

방산 분야 텅스텐 합금 과립분말 개선 연구

지상용
국방기술품질원

Study on Improvement of Tungsten Alloy Granular Powder in Defense Industry

Sangyong Ji
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 텅스텐 합금은 일반 산업분야 뿐만 아니라, 방산 분야에서도 다양하게 활용되고 있다. 방산 분야에 활용되는 일반적인 합금의 제조 방법은 주조를 통하여 제조된 합금을 단조, 압연, 압출 등의 1차 가공 후 원소재로 공급하여 제품을 생산 한다. 하지만, 텅스텐 합금은 주조 공정에 어려움이 있어 분말야금법을 활용하여 제품을 제작하고 있다. 분말야금법은 미세한 분말을 이용하여 기계적 물성과 생산성을 높일 수 있으나, 양산 단계에서 제품 간 편차를 유발할 수 있다. 미세한 분말의 장점과 제품 간 편차를 감소하기 위하여 각 장점을 갖는 과립분말 제조에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 볼밀을 이용하여 균질화를 시킨 텅스텐과 니켈, 철의 혼합분말을 용매인 순수에 투입하고 결합제인 PVA를 첨가하여 분무건조용 혼합액을 제조하였다. 혼합액을 분무건조기를 이용하여 과립분말을 제조하였고, 분말야금법의 성형 및 소결 공정 중 제품 간 편차를 줄일 수 있는 과립분말의 제조를 목표로 연구를 수행하였다. 과립 공정에서는 다양한 변수(혼합물의 농도, 결합제의 용량, 분무건조기의 건조 온도, 분무 회전 속도) 간 영향성을 확인하기 위하여 예비 실험을 실시하였다. 예비 실험 결과를 통해 분무건조용 혼합물의 용매의 용량을 독립변수로 본 실험을 수행하였고, 기존 양산 조건과 유사한 평균 입도를 가지며, 겉보기 밀도가 증가한 개선된 과립분말을 제조하였다. 추가적으로 성형 및 소결 공정에 대한 파일럿 시험을 진행하여 개선된 과립분말이 양산 제품의 특성 편차(중량 편차)를 감소하는 것을 확인하였다.

Abstract Tungsten alloys are used widely in general industrial fields, but they are difficult to cast, so products are manufactured using powder metallurgy. In this study, a mixed powder of tungsten, nickel, and iron homogenized using a ball mill was added to pure water as a solvent, and PVA as a binder was added to prepare a spray drying mixture. The mixed liquid was prepared using a spraying machine. A study was carried out to produce a granular powder that can reduce the variations between products during the molding and sintering process of the powder metallurgy method. A preliminary experiment was conducted to confirm the influence of the variables in the granulation process. Through the preliminary test results, this experiment was performed with the volume of solvent of the spray drying the mixture as an independent variable, and granular powder having a mean particle size similar to that of the existing mass-production conditions and an increased apparent density was prepared. In addition, a pilot test was conducted for the molding and sintering process. The improved granular powder reduced the characteristic variation (weight variation) of the mass-produced product.

Keywords : Tungsten Alloy, Granule Powder, Powder Metallurgy, Spray Dryer, Defence Industry

*Corresponding Author : Sangyong Ji(DTaQ)

email: updragon@dtq.re.kr

Received August 13, 2020

Accepted October 5, 2020

Revised September 15, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

1.1 텅스텐 합금의 활용

텅스텐(tungsten, W)의 가장 큰 특징은 밀도(19.25 g/cm³)가 높다는 것이다. 일정한 공간에 높은 중량이 필요한 무게추(weight balance) 등의 제품에 주로 활용되고 있다.

텅스텐 제품들은 순수한 텅스텐으로는 용융점(녹는점, 3,422 °C)이 높아서 제작에 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 니켈(Ni), 철(Fe), 구리(Cu) 등을 포함한 합금 상태로 제품을 생산하고 있다.

텅스텐 합금 소재는 휴대폰 구성품인 진동모터의 진동자로 사용하고 있다. 방산 분야에서도 전차와 자주포의 무게추, 회전기의 항공기의 로터 무게추, 무인 항공기용 열/광학 카메라의 무게추, 공중폭발탄의 산탄 등으로 다양하게 활용되고 있다.

