

## 분말야금법을 이용한 400계열 페라이트 스테인레스강 ABS 센서 링 개발에 관한 연구

A Study Development of the Powder Metallurgy Method Using  
400 Series Ferrite Stainless Steel ABS Sensor Ring

양 현 수\*

Yang, Hyun-Soo

### Abstract

ABS sensor ring has been manufactured by powder metallurgy (P/M) method using 400 series ferrite stainless steel. The results are 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 mechanical characteristics of hardness and tensile test, 400 series ferrite stainless steel shown a good endurance when it is combined to constant velocity joint(C/V), and has a good hardness properties endurable to sand and pebble impact. The products before sintering are much more corrodible in the condition of spray test of salt water and ammonia than humidity and nitrogen condition.

### 1. 서론

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 개

---

\* 군장대학 자동차·기계학부 조교수

발을 시작하여 고 신뢰도를 갖고 전기적으로 조절되는 4륜 Anti-lock Brake System (ABS)을 연구하기 시작했다. ABS는 특히 눈이 많은 유럽에서 많이 사용되며 그 사용범위가 아직까지는 고급차종에 한정되어 있지만 점차적으로 그 사용범위가 증가되어 전 차종에 적용시키는 추세이다.[1,2]

이 ABS의 적용 확대를 위해서는 시스템과 부품의 고 신뢰도, 고기능성과 경제성을 보장하여야 한다. ABS에서 바퀴의 속도를 측정하는 방식에는 광학 식, 전자 식 과 반도체 식이 있다. 이중 광학 식은 진흙에, 반도체 식은 온, 습도에 민감하기 때문에 높은 내환경성이 보장되는 전자식이 최근에 많이 사용되고 있다.[3] 전자식의 경우 바퀴의 속도를 측정하기 위하여 Gear(Sensor Ring)를 사용하는데 브레이크의 정확한 작동을 유지하기 위해서는 피치의 고정밀도가 요구된다. 또한 센서 링은 바퀴근처에 위치하여 외부에 노출되기 때문에 큰 내식성이 요구된다.[4]

이러한 특성에 맞추기 위하여 센서 링의 제조는 P/M공정을 많이 이용하고 있다. 이 방법은 치차 설계의 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. [5, 6] 이러한 표면처리 공정의 추가로 인하여 제조 단가의 상승요인으로 작용하고 있다. 그럼에도 불구하고 내구성의 제한을 가져오며 사용 중 변형으로 인한 차륜 회전속도의 정확한 정보의 획득을 곤란하게 한다. 따라서, 본 연구에서는 자기적 특성과 내식성이 우수한 400계열 페라이트 스테인레스강 분말을 사용하여 센서 링을 제조하는데 따른 기계적 특성과 자기적 특성을 조사함으로써 향후 제조에 따른 기초자료로 사용하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 ABS Sensor Ring Mechanism

Fig. 1은 ABS의 구조, Fig. 2는 바퀴속도의 검출방법을 보여주고 있다. 지속적으로 정확한 바퀴속도를 검출하고 데이터가 전자 제어 컴퓨터(EBCM)에 전달되면 ABS가 정확히 작동되고 브레이크가 작동되는 동안에 바퀴가 감기지 않을 것이다. 센서 링은 ABS의 내부에 장착되어 있는데 자동차 바퀴가 회전되면 이 링들은 부착된 유도코일에 전압이 발생된다. 전압은 자동차의 속도에 비례하여 증가하고 이것은 센서 링의 자성에 크게 좌우된다. 바퀴속도의 신호는 브레이크를 조절하고, 바퀴의 잠금을 방지하는 Computer를 경유하여 점화신호를 조절하는데 사용된다.

또한 Fig.3 센서 링은 바퀴에 부착되어 회전하도록 설치된 기어인데, 바퀴의 속도센서는 센서 끝단의 Pole Piece 와 센서 링의 이끝 사이에서 일정한 간격을 유지하도록 설치 되어있다.

