(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0026546
(43) 공개일자 2010년03월10일

(51) Int. Cl.
D01F 6/78 (2006.01) *D01F 6/96* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0085583
(22) 출원일자 2008년08월30일
심사청구일자 2008년08월30일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 궁동 220번지 충남대학교
(72) 발명자
황택성
대전 유성구 전민동 엑스포아파트 404동 1703호
박승욱
대전광역시 유성구 관평동 테크노벨리 1차 APT 102-1101
최은정
대전광역시 서구 월평동 누리아파트 104동 1203호
(74) 대리인
권오식, 박창희, 김종관

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 고분기 폴리스틸렌과 반응형 아크릴산 수지를 이용한 이온선택성 나노섬유 구조체 제조방법

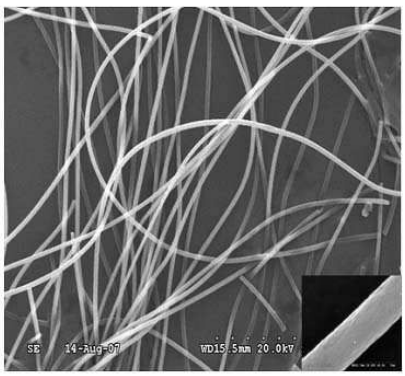
(57) 요 약

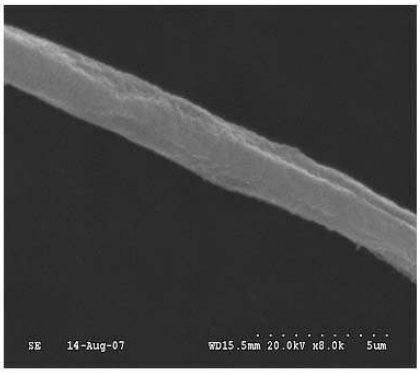
본 발명은 하이퍼브랜치 폴리스틸렌(hyperbranched polystyrene)(이하 HPS라 칭함)을 합성하여 Polystyrene-*co*-Acylic acid(이하 PSAA라 칭함)와 블랜딩(blending)한 후 설폰산 기를 도입하여 전기방사에 의한 나노섬유 구조체를 제조하고 이를 관능화하여 고도 선택성 이온교환 나노섬유 구조체를 제조하는 방법으로, 더욱 상세하게는 고분기 반응성 수지 용액을 선 설폰화하여 이온교환 용액 제조한다. 기능성 나노 이온교환체는 이를 전기방사법을 이용하여 이온교환 나노전구체를 제조한 후 UV 조사방법으로 광가교 시킨 것으로, 기존 이온교환섬유에 비해 다량의 관능기를 도입시킬 수 있어 이온교환 능력이 우수하고 이온 선택성이 뛰어난 나노 이온교환섬유를 제조하는 방법이다.

더욱 상세하게는 이온교환 방사 용액의 원료물질로서 스티렌 모노머(styrene monomer)와 리빙 라디칼 중합을 이용한 하이퍼브랜치 폴리스티렌을 합성하여 이를 PSAA 라디칼 공중합체와 용액 상태에서 브랜딩한 후, 설폰산 그룹($-SO_3^-$)을 도입 하는 것이다. 이들 이온교환 용액을 전기방사를 통해 나노크기의 초극세 섬유를 얻게 되고 이를 자외선 조사를 통해 반응성 수지를 광가교시키는 방법이다.

본 발명에 의한 나노이온교환섬유를 이용하여 극미량 유가금속의 회수 및 고감지형 센서, 촉매, 약물전달 등 의료용 소재로 활용하기 위한 고효율의 선택성이 매우 뛰어난 이온교환 나노섬유 및 이들의 응용기술을 개발을 목적으로 한다.

