

과학기술의 현장에서 본 STEM 소양과 역량, 그리고 교육과정

정대홍

(서울대학교 화학교육과, hong@sejong.ac.kr)

<융합에 대해서>

본 포럼의 주제에서 STEAM이 아니고 STEM으로 표현된 것을 보면서 우리나라에서 강조하고 있는 STEAM의 교육 운동이 강조하는 융합교육과 결을 달리하는 무엇인가가 있는 것은 아닌가 생각해 봅니다. 사범대학에 재직하면서 화학 또는 나노과학 연구를 주로 수행하고 과학교육에도 에너지를 많이 쏟아 일하다 보니, 정부 주도의 STEAM 프로그램 개발에 참여도 하고 평가도 참여하고 있습니다. 그 과정에서 보고 듣는 STEAM 교육과제가 수행하는 과학 연구 안의 융합과학 속성을 항상 경험하고 비교하게 됩니다. 이러한 개인적 경험의 틀 속에서 본 원고를 작성해 봅니다.

저의 두 가지 연구 배경 중에서 과학연구에 대해서 간단히 요약을 해보겠습니다. 저는 화학 중에서 물리화학을 전공하였고, 물리화학 중에도 빛을 도구로 사용하는 분광학을 기반으로 금속 나노입자의 플라즈몬 공명 특성을 이용한 표면증강 라만산란 현상을 전문적으로 연구하고 있습니다. 최근 15년은 이를 기반으로 생체 분자 측정 및 의학 영상 진단을 위한 연구를 수행하고 있습니다.

STEM의 관점과 관련이 있으므로, 한 가지 연구 사례를 들어보겠습니다. 몇 년 전 ‘조직 검사하는 내시경’을 연구 개발하였습니다. 이 연구의 목적은 내시경 관찰로 형태적 정보만으로 암 가능성을 판단하고 조직검사를 수행하는데, 대부분은 암이 아니라는 통계와 조직 검사를 수행하는 병리학과와 검사 시료 과부하와 환자의 정신적 불안감 등의 현실적 문제를 해결하는 목적으로 수행된 연구입니다. 이를 해결하기 위해서 내시경 검사를 하면서 의심 부위에 대해서 바로 세포 수준의 면역염색 반응을 관찰하는 기술을 개발하는 것으로, 의학 및 생명과학적 정보와 지식이 필요하고 신호를 증강하여 관찰할 수 있는 나노 물질을 개발하고 내시경 환경에서 관찰하는 기기를 만드는 일이 포함됩니다. 실제 이 일을 수행하기 위해서 의과대학 교수님과 나노합성을 주로하는 공과대학 교수님과 분광학 전공의 제가 팀으로 과제를 수행하였습니다.

이 과정에서 통상 말하는 여러 분야의 융합이 이루어집니다. 그런데 여기서 조금 정밀하게 융합연구가 수행되는지 살펴볼 필요가 있습니다. 위 목적의 나노입자를 합성하는 단계를 보면, 유기물 합성 또는 금속 무기물 합성의 매우 전문적인 역량이 필요합니다. 나노입자 표면에 항체를 고정하기 위해서 항체에 대한 지식이 필요합니다만, 그 이전에 목표로 하는 나노물성을 가지는 나노물질을 잘 합성하는 전문성이 필요합니다. 또 생체 시료에서 반응한 나노입자를 내시경 광학계로 측정하려면, 측정 기기를 만들어야 합니다.

이를 위해서는 분광학 원리와 장치 구성의 전문성이 갖추어져 있어야 합니다.

이 과정을 살펴보면 여러 전문가가 협업하여 융합적인 과제를 수행하는 과정이지만, 각 부분에서는 **세부 분야의 전문성이 확실하게 갖추어져 있어야** 하고, 그 전문가들이 서로 공동의 목표를 해결하기 위해서 **전문적인 소통이 이루어져야** 문제 해결이 가능한 것이다. 다시 정리하면, 세부 전공의 전문성을 갖추고 타 분야 전문가와 전문적인 영역에서 소통할 수 있는 역량이 필요한 것이다.

