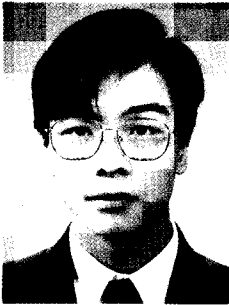


# 방전플라즈마소결법의 특징과 연구현황



윤 중 열

(KIMM 재료공정연구부)

- '94 아주대학교 재료공학과 (학사)
- '96 아주대학교 재료공학과 (석사)
- '96-현재 한국기계연구원 재료공정연구부 연구원



한 유 동

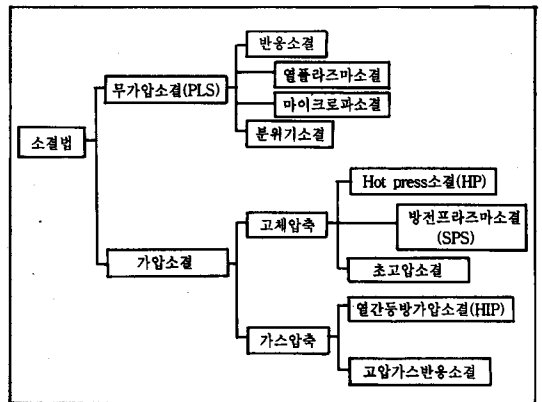
(KIMM 재료공정연구부)

- '79 서울대학교 요업공학과 (학사)
- '81 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '85-'90 미국 Polytechnic Univ. 재료공학과(박사)
- '81-현재 한국기계연구원 재료공정연구부 책임연구원

## 1. 서론

분말야금법은 용해법에 비해 고용점재료의 합성이 용이하며, 성분편석도 적고, 가공도 용이하기 때문에, 향후 항공기와 우주왕복선에 사용이 기대되고 있는 금속간화합물, 세라믹스 및 경사 기능재료 등의 새로운 합성법으로써 기대되고 있다. 표 1에 분말야금공정의 대표적인 소결법에 대해 나타내었다. 이 중에서 최근에는 단시간에 목적하는 재료를 합성하거나 소결하는 것이 가능한 기술로써 플라즈마를 이용한 방전플라즈마소결(SPS : Spark Plasma Sintering)법이 주목받고 있다.<sup>[1-3]</sup>

표 1. 대표적 소결법의 분류



SPS법은 1960년대 전반에 井上潔에 의해 소개된 이후 많은 연구자들에 의해 연구가 이루어지고 있다. 이 방법은 압분체의 입자간극에 직접 pulse상의 전기에너지를 투입하여, 불꽃방전에 의해 순식간에 발생하는 고온플라즈마(방전플라즈마)의 고에너지 열확산·전기장의 작용

등에 효과적으로 응용하는 공정이다. 발생된 플라즈마에 의해 저온에서부터 2000℃ 이상까지 소결온도를 조절할 수 있으며, 다른 소결공정에 비해 200~500℃ 정도 낮은 온도영역에서 승온 및 유지시간을 포함해서 대략 5~20분 정도의 단시간 내에 소결 혹은 소결접합을 할 수 있는 독특한 공정이다. 또한 급속한 승온이 가능하기 때문에 입자의 성장을 제어할 수 있고, 단시간에 치밀한 소결체를 얻을 수 있으며, 난소결 재료라도 용이하게 소결가능하다는 뛰어난 특징을 가지고 있다.

SPS방법은 철계·비철계의 각종 금속재료, 파인 세라믹스 재료, 복합재료, 금속산화합물의 합성 등 폭넓은 신재료의 연구개발 및 제조공정 개발에 응용할 수 있다.<sup>[4]</sup> SPS법은 특히 경사기능재료(FGM: Functionally Graded Materials)의 제조에 관한 연구로 커다란 성과를 이루어 주목을 받고 있다.<sup>[5~7]</sup>

이제까지의 소결법은 소결이 어려웠던 재료, 예를 들어 whisker와 fiber를 포함한 ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 세라믹스 복합재료(FRC), 금속계 복합재료(MMC)의 소결, 또 고온소결에서는 결정화가 일어나 특성이 손상되기 쉬운 amorphous 재료와 각종 전자재료 등의 새로운 저온소결법

으로도 기대되고 있다.<sup>[8~13]</sup> 그림 1에 SPS법으로 적용 가능한 재료를 나타내었다.

SPS법은 소결, 접합, 표면처리 등의 가공기술 분야로의 응용연구가 진행되고 있으며, 각종 신소재의 합성과 제조공정으로 장래발전의 가능성이 기대되고 있다. 본 고에서는 새롭게 대두되고 있는 SPS법에 대한 특징과 가공원리, 그리고 이 방법을 이용한 각종 응용 예를 제시해 새로운 분말합성법에 대한 이해를 돕고자 한다.

## 2. 방전플라즈마 소결기의 기본구성

방전플라즈마 소결기의 기본구성 그림을 그림 2에 나타내었다.

방전플라즈마 소결기는 종축의 가압기구를 가지는 방전플라즈마소결 기본체와 수냉각부를 안쪽에 두고 있는 특수통전기구, 수냉진공chamber, 진공·대기·Ar가스 분위기 제어장치, 진공배기장치, 특수DC pulse 소결전원, 냉각수제어장치, 위치계측장치, 변위량·변화율계측장치, 온도계측장치, 가압력표시장치 및 각종 interlock안전장치와 이들을 조합관리하는 조작제어판 등으로 구성되어 있다.