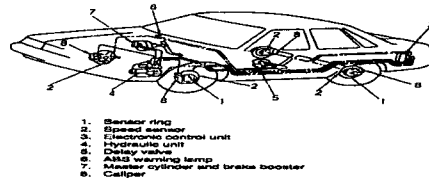


Fig.1 Configuration of automobile ABS

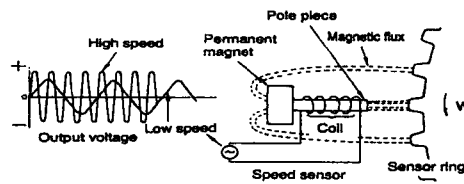


Fig.2. Mechanism for electromagnetic generating measurement of wheel velocity

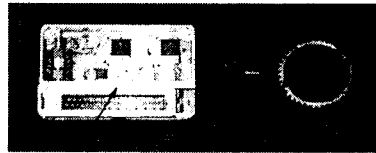


Fig.3 Photograph of ABCM, speed sensor and sensor ring

## 2.2 Speed Sensor

Fig 4.Speed Sensor는 가변자기 저항기로 (Variable Reluctance Sensor)기계적 움직임을 전기 적신호로 변환시키는 비접촉 변환기 (Non Contact Transducer)로서 Permanent magnet, Pole Piece, Coil, Housing으로 구성 되어있다. 개략도는 Fig.2와 같으며 기능은 다음과 같다.

- (1) Permanent magnet : Speed Sensor가 작동되는 Magnet Flux 의 근원이다.
- (2) Pole Piece : Coil Winding 중심을 통과하여 ABS Ring에 Magnet Flux를 집중시킨다.
- (3) Coil : 전류가 통과하여 Flux 변화로부터 기대되는 Signal을 발생시키는 것으로 유도된다.
- (4) Housing : 영구자석과 코일 주위를 둘러싸아 조립과 보호기능을 한다.

이와 같이 Sensor Ring 는 그 자체가 전기적 Pluse를 발생하는 것으로 외부 전압은 필요 없으며 내부에서 동작되는 것도 없다. 따라서 Speed Sensor 의 출력이나 성능은

Coil Wire 감김 수와 단위시간당 Flux 변화율에 의해 결정되며 이외에도 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 type 이 된다.

Fig.2 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.

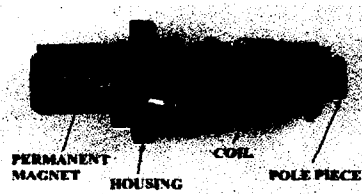


Fig.4 Interior of speed sensor

## 2.3 센서 링에 요구되는 특성

### 2.3.1 내식성

요구되는 내식성의 정도는 센서 링의 설치조건에 달려 있다. 하우스 안쪽에 설치될 때는 공기로부터 보호가 되어 최소한의 내식성만이 요구되지만 설치 방법이 복잡하고 후에 유지보수하기가 어렵다. 따라서, 간단한 설치방법은 구동축이나 다른 노출된 위치에 설치하는 것이다. 그러나, 눈이 많은 북극 등에서는 겨울에 도로의 결빙을 방지하기 위해 염화칼슘을 뿌리게 되는데 센서 링의 설치 위치가 외부에 노출이 되어 있기 때문에 내식성이 크게 요구된다. 이때, 조약돌이나 모래 등과 같이 기어 이에 충격을 줄 수 있는 것들에서 보호하기 위해 보호망을 사용하는데 이것만으로는 염화칼슘을 막는 것이 불가능하다. 따라서, 염수나, 모래 등의 침핑에 의해 센서 링이 정확히 바퀴속도를 감지하지 못하는 것을 방지하기 위해 내식성이 요구된다. 이러한 내식성을 부여하기 위해 철계 제품에 대한 표면처리와 페라이트 스테인레스강의 사용이 고려되고 있는 것이다.

### 2.3.2 자기적 특성

자기특성 시험은  $\phi 34 \times \phi 45 \times 6t$ 의 환형으로 시편을 제조하였다. 소결철의 자기적 시험에 관한 ISO 또는 IEC표준은 아직 제정되지 않았으므로

ASTM 표준 A-596의 기준에 따라 시험하였다.

