

국제청소년물리토너먼트(IYPT)를 통해 보는 과학영재교육의 과제

조한국*

단국대학교

Tasks of Science Education for the Gifted through the Analysis of International Young Physicists' Tournament (IYPT)

Jho, Hunkoog*

Dankook University

Abstract : This study introduces the international young physicists' tournament (IYPT), which is one of the biggest competitions for the science gifted, and gives implications for gifted education in Korea. Thus, this study provides a brief summary of KYPT(domestic competition) and IYPT with historical backgrounds and shares problems of Korean gifted students with a focus on three stages: report, opposition and review. In terms of the report, students tend to rely on theories found in the previous studies rather than to focus on observing actual phenomena. When they face anomalous situation between theoretical and experimental data, they are inclined to calibrate experimental data, rather than revising the hypotheses. In the opposition, students do not put much attention to experimental results and concentrate on theoretical debates. In the review, they do not have practical advice to solve the fallacies of the given reports even though they provide many parameters influencing the results of the research. Such problems may be linked to insufficient learning opportunities about empiricism and evidence-based reasoning, and thus this study suggests several ways to solve these problems.

Keywords : gifted education, scientific inquiry, scientific discussion

요약 : 본 연구는 과학영재를 위한 국제경진대회 중 하나인 국제청소년물리토너먼트의 특징과 현황을 살펴보고, 관련 참여 경험과 근거를 토대로 우리나라의 과학영재교육에 대한 시사점을 도출하는 데에 목적이 있다. 이에 따라 국제청소년물리토너먼트 및 한국청소년물리토너먼트에 대해 살펴보고, 국내 학생들이 대회 준비 및 발표 과정을 통해 드러나는 문제점을 대회 구성요소인 발표와 반론, 평론을 중심으로 분석하였다. 학생들의 발표 과정에서 나타나는 문제점은 주어진 현상을 중심으로 관찰하고, 문제를 발견하기 보다는 검색을 통해 나타난 참고문헌의 이론과 수학적 접근에 의존하는 경향이 있었고, 이론과 실험의 불일치 상황에서 결과를 중심으로 이론을 수정하거나 재해석하기보다는 이론을 중요하게 여기는 특징을 보였다. 반론에서도 이론 자체에 대한 반박과 논박이 중심이 되며, 주어진 실험 결과에 관심을 두고, 이를 해석하기 위한 노력이 부족하였다. 평론의 관점에서는 다양한 문제점을 지적하나 실제 각 변인이 얼마나 실험 결과에 영향을 미치는지 고려하지 않았고, 제기한 문제를 해결하기 위해 어떻게 현실적으로 실천 가능한지 해답을 제시하지 못하였다. 이러한 문제점은 장기적이고 반복적인 실험 수행과 관찰 경험이 부족하고, 증거와 자료를 기반으로 한 사고가 익숙하지 않기 때문으로 여겨진다. 또한, 팀보다는 역할 분담 중심의 개인 활동에 익숙하기 때문에 개방적 문제 해결을 위한 창의성이나 문제해결 능력 향상이 필요함을 뜻한다. 이에 따라 본 연구에서는 실험 및 탐구 중심의 과학영재교육을 위한 여러 개선 방안을 제시하였다.

주요어 : 영재교육, 과학적 탐구, 과학 토론

*Corresponding author : 조한국
E-mail : hjo80@dankook.ac.kr

I. 국제청소년물리토너먼트란?

국내 과학영재교육은 경쟁 중심의 주요 대회를 통해 지원이 이뤄지고 있다. 그 중 국제청소년물리토너먼트(IYPT; International Young Physicists' Tournament)는 국제수학·과학올림피아드를 포함해 매년 한국과학창의재단의 지원을 받아 출전하는 주요 대회 중 하나이다. 국제청소년물리토너먼트는 구소련 국가들을 중심으로 1988년 창설되었으며, 2019년 현재 34개국에서 참가해 매년 7월경 개최되고 있다. 수학 및 과학올림피아드 대회가 정해진 문제를 풀거나, 정해진 실험 과제를 해결하는 것과 달리 국제청소년물리토너먼트는 개방형 문제들에 대해 자유롭게 탐구하고 발표하며, 팀 중심의 토론이 된다는 점에서 다른 대회와 차별성을 가지며, 최근 과학교육에서 추구하는 핵심역량과도 밀접하게 연관된다(교육부, 2015).

국제청소년물리토너먼트는 17개의 개방형 물리 문제에 대해 각 팀이 탐구한 결과를 발표하고, 이를 토론하도록 구성되어 있다. 각 국가는 5인 이하로 구성된 1개의 팀이 출전하며, 매 라운드는 3~4개 팀이 결합되어 각 팀은 발표, 반론, 평론을 번갈아 맡도록 되어 있다(Figure 1 참조). 매 라운드의 시작은 발표팀에 대한 반론 팀의 발표 문제 제기로 시작하며, 발표팀이 이를 승낙하면 해당 문제를 발표하고, 이에 대해 반론 팀이 문제를 제기하고 최종적으로 평론 팀이 발표를 요약하고 평가하도록 되어 있다. 심사위원은 각 국가의 지도교사(교수)와 물리학 및 물리교육 연구자로 구성되는데, 유럽의 일부 국가에서는 대학교수가 아닌 중등학교 교사나 대학원생이 국가대표 인솔자로 참석하고 있다. 각 라운드는 5~6인의 심사위원이 참

여하며, 심사위원은 매 라운드 토론이 종료되면 세 팀을 대상으로 한 질의응답을 거친 후 점수를 부여하는 역할을 담당하고 있다.

