

분말야금기술에 의한 자동차 소결부품응용

Application of Automotive Parts by Powder Metallurgy Technology

오 중 석, 김 영 우
J. S. Oh, Y. W. Kim



오 중 석
• 1957년 10월생
• 현대자동차(주) 중앙연구소
재료연구팀
• 자동차 소결부품연구개발



김 영 우
• 1953년 5월생
• 정희원
• 현대자동차(주) 중앙연구소
재료연구팀 팀장
• 자동차 재료연구개발

받아 순조로이 육성되어 왔으며, 앞으로도 새로운 성장산업에 의하여 더욱 큰 발전을 보일 것으로 전망된다.

그림 1은 1995년도 국내 및 선진국에서 생산되는 전체 소결 부품중 자동차 소결부품이 차지하는 생산중량 구성비를 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 북미와 유럽의 경우 각각 66%, 60%를 차지하며 국내도 일본과 같이 76%로 자동차의 비중이 상당히 높은 것을 알수 있다¹⁾. 또 선진국 자동차에 사용되는 소결부품은 1994년도 북미 승용차 경우 평균 12kg, 일본 승용차 경우 5.9kg,

1. 서 론

분말야금법에 의한 소결부품은 원료분말을 혼합하여 성형, 소결의 공정을 거쳐 제조되기 때문에 재질과 형상의 선택범위가 넓으며 정확한 치수로 생산할 수 있어 비교적 짧은 기간동안에도 상당한 성장을 해왔다. 특히 최근들어 원가절감 및 경량화를 실현하는 최적재료로서 자동차 부품에 활발히 적용되고 있다.

소결 기계부품은 자동차를 비롯하여 가전 제품, 전자기기등 대형 성장산업의 뒷받침을

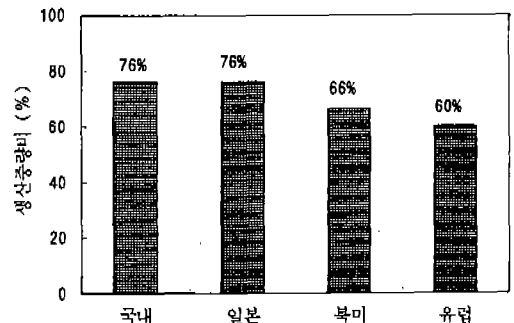


그림 1 각국의 전체 소결부품중 자동차 소결부품 생산중량비

유럽 승용차의 경우 4.7kg로 보고되고 있다²⁾. 반면 국내 현대자동차(주)에서 생산되는 승용차의 경우 약 4.5kg로서 선진국보다 못미치고 있으나 과거 10년간 비추어 볼때 해당 자동차 소결부품의 총중량은 1985년 2.6kg에서 매년 적용비율이 증가하였으며, 평균신장율은 연간 약 7%로 장족의 발전을 이루어 왔다고 할 수 있다.

본 고에서는 고강도화 되고있는 자동차 소결부품에 초점을 맞추어 기술하였다.

2. 분말야금의 개요

분말야금기술은 금속 원료분말을 사용하여 원하는 제품의 형태로 성형을 한 다음 적정 온도에서 소결하여 필요한 금속제품을 제조하는 기술이다.

분말야금 제조공정도는 표 1과 같으며 일반적으로 소결 기계부품의 주공정은 혼합-성형-소결-교정까지로 볼 수 있다. 제품의 공차에 따라 교정은 생략할 수 있으며, 이후의 공정은 일반 가공법과 비슷하나 부품의 특성상 처리방법이 약간 다르다.

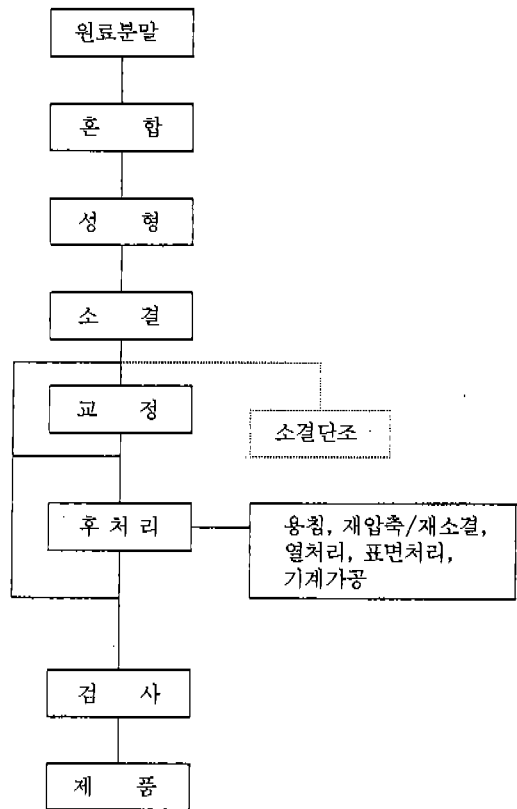
분말야금 제조공정중 주공정에 대한 설명은 생략하겠으며, 후처리 공정에 대하여 간단히 설명하겠다.

