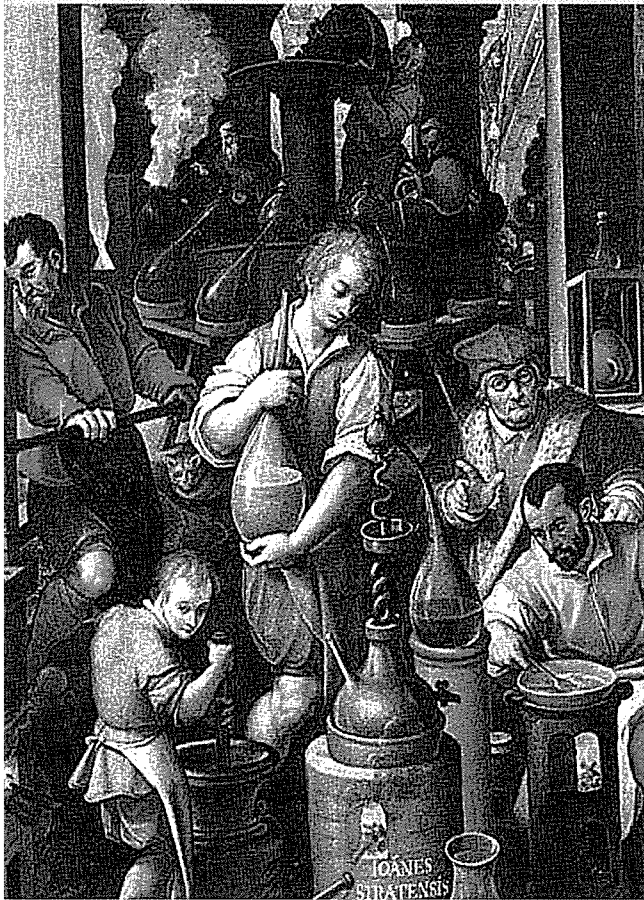


“차세대 이끈 ‘과학의 축’ 될 것”

- 21세기 화학을 조명한다 -

글_ 최희철 포항공대 화학과 조교수 choihc@postech.ac.kr
김병현 포항공대 화학과 교수 bhkim@postech.ac.kr



여러 다른 금속물질을 녹이고 정제해서 금을 만들려는 시도를 묘사한 Janvan Straet Distillatio

기획연재순서

- ① 21세기의 물리학
- ② 21세기의 화학
- ③ 21세기의 생명과학
- ④ 21세기의 수학
- ⑤ 21세기의 지질학

화학의 역사는 과연 얼마나 될까. 화학은 우리의 실생활에 얼마만큼 영향을 미치고 있는가. 화학의 정의는 무엇인가. 위 질문들은 우리가 살아오면서 흔하게 들어오지만 명확하게 답하기가 그리 쉬운 것만은 아니다. 그것은 아마 우주의 생성과 더불어 인류의 역사 속에서 항상 인간에게 영향을 미치고 있는 화학이 우리가 생각하는 것보다 더 가까이 있기 때문이기도 할 것이다. 우리 주위에서 과연 화학이 관여하지 않은 ‘물건’이 얼마나 존재하는가. 컴퓨터, TV, 냉장고 등 전자 제품부터 자동차, 항공기 및 의류, 플라스틱, 화장품, 심지어 음식 양념에 이르기까지 화학이 전혀 관여하지 않고 만들어지는 제품은 거의 없다고 해도 과언이 아니다.

역사적으로 살펴보면 요즘의 ‘화학’(chemistry)이라는 단어의 유래는 기원 전 인도와 중국에서 시작되었던 ‘연금술’(alchemy, 일반 혼합 금속으로부터 금을 만들어내는 기술)에서 유래됐다고 볼 수 있다. 연금술이 유행한지 2천년 이상이 지난 지금, 화학은 우리에게 무엇을 약속하는지 알아보는 것은 미래를 준비하는 우리로서는 반드시 필요한 작업이다. 현대 과학은 모든 분야가 서로 심도 있게 연결되어 있는 것이 가장 큰 특징이다. 특히 전기, 전자, 컴퓨터 뿐만 아니라 화학, 물리, 수학, 재료, 의학, 생물 등 아주 다양한 분야들이 이제는 마치 거대한 하나의 학문으로 여겨질 정도가 되었으며, 서로의 도움을 통해 새로운 물질을 만들어 내고 새로운 현상을 이해하고 있다.