대 표 도 - 도4





이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	S5108L09500
부처명	중소기업청
연구사업명	중소기업청 산학협력실 지원사업
연구과제명	고도 선택성 초기능 이온교환 나노섬유 소재 및 응용기술개발
주관기관	충남대 산학협력단
연구기간	2008.07.01 ~ 2010.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

(a) 고분기성(high beanched) 폴리스티렌(HPS)을 제조하는 단계;

(b) 상기 HPS를 아크릴산 공중합체와 블랜딩하는 단계;

(c) 상기 블랜딩 수지를 술폰산화하는 단계;

(d) 상기 술폰산화 블랜딩 수지를 방사하여 섬유를 제조 하는 단계;

(e) 상기 방사된 섬유를 광가교하는 단계;

를 포함하는 이온교환섬유의 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 술폰산화 단계는 클로로설폰산에 의해 이루어지는 이온교환 섬유의 제조 방법

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 술폰산화된 블랜딩수지는 전기방사하여 제조하는 이온교환 섬유의 제조 방법

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 아크릴산공중합체는 스티렌과 아크릴산의 공중합체인 것을 특징으로 하는 이온교환 섬유의 제조방법.

청구항 5

제 1항 내지 제 4항에서 선택되는 어느 한 항에 있어서,

고분기형 폴리스티렌은 분자량분포가 1.2~1.7인 것을 특징으로 하는 이온교환 섬유의 제조방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 하이퍼브랜치 폴리스틸렌(hyperbranched polystyrene)(이하 HPS라 칭함)을 합성하여 Polystyrene-*co*-Acylic acid(이하 PSAA라 칭함)와 블랜딩(blending)한 후 설폰산 기를 도입하여 전기방사에 의한 나노섬유 구조체를 제조하고 이를 관능화하여 고도 선택성 이온교환 나노섬유 구조체를 제조하는 방법으로, 더욱 상세하게는 고분기 반응성 수지 용액을 선 설폰화하여 이온교환 용액 제조한다. 기능성 나노 이온교환체는 이를 전기방사법을 이용하여 이온교환 나노전구체를 제조한 후 UV 조사방법으로 광가교 시킨 것으로, 기존 이온교환섬유에 비해 다량의 관능기를 도입시킬 수 있어 이온교환 능력이 우수하고 이온 선택성이 뛰어난 나노 이온교환섬유를 제조하는 방법이다.

배 경 기 술

[0002] 기존 이온교환 섬유는 폴리올레핀(polyolefin) 부직포에 방사선 또는 전자빔을 처리하고 그라프팅 중합과 기능화에 의해 제조되는 기능성 이온교환필터 메디아로써, 반도체 클린룸, 화학 산업, 민수산업분야의 대기 또는 수질상의 유해 가스 제거에 탁월한 성능을 갖고 있다. 그러나 이온교환 섬유는 부피가 커서 충진 밀도가 낮으며, 가격이 비싸고 수처리 적용 시 수지에 비해 차압이 높아 사용에 한계가 있다.

[0003] 또한 지금까지 제조된 나노 섬유는 주로 필터용 소재, Coated fabric 소재, 와이퍼소재, 극한환경 방호소재,

탄소섬유소재, 에너지 저장용 소재, 의료용 소재 등 다양하게 활용되고 있으며 이들은 모두 나노섬유의 고유특성인 단위부피당 큰 표면적과, 매우 작은 기공만 이용하였을 뿐 표면개질을 통한 기능화 나노섬유에 대한 연구는 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

[0004] 따라서 이러한 기존의 이온교환섬유의 단점을 개선하기 위한 새로운 연구가 필요하다. 특히 지금까지 이온교환 섬유의 응용분야에 따라 의료용, 군수 산업 분야 반도체 디스플레이어 분야 등의 첨단 분야에서는 센서와 촉매 및 기존 나노섬유보다 월등히 뛰어난 감응성과 선택성 등이 요구된다. 따라서 이를 개선한 고 기능성 이온교환섬유 제조가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

[0005]

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0006] 이에 본 발명에서는 기존 이온교환섬유의 단점을 개선하고자 다량의 관능기 도입이 가능한 하이퍼 브랜치(고분기) 고분자 중합체를 합성하고 기계적물성 증가를 위하여 아크릴산계 수지 공중합체를 블랜딩(blending)하여 조성물을 제조하고, 이 조성물을 설폰화하여 전기방사 방법으로 나노 이온교환 섬유를 제조하는 방법을 제공한다.

