

# 화학공학과 창의성 교육



**김 종 득**

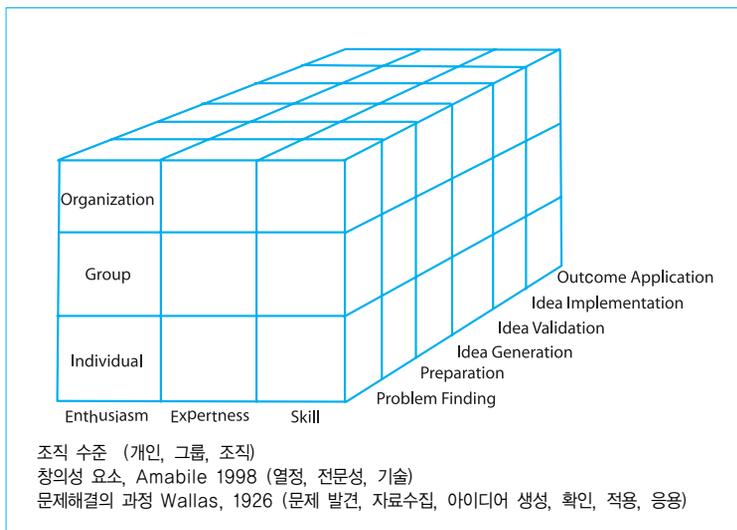
KAIST 생명화학공학과 교수  
kjkd@kaist.ac.kr

서울대학교 화학공학과 학사  
한국과학기술원 화학공학과 석사  
플로리다대학 화학공학과 박사  
KAIST 과학영재교육연구원장  
KAIST 신기술창업지원단장  
(현) KAIST 에너지환경연구센터장  
관심분야 : 계면공학, 에너지소재, 영재교육

최근 사회적으로 가장 큰 주목을 받은 교육적 화두는 개인은 물론 그룹이나 조직의 창의성 교육이다. 창의성이란 시대적 배경이나 역사적 흐름에 따라 혹은 학자의 철학에 따라 다르게 정의될 수 있지만 대체로 새로운 기능이나 제품을 창출함으로써 그 결과물이 인류역사에서 진보적이고 시장가치를 향상시키는 방향으로 기여한 창의적 인간활동으로 정의한다. 새로운 아이디어란 엔진의 발명과 같은 시대의 획을 이루는 큰 세기적 발명(Creativity or H)일 수도 있고 생활 속의 사소한 개량품들(creativity or h)일 수도 있다.

## 1. 창의적 사고 (creative thinking) 체계

복잡한 창의적 활동을 이해하기 위하여 그림 1과 같은 조직 창의성의 입체적 모형을 이용하면 편리하다. 창의적 활동이란 주체인 개인, 혹은 집단 나아가 사회의 구성원(‘조직수준’이라고 한다)이, 그 역량으로써 열정이나 전문성, 기술력(‘창의성 수준’이라고 하자)으로 주어진 과제를 새로운 아이디어나 창의적 방법으로 해결하는 단계별 활동(문제해결의 과정이라고 하자)이다. 바로 이러한 창의적 문제해결의 과정을 통하여 공학 교육은 단순한 지식전달이 아니라 가치가 있는 새로운 지식을 창조하고 공유하는 (creation and sharing) 새로운 교육방식으로 진화하고 있다.

