

고분자에 관한 몇가지 생각

조 의 환

한국과학기술원 신소재공학과

몇 해 전, 영국의 노벨 화학상 수상자인 Alexander Todd경이 기자회견에서, 물질의 변환과 성질을 다루는 과학을 인간이 연구한 이래 가장 큰 공헌을 세운 분야가 어떤 것이겠느냐는 질문에 “물론 항생제 등의 의약품 개발해서 인류를 병고에서 해방시킨 것도 중요한 업적이겠지만, 더 큰 업적은 고분자 과학을 발전시켜 인류의 일상생활에 혁명을 가져온 일……” 이라고 대답했다.

요즘을 차를 타고 지방 여행을 다니다 보면, 온 들이 모두 polyethylene으로 덮여 있는 것을 볼 수 있다. 우리 영농에 대 변화가 온 것이다. 비닐하우스 영농은 월동을 위한다는 김장의 개념을 바꾸었고, 딸기, 수박 등의 철을 없애 농가에 고수익을 올리도록 했다. 농업에 혁명이 왔다. Green revolution(녹색혁명)의 개념이 빛을 잃고 white revolution(백색혁명?)이 농업에 도래한 것이다.

고분자 과학이 가져올 다음 혁명은 어떤 것일까? 물론 입고, 먹고, 집을 짓는 것도 중요하지만, 사람은 서로 의사소통(통신)을 해야하고, 서로 찾아 다녀야(운송) 한다. 이러한 분야에서 고기능화, 고속화 등에 고분자 기술이 많이 기여할 것이지만 좀 더 생각해 보면 생체 구조와 기능에 대한 고분자 기술이 가져올 혁명도 그리 멀어만 보이지 않는다. 인체의 뼈, 혈관, 피부 등을 고분자 재료로 대체하는 일은 우선 보이는 일이고, 좀 더 안정한 효소, 호르몬 등 생화학적 기능의 향상이 올 수도 있다. 생의과학 재료공학(Biomedical Materials Engineering)의 분야가 탄생할지도 모른다. 생체의 구조와 기능의 발현에 절대 필요한 세가지 고분자인 protein, polynucleotides, polysaccharides 외에 polyethylene이 네 번째로 등장할지도 모른다. 조물주가 탄생체를 탄생시킬 때 세가지 고분자로 모든 것을 해결했지만 고분자 과학의 발전이 이에 이의(?)를 제기하고 있는 것이다.

IUPAC MACRO SEOUL '96이 Intercon에서 열렸을 때 session 08 biorelated polymers의 회의장은 만원이었다. 무엇을 말하는 것일까? 일본 경도대학의 Imanishi 교수와의 담화에서 그는 그의 대학원생은 분자생물학(Molecular Biology) 두 학기를 수강하지 않으면 절대로 졸업시키지 않는다고 했다. 분자생물학 교과서를 열어보면 고분자공학과를 졸업한 학생에게는 처음부터 그 특수용어(jargons)에 질리게 마련이다. 그러나 차근 차근 읽어 보면 의외로 흥미 진진한 분자 고분자(molecular polymeric)의 이야기라는 것을 알게 되고, 생명체의 생명(living) 현상을 발현함에 있어 고분자들이 벌리는 엄청난 drama에 접하게 되며 고분자를 갖고 어떻게, 무엇을 할 수 있는나에 대한 idea도 나올 수 있다.

Biologically significant macromolecules를 보면 고도의 structural precision에 놀라게 된다. 일반적인 고분자과학 개론 책의 제 1 장에서 평균 분자량 계산 방법을 논하는 것과는 엄청난 차이가 있다. 초기의 olefin 중합방법에 비해 오늘날의 metallocene 촉매 중합은 microstructure control에 있어 많은 발전을 했지만 아직도 갈 길은 멀다. Multicomponent copolymerization system에서 완벽한 서열, 입체화학의 조절은 앞으로 많은 연구가 필요하다.

DNA의 분자량은 10억이 넘는 것으로 알려져 있는데 이렇게 큰 분자량의 polyethylene을 우리는 단지 어쩔 수 없는 침전물로 여기고 만다. 그러나 고분자의 특성은 그 큰 분자량에서 오는 것이고 그 특성을 극대화하기 위해서는 무한대 분자량의 고분자를 만드는 법, 다루는 법을 터득하지 않으면 안된다. Polyethylene 섬유의 이론적 최대 강도는 370 g/d (32 GPa)로 추정되며 이는 현재 Kevlar의 강도보다 10배 정도 더 큰 값으로 큰 분자량의 중요성을 잘 말해준다.

천연의 고분자 구조물을 보면 그 질서 정연한 분자 사슬의 배열에 놀라게 된다(그림 참조). 머리카락 한가닥의 구조를 만들기 위해 단백질 사슬 하나 하나부터, α helix $\rightarrow$ triple helix $\rightarrow$ microfibril $\rightarrow$ cell formation $\rightarrow$ packing $\rightarrow$ surface packaging의 과정을 거쳐 구현된다.

