사고력 향상을 위한 공학교육

황 농 문
서울대학교 재료공학부 교수
nmwhang@snu.ac.kr

서울대학교 금속공학과 학사
한국과학기술원 재료공학 석사
한국과학기술원 재료공학 박사
한국표준과학연구원 책임연구원
美,National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg 객원연구원
日,National Research Institute of Metals, Tsukuba 객원연구원

1. 서론-사고력의 중요성

위대한 과학자의 업적이 장기간의 끈질긴 사고의 산물이라는 것은 여러 가지 역사적인 사실에 의하여 잘 알려져 있다. 뉴턴이나 아인슈타인 같은 불후의 천재들도 빛나는 성취를 얻기까지는 짧게는 몇 개월, 길게는 몇 십 년 동안 인고의 사고 과정을 거쳐야 했다. 오랜 시간 동안의 깊은 사고와 수많은 시행착오 끝에 올바른 해답을 찾아낸 것이다. 위대한 과학자들의 또 다른 특징은 인고의 사고 과정을 힘들게만 보내는 것이 아니고, 문제 푸는 사고과정 자체를 즐기고, 문제의 난이도가 높다고 해서 쉽게 포기하지 않고 몇 년이 걸리더라도 결국 해결한다는 것이다. 즉, 주어진 문제 해결에 대한 열정과 도전정신이 있는 것이다.

필자의 경험에 의하면, 몇 주일 심지어 몇 달간 자나 깨나 주어진 문제만 계속 생각하면, 마치 문제와 열애를 하는듯한 감정이 생긴다. 이 상태가 되면 문제와 관련된 단어만 보아도 흥분이 된다. 이것은 지속적인 사고에 의하여 일에 대한 열정이 생긴다는 것을 의미한다. 즉, 열정은 타고난 천성이 아닌 것이다. 그리고 일단 이 상태에 도달하면 문제를 생각하는 것만으로도 재미가 있기 때문에 문제를 포기하기가 힘들어진다. 문제를 포기하는 것이 바로 고통이 되는 것이다. 그래서 아무리 어려운 문제라도 포기하지 않고 풀릴 때까지 도전할 수 있는 감정적인 분위기가 조성된다. 즉, 도전정신이 생기는 것이다. 따라서 필자는 기업에서 이야기하는 인재의 특성인 열정과 도전정신은 바로 사고하는 습관에 의하여 형성된다고 믿는다.

분야가 기초과학이던 응용분야이던 그리고 직업이 엔지니어건 비즈니스맨이건 남들보다 탁월한 능력을 발휘하고 훌륭한 업적을 성취하기 위해서는 사고력을 향상시키는 것이 필수적이다. 사고력의 중요성을 말해주는 위대한 과학자들의 이야기를 몇 가지 소개하며 글을 시작하겠다.

뉴턴의 전기인 "프린키피아의 천재"에 소개된 구절이다.1)

훗날 뉴턴이 유명해졌을 때, 누군가가 뉴턴에게 어떻게 중력의 법칙을 발견했느냐고 묻자 뉴턴은 "내내 그 생각만 하고 있었으니까"라고 대답했다...

학자로서의 그의 경력은 단편적인 것들의 조합이었다. 한 가지를 생각하기 시작하면 그는 그 한 가지를 계속하여, 다시 말해 그것 하나만을, 적어도 거의 그것만을 생각했다.

다음은 아인슈타인의 유명한 이야기이다.2)

나는 몇 달이고 몇 년이고 생각하고 또 생각한다. 그러다 보면, 99번은 틀리고, 100번째가 되어서야 비로써 맞는 답을 얻어낸다.

리처드 파인만은 "The Beat of a Different Drum"에서 다음과 같이 이야기하였다.3)

물리는 나의 유일한 취미입니다. 그것은 나의 일이자 오락이기도 하죠. 내 연구노트를 보면 알 수 있듯이, 나는 항상 물리에 관한 문제를 생각합니다. 대부분의 아이디어는 아무 쓸모가 없습니다. 그러다가 그들 중 몇 개는 유용한 아이디어가 되는데, 그러면 그것들을 논문으로 발표하죠.

이렇듯 항상 사고하는 습관은 훌륭한 연구자나 공학도가 되기 위해 끊임없이 갈고 닦아야 할 부분이다. 뿐만 아니라 집중적이고 지속적인 사고는 과학 및 공학 이외의 다른 분야에서도 위력을 발휘한다. IBM의 창시자인 토마스 왓슨은 회사의 슬로건을 "Think"라고 정하고 회사의 거의 모든 장소에 "Think"라는 팻말을 붙여놓도록 한 것으로 유명하다. 사진 1은 전 세계의 IBM 지사에 붙여놓은 각국어로 된 "Think" 슬로건이다.

