

CNG 차량 고압 탱크용 솔레노이드 밸브의 개발 Development of solenoid valve for CNG vehicle high-pressure fuel tank

*,#이효렬¹, 김복만², 김화영³, 안중환⁴

*,#H. R. Lee(hong30140@pusan.ac.kr)¹, B. M. Kim², H. Y. Kim³, J. H. Ahn⁴

¹부산대학교 기계공학부 대학원, ²영도산업(주), ³부산대학교 기계기술연구소, ⁴부산대학교 기계공학부

Key words : CNG(Compressed Natural Gas), Solenoid valve, FEA(Finite Element Analysis)

1. 서론

전 세계적으로 환경문제는 매우 큰 이슈로 자리 잡고 있으며, 각 국가별로 이산화탄소 저감 문제를 둘러싸고 공생의 협력관계를 유지하고 있다.

특히, 점점 늘어나고 있는 운송수단에 의한 환경오염이 가장 심각하여 무공해 자동차에 대한 연구 개발은 끊임없이 추진되고 있다. 무공해 자동차는 전기자동차, 태양광자동차, 대체연료자동차(압축천연가스/ 액화천연가스/ 에탄올/ 메탄올/ 수소)등이 대두되고 있는데, 압축천연가스차량과 연료전지차량이 환경친화성과 연료공급 용이성 면에서 가장 실용화 가능성이 높은 차세대 자동차로 평가되고 있다.

최근 압축천연가스차량의 안전성을 높이기 위해 수동으로 개폐하는 기존의 연료 저장탱크 밸브에 솔레노이드를 이용한 자동개폐 방식을 추가한 일체형밸브로 대체되는 추세이다. 본 논문에서는 밸브 개폐시 구동되는 구동부와 솔레노이드를 설계하고 유한요소해석을 통해 설계보완을 하였다.

2. 솔레노이드 밸브 모델

솔레노이드 밸브는 자성체인 플런저 A와 비자성체인 플런저 B, 기밀유지를 위한 플런저 디스크 그리고 스프링으로 구성되어 있으며, 이를 Fig.1에 나타내었다. Fig.2는 솔레노이드 밸브의 작동순서를 나타낸 것이다. 최초의 상태에서는 유로가 모두 닫혀있는 밀폐상태이며 CNG 탱크의 압력이 플런저 표면의 수직 방향으로 인가된다. 솔레노이드에 전압이 인가되면 플런저 A가 작동하여 지름 0.3mm 인 오리피스를 통해 아주 미세한 유량이 빠져나가 CNG 압력이 떨어져 기밀을 유지하는 힘이 약해진다. 이로 인해 많은 힘없이 플런저 B를 개방할 수 있게 된다.

이러한 원리로 동작하는 솔레노이드 밸브의 설계는 기밀 유지를 위한 플런저 A와 B의 면적과 플런저 복귀를 위한 스프링 상수 및 길이를 먼저 선정하고 유동 해석을 통해 개폐에 필요한 솔레노이드의 힘을 산출한 뒤, 이를 기준으로 솔레노이드를 설계한다.