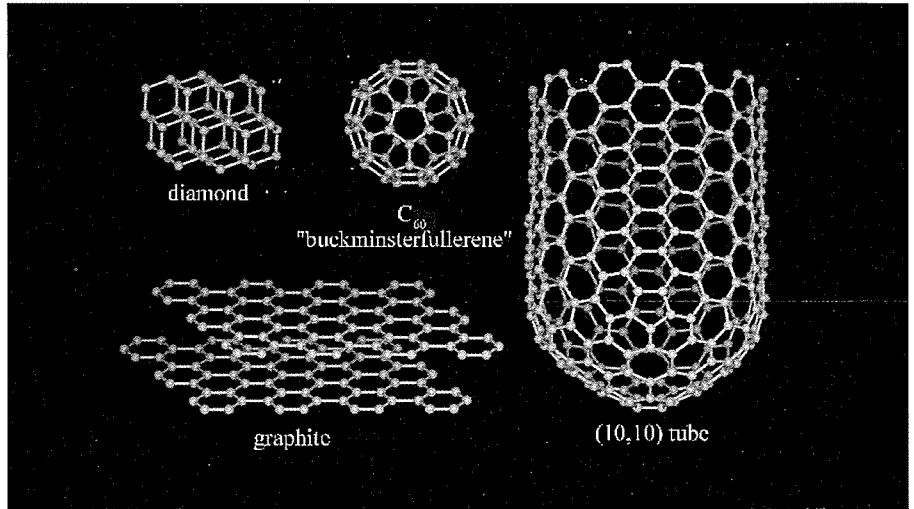
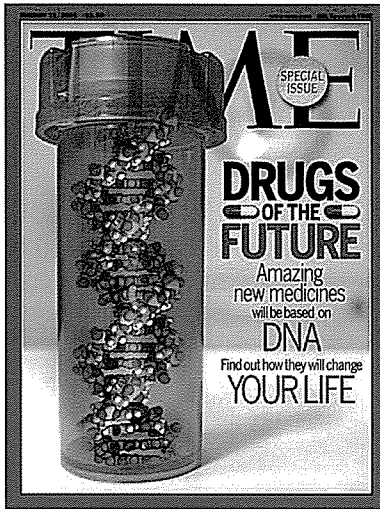
어떤 일이든 미래를 예측하는 것은 무척 어려우며 인간의 능력을 벗어나는 일인지도 모른다. 특히 장구한 역사를 가지고 있는 화학의 미래를 예측하고 전망하는 것은 실로 두려운 일이다.

본 원고를 집필하기에 앞서 필자들은 미래의 화학 분야를 이끌어갈 젊은 세대들에게 “미래에 가장 밝은 전망이 예상되는 화학분야는?”이라는 제목의 설문 조사를 하였고, 대다수의 학생이 생명과학기술 분야, 의약화학 분야, 에너지, 나노과학기술 분야를 꼽았다.

이 외에도 화학의 기여가 예상되는 분야가 많으나 여기에서는 상기 분야를 중심으로 화학의 미래에 대해서 이야기해 보고자 한다.

DNA 구조 밝혀 온갖 질병 정복

단순한 생명연장과 장수의 기원을 담은 주술적 행위가 인류에게 그렇게 낯설지 않은 이유는 바로 우리의 생명만큼 중요한 것은 없기 때문이다. 어느 학문도 그 스스로 무한히 발전할 수 없듯이, 생명과학기술 분야 역시 다른 첨단 과학기술의 발달과 더불어 그 발전 속도에 가속을 붙이고 있다. 예를 들어 유전자 연구를 통하여 정확한 우리 신체



2001년 봄 타임 지에 유전자 치료의 가능성과 미래에 대한 기사가 관심있게 다루어졌다.

