

# Nd-Yag 레이저 화학증착을 이용한 SiC 로드 성장에 관한 실험적 연구

이 영 림\* · 유 재 은\*

(2003년 12월 14일 접수, 2004년 2월 23일 심사완료)

## Experimental Study of the Growth of the SiC Rod using Nd-Yag Laser Chemical Vapor Deposition

Young Lim Lee and Jae Eun Ryu

**Key Words:** Laser Chemical Vapor Deposition(레이저 화학증착), Silicon Carbide(실리콘 카바이드), Nd-Yag Laser(Nd-Yag 레이저), Rapid Prototyping(쾌속조형)

### Abstract

Laser chemical vapor deposition can be used as a new approach for a rapid prototyping technique. The purpose of the study is to fabricate several 3-dimensional objects that are relatively simple as well as to find the characteristics of SiC rod growth that is the first step in developing a new rapid prototyping technique with laser chemical vapor deposition. In the study, SiC rods were generated with varying precursor pressure for 5 minutes. Deposition rates with varying precursor pressure, shapes of rods, surface roughness and component organization were investigated, in particular. Finally, several simple objects like a branch or a propeller were successfully fabricated using laser chemical vapor deposition.

### 1. 서론

#### 기호설명

- $h$  : 진공 챔버의 높이
- $torr$  : 압력단위 (= 1 mmHg)
- $X$  : 수평 방향 좌표 성분
- $Y$  : 수평 방향 좌표 성분
- $Z$  : 수직 방향 좌표 성분

#### 그리스문자

- $\phi$  : 진공 챔버의 지름
- $\theta$  : X선의 입사각

쾌속조형(rapid prototyping)은 캐드로 모델링된 제품의 3차원 형태를 실물 형태로 신속하게 제작해 주는 혁신적인 기술로써 많은 분야에서 응용되고 있다. 하지만 세라믹 제품에 이용할 수 있는 쾌속조형 기술은 아직 유용하지 않다. 레이저 화학증착은 레이저를 이용하여 화학반응을 국소적으로 일으켜 고체 생성층을 얻는 기술인데 여러 가지 가스를 이용하여 광범위한 물질을 증착할 수 있으므로 이 것은 잠재적으로 세라믹 제품을 직접 쾌속조형 할 수 있는 기술이다. 또한, 레이저 화학증착은 일반 화학증착에 비해 침착율이 매우 빠르다는 특징 때문에 약 10년 전부터 많은 연구가 진행되고 있다. 실제로 Zong 등<sup>(1)</sup>이 레이저를 이송시켜 3차원 물체를 연속적인 레이어로 조형하는 SALD(selective area laser deposition) 기술을 발표하면서 쾌속조형 기술의 하나로써 시도되기 시작하였다. 그들은 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)을 이용

† 책임저자, 회원, 공주대학교 기계공학부  
E-mail : ylee@kongju.ac.kr  
TEL : (041)850-8615 FAX : (041)854-1449  
\* 회원, 공주대학교 대학원

하여 레이저가 움직이지 않을 때 생성되는 탄소 로드(carbon rod) 및 레이저가 움직일 때 형성되는 탄소라인(carbon line)에 대하여 연구하였다. 이러한 기술은 Birmingham의 vapor infiltration을 이용한 SALD 기술<sup>(2)</sup>, Tompkins의  $\text{Si}_3\text{N}_4$  원통 파이프 joining<sup>(3)</sup>, Thissell의 다이아몬드 증착 등<sup>(4)</sup>의 연구로 확장되었다.

본 연구에서는 TMS(tetramethylsilane)를 모가스(precursor)로 이용하여 SiC를 증착하였는데 일반적으로 SiC는 내마모성과 화학적 안정성으로 인하여 화학증착을 이용한 박막의 재질로써 널리 이용되고 있다. Sibieude와 Benezech<sup>(5)</sup>는 순수한 TMS를 열분해하는데 필요한 활성화 에너지를 보고하였는데 활성화 에너지는 가스 압력과 모체의 온도에 따라 변하는 것을 보여 주었다.

