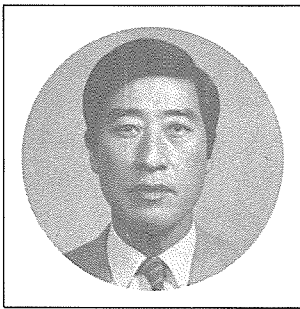


고분자학 분야의 최근 연구동향 및 발전추세와 전망

附價가치 큰 高分子산업 육성 시급



金 震 燁

韓國과학기술연구원
고분자소재단 부장

■ 고분자학의 배경

고분자란 어휘가 일상생활에 사용되는 기회는 적지만 우리생활에 미치는 영향은 아주 크다. 플라스틱, 섬유, 고무, 페이트등이 모두 천연 또는 합성고분자이며 따라서 일상용품의 거의 대부분에 이 소재가 이용되고 있고 반도체나 인공위성 같은 최첨단기술분야에도 고분자는 핵심소재로 쓰여지고 있다. 인간이 지향하는 복지화사회에서 가장 중요시 될 인체관련의료기술은 인체가 바로 고분자로 구성되어 있으므로 고분자학문의 발전과 함께 의료기술이 발전하게 된다.

물질을 구성하는 단위인 분자의 크기가 아주 큰 것을 고분자라 하며 물이나 탄산가스분자에 비해 적게는 천배, 많게는 백만배가 되며 무한대의 것도 있다. 고분자가 독특한 성질을 나타내는 것은 분자가 크다는 특성외에도 분자를 구성하는 화학원소에도 큰 영향을 받는다. 고분자를 구성하는 주된 화학원소는 탄소, 수소, 산소 및 질소이며 염소, 불소, 유황 및 인 등이 함유되기도 한다. 고분자는

합성할수 있으므로 금속이나 세라믹에 비해 종류가 많고, 분자설계가 가능하여 필요한 성질을 가진 고유한 고분자를 합성해 낼 수 있다.

천연고분자는 목재, 종이, 옷감, 털가죽등이며 인간이 오랜 세월 사용해 왔지만 합성고분자는 1900년대에 처음으로 생산되었고 고분자란 말을 처음 사용한 것도 1920년이였다. 고분자산업이 현재와 같이 크게 발전한 동기는 2차대전때 천연고무의 대체물질 개발연구였으며 곧 이어 1950년대에 고성능고분자합성촉매가 실용화되면서 고분자산업의 전성기를 이루었고 1990년 전세계 고분자생산은 1억톤을 능가하게 되었다. 비중이 약 8배인 철강과 비교하면 8억톤 규모의 산업이며 원료 및 1차에서 3차에 이르는 가공산업까지 합치면 그 규모가 엄청나다.

부가가치가 다른 소재에 비해 훨씬 큰 고분자산업이 한국에서는 2차대전이 끝나기 전까지는 가내공업규모로 유지되어 오다가 2차대전 후에는 외국으로 부터 고분자재료를 수입하여 성형가공을 하기 시작하였다. 대규모생산은 1970년대의

경제개발계획의 일환으로 시작되었으며, 1990년에는 국내 플라스틱, 합성섬유 및 합성고무생산량이 각각 400만, 150만 및 25만 톤에 달하고 현재 건설중인 시설이 완성되는 1993년 초에는 플라스틱만 580만톤에 달하게 되어 국민 1인당 플라스틱생산량이 100kg이 넘어 선진국수준에 도달하게 된다.

■ 외국의 연구동향

고분자소재는 소비량에 따라 범용플라스틱과 고기능성고분자를 나눌 수 있으며 90% 이상이 범용플라스틱으로서 단위 무게당 가격은 낮지만 전체 생산액에 대해서는 범용플라스틱이 큰 몫을 차지한다. 따라서 이 분야의 연구는 끊임없이 이루어지고 있으며 많은 성과를 거두고 있다. 예를 들면 세계 총생산이 1990년에 5천만톤에 달하는 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP)은 1941년에 저밀도폴리에틸렌(LDPE)으로 처음 생산되었고 1950년대에 개발된 저밀도폴리에틸렌(HDPE)과 PP가 개발되어 고분자산업 발달의 획기적인 기초가 되었다. 이 촉매는 독일의 쩌글러박사와 이태리의 닛타박사의 복합적인 연구결과이며 노벨상을 받을 정도로 업적을 인정받았다. 거의 같은 시기에 필립스페트륨사에서 크롬계 고성능촉매를 개발하여 HDPE를 생산하게 되었으며 현재 이 두가지 방법이 크게 보급되어 있다.