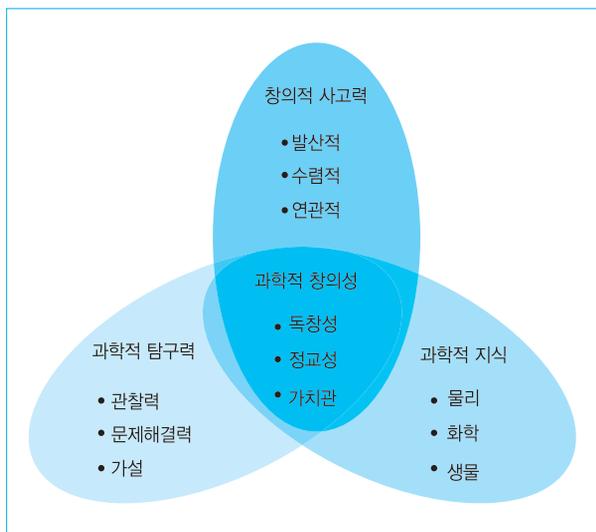


▲그림 1. 조직 창의성의 입체모형

창의성 교육이란 조직수준의 역량을 높여 주고, 지식수준의 영역을 확대하여, 새로운 방법론으로 과제를 해결하는 능력을 키워주는 교육활동이다. 대학은 교육과정의 지식 수준에서 주어진 문제를 창의적으로 해결하는 능력을 배양하는 것이다. 대표적으로 캡스톤 디자인(capstone design)이 창의적 문제 해결로서 소개되었고 창의 설계라는 교과과정을 개발해오고 있다. 사실 창의적 방법론은 그리스 로마시대에서 산업혁명의 시대를 거치면서 새로운 문제들을 해결하는 방법으로 발전 진화해 왔다. 그러나 이러한 진화에

도 불구하고 역사적으로 보았을 때 항상 유익한 것은 아니었다. 당 시대에서 시장가치에 기여하였지만 역사적으로 항상 가치 있는 것인지는 알 수 없기 때문이다. 예를 들어 엔진오일의 유연첨가제나 프레온가스의 부침이 대표적이라고 할 수 있다. 이제 휘발유 자동차의 발명조차도 지구환경 문제를 해결하지 못 한다면 새로운 기술로 대체되어야 할 악마의 유혹일지도 모를 일이다.

그림 2는 과학 창의성의 모델로서 창의적 문제 해결의 주체자인 ‘조직수준’이 구사해야 할 다양한 사고체계를 나타내고 있는데 화학공학 혹은 어느 한 분야만의 문제는 아니다. 창의력의 발현은 일정수준의 지식을 전제로 사고력과 탐구력을 필요로 한다. 탐구력은 과학적 문제 해결의 방법론으로 인식되고 있으나 사고력은 아이디어의 생성이라는 측면에서 중요시 되어 지고 있다. 유추나 연상, 브레인스토밍과 같은 발산적 사고(divergent thinking), 생성된 아이디어나 대안을 분석 검토하여 바람직한 대안을 만드는 수렴적 사고(convergent thinking), 계통적 사고가 아닌 수평적 사고(lateral thinking), 그리고 RPD(연구계획 다이어그램)나 PERT 와 같이 세부계획이나 아이디어의 실행 시에 생길 수 있는 행동계획을 체계적이고 조직적으로 작성하여 수행하는 것을 들 수 있다. 간단한 아이디어의 산출에서부터 생산 공장이나 산업단지의 설계와 같은 엔지니어링 문제의 해결에 이르기까지 이러한 사고 체계가 적용될 수 있을 것이다.

