

제16회 국제중등과학올림피아드 물리 이론 문제에 대한 학생들의 풀이과정 분석

권경필¹ · 이세연^{2*}

¹경인교육대학교, ²서울 명덕고등학교

Analysis of Students' Problem Solving for The Physics Theory Problems of The 16th International Junior Science Olympiad

Kwon, Gyeongpil¹ · Lee, Seyeon^{2*}

¹Gyeongin National University of Education

²Seoul Myungduk Highschool

Abstract : The purpose of this study was to analyze the 16th International Junior Science Olympiad (IJSO) physics theory problems and students' problem solving. The item analysis focused on the main concepts required in the problem and compared with the Korean curriculum. The problem solving of students was analyzed focusing on the difficulties of students appearing in solving each problem. The results were as follows. First, the 16th IJSO physics theory problems include the concepts of the Korea's physics I and II curriculum. Second, in the case of problem situations that are not frequently encountered, students use arbitrary interpretations to ignore the main effects or modify the problem situations. Third, some students lacked the ability to read graphs. Fourth, some students did not know the SI unit prefix or made small computational mistakes.

Keywords : 16th International Junior Science Olympiad, physics theory problems, problem solving

요약 : 본 연구의 목적은 제16회 국제중등과학올림피아드(IJSO) 물리 이론 문제 및 학생들의 풀이과정을 분석하는 것이다. 문항 분석은 문제에서 요구하는 주요 개념을 중심으로 이루어졌으며, 우리나라의 교육과정과 비교하였다. 학생들의 문제 풀이 과정은 각 문항별 풀이과정에서 나타나는 학생들의 어려움을 중심으로 분석하였다. 연구결과는 다음과 같았다. 첫째, IJSO 물리 이론 문제는 우리나라의 물리 I, II 교육과정에 포함된 개념을 포함한다. 둘째, 자주 접하는 문제 상황이 아닌 경우, 학생들은 자의적 해석을 통해 주요한 효과를 무시하거나, 문제 상황을 변형하여 접근한다. 셋째, 그래프를 읽는 능력이 부족하였다. 넷째, SI 단위 접두어를 잘 못 알고 있거나, 작은 계산 실수들이 발견되었다.

주요어 : IJSO, 물리 이론 문제, 학생의 풀이과정

1. 서론

우리나라의 공교육과정에서 영재교육은 과학 고등학교와 과학영재학교를 중심으로 이루어지고 있다. 과학영재의 발굴과 교육은 개인의 잠재력을 최대한 개발할 수 있는 기회의 제공이라는 개인적 측면뿐만 아니라, 한 나라의 과학기술 발전 및 국가 경쟁력을 높이기 위한 방편이기도 하다. 많은 부분 과학기술의 발전이나 국가 경쟁력은 과학 인재의 양성과 매우 밀접한 관

계를 갖기도 한다. 이러한 과학 인재를 양성하기 위한 과학교육의 목표 중에 하나는 문제해결력 배양이다(교육과학기술부, 2009). 문제해결력은 보통 과학적 지식과 과학적 사고력을 바탕으로 주변의 문제를 해결하는 능력을 말한다. 학생들이 과학 학습 과정에서 문제해결과정을 경험하는 가장 일반적인 상황은 평가 문항을 풀이하는 과정에서이다. 특히 학생들은 과학 문제를 인식하고 이해하여 어떻게 해결할 것인가를 고민하는 과정에서 문제를 해결하는 방법을 배우게

