

초임계 이산화탄소를 이용한 플루오르 고분자 공정

듀폰 연구원들과 노스캐롤라이나대학 화학과 연구원들은 공동으로 용매로서 물 대신에 초임계 이산화탄소를 이용한 새로운 테프론 플루오르 고분자 공정을 개발했다. 이러한 공정에 의해 폐기물을 덜 생성하면서, 향상된 물성을 갖는 테프론을 생산할 수 있다. 이러한 새로운 공정을 이용한 생산은 4천만 달러의 비용이 소요된 노스캐롤라이나 공장지역인 DuPont Fayetteville에서 시작됐다. 듀폰사의 플루오르 제품 중에서 테프론 공중합체의 책임자인 Rajeev Vaidya는 새로운 공정을 진정으로 혁신적인 플루오르 고분자 기술이라고 말했다. 최초로 개발된 새로운 공정이 사용된 분야는 반도체와 필름, 데이터 통신을 위한 전선과 케이블 절연 같은 응용 기술에 사용되는 생산품을 포함한 새로운 등급의 테프론 합성 제조분야이다. 초임계 이산화탄소 공정을 이용해 만들어진 새로운 테프론은 반도체와 제약산업에 사용되는 고순도 유체 정제의 핵심적인 구성요소로서, 그 이름은 테프론 PFA이다. 새로운 플루오르 고분자 생산품은 다른 산업 시장과 자동차 부품을 만드는데 유용하게 사용될 것이다. 노스캐롤라이나대학 화학 및 화학공학과 교수인 Joseph DeSimone은 새로운 공정에 대해 듀폰사와 협력하는 연구팀을 이끌고 있다. 이러한 연구를 수행하면서, 그는 미국 화학회(American Chemical Society) 델라웨어 지부로부터 2002 Carothers 상을 받았다. 이 상은 듀폰 화학자 Wallace Carothers의 업적을 기리기 위해 만든 상이다. Carothers는 1930년대 나일론 및 기타 다양한 고분자들을 만든 과학자이다. DeSimone의 연구는 고분자 중합, 금속정화기술, 섬유공정 등 다양한 응용기술로서 인정되는 분야에서 전통적인 유기용매의 환경친화적인 대체품으로서의 초임계 이산화탄소를 이용한 연구에 초점을 맞추고 있다. 그는 이 연구를 수행하면서 초임계 이산화탄소기술과 연관된 50개 이상의 미국 특허와 120편 이상의 기술 논문을 작성했다. 이 기술을 상업화시키기 위해, DeSimone은 마이셀 테크놀로지(Micell Technologies)사와 함께 노력하고 있으며 마이셀 테크놀로지 사는 청정건조, 금속정화, 섬유공정을 위한 초임계 이산화탄소 기술에 바탕을 둔 종합공정을 연구하는 회사이다. 부가적으로 DeSimone은 2천

만 달러의 발전기금을 환경친화적인 용매공정(Environmentally Responsible Solvents and Processes)을 위한 국립과학 및 기술재단 센터(National Science Foundation Science and Technology Center)로부터 유치했다. 이 센터는 연구, 학부 및 대학원 교육, 산업인력들에 대학 교육도 지원하고 있다.