텅스텐 합금에 대한 연구는 1800년대 후반부터 이루어졌으며, 1930년대 활발한 연구가 이루어졌다[1]. 국내 방산분야에서도 1990년 이후 현재까지 텅스텐 합금의 개선과 관련된 연구가 지속적으로 수행되고 있다[2-5]. 학문적 연구는 충분히 이루어져 있지만, 다양한 산업에 활용도가 높지 않아 제품의 생산과 관련된 연구는 업체의 노하우로만 남아 있는 실정이다.

1.2 텅스텐 합금의 제조 공정

일반적인 합금 제품의 제조 공정은 다음과 같다. 주조로 제작된 합금을 단조, 압연, 압출 등의 1차 가공 후 원소재로서 생산 업체에 공급한다. 생산 업체에서는 원소재를 절단, 가공, 판금 등의 성형 또는 용접 등의 공정을 통하여 제품 형상으로 제작한다. 최종적으로 열처리, 도장 등 후처리를 통하여 완제품이 된다[6].

하지만, 텅스텐 합금은 텅스텐의 높은 용융점으로 주조 공정의 활용이 불가능하여, 분말야금법(powder metallurgy)으로 제품을 제작하고 있다.

분말야금법은 금속 분말을 금형(mold)에 충전하고, 압력을 가하여 형태를 만들고(성형 공정), 이를 열처리(소결 공정)하여 제품을 제작하는 방법이다. 소품종 대량생산 품목에서는 경제성이 높아 다양한 분야에서 활용되고 있다. 하지만 분말의 특성 편차, 성형 공정과 소결 공정의 관리 정도에 따라 제품 간 특성의 편차가 생길 수 있는 단점이 있다[7].

특히, 방산 분야에서는 다품종 소량생산 품목이 많고,

기계적 특성(밀도, 경도 등)이 정밀하게 요구되고 있다. 제품 간 특성 편차로 인해 무기체계의 요구도를 불만족할 가능성이 있으므로 편차를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 이를 위해 일정한 특성을 갖는 텅스텐 합금 분말의 제조 즉, 과립 공정 연구가 필요하다.

1.3 텅스텐 합금의 과립화 공정

텅스텐이 분말야금법으로 활용되기 위해서는 텅스텐 분말 입자의 크기가 작을수록 비표면적이 높아 소결 온도 및 시간을 줄여 생산성과 제품 특성을 높일 수 있다[8].

하지만, 분말의 입자 크기가 작을수록, 분말의 유동도와 겔보기 밀도 특성이 좋지 않아, 제품 간 특성 편차가 커질 수 있다.

미세 분말을 과립분말로 제작을 해야 미세 분말이 갖는 우수한 소결 특성과 과립분말이 갖는 높은 유동도와 겔보기 밀도를 동시에 가질 수 있다.

과립분말의 제조 공정은 크게 분쇄법, 건식법, 습식법이 있다. 분쇄법과 건식법은 과립분말의 입자 크기와 특성을 관리하기 어려워 습식법이 주로 활용되고 있으며, 텅스텐 합금 과립화 공정은 입자 크기의 관리가 용이한 분무건조기(spray dryer)를 이용한다.

분무건조용 혼합물은 용매인 순수(pure water)에 주원료인 텅스텐과 니켈, 철, 구리 등의 소결 조제 그리고 미세분말의 결합 유지를 위한 결합제 등을 혼합하여 제조한다. 혼합물의 균질화를 위하여 분무건조 전 볼밀(ball milling) 공정을 수행한다.

본 연구에서는 성형 및 소결 공정 중 제품 간 편차를 줄일 수 있는 과립분말의 제조를 목표로 수행을 하였다.

과립화 공정에는 다양한 변수가 있기 때문에 변수 간 영향성을 알아보기 위한 예비 시험을 수행하였다. 예비 시험 결과를 분석하여 용매의 용량을 독립변수로 설정하여 양산조건에서 분말의 형상, 입도, 겔보기 밀도를 확인하여 최적 조건을 도출하였다.

최종적으로 성형/소결 공정에 대한 파일럿 시험을 진행하여 개선된 과립분말이 제품에 미치는 영향을 확인하였다.

2. 실험 방법

텅스텐 합금 과립분말의 제조 방법과 파일럿 시험에 대한 개념도를 Fig. 1에 정리하였다.

