

## 410L 스테인레스 강의 ABS센서 링 제조를 위한 자기적 특성에 관한 연구

梁鉉洙, 郭彰燮\*, 林鍾國\*\*

인천대학교 대학원 기계공학과, \*인천대학교 기계공학과, \*\*충주대학교 안전공학과

### A Study of Magnetic Properties of 410L Stainless Steel for Manufacture of ABS Sensor Ring

H. S. Yang, C. S. Kwak\*, J. K. Rhim\*\*

Department of Mechanical Engineering, Incheon University, 177, Namgu, Dowhadong,  
 Incheon, 402-749, Korea

\* Department of Mechanical Engineering, Incheon University, 177, Namgu, Dowhadong,  
 Incheon, 402-749, Korea

\*\*Department of Safety Engineering, Chungju National University, 123, Gumdanry, Iryumyun,  
 Chungju, 380-702, Korea

#### ABSTRACT

It is well known for 410L ferritic stainless steel powder to applicate a sensor ring in anti-lock brake system of automobile, several studies, because of its excellent magnetic properties. This study was carried out to investigate the magnetic properties such as the maximum magnetic induction, coercivity and maximum permeability of the materials with functions of sintering density, time and temperature, and concluded as follows:

1. Sintering under the circumstances of Ar gas and the temperature of 1250°C for 60min, showed that nitrogen was increased, whereas carbon and oxygen decreased in quantities.
2. Both maximum magnetic induction value of 4700Gauss and permeability of 200 were obtained at the maximum sintering density of 6.89g/cm<sup>3</sup>. Here, the properties showed a linear increasement with increasing the sintering density.
3. Coercivity sharply decreased with increasing the sintering density and reached to 7.6Oe at the maximum sintering density of 6.89g/cm<sup>3</sup>.

#### 1. 서 론

오늘날 자동차가 생활에 필수품이 되면서 자동차 안전에 대한 인식이 높아지고 있다. 자동차의 안전장치에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 주행 중인 자동차가 급 제동할 때 자동차의 안전성을 유지하면서 정지할 수 있도록 제동상태를 최적화 해주는 ABS 시스템(anti-lock brake system)이 대표적이다.

ABS 시스템은 브레이크 작동 시 자동차의 미끄러움을 방지하기 위해 바퀴속도를 감지하여 EBCM(electronic brake control module)에 전달함으로써 ABS 시스템이 정상적으로 작동하도록 해준다. ABS 시스템에서 주행 중인 자동차의 바퀴속도를 측정하는 방법에는 광학식, 전자식 그리고 반도체식 등이 있다. 광학식은 진흙에 약하고, 반도체식은 온도와 습도의 영향을 많이 받는 단점이 있어서 최근에는 내환경성이 보장되는 전

자식이 많이 사용되고 있다. 전자식에서는 자력이 있는 기어와 그것을 감지하는 센서에 의해서 주행중인 자동차의 바퀴속도를 감지하는데 브레이크의 정확한 작동을 유지하기 위해서는 기어의 피치(pitch of sensor ring)가 아주 정밀해야만 한다<sup>1-3)</sup>. 이와 같은 조건을 갖추기 위해서는 센서링(sensor ring)의 제조 방법이 매우 중요하다고 할 수 있다. 그 중에서 분말 야금법(powder metallurgy)은 1970년대 이후 대량생산 및 고 밀도화 기술의 지속적인 연구와, 1985년 이후 압축성이 강한 P/M(powder metallurgy) 제조용 분말이 개발됨에 따라 전통적인 압축-소결 P/M(powder metallurgy)방법<sup>4)</sup>을 이용한 많은 기계용 부품의 제조에 이용되고 있다.

