

상에서는 2초 이내에 명확한 영상을 얻을 수 있었다. 박막위의 패턴은 전극에 전기장을 가해 가열시킨 후, 특정온도 이상에서 짙은 초록색으로부터 흰색으로 색을 바꿀 수 있는데 이러한 색변화는 온도범위를 줄임으로써 거꾸로 될 수 있다. 이번에 발표된 열변색성 디스플레이 방식은 전자 광고판과 전자책을 포함한 다양한 방식으로 이용될 수 있을 것이라고 제안되고 있다. 또 다른 응용분야로는 생물시료 분석에 사용되는 마이크로칩을 위한 컬러막대도 가능할 것이다. 아직 완전컬러 구현의 어려움과 기존 LCD나 OLED방식의 디스플레이와의 경쟁이 문제점으로 남아있지만 간단한 제조방식과 저렴함으로 전자종이와 비교해 경쟁력을 가지고 있다.

(*Appl. Phys. Lett.*, May, 2007)

고분자 마이크로-나노입자 제조법

고분자 마이크로-나노입자는 약물전달 시스템, 의학적 이미지 구축시스템 그리고 마이크로 유체역학 등에서 중요한 비중을 차지하고 있다. 이러한 분야에서 고분자나노입자의 특성은 그들의 모양에 크게 영향을 받게 되는데 이는 곧 나노입자의 모양을 조절하는 것이 중요한 이슈임을 말한다. 화학 공학과 교수인 사미르 미트라고트리(Samir Mitragotri) 교수팀은 2가지 방법을 사용하여 고분자 나노입자의 모양을 변화시켰다. 첫 번째, 구형 폴리스티렌(Polystyrene) 구슬을 폴리비닐 알코올(polyvinyl alcohol) 수용액에 분산시켜 박막을 만든다. 그 후에 유리전이온도 이상의 온도로 올리거나 톨루엔을 사용하여 액상으로 만든 후 이를 연신시켜 냉각시키거나 용매를 증발시키게 되면 고체상의 계란모양 나노입자를 형성시킬 수 있다. 두 번째, 위의 방법에 따라 폴리비닐 알코올 수용액에 분산시킨 박막을 당겨서 팽창시키면 구슬 주위에 기공이 생긴다. 이후에 액상으로 만든 후, 고체화 시키게 되면 고분자 나노입자의 모양을 변화시킬 수 있다. 이러한 방법은 마이크로-나노입자가 구형이 아닌 특정 형태를 가지는 곳에 적용될 수 있도록 해준다. 이는 약물전달, 마이크로 생물학, 첨단 물질 개발과 유동학 등에 무궁무진하게 응용될 것으로 여겨진다. 따라서 고분자 나노입자를 이용한 다양한 신개념의 재료 설계와 응용 방향 설정에 도움이 될 것이다.

(*PNAS*, June, 2007)

중국, 세계적인 고강도 섬유 개발

70년대 듀폰사에 의해 개발된 케블라가 등장한 지 약 10년 후에 등장한 '다이니마'라는 고강도 폴리에틸렌 섬유는 굴곡성고분자에서도 고강도화가 가능한 것으로 증명되었으나 내열성 부족 등으로 당초에는 그 응용분야가 한정되어 왔다. 그러나 최근 고강도 폴리에틸렌 섬유가 갖고 있는 독특한 특징이 시장에서 확인되고 있으며, 활기찬 용도개발에 성공하게 되었다. 특히, 이 재료는 밧줄, 그물, 방탄재료 또는 보호 장갑, 섬유 콘크리트, 헬멧 등에 사용되는 섬유로서 반복되는 에틸렌 단일 구조로 구성된 고분자이다. 평균 강도는 $>22\text{cN/dtex}$ 이며, 섬유 단일 마찰계수는 $>100,000$ 번이다. 지금까지 고강도 폴리에틸렌 섬유를 개발연구에서 생산까지 미국과 네덜란드가 기술을 독점하고 있었지만 중국 동화대학 화학섬유연구소의 Liu Zhaofeng 교수는 1985년부터 고강도 폴리에틸렌 섬유 전문 연구팀을 설립하여 세계상에서 강도가 가장 큰 폴리에틸렌 섬유를 개발하

