

400계열 스텐인레스 스틸 분말을 사용한 ABS Sensor Ring 제조

Manufacture of the 400 Series Steel Powder Sensor Ring for Use in an Antilock Brake System

양현수, 곽창섭*, 임종국**

H. S. Yang, C. S. Kawk, J. K. Rhim

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

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. 서론

오늘날 점점 복잡해지는 도로사정과 자동차 안전에 대한 사회적인 인식이 지속적으로 증가하면서 자동차 관련 업체들은 자동차 브레이크 시스템에 대한 새로운 연구와 개발을 시작하여 높은 신뢰도로서 전자적으로 조절되는 4륜 anti-lock brake system (ABS)을 연구 해 왔다.

ABS는 특히 눈이 많은 유럽에서 많이 사용되며 그 사용범위가 아직까지는 고급차종에 한정되어 있지만 점차적으로 그 사용범위가 증가되어 전 차종에 적용하고 있는 추세이다.^{1,2)} 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.³⁾ 전자식의 경우 바퀴의 속도를 측정하기 위하여 센서 링(Sensor ring)를 사용하는데 브레이크의 정확한 작동을 유지하기 위해서는 피치의 고정밀도가 요구된다. 또한, 센서 링은 바퀴 근처에 위치하여 외부에 노출되기 때문에 큰 내식성이 요구된다.⁴⁾

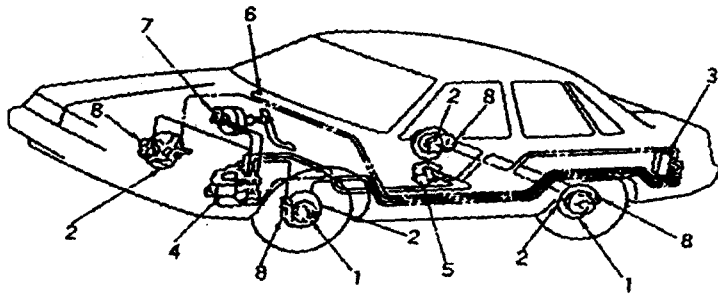
이러한 특성에 맞추기 위하여 센서 링의 제조는 P/M공정을 많이 이용하고 있다. 이 방법은 치차설계의 유연성 및 기계적, 전기적 성질의 요구를 충족시킬 수 있으며 재료의 다양성과 경제적인 장점을 얻을 수 있다. 사용재료로는 대부분 철계를 사용하고 있으며 내식성의 향상을 위하여 다양한 표면처리 기법이 개발되어 사용되고 있다.^{5,6)} 그러나 표면처리 공정의 추가로 인하여 제조 단가의 상승요인으로 작용하고 있으며 내구성의 제한과 사용 중 변형으로 인한 차륜회전 속도의 정확한 정보의 획득을 곤란하게 한다.

따라서, 본 연구에서는 자기적 특성과 내식성이 우수한 400 계열 페라이트 스텐인레스강 분말을 사용하여 센서 링을 제조하여 기계적 특성과 자기적 성질을 조사함으로써 향후 ABS 개발에 기초자료로 삼고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 ABS 센서 링의 메카니즘

Fig.1은 ABS의 구조를, Fig.2는 바퀴속도의 검출방법을 보여주고 있다. 자동차 바퀴가 회전되면 센서 링에서는 부착된 유도코일에 의해 전압이 발생된다. 전압은 자동차의 속도에 비례하여 증가하고 이것은 센서 링의 자성에 크게 좌우된다. 바퀴속도의 신호는 브레이크를 조절하고, 바퀴의 잠금을 방지하는 컴퓨터를 경유하여 점화신호를 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

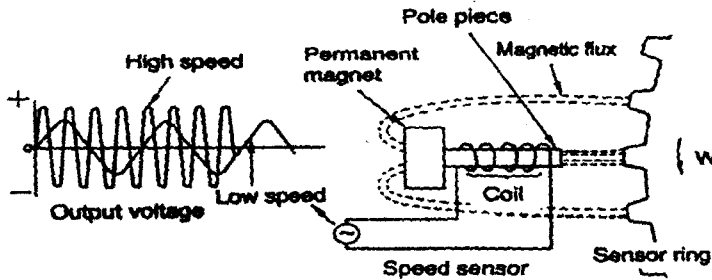


Fig.2 Mechanism for electromagnetic generating measurement of wheel velocity

센서 링은 바퀴에 부착되어 회전되도록 설치된 기어인데, 바퀴의 속도 센서는 센서 끝단의 폴 피스(Pole piece)와 센서 링의 이 끝 사이에서 일정한 간격을 유지하도록 설치되어 있다.

