

410L 스테인레스 강의 ABS 센서 링 제조를 위한
자기적 특성에 관한 연구

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

양현수, 곽창섭*, 임종국**

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

군장대학 자동차 기계학부, *인천대학교 기계공학과, **충주대학교 안전공학과

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 hydrogen 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/cm³. Here, the properties showed a linear increasement with increasing the sintering density.
3. Coercivity sharply increased with incresing the sintering density and reached to 7.6Oe at the maximum sintering density of 6.89g/cm³.

1. 서론

오늘날 자동차가 생활에 필수품이 되면서 자동차 안전에 대한 인식이 높아지고 있다. 자동차의 안전장치에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 주행 중인 자동차가 급제동할 때 자동차의 안전성을 유지하면서 정지할 수 있도록 제동상태를 최적화 해주는 ABS (anti-lock break system)가 대표적이다. ABS가 브레이크 작동시 자동차의 미끄러움을 방지하기 위해 바퀴속도를 감지하여 ABCM(anti-lock brake control module)에 전달 하므로서 ABS가 정상적으로 작동하도록 해준다. ABS에서 주행중인 자동차의 바퀴속도를 측정하는 방법에는 광학식, 전자식 그리고 반도체식 등이 있다. 광학식은 진흙에 약하고 반도체식은 온도와 습도의 영향을 많이 받는 단점이 있어서 최근에는 내환경성이 보장되는 전자식이 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.^(1,2,3)

이와같은 조건을 갖추기 위해서는 센서 링(sensor ring)의 제조 방법이 매우 중요하다고 할 수 있다. 그 중에서 분말 야금법은 1970년대 이후 대량생산 및 고밀도화 기술의 지속적인 연구와, 1985년 이후 압축성이 강한 분말야금 제조용 분말이 개발됨에 따라 전통적인 압축-소결 분말 야금 방법^(4,5)을 이용한 많은 기계용 부품의 제조에 이용되고 있다.

분말 야금법에 의한 센서 링의 제조는 주로 순철을 이용하고 있다.⁽⁶⁾ 그러나 순철을 이용한 센서 링은 장시간 사용되면 부식 등의 영향으로 센서에 의한 정확한 속도감지를 어렵게 하는 문제점이 있다. 따라서 산업계에서는 내식성이 좋은 페라이트계 스텐레스강(ferrite series stainless steel : FSS)에 대한 자기적 특성에 대해 많은 관심을 갖고 연구를 하고 있다.^(7,8,9)

본 연구에서는 자기적 특성이 좋은 410L FSS을 재료로 한 자동차용 센서 링 제조시, 소결온도 변화에 따른 자기적 특성을 연구하였다.

2 이론적 배경

2.1 ABS 센서링 메카리즘

Fig. 1은 자동차 바퀴의 휠에 장착되어 있는 ABS의 센서 링과 속도센서의 위치를 나타내고 있으며 Fig. 2에서는 센서 링에 의해 전자식으로 바퀴속도를 측정하는 것을 보여주고 있다. 센서 링과 ABS 속도 센서는 휠 축 내부에 장착되어 있다. ABS 속도 센서는 마그네틱과 코일로 구성되어 있으며, 자극(pole)의 끝은 자장에 둘러 쌓여 있다. 센서 링이 회전하게 되면 ABS 속도 센서에서는 바퀴의 속도에 비례하여 AC전압신호가 발생한다. 바퀴가 더 빠르게 회전하면 ABS 속도 센서에 발생하는 주파수는 더욱 커지게 된다. BCM은 속도 센서로부터 각 바퀴에 대한 입력 정보를 받아 ABS 시스템을 작동시켜 최적의 조건으로 제동이 이루어지게 한다.

센서 링은 휠축 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 폴피스와 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.

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

여기서 V : 출력전압, N : 코일의 회전수, $\Delta\Phi/\Delta t$: 자속 밀도 변화율 출력 전압의 진동수 (f)는 단위시간당 통과한 기어의 잇수로서 진동수는 다음 과 같다.