[0007] 더욱 상세히는 HPS(high branched polystyrene)의 합성을 통해 고분기성 구조를 가진 폴리스티렌의 분자구조를 불규칙적 혹은 규칙적으로 방향족 가지 구조를 조절함으로써, 고분자 주 사슬에 관능화가 가능한 자유 용적을 크게 하는 것을 특징으로 한다. 또한 이를 설폰화 한 이온교환 용액은 고분기성 방향족 고리에 설폰산기가 치환된 다관능인 것을 특징으로 한다. 하이퍼브랜치의 분자량 분포도는 기존 라디칼 중합에 비해 1.2~1.7사이의 낮은 분포를 나타내고, 상기와 같이 제조 된 나노 이온교환 섬유는 높은 이온선택성과 이온교환능을 지닌다.

[0008] 본 발명에 의해 제조된 기능성 나노이온교환 섬유는 기존 이온교환 수지가 가지고 있는 단점을 보완하여 충진용으로는 부피가 작아 높은 충진밀도를 가지며 하이퍼브랜치 된 고분자를 통해 다관능기를 도입하여 이온선택성과 이온교환 능력을 향상 시킬 수 있다. 이온교환 나노섬유는 선 관능화한 고분자 용액을 전기방사하여 얻게 되므로 후에 별도의 술폰화 과정을 생략 할 수 있다.

[0009] 더욱 상세하게, 본 발명은 하이퍼브랜치 폴리스틸렌(hyperbranched polystyrene)(이하 HPS라 칭함)을 합성하여 Polystyrene-*co*-Acylic acid(이하 PSAA라 칭함)와 블랜딩(blending)한 후 설폰산 기를 도입하여 전기방사에 의한 나노섬유 구조체를 제조하고 이를 관능화하여 고도 선택성 이온교환 나노섬유 구조체를 제조하는 방법으로, 더욱 상세하게는 고분기 반응성 수지 용액을 선 설폰화하여 이온교환 용액 제조한다. 기능성 나노 이온교환체는 이를 전기방사법을 이용하여 이온교환 나노전구체를 제조한 후 UV 조사방법으로 광가교 시킨 것으로, 기존 이온교환섬유에 비해 다량의 관능기를 도입시킬 수 있어 이온교환 능력이 우수하고 이온 선택성이 뛰어난 나노 이온교환섬유를 제조하는 방법이다.

[0010] 설폰산 그룹이 고분기 가지에 치환되어 제조된 다관능성 이온교환 용액은 블랜딩된 상기 조성물의 -COOH 의 라디칼기는 광가교형 특징을 가지고 있어 가교가 일어남과 동시에 자외선 조사 시에 발생한 40~60℃의 열로 인하여 미반응 된 클로로설폰산이 반응하여 이온교환용량과 선택성을 동시에 향상시키는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한 PS계통의 나노섬유의 취성문제는 저분자량의 HPS가 방사후 취성을 생기는 것을 보완해 주며 광가교를 통해 가교도를 조절하여 제조하는 방법이다.

[0012] 따라서 본 발명에서는 하이퍼브랜치 고분자와 라디칼 공중합체 블랜딩 조성물에 설폰산기를 도입하여 이를 이용한 고도 선택성 나노이온교환 섬유를 제조하는 방법을 제공하고자 한다.

과제 해결수단

[0013] 상기와 같은 발명의 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

[0014] 기능성 나노 이온교환섬유의 제조는 스티렌 모노머와 소량의 디비닐벤젠을 이용하여 고분기 고분자를 합성 한 후, 아크릴산 수지 공중합체, 예를 들면 스티렌-아크리산 공중합체 등, 를 MIBK 용매에 녹여 블렌딩하여 조성물을 제조한다. 이어서 양이온 교환기인 설폰산 기를 도입하기위해 용액에 클로로설폰산 혹은 황산을 용매 첨가하여 다관능성 양이온교환 용액을 제조하는 방법을 제공한다.

[0015] 이온교환 용액의 제조과정은 클로로술폰산을 첨가한 경우 상온(25℃)에서 수분에서 20분 이내에 이루어지는 것

이 바람직하며, 황산을 사용하는 경우 60 ℃에서 30~40분 수행하는 것이 이온교환 성능을 향상시키는데 바람직하다. 이 이온교환 용액은 전기방사를 통해 1100 ~1600nm정도의 직경을 지닌 이온교환섬유가 제조된다.

