

비압축성 시간식 질량유량계의 특성에 관한 연구

장 영 철[†]

[†]한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

An experimental study of Incompressible time based mass flow controller

Young Chul Chang[†]

[†]School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

The objective of this research is to design, manufacture and test a mass flow controller capable of measuring compressible as well as incompressible fluid flows based on a 'bucket and stop-watch' method. The basic principle behind such a system is the measurement of time, where the time taken to fill and empty a bucket of known volume is measured. This device should be able to handle fluid flows in the range of 0.1 ml/min to 10 ml/min within an accuracy of $\pm 1\%$. For the flow meter to be able to compete with established designs, it must be not only comparable in cost and robustness, but also very accurate and reliable as well.

Key Words : incompressible flow, mass flow controller, time based LMFC, semiconductor, flow meter

1. 서 론

최근 반도체산업의 초고집적화와 바이오 및 제약산업 등의 기술개발 등은 관련산업 분야에서 정확한 유량 제어기술의 개발을 요구하고 있다. 정확한 유체의 유량 측정을 위하여 부피유량을 측정하기 보다는 질량유량을 측정하는 질량유량계를 사용하는 추세가 급속도로 증가하고 있다. 현재 다양한 방법의 질량유량계가 개발되어 사용되고 있으나 대부분 압축성 유동(gas flow)을 제어하기 위한 시스템에 집중되어 있으며 비압축성 유체의 흐름을 정밀하게 제어하기 위한 액체용 질량유량계의 개발(liquid type mass flow controller; 이하 LMFC로 칭함)은 가스용에 비하여 가격이 비싸고 정밀도가 떨어져서 많은 부분이 개발상태에 머물러 있는 실정이다. 특히 반도체용 LMFC는 모세관을 통하여 흘러가는 액체의 온도차를 측정하여 이를 저항값으로 환산하여 유량을 제어하는 열식[1-2]과 소형의 터빈이 유동의 흐름에 위치하여 터빈의 회전속도에 의하여 유량을 제어하는 체적식[3]이 주류를 이루고 있다. 그러나 이러한

체적식 유량계는 열손실에 따른 가열방식의 제한성과 소형의 터빈을 유로 사이에 위치하여야 하는 복잡한 구조 등으로 인하여 정밀도의 저하와 고가인 점이 단점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 정해진 체적에 채워지는 유체를 inlet과 outlet 밸브의 개폐시간을 조절하여 유량을 제어하는 시간식 MFC⁽⁴⁾의 원리를 이용하여 기존 방식의 LMFC가 갖는 단점을 극복하고 보다 간단하게 유량제어가 가능한 새로운 개념의 "시간식 LMFC"의 개발 연구를 수행하였다. 즉, 시간 및 유속(flow rate)에 따른 질량변화를 관찰하여 본 연구에서 제작한 유량계의 상업성을 조사, 연구하였다.

2. "시간식 LMFC"의 원리

Fig. 1에 시간식 LMFC의 작동원리를 나타내고 있다. 시간식 LMFC는 벨로우즈(bellows) 형태의 검사체적과 검사체적의 입구와 출구에 유체의 흐름을 제어하기 위한 inlet 및 outlet 밸브(on/off 밸브), 벨로우즈형의 검사체적 내부로 액체가 유입되면 벨로우즈 길이가 늘어나서 이를 일정한 위치에서 고정시키는 역할을 하는

[†]E-mail : chang@kut.ac.kr

stopper로 구성되어 있다. Inlet 밸브와 outlet 밸브는 벨로우즈가 stopper 위치에 도달하면 열고(on) 닫힘(off)을 반복할 수 있게 설계되어 있다. 즉, inlet 밸브가 열리고 outlet 밸브가 닫혀 있는 상태에서 액체가 벨로우즈형 검사체적 내부에 충전되고 stopper의 위치까지 도달하면 inlet 밸브가 닫히고 outlet 밸브가 열려서 검사체적내의 액체가 방출된다. 충전과 방출은 하나의 사이클이 되고 한 번의 사이클에 벨로우즈가 늘어난 검사체적에 해당하는 만큼의 액체의 질량이 흘러나오게 된다. 그러므로 흘러나간 액체 유량은 하나의 사이클이 완료된 횟수만큼의 양과 같다고 할 수 있다. 즉, inlet/outlet 밸브의 작동간격을 짧게 하면 주어진 시간에 많은 횟수의 사이클이 진행되어 배출유량은 커질 것이다.

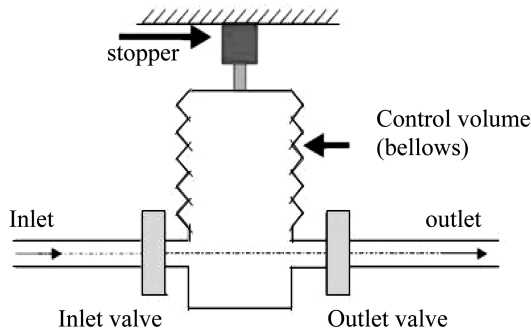


Fig. 1. Schematic layout of time based LMFC.

