

特輯

생명을 보호하는 개인용 세라믹 방탄보호재료

김기수**

Personal Ceramic Armor Materials to Protect the Human Lives in the Warfare

Ki-Soo Kim**

ABSTRACT

This paper mainly describes the armor materials, especially the ceramic materials for the personal protection. In the ceramic armor materials, B_4C ceramics and SiC ceramics are the most popular materials. The B_4C ceramics which consists of 4 atoms of boron and 1 atom of carbon is very light and strong. It is usually used to personal protection armor and chair protection in the helicopter. This material must be sintered at very high temperature because it melts at $2400^\circ C$. In order to have a good armor property, it must have very high density which is achieved by hot press or subsidiary sintering aid methods such as reducing the particle size of raw materials or mixing the sintering agents to the raw materials.

초 록

이 논문은 주로 방탄재료 중에서 세라믹재료를 바탕으로 한 개인용 방호장비와 헬리콥터용 방탄장비 등 재료의 무게가 중요한 부위에 사용되어지는 재료에 대하여 서술하였다. 세라믹 방탄재료는 원자번호가 작은 보론이 4개원자가 포함되어있고 탄소원자가 1개 들어있는 화합물인 B_4C 를 근간으로한 재료이기 때문에 무게가 굉장히 적게 나간다. 그러나 이 재료는 용융온도가 높아 높은 온도에서 소결되어야하고, 소결말도가 높아야 제대로 물성이 나오기 때문에 잘 소결할 수 있도록 하기 위하여 소결조건을 사용하던지 일축 가압소결을 하던지 분말사이즈를 조절하여 쉽게 소결하는 방법을 사용하던지 하여 제품을 만든다.

Key Words : B_4C (Boron Carbide), 세라믹스(Ceramic materials), 방탄재료(Armor materials), 일축가압성형(Hot press)

1. 서론

방탄재료로 활용되는 재료에는 여러 가지 종류가 있으나, 세라믹스계의 대표적인 방탄재료에는 SiC 와 B_4C 등이 있는데, 그 중에서 개인용 방호재료로 가장 많이 쓰이는 B_4C 는 다이아몬드, $c-BN$ 다음으로 경도가 매우 높을 뿐만 아니라 강도, 파괴 인성 및 내마모성 등의 기계적 특성이 우수하고, 내화학성과 내침식성이 우수하여 방탄재료로 널리 사용되어지고 있다.^[1-7]

이 재료는 우수한 중성자 흡수 능력을 가지기 때문에

원자로의 제어에 활용될 정도로 산업적인 응용성이 매우 뛰어난 재료이며, 특히 높은 경도와 낮은 비중($2.52g/cm^3$)으로 인하여 최근개인용 방호기구, 비행기용 방탄 소재, 차량용 방탄소재 등 경량 방탄재료로서 그 활용이 매우 기대되고 있는 재료이다. 그리고 미국에서는 최근 이란전에서 개인 방탄장비로 Fig. 1과 같은 세라믹제품을 지급하여, 관련 세라믹업체들이 대단한 활황을 맞이하고 있다. 국내에서도 개인장비뿐만이 아니라 차량용 및 항공기탑재용도 필요하므로 남북이 대치되고 있는 국내 실정에 아주 시급히 개발이 필요한 재료이다.

**+ 홍익대학교 재료공학부 세라믹공학전공 교수, 교신저자(E-mail:kisookim@paran.com)



Fig. 1 미군이 이란전에서 개인적으로 지급하는 방탄장비.

B₄C는 아래 Table과 같이 가볍고 강도, 파괴 인성 및 내마모성 등의 기계적 특성이 탄환의 운동에너지를 흡수하여 탄환의 속도를 급격히 감소시키고, 인명을 보호하고 인체의 손상을 최소화하도록 한다.

Table 1 붕소카바이드의 일반적인 특징

밀도(g · cm ⁻³)	2.52
녹는점(°C)	2445
경도(Knoop 100g) (kg.mm ⁻³)	2900-3580
파괴인성 (MPa.m ^{-1/2})	2.9-3.7
Young's Modulus (GPa)	450-470
전기전도도 (at 25°C) (S)	140

모든 재료는 총알 등의 충격에 의해 국부적으로 관통되는 파괴가 일어나는데, 그 파괴 형상은 다음 그림과 같으며, 파괴저항성의 차이에 따라 파괴되는 정도가 달라지게되고, 그에 따라 인체의 손상의 정도가 달라질 수 있게 된다.