2.1 후처리

2.1.1 재압축/재소결

탄소량을 많이 함유하는 철계 소결재료에서는 소결후에 경도가 높아지므로 치수교정을 위한 Sizing이 어렵다. 따라서 성형체를 약 850℃이하에서 예비소결하고 재가입하여 밀도를 높인 다음 다시 소결하여 재료를 강화하는 방법으로 인장강도, 연신율, 충격강도 등이 향상된다.

표 1 분말야금 공정도



2.1.2 동용침

소결과 동시에 또는 재소결시에 소결체의 기공에 동(銅)을 침투시키는 것으로 재료가 더욱 치밀해 진다. 동용침은 주로 재료강도나 내마모성의 향상, 소결접합에 의한 복합형상품의 제조등에 사용된다. 또 재료의 피삭성도 개선될 수 있다.

2.1.3 스팀처리

스팀처리는 보통 550~650℃에서 행하며 소결체에 산화피막을 형성시켜 철계 소결재료의 내식성, 내마모성을 향상시킨다. 재료의 경도는 약간 증가하나, 강도에는 별로 영향이 없다.

2.1.4 열처리

높은 강도를 요구하는 부품인 경우 철계 소결재에 소입, 소려의 열처리를 행하며, 고 부하를 받으며 내마모성이 요구될 경우 칩탄 담금질 처리를 행한다. 이 열처리를 하면 철계 소결재의 인장강도는 향상되나 충격강도는 오히려 저하된다.

밀도를 높이고 싶은 경우에는 분무분이 사용 되는데 순도가 압축성에 영향을 주게됨으로 상당히 중요하다. 그림 2는 철분의 압축성에 대한 발전현황을 보여주고 있으며 Hoega-naes사 철분말 NC 100.24의 경우 동일한 성형압력(410MPa)하에서 성형밀도가 6.4에서 6.55까지 증가됨을 알 수 있다. 특히

3. 고강도화를 위한 방법

자동차 부품의 경량화, 소형화로의 움직임에 따라 소결부품에 대해서도 고강도화의 요구가 점점 높아지고 있다.

고강도화를 위한 자동차용 소결부품의 세계적인 발전추세를 도표로 요약해 보면 표 2와 같다³⁾.

