

## 論文

탄소/탄소 복합재료의 제조 및 마모특성에 대한  
탄소섬유 Precursor의 영향 연구

하헌승\* · 김동규\* · 조동환\* · 윤병일\*

**Effects of Carbon Fiber Precursors on the Fabrication  
and Wear Properties of Carbon-Carbon Composites**

H.S. Ha\*, D.G. Kim\*, D. Cho\* and B.I. Youn\*

**ABSTRACT**

In this paper the effects of carbon fiber precursors on the fabrication process and the wear properties of carbon-carbon composites which were fabricated by a liquid impregnation method using the resol-type phenolic resin as a matrix precursor and pitch-based and PAN-based carbon fibers as a reinforcement were investigated. It was observed that the surface properties of the carbon fiber used were influenced on the physical characteristics of carbon-carbon composites occurred at each fabrication process step. Recarbonization followed by the first carbonization and two times repeated impregnation/curing process was judged to be more effected on fabricating carbon/carbon composites using the phenolic resin identical with a matrix precursor as an impregnant. It was also concluded that high temperature treatment process plays a very important role not only in the densification of the carbon-carbon composites but also in the reduction of their wear rate.

**초 록**

본 논문에서는 표면처리를 하지않은 PAN계 및 깃치계 탄소섬유와 매트릭스 precursor로 레졸형의 페놀수지를 사용하여 액상함침법으로 탄소/탄소 복합재료를 제조할 때, 각 제조공정에서 발생되는 시편의 물리적 특성과 마모특성에 대한 탄소섬유 precursor의 영향에 대하여 연구하였다. 탄소섬유의 precursor에 따라 각 제조공정 단계에서 나타나는 시편의 물리적 특성은 사용된 탄소섬유의 표면 성질에 의해 크게 영향이 있음이 관찰되었다. 1차탄화 후, 2회의 함침/경화공정을 거친 다음에 재탄화하는 공정이 함침재로써 페놀수지를 사용한 탄소/탄소 복합재료를 제조하는데 있어서 고밀도화에 더욱 효과적인 공정으로 판단되었다. 또한 고온 열처리 공정이 탄소/탄소 복합재료의 고밀도화 뿐만 아니라 마모속도도 현저히 감소시키는데 매우 중요한 역할을 하였다.

\* 국방과학연구소

## 1. 서 론

탄소섬유 강화 탄소 복합재료(Carbon Fiber Reinforced Carbon Composite, CFRC)는 강화재와 매트릭스가 모두 탄소 물질로 되어있는 독특한 재료로써 탄소/탄소 복합재료(Carbon/Carbon Composites)라고도 한다. 이 재료는 고강도, 고탄성을, 높은 열전도도, 낮은 열팽창계수 및 2200°C 이상의 고온에서의 기계적 물성이 우수할 뿐만 아니라 전기전도성, 전자차폐성, 내부식성, 내약품성등 여러 우수한 물성을 갖고 있는 첨단 복합재료이다[1]. 이와 같은 우수한 물성으로 인하여 탄소/탄소 복합재료는 우주항공분야, 핵반응기 및 생체집합 재료 분야에 사용되고, 제동시 흡수에너지가 크고 고온 특성이 우수하여 안정된 제동효과를 나타내기 때문에 경주용 자동차나 항공기의 브레이크 디스크 소재로도 각광을 받고 있는 재료이다[2].

탄소/탄소 복합재료의 제조방법은 탄화수소를 열분해하여 탄소섬유 표면에 증착시키는 화학증착법(Cheical Vapor Deposition)[3]과 열경화성수지(페놀 및 furfuryl alcohol등)나 열가소성인 피치등을 함침시켜 탄화시키는 액상함침법(Liquid Impregnation)[4~6]이 있다. 일반적으로 액상함침법은 탄화후 탄화체 내에 많은 기공을 형성시켜 물성을 저하시키므로 고밀도화 공정을 통해 기공을 채워줘야 한다.

따라서, 본 연구에서는 PAN계와 피치(Pitch)계 탄소섬유를 사용하여 매트릭스 precursor로 페놀수지를 사용한 액상함침법으로 탄소/탄소 복합재료를 제조할 경우, 이들 탄소섬유의 precursor가 각 제

조공정 단계에서 발생하는 탄소/탄소 복합재료 시편의 물리적특성 및 마모특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실 험

### 2-1. 재 료

핏치계 탄소섬유를 사용한 프리프레그(PREPREG 1)는 미국 Fiberite Co.에서 제공받았고, PAN(Polyacrylonitrile)계 탄소섬유를 사용한 프리프레그(PREPREG 2)는 태광산업(주)에서 제공받은 표면처리를 하지않은 고강도형의 탄소섬유(HT-Type, Type-II)와 레졸형의 페놀수지(Resol-type Phenolic Resin)을 사용하여 제조하였다. 그들의 물성을 Table 1에 나타내었다. 함침용 수지로는 매트릭스 precursor와 동일한 페놀수지를 사용하였고, 그의 물성은 고형분(Solid Content)이 59.8wt%, 25°C에서의 점도가 900cps, 비중이 1.072, 1000°C까지의 탄소수율(Carbon Yield)이 60wt%였다.

