

솔레노이드 밸브 개발을 위한 자성소재 특성 조사

김병훈* · 이무근* · 권오성* · 한상엽*

The Investigation of Magnetic Material Characteristic for Solenoid Valve Development

Byung-Hun Kim* · Mookeun Yi* · Oh-Sung Kwon* · Sangyeop Han*

ABSTRACT

The solenoid valve is an electro-mechanical device that converts electrical energy into mechanical motion. The magnetic field of solenoid is very closely related to the number of coil winding, the intensity of current and the characteristic of magnetic material. There are disadvantages that the weight and size of valve increase, as increasing the number of coil winding, the intensity of current to augment the magnetic force. Therefore, the selection of magnetic material is very important to reduce the weight and size of solenoid valve.

초 록

솔레노이드 밸브는 전기에너지를 기계적인 운동으로 변환하는 장치로, 솔레노이드 코일에 전류를 인가할 때 자기장이 생성된다. 솔레노이드에서 발생하는 자기장의 크기는 코일의 권선 수, 전류의 세기 및 자성소재의 특성과 밀접한 관계가 있다. 자기력을 증가시키기 위해 코일의 권선 수, 전류의 세기를 증가시킬 경우, 밸브의 크기 및 무게가 증가하는 단점이 있다. 따라서 밸브의 크기를 줄이기 위해서는 솔레노이드 밸브 사용 환경에 적합한 자성소재의 선정이 중요하다. 본 연구는 솔레노이드 밸브 개발에 필요한 자성소재의 특성을 정리하였다.

Key Words: Solenoid Valve(솔레노이드 밸브), Magnetic Material(자성소재), Magnetic Force(자기력), Saturation Induction(포화자속)

1. 서 론

솔레노이드는 코일 속에 자성소재를 넣고 코일에 전류를 흐르게 하면 자성소재가 자석 역할을

하는 장치를 말하며, 이때 생성되는 자기에너지를 기계적 운동으로 변환하여 압력, 유량, 방향을 제어하는 밸브를 솔레노이드 밸브라고 한다 [1]. 솔레노이드 공극부에 발생하는 자속밀도의 크기는 솔레노이드 설계에서 가장 중요한 요소로 코일의 권선 수, 전류의 세기, 플런저의 형상 및 자성소재의 특성과 밀접한 관계가 있다. 솔레

* 한국항공우주연구원

† 교신저자, E-mail: bhk@kari.re.kr

노이드 공극부에서 발생하는 자속밀도를 증가시키기 위해 코일의 권선 수, 전류의 세기, 플런저 크기를 증가시킬 경우, 솔레노이드 밸브의 크기 및 무게가 증가하는 단점이 있다. 따라서 우주 발사체에서와 같이 밸브의 크기 및 무게가 중요한 경우 솔레노이드 밸브의 자기력을 증가시키기 위해 코일의 권선 수, 전류의 세기 및 플런저의 크기를 증가시키는 것은 좋은 방법이 아니다. 따라서 솔레노이드 밸브 개발 시 사용 환경에 적합하며, 포화자속 및 투자율이 큰 자성소재를 선정하는 것은 중요하다.

본 연구는 솔레노이드 밸브 개발 시 중요한 자성소재 특성을 정리하였다.

2. 본 론

2.1 자성 소재

Figure 1은 자성 소재 특성을 나타내는 B-H 곡선을 보여준다. 포화자속(Saturation Induction)은 자성소재가 가질 수 있는 최대의 자속을 말하며 포화 자속이 높을수록 강력한 자기장을 만들 수 있다. 투자율(Permeability)은 자기장의 세기와 자속의 비로 투자율이 높을수록 적은 전기에너지로 큰 자속을 만드는 특징이 있다. 보자력(Coercive Force)은 강자성 소재와 연자성 소재를 구분하는 특성으로 일반적으로 보자력이 큰 소재는 투자율이 낮은 특성이 있다. 일반적으로 보자력이 작을수록 밸브의 반응시간이 빨라지는 것으로 알려져 있다[3].