분말 야금법(powder metallurgy)에 의한 센서링의 제조는 주로 순철을 이용하고 있다<sup>5)</sup>. 그러나 순철을 이용한 센서 링은 장시간 사용되면 부식 등의 영향으로 센서에 의한 정확한 속도감지를 어렵게 하는 문제점이 있다. 따라서 산업계에서는 내식성이 좋은 페라이트계 스테인레스강(ferrite series stainless steel : FSS)에 대한 자기적 특성에 대해 많은 관심을 갖고 연구를 하고 있다<sup>6-9)</sup>.

본 연구에서는 자기적 특성이 좋은 410L FSS을 재료로 한 자동차용 센서 링 제조 시, 자기적 특성 변화에 따른 연구하였다.

## 2. ABS 센서 링 메커니즘

Fig. 1은 자동차 바퀴의 휠에 장착되어 있는 ABS의 센서 링과 속도센서의 위치를 나타내고 있으며 Fig. 2에서는 센서 링에 의해 전자식으로 바퀴속도를 측정하는 원리를 보여주고 있다. 센서링과 ABS 속도 센서는 휠 축 내부에 장착되어 있다. ABS 속도 센서는 마그네틱과 코일로 구성되어 있으며, 자극(pole)의 끝은 자장에 둘러 쌓여 있다가 센서 링이 회전하게 되면 ABS 속도 센서에서는 바퀴의 속도에 비례하여 AC전압신호가 발생한다. 바퀴가 더 빠르게 회전하면 ABS 속도 센서에 발생되는 주파수는 더욱 커지게 된다. EBCM(electronic brake control module)은 속도 센서로부터 각 바퀴에 대한 입력 정보를 받아

ABS 시스템을 작동시켜 최적의 조건으로 제동이 이루어지게 한다.

센서 링은 휠 축 내부에 장착되어 있는데 자동차 바퀴를 회전시키면 이 링들은 정지된 유도코일에서 전압을 발생시킨다. 전압은 자동차의 속도에 따라 증가되고 센서 링의 자기적 특성에 크게 영향을 받는다. 바퀴의 ABS 속도 센서는 센서 끝단의 pole piece와 센서 링의 이끝 사이에서 일정한 간격을 유지하도록 설치되어 있다. 센서 링이 바퀴와 함께 회전함으로써 자속 밀도의 변화  $\Delta \Phi$ 가 센서의 끝과 센서 링 사이에서 발생되고 전압은 코일에 의해 발생된다. 이때 출력전압은 다음 식과 같이 표시할 수 있다.

$$V = N(\Delta \Phi / \Delta t) \quad (1)$$

여기서 V : 출력전압, N : 코일의 회전수,  $\Delta \Phi / \Delta t$  : 자속 밀도 변화율

출력전압의 진동수 (f)는 단위시간당 통과한 기어의 잇수로서 진동수는 다음과 같다.

$$f = w \cdot z / 60 \quad (2)$$

여기서 z : 센서 링의 잇수

진동수의 측정에 의해 바퀴속도 (v)는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$v = k \cdot f \quad (3)$$

Fig. 1 Showing the ring and the speed sensor that is Attached at the wheel axle

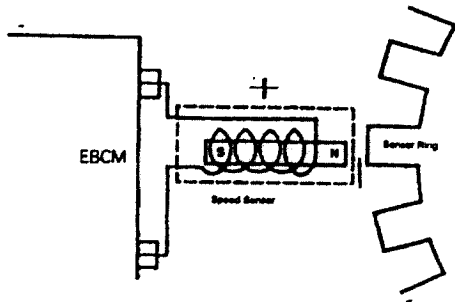


Fig. 2 Mechanism for Electromagnetic Generating Measurement of Wheel Velocity

여기서 k : 자동차 상수

$\Delta \theta$ 는 Pole piece 와 기어이, 영구자석 사이의 간격과 pole piece와 센서 링의 형상과 재질에 따라 달라진다.

### 3. 실험방법

#### 3.1. 테스트 링의 제조

Table 1은 본 연구에서 원료분말로 사용한 410L ferrite stainless steel의 화학조성을 보여주고 있다. 이들 분말은 -325mesh의 원심 부분분으로 제조된 평균입자 직경은 30 $\mu$ m로서 형상은 편상이었다.