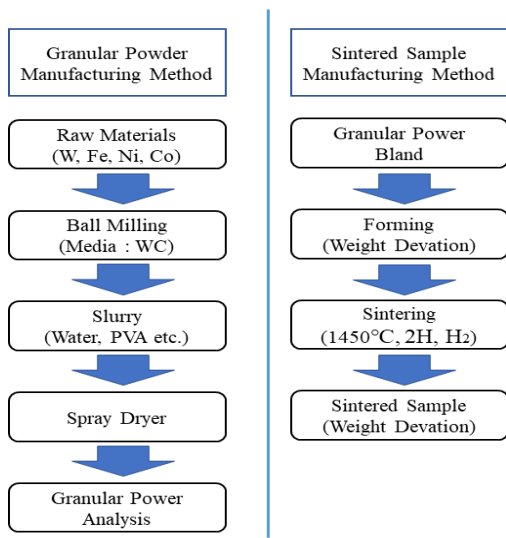


Fig. 1. Granular powders and sintered sample manufacturing method

텅스텐 합금 과립분말 제조를 위해 텅스텐의 함량92 wt.%에 철과 니켈의 적정 비율로 혼합분말을 준비하였다. 혼합분말의 균질화를 위하여 탄화텅스텐(tungsten carbide) 볼을 이용하여 2시간 볼밀 공정을 진행하였다.

분무건조용 혼합물(슬러리)은 용매(순수)에 균질화된 혼합분말 그리고 결합제인 산노프프사 PVA(Poly Vinyl Alcohol)인 HS-BD-25 제품을 첨가하여 교반하여 제조하였다. 분무건조 공정은 동진기연의 FCNM-025R 모델로 최대 직경 2.5 m인 장비를 활용하였다.

시험 조건인 분말과 순수, PVA의 함량, 건조 온도와 디스크 회전 속도는 예비 실험(Table 1)과 본 실험(Table 2)으로 구분하여 정리하였다.

각 조건에서 제조된 샘플들의 분석은 레이저 입도분석 장비(LPSA : Laser Particle Size Analyzer, BT-9300S)로 과립분말의 크기를 분석하였다. 분말의 형상은 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope)로 확인하였다. 겉보기 밀도는 KS D ISO3923-1에 따라 측정하였다.

Table 1. Characteristics of the specimens for pre test

Sample name	Power (kg)	Pure Water (kg)	PVA (g)	Inlet Temp. (°C)	Atomizer (rpm)
Pre #1	10	5	80	165	6000
Pre #2		5	80	155	6000
Pre #3		5	50	155	5000
Pre #4		3	80	155	5000

Table 2. Characteristics of the specimens for test

Sample name	Power (kg)	Pure Water (kg)	PVA (g)	Inlet Temp. (°C)	Atomizer (rpm)
#1	50	15	400	165	6000
#2		10			
#3		7			
#4		5			

최적 조건과 기존 양산 조건(샘플 번호 #1)의 분말을 교반기를 이용하여 2시간 교반 후 양산 금형을 통하여 분말 자동투입방식으로 성형체 100개를 제조하였고, 성형체의 중량 조건은 1.06 ~ 1.068 g이다. 1460 °C, 2시간, 수소(H₂) 분위기의 조건에서 소결체를 제조하였다. 제조된 성형체와 소결체는 전자저울(CAUW-320)로 중량편차를 확인하여 양산 활용성을 판단하였다. 모든 분석은 실험실 환경인 온도 20~25 °C, 상대 습도 40~60 %에서 측정되었다.

3. 분석 결과

3.1 예비 시험 분석 결과

예비 시험은 각 변수(혼합물의 농도, 결합제의 용량, 분무건조기의 투입 온도, 분무건조기 분무 속도) 중에서 유효한 변수를 찾기 위해 진행을 하였다.

예비 실험으로 제작된 과립분말의 특성을 Fig. 1로 정리하였다. 모든 조건에서 분말의 평균 입도와 겉보기 밀도는 각각 50~55 μm와 3.2~3.4 g/cm³로 유사한 특성치를 갖는 것으로 확인되었다.

각 조건에서 과립분말의 형상은 Fig. 2로 정리하였다. 모든 조건에서 도넛 형태의 속이 비어 있는 과립분말을 확인할 수 있었다.

