

## 탄소섬유 물리적 특성 향상을 위한 스퍼터링 탄소박막의 특성에 대한 연구

박철민<sup>1,2</sup>, 박용섭<sup>3</sup>, 김재문<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

<sup>2</sup> 한국교통대학교 교통전문대학원

<sup>3</sup> 조선이공대학교 광전자과

### Characteristics of Sputtering Carbon Films for the Improvement of Physical Properties in Carbon Fiber

Chulmin Park<sup>1,2</sup>, Yong Seob Park<sup>3</sup>, and Jae-Moon Kim<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Advanced High-speed Railroad Systems Research Division, Korea Railroad Research Institute, Uiwang 16105, Korea

<sup>2</sup> Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Uiwang 16106, Korea

<sup>3</sup> Department of Photoelectronics, Chosun College of Science and Technology, Gwangju 61453, Korea

(Received October 12, 2015; Revised October 19, 2015; Accepted October 22, 2015)

**Abstract:** We investigated the characterizations of carbon films fabricated by dual magnetron sputtering under various RF powers for the improvement of physical properties in carbon fiber (CF). All sputtered carbon films exhibited amorphous structure, regardless of RF powers, resulting in uniform and smooth surfaces. The hardness and elastic modulus are increased with the increase of RF power, and the adhesion and friction properties of carbon films were improved with the increase of RF power. In the results, The increase of RF power in the sputtering method improved tribological properties of the carbon films, and these attributes can be expected to improve the physical properties of the carbon fiber reinforcement plastics.

**Keywords:** Carbon, Dual magnetron sputtering, Hardness, Surface roughness, Carbon fiber

#### 1. 서 론

탄소섬유(carbon fiber, CF)는 높은 강도와 탄성계수 등 우수한 물리적 특성을 바탕으로 최근 여러 가지 복합재료의 보강섬유로서 활용이 고려되어지고 있다

[1-4]. 그러나 현재 철도에서 철도차량을 위한 경량화 소재로서 활용되어지고 있는 탄소섬유 복합소재(carbon fiber reinforcement plastics, CFRP)는 금속 소재와의 계면적합성이 좋지 않기 때문에 그 활용도는 적다. 또한 탄소섬유의 긴 제작공정 때문에 시제품 제작을 위한 제작비용이 증가하며, 단일 탄소 섬유 응용 시 탄소 고유 특성인 물리적 특성 중 탄성 특성은 매우 우수하지만 이에 비해 기타 다른 물리적 특성들은 많은 향상이 요구되어진다. 그리고 또한 탄소섬유의 응용을 위해서는 탄소섬유의 정렬과 결합을 위한

a. Corresponding author; [goldmoon@ut.ac.kr](mailto:goldmoon@ut.ac.kr)

Copyright ©2015 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

폴리머 수지가 꼭 필요하게 되는데 폴리머 수지와 결합 시 높은 작업공정 온도와 압력이 요구되어지기 때문에 다양한 분야에 응용하기에는 다소 어려움이 있으며, 추가적으로 시제품을 만들기 위해서는 더 많은 추가공정이 필요하게 되어 탄소섬유의 응용에서 많은 제약이 따른다. 본 연구에서는 탄소섬유 복합소재의 다양한 응용을 위하여 탄소섬유의 제조공정을 줄이고 탄소섬유의 물리적 특성 향상과 성능 개선을 위한 방안으로 탄소섬유와 같은 구성 성분이 탄소박막을 제시하고자 하며 탄소박막은 플라즈마 공정 중 하나인 스퍼터링법에 의해 제작하고자 한다 [5,6]. 탄소섬유의 표면에 금속 또는 탄소 물질을 코팅함으로써 금속이나 탄소와 접합이 가능한 복합소재를 개발하여 탄소섬유의 방향에 따른 기계적 강도 저하를 최소화 할 수 있다 [7]. 우선, 탄소섬유 표면에 탄소박막을 코팅하기 전 단계로 탄소박막의 증착조건을 확립하고, RF (radio frequency) 전력 따라 제작되어진 박막의 물리적 구조적 특성을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험 방법