[0016] 나노섬유의 가교는 UV조사를 통해 상기 조성물 중 라디칼 공중합체의(-COOH)에 의해 광가교됨과 동시에 발생한 열로 인하여 미반응 클로로설폰산의 산가교와 관능화가 동시에 이루어짐을 특징으로 한다.

효 과

[0017] 본 발명에 의한 고분기성 조성물을 이용한 나노 이온교환 섬유 다관능성으로 인해 촉매 및 약물전달 분야에 있어 고도의 기능성을 요하는 분야에 적합하며 응용범위에서 첨단 바이오 응용소재, 군수산업, 극한 방호소재 및 반도체 디스플레이산업 등 응용분야가 다양할 것으로 기대하며, 이온교환량이 매우 큰 새로운 이온교환수지를 제조하였다..

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0018] 이하 각 과정에 따라 본 발명을 상세히 설명한다.

[0019] 본 발명은 하이퍼브랜치 폴리스틸렌과 아크릴산 수지 공중합체를 블랜딩하여 이온교환 나노섬유의 제조방법에 관한 것으로 하이퍼브랜치 폴리스틸렌 합성과정, 술폰화과정, 이들의 용액을 이용하여 전기방사법을 통한 이온교환 나노섬유의 제조과정, UV 광가교 과정으로 나눌 수 있다.

[0020] **(1) 하이퍼브랜치 고분자 수지 합성 과정**

[0021] 하이퍼브랜치 고분자의 합성은 리빙 라디칼 중합방법 중 원자전이 라디칼중합(Atom transfer radical polymerization)(이하 ATRP라 칭함) 방법을 이용하였다. 스틸렌 단량체와 디비닐벤젠(이하 DVB라 칭함), 촉매성분으로 전이금속인 브롬화 구리(CuBr) 등의 루이스산을 이용하고, 반응촉진제로서 바이피리딘을 교반기, 냉각기, 질소주입구가 부착된 온도조절이 가능한 3구 플라스크 반응기에 넣고 균일하게 혼합 후, 혼합용액에 개시제인 1-브로모에틸벤젠(이하 BEB라 칭함)를 첨가하여 질소 분위기 하에서 반응온도를 60~100℃, 좋게는 80도씨 정도의 온도에서 일정하게 유지하면서 24 ~ 48시간 동안 교반하면서 ATRP법을 이용하여 반응시켰다. 얻어진 혼합물을 염기성 알루미나 컬럼으로 촉매를 제거하고, 메탄올로 재침전시킴으로써, 백색의 분말을 얻었다. 도면 1과 도면 2는 하이퍼브랜치 고분자의 합성메커니즘과 구조를 나타내었다.

[0022] **(2) 술폰화과정**

[0023] 양이온 교환 용액은 합성한 상기의 HPS와 아크릴산 공중합체, 예를 들면 폴리스티렌아크릴산 공중합체를 1:1~2:1 바람직하게는 1.5:1 중량%로 MIBK(Methyl isobutyl ketone) 등의 유기 용매에서 용액 블랜딩을 하고 점도를 600~800CP정도로 조절한다. 상기 조성물을 용액에 클로로설폰산(Chlorosulfonic acid)를 용매에 대해 5~20 vol%로 바람직하게는 10vol%로 넣은 후 질소분위기 하에서 반응온도 20℃~40℃, 10분~30분 동안 교반을 통해 술폰화 반응을 진행한다. 술폰화제의 농도를 변화시켜 술폰화 양이온교환 용액을 제조한다.(도3)

[0024] **(3) 이온교환 용액 전기방사 과정**

[0025] 상기와 같이 관능화 된 고분자를 전기방사법을 이용하여 하이퍼브랜치 이온교환 나노섬유를 제조하였다. 상기 선 관능화 된 이온교환용액을 30cc 주사기에 주입하여 주사기 노즐과 집속 롤러 사이의 거리를 15cm로 고정하고 고분자용액 공급 유속을 0.1ml/h로 전압을 10~14 kV로 바람직하게는 12KV로 하여 하이퍼 브랜치 이온교환 나노섬유를 제조 하였다. 집속 롤러는 길이가 20 cm에 원주가 25 cm인 스테인레스 소재의 원형드럼을 사용하였으며, 회전속도와 왕복속도는 각각 30 cm/min, 2 m/min으로 고정하였다. 이와 같은 방법으로 제조된 이온교환 섬유의 직경은 1100~1600nm정도로 제조되었다.