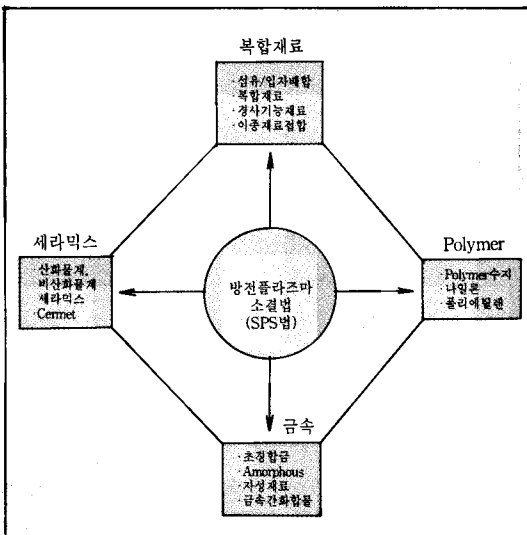


그림 1. 방전플라즈마소결이 가능한 재료

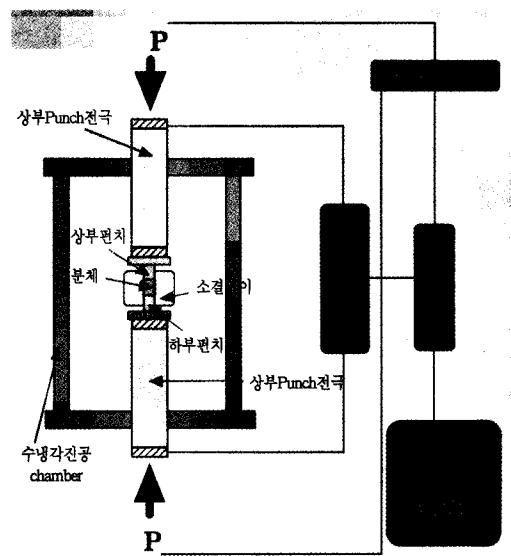


그림 2. SPS 시스템의 구성도

### 3. 방전플라즈마소결법의 가공원리

SPS법은 압분체 입자간극에 방전에너지를 투입해, 순간적으로 발생하는 방전 플라즈마의 고에너지를 효과적으로 응용하는 것으로, 종래법에 비해 저온·단시간에서의 소결 혹은 소결접합이 가능한 유일한 합성가공법이다. 자기발열 반응합성법(SHS)과 같이 분체시료내부에서의 자기발열작용을 적극적으로 이용한 차세대형의 새로운 소결법이라고 할 수 있다. 방전에 의한 직접 발열방식이기 때문에 열효율이 대단히 뛰어나고, 방전점의 분산에 의한 균일한 가열에 의해 특성이 우수한 소결체를 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>[4]</sup>

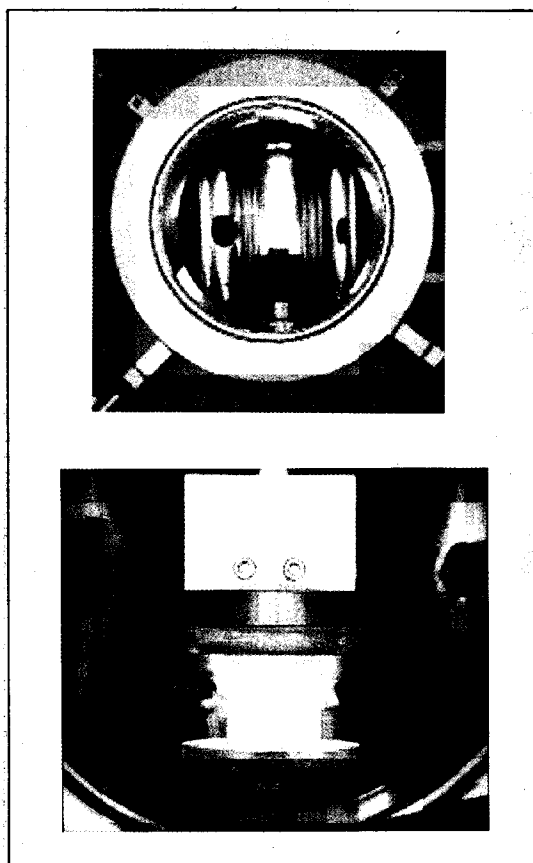


그림 3. 방전소결시스템의 수냉진공chamber내부

(a) 장착직후의 소결 die와 punch

(b) 소결유지온도, 1000°C에서의 die와 punch

그림 3은 방전플라즈마소결기의 die와 punch를 장착한 모습(그림 3(a))과 1000°C에서 소결공정 중 die가 가열되어 있는 모습(그림 3(b))을 나타내고 있다. 방전플라즈마소결은 먼저 원료 분말을 충전한 die·punch를 준비하여 수냉진공 chamber내에 장착한 후에(그림 3(a)) 상하 펀치전극에 끼워 가압하에서 pulse를 통전하게 된다. 그러면 수분이내에 실온에서 1000~2000°C로의 고속 승온이 가능해지고, 불꽃방전이 발생한 입자의 간극에는 순간적으로 1000~10000°C의 국소적 고온상태(방전플라즈마)가 된다.

그림 4는 ON-OFF직류 pulse의 통전효과를 나타낸 것이다. pulse통전에서는 소결의 진행현황을 관찰하면서 투입에너지를 제어할 수 있으며, 방전 플라즈마의 발생과 방전충격압력으로 인해 sputter작용이 일어나서 분말에 흡착된 가스의 제거에 의한 표면정화작용과 절연산화피막의 파괴작용을 일으킨다. 전기장의 작용으로 이온의 고속이동에 의한 고속확산효과도 발생한다. 또한 ON-OFF직류 pulse의 영향으로 방전점이 시편전체로 분산되기 때문에 전력소비량도 적고, 고효율의 소결이 가능하다.

