

포드 자동차, 플라스틱 복합재료로 된 화물용 적재함 개발

포드 자동차는 화물용 적재함 구조재료에 처음으로 플라스틱 외장재를 사용한 복합재료 기술을 개발하였다. 포드 자동차는 Budd사의 플라스틱 사업부와 함께 2001년형 Explorer SportTrac에 탑재할 복합재료 화물용 적재함을 개발한 것이다. 포드 측은 철 대신에 플라스틱을 이용한 복합재료를 사용함으로써 차량 중량을 줄이고 결과적으로 연료비를 대폭 절감시킬 수 있었다고 밝혔다. Sheet Molding Composite(SMC) 방식으로 제조된 화물용 적재함 내부는 방수가 잘 되어, 적재함 바닥의 오염으로 인한 손상을 방지할 수 있다고 한다. 이 SMC 화물용 적재함은 종래의 철로 된 적재함에 비해 중량이 20% 감소하였으며, 기존의 철 적재함은 45개의 철판 조립이 요구되었으나, 새로운 복합재료 적재함은 불과 몇 개의 판조립으로 가능하고, 별도의 조립공구나 장치의 불필요로, 조립공장의 공간을 거의 차지하지 않아 제작비가 적게 드는 등 많은 장점이 있는 것으로 알려졌다. 이 복합재료 적재함은 모든 화물용 적재함에 대해 포드 트럭이 요구하는 150,000 마일 내구성을 만족한다고 한다. 내부식성과 내충격성도 뛰어나며, 또한 제조 시간의 경감과 아울러, 재활용성(recyclable)이 있다는 점도 큰 특징이다. 포드 자동차는 이 기술개발로, 최근에 미국 Society of Plastics Engineers(SPE)가 수여하는 제30회, '올해의 자동차분과 기술혁신상'을 수상하였다.

(NetComposites News, November 23, 2000) □

내열성과 탄성, 유연성을 동시에 지닌 폴리이미드

러시아 과학자들이 내열성과 동시에 탄성과 유연성을 함께 지닌 새로운 폴리이미드를 합성하였다. 이 두 성질-내열성과 탄성-은 서로 양립할 수 없는 것이다. 내열성이 우수한 고분자는 보통 강직한 고분자 사슬로 이루어진다.

내열성이 가장 높은 고분자 필름은 이무수산(dianhydride)과 방향족 디아민과의 반응으로 합성되는 폴리이미드로 제조한다. 폴리이미드는 600℃까지 견디며 약간의 질량손실만을 보일 뿐이다. 그러나 이 필름은 탄성이 거의 없으며 곧잘 부서진다.

상트페테르부르크에 위치한 고분자화학연구소(Inst. of Macromolecular Chem.)의 Vladislav V. Kudryavtsev 교수 연구팀은 폴리이미드의 내열성이 그 분자조성과 구조에 어떻게 의존하는가를 연구하였다. 그들은 보다 유연한 폴리이미드를 합성하기 위해 4-(4-아미노페놀)프탈산(APA)을 단량체로 하여 새로운 고분자인 폴리(p-페닐렌)프탈이미드를 합성하였다. 보통의 대칭성 폴리이미드와는 달리 이 새로운 고분자의 분자사슬은 모두 비대칭형의 구성요소로 이루어져있다. 이러한 비대칭성으로 인해 고분자의 형태유동성(conformational mobility)은 증가하여 필름은 전체적으로 유연해진다. 게다가 단량체의 쌍극성이온(zwitterion) 구조로 인해 중간체를 거치지 않고 고온축중합으로 직접 고분자를 합성할 수 있다. 따라서 합성은 매우 간단하여 단 두 단계-APA의 단일축합(homocondensation)과 가열 폐환(cyclization)-로 완결된다. 얻어진 고분자의 내열성은 대단히 우수하여 580℃까지 가열시 질량손실은 5%에 불과하며 600℃로 가열할 경우 10%의 질량손실을 보인다. 연구팀은 X-선 산란법 등으로 이 고분자 필름을 연구하였는데, 필름은 메조모픽(mesomorphic) 형태의 동질구조(homogeneous structure)를 지니고 있다. 이는 필름이 국지적 긴장(local tension)으로부터 자유로와 낮은 변형강도를 지님을 의미한다. 연구팀은 또한 이 폴리이미드 필름을 여러 온도에서 연신하며 열 기계학적 테스트를 실시하였다. 그 결과 이 새로운 고분자는 강도에 있어 다른 보통의 내열성 폴리이미드(인장강도 310 MPa)만큼 강함과 동시에 훨씬 더 탄성이 크다는 것을 발견하였다. 이 필름의 파열 변형도(tearing deformation)는 58%로 일반 폴리이미드의 15-15%보다 훨씬 높다. 이 연구결과는 *Polymer Science, Series A*, **42**(5), 459 (2000)에 실렸다.