### 2-2. Green body 제조

탄소/탄소 복합재료를 제조하기 위한 green body는 프레스(MTP-14 Press, Tetrahedron Co.)를 사용한 압축성형법으로 제조하였다. 38mm길이의 절단된 프리프레그를 80°C로 예열되어 있는 금형 내에 무질서하게 넣은 다음, Fig.1에 나타난 성형 cycle로 green body를 제조하였다. 제조된 green body의 크기는 100mm × 100mm × 10mm(t)였다.

Table 1. Physical Characteristics of Prepreg Used in This Study.

	Carbon Fiber				Resin Type	Prepreg		
	Precursor	Filament Counts	Surface Treatment	Density (g/cm <sup>3</sup> )		Chop Length(cm)	Resin Solids(wt%)	Volatile Content(wt%)
PREPREG 1	Petroleum pitch-based	4,000	NO	1.90	Phenolic	3.8	38.5~42.5	3.5~5.0
PREPREG 2	P.A.N- based	6,000	NO	1.80	Phenolic	3.8	35	4.8

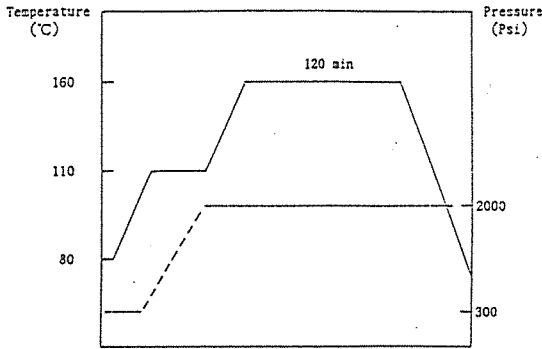


Fig. 1. Cure Cycle of Green Body Used in This Study. Heating and Cooling Rate were 4° F/min, Respectively. Pressing Rate was 5 K lb/min.

### 2-3. 탄화실험

제조된 green body의 1차 탄화는 box형의 furnace를 사용하여 공기중에서 수행하였다. 이때, 시편의 산화를 방지하기 위하여 green body 시편을 탄소분말로 충분히 덮어서 공기중의 산소와 시편과의 접촉을 방지하여 탄화하였다. 1차 탄화공정은 10°C/hr의 승온속도로 상온에서 1000°C까지 온도를 상승시킨 후 자연 냉각하는 조건을 사용하였다.

함침/경화 시편의 재탄화는 tube 형의 furnace를 사용하여 질소분위기 하에서 실시하였다. 재탄화 공정은 상온에서 200°C까지는 240°C/hr, 200°C에서 600°C까지는 20°C/hr, 600°C에서 1000°C까지는 60°C/hr의 승온 속도로 탄화한 다음, 자연냉각하는 조건을 사용하였다.

### 2-4. 함침 및 경화 실험

1차 탄화시편을 30mm × 40mm × 10mm(t)의 크기로 절단한 다음 함침실험을 하였다. 함침공정은 60mmHg의 감압 하에서 90분간 함침시키는 조건을 사용하였고, 사용시 수지의 점도는 25°C에서 900cps였다. 함침된 수지의 경화는 140°C에서 10분, 160°C에서 30분동안 air convection oven을 사용하여 상압에서 경화하는 조건을 사용하였다. 경화 후 시편의 표면에 묻어있는 경화된 수지를 완전히 제거하여 물

성측정을 한 후, 다음 실험에 사용하였다.

### 2-5. 고온 열처리 실험

3차 탄화시편의 고온열처리는 흑연저항로(Thermal Technology Inc.)를 사용하여 알곤 분위기에서 실시하였다. 고온열처리 공정은 20°C/min의 승온속도로 1200°C까지 상승시키고 30분간 유지한 다음, 최종 열처리 온도인 2100°C까지 15°C/min의 승온속도로 올리고 3시간 유지한 후 자연냉각하는 조건을 사용하였다. 탄화, 함침 및 고온열처리 시편의 밀도(Bulk Density)와 겉보기 기공율(Apparent Porosity)은 ASTM C-373에 의거한 수중치환법을 사용하여 측정하였다.