불꽃방전이 발생된 분말사이에는 방전플라즈마가 생성되어 순간적으로 1000~10000°C의 국소적 고온상태로 된다. SPS공정의 분말입자표면에서는 기화와 용융현상이 발생하며, 입자사이의 접촉부에는 neck라고 하는 잘룩한 부분이 생겨 용착상태로 된다. 동시에 입자사이의 빈 공간에 가스와 미립자가 방전충격압에 의해 붙어 들어가 분산하고, 다음의 pulse전압에 의해 2차 간접방전의 시발점이 된다. 또한 graphite재료의 통전성 소결die·punch를 사용한 경우에는 소결die·punch가 저항체로 작용해 내부분말의 소결진행에 맞춰 조금 늦게 pulse전류에 의해 joule가열되고, 소결중·후기 단계에서는 발열체로써 피소결재료를 보온하는 역할을 담당하게 된다.

SPS법은 종래의 통전소결법보다 분말입자표면의 정화와 활성화가 쉽고, 물질의 이동도 측

진되기 때문에 종래법에 비해 보다 저온, 단시간에 고품위의 소결체를 얻을 수 있다. 또한 이 소결법은 대상재료의 물성과 재료처리조건에 따라 수10MPa의 저압력하에서 1000~2500℃의 고온 SPS뿐만 아니라 수100~1000MPa의 고압력하에서 단시간·저온 SPS도 가능하고, 금속에

서부터 세라믹스까지 광범위한 압력과 온도범위에서 소결이 가능하다는 특징이 있다. 소결공정에서 입자성장을 제어할 수 있으며 통상소결법으로는 소결하기 어려운 난소결성물질의 소결, 첨가물과 모상과의 불필요한 반응의 제어효과 등의 이점이 있다.

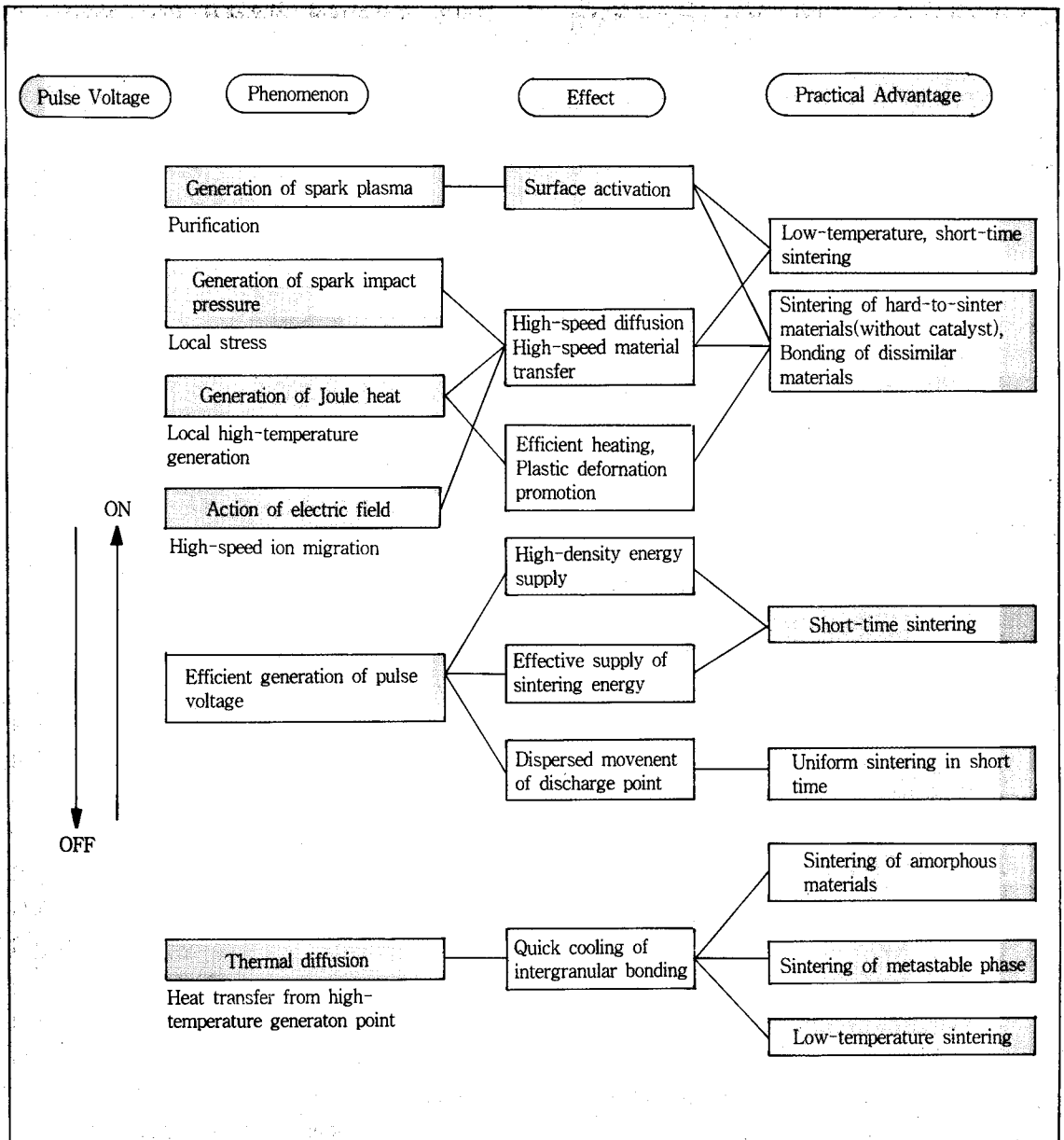


그림 4. ON-OFF작류 pulse통전효과

### 4. SPS법의 일반적 특징

이상 살펴본 바와 같이 SPS법에는 여러가지 독특한 특징이 있다.