국제청소년물리토너먼트는 물리 인재 양성을 위한 종합적인 경험을 제공하는 유일한 대회이다. 국제청소년물리토너먼트에서 제시되는 물리 문제는 총 17개로 역학, 전자기학, 음향학, 유체역학, 전자기학, 광학 등 물리학 전 분야에 걸쳐 있으며, 대부분 그 정답이나 일반적인 풀이가 공개되어 있지 않아 실험 설계에서부터 자료 수집과 분석, 결론에 이르는 모든 과정들을 경험한다는 점에서 물리학 연구 수행을 위한 종합적 탐구 능력 함양에 도움이 된다. 그리고 학교에서 배울 수 없는 다양한 지식과 이론에 대한 탐구를 통해 물리학을 깊이 있게 이해할 수 있고, 물리학이 무엇인지 그 본성을 이해할 수 있으며, 물리학 연구자로서의 자질을 탐색할 수 있는 좋은 기회가 된다. 또한 학생들 간의 토론을 통해 의사소통 능력 및 협동심을 배양할 수 있다.

우리나라의 경우, 2001년부터 국내대회를 개최하였으며, 국제대회 참가는 2002년부터 이루어져 왔다. 국내 대회는 주로 1~2월에 실시되고, 참가자는 영재고와 과학고 학생들이 주를 이루며, 자율형 사립고와 외국인 학교가 최근 들어 참여하고 있으며, 일반고의 참여는 적은 편이다. 국내 대회라 하더라도 국제대회의 규정에 맞게 영어로 진행하며, 문제의 난이도가 대학 학부 고학년 이상의 깊이 있는 물리 이론을 요구하기 때문에 일반고 출신 학생들이 소화하기는 어렵다. 국내 대회의 심사는 대부분 국내 물리학과 및 공학계열 대학 교수 및 연구원이 참여하고 있다. 국가대표의 선발은 국내 대회 상위 입상자를 대상으로 국가대표 선발을 실시한 뒤, 약 45~50일간 합숙을 거쳐 국제대회에 참여하고 있다. 최근 참여한 2018년 및 2019년 대회에서는 각각 금상 및 은상(5위)을 수상한 바 있다.

II. 국제청소년물리토너먼트의 경향과 특징

국제청소년물리토너먼트에 제시되는 문제들은 각 국가에서 자유롭게 출제하며, 문제의 선정은 대개 국제대회와 함께 개최되는 운영위원회(International Organizing Committee)에서 이를 논의하고, 17개의 문제를 대회 종료 후 발표하게 된다. 국제청소년물리토너

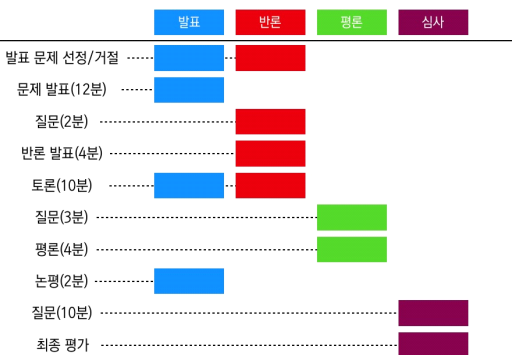


Figure 1. 국제청소년물리토너먼트 라운드 진행 절차

먼트에서 다루는 문제들은 고등학생들이 쉽게 수행할 수 있는 것들도 있지만, 대학이나 연구소의 정밀 실험 장비를 거쳐야 하는 것들도 있다. 예를 들면 단일 렌즈와 핀홀(pin hole)을 이용한 망원경(Single lens telescope)을 만들어 왜곡이나 관련 변인을 탐색하는 실험이나 Figure 2에서 제시된 것처럼 작은 구멍을 통해 불어 소리를 내는 악기를 만들고, 소리의 특성에 영향을 주는 변인을 탐색하도록 하는 문제들이 제시된다.

