

연구진은 간단히 긴 나일론 섬유를 폴리(메틸 메타크릴레이트) (poly (methyl methacrylate), PMMA) 안에 담구었다. 그들의 새 기술은 모터를 사용해서 얇은 관을 통해서 PMMA 저장소 밖으로 그 섬유를 연속적으로 당겨내는 것이었다. 그 코팅된 실이 나오면서, 그것은 바로 열레에 감겨진다. 그 실이 너무 느리게 당겨지면 그 코팅이 부드럽지만, 특정한 당기는 속도와 용액의 점도에서 그 코팅은 불안정하게 되고 끊어져서 그 실에 젖은 거미줄에서의 것과 비슷한 매듭을 형성하게 된다.

“우리는 규칙적인 축-매듭을 가진 생물에서 영감을 얻은 섬유를 제공하기 위해서 유체-코팅 방법을 사용하였다. 우리가 생각하기에, 그러한 생물에서 영감을 얻은 섬유로 만들어진 물을 수집하는 장치는 망이나 텐트를 포함한다.”라고 Zheng은 말했다. 비록 그 연구는 세공 과정에 초점을 맞추고 있지만, 연구자들은 그들의 실 위에 매듭 주변에서 물방울들이 더 큰 물방울로 합쳐지는 것을 관찰하였다. 올해 더 일찍 발표한 논문에서, 그들은 같은 길이의 2 마이크로미터 두께의 거미줄이 17 나노리터를 수집한 데 비해서, 1.5 밀리미터 길이, 18 마이크로미터 두께의 PMMA로 덮인 섬유가 12초 안에 공기로부터 40 나노리터를 수집할 수 있다는 것을 보였다(H. Bai *et al.*, *Adv. Mater.*, **23**, 3708 (2011)). 생물에서 영감을 얻은(bioinspired) 재료를 만드는 그 접근법은 흥미롭다고 스페인의 마드리드 공대(Technical University of Madrid)에서 거미줄을 연구하는 Jose Perez-Rigueiro가 말했다. “보통 생물에서 영감을 얻었다는 것은 단백질로 만들어진 물질들을 일컫지만 이 섬유들은 인공 중합체로 만들어져서, 원칙적으로 기계적인 성질들은 나일론의 성질일 것이다. 그 물질은 저렴해서, 규모를 늘려 생산하는데 문제가 없을 것이다.”라고 그는 말했다. 나일론과 폴리프로필렌(polypropylene)으로 만들어진 안개를 수확하는 망들은 이미 칠레와 페루의, 산이 많고 안개에 둘러싸인 지역에서 물을 수집하는데 사용되고 있다. 그럼, 생물에서 영감을 얻은 거미줄이 어떤 이점을 제공할 수 있을까? 보통의 나일론과 최근에 비교한 것은 비균일하게 코팅된 실이 더 많은 방울들을 수집한다는 것을 말해주고 있다(X. Tian *et al.*, *Adv. Mater.*, 2011, DOI: 10.1002/adma.201103111). Zheng은 물방울들이 매듭으로 물리는 방식이 생물에서 영감을 얻은 섬유의 성능을 더 효율적으로 만든다고 주장하였다.



그림 3. 합성 거미줄이 천연 거미줄 보다 효율적으로 물을 수집할 수 있다.
<<http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2011/November/01111101.asp>>