- ① ON-OFF 제어직류 pulse통전 초기의 불꽃방전현상에 의해 국소적으로 발생하는 고온 플라즈마, 방전충격가압, 표면정화작용, joule가열 및 전기장의 작용 등을 이용했다. 직접발열방식으로 열효율이 뛰어나고, 방전점의 분산에 의해 균등가열로 저온·단시간에 균질·고품위의 소결체를 쉽게 얻을 수 있다.
- ② 대상재료의 물성과 재료처리조건에 따라 저압·고온의 방전플라즈마소결과 고압·저온의 방전플라즈마소결도 가능하다.
- ③ SPS장치는 Hot press소결법(HP), 열간등방압소결법(HIP), 상압소결법(PLS)등 종래 소결법에 비해, 소결에너지 제어성의 우수함, 취급조작의 용이함, 소결기술의 숙련 불필요, 신속한 소결성, 높은 재현성, 안전성, 확실성, 공간절약, 에너지 절약, 설비비용 등의 장점을 갖고 있다.
- ④ 자기발열작용을 이용한 금속 승온, 초고속 소결이기 때문에 입성장이 일어나지 않고, 또한 재료의 고유특성을 손상시키지 않고 균질한 고품위 소결체를 제작할 수 있다.
- ⑤ 금속에서 세라믹스까지 광범위한 압력과

온도범위에서 소결이 가능하도록 설계되어 있다.

- ⑥ 온도경사장을 이용함으로써 금속, 세라믹스, cermet재료 등 어떠한 경사조성이라도 소결온도를 조정할 수 있어서 소결후 잔류응력이 없는 신뢰성이 높은 경사기능재료의 제작이 가능하다.
  - ⑦ 폭넓은 분야의 신기술개발에 이용할 수 있다.
- 표 2에 SPS방법으로 적용 가능한 재료들을 나타내었다.

### 5. 방전플라즈마소결법의 응용분야

SPS법은 최근 실용화가 이루어진 독특한 재료합성기술로서 그 응용범위는 매우 광범위하다. SPS법의 주요응용분야는 다음과 같다.

- ① 각종 기능재료의 신기술개발  
경사기능재료(FGM), 희토류자성재료, amorphous합금, Ti·Al계 각종 합금, 초전도재료, 전자재료, 생체재료 등
- ② 각종 복합재료와 이종재료의 접합  
파인세라믹스재료, 세라믹스-금속 소결접합, 세라믹스-금속계 복합재료(FRC, FRM) 등
- ③ 절삭·연마·연마공구류  
내식·내마모공구, 다이아몬드공구, 초경합금, CBN, 절단 blade 등

표 2 SPS법으로 적용 가능한 재료

분류		재료
금속계		Fe, Cu, Al, Au, Ag, Ni, Cr, Mo, Sn, Ti, W, Be ---> 대부분의 금속가능
세라믹스계	산화물	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , mullite, ZrO <sub>2</sub> , MgO, SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , HfO <sub>2</sub>
	탄화물	SiC, B <sub>4</sub> C, TaC, TiC, WC, ZrC, VC
	질화물	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , TaN, TiN, AlN, ZrN, VN
	붕화물	TiB <sub>2</sub> , HfB <sub>2</sub> , LaB <sub>6</sub> , YB <sub>2</sub>
	불화물	LiF, CaF <sub>2</sub> , MgF <sub>2</sub>
cermet계		Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> +Ni, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Ni, ZrO <sub>2</sub> +Ni, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiC, SUS+ZrO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SUS, SUS+WC/Co, BN+Fe, WC+Co+Fe
금속간화합물계		TiAl, MoSi <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> Zr <sub>5</sub> , NiAl, NbCo, NbAl, LaBaCuSO <sub>4</sub> , Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub>
기타		유기계재료, 복합재료

본 고에서는 이러한 광범위한 SPS법의 응용 분야중에서 대표적인 몇가지 응용 예에 대해서 살펴보고자 한다.

1) 이종재료의 SPS소결접합

경사확산접합을 간단히 할 수 있는 SPS접합법은, 종래의 접합법과 다른 새로운 방법으로, ① 분체와 분체, ② 분체와 고체, ③ 고체와 고체의 동시소결접합이 가능하다(표 3). 대상재료는 금속, 세라믹스, cermet 등 상호의 조합자유도는 상당히 넓다.

종래의 접합법으로 사용되고 있는 기계접합법, 접착제법, 화학적 접합법에서는 이종재료의 접합을 곤란하게 하는 요인으로 재료물성차(열팽창계수, 탄성계수, 재료강도, 원자결합양식, 고

온물성) 및 접합면현상(젖음성, 확산, 생성물강도, 계면구조) 등을 들 수 있다. 양질의 접합재를 제작하는 데에는 단단한 접합계면을 어떻게 형성하는가, 열팽창차, 탄성차에 기인한 잔류응력을 어떻게 완화하는가가 중요하다. SPS접합법을 응용하면, 이러한 문제점들을 해결할 수 있다.<sup>[3]</sup>

① 세라믹스 분체와 cermet분체접합

그림 5는  $Al_2O_3 \cdot Al_2O_3$  75% + SUS 25% 알루미늄분말과 알루미늄 + 스테레스강 혼합분말을 동시소결접합한 소결체의 예이다. 접합부의 SEM사진과 X선분석에 의하면, 20 $\mu$ m정도의 스테레스성분이 알루미늄 속으로 확산되었음을 알 수 있고, 세라믹스와 cermet의 소결과 접합이 견고하게 되어있음을 알 수 있다.