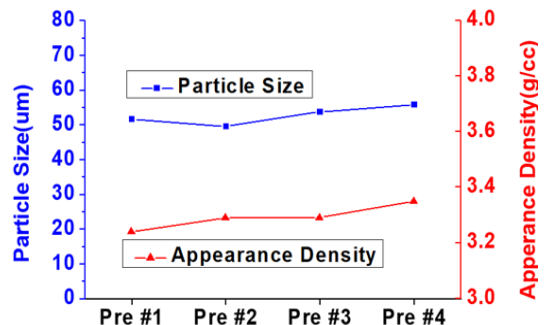


Fig. 2. Granular powders Particle size and Appearance density for pre test

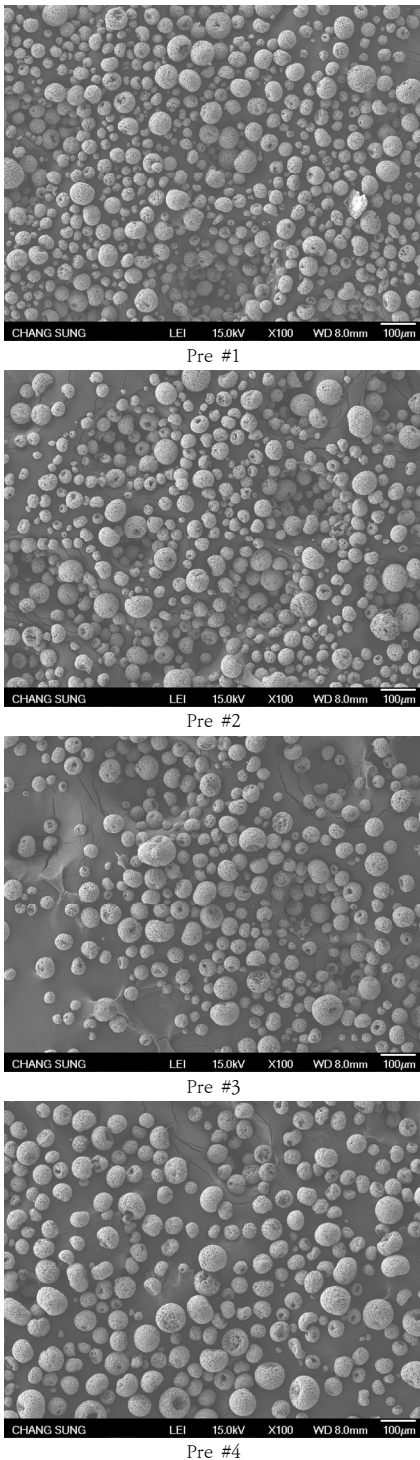


Fig. 3. SEM photographs of the pre-test powders

도넛 형상의 분말이 생성되는 원인으로는 첫째, 분무 건조기의 건조 온도와 혼합물의 온도의 차이가 높아 분무된 혼합용액 입자의 용매가 급격하게 기화되는 경우 둘째, 결합제의 양이 너무 적어 분무된 입자의 혼합분말의 결합력이 낮은 경우 셋째, 혼합물의 농도가 낮아 분무된 과립분말 내부에 용매가 늦게 건조되어 탈착될 경우가 있을 것으로 예상하였다[9].

Fig. 3과 같이 PVA가 충분하게 많은 분말들이 확인되어 결합제의 양이 부족한 것은 아닌 것으로 판단하였다 [10]. 용매의 양을 줄인다면, 용매의 급격한 기화를 줄이며, 건조 속도를 늦는 경우는 줄어 들 것으로 판단하고 용매의 양을 줄이는 것을 변수하여 본 실험을 진행하였다.

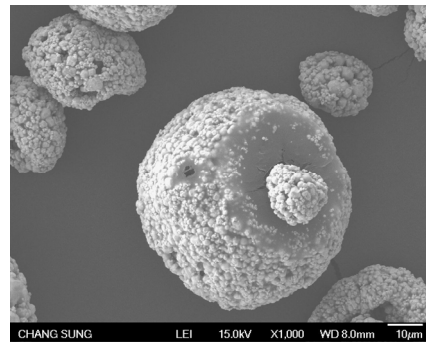


Fig. 4. SEM photographs of the granulated power with PVA

3.2 본 시험 분석 결과

본 시험은 용매의 용량 변화에 따른 과립분말의 특성을 확인하였으며, 그림3의 평균입도와 겉보기 밀도 결과와 그림4의 과립분말 형상을 관찰하였다.

그림 4을 통하여 과립분말의 평균입도는 #1~#3 샘플에서 57~59 µm로 유사한 결과 값을 가지며, #4 샘플에서 약 32% 증가한 77 µm 것을 확인하였다.