### 2-6. 마찰/마모 시험

탄소/탄소 복합재료의 마모특성을 살펴보기 위하여 pin-on-disk형의 마모시험기를 사용하여 마모시험을 하였다. 이때, Pin과 Disk로 사용된 재료는 모두 동일한 탄소/탄소 복합재가 사용되었다. 시험조건은 4Kg의 정하중을 가하여 마찰면 상에서 11 × 10<sup>4</sup>Kg/m<sup>2</sup>의 압력이 가해지도록 하였고, disk를 400rpm으로 회전시켜 미끄러짐 속도(Sliding Velocity)를 0.29 m/sec로 유지시켜 2시간동안 마모시험을 하였다.

사용된 시편은 3차탄화와 고온열처리 시편의 중앙부위에서 채취하였으며, 시편의 크기는 disk가 23mm × 23mm × 6mm(t)였고, pin은 6mm × 6mm × 5mm(t)였다. Disk와 pin의 초기마찰면의 상태를 균일하게 하기위해 마찰면을 sand paper(#1200)로 연마한 다음 마모시험을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. Green body 비교

핏치계 탄소섬유를 사용한 green body(SPECIMEN 1)와 PAN계 탄소섬유를 사용한 green body(SPECIMEN 2)의 밀도는 각각 1.54g/cm<sup>3</sup>와 1.46g/cm<sup>3</sup>였고, 겉보기 기공율은 각각 4.9%와 3.2%이었다.

동일한 조건에서 제조된 두 시편에서의 밀도차이는 Table 1에서 보여진 바와같이 사용된 탄소섬유 자체의 밀도에서 핏치계가 PAN계 보다 높기 때문인 것으로 설명할 수 있다. Green body에서의 겔보기 기공율은 내부결합과 관계있는 것으로 미루어 볼 때, PAN계 탄소섬유를 사용한 SPECIMEN 2가 핏치계 탄소섬유를 사용한 SPECIMEN 1에 비해 기공(Voids)이나 crack 등이 적음을 알 수 있었다. Green body 단면의 광학현미경 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 두 시편 모두에서 미세한 crack들이 주로 탄소섬유의 tow 내에 존재함을 관찰할 수 있었다. 이는 경화된 수지와 탄소섬유 사이의 열팽창계수 차이로 인하여 경화온도에서 상온으로 냉각될때 생성된 것으로 판단되었다 [7].

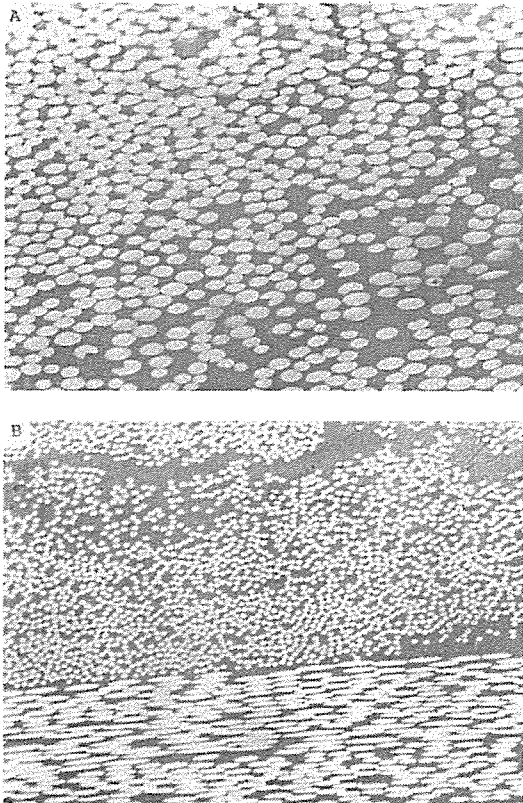


Fig. 2. Optical Micrographs of Green Body( $\times 100$ ).  
(A : SPECIMEN 1, B : SPECIMEN 2)

### 3-2. 1차 탄화

SPECIMEN 1과 SPECIMEN 2의 1차 탄화 결과 발생한 부피수축율(Volume shrinkage) 및 1차탄화체의 밀도와 겔보기 기공율을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Volume Shrinkage, Bulk Density and Apparent Porosity of the first Carbonized Specimen.