Figueras 등<sup>(6,7)</sup>은 TMS를 이용하여 전형적인 화학증착을 통해 SiC 박막을 생성하는 일련의 연구를 발표하였다. 그들은 실험을 통하여  $\text{H}_2$ 를 캐리어 가스로 이용할 때, TMS의 열분해를 위한 활성화 에너지는  $90 \text{ kJ/mol}$ 임을 보고하였다. 1994년에 Tompkins 등<sup>(8)</sup>은  $\text{CO}_2$  레이저 화학증착을 이용하여 TMS로부터 SiC의 증착률을 측정하였다. 최근에 Lee<sup>(9)</sup>는 TMS로부터 SiC의 레이저 화학증착에 관한 이론적 연구를 발표하였는데, 그는 화학평형 계산, 반응모체 온도 해석, 화학 반응을 고려한 열 및 유동해석을 수행하여 증착물을 예측하고  $\text{CO}_2$  레이저를 사용하여 얻어진 증착률과 비교하였다.

본 연구에서는 Nd-Yag 레이저빔을 조사하여 생성되는 SiC 로드의 성장 거동 특성, 충전 압력에 따른 증착물의 성장률, 각각의 형상 및 표면 거칠기를 검토하고 XRD(X-ray diffraction), 광학현미경 및 SEM(scanning electron microscope)을 이용한 증착물의 성분 및 조직을 분석하고자 한다. 또한, 이송 테이블을 이용하여 간단한 모양의 3차원 물체도 조형하고자 한다.

이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 실린더형 챔버에 모체인 SiC 분말을 넣고 TMS 가스를 충전시킨 후 10 W의 Nd-Yag 레이저를 조사하여 SiC 로드를 증착시켰다. 한편, 3차원 물체를 조형하기 위해 이송속도를  $10 \sim 55 \mu\text{m/s}$  까지 변화시킬 수 있는 마이크로 XY 테이블(micro XY translational table)을 이용하였다.

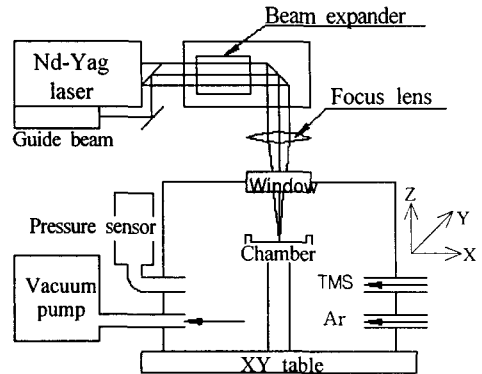


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus

## 2. 실험장치 및 실험 방법

### 2.1 실험 장치

레이저 화학증착을 이용하여 3차원 패속조형을 구현하는 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 시스템 구성은 가이드 레이저, 전원공급 장치, 냉각장치 및 Nd-Yag 레이저 헤드로 구성되어 있고 그 외 TMS 모가스를 충전시키고 화학반응이 일어나는 반응챔버, 빔 확장기(beam expander)와 초점 렌즈, 마이크로 이송 테이블 등으로 구성되어 있다. 한편, 실험시 안전을 위해 레이저 헤드로부터 반응 챔버의 모체까지 이르는 레이저 빔의 모든 경로는 눈에 노출되지 않도록 보호 덮개를 사용하였다.

#### 2.1.1 Nd-Yag 레이저

TMS 열분해를 위한 레이저로서  $\text{CO}_2$  레이저와 Nd-Yag 레이저를 고려할 수 있겠으나 TMS 가스가  $\text{CO}_2$  레이저의 에너지를 흡수하는 특성<sup>(3)</sup> 때문에 본 연구에서는 Nd-Yag 레이저를 사용하였다.

