

# 우주발사체용 탄소섬유 강화 탄화규소 복합소재

글 \_ 한인섭, 김세영, 이상국, 김정일, 정용희  
한국에너지기술연구원, (주)테크

## 1. 서론

항공우주산업은 대규모 시설 및 연구개발 투자가 필수적인 분야로서 세계시장의 70% 이상을 점유하고 있는 서방 선진국에서는 수출산업 및 첨단산업 육성, 자주국방, 국위선양 등의 명백한 목적을 가지고 국가주도로 추진하고 있는 산업이다. 특히 항공우주산업은 70년대의 섬유산업, 80년대의 조선 및 가전제품, 90년대의 자동차 산업에 이어 21세기에 우리나라가 전략적으로 이끌어 나가야 할 고부가가치의 새로운 성장동력산업이며, 또한 최근의 정보화사회 시대의 도래로 통신·방송위성 등의 수요가 크게 증가하고 있는 서비스 산업 분야도 항공우주기술로 인하여 비약적인 발전이 예상되고 있다.

현재의 우리나라의 제조업은 항공우주기술을 응용하여 차세대 기술로의 새로운 도약이 가능한 시점이며, 특히 첨단 신소재 응용기술은 초정밀 가공 기술, 정밀전자 응용기술과 시스템 관리기술과 함께 산업으로의 파급될 가능성이 매우 큰 기술이라 할 수 있다.

항공우주용 첨단 신소재인 발사체의 노즐 부분은 고온, 고압의 가스가 배출되는 부분으로 기존의 사용되는 금속 재인 폴리브데늄, 탄탈륨 그리고 텅스텐 등은 gas stream 에 의한 erosion 및 corrosion 저항성이 낮아 그 수명이 매우 짧기 때문에 이에 대한 저항성이 우수한 세라믹 소재가 대체소재로 개발 및 적용되고 있다.

Erosion 및 corrosion 저항성이 우수한 세라믹 소재는 고온노출에 의한 thermal stress cracking과 creep 파괴에

대한 특성 향상이 요구된다. 이에 따라 최근 이러한 특성 보완이 가능한 세라믹 섬유가 강화된 세라믹 복합재료가 주목 받고 있으며, 비산화물계 세라믹 기지상 복합소재 (non-oxide ceramic matrix composites), 즉 탄소 섬유 (carbon fiber) 또는 탄화규소 섬유 (SiC fiber)로 강화된 탄화규소 복합소재 (C/C-SiC 또는 SiC<sub>r</sub>-SiC composite)가 그 후보소재로 대두되고 있다. 또한 로켓의 효율 및 성능 향상을 위해서는 경량화가 필수적으로 요구되며, 이를 위해 발사체 부분의 소재 경량화 연구가 수행되고 있으며, 전체 공정의 제조단가의 절감을 위한 공정개발 역시 활발한 연구가 진행되고 있다.

따라서 본고에서는 탄소섬유 강화 탄화규소 복합체 제조기술을 위주로 한 국내의 기술동향과 시장전망에 관해 간략히 기술하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1. 탄소섬유 및 탄화규소 섬유강화 탄화규소 복합체 기술 개요

섬유강화 세라믹 복합소재는 ① 가스상 공정으로 화학 기상침투법 (CVI, Chemical Vapor Infiltration) 기술, ② 액상 공정으로 액상실리콘침투법 (LSI, Liquid Silicon Infiltration) 또는 용융침투법 (MI, Melt Infiltration) 기술과 고분자침투열분해법 (PIP, Polymer Impregnation and Pyrolysis) 기술이 있으며, ③ 단순 세라믹법으로 섬유강화 재료를 세라믹 슬러리에 첨가하여 고온이나 고온·

고압에서 소결하는 방법 세 가지 기술로 구분할 수 있다.

CVI 기술은 서로 다른 성분의 소재, 즉 계면 (interface), 기지상 (matrix) 및 외부 코팅층 등을 가스상 전구체 (precursor)를 매개로 하여 복합소재를 제조하는 기술로서 탄화규소 섬유강화 탄화규소 ( $\text{SiC}_f\text{-SiC}$ ) 복합소재 제조공정으로 가장 많이 이용되고 있는 기술이다. 이들 복합소재는 원자로 반응기용 (nuclear reactor) 소재로 개발되기 시작하여 현재에는 우주항공용 복합소재로 적용하기 위한 시도가 광범위하게 진행되고 있는 기술이다 (Fig. 1 참조).

LSI (또는 MI) 기술은 용융 금속 실리콘 (molten Si)을 탄소-탄소 기지상에 침투시켜 탄소섬유 강화 탄화규소 ( $\text{C}_f\text{-SiC}$ ) 복합소재를 제조하는 기술로서 항공우주용 Nose Cap 소재로 개발되기 시작한 이래 미사일용 Jet Vane, 우주선용 고온 구조부품, 자동차·열차용 Brake Disk 소재로 개발되고 있으며, 현재에는  $\text{SiC}_f\text{-SiC}$  복합소재 제조에도 LSI 공정을 적용하고 있다 (Fig. 2 참조).

CVI 공정은 로켓 추진체 등과 같은 항공우주용 복합소재 제조공정으로 지속적인 연구개발이 진행되고 있으나, 제조되는 복합소재가 저온 공정온도, 우수한 열 및 방사능 저항성, 높은 인장강도 (UTS) 및 강성 (stiffness) 등의 장점을 가지고 있는 반면 느린 섬유 증착속도, 낮은 치밀화에 따른 잔류 기공 내재, 증착 두께의 한계 (clogging effect,  $\leq 4\text{mm}$ ), 장시간의 제조공정 시간으로 인한 낮은 생산성 등으로 인하여 제조단가가 매우 높은 단점이 있다. 또한 고가의 장비를 사용하여야 하며, 3차원의 대형·복잡 형상의 제품을 제조하기에 한계가 있다는 점이 상용화의 주된 걸림돌이 되고 있다.