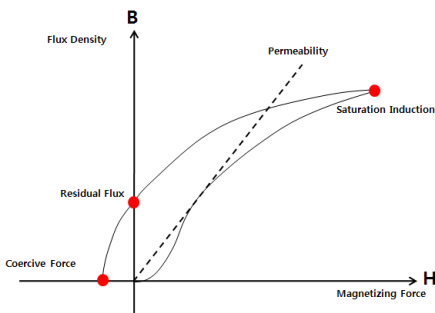


Fig. 1 B-H Curve of Magnetic Material

2.2 자성 소재 종류

솔레노이드 밸브 제작에 사용되는 자성 소재는 철에 첨가하는 주 성분에 따라 크게 5종류가 있으며, 첨가물이 함유되는 양에 따라 자성 소재의 성질이 변한다. 일반적으로 실리콘은 자성 소재의 비저항을 높이는 성질이 있으며, 니켈의 첨가는 니켈 함량에 따라 자성 소재의 투자율, 포화자속 등을 크게 변화시키는 것으로 알려져 있다. 크롬은 주로 내식성을 향상시킨다. 코발트는 포화자속을 높이는 효과가 있다[2,3]. Fig. 2는 철에 첨가되는 첨가물의 함량에 따른 포화자속 변화를 보여준다.

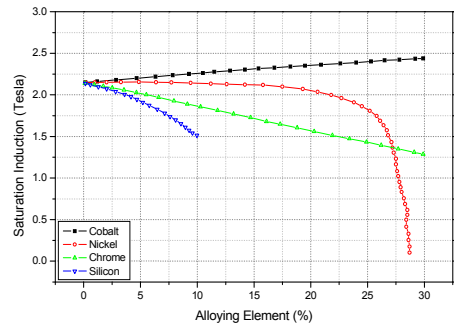


Fig. 2 Saturation Induction as Alloy content[2]

○ 철(Iron)

일반적인 자성 소재로, 탄소, 질소 등의 불순물을 제거한 고순도 철 합금이다. 코발트 합금을 제외하고 포화자속이 가장 높은 특징이 있다. 그러나 경도 및 비저항이 작으며 쉽게 부식되는 단점이 있다. 따라서 자성 소재로 철을 사용할 경우 부식에 대한 저항성을 높이기 위해 도금을 하는 것이 바람직하다.

○ 실리콘(Silicon) 합금

철은 비저항이 약 $130 \mu\text{-mm}$ 로 낮기 때문에 솔레노이드 코일에 전류를 인가할 때 코일 주변의 와전류(Eddy Current)에 의한 에너지 손실이 크다. 실리콘 합금은 비저항을 향상시키기 위해 철에 약 1~4%의 실리콘을 첨가한 합금이다. 철에

Table 1 Magnetic Properties of Magnetic Alloys[3,4,5]

Alloy	포화자속 (Tesla)	비저항 (μ -mm)	보자력 (A/m)	최대 투자율	큐리에 온도 ($^{\circ}$ C)
Vim Var Core Iron	2.15	130	79.58	10,000	760
2.5% Silicon Iron	2.06	400	55.7	5,000	799
High Permeability 49 Nickel Alloy	1.45	490	4.77	100,000	450
Hiperco 50 Cobalt Alloy	2.42	410	31.83	10,000	932
430FR Stainless steel	1.52	764.5	200	2500	660

실리콘을 첨가할 경우 비저항을 증가시킬 뿐만 아니라 자성 소재의 경도를 향상시키는 효과가 있다. 실리콘 함금은 철에 비해 비저항이 높기 때문에 교류 전원 및 펄스 특성을 가지는 직류 전원 장치에 적합하다. Fig. 3은 실리콘 함량에 따른 비저항 변화를 보여준다.

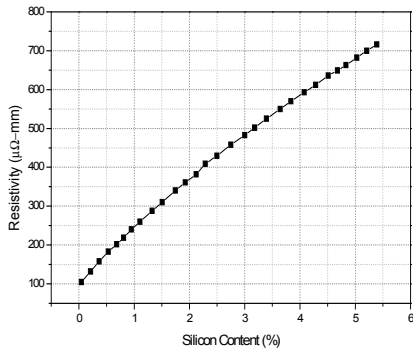


Fig. 3 Resistivity variation as silicon content

○ 니켈(Nickel) 합금

니켈 합금은 니켈의 함량에 따라 포화자속, 투자율 및 큐리에 온도(Curie Temperature)가 크게 변하는 특징이 있다. 투자율은 니켈 함량이 약 79%에서 최대로 나타나며, 포화자속은 니켈 함량이 약 49% 정도에서 높게 나타난다. 비저항은 니켈 함량이 약 35%에서 최대가 된다. 따라서 니켈 합금의 자성소재를 사용할 경우 사용 목적에 따라 니켈 함유량이 적당한 자성소재를 선정하여야 한다. 일반적으로 니켈 합금 자성소재는 투자율 및 보자력이 낮기 때문에 빠른 반

응 속도를 요구하는 솔레노이드 밸브 제작에 적합하다. Fig. 4는 니켈 함량에 따른 투자율 및 포화자속 변화를 보여준다.

