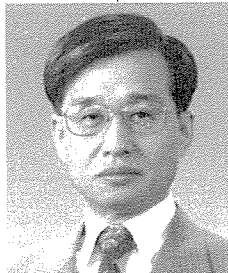


IT보다 기초과학에 정열을 ...

지금은 국내에서 기초과학 연구를 하는 곳에서는 분야를 가리지 않고 모두 연구 인력의 부족이 절실한 때이다.

대학원 학생의 부족을 탓하는 소리가 근년에 들려 오더니 이제 서울대학에서조차 대학원생 모집에 정원 미달하는 사태가 생기고 말았다. 대학에 가겠다고 하는 고교 졸업생들이 그렇게도 넘쳐서 과외 열풍으로 사회가 병들 지경인데 막상 그 공부의 끝머리에 가서는 학문하겠다는 사람이 이렇게 모자라게 되는 현상을 어떻게 설명해야 하겠는가.



白雲基
(서강대 화학과 교수)

자체조립 단분자층(單分子層)연구에 몰두

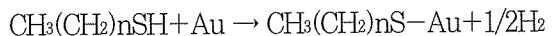
나는 원래 많은 학생을 동시에 지도할 만한 정신적 힘이 부족한 탓도 있고 학생들에게 인기가 있지 않은 탓도 있어 대학에 있는 동안 아주 작은 연구그룹을 유지해왔다. 그런 가운데도 최근에는 나로서는 제법 흥미있는 것을 학생들과 함께 찾아서 몰두할 수 있었다.

그것은 고체 표면에 생기는 단분자층(單分子層)으로 스스로 조립하는 분자들의 모임 즉 소위 자체조립 단분자층(self-assembled monolayer)에 관한 것이다. 티올과 같은 유기 황 분자들이 금이나 은같은 금속의 표면에 접촉하면 분자들은 일제히 황 원자를 금속 표면에 붙이고 탄화수소 사슬은 가지런히 금속 표면으로부터 먼 쪽으로 정렬한다. 거의 완전한 단분자층으로 금속 표면을 덮어 버리기 때문에 금속의 여러 가지 중요한 표면 성질이 크게 바뀌기 때문에 응용면에서도 많은 흥미의 대상이 되어왔다. 이렇게 금속 표면에 형성되는 자체조립 단분자층이 이루어지는

과정의 첫째 단계는 흡착이다.

즉 황 원자와 금속 표면 원자간의 결합에 의한 흡착이 이루어진 다음 탄화수소 부분의 '꼬리' 들은 서로 밀착하여 질서있는 정렬을 만드는 것이다.

그런데 이 과정에서 황 원자에 붙어있던 수소 원자는 어떻게 되는가 하는 문제에 대해서는 별로 알려진 게 없었다. 대체로 다음과 같은 반응이 일어날 것으로 짐작될 뿐이었다.



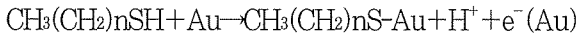
그러나 이런 흡착 과정의 메커니즘에 대하여는 검증된바가 없었다. 위의 반응식이 나타내는 것처럼 수소 분자가 나오는 것을 확인해 본 일도 없었다. 문헌을 거슬러 올라가 보면 누군가가 하나의 가설과 같이 내어놓은 반응을 사람들이 그대로 답습하고 있을 뿐이었다. 직관적으로 이것은 미심쩍어 보였다. 전기화학을 하는 사람으로서 금속 표면에서 일어나는 산화 환원 반응은 많은 경우 전기화학적 전이이동반응으로 일어난다는 것을 체험적으로 알았으며, 금속의 부식과정을 전기화학적으로 취급해본 경험으로부터 하나의 유추(analogy)였다.

나는 흡착과정의 반응이 전기화학 반응일 것이라는 가정을 하고 석사과정에 있는 학생이 이를 검증할 수 있는 실험을 하도록 하였다. 그 학생은 타원편광 실험(ellipsometry)을 준비하고 있던 학생이었기 때문에 흡착과 동시에 일어나는 광학적 신호와 함께 나올 수 있는 전기화학적 신호를 잡는 것을 하도록 하였다. 준비과정의 긴

이제 교수생활의 마감을 앞두고 돌아해보면 그동안 부실한 나의 지도를 받으면서도 열심히 연구에 동참해준 과거의 대학원생들에게 감사한다. 우리 주변에서 가장 괄목하게 변화를 보여주는 것이 통신·전산·정보기술이다. 그러나 기초학문 위에 피는것이 정보산업인데 앞으로 문명의 발달과정에서 병목이 생긴다면 그것은 기초학문의 부진이 될 것이다. 그러므로 사회는 비록 화려하게 보이지는 않지만 기초학문에도 정열을 바치는 학생들이 많이 나오도록 자원을 아끼지 말아야 할 것이다.