2. 실험 방법

2.1. 실험장치의 구성 및 측정

Fig. 2에 시간식 LMFC 유량의 선형성을 측정하기 위한 실험장치의 구성을 보여주고 있다. 시간식 LMFC는 전기적인 노이즈를 최소화하기 위하여 DC 12 V와

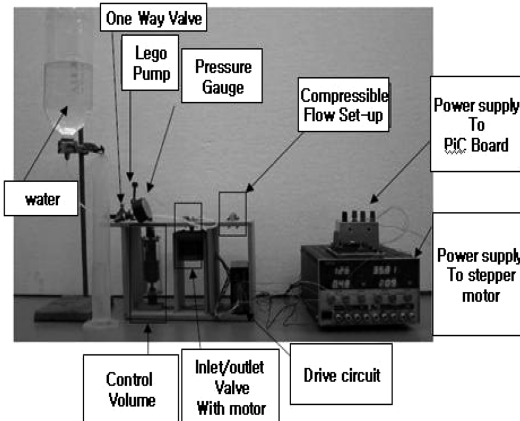


Fig. 2. Experimental lay out for flow rate test.

15 V의 전원으로 작동하며 전자는 밸브작동을 위해 후자는 Main board에 공급되도록 하였다. 시간식 LMFC의 입구와 출구는 1/4"(인치) 튜브로 연결되어 있고, 그 사이에 위치한 검사체적은 2개의 inlet/outlet 밸브(on/off 밸브)의 시간당 개폐횟수에 따라 검사체적에 유체의 충전과 방출기능을 주기적으로 수행한다. 측정용 유체는 물(water)을 사용하였고 LMFC를 통과하고 나온 물의 질량을 측정하여 유량의 선형성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

시간식 LMFC 유량의 선형성을 검증하기 위하여 ball 밸브 회전속도를 증가시키면 단위시간당 밸브의 개폐횟수가 많아지며 따라서 유량이 증가한다. 이러한 예상은 이미 질소가스를 이용한 압축성 유체의 유량선형성 실험에서도 고찰된바 있다[5]. Fig. 3은 밸브개폐 시간을 고정하여 유량을 각각 1, 5, 10, 20, 25 g/min로 일정하게 유지하고 시간의 경과에 대한 질량변화를 측정된 그래프이다. 그림에서 보듯이 LMFC를 통하여 전달된 질량유량은 시간에 비례하여 일정하게 직선적으로 증가함을 알 수 있다.

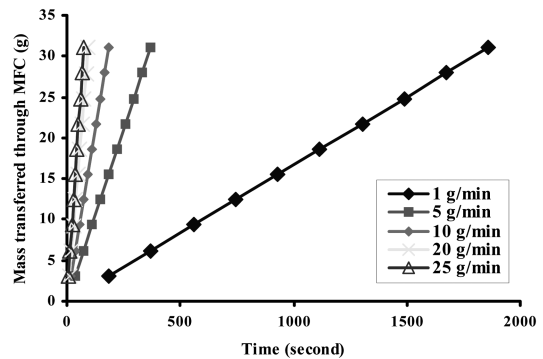


Fig. 3. Mass transferred through MFC as a function of time with different flow rate settings (3 mm bellows movement).

Fig. 4는 1, 5, 10, 20, 25 g/min의 유량 조건에서 검사체적(벨로우즈)을 1.5 mm 길이로 하여 3분 동안 흘러간 유량을 측정된 결과이다. 즉, 질량유량 10 g/min에서 3분간 방출된 물의 질량은 30 g에 일치하여야 하는데 실험결과는 31.5 g이 측정되어 선형성 비율이 5.1% 초과를 나타내어 선형성에서 상당히 벗어남을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6의 측정결과는 같은 유량조건에서 검사체적의 크기를 3.0 mm, 4.5 mm로 증가함으로써 선형성이 이론치에 근접함을 보여주고 있다. 즉 Fig. 4에

서 검사체적을 1.5 mm 길이의 경우 선형성 비율 (5.1%)과 비교하여 0.167%와 0.080%로 크게 감소함을 알 수 있다. 이러한 벨브의 개폐횟수와 검사체적의 크기가 선형성을 유지하는 영역을 시간식 LMFC의 작동 범위로 고려할 수 있으며 상업용 디바이스 개발을 위하여 다양한 실험을 통한 데이터(data)의 축적이 필요한 분야라고 사료된다.

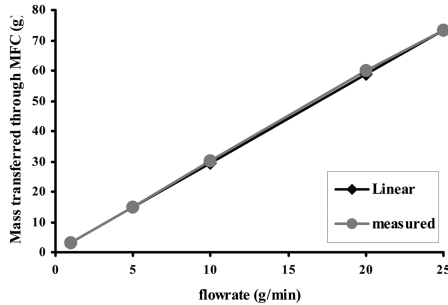


Fig. 4. Mass transferred through the MFC over a 3 minute period as a function of set flow rate, for a bellows movement of 1.5 mm, %Linearity=5.1%.

