

## 형광 라벨링을 통한 온도 반응성 고분자 거동 연구

자극 반응성 고분자는 고유한 성질을 가진 화장품을 제조하는데 사용될 수 있는 기능성 물질로 여겨져 다양한 연구들이 진행되었다. 본 연구에서는 높은 임계 용액 온도(upper critical solution temperature, UCST)를 가진 poly(acrylamide-co-acrylonitrile) (poly(AAm-co-AN))의 온도 반응 거동을 조사하여 높은 온도의 물에 의해 쉽게 제거될 수 있는 화장품에 적용하고자 하였다. 서로 다른 6가지 종류의 poly(AAm-co-AN) 중합체가 합성되었고, 더 많은 함량의 AN 단위를 함유하는 것이 물에서 더 높은 UCST를 나타냈다. 주위 환경에 감응하는 형광 물질로 폴리머를 개질하여 형광 분석법에 의해 poly(AAm-co-AN)의 UCST 거동을 분석하였다. poly(AAm-co-AN) 중합체가 UCST 아래에서는 어느 정도 느슨하게 응집되고, AN 단위의 cyano그룹 사이의 쌍극자-쌍극자 상호 작용과 AAm 단위의 amide 그룹 사이의 수소 결합이 응집체의 가교를 담당하였다. 이러한 연구 결과를 토대로 다른 성분들과의 상호 작용을 제어하는 고분자 디자인을 통해 새로운 UCST 거동을 보이는 물질 개발도 가능할 것으로 본다.

본 연구 결과는 “Fluorescent Labeling Method Re-Evaluates the Intriguing Thermoresponsive Behavior of Poly(acrylamide-co-acrylonitrile)s with Upper Critical Solution Temperatures”의 제목으로 2019년 *Macromolecules*에 게재되었다.

<C. Otsuka et al., *Macromolecules*, **52**, 7646 (2019)

DOI: 10.1021/acs.macromol.9b00880>

## 효율적인 양이온 제거를 위한 초박막 나노 여과 물질 연구

효율적인 염수 및 공업용 수처리에 필수적인 2가 및 다가 양이온 제거를 위해서는 높은 물 투과율 및 염 제거율을 가진 분

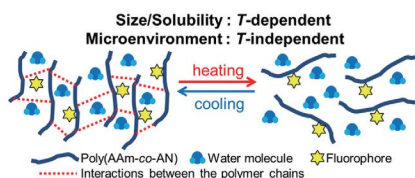


그림 1. UCST를 가진 온도 감응성 고분자 물질의 거동 변화 모식도.

리박 개발이 필수적이라고 할 수 있다. 이 가운데 나노 여과(nanofiltration)은 높은 분리 효율과 환경 친화적인 공정으로 주목 받고 있는 기술 중의 하나로, 해수담수화 공정 비용을 절감하기 위해 나노 여과의 성능을 높이기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 최근 연구되는 나노 여과 분리막은 분리 기능을 가진 활성층과 기계적 지지체 역할을 하는 다공성 기질층으로 이루어진 복합체 구조이다. 이 논문에서는 네트워크 필름에 갇혀있는 아민의 *in-situ* 가교를 통한 초박막 나노 여과막 제조에 대한 연구를 보고하였다. 탄소나노튜브(SWCNT)로 만들어진 네트워크는 poly(ethylene imine)(PEI)의 지지체 역할을 하며, 제어된 두께를 갖는 polyamine(PA) 층의 형성을 용이하게 한다. SWCNT 네트워크의 초박막형 두께(~ 31 nm)의 장점으로 인해 활성층(약 34 nm 두께)은 높은 물 투과율과 높은  $MgCl_2$  제거율을 나타내었다. 이 연구에서 갇혀진(confined) 지지체 구조를 사용하여 활성 고분자 층의 위치, 두께 및 성질을 제어할 수 있는 가능성을 보여주는 한편, 강화된 활성층을 가진 고투과성 초박막 나노 여과 분리막 제조 전략이 연구되어 다양한 분리막 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구 결과는 “Ultrathin Nanofiltration Membrane from Confined Polymerization within the Nanowire Network for High Efficiency Divalent Cation Removal”이라는 제목으로 2019년 *ACS Macro Letters*에 게재되었다.

