

초미립 초경합금 기술개발 현황 및 전망



김 병 기 (소재성형실 선임연구원)

- '81 한양대 금속공학과(학사)
- '88 미국 Rutgers대학교 재료공학과(석사)
- '90 미국 Rutgers대학교 재료공학과(박사)
- '90-'91 미국 Nanodyne Inc. 선임연구원
- '91-현재 한국기계연구소 선임연구원

1. 머리말

공구공업은 공업발전에 필요한 기본산업으로서 국가경제의 규모확대에 따른 중공업분야의 급속한 발전으로 인해 매년 생산실적이 증가하고 있는 실정이다. 공구강 재료를 크게 나누면 인성이 높은 고속도강계 재료, 고온경도가 높은 세라믹계 재료, 이들의 중간 성질에 위치하는 초경합금, 서메트 재료가 있는데 이 재료 중에서 초경합금은 경도를 가지는 카바이드와 인성을 가지는 금속의 혼합물로서 공구재료에 중요한 특성인 경도와 어느정도의 인성을 함께 가지고 있기 때문에 현재 여러가지 가공용 공구로서 또는 내마모 부품으로 가장 널리 사용되고 있으며 없어서는 안될 재료이다(그림 1).

공구의 가장 중요한 특성인 경도, 항절력 및

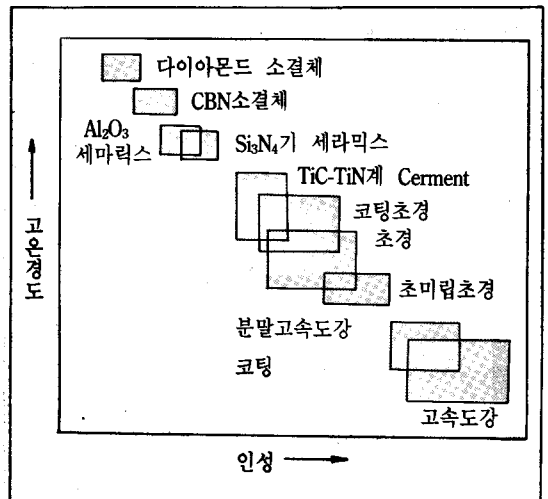


그림 1) 각종 경질재료

내마모성을 향상시키기 위하여 초경합금의 카바이드 입자를 미세화 시키는 연구가 오랫동안 진행되어 현재는 약 0.3~0.5 μ m 정도 WC 초경합금이 개발되어 산업화 되어졌으며 또한 새로운 제조방법에 의해 0.1 μ m보다 작은 초경합금 제조를 위한 노력이 미국, 일본등지에서 활발하게 진행중에 있다. 본 글에서는 현재까지 개발된 초경합금과 개발중인 초미립초경합금의 제조공정, 응용현황 및 앞으로의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 초경합금의 특성 및 현황

2.1. 초경합금의 개요

초경합금은 주로 탄화텅스텐(WC)과 Co를 주 성분으로 하는데 1923년에 독일의 karl schroter에 의해 처음으로 발명되었는데 이때에는 Co의 용

용점보다 낮은 온도에서 소결하였기 때문에 주철이나 비금속합금용 공구로는 매우 효과적이었으나 강재에는 쉽게 마모되고 또한 취성이 발생하였다.(표1 참조)

그 이후 1932년에 독일의 Keupp사가 소결법의 개선에 의해 제품을 개발하여 대량생산함으로써 널리 사용되기 시작하였는데 이 초경공구는 절삭공구로서 높은 경도와 어느정도의 인성을 가지고 있기 때문에 그당시 사용된 어떤 절삭공구보다도 빠른 절삭속도와 긴수명을 가지게 되었다. 그 이후 미국의 General Electric Co.의 Carboloy, 영국의 Midia, 일본의 Tungaloy등에서 WC를 주 성분으로 한 용도에 따른 여러 제품이 개발생산되었으며 1970년대 부터는 여러가지 피복기술의 발달과 함께 TiC, TiN, TiCN등의 피복초경합금 재료가 발달 되었으며 또한 같은 경도에서 강도가 높고 내마모성이 좋은 초미립초경합금 제조 개발연구가 미국, 일본 등지에서 활발히 진행중이다. 현재 초경 합금으로는 WC-Co, WC-TiC-Co 및 WC-TaC-Co계가 가장 많이 사용되고 있는데 사용목적에 따라 상온 또는 고온에서도 경도와 인성이 요구되며 그 이외에도 공구의 접착면에서 발생하는 접착현상에 대한 저항성도 필요로 하기 때문에 탄화물 성분의 배합비율, 입자크기, 결합제의 종류, 및 소결법등의 공정상 변화에 의한 여러 초경합금이 제조되고 있다.