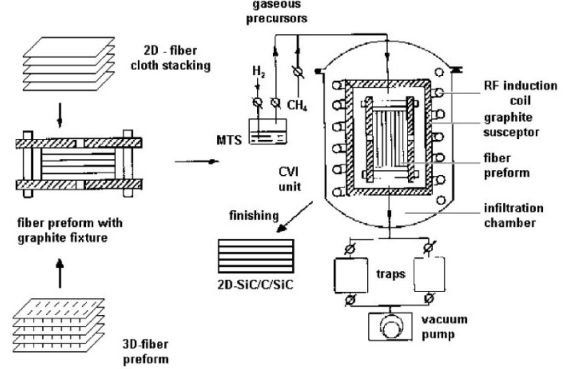


Fig. 1. CVI 공정에 의한  $\text{SiC}_f\text{-SiC}$  복합소재 제조공정 모식도.

이에 비해 LSI 공정은 제조된 복합소재 기지상 내에 잔류 free Si이 존재하며, 또한 미반응 탄소 성분이 존재할 수 있는 가능성과 탄소와 용융 실리콘과의 반응 시 발생하는 발열반응에 의해 탄소 섬유나 탄화규소 섬유가 손상을 당하여 기계적이나 열적 특성이 저하된다는 단점을 가지고 있다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 높은 소결밀도와 낮은 기공율에 따른 치밀화가 가능하며, 우수한 열전도도 특성을 갖는 복합소재를 빠른 공정시간으로 제조할 수 있기 때문에 제조단가가 낮으며, 생산성이 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 저가의 진공소성장비를 사용하여 3차원의 대형·복잡 형상의 제품을 제조할 수 있는 특징이 있기 때문에 섬유강화 복합소재 제조공정 중 상용화 공정으로 유망한 공정으로 채택되고 있다.

위성발사체 연소기와 노즐 조립체는 폭발된 연료가 모이는 converging section과 폭발된 연료가 확장되어 분출하는 diverging section이 연결된 구조로 구성되며, 세부적으로는 연소기 (combustion chamber), 노즐목

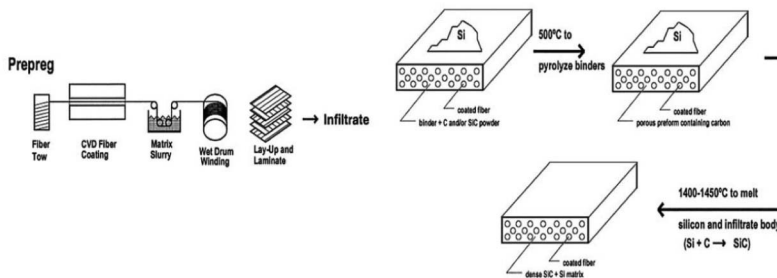


Fig. 2. LSI 공정에 의한  $\text{SiC}_f\text{-SiC}$  복합소재 제조공정 모식도.

(throat)과 확대부 (exit cone)으로 이루어져 있다 (Fig. 3 참조).

발사체에서 고체나 액체 연료에 관계없이 연료폭발 시, 온도 (T)와 압력 (P) 및 연소가스의 흐름속도 (V)는 Fig. 4에 나타난 바와 같은 분포를 가지게 되며, 노즐을 통해 배출되는 가스는 극초음속 (hypersonic) 속도로 분출하

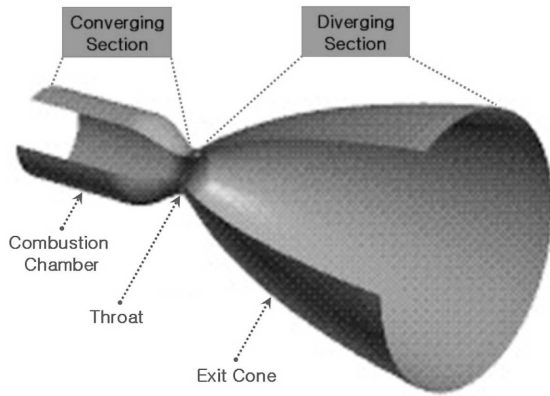


Fig. 3. Rocket engine nozzle 구성도 및 각부의 명칭.