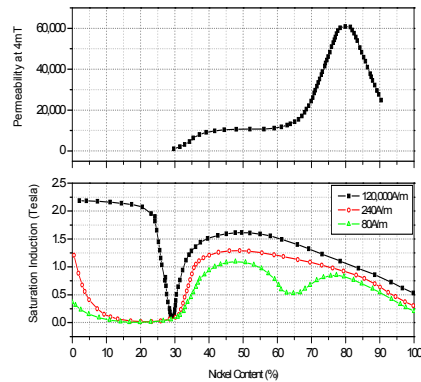


Fig. 4 Nickel Alloy Magnetic Characteristic as Nickel Content

○ 코발트(Cobalt) 합금

코발트 Fig. 2에서 보는 것과 같이 철보다 포화자속을 높일 수 있는 유일한 첨가물이다. 철에 약 35% 정도의 코발트를 첨가할 경우 포화자속은 약 2.34Tesla 정도를 보인다. 코발트 합금은 다른 자성소재에 비해 가격이 비싼 단점이 있다.

○ 페이트 스테인레스 스틸

일반적으로 오스테나이트 계열의 스테인레스 스틸은 자성 특성이 없다. 그러나 페라이트 계열의 스테인레스 스틸은 자성소재의 특성을 가진다. 크롬 함량이 증가하면서 포화자속이 감소하는 경향이 있으며, 주로 부식에 대한 저항성을 요구하는 곳에 많이 사용한다.

2.3 열처리에 따른 자성 소재 특성 변화

자성소재의 사용에 있어서 중요한 고려사항 중 하나는 자성소재의 특성이 열처리 조건에 따라 변한다는 것이다. 따라서 자성소재 선정 후 열처리가 필요하다면 자성소재에 맞는 열처리 조건에서 열처리를 수행하여야 한다. Fig. 5는 실리콘이 2.5% 함유된 실리콘 합금에 대한 열처리 특성을 보여준다. 실리콘 합금의 경우 열처리 온도가 낮을 경우 투자율이 감소하는 것을 볼 수 있다.

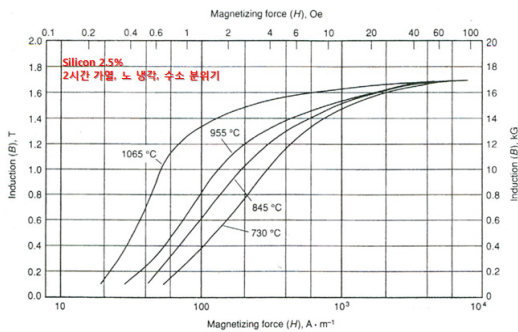


Fig. 5 Silicon Alloy B-H Curve as Heat Treatment

3. 결론

솔레노이드 밸브는 전기에너지를 기계적인 운동으로 변환하는 장치로, 솔레노이드 코일에 전

류를 인가할 때 자기장이 생성된다. 솔레노이드에서 발생하는 자기장의 크기는 코일의 권선 수, 전류의 세기 및 자성소재의 특성과 매우 밀접한 관계가 있다. 자기력을 증가시키기 위해 코일의 권선 수, 전류의 세기를 증가시킬 경우, 밸브의 크기 및 무게가 증가하는 단점이 있다. 따라서 솔레노이드 밸브 개발에 있어 사용 환경 및 설계 조건에 맞는 자성소재를 선정하는 것은 중요하다. 밸브의 반응 속도가 중요한 경우 니켈 합금 자성소재가 바람직하며, 부식에 대한 저항성이 중요 고려사항일 경우 스테인레스 계열 자성소재가 적당하다.

참고 문헌

1. 윤소남, 박선용, 강창욱 "솔레노이드 선정 및 설계기술", 월간 계장기술, 2001
2. Douglas W. Dietrich, "ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials", 1990, pp.761-781
3. Daniel A. Deantonio, "Soft Magnetic Ferritic Stainless Steels", Advanced Material & Processes, 2003.
4. www.edfagan.com
5. www.carttech.com