그러면 상이한 분야 간의 융합을 이루는 ‘접착제’는 무엇일까요? 저는 그것을 ‘해결할 문제’라고 생각합니다. 특히, **실질적 맥락이 있는 문제**라면 그 문제를 해결하기 위해서 어떤 분야의 전문성이 필요할지 자연스럽게 정해지고, 융합할 방식도 정해질 수 있습니다. 하지만, 제가 경험한 일부 STEAM 교육 프로그램을 보면 아직도 기계적 융합의 한계를 벗어나지 못하는 것을 확인할 수 있습니다.

<과학은 누가 왜 배우는가?>

과학을 전공하거나 직업으로 삼을 학생들이 과학을 배운다는 것은 상식일 것이다. 그러면 인문사회계열 또는 예체능계열로 전공할 학생들은 과학을 배울 필요가 없거나 배워도 살아가면서 도움이 될 일이 없는 것일까요?

최근 독감 백신을 상온에서 배송했다는 사건과 이렇게 배송된 백신을 투여한 사람들이 갖게 될 위험에 대해서 연일 뉴스에 소개되고 있습니다. 그런데 이런 궁금증이 듭니다. 독감 백신 약을 상온에서 배송하면 왜 안될까요? 약국에 가면 모든 약들이 다 상온에 실내에 보관되어 있는데, 백신은 그런 종류의 약이 아닌가요? 만약 생명과학에서 배우는 항원-항체에 대해서 배우고, 이 물질들이 아미노산을 기본단위로 한 펩타이드 사슬의 3차원 구조체(즉, 단백질)라는 것을 떠올린다면, 단백질이 열에 민감하고 잘 못 보관하면 단백질의 구조가 바뀔 수 있다는 것을 연상할 수 있을 것이다. 이러한 상식이 작동한다면 왜 상온 배송이 문제가 되는지 쉽게 이해할 것이다. 이러한 인식은 일반인의 이해를 돕는 것에서 끝나지 않는다. 배송 담당하는 운전자까지도 배송을 담당하는 업체는 단백질을 기반으로 한 백신 약이 온도에 민감하다는 인식을 상식적으로 할 수 있다면, 전국적으로 국민의 생명에 위협이 되는 사고는 방지할 수도 있을 것이다.

위 예가 **과학적 개념과 관련한 지식과 상식에 관한 것**이라면, 과학적 데이터에 대한 해석에 관련하여 생각해 볼 것이 있다. 우리 사회도 사회 각 곳에 과학기술의 상식적인 수준을 넘어서 매우 전문적인 수준의 이해를 요구하고, 이를 바탕으로 국회나 기관에서 법령과 제도를 만들고 시행하고 있습니다. 우리나라가 개발과정에서는 선진국의 제도를 활용하는 것으로도 많은 부분 감당할 수 있었지만, 이제는 우리가 겪는 문제가 세계에서 처음 겪는 일이 많아지기 때문에 스스로 판단하고 제도를 만들어야 한다. 그런데, 국회의원이나 행정을 수반하는 정치인들의 과학적 소양은 어느 정도일까요? 조금 걱정스러운

수준이 아닐까 추측해 봅니다. 아마도 전문가에게 해석을 의뢰하고, 이를 기반으로 정책적 판단을 내릴 것으로 예측됩니다. 그런데, 과학적 데이터의 해석이 전문가라면 모두 비슷한 해석을 하는 것일까요?

