

7mm폭의 Micro Valve 자장 및 유동특성 고찰

전용식, 김동수, 신동윤

한국기계연구원, 한국기계연구원, 한국기계연구원

An Investigation into Micro Valve Field and Flow Field Characteristic of 7mm Width

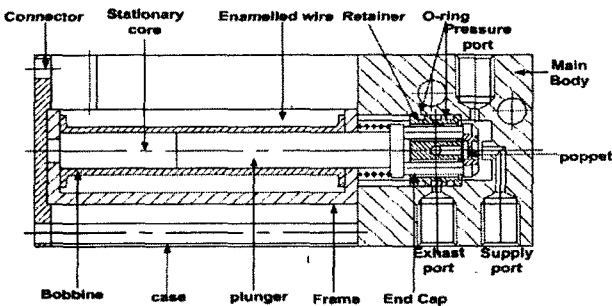
Y. S. JEON, D. S. KIM, D. Y. SHIN
KIMM, KIMM, KIMM

Abstract - Recently, the micro on-off valves have been focused on core technology in the fields of the production line of semi-conductor chips and the micro fluid chips for bio-medical applications. A key characteristics for micro valve, operated by compressed air, are high speed response and great repeatability. Indeed, it is also important to keep the pressure on the cross-sectional area of the poppet to be constant regardless of the fluctuation of the pressure exerted on the ports. In this study, we have designed and analysed the high-speed and high flow rate micro on-off valve using the analogy of equivalent magnetic circuit and Finite Element Method (FEM) respectively. In case of poppet, flow field characteristic was analyzed by the variation of poppet and it was able to display flow field by changing the location of the poppet. Also, we verified possibility of the design through the static and dynamic pressure and the 3D distribution curve of the force by working the front poppet.

1. 서 론

본 논문에서는 등가자기회로법을 이용하여 각종 마이크로 솔레노이드 액추에이터의 기초 설계를 하였다. 설계된 모델을 3차원 유한요소법(3D Finite Element Method)을 이용하여 특성을 해석하고 초기 설계 방법의 타당성을 검증하고자 한다. 그리고 프레임이 솔레노이드 전체를 감싸고 있는 경우, 긴 면을 감싸고 있는 경우, 짧은 면을 감싸고 있는 경우로 나누어 특성을 비교하여 프레임의 구조가 솔레노이드 특성에 미치는 영향을 알아본다.

본 연구에서는 공기압 마이크로 온-오프 밸브를 설계하는데 있어서 내부 유동이 포핏에 미치는 영향을 수치적 기법을 사용하여 해석하고 이를 통하여 공기압 마이크로 온-오프 밸브의 성능을 검증하고 최적의 작동조건을 찾고자 하였다. 그림. 1은 마이크로 온-오프 밸브의 설계도이다.



〈그림 1〉 Schematic Diagram of micro On-Off valve

2. 솔레노이드 액추에이터의 설계 및 해석

2.1 등가자기회로법을 이용한 솔레노이드 설계

일반적으로 솔레노이드 액추에이터의 설계를 위해서는 최소흡입력, 정격스트로크, 정격전압, 전압변동, 정격파워, 시간정격, 온도상승, 주변온도, 코일절연종류, 제한치수 등이 주어진다.

〈표 1〉 Design specification

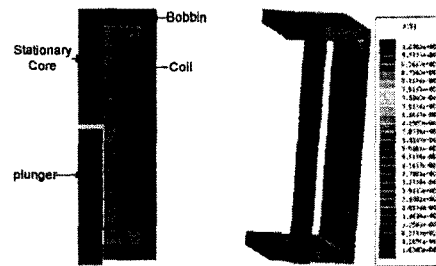
최소흡입력	1.3[N]	시간정격	1
스트로크	0.3[mm]	온도상승	80°C
정격전압	24[V]	주변온도	20°C
전압변동	90-110[%]	코일절연	A종
정격파워	0.35[W]	제한치수	20[mm]

〈표 2〉 Design result

플런저	가로	4.4[mm]
	세로	1.64[mm]
코어	가로	4.5[mm]
	세로	1.7[mm]
프레임	두께	0.72[mm]
	높이	21.5[mm]
권선	코일직경	0.05[mm]
	두께	1.47[mm]
	높이	18.5[mm]
	턴 수	5698 [turn]
총 저항	1679 [Ω]	
전류	0.0143[A]	
소모전력	0.343[W]	
온도상승	50 °C	
기자력	81.4[At]	

2.2 차원 유한요소법을 이용한 특성 해석

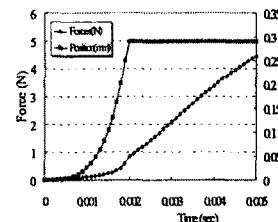
먼저 설계된 데이터를 검증하기 위해 상용 프로그램인 Maxwell을 이용하여 정특성과 동특성 해석을 시행하였다. 특성해석 시 정특성해석은 공극 0.3[mm], 전류 0.0143[A]에서 행하였고, 동특성해석은 입력전압 24[V], 권선의 전체 저항 1679Ω에서 행하였다. 그리고 플런저와 코어는 QMR-5L, 그리고 프레임은 순철을 사용하였다.