IBM 노트북 컴퓨터 씽크패드(ThinkPad)의 이름이 이러한 배경에 의하여 붙여졌다는 것을 아는 사람은 별로 없을 것이다.

마이크로소프트사의 빌 게이츠는 일년에 두 번을 사고주간(Think Week)이라고 하여 아무도 찾아올 수 없는 외딴 별장에 틀어박혀 사내의 각종 보고서를 읽음과 동시에 집중적인 사고를 통하여 마이크로소프트사가 나아갈 방향에 대한 중요한 의사 결정을 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 사실은 2005년 3월 28일자 월스트리트저널에 소개됨으로써 세상에 널리 알려지게 되었다. 오늘날 마이크로소프트사의 눈부신 성공 뒤에도 이러한 강도 높은 사고의 노력이 숨어 있었던 것이다.

심지어 스포츠에서도 기적이 일어날 때는 깊고 지속적인 사고 활동이 있었다. 다음은 2005년 10월 31자 한겨레신문에 금메달 비결 '**검 휘두른 건 손 아닌 머리**'라는 제목으로 실린 기사의 일부이다.

<사진 1. 각국어로 번역된 IBM의 'Think' 슬로건 >
출처 : http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/vintage/vintage_4506VV2024.html

"천재란 강렬한 인내자다. 단 하나밖에 없는 최선의 방법을 생각하고 또 생각한다. 결코 중도에서 생각을 멈추지 않는다."(이성우 펜싱 여자플뢰레 국가대표팀 코치) 생각하는 펜싱. 바로 그것이었다. 10월14일 독일 라이프치히에서 날아온 낭보. 한국 여자 플뢰레팀의 세계대회 단체전 금메달 쾌거의 배경에는 바로 '싱킹'(thinking)이 있었다.

본고에서는 위대한 업적을 이룬 과학자들이 한결같이 중요시 여기고 거의 모든 분야에서 두각을 나타내기 위하여 필요한 사고력 향상을 위하여 필자가 평소에 생각하고 시도해보았던 교육 방법을 소개하고자 한다.

2. 공학 교육의 방향 : 사고력 향상 교육

"Teaching consists of causing people to go into situation from which they cannot escape without thinking." (William Sparke) 가르침이란 생각하지 않으면 안 되는 상황을 제공하는 것이다.

학생들이 논리적이고 깊이 있는 사고를 할 수 있도록 교육하는 것이 중요하다는 것은 누구나 공감을 한다. 그러나 실제로 사고력 향상을 위한 교육은 현실적으로 쉬운 문제는 아니다. 그 이유는 사고력이 중요한 것은 분명하지만, 사고력 향상은 단기간에 이루어지지 않을 뿐 아니라 그 방법이 구체적이지 않고 막연하게 느껴

지기 때문이다. 사람들은 적은 시간에 많은 지식을 습득하도록 하는 것이 효율적인 교육이라고 생각한다. 특히 현재의 대학입시를 위해서는 사고력 향상 교육보다는 주입식 교육이 시험성적을 올리는 데 도움이 된다. 여러 가지 이유로 교육 현장에서 사고력을 향상시키려는 노력이 좌절되고 있는 것이다. 이러한 경향은 대학 교육에서도 예외는 아니다. 훌륭한 엔지니어와 연구자를 키우기 위한 전초기지인 대학에서의 공학 교육이 지식 주입의 교육이 되어야 하는지 사고력 향상 교육이 되어야 하는지에 대해서는 고민해 보아야 할 것이다.

교육의 효과는 보통 10년 이상이 지난 후에 나타나기 때문에 어떤 방식의 교육이 좋았는지 나빴는지를 추적해서 알아내기란 매우 어렵다. 그러나 여러 뛰어난 사람을 한 선생이 공통으로 배출한 경우나 뛰어난 창의적인 업적을 남긴 과학자들이 자신의 어린 시절에 자신의 운명을 바꿀 만한 훌륭했던 교육을 회고하는 경우로부터 이러한 교육방식의 효과가 명백하게 나타난다. 이러한 예는 많지 않은데 필자가 아는 두 가지 경우를 소개하겠다.

첫째로 고등학교 교사로서 제자 중에 노벨상을 가장 많이 배출한 부다페스트의 루터교의 수학 교사인 라츠 선생의 교육방식이다. 다음은 창의성에 대하여 40 여년을 연구한 심리학의 세계적인 석학인 칙센트미하이 교수의 저서 "창의성의 즐거움"에서 해당 부분을 발췌한 내용이다.4)

물리학자인 유진 위그너는 수학교사였던 라즐로 라츠 선생 덕분에 수학에 대한 관심을 갖게 되었다고 말한다. "라츠 선생님만큼 학생들에게 문제의식을 일깨워준 사람은 없을 겁니다."라고 그는 말한다. 그와 같은 학교 학생이었던 수학자 존 빈 뉴먼, 물리학자 레오 질라드와 에드워드 텔러도 역시 라츠 선생의 가르침을 받았다. 분명 그는 대단한 일을 해낸 것이다.