Nd-Yag 레이저는 파장이  $1.06 \mu\text{m}$ 로써  $\text{CO}_2$  레이저 파장의  $1/10$ 에 해당한다. 싱글모드( $\text{TEM}_{00}$ )로 정격출력 10 W 정도를 낼 수 있으며 멀티모드로는 최대 30 W까지 가능하다. 레이저의 출력은 온도에 매우 민감하므로 본 연구에서는  $18^\circ\text{C}$ 의 온도를 항상 유지하도록 냉각 시스템을 구동하였다. 또한 초점거리가 203 mm인 빔확장기를 통하여 모체표면에서 빔의 직경을 약  $44 \mu\text{m}$ 로 조절하였는데 이는 레이저출력 10 W 기준 약  $6.58 \times 10^9 \text{ W/m}^2$ 의 조사도(irradiance)에 해당된다. Fig. 2는 Nd-Yag 레이저 헤드, 전원공급장치, 냉각 시스템,

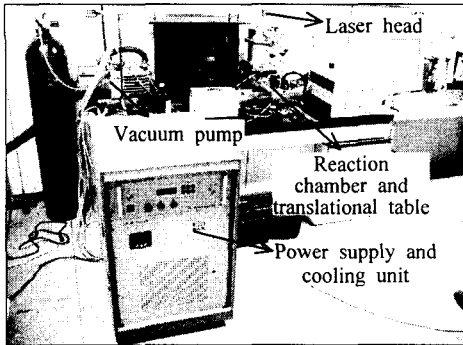


Fig. 2 Experimental equipment

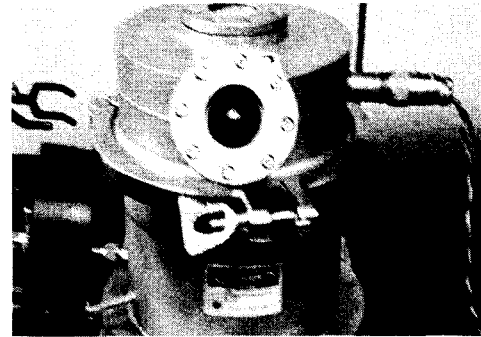


Fig. 4 Reaction spot in the vacuum chamber

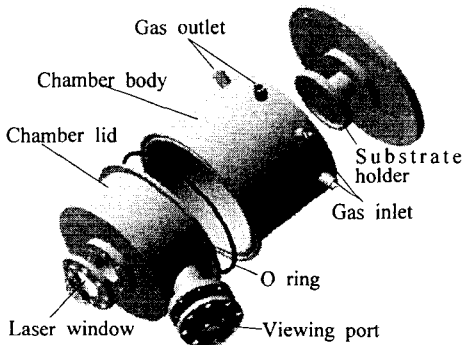


Fig. 3 Assembly drawing of the reaction chamber with part names

반응 챔버, 이송 테이블 및 진공펌프를 각각 보여주고 있다.

### 2.1.2 반응챔버

본 연구에서 사용하는 반응챔버는 스테인레스강을 사용하였고 TMS 가스가 유독성 부산물을 발생시키지 않으므로 크롬 도금과 같은 내부식성 도금은 하지 않았다. 반응챔버의 규격은  $\phi$  200 mm  $\times$  h 200mm인 원통형으로 제작하였다. 여기서,  $\phi$ 와 h는 각각 챔버 지름과 높이이다. Fig. 3은 반응챔버의 분해도를 보여준다.

### 2.2 실험 방법

SiC 로드를 증착시키기 위하여 반응챔버에 SiC 분말 모체를 넣고 챔버 내부의 공기를 진공 펌프로 배출하여 약  $10^{-3}$  torr 까지 진공을 확보하였

다. 하지만, 챔버 내에 미세하게 남아있는 공기 중의 질소 성분은 Si 성분과 반응하여  $Si_3N_4$  그리고 산소 성분은  $SiO_2$ 를 발생시킬 가능성이 있다. 따라서, Ar과 같은 불활성 기체를 다시 충전시키고 배출하는 과정을 2~3회 반복하여 이러한 부산물의 가능성을 최대한 배제하였다. 이러한 과정을 거쳐 챔버의 진공도가 성취되면 니들밸브를 사용하여 TMS 가스를 목표 압력에 도달할 때까지 천천히 충전시켰다. 충전압력은 20에서 200 torr까지 변화시켰고 10 W의 Nd-Yag 레이저를 5분간 조사하여 SiC 로드를 생성하였다. 이러한 SiC 로드 성장 실험을 통하여 충전 압력에 따른 증착물의 성장률, 형상, 표면 거칠기를 검토하고 XRD에 의한 성분분석과 광학현미경 및 SEM을 이용한 조직분석을 수행하였다. 또한, 단순한 형상의 3차원 물체를 조형하기 위해서 레이저를 움직이는 대신 이송테이블을 이용하여 반응챔버를 이동시켰는데, 이송테이블의 속도는 10에서 55  $\mu$ m/s 까지 변화시켰다. Fig. 4는 TMS 가스가 열분해되면서 SiC 로드가 자라고 있는 챔버 내의 모습이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 로드의 성장특성