현재까지 알려진 결정성을 가지는 탄소의 형태로 흑연(graphite), 다이아몬드(Diamond) 외에 C₆₀, 탄소나노튜브가 각각 1985년, 1991년에 새로이 발견되었다.

의 신비와 치료에 결정적 역할을 하는 게놈(genome)이 밝혀지기까지는 유전자가 속해 있는 DNA 이중나선구조의 발견(1953년, 제임스 왓슨과 프란시스 크릭)이 결정적이었으며, 이 DNA의 성공적인 구조 결정은 X-선 회절장치(1895년 빌헬름 뢰트겐)의 역할이 절대적이었다고 할 수 있다. 이 밖에도 조합화학(combinatorial chemistry, 콤비켄), DNA 칩을 만드는데 필요한 표면화학, 반도체 공정에 필요한 각 물질들의 식각(lithography) 현상, 고분자 화합물들의 선택적 광반응 등 거의 모든 분야의 화학이 연관되어 있다.

무엇보다 흥미로운 것은 유전자 정보를 보유하는 DNA의 구조를 밝힘으로써 인간이 보유하는 유전적 질병에 대한 치료뿐만 아니라 일반 질병에 대한 치료(유전자 치료, gene therapy)가 가능하게 될 것으로 보인다는 것이다. 첫유전자 치료의 임상실험은 1990년 미국 국립보건원에서 진행되었는데, 일반적인 바이러스의 세포 침투현상을 이용하여 정상유전자를 바이러스에 실어 특정 조직세포(예 간, 폐)에 존재하는 질병유발 유전자와 교환하는 방법, 정상 치료 유전자의 직접 투입 방법, 그리고 리포솜을 이용한 방법 등이 시도되고 있다. 신약 개발에 대한 의지와 노력은 아주 오랫동안 지속되고 있으며, 특히 최근 들어 환자 개인의 생체 시스템에 맞는 '맞춤형 의약품'에 대한 관심이 커지고 있다. 그 대표적인 예로 화상 환자를 위한 자기유래 배양피부 제품인 홀로덤(Holoderm)과 무릎관절 연골 손상환자에게서 정상 연골을 소

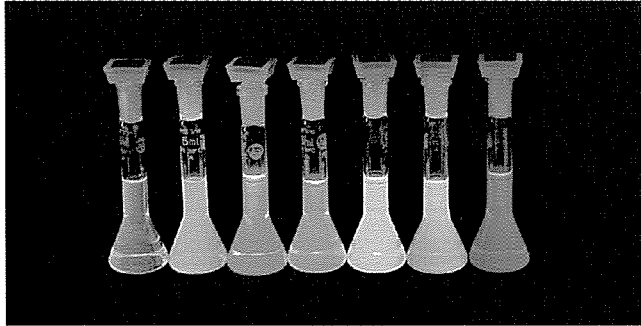
량 채취한 뒤 이를 1천200만~1천500만 개로 배양한 콘드로인(Chondron)이 있다. 신약 개발과 더불어 약물전달시스템의 연구가 활발히 진행되어 좀 더 강력한 약의 성능과 약효의 지속시간을 자유자재로 조절할 수 있는 시대가 곧 도래할 것으로 보인다.

화학, 생명공학, 그리고 재료공학의 만남으로 불러질 만한 분야의 또 다른 한 예는 바로 '생체적합성 재료'(biocompatible material)이다. 즉, 불의의 사고나 유전적, 혹은 노화의 이유로 기능을 잃은 신체 혹은 장기의 일부분을 생체적합성 재료로 대체한다는 것이다. 예를 들어 여러 가지 화학물질로부터 뼈, 치아, 피부, 혈관, 신경세포 등 많은 인공 신체조직들의 성공적인 개발은 이러한 꿈을 현실화하는데 결정적인 역할을 할 것으로 기대된다.

이 밖에도 인류가 직면하고 있는 여러 가지 질병에 대한 정복은 이러한 여러 분야의 통합 과학기술의 점진적 발전의 결과에 달려있고, 그 시기는 우리의 생각보다 길지 않을 수도 있다. 이렇듯, 인간 신체비밀의 해부와 생명 연장을 목표로 하는 생명공학 기술 분야는 인간 윤리문제 제기 등 사회적으로 민감한 사안으로 인식되고 있기도 하지만, 화학을 비롯한 여러 다른 분야 지식의 도움으로 앞으로 더 급속한 발전을 기대할 수 있을 것이다.