표 3 SPS접합법의 종류와 특성

종 류	피접합재료		접합 또는 경사층의 내용
	재질	접합조합	
SPS소결접합	금속	분체-분체	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 소결온도, 용점이 다른 2종류이상의 재료를 그 분체입자 중에서 각각의 재료에 적합한 소결온도조건(온도경사장)을 발생시켜 동시에 분체를 소결해서 결합하는 방법</li> <li>● 이종금속의 동시소결접합, 금속-세라믹스, 금속-Cermet, 세라믹스-세라믹스 등의 동시소결접합이 가능</li> </ul>
		분체-고체	
		고체/분체/고체	
SPS경사접합	세라믹스	분체-분체	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 양단의 재료가 다른 재질, 열팽창계수를 가지고, 중간층에 양단과 동일재질의 혼합조성을 1층이상 끼워 열응력완화형 등의 경사접합하는 방법</li> <li>● 양단의 재료가 다른 재질, 열팽창계수를 가지고, 중간층에 양단과 다른 재질의 혼합조성을 1층이상 끼워 열응력완화형 등의 경사접합하는 방법</li> <li>● 전체가 동일재질로 중간층에 양단과 다른 입도배합한 경사조성을 1층이상 끼워 경사접합하는 방법</li> <li>● 전체가 동일재질 또는 다른 재질로 겉에서 속까지 경사구조의 기공률을 가지는 다공질체를 만드는 방법</li> <li>● 내마모성, 내식성, 전기특성 등의 경사를 가지는 소결접합방법</li> </ul>
		분체-고체	
		(고체-고체)	
SPS고체접합	Cermet	고체-고체	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 고체와 고체를 쌓아서 직접접합하거나 극히 얇은 분체층을 끼워 불꽃방전을 발생시켜 용착접합하는 방법</li> <li>● 접합가공시에 고온경사를 갖게 하지 않는 경우가 많음</li> <li>● 다층블록접합과 중간층에 箔(금속의 얇은 조각)을 끼운 접합이 가능</li> </ul>

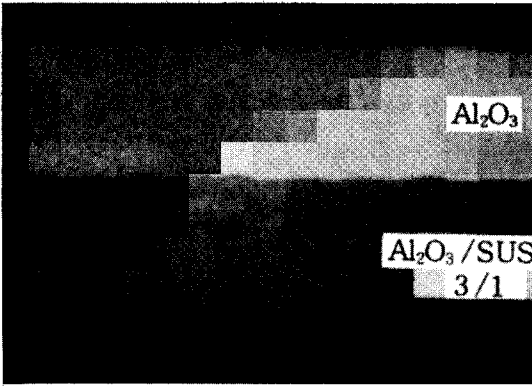


그림 5. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>75%+SUS25%의 소결접합예

② 고체-분체-고체의 SPS접합

그림 6은 내마모부품과 금형·공구에 사용되는 초경복합재료의 사례이다. 표면층만 높은 경도와 내마모성을 필요로 하고, 기지부분은 높은 인성이 요구되는 구조부품의 용도가 많다. WC-Co계 초경(고체)과 기지부분의 공구강선재 사이에 중간층으로 코발트, 니켈 혼합층이 견고하게 경사접합되어 있다. 본 예에는 접합중간층으로 혼합분말을 사용했는데, 재질에 따라 고체

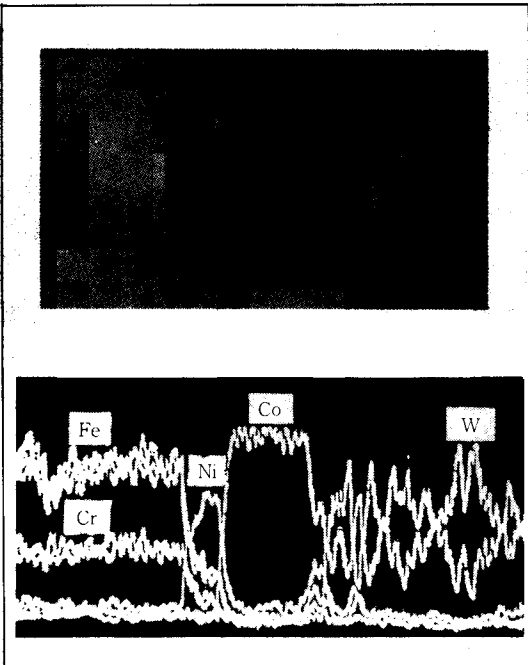


그림 6. 초경-선재의 경사접합예

와 고체를 직접 접합하는 것도 가능하다. 금속과 스텐레스강, 산화물과 산화물의 고체접합 예도 있다. 오른쪽은 EPMA분석사진을 나타낸다.

2) 경사기능재료의 합성

그림 7에 나타난 것처럼 전혀 성질이 다른 2종류이상(예를 들면, 금속과 세라믹스)의 재료가 경계없이 연속적으로 조성이 분포해 있는 재료,

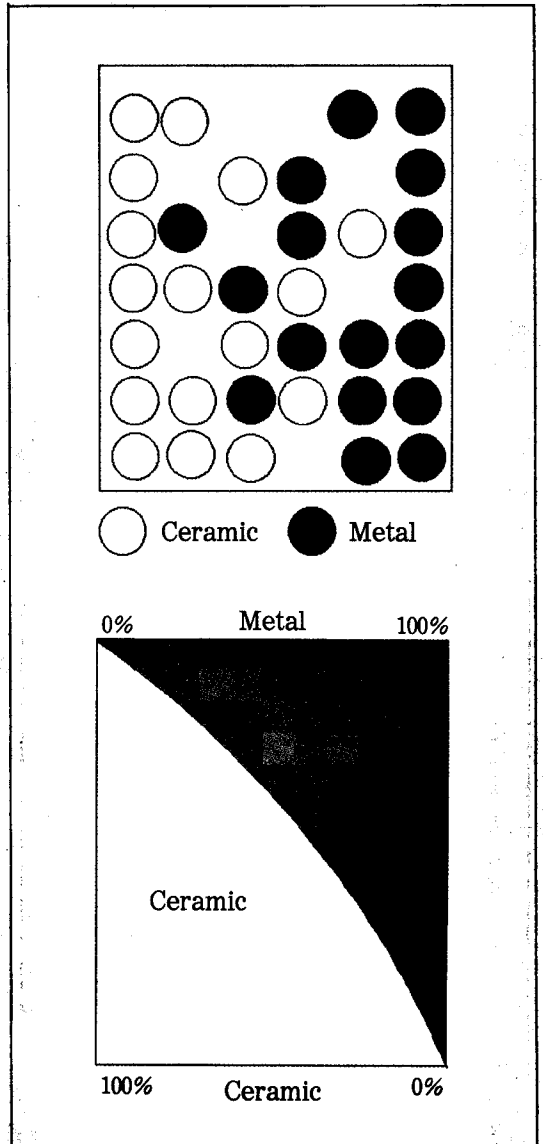


그림 7. 경사재료의 개념도

즉 경사기능재료(FGM : Functionally Graded Materials)는 우주왕복선용 초내열재료와 핵융합 개발 등 특수환경에 이용할 수 있는 신재료로써 크게 기대되고 있다.<sup>[15]</sup>