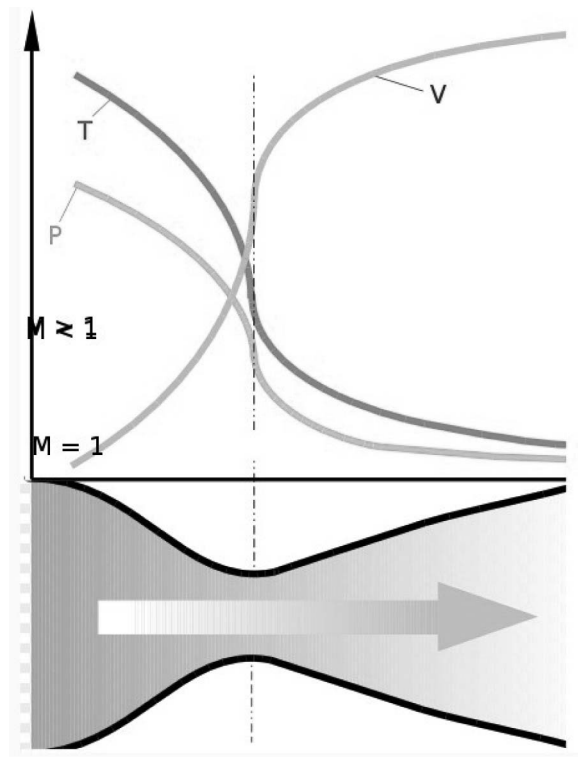


Fig. 4. Rocket engine nozzle 연소가스의 온도, 압력 및 속도 분포도

게 된다. 이때, 온도와 압력은 연료가 폭발되는 연소기 내에서 가장 높지만, 노즐목 부분에서는 높은 온도 및 압력과 함께 연소가스의 흐름이 급격하게 상승되는 부분이 기 때문에 erosion에 의한 삭마 (剝磨)를 가장 심하게 받는 구조임을 확인할 수 있다.

이에 따라 극한환경 분위기에 견디기 위한 노즐 조립체를 개발하기 위해서는 섬유강화 복합소재 제조기술 확립과 적용이 필수적이며, 특히 이와 같은 3차원의 대형이면서 복잡형상을 갖는 제품의 경우에는 섬유 (장/단 섬유 또는 prepreg)를 이용하여 제품의 각 부분별 온도, 압력, 속도 환경을 고려한 섬유소재의 선정과 이를 이용한 3차원 형상화 (laminating, braiding, sawing, knitting 등) 제조공정과 시제품 제조기술이 확보되어야 이를 이용한 치밀화 기술이 완성될 수 있다.

## 2.2. 탄소섬유 및 탄화규소섬유 강화 탄화규소 복합체 기술동향

### 2.2.1. 국외 기술동향

독일 DLR (German Aerospace Research Center)에서는 1980년대에 LSI 공정을 개발하여 현재까지 지속적으로 연구하고 있으며, 이미 상업화되어 여러 분야에 적용되어지고 있다. 현재는 DLR과 EADS-ST Company와 C-SiC 복합소재를 이용하여 Rocket Propulsion System 소재로 적용하는 연구를 진행하고 있다 (Fig. 5 참조).

DLR은 통상적인 CVI (Chemical vapor infiltration) 및 LPI/PIP (Liquid Polymer Infiltration/Polymer Infiltration and Pyrolysis) 공정과 비교하여 LSI 공정이 기술적, 경제적 측면에서 우수하며 그 응용범위가 다양하다는 판단 하에 LSI 공정을 적용한 복합재료 개발에 집중하고 있다. 독일 정부로부터 연구를 지원받아 산업체와 협동으로 이미 C-SiC 복합소재의 브레이크 패드 개발을 완료하여 FCT Ingenieurkeramik GmbH에서 성공적으로 생산하고 있다. 현재까지 재사용 가능한 Space Vehicle의 경량 열차폐막 개발, 자동차 및 산업용 마찰패드 개발, 고온에서 변형이 없는 측정장치 부품 개발, 내열 및 내마모 성능이 우수한 로켓용 부품 개발, 발전설비용 고온 열교환

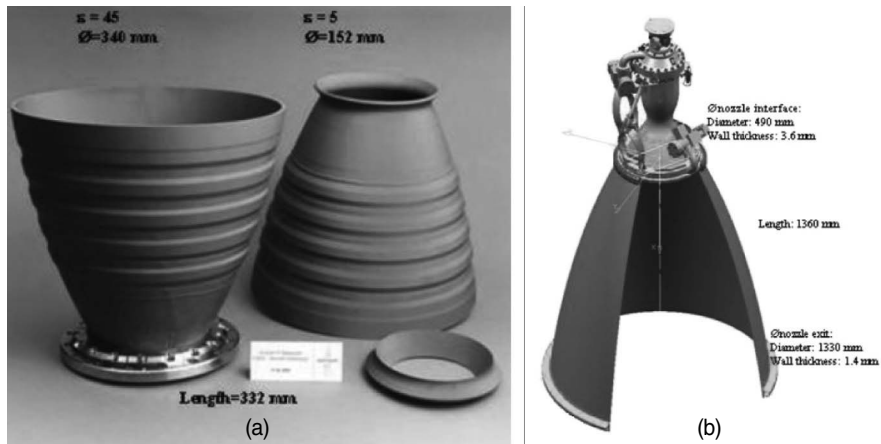


Fig. 5. 독일 DLR에서 개발된  $C_r$ -SiC 복합소재를 이용한 Vulcain Nozzle (a) 및 Aestus Engine Nozzle (b).

기 및 경량 개인 방호부품 등에 기술을 확보한 상태이며, 향후  $1000^\circ\text{C}$  이상의 고온 적용이 가능한 SiC 섬유 강화 복합재료 개발, CFRP preform 제조기술 개발, 복잡한 형상의 부품 개발과 제작된 제품의 비파괴 검사 기술개발 등의 기술 확보를 위해 연구를 진행 중에 있다.

현재 유럽에서는 항공우주용  $C_r$ -SiC 소재 개발이 이루어지고 있으며, 독일의 경우  $1900^\circ\text{C}$ 까지 견디는 케도재 진입용 SHEFEX의 보호판넬에 LSI 공정을 이용해 제작된  $C_r$ -SiC를 적용하였으며, 2005년도에 211km의 비행 거리와 550초의 비행시간을 기록하였다. 러시아의 경우에도 케도재진입용 FOTON의 Thermal Protection System에  $C_r$ -SiC를 적용하는 기술을 개발, 15일간 비행 후 케도에 진입하여 실증을 완료한 바 있다. 이 외에도 2010년부터 2013년까지 개발될 프랑스의 LEA에도 LSI 공정을



Fig. 6. FOTON-Russian flight experiment for thermal protection.