(http://www.chemweb.com/alchem/2000/news/nw_001027_poly.html) □

새로운 공중합체 생성법

캐나다 화학자들은 일산화탄소와 비닐 에폭사이드의 공중합체를 만드는 방법을 고안하였다. 새로운 생성물들은 변종된 지방족 폴리케톤으로서, 거칠고 견고하며 재현성이 좋은 공업용 열가소성 플라스틱

같은 응용제품을 이용할 수 있고, 비교적 새로운 종들에 속한다. 또한, 고분자 뼈대 주변에 붙어있는 일산화탄소 그룹은 생성하기가 편리하고 대단히 범용적인 다른 기능성 고분자 그룹으로의 변형이 쉽도록 도와주는 역할을 한다. 화학자 Jong Tae Lee와 Howard Alper(the Centre for Catalysis Research and Innovation at the University of Ottawa, Ontario)은 일산화탄소 기체와 다이엔 모노에폭사이드와 짝을 이루지 않는 비닐 에폭사이드와의 공중합을 촉매화시키기 위해 양이온적인 팔라듐(II) 복합체 $[Pd(L)(MeCN)_2][BF_4]_2$ [$L = (R,R)\text{-Me-DUPHOS}$]를 사용하였으며, 또한 포름산과 1,4 나프퀴논의 촉매적인 양이 에폭사이드 그룹의 영향 없이 반응을 굉장히 촉진시킨다는 것을 발견하였다. 에탄과 일산화탄소의 공중합의 중요성은 네덜란드, 암스텔담의 Koninklijke/Shell 연구소의 Eite Drent와 Peter Budzelaar에 의해 강조되었다. 그들은 산업계와 학계 모두가 이런 기본적인 원료물질들을 대단히 기능적이며 유용한 폴리 케톤으로 전환시키는 촉매를 개발하고 있는 것을 강조하였다. “단분자들은 비교적싼 가격에 매우 높은 고순도를 유지할 수 있으며, 폴리케톤들은 흥미로우며 독특한 특성을 가졌다”라고 이번 *Chem. Commun.*에서 Alper은 설명했다.

Alper 에 따르면, 학계와 산업계의 증가되는 관심에도 불구하고, 이런 공중합의 경우 기능화된 알켄들을 이용한 공중합체의 예가 별로 없다는 것이다. 그와 그의 팀은 그들의 팔라듐 촉매가 1,2-epoxyhex-5-ene과 몇몇 다른 비닐 알켄들을 적당한 수율을 갖는 CO 공중합체로 변형시킨다는 것을 발견하였다. 프로세스의 최적화는 원료성분들이 쉽게 이용가능하며, 공중합체에 의해 첨가되는 양이 크므로 보너스가 될 것이다. Alper는 팀이 반응에 있어서 완전한 화학적 선택성을 얻었으며, 에폭사이드 그룹의 간단한 링 오픈에 의해 물질들을 기능화할 수 있을 것이라는 것을 강조하고 있다.

(<http://www.chemweb.com/alchem/2000/news/nw-001103-pall.html>) □

자살하는 고분자 결정

결정성 고분자는 의류 원료(폴리에스테르), 차량 범퍼(폴리프로필렌)와 프리젠테이션 슬라이드(마일라)에서 찾을 수 있다. 그러므로 플라스틱 산업은 결정화 과정을 이해하는데 큰 관심을 갖는다. 11월