[0026] **(4) UV 광가교과정**

[0027] 상기 제조된 나노섬유를 UV조사 노출시켜 가교를 형성하였다. 라디칼 공중합체인 PSAA가 가교될 수 있는 270nm ~300nm 사이의 파장을 조사하여 가교가 이뤄졌으며 조사량은 UV intensity 500W 로 20분내외가 바람직하다.

[0028] 도면3에는 고기능성 나노이온교환섬유 제조의 전체적인 모식도를 나타내었다.

[0029] **실시예**

[0030] 본 발명은 고분기 반응형 수지를 이용한 이온선택성 기능성 나노구조체 제조 이온교환막의 제조에 관한 것으로 다음과 같은 실시예를 제시하고자 한다.

[0031] 실시예 1

[0032] 하이퍼 브랜치 고분자 합성을 위해 스틸렌 10.52g (100 mmol), 디비닐벤젠 1.627g (10 mmol) (이하 DVB라 약칭한다), 전이금속인 브롬화 구리(Cubr) (I) 0.146g (1mmol), 바이피리딘 0.237g (1.5mmol)을 혼합용액을 제조한 후 BEB로 ATRP법 반응을 개시한다. 반응온도를 80℃로 일정하게 유지하면서 24(실시예 1-1), 32(실시예 1-2), 40(실시예 1-3), 48(실시예 1-4)시간 동안 반응하였다.

[0033] 반응된 용액을 건조 세척하여 중합체를 얻어 HPS:PSAA(스틸렌 : 95 중량%, 아크릴산 : 5 중량 %), 1.5 : 1 중량%로 하여 MIBK용매에 1:1 중량%(약 800cp)로 혼합한 후 클로로설폰산 10 vol%로 설폰화 한 후(설폰화 조건 : 온도 : 10~30℃, 반응시간 : 10~20분) 위의 조건에 따라 전기방사(12kv)한 후 UV 광가교화(광가교시간 : 15~30분, 자외선강도 : 500 W, 섬유 평균직경 : 1,100~1,600nm)하였다. 한편 나노섬유를 제조후 황산 40 vol% 용액에 침지시켜 60분 이내로 안정화 시키고, 탈이온수로 여러번 반복세척하여 60℃ 진공오븐에서 5-10시간 건조시켜 이온교환 나노섬유 구조체를 제조하였다.

[0034] 실시예 2 : 합성 된 하이퍼 브랜치 고분자 (분자량 분포도 : 1.13, MW : 14,410)을 각각 HPS:PSAA를 1:1(실시예 2-1), 1.5:1(실시예 2-2_ 2:1(실시예 2-3)로 블랜딩하여 실시예 1과 같은 조건에 의해 설폰화하여 전기방사 하였다.

[0035] 실시예 3 : 합성 된 하이퍼 브랜치 (PDI:1.13, MW:14,410)을 각각 HPS:PSAA 1.5:1로 블랜딩하여 클로로설폰산을 제조된 용액 대비 5(실시예 3-1), 10(실시예 3-2), 15(실시예 3-3), 20 vol%(실시예 3-4)로 첨가하여 실시예 1과 같은 조건에 의해 설폰화하여 전기방사 하였다.

[0036] 3. 특성분석

[0037] (1) 이온교환섬유 구조 및 분자량 분석

[0038] 상기와 같이 합성된 하이퍼브랜치 폴리스틸렌의 분자량을 겔 크로마토그래피를 통해 측정하고 전기방사 법에 의해 얻어진 이온교환 나노섬유를 후리에 전환 적외선 분광기를 이용하여 분석하였다.

[0039] (1) 구조 및 분자량 분석

[0040] 합성된 하이퍼브랜치 고분자의 전환율은 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

[0041]
$$Total\,conversion(\%)=\frac{total\ weight\ of\ polymerized\ St\text{-}co\text{-}DVB}{initial\ weight\ of\ Styrene\ \text{and}\ DVB}\times 100 \qquad (1)$$

[0042] (2) 이온교환용량의 측정

[0043] 이온교환용량을 측정하기 위하여 1 N NaOH 수용액과 1N HCl 수용액을 이용 산염기 적정에 의하여 이온교환용량을 식 (2)에 의해 결정하였다.

