

Ni-P합금 첨가한 W-Cu접점의 전기접점특성과 미세조직

Electrical Contact Property and Microstructure of Ni-P Alloy Added W-Cu Contact Materials

김 태 형* · 배 광 옥* · 이 재 성*

(Tai-Hyeong Kim · Kwang-Wook Bae · Jai-Sung Lee)

요 약

본 연구는 텅스텐 소결에 저온 활성화제로 작용하는 Ni-P 공정합금을 미량첨가하여 제조공정의 간단화를 통한 새로운 W-Cu계 전기접점제조를 목표로 하였다. 이를 위해 1회 용침공정을 통해 제조한 W(Ni-P)-Cu 합금에 대한 전기접점특성을 조사하여, 접점의 미세구조 관점에서 논의하였다. Ni-P 합금첨가한 접점은 기존의 순수 W-Cu 합금에 비해 낮은 접촉저항 및 낮은 아크소모를 나타내는 우수한 접점성능을 보여주었다. 이것은 Ni-P 합금이 Cu용침이 개시되기 전 짧은 승온단계에서 분말간의 강한 결합과 Cu용침에 유리한 기공통로를 갖는 W 분말 골격체의 형성을 유도하기 때문인 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The present investigation has attempted to develop more advanced W-Cu electrical contact materials by adding small of Ni-P alloy which shows a considerable activating effect on the sintering of W-powders. For this, the electrical contact property of the Cu-infiltrated W-Ni-P alloys was measured and discussed in terms of the microstructural development.

The experimental results revealed that the W(Ni-P)-Cu contacts showed the superior contact performance having the low contact resistance as well as the low arc erosion compared to the conventional W-Cu alloy. This is due to the fact that the addition of Ni-P alloy causes the formation of strongly interconnected W-powder skeleton having the smooth pore channel, which subsequently favors the Cu-infiltration process.

*한양대학교 금속재료공학과

1. 서 론

W-Ag 및 W-Cu계와 같은 부하능이 큰 텅스텐(W)기지의 전기접점은 내마모성, 고강도 및 arc에 대한 큰 저항특성으로 인해 주로 중전류나 강전류용 차단기, 모터 starter 및 방전가공용 전극재료 등으로 널리 이용되고 있다. 이러한 용도로 사용되는 W-기지접점의 화학조성은 W-10~40wt. % Cu, Ag로서 이들 합금의 적합한 제조기술로 용침법이 이용되고 있다.¹⁾ 분말 골격체에 액상금속을 침투시켜 짧은 공정에서 고밀도화를 이루는 용침 기술은 고전적인 분말야금 방법으로서 이 기술에 의해 제조되는 합금의 최종 물성을 좌우하는 미세구조는 분말입도, 입도분포, 형상 등과 같은 분말특성인자에 의해 결정되는 분말골격구조가 주요 요인이 보고되었다.^{2~5)} 최근 Lee^{6~9)} 등은 미량의 Ni-P 공정합금을 무전해도금 방법으로 W 분말에 첨가하여 분말간의 강한 결합과 용침에 유리한 W 골격구조를 승온단계만의 짧은 가열과정에서 유도할 수 있음을 실험적으로 확인하였다. 이러한 W 골격구조를 갖는 접점은 강한 W-망상결합구조에 의해 높은 강도와 아크저항을 갖는다는 점에서 Ni-P 첨가 W-Cu 접점의 전기적 성질도 아울러 우수할 것으로 기대된다. 동시에 접점특성에 대한 악화요인으로 우려되는 것은 Ni-P 첨가로 인한 전기비저항의 상승이다. 그러나 만약에 Ni-P상이 W 소결에만 기여함에 따라 전류운반상인 Cu에 대한 고용효과를 무시할 수 있다면 전술한 W 골격구조 강화에 따른 기대효과를 충족시킬 수 있을 것이다. 무엇보다도 Ni-P 첨가가 W-Cu 접점 제조에 갖는 가장 큰 기술적 중요성은 제조공정의 단축이다. 즉 Ni-P 합금을 첨가함으로써

써 용침 개시전 짧은 승온과정에서 강하고 용침에 유리한 W 골격구조 형성을 피함으로써 후속되는 용침공정을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라, 특히 W 골격체 형성을 위한 1차 소결단계를 생략할 수 있다는 잇점이 있다.⁶⁾

본 연구에서는 이미 보고된 최적 제조방법에 의해 Ni-P 합금을 첨가한 W-Cu 접점을 제작하여 이들의 전기접점 특성을 동일조건으로 제조된 일반 W-Cu 접점과 비교 조사하였다. 이를 위해 통전하에 접촉 개폐횟수에 따른 상기 두 접점들에 대한 접촉저항과 아크 소모량을 측정하여 접점의 미세조직 관점에서 비교, 논의 하였다.

