

## 400계열 스테인레스 스틸 분말을 사용한 ABS Sensor Ring 개발

### Development of the 400 Series Stainless Steel Powder Sensor Ring for Use in an Antilock Brake System

양현수\* · 곽창섭\* · 김경환\*\* · 임종국\*\*\*

H.S. Yang · C.S. Kawk · K.H. Kim · J.K. Rhim

(1998년 7월 25일 접수, 1998년 9월 25일 채택)

#### ABSTRACT

ABS sensor ring has been manufactured by P/M method using 400 series ferrite stainless steel. The results are as following:

It is supposedly sufficient to use for control computer due to good experimental results of magnetic characteristics. Compared with sensor ring made by iron, 400 series ferrite stainless steel has shown a good corrosion resistance without an addition surface treatment. Thus the decreasing production process has been obtained.

As a result of hardness and tensile test, 400 series ferrite stainless steel shown a good endurance when it is combined to C/V joint, and has a good hardness properties endurable to sand and pebble impact.

#### 1. 서 론

첨단 전자 기술의 빠른 진보에 의해 비교적 값싼 전자회로의 실용화와 함께 점점 복잡해지는 도로사정과 자동차 안전에 대한 사회적인 인식이 지속적으로 증가하면서 자동차 및 자동차

부품 생산자들은 자동차 brake system에 대한 새로운 연구와 개발을 시작하여 높은 신뢰도를 갖고 전기적으로 조절되는 4륜 anti-lock brake system (ABS)을 연구하기 시작했다.

ABS는 특히 눈이 많은 유럽에서 많이 사용되며 그 사용범위가 아직까지는 고급차종에 한

\* 인천대학교 기계공학과

\*\* 충남대학교 대학원

\*\*\* 충주산업대학교 안전공학과

정되어 있지만 점차적으로 그 사용범위가 증가되어 전 차종에 적용시키는 추세이다<sup>1,2)</sup>. 이 ABS의 적용 확대를 위해서는 시스템과 부품의 높은 신뢰도, 고기능성과 경제성을 보장하여야 한다. ABS에서 바퀴의 속도를 측정하는 방식에는 광학식, 전자식과 반도체식이 있다. 이중 광학식은 진흙에, 반도체식은 온, 습도에 민감하기 때문에 높은 내환경성이 보장되는 전자식이 최근에 많이 사용되고 있다<sup>3)</sup>. 전자식의 경우 바퀴의 속도를 측정하기 위하여 gear(sensor ring)를 사용하는데 브레이크의 정확한 작동을 유지하기 위해서는 피치의 고정밀도가 요구된다. 또한, sensor ring은 바퀴 근처에 위치하여 외부에 노출되기 때문에 큰 내식성이 요구된다<sup>4)</sup>.

이러한 특성에 맞추기 위하여 sensor ring의 제조는 P/M공정을 많이 이용하고 있다. 이 방법은 치차설계의 유연성 및 기계적, 전기적 성질의 요구를 충족시킬 수 있으며 재료의 다양성과 경제적인 장점을 얻을 수 있다. 사용재료로는 대부분의 경우, 철계를 사용하고 있으며 내식성의 향상을 위하여 다양한 표면처리 기법이 개발되어 사용되고 있다<sup>5,6)</sup>. 이러한 표면처리 공정의 추가로 인하여 제조 단가의 상승요인으로 작용하고 있다. 그럼에도 불구하고 내구성의 제한을 가져오며 사용 중 변형으로 인한 차륜회전 속도의 정확한 정보의 획득을 곤란하게 한다.

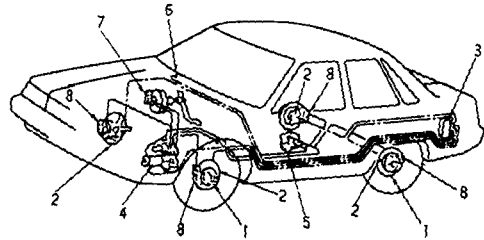
따라서, 본 연구에서는 자기적 특성과 내식성이 우수한 400 series ferrite stainless steel 분말을 사용하여 sensor ring을 제조하는데 따른 기계적 특성과 자기적 성질을 조사함으로써 향후 제조에 따른 기초자료로 삼고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 ABS sensor ring mechanism