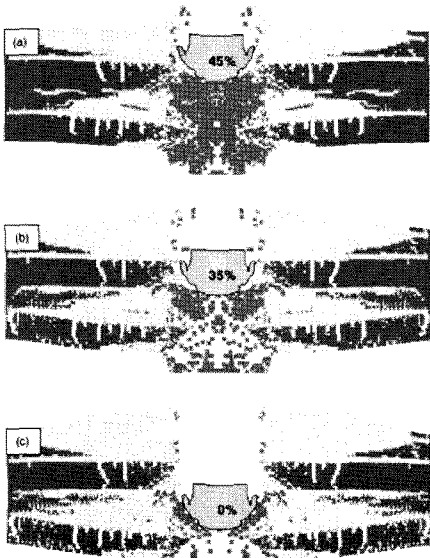


Fig. 2 충격에 의한 파괴형상.

B₄C로 대별되는 세라믹계 방탄재료는 개인 방호에 사용될 뿐만 아니라 아래그림과 같이 헬기의 운전석 보호용으로도 사용된다.

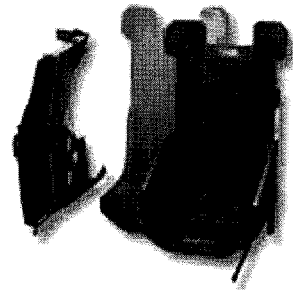


Fig. 3 헬기운전석에 사용되는 B₄C 세라믹스.

그리고 Fig. 4와 같이 전차보호용 방탄패널로도 사용되어지는데, 전차용 방탄재는 무게가 상대적으로 덜 중요하기 때문에 약간 비중이 높은 탄화규소 세라믹스나, 아라미드 섬유 복합재료등을 사용하는 것도 가능하다.

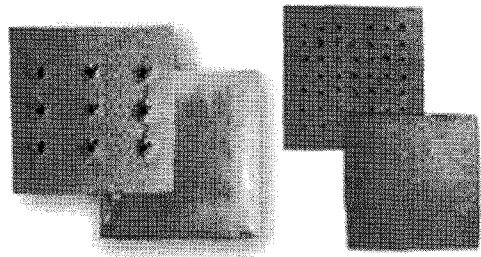


Fig. 4 전차보호용 방탄 패널.

2. B₄C 세라믹스 제조시 고려사항

탄화붕소의 카본 함량에 따른 상평형도는 다음 Fig. 5와 같다. 여기에서 보면 탄소함량이 8.8 ~ 21 atw%의 넓은 범위에서 고용체를 이루고 있는 것이 보여지고, 이에 따라 크게 조성에 상관없이 소결체를 얻을 수 있는 것으로 보여지지만, 일반적으로 붕소와 탄소의 함량비에 따라서 물성 차이가 크게 난다고 알려져 있어 소결시 붕소와 탄소의 함량비를 유지하는 것이 중요하다. Niihara 등에 의하면 붕소와 탄소비에 따른 탄화붕소의 미세경도 변화를 고찰하여 B/C=4인 화학양론적인 조성에서 최대의 경도값을 나타내고 그 비가 커지거나 작아질 경우 모두 경도값이 작아진다고 보고, 우수한 특성을 갖는 탄화붕소를 제조하기 위해서는 화학양론 조성에 가까운 고밀도의 소결체를 제조하는 것이 중요하다.

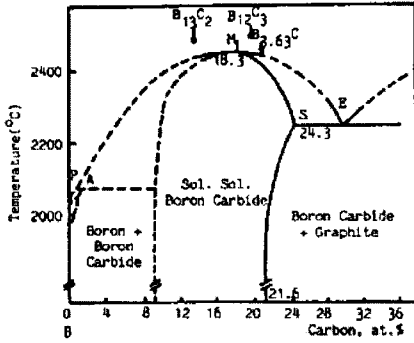


Fig. 5 붕소-탄소계의 상평형도.