3.1 원료분말

철분에는 환원철분과 분무철분이 있는데 그 입자의 형태는 서로 다르다. 일반적으로

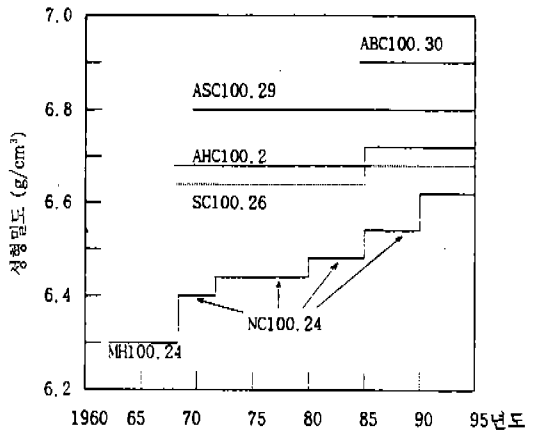


그림 2 철분의 압축성에 대한 발전현황

표 2 고강도용 자동차 소결부품 발전과정

년 대	특 징	소 결 부 품 현 황
'55~	<ul style="list-style-type: none"> 저밀도(5.8~6.4g/cm³) 작고, 단순형상 플랜지 형상 	Ball Joint, Shock Absorber 관련부품, Door Lock Plate, Door Cam
'60~	<ul style="list-style-type: none"> 중밀도(6.0~6.8g/cm³) 단계적인 분말공급 접합(Fitting, Joint) 	Camshaft Sprocket, Oil Pump Gear, Synchronizer Hub
'70~	<ul style="list-style-type: none"> 중밀도(6.0~6.8g/cm³) 분말 이송→성형 	Valve Guide, Valve Seat, Rocker Arm Tip, Tappet Shim
'80~	<ul style="list-style-type: none"> 고밀도(~7.2g/cm³) 복잡형상 박육형상 2단성형 	Cam Ring Rotor-Power Steering, Side Plate-Power Steering, Chain Sprocket, Connecting Rod, Differential Gear, A/T Oil Pump Gear
'90~	<ul style="list-style-type: none"> 고밀도(~7.5g/cm³) 분말이송→다단성형 	Al alloy Compressor Parts, Planetary Carrier, ABS Parts, Camshaft Sprocket(박육형상)

분무철분에 대해서는 ABC 100.30의 압축성이 현재까지 가장 크다^{3),4)}.

3.1.1 부분확산형 합금분말

부분확산형 합금분말은 현재 유럽과 일본에서 사용되고 있는데 우수한 성질을 갖고 있다. 일반적으로 합금분의 경우 합금성분이 증가함에 따라 분말의 경도가 상승하기 때문에 고밀도 성형체를 얻기 어려운 반면 부분확산형 합금분은 모재(母材) 순철분의 표면에 Ni, Mo, Cu 등 미분말을 확산처리에 의하여 부착시키는 것이므로 뛰어난 압축성을 나타낸다. 일반적으로 사용되는 분말은 Fe-4Ni-1.5Cu-0.5Mo, Fe-2Ni-0.5Mo 등이다⁵⁾.

3.1.2 완전 합금화 분말

분말 각 성분을 pre-alloy화 시킨 합금분은 철분에 각 원소분말을 배합해서 혼합한 분말과 비교하여 압축성이 현저히 떨어지기 때문에 소결 단조재와 내마모재등의 용도에 사용하는데 제약이 있었다. 그러나 최근 분말제조기술의 진보에 의하여 그 특성이 향상되어 고강도강재의 주원료분말로서 사용되고 있다. 사용예로는 Fe-2Ni-0.5Mo, Fe-1.5Ni-1Mo, Fe-0.5Ni-0.5Mo, Fe-1.5Mo, Fe-1Mo,

Fe-1Ni-1Cr-1Mo 등이다⁵⁾.

3.1.3 합금미분(合金微粉)

고압 수분사법, 가스분사법으로 미세분말을 제조할 수 있으며 여러 용도의 각종 합금미분이 제조되고 있다. 보통 1~45 μ m 정도 크기의 분말은 경질합금, 자성재료 및 금속사출성형용으로 사용된다⁵⁾.

3.2 공 정

소결재료의 강도에 영향을 주는 주인자에는 밀도, 화학성분 및 소결온도이다.

고밀도 재료를 얻기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 높은 압축성을 갖는 원료분말을 사용하는 것과 아래 표 3과 같은 공정을 취하는 것이 효과적이다.

밀도를 향상시키는 방법중 최근에는 가스결/재가압 공정이 일반화되고 있다. 이방식에서는 소재의 밀도가 높기 때문에 소결시의 치수 감소를 분포가 작아지므로 치수정밀도의 면에서도 유리하다⁶⁾.

온간성형(Warm Compacting)은 최근 고강도를 요구하는 소결 기계부품에 사용하고 있는 추세이며, 종래 분말야금 공법으로 제

표 3 고밀도를 얻기 위한 공정

NO	구 분	공 정	특 징
1	종래 기술	혼합→성형→소결	밀도 7.1g/cm ³ 이상을 얻기 위해서는 금형의 내구성 문제가 발생
2	재가압 (Double Compacting)	혼합→성형→소결 →재가압	탄소량에 따라 밀도값의 변동이 있으나 일반적으로 7.2g/cm ³ (밀도비 91%)가 한계이다.
3	가소결/재가압 (Double Compacting Double Sintering)	혼합→성형→가소결 →재가압→소결	고탄소량 재료로 고밀도화 가능 7.5g/cm ³ (밀도비 95%)까지 가능함.
4	온간성형 (Warm Compacting)	혼합→온간성형 →소결	탄소량에 따라 다르나, 일반적으로 7.4g/cm ³ 까지 가능함
5	분말단조 (Powder Forging)	혼합→성형→소결 →예열→단조	진밀도(~7.85)에 가까운 밀도값을 얻을 수 있다.

