

솔레노이드 밸브의 흡인력 개선을 위한 연구

임병주¹·박창대¹·이태구¹·윤소남¹·정경열⁺

A Study on the Improvement of Attraction Force of Solenoid Operated Valves

Byung-Ju Lim¹, Chang-Dae Park¹, Tae-gu Lee¹, So-nam Yun¹ and Kyung-yul Chung⁺

Abstract : In this research, we studied on improvement of the attraction force of solenoid operated valve for normal operation in harsh environment like vessel. Attraction force of the solenoid valves is effected by the B-H characteristics of magnetic material and the size of coil. In order to specify impact of the affection, we performed the B-H characteristics test and attraction force. Test results show that magnetic flux densities of the materials are difference each other more than 2 times in same magnetic intensity, and attraction force of the solenoid valve is 1.7 times difference as changes of resistance and the number of coil winding of solenoid.

Key Words: Solenoid operated valve(솔레노이드 밸브), Plunger(플런저), Vessel(선박), Attraction force(흡인력), Magnetic materials(자성 재료)

1. 서론

운행 중인 선박의 환경은 수시로 급격하게 변화한다. 가혹한 환경에서 선박의 기계장치들은 오작동 없이 작동해야하며, 그 중에 유동흐름을 제어하는 솔레노이드 밸브역시 매우 중요한 역할을 하는 장치로서 신뢰성이 높아야하고 오작동이 없어야한다.

솔레노이드 밸브는 Fig. 1과 같은 구조로서, 코일에 전압을 인가할 경우 코어(core)가 자화되어 자성의 성질을 갖게 되고 유로를 막고 있던 플런저(plunger)를 끌어당기게 되면서 닫혀 있던 밸브가 개방되는 구조이다.

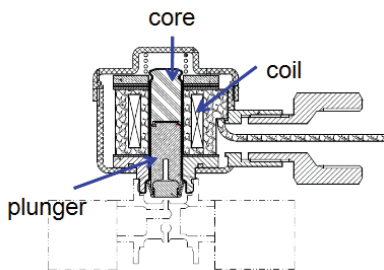


Fig. 1 Structure of solenoid operated valve

솔레노이드의 흡인력은 자화된 코어가 플런저를 당기는 힘을 지칭하며, 흡인력(F_A)은 (1)과 같은 수식에 의해 결정되어진다.^[1]

$$F_A = \frac{B^2}{2\mu_0} S \tag{1}$$

B : 자속밀도 [T, Wb/m²]

μ : permeability, 투자율 [H/m]

H : 자계강도 [A/m]

Φ : 자기선속, [Wb]

S : 단면적, [mm²]

R_m : 자기저항

여기서 투자율은 상수이고 공극부의 단면적 또한 설계에서 정해지게 된다. 따라서 흡인력은 자속밀도(B)를 조절하면 되고 자속 밀도는 식(2)와 같이 정해진다.

$$B = \frac{\Phi}{S} \tag{2}$$

Φ 는 다시 다음 식(3)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi = \frac{NI}{R_m} \tag{3}$$

정리하면 솔레노이드의 흡인력은 간단히 코일 턴 수와 인가되는 전류의 세기, 자성체의 투자율로 높일 수 있다. 하지만 턴 수가 증가할수록 저항이 증가하거나 코일의 부피가 지나치게 증가한다. 또한 자성체의 투자율은 선형이 아닌 Fig. 2와 같은 비선형성을 지니고 있기 때문에 코일의 회전수나 전류를 증가시켜도 일정이상 증가하다가 더 이상 증가하지 않게 된다.

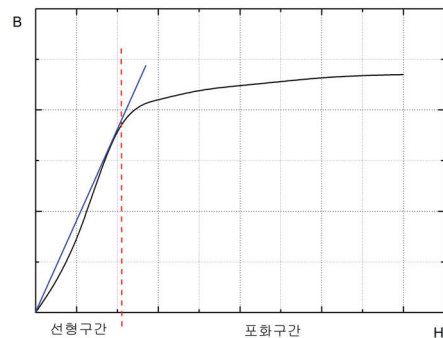


Fig. 2 Permeability of magnetic substance

또한 코일에 전압 인가시 Fig. 3과같이 발열에 의한 코일의 저항 상승으로 흐르는 전류가 낮아지게 된다. 결국 강하되는

+ 정경열(한국기계연구원 환경·에너지기계연구본부), E-mail: kychung@kimm.re.kr, Tel: 042)868-7333

1 임병주, 박창대, 이태구, 윤소남(한국기계연구원)

전류로 인하여 흡인력 역시 서서히 떨어지게 된다. 이러한 이유 때문에 코일의 온도 상승에 의한 흡인력저하를 고려하여야 하고, 코어의 자화력이 높을수록 코일온도 상승에 의한 흡인력 저하가 일어날 경우에도 최소작동흡인력을 유지할 수 있으므로 재료가 자화되는 크기의 정도가 중요하다.