SPS온도경사장 소결법은 SPS접합법의 일종으로 경사조성을 가지는 재료를 그 경사에 맞춰 온도경사를 주어서 무리없이 소결하는 새로운 소결법이다. 이 방법은 경사기능재료를 5~10분 정도의 SPS소결유지시간으로 합성할 수 있기 때문에, 앞으로 상당히 많이 이용될 것으로 예측된다.

열응력 완화형의 경사재료외에, 내마모성과 내식성, 전기전도도와 열전도도, 또한 표면에서 안쪽까지(즉 외부에서 중심까지) 경사구조의 기공률을 가지는 다공질체의 밀도경사 등 목적에 따라 새로운 기능성재료를 개발할 수 있다.<sup>[16,17]</sup>

그림8은  $ZrO_2(3mol\% Y_2O_3)$ 와 Ni을 SPS법을 이용하여 제작한 경사기능재료의 Vickers경도를 나타낸다. 소결은  $1170^\circ C$ 에서 행해졌으며, 접합은 견고하게 이루어졌지만 소결시의 열팽창계수 차이에 의한 잔류응력에 의해  $ZrO_2(3Y)$ 의 인성이 작아져서  $ZrO_2(3Y)$ 의 파괴분율이 높은 경우에는 crack이 발생했음을 알 수 있다.

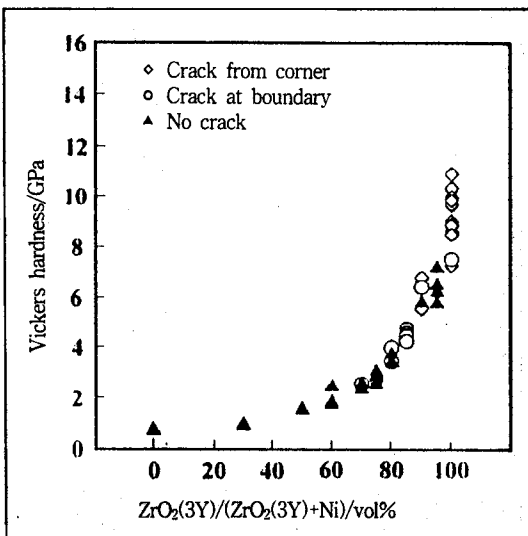


그림 8.  $ZrO_2(3mol\% Y_2O_3)$ 와 Ni의 경사기능재료의 Vickers경도

### 3) Fine Ceramics소결

SPS고온단시간소결에 의해 거의 모든 세라믹스계재료에 있어서 HP법, HIP법과 다른 새로운 소결특성과 효과가 기대된다.

$Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , mullite, MgO,  $HfO_2$ ,  $SiO_2$ 등의 산화물, SiC,  $B_4C$ , TaC, TiC등의 탄화물, 또한  $TiB_2$ ,  $HfB_2$ 의 붕화물,  $Si_3N_4$ , TaN, TiN, AlN등의 질화물의 고밀도소결이 가능하다.<sup>[2]</sup>

그림 9는 SPS법에 의해 상품화된  $Si_3N_4 + Al_2O_3$ 계 복합재료 파인 세라믹스소결부품의 대표적인 사례이다. SPS법의 특징의 하나인 고속소결로 출발원료의 입성장이 거의 없고, 상대밀도 99~100%로 아주 치밀하고 20GPa이상의 고경도 소결체를 얻을 수 있다. 또한 가압소결법이기 때문에 적절한 금형설계에 의해서 near-net-shape성형이 가능하다.

그림 9. 파인세라믹스의 SPS소결부품의 대표적인 예

그림 10은 SPS소결법으로 제조한  $Si_3N_4$  nano-ceramic의 미세조직을 나타낸다. 그림 10(a)와(b)는 각각 소결온도  $1550^\circ C$ 와  $1600^\circ C$ 에서 소결된 미세조직이다. 미세조직을 살펴보면 전체적으로 균일한 조직임을 알 수 있으며, 평균결정립 크기도 200~300nm로 nano-ceramic의 크기에 해당됨을 알 수 있다.<sup>[18]</sup>



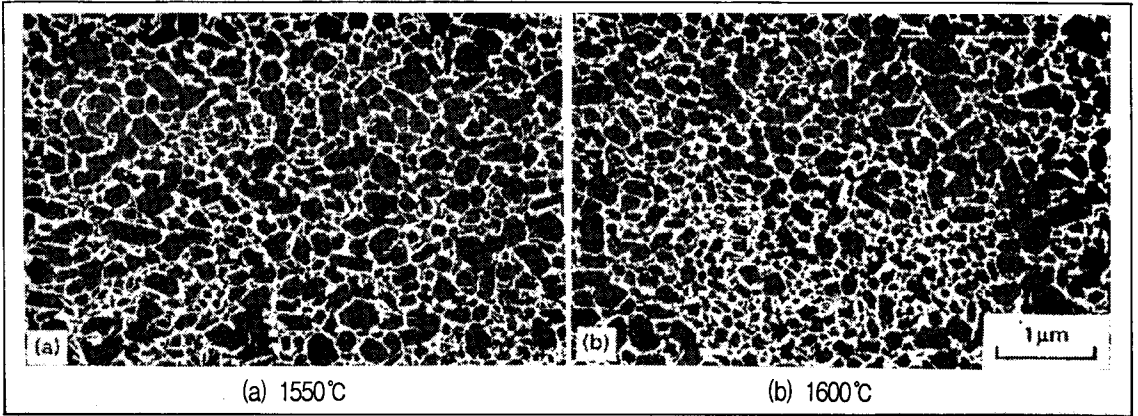


그림 10. SPS에 의해 제작한  $Si_3N_4M$ 의 미세구조

#### 4) 다공질체의 소결

입자사이의 자기발열현상을 이용하는 SPS법에서는 국부적인 고온확산접합이 용이하기 때문에 다공질상의 소결체와 기공율이 위치에 따라 변하는 경사 다공질체를 제작하기에 적당하다.