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

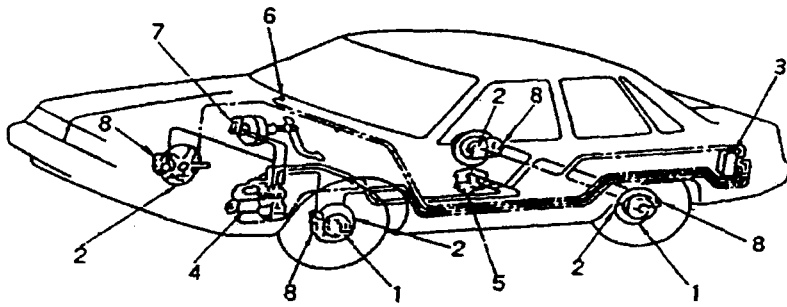
여기서 z : 센서 링의 잇수

진동수의 측정에 의해 바퀴속도 (v)는 다음과 같이 얻을 수 있다.

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

여기서 k : 자동차 상수

$\Delta\Phi$ 는 폴피스와 기어이, 영구자석 사이의 간격과 폴피스와 센서 링의 형상과 재질에 따라 달라진다.



1. Sensor ring
2. Speed sensor
3. Electronic control unit
4. Hydraulic unit
5. Delay valve
6. ABS warning lamp
7. Master cylinder and brake booster
8. Caliper

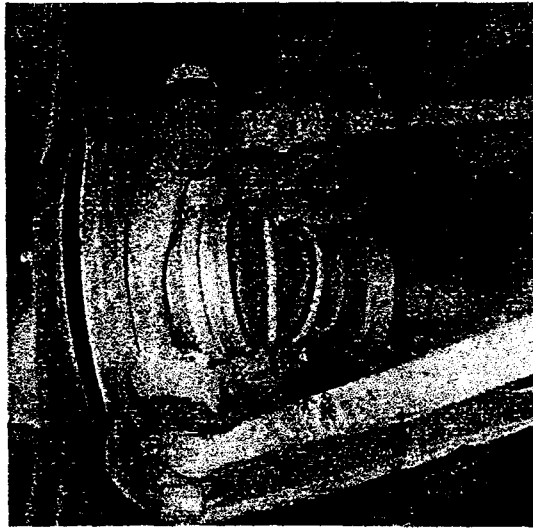


Fig. 1 Photograph of the Attached Sensor Ring and Speed Sensor for Wheel

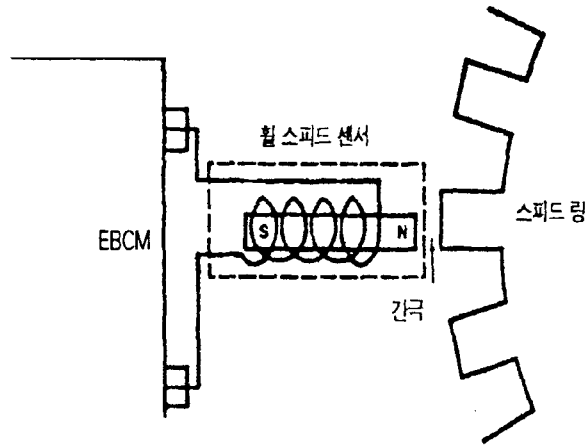


Fig. 2 Mechanism for Electromagnetic Generating Measurement of Wheel Velocity

2.2 실험방법

2.2.1 Test ring 제조

원료분말은 410L FSS 재료를 선택하였는데 표면처리 없이 높은 내식성을 보유하고 우수한 자기적 특성을 갖고 있는 것이 특징이다. 이들에 대한 화학적 성분의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical Analysis of FSS 410L Base Materials

powder Type	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

재료의 성형은 200톤급의 프레스(press)로 $5.5t/cm^2$ 에서 $7.2t/cm^2$ 까지 압축압력을 가해서 0.59cm 두께로 압축하였다. 공칭 치수는 바깥지름이 8.78cm, 안지름은 7.63cm이다. 이와 같이 성형된 링은 100Torr의 수소분위기의 진공로 안에서 $500^\circ C$ 로 30분 동안 유지시켜 탈가스 한다. 또한 소결온도를 $1140^\circ C$, $1160^\circ C$ 그리고, $1250^\circ C$ 로 변화하면서 소결한 후 $650^\circ C$ 까지 냉각시켰다. 최고압축압력 $7.2t/cm^2$ 에서 소결 후 센서 링의 특성치들을 Table 2와 같다.