였으며, 개발한 기술을 발판으로 삼아 중국산 원료를 이용하여 산업화 생산을 진행하고 있고 연간 3000톤을 생산할 수 있다(현 세계생산량-8000톤). 중국에서 개발한 고강도 폴리에틸렌 섬유 특징은 가볍고 부식 및 빛에 견디고 사용 수명이 길다는 등의 성질을 가지고 있다. 우주 항공, 국방 군수 산업, 농업, 해양 개발 및 기타 영역에서의 응용전망이 크다.

(섬유정보센터, July, 2007)

적혈구에 동승하는 폴리머 나노입자

캘리포니아 대학의 산타 바바라(Santa Barbara) 연구팀은 적혈구 표면에 폴리머 나노입자를 부착하면 체내에서 나노입자의 생존력이 현저하게 증가한다는 것을 발견했다. 약물전달시스템에서 고분자나노입자는 효과적인 운반체로써 약물의 분해를 막고 목표지점까지 약물의 전달을 돕는다. 그러나 일반적으로 폴리머 입자들은 체내의 면역시스템에 의해 쉽게 분해된다는 단점이 있으며 수분 안에 사라지게 되어 약물을 전달하는 데에 비효율적이다. 이에 산타 바바라 연구팀은 "적혈구에 폴리머 나노입자를 부착함으로써 폴리머 나노입자의 활동을 극대화시킬 수 있으며 이로 인해 나노입자 표면에 어떠한 처리도 해줄 필요성이 없다."라고 전한다. 이 입자들은 전단 응력과 세포간의 상호작용 때문에 적혈구에 붙어 있고 간이나 비장까지 가면 사라지게 된다. 또한 적혈구가 체내를 순환할 때 나노입자들이 붙어 있다고 해서 순환에 영향을 받지 않는다. 적혈구에 폴리머 나노입자들을 부착하는 것은 폴리머 나노입자들의 강점을 가지면서 적혈구의 긴 순환 수명과 양이 많다는 이점들을 결합한 것이다. 입자들의 순환 시간을 늘리는 이 방법은 암이나 혈병(blood clot)과 심장병 같은 다양한 영역에서 새로운 치료를 위한 약물 전달에 큰 영향을 끼칠 것이다. 또한 혈액 질환(hematologic disorder)의 미래치료를 위한 선결음이 될 수 있다.

(*Exper. Med. & Biol.*, July, 2007)

구부릴 수 있는 전도성 고분자

유기 고분자로 만들어진 트랜지스터는 간단한 프린팅 기술을 사용하여 구부릴 수 있는 flexible display를 만드는데 사용될 수 있다. 그러나 전도성 고분자는 부서지기 쉽고 프린트하기 어렵기 때문에 flexible display에 적용하기가 어려웠다. 카네기 대학교 연구진은 전도성 고분자가 플렉시유리(Plexiglas)와 선글라스에 일반적으로 사용되는 다른 폴리머와 결합될 수 있다는 사실을 증명했다. 이 기술은 전도성 고분자의 전기적 성질을 감소시키지 않으면서 더 탄력적이고 쉽게 만들 수 있다고 한다.