센서 링이 바퀴와 함께 회전함으로써 자속밀도의 변화 $\Delta\Phi$ 가 센서의 끝과 센서 링 사이에서 발생되고 전압(V)은 코일에 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 잇수이고, 이는 분 당 바퀴 회전수(N)와 비례한다. 진동수는 다음과 같다.

$$f = w \cdot z/60 \quad \text{-----} \quad (2)$$

z : 센서 링의 잇수

진동수의 측정에 의해 바퀴속도(v)는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$v = f \cdot K \quad \text{-----} \quad (3)$$

K : 자동차 상수

$\Delta \theta$ 는 폴 피스와 기어 이, 영구자석 사이의 간격과 센서 링의 형상, 재료의 특성 등에 좌우 된다. 따라서, 아주 느린 속도에서도 바퀴속도를 정확하게 측정하기 위해서는 정밀하게 폴 피스와 센서 링의 형상을 설계하는 것이 필요하다.

2.2 속도 센서

속도 센서는 가변자기저항기 (variable reluctance sensor)로 기계적 움직임을 전기적 신호로 변환시키는 비접촉변환기(non contact transducer)로서 영구자석, 폴 피스, 코일, 하우징으로 구성되어 있다. 개략도는 Fig.2와 같으며 기능은 다음과 같다.

- 1) 영구자석 : 속도 센서가 작동되는 자속의 근원이다.
- 2) 폴 피스 : coil winding중심을 통과하여 ABS 센서 링에 자속을 집중 시킨다.
- 3) 코 일 : 전류가 통과하여 자속 변화로부터 기대되는 신호를 발생시키는 것으로 유도된다.
- 4) 하우징 : 영구자석과 코일 주위를 둘러싸서 보호기능을 한다.

이와 같이 속도 센서는 그 자체가 전기적 펄스를 발생하는 것으로 외부 전압은 필요 없으며 내부에서 동작되는 것도 없다. 따라서 속도 센서의 출력이나 성능은 코일 와이어(coil wire)의 감김수와 단위시간 당 자속 변화율에 의해 결정되며 그 외에도 센서링과 센서 사이의 간격, ABS 센서 링, 마운팅 등에 많은 영향을 받는다.

Fig.2의 좌측 그림은 속도 센서를 통한 자속 경로에 대한 ABS 센서 링의 효과를 표현한 것으로 자속 변화는 코일 감김 내부에 전압을 발생시키게 되며 출력 신호는 아나로그 형태가 된다.

ABS 센서 링의 속도에 따라 신호의 주파수나 진폭도 증가하며, 속도 센서의 전기적 성능은 신호의 peak to peak 전압 증폭에 의해 측정된다. 이들 값은 각각 ABS 센서 링의 형상, 동심도, 버(burr), 밀도분포차이에 따라 크게 변화된다.

2.3 센서 링에 요구되는 특성

2.3.1 내식성

요구되는 내식성의 정도는 센서 링의 설치조건에 달려 있다. 하우징 안쪽에

설치될 때는 공기로부터 보호되어 최소한의 내식성만이 요구되지만, 설치 방법이 복잡하고 나중에 유지보수하기가 어렵다. 따라서, 간단한 설치방법은 구동 축이나 다른 노출된 위치에 설치하는 것이다. 그러나, 눈이 많은 북구 등에서는 겨울에 도로의 결빙을 방지하기 위해 염화칼슘을 뿌리게 되는데 센서 링의 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 칩핑(chipping)에 의해 센서 링이 정확히 바퀴속도를 감지하지 못하는 것을 방지하기 위해 내식성이 요구된다. 이러한 내식성을 부여하기 위해 철계 제품에 대한 표면처리에 대해서는 페라이트 스텐인레스강의 사용이 고려된다.

2.3.2 자기적 특성

센서 링에 요구되는 자기적 특성은 센서 링 자체의 정적 자성과 센서 링이 실제 회전 했을 때의 출력특성을 포함하는데, 최대 자속밀도(Bm)와 최대 투자율(μm)은 높을수록 좋고, 보자력 (Hc)은 낮을수록 좋다.

분말 야금 제품에서 이러한 자기적 특성은 소결온도와 분위기 뿐만 아니라 제품의 밀도에 따라 달라진다. 즉, 최대 자속밀도(Bm)와 최대 투자율(μm)은 모두 밀도가 증가함에 따라 증가하기 때문에 센서 링이 적절한 특성을 얻기 위해서는 높은 밀도를 갖는 것이 요구된다.