이 분야의 연구는 계속되어 종래의 용액중합이나 슬러리중합이 아닌 기상중합방법이 1977년 유니온카바이드사에 의해 발표되었다. Unipol이라는 방법에 의해 HDPE를 만들수 있을 뿐만 아니라 에틸렌과 부텐을 기상중합시켜 공중합체를 만들며 밀도가 LDPE와 같은 선형저밀도폴리에틸렌(LLDPE)을 생산한다.

이 소재에 대한 연구로 1991년 또 다시 획기적인 기술이 개발되었다. 이태리의 세계적인 PP생산회사인 montecatini사와 미국의 Exxon사가 각각 Spherilene과 Exxpol 기술을 소개하였다. 이 기술의 특징은 PE의 밀도를 0.88 g/cm³에서 0.96 g/cm³, 즉 초저밀도에서 고밀도까지 자유자재로 선

택할 수 있으며 산화방지제, 대전방지제, 적외선 안정제와 같은 첨가제를 중합할 때 함께 넣을 수 있으므로 지금까지 해온 컴파운드공정을 없애 PE의 열분해 기회를 줄이고 있다. 이 기술이 보편화 되면 한 개의 생산시설로서 모든 종류의 폴리올레핀생산이 가능하며 많은 종류의 공중합체가 소개될 것이 기대된다.

고기능성고분자는 기계적 및 열적성질이 우수하여 금속이나 요업재료를 대체할 수 있는 고강도고분자와 전자, 의료 및 환경분야에 사용할 수 있는 기능성고분자로 크게 나눌 수 있다. 고강도고분자의 대표적인 것은 엔지니어링플라스틱으로서 5대 범용엔지니어링플라스틱인 나일론, 폴리아세탈(POM), 폴리카보네이트(PC), 폴리페닐렌옥사이드(PPO) 및 폴리 에스터(PBT, PET)는 세계생산량이 1천만톤 가까이 된다. 범용엔지니어링플라스틱에 대한 연구는 기존 물성을 최대한 유지하면서 가격을 저렴하게 하는 것이다. 가장 많이 이용되는 기술은 고분자블렌딩으로서 범용플라스틱과 용융혼합하여 부피를 높인다. PPO는 폴리스타이렌(PS)과 블렌딩된 상태로 시판되고 있다. 나일론에 PE를 혼합하며 나일론의 기계투과성이 유리되면서 증량의 효과를 얻게된다.

포름알데히드가 반복단위로 된 POM은 트라이옥산을 중합시키는 것이지만 포름알데히드로 부터 직접 POM을 생산하는 기술이 개발되었고 PC는 독성이 심한 포스진(COCl₂)을 사용하지 않는 기술이 시험되고 있으며 많은 종류의 새로운 나일론이 소개되고 있다.

범용엔지니어링플라스틱보다는 열적 및 기계적성능이 우수한 초엔지니어링플라스틱에 관한 관심도 대단히 높다. 이 소재에 대한 일반적인 연구는 대체로 나쁜 가공성을 향상시키는 것이다. 분자설계나 블렌딩에 의해서 용융점도를 낮추는데 초점을 맞추고 있으며 단량체로부터 바로 제품을 성형하는 기술도 개발되고 있다. 특히 중요한 소재는 폴리실폰(PSE)으로서 초엔지니어링플라스틱 중에서 가장 생산량이 크다.

우주·항공산업뿐만 아니라 자동차산업에서 복합재료의 사용량이 증가하고 있다. 초엔지니어

링플라스틱인 폴리이미드(PI)계 소재가 복합재료의 매트릭스로 자리를 굳히고 있다. 열적성질, 접착성 및 치수안정성이 우수하여 에폭시수지보다 성능이 한차원 높은 복합재료를 얻을 수 있다.

중요한 또 다른 초엔지니어링플라스틱은 맥정고분자이다. 상온에서 강도가 월등히 높은 액정고분자는 용융상태에서 점도가 충분히 낮아서 쉽게 가공할 수 있게 된다. 분자구조를 최적화하는 뛰어난 분자설계기술이 발달되어 기계적 및 열적 성질이 우수한 액정고분자로 구성된 제품을 대량생산할 수 있는 가능성이 엿보인다.