<Z. Wang et al., *ACS Macro Lett.*, **8**, 1240 (2019)

DOI: 10.1021/acsmacrolett.9b00624>

## 온도 유도 초분자 중합을 통한 나노 와이어 합성 연구

나노 규모 입자의 초분자 중합은 기하학적 구조 및 기능이 제어된 계층적 나노 구조를 제조하기 위한 효과적인 방법으로 간주되어 왔다. 하지만, 지금까지는 그 메커니즘에 대해 알려진 바가 매우 제한되어 있고, 특히 계층 구조의 제어 가능한 합성에 중요한 중합 반응 동역학 메커니즘에 대해서는 알려진 바가 거의

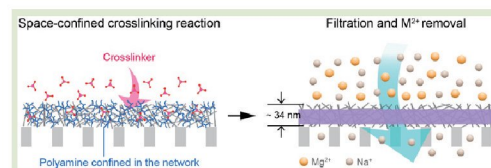


그림 2. 양이온 제거를 위한 초박막 나노 여과 분리막 제조.

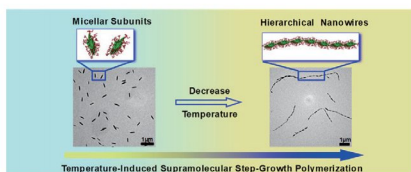


그림 3. 온도 유도 초분자 중합에 의한 나노 와이어 합성.

없다. 본 연구에서는 1차원 계층적 나노 와이어를 제조하기 위한 온도 유도 초분자 단계 성장 중합(step-growth polymerization) 방법을 연구하였다. 중합 단위는 양친매성 poly( $\gamma$ -benzyl-L-glutamate)-graft-poly(ethylene glycol)(PBLG-g-PEG) 공중합체로부터 자가 조립된 스핀들 형 마이셀이다. 마이셀의 양쪽 말단에서 PBLG 코어에 대한 PEG 그래프트의 불안정한 적용(coverage)으로 인해 구조적 결함이 나타난다. 저온에서 PBLG는 보다 소수성인 경향이 있으며, 결과적으로 이들 결함은 반응성이 높아져 중합을 유도한다. 동역학 연구에 따르면 저온 및 높은 마이셀 농도에서 중합 속도가 상대적으로 빨라지게 된다. 본 연구는 새로운 종류의 초분자 중합 및 이의 반응 동역학 메커니즘을 설명하였고, 얻어진 결과는 계층 구조의 제어 가능한 구성에 대한 방향을 제시할 수 있을 것으로 본다.

본 연구 결과는 “Synthesis of Nanowires via Temperature-Induced Supramolecular Step-Growth Polymerization”라는 제목으로 2019년 *Macromolecules*에 게재되었다.

<H. Gao et al., *Macromolecules*, **52**, 7731 (2019)

DOI: 10.1021/acs.macromol.9b01358>

## 스마트 섬유를 위한 야누스 폴리 에스테르 / 니트로 셀룰로스 구조 연구

기능성 섬유와 웨어러블 소재의 성능 향상에 대한 연구와 더불어 이러한 재료들의 인체 적용 시 생리학적 편안함(comfort)을 제어하고자 하는 관심이 높다. 피부에서 분비되는 과도한 땀은 종종 젖은 섬유와 차가운 느낌으로 인해 원치 않는 접착력을 유발하는 경향이 있다. 면과 같은 전통적인 친수성 섬유는 땀을 흡수하지만 그것을 유지한다는 단점이 있다. 이 논문에서는 방향성 액체 수송이 가능하면서 인체 온도(2 ~ 3°C)를 유지할 수 있는 친수성 내부 표면을 가진 원뿔형 미세 기공 배열로 임베딩된 소수성/초 친수성 야누스 폴리 에스테르/니트로 셀룰로스 직물 면직 소재(Janus PE/NC textile) 개발 연구를 진행하였다. 친수성 원뿔형 미세 기공을 가진 소수성 폴리 에스테르 층이 액체와 접촉할 때 야누스 폴리 에스테르/니트로 셀룰로스 직물은 모세관력에 의해 구동되는 친수성 원뿔형 미세 기공을 통해 이를 초 친수성 니트로 셀룰로스 층으로 펌핑할 수 있다. 야누스 폴리 에스테르/니트로 셀룰로스 직물은 액체의 제거로 인해 원치 않는 습식 접촉 및 열 손실을 약화시킬 수 있다. 야누스 폴리 에스테르/니트로 셀룰로스 직물의 물 흡수성 및 공기 투과성은 전통적인 직물의 수성 및 공기 투과성에 필적한다. 이 연구는 방향성 물 수송 특성을 가진 기능성 섬유를 설계하는 데 유용하여 인체에 편안한 미세 온도 제어 기능을 가진 차세대 스마트 섬유 연구에 널리 활용될 수 있을 것이다.

