

나노화학의 건강화학의 새로운 地平

20세기의 화학은 크게 발전한 고분자화학 덕분에
 인공섬유와 인공수지를 탄생시켰으며 폐결핵을 몰아낸
 설파계 약품을 개발했다. 그러면 다가오는 21세기의 화학은
 어떠한 화합물을 만드는데 주력할 것인가?
 가장 기대되는 화학의 새로운 분야는 나노구조의 화학과
 생명공학 관련 화학이 될 것이다.

쌓아올리는 화학

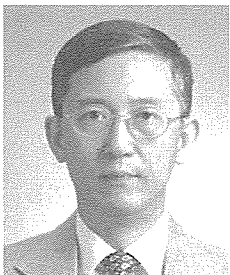
요즘은 건축자재의 종류가 다양해져서 각종 구조물들이 전보다 훨씬 더 멋진 외모와 훌륭한 기능을 지니게 되었다. 시내의 모든 건물이 빨간 벽돌이나 석재로만 지어졌다면 도심의 풍경이 크게 달라보일 것이다. 게다가 몇년 전에 폭발 사고로 유명해진 맨하탄 남쪽의 월드 트레이드 센터 같이 일부러 똑같이 지은 쌍둥이 빌딩도 있기는 하지만, 보통은 그 수많은 종류의 자재들을 똑같이 배열해 놓은 건물은 찾아볼 수 없다. 벽돌이건 석재이건 아니면 첨단 건축자재이건 예술적 감각을 지닌 건축가의 설계에 따라 하나 하나 쌓아 올라갈 때 멋과 기능을 지닌 건축물이 생겨나는 것이다.

화학자들은 원자들을 원하는 위치로 움직이고 쌓아가면서 원하는 화합물을 만들어내는데 뛰어난 재주를 가

지고 있다. 사실 미시 세계에서 눈에 보이지도 않는 원자들을 원하는 위치로 옮긴다는 것은 벽돌로 건물을 짓는데 비하면 훨씬 더 어려운 일이다. 그러나 지난 2백년동안 여러 화학자들의 각고 끝에 이제는 화학 결합의 원리에 대한 충분한 이해와 간단한 화합물로부터 복잡한 화합물을 만들어 가는데 필요한 여러 가지 좋은 전략들을 가지게 되었다. 특히 20세기에 들어와서 크게 발전한 고분자화학 덕분에 뛰어난 성질과 기능을 가진 인공섬유와 인공수지들이 탄생하여 인간이 안락한 생활을 누리는데 크게 기여하였다. 뿐만 아니라 설파계 약품이 폐결핵을 이 지구상에서 거의 몰아낸 것을 보아서 알 수 있듯이 유기합성의 방법으로 만들어진 각종의 약품은 질병의 퇴치에 크게 공헌하였다. 그러면 다가오는 21세기의 화학은 어떤 화합물을 만드는데 주력하게 될 것인가? 지금 세계적으로 가장 미래가 기대되는 화학의 새로운 분야에는 나노구조의 화학(nanochemistry)과 생명공학 관련 화학이 있다. 그런데 나노화학을 이야기하기 위해서는 물리학과 화학의 기본적인 차이를 살펴볼 필요가 있다.

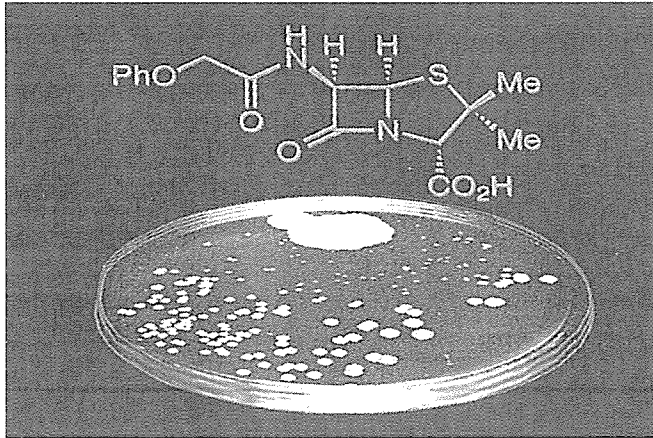
원자 재배열의 변화에 관심

우리가 자연과학을 분류할 때 사용하는 천문학, 지구과학, 생물학은 관찰하는 대상에 따른 분류이다. 천문학은 망원경과 뉴턴 역학이 나오기 전부터 별들과 행성의 움직임을 자세히 조사했다. 지구과학은 물리, 화학, 생물학적 연구방법을 동원하지만 지구 내지는 태양계라는 우주의 특별



金熙濬

<서울대 자연과학대 화학과 교수>



▲ 페니실린의 발견

한 부분을 다룬다는 점에 의하여 특징지어진다. 생물학은 지구상의 모든 것 중에서도 유독 생명을 가진 것들에 관심을 집중한다.

