

2.1 적용형 TMS 면적식 유량계

본 논문에서 제안한 적용형 TMS 유량계는 가스 유량

의 증감에 대응하여 유리 테이퍼관 내부를 상하로 움직이는 플로트를 단계적으로 감지할 수 있게 한 광센서 배열, 설정된 일정 유량을 가스 분석기에 유입하게 하기 위한 서보모터 구동신호를 발생하는 주제어부, 그리고 주제어부로부터 서보모터 구동신호를 받아 밸브를 조절하기 위한 DC 모터부로 구성되어 있다.

그림 2는 광센서 배열을 이용하여 테이퍼관 내부에 흐르는 유량을 감지하기 위한 감지부이다. 그림에서 플로트를 넣은 유리 테이퍼관의 아래쪽에서 위쪽으로 향하게 가스를 흐르게 하면 플로트에 주어지는 부력과 플로트에 작용하는 중력이 서로 평형을 이루어 어느 일정한 높이에서 정지하게 된다.

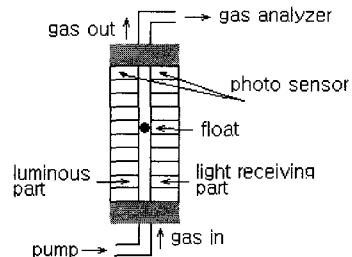


그림 2. 유량 감지를 위한 광센서 배열
Fig. 2 Photo sensor array for gas flow sensing

그림 2에서 플로트의 움직임을 감지하기 위한 광센서 배열은 발광부와 수광부가 서로 마주보게 배치되어 있기 때문에 이 사이(slits)에 플로트가 위치하게 되면, 발광부에서 나온 빛이 차단되어 수광부에 광전류가 흐르지 않게 된다.

이 경우, 주변의 자연광에 의해 영향을 크게 받을 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 적외선 LED의 광도를 높이는 등 몇 가지 방법^[8]이 적용되나, 본 논문에서는 발광부의 빛을 구형 펄스로 출력되도록 변조한 다음에 수광부에서 필터를 이용하여 걸러내는 방법을 이용하였다. 필터 설계는 자연광과 형광등에서 나오는 광의 차이를 DB화하여 선택적으로 차단하도록 설계하였다.

수광부로 입력되는 빛의 세기를 A/D 컨버터를 사용하여 디지털 수치로 변환한 다음 미리 정의한 값과 비교하는 방식을 사용하였다. 현저히 다른 값이 들어오면 프로그램에 의해 미리 차단하여 안정된 동작이 가능하도록 하며, 튜브라인의 막힘이나 펌프의 고장이 아닌 상태에서의 유량의 변동에 대응하여 자동적으로 가스 유량

을 조절할 수 있도록 서보모터를 구동하는 신호를 발생한다.

본 논문에서는 설정한 유량과 테이퍼관 내부에 흐르는 유량과의 차이에 대응한 제어부로부터의 제어신호를 서보모터의 구동에 연동시키기 위한 프로그램을 작성하였다.

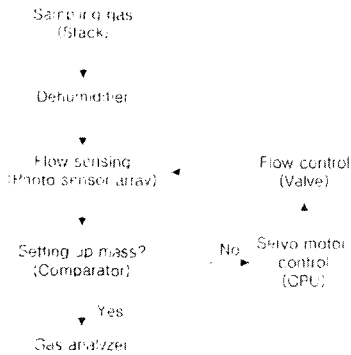


그림 3. 적응형 TMS 면적식 유량계 동작도
Fig. 3 Sequence diagram of adaptive TMS variable area flow meter

그림 3은 stack에서 채취기를 경유하여 유량계에 인입된 가스를 광센서 배열을 이용하여 단계적으로 검지하고, 장애 방지나 대기오염물질의 정밀한 성분 분석을 위하여 일정한 유량이 가스 분석기에 인입되도록 실시간으로 검지하고, 제어하는 적응형 TMS 면적식 유량계의 동작과정을 간략화한 것이다.

그림 4는 적응형 TMS 유량계의 주제어부 회로이다. 광센서 배열에서 검지된 유량과 미리 설정한 유량은 저전력 연산증폭기인 LM358을 이용하여 비교한 뒤에 설정 유량을 만족시키기 위한 서보모터 구동신호를 발생시키기 위하여 CPU(PIC16F/C84)로 입력된다.