그런 스승들은 어떤 식으로 아이들에게 영향력을 주었을까? 두 가지 중요한 요인이 있다. 첫째, 그들은 학생들의 재능을 알아보고 믿고 배려했다. 둘째, 특별한 과제를 주고 다른 아이들보다 더 훈련을 시키면서 관심을 보였다...

부다페스트의 루터교 학교에 다니던 미래의 노벨상 수상자들은 라츠 선생이 매월 학생들에게 내주는 문제에 의해 자극을 받았다. 교내 수학 잡지에는 한 달에 한 번씩 새로운 문제들이 출제되었고, 학생들은 쉬는 시간에 머리를 맞대고 수학 문제를 풀었다. 가장 정확하게 문제를 푸는 사람은 교사들뿐 아니라 친구들로부터 아낌없는 찬사를 받았다.

또 다른 예는 유명한 물리학자 리처드 파인만과 줄리안 스윙거의 고등학교 시절에 물리를 가르친 베이더(Bader) 선생이다. 베이더 선생은 재미있고 도전적인 물리 문제로 스윙거에게 최소작용원리를 (least action principle) 소개해주었고, 몇 년 후에 파인만에게도 같은 문제를 소개해주었다. 그런데 공교롭게도 이 두 사람 모두 나중에 최소작용원리와 관련된 업적으로 노벨상을 수상했다. 파인만이 회고한 부분을 소개하면 다음과 같다.5)

내가 고등학교 다닐 때, 물리를 담당하였던 베이더 선생님이 어느 날 물리 수업이 끝난 후 나를 불렀다. 그리고는 "네가 수업시간에 지루해하는 것처럼 보이니 재미있는 문제 하나를 이야기해주마."라고 하면서, 문제 하나를 소개해주었다. 나는 이 문제에 완전히 매료되었고, 지금까지도 계속 그 문제에 매료되어 있다. 그 문제가 바로 최소작용원리이다.

이 두 가지 예는 재능이 뛰어난 학생에게 그 학생이 흥미와 도전심을 가질 수 있는 난이도의 문제를 내 주어 지속적으로 깊은 사고를 하도록 하는 것이 그 학생이 앞으로 계속 발전해나가는데 얼마나 큰 영향을 미칠 수 있는가를 잘 보여주고 있다.

3. 사고력 향상 교육 방법 : 질문식 수업

현실로 돌아와서 공과대학에서 학생들이 해당 분야의 전공지식을 습득하는 것은 대단히 중요하다. 배워야 할 전공지식의 양이 엄청나게 많으므로 학생들은

모든 노력을 기울여 전공지식을 습득하기에 바쁘다. 전공지식을 습득하는 것은 목표와 방법이 매우 구체적이다. 따라서 수업을 듣고 적절한 예습과 복습을 함으로서 비교적 쉽게 전공지식을 습득할 수 있다. 그리고 전공지식의 습득은 몰랐던 것을 알게 된다고 하는 명확한 차이를 유발하므로 배우는 입장에서도 무엇인가를 배웠다는 느낌이 든다.

그러나 사고력이 향상된 정도는 지식 습득과 비교하여 차이를 알기가 어렵다. 사고력 향상은 지식 습득처럼 단기간에 이루어지는 것이 아니라 장기간의 노력을 통해서 이루어지는 것이다. 이러한 이유로 사고력 향상을 위한 교육은 단기간에 효과를 보기가 어렵고, 교육 방법도 애매하여 결국 등한시 되게 된다. 그러나 이미 언급하였듯이 사고력 향상 교육은 우수한 공학인력 배출을 위한 열쇠이므로 포기할 수는 없다. 문제는 어떻게 하면 교육 현장에서 전공 지식의 습득과 사고력 향상이라는 두 마리의 토끼를 잡느냐이다.

본고에서는 이를 위해 시도했던 필자의 개인적인 강의 방법을 소개하고자 한다. 이 방법은 일종의 질문식 수업이다. 파워포인트의 애니메이션 기능을 최대한 활용하여 클릭을 하면 준비한 질문이 나오고, 그 다음을 클릭하면 질문에 대한 답변이 나오는 것이다. "Problem-Based Learning"과 개념이 비슷하지만, Problem의 대상이 다르다. Problem을 아직 답이 없는 경우를 다루지 않고, 답이 이미 정해져 있는 앞으로 배울 지식 자체를 대상으로 하였다. 이 교육방법은 간단히 말해서 지식을 전달하기 전에 그 지식을 미리 문제화시켜서 학생들에게 던져주는 것이다. 즉, 앞으로 배울 내용을 사고력 훈련의 대상으로 하자는 것이다. 몇 가지 예를 들어 설명하면 이해가 쉬울 것이다. 이해를 돕기 위하여 초등학생에게 처음으로 삼각형의 면적을 가르치는 경우에 이 방식을 적용하는 예를 먼저 소개하겠다.