[0044]
$$IEC\,(meq/g)=\frac{(V_{HCl}\times N_{HCl})-5\times(V_{NaOH}\times N_{NaOH})}{Weight\ of\ sample} \qquad (2)$$

[0045] (3) 함수율 측정

[0046] 이온교환 나노섬유를 일정크기(3ㅅ3 cm)로 절단한 후 0.1 M NaCl 용액에 침적시켜 충분히 팽윤시킨 다음 이온교환막 표면의 free water를 제거한 후 칭량하고, 이것을 60℃ 진공오븐에서 24 시간 건조시켜 냉각시킨 후 식 (3)에 의해 함수율을 구하였다.

[0047]
$$Water\ uptake\ (\%)=\frac{W_w-W_a}{W_a}\times 100 \qquad (3)$$

표 1

[0048]

실시예	반응시간(h)	전환율(%)	Mw (g/mol)	Mw/Mn (PDI)	함수율 (%)	이온교환용량 (meq/ g)

1-1	24	34.6	14,410	1.13	21.80	4.65
1-2	32	42.2	24,710	1.14	20.86	4.57
1-3	40	49.1	23,880	1.18	19.57	4.12
1-4	48	69.8	30,820	1.48	17.82	3.89

[0049] 실시예 1의 조건대로 합성한 나노 이온교환 섬유를 하이퍼브랜치 고분자의 분자량과 분자량 분포도(PDI)에 따른 실시예 1-1~1-4까지 함수율과 이온교환용량을 나타내었다. 하이퍼브랜치 고분자 합성시 반응시간에 따른 고분자량이 형성되었으며 PDI는 증가하였다.

[0050] 이온교환능력은 분자량 분포가 1.13으로 낮을 때 가장 크게 나타났으며 또한 분자량이 낮을수록 자외선 조사시 가교도 조절이 수월하고 분자량 분포도가 좁은 고분기성 고분자일수록 이온교환능에 유리함을 나타내었다. 도 4에서는 실시예 1-1의 방사된 섬유의 모폴로지를 관찰한 SEM이미지를 나타내었다.

표 2

[0051]

실시예	Mw(g/mol)	Mw/Mn (PDI)	HPS/PSAA (vol%)	**함수율 (%)**	**이온교환용량 (meq/ g)**
2-1	14,410	1.13	1:1	19.77	4.35
2-2			1.5:1	21.80	4.65
2-3			2:1	22.50	4.72

[0052] 상기 표 2에서는 실시예 2의 조건에 따라 합성한 조합물 블렌딩시에 HPS와 PSAA의 배합비율에 따른 실시예를 2-1 ~ 2-3에 나타내었다. 높은 분기도를 가진 HPS의 함량이 증가함에 따라 상대적인 함수율과 이온교환용량이 증가함을 나타냈다. 이온교환 용액 제조 시 술폰화제에 의한 방사에 적당한 점도(600~800cp)와 섬유의 광가교시 가교도에 영향을 주지 않는 범위인 두 **[HPS]/ [PSAA]** 1.5:1 부피비 정도 비율이 이상적이다.

표 3

[0053]

실시예	Mw(g/mol)	Mw/Mn (PDI)	클로로설폰산 (vol%)	**함수율 (%)**	**이온교환용량 (meq/ g)**
2-1	14,410	1.13	5	18.97	4.10
2-2			10	21.80	4.65
2-3			15	22.81	4.72
			20	23.10	4.62

[0054] 실시예 3에 다른 2-1~2-3은 조합물을 포함하는 용액을 클로로설폰산의 농도에 따라 설폰화하여 위와 동일 조건에 의해 전기방사 UV가교화 하였다. 클로로설폰산의 농도는 이온교환용량을 늘리는데 영향을 주나 클로로설폰산의 농도는 방사용액의 점도와 깊은 연관성이 있기 때문에 20%이상의 높은 농도에서는 술폰화도가 높아짐에 따라 섬유의 수축과 방향족 고리끼리 연결해주는(R-SO2-R) 산 가교반응이 동시에 일어남에 따라 전기방사하여 섬유를 제조하기에 적합하지 않다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1은 하이퍼브랜치 폴리스티렌 합성 메커니즘

