

## 금속복합재료용 고부피분율 SiC분말 예비성형체의 제조공정과 특성

전경윤 · 이호수 · 홍순형  
한국과학기술원 재료공학과

### Fabrication Processes and Properties of High Volume Fraction SiC Particulate Preform for Metal Matrix Composites

Kyung Y. Jeon, Hyo S. Lee, and Soon H. Hong

Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Taejon 305-701, Korea

(Received July 20, 1998)

**Abstract** The fabrication process and properties of SiC particulate preforms with high volume fraction above 50% were investigated. The SiC particulate preforms were fabricated by vacuum-assisted extraction method after wet mixing of SiC particulates of 48  $\mu\text{m}$  in diameter, SiO<sub>2</sub> as inorganic binder, cationic starch as organic binder and polyacrylamide as dispersant in distilled water. The SiC particulate preforms were consolidated by vacuum-assisted extraction, and were followed by drying and calcination. The drying processes were consisted with natural drying at 25°C for 36 hrs and forced drying at 100°C for 12 hrs in order to prevent the micro-cracking of SiC particulates preform. The compressive strengths of SiC particulate preforms were dependent on the inorganic binder content, calcination temperature and calcination time. The compressive strength of SiC preform increased from 0.47 MPa to 1.79 MPa with increasing the inorganic binder content from 1% to 4% due to the increase of SiO<sub>2</sub> flocculant between the interfaces of SiC particulates. The compressive strength of SiC preform increased from 0.90 MPa to 3.21 MPa with increasing the calcination temperatures from 800 to 1200°C under identical calcination time of 4hrs. The compressive strength of SiC preform increased from 0.92 to 1.95 MPa with increasing the calcination time from 2 hrs to 6 hrs at calcination temperature of 1100°C. The increase of compressive strength of SiC preform with increasing the calcination temperature and time is due to the formation of crystobalite SiO<sub>2</sub> phase at the interfaces of SiC particulates.

### 1. 서 론

최근에 자동차산업, 우주항공산업, 전자산업 부품, 산업기계와 레저용품에 이르기까지 광범위한 범위에 걸쳐서 구성부품의 무게를 감소시키기 위한 경량재료의 개발이 요구되고 있다. 이와 같은 요구를 만족시키기 위하여 알루미늄, 마그네슘, 타이타늄과 같은 경량 금속을 기지로 사용하고 이에 세라믹 강화재를 첨가하여 기계적, 열적 및 전기적 특성 등을 요구특성에 맞추어 설계가 가능한 금속복합재료가 등장하게 되었다. 금속복합재료는 fiber, whisker 및 particle 등을 강화재로 하고 금속을 기지상으로는 재료로서 금속기지층에 강도와 강성이 높은 강화재를 분산시켜 금속기지만으로는 얻을 수 없는 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있

다. 이러한 이유로 자동차 부품인 엔진블럭, 피스톤헤드, 커넥팅로드, 로커암, 실린더라이너등이 금속복합재료로 대체되었으며 최근에는 우주, 항공분야의 내열구조 등 부품에 그 사용 가능성이 점차 높아지고 있다.<sup>1)</sup> 금속복합재료는 우수한 기계적 성질을 가지는 장점으로 인하여 경량 구조용 재료로써 개발되기 시작하였으나, 강화재의 부피분율을 변화시킴으로써 열팽창계수, 열전도도 및 탄성계수 등의 물성을 자유롭게 조절할 수 있는 설계특성을 나타내어 최근 electronic packaging 재료로도 그 응용범위가 확대되고 있는 추세이다.<sup>2)</sup> 금속복합재료를 electronic packaging 재료로 사용하고자 하는 연구는 1980년대 후반에 시작되어 90년대에 들어 미국등 구미 선진국을 중심으로 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 이미 B/Al 금속복합재료의 적

층판이 chip carrier board의 heat sink로 사용되고 있고,<sup>3)</sup> Lanxide Electronic Component사에서서는 SiC/Al 금속복합재료를 이용하여 microwave package를 만들어 Kovar에 비해 1/3의 무게이면서도 열전도도가 약 7배 가량 높은 부품을 제조하였다.<sup>4)</sup>

금속복합재료의 제조방법은 크게 액상법과 고상법으로 나누어진다. 액상법으로서는 입자 혹은 단섬유강화재를 금속용탕 혹은 반응용상태의 금속에 첨가하여 균일하게 교반한 후 주형에 주입하여 주조하는 콤포캐스팅(compocasting)법과 강화재로 예비성형체를 제조하여 금속용탕을 가압침투시키는 스퀴즈캐스팅(squeeze casting)법 등이 있고,<sup>5,6)</sup> 고상법으로서는 분말 야금법, PVD(physical vapor deposition), CVD(chemical vapor deposition), 확산접합법(diffusion bonding)등이 있다. 여러 가지 제조공정 중 스퀴즈캐스팅법은 예비성형체의 제조가 기술적으로 까다로우며 금속기지와 강화재의 젖음성(wettability) 및 계면반응에 기인한 금속복합재료의 기계적, 열적 특성의 저하의 단점이 있으나,<sup>9,11)</sup> 대량생산이 용이하고 제조단가가 저렴하고 예비성형체를 제조하여 금속기지상을 함침시키므로 강화재의 분포가 기지상내에 비교적 균일한 장점이 있다.

