

## 화두(話頭)가 있는 강의

김희준 서울대 화학과 교수

작가는 무엇인가 꼭 하고 싶은 이야기가 있기 때문에 시나 소설을 쓰고, 작곡가나 화가는 음악과 미술이라는 형태를 빌려 예술적인 영감을 표현하고 싶어한다. 이처럼 강의에서도 꼭 전달하고 싶은 메시지가 있을 때 수강생과 마음이 통하고 느낌이 오가는 강의를 될 수 있을 것이다. 그리고 학생들과 꼭 나누고 싶은 자연이나 인간 사회에 관한 어떤 사실이나 원리들이 있다면, 그것을 어떻게 헤서든지 하나의 재미있는 이야기로 엮어내고 그 이야기의 내용을 효과적으로 전달하고자 하는 마음이 생겨날 것이다.

한 학기 강의 전체가 하나의 줄거리를 가진 이야기가 되고 매시간의 강의는 커다란 이야기의 일부분을 이루면서 또 하나의 작은 이야기가 될 수 있다면, 강의하는 교수나 수강하는 학생 모두 다음 시간에는 무슨 이야기가 오갈까 하는 기대감을 가지고 강의 시간을 기다리게 될 것이다. 이와 같이 작은 이야기들을 묶어서 큰 이야기를 만드는 식의 강의 방법을 필자가 서울대에서 교양과목으로 강의하고 있는 '자연과학개론'을 통해 예시하고자 한다.

이 강의는 '자연의 이해'라는 범주에 들어있기 때문에 이공계뿐 아니라 인문, 사회, 예능계 학생도 수강하는 교양과목이다. 따라서 전공에 관계없이 누구나 공감하고 흥미를 느낄 수 있는 화두를 선택하는 것이 아주 중요하다.

필자는 자연과학 전반을 한 학기에 다루는데 적절한 화두로서 '자연은 어떻게 von Neumann machine을 만들었나?'를 사용하고 있다.

von Neumann machine이란 컴퓨터 과학과 게임 이론의 대부인 헝가리 출신 프린스턴 고등연구소 교수 폰 노이만이 개념을 제기한, 스스로 복제할 능력을 지닌 기계를 말한다. 인간이 제어무리 뛰어난 컴퓨터화된 로봇을 만든다고 해도 자신의 모든 부품과 그것들을 만드는 데 필요한 정보 자체까지도 복제할 수 있는 기계를 만든다는 것은 도저히 가망이 없어 보인다.

그런데 간단한 단세포 생명체인 대장균은 20분 정도에 한 번씩 자신을 복제해 내어서 두 배로 증식한다. 이렇게 볼 때 박테리아야말로 아주 효율적인 von Neumann machine인 셈인데, 도대체 박테리아는 어떻게 이런 비법을 터득한 것일까?

이런 질문에 답하자면 궁극적으로 우주의 시작까지 거슬러 올라가지 않을 수 없다. 다시 말해서 우리의 화두는 우주는 어떻게 시작되었으며, 어떤 과정을 거쳐 우주의 극히 작은 일부분인 지구상에 간단한 생명체가 생겨나고, 이로부터 우주의 기원까지 탐구하는 인간이 진화했을까 하는 의문으로 귀착된다는 말이다.

'우주와 생명'이라는 두 단어로 요약할 수 있는 전체

주제를 이끌어 가기 위해서 메시 시간은 다음과 같은 화두들로 시작된다. 우주는 언제 어떻게 시작되어 어떻게 진화하고 있나? 우리는 우주의 시작을 어떻게 알게 되었나? 우리의 몸을 구성하는 원소들은 언제 어디에서 만들어져서 우리 몸의 일부로 자리잡게 되었나? 자연에는 어떤 힘들이 존재하며 이런 힘들은 생명을 이루는 데 어떻게 핵심적인 역할을 하나? 어떻게 지구는 생명이 생겨나기에 적합한 환경을 가지게 되었나? 생명의 기본 언어는 무엇인가? 우주의 다른 곳에도 생명체가 있을까? 있다면 무슨 신호를 보내야 우리의 존재를 말해 줄 수 있을까? 이러한 화두들로 메시지 우주와 생명의 비밀을 조금씩 배워 가다가 학기가 끝날 때가 되면 자연 전체의 모습이 한눈에 들어오고 시야가 탁 트이는 경험을 하게 된다.