현재의 polymer processing engineering에 있어서 합성 고분자를 녹여서 방사한 다음 연신하여 섬유를 만드는데 chain orientation이 얼마나 되어있느냐를 따지고 있고, 이런 정도의 사슬 배열을 하는데도 그 엄청난 점탄성 유동론(rheology)을 따져야 되는 것을 보면 현재 우리의 갈길은 너무도 멀다. 고분자의 사슬을 질서정연하게 쌓아 올라가는

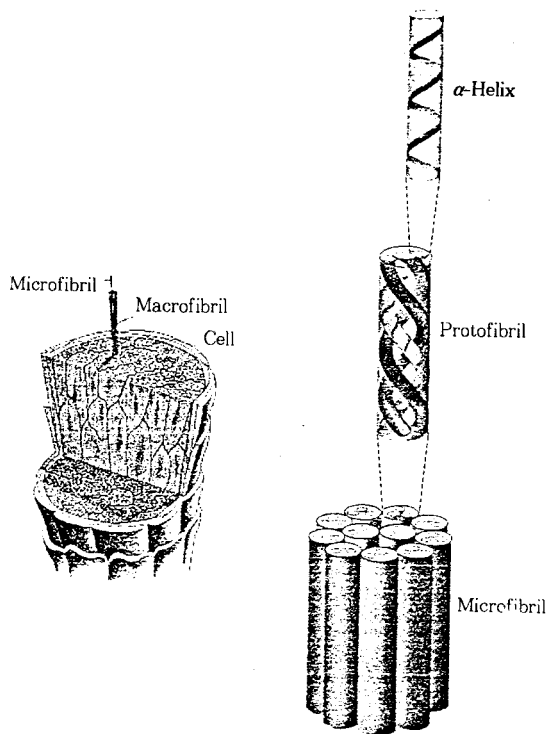


그림. The organization of a complete hair.

또 하나 천연에서 보는 것 가운데 합성을 하든지 가공을 하든지 간에 고분자를 공부하는 사람들이 좀 더 내것으로 만들어 공부해 봐야 하는 것이 있다. 다이아몬드이다. 고분자는 인류 시장에 늦게야 나타났다. 개념의 탄생 이후 고작 100년도 안된다. 그래서인지 모르지만 다이아몬드가 무기재료 분야로 여겨지기도 하는데 그렇지가 않다. 다이아몬드는 polymeric three dimensional network의 이상적 구조이며, 수소가 없는 탄소만의 무한 분자량의 aliphatic 구조를 가지고 있다. Polyethylene으로부터 생각하여 어떻게 하면 T_g 를 올릴 수 있을까? 물론 cyclic 구조를 도입하는 것이다. Cyclic 구조를 계속 도입하면 two dimensional honey comb과 같은 구조가 되겠지만 이 개념을 three dimensional하게 발전시키면 이게 바로 다이아몬드가 된다. 앞으로 optics의 시대가 온다고 한다(photonics). 다이아몬드 또는 그에 가까운 구조를 가지면서 가공 처리가 가능한 재료라면 완벽한 광학 재료가 될 것이다. 고도의 dimensional stability를 가지며 scratch proof이고, 무한한 thermal stability를 갖는다. 어떻게 이러한 system에 접근할 수 있을까? 운석을 파놓은 구덩이에서 발견된다는 다이아몬드가 그렇게 험한 조건에서만 합성이 되는 것일까? 다이아몬드도 표면이 있다. 표면에 있는 chain들은 끊어져 있을 것이고, 이중결합이 존재할까? 산화되어 ketone이나 hydroxy로 되어 있을까? 이러한 표면과 polycarbonate 표면의 접착은 어떻게 가능할까? 우리가 polycarbonate panel에 다이아몬드(또는 diamond-like)로 코팅하여 자동차 앞 유리창으로 사용하는 날이 그리 멀게만 느껴지지 않는다.

고분자 과학은 짧은 인류사의 시간대에서 찬란하게 발전되어 왔고 인류 문명 발전에 큰 물결을 가져왔다. 그러나 고분자가 무엇이며 그것으로 무엇을 할 수 있는가를 생각한다면 아직 그 발전은 초기 단계로 볼 수 밖에 없고 앞으로의 길은 너무도 멀다.

고분자학회 20주년을 축하하며 무궁한 발전을 기원합니다.

molecular processing engineering이 지금도 거론되고는 있지만 많은 연구가 필요하다.

천연의 구조물들을 보면서 또 하나 놀라운 것은 생명체들이 일단 “삶(living)”이 끝나면서 얼마나 빨리 썩어가는가 하는 것이다. 물론 생체는 재생 시스템(regenerative system)으로 되어 있어서 피부는 계속해서 죽어가고, 새로 재생되고 한다. “삶”이라는 정의 자체가 분자론적으로 정의하기 어렵지만, 그것이 일단 끝나면, 즉 죽으면 재생 시스템은 무너지고, 이때까지 소화해 필요했던 효소가 그 모체를 소화시키고, 항체 분자들이 무너지면서 온갖 균들의 공격이 시작된다. 이러한 장면에서 배울 것이 없을까? 플라스틱에 안정제들이 투입되지만 이런 첨가제들이 일단 플라스틱의 사용이 끝나게 되면 거꾸로 플라스틱 자체를 분해시키는데 작용하는 첨가제들은 없을까? 실제로 여러 가지 UV 안정제들은 일정 기간이 지나면 분해가 일어나서 거꾸로 플라스틱의 광분해 촉진제로 작용하는 것이 알려져 있다.

쇠(iron)와 종이는 처음부터 재생하는 개념이 도입되었다. 오늘날 플라스틱이 공해의 주범같이 떠돌고 있지만 문제는 없다. 자원 고갈로 인하여 플라스틱의 값이 10배 정도로 비싸진다면 문제는 자연히 해소될 것이기 때문이다. 천연에서 얼마든지 생산되는 cellulose로 만드는 종이는 태워버려도 좋다. 하지만 polyethylene을 태워 없애기에는 너무 아깝다.