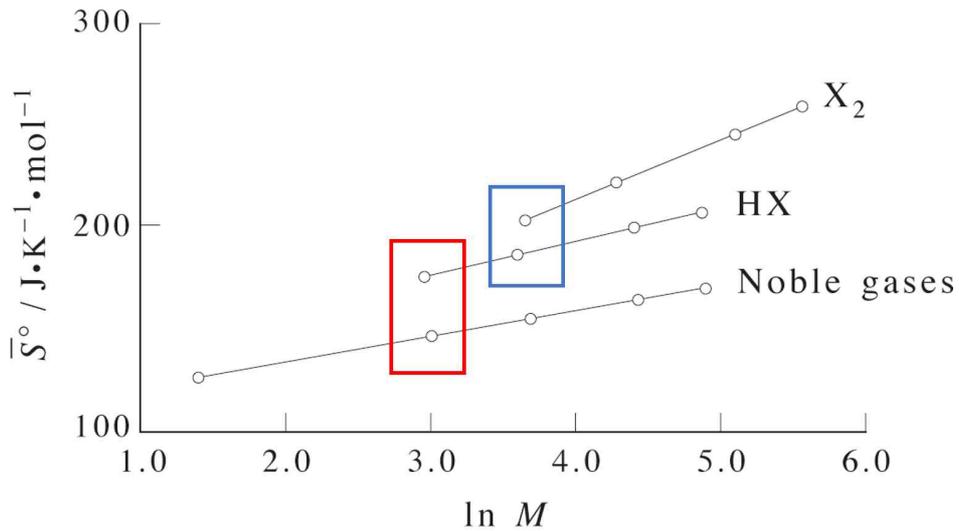


그림 1. 질량과 엔트로피의 관계

사회적으로 민감한 사례를 들기는 부담스러워 다음 그림 자료를 사례로 살펴보겠습니다. 그림 1의 자료를 제시하고 이 자료가 무엇을 나타내는가라고 묻는다면, 질량이 큰 분자일수록 엔트로피가 커진다고 해석할 것입니다. 물론 자료는 이런 정보를 담고 있습니다만, 자료는 다른 이야기도 포함하고 있습니다. 질량이 같아도 단원자 분자보다 이원자 분자의 엔트로피가 더 크다는 등. 즉, 과학적 데이터를 보고 스스로 해석할 수 있는 역량을 갖추고 있는가 없는가에 따라서 데이터를 보고 인식할 수 있는 폭의 차이가 매우 크게 됩니다. 그런데, 자연계열로 전공하지 않는 학생이라고 해서 이러한 역량을 키우지 않으면 미래 사회를 운영할 사람들이 누군가의 해석에 의해서만 정책적 판단을 하게 됩니다. 누군가도 아니고 인공지능이 해석하는 대로 판단을 한다고 생각하면 너무 끔찍하지 않을까 싶습니다. 그러한 의미에서 과학을 배우고 **과학적 소양을 넓히고 과학적 데이터를 해석하는 역량**은 계열과 관계없이 **모든 학생에게 필요하다**고 사료됩니다.

<과학 탐구 역량에 대하여>

과학을 교육하는 학교와 교육계 대학에서 과학 탐구의 중요성을 매우 강조하고 있고, 이는 과학자들도 동의하는 것으로 이해하고 있습니다. 과학 탐구에서 키울 수 있는 역량이 학술적으로나 학교 현장의 교사들 인식 속에도 확실하게 자리 잡혀 있다고 판단합니다. 그런데, 교과서에 포함된 수많은 탐구 섹션에서 그러한 탐구 역량을 키우고 있는지

자문해 봅니다.

일반적으로 현장에서는 탐구가 실험이고 실험이 탐구라고 인식하기도 합니다. 또 교과서의 탐구는 해당 관련 개념을 구체화하기 위한 교육적 도구로 구성된 측면도 큼니다. 즉, 개념을 잘 이해하기 위해서 탐구(실험)이 교과서에 녹아 들어가 있는 형태입니다. 그런데, 개념을 잘 이해하도록 도움을 주는 scaffolding의 역할이 과학 탐구의 역할인지 진지하게 살펴볼 필요가 있습니다.