얘기를 짧게 하자면, 전해질 용액 속에 금을 넣고 티올을 주입시켰을 때 금의 전위 변화를 기록하였다. 과연 용액에 대한 금의 전위는 분명하게 급변하였으며 이 변화는 흡착을 나타내는 광학신호와 동시에 나타났다.

우리는 전위를 강제로 고정시키는 실험도 하였다. 이 경우에는 전위를 고정시키기 위하여 사용되는 외부 회로와 반대 전극을 통하여 흐르는 전류의 피크가 검출되었다. 전위의 변화 방향이나 전류의 부호는 모두 전기화학적 산화를 분명하게 나타내는 것이었다. 이런 실험적 결과로부터 우리는 다음과 같은 반응이 흡착과정을 나타낼 것이라고 믿게 되었다.



위에서 전자 다음에 괄호 속에 Au를 쓴 것은 금의 산화에 따라 나오는 전자가 금에 들어간다는 것을 나타내는데, 금속의 표면-전해질과의 계면에 향한다—에 모이기 때문에 금의 전위가 낮아지는 것이다. 전위가 낮아지면 위의 반응은 불리해지므로 계속하여 일어날 수 없을 것이나, 용액 중에는 특별한 주의를 기울여 제거하기 전에는 항상 산소가 녹아 있고, 이것이 전자를 받아들여 환원반응을 함으로써 전위를 다시 높여놓는 작용을 하는 것이다. 이 때문에 흡착반응은 계속하여 일어날 수 있는 것이다.

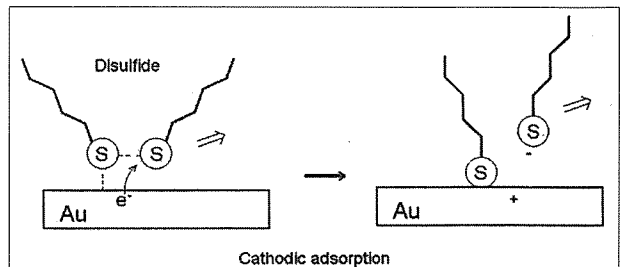
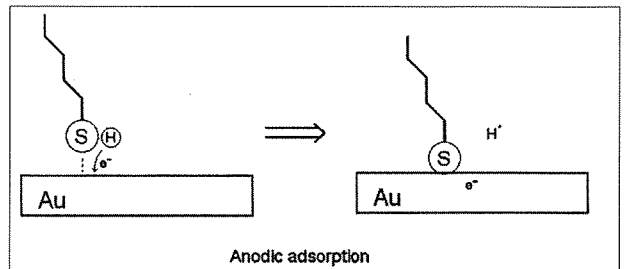
즉 많은 연구자들이 자체조립 단분자막을 손쉽게 만들 수 있었던 것은 그들이 의식하지 못했지만 다행히도 용액 속에 산소라는 불순물이 존재하였기 때문이었다. 진동수정 미량계측 장치(quartz crystal microbalance)를 써서 실제로 산소가 제거된 용액으로부터는 흡착이 느리게 일어난다는 것을 실증할 수 있었다. 포텐시오스타트를 써서 전위

를 높여주고 흡착을 일으키면 흡착은 더 잘 일어나고 전위가 아주 낮아지면 흡착이 일어나지 않고 오히려 탈착이 일어나는 것도 확인되었으며 이것은 외국의 연구자들이 보고한 바와도 일치한다.

RSSR' 형의 이황화물의 경우는 흡착반응이 위와 다른데, 역시 비교적 간단한 전기화학적 실험으로 다음과 같은 환원반응을 통하여 흡착이 일어난다는 것을 확인하였다.



이 반응은 2-전자 환원으로 S-S 결합이 끊어지고 동시에 금은 1-전자 산화 반응을 하여 결과적으로는 1-전자 환원반응이 된 것이다.



위에 든 전기화학적 실험결과만으로도 흡착 메커니즘이 종래에 알려졌던 것처럼 단순히 결합의 재구성만을 동반하

는 것이 아니고 전기화학적 양극반응 또는 음극반응이라는 부인할 수 없는 증거가 뒤이 뚜렷하다. 그 외의 다른 증거들도 얻었다(Langmuir, 2000, 16, 10198).

이런 전기화학적 흡착 메커니즘은 서두에서 얘기한 바와 같은 수소분자 생성반응과는 완전히 다른데, 많은 사람들이 것처럼 열심히 다루는 유기 황 분자들의 자체조립 단분자막의 형성에 대하여 올바른 메커니즘을 이해한다는 것은 대단히 중요하다고 본다. 흡착 조립과정의 속도 조절은 물론이고 이런 단분자막들이 나노기술에 응용될 때 흡착 패턴을 조절하는 데 전기 포텐셜을 이용할 수 있는 길을 열어주기도 할 것이다. 얻어진 하나의 해답은 또다른 의문과 호기심을 유발하여 해보고 싶은 것은 많다. 예컨대 카르복실산들의 금속면 흡착에 대하여도 위에서 얻은 실마리를 이용하면 재미있는 연구가 가능하리라고 예측된다. 그러나 나에게서는 시간과 인력이 모자란다.