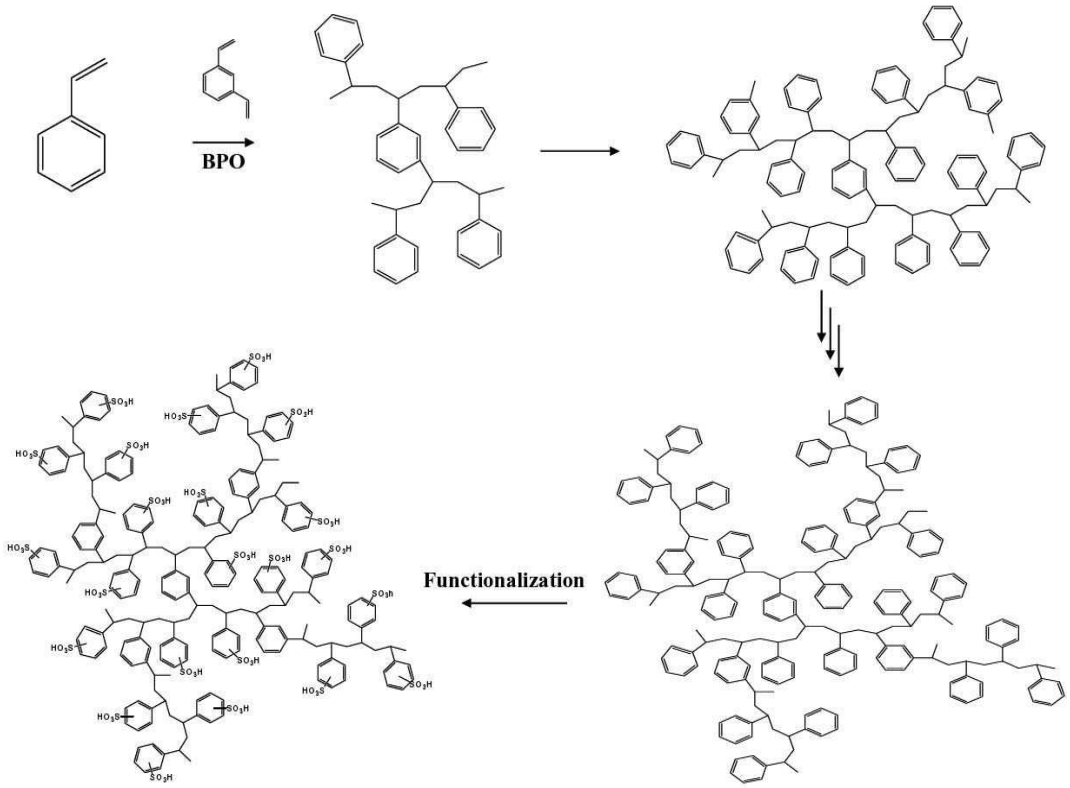
[0056] 도 2는 술폰화 된 하이퍼브랜치의 FT-IR 스펙트럼

[0057] 도 3은 나노 이온교환 섬유 구조체의 제조 모식도

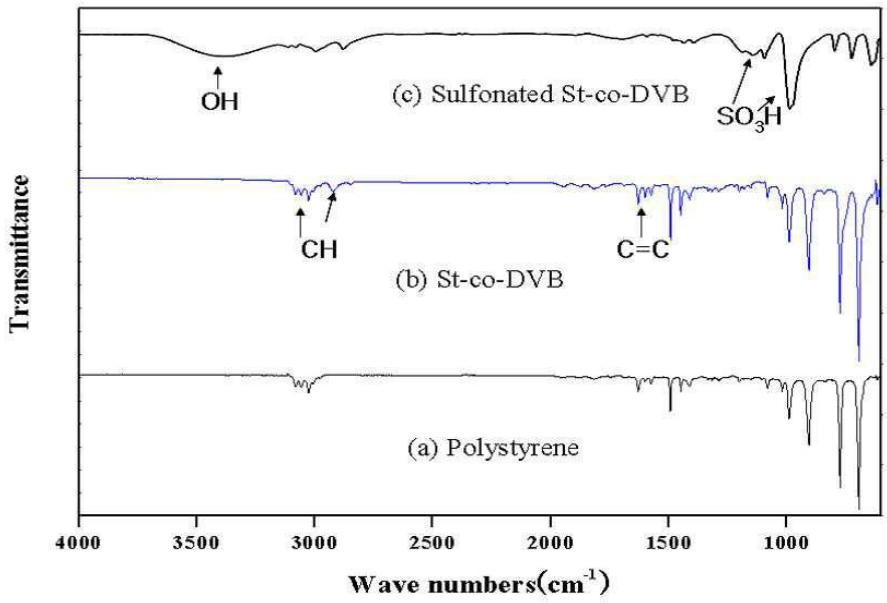
[0058] 도 4는 나노이온교환 구조체의 SEM 사진

도면

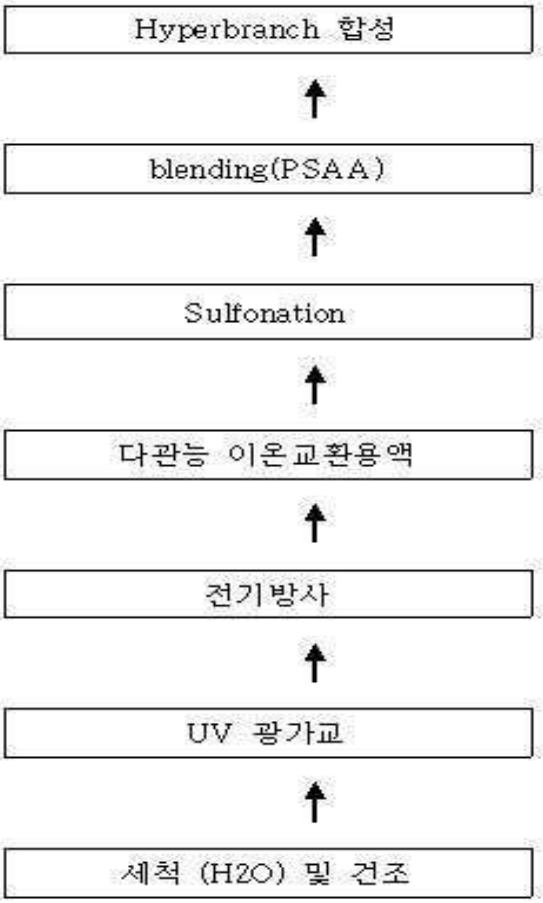
도면1


BPO
Functionalization

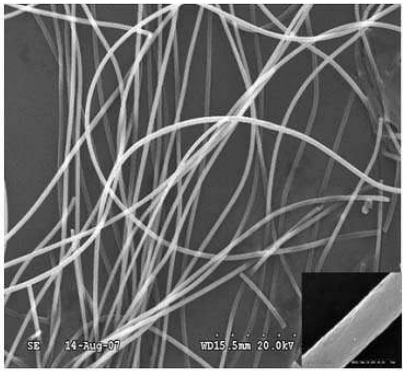
도면2

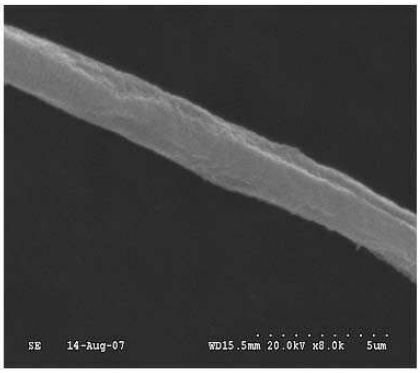

OH
(c) Sulfonated St-co-DVB
SO3H
CH
C=C
(b) St-co-DVB
(a) Polystyrene
Transmittance
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
Wave numbers(cm-1)

도면3


Hyperbranch 합성
blending(PSAA)
Sulfonation
다관능 이온교환용액
전기방사
UV 광가교
세척 (H2O) 및 건조

도면4


SE 14-Aug-07 WD15.5mm 20.0kV


SE 14-Aug-07 WD15.5mm 20.0kV x8.0k 5um