탄소 나노 섬유의 와이어 방전 가공 및 시스템 구성

ire lectrical Discharge Machining of ar on anofi er and stem Design

박진우 [1], *#김보현 [2], 정도관 [1], 김왈준 [1], 김용협 [1], 주종남 [1]
J. W. Park[1], *#B. H. Kim(kimbh@andong.ac.kr)[2] , D.K. Chung[1], W. J. Kim[1], Y.H. Kim[1], J. N. Chu[1]
[1] 서울대학교 기계항공공학부, [2] 안동대학교 기계공학과

Key words : Wire Electrical discharge machining(W-EDM), Nano technology, Carbon Nanofiber(CNF)

1. 서론

CNFs 는 직경이 수 나노미터에서 수백 나노미터, 길이는 수 마이크로미터에서 수 밀리미터로 다양하며, 원통형 또는 콘형 구조로 되어있는 것이 특징이다. 또한 CNFs 는 세장비(aspect ratio)가 높고, 가동 전압이 낮아서 새로운 전계 방출 물질로 주목을 받고 있다 [1-2]. 전계 방출 물질로서 성능을 높이기 위해서는 높이가 일정한 CNFs 필름을 만들어야 한다. 이를 위해 레이저, 플라즈마를 이용하는 방법이나 화학적, 물리적인 방법 등이 연구되고 있고 [3-5], 새롭게 방전 가공(Electrical Discharge Machining)을 이용하여 CNFs 를 평탄화하는 방법이 개발되었다 [6]. 그러나 기존의 원형 툴을 이용한 방법은 가공 시간이 오래 걸리고, 툴의 이송 경로가 복잡한 것이 문제가 되고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 미세 와이어 방전을 CNFs 가공에 적용하였으며 그 가공 특성과 장단점에 대해 연구하였다.

2. 시스템 구성

와이어를 이용한 미세 방전 가공의 개략도는 Fig. 1 과 같다. 틸팅 스테이지를 X-Y-Z 이송 기구에 장착하고, 그 위에 시편을 고정시킨다. Fig. 2 와 같이 와이어 지그에 와이어를 장착하고 Z 축 수동 이송기구와 틸팅 스테이지를 이용하여 와이어가 시편에 평행이 되도록 맞춘 뒤 Fig. 3 과 같이 미세 방전 가공을 한다.

일반적으로 방전 가공에서 쓰이는 절연액은 CNFs 에 손상을 주거나, 다른 변형이 생길 우려가 있으므로 가공은 공기 중에서 이루어진다. CNFs 를 가공할 때에는 큰 방전 에너지가 필요하지 않고, 방전 에너지가 작을수록 유리하기 때문에 상대적으로 작은 방전 에너지를 낼 수 있는 RC 회로를 사용하였다.

기존의 원형 툴을 이용한 방전 가공에서는 이송 속도를 약 200 μm/s로 설정하여 가공했지만 [6], 와이어 방전 가공에서는 한번에 가공하는 양이 더 많고, 더 낮은 전압을 사용하기 때문에 약 20 μm/s 의 속도로 가공하였다. 와이어는 인장력을 충분히 줄 수 있도록 텅스텐 재질을 사용했고, 직경 100 μm 와 50 μm 인 와이어를 사용하여 실험하였다.

일반적으로 EDM 에서는 툴과 시편의 상대적인 위치를 전기적인 단락으로 알아낸다. 그러나 CNFs 는 와이어와 접촉하는 순간 이미 가공이 이루어지기 때문에 와이어가 시편에 접근하여 스파크가 일어나는 순간을 기준 위치로 설정하였다. 또한 단락을 이용한 피드백도 받을 수가 없기 때문에 Open loop system 으로 구성하였다.

CNFs 의 방전 가공에서는 방전 에너지가 작고, 툴의 마모도 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 와이어를 순환시키지 않고 실험을 진행하였다. CNFs 는 웨이퍼(Wafer) 위에 약 2 cm × 2 cm 면적에 약 50μm 에서 80μm 높이로 합성시켰다. CNFs 합성 방법으로 화학 기상 성장법 (Chemical vapor deposition, CVD)을 이용하였으며, NH_3/ C_2H_2 가스에 Ni 를 촉매로 써서 600 ℃에 약 20 분 동안 성장시켰다.

