

## 몰입적 사고와 창의성 교육

글 \_ 황농문  
서울대학교 재료공학부 교수

### 1. 서론: 축적의 시간

2015년 9월에 『축적의 시간』이라는 책이 출간되었다.<sup>1)</sup> ‘서울공대 26명의 석학이 던지는 한국 산업의 미래를 위한 제언’이라는 부제가 말해주듯이, 이 책에서는 국내외 학계를 선도해왔고 활발한 산학협력 연구를 수행하여 산업계의 현실에 대하여 누구보다 많은 통찰을 제공해줄 수 있는 26명의 석학들이 우리 산업이 당면한 문제들을 진단하고 의견을 주었다.

이 책의 내용을 한마디로 요약하면, 우리 산업계는 현재 대단히 힘들지만 앞으로는 더욱 힘들어질 것이라는 것이다. 가장 큰 이유는 저가 인력과 저가 시장으로 세계의 공장이라 불리던 중국의 급속한 추격 때문이다. 중국이 빠른 속도로 성장하는 상황에서 우리가 할 수 있는 것은 더욱 높은 기술력으로 앞으로 나아가는 길 외에는 다른 방법이 없다. 그런데 일본이나 선진국의 기술적 우위를 따라가기에는 장벽이 너무 높다는 것이 문제이다. 선진국은 창의적이고 근본적으로 새로운 개념을 제시할 수 있는 역량, 즉 ‘개념설계’와 같은 역량을 갖고 있는데 우리는 이것이 턱없이 부족하다. 선진국의 ‘개념설계’와 같은 역량은 하루아침에 얻어진 것이 아니고 수많은 시행착오와 실패와 성공의 경험들이 모이고 쌓인 오랜 축적의 시간을 통해서 얻어진 것이다. 따라서 선진국의 높은 문턱을 넘기 위해서는 우리도 끊임없이 새롭고 창의적인 시도를 해야 하는데, 이를 위해서는 실패를 용인하는 문화가 정착되어야 하고 축적의 시간이 필요하다는 것이 이 책의 결

론이다.

그러나 문제는 시간이 없다는 것이다. 현재 중국의 추세를 보면 우리가 축적의 시간을 갖는 동안 중국은 이미 우리를 앞질러 있을 것이다. 어떻게 해야 하는가? 돌파구가 없어 보인다. 여기에 어려움이 있는 것이다. 중요한 문제이니만큼 깊은 고민을 해볼 가치가 있다. 이 문제와 관련하여 주목할 점은 중국의 빠른 경제성장의 영향을 거의 받지 않고 발전해가는 국가들이 있다는 것이다. 바로 이스라엘과 독일 등의 선진국이다. 이들 국가는 왜 그토록 높은 경쟁력을 갖는가? 그 핵심은 바로 교육 방식에 있다. 이들 국가의 특징은 오랫동안 사고력과 창의성을 중시하는 교육을 해왔다는 공통점을 가지고 있다.

유대인 교육으로 알려져 있는 이스라엘 교육은 가정과 학교에서 철저히 생각할 수 밖에 없도록 끊임없이 질문과 토론의 교육을 한다. 유대인 교육의 특징인 ‘하부르타 chavruta’ 방식은 학생 둘이 서로 마주보면서 토론과 논쟁을 하면서 공부하는 것인데 이러한 모습은 여러 차례 TV, 신문 및 잡지에 소개되었다. 이러한 창의성 교육이 노벨상을 휩쓸고 세계경제를 쥐락펴락하는 유대인의 저력을 만들었다는 것은 너무나 명백한 것이다.

이스라엘은 세계 최고의 ‘창업 국가’로 알려져 있다. 인구는 850만명 밖에 안되지만, 이스라엘에서 1년에 생겨나는 기업이 유럽 전체에서 생겨나는 기업보다 더 많고 나스닥 상장기업수가 유럽전체의 2배에 달한다.<sup>2)</sup> 인구 100만명 당 스타트업의 수로 따지면 이스라엘은 375개로

190개인 미국의 두 배이다. 국민 1인당 벤처펀드 규모가 세계1위이고 매년 수백개의 벤처기업이 창업되고 있다. 이스라엘 경제가 바로 창조경제인 것이다. 우리도 이러한 성공모델에 자극을 받아 창조경제를 시도했으나 별다른 성과를 이루지 못했다. 왜 이스라엘은 창조경제가 잘되는데 우리는 안될까? 그 이유는 명백하다. 창조경제의 주체는 사람이다. 창조경제를 하려는 구성원들이 창의성이 없다는 것이 문제다. 창의성이 없는 사람들이 모여서 창조경제를 한다고 하는데 그것이 과연 가능할까? 그러면 왜 창의성이 없을까? 그 이유 역시 명백하다. 대한민국 국민은 모두 주입식교육을 받았기 때문이다. 반면 이스라엘은 어린 시절 가정에서부터 창의성 교육을 시키고 학교에서도 강도 높은 창의성 교육을 한다. 그래서 이스라엘 국민들은 대체로 창의성이 높다. 창의성이 높은 구성원들이 모여서 경제활동을 하니 자연스럽게 창조경제가 되는 것이다.

제조업 경쟁력 세계 1위인 독일은 초고령 사회에 들어선 나라 가운데 유일하게 성장 잠재력이 높게 유지되고 국가경쟁력은 계속 올라가고 있다. 그러면 독일교육은 어떤가? EBS TV의 「지식채널e」에서 독일교육에 대하여 소개한 것에 의하면 초등학교 1년 동안 1부터 20까지의 덧셈과 뺄셈을 수없이 반복하는데, 방법을 가르쳐주지 않는다고 한다.<sup>3)</sup> 손가락을 사용하든 발가락을 사용하든 아이 스스로 해결할 때까지 어른들은 그저 지켜볼 뿐이다. 더디더라도 아이 스스로 생각해 자기만의 방법을 찾아야 한다고 생각하기 때문이다. EBS TV의 「세계의 교육현장: 무터킨더 박성숙씨의 독일교육 이야기」에 의하면 독일 학교에서는 예습이란 있을 수 없는 일이라고 한다.<sup>4)</sup> 교사가 앞으로 배울 내용을 가르쳐주는 방식으로 강의를 하는 것이 아니라 먼저 아이들에게 질문을 하여 스스로 생각하도록 유도하기 때문이다. 예를 들어 교사가 질문했을 때 예습한 아이가 답을 말해버리면 나머지 아이들이 생각할 기회가 없어질 뿐 아니라 교사가 준비한 1시간정도 생각할 수 있도록 준비한 몇 개의 질문을 10분도 안되어 다 써버리게 된다는 것이다.

## 2. 왜 창조형 인적자본 배출이 중요한가?

그렇다면 창의성 교육이 산업경쟁력 혹은 국가경제에 어떠한 영향을 미칠까? 이 문제에 대한 서울대 경제학과의 김세직 교수의 연구결과가 주목할 만 하다. 김세직 교수는 2007년 서울대 경제연구소 논문집에 '미래 성장동력으로서의 창조형 인적자본과 이를 위한 교육개혁'이라는 정책논문을 발표했다.<sup>5)</sup> 그는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 1967년부터 30년 동안 평균 8%대의 높은 고도 경제성장을 해오던 우리나라가 1997년부터 성장률이 추락하는 원인에 대하여 주목했다.<sup>6)</sup> 그는 지난 30년동안 세계에서 유래가 없을 정도의 고도성장을 할 수 있었던 이유는 바로 우리의 높은 교육열 때문이라고 하였다. 이때 우리의 산업은 선진국을 추격하고 모방하는 상황이었는데 이때는 주입식 교육에 의하여 배출되는 모방형 인재라도 큰 문제가 없었다. 그런데 우리 경제가 발전함에 따라 우리와 선진국의 기술 격차가 좁아지면서 창조형 인적자본이 필요하게 되었다. 그런데 우리는 창조형 인적자본을 배출할 노력을 전혀 하지 않았다. 이러한 상황에서 추격하는 중국과 앞서가는 일본 사이에 끼여 경제성장의 동력을 잃어버렸다. 이러한 요소가 1997년부터 경제성장률이 하락한 주요 원인이라는 것이다.

그는 한국경제의 성장률이 급격히 하락한 주요한 원인이 한국의 성장동력이 더 이상 모방형 인적자본에 있지 않고 창조형 인적자본에 있기 때문이며, 한국이 빠른 경제성장을 피하기 위해서는 창조형 인적자본을 육성하는

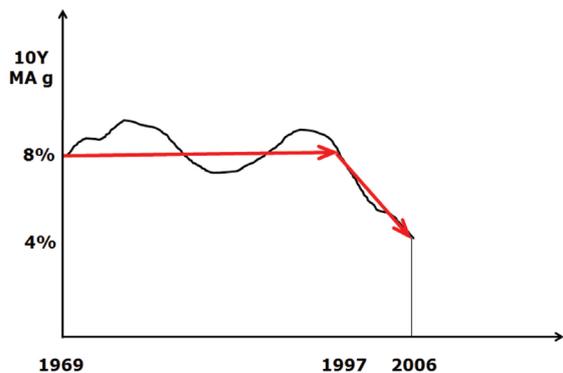


Fig. 1. 1969년 이후 경제성장률의 변화<sup>6)</sup>

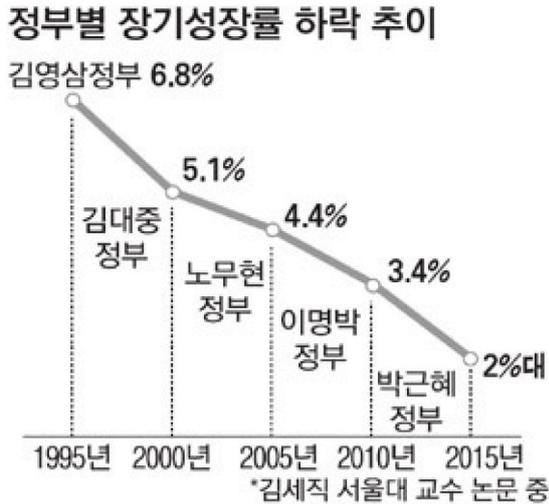


Fig. 2. 정부별 장기성장률 하락 추이<sup>7)</sup>

교육개혁을 조속히 실행해야 한다고 주장하였다. 이를 위한 여러 교육개혁의 방안들을 제시하였는데 특히 창조적 인적자본의 육성을 담당할 강력한 교육개혁기구의 설치가 필요하다고 하였다.