Table 2. 410L Properties after Sintered of Test Ring

powder Type	Comp. Pressure (t/cm ²)	Outer Diameter (cm)	Inner Diameter (cm)	Thickness (cm)	Sintering Density (g/cm ³)
410L	7.2	8.798	7.641	0.595	6.89

2.2.2 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 센서 링에 180회 감았으며 2차 코일은 No. 24 gauge wire로 220회 감았다. ballistic galvanometer는 2차 코일측에 연결하였으며 여기서 최대자속밀도, 보자력 그리고 최대투자율과 같은 자기 특성치가 검출되는데 Table 3에 나타냈다.

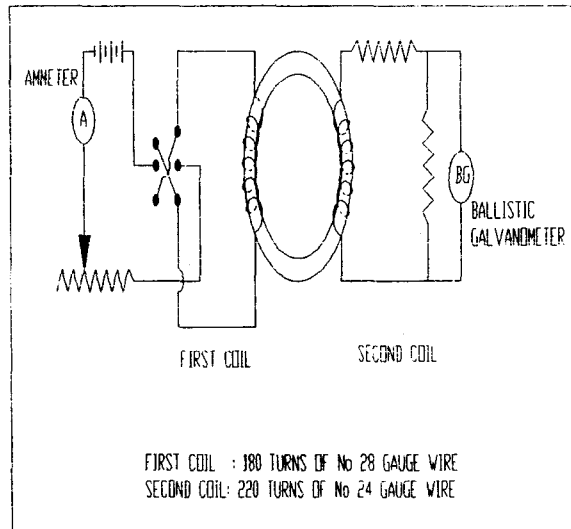


Fig. 3 Circuit Diagram for Determination of Magnetic Properties with a Ballistic Galvanometer

3. 결과 및 고찰

3.1 재료와 밀도의 영향

Fig. 4에서는 압축압력에 따른 410L FSS재료의 겉보기 밀도 (green density) 를 나타내고 있다. 이때의 압축압력의 영역은 5.5t/cm²에서 7.2t/cm²까지 선정하였다. 이 결과에서 압축압력이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 현상을 볼수 있는데 특히 압축압력이 5.5t/cm²일때의 소결전 밀도는 약 6.2g/cm³이며 7.2t/cm²의 압축압력 에서는 약 6.4g/cm³의 밀도가 나타났다.

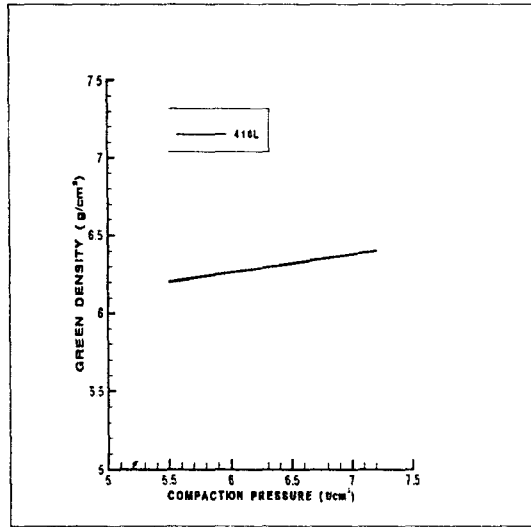


Fig. 4 Green Density of Various Stainless Steel Powders Compacted

Table 3은 수소분위기 하에서 410L FSS을 1250℃에서 60분 동안 소결 하였을 때 자기적 특성치들 이다. 이때의 압축압력은 Table 4와 같이 7.2t/cm²이다. 소결된 재료의 밀도는 Table 3과 같이 약 6.89g/cm³으로 소결전 밀도 약 6.4g/cm³에 비해서 약 0.49g/cm³가 상승하였다. 따라서 410L의 밀도는 동일 압축압력에서 소결전에 비해서 소결후 밀도가 증가함을 볼수있다.

