

# 템퍼링 및 자장열처리가 KM35F 합금의 연자성 특성에 미치는 영향

박병기<sup>†</sup> · 전용식<sup>\*</sup> · 김동수<sup>\*\*</sup>

Influence of the tempering and magnetic annealing on soft magnetic properties for the KM35F alloy

Byung Ki Park<sup>†</sup>, Yong Sik Jeon<sup>\*</sup> and Dong Soo Kim<sup>\*\*</sup>

**Key Words :** Alloy(합금), Magnetism(자성), Solenoid(솔레노이드), Annealing(풀림), Tempering(뜨임), Permeability(투자율), Coercivity(보자력)

## Abstract

The tempering and magnetic annealing are used to improve the soft magnetic properties such as initial permeability coercivity and core loss of the KM35F alloy. The first heat treatment is performed at the temperature less than the curie temperature of the KM35F alloy to remove the thermal stress for few hours in nitrogen atmosphere. The second stage heat treatment is performed the magnetic annealing at 500~800°C for few hours in nitrogen atmosphere, and then quenching to room temperature in absence of oxygen. Finally, magnetic properties of the thermally treated KM35F alloy are investigated for application as a soft magnetic material of the ISO solenoid valve core and plunger.

## 1. 서 론

현재의 공기압 제어 시스템은 에너지 회수가 불가능하며 손실이 매우 크며, 공기압 시스템의 유효 에너지는 6%에 불과하다. 본 연구에서는 이중압력 부착형 ISO 솔레노이드 밸브에 적용하는 연자성 재료 개발을 통하여 유효에너지를 3%이상 향상시키고, 고출력 저 소비전력화 및 고 응답화를 구현할 수 있도록 하는 것이다. 솔레노이드 밸브에 사용하는 자성재료들은 자기적 특성이 좋은 연자성 재료를 사용한다. 연자성 재료는 쉽게 자화되고 탈자화되는 특성을 가지면서 전자기력(흡인력)을 최대로 높일 수 있어야 한다. 연자성 재료의 원료는 국산화가 불가능하여 수입이 가능한 KM35F 합금을 원료로 사용하였으며, ISO Solenoid 밸브의 연자성 특성을 최적화 하기 위한 열처리

조건을 조사하였다.

### 1.1 Experimental apparatus



Fig. 1. Heat treatment apparatus for annealing & quenching

최대가열온도 : 1000°C  
분위기제어 : N<sub>2</sub>, Ar

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국화학연구원  
E-mail : bkpark@kriect.re.kr  
TEL : (042)860-7022 FAX : (042)860-7237  
<sup>\*</sup> 저자 1의 소속 (주)팜코  
<sup>\*\*</sup> 저자 2의 소속 한국기계연구원

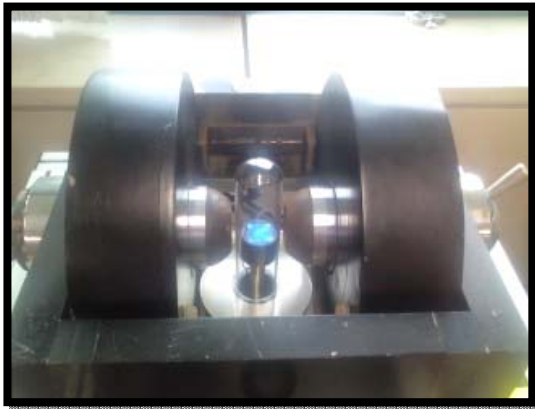


Fig. 2. Magnetic annealing apparatus

최대인가자장 : 3500 Oe  
 최대온도/분위기 : 500 °C/10-6 torr(진공)

1.2 Magnetism analyzer



Fig. 3. Magnetism measurement apparatus

Hysteresis Loops, Initial magnetization curve, DC remanence, AC remanence, Vector measurements (mx and my), Magnetization data

1.3 Magnetic properties of raw materials

금속분말을 고온 고압 인발 또는 압출하여 제조하는 Powder Metallurgy 재료로 Pure Iron 을 바탕으로 Fe-Si, Fe-P, Fe-Ni, Fe-Co(Ni)와 B 및 Si 와 조합인 비정질합금 등이 있으며, Fe-Ni 합금은 자장열처리를 통한 규칙적 원자배열이 가능하여 투자율을 증가시킬 수 있으나 국산화가 불가능하기 때문에 열처리를 통해 자기적 특성을 높여 적용해야 한다. Fe 는 항자력 0.8~1.5cm-1, 투자율 3,000~6,000, 자화가 Excitation 되는 Circuits 에서 사용되고, 영구자석, DC 및 10Hz 이하의 저주파 진동전류코일에

