

플렉서블 배터리

일본의 과학자들은 종이와 같은 고분자를 바탕으로 한 재충전 배터리를 개발했다. 최근의 휴대전자기기 기술의 진보와 함께 이들을 작동시키는 목적의 플렉서블 배터리의 요구가 크다. 일본 와세다 대학의 연구팀에서 디자인된 배터리는 200 nm 두께의 redox-active 유기 고분자 필름으로 만들어진 전극을 가지고 있다. 이 고분자는 전하 전달 작용을 하는 nitroxide 라디칼 그룹들을 가지고 있다. 고라디칼 밀도(각각의 반복단위마다 두 개의 라디칼)를 가지기 때문에 개발 배터리는 고 충전/방전 용량을 가진다. Nishide 박사에 따르면 도핑양이 제한되는 다른 유기계열의 재료에 비하여 유기라디칼 배터리가 가지는 많은 장점중의 하나이다. 전원 효율(power rate performance)은 매우 현저히 높아서 배터리를 충전시키는데 일본밖에 소요되지 않고 긴 수명을 가져 1000번 사이클 이상 사용할 수 있다. Nishide의 연구팀은 용액 공정법으로 박막 고분자 필름을 제조하였다. 용융이 가능한 고분자는 nitroxide radical 기가 달려있는 polynoborene으로서 표면위에 스핀 코팅되었다. UV 조사에 의하여 고분자는 bis(zide) 경화제에 의해 경화되었다. 유기 라디칼 고분자의 한가지 단점은 전해질 용액에 대한 용해성이며, 배터리의 자기 방전을 유발시킨다. 고분자가 스핀 코팅되기 위해서는 용해성이 있어야 한다. Nishide 팀에 의한 평가 방법은 이런 문제점을 극복하고 고분자를 강인하게 만든다. 대부분의 가교반응이 nitroxide 라디칼에 대하여 매우 민감하므로 이 과정은 매우 어려운 과정이었다. 영국 Strathclyde 대학 Skabara 박사는 고분자를 이용한 배터리가 고 안정성과 제조전략이 매우 우수하다고 언급하였다. 고분자 배터리는 유기디바이스 기술이 박막에서 작동해서, 전체 package가 플렉서블 형태로 작동한다는 것을 확인시켜주는데 중요역할을 한다. 이들 재료는 캐퍼시터 응용을 제한하는 느린 에너지 방출을 주지 않고, 빠른 충전/방전을 할 수 있어 burst power를 전달하는데 유용할 것으로 기대하고 있다. Nishide 박사는 유기라디칼 배터리가 포켓키의 집적회로카드, 메모리카드, 마이크로프로세싱 분야에 3년 이내 이용될 것으로 전망하고 있다. 미래에 이들 배터리가 고에너지 밀도보다 고전원 용량을 요구하는 전자디바이스나 모터 구동 도움 전기자동차 등 분야에서 사용될 수 있을 것으로 보인다.

(Chem. Commun., March, 2007)

새로운 구조의 OLED

영국 임페리얼 대학의 과학자들은 가망성이 높은 새로운 OLED 구조를 선보였는데 결과적으로 OLED의 전형적인 구조와 반대되는 것이다. 대부분의 OLED가 평면의 전극들을 사용하고 전자전달과 방출을 위해 결합된 층을 사용 하는데 이는 동시에 두가지에 필요한 재료특성을 최적화하는 것을 불가능하게 만든다. 전형적으로 낮은 일함수에서는 반응성 금속이 음극으로 쓰이는데 대기와의 접촉에서 낮은 툴러민스를 보여주며, 부수적으로 장치의 수명을 짧게 한다. 디바이스 인캡슐레이션은 환경적인 안정성을 향상시키지만,