Fig.5 자기적 특성 시험을 하기 위해서 센서 링에 1차 코일은 No. 28 gauge wire로 180회 감았으며, 2차 코일은 No. 24 gauge wire로 220회 감았다. 2차측에 ballistic galvanometer를 연결하여 B2, B5, B10, B25의 자화곡선에 의하여 최대자속밀도(Bm), 보자력(Hc) 그리고 최대투자율( $\mu m$ )의 값을 얻었다

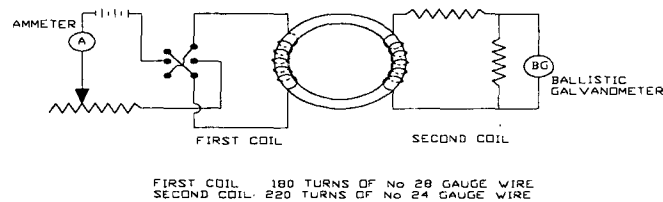


Fig.5 Circuit diagram for determination of magnetic properties with a ballistic galvanometer

### 3. 실험방법

#### 3.1 원소재

본 실험에서 사용한 원료는 내식성 및 우수한 자기적 특성을 얻을 수 있는 400계열 페라이트 스테인레스강 분말로서 410L, 434LD2, 434-HGD, 444-HGD 4가지를 사용하였다. 또한 이 제품의 화학성분은 Table 1.과 같다

Table 1. Chemical composition of series ferrite stainless steel

Composi- -tion 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
434LD2	0.005	0.84	0.12	0.012	0.006	0.19	17.10	1.99	0.21	0.36
434L-HGD	0.011	0.82	0.21	0.013	0.005	0.10	16.65	1.01	0.10	0.24
444L-HGD	0.012	0.82	0.22	0.013	0.006	0.11	17.76	2.01	0.11	0.18

#### 3.2 시편제작 및 실험내용

Fig.6는 자기특성시험을 위한 시편은 I.D 34mm O.D 45mm H 6mm 의 환형으로

제작하였으며, 또한 Fig.7 에서는 내식성 시험 및 기계적 특성을 위한 시편으로 I.D 73.3mm O.D 84.3mm H 8mm 의 센서 링 형상을 제작하였다. 성형은 200톤 프레스에서 성형밀도  $6.7\text{g/cm}^3$ 로 성형한 후 진공 소결 하였다. 소결공정은  $500^\circ\text{C}$ 에서 30분간 유지시켜 탈가스 한 후  $1200^\circ\text{C}$ 에서 1시간 유지하였다. 이때 합금원소의 증발을 막기 위하여 Ar 가스를 주입하여  $10^{-2}\text{torr}$ 를 유지하였다. 소결이 완료된 후 내경 가공 및 Barrel을 실시하여 Burr를 완전히 제거시켰다.

완제품에 대한 내식성을 알아보기 위하여 5% NaCl 용액에 제품을 완전히 침지 시킨 후 96 시간, 500 시간이 경과된 후 각각의 치형 및 표면에 부식발생을 관찰하였다. 자기적 특성은 최대 자속밀도, 최대투자율, 보자력 등을 측정하였으며, 기계적 특성 시험은 Rockwell 경도 및 UTM을 사용하여 압환강도를 측정하였다. 또한 조직관찰은 Villera용액을 사용하여 부식시킨 후 광학현미경으로 X100와 X400 배율로 관찰하였다.