	Volume Shrinkage(%)	Bulk Density( $g/cm^3$ )	Apparent Porosity(%)
SPECIMEN 1	5.5	1.37	28.1
SPECIMEN 2	10.9	1.30	24.9

1차탄화시 발생된 부피수축율은 PAN계 탄소섬유를 사용한 SPECIMEN 2가 핏치계 탄소섬유를 사용한 SPECIMEN 1 보다 약 2배 정도의 큰 수축율을 나타내었다. 일반적으로, green body에서 탄소섬유와 매트릭스사이의 계면접착력이 나쁜경우 탄화시 매트릭스의 수축으로 인한 계면에서의 debonding이 발생하여 전체 시편의 수축율은 작아지는 반면 기공율은 증가한다. 이와는 반대로, 계면접착력이 좋은 경우에는 탄화시 매트릭스의 수축이 계면에서의 debonding을 야기시키지 보다는 결합력을 그대로 유지하면서 탄소섬유와 함께 수축을 일으키려는 경향으로 인해서 계면접착력이 나쁜 경우에 비해서 전체 시편의 수축율은 커지고 기공율은 감소하는 경향을 나타낸다. 핏치계 탄소섬유가 표면처리를 하지않은 고강도형(HT-Type, Type-II)의 PAN계 탄소섬유에 비해 표면에 관능기(Functional Group)가 적다는 Fitzer 등의 연구결과[8]로부터 SPECIMEN 2가 SPECIMEN 1에 비해 1차탄화시 큰 부피수축을 및 작은 겔보기 기공율을 나타낸 것은 탄소섬유의 표면성질이 다르기 때문에 나타난 현상으로 해석될 수 있다. 1차탄화체의 밀도는 green body와 비교해 볼때 두 시편 모두 거의 같은 정도로 감소하였음을 알 수 있었다.

### 3-3. 고온 열처리

SPECIMEN 1과 SPECIMEN 2의 3차탄화 후 고온 열처리 실험결과 발생한 부피수축율, 밀도와 겔보기 기공율의 변화를 Table 3에 나타내었다. 2100 $^{\circ}C$ 에

Table 3. Changes in the Volume Shrinkage, Bulk Density and Apparent Porosity and Weight Loss Occurred by High Temperature Treatment.

		Volume Shrinkage (%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	Apparent Porosity (%)	Weight Loss (%)
SPECIMEN 1	3 <sup>rd</sup> . Carb.	—	1.51	14.9	—
	H. T. T	2.4	1.52	22.0	1.4
SPECIMEN 2	3 <sup>rd</sup> . Carb.	—	1.42	11.6	—
	H. T. T	4.8	1.45	14.9	3.0

서의 고온 열처리 결과, SPECIMEN 2가 SPECIMEN 1에 비해 약 2배 정도의 큰 부피수축을 나타냄을 볼 수 있었다. 반면에, 겔보기 기공율은 SPECIMEN 2가 28%의 증가에 비해 SPECIMEN 1은 48%의 높은 증가율을 나타내었다.

고온열처리에 의한 중량감소는 주로 탄화시 발생된 잔류 분해생성물이나 미분해원소가 고온열처리 공정을 통하여 제거되기 때문에 발생된다. 본 실험에 사용된 PAN계 탄소섬유는 약 1400°C에서 제조된 고강도형이기 때문에 탄소섬유만을 2100°C까지 고온열처리한 결과, 섬유 자체의 중량감소 및 결정면의 층간거리(Interlayer Spacing), 즉  $c/2$ 가 0.358nm에서 0.345nm로 수축함에 의해 탄소섬유 필라멘트의 직경이 6.8 $\mu$ m에서 6.4 $\mu$ m로 감소하였다.

이와같은 현상으로부터 PAN계 탄소/탄소 복합재료(SPECIMEN 2)의 고온열처리 결과 발생된 큰 부피수축은 중량감소 뿐만 아니라 탄소섬유 자체의 수축에 의해 나타난 현상으로 판단된다. 또한 겔보기 기공율의 변화는 사용된 탄소섬유와 필라멘트 사이의 열팽창계수 차이로 인해 열처리 온도에서 상온으로 냉각될 때 발생한 것으로 사료된다. 밀도의 변화없이 겔보기 기공율이 증가된 점으로부터 알 수 있듯이, 고온 열처리 공정이 탄소/탄소 복합재료의 고밀도화에 효과적인 공정으로 판단되었다.

