

유연소재 천 기반의 슈퍼캐패시터 저장체의 전기화학적 성능 향상

윤태광^{1,2,3}, 오민섭^{3,4}, Liangbing Hu⁵, 현승민³, 한승민^{1,2*}

¹한국과학기술원 EEWS, ²한국과학기술원 신소재공학과,

³한국기계연구원, ⁴성균관대학교, ⁵University of Maryland

최근에 유연한 성질을 갖는 전자기기들의 수요가 증가하면서, 그에 따라서 유연 전자기기를 뒷받침 해줄 수 있는 에너지 저장체의 유연한 성질도 중요성이 점점 부각되고 있으며 많은 연구가 진행되고 있다. 유연한 에너지 저장체의 많은 연구들이 유연한 금속 박막이나 특수 공정 처리가 필요한 고분자를 이용하고 있으나, 대부분의 유연 에너지 소자들은 에너지 저장체의 성능에 비해 고온과 산 약품과 같은 환경이 필요하며, 비용과 시간이 많이 소모되고 있다. 그에 반해 섬유는 앞에서와 같이 특수 공정 처리가 따로 필요하지 않으며 상온에서도 손 쉽게 이용 가능하며, 신축성이 뛰어난 장점이 있기 때문에 효율적, 비용적으로 유연한 에너지 저장체에 유리한 소재이다. 몸에 해로운 산과 같은 약품처리의 필요도 없으며, 용매를 흡수하는 능력이 뛰어나기 때문에 용매를 이용한 도포 방법을 사용하면 다양한 물질을 폭넓게 적용 가능하다. 그리고 적용 분야에 맞춰서 섬유의 종류를 조절하면 다양한 성질을 갖는 천 기반의 에너지 저장체가 형성되며, 면 섬유가 수소 결합과 높은 반데르 발스 결합에 의해 탄소나노튜브와 결합하여 높은 에너지 밀도를 갖는 에너지 저장체를 형성하는 것을 분석한 논문들도 보고되고 있다. 면 섬유의 특수한 성질을 이용하여 에너지 저장체를 제작하고 이를 확인하기 위해서 일반 합성 섬유인 polyester와 면 섬유를 비교 제작하였으며, 용매의 형태로 손쉽게 도포 가능한 물질은 탄소 계열의 활물질들이며, 탄소 나노 튜브나 그래핀 등이 분산된 용액을 이용해 천에 도포 가능하다. 탄소 계열의 활물질들은 대표적인 슈퍼캐패시터 물질이며, 천에 도포를 함으로써 천 기반의 슈퍼캐패시터를 제작하였다. 일반 합성 섬유 polyester와 CNT를 결합한 형태의 전극은 최대 에너지 축전 용량(Maximum specific capacitance)이 53.6 F/g으로 나타났으며, 면 섬유와 CNT를 결합한 형태의 전극은 최대 에너지 축전 용량이 122.1 F/g으로 나타났다. 따라서 면 섬유에서 높은 에너지 저장 능력을 보이는 것을 실험적으로 확인하였으며, 에너지 저장 능력이 뛰어난 면 섬유를 다음 전극 디자인에서도 일률적으로 적용하였다.슈도캐패시터의 대표적 물질인 금속 산화물인 망간 산화물(MnO₂)을 3전극 도금 시스템을 이용하여 에너지 축전 용량과 에너지 밀도를 올리는 전극을 제작하였다. 특히 망간 산화물의 형태는 표면적을 극대화하기 위해서 평균 지름은 200~300 nm 정도 되는 나노 입자의 형태로 제작하였다. 그 결과, 확연하게 에너지 축전 용량이 향상되었으며, 최대 에너지 축전 용량은 282.0 F/g, 에너지

전력 밀도는 14.2 Wh/kg으로 나타나서 금속 산화물의 형태가 주는 효과를 확인할 수 있었다. 하지만 나노 입자의 형태로 제작된 금속 산화물은 문제점이 발생하였다. 금속 산화물의 전기 전도성이 매우 낮기 때문에, 전기 전도성에 비례해서 전력 밀도의 값이 표현되는데, 전기 전도성이 급격히 감소하기 때문에 전력 밀도도 급격한 감소가 나타난다. 다음과 같이 전기 전도성 물질을 첨가하는 방법은 추가의 공정이 필요한 단점이 있지만 오직 기계적인 인장응력만을 가해서 에너지 밀도와 전력 밀도를 증가시키는 전극을 제작하였다. 인장응력을 섬유 기반의 전극에 가했을 시에 가닥들간의 접촉 증가와 CNT가 정렬되면서 특정 변형률(strain) 이전에서는 전기 전도성이 최대 50% 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 선행 연구에서 보고되었다. 이를 이용해서 전기 전도성과 직결되는 전력 밀도의 양도 증가시키고 에너지 밀도의 증가 여부까지 확인한 결과 인장을 가하기 전 면 섬유의 전력 밀도와 에너지 밀도는 6.4 kW/kg and 6.1 Wh/kg으로 나타났으나 30% 변형 인장 후에는 11.4 kW/kg과 7.1 Wh/kg으로 나타났다. 그리고 망간 산화물을 첨가한 전극 역시 4.9 kW/kg과 14.2 Wh/kg으로 나타났었으나 인장 이후 전력 밀도는 14.2 kW/kg, 에너지 밀도는 17.6 Wh/kg으로 확연하게 증가한 것을 확인하였다.

Keywords: 슈퍼캐패시터, 슈도캐패시터, 섬유, 인장 응력