적용한  $C_r$ -SiC 복합소재가 적용될 계획이다 (Fig. 6 참조).

미국의 경우, ORNL (Oak Ridge National Laboratory)에서는 2003년부터 LSI 공정을 이용하여 세라믹 열교환기 등의 상업용 제품개발을 주도하고 있다. 현재 상업용 CMC는 GE에서 CVI와 MI (또는 LSI) 공정 모두를 사용하여 항공기 엔진의 터빈 파트, 항공우주용 구조체, 열교환기 그리고 로켓 추진체 등의 부품을 생산하고 있다. GE 생산제품 중 MI 공정을 적용한  $SiC_r$ -SiC 복합소재의 경우, 약  $1370^\circ\text{C}$ 까지 사용이 가능하며, CVI 공정을 적용한  $C_r$ -SiC의 경우는  $2000^\circ\text{C}$  정도까지 사용이 가능하다. 또한 ORNL에서는 2009년 에너지산업 분야에 적용하기 위한 탄소섬유 복합체 기술에 대한 검토를 거쳐 단·장기적인 추진계획을 수립하여 진행 중에 있다. 한편 현재 NASA의 경우, Spacecraft인 X-38의 Body Flap 부품 개발에  $C_r$ -SiC 복합소재를 적용하기 위해 2억불 규모의 연구비를 투자하고 있으며,  $1800^\circ\text{C}$ 에서 적용이 가능한 Nose Cap 개발연구를 위해 독일과 함께 5억불 규모의 프로젝트를 수행하고 있다 (Fig. 7 참조).

일본의 경우에는 1991년에 항공우주용 고온구조재 연구소를 설립하여 현재까지 지속적인 연구개발을 하고 있으며, NIMS (National Institute for Materials Science)에서도 LSI 공정을 적용한 고온  $C_r$ -SiC 복합소재 개발이 이루어지고 있다. 최근 Kyoto University에서는 CVI와 PIP 공정의 형상에 대한 제약과 높은 기공률 그리고 LSI 공정의 상 (phase) 조절 및 공정개선이 필요함을 항상시

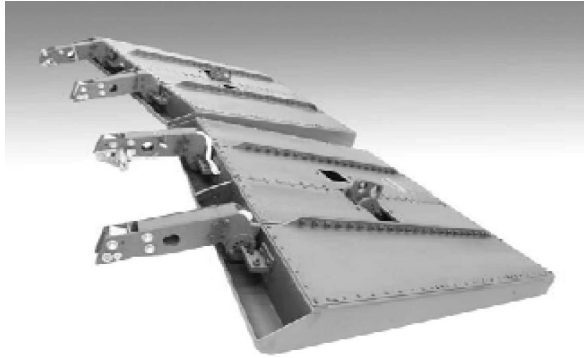


Fig. 7. 미국 NASA가 개발 중인 X-38 C/SiC 복합소재 Body Flap.

킨 'NITE-SiC/SiC' 를 개발하였다. 이 기술은 현재 'NITE-SiC/SiC' 상품명으로 SiC/SiC 복합소재 제조를 위한 신공정을 개발함으로써 기존의 SiC/SiC 복합소재보다 우수한 특성을 갖는 소재에 대한 양산기술이 확보되어 자국 내에 5,000만엔의 자본금을 출자하여 (株)エネテック總研 회사를 설립하고 SiC 섬유강화 복합소재, SiC 섬유, SiC 나노 분말 등의 사업화를 시작하였다 (Fig. 8참조).

NITE Process (Nano-Infiltration Transient Eutectic phase process)는 PIP와 LSI 공정을 조합한 것으로서 총 2단계 공정으로 구분된다. 1단계에서는 SiC 나노분말 슬러리를 섬유에 함침시켜 1차적으로 PIP 공정을 거치게 되며, 이후 2단계에서 LSI 공정을 하게 됨으로서 PIP 공정에서 발생하는 단점들을 해결하게 되는 공정이다. 이러한 NITE 공정을 적용한 기술은 이미 2006년도부터 도입하기 시작하였으며, 이를 이용하여 현재는 양산이 가능한 수준에 도달하였다. 최근 미국과 일본은 JUPITTER-II Project를 통해 원자력 반응기의 협동연구를 진행하고 있으며, 여기에 NITE 공정과 CVI/NITE 하이브리드 공정 등이 적용되고 있다. 향후 방사능 노출에 의한 swelling과 열전도도 변화, 열충격에 의한 균열 발생 등의 개선에 대한 연구가 진행될 예정으로 있다.

### 2.2.2. 국내 기술동향

국내의 경우, 한국에너지기술연구원 (KIER)에서는 1980년대 후반 LSI 공정에 의한 치밀질 Si-SiC 세라믹 소

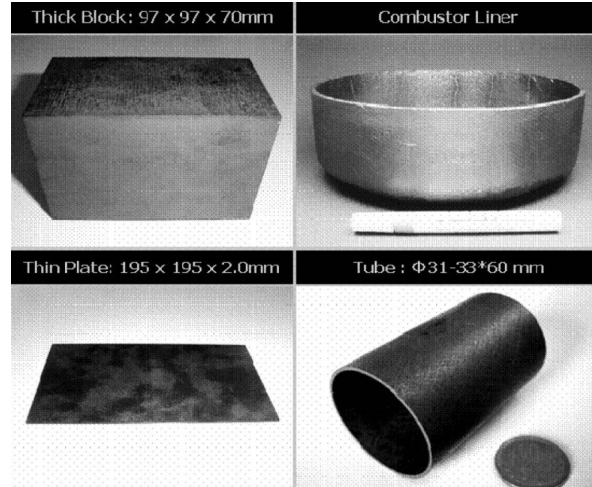


Fig. 8. 일본 Kyoto University에서 개발된 NITE-SiC/SiC 복합소재의 개발품.