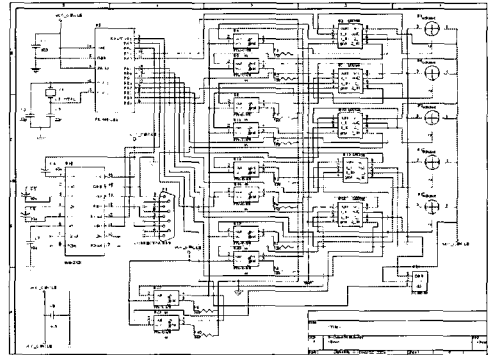


그림 4. 주제어부 회로
Fig. 4 Schematic of main controller

인터페이스부는 감시용 PC나 분산처리 시스템 장비로 데이터를 전송하기 위하여 MAX232 회로를 추가하고, 통신 포맷은 비동기 통신 프로토콜(9600bps)을 사용하여 모든 장비에 일반적으로 장착되어 있는 시리얼 인터페이스를 통해 송수신이 가능하도록 설계하였다.

한편, 유량 검지를 위한 광센서는 14단계(LL, L, 0~9, H, HH)로 배열하여 단계적으로 검지할 수 있도록 하였다. 또한, L(소량), H(다량)의 유량이 검지되면 정보가 발생되도록 하였으며, LL(과소), HH(과다)의 유량에 대해서는 경보음을 발생시키면서 동시에 유량계의 동작을 멈추도록 하였다.

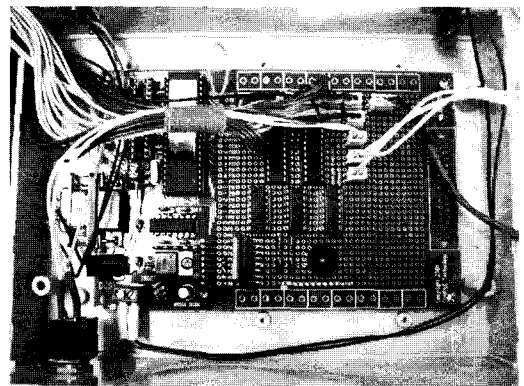


그림 5. 주제어부
Fig. 5 Main controller

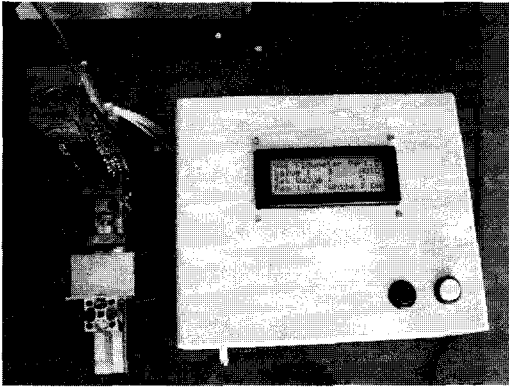


그림 6. 적응형 TMS 면적식 유량계
Fig. 6 Adaptive TMS variable area flow meter

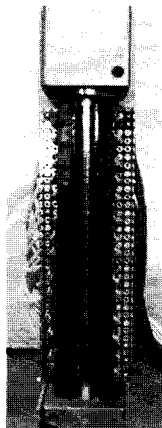


그림 7. 광센서 배열
Fig. 7 Photo sensor array

그림 5, 6, 7은 각각 제작된 제어부와 적응형 TMS 유량계, 그리고 광센서 배열을 나타내고 있다.

2.2 적응형 TMS 면적식 유량계에 의한 유량 제어

환경오염을 일으키는 대기오염물질의 정밀한 성분 분석이나 장애 방지를 위하여 일정한 양의 가스가 가스 분석기에 유입되어야 한다. 그러나 산업체 등에서 일반적으로 사용하는 on/off 방식의 유량계는 펌프 고장이나 튜브라인의 막힘, 그리고 유체의 누설로 인한 유량의 변화가 발생한 경우에도 가스의 흐름이 완전하게 정지한 상태에서만 경보가 발생하도록 되어 있기 때문에 사전 예방 차원의 감시가 불가능하다는 문제점을 안고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서 제안

된 적응형 TMS 면적식 유량계는 먼저, 설정된 유량(유량 설정은 자동, 수동으로 할 수 있게 제작하였음)과 테이퍼관 내부에 흐르는 가스 유량을 비교하고, 그 다음에 설정된 유량을 만족시키기 위하여 광센서 배열을 이용하여 검지한 유량과 미리 설정된 유량과의 차이에 대응한 서보모터 제어 구동신호를 실시간으로 발생하여 서보모터와 연결된 밸브의 잠금 정도에 따라 설정 레벨로의 유량 제어를 가능하게 하도록 되어 있다.

일반적으로 대기오염물질을 배출하는 사업체에서는 용량 2LPM(L/minute) 정도의 흡입펌프(suction pump)를 이용하여 취출한 가스를 분석기에 유입시켜 대기오염 가스 분석을 하고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 TMS 면적식 유량계에서도 동일 용량(2LPM)의 테이퍼관과 흡입펌프 대신에 동일 용량의 더블에어펌프를 이용하여 동작(성능) 확인을 하였다.