본 연구에서는 스퀴즈캐스팅공정에 필요한 SiC분말 예비성형체의 제조 및 특성평가를 수행하였다. 금속기지상의 함침시 높은 가압력에 의해 발생할 수 있는 예비성형체의 파단은 금속복합재료내에서 금속기지상의 국부적인 함침층을 유발하여 기계적, 열적 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 예비성형체는 금속기지상의 함침시 높은 가압력에 견딜 수 있는 압축강도를 지녀야 한다. 이를 위해서는 고밀도의 예비성형체의 제조가 필수적이다. 본 연구에서 사용된 진공압추출법(vacuum-assisted extraction method)은 휘스커(whisker) 또는 단섬유(short fiber)를 강화재로 하여 강화재 함량 20~30 vol%의 예비성형체를 제조하는 공정에 주로 응용되는 방법이므로<sup>12)</sup> 분말형태의 강화재를 이용하여 강화재 함량 50 vol%수준의 고부피분율의 예비성형체를 제조하기 위해서는 진공압추출법의 새로운 공정조건이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 금속복합재료를 제조하기 위해 필요한 고부피분율 SiC분말 함유 예비성형체를 진공압추출법으로 제조하였으며 제조공정변수에 따른 예비성형체의 특성을 평가하여 건전한 고부피분율 예비성형체 제조에 필요한 제조공정을 조사하였다.

## 2. 실험방법

평균직경 48  $\mu\text{m}$ 의 입자크기의  $\alpha$ -SiC분말에 무기바인더, 유기바인더, 응집제를 혼합하여 예비성형체를 제조하였다. 무기바인더로는 실리카콜로이드(silica colloid), 유기바인더로는 양이온스타치(cationic starch), 응집제로는 폴리아크릴아마이드(polyacrylamide)를 이용하였다. SiC분말 강화재를 100 ml의 3차 증류수에 혼합한 후 산성도를 3으로 조절하였고 기계적 교반기를 이용하여 1200 rpm의 속도로 2~20분 동안 교반하였다. 무기바인더를 1~4%농도로 첨가하였고 교반기로 1차 교반한 후에 1%농도의 유기바인더와 0.5%농도의 응집제를 첨가하여 2차 교반하여 슬러리상태의 SiC분말 혼합물을 제조하였다. 슬러리상태의 혼합물을 실린더형 몰드에 넣고 30-40 mmHg의 진공압으로 매액을 추출하여 1차 예비성형체를 제조하였으며 건조공정과 소성공정을 거쳐 최종예비성형체를 제조하였다. 건조공정은 먼저 상온에서 자연건조(natural drying)하고 다시 100 $^{\circ}\text{C}$  건조기(drying oven) 내에서 강제건조(enforced drying)하는 두단계로 수행하였으며 건조된 예비성형체를 800~1,100 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 2~6시간 동안 소성(calcination)하였다.

무기바인더의 첨가량변화와 슬러리상태의 SiC분말의 교반시간에 따른 예비성형체의 강도를 측정하기 위해 직경 30 mm의 실린더형 압축시험편을 가공하여 예비성형체를 압축시험하였다. 적정 건조조건을 확립하기 위해 예비성형체의 건조시간을 변수로하여 자연건조 및 강제건조 공정조건에 대한 예비성형체의 수분증발량을 측정하였고, 압축시험에 의해 800~1,200 $^{\circ}\text{C}$ 의 소성온도범위에서 2~6시간의 소성시간 변화에 따른 예비성형체의 압축강도를 평가하였다. 제조된 예비성형체는 주사전자현미경(SEM)를 이용하여 예비성형체의 파면조직을 관찰하였고 예비성형체내에 존재하는 무기바인더의 상변화를 관찰하기 위해 온도변화에 따른 XRD분석을 실시하였다. Fig. 1은 본 연구에서의 진공압추출법에 의한 예비성형체 제조공정을 도식적으로 나타낸 것이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 진공압추출법으로 고부피분율 SiC분말 예비성형체의 제조공정을 확립하였으며 예비성

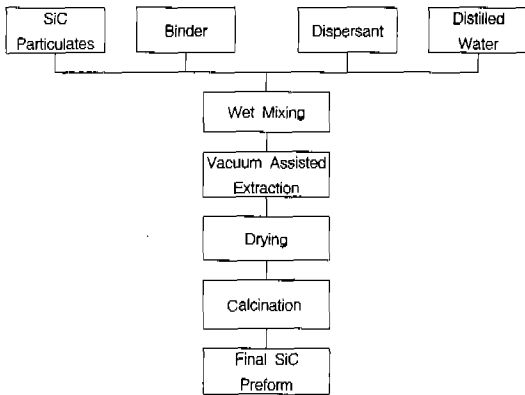


Fig. 1. Flow chart on the fabrication process of SiC particulates preform by vacuum assisted extraction method.