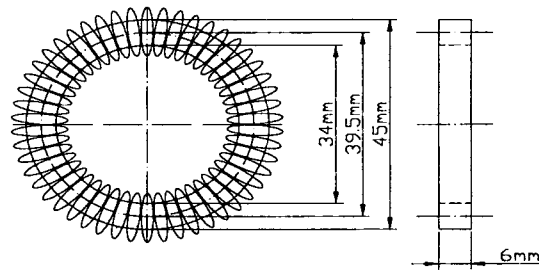


Fig.6 Schematic of test ring

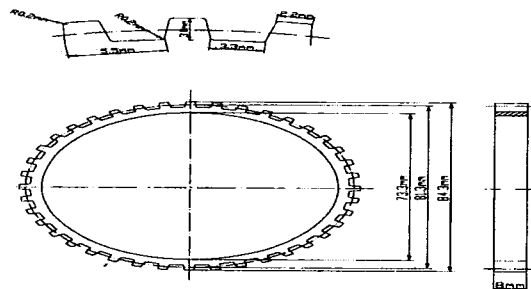


Fig.7 Schematic of tooth shape for sensor ring

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 센서 링의 내식성

Fig.8 및 9은 각각 5% NaCl 용액에 제품을 완전히 침지 시킨 후 96시간 및 500시간 경과 후에 관찰된 센서 링의 표면사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 96시간이 경과한 후에는 모든 분말들의 표면 및 치형에 전혀 녹이 발생되지 않았으며, 500시간이 경과한 후에도 약 5% 이하의 부식 점만이 발생되었음을 관찰 할 수 있었다. 이것은 외부에 노출시켜 장착되더라도 부식에 전혀 문제되지 않을 것으로 여겨진다.[7,8,9]

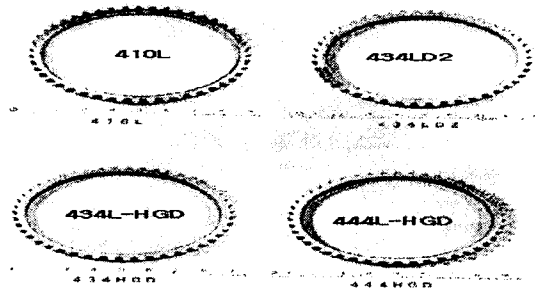


Fig.8 Photographs of 400 series ferrite stainless steel of exposed 96hrs in the 5% NaCl solution

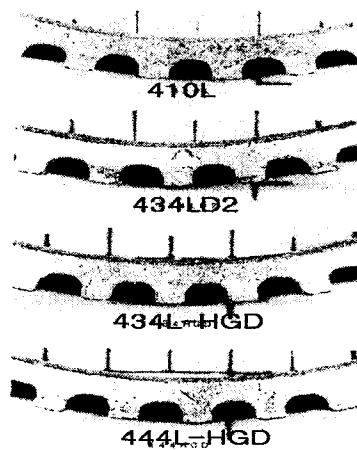


Fig.9 Photographs of 400 series ferrite stainless steel of exposed 500hrs in the 5% NaCl solution

### 4.2 센서 링의 자기적 특성

각각의 시료에 대한 측정결과를 Table 2.에서 알 수 있듯이 최대 투자율과 보자력은 410L, 최대자속밀도는 434L-HGD 가 우수한 특성을 보였다. 그러나 4가지 시료 모두 전자 제어 컴퓨터에서 사용되는 정보를 얻는데 아무 지장이 없을 정도의 우수한 특성을 나타내었다.[10,11,12]

### 4.3 센서 링의 기계적 및 물리적 성질

소결공정에서 내경이 외경에 비해 체적변화가 더 크게 나타났으며 410L의 경우 차가 더욱 심했다. 이것은 분말 자체의 특성에 기인한 것으로 여겨진다.[13,14,15] 상당히 높은 밀도의 성형임에도 불구하고 많은 양의 수축이 일어난 것은 Stainless Steel 분말의 경우 일반 적이지만 Sensor Ring 의 경우 두께가 얇아 원형이 다소 손상되었다. 이것은 후처리 공정인 Sizing 공정을 추가함으로써 목표하는 치수를 얻을 수 있었다. 이러한 Sizing 공정의 추가로 경도값 및 UTM 값이 상당량 증가되었음을 알 수 있으며 이것은 밀도의 증가에 기인하여 일어났으나 조직학적 변형으로 인한 자기적 성질은 크게 해치지 않는 것으로 나타났다. 또한 경도값이 H<sub>RB</sub> 80 내외의 값을 보임으로서 4가지 시료 모두 외부에 노출되어 자갈이나 모래 등에 의하 링의 파손을 방지할 수 있을 것으로 여겨진다. UTM 강도의 경우 80 Kgf/mm<sup>2</sup>내 외의 값을 보였고 Table 3.에서는 나타내지 않았지만 연신을 또한 10% 이상의 값을 보임으로서 C/V Joint 에 압입시 견딜 수 있는 충분한 값을 나타냈다.