고내열성 탄소섬유 강화 복합재료용 신규 열경화형 이미드 수지 개발

(주)가네카(Kaneka)는 2007년부터 우주 항공 연구개발 기구(이하,

JAXA)와 공동으로 항공 우주용 비행선에 대해 내열성능이 필요한 금속재료 부품의 대체를 목적으로 연구를 진행시켜, 고내열성 탄소섬유 강화 복합재료를 제조할 때 성형 가공성이 뛰어난 신규 열경화형 이미드 수지를 개발하였다. 이미, 이 신규 열경화형 이미드 수지를 이용하여 시작한 고내열성 탄소섬유 복합재료는 항공기 및 인공위성용의 내열 구조 부품/재료에 본격적인 적용을 위한 평가 시험을 JAXA 내에서 실시하고 있다. 항공 우주 기기의 내열 성능이 요구되는 구조 부재(엔진 주변 구성 부재 등)는 200 ℃ 이상의 고온 조건에서 발현하는 강도의 관점에서 티타늄 합금이 주로 사용되고 있지만, 고내열성 탄소섬유 강화 복합재료를 적용하여, (1) 상당한 무게 감소에 의한 연비 저감, (2) 최적 설계에 의한 강도 향상, (3) 일체 성형에 의한 부품의 감소, 비용 절감 등의 이점을 얻을 수 있다. 가네카에서는 환경 에너지 분야를 중점 전략 분야의 하나로 평가하고, 향후 고내열성 탄소섬유 복합재료의 적용에 의한 항공 기체의 경량화가 연료 절감 및 이산화탄소 발생 감소에 공헌할 수 있을 것으로 보고 있다.

항공 우주 기기 분야는 향후 기체의 신규 수요 증가에 따른 시장 확대가 예상되고 있으며, 가네카에서 보유한 폴리이미드의 분자 설계, 합성 기술을 기반으로 JAXA와 공동으로 개발을 진행해 왔다. 폴리이미드 수지를 모재로 하는 고내열성 탄소섬유 복합재료는 우선 중간체 재료로서 탄소섬유에 열경화 전이 이미드 올리고머 수지를 피복시킨 시트 모양의 프리프레그(Prepreg)를 용액 함침법으로 만든 다음, 이들을 소정의 크기로 제단한 후 여러 장을 적층하여 가압 하에서 가열(열경화)하여 제조된다. 기존의 열경화 이미드 올리고머 수지는 용제에 용해성이 낮기 때문에 제조한 복합 재료에 포함되는 열경화시킨 폴리이미드 수지의 양이 부족해 충분한 기계 강도를 발현하기가 어려웠다. 또한, 이 문제를 해결하기 위해 이미드 올리고머를 합성하기 위한 중간체인 고용제 용해성이 있는 이미드산 올리고머가 이용되고 있다. 그러나 복합 재료 성형시 이미드산 올리고머에서 이미드 올리고머로 변환되는 반응시에 부산물로 발생하는 물분자가 제조한 복합재료 중에 공극으로 잔존하기 쉽고, 복합재료의 기계적 강도를 저하시키는 문제가 있었다. 이번에 개발한 새로운 열경화형 이미드 수지는 기존의 용제 용해를 크게 개선하고 복합재료의 제조를 용이하게 할 뿐만 아니라, 제작한 복합 재료는 370 ℃ 이상의 내열성과 높은 인성을 겸비한 물질 발현이 가능하다. 또한, 이 수지 설계 기술을 살려 수지 주입 성형(레이 트랜스퍼 몰딩, RTM)법을 이용한 고내열성 복합재료를 위한 새로운 열경화형 이미드 수지의 전개도 가능하게 되었다. 이 수지 설계에 의한 RTM 성형의 열경화형 이미드 수지는 고온 용융시 유동성이 매우 높고, 대폭적인 비용 절감과 생산성 향상이 전망된다. 향후 항공 우주 분야 뿐만 아니라 산업 용도로의 시장 개척도 목표로 하고 있다. 이번에 공동 개발된 고내열성



그림 4. 고내열성 탄소섬유 복합재료의 신규 열경화형 이미드 수지.
<<http://www.kaneka.co.jp/news/n111109.html>>

탄소 함유 복잡재료의 신규 열경화성 이미드 수지는 2011년 11월 9일부터 도쿄 박사학위에서 개최되는 “첨단재료 기술 전시회 2011” 전시된다.

염료 감응형 태양전지의 패러다임 이동

지금까지 효율 11%를 넘는 실질적인 염료 감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cells, DSCs)는 루테튬을 포함하기 때문에 비용이 많이 소모되었다. 태양전지의 효율을 향상시키고, 루테튬과 같은 귀금속 요소를 제거함으로써 비용을 절감시키고, 이와 동시에 전극으로 전달되기 전 전하의 recombination을 막을 필요가 있다.