형체의 성분조절, 혼합조건, 건조조건 및 소성조건 등 제조공정변수가 예비성형체 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

3.1. 예비성형체의 바인더 함량 및 혼합조건

무기바인더( $SiO_2$ )는 예비성형체의 강도를 부여해주는 역할을 하지만 소성후에도 SiC 분말 예비성형체내에 잔류하므로 제조된 금속복합재료의 열적특성 및 기계적특성의 저하를 유발하므로 스크즈캐스팅으로 금속복합재료를 제조할 경우 가압력에 견디어 예비성형체가 파단되지 않을 정도의 최소한의 무기바인더 함량 선택이 중요하다.<sup>13)</sup> 본 연구에서는  $SiO_2$ 를 무기바인더로 이용하였고 SiC 분말 혼합물의 산성도를 3으로 조절하였다. SiC 분말입자의 등전점(isoelectric point)이 2.5-3정도이고<sup>14)</sup>  $SiO_2$ 는 2.4이므로<sup>15)</sup> 산성도를 3으로 조절할 경우 SiC 분말입자와  $SiO_2$  입자표면에 음전하(negative charge)를 띄게된다. 등전점이라는 것은 colloid상태에서 물질이 pH에 따라 산 또는 염기를 흡착하려는 성향이 바뀌는데 산과 염기를 흡착하려는 성향이 동일한 pH값을 등전점이라 하며 등전점이상의 pH환경에서는 입자표면에 음전하를 나타내며 반대로, 등전점이하의 pH환경에서는 입자표면에 양전하를 나타낸다. 유기바인더(cationic starch)는 이런 입자들의 전하분포상태에서 전위의 차를 유발하는 역할을 한다. 즉 유기바인더가 슬러리 상태에서 양전하를 띄게되므로 표면에 음전하를 띄는  $SiO_2$  입자의 응집(flocculant)이 발생한다.<sup>15-17)</sup> 유기바인더는 SiC 분말 예비성형체의 소성공정

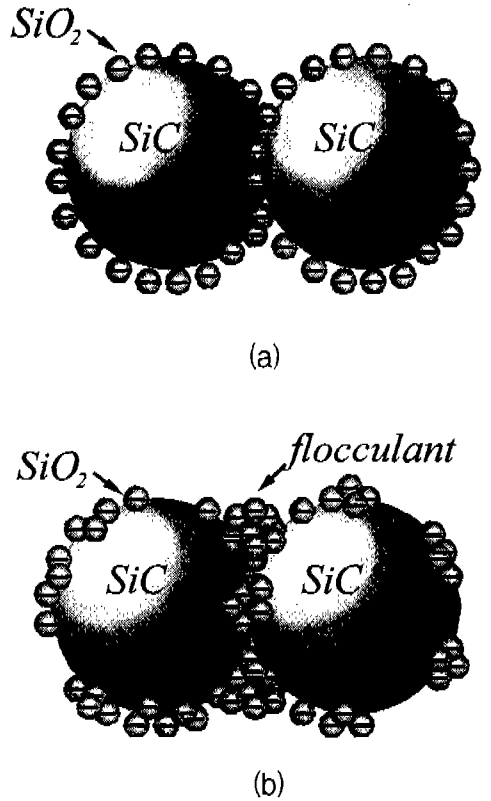


Fig. 2. Schematic drawing to indicate organic binder effect in SiC particulates preform. (a) No addition of organic binder, (b) addition of organic binder.

에서 모두 연소되어 소실되고 잔류되지 않으므로 유기바인더만으로 SiC 분말 예비성형체의 압축강도 증가를 기대할 수 없다. Fig. 2(a)와 2(b)는 SiC 분말 예비성형체에 첨가되는 유기바인더의 역할을 모식도로 나타낸 것으로 강화재입자의 전체표면에 고르게 분포되어있는  $SiO_2$  입자들이 유기바인더의 첨가에 의해서 SiC 입자사이의 접촉부위에  $SiO_2$  입자의 응집물을 이루며 잔류하게된다. 적층된  $SiO_2$  입자의 응집물은 SiC 분말입자들과 결합하여 SiC 분말입자들을 고정시켜주는 역할을 하게 된다. 따라서 SiC 분말 예비성형체의 압축강도는 접촉부위에 잔류하는  $SiO_2$ 의 양에 비례하므로 유기바인더의 첨가로 인하여 SiC 분말 예비성형체의 압축강도의 증가를 기대할 수 있다. Fig. 3는 무기바인더와 유기바인더의 함량에 따른 예비성형체의 소성후의 압축강도를 나타낸 것이다.  $SiO_2$ 의 함량이 1%농도에서 4%농도로 증가함에 따라 유기바인더를 첨가한 SiC분말 예비성형체의 압축강

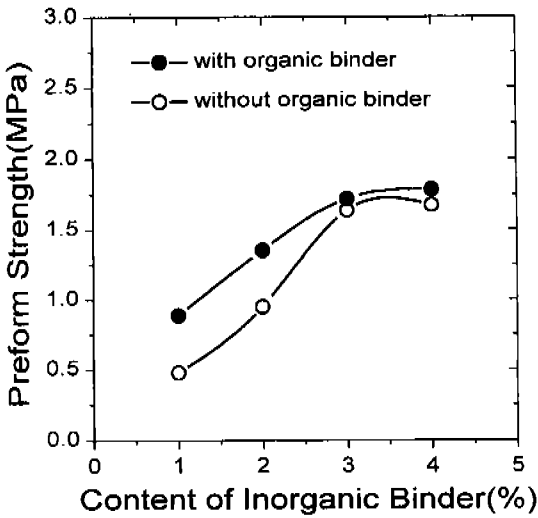


Fig. 3. The variation of compressive strength of SiC particulates preform with varying the content of inorganic binder in the preform after calcination at 1100 °C for 4 hr.