사용된다. Iron 에 Silicon 을 첨가하면 Resistivity 가 증가하는데, Fe-Si 를 소결할 경우 투자율이 증가하게 되며, 자기적 특성을 높이기 위해 고밀도화가 필요하다. P 의 첨가는 연자성 특성을 향상시키며, 특히 투자율을 많이 높일 수 있다. 소결을 통해 Ferrite Grain Size 가 증가하며, 낮은 항자력으로 인해 빠른 응답성 및 관성이 낮아는 특성이 있다. Ni 은 연자성 재료 중 가장 높은 투자율을 나타내며, 항자력이 0.02Acm-1 일 때 95,000 정도의 투자율을 나타낸다. 매우 낮은 Current 및 빠른 응답이 요구되는 Circuits 에 사용된다. Co 는 강자성재료로 사용되며, Fe 와 합금하고 고밀도 소결과정을 거치면 낮은 Excitation Field 에서 높은 Induction 을 나타내는 특성이 있다. 따라서 ISO solenoid valve 용 연자성 재료는 기본적으로는 위와 같은 원소들을 포함하는 합금이 원료로 적합하다.

1.4 Changes of microstructure and soft magnetic properties

Solenoid Valve 용 연자성재료는 430FR, QMR5L 및 KM35F 3 가지로 각 재료에 대한 자성특성 및 동특성은 KM35F>QMR5L>430FR 순으로 나타난다고 보고하고 있으며, 화학조성은 Table1 과 같고 XRD 는 2θ=45° 에서 Iron-Cobalt 구조의 주 피크를 나타내는 결정구조를 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of KM35F Alloy

구분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Pb
KM35F	0.015	0.826	0.327	0.021	0.018	0.08	13.69	0.28	0.161