실리콘 대체 반도체물질 개발에 주력

1980년대 초반부터 관심의 대상이 되기 시작한 양자크기 효과



CdSe 나노입자는 그 크기에 따라서 발광하는 빛의 파장이 달라지며 그로 인해 색깔이 다르게 나타난다(양자크기 효과).

는 전세계 과학자들의 관심을 가장 많이 받고 있는 연구 분야 중 하나인 나노과학 혹은 나노기술을 발전시키는 핵심이 되었다. 포괄적인 의미에서 양자크기 효과는 특정 물질 혹은 분자체의 크기가 수 나노미터 (10^{-9}m) 정도가 될 때 그 물리적·전기적 혹은 분광학적 현상이 마이크로미터 이상의 크기에서 나타나는 것과 상당히 달라지는 현상을 뜻한다. 다시 말해, 화학적 성분이 정확하게 같은 경우라고 하더라도 그 입자의 크기가 나노미터일 때와 마이크로미터 혹은 그 이상일 때는 그 특성이 달라진다는 것이다. 이러한 양자크기 효과가 보편적으로 알려지기 시작하면서 많은 과학자들이 기존에 알려진 물질들을 대상으로 나노미터 크기로 합성하고 제조하는 방법을 개발하기 시작하였고 이에 따른 분석기기 장치의 발전도 이루어지고 있다.

기본적인 금금중에서 시작된 나노미터 크기 물질들에 대한 연구는 1990년대 들어 무어의 법칙과 맞물리면서 그 관심이 폭발적으로 증가하기 시작했다. 인텔의 창업자 중 하나였던 고든 무어가 평면형 트랜지스터의 조합으로 이루어진 칩집적회로가 개발되고 난 4년 후인 1965년에 예측한 바에 의하면, 실리콘 칩 단위 면적당 트랜지스터의 수가 18개월 정도마다 두 배씩 증가한다. 현재 펜티엄 4의 경우 단위 프로세서 안에 4천200만 개의 트랜지스터가 내장된 현실을 볼 때 그의 예상이 적중했다. 컴퓨터의 핵심 부품인 중앙처리장치 (CPU)에 들어가는 트랜지스터의 기본구조는 전계효과 트랜지스터(FET)인데 소스와 드레인 전극 사이의 전자의 흐름을 게이트 전극의 전압을 이용하여 조절하는, 즉 0 과 1을 구분시켜주는 구조를 가지고 있다. 많은 반도체 회사들이 현재 사용되는 실리콘을 바탕으로 한 반도체 제조기술을 이용하여 게이트 전극의 선 폭, 즉 소스와 드레인 전극간의 간격을 줄이는 노력이 계속되고 있고 최근에는 90nm 이하의 구조 형성

이 가능한 것으로 알려지고 있다. 그러나 선 폭을 과도하게 줄이게 되면 전자를 옮겨주는 두 전극, 즉 소스와 드레인 전극 사이의 전자의동이 통제를 잃게 되어 지속적으로 전자가 흘러 다님으로써 더 이상 0과 1을 구분할 수 없는 상태가 된다.

이러한 시점에서 화학자들을 비롯한 많은 과학자들이 연구하기 시작한 것이 바로 실리콘을 대체할 수 있으면서 그 크기가 나노미터 단위인 반도체 물질들을 개발하는 것이다.

그 중에서 대표적인 실리콘 대체 가능 소자로 많이 연구되고 있는 것이 탄소나노튜브(CNT)이다. 다이아몬드, 흑연 등과 같이 탄소만으로 이루어진 결정체의 새로운 한 종인 탄소나노튜브는 그 구조에 따라서 금속성 혹은 반도체적 성질을 나타내고, 반도체 성질을 나타내는 탄소나노튜브 하나를 이용해 실리콘 전계효과 트랜지스터와 유사한 구조를 가지는 나노튜브-전계효과 트랜지스터(CNT-FET)를 개발하여 그 성능을 연구하고 있다.