그러나 물리학과 화학만은 다루는 내용의 성격에 따른 분류이다. 물리학은 문자 그대로 물질이나 물체의 근본적인 이치를 다룬다. 물체 사이에 작용하는 힘, 물체를 구성하는 기본입자, 시간과 공간, 에너지 등 삼라만상의 기본 원리 중에 물리학의 영역이 아닌 것이 없다고 해도 과언이 아니다. 심지어는 원자의 전자 구조를 통해서 화학 결합의 원리까지 제공해주고, 생명체도 물리학의 법칙에서 벗어날 수 없음을 가르쳐준다. 물리학은 물체의 낙하나 질량과 에너지의 변환과 같은 변화를 다루기도 하나, 변화가 전혀 없는 물체 자체를 놓고도 얼마든지 논의를 계속할 수 있다. 그런데 화학은 유독 원자의 배열에 변화가 생기는 경우만을 관심의 대상으로 삼는다. 그런 의미에서 화학을 단순히 물질변화의 학문이라고 하는 것은 옳지 않다. 업 쿼크가 다운 쿼크로 변하는 것도 변화는 변화

이지만 그것을 두고 화학 변화라고 하지는 않는다. 그런가 하면 하나의 수정란이 성숙한 개체로 성장하는 것은 분명히 화학 변화이다. 왜냐하면 그 과정

에는 무수한 원자들의 재배열이 관여되어 있기 때문이다.

이런 각도에서 보면 천문학은 필연적으로 물리학의 개념과 방법을 많이 사용할 것이고, 현대의 생명과학은 화학을 떠나서는 할 말이 별로 없을 것이다. 화학은 생명의 언어이기 때문이다. 지구과학은 물리학과 화학의 양면이 골고루 적용된다. 그렇게 보면 모든 자연과학은 대상에 따라서는 천문학, 지구과학, 생명과학으로 나

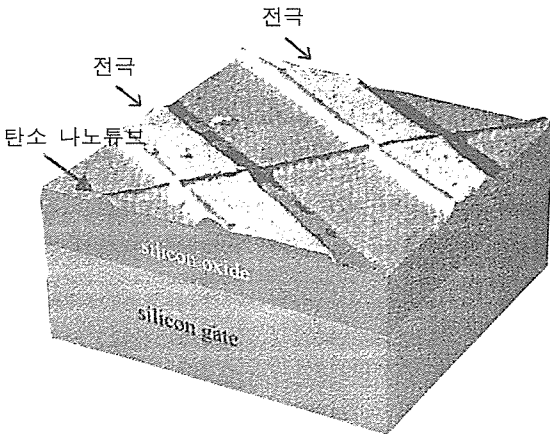
눌 수 있고, 원자들의 재배열이 핵심인가 아닌가에 따라 물리학과 화학으로 나눌 수 있다. 이를 요약하면 <표>와 같은 매트릭스가 얻어질 것이다. 그런데 과연 원자의 재배열이 과학을 양분할 수 있을 정도로 중요한 기준이 되는 것일까? 그러한 구분은 마치 세상 사람을 분류하는 방법이 많이 있지만 쌀을 주식으로 하는 사람들과 그렇지 않은 사람들로 구분하는 것과 비슷하다. 그만큼 자연현상 중에는 원자의 재배열에 의해서 일어나는 현상이 많다는 말이다. 잠시 주위를 둘러보고 화학변화가 중단된다면 세상이 어떻게 달라질까를 생각해 보면 그 이유는 명백해질 것이다. 이러한 화학의 특성을 염두에 두고 앞으로 화학이 어떠한 분야에서 인간 사회에 기여를 하게 될지 생각해보자.

나노구조의 화학, 40년 전 예언

관광지에서 커다란 통나무를 가지

<표>

	물리학	화 학
천문학	우주의 기원(상대론) 소립자, 힘(양자론) 별의 진화/원소의 기원 천체의 운동	성간물질
지구과학	태양계의 구조 태양계 탐사 기상 변화	행성의 구성 물질 지구 환경의 변화
생명과학	열역학 생체분자의 구조 결정	생명의 기원 대사, 유전 효소, 구조/기능 신경화학 식품, 건강
자원 환경과학	핵에너지	연료전지, biomass 환경보전



▲ 탄소 나노튜브를 이용한 트랜지스터

고 멋진 개를 조각하고 있는 할아버지에게 어떤 관객이 감탄사를 연발하며 어떻게 불품없는 통나무에서 그런 작품을 만들 수 있는냐고 물었더니, 이 할아버지가 통나무에서 개가 아닌 부분을 제거하기만 하면 된다고 대답했다고 한다.