2. 실험 방법

2-1. 접점 시편 제작

미량의 Ni-P 합금을 첨가하여 1회 가열공정에서 W-Cu 합금을 제조하는 과정은 다음과 같다. 먼저 텅스텐 분말(평균 입도 4.5 μ m, 대한중석제품)에 니켈-인(Ni-P)합금의 첨가는 무전해도금방법으로 행하였다.⁹⁾ 무전해도금시 도금시간 3분, 용액의 온도 90 $^{\circ}$ C 및 pH 4.8조건하에서 얻어진 Ni-P 도금양은 전체 W 분말의 0.3wt%, 화학조성은 Ni-P 합금의 공정 조성에 해당되는 Ni-11.2wt%P를 나타내었다.⁷⁾

무전해도금처리하여 얻은 W-Ni-P 혼합분말은 170MPa의 압력으로 양단압 성형하여 직경 10.85mm, 높이가 4~5mm인 원반형 성형체로 제작하였으며, 이때 성형체의 기공도는 43 \pm 1%에 달하였다. Cu 용침은 W 성형체 상부에 10.85mm 직경의(전체중량의 20wt%에 해당) 원반형 Cu 소결체를 얹어 1150 $^{\circ}$ C로 유지된 수평관상로에 고순도 수소(99.999%) 분위기에서 10분간 행하였다. 이때 가열

속도는 장입속도를 조절하여 150°C/min, 냉각 속도는 700°C/min으로 하였다. 비교시편으로서 Ni-P를 첨가하지 않은 W-Cu시편을 위와 동일한 과정을 통해 제작하였다. 단, W 분말의 성형압은 300MPa로 하여 초기 기공도가 $37 \pm 1\%$ 로 유지되도록 하였다. W-Ni-P 성형체와 기공도가 다른것은 150°C/min로 1150°C 용침온도까지 승온되는 과정에서 W 분말의 소결은 체적수축을 무시할 정도로 거의 진행되지 않은 반면에, Ni-P를 첨가한 경우는 6~7%의 체적 수축을 나타내는 예비실험 결과에 근거하여 W-Ni-P 분말의 성형압력을 결정한 것이다. 이것은 용침이 시작되는 순간 W 분말 골격체의 기공도를 두 시편 모두 같게 함으로써 최종 Cu의 조성을 동일하게 조절하기 위함이었다. 따라서 용침 후 두 시편의 조성은 W-20wt% Cu에 해당하였다.

2-2. 접점 특성 조사

접점시편의 특성조사로서 먼저 통전하에 접촉된 접점의 개폐에 따른 접촉저항의 변화와 최종 접점소모량 등을 측정하였다. 그림 1은 접촉저항을 측정하기 위한 접점 개폐기의 개략도이다. 접점시편의 형태는 상부가동접점의 경우 1cmR의 곡면을 갖는 반면 하부부동접점은 원반형이었다. 본 실험에서 사용된 통전부하조건은 220V 30A의 교류전류이었고, 접촉조건은 압축력 5kg, 개리력 1.2kg, 개폐속도는 1.6cm/sec 이었다. 이러한 접촉조건에서 2,000회 간격으로 개폐 횟수에 따른 접촉저항을 Wheatstone bridge로 측정하였다. 아크 소모량은 최종 12,000회 개폐시험 종료후 접점시편의 무게의 차이로서 결정하였다. 아울러 초기 접점시편의 전기전도도 및 기계적 성질로서 표면경도를 측정 하였다. 접점특성 결과를 해석하기 위한 미세조직 관찰 시편의 준

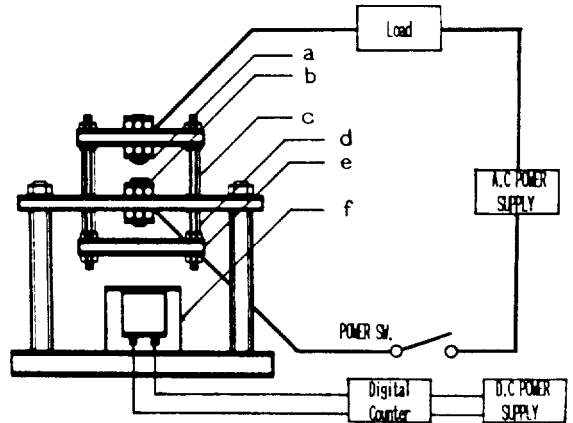


그림 1. 전기접촉시험장치

Fig.1. Schematic diagram of the electrical contact testing apparatus.