13일자 PRL에서, 영국의 한 연구팀은 특별한 방식으로 결정화하는 단순한 고분자에 대해 보고하였다. 일정범위의 농도에 대해, 탄소 200개의 사슬 분자들은 모든 다른 알려진 물질들과는 대조적으로, 농도가 증가함에 따라 결정화 속도가 감소한다. 저자들은 작은 분자들의 결정화와 비교되는 고분자 결정화의 복잡함을 강조하고 고분자가 다단계 과정으로 결정화된다는 설명을 제시한다. 고분자 과학자들은 소위 다분산성 샘플(다양한 길이의 분자를 포함하는 샘플들)을 연구하는데 익숙하다. 왜냐하면 실제적인 응용을 위해 일정한 샘플을 만드는 것이 불필요하기 때문이다. 그러나 그러한 비균일성은 기본적인 고분자 물리학 실험을 복잡하게 만들 수 있다고 영국 셰필드 대학의 고란 웅가르는 말한다. “모든 고분자 물리학은 불순물이 섞인 시스템에서 이루어져왔다.”고 그는 말한다. 10년 전 영국 브리스톨 대학의 연구팀은 분자에서 분자로의 변화 없이 특정 길이(390 단위까지)의 고분자 샘플을 만드는 방법을 고안했다.

짧은 사슬은 공장에서 나온 한 상자 속의 수천 개의 연결처럼, 서로가 평행하게 쌓이고 늘어남으로써 결정화된다. 그러나 고분자는 유연하기 때문에, 한번 접혀진 사슬만큼 결정화될 수 있으며 두께의 절반만큼 결정성 라멜라(lamella)를 만든다. 2번 접혀진 사슬은 확장된 사슬 라멜라의 1/3 두께의 라멜라를 만든다. 기다란 다분산성 고분자의 결정은 접힌 횟수가 다른 사슬의 혼합을 포함할 수 있어서 일정한 길이의 분자들은 분석을 단순화시킨다. 셰필드와 웅가르 그리고 그의 동료들은 노르말 알케인(n-alkane), $C_{198}H_{398}$ 에서 농도의 영향을 관찰했다. 낮은 농도에서 결정화 속도는 농도와 비례하여 증가했다. 그것은 예상되었던 것이다. 그러나 중량으로 1~3% 고분자 사이에서, 그 속도는 거의 제로까지 감소했다. 농도 3% 이상에서 그 속도는 다시 올라갔다. 그 팀은 현미경으로 관찰한 두 가지 유형의 결정 모양에 근거하여, 그 결정들을 농도 3% 이하인 확장된 사슬 유형과 3% 이상에서 한번 접힌 유형으로 구분했다. 비록 일부 매우 완전한 반응은 음(-)의 지수를 갖는 kinetics를 보여주는 것(농도가 증가함에 따라 속도 감소)으로 알려져 있지만 이것이 최초의 간단한 예이다.

연구원들의 모델에 따르면, 농도가 증가함에 따라 접힌 분자들은 확장된 사슬 결정에 달라붙기 시작하고 새롭게 확장된 분자들의 침투를 방해한다. 이런

방해 과정은 그들의 앞선 연구에서 제안되었고 그들은 이것을 “자기 중독”이라고 부른다. 농도가 더 증가함에 따라 매우 많이 접힌 사슬들이 달라붙어서 확장된 사슬의 결정 성장이 그친다. 그리고 접힌 사슬 결정들은 훨씬 더 높은 농도에서 형성되기 시작한다. 그 실험은 고분자 결정화가 길고 힘든 과정에 의해 일어난다는 견해를 입증하고 있다고 옹가르는 말한다. 그 과정에서 분자는 정확한 입체배열로 달라붙기 전에 여러 번 표면과 마주쳐야 할 필요가 있다. 접힌 사슬은 이런 과정을 늦춘다. 작은 분자들의 결정은 단지 하나의 입체배열을 갖고있어 훨씬 더 쉽게 결정화한다. 자기 중독의 과정은 모든 고분자 결정화에서 일어나겠지만 단일분산성 분자에서 분명하게 일어난다고 맨체스터의 폴 히그스는 말한다. 오하이오주에 있는 아크론 대학의 스테판 쉐은 이 연구가 자기 중독 모델을 입증한다는 것을 수궁하면서 자기중독으로 인해 완전히 결정 성장이 멈출 수 있다는데 놀란다.