표 1) 초경합금의 개발현황

Years	WC Based Cemented Carbides	Years	WC-Free Cemented Carbides
1922-25	WC-Co*		
1927	Graphite Free WC+Co		
1928-29	WC+Stellite Binders	1929-31	TiC+MoC+Ni, Cr,Mo
1931	WC+TiC+Co*	1930-31	TaC+Ni, Co
	WC+TaC(V, Nb, C)+Co	1931	TiC+Cr, Mo, W, Ni, Co*
1932	WC+TiC+(Ta, Nb)C+Co	1931	TiC+TaC+Co
1938	WC+Cr ₃ C ₂ +Co	1938	TiC+VC+Ni, Fe
		1944	TiC, NbC+Ni, Co
		1948-50	TiC(Mo ₂ C, TaC)+Ni, Co, Cr
		1949	TiC+VC+NbC+Mo ₂ C+Ni
1951	WC+Ni	1952-81	TiC+Heat Treatable Binder
1956	WC+TiC+(Ta, Nb)C+Cr ₃ C ₂ +Co		
1959	WC+TiC+HfC+Co		
1965	HIP	1965-70	TiC+Mo ₂ C+Ni, Mo
1966	Submicron WC-Co		
1968-69	WC+TiC+(Ta, Nb)C+HfC+Co	1968-70	TiMoC+Ni, Mo, Cr
1969-80	Coated Carbide Tools*		
1975	Cast Carbide		
1976	Coated Carbide Tools present on Tailored Substrates	1976	(W, Mo)C+Co

*critical development

2.2. 초경합금의 특성

일반적으로 초경합금 공구는 다음과 같은 공통된 성질이 구비되어야 한다.

- ①경도가 높아야한다.
- ②내마모성이 커야한다.
- ③내열성이 커야한다.
- ④경밀도를 유지해야 한다.

위와 같은 조건들은 사용목적에 따라 특별히 요구되는 특성이 있기는 하나 모든 조건을 만족하는 최적의 공구를 제작하기 위한 연구가 진행되고 있다.

WC/Co계에서 기계적인 성질은 주로 Co량, WC입도 및 Carbon량에 의존되는데 Co량이 증가

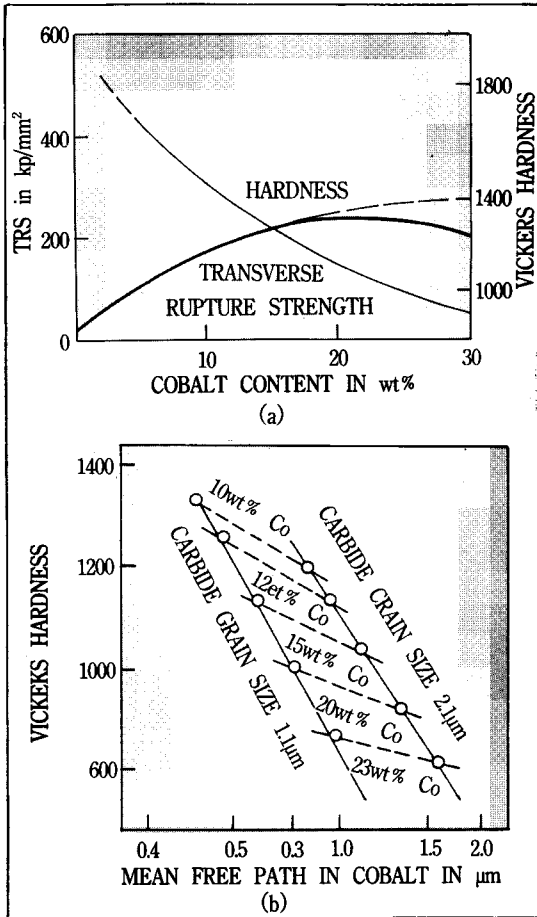


그림 2) 초경합금의 Co량, WC입도 및 mean free path에 따른 기계적 성질변화

할수록 경도는 지속적으로 감소하지만 항절력은 약 20wt% Co에서 최대치를 나타내고 있다(그림 2). 또한 WC입자가 작을수록 그리고 탄소량이 증가할수록 경도와 내마모성은 증가되나 유리탄소량이 많으면 조직중에 흑연을 석출시키는 결과가 되어 강도를 현저하게 감소시키고 또한 O, N의 고용되어 있으면 취화되어지기 쉽다. 재료의 구조를 평가하기 위한 중요한 변수인 mean free path(WC 입자사이의 Co의 두께)는 Co량과 WC 입자크기에 의존하는데 mean free path가 감소함에 따라 경도는 증가되고 또한 항절력은 증가하다가 약 0.4 μm 입도 정도에서 최대치를 나타낸다.