탄소박막은 2개의 흑연(4인치) 타겟이 장착되어진 듀얼 마그네트론 스퍼터링을 이용하였으며, 3×3 cm<sup>2</sup> 크기의 실리콘 기판 위에 증착하였다. 초기 진공도는 5×10<sup>-6</sup> Torr를 유지하였으며, 순도 99.99%의 아르곤(Ar) 50 sccm을 스퍼터링 가스로 사용하여 2×10<sup>-3</sup> Torr의 증착 압력을 고정하였다. 이 조건 하에 흑연타겟의 RF 전력을 다양하게 하여 120 nm의 두께로 탄소박막을 제작하였다. 제작되어진 탄소박막의 표면거칠기 등 구조적 특성과 경도 등 물리적 특성들을 조사하였다. 박막의 두께와 구조 특성 분석을 위하여 전계방출주사현미경 (FESEM, Jeol, JSM6700F)와 XRD (X-ray diffraction)를 사용하였으며, 표면 특성 분석을 위하여 나노시스템(Nanosystem : nano view-E1000)을 사용하였다. 탄소박막의 물리적 특성들인 경도와 탄성계수, 그리고 접착력과 마찰계수 등을 측정하기 위해 나노인덴터(MTS, Nano-indenter II), 나노스크래치 테스터 (J&L Tech, JLST 022)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 80 W의 RF 전력에서 제작된 탄소박막의 FESEM 표면 이미지를 나타낸다.

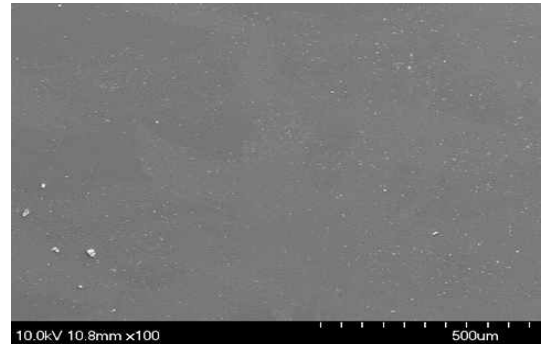


Fig. 1. FESEM surface images of carbon films fabricated at the condition of 80 W RF power.

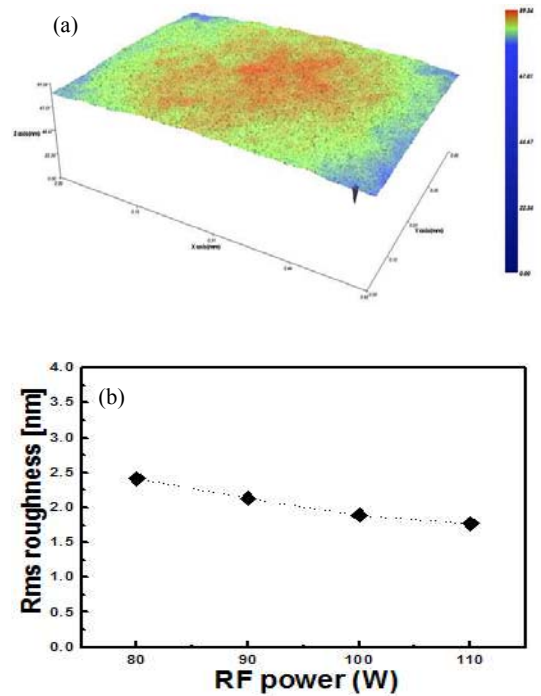


Fig. 2. (a) Rms surface images of carbon films fabricated at the conditions of 110 W RF power and (b) the change of Rms surface roughness in carbon film measured by using nanosystem.

그림에서 확인할 수 있듯이, 모든 RF 전력에서 증착되어진 탄소박막의 표면에서는 결정성이 보이지 않는 부드러운 표면과 균일한 표면을 확인할 수 있다.

그림 2(a)는 110 W RF 전력에서 제작되어진 탄소박막의 표면이미지 측정 결과를 보여준다. 전체적으로 균일하고 부드러운 표면을 나타내는 것을 확인할 수

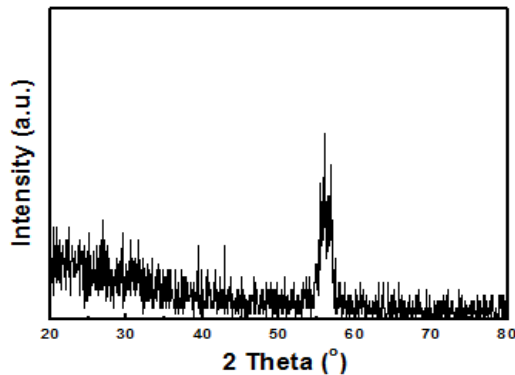


Fig. 3. XRD pattern of carbon film fabricated at the condition of 110 W RF power.

