

전도성 나노입자 코팅에 의한 탄소섬유 복합재료의 전기전도도 향상 Improved Electrical Conductivity of CFRP by Conductive Nano-Particles Coating

*하민석¹, #권오양², 최흥섭³

*Min-Seok Ha¹, #Oh-Yang Kwon(okwon@inha.ac.kr)², Heung-Soap Choi³

¹ 인하대학교 기계공학과, ² 인하대학교 기계공학과 교수, ³ 대한항공 R&D Center

Key words : Carbon-Fiber Reinforced Plastics(탄소섬유강화플라스틱), Electrical Conductivity(전기전도도), Conductive Nano-Particles(전도성 나노입자)

1. 서론

CFRP(Carbon-Fiber Reinforced Plastics)는 뛰어난 비강도와 우수한 내식성, 피로특성으로 인해 항공/우주, 건축, 전기/전자, 소비재 산업에 이르기까지 그 사용량이 해마다 증가하고 있다[1]. CFRP의 전기전도도 특성을 향상시키는 연구도 함께 진행되고 있는데 이를 위해 고분자 기지재에 흑연 입자, 카본블랙, 탄소나노튜브 등 다양한 충전재를 첨가하여 전기적 특성을 향상시키는 연구도 활발히 진행되고 있다. 고비율로 충전된 흑연 보강 전도성 복합재료는 전기전도도가 향상되지만 충전 비율이 너무 증가하면 기계적인 강도가 감소한다는 단점이 있다[2]. 이러한 측면에서 CFRP의 기계적인 강도는 저하되지 않으면서 전기전도도는 유지할 수 있는 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 흑연입자/탄소섬유 혼합 보강 전도성 복합재료를 제조하고 이에 대한 미세구조 관찰과 밀도 측정을 통해 제조 상태를 분석하고 전기적, 기계적 특성의 변화에 대한 연구가 이루어진 경우가 있다[3]. 또한 항공기의 경우 운항 중 연간 평균 1~2 회 정도 낙뢰(lightning strike)를 접하게 된다. 낙뢰를 접하게 되면 항공기 동체는 spark propagation, 국부적인 발열에 의한 영향 등 직접적인 피해와 전자기장(electromagnetic fields) 등에 의한 간접적인 피해를 입게 된다. B-787 기와 같은 복합재료 민간항공기의 등장과 더불어 항공기의 안전측면에서 낙뢰에 의한 피해가 중요한 문제로 대두되면서 항공기에 쓰이는 복합재료의 전기전도도 향상에 대한 연구도 이루어지고 있다.[4].

이처럼 CFRP의 전기전도도 향상에 많은 연구가 이루어지는 상황에서 본 연구는 높은 전기전도도를 갖는 은 나노입자를 탄소섬유에 코팅시켜 Hybrid CFRP를 제작하고 미세구조 관찰과 향상된 전기전도도를 검증함과 동시에 실제 B787 시편과 비교함으로써 기존의 방식보다 전기전도도 측면에서 효율적인 방식을 제안하고자 한다.

2. 실험 방법 및 조건

본 연구에서는 탄소섬유복합재료(CFRP) Prepreg로서 (주) SK 케미컬의 UIN125C를 이용하였으며 Prepreg 사이에 함침된 Resin을 용해시키기 위해 MEK(Methyl Ethyl Ketone)를 사용하였다. 그리고 Resin이 제거되고 잘 건조된 단일방향 섬유층에 같은 회사의 Resin film을 사용하여 Resin이 함침된 프리프레그를 제작하였다. 또한 전도성 나노입자로는 (주) 미지테크의 AGS-WP010(Ag 10% colloid), AGS-WP005(Ag 5% colloid) 및 AGP-200(Ag 24.5% powder)를 사용하였다. 여기에 사용된 은나노 입자는 50nm 크기이다.

먼저 30cm*30cm 크기로 CFRP Prepreg를 재단한 후 알루미늄 틀에 고정하여 체결함으로 MEK가 가장자리에 스며드는 것을 방지하여 MEK가 채워진 수조에 약 40초간 Resin을 용해시켰다. Resin 용해 후 은나노 입자가 분산된 용액을 Spray gun에 주입한 후 compressor를 이용해 섬유표면에 시간을 측정하며 분사하였으며 분사량은 분당 15ml로 노즐을 조정하였다. 코팅 후 다시 Prepreg 상태로 제조하

기 위해 코팅된 섬유 상.하부에 Resin film을 배치시키고 Hot press를 이용하여 온도 90°C, 압력 7MPa 조건에서 10초간 성형하여 Volume fraction이 70%에 이르도록 상용화된 Prepreg와 유사한 상태로 제작하였다[5].