그러나 대학이나 연구소에서 가능할 법한 문제들도 제시되는데, 예를 들면 간장 소스의 농도를 광학적으로 분석하고 정확도를 비교하는 문제는 비선형 광학(Nonlinear optics)으로 레이저를 활용한 Z-Scan을 써야만 정확한 값을 구할 수 있는 것이며(Das & Shukla, 2014), 강자성체에서 열이 가해지면 자화되

는 정도가 바뀌는 성질을 이용해 외부 자기장에 의해 회전하도록 만든 문제(Figure 2 및 Table 1 참조)는 자기장의 세기와 가열되는 니켈 디스크의 온도를 열 영상으로 촬영해 이를 분석할 수 있어야 가능한 것들이다(Chiaveriana, 2014). 게다가 실험 장치는 단순하더라도 그 원리를 이해하거나 결과를 예측하고 분석할 수 있는 모델을 개발하기 위해서는 학부 수준 이상의 물리학에 대한 이해를 요구한다. 앞서 쉽게 실행할 수 있다고 제시한 문제들도 학부 수준의 광학이나 음향학을 이해해야 하며, 또한 이와 관련된 물리학 연구를 검색하고 파악할 수 있어야 한다(Eichwald et al., 2010; Kannala & Brandt, 2006; Schepler & Smith, 1951). 실제로 국제청소년물리토너먼트에 포함된 대부분의 문제들은 물리학의 각 분야에서도 최근 연구되는 주제로서 한두 개의 이론이나 법칙만으로 설명

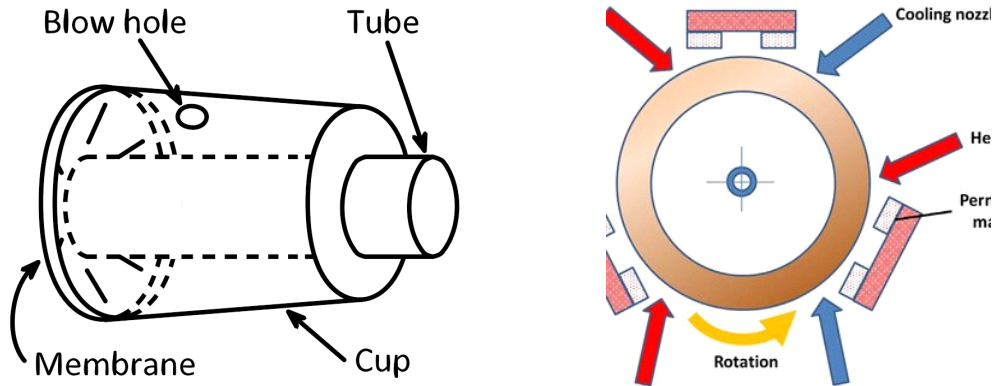


Figure 2. 막 진동을 활용한 악기의 구조 및 온도에 따른 자화 변화에 따른 회전 장치의 예시

Table 1. 국제청소년물리토너먼트에 공개되는 문제 예시

연도	문제 예시
2019	Soy Sauce Optics Using a laser beam passing through a thin layer (about 200 μm) of soy sauce the thermal lens effect can be observed. Investigate this phenomenon.
2018	Ring Oiler An oiled horizontal cylindrical shaft rotates around its axis at constant speed. Make a ring from a cardboard disc with the inner diameter roughly twice the diameter of the shaft and put the ring on the shaft. Depending on the tilt of the ring, it can travel along the shaft in either direction. Investigate the phenomenon.
2017	Single lens telescope A telescope can be built using a single lens, provided that a small aperture is used instead of an eyepiece. How do the parameters of the lens and the hole influence the image (e.g. magnification, sharpness and brightness)?

Table 2. 국제청소년물리토너먼트에 공개되는 문제의 영역 통계(2016~2020)

연도	역학	광학	현대물리 (물성)	유체역학	열역학	전자기학	음향학
2020	4	2	1	4	2	3	1
2019	5	2		6		1	3
2018	5	2	1	6	2		1
2017	5	2		5	4	1	
2016	7	1		3	1	3	2
계	26	9	2	24	9	8	7

될 수 없는 것들이다.

국제청소년물리토너먼트에 해마다 공개되는 문제들을 최근 5년간 분석해 본 결과가 Table 2와 같다. 가장 많은 비중을 차지하는 것은 역학과 유체역학이다. 국제청소년물리토너먼트가 지향하는 과제들이 모두 개방형 문제들이므로 고등학생이라 하더라도 일반물리학 수준에서 해결할 수 있는 문제가 제시되는 경우는 거의 없다. 역학 역시 Euler-Lagrange 방정식을 활용하는 경우가 많지만 3차원 문제여서 미분이 복잡하며, 이론과 실험의 비교를 위해서는 MATLAB이나 Python을 활용한 시뮬레이션과 그 결과를 비교해 fitting하는 과정을 거쳐야 한다. 유체역학은 대부분의 경우, 명확한 해를 구하기 어려운 경우가 많아 2017년 이후 지속적으로 큰 비중을 차지하고 있으며, 실제 상황을 다루기 때문에 이상적 상황에서의 Laplace 방정식이나 Navier-Stokes 방정식으로 해결할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유체역학에서의 실험 연구들로부터 관련 데이터들을 참고해야만 실험 수행과 분석이 가능하다.