조된 부품보다 밀도가 약 0.2~0.3g/cm³ 정도 향상(탄소량이 0.3wt%인 경우)되며, 강도도 약 10% 향상된다⁷⁾.

이상 언급한 고밀도화 방법 이외에 고강도 용 부품으로서 진밀도(Full Density)를 얻기 위하여는 분말단조 공법을 이용할 수 있으며, Connecting Rod, Differential Pinion Gear를 비롯하여 적용범위가 확대되고 있다.

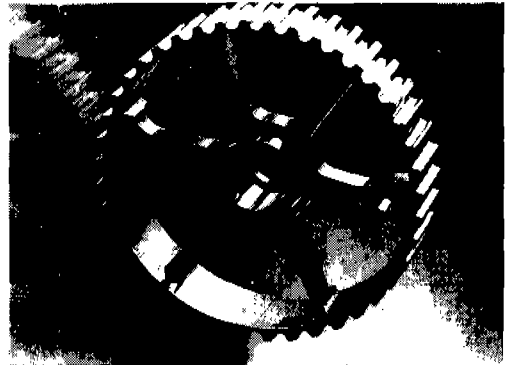
4. 자동차 소결부품 응용

자동차용 소결부품에는 주로 철계 소결재료가 쓰이며, 고기능 재료에는 고합금계 철계 소결재료가 사용되고 있다. 표 4에는 자동차용 소결부품의 응용예를 나타내었다.

자동차 엔진부분에서 최근 획기적인 경량화 효과를 얻은 Peugeot-Citroen의 Timing Pulley를 그림 3에 나타내었다. 재질은 일반 구조용 소결합금이며, 40%의 경량화 효과를 얻었다.

그림 4는 GM 3.8L V-6 Engine에 적용되는 Main Bearing Cap으로 중형급 이상의 엔진에 최초적용되었으며, 4Piece에 대한 중량도 3.6kg으로 현재 적용되는 소결부품중 가장 크다.

그림 5는 엔진 회전 감지용 Sensor Ring

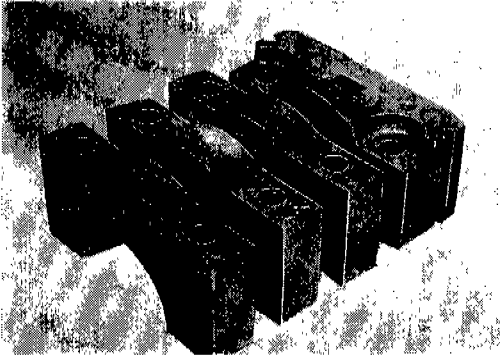


재질 : Fe-0.5C-2.5Cu
밀도 : 6.6g/cm³
중량 : 520g

그림 3 Timing Pulley

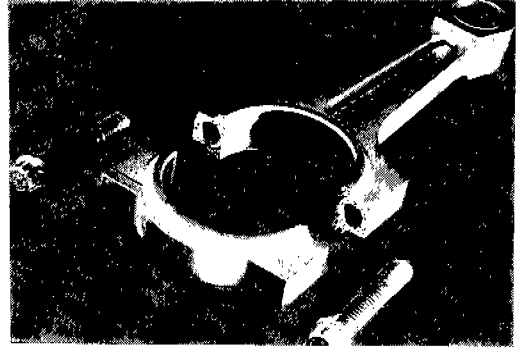
표 4 자동차용 소결부품 응용예

구 분	소 결 부 품
ENGINE	Valve Seat-In & Ex, Valve Guide-In & Ex, Rocker Arm Tip, Camshaft Sprocket, Camshaft Thrust Plate, Oil Pump Gear, Crankshaft Sprocket, Tensioner-Cam, Bearing Cap, Coupling, Cam-Camshaft, Starter Gear, Distributer Gear, Aircone Cylinder, Aircone Rotor
MANUAL TRANSMISSION	Shift Lug, Fork Shift, Select Lever, Cam Lock, Synchronizer Ring, Synchronizer Hub, Synchronizer Key, Stopper
AUTO TRANSMISSION	Cam Stator-Outer, Cam Stator-Inner, Stopper-Parking, Counter Shaft, Main Shaft, Clutch Hub, Turbine Hub, Weight Governor, Oil Pump Gear-In & Ex, Pressure Plate
STEERING	Rack Holder, Rack Guide, Column Bush, Switch Cell Cam, Pressure Plate, Cam Ring, Rotor, Side Plate Sensor Rotor, Sleeve
SHOCK ABSORBER	Rod Guide, Piston, Ball Joint, Bottom Valve, Valve Case
DOOR	Striker, Window Regulator Pinion, Slider
SEAT	Pinion, Punch, Guide, Guide Plate, Cam, Bushing, Heartrest Bush, Seat Lifter Set