OLED의 가장 응용가능성이 높은 플렉서블 디스플레이 분야의 기체의 적용에 매우 심각한 제약을 준다. 연구진들은 In-Sn 산화물/메조포러스 티탄 음극을 가지고 시작하였다. 표면적이 매우 크기 때문에 티탄이 염료감응형 태양전지의 최적재료이나 이들 연구는 OLED 디바이스에서는 티탄을 나노구조전극으로 사용한 첫 번째 시도이다. 연구자들은 공액형 고분자(F8BT)로 만들어진 원자정도 두께를 갖는 유기발광층을 사용하였다. 이와 같은 하이브리드 접근은 향후에 전자전달과 발광층의 독립적인 최적화를 가능케 할 수 있으며 순수 유기구조로 된 것에서는 보기 드문 인가전압에 대한 높은 툴러민스를 가진다. 리버스 구조 접근은 상당히 안정한 Au 전극 사용을 가능하게 한다. 이렇게 만든 OLED들은 인캡슐레이션 없이 대기에서 테스트 되었으며, 이는 미래의 플렉시플 기판에 대한 중요한 결과이다. 또한, 연구팀은 티탄 전자 전달층의 나노구조가 방출분자를 잘 커버하는 것을 보였으며, 전통적인 평면층에 비하여 낮은 문지방 전압을 가지는 것을 확인하였다.

(Adv. Mater., February, 2007)

Spacer 사용 탄소나노튜브/나일론 복합재료

탄소나노튜브를 포함하는 복합재료는 많지만, 탄소나노튜브를 사용해서 나일론의 기계적 성질들을 강화시키려는 연구는 아직까지 커다란 성공을 거두지 못하였다. 미국 펜실베이니아 대학과 라이스 대학의 연구팀에 따르면 핵심열쇄는 두 컴포넌트를 연결하는 유연한 구조인 “스페이서”라고 밝혔다.

펜실베이니아 대학의 연구자들은 연구팀이 가지고 있는 *in situ* 중합법을 이용하여 단중벽 탄소나노튜브를 나일론 6,10에 분산시키려고 하였다. 하지만 이렇게 얻어진 SWNT/nylon 복합재료는 나일론에 비하여 기계적 성질이 크게 좋아지지 않았다. 두가지 물질을 단순 혼합하는 것은 SWNT의 매우 우수한 기계적 성질을 활용하지 못한다. 일반적인 복합재료에서 기계적 성질을 최적화시키기 위하여 계면을 화학적으로 개질시키는 방법이 수십년 동안 이용되어 왔다. 펜실베이니아 대학의 연구팀은 공동연구에서 라이스 대학의 SWNT 기능화 연구를 이용하였다. SWNT를 유연한 $-(CH_2)_nCOCl$ 알칸 스페이서로 기능화 하였으며, 나노튜브들은 나일론 6,10에 공유결합되었다. 개발된 복합재료는 기계적 성질이 매우 우수하였다. C-4 결합은 탄성율이 162% 정도 향상되었으며 인장강도도 149% 향상되었다.

(Nano Lett., March, 2007)

유사결정 고분자

유사결정 고분자는 독특한 구조를 가지는데 무정형이지도 않고 결정처럼 결코 반복적 구조를 가지고 있지 않다. 이러한 구조는 금속구조에서 나타나는 것으로 알려져 있는데 연구팀들은 고분자에서도 유사결정 구조가 나타나는 것을 처음으로 발견했다. 고분자 구조 간의 공간은 원자 간의 공간보다 100배 크기 때문에 기존의 유사결정에서 적용된 양자역학 이론을 새로 발견된 유사결정에 적

