



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl.	(45) 공고일자	2007년08월01일
<i>D01F 9/127</i> (2006.01)	(11) 등록번호	10-0744832
<i>D01F 9/12</i> (2006.01)	(24) 등록일자	2007년07월25일

(21) 출원번호	10-2006-0039533	(65) 공개번호
(22) 출원일자	2006년05월02일	(43) 공개일자
심사청구일자	2006년05월02일	

(73) 특허권자 인하대학교 산학협력단
 인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자 박수진
 대전 유성구 도룡동 431-6 현대아파트 103-403

 김병주
 전북 익산시 신동 제일아파트 101동 1002호

(74) 대리인 백남훈
 이학수

(56) 선행기술조사문헌	
KR1020030095694 A	KR1020040043167 A
KR1020030072687 A	KR1020040082529 A
KR1020050046317 A	

심사관 : 최중환

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 중기공을 함유한 다공성 탄소나노섬유의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 나노 직경을 가지는 다공성 탄소나노섬유 또는 활성탄소나노섬유의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition technique)으로 제조된 탄소나노섬유를 이산화탄소(CO₂) 활성화법으로 활성화시켜 높은 비표면적을 가지면서 미세기공(micropore)과 중기공(mesopore)을 동시에 가지는 다공성 탄소나노섬유를 제조하는 방법에 관한 것이다. 이러한 다공성 탄소나노섬유는 기공이 외부에 돌출되어 있기 때문에 오염원의 접근이 용이하여 필터소재로서 응용성이 뛰어나고, 높은 비표면적을 가지면서 중기공을 동시에 가지고 있기 때문에 상대적으로 큰 사이즈를 가지는 유기 전해질의 접근이 용이할 수 있어 전지의 전극 제조에 활용될 수 있다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

삭제

청구항 2.

화학기상증착법으로 제조된 탄소나노섬유를 이산화탄소 활성화법으로 활성화하며, 상기 활성화를 위한 승온 속도는 0.1 ~ 30 °C/분 이고, 상기 활성화 온도는 600 ~ 1150 °C인 것을 특징으로 하는 다공성 탄소나노섬유의 제조방법.

청구항 3.

청구항 2에 있어서,

상기 활성화 시간은 10 분 ~ 5 시간인 것을 특징으로 하는 다공성 탄소나노섬유의 제조방법.

청구항 4.

청구항 2에 있어서,

상기 이산화탄소의 공급량이 5 cc/분 ~ 5 l/분 인 것을 특징으로 하는 다공성 탄소나노섬유의 제조방법.

청구항 5.

청구항 2 내지 청구항 4 중에서 선택되는 어느 하나의 제조방법으로 제조되고, 비표면적이 350 ~ 3500 m²/g인 것을 특징으로 하는 다공성 탄소나노섬유.

청구항 6.

청구항 5에 있어서,

총기공부피가 0.5 ~ 4.0 cm³/g이고, 미세기공의 부피가 0.13 ~ 1.5 cm³/g 이며, 중기공의 부피가 0.47 ~ 2.5 cm³/g이고, 상기 다공성 탄소나노섬유의 총기공부피 중에서 중기공의 부피의 비율이 50 ~ 90 %인 것을 특징으로 하는 다공성 탄소나노섬유.

청구항 7.

청구항 5의 다공성 탄소나노섬유로 제조된 것을 특징으로 하는 기상 또는 액상 오염 제거용 필터.

청구항 8.

청구항 5의 다공성 탄소나노섬유로 제조된 것을 특징으로 하는 전극.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 나노 직경을 가지는 다공성 탄소나노섬유 또는 활성탄소나노섬유의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition technique)으로 제조된 탄소나노섬유를 이산화탄소(CO_2) 활성화법으로 활성화시켜 높은 비표면적을 가지면서 미세기공(micropore)과 중기공(mesopore)을 동시에 가지는 다공성 탄소나노섬유를 제조하는 방법에 관한 것이다. 이러한 다공성 탄소나노섬유는 기공이 외부에 돌출되어 있기 때문에 오염원의 접근이 용이하여 필터소재로서 응용성이 뛰어나고, 높은 비표면적을 가지면서 중기공을 동시에 가지고 있기 때문에 상대적으로 큰 사이즈를 가지는 유기 전해질의 접근이 용이할 수 있어 전지의 전극 제조에 활용될 수 있다.