초경합금은 절삭공구로서 Co량은 3~13% 그리고 내마모품으로서 30%까지 사용되고 있는데 강철을 절삭할때 공구인선에 크레이터(crater)가 발생하므로 수명이 길지 않다. 이점을 개선하기 위하여 TiC를 첨가해서 WC-TiC-Co를 사용하였는데 그 성분은 약 TiC=6~25%, Co=5~8% 그리고 나머지는 WC이다. 이 WC-TiC-Co계는 주로 TiC=6~8% 것은 강류의 강력절삭에 사용하고, TiC=13~17%는 강재의 고속절삭용에 이용되는데 진동에도 잘 견디고 또한 크레이터도 그다지 잘 생기지 않아 다량으로 사용되고 있다. WC-TaC-Co계의 합금은 TiC대신에 TaC로 치환한것으로 TiC계와 동일한 용도에 사용되며 Co대신에 Ni을 사용하는 경우도 있다. 우리나라의

표 2) 소결탄화물 경질합금의 성분과 용도

종 별	기호	화학성분(%)				경도 RA	벤딩강도 (kg/min ²)	용 도
		W	Ti	Co	C			
S종 (강재 절삭용)	SF	53~72	15~30	5~6	8~13	92이상	80이상	강재정밀 절삭용 일반강 절삭용
	S ₁	72~78	10~15	5~6	7~9	91%	90%	
	S ₂	75~85	6~10	5~7	6~8	90%	100%	
	S ₃	78~85	2~6	6~8	5~7	89%	110%	
G종 (주철 절삭용)	G ₁	89~92	-	3~5	5~7	90%	120%	주철, 비철금속 내마모기계부분품 (耐磨耗機械部分品)
	G ₂	87~90	-	5~7	5~7	89%	130%	
	G ₃	83~88	-	7~10	4~6	89%	140%	
D종 (다이스용)	D ₁	88~92	-	3~6	5~7	89%	120%	드로잉다이스 내마모기계 부분품 "
	D ₂	86~89	-	6~8	5~7	88%	130%	
	D ₃	83~87	-	8~11	4~6	88%	140%	

대표적인 소결탄화물 경질합금공구의 성분, 기계적 성질 및 용도는 표2와 같다.

3. 초미립 초경합금의 제조공정 개발 현황

그림3은 일반적인 WC/Co제조 방법을 나타내고 있다. 일반적인 초경합금의 제조방법으로서 WC 분말은 W과 C분말을 혼합하여 induction로나 Carbon tube로를 사용하여 수소분위기에서 1500~2000℃ 사이에서 장시간 동안에 제조되며 이렇게 제조된 WC분말은 Co분말과 혼합되어 WC/Co분말의 제조되는데 이때에 최종소결 후에 Co가 흘러있는 것을 방지하고 또한 WC입자를 미세화 하기 위하여 윤활제를 첨가하여 밀링(milling)이 행하여 진다. 이 분말은 800~1000℃에서 예비소결이 이루어지는데 이때에 윤활제는 제거되며 또한 성형체가 자체강도를 가질수 있게된다. 액상소결은 약 1350~1500℃사이에서 수소나 진공 분위기에서 행하여 지는데 용도에 따라 기공을 완전히 제거하기 위하여 HIP처리를 하는 경우도 있다. 소결하는 동안 WC는 높은 에너지 상태에서 Co용액중에 들어가든가 또는 낮은 에너지 상태에서는 Co로부터 침전되어 나오려고 하는데 이때에 WC 입자들이 성장하려고 하기 때문에 Cr이나 V등의 입자성장 억제 재료를 첨가함으로써 입자성장을 줄이는 경우도 있다.

