

카본 마이크로 파이버 기반의 비대칭 슈퍼커패시터 연구

윤호상\*, 윤준리\*, 박재영\*  
광운대학교\*

Fabrication and Characterization of Asymmetric Supercapacitor based on Carbon Micro Fibers

Hyo-Sang Yoon\*, Junli Yin\*, Jae-Yeong Park\*  
Kwangwoon University\*

**Abstract** - 본 연구에서는, carbon microfiber (CMF) 소재를 이용하여 전극을 제작하고 이를 바탕으로 플렉시블 비대칭 슈퍼커패시터를 설계 및 제작하여 특성을 측정 및 분석하였다. 제작된 CMF 전극은 넓은 비표면적과 물리적 안정성 및 화학적 안정성, 높은 유연성을 가지며 무게가 가벼운 특징을 가진다. 개발된 슈퍼커패시터의 양극과 음극은 각각 CMF/Cu/NiO과 단일 CMF로 구성되어 있으며, KOH 전해질 수용액에서 우수한 슈도 커패시터의 우수한 동작 특성을 나타내었으며, 슈퍼커패시터의 특성 커패시턴스와 평균 에너지 밀도는 각각 22.1 F/g와 8.9 Wh/kg을 나타내었다.

질 수용액에서 scan rate을 20 mV/s부터 100 mV/s까지 10 mV/s 간격으로 변화시켜 가면서 각각의 결과를 중첩시킨 결과를 보여준다. 제작된 비대칭 슈퍼커패시터는 0 - 1.7 V 범위에서 큰 폭의 산화·환원 전류를 나타내는 것을 확인할 수 있으며, 슈도 커패시터와 electric double layer capacitor (EDLC)의 하이브리드 형태의 컵 모양을 나타낸다. 식 (1)은 cyclic voltammetry 동안에 나타나는 산화·환원 반응에 대한 반응식을 보여준다.



1. 서 론

최근에 휴대용 스마트기기의 급속한 발전과 함께, 우수한 유연성 및 성능을 가지는 다양한 에너지 저장장치에 대한 연구가 이뤄지고 있다. 슈퍼커패시터는 배터리에 비해 상대적으로 높은 파워 밀도와 커패시터에 비해 상대적으로 높은 에너지 밀도를 가지는 차세대 에너지 저장장치로 현재에도 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야 중에 하나이다 [1]. 또한, 플렉시블 디스플레이와 같은 플렉시블 디바이스나 스마트워치와 같은 웨어러블 디바이스에 대한 관심이 증대됨에 따라, 기존의 배터리에 대한 구조도 플렉시블 하게 대체하기 위한 필요성이 대두되었다. 최근, 이러한 연구 흐름에 따라 플렉시블 슈퍼커패시터와 microfiber를 방직사 형태로 응용하여 비대칭 슈퍼커패시터에 적용한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [2, 3]. CMF 전극은 높은 인장강도, 가벼운 무게, 높은 전도성과 물리적·화학적 안정성이 매우 우수하기 때문에, 웨어러블 디바이스에 적용이 가능한 에너지 저장장치로서 매우 우수한 장점을 가진다. 뿐만 아니라, 직물 형태로 제작이 가능하기 때문에, 다양한 형태 및 기기로 응용이 가능하다는 장점을 가진다.

그림 4는 galvanostatic charging/discharging 컵을 보여주고, 각각 1mA, 2mA, 4mA의 산화전류 및 환원전류를 흐르게 하여, 슈퍼커패시터의 충전·방전 특성을 보여주는 컵이다. 시간에 따른 전위의 변화는 매우 선형적임을 보여주며, 왜곡이 나타나는 부분은 NiO의 산화·환원 반응에 의한 것이다. 인가되는 산화·환원 전류에 의해 나타나는 충전·방전 컵은 가역적이며, 양방향으로 매우 안정적인 형태를 보여준다. 또한, 산화·환원 전류 크기의 변화에도 특성이 변하지 않고 안정적인 성능을 나타낸다.

본 연구에서는, 이러한 장점을 가지는 CMF 전극을 음극 소재로 사용하고, CMF 전극 위에 Cu/NiO층을 전기도금한 전극을 양극 소재로 사용한 비대칭 슈퍼커패시터를 개발하였다. 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 성능은 전기화학적 방법을 통해서 평가되었다.