레이저빔을 한 곳에 계속 조사하면 반응영역에서 로드가 자라게 되는데, 로드의 성장률은 모가스의 압력 및 반응영역의 온도에 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 최대 성장률을 얻기 위해 레이저의 정격 출력인 10 W를 사용하면서 TMS 압력에 따른 성장률 변화를 살펴보았다.

증착이 일어나는 동안 반응영역에서 밝은 빛과 함께 연기가 발생하는 것이 관찰되었으며, 연기는 충전압력이 높을수록 많이 발생하였다. 본 연구에서는 반응 중에 발생하는 연기가 윈도우(window)를 오염시켜 레이저 빔의 강도가 감소하는 것을 방지하기 위해 작은 팬(fan)을 사용하였다. 또한, 증착시 밝은 빛 발생은 1000 °C 이상의 고온의 반응영역에서 발생하는 복사 현상으로 기인하며 빛의 강도가 클수록 반응가스의 열분해가 활발히 일어나 고체의 증착률도 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 5에 압력을 20, 35, 50, 70, 85, 100, 125, 150, 175, 200 torr로 변화시키면서 레이저를 5분간 조사하였을 때 로드의 형상을 나타내었다. 반응 초기에는 SiC 분말 모체에 증기 침투(vapor infiltration)로 인한 반 구 모양의 기반이 형성되는데 저압에서 상대적으로 크게 형성됨을 알 수 있었다. 반 구 모양의 밀동 형성이 끝나면 곧이어 로드가 자라기 시작하는데 비교적 일정한 지름의 로드가 생성된다. 하지만 로드 팁(tip) 부근은 가늘고 뾰족한데 이는 로드가 자라면서 로드의 옆면에서도 증착이 일어나 로드의 지름이 초기에 비해 증가한다는 것을 알려주고 있다. 로드 지름은 20 혹은 35 torr와 같은 저압 혹은 100 torr 이상의 압력에서 상대적으로 크고, 50 torr와 100 torr 사이에서는 비교적 작은 값을 갖는다. 로드의 지름은 실험에서 고려한 압력 범위에서, 약 0.5에서 1 mm 사이로 측정되었다.

Fig. 6에 TMS 압력에 따른 SiC 증착률 변화로 로드가 1초 동안 성장하는 높이로 변환하여 나타내었다. 고려된 압력범위 내에서 증착률은 최대 약 50  $\mu\text{m/s}$ 이며 이것은 전형적인 화학증착에서 얻어지는 증착률과 비교하면 훨씬 높은 값이다. 이와 같은 높은 증착률이 가능한 이유는 레이저 화학증착시 미소한 반응영역으로의 반응가스 확산이 매우 용이하기 때문이다.

SiC 증착률은 충전압력이 높아질수록 증가하다가 100 torr에서 최대가 되며 그 이상의 압력에서는 오히려 감소하였다. 이러한 증착률 감소는 충전압력이 100 torr 이상이 되면 상대적으로 많은 양의 연기가 발생하는 것에 기인한다. 즉, 연기가 비교적 많이 발생하여 팬으로 연기를 불어내도 윈도우의 오염을 효율적으로 방지하기가 어려웠다. 이러한 문제점은 현재와 같은 폐쇄형(closed)

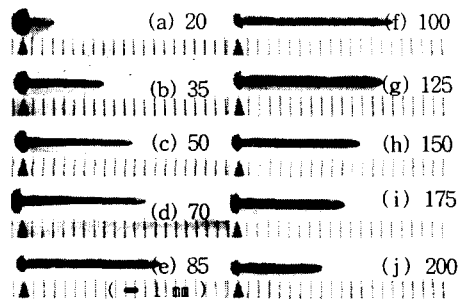


Fig. 5 Variations of rods with TMS pressure (torr)