초미립 초경합금의 제조는 보통입도의 WC를 사용할 경우 분쇄, 혼합 공정에서 아무리 강하게 분쇄하여도 0.1μm이하의 입도까지 분쇄하는 것이 불가능하기 때문에 원료 분말자체가 미세하게 제조되어야 하고, 낮은온도에서 공정이 이루어져야 하며 또한 합금강도에 유해한 불순물을 함유하고 있으면 원하는 강도를 얻을수가 없으므로 고순도로 제조되어야 한다. 이러한 관점에서 새로운 화학적인 제조법에 의하여 초미립 WC입자(~0.05 μm) 입자와 Co가 균일하게 분산된 고순도의 WC/Co 초경합금을 제조할수 있다. 이 제조방법은 W와 Co용액을 이용하여 침전법과 분무건조법에 의해 고순도의 시초분말(Co-W 혼합물)이 제조되는데 이때에 W과 Co원자들이 용액에 균일하게

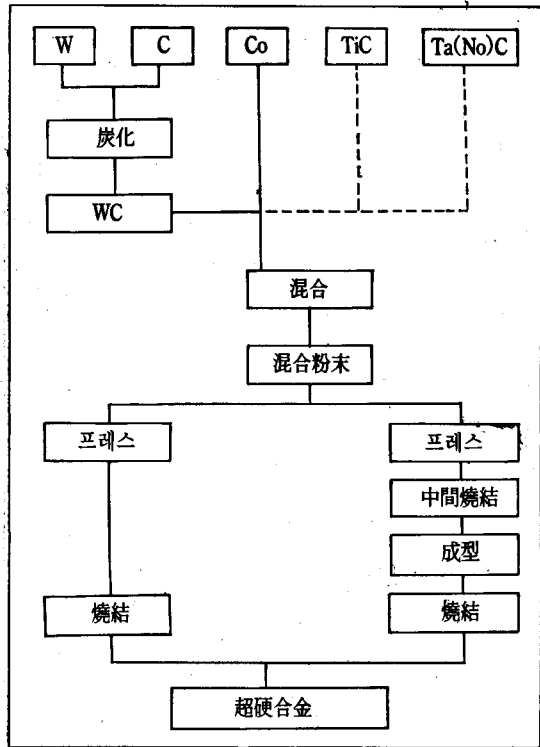


그림 3) 일반적인 초경합금의 제조공정

분산, 혼합되어 있기 때문에 환원, 침탄 및 소결시에 저온에서 빠른 반응속도를 나타낼수 있다. 분무건조법에 의한 시초분말제조는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ①시초 분말은 Co와 W이 혼합되어 있는 용액을 빠른 속도로 기화시킴으로써 제조되기 때문에 W와 Co가 균일하게 혼합된 미세분말을 제조할 수 있고
- ②밀링등의 공정이 필요하지 않으므로 고순도의 분말을 제조할수 있으며
- ③용액을 만들때 단순히 Co와 W의 혼합비율을 조절함으로써 조성변화가 용이하며
- ④연속조업으로 양산화가 가능하다

이 시초분말은 약 600~800℃ 사이에서 수소분위기에서 환원이 되어짐으로서 Co/W 분말을 얻을수 있으며 이 Co/W분말은 CO, CO₂ 또는 CH₄등의 가스에 의한 침탄으로 WC/Co가 제조된다. 시초분말은 환원시에 미세한 기공을 가지고 있고 또한 W입자가 미세하기 때문에 가스에 의한 침탄이

용이하게 되며 이때에 공정상의 변수들인 온도, 시간, 가스비율, 압력, 분말량 등은 반응속도, 입도 크기등을 크게 좌우하게 된다. 새로운 화학적인 방법은 종래의 일반적인 제조방법과 비교할때 모든 공정이 650~800°C사이에서 이루어지므로 미세한 입자의 분말을 제조할수 있고 또한 적은 공정 횟수에 의한 원자절감과 고순도의 초경합금을 제조할수 있는 장점을 가지고 있다.

현재 선진국에서는 가스에 의한 거의 모든 분말의 환원, 침탄 혹은 탈탄시에 사용하고 있는 Belt-type로 대신에 유동상로(Fluid Bed)를 사용하므로써 양산화를 추진하려는 연구가 진행중에 있다. 유동상로를 이용한 가스에 의한 분말제조는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 용기안에서 분말들이 가스에 의해 유동함으로써 가스와 접촉하는 표면적의 증가에 의해 반응이 빠르다.
- ② 분말의 유동에 의한 용기내에서의 균일한 온도 분포로 균일한 분말을 제조할 수 있다.
- ③ 연속조업에 의한 양산화가 용이하다.