그 동안 어떤 정부에서도 이 논문에 주목하지 않았다. 이 논문이 발표된 지 거의 10년이 지난 지금 그는 서울대 경제연구소 논문집에 ‘한국경제: 성장 위기와 구조 개혁’이라는 제목의 또 다른 논문을 발표했다.<sup>6)</sup> 이 논문에서 그는 7~8%의 고도성장을 구가하던 한국경제는 1997년 외환위기 이후 장기성장률이 매 5년마다 1%씩 추락하여 현재 2%대를 통과하고 있는 것으로 보이며, 이 추세가 지속 되면 수년 내에 0%대로 추락할 가능성도 배제할 수 없다고 하였다. 이러한 경제성장률 하락 추이를 보여주는 그의 논문에서 소개한 데이터가 2016년 6월 30일자 매일경제에 관련내용과 함께 Fig. 2와 같이 기사화되었다.

즉, 경제성장률이 김영삼 정부에서 6%대, 김대중 정부에서 5%대, 노무현 정부에서 4%대, 이명박 정부에서 3%대 그리고 현 정부에서 2%대라는 것이다. 이처럼 갈수록 어려워지는 경제 상황을 타개하기 위한 구조개혁의 핵심으로서 그는 ‘창의성’과 ‘경쟁 인프라’를 강조하였다. 우리의 제조업 가동률은 지금 IMF 외환위기 때보다 더 낮은 수치를 기록하고 있다.

### 3. 창의성이란?

창의성이란 과연 무엇일까? 위키피디아에 의하면 동서양을 막론하고 고대에서는 오늘날 창의성에 해당하는 개념이 없었다고 한다.<sup>8)</sup> 서양에서도 르네상스 이전까지는 창의성은 인간에 의하여 얻어진 것이 아닌 신이 준 영감이라고 믿었다. 창조를 한다는 것은 신이 하는 것이지 피조물인 인간이 하는 것이 아니라는 것이다. 간혹 창의성을 발휘하는 사람들이 있는데, 이는 수호신을 통해 신의 영감이 전해진 것이라고 믿었다. 이 수호신을 그리스 시대에는 다이먼daemon이라고 하였다. 소크라테스도 수호신 다이먼이 그에게 지혜를 알려준다고 믿었다고 한다.

이러한 수호신을 로마시대에는 게니어스genius라고 하였다. 모든 것을 신이 창조했다는 믿음에서 인간 중심의 사상으로 바뀐 르네상스가 되어서야 genius가 신의 영감을 전하는 수호신이 아니고 탁월한 개인 안에 존재할 수 있다고 믿기 시작하였고, 이러한 개인을 오늘 날 천재genius라고 부르게되었다. 창의성이 신이 준 영감이 아닌 탁월한 개인의 능력이라는 믿음이 보편화된 것은 계몽주의 시대에 이르러서다. 창의성이 신이 준 영감이 아닌 개인의 능력이라는 사실이 알려지자, 그렇다면 창의성을 발달시키려면 어떻게 교육을 해야 할까에 대한 본격적인 고민을 하기 시작한 것이 1950년대이다. 따라서 서양에서의 창의성 교육이 본격적으로 시작된 것도 아주 오래 전 일이 아니다.

### 4. 창의성 교육의 효과

오늘날 이해되고 있는 창의성 교육이란 지적인 도전을 주어 생각을 유도함으로써 사고력을 높이는 교육이라 할 수 있다. 쉽게 말하면 창의성 교육이란 두뇌를 발달시키는 교육이다. 이는 최근 뇌과학의 발달로 지적인 능력이 예전에 생각했던 것보다는 훨씬 더 후천적이라는 사실과 함께 매우 중요한 의미를 갖는다. 창의성에 대한 개념이 발달하지 않았던 고대에서도 오늘날 창의성 교육과 비슷한 개념을 가지고 교육한 사람들이 있는데 대표적인 사람이 바로 소크라테스다. 소크라테스의 교육

법은 주로 질문을 매개로 이루어졌는데 이를 소크라테스식 문답법, 혹은 산파술이라고 부른다. 소크라테스의 산파술은 『메논』에 잘 소개되어 있다.<sup>9)</sup> 소크라테스는 귀족 메논에게 아무런 가르침도 받지 못한 그의 노예가 소크라테스의 단계적인 질문에 차근차근 대답을 하면서 이전에 배우지 않았던 내용을 스스로 깨우치게 됨을 보여준다. 이러한 교육은 가르칠 내용을 자세히 설명해주어 지적도전의 요소가 적은 교육 방식과는 다르다. 가르치기 전에 적절한 질문을 순차적으로 함으로써 학생 스스로 생각을 통하여 터득하게 된다는 점에서 지적인 도전의 요소가 있어 사고력을 발달시킨다는 점에서 창의성 교육이라고 할 수 있다. 소크라테스의 이러한 교육을 받은 제자 중에 뛰어난 철학자들이 많이 배출되었는데 이는 창의성 교육의 결과라 할 수 있다.

동양에서는 공자가 창의성 교육을 한 것으로 보여진다. “배우기만 하고 생각하지 않으면 얻는 것이 없고, 생각만 하고 배우지 않으면 위태롭다.”라는 그의 말에서 나타나듯이 그는 결코 주입식 교육을 하지 않았다. 그는 생각과 배우기 중 어느 하나에 치우치기 보다는 둘을 균형있게 발전시킬 것을 강조했다. 그 결과 맹자를 비롯한 수많은 훌륭한 제자들이 배출된 것으로 보인다.

유대인도 2천년 가까운 세월을 나라 없이 세계 각지에 흩어져 살았지만, 지적인 도전을 유도하는 질문식, 토론식 교육으로 철저한 창의성 교육을 했다. 이러한 교육이 2014년까지 194명의 유대인 노벨상 수상자를 배출한 결과를 만든 것이라 할 수 있다.

질적 공리주의를 주창한 영국의 존 스튜어트 밀은 어린 시절 정규학교에 다니지 않고 아버지에게 교육을 받았다. 그의 자서전에서 아버지로부터 받은 교육이 그 당시 정규학교에서의 전형적인 주입식 교육과 어떻게 다른지 다음과 같이 소개하고 있다.<sup>10)</sup>

*그러나 내가 받은 교육은 그런 주입식 교육이 아니었다. 아버지는 무엇이든 배움이 단지 기억력 훈련이 되는 것을 절대 허락하지 않았다.*

*그는 배우는 모든 단계를 이해하도록 힘썼을 뿐 아니라 가능하면 가르치기에 앞서 내가 스스로 이해하게 하려*

*고 노력했다.*

*나 스스로 해답을 찾기 위해 온 힘을 다하기까지는 절대로 미리 알려주지 않았다.*

이처럼 존 스튜어트 밀의 아버지는 밀에게 심오하고 난해한 철학고전을 읽고 이해가 가지 않는 부분을 스스로 생각하도록 유도했다. 밀의 아버지 교육은 전형적인 지적도전의 교육이고 창의성 교육이었던 것이고, 밀의 천재성은 이러한 교육의 결과라고 할 수 있다. 존 스튜어트 밀의 독서에 의한 창의성 교육의 효과는 1929년 시카고 대학의 총장으로 부임된 로버트 허친스에 의하여 다시 확인되었다. 그는 설령 바보일지라도 존 스튜어트 밀 식 독서법을 충실히 따른다면 천재적인 두뇌를 가진 인재로 변화될 수 있다고 믿었다. 허친스 총장은 시카고 대학을 세계 명문 대학으로 키우겠다는 야심을 품고서 ‘시카고 플랜’을 도입했다. ‘The Great Books Program’이라고 알려진 이 프로그램에서는 대학을 졸업할 때까지 100권의 철학고전을 철저히 마스터하도록 한다. 이러한 프로그램의 도입으로 1929년까지 소문난 삼류학교였던 시카고 대학을 1929년부터 2010년까지 총 81명의 노벨상 수상자를 배출한 명문대로 탈바꿈시킨 것이다.