(<http://www.chemweb.com/alchem/articles/1015947361370.html>, March 27, 2002) □

값싸고 유연한 플라스틱 태양 전지

미국 버클리 대학의 과학자들은 어떤 재료의 표면이나 바를 수 있을 정도의 유연성을 가진 값싼 플라스틱 태양전지를 개발했다. 이 재료는 착용 가능한 전자기기나 다른 저전력 디바이스에 전력을 공급할 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 이 재료로 만든 초보적인 태양전지는 효율이 1.7%로서 오늘날 상업용 광전지 표준인 10%에는 턱없이 모자라는 값이다. 지금까지 개발된 태양전지 중 최고의 것은 35%의 변환효율을 보이고 있으며 매우 비싼 반도체 라미네이트로 된 것이다. 이 연구를 주도한 알리비새토스(Alivisatos) 교수는 지금은 효율이 매우 낮지만 잠재력이 매우 크다고 밝히고 있다. 먼저 이 태양전지를 바로 플라스틱 위에 둘 수 있으므로 무한한 유연성을 보일 수 있다는 것이다. 이는 의복에도 태양전지를 만들어서 LED, 라디오 및 소형 컴퓨터 프로세서에 전력을 공급할 수 있다는 것이다. 이들이 개발한 태양전지는 유기물 고분자나 플라스틱에 나노 막대기를 올려놓은 모양의 하이브리드 구조로 되어 있으며, 한 층의 두께는 200 나노미터 정도이다. 이것이 전극 사이에 채워져 있으며 약 0.7 V의 전압을 만들어 낸다. 전극층과 나노막대/고분자 층은 별도의 코트에 부착될 수 있기 때문에 매우 쉽게 생산이 가능하다. 또한 오늘날의 반도체 광전지와 달리 반도체 제조 공정에 사용되는 청정실이나 진공실 없이도 비이커 내의 용액 속에서의 제조도 가능하다. 나노막대기는 마치 전선처럼 작동하는데 특정 파장의 빛이 흡수되면 전자와 전자가 이동하고 난 자리에 남는 홀(hole)이 생성된다. 전자들은 알루미늄 전극에 모일 때까지 막대기 길이만큼 이동하며 홀은 플라스틱으로 이동해 전극에 전달되면 전류가 발생한다

새로운 나노재료

일본의 대일본잉크 주식회사 (DIC)는 자체 개발한 나노테크놀로지 기술을 구사해 실리카의 초미립자를 나일론에 컴포지트화시킨 무기/유기 하이브리드 재료 “세릴”을 개발했다. 지금까지는 나일론에 무기미립자를 50% 이상 함유시키기는 것은 어려웠다. 그러나 DIC는 계면중합반응을 이용한 자체 합성기술에 의한 나노 컴포지트화 프로세스를 이용해 실리카 나노입자를 60%로 균일하게 나일론에 미분산시키는 데 성공했다. 일본 내에서 13건의 특허가 출원됐고 미국에서의 기본 특허도 성립된 상태이다. “세릴”은 펄프와 유사한 높은 백색도를 가진 미 (微)섬유로, 전자재나 절연용 산업 페이퍼에 사용되는 아라미드 펄프와 비슷한 paper 특성을 가지며 유기 미 (微)섬유 특유의 엉킴 효과에 따라 물 분산액에서 쉽게 초지 (抄紙)와 염색될 수 있다. 또한 뛰어난 측정 안정성, 내열성 등 무기물의 특징이 현저하게 나타나며, 아라미드에서는 극복할 수 없었던 초지물의 흡습과 가열에 따른 사이즈 변화, 물성저하가 억제됐다. 예를 들어 세릴의 선팅창계수는 아라미드 성형물의 30 ppm/°C에서 2 ppm/°C로 대폭 감소했다. 이처럼 “세릴”은 새로운 소재로서 매우 특이한 특성을 가지고 있어 무기물도 유기물도 아닌 새로운 가능성을 지닌 재료로서 사용될 것으로 기대된다. 일부에서는 이미 실용화가 시작됐는데, 특히 이 재료는 음향재료로서 뛰어난 특성을 나타내는 것으로 밝혀졌다. 일반적으로 20 kHz 이상의 가청역 외 (초음파역)에서는 “relax 효과”가 있다고 알려져 있는데 기존의 재료는 이 초음파역 재생이 어려웠던 것에 반해 “세릴”을 이용해 제작된 진동판은 재생 특성이 뛰어나 소니가 제작하는 스피커에서 채택, 이미 세계 각국에서 판매되고 있다. 앞으로 DIC는 “세릴”의 특징들을 살려 음향 재료로서 판매하는 한편 새로운 용도를 적극 개척함과 동시에 나노테크놀로지를 구사한 신제품 개발에 더욱 주력할 방침이다