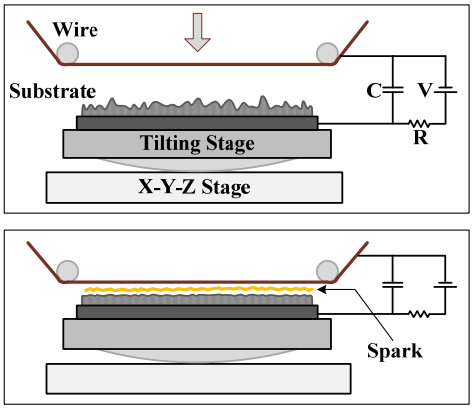


Fig. 1 Experimental system

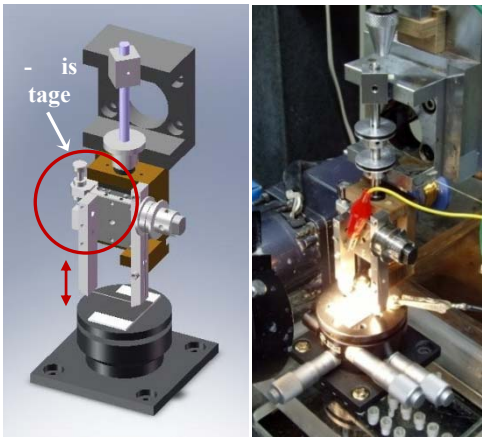


Fig. 2 the Design of Wire Jig

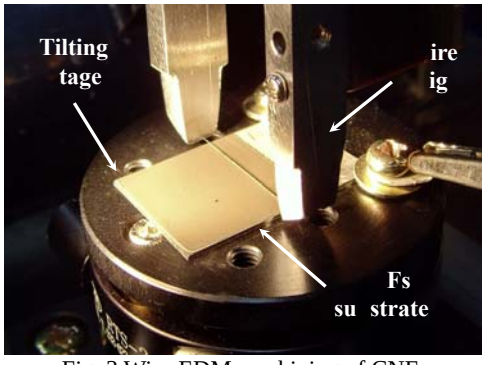


Fig. 3 Wire-EDM machining of CNFs

3. Fs 가공

공기 중에서 CNFs 를 방전 가공하면 스파크가 발생하고 가공된 단면은 형태상으로 약간 변형이 생긴 것이 관찰되나 근본적인 성질에는 큰 변화가 없다 [6]. 기본적인 가공 특성은 원형 툴로 방전 가공할 때와 크게 다르지 않으므로 같은 환경에서 추가적인 가공 특성에 대해서 알아보고, 원형 툴과의 차이를 고려하여 최선의 가공 조건을 찾아내는

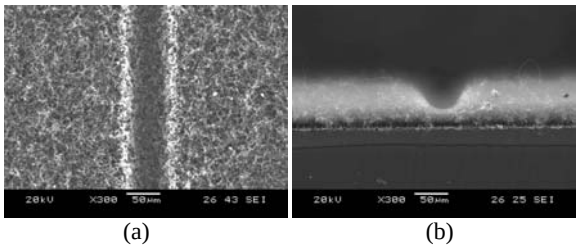
것을 목표로 하였다.

와이어의 직경에 따른 가공 면의 차이를 알아보았다. 와이어로 가공하기 때문에 미세 홈(micro groove)을 가공하면 Fig. 4 와 같이 가공 단면이 둥글게 나온다. CNFs 를 전체적으로 가공하여 평탄화할 때에는 상관 없지만, 미세 홈이나 패턴 가공을 할 때에는 와이어의 직경이 작을수록 바람직하다.

다음은 회로에 인가되는 전압의 효과에 대해서 알아보았다. 원형 툴을 사용할 경우를 참고하여 30 V ~ 100 V 사이의 전압을 회로에 인가한 다음 실험했고, 50 μm 와이어를 사용하였다. 40 V 이하의 전압에서는 가공 속도가 눈에 띄게 줄어들고, CNFs 의 밀도가 높은 CNFs 의 뿌리 부분에서는 가공이 충분히 이루어지지 못하여 지속적으로 단락이 일어나는 현상이 발생하였다. Fig. 5 는 50 μm 와이어를 이용하여 미세 홈을 가공한 사진이다. 전압이 높아질수록 경계면이 고르지 못하고, 가공 간극이 커지는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 가공이 원활하게 이루어 지면서 전압이 가장 작은 50 V 가 가장 적당한 전압이라고 할 수 있다.

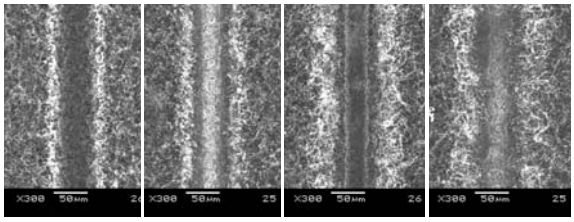
회로에 인가되는 축전 용량의 효과에 대해서 알아보았으며 원형 툴을 이용한 가공에서와 같은 경향성을 보여주었다. 가공 속도에서는 큰 차이가 없고, 축전 용량이 작을수록 가공 면이 좋은 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 부유 용량(Stray capacitance)을 사용하는 것이 가장 적절함을 알 수 있다. 가공 면의 차이를 Fig. 6 에 나타냈다.