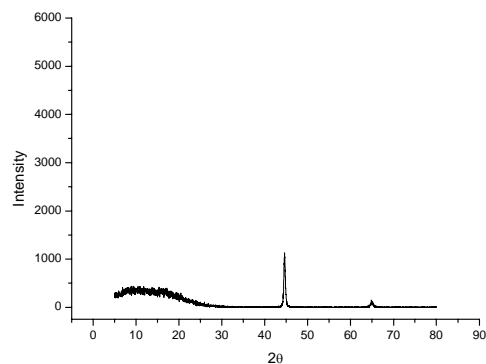


Fig. 4. XRD pattern for the KM35F alloy

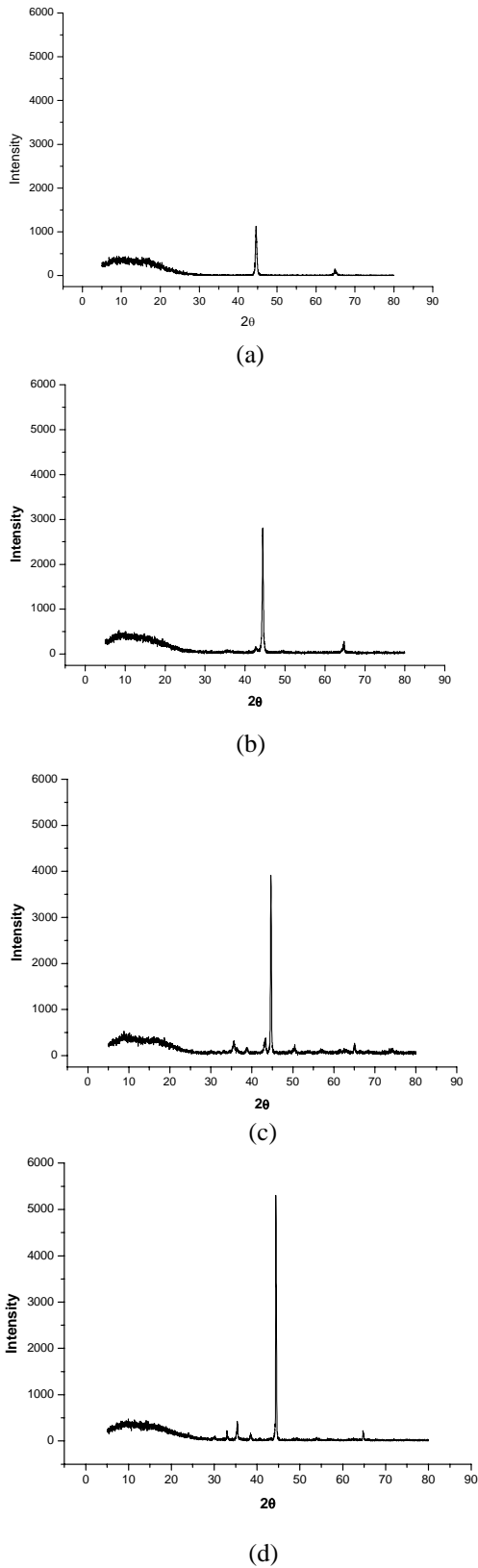


Fig. 5. The change of XRD patterns for heating temperature: (a) raw, (b) 300°C, (c) 500°C and (d) 700°C

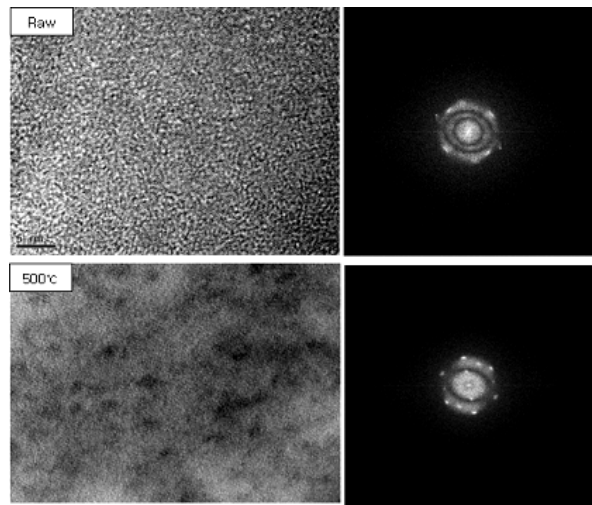
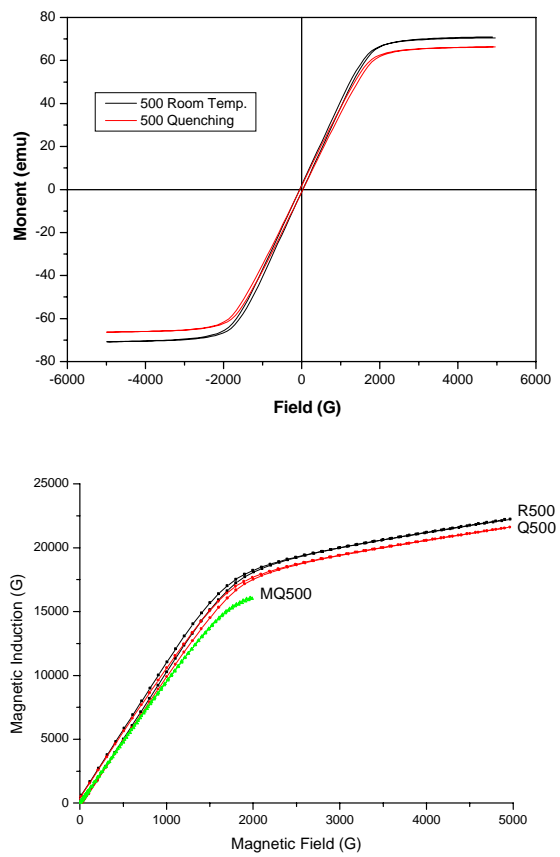


Fig. 5. The change of microstructure for heating temperature



R500: 35.5Oe, Q500: 34.9Oe, MQ500: 1.728

Fig. 6. The change of soft magnetic properties for heat treatment condition

## 1.5 Conclusions

- (1) KM35F 는 고온소결을 통한 원료 제조과정에서 스스로 자화되어 이 후 Annealing 온도의 변화와 시간의 증가에 따른 자기적 특성 및 미세구조의 변화가 수반되지 않았다.
- (2) Annealing 후 물속에서 급냉시킬 경우 자기적 특성의 변화가 수반되어 급냉을 통한 열처리가 필요하였다.
- (3) KM35F 는 자장열처리 할 경우 보자력(Hc) 1.7 정도의 우수한 연자성 특성을 나타내었으며, 보자력, 투자율 및 동적 특성을 향상시키기 위해서는 자장의 세기를 증가시키거나, 응력 제거를 위한 저온 Tempering 등 전처리 공정의 도입이 필요하다는 결론을 얻을 수 있었다.