재 개발 연구를 국내에서 최초로 수행한 이래, 연속상 탄소섬유 (continuous 3K Yarn)를 출발원료로 사용하여 필라멘트 와인딩 (filament winding) 공정으로 철강 진공침탄 열처리용 라디언트 튜브 (radiant tube) 및 라디언트 버너 노즐 개발을 수행하여 150mmOD x 1500mmL급 singled-ended type 라디언트 튜브 및 open-ended type 버너 노즐 형상화 기술을 확립한 후, LSI 공정을 이용한 C/SiC 복합소재 시작품 제조기술을 확보하고 있다.

또한 한국에너지기술연구원은 2007년부터 한국세라믹기술원 (KICET), 한국원자력연구원 (KAERI)과 협동으로 SiC 섬유강화 SiC 복합소재를 위한 원천기술을 개발 중에 있으며, KIER에서는 near-net shape 프리폼 형상화 기술 확립, KICET에서 연속상 SiC 장섬유 개발, KAERI에서는 KIER에서 형상화 된 성형체를 이용하여 CVI 공정에 의한 치밀질 SiC/SiC 복합소재 개발기술 확립 연구를 수행하고 있다.

한국원자력연구원에서는 CVD, CVI 공정 및 탄화규소 분말을 이용한 고온가압소결 공정, 고분자 함침공정 (PIP) 등을 적용하여 SiC/SiC 복합소재 제조를 위한 기반 기술과 세라믹 섬유의 인성강화를 위한 섬유코팅 기술을 보유하고 있으며, 또한 내방사능 특성 평가를 위한 조사 시험 기술, 가혹 환경에서의 기계적 특성 평가기술, 내환경 특성 평가기술 등을 확보해 나가고 있다.

한국세라믹기술원은 초고온용 섬유제조를 위한 고분자 전구체 제조기술 및 개질에 대한 기초기술 및 SiC 섬유 제조 기초기술을 개발을 수행한 바 있으며, 이 사업을 통해 촉매공정을 통한 폴리카보실란 (polycarbosilane)의 상압반응 합성기술을 개발하였고, 이로부터 반결정형 SiC 섬유의 제조기술을 확립하였다. 또한 알루미늄의 직접도핑기술 개발과 이로부터 제조된 개질 고분자 전구체를 이용하여 섬유를 만들고, 1800°C 이상에서 소결하여 치밀하고 완전 결정화된 섬유를 제조하는데 성공하였다. 최근에는 그 후속으로 섬유제조 방법을 다양화하여 제조되는 SiC 섬유의 사이즈와 형상을 조절함으로써 그 응용 분야를 개척하는 시도를 하고 있다.

한편 국내의 산업체에서는 대양산업에서는 국내 출연 연구소와 방위산업체와 공동으로 피치 함침공정을 이용한 C<sub>r</sub>-C 복합소재를 이용하여 군사용 로켓 노즐목 개발을 시도하여 제품개발과 성능평가를 수행한 바 있으며, 민간항공용 로켓 엔진 확대부 소재를 C<sub>r</sub>-C 복합소재로 개발하여 성능평가를 수행한 바 있다. 또한 한국에너지기술연구원과는 정부사업에 참여하여 철강 진공침탄 열처리용 래디언트 튜브 (radiant tube) 및 래디언트 버너 노즐용 C<sub>r</sub>-SiC 복합소재 국산화 개발을 성공적으로 수행하였으며, 이 사업을 통해 LSI 공정을 이용한 C<sub>r</sub>-SiC, SiC<sub>r</sub>-SiC 복합소재 생산을 위한 수지함침 시스템, 필라멘트 와인딩 시스템, 고온진공저항가열로, 고온 진공유도 가열로 등의 기초장비를 구축하고 있다.

(주)DACC에서는 ADD, KARI 등의 연구기관과 함께 군수용, 항공용 C<sub>r</sub>-C 복합소재 제품을 개발하여 국내에서 가장 처음으로 상품화 한 기업으로 CVD 및 피치 함침 공정을 이용한 C<sub>r</sub>-C 복합소재 제조기술을 확보하고 있다. 또한 1990년대 후반부터는 1990년 초부터 산학연 공동으로 탄소/탄소 복합체 개발을 수행해 왔으며, 10여 년간의 개발기간을 거쳐 현재, F-16 탄소/탄소 브레이크 디스크를 개발을 완료하여 한국공군 및 해외시장에 양산 공급 중에 있다 (Fig. 9 참조). 이외에도 (주)테크에서는 군수용 추진기관 내열 부품을 1990년대 초부터 연구개발 하였으며, 현재 제품의 양산화가 이루어진 상태이며, 2009년도 현대자동차/현대모비스와 공동으로 C/SiC 복