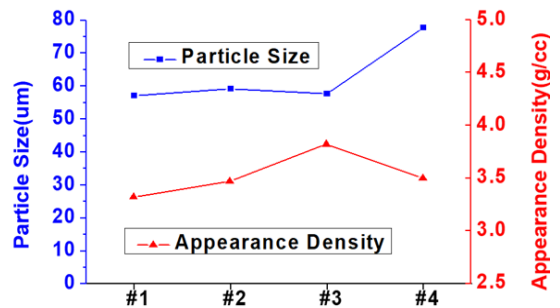


Fig. 5. Granular powders Particle size and Appearance density for test

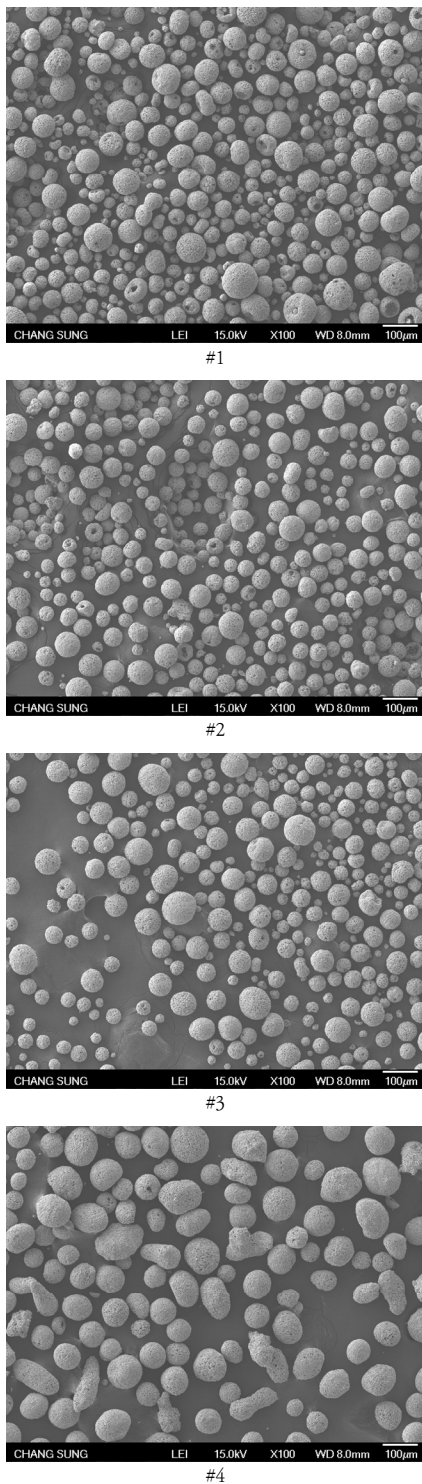


Fig. 6. SEM photographs of the test powders

이는 #4 샘플의 실험 조건에서 용매의 양이 감소하여 용매의 증발 속도가 증가하고, 용매에 의한 미세 분말 입자 간 결합력보다 결합제인 PVA에 의한 결합력이 큰 조건이 형성되어 평균 입도가 증가 한 것으로 판단된다.

#1~#3 샘플에서 용매의 양이 감소함에 따라 겔보기 밀도가 증가하였지만, #4 샘플에서는 다시 감소하는 것을 확인 하였다. 겔보기 밀도가 증가한 것은 과립분말 내부가 비어있는 도넛 형상이 감소한 것으로 판단된다. #4 샘플에서 겔보기 밀도가 다시 감소한 것은 미세한 과립 분말이 감소하여 과립분말 사이의 공간을 채우지 못한 결과로 판단된다.

Fig. 5는 과립분말의 형상을 전자현미경으로 관찰한 결과이다. 용매의 양이 감소할수록 도넛 형상의 과립분말 이 감소하는 것을 확인하였다.

Fig. 4과 Fig. 5의 결과를 통하여 #3 샘플이 내부가 비어있는 과립분말이 감소하였고, 미세과립분이 감소하지 않아 성형/소결 공정에 제품 간 편차를 감소할 수 있을 것으로 판단하였다. 이를 확인하기 위한 제품을 통한 파일럿 시험을 실시하였으며, 기존 양산 조건인 Pre #1 샘플과 #3 샘플을 비교하여 관찰하였다.

3.3 파일럿 시험의 분석 결과

Table 3으로 기존 양산 조건인 Pre #1 샘플과 개선 조건인 #3 샘플의 성형체와 소결체의 샘플간 중량 편차를 정리하였다.

성형체에서는 0.001 g로 차이가 크지 않았지만, 소결체의 중량 편차는 기존 조건에서는 증가하였지만, 개선 조건에서는 편차가 동일하여 개선 전후 0.004 g의 차이를 확인하였다.