Fig. 1은 ABS의 구조를, Fig. 2는 바퀴속도의 검출방법을 보여주고 있다. 지속적으로 정확한 바퀴속도를 검출하고 데이터가 제어 컴퓨터에 전달되면 ABS가 정확히 작동되고 brake가 작동되는 동안에 바퀴가 감기지 않을 것이다. sensor ring은 ABS의 내부에 장착되어 있는데 자동차 바퀴가 회전되면 이 링들은 부착된 유도코일에

전압이 발생된다. 전압은 자동차의 속도에 비례하여 증가하고 이것은 sensor ring의 자성에 크게 좌우된다. 바퀴속도의 신호는 brake를 조절하고, 바퀴의 잠금을 방지하는 computer를 경유하여 접화신호를 조절하는데 사용된다. 이들을 좀더 자세히 살펴보면 다음과 같다.



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 Configuration of ABS

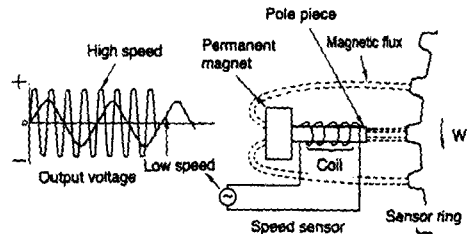


Fig. 2 Mechanism for electromagnetic generating measurement of wheel velocity

Sensor ring은 바퀴에 부착되어 회전되도록 설치된 기어인데, 바퀴의 속도 sensor는 sensor 끝단의 pole piece와 sensor ring의 이 끝 사이에서 일정한 간격을 유지하도록 설치되어 있다. sensor ring이 바퀴와 함께 회전함으로써 자속 밀도의 변화  $\Delta\Phi$ 가 sensor의 끝과 sensor ring 사이에서 발생되고 전압(V)은 coil에 의해 발생된다. 이 때 출력전압은 다음 식과 같이 표시할 수 있다.

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

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

출력전압의 진동수(f)는 단위시간 당 통과한 기어의 이수이고, 이는 분 당 바퀴 회전수(N)와

비례한다. 진동수는 다음과 같다.

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

z: sensor ring의 잇수

진동수의 측정에 의해 바퀴속도(v)는 다음과 같이 얻을 수 있다.

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

K: 자동차 상수

$\Delta \emptyset$ 는 pole piece와 기어 이, 영구자석 사이의 간격과 sensor ring의 형상, 재료의 특성 등에 좌우된다. 따라서, 아주 느린 속도에서도 바퀴속도를 정확하게 측정하기 위해서는 정밀하게 pole piece와 sensor ring의 형상을 설계하는 것이 필요하다.

## 2.2 Speed sensor

Speed sensor는 가변자기저항기(variable reluctance sensor)로 기계적 움직임을 전기적 신호로 변환시키는 비접촉변환기(non contact transducer)로서 영구자석, pole piece, coil, housing으로 구성되어 있다. 개략도는 Fig. 2과 같으며 기능은 다음과 같다.

- 1) 영구자석: speed sensor가 작동되는 magnet flux의 근원이다.
- 2) Pole piece:coil winding중심을 통과하여 ABS ring에 magnet flux를 집중시킨다.
- 3) Coil: 전류가 통과하여 flux 변화로부터 기대되는 signal을 발생시키는 것으로 유도된다.
- 4) Housing: 영구자석과 코일 주위를 둘러싸서 보호기능을 한다.

이와 같이 speed sensor는 그 자체가 전기적 pulse를 발생하는 것으로 외부 전압은 필요 없으며 내부에서 동작되는 것도 없다. 따라서 speed sensor의 출력이나 성능은 coil wire 감김수와 단위시간 당 flux 변화율에 의해 결정되며 이 외에도 센서링과 센서 사이의 간격, ABS ring, mounting 등에 많은 영향을 받는다.

Fig. 2의 좌측 그림은 speed sensor를 통한 magnetic flux 경로에 대한 ABS ring의 효과를 표현한 것으로 magnetic flux 변화는 coil 감김 내부에 전압을 발생시키게 되며 출력신호는 analog type이 된다.