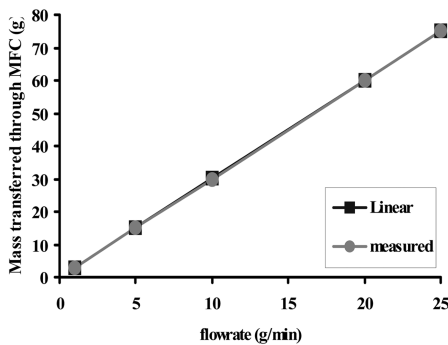


Fig. 5. Mass transferred through the MFC over a 3 minute period as a function of set flow rate, for a bellows movement of 3.0 mm, %Linearity=0.167%.

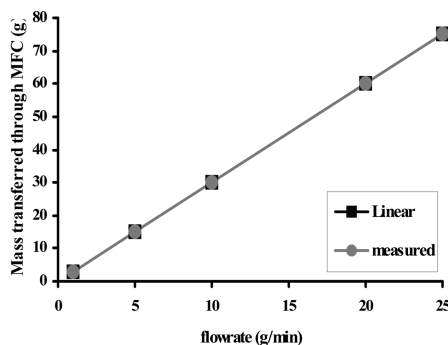


Fig. 6. Mass transferred through the MFC over a 3 minute period as a function of set flow rate, for a bellows movement of 4.5 mm, %Linearity=0.080%.

Fig. 7에 각 유량별 정밀도가 나타나 있다. 일정한 유량을 유지하기 위하여 작은 검사체적(1.5 mm 길이)에서는 더욱 많은 벨브개폐(high frequency)횟수가 필요하고 이는 정밀도를 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. Fig. 7에서 보여주듯이 3 mm와 4.5 mm의 벨로우즈에서는 대부분의 유량조건에서 $\pm 1\%$ 이내의 정밀도를 보이고 있으나 1.5 mm 길이의 벨로우즈에서 20 g/min 이상의 유량범위는 시간식 LMFC의 정밀도가 유지되지 않음을 보여주고 있다. 이러한 결과에 대해 시간식 LMFC는 일정유량을 유지하기 위해서 검사체적의 크기가 작을수록 벨브의 구동횟수를 증가시켜야 함을 제시하고 있다. 또한 이때 작은 벨로우즈 크기와 벨브의 개폐주기의 단축은 벨로우즈 내부의 유체가 완전히 방출되지 못하여 잔류유체를 남기는 현상에 기인하여 이론값과 측정치의 불일치가 심화되고 정밀도가 유지되지 않는 것으로 판단된다.

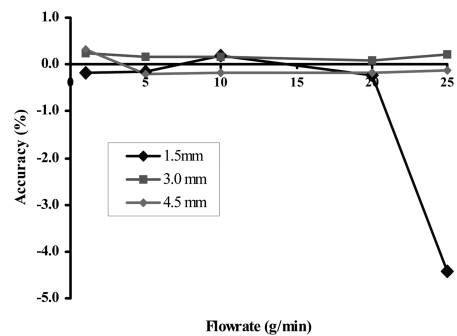


Fig. 7. Accuracy of flowrate at 1.5, 3.0, 4.5 mm of bellows movements.

4. 결 론

본 연구에서는 새로운 개념의 유량제어시스템인 시간식 LMFC를 소개하였다.

정해진 유량조건에서 검사체적의 크기와 벨브의 개폐회수와 관계는 시간식 LMFC의 선형성에 많은 영향을 주는 요인임을 확인하였다. 즉, 작은 검사체적으로 벨브의 개폐주기를 짧게 한 경우는 유체의 방출시 벨로우즈 내부의 유체가 완전히 방출되지 못하고 잔류유체를 남기는 현상이 발생하여 LMFC의 선형성에 좋지 않은 영향을 주었다.

특정 검사체적의 크기에서는 유량의 선형성과 반복성이 잘 유지되었으며 향후 상업용 시간식 LMFC의 개발에 좋은 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

시간식 LMFC의 수명을 늘리기 위하여 유체의 누출이 없고 내마모성을 가진 재료를 이용한 구동부의 제작이 상업화의 성공에 중요한 요소임을 확인하였다.

참고문헌

1. Baker, R. C., Flow measurement handbook, 2000, Cambridge University Press, Cambridge, UK (ISBN 0521480108).
2. Tavoularis, S., Measurement in fluid mechanics, 2005, Cambridge University Press, Cambridge, UK (ISBN 0521815185).
3. Goldstein, R. J., Fluid mechanics measurements, 2nd edition 1996, Taylor & Francis, Washington (ISBN156032306X).
4. G. L. Quarini, T. Chinarak, Y. C. Chang, "Development and characterization of time-based mass flow flow controller", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E, Journal of Process Mechanical Engineering, pp. 207-217, Volume 221, November 4, 2007.
5. 장영철, "반도체용 시간식 질량유량계의 특성에 관한 연구", 반도체 및 디스플레이 장비학회지, 제7권 제2호, pp. 55-58.

접수일자: 2008년 8월 29일, 심사일자: 2008년 9월 11일
게재확정일자: 2008년 9월 22일