탄소나노튜브 이외에도 여러 가지 반도체 나노선들, 예를 들어 실리콘 나노선, 게르마늄 나노선, III-V족 혼합물 반도체 나노선들 등에 대한 연구도 진행되고 있다. 탄소나노튜브나 나노선 등과 같은 1차원적인 양자선들을 개발하는 연구노력 이외에도 0차원적인 양자점(quantum dot)을 제조하여 전기소자로 응용하는 단전자 트랜지스터(SET)를 개발하려는 노력도 이루어지고 있으며, 전자의 스핀 성질을 이용한 스핀트로닉스 (spintronics) 역시 같은 목적으로 많은 연구가 이루어지고 있으며 앞으로도 더 활발히 진행될 것으로 예상된다. 이러한 나노소재들은 전기소자로서의 역할 외에도 생명과학 혹은 우리 실생활에 근접한 분야로의 응용도 기대되고 있다. 그 예로, CdSe와 같은 양자점은 외부에서 자외선과 같은 빛을 쬐어주면 밝은 가시광선을 발산하는데, 이러한 발광현상을 이용하여 CdSe를 생체 내의 관심대상 조직에 이식시킴으로써 신체 외부에서 그 조직에 대한 발견 및 추적을 용이하게 할 수 있다. 예를 들어 미국의 쉐링턴닷컴이라는 회사에서는 기존에 사용하던 유기색소 대신에 CdSe 양자점을 적절히 기능화시킨 다음 체내에 투입하여 유방암 세포에 다량으로 존재하는 Her2라는 목표물과 결합을 하게 하였으며, 그 결과 유방암 세포의 존재 유무를 보다 확실하게 알 수 있었다. 또 다른 예로서, 흔히 향균물질로 잘 알려진 은(Ag)을 나노미터 크기로 합성하고 그 나노 분말을 여러 가지 식용 용기나 의류 등에 코팅시킴으로써 저온 다습한 조건에서 자생하는

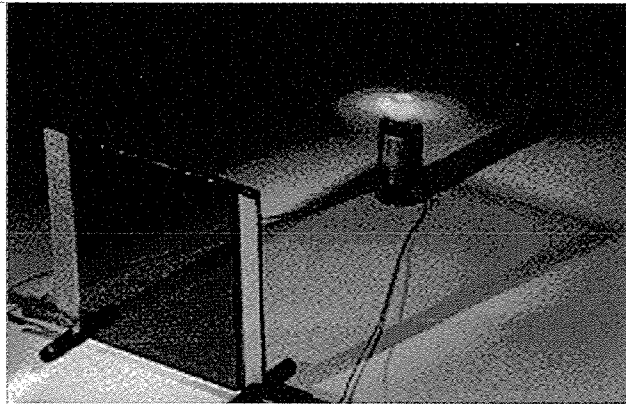
박테리아나 세균들을 제거하는 용도로 사용되고 있다. 이들 외에도 기체 센서, DNA 센서, 항체-항원 센서 등 다양한 분야에 걸쳐 나노재료들의 제조와 응용이 큰 기대를 모으고 있다.

미래로 태양열 전지 만든다

18세기 증업 영국에서 시작된 산업혁명 이후 급속도로 발전한 연소기관에 의해 인류가 보유하고 있는 주 에너지원인 석유와 석탄의 매장량은 점점 그 한계를 드러내고 있다.