- a : moving contact specimen, b : stationary contact specimen
 c and d : upper and lower spring supporters
 e : steel plate, f : D. C. magnet.

비는 광학현미경 관찰의 경우 통상적으로 행해지는 시편의 표면연마과정을 이용하였으며, W 골격구조의 주사전자현미경 관찰은 W 소결체 파단면에 대해 행하였다.⁸⁾

3. 결과 및 고찰

그림 2는 W-Cu와 Ni-P 합금첨가된 W-Cu 두 접점시편의 접촉개폐횟수에 따른 접촉저항을 측정, 비교한 것이다. 본 접점개폐 실험 조건에서 두 시편 모두 초기 접촉저항은 약 0.4mΩ으로 같은 값을 나타내고있으나, 개폐 횟수에 따른 접촉저항의 변화는 큰 차이를 보여주고 있다. 먼저 Ni-P를 첨가한 W-Cu 시편의 경우 개폐횟수가 증가함에 따라 접촉저항이 완만하게 상승하여 최종 12,000회 개폐후 88mΩ을 나타내는데 비해 W-Cu접점은 매우 불규칙한 접촉저항의 증가를 보이며 최종적으로 251mΩ으로 Ni-P 합금을 첨가한 접

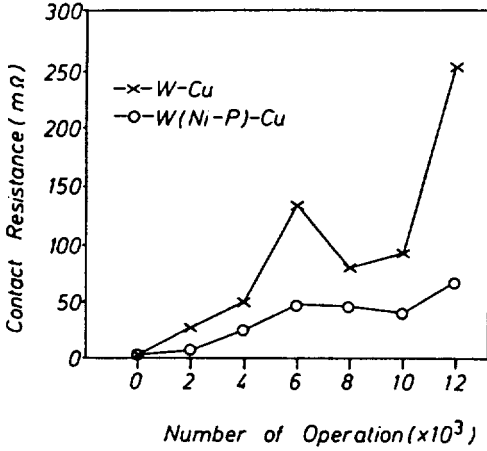


그림 2. W-Cu 및 W(Ni-P)-Cu 접점시편의 접촉 개폐횟수에 따른 접촉 저항의 변화.

Fig.2. The variation of contact resistance with increasing number of contact operation for W-Cu and W(Ni-P)-Cu specimen.

점에 비해 약 3배의 높은 저항치를 나타내었다.

이상, 통전류하에서 개폐작동에 따른 접촉 저항의 변화는 초기와는 달리 매우 복잡하다. 이것은 접점의 사용에 따라 형성된 산화물 또는 불순물피막의 형성으로 인한 접촉저항의 증가가 큰 비중을 차지하기 때문이다. 일반적으로 접점간의 접촉저항 (R)은 다음 식으로 표시된다.¹⁰⁾

$$R = R_c + R_f \quad \dots\dots(1)$$

여기서 R_c : 압축저항, R_f : 피막저항. 식 (1)로부터 접점표면에 산화물이나 불순물 피막이 형성되지 않았다는 가정 하에 $R_f=0$ 이라 하면 접촉저항은 단순히 압축저항 R_c 로 대표되며 따라서 결국 접점의 최초 접촉저항은 압축저항에 대한 관계식으로 부터 다음과 같이 표시된다.

$$R = R_c = K/\sigma\sqrt{10H/F} \quad \dots\dots(2)$$

여기서, K : 상수, σ : 전기전도도, H : 경도, F : 접촉력.

표 1. W-Cu 및 W(Ni-P)-Cu 합금의 전기접점특성인자.

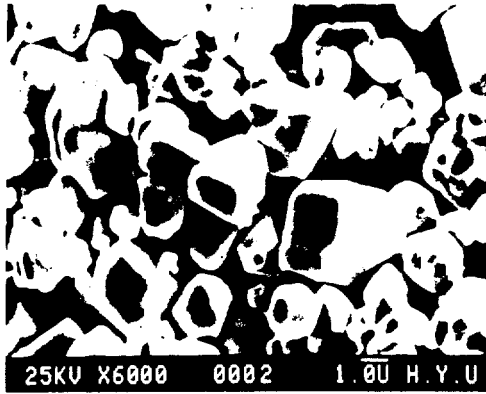
Table 1. The Contact characteristic parameters of W-Cu and W(Ni-P)-Cu alloys.