가. 초등학생에게 삼각형의 면적을 가르칠 때

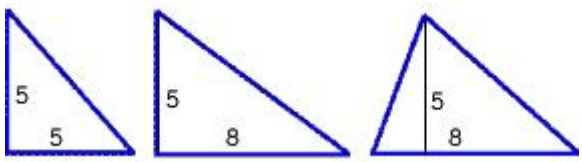
학습대상이 사각형의 면적을 학습한 후, 삼각형의 면적을 배우려고 하는 초등학교 3학년생이라고 가정하자. 종래의 수업 방식은 삼각형은 사각형의 절반이므로 삼각형의 면적은 밑변 곱하기 높이 나누기 2라는 공식을 가르쳐주는 것이다. 그리고 밑면과 높이가 무엇을 의미하는 지 설명을 한다. 그리고 학생은 몇 가지 문제를 통하여 삼각형 면적을 구하는 것을 익힌다. 이러한 방식의 교육은 삼각형의 면적을 구하는 지식은 습득하게 하지만, 사고력을 훈련시키는 부분은 거의 없다.

필자가 제안하는 질문식 수업이란 삼각형의 면적을 구하는 방법을 일체 설명해주지 않고, 이를 학생들에게 도전할 문제로 내주자는 것이다. 그리고 강의자의 역할은 학생들이 포기하지 않고 계속해서 이 문제를 풀기 위해 사고하도록 격려하고 이끄는 것이다. 문제가 주어지면 학생들은 이 문제를 풀기 위해 머리를 쓰기 시작한다. 그리고 이 순간부터 사고력과 창의력이 훈련되고 발휘되는 것이다. 학생은 문제와 관련된 자신이 이전에 배운 모든 사전 지식을 동원하여 주어진 문제를 해결하려고 노력한다. 이 과정에서, 뇌 속에서는 활발하게 사고활동이 일어나 관련된 여러 지식들이 깊은 기억 속에서 끄집어내어지고 통합되는 것이다. 만약 문제의 난이도가 낮아, 문제를 들었을 때 즉시 풀 수 있는 방법이 생각난다면, 더 이상 사고력과 창의력은 발휘되지 않고 단순한 두뇌활동만 하게 된다. 사고력과 창의성은 학생들이 문제를 받는 순간 어떻게 해야 할지 전혀 모를 때, 그럼에도 그것을 해결해야 하는 상황일 경우에 활성화되고 발휘된다. 따라서 학생의 수준에 따라 적절한 난이도의 문제를 내주는 것이 중요하다.

이 질문식 수업을 조금 더 구체적으로 들어가 보자. 삼각형 면적을 배우지 않은 상태에서 처음으로 구하려고 하는 학생들에게 가장 쉬운 문제는 직각이등변 삼각형이다. 학생들에게 밑변이 5 cm이고 높이가 5 cm인 직각이등변 삼각형을 (그림. 1(a)) 그려주고 이 넓이를 구해보라고 문제를 주는 것이다. 학생들은 사각형의 면적을 구하는 것은 배웠지만 삼각형의 면적을 구하는 방식은 전에 배운 적이 없기 때문에 당황할 것이다. 경우에 따라서 선행학습을 한 학생이 정답을 즉시 이야기할 수 있기 때문에, 미리 선행학습자의 경우는 답을 이야기를 하지 말고 정답을 노트에 적으라고 하면 된다. 선행학습을 하지 않은 학생들에게는 이 문

제를 포기하지 않고 계속 생각하도록 격려한다. 예를 들어, 이 문제는 잘 생각해보면 풀 수 있고, 아주 중요한 문제라서 오랜 시간 생각해볼 가치가 있는 것이라고 설득을 한다. 시간이 어느 정도 지나면, 정사각형의 절반이라는 생각을 한 학생이 나타나기 시작한다. 적정시간은 5 ~ 10 분이 알맞은 것 같고, 문제의 난이도는 20~ 30%의 학생이 이 시간 동안 답을 맞히면 적합한 것 같다. 20 ~ 30%가 답을 맞히면, 나머지 학생들에게는 적당한 힌트를 준다. 그래서 절반이상이 답을 스스로 찾으면 이상적이다.

그 다음으로는 높이와 밑변이 다른 문제로 (그림. 1(b)) 넘어갈 수도 있고, 그 다음 단계로 직각삼각형이 아닌 일반삼각형의 (그림. 1(c)) 문제로 난이도를 점점 높여 나갈 수 있을 것이다.