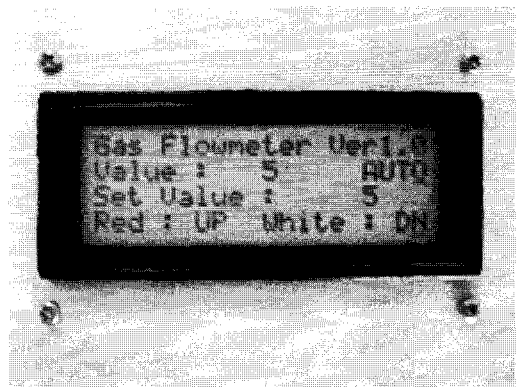


그림 8. 제안한 유량계의 작동 표시 창
Fig. 8 Display window proposed flow meter

그림 8은 적응형 유량계의 설정 모드를 자동(AUTO)으로 한 상태에서의 작동 상태를 나타낸 것이다. 설정 모드를 자동으로 한 상태에서 Power ON을 하면, 초기 유량 레벨은 0~10까지의 11단계 중 중간인 5로 설정되도록 하였으며, UP/DOWN 버튼(그림 6에서의 적색/백색 버튼)으로 초기 유량 설정은 언제든지 변경시킬 수 있도록 하였다.

또한, 유량계의 설치나 시스템의 점검, 수리 시에 서보모터의 위치를 조정해야 하는 경우에는 설정 모드를 수동으로 전환하여 서보모터의 하한이나 상한을 조정할 수 있도록 하였다.

그림 8의 동작 디스플레이에서는 테이퍼관 내부를 흐르는 유량(Value 5)과 자동 모드에 의해 미리 설정된 유량(Set Value 5)이 서로 일치하고 있음을 나타내고 있다. 이는 테이퍼관 내부에 흐르는 현재의 유량이 설정 유량을 만족하고 있음을 의미하며, 이때부터 서보모터는 테이퍼관 내부에 흐르는 유량의 변동이 검지되어 서보모터 구동신호가 발생될 때까지 동작을 정지하게 된다.

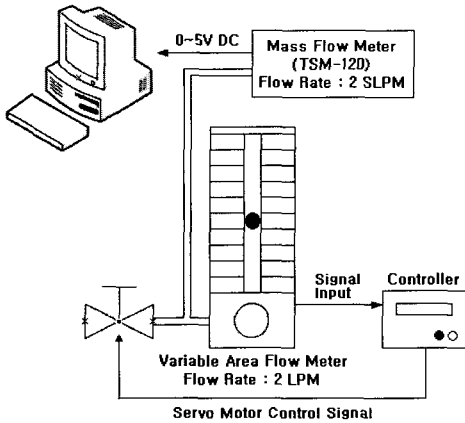


그림 9. MFM을 이용한 유량 데이터 획득 시스템
Fig. 9 Flow data acquisition system using Mass Flow Meter(MFM)

본 논문에서 제안한 적응형 유량계의 성능 확인은 그림 9에 표시한 (주)한국계기티엔에스의 Mass Flow Meter (Model : TSM-120)를 이용한 유량 데이터 획득 시스템을 이용하였다.

그림 9에서 MFM은 TMS 면적식 유량계와 동일한 용량의 2.00SLPM(온도 20°C 대기압(14.7psi)에서 측정된 유량)이며, 유량에 따른 MFM의 신호 출력은 0~5V, 그리고 정밀도 ±0.1%인 16비트 AD 변환기를 사용하여 변환하였다.

그림 10은 수동 모드인 상태에서 유량 레벨을 10으로 설정한 경우, 유량 레벨에 대한 테이퍼관 내부에 흐르는 가스 유량과 MFM의 출력 전압의 변화 과정을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 유량 레벨이 1단계 증가함에 따라 유량은 0.2LPM씩 증가하며, MFM의 출력 전압은 거의 0.5V씩 거의 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

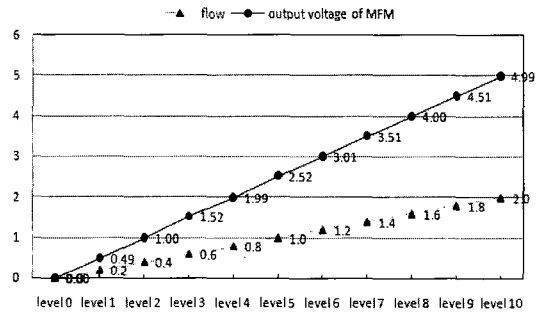


그림 10. 유량 레벨에 따른 유량과 MFM 출력 전압의 변화
Fig. 10 Change of flow and MFM output voltage according to the flow level

한편, 모터의 구동 속도는 프로그램에 의해 조절이 가능하도록 하였으며, 유량계 동작의 안정성을 고려하여 모터의 구동 속도를 설정하였다.