### 3-4. 겔보기 기공율 변화

핏치계와 PAN계 탄소섬유를 사용하여 탄소/탄소 복합재를 제조하는데 있어서 각 공정에 따른 겔보기 기공율의 변화를 Fig.3에 나타내었다. 1차탄화체의

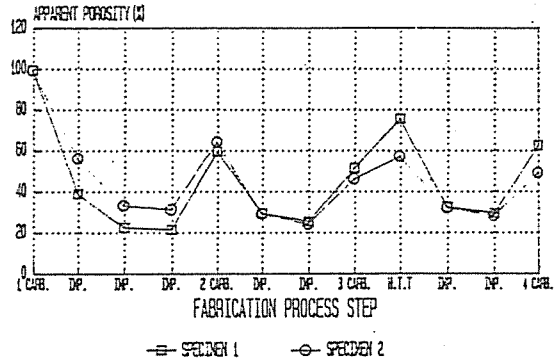


Fig. 3. Apparent Porosity Change According to the Fabrication Process of Carbon/Carbon Composites.

겔보기 기공율을 기준(100%)으로 하여 그 이후 공정에서의 겔보기 기공율의 변화를 상대적으로 나타내었다. SPECIMEN 1의 경우 28.1%를, 2의 경우 24.9%를 기준으로 하였다. 1차탄화 후 함침/경화 공정이 반복됨에 따라 겔보기 기공율이 감소하는 양상을 볼 수 있는데, 2차 함침/경화와 3차 함침/경화를 비교해 볼 때 기공율의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 이로부터, 1차탄화 후 2회의 함침/경화공정을 거친 시편에 대하여 2차탄화를 하는 것이 보다 효율적인 탄소/탄소 복합재료의 제조공정으로 판단되었다.

### 3-5. 밀도 변화

핏치계와 PAN계 탄소섬유를 사용하여 탄소/탄소 복합재를 제조하는데 있어서 각 공정에 따른 밀도의 변화를 Fig.4에 나타내었다. SPECIMEN 1이 SPECIMEN 2에 비해 전 공정에 걸쳐 높은 밀도를 나타내었다. 이는 앞에서도 설명하였듯이, SPECIMEN 1에 사용된 핏치계 탄소섬유의 밀도가 PAN계 탄소섬유의 밀도보다 크기 때문에 발생한 현상으로 판단되었다.

이와같이, 4차탄화까지의 공정으로 SPECIMEN 1의 경우 밀도가 1.60 g/cm<sup>3</sup>, 겔보기 기공율이 17%인 탄소/탄소 복합재를, SPECIMEN 2의 경우 밀도가 1.49 g/cm<sup>3</sup>, 겔보기 기공율이 12%인 탄소/탄소 복합재를 제조할 수 있었다.

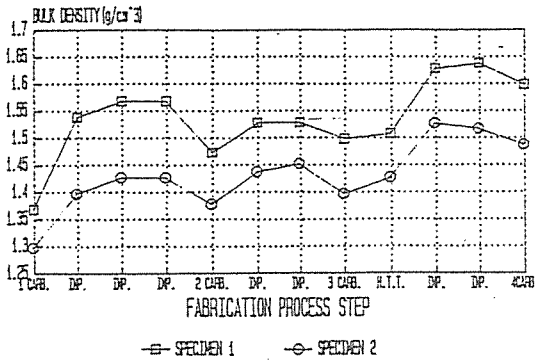


Fig. 4. Bulk Density Change According to the Fabrication Process of Carbon/Carbon Composites.

### 3-6. 마찰/마모 특성

마찰계수와 마모속도 마모시험에 사용된 시편의 밀도와 겉보기 기공을 및 pin-on-disk형의 마모시험 장치를 이용하여 400rpm, 4Kg의 정하중 하에서 측정된 각 시편의 마찰계수 및 마모속도를 Table 4를 나타내었다. SPECIMEN 1의 3차탄화시편은 주어진 조건하에서 마모속도가 너무 커서 마찰계수 및 마모속도를 측정할 수 없었다. SPECIMEN 2의 3차탄화시편과 고온열처리 시편의 마찰계수 및 마모속도를 비교하여 고온열처리 공정이 마찰/마모성질에 미치는 영향을 알 수 있었다. 고온열처리를 하므로써 마찰계수 및 마모속도가 감소하였는데, 특히 마모속도가 15배 정도 감소하는 효과를 나타내었다.

Table 4. Changes in the Volume Shrinkage, Bulk Density, Apparent Porosity and Weight Loss Occurred by High Temperature Treatment.

		Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	Apparent Porosity (%)	Friction Coefficient	Wear Rate (kg/m)
SPECIMEN 1	3 <sup>rd</sup> . Carb.	1.47	17.7	—	—
	H.T.T	1.52	23.0	$1.84 \times 10^{-1}$	$3.1 \times 10^{-9}$
SPECIMEN 2	3 <sup>rd</sup> . Carb.	1.39	14.9	$1.74 \times 10^{-1}$	$36.0 \times 10^{-9}$
	H.T.T	1.52	23.0	$1.43 \times 10^{-1}$	$2.3 \times 10^{-9}$

미세구조 관찰 Fig.5는 마모시험전 시편의 마찰면에 대한 주사전자현미경 사진이다. 3차 탄화시편(a)에 비해 고온열처리 시편(b)에서 섬유와 매트릭스 사이의 debonding 현상이 크게 나타남을 관찰할 수 있었다. 이는 고온열처리중 탄화시편의 폐기공(Closed Pore)내에 잔존해 있던 성분들이 제거됨에 따라 폐기공이 개기공(Open Pore)로 전환될 뿐만 아니라 섬유와 매트릭스사이의 열팽창계수 차에 의해 발생된 것으로 사료된다.

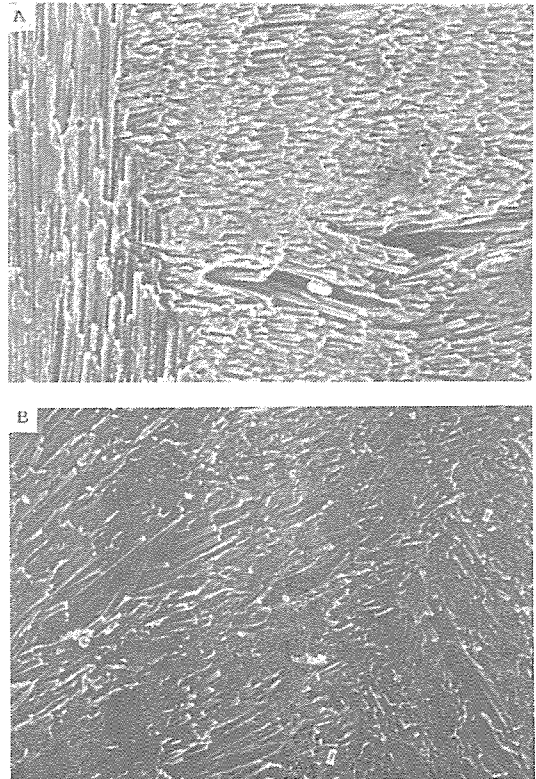


Fig. 5. S.E.M. Micrographs of the Surface of Carbon/Carbon Composites Before Wear Test ( $\times 200$ ). (A : 3<sup>rd</sup>. Carbonized SPECIMEN 2, B : High Temperature Treated SPECIMEN 2)

Fig.6은 마모시험후 마찰면에 대한 주사전자현미경 사진이다. 3종류의 시편 모두에서 마모 track 및 마찰 film(사진상에서 검게 나타난 부분)과 크랙들을 관찰할 수 있었다. 마찰면과 비마찰면을 비교해 보면, 마찰면이 매끄럽게된 것을 관찰할 수 있는데, 이것은

미끄럼 마찰이 시작됨에 따라 마모조각(Wear Debris)이 생성되고 이들 마모조각이 마찰표면에 존재하는 크랙이나 요철부분 등에 채워져서 마찰면을 평탄하게 만든 다음, 여기에 계속적인 미끄럼 마찰이

작용하여 매끄러운 마찰면이 생성된 것으로 판단되었다.

탄화시편(a)에서는 마찰면의 크랙 속에서 마모조각을 관찰하기 어려웠지만, 고온열처리 시편(b)에서는 마찰면의 크랙들이 마모조각들에 의해 채워져 있는 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 7은 이를 보다 자세히 관찰하기 위해 마찰면에 존재하는 크랙 부분을 확대시켜 관찰한 사진이다. Fig. 7-(a)의 경우 마찰면의 크랙에서 마모조각을 관찰하기 어려웠지만, 고온열처리 시편(b)의 경우에는 미세한 마모조각들이 크랙속에 채워져 있음을 관찰할 수 있었다. 또한, 탄화시편에 비해 고온열처리 시편에서 보다 크고 연속적인 마찰 film이 형성되어 있음을 관찰할 수 있었다. 이와같은 마모현상의 차이로 인하여 고온열처리 시편이 탄화시편에 비해 상