금속계 및 세라믹계, filter와 촉매담체, 에너지 관련 기능재료, 생체재료 등에 응용이 가능하다.<sup>[3,19]</sup>

그림 11은 구상의 순수한 Ti분말을 사용해 제작한 다공질소결체의 입간결합상태를 관찰한 사진이다. 가압력 500kg/cm<sup>2</sup>, 유지온도 600°C, 승온 4분, 유지 2분, 진공 중에서 제작했다. 구상입자가 가압력에 의해 눌러서 찌그러져 접합하고 있음을 알 수 있다. 또 neck부분을 살펴보면 접합강도는 높고 균질한 다공체로 되어 있음을 알 수 있다.

SPS법에서는 가압력과 소결온도(전류, 전압, 통전시간)를 조정하여, 원하는 기공률을 가진 다공체의 소결이 가능하다.

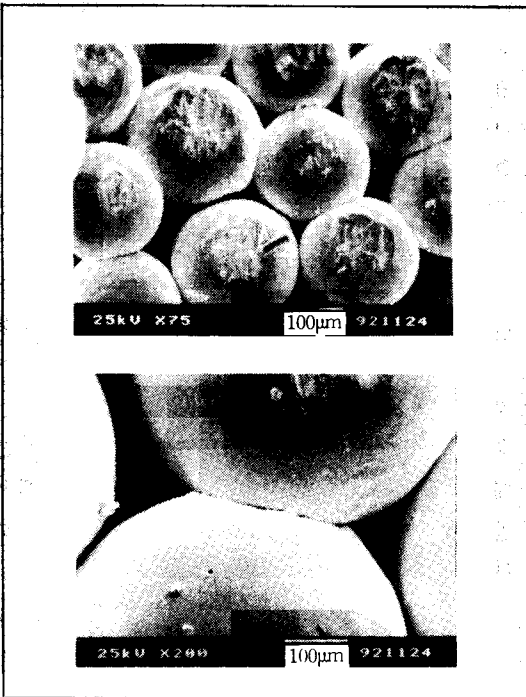


그림 11. 구상 Ti다공질체의 입간결합부의 SEM 사진

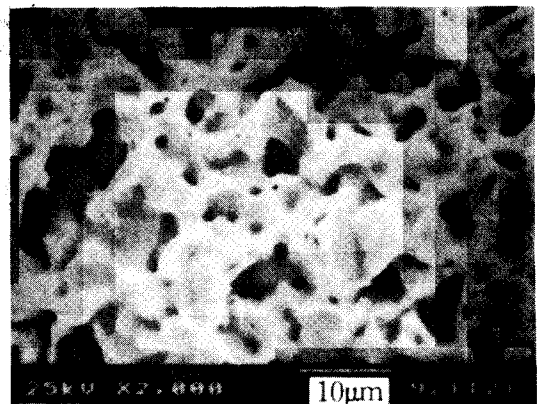


그림 12. SUS 316L 다공질체의 SEM 사진

그림 12는 SUS316L 스테레스강의 예로 8~9  $\mu\text{m}$  정도의 출발원료분말을 사용해 대략 10 $\mu\text{m}$  이하의 연속적인 통기공이 형성한 것을 보여준다.

### 5) 내식·내마모부품 및 초경공구

종래의 방법에 의해 제조된 초경재료와 동일한 특성을 갖고 있는 경우에는 단가면에서 SPS에 의해 제조된 초경재료의 우위성은 적다. 따라서 SPS법의 특징을 살려 시판되고 있는 초경제품과는 차별화해서, 초경을 사용한 경사복합재료, 조성이 다른 새로운 형태의 초경 등이 개발되고 있다.

그림 13은 SPS법의 특징에 맞춰 새로운 조성으로 독자 개발된 super초경분말GX(상품명)을 사용해 제조된 부품이다. 일반공구용 초경의 micro vickers 경도는 1600~1650정도인데 반해, SPS소결체의 경도는 2000~2500으로 일반공구용 초경에 비해 고경도임을 알 수 있다. 고액분산을 목적으로 한 고압분산기, 고압펌프와 노즐, 원심분리기 등 내마모부품용으로 여러 분야의 개발이 진행되고 있다. 또한 표면은 초경층이고, 중간층은 경사조성, 기지는 스테레스강과 공구강으로 이루어진 새로운 복합재료는 내식·내마모성부품으로의 폭넓은 응용이 기대되고 있다. 그림 14는 GX를 포함한 초경재료와 그 응용부품의 예이다.