도는 0.88 MPa에서 1.79 MPa으로 증가하였고 유기 바인더를 첨가하지 않은 SiC분말 예비성형체의 압축 강도는 0.47 MPa에서 1.67 MPa으로 증가하였다. SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 3%농도 이하일 때 유기바인더를 첨가하여 제조한 예비성형체의 압축강도가 유기바인더를 첨가하지 않은 경우에 비하여 압축강도가 약 2배 증가되는 결과를 보였다. 그 이유는 유기바인더를 첨가하지 않은 예비성형체의 SiC분말입자나 SiO<sub>2</sub>입자 모두 표면에 음전하를 띄므로 진공압으로 매액추출 시 SiC분말입자사이의 접촉부위에 적층된 무기바인더의 양이 적고 유기물을 첨가한 경우는 SiO<sub>2</sub> 입자의 응집물들이 진공압으로 추출될 때 SiC 분말입자의 접촉부위에 주로 적층이 되기 때문에 예비성형체의 강도효율을 높이기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 무기바인더를 3%농도이상 첨가하였을 경우 유기바인더의 첨가에 따른 예비성형체의 압축강도의 차이는 크지 않았다. 이것은 유기바인더에 의해 SiO<sub>2</sub> 입자의 응집물이 생성되지 않아도 무기바인더의 첨가량이 증가하였으므로 SiC 분말입자사이의 접촉부위에 충분히 잔류되기 때문이다. Fig. 4는 슬러리 상태의 SiC 분말 혼합물을 교반할 때 교반시간에 따른 SiC분말 예비성형체의 압축강도를 나타낸 것으로 교반시간이 5분 이하인 경우는 SiC분말 예비성형체의 압축강도가 불균일하게 나타났으나 10분 이상에서는

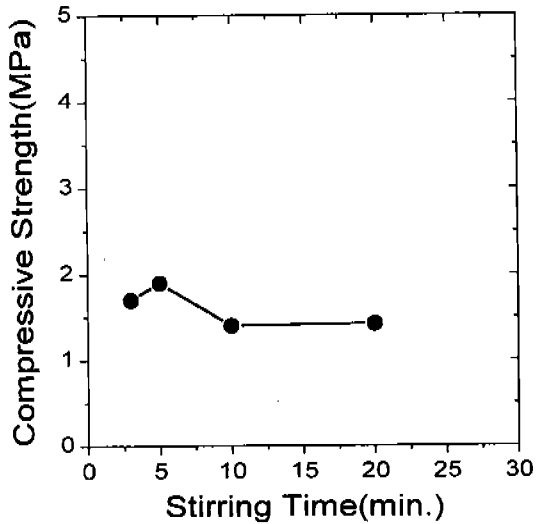
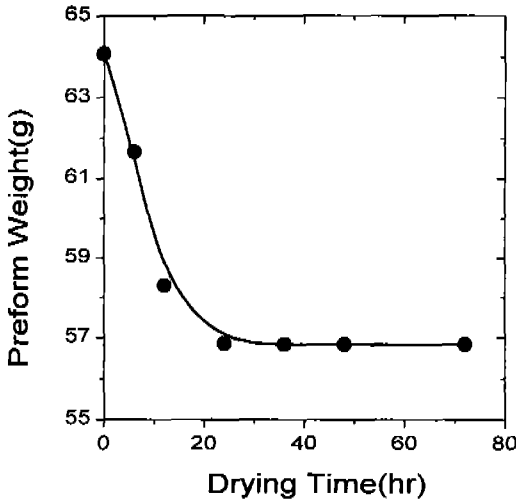


Fig. 4. The variation of compressive strength of SiC particulates preform mixed with 3%SiO<sub>2</sub> and organic binder after calcination at 1,100 °C for 4hr with varying the stirring time.

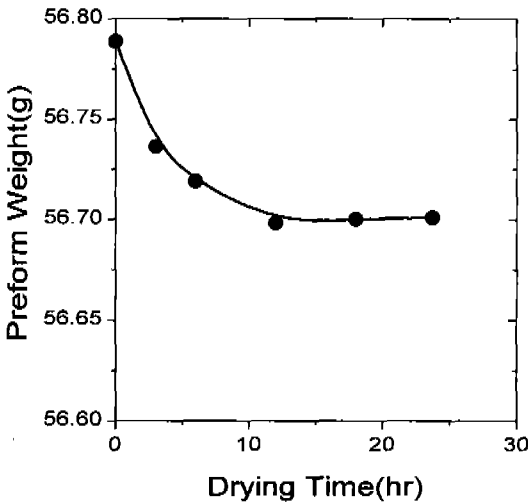
균일한 압축강도를 나타내었다. 따라서 예비성형체 내의 균일한 SiC분말의 혼합을 위해서는 10분 이상의 충분한 교반이 필요하다는 결과를 얻었다.