미국 Stanford University의 Michael D. McGehee는 염료 감응형 태양전지의 새로운 패러다임을 설명하였다. 본 내용은 2011년 11월 4일자 Science 매거진의 Perspective란에 “Paradigm Shifts in Dye-Sensitized Solar Cells”라는 제목으로 게재되었다. 최근 스위스 Ecole Polytechnique Federale de Lausanne의 Michael Gratzel 교수가 이끄는 연구진은 Science지에 출판한 “Porphyrin-Sensitized Solar Cells with Cobalt (II/III) Based Redox Electrolyte Exceed 12 Percent Efficiency”란 제목의 논문을 살펴보면, 코발트를 포함한 산화 환원 매개체를 새롭게 설계하여 12.3%의 효율을 기록하는데 성공하였다.

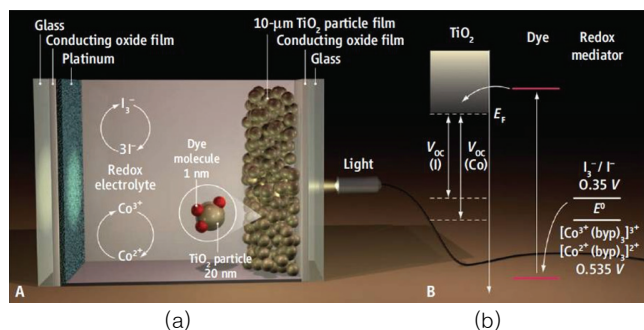


그림 5. (a) DSC 태양 전지의 모식도. 통상적인 전지에서 염료는 루테튬 complex. 산화 환원 서들은 iodine 이온에 기반을 둔. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne의 연구진은 전자 주개 및 받개가 공역 브릿지 그룹을 통해 연결된 염료를, 그리고 코발트 화합물 기반의 산화 환원 서들을 이용함. (b) 에너지 밴드 다이어그램.

어떻게 산화 환원 매개체가 DSCs의 효율을 향상시켰는지 이해하기 위해서는 전기화학 전지의 구동 메커니즘을 살펴볼 필요가 있다. DSCs는 통상적으로 대부분의 입사되는 태양 에너지를 반사하는 산화타이타늄 나노결정이 빛 흡수를 위한 염료와 함께 투명 전극에 결합된 구조로, 빛에 의해 발생된 전하를 100%로 전극으로 이동시킬 수 있는 장점이 있다. 지금까지 이러한 시스템에서 최대 전력 변환 효율은 11.1%로, 넓은 에너지 갭을 갖는 염료를 사용함에도 예상만큼 높은 전압을 발생시키지 않는다. 이는 **그림 5(b)**와 같이 iodide 기반 산화 환원 매개체의 포텐셜이 너무 낮기 때문이다. 따라서 에너지를 낭비하게 된다.

많은 연구진들이 DSCs의 전압을 향상시키기 위해 이상적인 산화환원 포텐셜을 지닌 물질을 찾으려고 노력했지만, 그 속도가 매우 더딘 상황이다. Michael Gratzel 교수는 코발트 포피린 complex를 통해 전자 주개와 전자 받개를 연결했다. 이러한 시스템은 루테튬과 같은 희귀 금속을 포함하지 않기 때문에, 비용 측면에서 유리하고 빛을 더 효율적으로 흡수할 수 있다. 또한 이러한 분자의 측면에 알콕시(alkoxy) 체인을

연결해 산화타이타늄의 전자와 코발트 complex의 정공 사이에 재결합을 효율적으로 방지하였다. 무엇보다도 코발트 기반의 complex는 통상적인 iodide 이온 기반의 물질보다 전해액 속으로 확산 현상이 작았다. 그동안 새로운 염료 및 산화환원 시스템을 개발하기 위한 노력이 수없이 진행됐지만, 결론은 루테튬과 iodide가 최고의 조합이라는 것이었다. 이번 연구 결과를 DSCs 분야에 있어 완전히 새로운 패러다임을 제시한 것으로, 앞으로 기존 시스템에 상응하는 안정성만 입증된다면 15%의 효율을 갖는 저비용, 고수명 DSCs의 개발이 가능할 것으로 전망된다.