## 5. 헝가리 현상 Hungarian Phenomenon

교육의 효과는 수 십 년 후에 나타나기 때문에 어떠한 교육이 어떠한 효과를 만드는지에 대한 상관관계를 추적하기 힘들다. 교육이 중요하다고는 알고 있지만 어떻게 교육해야 좋을지를 모르는 이유가 바로 여기에 있다. 그러나 특정 기간에 특정 장소에서 다수의 뛰어난 창의적 인재가 배출되는 경우가 있다. 이러한 경우는 어떠한 교육이 어떠한 효과를 주었는지에 대한 상관관계를 도출할 수 있기 때문에 대단히 중요하다. 이와 같은 일이 1900년대 초 1차대전 전후로 대략 20년 동안 헝가리 부다페스트에서 일어났다.<sup>11)</sup> 당시 뛰어난 과학자와 수학자가 대단히 많이 배출되었다. 이때 배출된 일부 과학자와 수학자를 Table 1에 소개하였다. 18명의 뛰어난 과학자와 수학자가 배출되었고, 이중에 노벨상 수상자만 6명이고 Wolf

상 수상자가 2명이다. 이 특별한 사례를 헝가리 현상 Hungarian Phenomenon이라고 부른다.

이때 과연 어떠한 교육이 이러한 성과를 만들었는지에 주목할 필요가 있다. 여러 요인이 있겠지만, 교육학자들은 두 가지가 커다란 역할을 했을 것으로 생각한다. 하나는 일종의 수학 경시대회인 Eötvös Contests이다. 이 경시대회는 1894년부터 헝가리에서 고교과정 마지막 해 10월에 실시되었다. 책이나 노트는 원하는 만큼 지참할 수 있게 허용하는 소위 오픈북open book 형태의 시험이다. 주체 측은 주어진 시간 안에 가장 훌륭한 풀이를 한 답안을 골라 1등과 2등을 선발하였다. 문제를 푸는데 필요한 사전지식은 2차방정식, 평면기하, 그리고 삼각법에 대한 일

부이다. 시험의 목적은 지식의 양을 테스트하려는 것이 아니고 깊이를 테스트하는 것이었고 지식보다는 창의성을 테스트하는 것이었다.

다른 하나는 고등학교 수학저널인 KöMal이다. 이 저널의 특징은 6개에서 8개의 문제가 매달 주어진다는 것이다. 학생들의 연령대를 몇 개로 나누어 문제의 난이도를 각 연령대에 맞게 차별화하였다. 가장 좋은 풀이와 답안을 쓴 학생이 선발된다. Eötvös Contests는 상대적으로 짧게 주어진 시간 안에 문제를 풀어야 하지만, KöMal에 소개된 문제는 시간이 충분이 주어지기 때문에 빨리 푸는 것이 중요하지 않다. 문제를 풀기 위하여 오랜 시간 생각을 해야 하는 것이다. 도전적인 학생들은 매월 KöMal에

Table 1. 어린 시절부터 10대까지 부타페스트에서 교육받은 저명인사들<sup>1)</sup>

이름	출생년도	주요 업적
L. Fejér	1880	발산 급수와 특이 적분 이론 창시자 중의 한 명
F. Riesz	1880	함수 해석 창시자 중의 한 명
T. von Kármán	1881	현대 공기역학과 초음속 비행의 창시자
A. Haar	1885	그의 이름을 딴 Haar 측도는 위상군에서 핵심 개념 중에 하나임
G. de Hevesy	1885	노벨화학상, 원소 Hf 발견
G. Pólya	1887	수학 교육에서 문제해결 방법을 스스로 발견하게 하는 발견적 교수법의 창시자, Pólya 계수 정리
A. Szent-Györgyi	1893	노벨의학상
L. Szilard	1898	선형가속기 발명, 전자현미경 발명, 핵분열 발명, 원자폭탄의 아버지라 불림
G. von Békésy	1899	노벨의학상
D. Gábor	1900	홀로그래피 창시자, 노벨물리학상
E. P. Wigner	1902	노벨물리학상
J. von Neumann	1903	컴퓨터와 게임이론 창시자, 그의 업적은 집합론에서 원자폭탄 설계까지 다양하다.
E. Teller	1908	수소폭탄 발명
P. Erdős	1913	Wolf상 수상, 미해결된 수학문제를 찾아 전세계를 누비며 돌아다닌다 하여 방랑수학자로 알려져 있고 남들은 평생 한편 쓰기 힘든 수준의 수학논문을 수많은 공동연구자와 1500편 이상 발표
J. C. Harsányi	1920	노벨경제학상
J.G. Kemeny	1926	베이직 프로그램 언어 창시자
P.D. Lax	1926	Wolf상 수상
G. A. Oláh	1927	노벨화학상

출제된 문제를 애타게 기다렸다고 한다.

주목할 점은 이때 배출된 대부분의 뛰어난 과학자와 수학자들이 유대인이었다는 것이다. 유대인들은 어린 시절부터 하브르타 교육을 받으므로, 이들은 모두 하브르타 교육으로 지적인 도전을 받았을 것이다. 그런데 Eötvös 경시대회를 준비하기 위해서는 더 큰 지적 도전을 하였을 것이다. 그리고 KöMal에 소개된 문제를 풀려면 몇 일 이상 심지어는 몇 주를 끙끙대면서 생각을 해야 하므로 대단히 큰 지적 도전을 한 것이다. 이러한 크고 작은 지적 도전의 반복된 경험이 이들의 창의성을 발달시킨 것으로 보인다.

## 6. 위대한 창의적인 업적을 낸 인물들의 공통점

뉴턴은 만류인력을 어떻게 발견했느냐는 질문을 받고, “내내 그 생각만 했으니깐.”라고 대답했다.<sup>12)</sup> 그는 어떤 문제를 발견하면 몇 시간, 몇 일 그리고 몇 주일이고 쉬지 않고 생각해서 결국 해결했다고 한다. 케인즈이론으로 유명한 경제학자 케인즈에 의하면 뉴턴의 특별한 재능은 문제를 풀 때까지 계속 끈질기게 그 문제를 머리에 담아두는 능력이었다고 한다.<sup>13)</sup> 아인슈타인은 “나는 몇 달이고 몇 년이고 생각하고 또 생각한다. 그러다 보면 99번은 틀리고 100번째가 되어서야 비로서 맞는 답을 얻어낸다.”고 하였다.<sup>14)</sup> 진화론을 제창한 다윈은 “내가 과학에서 성취한 어떤 것이건 오로지 끈질기게 열심히 오랫동안 생각한 결과이다.”라고 말했다. 그 역시 문제가 풀리지 않으면 몇 년이고 생각했다고 한다.<sup>15)</sup>

과학분야의 노벨상은 창의적인 업적을 낸 과학자들에게 수여한다. 그러면 노벨상수상자들도 몰입적인 사고를 했을까? 1998년 노벨생리의학상을 수상한 루이스 이그너로는 2006년 한국을 방문했는데, 노벨상을 받으려면 어떻게 해야 하나냐는 기자의 질문에 “일주일 내내 24시간, ‘왜, 어떻게’가 머리를 떠나지 않고, 해답을 얻었을 때 보상을 받았다고 생각하는 열정이 있어야 한다.”고 답했다.<sup>16)</sup>

1967년 노벨물리학상을 수상한 한스 베테는 무엇이 그를 유명하게 만든 물리문제를 풀도록 했느냐는 질문에

음과 같이 답했다.<sup>17)</sup> “두 가지가 요구됩니다. 하나는 머리죠. 그리고 두 번째는 분명 아무런 결과도 나오지 않을 수 있는 문제에 매달려서 기꺼이 오랜 시간을 생각하면서 보내는 것입니다.”

1954년 노벨화학상 그리고 1962년 노벨평화상을 수상한 라이너스 폴링은 그의 60회 생일파티 때 한 학생이 어떻게 하면 좋은 아이디어를 생각해낼 수 있느냐는 질문에 다음과 같이 답했다.<sup>17)</sup> “많은 생각을 하고 그 중에서 나쁜 걸 버리게.”

미국 최초 여성 노벨상 수상자인 바버라 매클린턴은 1983년 옥수수를 연구하면서 유전자 전이를 발견한 공로로 노벨생리의학상을 수상하였다. 그녀는 연구할 때의 경험을 다음과 같이 회상하였다.<sup>18)</sup> “옥수수를 연구할 때 나는 그것들의 외부에 있지 않았다. 나는 그 안에서 그 체계의 일부로 존재했다. ... 나는 종종 나 자신을 잊어버렸다. 가장 중요한 것은 바로 이것, 내가 나 자신을 잊어버렸다는 것이다.”

1965년 노벨물리학상을 수상한 리처드 파인만은 자신은 물리랑 논다는 표현을 쓰곤 하였다. 또한 물리는 그의 유일한 취미이고 일이자 오락이었고 그는 항상 물리에 관한 문제를 생각한다고 했다.<sup>19)</sup> 그의 자서전 『파인만씨 농담도 잘하시네!』에는 그의 이러한 모습이 잘 나타나있다.<sup>20)</sup>

*전에는 레스토랑으로 가는 길에 순경에게 잡히는 일이 종종 있었다.*

*나는 생각하면서 걷다가 가끔 한 번씩 멈춰 선다.*

*너무 어려운 것을 생각하다 보면 걸을 수가 없다.*

*이때는 멈춰 서서 해결될 때까지 기다려야 한다.*

*그래서 가끔씩 멈춰 서는데, 어떤 때는 손을 공중에 내저으면서 혼잣말을 한다.*

*“이것들 사이의 거리는 이렇고, 그러면 이것은 이렇게 되고.....”*

*거리에 서서 팔을 휘두르다 보면, 순경이 다가온다.*

*“이름이 뭐니까? 어디에 살아요? 지금 뭐하고 있습니까?”*

*“아! 생각하고 있었어요. 미안합니다. 나는 이 동네에*

살고, 레스토랑에 자주 가죠.....”