### 3.2. 예비성형체의 건조조건 및 소성조건

슬러리 상태의 SiC분말 혼합물의 매액을 추출하여 제조한 1차 예비성형체에 수분이 존재할 경우 소성 과정에서 수분이 급격히 증발하게 되면 예비성형체의 내부에 미세균열(microcrack)이 생성되므로 건조 조건의 조절이 중요하다. 또한 불충분한 건조공정으로 인하여 수분이 예비성형체내에 잔류하게 되면 소성과정중 수증기의 발생으로 강화재의 급격한 산화를 유발한다. 본 연구에서 25°C의 건조공정은 대기중에서 천천히 수분을 증발시키는 1단계 자연건조(natural drying)와 100°C의 온도로 유지된 건조기(drying oven)내에서 수분을 증발시키는 2단계 강제 건조(forced drying)의 두단계로 수행하였다. 건조공정의 확립을 위하여 예비성형체의 수분의 증발량을 관찰하였다. Fig. 5(a)에서와 같이 자연건조인 경우에는 36시간 이후에 예비성형체의 무게가 거의 일정하게 유지되었으며, Fig. 5(b)에서와 같이 강제건조인 경우에는 12시간 이후에 예비성형체의 무게가 일정하게 유지되었다.



(a)



(b)

Fig. 5. The variation of weight of SiC particulates preform mixed with 3% SiO<sub>2</sub> and organic binder with varying the drying time. (a) Natural drying at 25°C, (b) forced drying at 100°C after natural drying.

소성공정은 SiC 분말입자사이에 잔류된 SiO<sub>2</sub> 입자와 SiC 분말입자의 결합에 의해 예비성형체의 강도가 증가하는 중요한 공정으로서 본 연구에서는 소성온도와 소성시간에 따른 예비성형체의 강도를 측정함으로써 소성조건을 확립하고자 하였다. 예비성형체의 소성온도에 따른 압축강도를 비교하기 위하여 SiC분말 예비성형체를 800°C에서 1,200°C의 온도범위에서 4시간 동안 소성하였다. Fig. 6에서와 같이 소

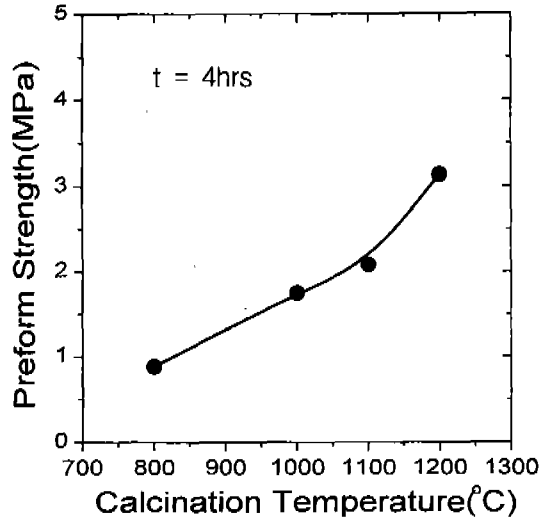
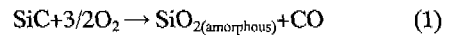


Fig. 6. The variation of compressive strength of SiC particulates preform mixed with 3% SiO<sub>2</sub> and organic binder with varying the calcination temperature. The calcination time was fixed as 4 hours at each calcination temperature.

성온도가 증가할수록 예비성형체의 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었으며 소성온도가 800°C에서 1,200°C로 증가할수록 예비성형체의 압축강도는 0.90 MPa에서 3.21 MPa으로 증가하였다. 본 연구에서 무기바인더로 사용한 Colloidal SiO<sub>2</sub>는 상온에서 비정질이지만 1,100°C~1,200°C 온도범위에서 결정질화하여 cristobalite를 형성한다.<sup>18-19)</sup> 따라서 SiC 입자와 비정질의 SiO<sub>2</sub>입자에서 형성되는 Si-O-Si의 결합보다 SiC 입자와 결정화된 SiO<sub>2</sub>입자간 Si-O-Si의 결합이 증가하므로 예비성형체의 압축강도가 증가한다.<sup>20)</sup> 또한 소성온도 1,200°C에서는 예비성형체의 압축강도가 최대로 증가하였으며 이는 800°C~1,100°C의 소성온도조건보다 무기바인더의 결정질화가 충분히 발생하였기 때문이다. 그러나 소성온도가 증가함에 따라 SiC 입자의 산화반응이 발생하는데 SiC입자의 산화반응은 600°C에서부터 발생하기 시작하여 Eq. (1)에서와 같이 1,100°C이상에서부터 급격한 산화반응이 발생된다.<sup>21)</sup>



SiC입자의 표면에 생성되는 산화피막은 예비성형체의 강도측면에서는 유리하지만 금속기지상의 함침을 불균일하게 하여 금속복합재료의 열적특성 및 기계

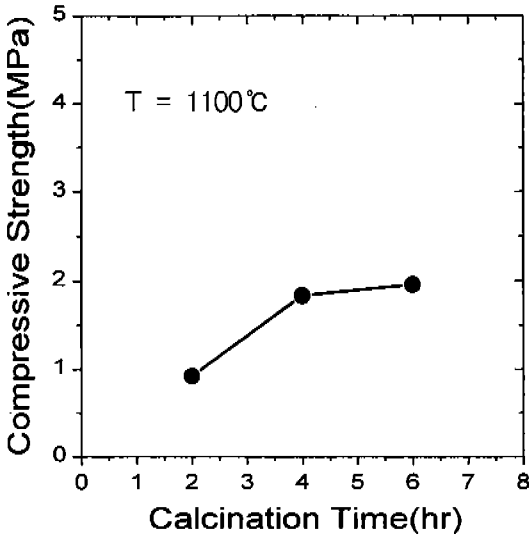


Fig. 7. The variation of compressive strength of SiC particulate preform mixed with 3%SiO<sub>2</sub> and organic binder with varying the calcination time at calcination temperature of 1,100°C.