과거에는 전도성 고분자와 일반 고분자를 결합하면 전도성 고분자가 희석되어 전기적 특성이 감소했지만, flexible한 특성을 가진 poly-methylacrylate에 전도성 고분자인 polythiophene이 결합했을 때, polythiophene을 절반 이상 사용하더라도 전도성 고분자가 홀로 있을 때와 동일한 전기적 특성을 가진다는 것을 발견하였다. 연구진은 두 개의 고분자가 결합하면서도 화학적, 물리적 성질이 보장되는 폴리머 subunit을 선택하고, 폴리머들이 적용될 표면을 미리 처리했다. 그 결과 이 물질은 처리되지 않는 표면과 비교해서 고분자와 기판과의 계면특성이 향상되어 잘 정렬된 구조를 형성하였다. 또한 이 물질

은 탄력이 있어, 구부러지거나 응력을 받으면 고분자 배열이 흐트러졌다가 그 힘이 제거되면 자연적으로 정렬된 상태로 돌아간다고 한다.

연구진은 전도성 고분자인 polythiophene과 공업적으로 많이 사용되는 polymethylacrylate를 용액상태에서 용해시키고, 이 용액을 트랜지스터 전극과 제어 게이트 위에 증착시켰다. 이 용액의 용매가 증발하면서 탄력이 있고 결정을 가진 고분자 필름이 형성되며 이 필름은 트랜지스터의 채널로 사용될 수 있다.

앞으로는 이 고분자를 잉크젯이나 비슷한 기술을 사용하여 패턴을 증착할 수 있을 것이며 다른 물질을 polythiophene과 결합하여 전도성 물질이 더 빠르게 생성되도록 함으로써 응용 범위를 넓히는데 기여할 것으로 기대한다.

(*Plastic Transistor for Flexible Displays, Technology Review, July, 2007*)

다양한 성질로 변화되는 나노섬유

지금까지 3가지의 형상으로 변형되는 첨단 폴리머(*Advanced Materials and Processes, 2007*), 드라마틱한 물성 변화를 일으키는 폴리머(*Chem. Commun., 2007*) 등의 다양한 성질을 갖는 폴리머들에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다.

오하이오 주립대학교(Ohio State University) 연구원들은 매우 작은 플라스틱 섬유들이 표면에 융단처럼 깔리도록 하는 기술을 개발했다. 유리판 같이 평평하면서 투명한 표면 위에 눈으로 식별이 가능한 폴리머 섬유를 만들었다.

이 방법은 섬유의 성질을 가지도록 화학적 처리를 하면서 일정한 길이의 섬유를 모판 위에 자라게 하는데 이 폴리머의 장점은 다양한 방향으로 응용이 가능하다는 것과 어떤 표면 위에도 이 폴리머 섬유를 입힐 수 있다는 것이다.

이 나노섬유는 환경을 변화시키면 다른 높이와 지름의 섬유들이 자라도록 할 수 있고 노출시키는 화학 약품의 종류에 따라 분자구조를 변화시킬 수 있다. 또한 이 섬유가 친수성을 띄거나 소수성을 띌 수 있도록 처리할 수 있고 기름을 흡수하거나 밀어내는 성질을 가지도록 표면을 만들 수도 있다. 그리고 폴리머 재질을 다르게 하면 이 섬유들이 전기를 전도하도록 만들 수 있다고 한다.

나노섬유의 성질을 조작하면 많은 곳에 적용이 가능하다. 섬유가 먼지나 물 그리고 기름에 반발하도록 만든다면 이 섬유가 코팅된 창문은 오랜 시간 동안 깨끗한 상태를 유지할 것이다. 반대로 이 섬유들이 친수성을 띄도록 하면 물방울을 잡아서 표면위로 평평하게 퍼지도록 하기 때문에 좋은 김서림 방지제(anti-fog coating)로 만들 수 있을 것이다. 또한 이 고분자 나노섬유 표면이 DNA의 가닥들을 띄는 일도 한다는 것을 발견했다. 섬유위에 DNA가 포함된 물방울을 놓았을 때 이 가닥은 풀리고 빨랫줄에 빨래가 걸린 것처럼 폴리머 섬유 위에 걸려 있다는 사실을 알았다. 또한 연구진은 DNA 속에서 일어나는 서로 다른 분자들 사이의 상호작용을 연구하는 플랫폼(platform)으로서 플라스틱 섬유가 사용될 수 있으며 이 플라스틱 섬유들이 미세유체 장치에서 물 흐름을 조절하는데도 사용될 수 있다고 한다.