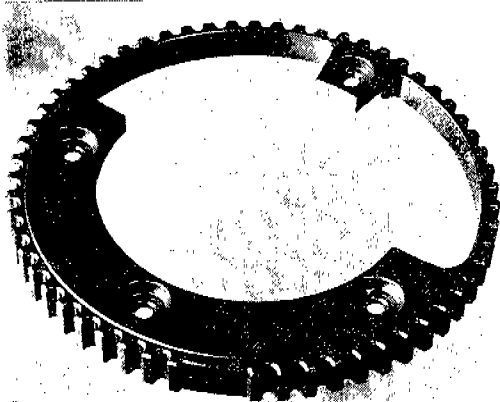
재질 : Fe-C-P-Cu계
 밀도 : 6.6g/cm³
 중량 : 3,600g(4Piece)

그림 4 Main Bearing Cap



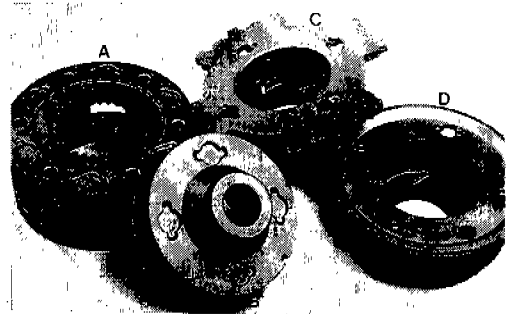
재질 : Fe-0.7C-0.25Ni-0.3Mo-0.15Cr-0.35Mn
 밀도 : 7.8g/cm³
 중량 : 500g

그림 6 Connecting Rod



재질 : Fe-1.75Ni-1.5Cu-0.5Mo
 밀도 : 7.0g/cm³
 중량 : 345g

그림 5 Sensor Ring



재질 : Fe-0.8C-2Cu
 밀도 : 6.7g/cm³
 중량 : 1,750g(A, B), 2,170g(C), 1,480g(D)

그림 7 Planetary Carrier

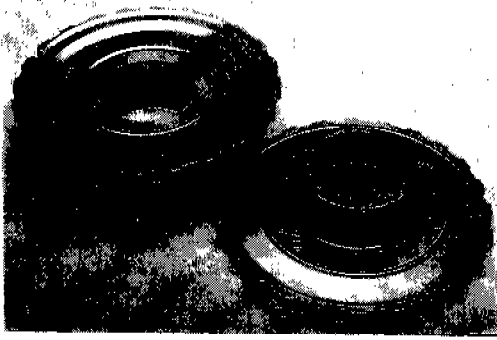
이다. 생산업체는 Austria MIBA Sintermetal社로서 치수면에서 정밀한 잇점을 갖고 있다.

그림 6은 분말단조재로 제작한 BMW의 Connecting Rod이다. Cap은 Fracture Splitting을 사용하여 분리하였으며 경량화 및 원가절감효과를 얻었다.

트랜스 미션부분에서는 Planetary Carrier의 응용을 그림 7에서 볼 수 있으며 2Piece

로 성형후 소결 브레이징 한 것이다. 그림 8은 Trans Output Shaft Hub로서 유럽차종의 오토 트랜스미션에 적용하고 있다. 가공공수 절감으로 원가절감효과를 얻었으며 온간성형방법으로 특히 Hub 부위에 밀도를 높였다. 그림 9는 오토 트랜스 미션용 One Way Clutch Race로서 이종재질을 사용하였고 분말단조공법으로 제조한 경우이다. 열처리를 행하여 내측부위 경도가 HRC60이다.