2. 본 론

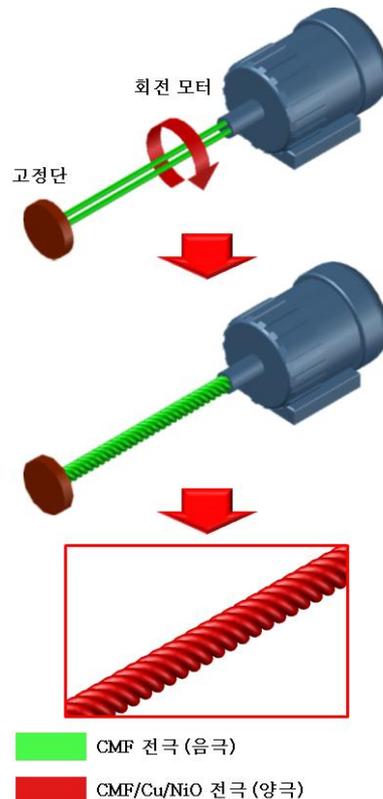
2.1 실험 방법

그림 1은 제안된 CMF 전극을 이용한 비대칭 슈퍼커패시터에 대한 제작 모식도를 나타낸 그림이다. 여러 가닥의 CMF 전극을 한 쪽 고정단에 고정시키고, 다른 한 쪽은 회전 모터에 고정시켜서 회전을 시키면 방직사 모양으로 제작이 가능하다. 제작된 방직사 모양의 CMF 전극의 일부를 Cu/NiO를 전기도금 되었으며, 전기도금을 하는 방법은 기보된 바 있다 [4]. 이렇게 제작된 슈퍼커패시터는 단일 CMF 전극으로 이루어진 음극과 CMF/Cu/NiO 전극으로 이루어진 양극으로 구성된다. 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 특성을 평가하기 위해서, 전기화학 분석기(CHI660D, CH Instrument, Inc.)가 사용되었으며, cyclic voltammetry와 galvanostatic charging/discharging을 통해서 그 특성이 평가되었다. 또한, 측정에 사용된 모든 시약은 Sigma Aldrich Korea를 통해서 구매되었다.

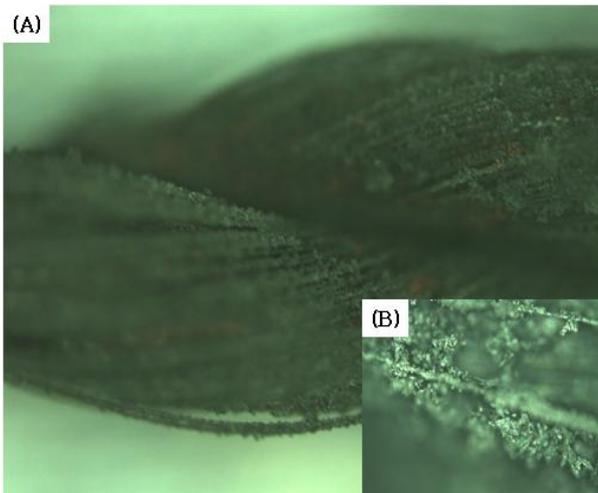
2.2 실험 결과 및 토론

그림 2는 제작된 비대칭 슈퍼커패시터에 대한 광학현미경 이미지를 보여준다. 여러 가닥의 CMF 전극이 실처럼 얽혀있기 때문에, 표면적이 극대화된 것을 확인할 수 있으며, 나뭇가지 형태를 가지는 Cu/NiO층이 잘 형성된 것을 확인할 수 있다.

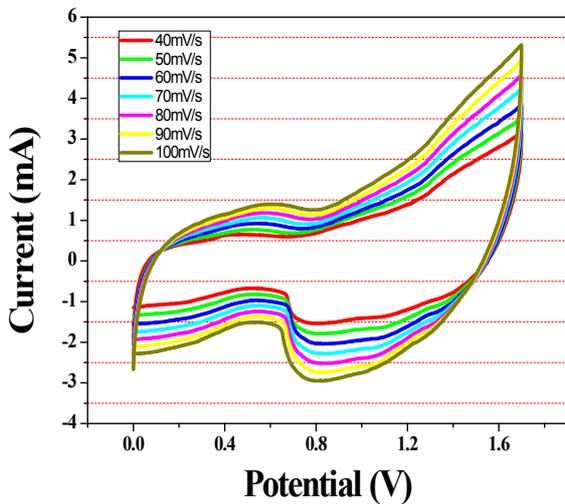
제작된 비대칭슈퍼커패시터의 성능을 평가하기 위하여 전기화학적 방법인 cyclic voltammetry와 galvanostatic charging/discharging을 통해 분석되었으며, 그림 3과 그림 4는 각각의 전기화학적 분석 결과를 보여준다. 그림 3은 cyclic voltammetry 컵을 보여주는데, 2 M KOH 전해