현대 산업의 급속한 발달에 따라 보다 많은 에너지를 저장하고자하는 요구와 이 요구를 만족시켜줄 새로운 재료의 개발에 대한 시도가 이루어지고 있다. 최근 다공성 탄소재료(활성탄, 활성탄소섬유 등)에 대한 개발이 이루어지면서 기존의 활성탄 및 활성탄소와는 차별화된 고기능성 탄소재료의 개발에 관심을 가지고 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 이유는 기존의 활성탄의 경우 높은 비표면적을 지니고 있지만 기공구조가 대단히 복잡하기 때문에 흡착 및 탈착 속도에 큰 결함을 가지고 있다. 또한 활성탄소섬유의 경우 미세기공은 외부로 돌출되어 있지만 그 직경이 마이크로 크기이기 때문에 용적량 및 반응속도의 한계성이 있다. 더불어 이들 활성탄 및 활성탄소섬유의 경우 탄소계 물질임에 비해 전도성이 매우 낮아서 환경적인 응용은 가능하나 에너지 저장매체로의 응용은 어려움이 있다. 이러한 이유로 나노 크기의 직경을 가지는 신규 다공성 탄소재료에 대한 연구가 이루어지고 있다. 대표적인 연구는 고분자계 전구체를 이용하여 전기방사한 고분자 극세사를 탄화 및 활성화를 거쳐 고비표면적을 가진 다공성 탄소나노섬유를 제조하는 것이다. 이러한 방법은 탄소나노섬유를 얻을 수 있다는 점은 우수하나 현재까지 전기방사법에 의한 극세사의 제조 및 이를 이용한 다공성 탄소나노섬유의 제조공정은 안정적이지 못하며 대규모 생산설비의 어려움으로 경제성 또한 미미한 상태이다.

기존의 다공성 탄소재료로는 활성탄 및 활성탄소섬유가 대표적이다. 활성탄의 경우 기공 구조가 대단히 복잡하여 전극용으로는 사용이 불가하다. 활성탄소섬유의 경우 기공이 대부분 외부에 돌출되어 있어 전극으로의 사용은 가능하나, 대부분 평균직경이 0.6 ~ 2 nm인 미세기공이기 때문에 비교적 큰 크기를 가지는 전해질 및 유기전해질의 기공 내부까지의 접근성이 용이하지 않기 때문에 높은 비표면적에도 불구하고 낮은 활성을 보이게 된다. 더불어 기존의 활성탄소섬유의 낮은 전도성은 이러한 문제를 더욱 가중시킨다.

한국 특허 제10-485603호는 고분자계 전구체인 PAN, 핏치, 레이온, 셀룰로오스, 페놀수지 등을 사용하여 전기방사를 통해 고분자나노섬유를 제조하고 이를 이산화탄소 활성화법으로 활성화시킨 다공성 탄소나노섬유에 관한 것으로 미세기공과 중기공이 고루 발달하지 않아서 전극 제조시 유기 전해질의 접근이 어렵다는 점에서 한계를 가지고 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

기존의 활성탄소섬유는 마이크로 크기의 직경과 이로 인한 비표면적 증가의 한계 및 높은 미세기공의 분율로 인한 전극재료로의 응용시 발생하는 전해질의 기공내부 침투가 어렵다는 한계를 지니고 있었으나, 본원발명에서는 이러한 문제를 해결하고자 직경이 나노 크기인 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition technique)으로 제조된 고전도성 탄소나노섬유를 이산화탄소(CO_2) 활성화법으로 활성화시켜 높은 비표면적을 가지면서 미세기공(micropore)과 중기공(mesopore)을 동시에 가지는 다공성 탄소나노섬유를 제조하는 방법을 제공한다.