(a) (b) (c)

그림 1. (a) 밑변과 높이가 각각 5cm인 직각이등변 삼각형
(b) 높이가 5 cm이고 밑면이 8 cm인 직각삼각형
(c) 높이가 5 cm이고 밑변이 8 cm인 일반삼각형

이러한 질문식 수업에서는 학생 간의 개인차가 있기 때문에, 어떤 학생은 금방 생각해서 답을 내는데 반해, 어떤 학생은 답을 생각하는데 아주 오래 걸리거나 답을 못 찾는 경우도 있다. 따라서 교사는 학생들에게 답을 이야기하지 말고, 자기 노트에 적으라고 하고, 직접 돌아다니면서 노트를 확인하고, 맞은 학생은 칭찬을 해주고, 그 다음 단계의 문제를 내주면 된다. 또한 돌아다니면서 학생들의 풀이과정을 검토하고, 격려하고 경우에 따라서는 힌트도 주어야 한다. 이러한 방식의 질문식 수업을 20~30분 정도 한 다음, 통상의 강의처럼 삼각형 면적을 구하는 것을 가르친다.

수업이 끝날 때쯤이면, 그 다음 시간에 배울 지식과 관련되어 난이도가 비교적 높은 문제를 내준다. 그리고 사고력 향상을 위한 문제이니 책을 보면 아무 의미가 없다는 것을 강조한다. 문제의 중요성을 잘 소개해주면, 적어도 학생들 중 일부는 도전 정신을 가지고 열심히 생각해온다. 이러한 질문식 수업에서 예습을 하면 오히려 효과가 없어지므로, 처음에 수업할 때, 이러한 방식의 수업 취지를 잘 설명하고, 복습은 하되 예습은 하지 말라고 주의를 준다.

이와 같이 20~30분 정도의 질문식 수업을 하고 나서 본 강의를 시작하면, 문제를 이미 푼 학생은 스스로의 힘으로 지식을 깨닫는 소중한 경험을 하게 되며, 삼각형 면적을 스스로 구하지 못했던 학생도 이해를 아주 잘하게 된다. 왜냐하면, 그 문제에 대하여 본인이 시간을 들여 힘들게 고민을 했기 때문에 문제의 핵심을 이전보다는 훨씬 잘 파악하고 있으며 문제의 해답에 대한 궁금증도 매우 커진 상태이기 때문이다. 이때 문제 풀이를 설명해주면 매우 쉽게 이해할 수 있을 뿐 아니라, 삼각형의 면적에 대한 단순한 공식암기가 아닌, 개념을 확실히 파악하게 된다. 이러한 질문식 수업에서는 대부분의 학생들이 수업에 적극적으로 참여하게 된다. 그리고 상당수의 학생들은 이러한 방식의 수업을 재미있어 한다. 이러한 수업을 잘만 운영하면 학생들은 공부를 지적인 게임을 하는 것처럼 즐길 수 있게 된다.

여기에서 교사의 역할은 안내자인 것이다. 학생 혼자서는 새로운 지식을 배울 때 어떤 부분을 중점을 두어 깊이 생각해야 할지 모른다. 먼저 이 분야를 잘 아는 사람이 적어도 어떤 지식이나 개념은 학생이 배우기 전에 많은 시간을 들여서 스스로 생각을 하는 것이 바람직하다는 것을 가려내어 적절한 시기에 적절한 난이도로 학생에게 제시하여야 하는 것이다. 그리고 학생이 포기하지 않도록 격려하고, 진전을 하면 칭찬을 하여 계속 생각을 하도록 사기를 올려줘야 한다. 가르쳐야 할 지식을 분석하여 학생들에게 문제로 내 줄 적절한 난이도의 문제를 찾으려면 교사도 많은 생각을 해야 한다.

여기에서는 이해를 돕기 위하여 초등학생의 경우를 예로 들었지만, 필자는 이러한 방법을 대학교 강의에

적용해오고 있다. 처음에는 이 방법의 효과에 대하여 확신이 없어서 실험적으로 조금씩 적용하다가 학생들의 반응도 좋고, 학습 성취도도 좋은 것을 확인하고 지금은 적극적으로 적용하고 있다.

다음은 거의 모든 공과대학 2학년생이 공통으로 배우는 공학수학에서 질문식 수업을 적용한 예이다.

나. 공대학생에게 공학수학의 미분방정식을 가르칠 때

수업 첫 시간에 질문식 수업 교육의 취지를 잘 설명하고, 학생들이 어떤 방식으로 수업에 참여해야 하는지에 대한 오리엔테이션을 한다. 일단 교재를 가지고 오지 말고 집에서 다음에 배울 내용에 대한 예습을 하지 말라고 한다. 재수강자 등의 선행학습자가 있기 때문에 문제에 대한 답을 구두로 하기 보다는 노트에 적으라고 한다.