적특성의 감소를 유발한다. 따라서 최적의 예비성형체 제조를 위한 소성온도를 1,100°C로 확립하였다. 1,100°C에서 소성한 예비성형체의 압축강도는 1.90 MPa으로 SiC분말입자사이 에 응집된 비정질의 SiO<sub>2</sub> 입자들이 소성온도가 증가하면 Si-O-Si의 결합을 이루어 결정화되면서 예비성형체에 강도를 부여한다. Fig. 7은 1,100°C에서 소성시간에 따른 예비성형체의 압축강도를 나타낸 것으로 소성시간이 2시간에서 6시간으로 증가할수록 예비성형체의 압축강도는 0.92 MPa에서 1.95 MPa으로 약 2배 증가하였으며 소성시간이 4시간 이후에는 예비성형체의 압축강도가 1.83 MPa에서 1.95 MPa범위로 거의 일정한 강도를 나타내었다. 이것은 4시간 동안 소성공정 동안에 SiC분말 입자사이 에 응집된 SiO<sub>2</sub> 입자의 결정화(crystobalite)가 충분히 발생한 것에 기인한다. Fig. 8은 SiC 분말 입자와 250°C와 1,100°C에서 소성한 SiC분말 예비성형체의 XRD분석이다. SiC 분말입자사이의 SiO<sub>2</sub>가 결정화되지 못한 250°C에서는 SiC 분말입자의 XRD 분석과 같이 결정화된 SiO<sub>2</sub>의 peak를 나타내지 않았으며 반면에 1,100°C로 소성한 예비성형체의 경우 결정화된 SiO<sub>2</sub>의 peak를 나타내는 것으로 보아 1,100°C에서는 SiC분말입자사이의 SiO<sub>2</sub>입자들이 결정화를 이루는 것을 알 수 있다.

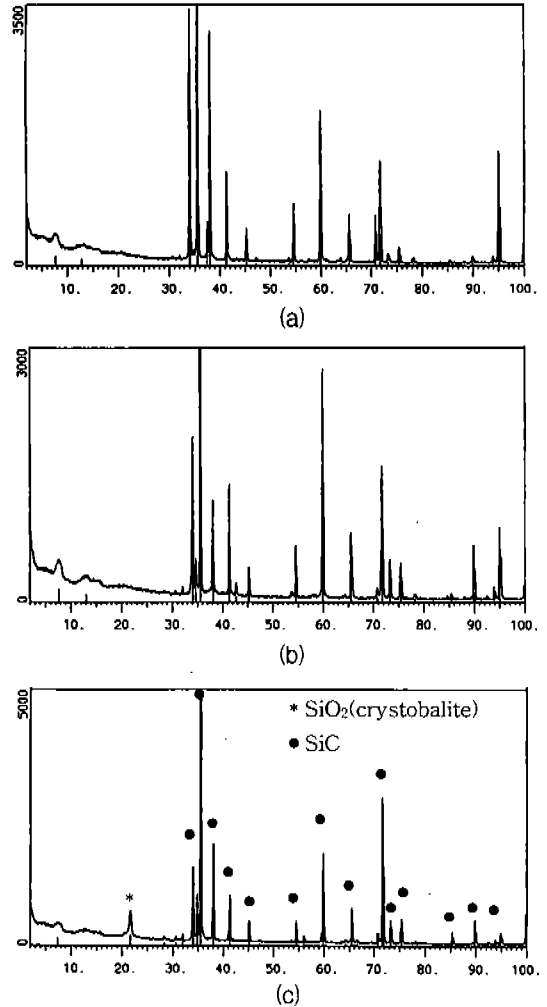


Fig. 8. XRD analyses of loose SiC particles and SiC particulates preform mixed with 3%SiO<sub>2</sub> and organic binder. (a) Loose SiC particles, (b) SiCp preform after calcination at 250°C for 4 hours (c) SiCp preform after calcination at 1,100°C for 4hours.

### 3.3 예비성형체의 미세조직

Fig. 9는 무기바인더의 첨가량에 따른 예비성형체의 파단면 중 상부조직을 SEM을 이용하여 분석한 것으로 다각형 형상의 SiC 분말입자가 진공압에 의해 매액이 추출되면서 SiC 분말입자들이 각 모서리 부위를 접촉하고 있는 것을 알 수 있고 유기바인더의 첨가 유무에 따른 무기바인더의 잔류형상을 관찰하므로써 첨가량에 따른 SiC 분말 예비성형체의 압축강도의 변화를 분석하고자 하였다. Fig. 9(a)와 9(b)는 무기바인더를 2%농도로 첨가한 예비성형체의 미세