따라서 국제청소년물리토너먼트에 참여하기 위해서는 학부 수준 이상의 물리학적 지식과 함께 다양한 선행 연구를 검색하고 참조할 수 있는 능력과 이를 토대로 자유롭게 영어로 의사소통할 수 있는 언어 구사 능력이 요구된다. 아울러 문제에 대한 접근을 어떻게 시도하느냐에 따라 다양한 해석이 가능하기 때문에 문제에 대한 인식이나 실험 설계, 수행 등 문제해결능력이 요구된다. 게다가 국제청소년물리토너먼트는 발표 대회가 아니라 토론 중심이므로 아무리 뛰어난 이론과 독창적 접근으로 문제에 대한 해결책을 잘 제시하였다 하더라도 반론팀과의 활발한 토론과 설득 과정이 이뤄지지 않으면 높은 점수를 받기 어렵다. 따라서 자신이 수행한 연구를 쉽게 잘 설명하고 여러 새로운 상

황에 적용 가능한 일반화된 주장을 펼칠 수 있는 발표 능력이 중요하다. 이러한 상황은 일반적인 연구자들이 자신의 연구를 수행하고 학술대회에서 이를 소개하고 발표하는 전체 과정과 유사하기 때문에 본 대회의 참여는 학생들에게 실제 연구자들이 수행하는 전반적인 과정을 경험하도록 하는 좋은 기회를 제공한다.

Ⅲ. 국제청소년물리토너먼트를 통해 나타나는 문제점과 과제

우리나라의 국제청소년물리토너먼트의 출전 성과를 살펴보면 2009~2014년까지 우승 또는 2위로 금상을 수상했지만 2014년 이후는 2018년 대회 금상을 제외하면 은상에 머무르고 있다. 물리 및 다른 과학 올림피아드에서 우리나라의 수상 실적이 매우 우수하다는 점을 고려할 때, 국제청소년물리토너먼트에 참여하는 우리나라의 대표 학생들도 여러 다른 나라와 비교할 때 물리 이해 수준은 매우 높다고 할 수 있다. 그러나 토론과 실험 중심의 본 대회에서 상대적으로 낮은 성과를 보이는 점을 통해 우리나라 과학영재의 육성 과정에서 나타나는 문제점 또는 과제가 무엇인지 살펴볼 필요가 있다. 국제청소년물리토너먼트의 세 역할인 발표, 반론, 평론을 중심으로 학생들의 전반적인 수행 과정과 결과에서 나타나는 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

1. 연구 수행 및 발표

우선 국제청소년물리토너먼트에서 활용되는 평가 기준표를 살펴보면 실제 연구과정에서 필요로 하는 요소들을 과정에 따라 포함하고 있다(Figure 3 참조). 주어진 현상에 대한 관찰과 이해, 이를 분석하기 위한 이론과 모형의 설정, 이를 확인할 수 있는 적절한 변

REPORTER

Start from 1 and add/subtract

1 + + - =

SCORESHEET

fight (round no.): stage: room: problem no.: Juror's name & signature:

reporter: opponent: reviewer:

REPORT	REPORT						DISCUSSION WITH OPPONENT		
	phenomenon explanation	theory/model	relevant experiments	comparison between theory and experiment	own contribution	task fulfillment	science communication	relevant arguments/responses	reporter's conduct at the discussion
0	almost no	almost no	too few	no/ almost no	others' data, incorrectly cited	misunderstood	unclear, chaotic		
1	some	some	some	some	review of sources, cited	partly	partly clear	0	too few
2	fair	fair	fair	not well fitting	some own input	average	average	1	some
3				deviations				2	many
4	good	good	well performed, sufficient number	qualitatively analysed	+ some interesting results	some aspects above average	some parts well done	3	+ data/theory convincingly supported
5	detailed demonstrative	quite detailed, correct	+ results explained errors analysed	+ theory limits explained, conclusive	considerable experimental or theoretical	interesting solution	overall clear, demonstrative		proved deep understanding
6	deep and comprehensible, shows physical insight	detailed, complex, completely testable	+ reproducible, convincing analysis	well fitting, deviations analysed, conclusive	considerable experimental and theoretical	greater extent than expected	+ complex concepts well communicated		overall efficient

NOTES:

Figure 3. 2019년 국제청소년물리토너먼트의 발표팀 평가기준표

인 및 실험의 구성, 실험 수행 결과에 대한 예상과 관찰 결과의 비교, 새로운 발견에 대한 기여, 결론 확인을 통한 주어진 과제 완수 여부를 발표를 통해 확인하도록 하고 있다. 그러나 국내 대회 및 국제대회에 참여하는 국가대표의 특징을 살펴보면 주어진 현상을 면밀히 관찰함으로써 분석하고 파악하기 보다는 선행 연구나 검색 등을 통해 관련되는 이론이나 원리를 파악하고, 그에 따라 실험을 설계하고 접근하려는 경향이 있다. 과학에서의 경험적 입장을 덜 중요하게 여기는 특성들은 과학영재의 문제발견 과정에 관한 다른 선행 연구에서도 동일하게 나타나고 있다. 영재 학생들은 전문가나 자료 검색을 통해 문제를 발견하거나, 직접적인 현상에 대한 관찰과 경험을 통해 문제를 도출하는 경향이 적음을 알 수 있다(조대기와 한기순, 2015a, 2015b; Lee et al., 2018).