공학수학 처음에는 미분방정식에 대한 일반론이 나오고, 변수분리법을 이용하여 미분방정식을 푸는 단원이 나온다. 그러면, 변수분리법에 대하여 일체 언급을 하지 않은 상태에서, 비교적 쉬운 변수분리 미분방정식 문제를 10분을 주고 학생들에게 풀어보라고 한다. 학생들은 각자의 노트에 풀기 시작한다. 나는 학생들 사이로 돌아다니면서 학생들이 푸는 과정을 체크한다. 대부분의 학생들은 이 간단한 방정식을 풀지 못하고 쩔쩔 맨다. 푸는 학생들은 대부분 재수강을 하는 학생이거나, 이전에 비슷한 문제를 풀었거나, 수학에 관심이 있어서 선행학습을 한 경우이다. 선행학습을 하지 않은 학생들은 가장 단순한 변수분리 미분방정식도 대부분 풀지 못한다. 이는 학생들이 사고력 향상을 얼마나 등한시 했는지를 단적으로 보여주는 것이다. 질문식 수업을 하면 학생들의 사고력 수준을 알게 된다.

한 10분쯤 학생들이 시행착오적으로 고생을 한 다음에야 비로써 변수분리법에 대하여 설명을 한다. 변수분리법을 설명하면 학생들 사이에 감탄을 하는 소리가 들린다. 자신들이 그렇게 고생을 해도 풀지 못했는데 변수분리라는 방식을 쓰면 너무나 쉽게 풀리는 것을 보고 감탄을 하는 것이다. 이 예를 통하여 이야기하고 싶은 것은 대부분 학생들이 문제를 풀지 못해도 상관이 없다는 것이다. 즉, 문제를 풀지 못하더라도 그 문제에 대하여 10분 정도 고생하면서 생각하는 것 자체가 교육효과가 크다는 것이다. 학생들은 변수분리법이라는 풀이 방식에 깊은 인상을 갖게 되고, 이 방식이 얼마나 아름답고 편리한가를 음미하게 된다. 곧바로 변수분리법 강의를 들었을 때는 결코 경험할 수 없는 감정이다. 단지 10분간의 질문식 수업이 이러한 큰 경험의 차이를 만들어 낸다. 뿐만 아니라, 학생들이 헤맨 10분의 시간이 사고력 발달을 위하여 결코 헛되이 보낸 것이 아님을 상기하여야 한다. 학생들은 이 시간 동안 시험을 보듯 문제를 풀려고 이렇게 해보고, 저렇게 해보고 열심히 머리를 쓴다. 이렇게 머리를 쓰는 동안은 분명히 학생들의 사고력과 창의력이 발달될 것이다. 사고력은 반드시 문제의 답을 찾을 경우만 발달하는 것이 아니라, 사고하는 과정에도 발달하기 때문에 문제의 답을 찾는 것과 상관없이 사고활동의 시간을 늘리는 것이 중요한 것이다. 뿐만 아니라 이렇게 밑도 끝도 없이 어떻게 접근해야 할지 전혀 모르는 상황에서 10분 정도의 집중적인 사고활동을 반복하다 보면, 두뇌가 단련되어 장차 보다 장기적이고 집중적인 사고를 하기 위한 기반이 다져진다.

이와 같이 학생이 10분 정도를 주어진 문제를 풀게 한 다음, 변수분리법에 대한 정상적인 강의를 하고, 연습문제로 유사한 문제를 한두 개를 더 내준다. 이번에는 거의 대부분의 학생들이 쉽게 문제를 푼다. 그 다음에는 치환을 하여 변수분리형태로 바꾸는 내용이 나오는데 이것도 미리 가르치지 말고, 문제로 내주어야 한다. 단 힌트를 줄 수는 있다. 예를 들어 학생들이 대략 5분 정도 생각한 후에도 일부만이 풀고 대부분이 풀지 못하면, 적당한 치환을 통하여 변수분리형으로 바꾸어보라는 식의 힌트를 주는 것이다. 그러면, 푸는 학생들의 숫자가 늘어난다. 그 다음에 다시 이 내용의 정상적인 강의를 한다.