본 연구결과는 “Bioinspired Janus Textile with Conical Micropores

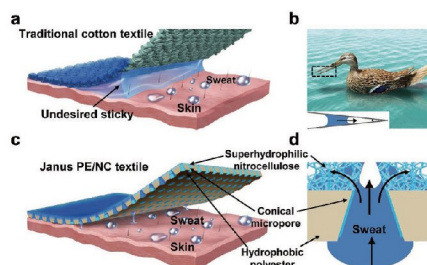


그림 4. 야누스 폴리 에스테르/니트로 셀룰로스 직물로 덮인 인체의 땀 배출 경로를 보여주는 모식도.

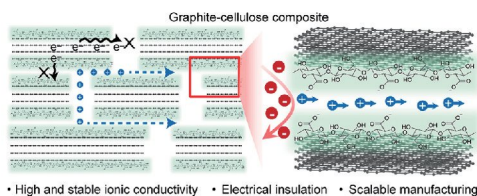


그림 5. 흑연-나노 피브릴 셀룰로스 구조 모식도.

for Human Body Moisture and Thermal Management”라는 제목으로 2019년 *Advanced Materials*에 게재되었다.

<B. Dai et al., *Adv. Mater.*, **31**, 1904113 (2019)

DOI: 10.1002/adma.201904113>

## 하이브리드 전도체에서 이온 및 전자 경로 디커플링 연구

나노 유체 이온 수송을 위한 2 차원 층상 화합물의 구조는 최근 이들 재료의 용이한 제조, 제어 가능한 채널 크기 및 높은 플럭스로 인해 관심이 증가하고있다. 본 연구에서는 나노 미터 두께의 흑연 플레이크가 음전하 나노 피브릴 셀룰로스(NFC) 섬유로 감싸져 빠른 양이온 수송을위한 나노 채널로서 여러 개의 2D 한정 공간을 형성하는 진주층 모방(nacre-mimetic) 흑연 기반 나노 유체 구조를 설계하였다. 흑연-NFC 구조는 흑연 농도가 최대 50 wt %일 때에도 매우 낮은 전기 전도도 수치를 보여줬고, 흑연-NFC 복합재의 수화도를 조정함으로써, ~ 1 nm 간격의 한정 공간에서 표면 전하를 이용한 이온 수송은 완전히 팽창된 구조의 것보다 거의 12 배 더 높은 이온 전도성을 나타내었다. 본 연구에서 만들어진 전하 선택적 전도체는 높은 이온 전도성 및 낮은 전기 전도성을 동시에 보여주었으며, 흑연 및 NFC 성분의 고유한 안정성은 산성 및 염기성 환경 모두에서 나노 유체 이온 전도체의 높은 기능성에 일조하였다. 본 연구 결과는 나노 유체 이온 수송을 연구하기에 적합한 플랫폼이 될 것으로 사료되며, 이온 및 전자 경로를 디커플링하는 새로운 전략을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구 결과는 “Decoupling Ionic and Electronic Pathways in Low-Dimensional Hybrid Conductors”라는 제목으로 2019년 *Journal of the American Chemical Society*에 게재되었다.

<Y. Zhou et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **141**, 17830 (2019)

DOI: 10.1021/jacs.9b09009>

<조은선, email:escho@kaist.ac.kr>