용시키기 어렵다. 커다란 구조는 이런 구조가 가시광선을 전파시키는 포톤 결정에서 이용될 수 있음을 의미한다. 일본 교토대학의 Doteru 연구팀과 나고야 대학의 Matsushita 연구팀은 세계 최초로 고분자 유사결정구조를 발견하였다. 초기의 컴퓨터 시뮬레이션과 실험으로부터 Doteru 연구팀은 세가지 고분자 타입의 혼합물에 대하여 연구하였다. 수 마이크로 두께의 시트로 캐스팅 되었을 때 3개의 고분자들은 수많은 단일 고분자 지역으로 분리되어 필름에서 2차원의 기하학적인 패턴을 형성하였다. 이들 패턴은 스타형 폴리머로 구분되고 Y 모양의 성분은 3개의 모든 고분자 타입을 포함하며 한점에서 연결되었다. 이런 특수 분자들은 세 개의 지역이 교차하는 점에서 나타났다. 구조를 분석하기 위하여 연구팀은 단일 고분자 타입의 모든 경우에서 점들을 연결하였다(connect the dots). 이런 고분자에서 가장 복잡한 구조 중의 하나는 삼각형과 정사각형을 2대 1의 비율로 포함하고 있다. 연구팀은 과거에는 이런 패턴의 편차를 관찰하였으며 삼각형과 정사각형의 비율이 2.309인 유사결정을 닮은 것은 것으로 보였다. Doteru의 시뮬레이션 결과는 하나의 고분자를 더 추가하면 보다 많은 삼각형을 만들고 고분자 패턴을 왜곡시켜 유사결정 쪽으로 가는 것을 제시하였다. 이 결과를 바탕으로 연구팀은 유사결정을 합성하였다. 연구팀은 TEM으로 도메인을 매핑 하였다. 비록 몇몇 지역에서 삼각형 구조가 왜곡되었지만 삼각형과 정사각형의 비율은 2.305으로 완전한 유사결정과 일치하는 것을 발견하였다. Doteru에 의하면 이들 고분자 구조들은 새로운 타입의 포톤결정을 이끌만한 크기이다. 이런 구조들이 전자대신에 빛이 회로를 통과하는 광학칩을 만드는데 사용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

(Phys. Rev. Lett., May, 2007)

NO 방출 의료용 고분자 개발

의료분야 적용 가능성이 있는 NO를 방출하는 고분자가 개발되었다. National Cancer Institute와 Northwestern 대학의 미국 과학자들은 NO를 발생시키는 가장 상업적으로 중요한 폴리악리로나이트릴(PAN) 고분자를 개발했다고 발표했다. 새로운 고분자들은 섬유, 플라스틱, 고무를 포함한다. 몇몇의 재료들은 수개월에 걸쳐서 소량의 NO를 방출하였다. NO는 혈관을 부풀게 하고, 관상동맥 성형술과 바이패스 수술 후 나타나는 혈관이 좁아지는 바람직하지 않은 현상을 줄일 수 있다. 실험용 쥐를 대상으로 한 실험에서 연구자들은 NO 발생하는 PAN 분말 변화를 보였다. 풍선 관상동맥 수술 후에 적용되어 동맥에서 조직의 상처 형성을 줄였다. 본 기술은 정맥수술과 다른 의료용 절차에서 생각될 수 있다. 연구자들은 이들 고분자들이 관상 스텐팅, 바이패스 집합, 외과 동맥내 막절제술 등에 이용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

(J. Amer. Chem. Soc., April, 2007)

김서림 방지 자동차 유리창 코팅

코팅으로 처리된 표면에 물을 떨어뜨리면 즉시 물방울이 퍼져 얇은 막을 형성한다. 이러한 작용은 미세한 물방울들이 생기는 것을 방해해서 김이 서리지 않게 한다. 표면에 오일을 첨가하면 표면은 반대로 작용해서 오일을 밀쳐내서 방울지게 한다. 빠져나오지 않은