수업이 끝날 때쯤이면, 그 다음 시간에 배울 내용에 해당하는 문제를 내준다. 진도 상 완전미분방정식이 된다. 이 문제 역시 학생 스스로 생각하여 풀기에는 대단히 어렵다. 그러므로 적절한 소개를 한다. 학생 스스로 생각해내어 풀기는 어렵다는 이야기와 함께, 다

음 시간에 배울 내용이니, 안되더라도 최선을 다해 생각해보라던가, 생각해보고 도저히 안 되면 힌트를 참조하라고 한다. 힌트는 파워포인트로 한 강의내용을 학생들에게 나누어주는 수업자료의 마지막에 넣어두면 된다. 다양한 학생들이 있는데, 도전을 좋아하는 학생들은 힌트 없이 스스로 풀기를 원한다.

공학수학의 경우 75분 수업에 50분 정도는 이렇게 학생이 문제를 푸느라 시간을 보내고, 25분은 정상적인 진도를 나간다. 파워포인트로 수업을 하므로 25분의 설명으로도 칠판에 판서하는 75분의 강의 진도만큼 나갈 수 있다. 게다가 질문식 수업시간 동안 배울 내용에 대하여 학생들이 먼저 스스로 깊게 생각을 하기 때문에, 비교적 빨리 진도를 나가도 이해를 잘 하는 편이다. 칠판 강의에서는 학생들이 필기하는데 대부분의 시간을 보내지만, 이러한 강의에서는 파워포인트로 나가는 수업내용을 전부 파일로 받을 수 있기 때문에 학생들은 필기를 할 필요가 없다. 따라서 학생들은 수업시간에 필기하는 대신, 주어진 문제를 생각하는데 많은 시간을 보내게 된다.

사실 다른 전공수업에 비해서 공학수학이라는 과목이 이러한 질문식 수업을 적용하기가 가장 부적합하다. 그 이유는 문제의 난이도가 너무 높기 때문이다. 공학수학의 경우는 난이도를 적당한 수준으로 낮추기도 그렇게 쉽지 않다. 그래서 다른 과목과는 달리 대부분의 학생들이 5 ~ 10분이 지나도 주어진 문제를 해결하지 못하는 경우도 빈번히 발생한다. 그럼에도 불구하고 학생들은 앞으로 배울 지식의 내용을 먼저 설명해주는 것보다 그 지식을 문제화하여 자신들이 그 문제를 먼저 고민해 볼 수 있는 기회를 갖게 되는 것을 더 선호한다. 질문식 수업은 학생들의 학습 의욕도 고취시키는 것으로 보인다.

4. 공학 교육 방향 : 질문식 수업

필자가 올바른 공학 교육의 방향으로 질문식 수업을 하게 된 이유는 결국 세계적인 경쟁력을 갖춘 공학인을 키우기 위함이다. 공학인의 경쟁력은 당연히 문제해결능력이나 연구능력으로 귀결될 것이다. 이러한 능력은 연구 분야에 대한 깊은 지식과 이를 바탕으로 새로운 것을 고안할 수 있는 사고력, 창의력으로 이루어진다. 기존의 주입식 강의는 학생들에게 많은 양의 지식을 전달해 준다. 그러나 이러한 지식은 산 지식이 아니라 죽은 지식이다. 실제 문제해결을 위하여 필요한 것은 주입식으로 얻은 지식이 아니라, 스스로의 힘으로 개념을 깨우친 지식이다. 질문식 강의에서는 지식을 전혀 배우지 않은 상태에서 그 지식을 처음 고안해 낸 과학자의 입장에서 그 지식에 대하여 생각하고 고민하게 되므로, 그 지식에 대한 깊은 이해와 개념을 터득하게 된다. 이는 실전 문제해결에 사용할 수 있는 산 지식이 된다. 그리고 이 지식을 습득하는 과정이 곧 사고력, 창의력 훈련으로 연결이 되기 때문에, 필자는 질문식 수업 방식이 훌륭한 공학인의 기본을 잡아줄 수 있는 공학 교육 방법이라고 생각한다.

학생들은 처음에는 새로운 수업방식에 어리둥절해하지만, 이러한 방식으로 수업을 몇 번하면 곧 적응하기 시작한다. 지난 몇 년간의 경험을 보면, 강의 내용을 설명할 때는 조는 학생은 종종 있지만, 문제를 내주었을 때 조는 학생은 거의 없었다. 학생들은 문제를 내주면, 그것이 점수에 반영되지 않더라도 최선을 다해서 풀려고 한다. 그렇지만, 가끔 두드러지게 사고를 잘해서 문제를 푼 학생을 체크하여 약간의 보너스 점수를 주면, 학생들의 경쟁 심리가 자극되어 수업 효과가 더 커진다.