이 기술은 폴리머 분자들을 성장시키는 두 개의 다른 화학적 프로세스들로 이루어진다. 한 개는 평평한 표면위에 시드(seed)인 매우 작은 폴리머 점이 자라게 하며 또 다른 것은 동일한 높이의 깔개를 형성하도록 화학적 반응을 조절하는 것이다.

김 서림 방지 유리와 자가 클리닝 윈도우 그리고 유기 발광 디스플레이(LED)를 제외하더라도 연구자들은 이 폴리머 섬유 표면이 포도당 센서와 유전자 치료 장치, 인공 근육, FED(field emission display), 전자기 차폐물 등에 응용될 수 있다고 한다.

(*Advanced Materials and Processes, June, 2007*)

케블라 섬유 보강 우레탄 폼 단열재

케블라 섬유는 가벼우면서도 강하기 때문에 우주선이나 항공기 소재로 많이 사용되고 있다. 케블라 섬유의 분자구조는 충분히 늘어날 수 있고 직선이며 사슬구조를 쉽게 실현하는 단단한 분자이다. 또한 케블라의 분자구조는 마치 요리되지 않은 스파게티와 같이 행동하는 단단한 부분과 보다 요리가 된 스파게티 국수가닥과 같은 덜 단단한 분자로 이루어져 있다. 따라서 분자의 이러한 성질은 원하는 방향으로 일직선으로 배열된 구조를 얻는 것을 가능하게 한다. 고온과 화염에 대한 강한 저항성을 가지고 있기 때문에 강도를 유지하면서도 화씨 800도(약 섭씨 427도)까지 열적 위험에 대해 안정성을 가진다.

최근에는 케블라 섬유를 우주선에 사용하기 위한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 듀폰은 우주선의 대체용으로 고안되고 있는 신형 발사용 로켓을 포함하여 다양한 미래형 우주선에 사용하기 위해 듀폰의 케블라 섬유로 보강된 우레탄 폼 단열재를 공동으로 개발하고자 국립항공우주국(NASA)과 우주 조례 협정(Space Act Agreement)을 맺었다.

듀폰과 알라바마(Alabama)에 있는 나사 우주비행센터(NASA George C. Marshall Space Flight Center)의 과학자들은 케블라 섬유를 폼의 세포벽에 넣는 공정을 개발하게 될 것이다. 이러한 공정에 의해 아레스 1 승무원 발사용 로켓에 사용되는 내열 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 이외에도 승용차 내열시스템에서 부품 구조에 이르기까지 미래 과학 및 탐험 응용분야의 재료로도 사용될 수 있을 것이다.

이미 케블라는 방탄 및 방패용 갑옷으로 잘 알려져 있으며 이외에도 미국의 우주 프로그램과도 밀접한 연관이 있다. 동일 무게를 기준으로 5배나 더 강한 우수한 특성을 가진 케블라 섬유는 오늘날 우주인들이 입는 우주복에 듀폰 노멕스(DuPont™ Nomex) 섬유와 함께 사용된다. 이외에도 케블라 섬유로 만든 낙하산은 목성에 보내진 갈릴레오 탐사용 로켓에 포함되었으며 국제우주국에서 케블라 섬유로 만들어진 담요는 내벽을 싸는데 이용되어 아주 작은 운석으로부터 로켓을 보호하기 위해 사용되고 있다.

(*J. Phys.Chem. B, April, 2007*)

본 내용은 한국과학기술정보연구원(KIST)의 글로벌동향브리핑(GTB) 내용들을 중심으로 발췌, 정리하였습니다.

<한국과학기술원 김상욱, e-mail: sangouk.kim@kaist.ac.kr>