범용플라스틱으로 부터 초엔지니어링플라스틱을 만드는 연구결과로 초강도섬유인 아라미드섬유보다 40%나 인장강도가 큰 PE섬유가 개발되었다. 분자량이 6백만에 달하는 이 PE섬유는 다른 섬유에 비해 훨씬 가볍고 기계적강도가 뛰어나며 내약품성도 우수하다. 우주항공용, 방탄복, 의료용, 선박용로프 등 용도가 다양하여 가공기술이 발달하면 폭발적인 수요가 기대된다.

기능성고분자는 고분자를 구성하는 원소나 화학특성기의 기능을 응용한 것으로 전자의 이동을 조절할 수 있고 빛에 의해 화학변화를 일으키든지 빛 자체를 변환시킬 수 있으며 인체조직과 부작용없이 결합이 되며 다른 물질과의 친화성에 따라 혼합물질을 분리해 낼 수 있다. 따라서 전자산업, 의료기술 및 환경문제에 기능성고분자의 역할이 클 것으로 예측된다.

전자산업용 기능성고분자는 유럽에서는 분자전자학(molecular Electronics)이란 새로운 분야로 분류하여 연구를 일괄 지원하고 있다. 표1은 분자전자학에 속하는 소재들이며 일부는 실용화 단계에 있다. 그 예로 그림1에서와 같이 4메가비트램제조에 단파장적외선감응 레지스트가 실용화되었고 압전초전성소재로 부터 트랜스듀서와 온도센서를 이미 제작하고 있으며 액정을 사용한 제품은 전자시계와 TV화면 등이다.

전기전도성 고분자는 1979년 처음 알려진 후 버탄형 밧데리로 시판되고 있고 유기금속화합물을 진공분해하여 금속박막을 형성하는 기술도 반도체칩이나 광기억소자에 응용되고 있다. 그러나

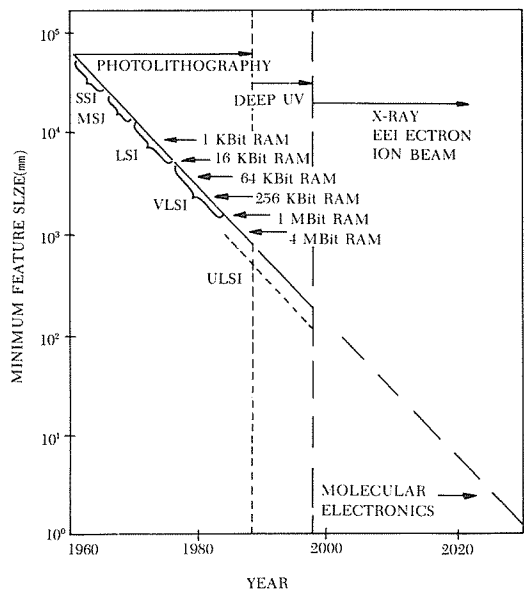
표1, 분자전자학소재

소 재	용 도
액 정	TV화면, 표시소자, 광스위치, 건축자재
LB 막	기억소자, 센서
유기전기전도체	밧데리, 다이오드, 트랜지스터, 센서, 도선
레 지 스투	반도체 칩
광전크로믹소재	표시소자, 광스위치
초 전 압 전 체	센서, 트랜스듀서
화학생물센서	센서(습도, 온도, 화학물질, 방사선)
비선형광학재료	광컴퓨터, 광스위치
금 속 박 막	광기억소자, 반도체 칩,

이들 소재로 부터 만들어진 제품은 개선될 점이 많으며 꾸준한 연구에 의해 현재보다 훨씬 더 우수한 제품생산이 가능하다.

분자전자학에서 최근 활발히 연구되고 있는 소재는 비선형광학재료이다. 미래는 정보화사회로 갈 것이 분명하며 많은 양의 정보를 신속히 처리하는 것이 관건이다. 현재의 메가디램보다 차원이 높은 가가디램칩을 사용해야 할 것이고 정보의 수송능력도 현재보다 훨씬 커야 한다. 따라서 추세는 전자보다는 빛을 이용한 정보시스템으로

그림 1. RAM素子用레지스트와 해상도와의 發展過程



발전해 가고 있다. 비선형광학재료는 빛의 파장을 바꿀 수 있으며 파장이 서로 다른 빛들의 조합도 가능하여 광정보전달 및 광스위치에서의 응용연구가 경쟁적으로 이루어지고 있다.