필자가 확신하는 것은 어떤 지식을 가르칠 때, 그 지식을 학생 스스로 생각하여 터득하게 하는 것보다 더 좋은 교육은 없다는 것이다. 이해하기 어려운 지식을 선생이 완전히 소화하여 떠먹여주듯이 전달하는 교육보다는, 학생이 그 지식에 대한 사고를 통하여 스스로 소화하여 깨닫도록 하는 교육이 더 바람직한 것이다. 학생이 머리에 들어 있는 이전 지식을 끄집어내고 짜 맞추어 새로운 지식을 창출하도록 해야 하는 것이다. 학생이 배우는 새로운 지식은 이미 잘 확립된 것이지만, 학생은 마치 그것이 미해결인 문제인양 연구하듯이 스스로 해결하게 된다.

이와 같이 스스로 깊은 성찰을 통하여 진리를 깨닫도록 하는 교육은 지식에 대한 깊은 개념과 응용력을

제공할 뿐만 아니라 그 과정을 보다 쉽게 즐길 수 있게 된다. 스스로 문제해결을 통하여 지식을 터득하는 과정을 하나의 게임처럼 즐길 수 있게 되는 것이다. 무한한 도전 욕구와 재미를 느낄 수 있는 지식을 그 지식을 처음 만든 과학자들이 경험했던 것처럼 학생들에게 먼저 도전하고 생각할 기회를 주지 않고, 바로 설명을 하는 수업은 어떻게 보면 학생들에게 김빠진 맥주를 마시게 하는 것과 같은 것이다. 학생들에게 도전할 기회를 주지 않는다면 어떻게 학생들이 수업에서 재미를 느낄 수 있고, 자신의 잠재력, 사고력을 발휘할 수 있겠는가?

질문식 수업을 위해서는 교수는 가르칠 내용을 점검하고, 그 내용을 적절하게 문제화하고, 난이도를 조정하여 학생들이 재미있게 수업에 참여할 수 있도록 준비해야 한다. 문제의 적정 난이도를 조절하기 위해서는 교수도 많은 생각을 해야 하므로, 교수의 창의성이 요구된다. 칙센트미하이 교수는 "몰입의 즐거움"에서 몰입을 쉽게 경험하기 위해서는 다음의 3가지 조건이 필요하다고 하였다.6) 첫 째는 목표가 명확하여야 한다. 두 번째는 문제의 난이도가 적정하여야 한다. 세 번째는 결과의 피드백이 빨라야 한다는 것이다. 칙센트미하이 교수는 모든 종류의 게임이 이 세 가지를 만족하기 때문에 쉽게 몰입할 수 있고 재미를 느낄 수 있다고 하였다. 이러한 몰입의 즐거움의 원리를 이해하면, 학생들이 일종의 게임을 하듯이 강의에 재미있게 참여하면서 지식을 터득할 수 있는 질문식 수업을 계획할 수 있을 것이다.

논의를 마치기 전에 한 가지 이야기만 더 추가하고 싶다. 사고력을 향상시키는 교육은 빠를수록 좋다. 손가락으로 셈을 하는 어린이들에게 손가락을 사용하지 말고 셈을 해보라고 하면, 문제의 난이도가 급격히 올라가고 어린애는 고도의 사고를 해야 한다. 이러한 방식으로 아이가 싫증을 느끼지 않고 재미를 유지할 수 있도록 난이도를 조절하여 문제를 푸는 훈련을 시키면 아이의 사고력은 놀랍게 발전한다. 난이도를 적절히 조절하고, 적절한 칭찬을 하면, 아이는 문제를 또 내달라고 조를 정도로 재미를 느낀다. 필자는 이렇게 난이도 조절에 의하여 고도의 사고를 훈련하는 것을 어릴 때부터 시작하는 것이 바로 영재교육이라고 생각한다. 단순한 주입식 교육에 의한 선행학습은 아무리 어릴 때 시작해도 결코 영재교육이 될 수 없는 것이다.

결론적으로 지난 몇 년간 시도한 질문식 수업의 장점은 다음과 같다. 첫째, 거의 모든 수업에서 비교적 간단하게 적용할 수 있다. 둘째, 지식의 습득과 동시에 사고력과 창의력을 훈련할 수 있다. 셋째, 학생들이 내용을 쉽게 이해하고, 개념 파악을 더 잘 한다. 넷째, 학생들이 능동적으로 수업에 참여한다. 다섯째 학생들이 재미있어 한다.

[참고문헌]

1) 리처드 웨스트폴, 최상돈 역, "프린키피아의 천재", 2001, 사이언스북스

2) A. Calaprice Ed. The Expanded Quotable Einstein, 2000, Princeton University Press

3) J. Mehra, "The Beat of Different Drum", 1994, Oxford University Press

4) 미하이 칙센트미하이, 노혜숙 역, "창의성의 즐거움", 2003, 북로드

5) R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures on Physics, Vol. 2, 1964, Addison-Wesley Publishing Company

6) 미하이 칙센트미하이, 이희재 역, "몰입의 즐거움", 1997, 해냄

기획 : 이경우 편집위원(yikw@snu.ac.kr)