Specimen Parameter	W-Cu	W(Ni-P)-Cu
Hardness(HR _B)	94 ± 1	96 ± 1
Electrical conductivity (% IACS)	38 ± 2	35 ± 2
Residual porosity (vol.%)	5 ± 0.5	0.9 ± 0.2
Arc erosion after 12000 operations(mg)	35 ± 1	12 ± 1

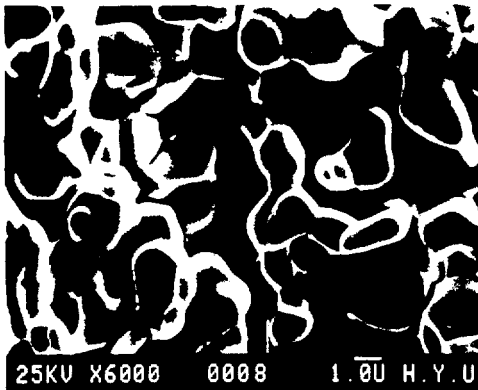
윗식으로부터 각시편의 접촉조건이 동일하다면, 최초의 접촉저항은 접점의 경도 및 전기전도도에 의존함을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 초기접촉저항값은 두 시편이 거의 차이를 보이지 않았는데 이것은 두 접점시편의 전기전도도와 표면경도(표 1 참조)를 (2)식에 적용시킬때 결과되는 접촉저항치의 상대오차가 8% 정도로 작다는 점을 감안하면 압축저항에 대해 결정되는 초기접촉저항의 본 실험 결과는 타당한 것이라 생각된다.

일반적으로 접점의 개리시에는 접촉력이 급격히 감소하므로 저항은 크게 증가하며, 따라서 열적 폭발에 의해 접점의 erosion 및 물질이동이 야기되고, 또 가열에 의하여 산화물이 접촉면에 형성되면서 접점의 피막저항(R_f)은 개폐횟수에 따라 증가한다. 이러한 개폐작동에 따른 접촉저항의 증가는 본실험 결과의 두 접점 시편에 대해서도 잘 일치하고 있다. 그러나 두 시편에서 접촉저항의 증가율이 크게 다른것은, 특히 Ni-P를 첨가한 W-Cu접점이 낮은 증가율을 보이는 것은 일반적으로 Ni과 같이 Cu기지상에 고용되는 합금원소가 전기적성질의 악화를 초래한다는 점을 고려

할때, 상반되는 매우 흥미로운 결과이다. 이와 반대로 합금원소첨가에 의하여 접점특성이 향상되는 예로서는 W 표면에 Co_7W_6 와 같은 아크 발생시 내산화벽으로 작용하는 금속간화합물을 형성하는 Co금속을 들 수 있다.^{11,12)} 그러나 Ni-P 합금은 승온단계나 용침과정에서 W 상과 계면반응상을 형성하지 않을뿐만 아니라, Cu 상과 고용체를 형성하는 경우 오히려 전기비저항의 상승에 따른 접점특성저하를 초래할 수 있다는 점에서, 접점특성에



(a) W



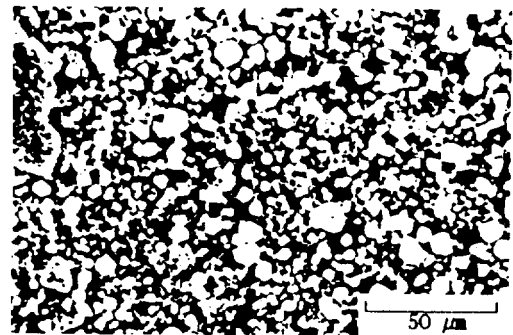
(b) W-Ni-P

그림 3. 1150°C 수소 분위기에서 0분 소결했을 때 W와 W-Ni-P 분말의 주사전자현미경관찰 (가열속도 150°C/min)

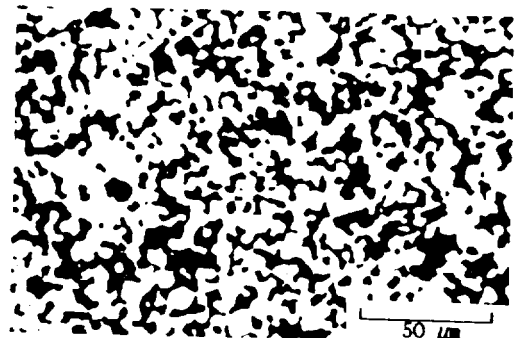
Fig. 3 SEM-micrographs of W and W-Ni-P powders sintered at 1150°C for 0min in H_2 (heating rate 150°C C/min).