원형 툴을 이용한 방전 가공과 와이어 미세 방전 가공의 차이점과 이점을 비교해 보기 위하여 CNF 필름의 표면을 평탄하게 하는 가공을 했다. 균일한 전계 방출을 얻기 위해서는 CNFs 의 길이가 일정한 것이 좋다. 따라서 CNF 를 가공하여 그 길이를 균일하게 한다. 원형 툴을 이용한 방전 가공에서는 지그재그(Zigzags)형태로 툴이 이송하여 가공을 하기 때문에 가공 시간이 상당히 오래 걸린다. 하지만 와이어를 전극으로 이용하여 한번에 많은 면적을 동시에 가공함으로써 결과적으로 1mm 툴로 가공할 때와 비교하여 가공시간을 약 78 %줄일 수 있었다. Fig. 7 은 와이어 방전을 이용하여 CNFs 를 평탄하게 가공한 예이다.



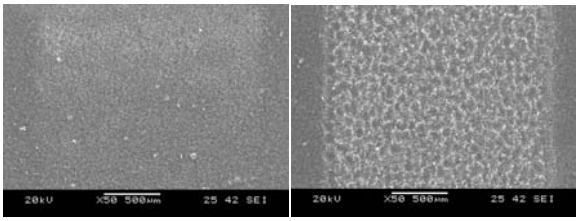
(a) (b)

Fig. 4 Micro groove (Ø50 μm wire, 50 V, stray capacitance)



(a) (b) (c) (d)

Fig. 5 the Change of machining gap according to voltage
(a) 50 V (b) 60 V (c) 80 V (d) 100 V



(a) (b)

Fig. 6 the Machined surface according to capacitance
(a) 80 V, stray capacitance (b) 80 V, 10000pF

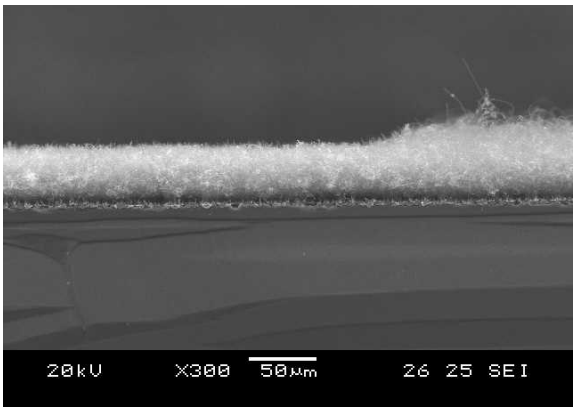


Fig. 7 Leveled CNF films (Ø100 μm wire, 50 V, stray capacitance)

4. 결론

기존의 원형 툴을 이용하여 CNFs 를 방전 가공하는 기술을 발전시키기 위하여 와이어를 이용한 방전 가공을 이용하였다. 가공 조건은 50 V 에서 부유 용량을 사용하였으며, 평탄화 가공을 할 때에는 100 μm 와이어를 사용하고, 패턴 가공을 할 때에는 50μm 와이어를 사용한다. 이 방법은 CNFs 를 합성한 이후에 가공할 수 있는 후처리 과정이기 때문에 기존에 MEMS 공정을 이용한 방법에 추가적인 방법으로 사용한다면 경제적이고 간단한 방법이 될 수 있다.

참고문헌

1. A. V. Melechko et al., “Vertically aligned carbon nanofibers and related structures”, Journal of Applied Physics 97, 041301, 2005
2. Iijima, S., “Helical Microtubules of Graphitic Carbon”, Nature, 354/6348:56-58, 1991.
3. C. Y. Zhi, X. D. Bai, and E. G. Wang, “Enhanced field emission from carbon nanotubes by hydrogen plasma treatment”, Applied Physics Letters 81, 2002
4. K. F. Chen et al., “Field emission image uniformity improvement by laser treating carbon nanotube powders”, Applied Physics Letters 88, 193127, 2006
5. Kwang-Bok Kim et al., “Efficient electron emissions from printed carbon nanotubes by surface treatments”, American Vacuum Society, 10.1116, 2004
6. B. H. Kim, J. G. Ok, Y. H. Kim, C. N. Chu, “Electrical Discharge Machining of Carbon Nanofiber for Uniform Field Emission”, CIRP, 2007.