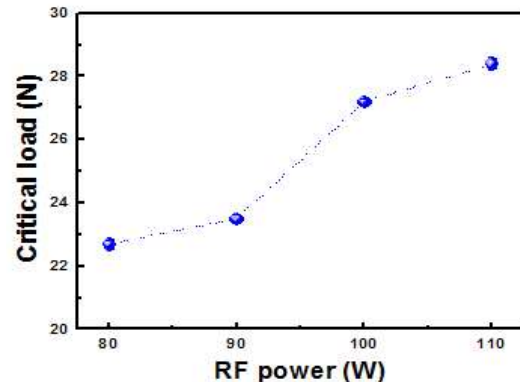


Fig. 5. The critical load value of carbon films as a function of RF powers.

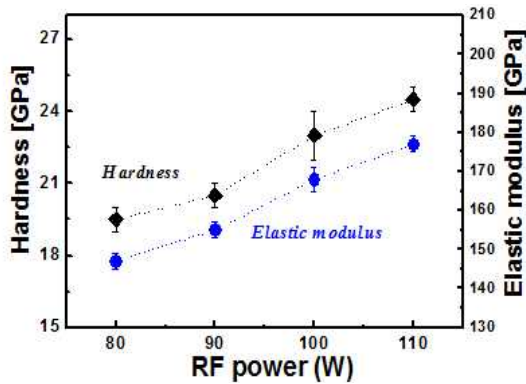


Fig. 4. The hardness and elastic modulus of carbon films as a function of RF powers.

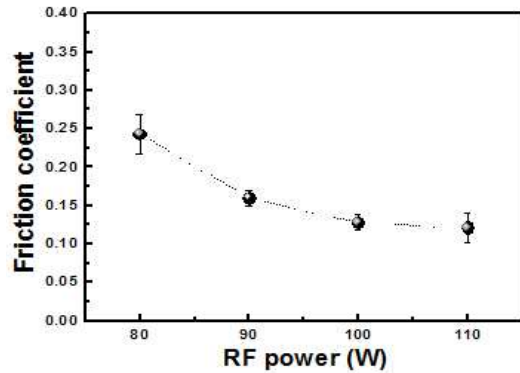


Fig. 6. The friction coefficient of carbon films as a function of RF powers.

있다. 또한 그림 2(b)는 RF 전력의 증가에 따라 증착되어진 탄소박막의 표면거칠기(Rms surface roughness) 값의 변화를 나타낸다. 결과에서 보듯이, 탄소박막의 표면거칠기 값은 RF 전력의 증가에 따라 다소 감소된다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 RF 전력이 증가함에 따라 기판 주위에서 플라즈마 이온의 에너지 증가로 인해 향상되어지는 스퍼터링 효과의 영향이라고 판단되어진다 [8,9].

그림 3은 110 W의 RF 전력에서 제작된 탄소박막의 구조적 특성 고찰을 위한 XRD 회절패턴 결과를 나타낸다. 회절패턴에서는 실리콘 기판의 주 피크인  $2\theta=56^\circ$ 를 제외한 어떠한 피크도 관찰되지 않았으며, 이러한 결과는 듀얼 마그네트론 스퍼터링 장치로 제작한 탄소박막은 다양한 RF 전력과 상관없이 비정질 특성을 나타낸다는 것을 확인하였다.

그림 4는 다양한 RF 전력에 따라 제작되어진 탄소박막의 경도와 탄성계수 값의 변화를 나타낸다. 결과에서 보듯이 탄소박막의 경도와 탄성계수 값은 RF 전력의 증가에 따라 증가하였다. 탄소박막의 물리적 특성인 경도와 탄성계수 값의 증가의 결과는 표면에서 확인할 수 없는 구조적 특성 변화에 기인한다고 판단할 수 있다. 결론적으로 탄소박막의 물리적 특성 증가는 RF 전력의 증가에 따라 증가되어지는 플라즈마 내의 이온들의 에너지에 의한 구조적 변화의 결과라고 할 수 있다 [10,11]. RF 전력의 증가에 따라 박막이 증착되어지는 기판 주위에서는 에너지가 증가된 이온들이 이온 충돌(ion-bombardment)과 리스퍼터링(re-sputtering)이 활발하게 일어나게 되어 박막이 증착되어지는 동안 구조적으로 변화를 일으키게 된다 [8,9]. 즉, 탄소 결합력의 변화를 유도하여 탄소박막의 물리적 특성인 경도와

탄성계수 특성을 향상시키는 것으로 판단할 수 있다.