또한, 제안한 시스템에서는 테이퍼관을 중심으로 좌우로 배열한 광센서의 수를 증가시킴에 따라 유량의 검지 정밀도를 향상시킬 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 가스 유량의 경감에 대응하여 투명한 재질의 유리 테이퍼관 내부를 상하로 움직이는 플로트의 위치를 광센서 배열을 이용하여 단계적인 검지는 물론 가스 분석기에 일정한 가스 유량이 유입되도록 하기 위해 최적제어기술을 접목시킨 새로운 개념의 적응형 TMS 면적식 유량계를 제안하였다.

MFM을 이용한 유량 데이터 획득 시스템을 이용하여 제안한 유량계의 성능을 확인한 결과,

1. 제안한 유량계는 광센서 배열을 이용하여 현재 테이퍼관 내부에 흐르는 유량의 단계적인 검지가 가능한 물론, 설정 유량 레벨에 대응한 유량 변동이 자동적으로 이루어진다.
2. 유량 증가는 선형 특성을 나타낸다.
3. 플로트의 위치에 대응하는 가스 유량의 정도를 단계별로 모니터링 PC로 전송할 수 있으며, 또한 되는 표시와 경보음에 따라 튜브라인에 흐르는 유량의 흐름이 미소한 경우에도 감시가 가능하다.

4. 기존의 ON/OFF 개념의 유량계와는 달리 서보모터를 이용하여 상한과 하한 시에도 유량을 자동적으로 조절하기 때문에 튜브라인의 막힘 현상이 발생할 가능성을 미연에 방지할 수 있다.
5. 광센서를 이용함으로써 저비용으로 구성이 가능하다
6. 소형이기 때문에 설치환경에 거의 구애받지 않는다. 등이 확인되었다.

참고문헌

- [1] 황원호, 박상국, 장경영, 2003, “초음파 가스유량계 개발 연구”, 대한기계학회논문집 A권, 27-1, pp. 138-143.
- [2] 김병석, 2003, “유량계의 종류”, 제어계측, 서울, pp. 21-23.
- [3] 김인수, 2004, “가스 계측용 유량계”, 제어계측, 서울, pp. 21-23.
- [4] 황상운, 2007, “초음파 가스 유량계의 역사 (1)”, C&I, pp. 97-102.
- [5] 황상운, 2007, “초음파 가스 유량계의 역사 (2)”, C&I, pp. 108-110.
- [6] 金田 賢二, 2001, “面積式流量計”, 日本國特許廳公開特許公報(A), 特許出願公開番號, 特開2001-153697 (P2001-153697).
- [7] 전성길, 2003, “유량계 · 유량센서와 응용기술”, 제어계측, 서울, pp. 50-53.
- [8] 길주형, 2002, “자동화 · 계측에서의 센서기술과 응용 『각종 센서의 원리와 그 사용법⑨ : 포토트랜지스터』”, 제어계측, 서울, pp. 115-119.
- [9] 길주형, 2002, “자동화 · 계측에서의 센서기술과 응용(14) · 각종 센서의 원리와 그 사용법(5) : 광센서.”, 제어계측, 서울, pp. 115-119.
- [10] 박상진, 2002, “센서의 종류와 그 적용-범용 센서를 중심으로.”, 제어계측, 서울, pp. 2-7.

저자소개

곽 두 성(Doo-sung Kwak)



여수대학교 수산공학과 졸업
전남대학교 대학원 전자통신공학과
공학석사
전남대학교 전자통신공학과 박사과정
현재 : (주)두경수산 대표이사
※관심분야: 최적제어, 공장자동화

김 온(On Kim)



여수대학교 전자통신공학과 졸업
전남대학교 대학원 전자통신공학과
공학석사
전남대학교 전자통신공학과 공학박사
현재 : 프로닉스 대표, 전남대학교 전기 · 전자통신 ·
컴퓨터공학부 겸임교수
※관심분야: 신호처리, 공장자동화

조 기 량(Ki-ryang Cho)



광운대학교 통신공학과 졸업
건국대학교 대학원 전자공학과 공학
석사
오카야마(岡山)대학 자연과학연구과 공학박사
현재 : 전남대학교 전기 · 전자통신 · 컴퓨터공학부 교수
※관심분야: 최적제어, 신호처리, 공장자동화