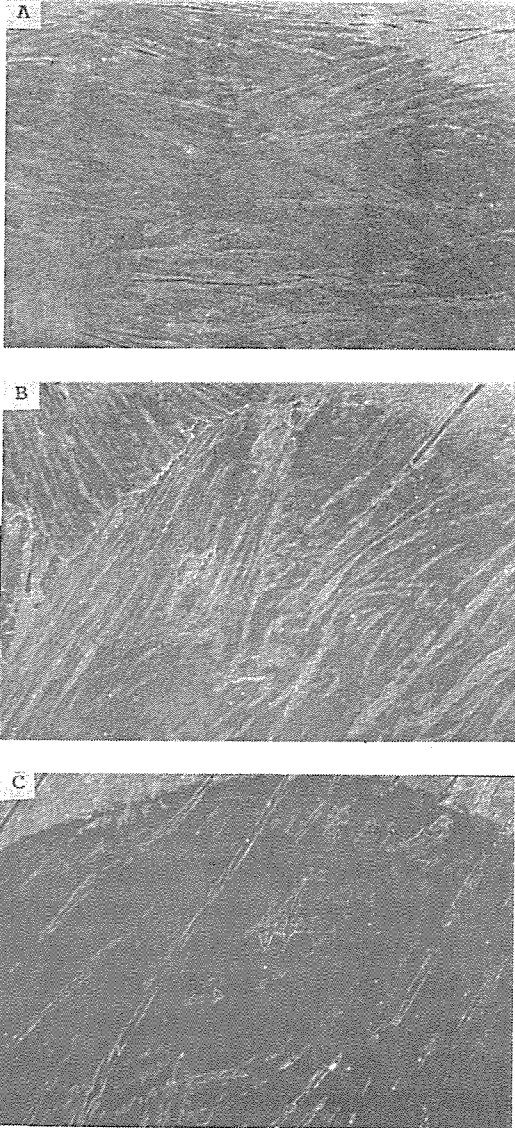


Fig. 6. S. E. M. Micrographs of the Surface of Carbon/Carbon Composites After Wear Test ( $\times 10$ ). (A : 3<sup>rd</sup>. Carbonized SPECIMEN 2, B : High Temperature Treated SPECIMEN 2, C : High Temperature Treated SPECIMEN 1)

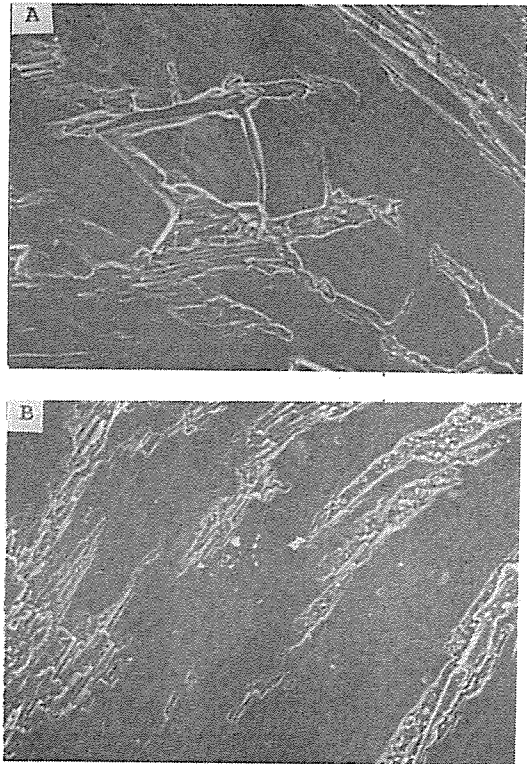


Fig. 7. S. E. M. Micrographs of the Friction Surface of Carbon/Carbon Composites ( $\times 100$ ). (A : 3<sup>rd</sup>. Carbonized SPECIMEN 2, B : High Temperature Treated SPECIMEN 2)

대적으로 적은 마모속도와 마찰계수를 나타내는 것으로 판단되었다.

핏치계와 PAN계 탄소섬유를 사용한 시편의 마찰면에 대한 주사전자현미경 사진을 Fig. 8에 나타내었다. 일반적으로 PAN계 탄소섬유에 비해 핏치계 탄소섬유는 흑연화가 쉽게 일어나기 때문에 층간구조가 잘 발달되어 있어서 핏치계 탄소섬유가 보강된 탄소/탄소 복합재료가 마찰계수가 낮고 윤활성이 우수하여 마찰 film의 형성이 용이하여 마모속도가 적은 경향이 있다. 그러나, 본 실험결과는 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 PAN계 탄소섬유를 사용한 시편(a)의 경우 비교적 균일한 마찰 film을 형성하고 있는 데 반해서, 핏치계 탄소섬유를 사용한 시편(b)의 경우에는 마찰 film의 손상 및 크랙들에 의해 마찰 film이 연속적이지 못함을 관찰할 수 있었다.