영재학생들은 물리에 대해 우수한 성적을 보인다 하더라도 연구 경험과 선행 연구에 대한 검색 능력이 부족하기 때문에 자신이 발견한 소수의 연구 논문의 이론에 의존하는 경향이 있었고, 이론과 실험의 결과가 불일치하는 상황을 경험할 때 이를 효과적으로 해결하지 못하는 경향을 보였다. 이는 크게 두 가지 관점에서 이유를 찾을 수 있는데, 첫째는 주어진 이론이 얼마나 현상을 잘 설명하는지 판단하는 능력이 부족하고, 이론이 포함하는 전제나 한계를 명확히 인식하지 못하기 때문이다. 선행 연구 검색을 통해 발견한 연구의 이론은 익숙하지 않은 실험법칙과 수학적 계산을 포함하는데, 이를 제대로 이해하지 못하면 그 결과만을 토대로 변인을 설정하고 실험에 적용하려고 하게 된다. 그러나 대부분의 논문에 제시된 결과들은 특정한 상황에 적용되기 때문에 주어진 문제 상황에서는 적용되지 않을 가능성이 높다. 그러나 이러한 점

들을 제대로 이해하지 못하면 설명 이론과 실험 결과가 일치하더라도 유의미한 결과로 볼 수 없다. 또, 다른 이유는 불일치 상황에서 학생들이 결과를 중심으로 재해석하거나, 다른 가능성을 검토하기 보다는 초기에 선택한 이론에 지나치게 집착하거나 불일치 상황 자체를 잘 인식하지 못하기 때문이다. 송지영과 최원호(2018)의 사례를 살펴보면 학생들이 불일치 상황을 접할 때 결과를 설명할 수 있는 다른 가능성이나 이론의 재해석보다는 초기 이론에 맞게 해석하려고 하는 특징을 보인다.

학생들의 이론적 접근에 대한 선호는 실험 수행 능력의 한계와도 관련될 수 있다. 국내 대회의 경우, 12분 동안 주어지는 발표 중 가장 많은 시간을 이론이나 모형의 정립 과정에 배분하는 경우가 많다. 주어진 현상으로부터 작용하는 힘이나 요인을 고려하고 단순한 모형을 수립한 뒤 실험을 반복적으로 수행해가면서 이를 설명할 수 있는 이론을 정교화하는 과정을 거치는 경우는 거의 나타나지 않는다. 자신이 선택한 이론이 해결하지 못하는 결과가 나타났을 때 이를 적절히 고려해 수정하지 못함을 뜻한다. 실험 결과를 설명할 수 있는 이론이 없다 하더라도 실험 자체를 충실히 수행하기 보다는 이론에만 집착하는 특징이 있다. 이는 KYPT에 참여한 학생들의 사례에서도 나타나는데, 학생들은 실험 설계 및 수행 과정을 가장 어려워하는데 스스로 실험 장치를 구성하거나 조합할 수 있는 능력이 부족하기 때문인 것으로 보인다(김효준과 송진웅, 2012). 실제로 영재 학생들의 실험 설계나 변인의 관계 인식 등 수행과 관련된 능력이 부족한 것으로 나타나는 사례가 많으며, 실험을 중요하게 여기지 않는 경향이 있다(송신철과 심규철, 2017; 임수빈과 최원호, 2017). 이러한 문제를 개선하기 위해서는 과학영

재교육에서 기초적인 실험 수행과 조작 능력, 문제 발견 등 실험교육을 강화할 필요가 있다. 일반적으로 과학의 본성 중 잠정성에 대해 대부분의 영재학생들은 이를 인정하지만, 실제 물리적 문제 해결 상황에서는 정답이 있다고 생각하는 경향이 많다. 이러한 현상에 대한 이유를 분석하기 위해서는 단순히 과학의 본성에 대한 인식을 조사하는 것이 아니라, 과학 지식에 대한 인식론적 관점에 대해 조사하고 분석할 필요가 있다(Gallagher, 2019).

2. 반론 및 토론

다른 영재 관련 대회와 비교해 국제청소년물리토너먼트가 가지는 가장 큰 특징은 학생 간 토론에 있다. Figure 3과 Figure 4에서 제시한 평가표를 보더라도 토론이 차지하는 점수의 비중이 매우 큰 것을 알 수 있다. 반론 팀의 주요 역할은 발표팀이 제시한 발표를 토대로 문제를 해결하기 위해 제시한 이론이나 모형의 한계는 무엇인지 밝히고 과학적 문제 해결에 기여하는 것이다. 게다가 반론 팀은 발표자의 발표를 중심으로만 논의하도록 하며, 발표자가 수행하지 않은 다른 연구나 새로운 이론을 제기하지 못하도록 규정되어 있다. 따라서 생산적인 반론이 되기 위해서는 단지 발표에 대한 문제만 지적해서는 안 되고, 발표 팀의 실험 결과를 토대로 이론이나 모형의 필요성을 느끼도록 설득해 발표자가 다양한 가능성을 받아들일도록 해야 한다. 그러나 대부분의 반론 과정에서 나타나는 특징은 발표자가 제시한 현상에 대한 관찰이나 실험 결과로부터 이의를 제기하지 않고, 발표자의 배경 이론 자체에 대해서만 토론하게 된다. 예를 들어 컵에 물을 따르게 되면 컵 속의 물의 높이가 점차 차오르면서 나는 소리의 음이 점점 높아짐을 알 수 있다(2019년 문제). 그런데 이에 대해 벽과 물의 충돌, 공기방울의 공명, 공기방울의 터짐 등 다양한 이론이 제기된