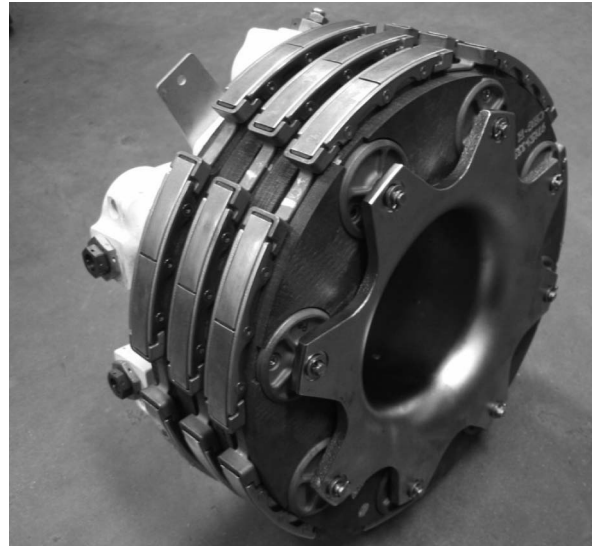


Fig. 9. (주)테크에서 개발한 항공기용 C/C 브레이크 디스크

합체를 재료로 하는 자동차용 브레이크 시스템 개발을 완료하고, 양산 시스템을 구축하고 있다 (Fig. 10 참조).

현재에는 (주)테크와 한국에너지기술연구원에서 '열보호용 내열 실리콘카바이드 (SiC) 복합재료 및 경량화 기술' 개발사업을 진행 하고 있으며, 이 사업을 통해 우주발사체 노즐용 탄화규소섬유 강화 탄화규소 복합소재 제조를 위한 원천기술 개발과 시작품 개발연구를 진행 중에 있다.

### 2.3. 탄소섬유 강화 탄화규소 복합체 시장동향

탄소섬유 복합체의 전 세계 제품별 시장은 고분자, 탄



Fig. 10. (주)테크에서 개발하고 있는 자동차용 C/SiC 브레이크 디스크 부품 예.

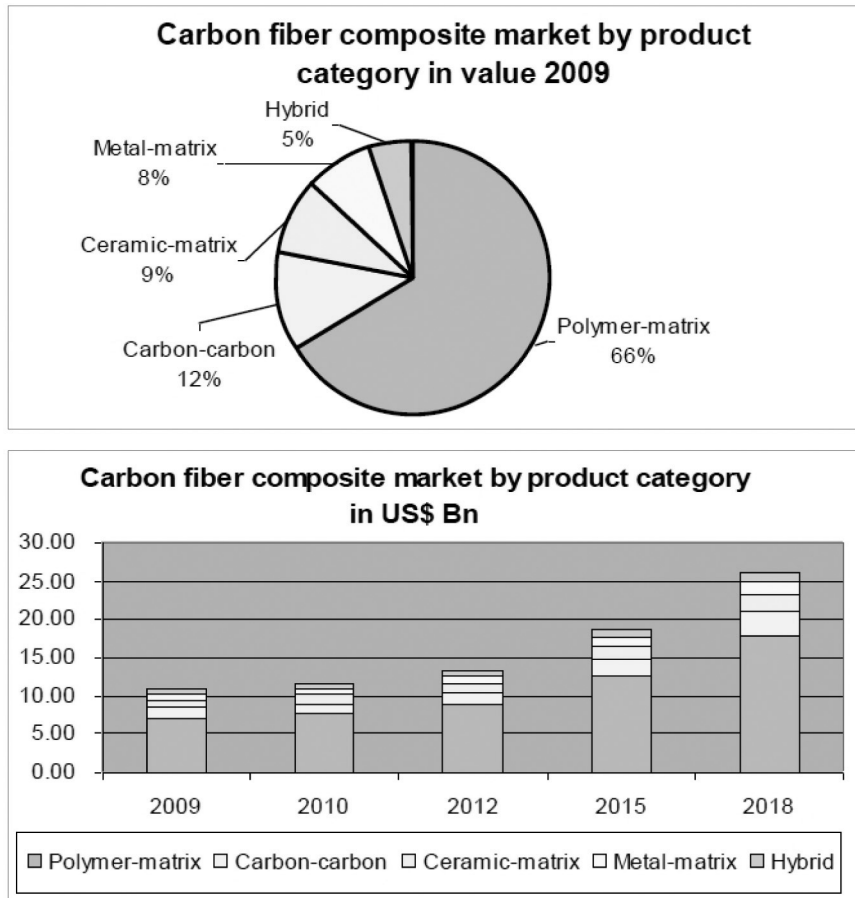


Fig. 11. 전 세계 탄소섬유 복합소재 제품별 시장 전망.  
 (자료 출처 : World Carbon Fiber Composite Market - Market, Products, Applications, Innovations, Chance & Risk, Competition, Prospects to 2018, Acmite Market Intelligence, 2010)

소, 세라믹, 금속 및 기타 하이브리드를 기지상으로 한 복합소재로 구분할 수 있다. 이들 가운데 고분자 기지 복합체가 2009년 기준 약 70억불 (US\$7.13 billion)로 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 연평균 7.5% 성장률을 통하여 2012년에는 약 90억불 (US\$8.85 billion) 시장을 형성할 것으로 예측되며, 2012년 이후에는 연평균 성장률 12~15%를 통하여 2015년 약 130억불 (US\$12.62 billion)이 될 것으로 예측하고 있다.

탄소섬유-세라믹 기지 복합체 (시멘트와 석고 복합체 제외)의 경우, 전체 복합체 시장에서 고분자 기지 복합체, 탄소 기지 복합체에 이어 세 번째 크기의 시장을 형성하고 있으며, 이는 약 9%에 해당하고 있다. 2009년 기준, 전 세계의 시장은 약 10억불 (US\$ 970 million)이 형성되어

있으며, 2009년 이후, 연평균 6%로 성장하여 2015까지 11%의 성장률을 나타낼 것으로 예측된다 (Fig. 11 참조).