<http://www.sciencemag.org>

니켈 금속을 이용한 상세한 그래핀 성장 매커니즘 규명

촉매 금속을 이용한 그래핀 성장은 지난 2년 간 비용 및 품질 측면에서 최적의 방법으로 평가 받고 있다. 가장 대표적인 예로는, 화학기상증착법을 이용해 30인치 호일 위에 대면적의 그래핀 성장 결과가 Nature Nanotechnology지에 게재된 바 있다. 사실 수십 년 전에 이미 다결정 금속 기판 위에 흑연/그래핀 성장이 보고된 바 있다.

프랑스 Ecole Polytechnique의 연구진은 니켈을 중심으로 한 그래핀 성장 매커니즘에 대한 상세한 분석을 제시하였다. 이 연구 결과는 2011년 11월 9일자 *Europhys. Lett.* (EPL)지에 “On the mechanisms of precipitation of graphene on nickel thin films”이란 제목으로 게재됐다. 니켈은 표면 반응에만 의존하는 구리와 달리 상당한 탄소 용해도 및 확산도를 지니고 있다. 따라서, 니켈의 촉매 반응은 구리보다 최소 10배 이상 빠르게 그래핀 성장이 가능하다. 연구진은 니켈 기판 위에 이온 주입법을 통해 탄소를 주입한 후, 고온 열처리(700~1000 °C) 및 표면 precipitation 과정을 통해 그래핀을 성장시켰다. 이는 여타의 방법과 비교하여 원하는 양의 탄소를 촉매에 공급하고 불확정 요소들을 배제함으로써, 그래핀 성장 매커니즘을 분석할 수 있는 장점이 있다. 니켈 내 탄소의 확산에 관한 이론적 예측을 살펴보면, 연구진이 실험한 최저 온도 725 °C의 경우 1초에 1.2 μm를 이동할 수 있다. 즉, 0.2 μm 두께의 니켈 박막은 열처리 시간에 관계 없이 탄소의 강력한 재분배가 일어난다. 물론 니켈의 그래핀 역시 열처리에 의한 재결정화가 발생하므로, 그 속도를 낮출 수는 있다. **그림 6**의 경우는 200 nm 두께의 니켈에 그래핀 4층에 해당하는 탄소를 이온주입하고, 900 °C에서 30분간 열처리를 진행하였다. 냉각 과정 중 725 °C에서 차가운 영역으로 quenching, 즉 강제로 기판을 빼내어 탄소의 추가적인 확산을 제한하였다. 통상적으로 그림과 같이 니켈의 그래핀 경계를 시작으로 다중결 그래핀이 성장함을 알 수 있었고, 반대편에는 그래핀이 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. 다시 말해, 이온주입법을 통한 탄소의 주입 자체는 표면에 고르게 분포하지만 고온의 열처리 과정을 통해 강력한 탄소 재분배가 불균일한 방향으로 벌어짐을 알 수 있었다.

위의 결과를 통해 니켈의 그래핀 경계는 그래핀 성장을 위한 핵으로 작용함을 알 수 있었다. 이는 다결정 및 단결정 니켈을 비교 실험한 결과에서도 입증된 바 있다. 그래핀 경계에는 원자 수준에서 상당한 높이의 계단이 존재하기 때문에, 그래핀 성장이 시작될 가능성이 높다. 또한 니켈의 그래핀 역시 재결정화가 벌어짐에 따라 그래핀이 아닌 두꺼운 흑연층으로 변질될 수 있다. 즉, 촉매 금속의 사전 열처리를 통해 재결정화를 한계 상태에 놓게 되면, 이러한 현상을 최소화할 수 있다. 그래핀 경계는 빠른 탄소의 확산을 돕고, 그 굴곡에 따라 두꺼운 그래핀 형성이 가능하다. 반면에 빠른 냉각 과정인 quenching을 이용하는 경우, 니