좀 지나자 순경들이 나를 알아보고 다시는 잡지 않았다.

2008년 노벨물리학상을 수상한 교토 산업대 교수인 마스카와 도시히데는 문무과학성 장관과 과학기술성 장관을 만난 자리에서 일본 평균화 교육을 신랄하게 비판했다.<sup>21)</sup> “대학들이 학생 선발시험에서 깊이 생각할 필요 없는 쉬운 문제만 내고 있다. 이렇게 해서는 생각하지 않는 인간을 만들어낼 뿐이다.”라는 것이다.

내가 고등학생 시절에는 대학입시 본고사가 있었기 때문에 어려운 수학문제를 풀어야 했다. 그 당시 일본 대학입시문제를 풀곤 했는데 어렵기로 소문이 났었다. 보통 90분의 시험시간에 3문제가 나오는데, 문제 하나하나가 경시대회 문제 못지 않게 어려웠다. 일본은 학교에서는 우리처럼 주입식 교육을 하지만, 본고사가 있던 시절에는 학생들이 어려운 수학문제에 대한 지적 도전을 하는 공부를 했기 때문에 창의성 학습이 자연스럽게 유도되었을 것이다. 그 결과 일본에서 노벨상 수상자가 많은 것이 아닐까라는 생각을 해본다. 특히 앞서 소개한 헝가리 현상 Hungarian Phenomenon을 고려하면 더욱 그렇다.

### 7. 몰입적 사고 Immersive Thinking

내가 몰입을 경험하게 된 계기는 “어떻게 살아야 죽을 때 후회가 없을까?”에 대한 오랜 고민 끝에 내 두뇌를 풀가동하면서 살아야 한다는 결론을 내리고 이를 실천하면서다. 연구를 하다가 잘 모르는 것이 나오면 예전에는 조금 생각하다가 포기하고 넘어갔지만, 그때부터 1초도 쉬지 않고 생각하였다. 걸어가면서도, 운전을 하면서도, 식사를 하면서도 샤워를 하면서도 의도적으로 생각의 끈을 놓지 않으려고 노력했다. 그러던 어느 날 내 의식이 다른 생각이 일체 없이 온통 그 생각으로만 가득 채워진 몰입 상태를 경험했다. 또한 생각의 끈을 놓지 않는 한, 이 몰입 상태를 내가 원하는 만큼 오래 유지할 수 있다는 것도 알게 되었다.<sup>22)</sup>

이러한 몰입 상태에서는 기적과 같은 창의적인 아이디어가 매우 높은 빈도로 떠올랐다. “내가 이런 생각을 어

떻게 했지?”라고 느껴지는 창의적인 아이디어가 수시로 떠오르는 것이다. 마치 내 머리가 갑자기 슈퍼 두뇌가 된 것처럼 문제와 관련된 수많은 사실들이 동시에 머리에 떠있다가 서로 연결이 되면서 수시로 창의적인 아이디어가 나오는 것이다. 뿐만 아니라 기분도 좋아서 이 상태에서 몇 주일 있으면 마치 천국에 사는 기분이었다. “이렇게 재미있는 일을 해도 월급 받아도 돼나?”라는 생각이 들 정도였다.

인위적인 노력으로 내 두뇌를 고도로 창의적인 상태로 만들 수 있다는 것을 알게 된 후, 재료분야에서 수십년 이상 미해결로 남아있던 난제에 도전을 하였다. 예를 들면, 세라믹스에서의 비정상입자성장 메카니즘, 금속에서의 2차재결정 메커니즘, 다이아몬드 박막 증착 원리, 단분산 나노입자 생성원리와 같은 문제에 도전하였다. 50년 이상 미해결문제로 남아있던 세라믹스의 비정상입자성장 과 금속의 2차재결정 원리를 해결하는 데는 몇 개월이 걸렸고, 단분산 나노입자 생성원리는 1주일이 걸렸고, 다이아몬드 박막 증착 원리는 1년 6개월이 걸렸다. 다이아몬드 박막이 원자에 의하여 증착된다는 종래의 믿음이 잘못되었고, 하전된 나노입자에 의하여 성장한다는 하전된 나노입자이론을 제안하였는데, 이는 화학증착이나 물리증착에 의하여 제조하는 거의 모든 박막이나 나노구조에 적용되는 일반 이론임을 밝히고, 최근에는 이를 정립하여 “Non-Classical Crystallization of Thin Films and Nanostructures in CVD and PVD Processes”라는 제목의 책을 Springer사를 통하여 출판하였다. 이 책을 읽어보면 알 수 있겠지만, 나는 이 분야에서는 선진국 학자들보다 수십년 앞서가고 있다고 자부한다.

종래의 연구방식으로는 평생을 노력해도 풀 수 없는 난제들을 몰입적인 사고를 통해서 짧은 기간에 푸는 것을 반복적으로 경험한 후 “위대한 창의적인 업적을 이룬 인물들이 혹시 몰입적인 사고를 한 것이 아닐까?”라는 의문을 갖고 이에 관하여 조사를 했다. 그런데 놀랍게도 앞서 소개한 것과 같이 그들 역시 한결같이 몰입적인 사고를 했다는 사실을 발견하였다.

## 8. 창의적인 아이디어가 생기는 원리

왜 생각을 지속하면 항상 창의적인 아이디어가 나올까? 평소에는 창의적인 아이디어가 쉽게 얻어지지 않는다. 그런데 몰입 상태만 되면 창의적인 아이디어가 쏟아진다. 창의적인 아이디어는 거의 모든 분야에서 중요하다. 따라서 그 생성원리를 밝히는 것은 대단히 중요하고 가치있는 일이다.

몰입도가 떨어진 상태에서 1초도 쉬지 않고 생각하는 것을 지속하여 몰입 상태에 도달하는데 꼬박 3일이 걸린다. 내가 말하는 몰입 상태란 그 문제를 생각하다가 잠이 들었다가 깨어날 때 그 문제에 대한 생각과 함께 깨어나는 상태이다. 잠에서 깨어날 때 “그 문제를 생각해야지!”라고 한다면 아직 몰입 상태에 들어간 것이 아니다. 내가 말하는 몰입과 불교 화두선 혹은 간화선에서 말하는 ‘삼매’와 비슷한 점이 많다. 깊은 잠 속에서도 화두만 생각하는 상태를 간화선에서는 숙면일여라고 한다.

경험적인 특징은 몰입도를 올리는 과정에서는 전혀 이렇다 할 아이디어가 떠오르지 않다가 일단 숙면일여 상태가 되면 어김없이 창의적인 아이디어가 높은 빈도로 떠오른다. 그러면 그 아이디어를 노트에 적고, 그 아이디어가 어떠한 과정으로 떠올랐는지에 대하여 생각해본다. 그런데 중간과정이 없다. 그냥 그 순간 운이 좋아서 갑자기 떠오른 것이다. 몇 달간 계속 아이디어가 생기는 원리를 추적했는데, 항상 똑같았다. 중간과정이 없이 우연히 혹은 갑자기 떠오르는 것이다. 창의적인 아이디어는 이러한 ‘세렌디피티serendipity’의 특징을 갖고 있었다.

그러던 중 특별한 경험을 했다. 대단히 중요하다고 느껴지는 아이디어가 떠오르는 순간이었다. 그 아이디어가 대단히 중요하다는 것을 알고 있었지만 아직까지처럼 희미한 채 구체적인 내용은 몰랐다. 바로 그 순간 열려져 있던 내 사무실 문에 누군가가 나를 만나러 왔다. 그를 맞이하려고 고개를 돌리면 아직까지 같은 상태에 있는 그 중요한 아이디어를 놓칠 것 같았다. 그래서 고개를 돌리지 못하고, 잔뜩 긴장한 채 그 아이디어에 대한 생각의 끈을 놓지 않으려고 노력했다. 잠시 후 그 아이디어의 내용이 구체적으로 떠올랐다. 그래서 노트에 적고 고개를 돌리니

그 사람은 가고 없었다. 아마도 자신이 나를 만나러 온지 뻔히 알면서도 고개조차 돌리지 않으니 기분이 나빠 가버렸을 것이다. 지금도 그가 누군지 모른다. 그래서 사과할 기회도 없다. 그럼에도 이러한 경험이 아이디어의 생성원리에 관한 결정적인 힌트를 제공했다.

이는 무엇을 의미하는가? 어떻게 아이디어의 내용도 모르면서 그것이 중요한지를 알 수 있었을까? 이는 그 아이디어가 그 당시 생긴 것이 아니라는 것을 말해준다. 훨씬 이전에 생긴 것이다. 기억이 나지 않고 있다가 그 순간 기억으로 떠오르는 상태였던 것이다. 그러면 언제 그 아이디어가 생긴 걸까? 이에 대한 답은 쉽게 찾을 수 있었다. 바로 잠잘 때 생긴 것이다.<sup>22)</sup> 나는 하루 일과가 끝나면 테니스 단식을 한 게임 치고 집으로 돌아와 샤워를 하고 가족과 식사를 하고 소파에 앉아서 문제를 생각하다가 9시 이전에 가족들보다 먼저 잠자리에 간다. 그리고는 거의 어김없이 새벽 12시와 1시 사이에 아이디어와 함께 잠을 깬다. 떠오른 아이디어를 적으려고 일어나는데, 그때부터 아이디어가 쏟아진다. 이때부터 다시 잠들 때까지 대략 30분에서 2시간동안 하루 중에 가장 높은 빈도로 창의적인 아이디어가 나온다. 아이디어를 기록하는 노트를 보면, 이때 얻어지는 아이디어가 낮에 하루 종일 얻어지는 아이디어보다 더 많은 경우가 많다.