(<http://focus.aps.org/v6/st21.html>) □

천연효소를 담은 고분자 겔 촉매

용매 조성의 변화에 따라 활성도(activity)가 급작스럽게 나타나거나 사라지는 고분자 겔 촉매가 MIT에서 개발되었다[*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**, 9861 (2000)]. 화학과 대학원생이며 연구팀의 일원인 케니치 쿠로다는, 이 연구결과는 그 활성도를 정밀하게 조절할 수 있는 인조효소의 개발로 이어질 수 있는 것이라고 말한다. 연구팀의 리더는 물리학, 재료과학, 공학과 교수였던 고(故) 토요이치 다나카였으며, 박사후 과정의 규오귀앙 왕(Guoqiang Wang)이 논문의 주요저자이다. 이 겔은 *N*-이소프로필아크릴아미드(*N*-isopropylacrylamide)와 비닐이미다졸(vinylimidazole)의 공중합체로서, *p*-니트로페닐터(*p*-nitrophenyl esters)가 수분해의 촉매이다. 물 속에서 이 겔은 팽윤되어 촉매효과는 최소화된다. 에탄올이 부가되면 겔은 수축하여, 에탄올 농도 12.5%에서 급격한 상전환을 나타낸다. 이러한 수축 상태는 에탄올 농도 35%까지 유지된다. 이 쪼그라든 겔은 *p*-니트로페닐 카프릴레이트(*p*-nitrophenyl caprylate)를, 비닐이미다졸 단독에 의한 것보다 훨씬 빠르게 가수분해한다. 이 수축된 겔은 강한 소수성이므로 기질을 흡착할 수 있는 능력과 촉매효과가 우수하다. 현재 연구팀은 천연

효소의 활성부위를 정확하게 모방하여 개질한 촉매를 함유한 겔을 개발 중이라고 쿠로다는 전했다.

(<http://cen.acs.org/isubscribe/journals/cen/78/i36/html/7836scic>) □

사출성형이 가능한 PTFE 개발

스위스기술대학교(Swiss Univ. of Tech.)의 한 연구팀이, 현재 상업화되어 있는 제품에 비해 가공성이 더 좋은 새로운 타입의 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)을 개발 중이다. 이 연구를 주도하고 있는 과학자에 따르면 이 새로운 PTFE의 개발로 현재 20억불에 달하는 불소고분자 시장에 4억불 규모의 새로운 시장이 더해질 것이다. 테프론으로 더 잘 알려진 PTFE는 1938년 「두풍」사에 의해 개발된 유기고분자로서 테트라플루오로에틸렌의 중합으로 제조된다. 거의 모든 화학물질에 대한 안정성과 미끄러운(slippery) 표면은 PTFE의 두드러진 특징이다. 또 이 고분자의 물리적 특성은 -270~352 ℃의 넓은 온도범위에서 유지된다. 이와 같은 화학적, 물리적 특성으로 인해 PTFE의 응용분야는 요리용 기구의 보호피막으로부터 부식 환경에서 작동하는 밸브와 펌프의 부품에 이르기까지 매우 다양하다. 그러나 PTFE는 여러 장점들과 더불어 가공 공정상의 약점을 안고 있다. 다른 상업적 플라스틱들과는 달리 이 물질은 오직 저온에서만 가공이 가능하다. 단단한 물체를 만들기 위해 희석제에 분산된 PTFE 현탁 분말을 원하는 형태로 몰딩한다. 희석제는 증발에 의해 제거하고 물체는 용융(melting) 없이 소결(sintering)에 의해 고화(consolidation)된다. 그러나 그와 같은 번거로움은 이번 연구의 성과로 사라질 것 같다. 고분자학 교수 폴 스미스의 연구팀은 분자량과 점도가 다른 수많은 상업용 PTFE의 용융성과 기계적 특성을 조사하였다. 그 결과 연구팀은 서로 다른 종류의 PTFE를 결합함으로써 새롭고 밀도가 높은 PTFE를 개발하는데 성공하였다. 이 PTFE는 저렴한 공정으로 열을 가해 압착물딩이나 사출성형하는 것이 가능하며, 게다가 생산된 제품은 높은 기계적 강도를 지닌다. 폴 스미스는 이 새로운 PTFE가 코팅, 섬유, 막대 뿐 아니라, 다른 방법으로는 제조할 수 없는 복잡한 부품에까지 PTFE의 응용분야를 넓혀줄 것이라고 말했다. 연구의 다음 단계는 서로 다른 분자량의 PTFE를 혼합하는 대신, 필요한 저분자량을 지닌 PTFE를 직접 제조하

는 것이다.