유동상로를 이용한 분말 양산화에는 분말의 크기, 밀도, 모양, 가스량, 온도, 압력등이 유동성에 크게 좌우되기 때문에 최적의 공정조건 확립을 위한 시초분말제조 공정 변화와 적합한 가스량, 압력변화의 연구가 필요하다. 그러므로 위에서 언급한 분무건조법과 유동상로를 이용하여 여러 종류의 분말 제조 및 양산화를 추구할수 있게 될 것이다.

초미립 초경분말의 성형은 Paraffin침가에 의해 성형성은 증가되고 또한 소결시에 WC입자성장을 최소화 하기 위해 공정온도(1320°C) 바로위에서 약 1분정도에서 기공이 거의없는 초미립 초경합금을 얻을 수 있다. 이것은 소결시에 입도가 미세하기 때문에 소결반응이 빠르게 진행되는 이점이 있지만 소결중에 조대한 결정립이 국부적으로 생기기 쉽기 때문에 일반 초경합금의 소결공정과는 달리 특수한 소결조건이 필요하다. 입자성장 제어제를 첨가할때는 시초분말 제조시부터 첨가함으로써 입자성장 제어제가 균일하게 분산되어 있기 때문에 더 높은 효과를 얻을수가 있다.

초미립초경 합금은 우수한 내마모성과 경도를 가지기 때문에 피복에 의해 사용되기도 하는데 현재는 주로 plasma spray가 Flame spray에 의해 이용되고 있다.

4. 초미립 초경합금의 특성 및 응용현황

그림4는 일반 초경합금과 화학적 방법에 의해 제조된 초미립 초경합금의 전자현미경 조직을 비교한 것으로서 일반초경합금의 WC입경은 약 1.5~2μm을 나타내고 있는 반면 초미립초경 합금은

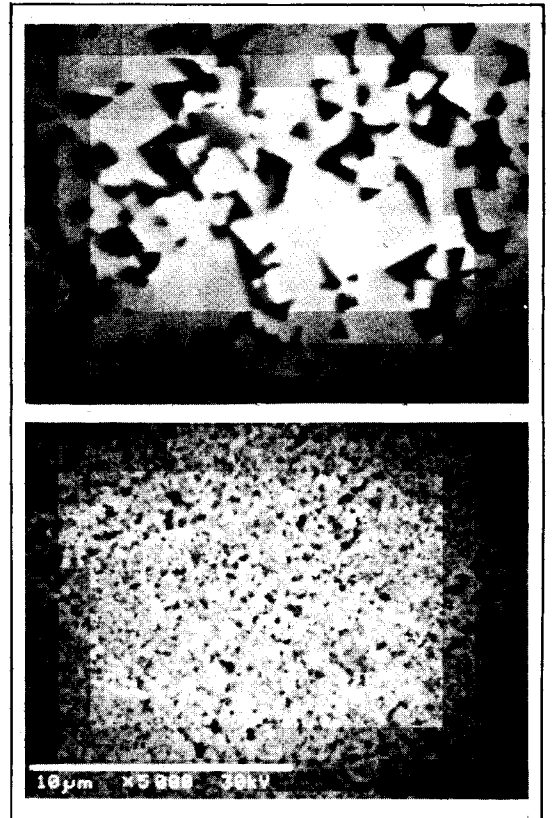


그림 4) 초미립 초경합금과 일반초경합금의 전자현미경 조직

약 0.08~0.1μm을 나타내고 있다. 초미립 초경합금은 일반초경합금보다 높은 경도값을 가지는데 약 0.1μm에서는 포물선 형식으로 급격히 증가함을 나타낸다. 또한 초미립 초경합금은 같은 경도의