Table 2. Magnetic properties of ferrite stainless steel test ring sintered at 1250°C for 60 minutes in nitrogen

Material type	Density g/cm <sup>3</sup>	B2 Gauss	B5 Gauss	B10 Gauss	B25 Gauss	Bm Gauss	Hc Oe	μ max
410L	6.89	200	700	1900	4700	9920	1.8	1635
434LD2	6.76	500	2600	4900	7400	8900	2.25	1240
434L-HGD	6.80	500	2500	4900	7500	9440	2.20	1344
444L-HGD	6.87	500	2800	6000	7100	9576	2.19	1570



Table 3. Mechanical properties of ABS sensor ring

Process	Properties	Dimension (mm)		Dimensional change (%)		Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HRB)	UTM (Kg/mm <sup>2</sup> )
		I.D	O.D	I.D	O.D			
Compacting	a	75.78	87.41			6.935		
	b	75.85	87.45			6.578		
	c	75.72	87.30			6.689		
	d	75.82	87.39			6.708		
Sintering	a	73.96	85.68	-2.39	-1.97	7.465	64.9	78.278
	b	73.14	84.48	-3.57	-3.39	7.312	69	65.409
	c	73.56	84.87	-2.85	-2.77	7.316	63.4	55.646
	d	73.42	84.87	-3.16	-2.88	7.285	70.1	55.498
Sizing	a	73.72	84.14			7.52	88.1	82.053
	b	73.70	84.16			7.31	81.0	82.733
	c	73.70	84.15			7.22	78.7	76.052
	d	73.76	84.15			7.12	82.6	67.546

a : 410L b : 434LD2 c : 434L-HGD d : 444L-HGD

#### 4.4 조직관찰

Fig.10은 4가지 시료에 대한 조직 사진을 보였다. 소결품 단면을 채취하여 연마한 후 Villera 용액을 사용하여 부식하였으며 광학 현미경을 사용하여, 100배와 400배로 관찰하였다. 410L의 경우 기공이 많이 관찰되었으며 이것은 분말 특성과 일치하였다. 434LD2 와 434L-HGD의 경우 기공의 양이 상당히 줄어들었음을 알 수 있지만 결정립 크기가 상당히 불균일 함을 알 수 있다. 444L-HGD 의 경우는 결정립계가 명확하며, 입도도 다른 것에 비해 상당히 균일함을 알 수 있었다. 또한 소결체의 결정립 조대화가 일부 진행중 이지만 자동차 ABS에 사용될 때에는 결정립 조대화가 가능한 발생되지 않는 것이 좋다. 사진을 보면 400계열 모두가 탄화물인 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Cr<sub>2</sub>N으로 추정되는 석출물이 발견되고 있다. 이것은 400계열 페라이트 스테인레스강에 화학적 성분에 포함되어 있는 원소인 질소와 산소 그리고 크롬에 의해서 소결하는 과정에서 서로 결합하여 만들어지는 탄화물이라고 여겨진다. 그러나 자기적 특성이나 기계적 특성에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