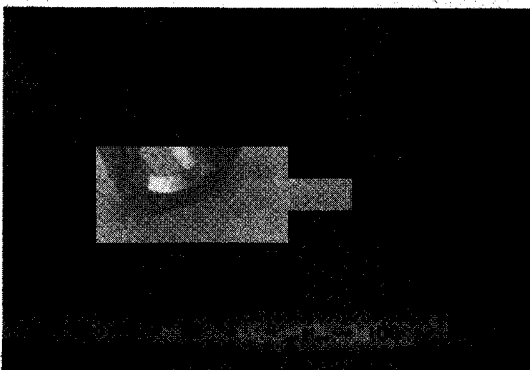


그림 13. GX초경부품의 예

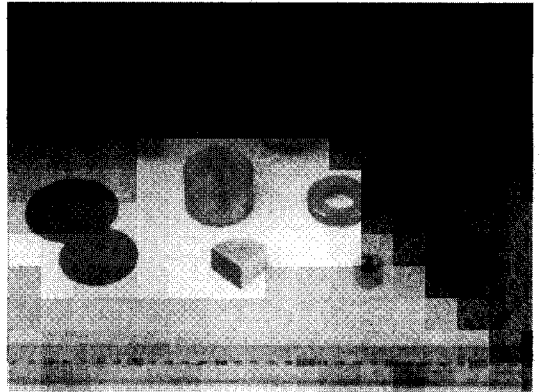


그림 14. SPS법에 의한 초경재료의 응용제품예

### 6. 결론

지금까지 방전플라즈마소결법의 최근의 연구동향과 그 응용사례의 일부를 알아보았다. 방전플라즈마소결법은 새로운 분말재료의 소결방법으로서 미세구조를 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 제조공정에 대한 연구는 소재의 활용도를 높이고, 새로운 재료의 응용에 필요한 기술이다. 방전플라즈마소결법은 경사기능재료, 금속간 화합물, fine ceramics 등의 소결을 비롯하여, 다공질 소결체, 초전도 재료, 세라믹스-금속 소결접합, 각종 내식·내마모공구 등의 응용도 가능한 최첨단 소결기술이지만 그 역사는 2~3년으로 매우 짧다. 방전플라즈마소결법을 이용한 연구는 일본에서 활발하게 진행되고 있으며, 대부분의 국책연구소에서 연구가 진행되고 있다. 일본에서의 연구동향은 SPS법을 이용하여 적용가능한 재료분야를 확장시키는데 중점을 두고 있으며, 방전플라즈마소결에서 발생하는 여러 가지 현상에 대한 이론적이고 보다 체계적인 연구는 아직 미흡한 실정이다.

국내에서도 분말야금 공정을 이용한 고온, 내마모용 신소재에 대한 연구가 일부 진행되고 있으며, 이러한 신소재의 새로운 소결방법으로 SPS법을 이용한 연구가 필요하리라 생각된다.

## 참고 문헌

- [1] 佐藤 雅彦 ; プラズマ放電焼結法の概要・特色, ニューセラミックス, 7, pp75-79 (1994)
- [2] 鴫田 正雄 ; 第三世代の放電プラズマ焼結 (SPS)システムの開発, ニューセラミックス, 7, pp63-74 (1994)
- [3] 鴫田 正雄 ; SPS放電プラズマ焼結法の最近の技術動向, 粉体工學會誌, 30(11), pp. 790-804, (1993)
- [4] 奥谷 猛 ; プラズマ焼結を利用するSiC-Si複合成形體の製造, ニューセラミックス, 7, pp33-37 (1994)
- [5] 大森 守 ; 放電プラズマ焼結法による傾斜機能材料の作製, ニューセラミックス, 7, pp. 27-31 (1994)
- [6] 大森 守 ; 川原 正和, 温度差プラズマ焼結法による $ZrO_2(3Y)/SUS(410)$ 傾斜機能材料の合成, 粉體をよび粉末冶金, 41(6), pp.649-652 (1994)
- [7] 内野 克哉 ; 放電プラズマ焼結を用法いた傾斜組成超硬機合金/鋼能複合材料の検討, 粉體をよび粉末冶金, 43(4), pp472-477 (1996)
- [8] 鷺見 新一 ; 放電プラズマ焼結法による複合體の作製, ニューセラミックス, 7, pp39-42 (1994)
- [9] 嚴 泰永, 朴 容浩 ; 放電プラズマ焼結法により作製したTi-Al金屬間化合物系複合材料の形成過程とその組織, 粉體をよび粉末冶金, 43(4), pp438-443 (1996)
- [10] 小島 章伸 ; 放電プラズマ焼結法により作製したナノ結晶 $Fe_{90}Zr_7B_3$ バルク材の軟磁氣特性, 粉體をよび粉末冶金, 43(5), pp.613-618 (1996)
- [11] 持丸 敏昭 ; 放電プラズマ焼結法によるSiGe熱電材料, 新素材, 4, pp42-46, (1995)
- [12] K. Tsuno, M. Sakai, H. Wantanabe and M. Shinmei ; Proceedings of The 12th International conference on Thermoelectrics, Yokohama, Japan p252-255 (1993, Nov.)
- [13] T. Mochimaru, K. Takahashi, Y. Higa-shguchi, T. Noguchi and I. Nishida ; Proceedings of The 12th International Conference on Thermoelectrics, Yokohama, Japan pp262-267 (1993, Nov.)
- [14] 住石放電プラズマ焼結機 Catalogue
- [15] SPS R&D NEWS, Sumitomo Coal Mining Co. Ltd., 1(1) 1993
- [16] Mamoru Omori, Hiroataka Sakai ; Correlation Between Hardness and Residual Stress in  $ZrO_2(3Y)/metal$  Functionally Graded Materials, 粉體をよび粉末冶金, 4(12), pp1384-1388 (1995)
- [17] M. Omori, H. Sakai ; Proceedings of The 3rd International Symposium on structural and Functionally Gradient Materials, Lausanne, Switzerland (1994, Oct)
- [18] T. Nishimura, M. Mitomo ; Fabrication of silicon nitride nano-ceramics by spark plasma sintering, J. of Mater. Sci. Let., 14, pp1046-1047 (1995)
- [19] 石崎 幸三, 放電プラズマ焼結 (SPS)法による多孔質セラミックスの作製, ニューセラミックス, 7, pp47-50 (1994)