강의를 시작할 때 적절한 방법으로 주의를 끌면 한 시

간 강의가 훨씬 수월해진다. 그 날의 주제를 함축하고 있는 만화 한 컷으로 이야기를 풀어내는 것도 아주 효과적인 방법이다.

예컨대, 어느 강의의 주제가 원자론이라고 하자. 서두에 <그림>과 같은 만화를 보여주면서 쿼크는 랩톤과 함께 지금 알려진 바로는 물질의 궁극적인 소립자라는 것, 양성자는 전하가 +2/3인 업 쿼크 두 개와 전하가 -1/3인 다운 쿼크 한 개가 강한 핵력으로 결합한 +1의 양전하를 가진 입자이고, 중성자는 업 쿼크 한 개와 다운 쿼크 두 개로 이루어진 중성 입자라는 것, 중성자는 강한 핵력에 의해서 전기적으로 반발하는 양성자들을 원자핵 속에 붙잡아 주는 역할을 한다는 것, 일단 형성된 원자핵은 우리 주위의 일상적인 에너지 환경에서는 대단히 안정하다는 것 등의 논의가 자연스럽게 이루어질 수 있고, 그래서 노

벨 물리학상을 수상한 리처드 파인만이 강조한 대로 우리 주위의 물질 세계를 구성하는 기본 레고 조각은 원자라는 사실이 머리에 깊은 인상을 남기게 된다.

퀴즈를 통해서 화두를 도입하는 것도 효과적인 방법이다. 아래의 간단한 퀴즈로부터 빅뱅이 일어난 시점, 질량과 에너지의 등가, 공간의 팽창 등의 논의가 이루어질 수 있다.

다음은 수년 전 『뉴스위크』에 실린 빅뱅에 관한 기사의 첫 대목이다. 여기에 나타난 자연의 세 가지 기본적인 양이 아닌 것은?

"In the beginning all the mass of the universe was confined in a tiny space"

가. 길이 나. 질량 다. 시간 라. 에너지

아무리 흥미있는 내용이라 하더라도 일방적인 강의로는 한 시간 동안 주의를 끌기 쉽지 않다. 따라서 소위 Socratic method로 알려진 대화식 강의가 바람직하다. 그런데 우리



<그림> 화두도입의 일례 - 강의 주제를 함축하는 만화

나라 학생들은 토론이나 대화에 익숙하지 않기 때문에 좋은 대화식 강의가 이루어지기 위해서는 좋은 대화의 내용이 미리 마련되어야 한다. 일반적으로 사실을 전수하는 대신 생각을 하도록 만드는 방안으로 다음의 예를 살펴보자.

우주에 우리 이외의 생명체가 있는지는 누구나 흥미를 느끼는 주제이다.

1974년 11월 16일 Arecibo Observatory에서 우리 은하계 내의 구상성단인 M13으로 마이크로파 신호를 보냈는데, 다음 중에서 어떤 내용이 들어 있었을까?

보기 : 2진법; 10진법;  $f = ma$ ,  $E = mc^2$ ; 쿼크; 플랑크 상수; 볼츠만 상수; adenine, thyrnine, guanine, cytosine; 20종류의 아미노산; 주기율표; 만유인력; 수소, 헬륨, 탄소, 질소, 산소, 실리콘, 철, 인; 원자번호; 태양계; sugar-phosphate backbone; human genome의 nucleotide 수; 지구상의 총 인구; 사람; 사람의 키; 피장

위의 보기를 하나씩 들어가며 학생들로 하여금 자신의 생각과 그에 대한 근거를 말하게 한 후, 가부와 함께 그에 대한 타당성을 논의하면 아주 흥미로운 대화가 이루어질 수 있다. 이 정도의 내용은 잘 설명을 하면 우수한 중·고등학교 학생들도 크게 재미를 느끼는 것을, 필자가 속한 화학과에서 토요일 오후에 중3 학생을 대상으로 실시하고 있는 화학영재교육에서 확인하고 있다.