비단 현재 석유 수입 세계 4위, 소비 세계 6위를 보이고 있는 우리나라의 실정을 감안하지 않더라도 새로운 대체 에너지원 개발의 중요성은 그 어느 때보다 절실하다. 그 동안 가능성 있는 새로운 대체에너지원으로서 태양열 에너지, 수소 에너지, 핵 에너지 등이 주로 연구되었다. 무한한 에너지원으로 인식되고 있는 태양열 에너지는 아마 우리에게 가장 친숙한 차세대 에너지원일 것이다. 실리콘과 같은 반도체 단결정이 빛을 받으면서 생기는 들뜬 전자들의 흐름을 이용하여 전기를 생성하는 이론을 바탕으로 자동차, 주택 등의 연료로 비교적 오래 전부터 시범 사용되고 있다. 태양열 에너지가 가지는 무한한 잠재력과 과학자들의 지대한 연구투자에도 불구하고 석유나 석탄과 같은 화석물질들을 대체하지 못하고 있는 이유 중 하나는 바로 효율적인 에너지 변환 장치의 부재 때문이다. 현재까지 사용되고 있는 태양 에너지 변환장치는 주로 값비싼 실리콘 등을 이용한 반도체 물질들로 이루어져 있는데, 이들의 제조 단가 뿐만 아니라 제조 공정중에 발생하는 환경 오염물질 역시 태양열 에너지의 보편화를 방해하는 요소로 작용하고 있다.

만약 실리콘 대신 값이 저렴하고 구하기 쉬운 물질, 예를 들어 모래와 같은 물질들을 이용하여 태양열 전지를 만들 수는 없을까? 이러한 질문에 처음 답을 제시하기 시작한 사람이 스위스의 M. 그레첼이다. 이 연구 그룹에서는 1998년 네이처지를 통해 실리콘 대신에 모래와 유사한 TiO_2 를 나노크기의 입자로 만든 후, 그 위에 전자의 흐름을 용이하게 해 줄 수 있는 염색재료를 코팅



염색재료-태양열 전지를 이용하여 모터를 돌리는 시범을 보이고 있다.

함으로써 그림에서 보는 바와 같이 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 성공적인 예를 보여 주었다(염색재료-태양열 전지, dye-sensitized solar cell). 아직 염색재료-태양열 전지의 효율성은 더 발전되어야 실용화 단계에 이를 수 있을 것이지만, 태양열 에너지 개발의 큰 걸림돌 중 하나

나왔던 개발비용의 절감만으로도 그 의미가 크다. 이렇듯, 적절한 화학물질의 합성과 조합을 통하여 새로운, 혹은 보다 나은 기능을 가지는 장치를 개발하는 것은 이제는 더 이상 놀라운 일이 아니다. 이 밖에도 이들과 유사한 종류의 물질을 대상으로 그 연구가 활발히 진행중이며, 최근에는 반도체 유기물질들의 박막을 이용한 시도도 이루어지고 있다. 이러한 노력들은 고갈되어가는 화석연료를 대체하는 의미와 더불어 친환경적 에너지를 연구 개발함으로써 지구 환경 보존에도 기여할 것으로 기대된다.

위에서 살펴본 화학의 미래가 우리의 현실과 어떻게 조화를 이루며 실현될 수 있을지는 앞으로의 큰 과제라고 할 수 있다. 최근 과학기술부의 미래전략기술기획위원회가 발표한 미래 전략 신기술 및 차세대 첨단기술 중 화학이 크게 기여할 수 있는 분야는 신약디자인기술, 지능형 약물전달시스템 기술, 유전자치료 기술, 나노태양전지 기술, 친환경 에너지소재 기술, 수소에너지 시스템 기술, 나노바이오센서 기술, 나노전자소재기술 등으로, 앞으로 우리 국가의 과학기술 발전에 계속 화학의 역할이 증대될 것으로 기대된다. 현재, 그리고 다가오는 미래의 과학은 어느 특정 분야의 학문이 인류사회 발전에 절대적인 영향을 미친다기보다, 다양한 학문이 서로 도와가며 새로운 분야를 개척해나가는 형국이라고 볼 수 있다. 이런 관점에서 봤을 때 화학이 차지하는 비중은 상당히 크다고 볼 수 있으며, 그 이유는 위에서 알아본 바와 같이 다음 세대를 주도적으로 이끌어갈 거의 모든 분야들이 원자, 분자단위의 물질을 그 연구 대상으로 하고 있는 화학의 도움을 원하기 때문이라고 할 수 있다. 화학은 항상 시대의 요구를 묵묵히 수행해 왔고 우리가 느끼기 전부터 우리 곁에 있었으며, 앞으로도 우리 인류의 보다 나은 삶을 위해 더욱 기여할 것이다. ㉔