Table 3. Magnetic Properties of FSS Test Ring Sintered at 1250℃ for 60 Minutes in Hydrogen

powder Type	Density (g/cm ³)	B2 (Gauss)	B5 (Gauss)	B10 (Gauss)	B25 (Gauss)	Br (Gauss)	Hc (Oe)	μ max
410L	6.89	200	700	1990	4700	2600	7.6	200

Table 4는 Zn-스테아린산염를 1% 첨가하여 수소 분위기하에서 1250℃의 온도로 60분동안 소결된 410L 페라이트 스테인레스강의 화학적 조성상태를 보여 주고 있다. 소결 후 탄소와 산소는 감소되었고 질소는 증가되었다.

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

powder Type	Compaction Pressure (t/cm ²)	Carbon (Wt %)	Oxygen (Wt %)	Nitrogen (Wt %)
410L	7.2Kg/cm ²	0.01	0.06	0.17

Fig. 5는 410L 페라이트 스테인레스강을 1250℃에서 5.5t/cm²에서 7.2t/cm²까지 압축 성형 후 1250℃에서 60분 동안 소결 하였을 때 밀도 값을 나타내고 있다. 특히 여기서는 Fig. 4보다 압축압력의 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 증가폭이 큼을 알 수 있었다.

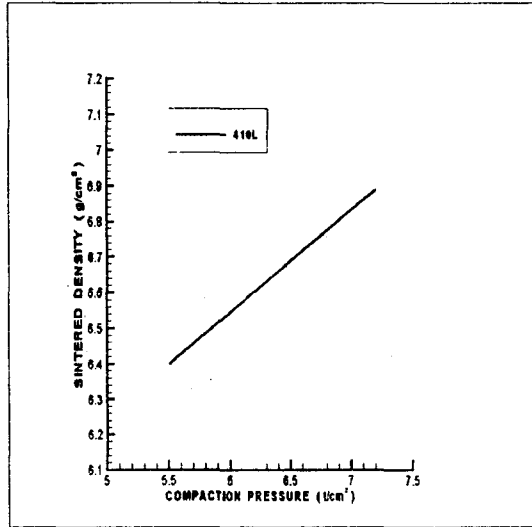


Fig. 5 Sintered density for various stainless steel grades compacted sintered at 1250℃ for 60 minutes in hydrogen

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/cm³에서 최대자기유도 값은 4700 Gauss가 측정되었다. 이는 테스트 링의 소결 밀도값이 증가하면 할수록 자기적 특성치도 더욱 증가한다는 것을 의미한다.

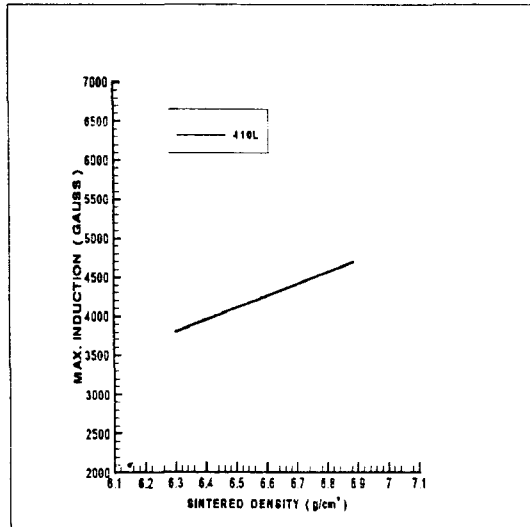


Fig. 6 Maximum Induction for Various Stainless Steel Grades Compacted with 1% Zinc Stearate and Sintered at 1250°C for 60 Minutes in Hydrogen

Fig. 7은 소결밀도 변화에 따른 410L FSS의 보자력을 나타내고 있는데 이때의 소결온도는 1250°C이며 소결시간은 60분이다. 그림에서 보듯이 소결밀도가 상승함에 따라서 보자력도 급한 기울기를 가지고 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 소결밀도 6.89g/cm³에서 7.60e의 보자력이 측정되었다.