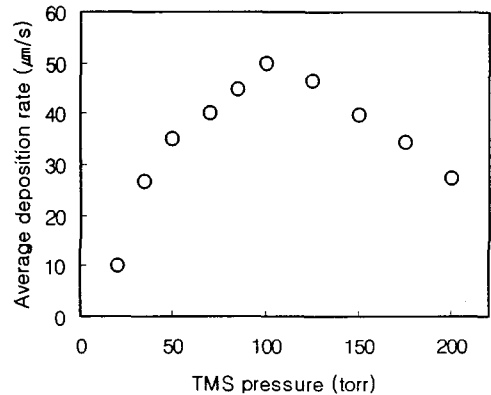


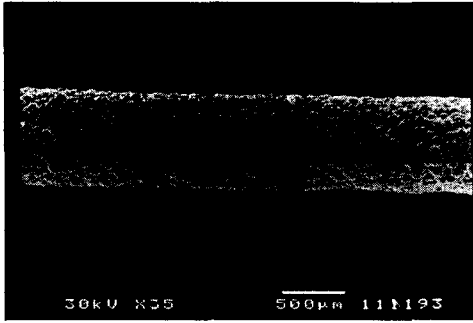
Fig. 6 Variations of deposition rate of SiC with TMS pressure

반응챔버가 아닌 개방형(open) 반응챔버를 채택함으로써 해결될 수 있을 것이다.

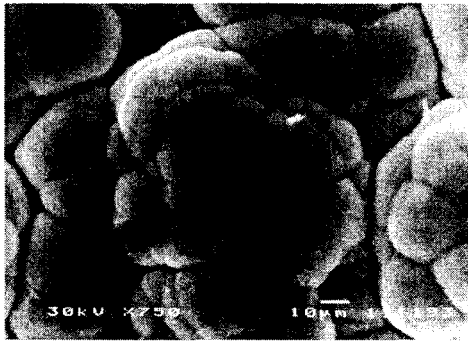
레이저 빔을 계속하여 조사하면 로드는 일정높이 만큼 성장하다가 멈추게 되는데, 그 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 레이저빔은 초점에서부터 멀어질수록 단면의 크기가 증가한다. 증가한 빔의 크기는 빔강도(beam intensity)의 감소로 이어지고, 이는 막대 끝단에서의 온도 상승량을 감소시킨다. 즉, 막대가 높게 성장할수록 에너지 받는 부분이 초점으로부터 멀어지게 되어 막대 표면의 온도 상승량이 줄어들고 결국에는 증착이 중단된다.

### 3.2 로드의 표면 거칠기 특성

본 실험에서 생성된 로드 표면의 거칠기 특성을 알아보기 위하여 로드 표면을 SEM으로 관찰



(a) 35×



(b) 750×

Fig. 7 Surface quality of the SiC rod deposited for 10 W of laser power and 50 torr of TMS pressure

하였다. 레이저 출력이 10 W 그리고 TMS 압력이 50 torr에서 증착된 로드를 사용하였다. Fig. 8에서 볼 수 있는 것처럼 표면에 기포무늬가 균일하게 나타났다. 무늬는 약 10  $\mu\text{m}$  정도의 작은 입자들이 모여서 수십  $\mu\text{m}$  정도 크기의 구상입자를 만들고, 이 구상입자들이 모여서 기포무늬를 형성하고 있다. 윗부분과 아랫부분의 차이는 없었으며 경향성이나 방향성도 발견되지 않았다. 이는 3차원 폐속조형 측면에서 방향성이 없는 매끄러운 증착을 보장하리라 사료된다.