붕소카바이드 소결 시에는 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 2,200°C 이상의 고온 소결이 요구되기 때문에 일반적으로 소결 조제로써 탄소나 붕소를 첨가하여 비화학양론 조성을 유도함으로써 소결을 촉진하는 방법을 사용할 수 있다. 그러나 화학양론을 벗어나면 물성이 저하될 수 있으므로, 물성을 고려하여 화학양론을 유지하면서 상압에서 고밀도의 소결체를 제조하기 위해서는 다른 소결조제의 첨가가 필요한데, 액상을 형성하는 SiC, TiB₂, Al₂O₃ 등과 같은 소결조제를 첨가하여 소결 밀도를 증진시킬 수 있으며, ZrO₂도 소결성을 양호하게하고 경도를 향상시키는 좋은 특성을 가지고 있다. 그리고 원료분말의 입도를 조절하는 것도 소결특성의 향상과 소결밀도의 증진을 기할 수 있다. 가압소결도 밀도를 높이고, 특성을 향상시키는 좋은 방법인데, 여기에는 일축 HP, sintering 후 HIP방식 등이 있다.

3. B₄C 세라믹스 소결체의 특성

다음 그림은 소결조제로 Al₂O₃과 TiO₂를 사용하였을 때 소결체의 미세구조이다. 여기에서 보면 알루미늄과 산화티탄이 소결조제로써 소결체를 pore가 거의 없이 대단히 치밀하게 함을 알 수가 있다.

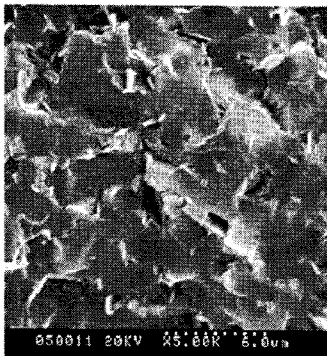


Fig. 6 Al₂O₃과 TiO₂를 사용하였을 때 소결체의 미세구조.

실제로 아래 그림에서 보이는 바와 같이 소결밀도가 95% 이상만 되면 경도가 잘 발현이 되는 것을 알 수가 있다.

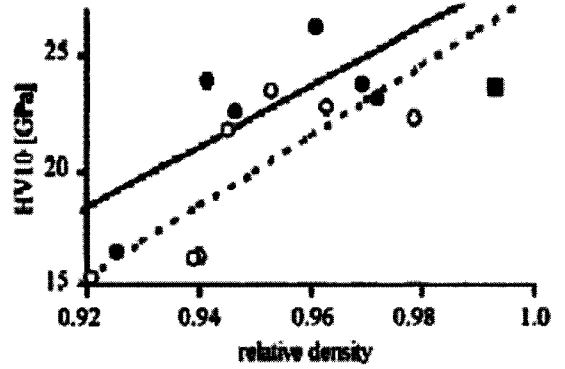


Fig. 7 상대밀도에 따른 경도변화.

지르코니아를 소결조제로 사용하는 경우에도 Fig. 8과 같이 소결밀도가 좋아지고, Fig. 9에서 보이듯이 ZrB₂를 형성하여 과량의 지르코니아가 들어가도 물성의 변화가 크지 않다.

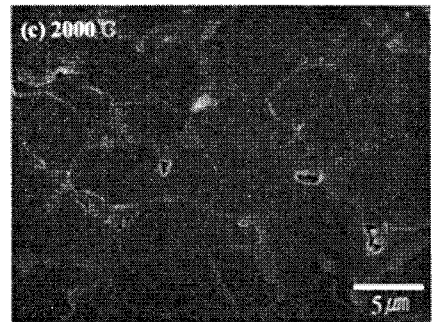
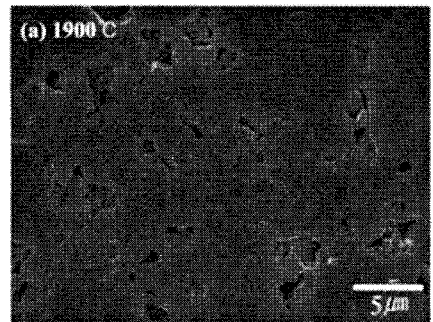


Fig. 8 지르코니아를 소결조제로 사용한 시편.