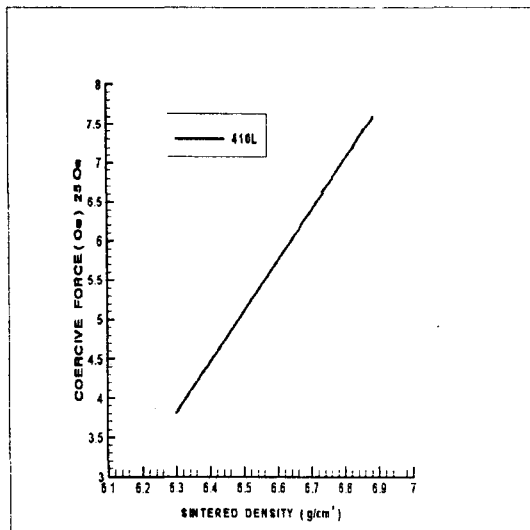


Fig. 7 Coercive force for various stainless steel grades compacted with 1% zinc stearate and sintered at 1250°C for 60 minutes in hydrogen

Fig. 8은 Fig.7과 같은 조건에서 소결 밀도 변화에 따른 최대투자율을 나타내고 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 있었다.

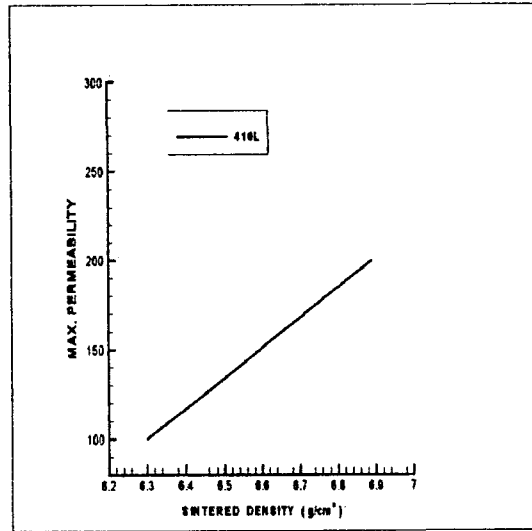


Fig. 8 Maximum permeability for various stainless steel grades compacted with 1% zinc stearate at 1250°C for 60 minutes in hydrogen

4. 결론

자동차 ABS에 사용되는 센서링 제조를 위한 기초조사로서 410L 페라이트 스테인레스강 분말의 소결밀도와 소결시간 그리고 소결온도에 따라서 최대자속밀도와 보자력 그리고 최대투자율의 자기적 특성 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수소 분위기하에서 소결온도 1250°C에서 60분간 소결시 탄소와 산소의 함량은 감소되었고 질소는 증가한 것을 알 수 있었다.
2. 소결밀도에 따른 변화에서 최대자속밀도 값은 선형적으로 서서히 증가하는데 최대 소결밀도 6.89g/cm³에서 최대자속밀도 값이 4700 Gauss을 나타내므로서 소결밀도가 크면 최대자기유도 값이 증가하는 것을 알 수 있었다.
3. 소결밀도에 따른 변화에서 보자력 값은 급한 기울기를 가지고 증가하는 것을 알 수 있었고 또한, 소결밀도 6.89g/cm³에서 7.6Oe의 보자력을 나타내는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hanada Masazumi, et al., "Development of a Powder Metallurgy Sensor Ring for use in an Antilock Brake System", Sumitomo Electr Tech Rev. No.28, p. 234-240 1989.
2. D. Whittaker, "Automotive Component, Antilock Brake System Speed Sensor Ring", The Institute of Metals UK., p. 4-15 1991.
3. H. F. Fischmeister, L. Olsson and K. E. Easterling, Powder Metallurgy International, 6(1), 1974.
4. M. Hanada, Y. Takeda, et al., "Development of a PM Sensor Ring for Use in an Antilock Brake System", Met Powder Rep., 44(10), p. 695-698 1989.
5. G. Wastenson, Powder Metallurgy, 18(35), p. 124, 1975.
6. U. Engstrom and S. Allroth, "Horizons of Powder Metallurgy, Part II" Proceedings of International Powder Met. Conference, Düsseldorf, p. 1039, 1986.
7. N. Amamo, T. Koiso, et al., "ABS Ring Resist Corrosion and Chipping" Metal Powder Report 48(1), p 22-25 1993.
8. C. Lall, "The Effect of Sintering Temperature and Atmosphere on Soft Magnetic Properties of P/M Materials", Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ. Vol. 3, p 129-156 1992.
9. J. Tengzelius, Metal Powder Report, p. 757 1988.