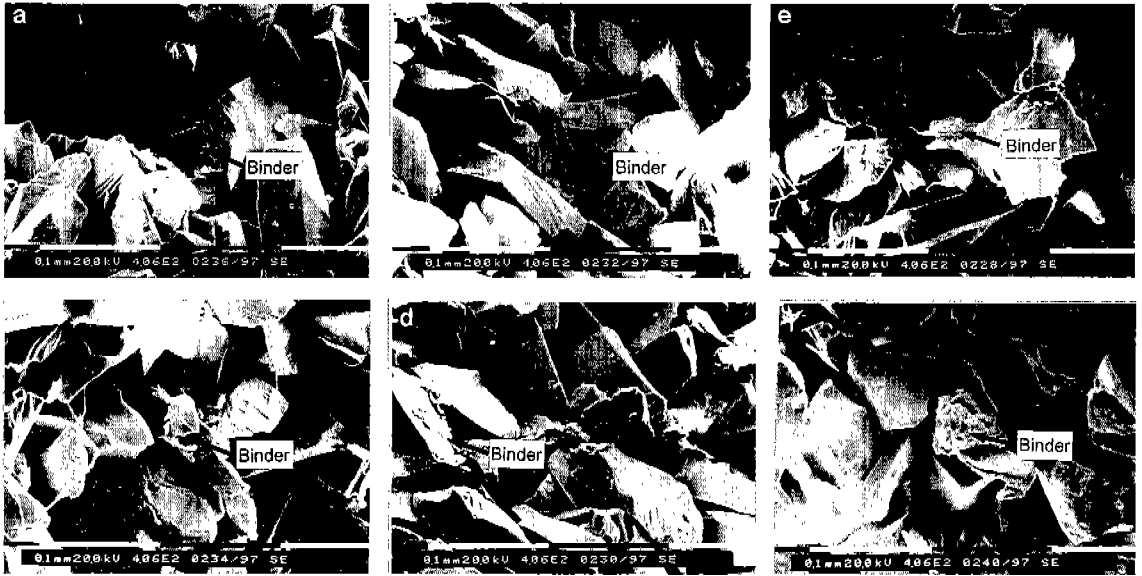


Fig. 9. Microstructures of SiC particulates preforms with different content of inorganic binder after calcined at 1, 100 °C for 4 hours. (a) Preform mixed with 2% SiO<sub>2</sub>, (b) Preform mixed with 2% SiO<sub>2</sub> and organic binder, (c) Preform mixed with 3% SiO<sub>2</sub>, (d) Preform mixed with 3% SiO<sub>2</sub> and organic binder, (e) Preform mixed with 4% SiO<sub>2</sub>, (f) Preform mixed with 4% SiO<sub>2</sub> and organic binder.

조직으로 유기바인더의 첨가유무에 따라 9(a)와 9(b)로 구분하였다. Fig. 9(a)에서와 같이 유기바인더를 첨가하지 않은 예비성형체는 SiO<sub>2</sub>가 SiC 입자 사이에 SiO<sub>2</sub>가 덩어리 형태로 잔류하는 반면에 Fig. 9(b)의 유기바인더를 첨가한 예비성형체는 SiC 분말입자 사이의 접촉부위에 SiO<sub>2</sub>가 둘러싸여 잔류하고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 유기바인더에 의해 SiO<sub>2</sub>질의 잔류되는 위치가 달라지게 되며 이와 같은 미세조직의 차이로 인하여 예비성형체의 압축강도가 유기바인더의 첨가 유무에 따라 약 2배의 차를 나타내었다. Fig. 9(b)의 화살표가 나타내는 것은 압축시험후의 예비성형체 파단면의 SiC 분말입자로 SiC 입자들이 떨어져나간 후의 잔류된 SiO<sub>2</sub>를 볼 수 있다. Fig. 9(c)와 9(d)는 SiO<sub>2</sub>가 3%농도인 경우의 예비성형체의 미세조직으로 SiO<sub>2</sub>의 양이 증가함에 따라 SiC 분말입자 표면에 잔류하는 SiO<sub>2</sub>의 양이 증가하는 것을 알 수 있고 유기바인더의 첨가에 관계없이 SiC 분말입자의 접촉부위에 SiO<sub>2</sub>의 묻침이 관찰되었다. 이것은 유기바인더에 의해 SiO<sub>2</sub> 입자의 응집물이 생성되지 않아도 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 3%농도로 증가하였으므로 진공압으로 매액을 추출할때 SiO<sub>2</sub>가 SiC 분말입자 사이의 접촉부위에 잔류되는 양이 증가하기 때문이다.

따라서 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 4%농도로 증가하게 되면 SiC 분말입자사이의 접촉부위에 잔류되는 양이 더욱 증가하므로 Fig. 9(e)와 9(f)에서와 같이 SiO<sub>2</sub>의 덩어리가 발생하게 된다. SiO<sub>2</sub>의 덩어리가 예비성형체내에 발생하게 되면 금속복합재료로 제조할 때 기지상의 불균일한 함침으로 인해 기계적 특성감소 및 열적 특성감소등의 영향을 미치게 된다. SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 3%농도이상이면 유기바인더의 첨가유무에 관계없이 SiC 분말입자사이의 접촉부위에 SiO<sub>2</sub>가 덩어리를 이루며 잔류되기 때문에 유기바인더의 영향은 감소하게 된다. 이와 같은 결과는 예비성형체의 압축시험에서와 같이 SiC분말 예비성형체의 압축강도가 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 3%농도이상이면 유기바인더의 첨가에 관계없이 일정하게 되는 것과 일치하는 것으로 유기바인더의 첨가효과는 SiO<sub>2</sub>의 첨가량이 증가할수록 감소함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

1. SiC 분말 예비성형체내의 SiO<sub>2</sub>의 함량이 1%농도에서 4%농도로 증가함에 따라 유기바인더를 첨가한 SiC분말 예비성형체의 압축강도는 0.88 MPa에서

1.79 MPa으로 증가하였고 유기바인더를 첨가하지 않은 SiC분말 예비성형체의 압축강도는 0.47 MPa에서 1.67 MPa으로 증가하였다. 이는 SiO<sub>2</sub> 함량 증가에 따라 SiC분말입자사이에 잔류되는 SiO<sub>2</sub>가 증가하였기 때문이다.