제가 이해하는 범위에서 과학 탐구를 활용한 교육이 초중고 12년 동안 잘 이루어진 상태를 상상해 보면 다음과 같은 역량을 학생들이 갖추게 될 것으로 보입니다. 먼저 문제 상황으로부터 문제를 정의하는 경험이 많이 쌓일 것입니다. 그리고 스스로 정의한 문제를 해결하기 위한 방법을 찾는 일이 자연스러울 것입니다. 잘하고 못하고는 개인의 능력 차이가 있겠지만, 과학 탐구 과정에서 문제를 해결하는 경험은 누적되고 그 역량이 사회 문제를 접하는 태도로 확장될 것입니다. 마지막으로 탐구 과정과 결과를 글로 작성하는 경험을 초등, 중등, 고등 과정을 겪으면서 누적되고 확장되면 고등학교를 졸업할 때에는 긴 글을 논리적으로 작성하는 역량이 키워질 것입니다. 그런데 우리의 현실은 그렇지 않다는 것을 우리 스스로 너무나 잘 알고 있습니다.

이 대목에서 ‘부모 찬스’ 관련 언급을 조금 하고 싶습니다. 모든 학생들이 고등학교에 진입하면 대학수시전형을 준비하기 위해서 학교에서 운영하는 탐구 대회를 비롯하여 각종 대회를 개최하고, 학생들은 발표 자료를 만들거나 탐구 보고서를 작성하는 일들을 하게 됩니다. 그런데 주위 고등학교를 둘러보십시오. 탐구를 잘 수행하도록 또 발표 준비를 어떻게 하면 되는지 교육과정이 있는지. 거의 없다는 것을 쉽게 발견할 것입니다. 그러면 학생들은 어떻게 준비를 할까요? 학원에 가거나 부모가 집에서 도와줄 수밖에 없습니다. 즉, 고등학교에서 대부분의 학생들을 대상으로 그러한 활동 역량을 키워주는 것이 아니고, 키워진 역량을 테스트하고 이를 점수화하는 일에 고등학교가 집중하고 있는 것이죠. 이런 상황에서 벗어나고자 한다면, 고등학교에 진학하기 전에 특별한 학생만을 대상으로 하지 않고 모든 학생들이 이러한 역량을 갖추 수 있도록 학교에서 교육이 이루어져야 하는 것입니다. 간단한 예를 들겠습니다. 초등학교 5,6학년도 과학 활동지를 기반으로 탐구 수업을 하면 길어야 몇 줄의 글을 적습니다. 그런데, 중학교 1,2,3학년도 마찬가지로 글을 적습니다. 불행히도 고등학교도 다르지 않습니다. 즉, 어떻게 과학적 글을 쓸 것인지 가르치지 않고 고등학교에서 대회만 열심히 하고 있는 상황입니다. 이런 부분이 개선되어야 합니다.

<과학을 전공할 학생들을 위한 교육>

현재 이공계열의 대학에 입학하는 학생들의 학업 준비도를 평가한다면, “매우 열심히 공부해서 진학하였으나 통째로 결손난 영역이 많은 상태”라고 봅니다. 널리 알려진 사실로

지난해 수학능력시험에서 물리학II, 화학II, 생명과학II, 지구과학II를 선택한 학생이 1.3% ~ 3.4%이었습니다. 4개의 과학I 교과목 중에서 물리학I을 택한 학생은 25%, 화학 I을 택한 학생은 34% 밖에 되지 않습니다. 학생들의 공부 부담을 줄이기 위해서 교육과정 내용도 줄이고 시험제도도 변경해 왔는데, 학생들의 공부 부담이 줄었다고 인정하는 고등학생과 학부모는 찾아보기 힘들고, 그렇게 열심히 공부했는데 대학에서 공부할 준비는 되어 있지 않습니다. 대입수학능력시험에서 좋은 점수를 얻어야 원하는 대학에 입학할 확률이 높아지는 현실에서 고등학생들은 기초를 튼튼히 하기를 선택하기 보다는 점수 받기 쉬운 교과목을 선택하면서 생긴 현상으로, 너무나 안타까운 우리의 교육 현실입니다.