그래서 경험적으로 잠을 자고 나면 아이디어가 잘 나온다는 것을 알고 있어서, 생각을 하다 졸음이 오면 좋은 징조라 생각하고 즉시 선잠을 자거나 잠자리에 들었다. 자는 동안 우리 뇌에서 어떤 일이 일어나는지 궁금한 나머지 잠잘 때 우리 뇌가 어떻게 달라지는지에 대한 문헌조사를 하기 시작했다. 그러다 알게 된 책이 하버드 대학의 수면에 대한 세계적인 석학 알랜 홉스Allan Hobson 교수가 쓴『Dreaming』을 번역한 『꿈』이다.<sup>23)</sup> 이 책에서는 우리 뇌가 잠들 때와 깨어있을 때 어떻게 다른지 잘 설명되어 있다.

잠이 들면 최근 기억을 저장하는 능력이 현저히 떨어진다. 기억을 저장하는데 필요한 도파민, 세로토닌, 노르에피네프린과 같은 아민성 물질의 양이 수면 중에는 현저히 감소하기 때문이다. 우리는 램(REM, Rapid Eye Movement)수면 중에는 항상 꿈을 꾸기 때문에 잠을 자

는 동안 여러 번의 꿈을 꾸는데, 아침에 일어나면 모두 다 잊어버리고 깰 때 곧 꿈만 기억한다고 알려져 있다. 잠을 자는 동안 기억을 저장하는 능력에 관한 한 우리 뇌는 거의 백치에 가까운 것이다.

기억의 인출과 관련된 신경전달물질로는 아세틸콜린이 있다. (참고로 치매는 아세틸콜린계가 망가져 기억의 인출능력이 현저히 저하되는 병이다.) 아세틸콜린은 수면 중에 많아지는데 특히 램REM 수면 중에 최대가 된다. 잠이 들면 전두엽이 비활성화되고 아세틸콜린의 분비가 많아져 기억의 표상을 저장하는 네트워크의 억제해소로 의식의 깊은 곳으로의 접근이 가능하고 장기기억들이 쉽게 연결된다. 즉, 장기기억의 인출능력과 연결능력이 현저히 고양되는 것이다. 창의적인 아이디어는 해결하려는 문제와 관련된 장기기억의 인출과 연결의 문제이므로 잠들 때 창의성이 고양될 것임을 알 수 있다.

따라서 매일 밤 잠이 들 때 누구나 창의성이 고양되는 천재의 뇌를 갖는 것이다. 그런데 문제는 잠이 들면 전두엽이 비활성화가 되어 문제의식이 없어진다는 것이다. 그래서 천재의 뇌를 활용할 수 없다. 숙면일여가 되어야만 깊은 잠이 들어서도 문제를 풀려는 생각을 하고, 이때 문제와 관련된 의식 깊숙이 자리잡은 장기기억이 연결되고 인출되어 창의적인 아이디어가 만들어지는 것이다. 그런데 잠든 상태에서는 기억의 저장능력이 약하므로 아침에 일어나면 잠잘 때 떠올랐던 대부분의 아이디어들을 기억하지 못하는 것이다. 그러다 낮에 가끔씩 떠오르며 나는 그것을 우연히 떠올랐다고 생각하는 것이다. 이러한 뇌과학 지식을 기반으로 숙면일여가 되면 창의적인 아이디어가 쏟아지는 경험이 가장 잘 설명되는 것 같다.

위대한 발견이나 발명이 수면 중에 얻은 핵심적인 아이디어를 통해 이루어졌다는 일화는 너무도 많다.<sup>24)</sup> 프리드리히 켈레는 벤젠의 육각형 고리 모양을 꿈속에서 힌트를 얻었다. 아세틸콜린을 발견한 공로로 노벨상을 수상한 오토 뢰비도 꿈속에서 아이디어를 얻었다. 멘델레프도 꿈속에서 원소의 배열표를 보고 주기율표를 완성했다. 꿈속에서 영감을 얻은 소설가로는 『지킬박사와 하이드』를 쓴 루이스 스티븐슨, 『변신』을 쓴 카프카, 『검은 고양이』를 쓴 에드거 앨런 포, 『해리포터』를 쓴 조안 롤링,

『개미』를 쓴 베르나르 베르베르 등이 있다.

최근 뇌과학에서 잠이 든 상태에서 창의성이 고양된다는 것은 정설이 되었다.<sup>25)</sup> 다만 창의성을 발휘하는데 어떠한 수면 단계가 중요하냐에 관해서는 의견 차이가 있어 보인다. 미국 UC 산디에고의 사라 매드닉 Sara Mednick 교수는 창의적인 문제해결능력이 램수면시 극대화된다고 주장하는<sup>26)</sup> 반면 독일 뉘른베르크 대학의 신경과학자 쟈 본 교수는 창의성이 전반부 수면에서 극대화된다고 주장한다.<sup>25)</sup> 깨어있는 동안 학습활동에 의해 얻어진 단기기억이 장기기억으로 변환되는 것은 꿈을 꾸지 않는 넌램non-REM 수면 중에 일어나는데, 이러한 변환의 대부분은 전반부 수면 중에 일어난다고 한다. 쟈 본 교수의 주장은 나의 몰입 경험과 일치한다. 아이디어가 가장 많이 나올 때가 3~4 시간 잔 후에 새벽에 일어날 때이고 다시 잠이 들어 아침에 일어나면 아이디어가 그다지 많지 않다. 그래서 나는 창의적인 아이디어를 얻고자 하는 사람들에게 한 일주일간은 오로지 그 생각만하면 그 이후부터는 숙면일여 효과가 나타나므로 밤에 잠자리에 든 후 3~4 시간 후에 일어나도록 자명종을 맞추어 놓으라고 제안한다.

### 9. 창의성 교육

우리가 뉴턴이나 아인슈타인의 머리를 가질 수는 없다. 그러나 이들이 했던 몰입적인 사고는 적절한 교육이나 훈련을 받으면 누구나 따라 할 수 있다. 내 경험에 의하면 이들의 몰입적인 사고를 따라 하기만 해도 충분히 창의적이 될 수 있다. 창의적인 아이디어는 단지 생각하는 시간의 문제이다. 포기하지 않고 충분히 오랜 시간 생각할 수 있는 능력을 길러야 하는 것이다. 10분을 생각해서 얻은 아이디어보다 1시간 생각해서 얻은 아이디어의 창의성이 더 높고, 이보다는 하루 종일 생각해서 얻은 아이디어의 창의성이 더 높고, 이보다는 일주일 내내 생각해서 얻은 아이디어의 창의성이 더 높을 것이다. 즉 충분히 오래 생각하면 누구나 창의적인 아이디어를 얻을 수 있다. 창의적인 아이디어를 얻는 것은 이처럼 명확하고 단순하다. 그런데 무엇이 문제인가?

조지 버나드 쇼는 이렇게 말했다. “일년에 두세번 생각

하는 사람도 거의 없다. 나는 일주일에 한번 생각을 해서 세계적인 명성을 얻었다.” 또한 버트란트 러셀은 “사람들은 생각하기를 죽기보다도 싫어한다.”라고 하였다. 이 말이 글자 그대로 사실이다. 몰입적인 사고의 위력을 수없이 체험한 나는 대학원 지도학생들에게 생각하는 것을 엄청나게 강조한다. 몰입적인 사고를 열심히 실천한 학생들은 놀라운 성과를 내고 나를 깜짝깜짝 놀라게 만든다. 그리고 졸업해서 산업체나 연구소에서 일하면서 수많은 문제들을 해결하고 괄목한 성과를 얻는다. 이 상관관계는 너무나 높다. 그런데 내가 만족할 정도의 몰입적인 사고를 실천하는 학생은 10%도 안된다. 심지어 아무리 생각을 하라고 이야기해도 전혀 생각을 하지 않는 학생들도 많다.

그래서 깨달은 사실은 ‘어렸을 때부터 생각하는 교육을 받지 않으면 생각을 한다는 것은 대단히 어려운 일’이라는 것이다. 오랫동안 끈질기게 생각할 수 있는 능력이 바로 창의성을 발휘하는데 필요한 능력이다. 이것이 창의성 교육의 핵심이다. 따라서 창의성 교육은 특별한 것이 아니라 학생들에게 생각하지 않으면 안되는 상황을 만들어 지적인 도전을 반복해서 경험하도록 하면 된다는 것이다.

지적인 도전을 경험하도록 하는 방법은 대단히 많다. 유대인 가정교육이나 학교교육처럼 질문을 하는 것, 또 유대인 하부르타 방법처럼 서로 토론을 하면서 공부하는 것, 난해한 철학 고전 등을 깊이 생각하면서 읽는 것, 글 쓰기를 하는 것, 무언가를 창의적으로 만드는 것, 미지의 문제를 포기하지 않고 생각하는 것 모두 지적인 도전을 유도하므로 창의성 교육이 될 수 있다.