대화식 강의에는 허점도 있다. 자칫하면 적절하지 못한 논의에 시간을 빼앗겨 진도에 지장을 받는 경우가 생긴다. 또 수줍어하는 학생은 토의에서 소외되기도 쉽다. 이러한 문제들을 소화하는 좋은 방안으로 '1분 쪽지'가 있다.

필자는 강의를 2~3분 일찍 끝내고 그 날의 강의에서 좋았던 점, 개선을 바라는 점, 의문 사항 등을 자유롭게 적어내게 한다. 이 쪽지를 읽으면 출석 체크도 하고, 좋은 질문 몇 개를 골라 다음 시간에 간단히 답을 하거나

토의 자료로 사용하기도 한다.

이 방법은 학생들의 의문을 해소하는 방편 이외에도 교수와 학생 사이의 의사소통을 위한 아주 좋은 도구를 제공한다. 학생들의 요구를 파악해서 가능한 한 강의에 반영하는 것은 바람직한 일이다. 그러나 필자는 교수가 자신이 기울인 노력에 대해 학생들이 감사의 뜻을 전해올 때 격려를 받고 새로운 힘을 얻는 데 더욱 의미를 두고 싶다.

한편 '1분 쪽지'는 때로는 귀중한 강의 자료를 제공하기도 한다. 필자가 귀국해서 처음 맡은 '97년 봄 학기 '일반화학' 강의에서 어느 학생이 적어낸 아래의 문구를 필자는 두고두고 원자 구조를 강의할 때마다 소개하고는 한다.

"미시 세계에서 인간 사회와 비슷한 현상이 일어나는군요. 반발력 있는 것들을 묶어주고(중성자), 가만히 있으면서 큰 영향을 행사하는 것이 있는가 하면(양성자), 활동적으로 움직이면서 여러 반응을 일으키는 것들이 있네요(전자)."

강의마다 전체 주제 안에서 그 날의 소주제가 어떤 자리를 차지하는가를 간단히 이야기함으로써 한 학기 동안의 긴장감을 유지하는 한편, 학기초에 기말 프로젝트를 미리 내주고 강의가 진행되면서 지난 학기에 제출된 프로젝트 중에서 그 날 강의와 관련된 것들을 보여주는 것도 효과적이다.

프로젝트는 강의의 전반적인 내용을 이해하는 데 도움이 되는 자료를 독창적인 방법으로 제시하거나, '왜 인이 생명 현상에 필수적인가?' 하는 식으로 구체적으로 주어진 주제에 답하는 것일 수도 있다. 지난 2년 동안 다양한 방법과 내용의 프로젝트를 받아 보고 필자는 우리 학생들의 창의력에 감탄을 금하지 못한다. 특히 '광수 생각' 같은 시사만화를 활용해서 과학의 원리를 산뜻하게 전달하는 방법은 사고의 유연성을 길러주는 데에도 효과가 있다고 생각한다.

