

탄소나노입자와 티탄산바륨 (BaTiO₃)을 혼합한 압전 스마트 페인트 센서 개발

정성규¹, 배현진², 최경후^{1*}

¹성균관대학교 기계공학부

²한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

e-mail:kw.choi@skku.edu

Development of Piezoelectric Smart Paint Sensor by Mixing Carbon Nanoparticles and Barium Titanate (BaTiO₃)

Sung Kyu Chung¹, Hyunjin Bae², Kyungwho Choi^{1*}

¹School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University

²Dept of Mechanical Engineering, Korea Aerospace University

요약

현대의 센서들은 무게와 공간상의 제약 때문에 점차 소형화되거나 수동형 센서로 전환되고 있으며, 최근에는 에너지 하베스팅 기술을 토대로 대면적 모니터링 및 경량화, 유지보수에 강점을 가진 스마트 페인트 센서를 개발하여 이를 디지털 기술과 융합하여 구축한 에너지 자립형 통합 모니터링 시스템에 관심이 높아졌다. 기존 압전 센서를 구성하던 압전 세라믹과 달리 분말 형태의 압전 세라믹을 상용 페인트에 혼합하여 제작한 충격·변형 감지 스마트 페인트 센서는 가공성이 우수하여 형상과 상관없이 부착할 수 있어 활용범위가 매우 넓지만, 외부에 노출 조건에 의해 손상이 발생할 가능성이 다른 센서에 비해 높아 효율적인 유지보수 방법이 필수적이다. 본 연구는 압전 효과에 의해 발생한 전기적 출력을 전기전도도가 우수한 탄소나노튜브를 활용하여 증폭시켜 기존의 압전 페인트 센서를 개선한 스마트 페인트 센서를 개발하였다. 또한, 탄소나노튜브의 높은 유전 손실을 활용하여 고주파 유전 가열(Dielectric heating)을 활용하여 유지보수가 필요한 국소 부위를 박리하는 기법을 정립하였다.

혼합물을 제조하였으며 각 경우의 준비된 혼합물을 2시간 동안 초음파 처리하고 에폭시 프라이머를 기준으로 amide-type 경화제를 30wt% 비율로 혼합하였다. 이후 압전 도료를 50mm×50mm×3mm 알루미늄 6061 판에 브러시로 0.3mm 두께로 도포하고 상온에서 24시간 동안 경화시켜 구조물에 부착하는 충격 감지 센서로 사용하는 시뮬레이션을 진행하였다. 경화 후 니켈 스프레이를 압전 페인트 중앙의 30mm×30mm 영역에 도포하여 상부 전극을 부착했다.

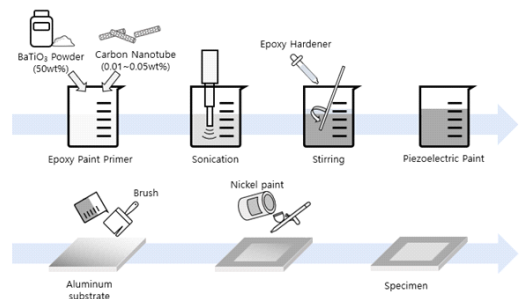
1. 서론

본 연구에서는 충격 감지가 가능한 기능성 압전 페인트에 탄소나노튜브를 혼합하여 충격에서 비롯한 신호를 증폭시켜 충격 감지 성능이 개선된 스마트 페인트를 제작하고, 유전 가열을 활용하여 유지보수가 필요한 국소 부위를 박리하는 기법을 제안하였다. 이에 따라 센서의 역할을 함과 동시에 친환경적인 유지보수 효율성을 향상시킨 다기능성 스마트 페인트 소재를 개발하여 다양한 환경에서도 적절하게 작동하는 스마트 페인트 센서를 통해 실시간 모니터링을 할 수 있는 시스템의 기반을 마련하고자 한다.

2. 본론

2.1 압전페인트 제작

압전 페인트는 액체 bisphenol-A type 에폭시 프라이머에 압전성을 부여하는 티탄산바륨(BaTiO₃) 50wt%와 전기 전도도를 향상시키는 10nm 직경의 MWCNT 또는 6nm 직경의 SWCNT 0~0.05wt%를 분산하여 준비하였다. CNT의 종류와 함량에 따라 0~0.05wt%까지 0.01wt% 단위로 11가지 종류의