탄소섬유 복합체의 응용분야별 전 세계의 시장은 연평균 12%의 성장률을 보이고 있으며, 항공우주용, 육상수송용, 풍력에너지용, 레저 및 스포츠용, 일반 산업용 순으로 시장을 형성하고 있다. 이 가운데 항공우주용이나 풍력에너지용, 육상수송용과 일반 산업용 복합소재가 연평균 10% 성장률이 예측되고 있어 에너지·환경산업 분야에 있어서 탄소섬유 복합체의 성장률이 두드러지고 있음을 알 수 있다 (Table 1 및 Fig. 12 참조).

탄소섬유 복합체의 전 세계 지역별 시장은 항공우주 및 국방산업 분야에서 북미가 가장 큰 시장을 점유하고 있으며, 유럽이 그 뒤를 형성하고 있다. 북미의 2009년

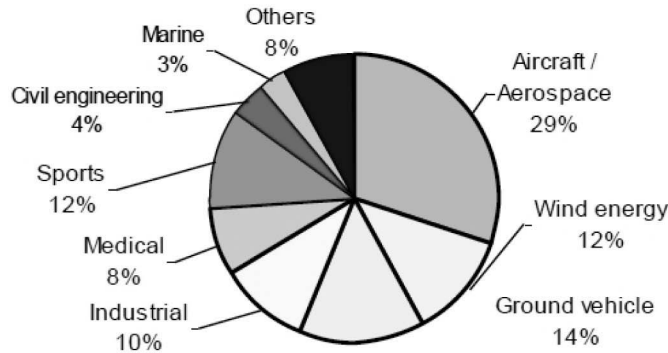


Table 1. 전 세계 탄소섬유 복합소재의 응용분야별 시장 및 성장률

(단위 : US\$ billion)

구분 \ 연도	2009	2010	2012	AAGR(%)	2015	2018	AAGR(%)
Aircraft / Aerospace	32.4	3.57	4.31	9.0	6.53	9.82	14.7
Wind energy	1.30	1.43	1.74	9.3	2.64	3.98	14.8
Ground vehicle	1.51	1.63	1.88	6.6	2.63	3.64	11.6
Industrial	1.08	1.16	1.32	6.0	1.79	2.41	10.5
Medical	0.81	0.86	0.98	6.5	1.29	1.69	9.5
Sports	1.24	1.30	1.42	4.5	1.72	2.08	6.6
Civil engineering	0.43	0.46	0.51	6.0	0.67	0.86	9.0
Marine	0.32	1.34	0.39	6.0	0.49	0.63	8.5
Others	0.86	0.92	1.04	6.5	1.36	1.75	9.0
Total	10.80	11.56	13.23	7.0	18.59	26.11	12.0

Carbon fiber composite market by application in value 2009



Carbon fiber composite market by application in US\$ Bn

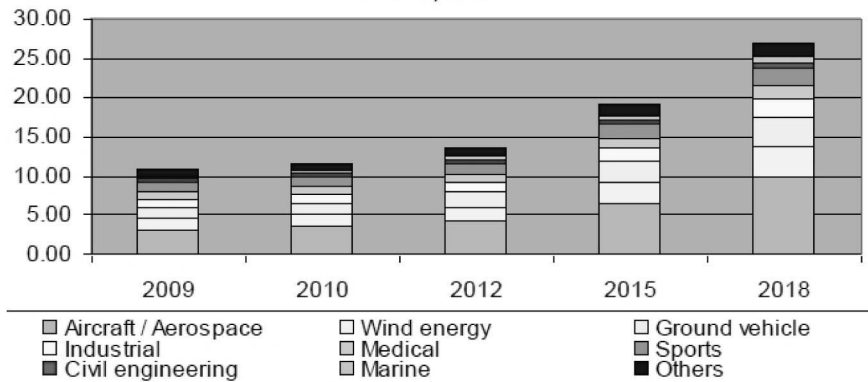
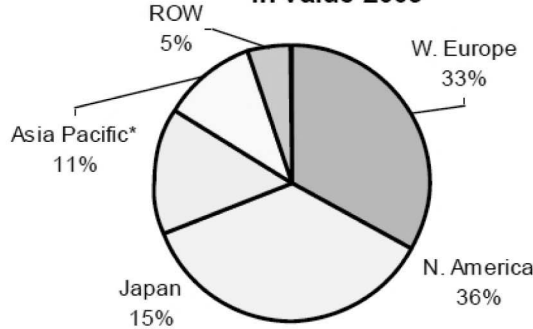


Fig. 12. 전 세계 탄소섬유 복합소재 응용분야별 시장 전망.

(자료 출처 : World Carbon Fiber Composite Market - Market, Products, Applications, Innovations, Chance & Risk, Competition, Prospects to 2018, Acmite Market Intelligence, 2010)



Carbon fiber composite production by region  
in value 2009



Carbon fiber composite production by region  
in US\$ Bn

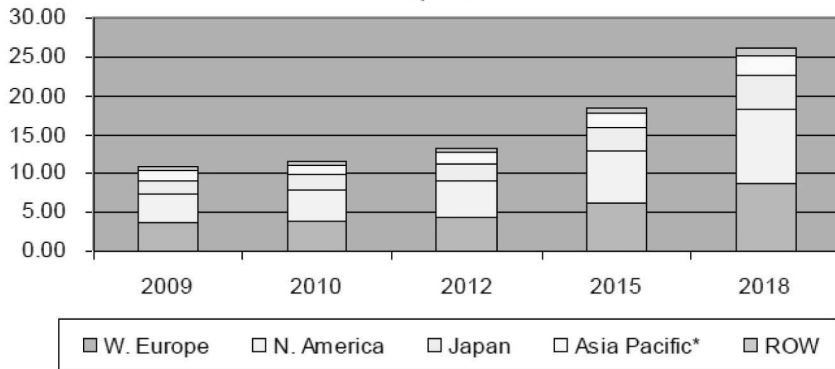


Fig. 13. 전 세계 탄소섬유 복합소재 지역별 시장 전망.