### 3.3 로드의 성분 분석

로드의 성분을 알아보기 위하여 XRD 시험을 하였고, 그 결과를 Fig. 8에 나타냈다. XRD 분석 결과 증착 물질은 SiC( $\beta$ )와 C(graphite)의 피크가 나타나 선형이론해석결과<sup>(9)</sup>와 일치하였다. 화학평형 분석에 의하면 레이저 화학증착에 의하여 생성된 로드의 증착 물질은 1차상으로  $\beta$ -SiC가 나

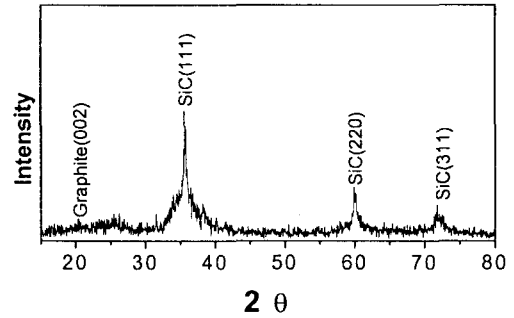


Fig. 8 X-ray power diffraction pattern showing SiC and C peaks of the rod deposited from TMS

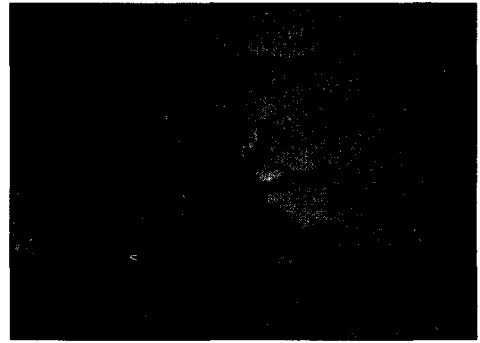
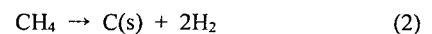
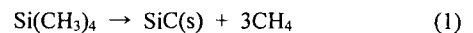


Fig. 9 Optical micrograph of the cross section of the rod at 400×

타나고 2차상으로는 C(graphite)가 나타나는데, 구성비는 몰 비율로 1:3정도이고, 중량비로는 약 1:0.9정도이다. TMS의 자세한 반응메커니즘은 아직 알려지지 않았지만 SiC 외에 C가 동시에 증착되는 현상은 아래 두 반응식으로부터 유추할 수 있다. 반응식 (1)에서처럼 TMS는 SiC와  $\text{CH}_4$ 로 분해되고,  $\text{CH}_4$ 는 반응식 (2)에서와 같이 다시 C와  $\text{H}_2$ 로 분해되어 결국 SiC와 C가 동시에 증착된다고 사료된다.



### 3.4 로드의 조직 분석

Fig. 9는 로드의 조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 광학 현미경에 의한 조직 사진에 의하면 중심부에 C가 자리잡고 그 주위에

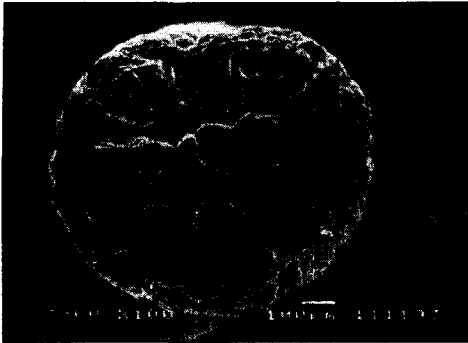


Fig. 10 Scanning electron micrograph of the cross section of the rod



Fig. 11 Scanning electron micrograph of outer region of the cross section of the rod

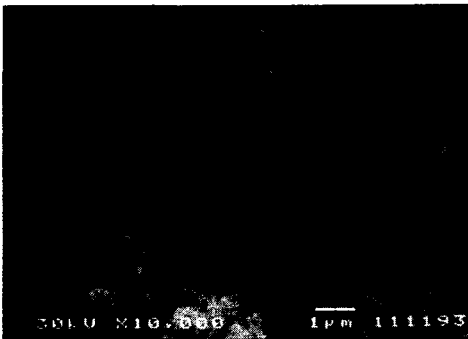


Fig. 12 Scanning electron micrograph of inner region of the cross section of the rod

SiC가 나타나는 2상(two-phase) 조직이 관찰되었다.