3. 실험방법

3.1 원소재

본 실험에서 내식성 및 우수한 자기적 특성을 얻을 수 있는 400 계열 페라이트 스텐인레스강 분말로서 410L, 434LD2, 434L-HGD, 444L-HGD 4가지 원료를 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	17.15	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, 외경45mm, 높이 6mm의 환형으로 제작하였으며, 내식성 시험 및 기계적 특성을 위한 시편은 내경 73.3mm, 외경 84.3mm, 높이 8mm의 센서 링과 같은 형상으로 제작하였다. 성형은 200 ton급 프레스에서 성형밀도 6.7g/cm³로 성형한 후 진공 소결하였다.

소결공정은 500℃에서 30분간 유지시켜 탈가스한 후 1200℃에서 1시간 유지하였다. 이 때 합금원소의 증발을 막기 위해서 Ar가스를 주입하였으며 10⁻²torr로 유지하였다. 소결이 완료된 후 내경 가공 및 바렐(barrel)을 실시하여 버(burr)를 완전히 제거시켰다.

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

자기적특성에 대한 시험으로서는 최대 자속밀도, 최대 투자율, 보자력 등을 조사하였으며, 기계적 시험으로는 로크웰 경도기 및 UTM을 사용하여 압환 강도를 측정하였다. 또한 조직은 부식액 퍼크리산 1g, 염산 15ml, 에탄올 100ml을 사용하여 부식시킨 후 광학현미경을 이용하여 400 배율로 관찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 센서 링의 내식성

Fig.3 과 Fig.4는 각각 5%염화 나트륨 용액에 제품을 완전히 침지시킨 후 96시간과 500시간이 경과된후에 관찰된 센서 링의 표면 사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 96시간이 경과된 후에는 모든 분말들의 표면과 치형에 전혀 녹이 발생되지 않았으며, 500시간이 경과한 후에도 약 5%이하의 부식점만이 발생되었음을 관찰 할 수 있었다. 이것은 외부에 노출시켜 장착되더라도 부식에 전혀 문제되지 않을 것으로 사료된다.^{7,8,9)}

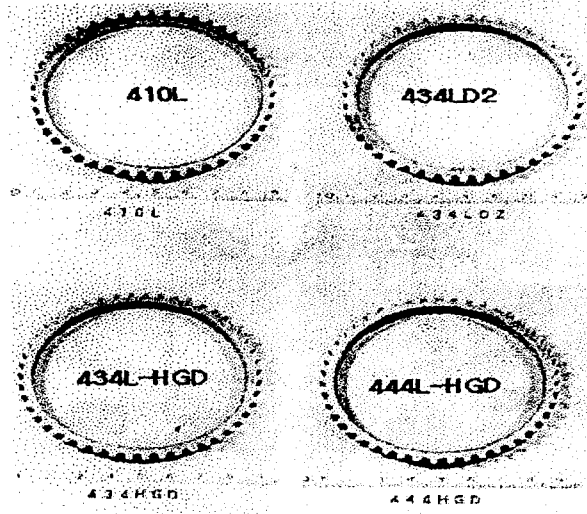


Fig.3 Photographs of 400 series ferrite stainless steel of exposed 96h the 5% NaCl solution

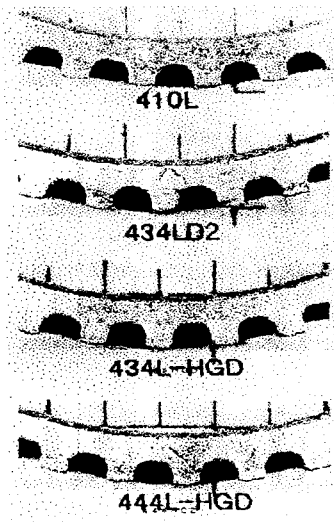


Fig.4 Photographs of 400 series ferrite stainless steel exposed 500h in the 5% NaCl solution

4.2 센서 링의 자기적 특성

각각의 시료에 대한 측정결과를 Table 2에 나타냈다. 표에서 알 수 있듯이 최대 투자율과 보자력은 410L, 최대 자속밀도는 434L-HGD가 가장 우수한 특성을 보였다. 그러나 4가지 시료모두 ASTM B117 조건을 만족시키므로 제어 컴퓨터에서 사용되는 정보를 얻는데 아무 지장이 없을 정도의 우수한 특성을 나타내었다.^{10,11,12)}