대학원 시절 ... 연구인력 부족 심각

나는 이제 교수생활의 마감을 앞두고 있으나 돌이켜 보면 호기심을 따라가는 방향과 탐험을 계속하였다. 위에 말한 작은 연구도 하나의 방향에서 시작되고 조금은 성공한 탐험이었다고 본다. 호기심을 쫓아 바닷가 모래밭을 뒤지다가 영롱한 조약돌을 찾은 기쁨 같은 것을 느낀 것은 참으로 다행이었다. 다른 연구자들에게 앞으로 도움이 될 조약돌이 된다면 뿌듯한 보람인들 없을 것인가. 구슬이 서말이라도 꿰어야 보배란 말이 있듯이 학생들이 열심히 찾아 모은 조약돌들을 실에 꿰는 작업을 내가 학생들과 함께 한 셈이다.

부실한 나의 지도를 받으면서도 열심히 연구에 동참해준 과거의 대학원 학생들에게 감사한다. 한때는 나의 미숙한 판단으로 학부 성적만으로 연구 능력이 부족하리라고 생각하여 내가 받아들이지 않으려 했던 학생들이 그 후 실험실에 들어와서는 훌륭한 조약돌들을 모아 옴으로써 나의 오관을 심판한 경우도 있었다. 컴퓨터에 열중하였던 학생들이 학부 성적이 나쁠 수 있으며 반대로 과목답지 않은 과목들(나는 이런 과목들은 구청에서 실시하는 교양 강좌나 노인대학의 강의라고 부른다)을 많이 들어서 성적을 높이는 학생들도 많다.

출신 학부의 명성과 학부 성적만으로 대학원 지원자를

판단함이 위험하다는 것을 뒤늦게 안 나는 후배 교수들이 그런 나의 어리석음을 되풀이하여 가뜩이나 부족한 연구인력의 충원에 어려움을 겪지 않기 바란다.

연구 인력이 이처럼 심각하게 부족하게 된 데에는 사회적, 국가 정책적 요인도 크게 작용하고 있다고 본다. 요즘은 우리 생활 주변에서 가장 괄목하게 변화를 보여주는 것이 통신-전산-정보기술이다. 그러나 기초 학문 위에 피고 있는 것이 정보 산업이며 앞으로도 문명의 발달 과정에서 병목이 생긴다면 그것은 기초학문의 부진이 될 것이다. 그러므로 사회는 젊은이들이 화려하게 보지 않는 기초 학문에도 정열을 바치는, 다소 더디게 보여도 튼튼한 길을 가는 학생들이 많이 나오도록 격려 지원할 필요가 있다.

70년대 작은 연구실에서의 성과

나의 연구에도 지원기관들에서 주는 연구비가 큰 도움이 되었다. 70년대에는 지원 규모가 너무나 적었기 때문에 조그만 장비들을 만들어 쓰느라고 과학보다는 공작을 많이 한 셈이다.

최근에는 많이 나이져서 연구비 없어 연구 못한다는 핑계를 댈 수 있는 사람들이 많이 줄었다. 내가 받은 연구비들은 규모는 적은 것이었으나 큰 도움이 되었기에 대단히 고맙게 생각한다. 엄청나게 큰 장비를 쓰지 않더라도 할 일만 잘 찾으면 제법 가치있는 일들을 할 수 있으리라고 생각한다. 과학이나 기술적 업적들 중에서 대부분은 한두 사람이 핵심이 된 그룹에서 이루어진 것이 많다. 그런 소그룹들이 많아야 그 사회의 수준이 올라가는 것이지 한 두 개의 큰 그룹으로는 이를 수 있는 일이 많지 않다. 물론 대형 사업으로 해야 하는 일들도 있다.

예컨대 인간지능사업이라든지 원자탄을 만들던 맨하탄사업 같은 것들이 그런 것이다. 그러나 그런 것은 오히려 예외적인 것이지 일반적인 과학 연구의 전형이라 볼 수는 없다. 이런 점을 연구지원 정책의 책임자들이 고려하였으면 한다. 가까운 일본에서도 연구자들의 대형 그룹화 정책이 낳는 현실을 본다. 연구비를 받기 위하여 그저 겉으로만 사업단을 만들지만 일은 실제로 교수별로, 실험실별로 한다. 계획서나 결과 보고서를 대형과제의 틀에 맞추느라 시간 낭비가 많다. 우리 현실에도 시행착오는 불가피하겠으나 불필요한 방향을 줄이는 지혜가 필요하다고 본다. ⑤7