광정보매체로서는 광섬유의 역할이 크며 따라서 제조공정 및 품질은 정보산업 발달에 영향을 미치게 한다. 석영은 섬유로 가공했을 때 표면이 쉽게 상하므로 가공과 동시에 고분자물질로 보호막을 입히고 있는데 이 공정이 광섬유의 성능을 크게 좌우한다. 또한 광섬유의 표피인 클래드부분은 중심의 코아물질에 비해 광굴절률이 낮아야 되는데 최근에는 클래드물질로 고분자를 사용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

인공심장, 인공피부, 인조혈관, 인조혈청 등 많은 의료관련기술이 현재 활발히 연구되고 있다. 이와 관련한 핵심기술은 인체적합성물질을 찾아내는 것으로 인체에 적용했을 때 부작용이 일어나지 않게 하는 것이다. 특히 피가 이들 외부물질에 응고되지 않도록 외부물질의 표면을 화학적으로 조절하는 작업이 이 분야에서는 가장 중요한 기술이 된다.

폐수처리는 환경문제해결에 큰 비중을 차지한다. 최근 고분자분리막을 이용하여 유독성물질을 제거하는 모듈의 제작이 부분적으로 성공하여 실용화단계에 있다. 분리막기술은 산소부화막장치를 성공시켜 연료효율을 향상시켰으며 결과적으로 자원보존 뿐만 아니라 대기오염도 개선하고 있다. 초정수생산도 반도체산업에서는 중요한 분야이며 궁극적으로 분리막기술이 해결해야 할 과제이다.

최근 고분자분야에서는 자원재생이 큰 현안문제로 대두되고 있다. 포장재료에 의한 환경오염이 심각할 뿐만 아니라 자동차나 가전제품의 폐기물 또한 환경을 크게 훼손하고 있다. 특히 자동차는 연료효율을 향상시키기 위해 경량화추세이며 따라서 많은 양의 플라스틱을 사용하고 있다. 이들 폐기물로부터 플라스틱을 회수하든지 쉽게 폐기할 수 있는 방법들이 강구되고 있다. 광분해성 및 생물분해성 고분자는 포장물질의 환경오염을 크게 개선할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

경제적인 소재개발이 아직 완성되지 않았지만 많은 노력이 경주되고 있다.

■ 우리나라의 연구동향

우리나라 산업의 대부분이 외국의 기술을 도입하여 이루어 졌으며 상당히 빠른 경제성장을 실현하였다. 자동차, 전자, 선박 및 섬유산업은 수출산업으로 큰 몫을 해 왔으며 선진국의 시장점유율도 만만치가 않았다. 따라서 선진국들이 한국을 경쟁상대로 보기 시작하면서 기술이전을 기피하게 되었다. 정부와 기업체들은 늦게나마 기술개발의 중요성을 인식하고 대응책을 강구하고 있다. 과기처는 기업체로 하여금 연구소를 설립하도록 장려하고 정부 출연연구소에는 국책연구과제를 수행하도록 연구비를 배정하였다.

그러나 기업체의 연구는 선진국의 기존기술을 소화하는데 전력을 기울였고 창의적이거나 원천적인 기술개발에 큰노력을 기울이지 않았다. 또한 연구원의 수와 질 그리고 연구비와 연구기간이 외국에 비해 비합리적으로 구성되어 하루가 다르게 변천하는 신기술을 소화하는 것조차 어렵다.

한국의 고분자산업분야에 원천적인 기술개발이 되지 않았던 이유는 고분자산업전체의 생산시설과 운전기술이 외국으로 부터 쉽게 도입되고 수요를 충족치 못하는 생산시설의 증설을 정부가 규제해 줌으로서 기업체가 기술개발의 필요성을 강하게 느끼지 못했기 때문이다. 최근에는 대부분의 대형고분자산업 기업체가 충실한 연구소를 운영하고 있으며 주로 자사제품의 품질이나 공정개선을 하고 있지만 기대되는 것은 시간이 지남에 따라 창의적인 연구성과가 발생할 것이다.

고분자분야연구는 과기처의 국책연구과제의 일환으로 출연연구소에서 큰 몫을 하고 있다. 1984년 부터 시작한 국책과제연구는 출연연구소의 연구원들로 하여금 원천기술개발을 위한 터전을 닦도록 하였다. 그러나 연구비규모가 단위연구실에서 새로운 기술을 탐색하는 데는 적합했었지만 장기적이고 대형인 연구과제를 수행하기 어려웠고 또한 개발된 기술을 현장에 적용하는데는 연

구비가 턱 없이 모자랐다.