대한 본 연구결과는 보다 다른 각도에서, 즉 W-Cu 접점의 미세구조 관점에서 논의 되는 것이 바람직하다.

이미 잘 알려진 바와같이 용침법으로 제조되는 소결체의 물성은 고상 골격 구조특성과 밀접하게 연관되어 있다. 특히 W-Cu 접점의 경우 아크저항을 크게하는 W상의 이상적인 구조는 입자들간의 강한 결합으로 이루어진 망상구조를 들수있다. 이러한 망상골격구조는 특히 Cu 용침을 고려할때 골격을 형성하는 입자간의 기공이 서로 연결되어야한다. 그림 3은 Cu 용침이 시작되기 전의 승온(150°C/min)과정에서 형성된 두 시편의 W 골격구조를 유지하는 W-Cu 시편과는 달리 Ni-P합금 첨가한 시편의 분말간의 강한 결합상태와 함



(a) W-Cu



(b) W(Ni-P)-Cu

그림 4. 1150°C 수소 분위기에서 10분간 용침처리한 접점시편의 미세조직

Fig. 4. Microstructures of the contact specimens infiltrated at 1150°C for 10min in H_2 .

계 W 분말형태가 다각형에서 크게 변화하여 구형화 되었음을 보여주고 있다. 이러한 골격 구조의 변화는 Ni-P 첨가합금이 W 소결에 대한 강한 표면활성제로 작용한 점에 기인한 것이다.⁷⁾ 이들 W 분말골격체에 Cu 용침후 미세조직, 즉 접점시편의 미세조직을 그림 4에 나타내었다. 앞서도 관찰한 바와같이 Ni-P 첨가한 W-Cu 용침합금은 순수 W-Cu 접점시편에 비해 W상(흰부분)이 연속적으로 강하게 결합된 조직을 보여주고 있다. 여기서 용침전 기공통로로 존재했던 Cu상(검은부분)들의 크기분포를 비교할때 매우 작은 기공에서 큰 기공까지 넓은 분포를 나타내는 W-Cu 시편에 비해 Ni-P첨가 시편의 경우는 미세기공이 크게 감소하면서 동시에 좁은 형태의 기공크기 분포를 보여주고 있다. 이점은 Ni-P 첨가시편이 W 분말표면의 구형화외에도 기공통로의 균일화를 통해 Cu 용침거동이 향상된다는 연구결과⁸⁾를 뒷받침하는 것이다. 즉 접점시편 제조후, 두 시편의 잔류기공이 W-Cu 시편이 5%, W-(Ni-P)-Cu의 경우 0.9%로서 Ni-P첨가 시편이 월등히 낮은 기공도를 나타낸다는 점은 우수한 용침특성을 간접적으로 보여주는 결과임을 알 수 있다 (표 1 참조).

이상의 용침에 의한 W-Cu 합금제조시 진행되는 미세구조 관찰결과를 토대로 할때 Ni-P 합금을 첨가한 접점이 우수한 접점특성을 보이는 것은 서로 연결된 강한 W 결합구조 및 후속되는 용침과정에 유리한 골격구조 형성에 의해 잔류기공이 없는 W-Cu 미세조직 형성에 기인하는 것으로 판단된다.

특히 이점은 최종 12,000회 개폐실험후 아크소모량 측정결과를 고려할 때에도, 각각 W-Cu 접점이 35mg, Ni-P 첨가시편은 약 1/3에 해당되는 12mg의 작은 아크소모량값에서도 잘 일치하고있다 (표 1 참조). 이것은 내아크

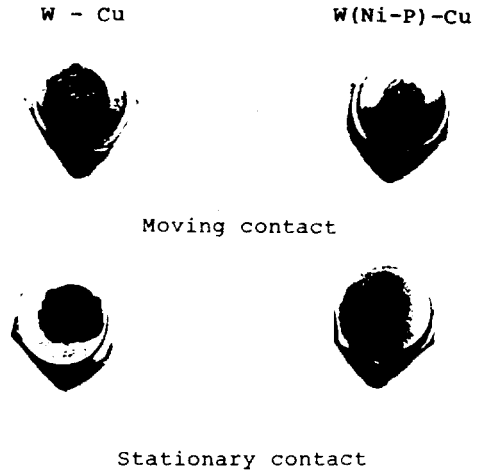


그림 5. 12000회 접촉개폐실험후 접점시편의 표면상태.