오일은 쉽게 물에 의해 씻어지기 때문에 운전자는 비누를 사용할 필요가 없다. 코팅의 물과 기름에 대한 작용은 개발된 재료에서 이례적이어서 오일이 물보다 더 방울이 되게 한다. 전형적으로 거꾸로다. 즉, 물의 표면장력을 크게 하면 오일보다 방울지게 한다. 아직까지 코팅물질이 이례적으로 작용하는지 정확한 작용기전은 밝혀지지 않았지만, 왜 이런식으로 작용하는지는 분명하다. 하나에 있는 두 개의 면이 있어 효과적으로 물이나 오일과 접할 때 구조를 변화시키는 것이다. 유리표면에 화학적으로 붙여진 고분자 사슬로 만들어진 고분자 사슬 형태의 코팅은 부러쉬의 털과 같다. 이런 고분자 사슬들은 유연하고 모양을 쉽게 바꿀 수 있다. 모양을 바꿈에 따라 특별한 화학적 성질을 갖는 세그먼트가 표면 위에 나올 수 있다. 퍼듀대학교의 연구진은 하나의 가능성을 제안하였는데 이런 고분자들은 다른 세그먼트들이 오일이나 물에 대하여 잡아당겨지거나 밀쳐지는 것에 따라서 스스로 재정렬을 한다는 것이다. 오일이 있을 때 액체를 방울지게 만드는 고분자의 세그먼트가 코팅의 표면 위로 올라오게 한다. 물이 존재할 때는 이들 세그먼트가 표면에서 들어가서 물이 넓게 퍼지게 한다. 이런 코팅들은 자동차 유리창의 내부에 아주 유용할 수 있다. 자동차의 내부 표면에 보호 처리로 유리에 약간의 오일 흔적이 있으면, 유리의 표면 에너지를 바꾸고 김서림이 끼는 것을 방지한다. 이 코팅은 오일은 밀쳐내고 김서림의 생성을 방해할 수 있다. 개발 코팅성질은 필터에서 유용할 수 있다. 다공성 실리카에 입혀지면 물이 통과하게 하고 오일에 대해서는 장애물이 될 수 있다. 이는 오일 누출 사고를 청소하는데 유용할 수 있다. 코팅을 제조하기 위하여 연구자들은 듀폰에서 만든 Zonyl FSN 100 이라는 물질을 공유결합으로 유리표면에 붙이는 방법을 개발하였다. 비록 이들 제조공정은 시스템의 성질을 테스트 하는 데는 만족스럽게 작동 하였지만 큰 표면적의 제조공정에는 너무 가격이 비싸다. 현재 연구진들은 코팅을 만들기 위하여 값이 싼 스프레이 또는 롤 온(roll-on) 기술을 개발하고 있다. 연구팀은 본 기술로 응용하여 궁극적으로 유사한 메카니즘을 가지는 코팅을 만들면 지문을 밀쳐내는 현상을 가져 안경이나 핸드폰 표시창을 깨끗하게 유지할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

(Royal Chem. Soc., April, 2007)

해수에서 분해되는 고분자

군함, 상선, 유람선에서 발생하는 많은 양의 플라스틱 폐기물은 항구에 돌아올 때까지 장기간 배에 적재하여야 한다. 미래에는 해수에서 분해되는 환경친화적인 새로운 고분자는 플라스틱 폐기물을 배밖으로 던져 비싼 저장공간을 늘릴 수 있을 것으로 예상하고 있다. University of Southern Mississippi 연구진들은 생분해 플라스틱이 해상에서 사용되는 식기, 식사도구, 커다란 선적물 포장에 쓰는 스트레치 랩, 식기, 식사도구 등에 사용되는 일반 플라스틱을 대체할 수 있을 것이라고 한다. 많은 연구팀들이 생분해성 플라스틱에 대하여 연구를 하고 있지만 미국 USM 연구팀은 몇 안되는 해수 분해되는 플라스틱에 대한 연구를 수행하는 팀이다. 일반적인 플라스틱은 분해되는데 수십년이 걸리고 환경에 해가 되는 부산물을 발생시키고, 해양생물에 독이 되는 물질을 발생시키기 때문에 바다에 투기하는 것은 위험하다. 새로 개발된 플라스틱은 짧게는 20여일 동안에 분해될 수 있으며 독성이 없는 자연의 부산물을 발생시킨다.

개발된 플라스틱은 약물전달시스템과 수술용 봉합사를 만드는 데 쓰이는 것으로 알려진 PLGA [poly(D,L-lactide-co-glycolide)]를 폴리우레탄에 적용하였다. 비록 플라스틱의 화학조성은 다르지만 연구팀은 사용목적에 맞게 고무처럼 유연한 성질에서부터 딱딱한 구조에 이르기까지 다양한 물질을 개발하였다. 해수에 접하는 경우에 가수분해에 의하여 무해한 부산물로 분해된다고 연구진들은 밝혔다. 플라스틱의 조성에 따라 부산물은 자연상에서 존재하는 물, 이산화탄소, 락틱산, 글리콜산, 숙신산, 카프로산, L-lysine을 포함한다. 개발 플라스틱은 소금물보다 밀도가 높기 때문에 이들 물질은 물위에 떠있기 보다는 바다에 가라앉는 성향을 가지고 있다. 따라서 해변 청소가 필요 없어 진다. 개발 플라스틱은 해양관련 미국연구소에서 분해 테스트를 실시하고 있으며 실험결과는 양호하다고 알려졌다. 플라스틱은 상업화는 아직 준비가 되어 있지 않다고 한다. 향후 다양한 환경조건에 따라 최적화하는 연구가 필요한데, 다양한 환경변화로는 온도, 습도, 해수의 조성 등을 들 수 있다. 또한, 국제해양법은 플라스틱을 바다에 투기하는 것을 금지하기 때문에 이를 극복해야 한다.