다. 반론이 이뤄지는 상황을 살펴보면 특정 방식에 대해 고려하지 않은 것에 대해 지적할 뿐 발표자의 실험 결과를 주목해 특이한 현상을 발견하고 이를 설명하게 하거나, 실험 결과가 설명하지 못하는 문제점을 제기하지 않는 경우가 대부분이다. 이러한 경향은 앞서 제시한 것처럼 학생들이 실험보다는 이론에 의존하는 것과 관련이 있다. 위에서 제시한 예는 단순히 보이더라도 어느 변인에 의한 것인지 파악하기 위해서는 실험 설계가 매우 까다롭다. 그러나 학생들은 실험 수행 능력과 인식이 부족하므로 주로 이론적 논의와 접근에 그치게 된다. 또한 이러한 문제는 상대방의 주장과 근거에 대해 경청하고, 이를 이해하는 태도가 부족하기 때문이 나타난 것일 수 있다.

한편, 발표자가 반론자가 예상한 이론적 관점을 수행하고, 그 모형이 실험 결과를 잘 수행하게 되면 반론을 잘 수행하지 못하는 경우가 많다. 이는 자연 현상을 설명하기 위한 체계로서 과학 이론의 다양성을 잘 인식하지 못하고 특정한 답이 있다고 생각하는 관점과도 관련이 깊다. 이는 앞서 발표에 관한 문제점에서 지적했듯이 선형 연구나 이론의 전제나 한계를 명확히 인식하지 못하기 때문으로 볼 수 있다. 한 번에 완벽하게 설명하는 이론을 구축하려고 하기보다는 단순하고 쉬운 물리학으로부터 현상을 정의하고, 이를 확장해 갈 수 있도록 토론 과정을 통해 진전이 이뤄져야 한다. 그러나 대부분의 과제연구나 R&E에서는 협동을 통해 이론이나 모형을 정교화하는 과정보다는 개인에 의해 이뤄지는 경우가 많기 때문에 이러한 경험이나 기회를 충분히 갖지 못한다. 보다 단순한 원리로부터 이를 확장해 가면서 정교화하는 과정을 경험하도록 지도해야 할 것이다.

3. 평가 및 총평

국제청소년물리토너먼트에서 평론 팀의 역할은 발

OPPONENT		DISCUSSION WITH REPORTER			
Start from 1 and add/subtract		relevant scientific topics	own opinions presented	opponent's conduct of the discussion	prioritisation
1	+ [] + [] + [] - [] = []	almost no	too few	poor	no
2		few	some	some aspects fine	some
3		some	some correct	good	reasonable
4		good	many correct	some aspects efficient	fair
		new crucial point(s)	+ improvement suggestions	overall efficient	very good

Figure 4. 2019년 국제청소년물리토너먼트의 반론팀 평가기준표

표와 평론이 수행한 과제에 대해 요약하고 두 팀 간의 토론의 장단점을 파악하여 더 나은 모형을 개발할 수 있도록 제시하는 것이다. 특히 평가기준표에서도 두 팀이 빠뜨린 논의에 대해 지적하는 것을 중요한 영역으로 포함하고 있다(Figure 5 참조). 대체로 발표나 반론에 비해 비평의 역할을 잘 수행하는 편이기는 하다. 2019년 국제대회를 살펴보면 발표나 반론에 비해 평론의 점수가 1점 가량 높은 편이다. 그러나 실제 토론 참여 과정을 살펴보면 개선할 점들이 발견된다.

제시되는 문제들이 접근이나 방향이 모두 열려 있기 때문에 이를 이상화하거나 단순화시켜 해결할 수밖에 없다. 이 과정에서 무시되는 여러 조건들을 고려할 필요가 있다고 지적하는 일은 쉬운 일이다. 그러나 실제 지적한 관련 변인이 얼마나 큰 영향을 미치는지, 그리고 그러한 변인에 의한 효과를 줄이기 위해서는 실험적으로 어떤 방법을 취할 수 있는지는 잘 염두해 두지 않고 있다. 예를 들어 회전하는 축에 윤활유를 바른 뒤 링을 끼워 링의 운동을 관찰하고 분석하는 과제에 대해 학생들은 흔히 공기 저항이나 마찰을 실험의 변수로 언급한다. 그러나 윤활유의 사용 목적이 축과 링 사이의 마찰력을 최소화하기 위해 사용된 것이고, 링의 이동 속도가 빠르지 않기에 때문에 공기에 의한 저항(drag force)은 무시할 수 있다. 또한 유체에서의 마찰력은 측정하기 매우 어렵기 때문에 설명 그러한 효과에 의한 것이라 하더라도 이를 정량적으로 파악하는 것은 불가능하다. 단지 실험을 수행할 때 나타나는 결과의 차이를 오차로만 취급할 것이 아니라, 그러한 오차를 줄이기 위한 방안은 무엇이며, 실제 실험을 다시 수행함으로써 그러한 예측이 얼마나 맞았는지 확인할 수 있도록 학생들이 탐구할 수 있도록 유도해야 한다. 실제 대부분의 과학영재를 위한 수업 및 활동에서는 하나의 주제를 대상으로 반복적으로 실험을 수행하고 문제를 해결하기 위해 자기주도적으로