<무엇이 달라져야 할까요?>

*고등학교 과학 교과*는 모든 학생 또는 비자연계열 학생을 위한 과학, 과학을 전공할 학생이면 누구나 들어야 할 과학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학 관련 세부 전공을 선택한 학생들이 들어야 할 과학으로 나누어 과학을 교육했으면 합니다.

비자연계열 학생을 위한 과학은 미래 일반 시민의 과학적 소양과 관련하여 매우 적극적으로 양질의 교육과정을 준비해야 합니다. 일반 시민이 건강하게 살아가는데 필요한 과학, 편리하게 살아가는데 필요한 과학, 시민으로서 의사 결정을 함에 합리적인 판단을 하도록 도움을 주는 과학 등 대학수학능력시험에는 포함되지 않더라도 학교에서 꼭 수강하고 싶도록 준비해야 합니다.

과학을 전공할 학생이면 누구나 들어야 할 과학은 과학계열을 전공할 학생들의 기초 체력에 공백이 없도록 하되 4개 과학 영역의 내부 경쟁이 없도록 구성되어야 합니다. 쉽지 않은 목표이지만, 예를 들어 물리학 내용을 선정한다고 할 때 대학에서 생명과학 관련 전공으로 진학할 학생에게도 꼭 필요하다고 할 수 있는 물리학 내용을 선정하도록 합니다. 이와 같은 접근으로 현행 교육과정에서 나열한 물리학I과 물리학II에 포함된 내용 보다는 적은 내용이지만, 고등학교에서 적어도 이만큼의 물리학 공부는 해야 하며 그 내용이 화학, 생명과학, 지구과학 관련 전공을 택할 학생에게도 필요한 내용 수준이어야 합니다.

이와 같이 물리학 및 다른 과학 교과 내용을 선정하면 물리학 계열로 전공할 학생에게는 고교 교육 내용이 많이 부족하게 됩니다. 이러한 한계를 보완하기 위해서 세부 전공으로 진학할 학생을 위한 과학(예: 물리학)을 교육해야 합니다. 고교 학점제와 연계하여 선택 교과로 운영할 수 있을 것입니다. 이 성격의 과학은 과학 연구 현장과 조금 더 가까워지는 것이 필요하고, 일반 대중에 소개되는 첨단과학 내용이 적극적으로 도입되는 것을 고려해야 할 것입니다.

‘과학 탐구’와 ‘개념 학습 scaffolding으로의 실험’의 역할이 구별되어야 하며, 과학 탐구

는 초중고 전 교육과정을 바라보고 학년군 단위로 어느 수준으로 탐구 역량이 향상될 것 인지를 구별하는 것이 필요합니다.

개념 학습을 도우는 실험은 탐구라는 틀에 억지로 넣지 말았으면 합니다. 개념 형성을 돕거나 이론을 확인하는 역할의 실험은 실험(데모 실험)으로 그 역할을 명확하게 하기를 기대합니다. 물론 이런 범주도 탐구의 범위에 포함한다고 볼 수도 있습니다. 그러나 현재 형태에서 탐구를 통한 역량 교육이 잘 되지 않는 한계를 극복하기 위해서 용어와 개념을 구별해서 제시하고 탐구의 교육적 역할을 제대로 강조하기를 희망합니다.

특히, 중학교를 졸업하는 단계까지 모든 학생을 대상으로 탐구의 경험을 제공하고 이를 통해서 과학 탐구에서 추구하는 핵심 역량들이 갖춰지도록 교육하여, 고등학교에 진학하여 공정하게 대입 경쟁에 나설 수 있도록 국가가 준비를 해주어야 합니다.

STEAM 소양과 역량은 탐구 교육이 제대로 수행될 때 자연스럽게 키워질 수 있습니다. 앞서 과학자가 연구하는 실질적 맥락의 문제 예시에 소개했듯이 문제를 해결하는 과정에서 여러 교과 분야의 전문성이 자연스럽게 필요하게 되고, 이를 활용하는 과정에서 STEAM 소양과 역량이 함께 키워질 수 있습니다.