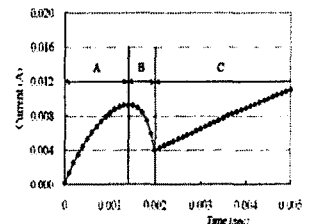
〈그림 2〉 Analysis model and magnetic flux density

플런저에 작용하는 흡입력은 1.5[N]으로 나타났다. 이는 설계 목표 값인 1.3[N]에 비해 충분하나 전압 변동을 고려했을 때는 0.1[N]정도 오차가 나타났다. 이는 기자력이 충분하지 않기 때문이라 생각한다.

그림 3은 동특성 해석 결과 얻어진 시간-변위, 시간-흡입력 곡



선을 나타낸다.



〈그림 3〉 Force and Position

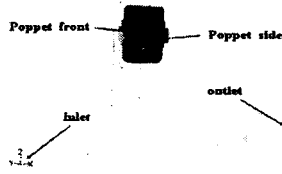
〈그림 4〉 Current

그림 4는 시간-전류곡선을 나타낸 것이다. 플런저는 약 0.5ms 후에 이동을 시작했으며, 2ms 후에 이동을 완료하였다.

3. 밸브 내부 유동장에 관한 수치해석적 연구

3.1 계산영역 및 경계조건

본 연구에서는 마이크로 온-오프 밸브 내부 유동장 특성을 파악하기 위하여 poppet에 작용하는 유동력과 이의 분포를 중심으로 수치계산을 실시하였다.

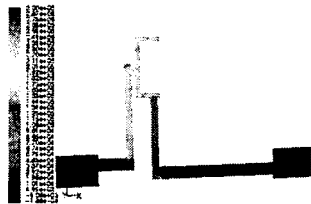


〈그림 5〉 Fluid area of micro On-Off valve

그림 5은 마이크로 온-오프 밸브의 유체가 흐르는 부분이다. 유동장 해석을 위한 격자는 사면체 격자와 육면체 격자를 혼용한 hybrid격자를 사용하였으며, 격자수는 약 120,000개의 element를 생성하여 수치계산 하였다. 유동장 입구의 압력을 0.3MPa로 고정된 상태에서 스트로크를 변화시켜 해석 하였다. 작동유체는 공기(비열비 1.4)이며, 입구 경계조건은 pressure-inlet, 출구 경계조건은 pressure-outlet 으로 대기압을 설정하였다. 포핏의 스트로크범위는 $0 \leq x \leq 0.3$ 로 가정하였다.

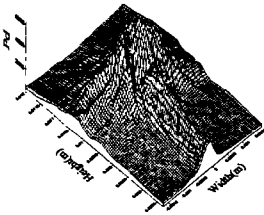
3.2 수치해석 결과 및 고찰

그림 6은 포핏이 최대 개방(stroke=0.3)된 상태의 정압분포를 나타낸 것이다.

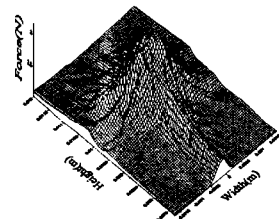


〈그림 6〉 Static pressure distribution

그림 7은 완전 개방상태에서 포핏정면이 받는 동압분포를 나타낸 것이다.



〈그림 7〉 Dynamic pressure



〈그림 8〉 Force distribution

그림 8은 완전 개방상태에서 포핏정면이 받는 힘을 3차원 그래프로 나타낸 것이다.

완전개방 상태에서 발생하는 최고 힘은 약 3.17N 정도이며 포핏의 중앙부에서 발생함을 알 수 있다. 포핏정면에 작용하는 전합력(total force)은 약 1.16N 이었다.

완전개방 상태에서 마이크로 온-오프 밸브의 출구유량을 고려하면, 마이크로 온-오프 밸브의 작동압력인 0.3MPa에서 실험을 통해 얻어진 출구의 유량은 약 1.6×10^{-4} l/s 이었다. 이 실험결과를 토대로 수치해석에서 유량을 계산하였으며 그 값은 표 3과 같다.