창의성 교육에서 지적인 도전의 크기도 중요하다. 지적인 도전이 클수록 창의성이 발달하는 효과는 크다. 그러나 지적인 도전을 높일 때는 매우 점진적이어야 한다. 그리고 사고능력은 개인차이가 많이 난다. 학교성적은 동일하더라도 어렸을 때 공부방식 등의 차이로 사고력의 개인차이는 대단히 크다. 따라서 각자에게 적절한 지적 도전의 난이도가 다르다. 지적 도전의 난이도가 왜 중요한가?

우리 두뇌가 발전하는 메커니즘은 ‘도전과 응전’에 의해서이기 때문에 지적 도전의 요소가 창의성 교육의 핵심이지만 도전의 난이도가 적절치 않으면 오히려 부작용을 유

발할 수 있다. 도전의 난이도가 너무 높아서 아무리 노력해도 성공하지 못하는 경험이 누적되면, 우리 뇌에는 자신도 모르게 “노력해도 소용없어!”라는 긍정심리학자 마틴 셀리그만이 이야기한 학습된 무기력 learned helplessness이 형성된다.<sup>27)</sup> 이렇게 되면 쉬운 도전도 피하려고 하는 도전기피증이 생긴다. 그래서 얻는 것보다는 잃는 것이 많다.

도전의 난이도가 적절하면 영국 트리니컬대학교 신경심리학교수인 이안 로버트슨이 『승자의 뇌』에서 이야기한 승자효과 winner effect가 나타난다.<sup>28)</sup> 승자효과란 동물들이 자기보다 약한 동물과 싸울 때 쉽게 이기는데, 이러한 승리를 경험한 동물은 다음 싸움에서도 이길 가능성이 높아진다는 것이다. 이런 지속적인 승리의 경험들이 동물들의 위계 질서를 형성하는 결정적 요인이 된다고 한다. 이러한 승자효과는 많은 동물실험에서 확인이 되었고 심지어 사람에게도 적용됨이 확인되었다. 결국 작은 승리의 경험을 반복하다 보면 큰 승리를 만들 수 있다는 것이고 성공이 성공을 낳는 효과라고도 할 수 있다. 따라서 적절한 도전이 되려면 성공경험을 할 수 있는 난이도여야 한다. 그러나 도전이 너무 쉬우면 긍정적인 효과가 감소한다. ‘처음에는 못 할 줄 알았는데 포기하지 않고 계속 도전했더니 성공했다!’라는 경험이 될 때 가장 큰 효과가 나타난다. 이런 경험을 반복할수록 도전을 즐기게 되고 도전정신이 가파르게 올라간다. 성공을 경험할수록 빠른 속도로 성장하므로 자연스럽게 적절한 도전의 난이도는 올라간다.

## 10. 질문을 통한 창의성 교육<sup>29)</sup>

학생들이 해당 분야의 지식을 습득하는 것은 대단히 중요하다. 배워야 할 지식의 양이 엄청나게 많으므로 학생들은 모든 노력을 기울여 지식을 습득하기에 바쁘다. 필요한 지식을 습득하는 것은 목표와 방법이 매우 구체적이다. 따라서 수업을 듣고 적절한 예습과 복습을 함으로서 비교적 쉽게 배워야 할 지식을 습득할 수 있다. 또한 지식의 습득은 몰랐던 것을 알게 된다고 하는 명확한 차이를 유발하므로 배우는 입장에서도 무엇인가를 배웠다는 느

낌이 든다.

그러나 창의성이 향상된 정도는 지식 습득과 비교하여 차이를 알기가 어렵다. 창의성 향상은 지식 습득처럼 단기간에 이루어지는 것이 아니라 장기간의 노력을 통해서 점진적으로 이루어지는 것이다. 이러한 이유로 창의성 교육은 단기간에 효과를 보기가 어렵고, 교육 방법도 애매하여 결국 등한시 되게 된다. 그러나 이미 언급하였듯이 창의적인 인재를 배출하는 것을 포기할 수는 없다. 문제는 어떻게 하면 교육 현장에서 필요한 지식의 습득과 창의성 향상이라는 두 마리의 토끼를 잡느냐이다.

이를 위해 내가 시도했던 강의 방법을 소개한다. 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 것으로 배울 지식 자체를 대상으로 하였다. 이 교육방법은 간단히 말해서 지식을 전달하기 전에 그 지식을 미리 문제화시켜서 학생들에게 던져주는 것이다. 즉, 앞으로 배울 내용을 사고력과 창의성 훈련의 대상으로 하자는 것이다. 이해를 돕기 위하여 초등학생에게 처음으로 삼각형의 면적을 가르치는 경우에 이 방식을 적용하는 예를 소개한다.

### 11. 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 밑변과 높이가 무엇을 의미하는지 설명을 한다. 그리고 학생은 몇 가지 문제를 통하여 삼각형 면적을 구하는 것을 익힌다. 이러한 방식의 교육은 삼각형의 면적을 구하는 지식은 습득하게 하지만, 창의성을 훈련시키는 부분은 거의 없다.

여기서 제안하는 질문식 수업이란 삼각형의 면적을 구하는 방법을 일체 설명해주지 않고, 이를 학생들에게도

전할 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 창의성이 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 (Fig. 3(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 이야기하지 말고 정답을 노트에 적으라고 하면 된다. 선행학습을 하지 않은 학생들에게는 이 문제를 포기하지 않고 계속 생각하도록 격려한다. 예를 들어, 이 문제는 잘 생각해보면 풀 수 있고, 아주 중요한 문제라서 오랜 시간 생각해보 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 맞으면 적합한 것 같다. 20 ~ 30%가 답을 맞으면, 나머지 학생들에게는 적당한 힌트를 준다. 그래서 절반이상이 답을 스스로 찾으

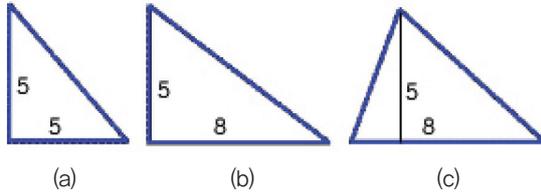


Fig. 3. (a) 밑변과 높이가 각각 5cm인 직각이등변 삼각형 (b) 높이가 5 cm이고 밑변이 8 cm인 직각삼각형 (c) 높이가 5 cm이고 밑변이 8 cm인 일반삼각형

면 이상적이다.

그 다음으로는 높이와 밑변이 다른 문제로 (Fig. 3(b)) 넘어갈 수도 있고, 그 다음 단계로 직각삼각형이 아닌 일반삼각형의 (Fig. 3(c)) 문제로 난이도를 점점 높여 나갈 수 있을 것이다.

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. 50분 수업이라면 이러한 방식의 질문식 수업을 20~30분 정도 한 다음, 통상의 강의처럼 삼각형 면적 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 생각해 온다. 이러한 질문식 수업에서 연습을 하면 오히려 효과가 없어지므로, 처음에 수업할 때, 이러한 방식의 수업 취지를 잘 설명하고, 복습은 하되 연습은 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 면

적을 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, 나는 이러한 방법을 대학에서 학부와 대학원의 모든 강의에 적용해오고 있다. 처음에는 이 방법의 효과에 대하여 확신이 없어서 실험적으로 조금씩 적용하다가 학생들의 반응도 좋고, 학습 성취도도 좋은 것을 확인하고 지금은 모든 과목에 적용하고 있다.

## 12. 동영상 강의를 활용한 창의성 교육

앞서 소개한 질문식 수업을 반대하는 사람이 있다면 진도가 느릴 것을 우려하기 때문이다. 칠판 판서 강의가 아닌 파워포인트 자료를 준비하여 하는 강의는 진도가 빠른 편이다. 그리고 수업에 사용한 파워포인트 자료를 수업이 끝난 후 pdf 파일로 전환하여 학생들에게 배부해주기 때

문에 수업시간에 필기할 필요가 없다. 이런 시간이 절약 되기 때문에 칠판에 판서하는 수업과 진도는 비슷하게 나가는 편이다. 그러나 파워포인트 자료로 수업을 진행하는 타 강의보다는 진도가 느리게 된다. 이는 학생들이 수업의 절반은 생각하면서 보냈기 때문에 어쩔 수 없다. 이 문제가 창의성 교육을 하는데 적지 않은 걸림돌이 된다. 어떻게 하면 이러한 걸림돌을 쉽게 제거할 수 있을까? 가장 좋은 방법이 바로 동영상 강의를 활용하는 것이다. 수업은 철저하게 질문식으로 하고 학생들은 수업이 끝나고 잘 정리된 동영상 강의를 보도록 하는 것이다. 나는 국내에 창의성 교육을 전파하는데 가장 효과적인 방법이 바로 동영상 강의를 활용하는 것이라고 생각한다.