ABS ring의 속도에 따라 signal의 주파수나 진폭도 증가하며, speed ring의 전기적 성능은 신호의 peak to peak 전압 증폭에 의해 측정된다. 이들 값은 각각 ABS sensor ring의 형상, 동심도, burr, 밀도분포 차에 따라 크게 변화된다.

## 2.3 Sensor ring에 요구되는 특성

### 2.3.1 내식성

요구되는 내식성의 정도는 sensor ring의 설치조건에 달려 있다. housing 안쪽에 설치될 때는 공기로부터 보호되어 최소한의 내식성만이 요구되지만, 설치 방법이 복잡하고 후에 유지보수하기가 어렵다. 따라서, 간단한 설치방법은 구동 축이나 다른 노출된 위치에 설치하는 것이다. 그러나, 눈이 많은 북극 등에서는 겨울에 도로의 결빙을 방지하기 위해 염화칼슘을 뿌리게 되는데 sensor ring의 설치 위치가 외부에 노출이 되어 있기 때문에 내식성이 크게 요구된다. 이 때, 조약돌이나 모래 등과 같이 기어 이에 충격을 줄 수 있는 것들로부터 보호하기 위해 보호망을 사용하는데 이것만으로는 염화칼슘을 막는 것이 불가능하다. 따라서, 염수, 모래 등의 chipping에 의해 sensor ring이 정확히 바퀴속도를 감지하지 못하는 것을 방지하기 위해 내식성이 요구된다. 이러한 내식성을 부여하기 위해 철계 제품에 대한 표면처리와 stainless steel의 사용이 고려되고 있는 것이다.

### 2.3.2 자기적 특성

Sensor ring에 요구되는 자기적 특성은 sensor ring 자체의 정적 자성과 ring이 실제 회전했을 때의 출력특성을 포함하는데, 최대 자속밀도 Bm과 최대 투자율  $\mu m$ 은 높을수록 좋고, 보자력 Hc는 낮을수록 좋다.

P/M제품에서 이러한 자기적 특성은 소결온도와 분위기 뿐만 아니라 제품의 밀도에 따라 달라진다. 즉, Bm과  $\mu m$ 은 모두 밀도가 증가함에 따라 증가하기 때문에 sensor ring이 적절한 특성을 얻기 위해서는 높은 밀도를 갖는 것이 요구된다.

### 3. 실험방법

#### 3.1 원소재

본 실험에서 사용한 원료는 내식성 및 우수한 자기적 특성을 얻을 수 있는 400 series ferrite stainless steel 분말로서 410L, 434LD2, 434L-HGD, 444L-HGD 4가지를 사용하였다. 이들은 일본 태평양금속의 제품으로서 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of 400 series ferrite stainless steel

Composition Powder	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
410L	0.012	0.84	0.13	0.019	0.003	12.45	-	-
434LD2	0.005	0.84	0.12	0.012	0.006	17.10	0.19	1.99
434L-HGD	0.011	0.82	0.21	0.013	0.005	16.65	0.10	1.01
444L-HGD	0.012	0.82	0.22	0.013	0.006	17.76	0.11	2.01

#### 3.2 시편 제작 및 실험 내용

자기특성시험을 위한 시편은 내경 34mm, 외경 45mm, 높이 6mm의 환형으로 제작하였으며, 내식성 시험 및 기계적 특성을 위한 시편은 내경 73.3mm, 외경 84.3mm, 높이 8mm의 sensor ring 형상으로 제작하였다. 성형은 200ton-f press에서 성형밀도 6.7g/cm<sup>3</sup>로 성형한 후 진공 소결하였다. 소결공정은 500℃에서 30분간 유지시켜 탈가스한 후 1200℃에서 1시간 유지하였다. 이 때 합금원소의 증발을 막기 위하여 Ar가스를 주입하여 10<sup>-2</sup> torr를 유지하였다. 소결이 완료된 후 내경 가공 및 barrel을 실시하여 burr를 완전히 제거시켰다.

완제품에 대한 내식성을 알아보기 위하여 5% NaCl 용액에 제품을 완전히 침지시킨 후 96시간, 500시간이 경과된 후 각각의 치형 및 표면에 부식발생을 관찰하였다.