(<http://www.dic.co.jp/release/020219-2.html>,
February 19, 2002) □

강하고 환경 친화적인 발포 플라스틱

미국 오하이오 주립대학 화학공학과 L. James

Lee 교수팀은 향후 고체 플라스틱을 대체할 고밀도 발포 플라스틱을 만드는 방법 및 발포 제품에서 CFC를 사용하지 않는 혁신적인 제조 기술을 개발했다. 샌프란시스코에서 열린 재료 연구학회에서 보고한 바에 따르면, 작은 Clay 입자를 가지고 밀도가 높은 발포물질을 제조하는 것과 플라스틱 발포에서 CFC 대신에 이산화탄소를 사용하는 방법의 가능성을 제시하였다. Lee 교수의 첫 번째 프리젠테이션은 수 나노미터의 크기를 갖는 첨가제를 포함한 나노 복합재료에 관한 것이었다. 나노 복합재료는 최근 자동차 산업에서 주목받고 있으며 자동차 제조자들은 더 가벼운 플라스틱 부품을 만들기 위해 Clay와 같은 첨가제를 사용하고 있다. Lee의 나노 복합 발포 플라스틱은 현재의 플라스틱 나노 복합 재료보다 훨씬 더 가볍다. “많은 과학자들이 나노 복합재료와 강한 발포 플라스틱에 관심을 갖고 있다. 만일 우리가 그러한 두 가지 개념을 함께 가지고 간다면 우리는 최소한 제조자들이 발포 제품을 더 쉽게 만들 수 있게 만들 것이라고 생각한다”고 Lee 교수는 말했다. 그들의 목표는 자동차나 비행기 날개와 같은 구조물로서 기존의 플라스틱 대신에 충분한 강도를 갖는 발포 플라스틱을 만드는 것이다. 발포제품은 고체 플라스틱보다 가볍지만 눈으로 보기에는 유사하게 보인다. 이 기술의 잠재적인 시장은 매우 크다. 현재 발포 플라스틱은 의자 쿠션, 카펫 패딩, 가정용 단열재, 일회용 기저귀, 패스트푸드 용기, 커피 잔, 포장재와 같은 범용 제품들에 적용되고 있으며, 이러한 다양한 제품들은 모두 뜨거운 액체 플라스틱에 CFC 가스를 주입하는 방법으로 제조된다. Lee 교수팀은 이 액체 플라스틱에 나노 크기의 Clay 입자를 첨가하면 발포물의 밀도가 증가할 수 있다는 것을 발견했다. 작은 기포들은 나노 입자 주위에 형성되려는 경향이 있고 그 입자에 달라붙는다. 나노 크기의 Clay는 플라스틱에 두께를 주며 기포 분포를 균일하게 만든다. 일반적으로 기포의 크기가 작을수록, 분포가 균일할수록 발포물의 강도가 좋아지고 밀도가 높아진다. 종전의 발포 플라스틱은 수백 마이크로미터에 가까운 기포를 갖지만 Lee 교수의 나노 복합재료 발포물은 5마이크로미터 이하의 크기를 갖는다. 연구에 따르면 5%의 Clay 입자를 첨가해 전형적인 발포물에 비해 두께가 2/3정도 되는 판을 가지고도 동등한 강도 특성을 나타내었다. 또한 발포제로서 사용된 이산화탄소는 현재 사용되고 있는 CFC보다 환경 친화적이며 가압 하에서 가열하여

초임계 유체로 만들면 고품질의 발포물을 제작할 수 있다는 것을 발견하였다. 그들은 이산화탄소를 1200 psi의 압력과 120 °C의 온도로 가열했으며, 그 온도와 압력은 공업적으로 쉽게 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 발포 설비의 교체 없이 적용이 가능하다.