IT기술의 발달과 함께 인터넷 강의가 빠르게 보급되고 있다. 그야말로 명품 강의를 하는 사람의 강의를 동영상으로 만들어 누구나 볼 수 있는 세상이 온 것이다. 많은 초중고 학생들이 학원가의 몸값이 비싼 유명강사의 인터넷 강의를 수강한다. 인터넷 강의는 잘 모르는 부분은 몇 번이고 다시 볼 수 있고, 잘 아는 부분은 건너뛴 수도 있어서 장점이 많다. 더구나 핸드폰으로 버스나 지하철로 이동하면서도 볼 수 있는 등 장소에 구애 받지 않고 아무 곳에서 볼 수 있다. 그래서 학생들이 학교 강의에만 의존했던 예전과는 달리 요즘은 학교 강의보다 유명 강사의 인터넷 강의를 더 선호하는 경향이 높다. 그러다 보니 학교의 수업분위기는 점점 더 안좋아지고 있다고 한다. 이러한 인터넷 강의의 폐해도 있지만, 인터넷 강의의 장점을 오히려 더 적극적으로 활용할 필요가 있다. 교사들 자신이 인터넷 강의를 만들고 이를 활용하면 더 적극적으로 질문식 강의를 할 수 있다. 소위 MOOC (Massive Open Online Course)과 같은 동영상 강의는 앞으로 더욱 활발해질 것이고 여러 경로를 통해 많은 동영상강의가 만들어질 것이다.

동영상강의를 활용한 질문식 수업은 Flipped Learning 수업과 동영상을 활용한다는 점에서는 같지만, 수업방법이 다르고 추구하는 교육철학도 다르다. 질문식 수업에서는 동영상강의를 수업이 끝난 후 보게 하지만 Flipped Learning 수업에서는 동영상강의를 수업 전에 보고 오게 한다. 그리고 수업시간에는 그 강의 내용에 대하여 토론

을 하는 방식으로 진행한다. 창의성 교육의 핵심이 지적 도전이라는 것을 생각해보면, Flipped Learning 방식은 지적 도전의 요소가 상대적으로 적다. 앞으로 배울 내용을 스스로 생각해보도록 하는 질문식 수업이 지적 도전의 요소가 더 크므로 창의성 교육의 효과가 더 높을 것이다.

### 13. 창의성 교육을 해야 하는 또 다른 이유

창의성 교육을 받는 선진국 아이들은 학교 다니는 것이 재미있다고 한다. 왜 창의성 교육을 받으면 재미가 있을까? 나는 질문식 수업에 의한 창의성 교육을 하는데 학생들로부터 대체로 재미있고 즐겁게 수업에 참여한다는 피드백을 받는다. 왜 창의성 교육이 즐거울 수 있는지에 대하여 논할 필요가 있다. 이를 위해서 즐거움의 본질과 관련된 뇌과학 지식이 필요하다.

도파민은 우리 뇌에서 분비되는 대표적인 쾌감 물질이다. 우리가 어떤 행위를 하든 그로 인해 쾌감을 느꼈다면 그 근본 원인은 도파민 작용에 있다고 보면 된다.<sup>30)</sup> 도파민은 궁극적으로 생존과 번식의 확률을 올리기 위한 화학 물질이므로 식욕이나 성욕과 깊은 관계가 있다. 우리가 초콜릿과 아이스크림을 좋아하는 것도 이를 먹으면 도파민이 분비되기 때문이다. 이러한 고칼로리 음식이 다른 음식보다 더 많은 도파민을 분비시키는 이유는 고칼로리 음식이 생존에 더 유리하기 때문이다. 물론 갈증이 날 때는 물론 마셔도 도파민이 분비된다.

매력적인 이성에게 끌리는 이유 역시 도파민이 분비되기 때문이다. 우리가 새로움을 추구하는 것도 도파민의 분비 때문이다. 새로운 것을 시도하거나 낯선 곳을 여행하는 것이 도파민의 분비를 유도한다. 영화관람, 독서, 스포츠 경기 관람 등 각종 취미활동도 도파민 분비를 유도한다.

우리 뇌에서 이러한 도파민 회로의 경로가 알려져 있는데 장소에 따라 도파민의 작용이 다르다. 대표적으로 복피개(ventral tegment area, 측좌엽nucleus accumbens 그리고 전두연합영(frontal association area)이 있다. 복피개는 식욕과 성욕과 같은 일회성 쾌락을 관장한다. 필로폰, 코카인, LSD 같은 환각제, 몰핀 같은 마약, 술, 담

배, 인터넷 등에 중독될 때 복피개 도파민의 과도한 활성이 나타난다. 사랑에 빠질 때도 복피개 도파민의 과도한 활성이 나타난다. 즉좌엽은 '의욕적 목표 추구'나 '기대보상' 시스템을 관장한다. 우리가 월드컵 축구를 재미있게 본다면 즉좌엽의 도파민 분비가 활발해져 이 부분이 활성화되기 때문이다. 전두연합령은 생각하고 학습하고 추론하고 계획을 세울 뿐 아니라 의욕과 감정을 지배하는 뇌의 최고 중추기능을 한다. 우리 몸의 사령관이나 최고경영자인 셈이다. 전두연합령의 도파민 회로는 사고의 즐거움을 느낄 수 있게 한다.<sup>31,32)</sup>

서울대학교 의과대학 서유현 교수에 의하면 이 전두연합령 도파민 회로는 복피개와 즉좌엽과는 달리 도파민 과잉을 억제시키는 자가수용체가 없다.<sup>33)</sup> 따라서 이 부위의 신경계가 활성화되면 도파민 분비가 계속되어 정보전달이 더욱 원활해지고 창조와 인간정신 창출이 활발하게 이루어진다. 즉, 창조는 창조를 낳게 되어, 머리를 쓰면 쓸수록 좋아지는 것이다. 이런 의미에서 전두연합령 도파민 신경계는 창조의 본산이라고 말할 수 있다. 이 신경계의 발달 여부가 그 사회의 문화적도를 결정한다고 해도 과언이 아니라는 것이다.

쾌감중추인 복피개에서 시작된 도파민 회로는 즉좌핵을 경유하여 전두연합령으로 연결된다. 사고력과 창의성을 발달시킨다는 것은 전두연합령의 도파민 회로를 발달시킨다는 것을 의미한다. 복피개의 도파민 회로는 태어날 때부터 비교적 잘 발달되어 있다. 즉좌핵의 도파민 회로는 선천적으로는 발달되어 있지 않지만 이를 발달시키려는 노력을 하면 상대적으로 쉽게 발달이 된다. 그러나 전두연합령의 도파민 회로를 발달시키려면 가장 많은 노력을 해야 한다. 생각하는 즐거움을 발달시키기가 가장 어려운 것이다.

그런데 어떠한 도파민 회로를 발달시키는 것이 즐거움을 최대로 할 것인가? 즐거움을 복피개 도파민 회로에 의존하면 누릴 수 있는 즐거움의 양이 많지 않다. 복피개 도파민 작용과 관련된 쾌락은 파멸적이 될 수 있어 오히려 억제해야 할 경우가 많다. 즉좌핵의 도파민 작용은 건전한 취미활동의 즐거움이기는 하나 소모적이라는 단점이 있다. 따라서 즐거움을 즉좌핵의 도파민 작용에

의존하면 소모적이기 때문에 누릴 수 있는 즐거움과 쾌락은 그리 많은 것은 아니다. 그러나 지적 도전을 주는 창의성 교육을 하면 전두연합령 도파민 회로를 발달시킨다. 그러면 생각하는 것을 즐길 수 있는 것이다. 즐거움을 전두연합령 도파민 작용에 의존하면 생산적인 즐거움이 되고 누릴 수 있는 즐거움과 쾌감의 양이 최대가 된다. 우리 아이들이 살아가면서 누릴 수 있는 행복의 양이 최대가 되는 것이다. 창의성 교육을 해야 하는 이유가 여기에 있다. 창의성 교육은 곧 행복교육이 되는 것이다.

"단지 생각을 하면서도 즐겁고 행복할 수 있을까?"라고 의문을 가질 수도 있다. 다음은 칩센미하이의 『몰입의 즐거움』에 있는 제트 엔진과 뇌파측정기를 발명한 프랭크 위틀이 한 이야기를 소개한다.<sup>34)</sup>

*"난 문제를 푸는 게 너무 좋다.*

*고장난 식기세척기건 말을 안 듣는 자동차건 신경 구조 건 간에 말이다.*

*지금은 머리카락 세포의 구조를 연구하고 있는데 아주 흥미진진하다.*

*나는 문제의 유형을 따지지 않는다.*

*문제를 푼다는 것 자체가 즐겁다.*

*문제를 푸는 것처럼 재미난 일이 또 있을까?*

*인생에서 이처럼 흥미진진한 일이 또 있을까?"*

선진국일수록 즐거움과 행복을 복피개나 즉좌엽의 도파민 작용에 의존하기보다는 전두연합령의 도파민 작용에 더 많이 의존하는 것으로 보인다. 어쩌면 후진국, 중진국과 선진국을 국민소득으로 구분하는 것보다, 그 나라의 국민들이 즐거움을 뇌의 어느 부위의 도파민 작용에 주로 의존하느냐로 구분하는 것이 더 합리적일지도 모른다. 즐거움을 복피개 도파민 작용에 의존하는 사람들이 많으면 후진국이고, 즉좌핵 도파민 작용에 의존하는 사람들이 많으면 중진국이고 전두연합령 도파민 작용에 의존하는 사람들이 많으면 선진국인 것이다. 이런 관점에서 보면 우리가 선진국으로 가기 위해서 노력해야 할 가장 높은 우선순위는 창의성 교육인 것이다.