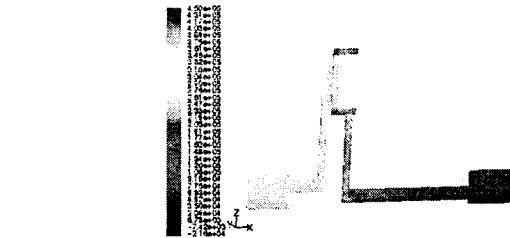
〈표 3〉 Flow rate of each position

Cross sectional area location			
Inlet	Hole A	Outlet	Experiment(outlet)
2.15×10^{-4}	1.80×10^{-4}	1.75×10^{-4}	1.66×10^{-4}

수치해석 결과 구한 출구유량은 실험유량과 비교하여 출구유량을 0.09×10^{-4} 정도 과대평가하는 것으로 나타났다.

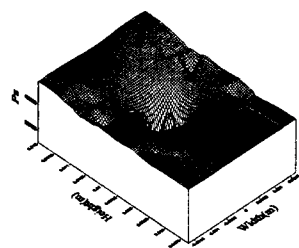
그림 9은 포핏이 완전히 닫힌 상태의 정압분포를 나타낸 것이다.

그림 10은 스트로크가 0.05mm인 경우 다른 양상을 보이고 있다. 상기의 경우에는 중앙부가 상승하는 형태의 정압분포곡선을 가지고 있었으나, 이 경우는 중앙부로 갈수록 감소하였다가 다시 원래의 압력을 회복하는 형태를 보이고 있다. 그리고 입구의 압력에 비하여 포핏정면에서의 정압이 4.5×10^6 까지 상승되어 있다.

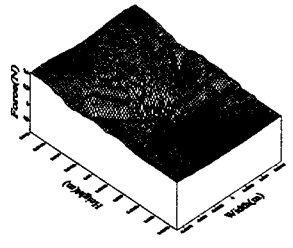


〈그림 9〉 Static pressure distribution at center plane

또한 대칭성을 고려하면, 상기의 완전개방의 경우는 정압분포가 비대칭적으로 분포하였으나, 이 경우는 거의 포핏 중앙부에서 대칭성을 유지하며 정압이 분포되어 있음을 알 수 있다.



〈그림 10〉 Static pressure



〈그림 11〉 Force distribution

그림 11은 밸브가 거의 닫힌 상태인 포핏정면의 스트로크가 0.05인 경우 힘의 분포는 포핏정면 상단에 더 크게 작용하고 있으며 포핏정면의 중앙부에 작용하는 힘이 상대적으로 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 힘의 크기도 순간집중하중을 고려할 때 최고 5N까지 작용하고 있다.

밸브가 완전히 닫히기 직전인 포핏정면의 스트로크가 0.05mm인 경우에 포핏정면에 작용하는 전체 작용력은 약 2.89N으로 나타났다. 즉 해석상에 발생하는 오차를 고려하여 5% 정도의 과대평가 하였다고 가정을 하더라도 밸브를 완전히 닫기 위해서는 적어도 2.8N 보다는 큰 힘을 포핏에 가해야 한다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 자기장 해석과 유동장해석을 통하여 마이크로 온-오프 밸브의 최적설계를 목표로 하였다.

3차원 유한요소법을 이용한 자기장 해석으로 설계의 타당성을 검증하였다. 해석결과 플런저의 이동이 완료되기까지 0.002sec의 응답 시간 및 0.336Watt의 소비전력도 확인할 수 있었다.

마이크로 온-오프 밸브 내부 유동장은 포핏 하부의 수직관 끝단에서 유동은 충격과 시스템을 형성하면서 분출되고 출구로 진행하면서 과팽창 됨을 알 수 있다. 또한 포핏 정면에 작용하는 전합력과 힘의 불균형 정도를 파악 할 수 있었다.

Valve ON (stroke=0.3mm)일 때 흡인력은 약 1.5N 이었으며 포핏에 작용하는 전합력(total force)은 약 1.16N 이므로 밸브를 개방하기에 충분한 힘을 얻을 수 있는 것을 확인 할 수 있었다.

Valve Off (stroke=0.05mm)일 때 흡인력은 약 4.2N 이었으며 포핏에 작용하는 전합력(total force)은 약 2.89N 이므로 밸브를 폐쇄하기에 충분한 힘을 얻을 수 있는 것을 확인 할 수 있었다.

〈참 고 문 헌〉

[1] B. J. Sung, E. W. Lee and H. E. Kim, "Empirical Design of an On and Off Type Solenoid Actuator For Valve Operation", KIEE International Trans on EMECS, Vol 4-B, No. 2, pp39-46, 2004
 [2] Herbert C. Roters, Electromagnetic Devices, John Wiley & Sons, USA, 1995
 [3] 中田高義, 有限要素法による直交電磁石の設計と応用, 森北出版株式会社, Japan, 1991