현재 수행하고 있는 과기처지원 고분자분야 연구과제는 표2와 같다. 연구분야로는 이미드계 엔지니어링플라스틱과 복합재료로서 고강도고분자

표 2. 고분자 신소재분야 연구과제

연구분야	세 부 과 제 명
전도성 고분자 재료	전자기능 전기전도성 고분자 고분자 전해질 표시소자용 고분자재료
이미드계 내열 고강도 고분자	기능성 아라미드 반도체 미세형상용 레지스트 다성분계 고분자재료의 현상규명과 응용연구, 방향족 폴리에스테르 고성능소재, In-Situ Composite를 이용한 고성능 액정 EP, 신규 고분자 물질 창출, Polyamideimide(PAI), 내한고탄성 고분자 재료, 이온성 고분자, 차세대 반도체용 플라스틱 봉지재, 내열성 고분자 단량체
순환계인공장기	의료용 생체흡수성 고분자 내방사선 의료 고분자 미생물 분해성 고분자 세포친화성 고분자
탄소섬유 강화 복합재료	탄소섬유/열가소성 수지 복합재료 새로운 공정에 의한 Rayon 제법연구 초내열성 복합재료
고효율 고분자 분리막	미세다공성 폴리올레핀 제조 에너지절약을 위한 촉진수송신소부화막, 유기물탈수용 고분자막제조, 신규복합막, 신소재무기 투과막, PVA계 침투기화 분리막제조

에 관한 연구이고 한편으로는 기능성고분자인 전기전도성고분자, 의료용고분자 및 고분자분리막에 대한 연구이다. 참여하는 연구원은 거의 과학기술연구원과 화학연구소소속이며 박사학위소지자가 42명이고 석사학위소지자가 50명에 달한다.

고분자분야연구는 대학에서도 활발히 진행되고 있다. 국내 고분자학과가 있는 대학이 14개에 달

하고 화학공학과, 섬유공학과 및 공업화학과에서도 고분자를 전공하는 교수가 상당수 된다. 그러나 교육부나 과기처의 연구비가 이들 교수들에게 배정되는 액수는 아주 적고, 작은 액수나마 지속적인 지원을 받지 못하고 있다. 국내 고분자산업이 엄청나게 크며 이 분야 기술개발이 절실한데도 불구하고 대학에 설립되고 있는 SRC나 ERC가 고분자분야에는 하나도 없다는 것은 충격적이다.

■ 고분자학의 전망

미래사회는 정보화와 복지화를 지향하게 되며 수많은 새로운 기술을 필요로 한다. 새로운 기술 중에는 신소재개발이 큰 몫을 차지하며 고분자소재의 역할이 크게 기대된다. 고분자의 특성은 가볍고 가공하기 쉬우며 설계에 의해 원하는 성질을 부여할 수 있다. 고분자는 금속이나 요업재료를 대체할 수 있을 정도의 강도를 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 강철보다 강한 섬유가 소개되어 있으며 빛이나 전기적특성을 가진 고분자는 정보통신분야에 첨단소재로 이용되기 시작하였다. 의료용고분자는 인체기관의 많은 부분에 응용 및 대체가능성이 엿보이고 에너지절약과 환경개선에도 핵심소재로 사용될 것이다.

고분자의 존재를 확인한 것이 70년이 되지 못하며 아직도 많은 학자들이 학문으로서 기초연구를 배척할 정도의 분위기이지만 분자단위의 조절에 의해 나타나는 고유한 성질을 응용하는 고분자학문은 깊은 기초연구를 바탕으로 무한히 발전해 갈 것이 확실하다. 선진국 중에서 일본이나 독일에서 고분자관련연구에 대한 열기는 이 분야가 얼마나 중요한 지를 명백히 알려준다.

우리나라에서도 우수한 대학에 고분자학과를 설치하여 교수들이 이 분야연구를 지속적으로 함과 동시에 우수한 인재를 양성하고 이미 확보된 정부출연연구소의 고분자전공연구원의 연구활동을 활성화하면 대기업연구소의 활발한 고분자관련연구와 함께 자원이 부족하고 부가가치가 높은 산업이 필요한 우리나라에서 고분자학문은 반드시 꽃을 피우리라 믿는다.