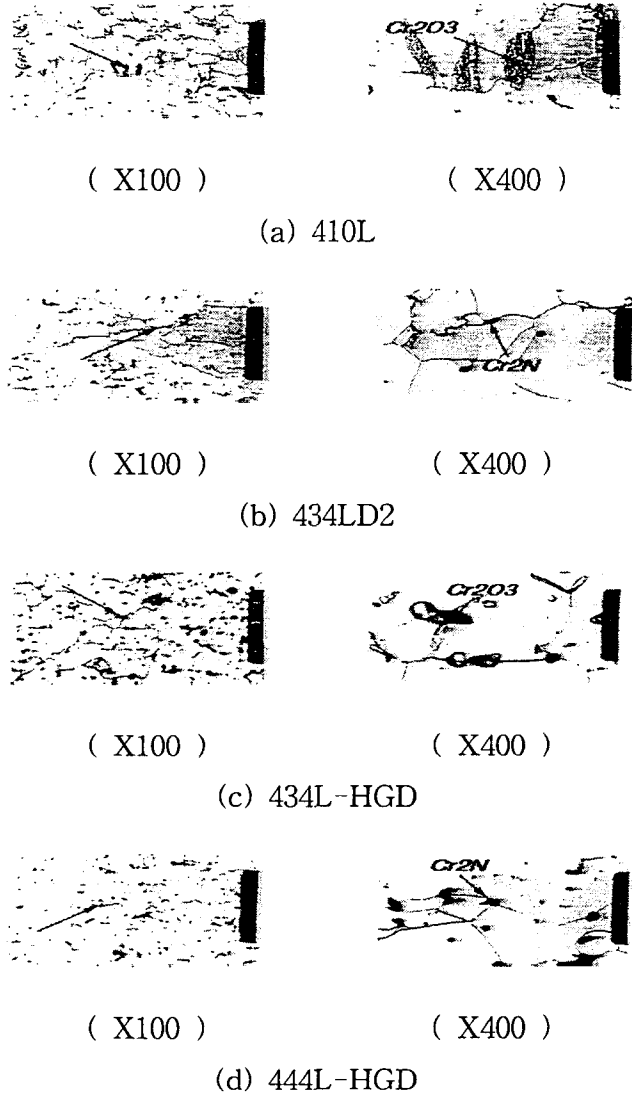


Fig.10 Micro Structure of Sintered Stainless Steel for 400 Series

## 5. 결 론

400 Series Ferrite Stainless Steel을 사용하여 ABS Sensor Ring을 분말야금법으로 제조하는데 따른 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 자기적특성 시험 결과 전자제어 컴퓨터에서 사용하기에 충분한 자기적 특성을 갖는 것으로 사료된다.
- (2) 철계로 제조한 Sensor Ring 과 비교해 볼 때 별도의 표면처리를 거치지 않고도 우수한 내식성을 얻을 수 있으며 표면처리공정 생략으로 생산공정의 감소효과를 얻을 수 있었다.
- (3) 기계적 특성 시험인 경도 및 압환강도 등의 결과에서 등속 조인트(Constant Velocity Joint)에 결합할 때 견딜 수 있는 충분한 내구성을 가지고 있으며 모래나 자갈 등의 충격에도 견딜 수 있는 경도와 압환 강도 특성을 보였다.
- (4) 소결 전 제품은 습윤상태에서 보다 염수분무상태에서 부식이 크게 발생하였으며, 질소 분위기보다는 암모니아 분위기에서 부식이 크게 발생하는 것을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] M. Hanada, Y. Takeda, N.Amano, "Development of PM Sensor Ring for use in an Antilock Brake System" , Metal power Rep.44, (10) pp.695-698, 1989.
- [2] M. Hanada, Y. Takeda, N.Amano, "Development of powder Metallurgy Sensor Ring for use in an Antilock Brake System" , Sumitomo Electr Tech Rve. N28 Jan. pp. 234-240 1989.
- [3] M Tokunaga, "Brake Systems", Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 39, No.6, pp.656, 1985.
- [4] Amamo,N., Koiso, t., at al., 'ABS Rings Resist Corrosion and Chipping' Metal power Report 48(1) pp. 22-25 1993.
- [5] T. Nishikawa, "Dacrotizing", Metal Finishing 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, Metal Powder Industries Federation, Princeton NJ. Vol. 3, pp. 129-156, 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., Puing, J., Molins, C., "Soft Magnetic Materials in P/M: Current Applications and State-of-the-Art", Modern Developments in Powder Metallurgy, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ. Vol 18, pp. 745-756, 1988.
- [11] Moyer, K., Ryan, J., "Emerging P/M Alloys for Magnetic Applications", Modern Developments in Powder Metallurgy, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ. Vol. 18, pp. 756-772. 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] Baiss, P., "Processing of Sintered Stainless Steel Parts", Powder Metallurgy, Vol. 34, No. 4, pp. 259-261. 1991.
- [15] Whkittaker, D., "Automotive Component: Anti-Locking Brake System Speed Sensor Ring", The Institute of Metals, 491, pp4 -15, 1991.

## 저 자 소 개

### 양 현 수

조선대학교 정밀기계공학과 졸업

시립인천대학교 기계공학과 공학석사

시립인천대학교 기계공학과 공학박사

현 군장대학 자동차서비스 조교수

주요관심분야 : 자성재료, 내연기관 및 자동차 재료 등