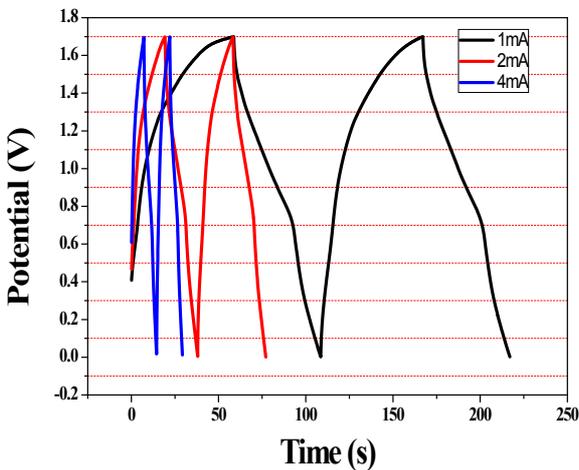
<그림 1> 제안된 비대칭 슈퍼커패시터의 제작 방법



〈그림 2〉 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 CMF/Cu/NiO 전극층의 광학현미경 이미지



〈그림 3〉 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 cyclic voltammery 특성 그래프



〈그림 4〉 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 galvanostatic charging/discharging 특성 그래프

그림 4를 통해서, 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 특성 커패시턴스 (Cs) 및 에너지 밀도 (E)를 구할 수 있다. 식 (2)와 식 (3)은 각각 특성 커패시턴스와 에너지 밀도를 구하는 식을 나타낸다 [5].

$$C_s = \frac{I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \dots\dots\dots \text{식 (2)}$$

$$E = \frac{1}{2} C_s \cdot (\Delta V)^2 \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

I, Δt, m, ΔV는 각각 방전 시에 흐르는 전류의 크기, 방전이 일어나는 시간, 전극 물질의 질량, 전위차를 나타낸다. 식 (2)와 식 (3)에 따르면, 제작된 비대칭 슈퍼커패시터의 특성 커패시턴스는 22.1 F/g이고, 평 에너지 밀도는 8.9 Wh/kg이라는 값을 얻을 수 있었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는, 전기도금을 이용하여 단일 CMF 전극과 CMF/Cu/NiO 복합전극으로 구성된 비대칭 슈퍼커패시터를 설계하고 제작한 후 KOH 전해질과 어셈블링하여 그 성능을 측정 및 평가하였다. 제작된 비대칭 슈퍼커패시터는 cyclic voltammery와 galvanostatic charging/discharging의 전기화학 방법으로 측정되었다. 그 결과, 특성 커패시턴스는 22.1 F/g을 나타내었고, 에너지 밀도는 8.9 Wh/kg으로 우수한 값을 나타내었다. 추후 연구에서는, 고체 형태의 전해질을 적용하고, 재료 및 구조적 개선을 통해 슈퍼커패시터의 성능을 향상시킬 계획이며, 응용분야를 찾아 적용하는 연구를 수행할 예정이다.

### [감사의 글]

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2013R1A1A2A10064810)

### [참 고 문 헌]

- [1] Zhuangjun Fan, Fei Wei et al., "Asymmetric supercapacitors based on graphene/MnO<sub>2</sub> and activated carbon nanofibers electrodes with high power and energy density", *Advanced Functional Materials*, 21, 2366-2375
- [2] Hyun Young Jung, Yung Joon Jung et al., "Transparent, flexible supercapacitors from nano-engineered carbon films", *Scientific Reports*, 2, 1-5, 2012
- [3] Viet Thong Le, Young Hee Lee et al., "Coaxial fiber supercapacitor using all-carbon material electrode", *ACS Nano*, 7, 5940-5947, 2013
- [4] Junyi Ji, Lili Zhang et al., "Nanoporous Ni(OH)<sub>2</sub> thin film on 3D ultrathin-graphite foam for asymmetric supercapacitor", *ACS Nano*, 7, 6237-6243, 2013
- [5] Junli Yin, Jae Yeong Park, "Electrochemical investigation of copper/nickel oxide composite for supercapacitor applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, I6562-I6568, 2014