## 14. 엔트로피 법칙으로 본 창의성 교육<sup>35),36)</sup>

자연현상이나 생명현상이 예외 없이 자연법칙을 따르듯이 우리의 삶 역시 우리가 원하는 방향으로 흘러가는 것이 아니라 정확하게 자연법칙대로 흘러간다. 이러한 법칙을 올바르게 이해하고 활용할 때 비로서 우리가 원하는 방향으로 삶을 통제할 수 있다. 이 법칙 중의 하나가 바로 아이슈타인이 모든 과학에 있어서 제 1 법칙이라고 한 ‘엔트로피 법칙’이다. 엔트로피 법칙은 수많은 천재들의 합작품으로 인류에게 남겨진 위대한 유산이다. 이 소중한 유산을 잘 활용하는 것은 이 시대를 살아가는 우리의 몫이다. 이 법칙이 그토록 중요한 이유는 유용성과 보편타당성 때문이다. 엔트로피 법칙은 시공을 초월해 어떠한 상황에서도 예외 없이 성립한다.

엔트로피 법칙이란 모든 현상은 항상 전체 엔트로피가 증가하는 방향으로, 다시 말해 우주의 모든 현상은 본질적으로 보다 더 무질서한 방향으로 진행된다는 것을 뜻한다. 전체 엔트로피는 반드시 증가하지만 부분 엔트로피는 감소할 수 있는데, 이 때문에 생명현상이 가능한 것이고, 문명도 발달될 수 있는 것이고 우리가 무언가에 집중도 할 수 있는 것이다. 생명체가 무생물과 다른 점은 정보처리를 통하여 부분적으로 엔트로피를 낮출 수 있다는 것이다. 생명현상은 엔트로피가 부분적으로 감소하는 현상이고 이러한 경향은 하등동물에서 고등동물로 올라갈수록 더 심해진다. 우리가 무언가에 집중한다는 것은 정신이 산만한 상태에서 고도로 질서정연한 상태로 진행하므로 부분 엔트로피를 감소시키는 방향으로 진행되는 것이다. 이는 마치 저절로 흩어지는 담배 연기를 한곳으로 모으는 일과 같이 어려운 일이다. 따라서 사람이 필요한 무언가에 집중을 한다는 것은 인간이 할 수 있는 가장 어려운 정신활동이라 할 수 있다.

엔트로피 법칙의 관점에서 삶을 보면, 우리가 외부 도움 없이 필요한 무언가에 스스로 집중하기가 대단히 어렵다. 그래서 항상 쫓기게 되고 수동적인 삶을 살게 된다. 게을러질 수 밖에 없고 해야 할 일을 제때에 하지 못하고 결국 후회하는 삶을 반복할 수 밖에 없는 운명을 타고 난 것이다. 문명이 고도로 발달된다는 것은 부분 엔트로피가

대단히 낮은 상태로 간다는 것을 의미한다. 문명의 혜택을 누리다는 것은 대단히 낮은 부분 엔트로피 사회에 살고 있는 것이다. 이런 사회에서 살아가려면 우리도 문명 사회에 걸맞게 고도로 낮은 엔트로피를 구현할 수 있어야 한다. 만약 스스로 엔트로피를 낮출 수 있는 능력이 배양되지 않으면 필연적으로 대단히 힘든 삶을 살 수 밖에 없다. 스스로 엔트로피를 낮출 수 없으면 다시 말해 필요한 것에 스스로 집중할 수 없으면 항상 쫓기는 삶을 살게 되고 수동적인 삶을 살게 되어 현대판 노예와 같은 삶을 살게 된다고 보면 된다.

고도로 발달되어 엔트로피가 대단히 낮은 문명사회에 사는 것이 너무 버거우면, 아프리카와 같이 문명과는 동떨어진 그래서 상대적으로 엔트로피가 높은 곳에서 살아야 한다. 그러나 문명을 누리려면 반드시 필요한 것에 스스로 집중할 수 있는 능력을 길러야 한다. 필요할 때 스스로 집중할 수 있는 능력을 기르는 것이 현대 사회를 살아가는데 가장 필요한 요소이다. 교육에서 가장 우선적으로 이 문제를 해결해주어야 한다. 필요한 것에 스스로 집중할 수 있는 능력을 길러주는 교육이 바로 창의성 교육이다.

창의성 교육은 각자의 경쟁력 더 나아가 국가경쟁력을 획기적으로 올릴 뿐 아니라 필요한 것에 스스로 집중할 수 있는 능력을 형성시켜 수동적이고 고통스러운 삶에서 벗어나게 해주고 행복한 삶을 보장해주는 해법인 것이다. 마지막으로 로버트 하인라인 Robert Heinlein의 말을 인용하면서 이 글을 마친다. “교육이란 사람들로 하여금 생각하지 않으면 안되는 상황으로 몰아가는 것이다. 당신 아이들의 삶을 편안하게 해줌으로써 그들을 불구자로 만들지 말라.”

### 참고문헌

1. 이정동, 서울대 공과대학, “축적의 시간 (서울공대 26명의 석학이 던지는 한국 산업의 미래를 위한 제언)”, 지식노마드 2015.
2. Cable TV, IT Channel 3부작, “청년, 후추파로 일어나라”
3. EBS TV, 지식채널e “공부 못하는 나라”
4. EBS TV, “세계의 교육 현장-무터킨터 박성숙씨의

- 독일교육 이야기”
5. 김세직, 정운찬, “미래 성장동력으로서의 창조형 인적자본과 이를 위한 교육개혁” 경제논집, 제46권 제4호 pp. 187-214 서울대학교. 경제연구소, 2007.
  6. 김세직, “한국경제: 성장 위기와 구조 개혁” 경제논집, 제55권 제1호 pp. 3-27 서울대학교. 경제연구소, 2016.
  7. 매일경제, “韓 잠재성장 이미 2%대…6년뒤 제로성장” 2016년 6월 30일
  8. <https://en.wikipedia.org/wiki/Creativity>
  9. 플라톤 “메논” 이상인 역, 이재이북스, 2014
  10. 존 스튜어트 밀, “존 스튜어트 밀 자서전” 최명관 역, 창, 2010
  11. L.S. Hing, 數學教育 published in Hong Kong, 12 (2002) 48-56
  12. 리처드 웨스트폴, “프린키피아의 천재”, 최상돈 역, 사이언스북스 2001
  13. J. M. Keynes, “Newton the Man,” in The Royal Society Newton Tercentenary Celebrations, 1947
  14. R. Clark “A. Einstein: The Life and Times”, Avon Books, New York, 1984
  15. F. Darwin, “The Autobiography of Charles Darwin”, Dover Publications, New York, 1958
  16. 조선일보, “과학은 9시 출근, 4시 퇴근하는 일 아니다” 2006년 9월 12일
  17. 미하이 칙센트미하이, “창의성의 즐거움”, 노혜숙 역, 북로드, 2003
  18. 미셸 루트벤스타인, 로버트 루트벤스타인, “생각의 탄생” 박종성 역, 예코의서재, 2007
  19. J. Mehra, “The Beat of Different Drum”, Oxford University Press, 1994
  20. 리처드 파인만, “파인만 씨, 농담도 잘하시네!” 김희봉 역, 사이언스북스, 2000
  21. 조선일보, “노벨상 日과학자, 일본 평준화교육 비판” 2008년 10월 11일
  22. 황농문, “몰입, 인생을 바꾸는 자기혁명”, 알에이치코리아, 2007
  23. 앨런 홉슨, “꿈” 임지원 역, 아카넷, 2003
  24. 슈테판 클라인, “어젯밤 꿈이 나에게 말해주는 것들” 전대호 역, 웅진지식하우스, 2016
  25. <http://www.thetimes.co.uk/tto/health/article1964030.ece>
  26. <http://dreamstudies.org/tag/sara-mednick/>
  27. [https://en.wikipedia.org/wiki/Learned\\_helplessness](https://en.wikipedia.org/wiki/Learned_helplessness)
  28. 이안 로버트슨, “승자의 뇌” 이경식 역, 알에이치코리아, 2013
  29. 황농문, “사고력 향상을 위한 공학교육” 공학교육, 제13권 제1호 pp 51-58, 2006
  30. 오오키 고오스케, “알고 싶었던 뇌의 비밀” 박희준 역, 정신세계사, 1992
  31. 박문호, “뇌, 생각의 출현,” 휴머니스트, 2008
  32. 박문호, “뇌과학의 모든 것” 휴머니스트, 2013
  33. 서유현, “뇌의 비밀” 살림, 2013
  34. 미하이 칙센트미하이, “몰입의 즐거움”, 이희재 역, 해냄, 1997
  35. 황농문, “몰입 두번째 이야기” 알에이치코리아, 2011
  36. 황농문, “공부하는 힘” 위즈덤하우스, 2013

## ●● 황농문



- 1981년 서울대학교 금속공학과 학사
- 1983년 KAIST 재료공학과 석사
- 1986년 KAIST 재료공학과 박사
- 1986 ~ 2003년 한국표준과학연구원, 선임연구원, 책임연구원
- 1989 ~ 1990년 NIST, USA, 객원연구원
- 1996년 일본 National Research Institute of Metals 객원연구원
- 2003년 ~ 현재 서울대학교 재료공학부 교수
- 2015년 ~ 현재 대한금속재료학회 부회장
- 2015년 ~ 현재 서울대학교 신소재공동연구소 소장