

소형공기압솔레노이드 밸브 개발

Development of the small size pneumatic solenoid valve

*#정효상¹, 노근영², 박관홍³, 황선경⁴

*#H. S. Jung(hszung@kinst.ac.kr)¹, K. Y. Rho², K.H.Pak³, S.K.Hwang⁴

¹ 경기공업대학 기계설계과, ^{2,3} 신영제어기(주), ⁴ 한국산업기술대학교

Key words : Solenoid, Valve, Armature, magnetic

1. 서론

날로 성장해가고 있는 중국시장을 비롯하여 인도, 태국 등 아시아권의 소형솔레노이드밸브 수요는 그야말로 폭발적인 증가세를 보이고 있지만 영국과 일본의 초창기 소형솔레노이드밸브 회사들과의 경쟁에서 국내업체들은 마땅히 차별화할 기술을 가지지 못했었으나 고속솔레노이드밸브의 개발은 곡물산업의 일대 전환점이 될 것으로 기대하며 곡물뿐 아니라 커피, 녹차, 홍차와 해산물인 톳 등 기호식품과 수산물 선별 등 지속적으로 성장해가는 곡물선별기시장의 해외수출에 크나큰 기여를 할 것으로 예상된다. 초소형 Body(10mm폭)로 저 소비전력형의 최고 응답속도(1,000Hz)를 갖추고 넓은 사용온도 범위와 뛰어난 내구성을 확보하면서도 누설 량이 제로(0)에 가까운 고속솔레노이드 밸브의 개발은 일본의 곡물선별기를 모방하면서 대두되었던 많은 문제점과 기술적 의존을 탈피하여 국내 고유의 기술이 가미된 고기능의 곡물선별기를 탄생시켜 지속적으로 확장되고 있는 세계시장에서 막강한 경쟁력을 갖추게 될 것으로 예상된다.

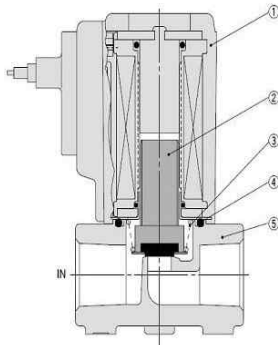


Fig. 1 Configuration of general solenoid valve
Table 1 Component parts

No.	Description	Material
1	Solenoid coil	
2	Armature	Stainless steel, HNBR, PPS
3	Return spring	Stainless steel
4	O-ring	HNBR
5	Body	Aluminum

Body폭이 10mm 이하의 밸브개발은 쌀보다 작은 잡곡류의 크기에 맞춰 슈트가 좁게 설계된(5mm간격, 4.5mm간격) 선별기에도 매니홀드블록을 사용하여 최적의 공간배치가 가능하도록 모듈화, 카트리지화. 현재 국내의 곡물선별기회사에서 사용하고 있는 전압은 DC 60V로만 한정되어 소비전력도 높고 전기장치 부품(펄스 제너레이터 등)의 가격도 고가이고 초기 누설 량의 과다로 압축공기소모량도 많아 해외에서의 경쟁력이 낮은 상태이므로 개발제품은 DC 24V로의 사용을 기준으로 개발하였다. 소형솔레노이드 밸브의 최고응답속도가 1000Hz이상으로 하여 개발품의 용량을 용도에 맞도록 세분화하여 1.1mm, 1.4mm, 1.7mm의 유효단 면적을 가지며 각각 1,000Hz, 700Hz, 500Hz 이상의 응답속도에 대응하도록 하였다.

개발품의 내구성은 10억 회 이상일 것. 실제 사용온도 조건 (-5~50℃)에서 10억 회 이상의 수명을 가지는 것을 목표로 하여 개발하였다. 조건에 맞추어 기구설계를 하고 유동 및 자장해석을 통해 폭을 최대한 작게 설계하였으며 AirGap 역시 짧게 결과를

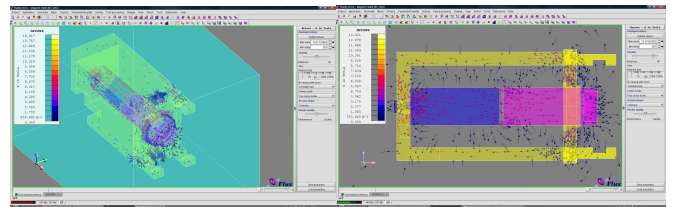
얻어 설계에 반영하였다. 또한 개발된 제품에 대해 시험분석을 통해 검증하였다.