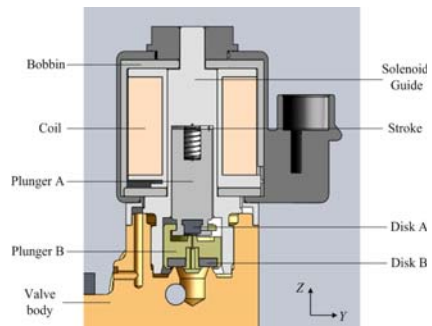


Fig.1 schematic of solenoid valve

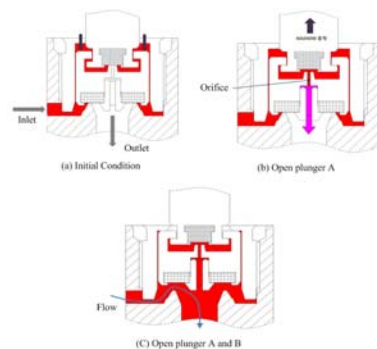


Fig.2 Operation sequence of solenoid valve

3. 유동 해석 및 결과

Fig.1의 솔레노이드 가이드와 플런저 A사이의 거리가 변함에 따라 고압의 CNG와 플런저 복귀

스프링에 의해 플런저 A, B가 받는 힘을 산출하기 위한 유동해석을 실시하였으며 해석 조건과 스프링 제원을 Table 1에 나타내었다. Table 2는 유동해석 결과 플런저 A, B가 받는 힘을 나타낸 것이며 최초 플런저 A를 개방시키기 위해 필요한 솔레노이드의 힘은 34.5N 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 그리고 플런저 A, B가 모두 개방 되었을 때에 필요한 솔레노이드의 힘은 플런저 B의 합력 0에 가까우므로 플런저 A에 가해지는 스프링의 힘보다 크면 된다.

Table 1 Conditions of CFD^(1,2)

Conditions	Value
Fluid material	Methane(Ideal gas)
Inlet pressure	200bar
Outlet mass flow	11.71g/s
Density	$7.90 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
viscosity	$1.087 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
Stroke	0.3, 0.6, 0.9, 1.2mm
Spring constant	1.372N/mm
Free length(Spring)	14mm

Table 2 Resultant force of Plunger A and B

Conditions	Value	
0.3mm (Plunger A, B open)	Plunger A	3.66N
	Plunger B	0.65N
	Spring force	-9.19N
0.6mm (Plunger A, B open)	Plunger A	3.64N
	Plunger B	3.21N
	Spring force	-8.78N
0.9mm (Plunger A, B open)	Plunger A	3.57N
	Plunger B	-0.01N
	Spring force	-8.37N
1.2mm (Closed)	Plunger A	-26.55N
	Plunger B	-1752.90N
	Spring force	-7.95N

4. 유한요소 해석을 이용한 솔레노이드 설계

솔레노이드의 설계 조건에는 보빈의 사이즈, 코일의 직경, 감은 수, 코일의 저항, 입력전압의 크기 등이 있으며, 이 중에서 보빈의 사이즈, 입력 전압, 코일의 저항을 고정값으로 두고 코일의 직경을 변경 시키면서 유한요소 해석을 실시하여 솔레노이드의 흡인력을 해석하였으며 그 결과를 Fig.3에

나타내었다.

코일의 직경이 0.4mm의 경우 솔레노이드의 흡인력은 20.24N이고 0.3mm은 52.43N이므로 0.3mm의 코일을 사용하는 것이 적합하다.

Table 3 Design conditions of solenoid

Conditions	Value
Inner / Out diameter(Bobbin)	14.5 / 31mm
Height(Bobbin)	23mm
Coil diameter	0.3, 0.4mm
Coil resistance	9.8Ω
Number of turn	1976, 1015
Voltage	12V

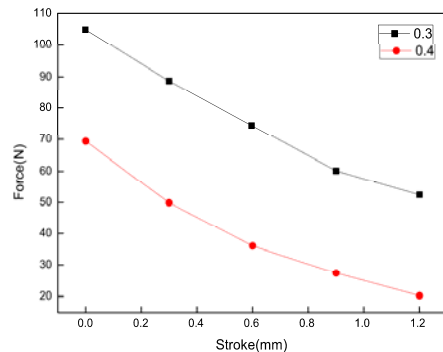


Fig.3 Result of FEA

5. 결론

(1) 최초 밸브를 개방하는데 필요한 힘은 34.5N 이상이, 개방 상태를 유지하기 위해서는 스프링의 탄성력보다 큰 힘이 필요하다.

(2) 솔레노이드 설계변수 중 코일의 직경과 감은 수를 변경시키면서 전자기장 해석 결과 0.4mm의 코일은 최초 개방에 필요한 힘보다 작았으나, 0.3mm 코일은 개방에 충분한 힘을 발생시킴을 알 수 있다.

참고문헌

1. 박경택, 황윤건, 박태조, 강병루, “CNG차량용 Regulator에서의 열유동 특성 해석,” 한국정밀공학회 2007년도 추계학술대회논문집, 383 ~ 384, 2007.
2. 심한섭, 이치우, 김남경, 안국찬, 남궁제관, “솔레노이드 밸브를 이용한 고압가스의 유량 제어,” 한국공작기계학회 2005년도 추계학술대회논문집, 156 ~ 161, 2005.