본 발명의 다공성 탄소나노섬유 제조방법은 기공의 분포를 미세기공과 중기공을 고르게 발달시켜 전해질의 기공내 침투가 용이한 전극재료에 적합한 다공성 탄소재료를 제공한다.

발명의 구성

본 발명은 다공성 탄소나노섬유의 제조방법으로서 화학기상증착법으로 제조된 탄소나노섬유를 이산화탄소 활성화법으로 활성화시키는 것을 특징으로 한다.

또한 본 발명은 상기 제조방법으로 제조된 다공성 탄소나노섬유로서 비표면적이 $350 \sim 3500 \text{ m}^2/\text{g}$ 인 것을 특징으로 한다.

또한 본 발명은 상기 제조방법으로 제조된 다공성 탄소나노섬유를 기상 또는 액상 오염원 제거용 필터 또는 전극 제조의 소재로 이용하는 것을 특징으로 한다.

이와 같은 본 발명을 더욱 상세히 설명하면 다음과 같다.

본 발명이 이루고자 하는 목적을 달성하기 위하여 화학기상증착법(chemical vapor deposition)으로 제조된 탄소나노섬유를 사용하였다. 이때 탄소나노섬유의 직경은 $5 \sim 500 \text{ nm}$ 가 바람직하다. 이는 너무 작은 직경의 경우 활성화 단계에서 섬유의 절단이 일어나게 되며, 너무 큰 직경의 경우 본 발명의 목적에 맞지 않기 때문이다. 탄소나노섬유의 길이는 장섬유 또는 단섬유 어느 것도 사용가능하다.

활성화에 이용하는 기체는 이산화탄소(CO_2), 수증기(H_2O) 또는 이의 혼합물을 사용하는 것이나, 바람직하게는 실험의 안정성 및 재현성적 측면에서 이산화탄소를 사용하는 것이고, 더욱 바람직하게는 순도 99% 이상의 이산화탄소를 사용하는 것이다.

활성화 온도는 $500 \sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도가 바람직하고, 보다 바람직하게는 $600 \sim 1150 \text{ }^\circ\text{C}$, 가장 바람직하게는 $850 \sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 이는 너무 낮은 온도에서는 탄소재질의 열적안정성 때문에 활성화가 잘 이루어지지 않고 너무 높은 온도에서는 산화가 너무 급작스럽게 일어나기 때문이다.

승온 속도는 $0.1 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{분}$ 이 바람직하나, 보다 바람직하게는 $0.1 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{분}$ 이다. 이는 너무나 빠른 승온 속도는 높은 전력이 요구되어 비경제적이기 때문이다.

활성화 시간은 5분 $\sim$ 10시간 정도가 바람직하고, 보다 바람직하게는 10 분 $\sim$ 5 시간 정도이다. 이는 너무 짧은 활성화시간은 활성화가 충분하게 일어나지 못하고 너무 긴 활성화 시간은 수율을 감소시키기 때문이다.

활성화제인 이산화탄소의 공급량은 $1 \text{ cc}/\text{분} \sim 10 \text{ l}/\text{분}$ 이 바람직하고, 보다 바람직하게는 $5 \text{ cc}/\text{분} \sim 5 \text{ l}/\text{분}$ 이다. 이는 너무 느린 공급은 활성화를 일으키기는 하나 대량 생산적 측면에서 비경제적이며, 너무 빠른 공급은 활성화를 과하게 발생시키거나 냉각작용으로 인해 불균일한 활성화를 유발하기 때문이다.