(자료 출처 : World Carbon Fiber Composite Market - Market, Products, Applications, Innovations, Chance & Risk, Competition, Prospects to 2018, Acmite Market Intelligence, 2010)

기준, 시장은 약 40억불 (\$3.89 billion) 수준이며, 이는 세계시장의 36%에 해당한다. 2009년부터 2012 기간 동안의 연간 시장성장률은 약 7.5%로 예상하고 있으며, 2012년 이후에는 연간 약 12% (11.8%)로 성장할 것으로 예측되고 있다.

아시아에서 일본의 경우, 2009년 기준 12억불 (US\$ 1.2 billion) 시장이 형성되어 전 세계 시장의 15%를 차지하고 있으며, 이는 2012년까지 연평균 약 7% 성장과 그 후 11.5%의 성장률을 유지할 것으로 예측되고 있다. 한편 일본을 제외한 아시아의 탄소섬유 복합체의 시장은 2009년 14억불 정도로 추산되며, 5~11%의 성장률을 유지하여 2012년에는 약 16억불, 2015년에는 22억불 (US\$ 2.24

billion) 이상이 될 것으로 예측되고 있다 (Fig. 13 참조).

### 3. 결론

탄소섬유 강화 탄화규소 세라믹 복합체는 고비중의 수퍼합금 소재의 경량화 대체재로 이용되는 소재로서 우주발사체나 로켓 엔진요 소재로 적용되기 시작하여 항공기용 엔진 노즐, 연소기 챔버, 가스 터빈, 열교환기나 고온 화학공업용 소재로 광범위하게 활용되고 있다.

또한 고온에서의 우수한 내마모성과 마찰 특성으로 인하여 항공기나 육상 수송용 장치의 브레이크 시스템 소재 활용되고 있으며, 내화성, 고온 기계적 특성 (creep

resistance), 중성자나 방사능에 대한 적응성으로 인하여 발전용 고온 핵반응기 (fission & fusion) 소재로 활용이 기대되고 있는 소재이다.

그러나 탄소섬유 강화 탄화규소 세라믹 복합체의 경우, 일반 산업용에 비해 항공우주나 국방용 부품이나 소재로 활용분야가 광범위한 공공성이 큰 소재기술이기 때문에 우리나라의 경우, 현재까지는 기술이전을 통한 상용화 추진은 2015년 이후에 활발히 진행될 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 가스 터빈, 고효율 열교환기나 고온 화학공업용 소재 등은 원천기술 확보를 통한 spin-off 대상 성과물이 될 수 있기 때문에 이들에 대한 맞춤형 산업 원천기술권리의 확보와 이의 산업체 기술이전을 통한 상용화 유도는 어느 정도 가능할 것으로 판단된다.

이에 따라 탄소섬유 강화 탄화규소 복합체의 성공적인

연구개발은 항공우주, 국방, 원자력 등 차세대 미래성장 동력 산업뿐만 아니라 최근의 저탄소·녹색성장에 부응할 수 있는 신재생에너지 산업 (풍력 및 태양열 발전), 차세대 전지 (연료전지, 수퍼캐패시터), 청정연료 (차세대 복합발전, 석탄 액화) 등의 산업 분야에 적용할 수 있는 새로운 세라믹 소재 기술이 될 수 있으며, 산업맞춤형 원천기술의 확립을 통해 시장다변화와 세계시장 진출을 통한 우리나라의 소재산업을 활성화시킬 수 있는 경제·산업적으로 매우 중요한 기술이라 판단된다.

### 감사의 글

본고는 교과부 우주핵심기술개발사업의 일환으로 작성되었음에 이에 감사드립니다.

#### 한인섭



- 1985 명지대학교 무기재료공학과 학사
- 1987 명지대학교 무기재료공학과 석사
- 1995 명지대학교 무기재료공학과 박사
- 2007 한국에너지기술연구원 융복합재료연구센터 센터장
- 현재 한국에너지기술연구원 반응분리소재 연구센터 책임연구원

#### 김세영



- 2003 한국항공대학교 항공재료공학과 학사
- 2005 한국항공대학교 항공재료공학과 석사
- 2006 하이닉스반도체 공정연구원
- 현재 한국에너지기술연구원 반응분리소재연구센터 선임연구원  
KAIST 신소재공학과

#### 우상국



- 1978 연세대학교 요업공학과 학사
- 1987 한국과학기술원 무기재료공학과 석사
- 1994 한국과학기술원 무기재료공학과 박사
- 2004 한국에너지기술연구원 에너지신소재 연구부 부장/센터장
- 2005 한국에너지기술연구원 에너지재료연구센터 센터장
- 2007 한국에너지기술연구원 융복합재료연구센터 책임연구원
- 현재 한국에너지기술연구원 선임연구본부장

#### 김정일



- 2000 충남대학교 고분자공학과 박사
- 2003 한국원자력연구소 박사후 연수
- 2006 대양산업 수석연구원
- 현재 (주)테크 부장 (수석연구원)

#### 정용희



- 2001 대양산업 입사
- 2005 충남대학교 고분자공학과 석사
- 2010 (주)제원티앤에스 과장
- 현재 (주)테크 과장 (선임연구원)