Fig.5. Contact surfaces of the test specimens after 12000 operations.

상으로 작용하는 W 상이 Ni-P 첨가시편의 경우 강한 망상구조를 형성하고 있다는 점을 고려할때 타당한 결과라 생각된다. 또한 그림 5에서 보는 바와 같이 최종 개폐실험후, 아크 발생에 의해 손상된 접점표면을 비교, 관찰해보면 W-Cu 접점시편에 비해 Ni-P 첨가 접점의 표면이 더 작게 손상 되었다는 것을 알수 있는데, 이러한 결과는 이미 기술한 Ni-P 첨가한 시편의 접점 특성 결과에 대한 설명을 잘 뒷받침하고 있다.

4. 결 론

W 분말(평균입도 4.5 μ m)에 Ni-11.2wt%P 공정합금을 무전해도금방법으로 미량(0.3wt% 이하) 첨가한후 Cu 용침공정을 통해 제조한 W(Ni-P)-20wt% Cu 합금의 전기접점특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

220V 30A 교류통전하에서 12000회까지 접촉개폐 실험한결과, 개폐횟수가 증가함에 따

라 W-Cu 시편은 급격하고 불규칙한 접촉저항의 상승을 보이는데 반해, Ni-P 첨가한 접점시편은 완만한 증가를 나타내었다. 최종 12,000회 개폐후, 접촉저항치와 아크소모량은 W-Cu의 경우 251m Ω 과 35mg을 기록한 반면, Ni-P 첨가시편은 88m Ω 과 12mg으로 통상적인 W-Cu 접점에 비해 우수한 접점특성을 나타내었다. Ni-P 첨가접점이 월등한 접점특성을 보이는 것은, 무엇보다도 우수한 미세조직 특성에 기인한다. 미량의 Ni-P 첨가합금은 Cu 용침이 시작되기 전, 승온단계에서 액상으로 W 표면에 균일분포하여 W 분말소결 및 분말표면의 형태의 구형화를 촉진함으로써 강한 W 골격과 Cu 용침에 유리한 기공구조를 형성하였다. 이로 인해 Cu 용침이 크게 향상되면서 최종, 균이하고 잔류기공이 없는 미세조직을 갖는 W-Cu 접점제조를 가능케 하였다. 특히 Ni-P 합금첨가의 기술적 중요성은, 1차 W 분말소결과 2차 Cu 용침단계로 구성된 종래의 접점제조공정을 1차 용침공정으로 단축시키면서도 우수한 접점특성을 얻을 수 있다는데 있다.

*본 연구는 한국과학재단 연구비 지원에 의해 이루어진 연구내용 중 일부를 밝혀 둡니다.

참 고 문 헌

- 1) *Metals Handbook*, 8th edition, American Society for Metals Vol. 1, (1971)
- 2) K. A. Semlak and F. N. Rhines ; *Trans. Metallurgical Society of AIME*, 325(1958)
- 3) M. Yokota, M. Ohata, and H. Mitani ; *J. Japan Inst. Metals*, **44**, 191(1980)
- 4) J. S. Lee, I. S. Ahn, and I. H. Moon ; *Intern. J. Refractory & Hard Metals*, **5**, 113(1986)
- 5) J. S. Lee and I. H. Moon ; *Horizons of Powder Metallurgy* (ed. W. A. Kaysser and W. J. Huppmann) Verlag Schmid GmbH, Freiburg 1115(1986)
- 6) 이 재성 ; 제 1회 분말 야금 심포지엄 논문집, 대한 금속학회 P. 70(1989)
- 7) J. S. Lee, H. H. Hwang, and H. Shin ; *Intern. J. Refractory & Hard Metals*, **9**(1) 46(1990)
- 8) J. S. Lee, H. Shin, and K. W. Bae, to be published
- 9) H. Ito and M. Furukawa ; *J. Japan Soc. of Powder and Powder technology*, **20**, 108(1965)
- 10) A. J. Stevens ; *Powder Metallurgy*, **17**, 331(1974)
- 11) S. Kabayama, M. Kotama, and M. Kume ; *Powder Metallurgy International*, **5**, 122(1973)
- 12) I. H. Moon and J. S. Lee ; Proc. "High Temperature Materials in Vacuum and Wear Resistant Coating", 1 (D-9), 1 (1977), Metallwerk Plansee, Reutte/Tirol, Austria
(1990년 7월 10일 접수)