기존 조건과 개선 조건 과립분말의 성형체 간 중량 편차가 유사하였던 것은 과립분말의 평균 입도가 50 μ m대로 유사하였기 때문으로 분석된다.

하지만, 도넛 형상의 과립분말이 성형체의 밀도를 낮추고, 성형 밀도가 낮은 샘플의 표면부 입자가 소결중 소실되어 소결체의 중량 편차가 발생한 것으로 유추된다.

Table 3. Weight deviation of formed and sintered sample

Sample name	Formed sample weight deviation (g)	Sintered sample weight deviation (g)
Pre #1	0.005	0.008
#3	0.004	0.004

4. 결론

본 연구는 과립 공정에서의 다양한 변수(혼합물의 농도, 결합제의 용량, 분무건조기의 건조 온도, 분무 회전 속도) 간 영향성을 예비 실험을 통하여 확인하였다. 그 결과 분무건조용 혼합물의 용매의 용량이 주요 변수로 판단하여 독립변수로 본 실험을 수행하였다.

본 실험 결과 #3 샘플에서 도넛 형상이 감소하고 겔보기 밀도가 15% 증가한 과립분말을 제조하였다.

양산 적용을 위한 파일럿 시험을 결과 개선된 과립분말이 양산 제품의 특성인 중량 편차가 50% 감소하는 것을 확인하였다.

본 연구를 통하여 양산에서 적용 가능한 텅스텐 합금 과립분말의 제조 공정을 개선하였다.

References

- [1] Heung Sub Song, Eun Pyo Kim, Kyung Jin Park, Joo Ha You, "Manufacturing of Tungsten Heavy Alloy Composites for Kinetic Energy Penetrator", *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute*, Vol.11, No.5, pp.369-375, Sep. 2004.
DOI: <https://doi.org/10.4150/KPMI.2004.11.5.369>
- [2] H.S.Song, E.P.Kim, S. Lee, J.W.Noh, W.H.Baek, B.S.Chun "The Effects of Cold Working and Ageing Treatment on the Mechanical properties of W Heavy Alloy", *Journal of Metals and Materials International*, Vol.30, No.3, pp.262-269, Mar. 1992
- [3] Dong Kuk Kim, Sung Hak Lee, Heung Sub Song, Kyung Jin Park "Effects of Microstructure and Fracture Behavior on Penetration Performance of Tungsten Heavy Alloys", *Journal of Metals and Materials International*, Vol.35, No.1, pp.45-56, Jan. 1997
- [4] Hwang, Doo-Son, Hong, Sung-In "A Study of Localization for Adiabatic Shear Band in WHA(Tungsten Heavy Alloy)", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.11, Issue 6, pp.18-25, Dec. 2007
- [5] J.M. Lee, G.J. Park, O.K. Min, J.H. Lee, "Dynamic Material Properties of 93W-4.9Ni-2.1Fe and 93W-5.6Ni-1.4Fe Tungsten Alloy", *The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, Issue 2, pp.322-327, Feb. 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.2.322>
- [6] W. G. Lee, C. J. Kim, D. Y. Lee, "Korean Smart Factory for Machining Line", *Proceedings of Korean Society for Precision Engineering*, KSPE, Changwon, Korea, pp.348, Oct. 2019.
- [7] J. H. Cho, Y. S. Kwon, S. T. Chung, M. C. Lee and M. S. Joun, "The Influence of Powder Compaction Pressure on Density and Dimension of a Powder Metallurgy Product", *Transactions of Materials Processing*, Vol.16, No.4, pp.244-246, Apr. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.5228/KSPP.2007.16.4.244>
- [8] Randall M. German, *Sintering Theory and Practice*, p.576, John Wiley & Sons, Inc., 1996, pp.1-22
- [9] Chul Kim, Yong Suk Heo, Tae Woo Kim, and Kee Sung Lee, "Fabrication and Characterization of Zirconia Thermal Barrier Coatings by Spray Drying and Atmospheric Plasma Spraying", *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol.50, No.5, pp.326-332, Aug. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2013.50.5.326>
- [10] Ji-Hwan Jung, Sang-Jin Lee, "Effect of Organic Additives on Microstructure and Green Density of Zirconia Granules Using Water Solvent", *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute*, Vol.24, No.2, pp.147-152, Apr. 2017
DOI: <https://doi.org/10.4150/KPMI.2017.24.2.147>

지 상 용(Sangyong Ji)

[정회원]



- 2010년 2월 : 부산대학교 재료공학과 (한국학석사)
- 2016년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

방산재료, 재료공학