(http://www.chemweb.com/alchem/2000/news/nw_001002-ptfe.html) □

외부 자극에 의해 사라지는 다층 고분자 필름

일리노이즈 대학(University of Illinois)의 과학자들은 환경의 자극에 의해 층을 만들었다 없앨 수 있는 초박막 유기 필름을 만들었다. 이렇게 층이 없어질 수 있는 다층 고분자는 의학에서 재료 과학까지 많은 다양한 분야에서 응용할 수 있다. “그 고분자는 자신이 원하는 환경에 놓일 때, 그들이 감싸고 있는 약제를 용해시키고 방출하도록 특별히 고안되었다.”고 UI 재료 과학 교수이자 프레드릭 세이츠 재료 연구 실험실 연구원인 스티브 그레닉은 말했다. “우리는 외부 자극을 통해 물질의 내구성을 조절할 수 있다.”

층이 다시 없어지는 물질을 만들기 위해, 그레닉과 박사후 과정의 연구 동료 스비틀라나 수키쉬빌리는 게르마늄 결정 위에 번갈아서 고분자 산과 염기의 매우 얇은 필름을 한층 한층 쌓았다. 필름은 또한 유리, 운모(mica)나 테프론 같은 다른 물질 위에도 쌓일 수 있다. 층이 형성될 때 외부 화합물이 그 층에 첨가될 수 있다.

“추가적인 층을 첨가함으로써, 우리는 감싸인 화합물의 양을 증가시킬 뿐만 아니라 물질을 더 안정

하고, 강하며, 원치 않는 환경의 공격에 저항하게 만들 수 있다.”고 그레닉은 말했다. 필름의 조립은 수소 결합에 의해 이끌어 진다. “조립 과정의 한 가지 독특한 면은 가역성이며 결과로서 생긴 다층은 만들어진 후에 선택적으로 파괴될 수 있다.”고 그레닉은 말했다. 물질의 조절된 파괴는 pH 변화, 전기장의 공급에 의해서나 주변 염 농도의 변화에 의해서 시작될 수 있다(둘 다 물질의 이온 결합을 깨뜨린다). “감싸인 화합물의 방출은 다층 필름의 층을 없앨 수 있는 적당한 환경 조건에 노출될 때 일어난다.”고 그레닉은 말했다. “예를 들면, 약은 원하는 pH에 따라 환자의 위(胃)나 상처 자리에서 방출될 수 있다.” 이와 비슷하게, 전자 센서는 순간적인 전기장을 공급하여 물질을 녹임으로써 감싸인 작용물을 방출할 수 있다. 그 일은 여전히 실제적인 응용과는 거리가 멀지만, “그 개념은 물질 안에 감싸인 외부 작용물을 인위적으로 조절하여 방출시키도록 하는데 사용될 수 있다.”고 그레닉은 말했다. 연구원들은 다층 필름내에 염료 로다민(Rhodamine) 6G의 분자들을 끼워 넣고 적당한 자극을 주어 필름을 없앴으로써 그들을 방출시키는 실험으로 그 원리를 입증했다. 그레닉과 수키쉬빌리는 층이 사라지는 고분자 필름을 9월 14일 미국 화학 협회 저널의 온라인 버전에서 설명했다.

(<http://www.news.uiuc.edu/scitips/00/10erasefilm.html>) □

편 집 후 기

HKK : 좋은 편집위원 모임이었다고 오랜 동안 생각하게 될 것 같습니다. 대전 내려가는 일로 뒤풀이를 제대로 못해 드려서 미안합니다. 다가오는 21세기에도 「고분자 과학과 기술」의 발전과 더불어 편집위원 모두와 가족들에게 하 나님의 풍성한 은혜와 건강이 함께 하기를 기원 드립니다.

IK : 여러 훌륭하신 편집위원님들과 여러 차례 편집 회의를 하면서 집필자들의 유익한 충설을 읽으면서 많은 공부를 하였습니다. 서울에서 상당히 멀리 떨어진 곳에 사는 터라 100% 참석하지 못한 점이 아쉽습니다.

YJK : 새 천년 한해도 저물어 갑니다. 여러 편집위원님의 도움에 감사드리며 새해에도 더욱 알찬 “고분자 과학과 기술”지가 되기를 기원합니다.

YSG : 뜻 한해를 마무리해야할 시점이 되었습니다. 여러 가지로 바쁜 한 해였던것 같습니다. 내년에는 보다 알찬 학회지가 되기를 기원하면서

SWK : 이번 한 해동안 YJK님을 비롯한 여러 편집위원님들의 도움에 감사드리고 새해에도 더욱 건강하시고 행운이 함께 하길 기원합니다.