(<http://www.osu.edu/researchnews/archive/nanoclay.htm>, April 2, 2002) □

플라스틱 등 재질 성분을 Database화

계측 장치 개발의 벤처기업, 오프트 기술연구소는, 미국 정보 관련 벤처의 FDM과 제휴해, 플라스틱류를 중심으로 한 재질 성분을 데이터베이스화하는 작업을 개시한다. 오프트 기술연구소가 개발한 근적외선을 이용한 판별 장치를 이용한다. 동 장치를 보급시키기 위해서 재질 성분의 데이터수를 늘리는 것이 목적. 현재, FDM에서는 플라스틱류를 중심으로 약 600 종류의 재질 성분 데이터를 축적하고 있다. 1년 후에는 3,000 종류까지 데이터수를 늘릴 것을 목표로 한다. FDM은, 벌써 근적외선을 이용한 재질 성분 데이터베이스 만들기를 진행하고 있다. 오프트 기술연구소는 이러한 실적, 노하우를 가지는 FDM과 편성해서 재질 성분 데이터수를 늘려 가는 것이 유리한 전략이라고 판단해, 제휴하기로 했다. 현재, 2,500 - 25,000 nm의 파장을 이용한 재질 성분을 판별하는 장치가 주류가 되고 있다. 여기에 따른 재질 성분 데이터수는 3만 - 5만 종류에 오른다. 한편, 동사에서는 850 - 2,500 nm의 파장의 근적외선으로 재질 성분을 간이, 고속으로 판별할 수 있는 장치를 개발했다. 중적외선을 이용한 측정 장치와 달리, 측정 대상물의 표면을 사전에 가공 처리할 필요가 없는 등 다양한 우위성을 가진다. 그러나, 과거에 식별된 재질 성분수는 약 1,000 종류에 머무르고 있다. 근적외선을 사용한 장치의 보급, 및 재질의 식별하기 위해서는 수많은 재질을 식별해, 그것들을 데이터베이스화하는 것이 급선무이다. 오프트 기술연구소와 FDM은 미국 매디슨 대학(윈스콘신주)의 화학 연구실의 협력도 받으면서 재질 성분 데이터수의 축적 작업을 실시해 간다. 향후, 일본의 대학과도 제휴해, 고품 타입의 플라스틱의 재질 성분 데이터 만들기를 실시하는 것 외에 액체 타입의 오염물질 등의 재질 성분의 데이터베이스화를 진행하려고 하고 있다.

(일본공업신문, March 25, 2002) □

Fullerene을 나노 튜브 내부에 넣어 다이오드 제작에 성공

축구 월드컵 한일공동개최를 앞에 두고, 분자 축구 볼을 사용한 연구로 한일 공동팀이 새로운 성과를 올렸다. 일본측은 나고야 대학 대학원 물질 이학 전공의 시노하라 히사노리 교수와 아카자키 토시아조수 외, 한국측은 서울 국립대학 물리학 교실의 국양 교수팀이다. 축구공 모양의 물질 「Fullerene」을, 카본 나노 튜브의 내부에 형성해, 다이오드를 제작하는데 성공했다. 이 성과는, 영국과학잡지 네이처의 28일호에 게재된다. 연구 그룹에서는, 금속의 가드리니움을 내포한 후라렌을 카본 나노 튜브 속에 넣어 「사야엔드루」와 같은 물질을 제작했다. 고분해 주사 터널 현미경으로 물성을 측정했더니, Fullerene이 들어간 부분에서는 밴드 갭이 작고(전도도가 높게), Fullerene이 없는 부분에서는 밴드 갭이 커(전도도가 낮아)지고 있는 것을 발견했다. Fullerene을 넣는 것에 따라 카본 나노 튜브의 전도도를 국소적으로 조절할 수 있어 전류가 밴드 갭이 큰 편으로부터 작은 편으로 흐르는 것을 이용해, 한방향으로만 전류가 흐르는, 직경이 1 나노 미터 정도의 미세한 다이오드를 형성할 수가 있었다. 나노 튜브는 자체 조직화 능력을 가져, 아주 작아도 구조적인 오차가 생기기 어렵기 때문에, 미소 전자공학 디바이스의 재료로서 기대되어 있다. 전도도가 다른 카본 나노 튜브를 직렬로 결합할 수 있으면, 그 방법에서도 다이오드를 만드는 것이 가능할 것이지만, 현재 상태로서는 그러한 기술은 없다. 신개발 기술을 응용하면, 나노 사이즈 트랜지스터의 실현도 그렇게 멀지 않을 것 같다.

(<http://www.nagoya-u.ac.jp/>) □

저분자 유기 EL 대면적 패널의 전면발광에 성공

진공 기기 메이커 대기업인 Ulvac (카나가와현 치가사키시)은 3월 4일, 평면형태 램프전용으로, 저분자형태 유기 EL (전계 발광)을 이용한 대면적 패널을 제작해, 전면발광에 성공했다고 발표했다. 시작품의 패널 사이즈는 80×80 mm로, 일반적으로 제작되어 있던 전면 발광 타입의 5배 이상의 면적. 보조 전극 없는 전면 발광 기구로서는 세계 최대 사이즈. 기술적으로는 150×150 mm 패널의 제작도 가능하다고 한다. 동사는 동패널 제작용 제조 장치를 9월에 시장 투입할 계획. 가격은 1 시스