프로젝트의 형식은 만화뿐만 아니라 자서전, 시, 수필, 소설 각색, 현상수배, 시조 산책, 한자성어, 신문기사 등 다양하기 그지없다. 학생들도 딱딱한 계산 문제를 풀어 내는 것보다 자신의 독창성을 발휘할 수 있는 프로젝트를 즐겨 한다. 그리고 다른 학생이 제출한 프로젝트를 보는 것도 강의 도중 즐거운 휴식을 제공한다. 관심 있는 분들은 필자의 홈페이지에서 이런 자료들을 찾아보기를 권한다. (<http://chem/snu.ac.kr/> → 교수진 → 김희준 → 화학 프로젝트, 만화집합, 에세이)

필자의 딸이 미국에서 초등학교 다닐 때 집에 가져온, 숫자 퍼즐을 각색해서 화학을 공부하는 퍼즐도 인기 있는 아이템 중 하나이다. 원래의 퍼즐은  $26 = L$  of the A.에서 letters와 alphabet이라는 단어를 찾아내는 게임인데,  $15 = A$ . of the U. in B. Y. (age, universe, billion, years) 식으로 재미있는 과학 퍼즐을 얼마든지 만들 수 있다. 따뜻한 봄날에는 퍼즐을 함께 푸는 야외 수업이 제격이다.

좋은 비디오 테이프를 관람하는 것도 대단히 효과적이다. 필자는 노벨 화학상 수상자이자 화학 교육과 대중화에 앞장 서고 있는 코넬대학의 Roald Hoffmann 교수가 내레이션을 하는 "World of Chemistry"를 많이 사용하고 있다. 20가지의 주제로 되어있는 테이프 중에서 원자의 세계, 주기율, 화학 결합, 단백질, 유전 암호 등의 내용은 화학뿐만 아니라 일반 교양과학 강의에도 아주 유용하다. 자막이 없기 때문에 미리 key word를 OHP로 보여주면 영어듣기 연습도 되고 내용도 좋아서 학생들은 항상 다른 테이프도 보기를 원한다.


때로 좋은 강연회가 강의 시간과 겹치면 단체로 강연회에 참석하기도 한다. Buckminsterfullerene 발견으로 노벨 화학상을 수상한 Kroto 교수의 강연에 필자의 '일반화학'을 수강하는 학생들이 종이로 만든 축구공 모델을 하나씩 들고 참가했던 기억은 모두에게 평생 동안 남

을 것이다.

노벨 화학상을 수상한 하버드대학의 Herschbach 교수의 말을 빌리지 않더라도, 어려운 문제를 푸는 훈련보다는 중요한 개념을 쉽고 재미있게 가르치는 것이 훨씬 더 효과적으로 교육 목표를 달성하는 방법이다. 고급 학년의 전공 과목이 아닌 교양 과목이나 전공 탐색 과목의 경우에는 더욱 긍정적인 개념의 확립이 정량적인 문제 해결보다 중요성을 띠게 된다.

그런데 이렇게 다양한 재미있는 프로그램을 동원해서 본질의 이해에 한 학기를 보내고 나면 평가의 문제가 남는다. 많은 경우에 평가의 편이성 때문에 정량적인 문제 풀이 위주의 테스트가 주류를 이룬다. 문제는, 그렇게 되면 아무리 강의에서 개념 이해를 강조한다 하더라도 학생들은 시험에 출제되는 내용을 중시하게 된다는 데 있다.

이 문제는 외국에서도 계속 논의되고 있지만 뾰족한 해답이 없는 문제이다. 시간과 노력을 기울여서 이해도를 측정할 수 있으면서도 어느 정도 평가의 객관성을 기할 수 있는 좋은 문제를 개발하는 수밖에 없다. 그리고 그러한 과업을 교육의 중요한 일부로 생각해야만 한다.

일방적인 강의가 아니고 대화가 오가는 강의가 되기 위해서는 토론이나 프로젝트에의 참여도를 최종 평가에 포함시키는 것도 바람직하다. 

#### 김희준

서울대 화학과와 등 대학원을 졸업하고, 미국 시카고대학에서 박사학위를 받았다. 현재 서울대 화학과 부교수로 재직중이며, 미 육군 네이틱 연구소 책임연구원, 하버드 의과대학 연구원, MIT 생물학과 연구원 등을 역임하였다. 저서로 「재미있는 화학 여행」, 「자연과학개론」이 있고 이외 40여 편의 논문과 특허 2건을 소유하고 있다.