2. 예비성형체의 무기바인더인 SiO<sub>2</sub> 첨가량이 3% 농도 이하일 때 유기바인더를 첨가한 경우에는 SiC 분말입자와 SiO<sub>2</sub> 입자사이에 전위차를 발생시켜 SiC 분말입자사이에 SiO<sub>2</sub> 입자의 응집(flocculant)을 촉진시키므로 약 2배의 압축강도의 향상을 보였다. 반면에 SiO<sub>2</sub> 첨가량이 3%농도 이상일 때 유기바인더의 첨가시 압축강도 증가효과는 나타나지 않았는데 이는 SiO<sub>2</sub> 첨가량의 증가로 인하여 입자의 전위차에 관계없이 SiC 분말입자의 접촉부위에 잔류되는 SiO<sub>2</sub>가 증가하였기 때문이다.

3. 예비성형체를 상온에서 36시간 동안 자연건조(natural drying)시킨 후 100℃의 온도로 유지된 오븐 내에서 12시간 동안 유지하여 강제건조(enforced drying)시키는 두단계 건조공정을 적용하는 경우에 예비성형체의 급격한 수분증발을 방지함으로써 예비성형체내의 미세균열을 방지하여 건전한 예비성형체를 제조할 수 있었다.

4. SiC분말입자 사이에 응집된 SiO<sub>2</sub> 입자가 결정화되어 crystobalite상을 형성함으로써 소성온도가 800℃에서 1,200℃로 증가할수록 예비성형체의 압축강도는 0.90 MPa에서 3.21 MPa으로 증가하였다. 또한 소성온도 1,100℃에서 소성시간이 2시간에서 4시간으로 증가할수록 예비성형체의 압축강도는 0.92 MPa에서 1.84 MPa으로 증가하였다.

## 참 고 문 헌

1. J. C. Bittence: Adv. Mater. Prog., 7 (1987)45.
2. Judith Glazer: Current Development in Electronic Packaging Materials, JOM, June, (1991) 7.
3. D. C. Packard: Kevlar Epoxy Substrate for Interconnecting Leadless Chip Carrier, SAMPE Journal, January/February (1984)49.
4. D. White et al.: New High Ground in Hybrid Packaging, Hybrid Circuit Technology, December (1990) 54.
5. 朴翊旻, 金富燮: 溶湯鍛造 金屬複合材料의 研究開發 動向, Bulletin of the Korean Institute of Metal and Materials, 9, 2 (1996) 112.
6. 李浩仁: 溶湯鍛造技術의 量産時 問題點과 解決對策, Bulletin of the Korean Institute of Metal and Materials, 9, 2 (1996) 89.
7. M. A. E. Bardie: Journal of Materials Processing Technology, 24 (1996) 261.
8. J. I. Song and Y. C. Yang, K. S. Han: Squeeze-casting conditions of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composites with variations of the preform drying process, Journal of Materials Science 31 (1996) 2615.
9. G. Durrant and P. S. Grant: The Manufacture of Squeeze Cast and Spray Formed Al MMCs, Key Engineering Materials 104 (1995) 155.
10. A. J. Glegg and C. S. Lim: A Comparison of the squeeze casting and investment casting processes for the production of an aluminium alloy MMC, Foundry Trade Journal, April (1996) 292.
11. V. Laurent, K. Chatain: Wettability of SiC by aluminium and Al-Si alloys, Journal of materials science, 22 (1987) 244.
12. Junsu Kim and Bumgook Chung: Method for preparing a preform for a composite material, US Patent 5,620,511, Hyundai Motor Company.
13. Glenn W. Schifelbcin: Optimizing Performance of Colloidal Silica Binders In Investment Casting-Part1, Modern casting, September (1988) 44.
14. Pamela K. Whitman and Donald L. Feke: Comparison of the surface charge behavior of commercial silicon nitride and silicon carbide powders, J. Am. Ceram. Soc., 71, 12(1988) 1086.
15. Ralph K. Iler: The chemistry of silica(solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry), A Wiley-Interscience Publication.
16. R. A. Ruehrwein and D. W. Ward: Soil Sci., 73 (1952)385.
17. R. H. Smellie and V. K. Lamer: Journal of Colloid Interface Science., 23 (1958) 589.
18. Jeng-Maw Chiou, D. D. L. Chung: Improvement of the temperature resistance of Aluminium-matrix composites using an acid phosphate binder. Part I. Binders, Journal of Materials Science 28 (1993) 1135.
19. Jeng-Maw Chiou, D. D. L. Chung: Improvement of the temperature resistance of Aluminium-matrix composites using an acid phosphate binder. Part II. Preforms, Journal of Materials Science, 28 (1993) 1435.
20. Horacio E. Bergna: The colloid chemistry of silica, American Chemical Society, Washington, DC, 1994.
21. Gabor A. Somorjai: The surface oxidation of alpha-silicon carbide by O<sub>2</sub> from 300 to 1373 K, Journal of Surface Science, 244 (1991) 39.