상기 방법으로 제조된 다공성 탄소나노섬유는 비표면적이 $350 \sim 3500 \text{ m}^2/\text{g}$ 인 것이고, 바람직하게는 $500 \sim 3500 \text{ m}^2/\text{g}$, 더욱 바람직하게는 $1000 \sim 3500 \text{ m}^2/\text{g}$, 가장 바람직하게는 $2000 \sim 3500 \text{ m}^2/\text{g}$ 인 것이다. 또한 상기 다공성 탄소나노섬유는 총기공부피가 $0.5 \sim 4.0 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이고, 바람직하게는 $1.1 \sim 4.0 \text{ cm}^3/\text{g}$, 더욱 바람직하게는 $1.5 \sim 4.0 \text{ cm}^3/\text{g}$, 가장 바람직하게는 $2.0 \sim 4.0 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이고; 상기 다공성 탄소섬유의 미세기공의 부피는 $0.13 \sim 1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이며, 바람직하게는 $0.2 \sim 1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$, 더욱 바람직하게는 $0.35 \sim 1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$, 가장 바람직하게는 $0.6 \sim 1.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이며; 상기 다공성 탄소섬유의 중기공의 부피는 $0.47 \sim 2.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이고, 바람직하게는 $0.9 \sim 2.5 \text{ cm}^3/\text{g}$, 더욱 바람직하게는 $1.15 \sim 2.5 \text{ cm}^3/\text{g}$, 가장 바람직하게는 $1.4 \sim 2.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ 인 것이다. 또한 상기 다공성 탄소나노섬유의 총기공부피 중에서 중기공의 부피의 비율이 50 $\sim$ 90 %, 바람직하게는 55 $\sim$ 85 %, 더욱 바람직하게는 60 $\sim$ 80 %인 것이다.

이하, 실시예에 의거하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하나, 하기 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것이며 본 발명을 한정하는 것은 아니다.

실시예 1

화학기상증착법으로 제조된 탄소나노섬유는 직경 $130 \sim 150 \text{ nm}$, 길이 $25 \sim 30 \text{ }\mu\text{m}$ 인 헤링본(herringbone) 축적된 배열의 것으로 나노미래(주)의 스트레이트(straight)형태의 제품을 사용하였다.

상기 화학기상증착법으로 제조된 탄소나노섬유는 내부에 금속촉매가 남아있기 때문에 향후 비표면적 계산시 오차를 유발할 수 있기 때문에 활성화하기 전에 다음의 정제과정을 거치는 것이 바람직하다. 정제과정은 첫 번째로 산소 분위기 하에서 표면을 산화시켜 내부에 존재하는 금속촉매를 외부로 돌출시키고, 두 번째로 이렇게 돌출된 금속을 질산 또는 질산/황산 용액에 침지시켜 제거하였다.

또한 활성화를 위해 관(tubular) 형태의 PID형 가열로(furnace)를 사용하였다.

약 5 g의 상기 정제과정을 거친 탄소나노섬유를 알루미늄 재질의 보트(boat)에 담고 석영재질의 관(직경 10 cm, 길이 80 cm)의 정중앙에 위치시킨 다음 약 1시간 질소[순도 99.999 (v/v)%]로 순환시킨 후 승온을 진행하였다. 승온 속도는 5 °C/분 으로 활성화 온도인 600°C까지 가열하였으며, 활성화 시간은 약 10분 동안 진행하였다. 이때 공급한 이산화탄소[순도 99.999 (v/v)%]의 양은 5 cc/분이었으며 질량유량계(Mass Flow Controller, MFC)를 이용하여 조절하였다. 이렇게 활성화시킨 샘플은 2차 증류수로 수회 세척하여 약 120 °C정도의 건조오븐에서 건조후에는 테스케이터에 보관하였다.

실시예 2

상기 실시예 1과 동일한 탄소나노섬유를 동일하게 정제하고, 승온 이전의 질소순환까지 동일하게 실시하였다.

승온 속도는 10 °C/분 으로 활성화 온도인 700 °C까지 가열하였으며, 활성화시간은 약 5 시간동안 진행하였다. 이때 공급한 이산화탄소의 양은 100 cc/분이었다. 활성화시킨 샘플은 2차 증류수로 수회 세척하여 약 120 °C정도의 건조오븐에서 건조후에는 테스케이터에 보관하였다.

실시예 3

상기 실시예 1과 동일한 탄소나노섬유를 동일하게 정제하고, 승온 이전의 질소순환까지 동일하게 실시하였다.