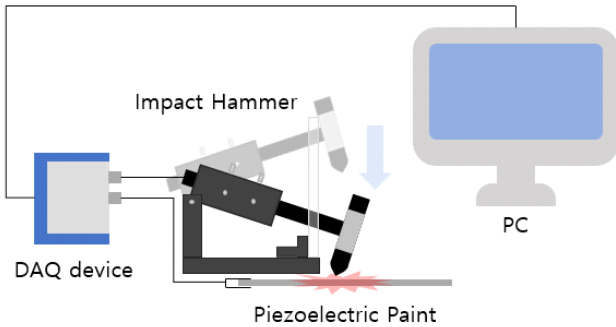


[그림 1] 압전 페인트 센서의 전반적인 제작 과정

2.2 실험 방법

2.2.1 충격 민감도 측정

압전 효과에 의해 발생하는 전기 시그널의 특성을 확인하기 위해, [그림 2]과 같은 시스템을 구성하였다. Impact hammer의 자유 낙하 높이 조절과 Impact hammer에 내장된 압전 물질로 서로 다른 충격 힘을 가하고 데이터를 얻을 수 있게 설계하였으며, 측정 가능 최대 전압 크기는 5V, 51.2kHz의 샘플링 속도로 충격/전압 시그널 데이터를 입력받아 충격 힘과 그에 따른 전압의 비인 충격 민감도를 분석할 수 있는 시스템을 활용하였다.



[그림 2] 충격 민감도 측정을 위한 충격 실험 시스템 개요도

2.2.2 온도에 따른 스마트 페인트의 부착력 측정
 페인트의 부착력은 페인트의 경도와 관련이 있으므로 온도에 따른 페인트의 부착력을 확인하기 위해 ASTM D2240을 기준으로 제작한 쇼어 경도 측정용 시편을 가열하여 상온(25°C), 70°C에서의 쇼어 경도를 측정하여 온도에 따른 스마트 페인트의 부착력 변화를 확인하였다.

2.2.3 2.45GHz 고주파 유전 특성 측정
 일반적으로 유전 특성을 측정할 때 사용하는 LCR 미터 또는 임피던스 분석기는 측정하려는 파장이 매우 짧아지는 경우 전선의 위치에 따라 전압과 전류의 측정값이 변화하기 때문에 보통 ~108Hz의 영역까지 측정이 가능하다. 개방형 동축 선로 방법(Open-Ended Coaxial Probe Method, OECP)은 네트워크 분석기에서 인가하는 입사 신호를 시편에 반사시켜 동축 케이블의 내부 전도체에서 수신하고 그 비율을 측정하여 유전 특성을 확인하기 때문에, 이를 통해 초단파의 2.45GHz에서의 유전 특성을 측정하였다.

3. 결론

충격 실험 시스템에서 발생한 출력에 관한 연구 수행 결과, 자유 낙하에 의해 발생하는 2차, 3차 충격 모두 감지되어 한 충격에 다양한 크기의 신호가 발생하였고, 충격의 크기가 클수록 출력되는 신호의 크기가 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다.

온도에 따른 페인트의 부착력을 확인하기 위해 쇼어 경도를 측정한 결과, MWCNT를 혼합한 경우 SWCNT를 혼합한 경우에 비해 소폭으로 가열에 따른 경도 저하가 이루어졌으며 70°C로 가열한 경우 평균 25.5% 경도가 감소한 것을 확인하였다.

개방형 동축 선로 방법을 통해 측정한 초단파 영역(2.45GHz)에서의 유전상수는 특정 주파수(~106Hz)를 넘어가면 자유전자가 회전하기 전 교류전원의 방향이 바뀌어 분극이 제대로 일어나지 않기 때문에 탄소나노튜브를 혼합하지 않은 경우와 비슷하게 영역을 형성하였다. 초단파 영역(2.45GHz)에서의 유전 손실은 전기전도도가 우수한 SWCNT를 혼합했을 때 급증하는 경향성을 보이며 유전 가열을 통한 발열량에 가장 크게 영향을 미치는 것을 확인하여, 이와 연관된 전기전도도가 고주파 유전 가열에서의 발열량을 늘리는데 주요한 요인임을 확인하였다.

참고문헌

[1] Park, JH et al. Development of sensor technology for monitoring smart-structure based on energy harvesting. Korea Institute of Industrial Technology. 2018년

[2] Choi, K, et al. A Study on Impact Monitoring Using a Piezoelectric Paint Sensor. Journal of the Korean society for nondestructive testing, Vol. 35 No. 5, pp.349-357, 2015년

[3] Alam, R.B. et al. Effect of MWCNT nanofiller on the dielectric performance of bio-inspired gelatin basednanocomposites. RSC Advanced. Vol. 12, 14686-14697. 2022년