실험 장치의 설계나 측정 방법을 자유롭게 변화시키는 체험을 하는 경우가 거의 없어 불일치 상황에 이를 때 많은 혼란을 겪는다(송지영과 최원호, 2018; 제갈미혜와 김효남, 2015). 이러한 점들을 극복하기 위해서는 실험을 통해 자신의 주장을 확인하고 검증할 수 있도록 안내할 필요가 있다.

IV. 시사점 및 제언

과학 영재를 위한 국제경진대회는 대학 진학의 도구로 왜곡되거나 불필요한 경쟁 심리로 인한 갈등의 우려도 있지만, 물리에 관심 있는 우수한 영재를 발굴하고, 깊이 물리학을 체험할 수 있도록 함으로써 관련 분야로 진로를 개척할 수 있도록 자극하는 긍정적 효과도 함께 가지고 있다. 특히, 토론 중심의 한국청소년물리토너먼트를 통해 물리를 좋아하는 과학 영재학생들이 문제 해결을 위해 함께 토론하고 협동함으로써 실제 과학 연구와 유사한 경험과 과정을 제공할 수 있어 매우 유익한 대회이다. 그러나 대회를 통해 나타나는 학생들의 문제점을 통해 과학영재교육에서 더 보완되어야 할 여러 점들을 요약하면 다음과 같다. 무엇보다 주어진 현상에 대한 관찰과 경험을 통해 문제를 찾도록 해야 하며, 자신이 생각하는 바를 실제 실험 결과나 증거를 통해 주장할 수 있도록 해야 한다. 이러한 문제는 이론 중심의 경진대회나 교육활동의 영향일 수 있으며, 실험과 관찰, 체험, 스스로 실험 기구를 제작하는 활동 등을 통해 직접 문제를 해결할 수 있도록 하는 전환이 시급함을 뜻한다. 이론에 맞도록 실험을 구성하는 연역적 방법 외에도 실험을 통해 적합한 이론을 발견하고 수정해 가는 귀납적 방법을 잘 이해하고 수행할 수 있도록 해야 한다.

또한 학생들은 물리학을 포함한 과학의 여러 문제들에 대해 과학의 잠정성을 기반으로 다양한 생각과

REVIEWER Start from 1 and add/subtract

1 + + + ± - =

QUESTIONS ASKED	REPORT EVALUATION & UNDERSTANDING	PROS & CONS	PRIORITISATION	DISCUSSION ANALYSIS	MISSED POINTS POINTED OUT
0 — too few, mostly irrelevant — relevant, meant to clarify unclear points	0 — poor/wrong	— irrelevant	— no	0 — almost no	-1 — irrelevant
1 — + suitably allotted to Rep & Opp, most time used	1 — partial	— partially relevant	— some	1 — too short/long	0 — none
2 — + short, apt and clear, well prioritized, time managed efficiently	2 — good	— mostly adequate	— reasonable	1 — relevant parts	— many
	3 — detailed, complex	— fully adequate	— good	2 — accurate, conclusive	1 — relevant, constructive

NOTES:

Figure 5. 2019년 국제청소년물리토너먼트의 평론팀 평가기준표

접근을 시도할 수 있어야 한다. 선행 연구에서 제시되는 법칙이나 이론 역시 경험적 자료를 통해 이뤄진 것으로, 다른 실험 결과에 의해 부정되거나 수정될 수 있다. 맹목적인 이론에 대한 의존은 새로운 발견이나 보다 적합한 문제 해결 전략 도출에 장애가 될 수 있다. 따라서 실험 결과를 중심으로 이론을 전개하거나, 실험을 설계할 수 있도록 하는 경험이 제공되어야 한다. 또한 이를 통해 과학 이론이나 수학적 전개에만 집중하지 말고, 물리의 다양한 측면에 초점을 맞출 수 있도록 교육되어야 한다. 과학사적 측면에서도 영국의 경우는 실험과 경험을 중요시하는 전통을 가지고 과학혁명을 주도한 반면, 프랑스의 경우 수학적 모형을 중심으로 역학과 전자기학에서의 수학적 접근을 완성한 바 있다(Cushing, 1998; Harman, 1982). 따라서 이론과 실험의 다양한 측면에 대해 관심을 가지고 접근할 수 있도록 확대될 필요가 있다.