승온 속도는 20 °C/분 으로 활성화 온도인 800 °C까지 가열하였으며, 활성화시간은 약 2 시간동안 진행하였다. 이때 공급한 이산화탄소의 양은 1 l/분 이었다. 활성화시킨 샘플은 2차 증류수로 수회 세척하여 약 120 °C정도의 건조오븐에서 건조후에는 테스케이터에 보관하였다.

실시예 4

상기 실시예 1과 동일한 탄소나노섬유를 동일하게 정제하고, 승온 이전의 질소순환까지 동일하게 실시하였다.

승온 속도는 30 °C/분 으로 활성화 온도인 950 °C까지 가열하였으며, 활성화시간은 약 3 시간 동안 진행하였다. 이때 공급한 이산화탄소의 양은 2 l/분 이었다. 활성화시킨 샘플은 2차 증류수로 수회 세척하여 약 120 °C정도의 건조오븐에서 건조후에는 테스케이터에 보관하였다.

실시예 5

상기 실시예 1과 동일한 탄소나노섬유를 동일하게 정제하고, 승온 이전의 질소순환까지 동일하게 실시하였다.

승온 속도는 0.1 °C/분 으로 300 °C까지 승온시킨 후 활성화 온도인 1100 °C까지 5 °C/분으로 가열하였다. 이는 저온부에서 극심하게 일어나는 불규칙적인 산화과정을 막기 위함 이었고, 활성화는 약 30 분 동안 진행하였다. 이때 공급한 이산화탄소의 양은 5 l/분 이었다. 활성화시킨 샘플은 2차 증류수로 수회 세척하여 약 120 °C정도의 건조오븐에서 건조후에는 테스케이터에 보관하였다.

실험예 1: 전자주사현미경

활성화 전후의 탄소나노섬유의 모폴로지 관찰을 위해 미처리 및 실시예 5의 탄소섬유를 전자주사현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 SEM 사진을 얻었고 이를 도 1에 나타내었다.

도 1의 (a)는 활성화시키지 않은 탄소나노섬유(실시에 1의 정제과정을 거친 탄소나노섬유), (b)는 실시에 5, (c) 실시에 5를 확대한 사진이다. 도 1의 (b) 및 (c)에서 확인할 수 있듯이 고온의 활성화 후에도 섬유의 끊어짐 등이 발생하지 않고 섬유상을 잘 유지하고 있었다.

실험예 2: BET 비표면적 및 기공부피

BET 비표면적은 77K의 액체 질소 분위기 하에서 시료 약 0.1 g을 채취하여 질소기체를 흡착질로 하여 흡착량을 측정하였다. 시료의 전처리는 573K에서 시료 내 잔류 압력이 10^{-3} torr 이하로 될 때까지 약 9 ~ 12 시간 동안 탈기시켰다. 질소 등온흡착시험 후, P/P_0 (P 는 부분 압력, P_0 는 포화 증기압)가 약 0.05에서 0.3까지는 흡착량에 대해서 직선의 기울기를 나타내며, 이것으로부터 BET 비표면적을 구하였다.

기공 부피는 티-플롯(t-plot) 방법으로 측정하였다. 총기공부피는 상대압 0.995에서 흡착된 양을 기초로 하여 구하였으며, 미세기공 부피는 티-플롯을 이용하여 두께(statistical thickness) 0.6 ~ 2 nm 영역에서 구하였다. 중기공부피는 총기공 부피에서 상기 미세기공의 부피를 뺀 값으로 나타내었다.

미처리(활성화시키지 않은 탄소나노섬유)와 상기 실시에 1 내지 실시에 5의 탄소나노섬유의 BET 비표면적, 총기공부피, 미세기공부피, 중기공부피는 표 1에 나타내었으며, 등온흡착곡선은 그림 2에 나타내었다.