자기특성은 최대 자속밀도, 최대 투자율, 보자력 등을 측정하였으며, 기계적 시험으로는 rockwell경도기 및 UTM을 사용하여 압환강도를 측정하였다. 또한 조직은 villcra 용액을 사용하여 부식시킨 후 광학현미경으로 X400의 배율로 관찰하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 Sensor ring의 내식성

Fig. 3 및 4은 각각 5% NaCl 용액에 제품을 완전히 침지시킨 후 96시간 및 500시간 경과 후에 관찰된 sensor ring의 표면사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 96시간이 경과한 후에는 모든 분말들의 표면 및 치형에 전혀 녹이 발생되지 않았으며, 500시간이 경과한 후에도 약 5% 이하의 부식점만이 발생되었음을 관찰 할 수 있었다. 이것은 외부에 노출시켜 장차되더라도 부식에 전혀 문제되지 않을 것으로 여겨진다<sup>7,8,9)</sup>.

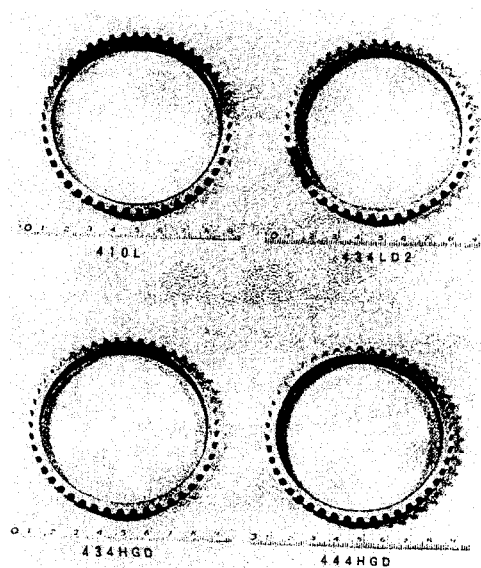


Fig. 3 Photographs of 400 series ferrite stainless steel of exposed 96h in the 5% NaCl solution

#### 4.2 Sensor ring의 자기적 특성

각각의 시료에 대한 측정결과를 Table 2에 보였다. 표에서 알 수 있듯이 최대투자율과 보자력은 410L, 최대자속밀도는 434L-HGD가 가장 우수한 특성을 보였다. 그러나 4가지 시료 모두 ASTM B117조건을 만족시키므로 제어 computer에서 사용되는 정보를 얻는데 아무 지장이 없을 정도의 우수한 특성을 나타내었다<sup>10,11,12)</sup>.

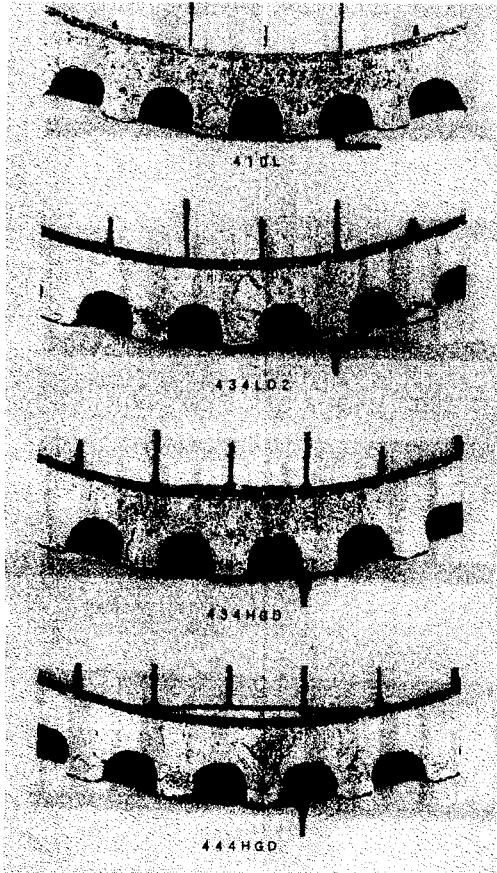


Fig. 4 Photographs of 400 series ferrite stainless steel exposed 500h in the 5% NaCl solution