지금까지 모든 전자제품의 핵심인 마이크로칩은 실리콘 웨이퍼로부터 회로가 아닌 부분을 화학처리를 통하여 녹여내는 방법으로 만들고 있다. 이러한 방법으로 만들 수 있는 회로의 한계는 0.5마이크론(0.0005 밀리미터, 5000옹스트롬) 정도이다. 회로의 상을 실리콘에 만들기 위해 사용되는 빛이 그 이하에서는 회절현상을 일으키기 때문이다. 어쨌든 회로를 이루는 실리콘 입자에서 보면 회로가 아닌 실리콘은 물리적으로 제거된 것이나 마찬가지이다. 통나무에서 개가 아닌 부분을 물리적으로 제거하듯이 말이다.

그렇다면 이러한 물리적 방법의 한계를 극복해서 컴퓨터의 용량과 연산속도를 대폭 늘이는 길은 무엇일까? 그것은 통나무에서 시작하는 대신 석

고 반죽에서 시작해서 쌓아올라가는 길이다. 조각(彫刻) 대신 조소(彫塑)를 하자는 말이다. 위에서 내려다 보면 0.5마이크론 아래는 보이지 않아도 옹스트롬 단위의 원자 세계에서 올려다 보면 5000옹스트롬까지는 여지가 얼마든지 있기 때문이다.

원자들을 쌓아올려서 만든 가장 간단한 구조물은 나노미터(10^{-9} 미터, 10옹스트롬) 단위의 크기를 가질 것이다. 이러한 나노구조의 중요성을 제일 먼저 인식한 사람은 다름아닌 천재 물리학자 리처드 파인만(Richard Feynman)이었다. 그는 1959년에 미국 물리학회에서 'There's Plenty of Room at the Bottom'이라는 제목의 강연을 통해서 나노구조의 시대를 예언했다. 40년이 지난 이제는 모든 여건이 성숙해서 물리학자와 화학자들이 힘을 합하여 원하는 성질을 가진 나노 스케일의 구조물을 만드는 일에 매달리고 있다. 그동안 원자, 분자의 세계에 친숙해진 화학이 어떤 새로운 지평선을 열어갈지 기대된다.

8만가지의 새로운 문제들

스탠퍼드대학의 리처드 제어(Richard Zare)교수가 얼마 전에 화학에는 8만가지의 새로운 문제들이 생겨날 것이라는 말을 한 적이 있다. 박테리아는 4천개 정도의 유전자를 가지고 있는데 비해, 인간의 유전

자는 8만개 정도가 되는 데서 나온 말이다.

인간의 유전자 총체의 염기 서열을 결정하는 Human Genome Project가 애초의 계획보다 앞당겨 완결되리라 예상치 않으면 화학자들은 수년 안에 그야말로 8만가지의 흥미로운 문제들에 마주치게 될 것이다. 이들 8만가지 유전자들이 만들어내는 8만가지 단백질 각각의 구조와 기능이 하나 하나씩 밝혀짐에 따라 이 구조에 입각한 화합물의 고안을 통해서 질병의 예방과 퇴치에 획기적인 발전이 이루어질 것이다. 이제는 플레밍에게 페니실린을 발견하게 한 우연이나 행운의 여신에게 기대는 대신 화학자들은 주어진 단백질의 구조로부터 합리적으로 의약품을 설계하는 일이 가능해진다는 말이다.

에이버리, 허쉬 등에 의해 DNA가 유전물질이라는 사실이 확인되고, 왓슨과 크릭에 의해 DNA의 이중나선 구조가 밝혀진 이후 유전자의 연구(genomics)는 복제양을 태어나게 하는 단계까지 이르렀다. 8만가지 유전자들에 관한 정보는 8만가지 gene product로서의 단백질에 관한 연구(proteomics)에 새로운 바람을 일으키고, 암의 정복, 노화의 조절 등 인류의 오랜 꿈의 실현을 한발짝 앞당길 것으로 기대된다. 이와 같이 인간의 보건 복지에 관련된 모든 화학의 활동을 건강화학이라 부르면 어떨까? 질병의 예방과 퇴치, 기능성 식품의 개발, 그리고 노화에 수반되는 각종 성인병의 조절은 결국 인간이 건강하게 천수(天壽)를 누리하고자 하는 의지의 발로가 아닌가? ㉟