일반초경합금 보다 높은 강도와 인성을 가지고 있는 것으로 나타내는데 그 이유는 입자에 의한 강화효과 뿐이 아니다 Co상의 두께가 감소하므로 보다 분산강화 되는 효과에 기인된다. 이와같이 초미립초경합금은 뛰어난 상온특성을 나타내지만 고온에서는 전단공구의 절단날 부분에서 크레이터 마모가 일어남과 동시에 소성변형이 일어나는 문제점이 있기 때문에 알맞은 용도를 선정하는 것이 중요하다. 그러므로 위와같은 특성을 고려할때 초미립초경합금은 고속도공구강과 일반초경합금의 사이를 메꾸는 재료로서 기대가 되며 용도로는 사용시에 온도가 높아지지 않는 범위에서 공구의 예리한 모서리나 혹은 높은 내마모성과 인성이 같이 요구되는 곳에 사용할 수 있다. 초미립 초경합금의 기대되는 중요제품으로는 다음과 같다. 절삭공구중에 솔리드엔드밀이나 솔리드드릴등은 커터끝에 피삭재의 용착과 탈락의 반복에 의해 전단날에 칩핑(chipping)이 일어나기 쉽기 때문에 현재까지는 직경이 작은 엔드밀이나 드릴에는 고속도강이 주로 사용 되었지만 생산성 향상의 요구와 고강성 공작기계의 출현등으로 저속영역에서 적합한 초미립 초경합금의 사용이 가능하다. 전단 공구중에서 셰어브레드나 로터니 나이프등은 edge의 예리성과 내마모성, 내칩핑성이 요구되기 때문에 초미립초경합금의 사용이 적합하고 또한 예리한 edge를 가진 고정밀도 형상이나 편치의 금형공구재로로 적합하므로 얇고 작은 부품에 대단히 유효할 것이다.

5. 기술개발 전략

현재 0.3~0.5 μ m 입도의 초경합금은 널리 사용되기 시작하였고 그리고 그 용도도 서서히 확대되어 양적으로 증가하고 있고 또한 더 미세한 초경합금의 제조연구 역시 진행중에 있다. 그러므로 기존에 사용하고 있는 제조방법을 탈피하여 새로운 제조방법에 의해 이보다 더 미세하고(0.1 μ m) 더욱 고순도의 초경합금을 개발함으로써 현재 국내에서 전량수입에 의존하는 초미립 초경합금의 대치와 더 나아가서 외국공구 시장을 점유할 수 있으리라 예상된다. 또한 새로운 제조방법을 이

용하여 초미립초경 합금의 제조뿐이 아니라 현재 널리 사용되고 있는 공구재료(서어멧, 세라믹), 항공기재료, 전기재료등에 응용하여 초미세 입자와 고청정에 의한 품질향상, 제조공정상의 단순화와 유동상로를 이용한 양산화에 의한 원가절감에 기여할 수 있을 것이다. 분말법이 가지고 있는 큰 단점인 재료내부의 기공을 소멸하기 위하여 Sinter-HIP 혹은 HIP에 의한 연구가 필요하며 또한 Injection Molding에 의한 복잡한 형상의 분말 부품제조 연구도 중요한 과제로 남아있다.

6. 맺음말

지금까지 초미립 초경합금의 제조공정, 특성 및 응용현황과 기술개발전략에 대해 알아보았다. 선진국의 경우 초미립 초경합금과 같은 고부가가치 재료의 수요증가가 예상되어 원료분말의 특성향상, 원가절감, 고밀도화 공정등의 개발로 다양하고 우수한 특성의 제품제조를 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면 국내는 이에 대한 관심은 점차 높아지고 있으나 그 연구및 기술수준은 부분적 기초기술에 머무르고 있다. 따라서 새로운 제조기술의 개발과 상품화로 현재 수입에 의존하는 초미립 초경합금의 국산화와 더불어 외국공구 시장으로의 진출이 예상되고 이 기술을 바탕으로 국내의 분말관련 기술의 선진화를 도모할 수 있기 때문에 산·학·연이 서로 연계성을 가지고 꾸준히 노력하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Metals Handbook, Vol 7, 9th Ed. ASME.
- [2] Sarin, V.K. Cemented Carbide cutting tools, Advanced in powder Technology, p.253, 1982.
- [3] Rautala, p and Norton, J.T., Tungsten-Cobalt-Carbon System, J. Metals, p.1045, 1952.
- [4] Aronsson, B, Influence of Processing on Properties of Cemented carbide, powder Metallurgy, vol.3, No.3, P.175, 1987.
- [5] Kim, B.K, kear, B.H, Chemical processing of Nanophase WC-Co powders, Mat. Sci. Tech. vo 6, p.953,

1990.

- [6] Kim, B.K and Kear, B.H, Carbothermic Reaction Process for the production of Nanophase Composite powders, V.S. Pat. App. S. N. 433, 742.
- [7] Kim, B.K, and Kear, B.H, Characterization and properties of Chemically processed nanophase WC-

Co composite, high performance Composite for the 1990, p.227, 1991

- [8] Dent, N.C, et. al, Modern Hardmetal Manufacturing Techniqes, powder Metallurgy, Vol.27, No1, p14, 1984.