Table 2 Magnetic properties of 400 series ferrite stainless steel

Properties Powder	최대 투자율 ( $\mu m$ )	최대 자속밀도 (Bm)	보자력 (Hc)
410L	1.635	9.440	2.19
434LD2	1.344	9.576	2.20
434L-HGD	1.570	9.920	2.25
444L-HGD	1.300	8.900	1.80

### 4.3 Sensor ring 의 기계적 및 물리적 성질

소결공정에서 내경이 외경에 비해 체적변화가 더 크게 나타났으며 410L의 경우 차가 더욱 심했다. 이것은 분말 자체의 특성에 기인한 것으로 여겨진다<sup>13,14,15</sup>. 상당히 높은 밀도의 성형

임에도 불구하고 많은 양의 수축이 일어난 것은 stainless steel 분말의 경우 일반적이지만 sensor ring의 경우 두께가 얇아 원형이 다소 손상되었다. 이것은 후속공정인 sizing공정을 추가함으로써 목표하는 치수를 얻을 수 있었다. 이러한 sizing공정의 추가로 경도값 및 UTM값이 상당량 증가되었음을 알 수 있으며 이것은 밀도의 증가에 기인하여 일어났으나 조직학적 변형으로 인한 자기적 성질은 크게 해치지 않는 것으로 나타났다. 또한 경도값이 HRB 80 내외의 값을 보임으로서 4가지 시료 모두 외부에 노출되어 자갈이나 모래등에 의한 링의 파손을 방지할 수 있을 것으로 여겨진다. UTM강도의 경우 80kgf/mm<sup>2</sup> 내외의 값을 보였고 표에는 나타내지 않았지만 연신율 또한 10%이상의 값을 보임으로써 C/V joint에 압입 시 견딜 수 있는 충분한 값을 나타냈다.

### 4.4 조직 관찰

Fig.5는 4가지 시료에 대한 조직 사진을 보였다. 소결품의 상, 중, 하 3단면을 채취하여 연마한 후 villera 용액을 사용하여 부식하였으며 광학 현미경을 사용하여 400배로 관찰 하였다. 410L의 경우 기공이 많이 관찰되었으며 이것은 분말 특성과 일치하였다. 434LD2 와 434L-HGD의 경우 기공의 양이 상당히 줄어 들었음을 알 수 있지만 결정립 크기가 상당히 불균일 함을 알 수 있다. 444L-HGD의 경우는 결정립계가 명확하며, 입도도 다른 것에 비해 상당히 균일 함을 알 수 있었다.

### 5. 결론

400 series ferrite stainless steel을 사용하여 ABS sensor ring을 P/M법으로 제조하여 기계적 성질과 자기적 성질을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 자기특성 시험결과 제어 computer에서 사용하기에 충분한 자기적 특성을 갖는 것으로 사료된다.
- 2) 철계로 제조한 sensor ring과 비교해 볼 때 별도의 표면처리를 거치지 않고도 우수

Table 3 Mechanical properties of ABS sensor ring

Process	Properties	Dimension (mm)		Dimensional Change (%)		Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HRB)	UTM (kgf/mm <sup>2</sup> )
		I.D	O.D	I.D	O.D			
Compacting	㉑	75.784	87.417			6.935		
	㉒	75.859	87.450			6.578		
	㉓	75.723	87.304			6.689		
	㉔	75.828	87.392			6.708		
Sintering	㉑	73.969	85.688	-2.395	-1.978	7.465	64.9	78.278
	㉒	73.146	84.480	-3.576	-3.396	7.312	69	65.409
	㉓	73.561	84.879	-2.855	-2.777	7.316	63.4	55.646
	㉔	73.425	84.872	-3.169	-2.884	7.285	70.1	55.498
Sizing	㉑	73.729	84.145			7.52	88.1	82.0539
	㉒	73.704	84.167			7.31	81.0	82.7338
	㉓	73.702	84.151			7.22	78.7	76.0520
	㉔	73.769	84.158			7.12	82.6	67.5466