[표 1]

	BET 비표면적 (m^2/g)	총기공부피 (cm^3/g)	미세기공부피 (cm^3/g)	중기공부피 (cm^3/g)
미처리	317	0.439	0.125	0.314
실시에1	353	1.029	0.131	0.898
실시에2	656	1.316	0.225	1.091
실시에3	1352	1.865	0.481	1.384
실시에4	2032	2.325	0.711	1.614
실시에5	2811	2.997	1.025	1.972

*각각의 측정값은 실시에에 따른 10 회 평균값을 나타내었다.

한국 특허 제10-485603호의 전기방사에 의한 탄소나노튜브를 이산화탄소로 활성화시킨 경우에는 비록 비표면적이나 세공부피는 증대되나 중기공을 거의 함유하지 않았다는 한계를 지니고 있는데 비하여 본 발명의 실시에 1 내지 5의 탄소나노섬유는 총기공 중에서 중기공의 부피가 50 ~ 90 %를 차지하는 것으로 다음의 제조예에서 나타내는 바와 같이 전극 등의 용도로 매우 적합함을 알 수 있었다.

또한 도 2의 등온흡착곡선의 경우에도 실시에는 미처리군과 큰 차이를 나타내고 있으며, 특히 실시에 3 내지 5의 경우에는 현저한 차이를 나타내고 있음을 보여주고 있다.

제조예 1: 오염방지 필터

상기의 미처리군과 실시에 1 내지 5의 탄소나노섬유를 이용하여 염소 가스 제거 실험을 통해 오염방지 필터소재로의 가치를 확인하여 보았다. 염소 가스는 질소 발란스로 1013 ppm으로 희석된 것을 사용하였다. 탄소나노섬유의 양은 0.5 g을 취하였고 공급량은 100 cc/min으로 상온에서 실험하였다. 제거량은 가스텍 코리아의 HCl 검지관 (2가지: 1~40 ppm, 20~1000 ppm)을 사용하여 가스 주입구와 탄소나노섬유를 지난 후 가스 배기구의 농도차로부터 구하였다. 5 ppm을 초과점으로 하여 배기구의 농도가 5 ppm을 넘을 때까지의 시간을 측정하여 표 2에 나타내었다.

[표 2]

구분	제거시간
미처리	2 min
실시예1	4 min
실시예2	6 min
실시예3	10 min
실시예4	16 min
실시예5	22 min

미처리 군에 비해서 실시예에서 염소 가스 제거량이 현저히 증가함을 알 수 있었다. 다만, 기상 오염물의 경우 그 제거가 미세기공에 크게 의존되기 때문에 상기 제거시간 증가효과는 주로 비표면적의 증가에 따라 염소 가스 제거량이 증가되는 경향을 나타낸 것으로 보인다.

제조예 2: 전극

상기 미처리군 및 실시예 1 내지 5의 탄소나노섬유를 이용하여 커패시터용 전극재료를 제작하여 그 특성을 파악하여 보았다. 각각의 탄소나노섬유를 가로세로 2 cm의 니켈 호일에 도포하여 전극을 제조하였으며, 전해질로는 30 중량%의 수산화 칼륨 용액을 사용하였다. 충방전 전압은 0 ~ 0.9 V, 충방전 전류밀도는 100 mA/cm² 였다. 방전용량 C(F)는 다음과 같은 방법에 의해 계산했다.

$$C=I(\Delta V)/(\Delta t)$$

여기에서 I는 방전 전류밀도, ΔV 는 방전시간에 따른 전압차, Δt 는 방전시간이다. 각각의 시료에 탄소나노섬유를 이용한 충방전 용량은 표 3에 나타내었다.

[표 3]

시료	충방전 용량
미처리	60 F/g
실시예1	65 F/g
실시예2	80 F/g
실시예3	110 F/g
실시예4	140 F/g
실시예5	210 F/g

발명의 효과

이상에서 상술한 바와 같이, 본 발명의 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition technique)으로 제조된 탄소나노섬유를 이산화탄소 활성화법으로 활성화시켜 높은 비표면적을 가지기 때문에 기상 및 액상 오염원에 대한 높은 제어능이 기대되고, 미세기공(micropore)과 중기공(mesopore)을 동시에 가지는 다공성 탄소나노섬유로서 전극소재로 활용될 경우 큰 크기를 가지는 전해질의 접근성이 용이하다는 큰 장점을 가진다.