보다 다양한 사고의 촉진과 생산적 과학 활동을 위해서는 개인보다는 팀 중심의 협업 학습에 보다 익숙해지도록 해야 한다. 개방적 문제 해결 과정에서 다양한 변인을 개인의 실험만으로는 모두 검증하는데 한계가 있고, 서로 다른 생각을 가진 학생 간의 토론을 통해 보다 적절한 이론이나 모형을 도출할 수 있다. 따라서 생산적 협업 활동이 이뤄질 수 있도록 영재 실험 실습 교육이 개선될 필요가 있다. 실제 적극적인 협업 활동을 통해 학생들이 가설 설정 과정이나 평가에서의 기준 마련과 지식 공유를 통한 개념 변화가 일어날 수 있기 때문이다(이지원과 김중복, 2013).

이러한 과학영재교육에서의 문제점과 과제에 대해 보다 효과적으로 대처하기 위해서는 여러 후속 연구들이 필요하다. 학생들의 과제연구나 자유탐구 등 문제 발견 및 해결 과정에서 어떤 어려움을 겪으며 어떻게 해결하는지 구체적으로 살펴볼 필요가 있으며, 학생들의 수준과 흥미를 고려해 실험과 경험 중심의 교육과정 및 교재, 교육환경 등이 마련될 필요가 있다. 또한 영재교육을 통해 학생들의 문제해결 및 연구 역량이 얼마나 개선되었는지 효과성 검증도 이뤄져야 한다. 무엇보다도 과학영재교육에서 어려운 과학이론이나 내용이 심화로운 이뤄지지 않도록 주의를 기울일 필요가 있다. 유년기부터 노년까지 생애가 잘 알려진 과학자들의 사례를 살펴보면 영재 또는 사사 교육을 받은 사례가 거의 없으며, 대체로 주요 업적들은 대학원 재학 시절 및 전문적 연구자로서의 초기에 이

뤄진 경우가 많은데, 이러한 업적에 이르게 된 배경이나 동기가 무엇인지 좀 더 면밀한 분석이 필요하다. 학생들의 수준에 맞는 실험과 관찰, 사고와 추론을 통해 과학적 호기심을 자극하고, 지속적으로 연구를 수행할 수 있는 역량을 기르는 것이 과학영재교육의 가장 중요한 과제라 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 교육부 (2015). 2015 개정 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 2015-74호. 세종: 교육부.
- 김효준, 송진웅 (2012). 개방형 과학 탐구를 위한 효과적인 지도 전략의 탐색: 과학고등학교의 KYPT문제 해결 사례를 중심으로. 한국과학교육학회지, 32(10), 1489-1501.
- 송신철, 심규철 (2017). 고등학교 과학영재들의 실험 설계 및 토론 활동에 대한 인식 조사 연구. 생물교육, 45(1), 81-91.
- 송지영, 최원호 (2018). 불일치 실험 사례를 접한 중학교 과학 영재 학생들의 특징 분석. 과학영재교육, 10(2), 63-74.
- 이지원, 김중복 (2013). 과학영재들은 협업적 문제해결과정에서 무엇을 공유하는가? 영재교육연구, 23(6), 1099-1115.
- 임수빈, 최원호 (2017). 물온도계 실험에서 과학 영재 중학생들의 문제 인식, 가설 설정, 변인 통제 능력 분석. 과학영재교육, 9(2), 71-82.
- 제갈미혜, 김효남 (2015). 초등 과학영재들의 실제 불일치 상황에서의 대처 전략 및 과학에 대한 인식론적 신념 분석. 영재와 영재교육, 14(1), 73-96.
- 조대기, 한기순 (2015a). 과학영재 고등학생의 과학 분야 문제발견 분석: 근거이론을 중심으로. 교육인류학연구, 18(3), 97-129.
- 조대기, 한기순 (2015b). 과학영재 고등학생의 문제발견과정 개인차 유형 분석. 창의력교육연구, 15(4), 77-98.
- Chiaverina, C. (2014). Nickel curie point engine. Physics Teacher, 52(4), 250.
- Cushing, J. T. (1998). Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories. New York: Cambridge University Press.
- Das, R., & Shukla, M. (2014). Measurement of nonlinear refractive index in open-aperture Z-scan experiments. Pramana, 83, 985-994.
- Eichwald, B., Argentina, M., Noblin, X., & Celestini, F. (2010). Dynamics of a ball bouncing on a vibrated elastic membrane. Physical Review E, 82(1), 016203.
- Gallagher, S. A. (2019). Epistemological differences between gifted and typically developing middle school students. Journal for the Education of the Gifted, 42(2), 164-184.
- Harman, P. M. (1982). Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-century Physics.

- New York: Cambridge University Press.
- Kannala, J., & Brandt, S. S. (2006). A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(8), 1335-1340.
- Lee, J., Jung, S., & Kim, Y. (2018). A case study on today scientists' problem finding to solving process and implications for science-gifted education. *Journal of Gifted/Talented Education*, 28(3), 307-322.
- Schepler, H. C., & Smith, A. N. (1951). A basic principle for the telescope and microscope. *American Journal of Physics*, 19(2), 129.
-
- 2019년 12월 23일 접수
2020년 2월 27일 수정원고 접수
2020년 2월 27일 채택

* 조현국, 단국대학교(Jho, Hunkoog; Dankook University).