㉑ : 410L, ㉒ : 434LD2, ㉓ : 434L-HGD, ㉔ : 444L-HGD

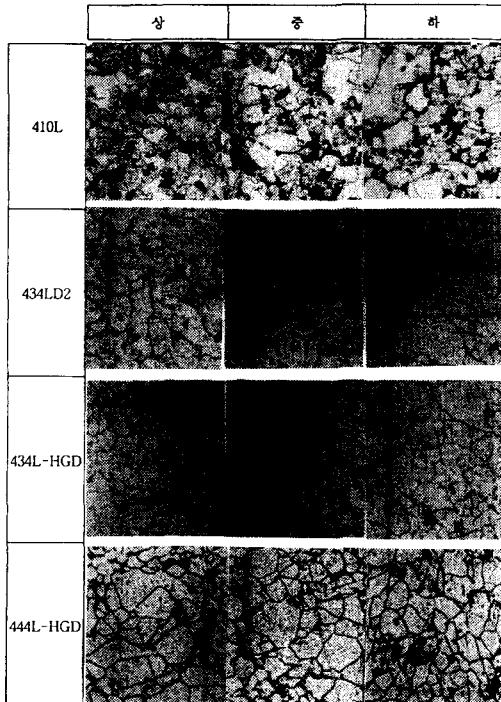


Fig. 5 Micro-structure of sensor ring after sintering (×400)

한 내식성을 얻을 수 있으며 표면처리공정의 생략으로 생산공정의 감소효과를 얻을

수 있었다.

3) 경도 및 압환경도등의 결과에서 C/V joint에 결합할 때 견딜수 있는 충분한 내구성을 가지고 있으며 모래나 자갈등의 충격에도 견딜 수 있는 경도와 압환경도 특성을 보였다.

### 참 고 문 헌

- 1) M. Hanada, Y. Takeda, N. Amano, "Development of a PM Sensor Ring for Use in an Antilock Brake System", Metal Power Rep. Vol. 44, No. 10, pp. 695~698, 1989.
- 2) M. Hanada, Y. Takeda, N. Amano, "Development of a Power Metallurgy Sensor Ring for Use in an Antilock Brake System", Sumitomo, Electric Technical Review, No. 28, Jan. pp. 234~240, 1989.
- 3) M. tokunaga, "Brake System", Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 39, No. 6, p. 656, 1985.
- 4) Amano, N, Koiso, T., "ABS Rings Resist Corrosion and Chipping", Metal Power Report, Vol. 48, No. 1, pp. 22~25, 1993.
- 5) T. Nishikawa, "Dacrotizing", Metal Fini-

- shing Practice, Vol. 32, No. 6, pp. 272~279, 1985.
- 6) Moyer, K., "A Beginning Toward Understanding the Corrosion Resistance of Ferritic Stainless Steels", SAE Technical Paper Series, No. 930450, 1993.
  - 7) Hsneiko, F., Rutz, H., Oliver, C., "Effects of Processing and Materials on Soft Magnetic Performance of Powder Metallurgy Parts", advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials, Vol. 6, pp. 375~404, 1992.
  - 8) Lall, C., "The Effect of Sintering Temperature and Atmosphere on Soft Magnetic Properties of P/M Materials", Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials, Vol. 3, pp. 129~150, 1992.
  - 9) Moyer, K., Jones, R., "Stainless Steels for Improved Corrosion Resistance", Advances In Powder Metallurgy, Vol. 4, pp. 145~148, 1991.
  - 10) Bas, J., Puig, J., Molins, C., "Soft Magnetic Materials in P/M: Current Applications and State-of-the-Art", Modern Developments in Powder Metallurgy, Vol. 18, pp. 745~756, 1988.
  - 11) Moyer, K., Ryan, J., "Emerging P/M Alloys for Magnetic Applications", Modern Developments in Powder Metallurgy, Vol. 18, pp. 750~772, 1988.
  - 12) Shah, S., Samal, P., Klar, E., "Properties of 410-L P/M Stainless Steel Antilock Brake Sensor Rings", SAE Technical Paper Series, No. 930449, 1993.
  - 13) Lall, C., "Fundamentals of High Temperature Sintering: Applications to Stainless Steels and Soft Magnetic Alloys", International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 27, No. 4, pp. 315~329, 1991.
  - 14) Beiss, P., "Processing of Sintered Stainless Steel Parts", Powder Metallurgy, Vol. 34, No. 4, pp. 259~261, 1991.
  - 15) Whittaker, D., "Automotive Component: Anti-Locking Brake System Speed Sensor Ring", The Institute of Metals, 491, pp. 4~15, 1991.
-