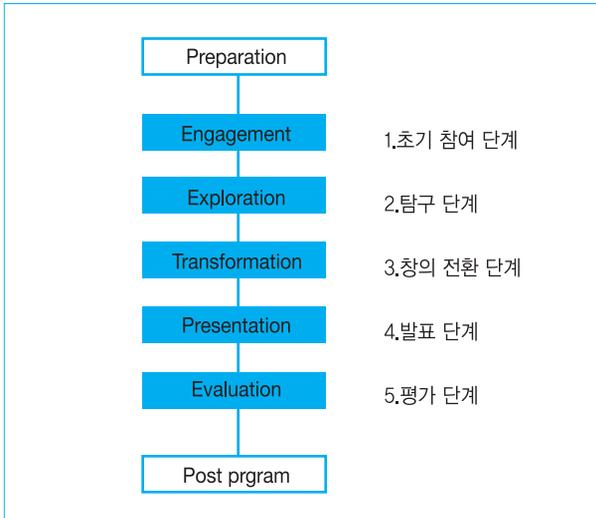


▲그림 2. 과학 창의성 모델

## 2. 동기교육(motivation) - 대학생 창의설계 경진대회

창의성 교육은 개인에게 문제의식을 갖게 하고 동기를 유발하는 동기교육, 당면한 문제를 해결할 수 있는 역량으로서 열정, 전문성, 기술의 역량을 높여주는 역량교육, 그리고 논리적이고 합리적인 지적 수준과 역량으로 문제를 해결하는 방법론을 가르치는 해결과정 교육이 그것이다. 이러한 교육은 그 필요와 대상에 따라서 다소 차이가 있을 수 있고 창의적 산출과정 중에서 특정 영역을 강조하여 교육할 수도 있다. 예를 들어 영유아나 청소년은 동기 교육이 더욱 중요하고 이미 자기동기(self-motivation)를 갖고 있는 청장년이나 성인에게는 영역 수준과 방법론의 교육이 더욱 중요하다. 오늘날 대학에서 화학공학 영역 교육은 전문성을 길러주는 데 치중하였고 동기교육이나 창의적 문제 해결능력의 함양은 소홀히 해오고 있다는 것을 부인할 수 없다. 특히 주도적으로 문제를 찾아 해결하는 능력을 배양하지 못하고 있다는 것은 우리 교육의 한계를 드러낸 것이다.

한국화학공학회에서는 대학생들을 대상으로 하는 몇 가지 실험을 해오고 있는데 바로 대학생 한마당이나 대학생 화학공학 창의설계 경진대회가 그것이다. 이 과정에 참여한 학생들은 아이디어를 스스로 만들어 해결하고 그 결과를 다른 사람들에게 발표한다. 아이디어를 교환하고 창의적 사고를 확대할 수 있는 계기를 마련하고 있다는 점에서 고교의 R&E나 HRP, 대학 URP의 실험적 방법론의 연장선상에 있다(그림 3). 사람이나 우마의 힘을 대체하여 일을 하는 방안을 없을까? 가볍고 질기며 촉감이 좋은 옷감을 만들 수는 없을까? 태양에너지를 바로 이용 가능한 에너지로 축적하는 기술은 무엇일까? 적은 양으로 효과적인 질병의 치료방안은 없을까? 우리의 일상에서 일어나는 공학적 질문은 이루 헤아릴 수 없이 많다. 이러한 질문은 대개 다양한 공학적 원리와 해법을 통하여 정리되고 체계화되며 우리에게 제시된다. 그러나 교육적 문제는 그러한 문제에 대한 해법이 아니라 누가 왜 이러한 문제에 관심을 갖도록 할 것인가? 무슨 이유로 혹은 계기로 이러한 과제에 문제의식을 갖게 하느냐는 것이다.



▲그림 3. 간단한 문제 해결의 단계  
(대학생창의설계 경진대회는 물론 R&E, 연구과제 수행, 화학탐구프런티어 페스티벌의 모형이다.)

### 3. 화학공학 문제 해결능력 (problem solving)?

화학공학은 다양한 지식과 설계능력을 바탕으로 새로운 공정이나 지식사회의 문제를 창의적으로 해결하도록 요구 받고 있다. 여기서 반드시 새로운 방법으로 문제를 해결하도록 요구하는 것은 아니지만 엔지니어링 교육으로서 가치 지향적이어야 한다는 것이다. 특히 엔지니어에게서 창의적인 문제 해결능력이란 지식과 방법적 역량을 활용하여 새로운 방법으로 문제를 해결하고 인류에 편익을 생산 제공하는 능력을 말한다. 엔지니어가 신재생 에너지에 관심을 갖게 되었다고 하자. 에너지를 생산하지만 지구환경을 악화시키는 발명은 적어도 엔지니어링 입장에서 창의적이라고 보기 어렵다. 반면에 적은 에너지로 더 많은 편익을 창출 할 수 있다면 창의적인 결과물이라고 할 수 있을 것이다. 이러한 교육은 무엇이 문제인지, 어떠한 방법으로 문제를 해결할 수 있는지, 그리고 동시에 합리적이고 논리적으로 유추할 수 있는 지식 영역을 갖도록 하는 것이다. 따라서 화학공학적 원리와 법칙을 활용하고 주어진 공학적 문제를 새로운 지식이나 방법을 적용하여 진보적이고 가치 지향적인 결과나 제품을 산출할 수 있도록 개인이나 사회의 구성인의 잠재능력을 함양하는 것이다.

### 문제의 정의와 숨은 변수

요즘은 화학공학에서 잘 정의된 문제의 경우 전산화되어 창의성을 발휘하기에는 한계가 있지만 그러나 실제상황은 부분적으로 정의된 경우를 포함하여 잘 정의되어 있지 않는 문제가 대부분이다. 따라서 이렇게 정의되어 있지 않는 문제를 우선적으로 정의하여 해결할 수 있는 과제로 바꾸는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다. 보통 문제들은 다음과 같이 4가지 요소로 되어 있어 이러한 요소를 정의하고 숨은 인자나 부족한 변수를 찾으면 해결의 실마리를 찾을 수 있다.