또한, SEM으로 파단면을 관찰하여 Fig. 10 ~

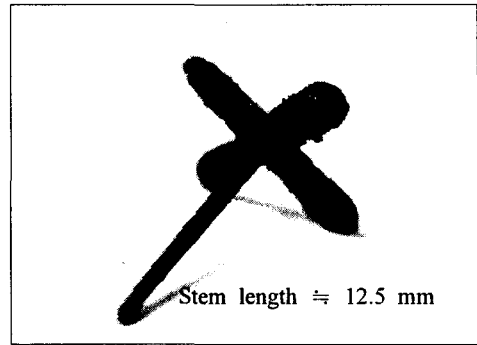


Fig. 13 SiC propeller-like object

Fig. 12에 나타내었다. 파단면을 관찰한 결과 광학현미경 결과에서처럼 중심부와 주변의 조직이 다른 양상을 보여 주었다. 중심부에서는 미세한 C입자의 집합체로 구성되어 있고, 주변에서는 판상의 SiC 조직으로 구성되어 있다.

3.5 단순 형상의 3차원 물체 쾌속조형

레이저를 조사할 때 반응챔버가 놓여진 XY 테이블을 이동시키면 수직으로 자라던 로드와 일정한 경사각을 가지고 비스듬히 성장하기 시작한다. 이러한 경사각은 XY 테이블의 이송속도에 비례하는데 이송속도가 너무 빨라지면 로드와 더 이상 성장하지 않고 모체 표면에 레이저를 따라 SiC가 증착되는 선긋기(laser writing)가 된다. 본 연구에서는 XY 테이블의 이송속도가 10 ~ 25  $\mu\text{m/s}$  일 때 로드와 경사지게 성장시킬 수 있었다.

Fig. 13에 프로펠러 모양과 유사한 3차원 SiC 물체를 쾌속 조형하여 보았다. 먼저, 날개에 해당하는 부분을 만들기 위하여 SiC 분말모체를 이용하여 증기 침투(vapor infiltration)가 발생하여 약 2 mm 두께의 SiC 판이 형성된다. 따라서, Fig. 13에서와 같은 네 개의 날개를 조형하기 위하여 XY 테이블을 십자 모양으로 두 번 이송시킨 다음 다시 정 중앙에 위치시켜 정지시킨 후 로드와 약 8분간 성장시켰다.

Fig. 14에 나뭇가지 모양의 3차원 물체를 쾌속 조형하여 보았다. 레이저를 고정시켜 약 1분 동안 로드와 성장시킨 후 레이저를 25  $\mu\text{m/s}$ 로 -X 방향으로 3분 20초간 이동시켜 왼쪽 첫 번째 가지를 조형하였다. 이후 다시 중심에서 50초 동안 로드와 성장시킨 다음 이번엔 +X 방향으로 레이

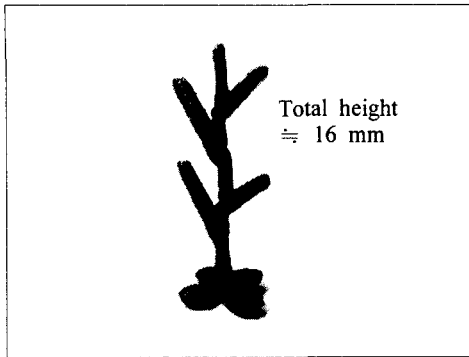


Fig. 14 SiC tree-like object

저를 25  $\mu\text{m/s}$ 로 이송시켜 오른쪽 첫 번째 가지를 완성하였다. 이후 위와 같은 패턴을 반복하여 Fig. 14와 같은 물체의 조형에 성공하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 Nd-Yag 레이저 화학증착을 이용한 폐속조형 기술을 개발하기 위해 SiC 로드의 성장 거동 특성, 증착물의 성분 및 조직을 분석하였고 단순한 모양의 3차원 폐속조형을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) SiC의 증착률은 TMS 압력이 커짐에 따라 증가하다가 약 100 torr에서 50  $\mu\text{m/s}$ 에 도달하여 최대가 되며 그 이상의 압력에서는 증착률이 감소한다. 로드의 지름은 비교적 일정하고 로드 팁은 가늘고 뾰족하여 이는 화학증착이 로드의 옆면에서도 일어남을 알려 준다.