2. 설계

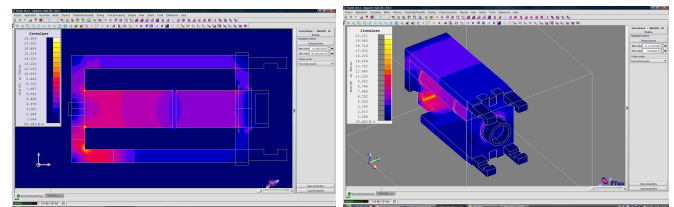
사용압력의 범위와 초기 누설량, 내구성을 고려한 기구설계로 응답속도와 내구성에 유리한 구조에 적절한 유효단면적을 확보하기 위해 Armature의 스트로크를 검증하였다. 몸체의 폭은 사용하는 장치에 좁은 공간에서 사용토록 10mm이하로 설계하고 매니홀드블록을 사용하여 최적의 공간배치가 가능하도록 모듈화하였다. 또한 스트로크를 줄이고 유량은 일정하게 하기 위해 다 구멍을 뚫어 스트로크와 저 소비 전력을 실현하도록 했으며 응답속도를 향상 시켰다. 구멍을 폐쇄할 때 폐강에 가해지는 충격력에 의한 마모와 눌림에 의한 영구변형을 방지하기 위해 흡수할 수 있는 쿠션제를 중앙에 설치하여 내구성을 만족할 수 있도록 하였다. 코일 권선사양은 사용압력의 범위와 압축공기의 누설 그리고 1회당 공기방출량을 고려하고 최대 소비전력과 실제 사용할 때 보다 가혹한 조건(연속500Hz)에서도 자체 발열이 문제가 없도록 평균소비전력이 2W이내가 되도록 했다. 최소 Gap을 위해 해석과 시험을 0~1mm범위에서 각각 0.25mm간격으로 유동 및 자장해석을 할 수 있도록 설계하였다.

3. 유동 및 자장해석

소형 솔레노이드 밸브를 개발하기 위해서 주어진 물리적 제한 조건(외경일정)내에서 효율 높은 전자석의 설계인자를 찾기 위해 FLUX3D¹를 이용하여 해석을 하였다. 소형이면서 높은 응답속도를 유지해야하는 기구적 요구를 만족시켜야 하는 전기, 기계적인 목적을 위해 해석을 수행하였다. 해석방법으로 FLUX3D Ver10으로 Magnetostatic 조건, Macro를 이용하여 한가지 모델을 130회 계산하였으며 모델링할 때 주요 변수를 지정하여 모델링을 하였다. 따라서 Airgap, current source 변경해석을 통해 결과를 유도하였다. 솔레노이드에 코일이 감기는 보빈(case)의 길이를 변화시킬 때, 동일한 기자력(magnetomotive force)에서 어떤 자력 특성을 보이며, 그 원인은 무엇인가에서 보빈길이 변화를 46-35-28mm순으로 변화를 주어왔다. 또한 Airgap을 0.25-0.50-0.75순으로 변화를 주었고, 그 결과로 보빈의 길이 축소, Magnetic Force의 증가가동자 직경변화가 있었고, Turn 감소, 기자력 확보의 어려움이 있었다.



a. A view 3D of arrow gap0.0 b. A section of arrow gap0.0



c. A section of color gap 0.25 d. A view of color gap 0.25

Fig. 2 Case 0.25 gap, The transformation of Magnetic force

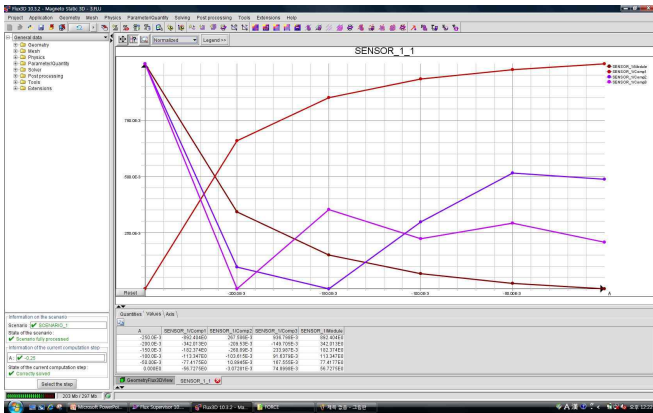


Fig. 3 Case 0.25 gap, Magnetic force of coordinate
 유동해석을 ANSYS11CFD를 이용하여 해석하였다. 정상속도 300m/s로 하여 공기의 흐름을 파악하고, Inlet, outlet 구조의 변화를 주었다.

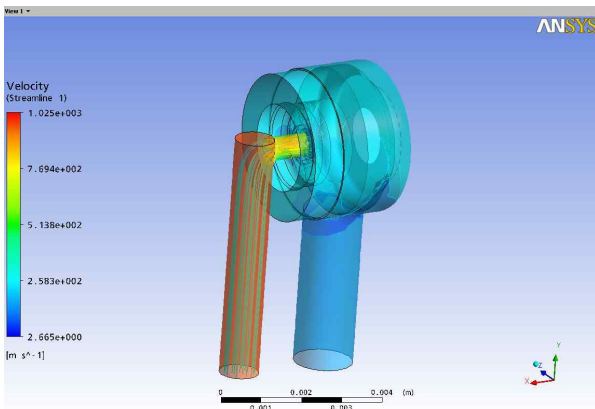


Fig. 4 Case 0.0 gap, The transformation of fluent

4. 시험⁴

개발된 소형 솔레노이드밸브에 대해 시험을 하였으며 시험기준 및 환경은 온도 : 15℃~ 35℃ 상대습도: 25%R.H.~85%R.H. 대기압: 86 kPa~ 106 kPa의 외부 환경에서 응답특성시험, 최대작동빈도시험, 유량특성시험, 초기누설량 시험, 온도상승시험, 내구성 시험을 실시하였다.