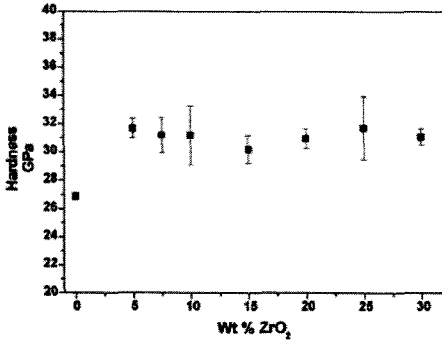


Fig. 9 지르코니아 함량에 따른 경도변화.

4. 일축가압소결 B₄C 세라믹스

가압소결은 밀도를 높이고, 특성을 향상시키는 좋은 방법이며, 여기에는 일축 HP, sintering 후 HIP 방식 등이 있는데, 방탄재료는 보통 판상의 모양을 가지게 되므로 일축가압소결이 통상적인 방법으로 자리잡고 있다. HIP의 경우는 다양한 모양의 소형시편에는 적합한 소결방법이지만 가격이 비싸고 용량에 한계가 있어서 넓적하고 큰 모양의 방탄재료 소결에는 효율적이지 못한 방법이다. 현재 상용화되고 있는 세라믹 인사의 개인용 보호장구에 사용되는 방탄재료는 전적으로 1축가압소결 (HP) 방식에 의하여 제조되고 있다.

5. 결 론

세라믹계의 방탄재료에는 SiC와 B₄C 등이 있는데, 그 중에서 개인용 방탄재료로 가장 많이 쓰이는 B₄C를 중심으로 정리하였다. 현재 상용화된 제품은 1축가압소결 (HP)에 의하여 생산되고 있으나, ZrO₂를 비롯한 소결조제의 사용이나, 나노분말 등의 사용으로 일반소결에 의한 제품개발이 곧 다가올 것으로 보인다. B₄C는 다이아몬드, c-BN 다음으로 경도가 매우 높을 뿐만 아니라 강도, 파괴 인성 및 내마모성 등의 기계적 특성이 우수하고, 내화특성과 내침식성이 우수하므로 소결조제에 의하여 쉽게 생산이 가능하다면, 방탄재료로 일반화되어 사용되어질 수 있다.

후 기

본 연구는 과학재단의 우수연구센터인 “스마트사회기반 시설 연구센터”의 지원과 2009학년도 “홍익대학교 학술연구진흥비”의 지원으로 수행된 것이며, 이에 대해 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 1) M. Grujicic, B. Pandurangan, K.L. Koudela and B.A. Cheesema, “A computational analysis of the ballistic performance of light-weight hybrid composite armors,” *Applied Surface Science* Vol. 253, 2006, pp. 730-745.
- 2) C. Subramanian, T.K. Roy, T. Murthy, P. Sengupta, G.B. Kale, M.V. Krishnaiah and A.K. Suri, “Effect of zirconia addition on pressureless sintering of boron carbide,” *Ceramics International*, Vol. 34, 2008, pp. 1543-1549.
- 3) Hyukjae Lee and Robert F. Speyer, “Pressureless Sintering of Boron Carbide,” *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 86, No. 9, 2003, pp. 1468-73.
- 4) Robert Vassen and Detlev Stover, “Processing and Properties of Nanograin Silicon Carbide,” *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 82, No. 10, 1999, pp. 2585-93.
- 5) Hyukjae Lee and Robert F. Speyer, “Sintering of Boron Carbide Heat-Treated with Hydrogen,” *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 85, No. 8, 2002, pp. 2131-33.
- 6) Jae Hong Chae, Joo Seok Park, Jong Pil Ahn, and Kyoung Hun Kim, “Mechanical Properties of B₄C Ceramics Fabricated by a Hot-press Sintering,” *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol. 46, No. 1, 2009, pp. 81-85.
- 7) 박종렬, 이경훈, 강태진, 윤병일, 백종규, “전단농화유체가 함침된 순간강화 복합재료의 방탄 특성,” 2009년 한국복합재료학회 춘계학술대회 발표논문집.