3. 결과 및 고찰

3.1 제조상태 분석

Fig. 1 은나노 입자 colloid 코팅에 따른 함침된 복합재료 미세구조의 변화를 비교한 것으로 Fig. 1 a)에 비해 Fig. 1 b)는 탄소섬유사이에 코팅된 나노입자를 확인할 수 있다.

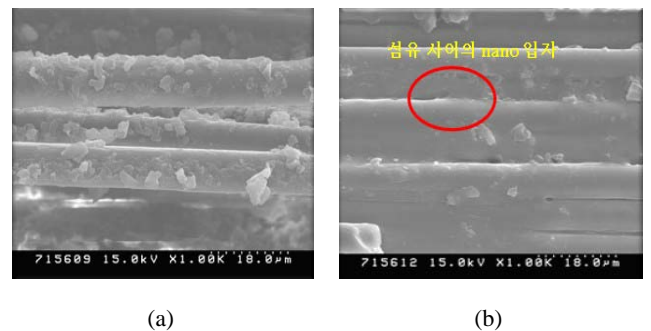


Fig. 1 The SEM (scanning electron microscope) images of CFRP,(a): Non-coating, (b): 10% colloid coating

Fig. 2는 EDS(Energy Dispersive Spectrum)분석 결과로서 은나노 입자 Colloid 코팅에 따른 섬유표면의 은 원소성분을 확인할 수 있다. Fig. 2a)의 경우 코팅시키지 않은 시편이므로 탄소섬유와 에폭시의 원소 성분인 C(탄소), O(산소)만이 EDS를 통해 검출된다.

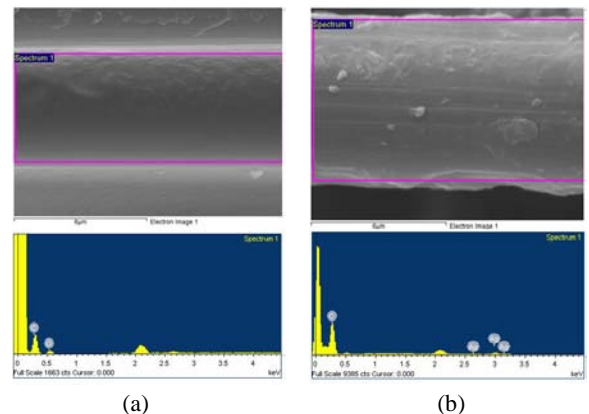


Fig. 2 The SEM-EDS picture of CFRP (a): Non-coating, (b): 10% colloid coating

하지만 Fig. 2b)의 경우 예서와 같이 농도 10% Colloid 코팅의 경우 C(탄소), O(산소)성분 외에 Ag(은) 원소 성분을 EDS를 통해 확인할 수 있다. 이를 통하여 은나노 입자

colloid 코팅으로 섬유 표면에 은나노 입자가 균일하게 코팅됨을 검증할 수 있다.

3.2 전기전도도

본 연구에서는 분사농도와 분사시간에 따른 전기전도도 변화를 관찰 하였고 실험을 통해 얻은 전기전도도와 대한항공이 제작하여 Boeing 사에 납품하고 있는 복합재료 항공기부품으로 실용화된 B-787 시편의 전기전도도를 비교하였다. 먼저 은나노 입자 colloid 의 분사 시간에 따른 전기전도도의 변화를 보면 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 분사시간이 3 초에서 5 초로 증가하면 5%농도의 colloid 에서는 전기전도도가 약 7.5%상승하며 10%농도에서는 약 11%상승하는 것을 관찰 할 수 있다. 또한 분사 시간이 일정하고 농도의 변화를 주게 되면 농도 5%에서 10%로 증가할 경우(분사시간 5 초) 약 2 배의 전기전도도 증가를 확인할 수 있다. 이는 분사시간과 분사 농도변화가 전기전도도 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 Non-coating 시편 대비 10% colloid 5 초 코팅 한 시편의 경우 약 4 배 이상의 전기전도도를 갖는 것을 확인 할 수 있다. 코팅된 Hybrid CFRP 와 현재 B-787 항공기에 사용되는 CFRP 재료 (알루미늄 박판 mesh 가 적용된 형태)의 전기전도도를 비교하였다. Fig. 4 에서와 같이 (주)SK Chemical 의 UIN125C Prepreg 로 제작한 시편(약 21000S/m)과 자체 제작된 Non-coating prepreg 로 제작한 시편(약 15000S/m) 의 전기전도도가 큰 차이를 보이지 않는 것은 volume contents 등 제작 상태가 양호함을 보여준다. 10% Colloid 5 초 분사한 시편의 경우 B787 항공기 시편 대비 약 86%의 전기전도도를 가짐으로써 Aluminum wire mesh expended foil 를 사용하지 않고도 은나노 입자 colloid 코팅으로 높은 수준의 전기전도도를 얻을 수 있음을 입증하였다.