(Amer. Chem. Soc., April, 2007)

Star Gel 뼈 재료 개발

뼈와 유사한 기계적 물성을 가지는 생체재료의 개발은 다양한 범위의 뼈 재생 문제에서 새로운 치료법을 갖게 하고 부상으로 부터 빠른 회복을 돕고 합성뼈를 대체할 수 있는 가능성이 있다. 스페인 바르세로나의 연구자들은 생체와 반응하는 능동지지체로 사용하기 위한 별모양의 겔을 합성하였다. 능동지지체는 뼈조직에 있는 유기 및 무기 물질과 접하고 있다. 새로 개발된 하이브리드 재료들은 에탄올에 같이 용해된 calcium alkoxide, 염산 및 유기실리콘 전구체 분자인 알콕시실란 그룹의 가수분해 및 축중합 반응으로부터 얻어졌다. 생성된 네트워크 구조는 반응조와 유사한 모양의 하나의 덩어리를 생성했고 기계적 성질은 뼈와 매우 유사하였다. 별모양 겔의 생체반응성을 알아내기 위하여 연구자들은 샘플을 유사 체액

(simulated body fluid)에 담갔다. 에너지 분산 X선 분석으로부터 연구자들은 Si에 대한 Ca, P의 비율이 17일 동안에 증가함을 확인하였으며 뼈에서 발견되는 apatite의 주요구성인 CaP의 존재를 확인하였다. 또한 전자회절패턴은 apatite와 유사한 상의 존재를 확인하였다. 별모양 겔은 파괴인성치가 cortical 뼈와 유사하였으며 탄성율은 cancellous 뼈와 유사하였다. 연구자들은 세포배양시도로 이들 물질의 생체적합성을 테스트 할 예정이며, 접착성, 세포증식성 등을 평가할 예정이다.

(Chem. Mater., November, 2006)

물을 이용한 Polymer Origami

프랑스 연구자들은 고분자막을 사전에 디자인된 3차원 형상의 모양으로 쉽게 바꿀 수 있는 간단한 방법을 고안했다. 이들의 기술은 증발되는 물방울 주위로 접혀지는 탄성시트에 크게 의지하는데, 마이크로 및 나노물체를 대량생산 하는 곳에 응용할 수 있다. 젖은 머리카락이 덩어리로 모여지는 것은 캐필러리티 때문이다. 이런 현상은 나노기술에서 파괴를 야기하는 것에 관계가 있다. 수분이 나노부품과 접하면 무너진다. 연구팀은 이런 현상을 이용하여 새로운 것을 창조했다. 연구팀은 40~80 μm 두께의 PDMS 막을 사용하여 3차원 구조를 만들었다. 연구자들은 PDMS 층으로부터 밀리미터 크기의 모양을 잘라서 이들을 초발수성 표면에 놓았다. 1~80 μL 물방울을 각 모양의 중앙에 떨어뜨려 상온에서 증발시켜다. 물의 부피가 감소함에 따라 탄성막은 존재하는 표면장력에 의해 줄어드는 물방울 주변으로 좀더 가까이 잡아당겨졌다. 두께가 충분히 얇은 시트라면 액체를 완전히 담고, 모든 수분이 증발하면 3차원 구조를 유지할 수 있다. 각각의 모양은 재단된 초기 PDMS 모양에 의해 결정되어진다. 이 기술은 대량의 3차원 MEMS 구조를 만드는 경우나 MEMS actuator를 작동할 때 이용될 수 있다.

(Phys. Rev. Lett., April, 2007)

<충주대학교 김성룡, e-mail: srkim@cjnu.ac.kr>