템당 5억엔 정도를 전망한다. 초년도 10 시스템의 판매를 계획하고 있다. 이번 시작품은 전압 9 V로 1 평방 미터당 650 칸데라, 12 V로 1,000 칸데라의 광도를 나타낸다. 이것은 형광 등의 3분의 1 정도이지만, 사용 면적을 넓게 하는 것으로 종래 형태의 조명 기기 대체도 전망할 수 있다. 수명도 종래 형태에 대응할 수 있는 정도로, 벌써 자동차용 실내 등불 등으로 해서 문의가 들어오고 있다고 한다. 대면적 패널의 전면 발광을 가능하게 한 것은, 전극에 이용하는 고품질 투명도전막 「슈퍼 ITO (indium tin oxide) 막」 기술, 종래의 ITO막에 비해 전기 비저항 값을 3분의 1 정도의 $60 \mu\Omega \text{ cm}$ 로 낮추는 등 고기능화를 꾀했다. 저비저항화에 의해, 발광 결함이 없고, 균일하게 발광해, 유기 EL의 신뢰성 향상으로 연결된다. 9월부터 판매하는 것은, 스퍼터 장치, 유기 EL용 고속 성막 장치, ITO막 성막 장치, 전극 형성 장치, 보호막 형성 장치, 봉지 장치 등에서 완성되는 시스템, 평면형태 램프전용 대면적 패널 제작 기술, 노하우 등도 장치 사용자에게 라이선스를 공여할 방침이다.

(<http://www.ulvac.com/>) □

손상 부위가 열적으로 수복되는 가교 고분자 재료

치밀한 가교 구조 고분자 재료는 높은 모듈러스와 파괴강도 등의 우수한 기계적 특성 및 내용제성을 나타내지만, 큰 응력이 가해지면 크랙의 형성과 전파에 의해 비가역적으로 손상을 입게 된다. 지금까지 고분자 재료의 재수복 (re-mending)과 자기치유 (self-healing)를 시도한 연구 결과가 보고되어 왔지만, 치유 반응에 작용하도록 재료에 함유된

촉매의 장기간의 안정성이나 반복적인 자기 치유 능력에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 촉매를 사용하지 않는 간단한 반응에 의해서 손상 부위의 계면에서 공유결합이 형성되면서 크랙의 자동 수복을 여러 번 반복할 수 있는 가교 고분자 재료를 개발하였다. 이 재료는 퓨란 구조를 4개 가지는 단량체 1과 말레이미드 구조를 3개 가지는 단량체 2로 구성되어 있다. 두 단량체의 혼합물 용액을 몰드에 넣거나 석영판에 캐스팅한 후 용매를 실온에서 증발시키고, 75°C 이하에서 가열하여 Diels-Alder (DA) 반응을 일으켜 고분자 재료를 얻었다. 재료의 기계적 특성은 현재 상용화된 에폭시 수지, 불포화 폴리에스터 등과 유사하였다. 가열-냉각 과정에서 일어나는 DA 반응과 retro-DA 반응은 UV 분광법, DSC, NMR 등에 의해 조사하였다. 재료를 75°C 에서 가열했을 경우 거의 모든 퓨란-말레이미드 기가 DA adduct를 형성하는 것이 확인되었고, 이것을 150°C (15분)로 가열하면 형성된 adduct중 25% 정도가 retro-DA 반응을 일으키는 것으로 나타났다. 이러한 가열-냉각 과정을 통해 가교 구조의 가역적인 연결-절단이 일어나는 것이 확인되었다. 이러한 반응이 실제 시료의 자기치유에 적용될 수 있는지의 여부를 판단하기 위하여 시료에 면도날로 크랙을 형성시키고, 이것을 $120-150^\circ\text{C}$ 로 가열한 후 실온으로 냉각하였다. 육안 및 SEM에 의한 관찰 결과, 크랙이 거의 치유되어 균일한 상태로 되돌아간 것이 확인되었고, 파괴 시험에서는 본래 수치의 57%에 해당하는 fracture load까지 회복된 것으로 나타났다.

(*Science*, 295, 1698 (2002)) □