- 1) 초기상태 (initial state): 문제에 대하여 원래 주어진 정보이다.
- 2) 목표상태 (desired goal state): 문제가 해결된 후의 목표 장면에 대한 정보이다.
- 3) 조작인 (operator, 조작자, 조작행위, 방법): 상태를 변화시키기 위한 작용 혹은 해결방법이다.
- 4) 조작인의 제한 (operator restriction, boundary condition): 조작인의 적용을 구속하고 지배하는 규칙이다.

이러한 요인은 단순한 경우도 있고 복잡한 상태나 주 변의 다른 문제와 겹쳐서 나타날 수도 있다. 반응기, 증류탑이나 물질전달 장치, 자동제어, 혼합 및 제품설계 등의 문제는 이러한 구조적 요소를 포함하고 있으며 엔지니어는 이러한 요소를 발견하고 정의하며 적용 법칙을 찾아내는 것이다.

그림 3의 문제 해결의 모형에서 제3단계인 창의전환 단계가 창의적 사고력이 요구되는 문제해결의 단계라고 할 수 있다. **Problem-Based Learning(PBL)**은 주어진 실제적 과제에 대해 학생 주도적으로 문제를 정의하고 해결방법을 모색하게 하여 문제 해결력을 학습하게 하는 교육 방법이다. 대학생 창의설계 경진대회는 이러한 방법론적인 것을 제시하고 있으며 실제 교과목의 학습 과정에서 학생주도적으로 개인 혹은 그룹으로 실제 문제를 해결하기 위한 방법을 제시하고 문제를 해결하고자 한다. 교과목에서도 텀페이퍼(term paper)나 창의설계(capstone design) 형식으로 요구하는 경우가 도입되었다. 그러나 학생들은 문제해결의 경험이 부족하기 때문에 전문가의 지도가 없이 시행된다면 문제 해결력의 향상에 도움이 된다고는 할 수 없을 것이다. 한편 좀 더 전문적인 문제 해결 방안으로 CPS나 TRIZ 같은 전문적인

문제해결 방법이 도입되기도 한다.

#### 4. 다양성과 융합화 교육

오늘날 화학공학 교육은 다양성을 새로운 기반으로 받아들이고 있다. 석유화학 산업 이외에도 전자나 디스플레이 산업, 에너지와 재료, 신약이나 바이오, 환경산업에 이르기까지 더욱 다양해지고 있다. 과학기술의 융합화 시대에 이러한 다양성은 어느 학문분야보다 새로운 기술의 개발이나 제품의 설계가 가능한 역동적 학문으로 발전하고 있다. 최근 대부분의 대학에서 학과이름을 개명하였다는 것과 학생들이 화학공학을 선택하는 가장 큰 이유로서 다양성과 융합학문을 들고 있기 때문이다.

그러나 이러한 다양성을 교육과정에 어떻게 조정하여 만들어 낼 것인가는 여간 복잡한 문제가 아닐 수 없다. 교과과정상 대학마다 조금씩 다른 운영체계를 갖고 있지만 그 대상 기술영역을 구분하여 (필자의 임의로) 제품영역, 공정영역, 기기장치영역, 그리고 생태계 영역으로 나누어 보자.

#### 제품 디자인

시장이 받아들일 수 있는 새로운 제품을 고안하고 규정하며 그 용도와 특성 및 성질을 정의하고 창출하는 것이다. 석유화학 제품, 고분자 및 재료로 구성되는 제품, 제약 혹은 생체친화적인 제품, 저칼로리 식품, 노화방지 화장품, 새로운 기능성 제품들을 들 수 있다. 이들은 우수한 물성과 새로운 기능뿐만 아니라 소비자의 인지적 특성을 고려해야 하는 경우도 많다. 물성이 우수하고도 시장에서 퇴출된 경우가 대개 인지적 특성을 고려하지 못하였기 때문이다.