최근 Al소결에 대한 자동차부품 개발도 활발히 진행되고 있으며, 현재 개발중인 부품



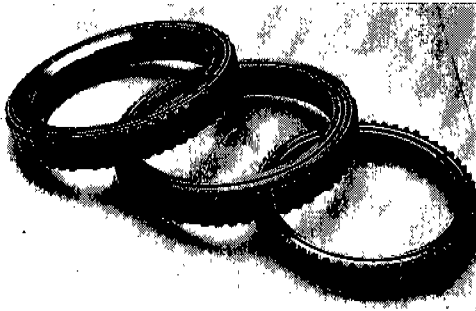
재질 : Fe-0.5C-1.5Cu-2.0Ni
 밀도 : 7.4g/cm³(Hub), 7.2g/cm³(Frangle)
 중량 : 645g

그림 8 Trans Output Shaft Hub



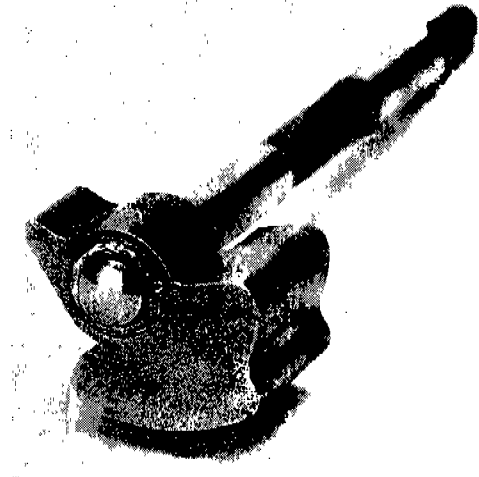
재질 : Al-10Si-4.5Fe-4.5Ni
 밀도 : 3.1g/cm³

그림 10 Oil Pump Rotor



재질 : Fe-0.65C-2.0Ni-0.5Mo (Inner)
 Fe-0.15C-2.0Ni-0.5Mo (Outer)
 밀도 : 7.82g/cm³
 중량 : 450g

그림 9 One Way Clutch Race



재질 : SCM415와 Fe-Cu계 소결합금의 Laser 용접

그림 11 Compression Release Lever

예를 그림 10에 나타내었다. 이부품은 Al소결단조 공법을 이용하여 쓰미토모 전기(주)에서 제조하였으며 기본물성 및 내마모성에서 우수한 결과가 나왔다. 그림 11은 Compression Release Lever로서 침탄처리된 SCM415(Shaft)와 구조용 소결합금(Fe-C-Cu계)과의 CO₂ Laser 용접하여 일체화시킨 것이다. 소결부품도 Laser 용접기술개발이 활발히 진행되어 머지않아 대량생산이 가능하다고 사료된다.

5. 앞으로의 전망

국내 생산되는 전체 소결부품중 자동차 소결부품이 76%를 차지하고 있으며, 철계 소결부품으로서는 그 생산의 80% 이상이 자동차에 사용되고 있으며 매년 증가하는 추세이다.

최근 자동차 구조용 부품은 고강도, 고기능성이 요구되고 있으며, 많은 시험을 거쳐 적용되고 있으므로 온간성형, 재압축/재소

결, 분말단조등 고강도화 기술이 응용되고 있다⁸⁾. 일반적으로 소결부품은 보통 저가격이 가장 우선되고 있으나, 일부공업제품이 고급화를 지향함에 따라 소결부품도 부가가치의 향상을 우선으로 하는 경향을 보여주고 있다. 특히 재료의 성질, 성능에 대한 신뢰성을 중시하는 초균질 소결부품(압출, HIP이 용), 부품치수에 대한 정밀도를 중시하는 사출성형 소결부품등이 새로운 소결부품 제조 기술로 연구개발되고 있다.

참 고 문 헌

1. D. G. Whilte, "P/M in North America", The International Journal of Powder Metallurgy Vol. 32, No. 3, 1996, pp. 221~228.
2. P. Lindskog, "Powder Metallurgy", Vol. 37, No. 3, 1994, pp. 183~188.
3. Y. Morioka, "분말야금업계 및 기술의 최근동향", 분체 및 분말야금 제40권 제8호 1993, pp. 755~762.
4. Special Feature "Ferrous Materials Continue to Expand", Metal Powder Report Vol. 50, No. 12, Dec. 1995, pp. 14~20.
5. M. Yasaki, "소결재료의 종류와 동향", 기계설계 제37권 제3호 1993, pp. 17~21.
6. S. Tazuya, "철계 소결재의 재료특성", 기계설계 제36권 제4호, 1992, pp. 29~38.
7. U. Engstrom, B. Johansson, H. Rutz, F. Hanejko "High Density PM Materials for Future Applications", Paper Presented at PM '94, Paris, June 1994.
8. P. K. Johnson, "Another Strong Year for P/M", The International Journal of Powder Metallurgy Vol. 30, No. 2, 1994, pp. 199~204.