(2) XRD에 의한 성분 분석 결과 증착 물질은 SiC( $\beta$ )와 C(graphite)의 피크(peak)가 나타나 선형 이론해석 결과<sup>(9)</sup>와 일치하였다.

(3) 광학 현미경으로 로드의 단면을 관찰한 결과 중심부에 C가 있고, 그 주위에 SiC가 나타나는 2상 조직으로 밝혀졌다. 또한, SEM으로 더 자세히 관찰한 결과 중심부에서는 미세한 C입자의 집합체로 구성되어 있고, 그 주위는 판상의 SiC 조직으로 구성되어 있음을 재확인하였다.

(4) 로드의 표면은 기포와 같은 무늬가 균일하게 나타났는데 이 무늬는 약 10  $\mu\text{m}$  정도의 작은 입자들이 모여서 수십  $\mu\text{m}$  정도 크기의 구상입자를 만들고, 이 구상입자들이 모여서 기포무늬를 형성하고 있다.

(4) XY 테이블의 이송을 통해 단순한 프로펠러

같은 모양이나 나뭇가지 같은 모양의 3차원 SiC 물체를 조형하는데 성공하였다. 본 연구의 경우 25  $\mu\text{m/s}$  이하의 저속에서는 로드를 경사지게 성장시킬 수 있었고 30  $\mu\text{m/s}$  이상의 고속에서는 선긋기(line writing)가 가능하였다.

향후 이러한 기술을 더욱 발전시켜 멀티레이어(multi-layer) 증착을 가능하게 하고 이를 이용하여 임의의 3차원 세라믹 형상을 조형하기 위해서는 레이저를 이용한 박막증착, 증착온도 제어, 증착 물질의 물성 및 재료시험 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2001-000-01069-0)로 수행되었음.

#### 참고문헌

- (1) Zong, G-S, 1991, "Solid Freeform Fabrication Using Gas Phase Selective Area Laser Deposition," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- (2) Birmingham, R. B., 1995, "Laser Based Solid Freeform Fabrication Techniques for the Direct Production of Ceramic and Metal/Ceramic Shapes," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- (3) Tompkins, J. V., 1997, "Joining Ceramic Materials by Selective Area Laser Deposition," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- (4) Thissell, W. R., 1994, "Processing and Control of Selective Area Laser Deposition from Methane and Hydrogen," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- (5) Figueras, A., Garelik, S., Santiso, J., Rodriguez-Clemente, R., Armas, B., Combescure, C., Berjoan, R., Saurel, J. M., and Caplain, R., 1992, "Growth and Properties of CVD-SiC Layers Using Tetramethylsilane," *Mater. Sci. Eng.*, Vol. B, No. B11, pp. 83~87.
- (6) Veintemillas-Verdaguer, S., Figueras, A., and

- Rodriguez-Clemente, R. J., 1993, "A Thermodynamical Approach to Tetramethylsilane (TMS) Pyrolysis: Application to SiC Coatings obtained by MOCVD," *Journal of Crystal Growth*, Vol. 128, pp. 349~353.
- (7) Sibieude, F. and Benezech, J., 1988, "Chemical Vapor Deposition of Silicon Carbide: an X-ray Diffraction Study," *Journal of Materials Science*, Vol. 231, No. 5, pp. 1632~1636.
- (8) Tompkins, J. V., Laabi, R., Birmingham, H. L. and Marcus, H. L., 1995, "Advances in Selective Area Laser Deposition of Silicon Carbide," *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 412~421.
- (9) Lee, Young Lim, 2002, "Study of Laser Chemical Vapor Deposition of Silicon Carbide from Tetramethylsilane," *Trans. of the KSME, Series B*, Vol. 26, pp. 1226~1233.

- 바로 잡음 -

---

대한기계학회논문집 A권, 제28권 제3호, pp. 281~288, 2004(논문제목: '하이브리드 복합재료의 섬유배향각이 피로균열 및 충전분리 거동의 관계에 미치는 영향' 저자: '송삼홍·김철웅') 중 281쪽의 ('2003년 7월 24일 접수, 2001년 1월 9일 심사완료')는 ('2003년 7월 24일 접수, 2004년 1월 9일 심사완료')의 오키이므로 바로잡습니다.

---