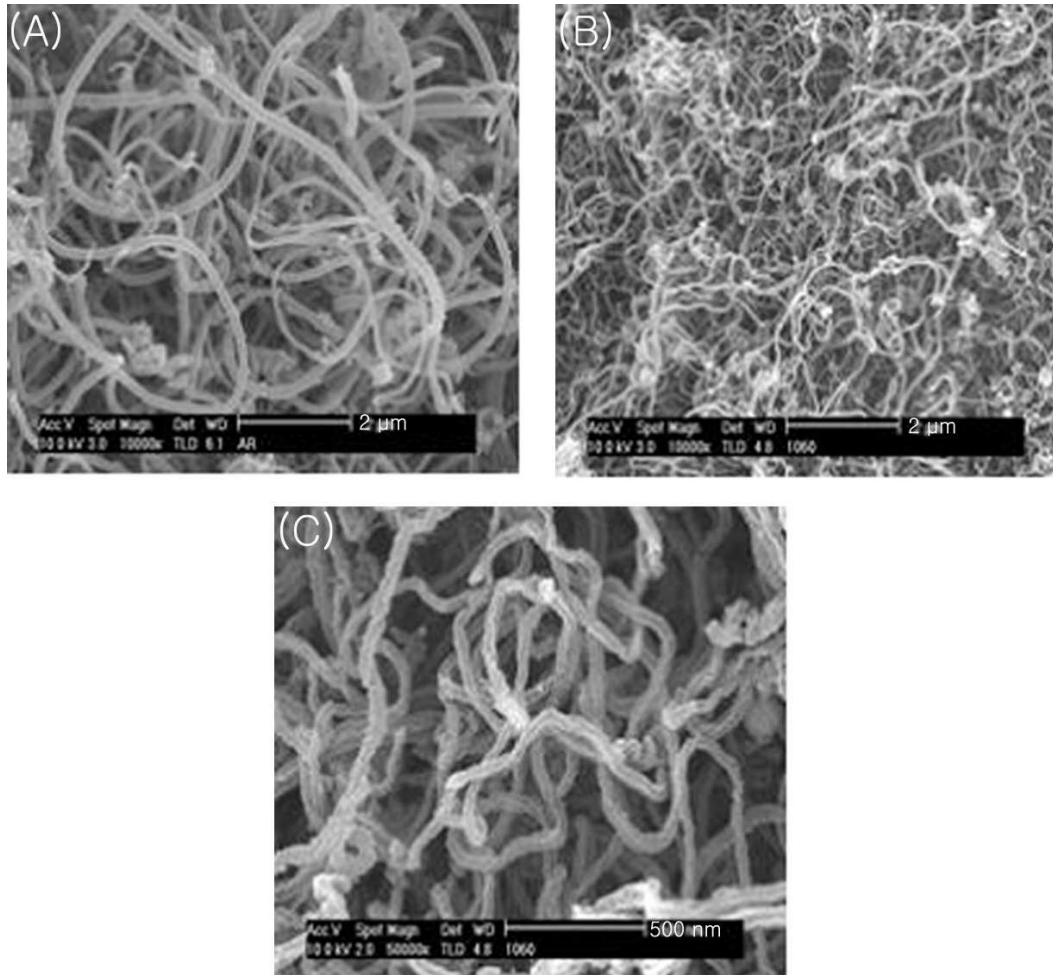
도면의 간단한 설명

도 1은 다공성 탄소나노섬유의 전자주사현미경(SEM) 사진으로 (a)는 활성화시키지 않은 탄소나노섬유, (b)는 실시예5, (c) 실시예 5를 확대한 사진이다.

도 2는 다공성 탄소나노섬유의 N₂/77K 등은 흡착 곡선을 나타낸 것이다.

도면

도면1



도면2