Table 1. Chemical Analysis of FSS 410L Base Materials

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	O
410L	0.012	0.84	0.13	0.019	0.003	-	12.45	-	0.12	0.24

시료의 성형은 200ton press에서 5.5t/cm<sup>2</sup>~7.2t/cm<sup>2</sup>의 성형압력으로 내경 7.6 $\pm$ 0.05cm, 외경 8.8 $\pm$ 0.05cm, 두께 0.6 $\pm$ 0.01cm의 링 형상으로 제조하였다. 바인더는 스테아린산아연을 1%첨가하였다. 이와 같이 성형된 링은 100Torr Ar분위기의 진

Table 2. Physical Properties of test ring after Sintering

Material Type	Comp Pressure (t/cm <sup>2</sup> )	Outer Diameter (cm)	Inner Diameter (cm)	Thickness (cm)	Sintering Density (g/cm <sup>3</sup> )
410L	7.2	8.798	7.641	0.595	0.89

공로에서 500°C로 30분 동안 유지시켜 탈가스 한 후, 1250°C 에서 1시간동안 소결한 후 650°C까지 노냉시켰다. 최고압축압력 7.2t/cm<sup>2</sup>에서 소결한 테스트 링의 치수 및 특성치들을 Table 2에 보였다.

#### 3.2. 자기적 특성 시험

소결 철의 자기적 시험에 관한 기준은 ASTM 표준 A-596의 기준에 기초하였다. Fig. 3은 제조된 실험재료의 자기적 특성치를 검출할 수 있는 시험장치이다. 1차 코일은 No. 28 gauge wire로 링에 180회 감았으며 2차 코일은 24 gauge wire로 220회 감았다. ballistic galvanometer는 2차 코일측에 연결하였으며 여기서 최대자기유도, 보자력 그리고 최대투자율과 같은 자기 특성치를 구하였다.

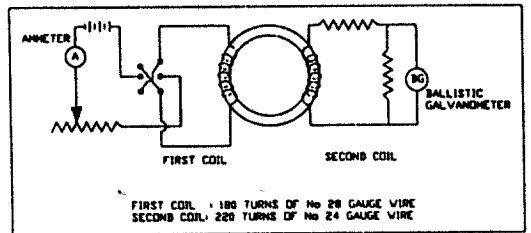


Fig. 3 Circuit Diagram for Determination of Magnetic Properties with a Ballistic Galvanometer

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1. 재료와 밀도의 영향

Fig. 4에서는 압축압력에 따른 410L ferrite stainless steel의 소결전 밀도를 나타내고 있다. 이때의 압축압력의 영역은 5.5t/cm<sup>2</sup>에서 7.2t/cm<sup>2</sup>까지 선정하였다. 이 결과에서 압축압력이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 현상을 볼수 있는데 특히 압축압력이 5.5t/cm<sup>2</sup>일때의 소결전 밀도는 약 6.2g/cm<sup>3</sup>이며 7.2t/cm<sup>2</sup>의 압축압력에서는 약 6.4g/cm<sup>3</sup>의 밀도가 나타났다.

한편 소결 후의 밀도 변화는 Fig.5에 나타내었는데 5.5t/cm<sup>2</sup>에서 7.2t/cm<sup>2</sup>까지 압축성형 후 1250°C에서 60분 동안 소결 하였을 때 밀도 값을 나타내고 있다. 특히 여기서는 Fig. 4보다 압축압력의

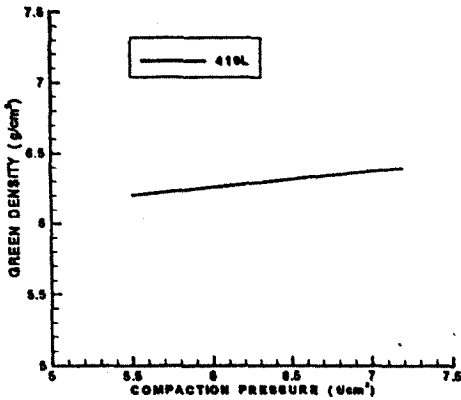


Fig. 4 The variation of green density for Various Compaction pressure.