Table 2 Magnetic Properties of 400 series ferrite stainless steel

Properties powder	μm	Bm	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 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)} 매우 높은 밀도의 성형임에도 불구하고 많은 양의 수축이 일어난 것은 페라이트 스테인레스강 분말의 경우 일반적이지만 센서 링의 경우 두께가 얇아 원형이 다소 손상되었다. 이것은 후속공정인 정형공정을 추가함으로써 목표하는 치수를 얻을 수 있었다. 이러한 정형공정의 추가로 경도값 및 UTM값이 상당히 증가 되었으며 이것은 밀도의 증가에 기인한 것이다. 그러나 조직학적 변형으로 인한 자기적 성질은 크게 해치지 않는 것으로 나타났다. 또한 경도값이 HRB 80 내외의 값을 보임으로서 4가지 시료 모두 외부에 노출되어 자갈이나 모래 등에 의한 센서 링의 파손을 방지할 수 있을 것으로 여겨진다. UTM강도의 경우 80kgf/mm² 내외의 값을 보였고 표에는 나타내지 않았지만 연신을 또한 10%이상의 값을 보임으로써 등속 조인트에서 압입 시 충분히 견딜 수 있는 값을 나타냈다.

4.4 조직 관찰

Fig.5는 4가지 시료에 대한 조직 사진을 보였다. 소결품의 단면을 채취하여 연마 한 후 부식액 피크린산 1g, 염산 15ml, 그리고 에탄올 100ml을 사용하여 부식 하였으며 광학 현미경을 사용하여 400배로 관찰 하였다. 410L의 경우 기공이 많이 관찰되었으며 이것은 분말 특성과 일치하였다. 434LD2 와 434L-HGD의 경우 기공의 양의 상당히 줄어 들었음을 알 수 있지만 결정립 크기가 상당히 불균일함을 알 수 있다. 444L-HGD의 경우는 결정립계가 명확하며, 입도도 다른 것에 비해 상당히 균일함을 알 수 있었다.

Table 3 Mechanical properties of sensor ring

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

Ⓐ : 410L, Ⓑ : 434LD2, Ⓒ : 434L-HGD, Ⓓ : 444L-HGD

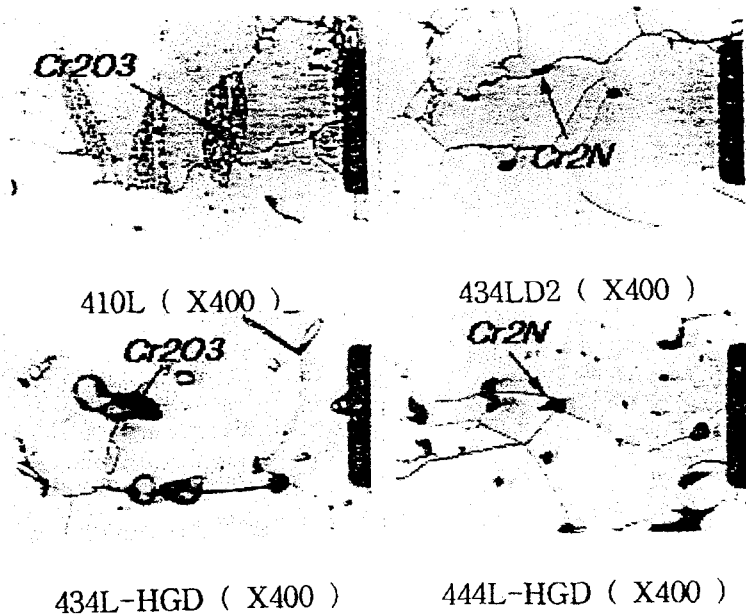


Fig.5 Micro-structure of sensor ring after sintering (X400)

5. 결론

400 계열 페라이트 스테인레스강을 사용하여 ABS 센서 링을 분말 야금법으로 제조하여 기계적 성질과 자기적 성질을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 자기특성 시험결과 제어 컴퓨터에서 사용하기에 충분한 자기적 특성을 갖는 것으로 사료된다.
- 2) 철계로 제조한 센서 링과 비교해 볼 때 별도의 표면 처리를 거치지 않고도 우수한 내식성을 얻을 수 있으며 표면처리공정의 생략으로 생산공정의 감소 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) 경도 및 압환강도 등의 결과에서 등속 조인트에 결합에 때 견딜수 있는 충분한 내구성을 가지고 있으며 모래나 자갈 등의 충격에도 견딜 수 있는 경도와 압환강도 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, Nishilkawa, "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 Metal-lurgy & Particurate 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 & Particulat 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 Develoments 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.