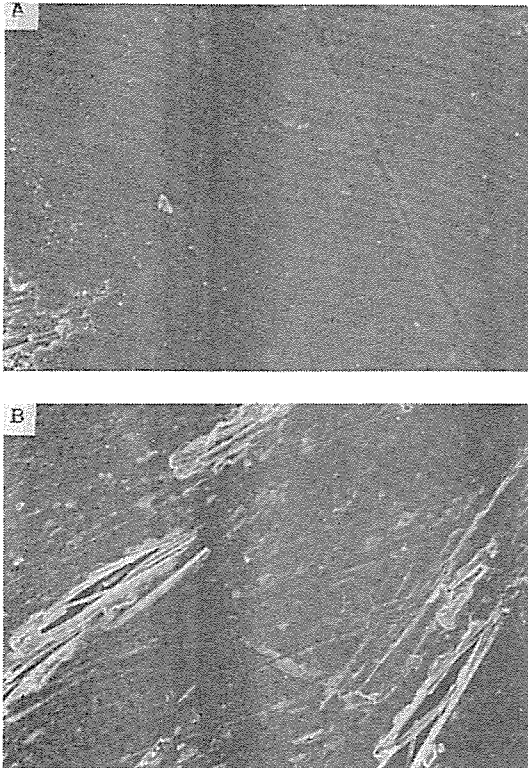


Fig. 8. S. E. M. Micrographs of the Friction Surface of Carbon/Carbon Showing the Friction Film ( $\times 100$ ). (A : SPECIMEN 2, B : SPECIMEN 1)

또한 Table 4을 보면 PAN계 탄소섬유를 사용한 시편이 핏치계 탄소섬유를 사용한 시편에 비해 상대적으로 적은 마찰계수와 마모속도를 나타내었다. 이와같은 반대현상은 섬유의 표면성질의 차이가 탄소/탄소 복합재료를 제조할 때 시편의 물리적 특성을 변화시켜 최종 탄소/탄소 복합재료의 마찰면 특성(마찰면의 크랙등)이 달라졌기 때문에 나타난 현상으로 설명될 수 있다. 이와같은 현상으로부터 탄소 섬유 precursor에 따른 섬유의 표면특성의 변화가 탄소/탄소 복합재료의 마모특성에 상당한 영향이 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

PAN계 및 핏치계 탄소섬유를 사용하여 액상침투법으로 탄소/탄소 복합재료를 제조할 때, 탄소섬유의 precursor에 따라 각 제조공정에서 발생하는 시편의 물리적 특성(부피수축율, 밀도와 겉보기 기공율) 및 탄소/탄소 복합재료의 마모성질에 미치는 영향을 고찰하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표면처리를 하지않은 PAN계 탄소섬유를 사용한 경우가 핏치계 탄소섬유를 사용한 경우에 비해 1차탄화시 2배 정도의 큰 부피수축율을 나타내었을 뿐만 아니라 상대적으로 적은 겉보기 기공율을 나타냄을 알 수 있었다.
2. 고온열처리 공정이 탄소/탄소 복합재의 고밀도화에 효과적일 뿐만 아니라 마모 속도를 약 15배 정도까지 현저히 감소시킴을 알 수 있었다.
3. 탄소섬유의 precursor에 따른 섬유의 표면특성 변화가 탄소/탄소 복합재료의 물리적 특성을 변화시킴으로써 그의 마모특성에 상당한 영향이 있음을 알았다.

#### 참 고 문 헌

1. 林幹夫外, “炭素纖維의 應用技術”, 1984, pp. 116-131.
2. S. Awashi and J.L. Wood, Carbon/Carbon Composite Materials for Aircraft Brakes, Ceramic



Eng. Sci. Proc., 1988, pp.553-556.

3. W.V. Kotlensky, "Deposition of Pyrolytic Carbons in Porous Solids in Chemistry and Physics of Carbon", Vol.9, P.L. Walker, Jr. and P.A. Thrower Ed., Marcel Dekker Inc., New York (1989).

4. E. Fitzer, E.H. Geigl and W. Hutiner, Studies on Matrix Precursor Materials for Carbon-Carbon Composites, 5<sup>th</sup> London Int. Carbon and Graphite Conf., Vol.1, 1978, pp.493.

5. W.L. Lachman, J.A. Crawford and L.E. McAllister, "Multidirectionally Reinforced Car-

bon-Carbon Composites", B. Noton, R. Signorelli, K. Street and L. Phillips, Eds., Proc. of Int. Conf. on Composite Material, New York (1978).

6. E. Fitzer, "Carbon Fibers and Their Composites : A REVIEW", High Temp. High Press., Vol.16, 1984, pp.363-392.

7. J. Delmonte, "Technology of Carbon and Graphite Fiber Composites", 1981, pp.233.

8. E. Fitzer, Carbon, Vol.25, 1981, pp.163-190.