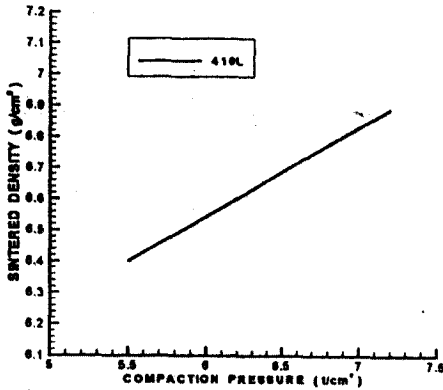


Fig. 5 The value of sintered density for various compaction pressure.

변화에 따른 밀도 변화의 기울기 차이가 크게 나타나 있으며 압축압력이 증가함에 따라 밀도가 선형적으로 증가하고 있다. 따라서 압축압력 증가에 따른 밀도변화는 소결 후가 소결 전보다 증가 폭이 큼을 알 수 있다.

Table 3은 7.2t/cm<sup>2</sup>의 성형압력으로 성형후 소결한 시료의 자기적 특성치들이다. 소결 후의 밀도는 6.89g/cm<sup>3</sup>로 나타났으며 보자력은 7.6Oe로서 비교적 낮은 값을 보이고 최대 투자율은 200으로 상당히 높은 값을 보였다.

Table 4는 Zn-스테아린산염 1% 첨가하여 Ar 분위기하에서 1250°C의 온도로 60분동안 소결된 410L FSS의 화학적조성상태를 보여주고 있다. 소결 후 carbon과 oxygen은 감소되었고 nitrogen은 증가되었다.

Table 4. Sintered Chemistry Results for FSS 410L Compacted with 1%Zinc-Stearate and Sintered at 1250°C for 60 Minutes in Hydrogen Atmosphere

Mater Type	Compaction Pressure (U/cm <sup>2</sup> )	Carbon (Wt %)	Oxygen (Wt %)	Nitrogen (Wt %)
410L	7.2	0.01	0.06	0.17

Fig. 6은 소결 밀도 변화에 따른 최대 자기 유도를 나타내고 있다. 즉, 재료의 소결 밀도가 증가하면 할수록 최대 자기 유도값도 함께 선형적으로 서서히 증가하는 데 특히 최대 소결 밀도를 나타내는 6.89g/cm<sup>3</sup>에서 최대자기유도 값은 4700 Gauss가 측정되었다. 이는 test ring의 소결 밀도 값이 증가하면 할수록 자기적 특성치도 더욱 증가한다는 것을 의미한다.

한편 소결밀도 변화에 따른 410L FSS의 보자력은 감소될 것으로 예상되는데 소결밀도 6.89g/cm<sup>3</sup>, 소결온도 1250°C, 소결시간은 60분에서 7.6Oe의 보자력이 측정되었다. 실험결과 소결밀도가 증가함에 따라서 보자력은 급한 기울기로 감소하였다.

Fig. 7은 소결온도 1250°C, 소결시간은 60분에서 소결밀도 변화에 따른 최대투자율을 나타내고

Table 3. Magnetic properties of test ring sintered at 1250°C for 60 Min. in hydrogen atmosphere.