유량특성 시험은 시험품에 밸브 on을 위한 전압을 인가 후 유량계를 이용 측정하였고 유효 단면적은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\frac{Q_{Nv}}{984} = 0.0565A_0$$

단, Q_{Nv} :측정된 유량값, A_0 :유효단면적이다.

온도 상승은 입력 후 온도상승이 안정화 되었을 때 저항법에 따라 온도 상승치를 측정하였다. 이때 온도상승은 아래의 식(저항법)을 이용하여 계산하였다.

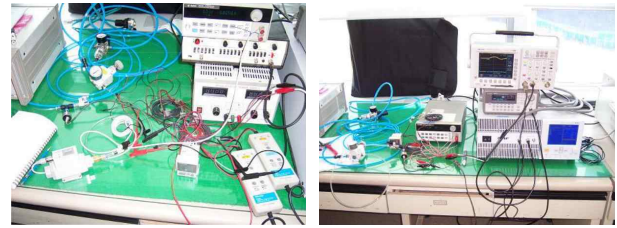
$$t = \left(\frac{R_1}{R_0} - 1 \right) (234.5 + t_0)$$

단, t :온도 상승치(℃), R_0 :시험전의 권선 저항값(Ω)

R_1 :시험 직후의 권선 저항값(Ω), t_0 :실내온도(℃)

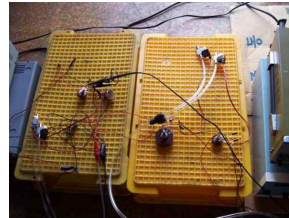
Table 2 Testing conditions and Results(DC24V)

Item	Condition	Result
응답특성시험	4.0kgf/cm ² , 1ms	1.08(기준 1.0±0.1이내)
최대작동빈도시험	5.0kgf/cm ² , 0.65ms	이상없음
유량특성시험	5.0kgf/cm ²	유효단면적 1.4mm ² ~1.55mm ²
초기누설량	저1.0kgf/cm ² , 고7.0kgf/cm ²	누설없음
온도상승	333Hz, 4.0kgf/cm ²	28.7(50℃이내)
내구성시험	500Hz, 10억회	이상없음



a. Flow Property testing

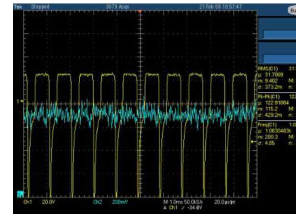
b. Property measure testing



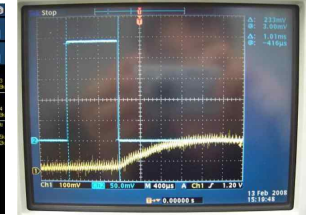
c. maintenance testing



d. Initial-leakage testing



e. Maximum frequency testing



f. Response property testing

Fig. 5 The pictures of Testing

5. 결론

소 소형 Body(폭9.9mm)소비전력 저감 및 응답편차 최소화. 재료에 가까운 밸브를 개발 하였다. 기존의 설계 방법에서 탈피하여 체계적인 설계과정을 정립하였고 개발 과정을 포맷화 했다. 또한 많은 시행착오가 발생하던 오리피스 갭의 설정 및 자기력 문제는 모의시험을 통해 근사한 값을 찾아 실제 적용함으로써 이전보다 많은 비용 절감 및 개발 기간의 단축의 성과가 있었으며, 제품의 완성도가 높아졌다.

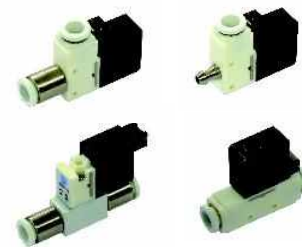


Fig. 6 A real developed products

후기

본 연구는 2008년 중소기업 기술혁신 개발사업 전략과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. CEDRAT, "Tutorial_magnetostatics_3D," FLUX10, 2007
2. L.C. Passarini and P.R. Nakajima, "Development of a high-Speed Solenoid Valve:an Investigation of the Importance of the Armature Mass on the Dynamic Response," J. of the Braz.Soc.of Mech. Sci.&Eng., 4, 329-335, 2003.
3. CFD ANSYS11, "Tutorial_CFD_3D," 2008
4. 한국산업기술시험원, "시험성적서," 성적서 번호 08-2372-33, 2009.