그림 5는 다양한 RF 전력에 따라 제작된 탄소박막과 실리콘 기판과의 접착력 특성인 임계하중(Critical load) 값의 변화를 나타낸다. 결과에서 보듯이 기판의 접착 특성을 나타내는 임계하중의 최댓값은 110 W의 RF 전력에서 28.5 N을 가지며, RF 전력에 따라 탄소박막과 실리콘 기판과의 접착력 값은 증가되었다. 이러한 결과는 RF 전력의 증가에 따라 플라즈마 내에 이온들의 에너지가 증가하게 되어 에너지를 얻은 이온들의 기판주위에서 이온 충돌(ion-bombardment)과 리스퍼터링(re-sputtering)을 활발하게 진행하여 박막의 조직 밀도의 증대를 야기하고 기판과 박막 사이에 접착 특성을 향상시키는 것이라고 판단되어 진다 [8,9,12,13].

그림 6은 RF 전력의 증가에 따라 제작된 탄소박막의 마찰계수 특성을 나타낸다. 다양한 RF 전력에 따라 듀얼 마그네트론 스퍼터링 장치에 의해 제작된 탄소박막은 낮은 마찰계수 값을 나타낸다. 또한 결과에서 보듯이 RF 전력의 증가에 따라 탄소박막의 마찰계수 값은 감소되어 졌다. 이러한 결과는 RF 전력의 증가는 박막의 조직 밀도를 증가시켜 박막이 쉽게 벗겨지거나 긁히지 않게 하는 것으로 판단되어지며 이러한 결과는 경도와 접착 특성의 향상과도 관계되어 진다 [14].

#### 4. 결 론

탄소섬유의 물리적 특성을 향상시키기 위하여 듀얼 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 탄소박막을 제작하였다. 탄소박막은 다양한 RF 전력에 따라 제작하였으며, 제작되어진 탄소박막의 구조적, 물리적 특성 등을 고찰하였다. 다양한 RF 전력에 따라 제작되어진 모든 탄소박막의 표면은 균일하고 부드러운 특성을 보이는 비정질 특성을 나타내었다. 물리적 특성과 표면 특성에서 탄소박막의 표면 거칠기 값은 RF 전력의 증가에 따라 다소 감소하였으며, 경도와 탄성계수 특성은 증가되었다. 또한 기판과 탄소박막 사이에 접착 특성인 임계하중 값 역시 증가하였으며, 마찰계수 값은 RF 전력에 따라 감소하였다. 결론적으로 RF 전력의 증가는 탄소박막의 물리적 특성 향상에 기인하는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 특성은 탄소섬유의 물리적 특성 향상을 기대할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(자체사업)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] K. Y. Rhee, M. K. Shin, and N. S. Choi, *J. Adh. Sci. & Tech.*, **17**, 1619 (2003).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156856103322396703>]
- [2] J. Fujimoto and T. Tamura, *Adv. Compo. Mat.*, **7**, 365 (1998).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1163/156855198X00255>]
- [3] R. Kalfat and R. Al-Mahaidi, *Composite Structures*, **92**, 2738 (2010).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.04.004>]
- [4] J. Robertson, *Mater. Sci. Eng. R*, **37**, 129 (2002).  
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-796X\(02\)00005-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-796X(02)00005-0)]
- [5] J. Robertson, *Pure Appl. Chem.*, **66**, 1789 (1994).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1351/pac199466091789>]
- [6] Y. Lifshitz, *Diamond Relat. Mater.*, **8**, 1659 (1999).  
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-9635\(99\)00087-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-9635(99)00087-4)]
- [7] C. M. Park, *Proc. of KIEE Autumn Conference*, 2014.11,286-287 (2014).
- [8] A. Grill, *Surf. Coat. Technol.*, **94**, 507 (1997).  
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(97\)00458-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(97)00458-1)]
- [9] Y. S. Park, H. S. Myung, J. G. Han, and B. Hong, *Thin Solid Films*, **482**, 275 (2005).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2004.11.160>]
- [10] A. Czyzniewski, *Thin Solid Films*, **433**, 180 (2003).  
[DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090\(03\)00324-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090(03)00324-9)]
- [11] S. Miyake, T. Hashizume, W. Kurosaka, M. Sakura, and M. Wang, *Surf. Coat. Technol.*, **202**, 1023 (2007).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.07.079>]
- [12] T. Takeno, T. Sugawara, H. Miki, and T. Takagi, *Diamond Relat. Mater.*, **18**, 1023 (2009).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2009.01.029>]
- [13] T. Polcar, M. Evaristo, and A. Cavaleiro, *Vacuum*, **81**, 1439 (2007).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2007.04.010>]
- [14] Y. Jeon, Y. S. Park, H. J. Kim, W. S. Choi, and B. Hong, *J. Korean Phys. Soc.*, **51**, 1124 (2007).  
[DOI: <http://dx.doi.org/10.3938/jkps.51.1124>]