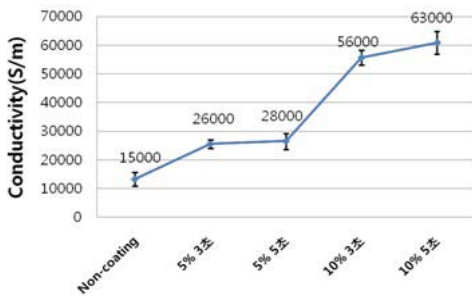


Fig. 3 The electrical properties of different coating condition

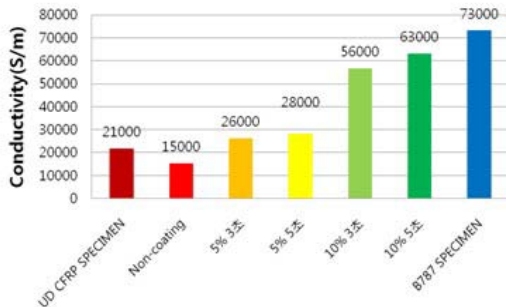


Fig. 4 The electrical properties comparison between hybrid CFRP specimens and B787 specimen

이를 통해 항공기 동체 구조물을 은나노 입자를 첨가한 Hybrid CFRP 로 제작할 경우 기존의 Aluminum wire mesh expended foil 를 이용하는 것보다 무게 절감 측면에서 이점

을 가질 것으로 사료된다. 항공기의 경우 동급의 Aluminum 구조물로 제작된 것에 비해 복합재료구조물로 제작된 항공기가 약 20%이상의 연료절감 효과를 가진다고 알려져 있다. 그만큼 항공기에 있어서 중량을 감소시키는 것은 중요한 문제이다. 은 나노 10% colloid 를 코팅시킨 시편의 경우 순수 탄소섬유 복합재료 시편에 비해 약 10%의 무게증가가 있으나, 기존의 Aluminum wire mesh expended foil 를 사용한 시편은 순수 탄소섬유 복합재료 시편에 비해 약 25%의 무게 증가를 보이므로 기존의 방식에 비해 은 나노 colloid 코팅 방식이 비행기 동체의 중량감소에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 탄소섬유와 전도성 나노입자를 전도성 충전제로 첨가한 Hybrid CFRP 의 제조 공정을 개발하고 전도성 나노입자의 농도, 분사시간 변화에 따른 전기전도도 변화를 연구하였다. 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 탄소섬유 표면에 은나노 입자를 코팅시키고 수지를 함침 함으로써 일반 CFRP 에 비해 전기전도도가 대폭 향상되었다.
- 2) 은 나노입자의 농도가 증가함에 따라 전기전도도가 증가하며 나노입자의 농도가 증가하더라도 항공기 구조의 무게를 증가시키는 위험은 매우 적다는 점에서 기존의 Aluminum wire mesh expended foil 을 이용한 B787 시편에 비해 유리하다.
- 3) 전도성 나노입자가 코팅된 하이브리드 CFRP 제작을 Prepreg 제조단계에서부터 적용한다면 현재 사용되는 항공기 동체구조 복합재료의 대체 재료로 사용될 수 있는 가능성이 충분하다.

후기

본 연구는 BK21 대한항공/인하대 산학협력연구에 의한 “탄소섬유 복합재료 동체 구조물의 낙뢰방지를 위한 전기전도도 향상 연구” 과제에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. C. A. Mahieux, "Cost effective manufacturing process of thermoplastic matrix composites for the traditional industry : the example of carbon-fiber reinforced thermoplastic flywheel," Composite Structures, Vol. 52, 2001, pp. 517- 521
2. Hitoshi Yamada, Kazuki Morimoto, Katsuya Kusuno, Shuichiro Wada and Kazuo Nishimoto, US Patent 6500893, 31 December 2002.
3. F. A. Fisher, J. A. Plumer, R. A. Perala, "Air- craft Lightning Protection Handbook", Federal Aviation Administration, 1989
4. Seong-Il Heo, Jin-Cheol Yun, Kyung-Seok Oh, Kyung-Seop Han, "Electrical and the Mechanical Properties of Graphite particle/Carbon fiber hybrid Conductive Polymer Composites," J. of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 19, No. 2, 2006, pp.7-12
5. Timothy G. Gutowski, "Advanced Composite Manufacturing", 1997, pp.85