#### 공정설계

정의된 제품을 경제적으로 생산하는 공정기술로서 단위 기술을 조합하여 최적의 생산시설로 만드는 기술이다. 정의된 재료와 환경에서 단위 공정을 조립하고 조합적인 방법을 이용하여 생산 시설과 공정을 최적화하여 경제적 이득을 극대화하는 방법론을 제공한다. 그러나 복잡하고 다양화된 사회에서 단일한 기술적 목적 이외에 사회적 비용을 추가한다면 기술공정을 최적화하기 어려운 경우가 많고 사회적 이슈가 될 가능성도 존재

한다.

#### 기기 장치설계

주어진 단위 장치나 공정의 기능과 효율이 극대화되도록 한다. 전자기적, 광학적, 화학적, 생물학적 그리고 열에너지 방법을 이용하여 설계된 장치나 측정용기기를 최적화하는 것이다. 최근 새로운 재료, 바이오 및 세포기술, 그리고 나노기술의 발달로 측정기술 혹은 분석 기술 분야에서 큰 발전이 이루어 지고 있다. 개별기술로서 목표가 분명하고 기술의 방법론이 정해질 수도 있으며 개인의 창의적 아이디어가 더욱 중요할 수 있다.

#### 생태계 디자인

산업단지나 사회 요소에서부터 카본사이클, 세포내의 대사공학에 이르기까지 직접대상 시설이나 반응기구 이외의 요소들이 복잡하게 연관되어 있는 경우가 많다. 이런 경우에는 연관분석을 통하여 생태계의 흐름이나 사이클(RCA), 핵심기여도를 파악함으로써 전 체계, 사회 환경이나 생태계의 활성을 극대화 시킬 수 있도록 한다.

#### 5. 창의성의 한계와 재정의

창의성이란 새로운 기능이나 제품에 대하여 정의하고 인류에 편리를 제공하는 것으로 정의하였다. 특허청에서도 단순히 새로운 것이 아니라 특허가 될 수 없는 것을 정의하고 있다. 단순히 상상력이나 실현가능성이 없는 공상적인 창의성을 추구할 수는 없기 때문이다. 그러나 실제 많은 경우에 손해와 이익을 판단하기 어려운 경우도 많다. 단기적으로 큰 이익을 주지만 역사적으로 인류에 도움이 되지 않는 경우도 있다. 마약이나 생물학적, 유전적 독성을 갖는 인체독성문제, 배아줄기세포나 체세포 배양에서 야기된 윤리적 진실성 문제, 탄산가스 와 같은 지구환경문제, 무한한 에너지원으로 인식되었던 원자력 에너지 문제 등이 그들이다. 그러나 이들은 오히려 쉽게 판단할 수 있는 것이지만 대부분은 이러한 판단조차 어렵고 나중에야 문제가 드러나는 경우도 많다. 반면에 작은 빨대에 세라믹 분리막을 장착하면 물을 정제하여 빨아 마실 수 있다. 기술적으로는 창의적인 것이라고 할 수 없는 소위 적정기술(appropriate Technology)이다. 경제적으로는 큰 이득은 없으나 새로운 시장 환경

에서 요긴하게 사용될 수가 있다. 공학적 경제적인 이유가 아니라 지구환경이나 인류복지라는 새로운 차원에서 창의성을 재정의할 수도 있을 것이다.

화학공학은 개인과 사회의 창의적 역량을 높여주고

문제 해결의 능력을 키워준다. 다양성과 융복합화의 수용은 교과과정의 변화를 초래하고 있지만 제품의 설계, 공정 및 기기장치의 설계 능력을 강화시켜 창의적 역량을 키워 주고 있다. 최근 자기주도적인 학습역량을 키우기 위한 학회 차원의 노력도 주목하여야 할 것이다. 

※ 공학교육 학회지는 독자 여러분들의 참여를 환영합니다.

학회지를 읽고 서로 나누고 싶은 생각이나 의견, 궁금한 점, 편집위원회에 하고픈 말 등을 보내 주시기 바랍니다.

공학교육과 관련된 원고를 모집하오니, 많은 관심과 참여 부탁드립니다. 원고가 채택된 독자께는 소정의 원고료를 드립니다.

트위터 (twitter.com)에서 @kseetwit를 팔로우하세요.

E-mail: ksee@kseett.or.kr (담당:정 재 연)