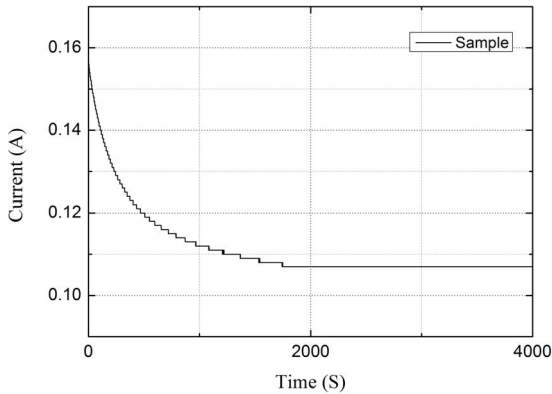


Fig. 3 Current drop with elapsed time

위와 같은 솔레노이드의 흡인력에 영향을 주는 인자를 고려하여 재료의 B-H 특성, 코일의 턴 수, 전류에 대한 시험을 수행하고 결과를 비교 및 검토하였다.

2. 솔레노이드 성능시험

2.1 B-H 특성 시험

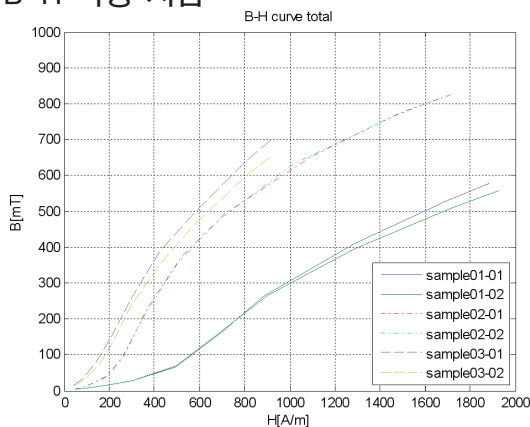


Fig. 4 B-H curves of tested samples

재료의 자화되는 양은 재료의 B-H 특성 곡선의 기울기와 비례하며, 따라서 Fig. 4와같이 3개의 재료(SUS430FR, CS41F, SUS430FSM)에 대해 각각 2개의 시험 시편을 제작 및 B-H 특성 검사를 수행 하였다. SUS430FR은 해외 C사에서 판매되는 재료로서, 현재 원전용 솔레노이드 밸브에 사용되는 재료이다. CS41F와 SUS430FSM은 국내 C사에서 판매중인 재료로서 CS41F는 흡인력은 좋지만 물에 대한 내식성이 좋지 않다고 알려져 있으며, SUS430FR은 가전제품에 널리 쓰이고 있는 재료이다.

SUS430FR, CS41F 순으로 B-H 특성이 높은 기울기를 나타내었고, SUS430FSM이 가장 낮게 측정되었다.

2.2 흡인력 시험

흡인력 시험은 동일 재질(SUS430FR)을 대상으로 Table 1과 같은 3개의 코일로 시험 하였다.

Table 1 Specification of coil

구분	PM720	PM780	PM820
턴 수(N)	7318	7750	8060
초기전류(A)	0.174	0.162	0.152
계산 소비전력(W)	21.7	20.3	19.1
코일 저항(Ω)	720	780	820
권선 지름(mm)	0.14		

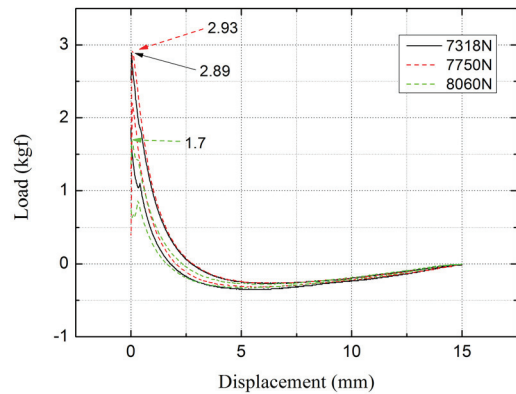


Fig. 5 Attraction force variation with valve stroke

시험은 인장시험 장치의 로드셀(load cell)에 플런저를 부착 시킨 다음 코어와 플런저가 맞닿게 위치한 후 전원을 인가한다. 자화되어 있는 코어가 플런저를 끌어당기고 있을 때, 강제적으로 로드셀을 이동시켜 총 15 mm 만큼 플런저를 당겼다가 다시 놓는다. Fig. 5는 3개의 코일에 대한 흡인력 시험 결과이며 모든 코일이 시간에 따른 저항 상승으로 인하여 처음 전원을 인가하였을 때 보다 시간이 지날수록 흡인력이 감소하는 경향을 보였다. PM720 코일의 최대 흡인력은 2.89 kgf이며 PM780 코일의 최대 흡인력은 2.93 kgf 이다. 턴 수가 증가함에 따라 흡인력이 0.4 kgf 증가 하였다. 하지만 PM820 코일의 최대 흡인력은 오히려 1.7 kgf로 자기포화 상태에서 코일의 저항만 증가되어 흡인력이 떨어진 것으로 판단된다. 때문에 자기포화 구간은 780 Ω ~ 820 Ω 구간이라고 판단된다.

3. 결론

솔레노이드 밸브의 흡인력 성능개선에 있어서 재료의 선정과 코일의 설계가 가장 중요하다는 결론을 얻었다. 솔레노이드 밸브의 코어와 플런저의 재질 선정 시에 B-H특성 자료가 선행 조사되어야 할 것이며, 코일부의 설계시 턴 수 및 저항, 자기포화를 고려하여 설계 되어야한다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2010T100100537)

참고문헌

- [1] 성백주, 이은용 외 “경험적 상수와 최적화 기법을 활용한 솔레노이드 액츄에이터 설계”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, 2006, pp.1528 -1533.