Material Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	B2 (Gauss)	B5 (Gauss)	B10 (Gauss)	B25 (Gauss)	Br (Gauss)	He (Oe)	μ max
410L	6.89	200	700	1990	4700	2600	7.6	200

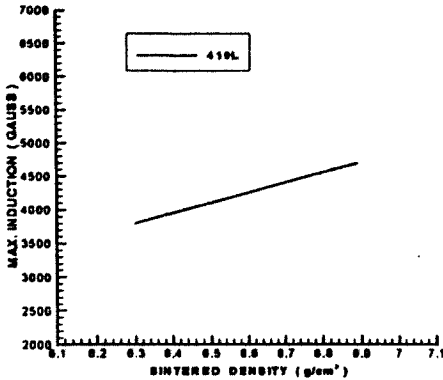


Fig. 6 Maximum Induction for 410L Stainless Steel Grades Compacted with 1% Zinc-Stearate and Sintered at 1250°C

있으며 밀도값이 증가함에 따라서 최대투자율도 선형적으로 증가하고 있는데 소결 밀도가 최대 6.89g/cm³ 일때 최대 투자율은 약 200을 보이고 있다. 결과적으로 소결된 재료의 최대투자율도 소결 밀도가 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

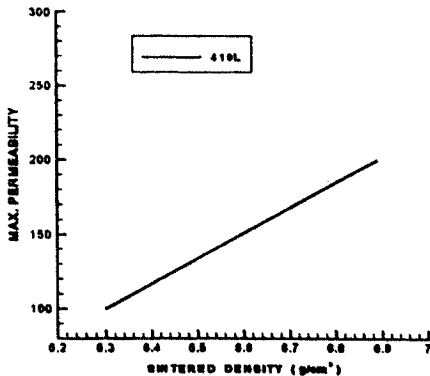


Fig. 7 Maximum Permeability for 410L Stainless Steel Grades Compacted with 1% Zinc Stearate at 1250°C for 60 Minutes in Hydrogen Atmosphere.

5. 결론

자동차 Anti-lock brake system에 사용되는 sensor ring 제조를 위한 기초조사로서 410L

ferrite stainless steel 분말의 소결밀도와 소결시간 그리고 소결온도에 따라서 최대자기유도와 보자력 그리고 최대투자율의 자기적 특성 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ar 분위기하에서 소결온도 1250°C에서 60분간 소결시 carbon과 oxygen이 함량은 감소되었고 nitrogen은 증가한 것을 알 수 있었다.
2. 소결밀도에 따른 변화에서 최대자기유도 값은 선형적으로 서서히 증가하는데 최대 소결밀도 6.89g/cm³에서 최대자기유도 값이 4700 Gauss을 나타내므로 소결밀도가 크면 최대자기유도 값이 증가하는 것을 알 수 있다.
3. 소결밀도에 따른 변화에서 보자력 값은 급한 기울기를 가지고 감소하는 것을 알 수 있었고 또한, 소결밀도 6.89g/cm³에서 7.6Oe의 보자력을 나타내는 것을 알 수 있다.
4. 소결밀도에 따른 변화에서 최대투자율 값은 소결밀도가 증가함에 따라 최대투자율도 선형적으로 증가하는데 소결밀도가 6.89g/cm³일 때 최대투자율은 200을 알 수 있었다.

참고문헌

1. H. Masazumi: et al. : Sumitomo Electr Tech Rev, No. 28, (1989) 234.
2. D. Whittaker, The Institute of Metals UK, (1991) 4.
3. H. F. Fischmeister, L. Olsson and K. E. Easterling, Powder Metallurgy International, (1974) 6.
4. M. Hanada, Y. Takeda, et al : Met Powder Rep, (1989) 695.
5. G. Wastenson, Powder Metallurgy, 18, No. 35 (1975) 124.
6. U. Engstrom and S. Allroth, Proceedings of International Powder Met. Conference, Dusseldorf, (1986) 1039.
7. N. Amamo, T. Koiso, et al : Metal Powder Report, 48, No. 1 (1993) 22.
8. C. Lall, Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, 3, (1992) 129.

9. J. Tengzelius, Metal Powder Report, (1988)  
757.

10. T. Sakai, T. Sato, Z. Henmi : J. Japan Inst.  
Metals, 52, No. 4 (1988) 434.