*Corresponding author : 이세연
E-mail : leesy1318@gmail.com

된다(McDermott & Redish, 1999). 또한 문제 풀이는 단순히 개념을 이해하고 있는 정도를 평가하는 것뿐만 아니라, 문제 풀이 과정 중에서 개념이 형성될 뿐만 아니라, 개념을 적용하는 방법도 알게 되며, 자료 해석 능력이나 사고 능력 등이 복합적으로 향상시키기 때문에 가치가 높다(임준홍과 이봉우, 2015). 대부분의 과학영재 선발과정에 문제 풀이 과정이 포함되어 있는 것도 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 우리나라에서는 주로 수학, 물리, 화학, 생물, 지구과학 학회를 중심으로 국내 경시대회를 통해 영재를 발굴하고 있다. 하지만 대부분 고등학생들을 대상으로 하고 있으며, 중학교 학생을 대상으로 하는 대회는 한국중등과학올림피아드(KJSO)가 유일하다. KJSO에 선발된 6명의 국가대표는 국제중등과학올림피아드(IJSO)에 출전하게 된다. IJSO는 2004년 12월 인도네시아 대회를 시작으로 공식 국제 대회로 출발하였다. 제1회 대회에는 30개국 정도 참여하던 행사였으나, 2019년 제16회 대회에는 70개국 700여 명이 참가하는 매우 큰 국제대회로 성장하였다. 시험은 물리, 화학, 생물을 중심으로 객관식 이론, 주관식 이론, 3인 1조의 실험으로 구성되어 있다. 각국 대표단은 3인 1조로 2개조가 참가한다. 대회 연도 기준으로 만 15세 혹은 그 이하의 학생이어야 하며, 공식 언어는 영어이다(이연희와 김덕수 2019). 이러한 과학 경시대회는 학생들의 과학에 대한 학습의욕을 고취시키고, 성취감을 느낄 수 있게 하는 방편이기도 하다. 보통 과학영재들은 학습 경험에서 오는 높은 학업성취나 수상 경험을 통해 자신의 자기 효능감을 높이며 학습의 동기로 작용하기도 한다(문공주 등, 2013). 때문에 많은 나라들이 영재교육에 대한 프로그램 개발과 더불어 각종 국제 대회에 적극적으로 참여함으로써 각 나라의 영재교육의 수준을 평가하고, 피드백 자료로 활용하고 있다. 이러한 자료는 영재교육에만 영향을 미치는 것이 아니라, 일반학생들을 위한 과학 교육과정에도 영향을 미칠 수 있다. 하지만 지금까지 국제 과학영재 경시대회에 대한 연구가 활발히 진행되지 않고 있는 실정이다. 따라서 그 연구의 시작으로 제16회 IJSO의 물리 이론 문제를 분석하고, 이에 대한 학생들의 풀이과정을 분석하여 대표단 학생들이 겪는 어려움을 통해 우리나라의 과학교육에 대한 새로운 시사점을 얻고자 하였다. 이에 본 연구의 연구문제는 다음과 같이 정하였다.

첫째, 우리나라 교육과정과 비교했을 때 제16회 국

제중등과학올림피아드(IJSO) 물리 이론 문제의 개념 수준은 어느 정도인가?

둘째, 대표단 학생들이 문제 풀이 과정에 겪는 어려움에는 어떤 것이 있는가?

II. 연구 대상 및 방법

본 연구는 2019년 제16회 IJSO에 출제된 물리 문제 및 대표단 6명 학생들의 풀이과정을 연구 대상으로 하였다. 분석방법은 문항의 소개 및 분석과 더불어 학생들의 풀이과정에서 나타나는 문제점을 분석하기 위해 문항별로 분석하였다. 연구 대상 문항은 다음 Table 1과 같다.

다소 서술적 논의가 될 수도 있지만 이러한 분석을 통해 문항에 대한 이해 및 학생들의 풀이과정을 더욱 잘 인식할 수 있을 것으로 판단하였다. 문항에 대한 분석은 문제를 해결하는데 필요한 주요 개념이 무엇인지 제시하고, 우리나라 교육과정과 비교하였다. 학생들의 풀이과정은 각 문항별로 분석한 후 풀이과정에서 나타나는 문제점을 중심으로 분석하였다.

III. 연구결과

1. 이론: 첫 번째 문항

이론시험의 첫 번째 물리 문항은 Figure 1과 같이 이상기체에 관한 것으로 i), ii), iii) 3부분으로 구성되어 있다. i)은 압력과 온도가 주어질 때 기체의 부피를 구하는 문제이다. ii)는 분자 하나의 부피를 주고 전체 공간에서 1.25몰의 분자가 차지하는 공간의 비율을 구하는 문제이다. iii)은 i)상태에서 상태변화 그래프에 표시된 Z 상태로 변할 때, 기체의 부피변화량을 백분율로 나타내는 것이다. 문항에서 요구하는 지식수준은 이상기체 상태방정식 $pV=nRT$ 에 대한 이해이

Table 1. 연구 대상 물리 문항 내용 및 하위 문항 수

연번	내용	하위 문항 수
첫 번째	이상 기체의 상태 변화	3
두 번째	낙타의 체온 유지	2
세 번째	포물선 운동에서의 역학적 에너지 보존	3
네 번째	근육에 작용하는 힘	3
다섯 번째	크롬합금 케이블의 영률	3

The question here is to examine to what extent the gas volume can be reduced after the liquefaction process.

A container contains a gas at a temperature of 3.10×10^2 K and a pressure of 101 kPa.

- i. Find the volume in m^3 occupied by 1.25 mol of the gas in the container, assuming it is an ideal gas. (0.25)
- ii. Assuming the gas molecules, in point (I), can be approximated as small spheres of diameter of 2.50×10^{-10} m, determine the fraction of the volume occupied by the gas molecules. (0.5)
- iii. Assuming the gas in the container, in point (I), is natural gas which consists mainly from methane, use the phase change graph below to calculate the percentage volume change (with reference to point i above) just before liquefaction at point Z on the graph (indicated by an arrow). (0.5)

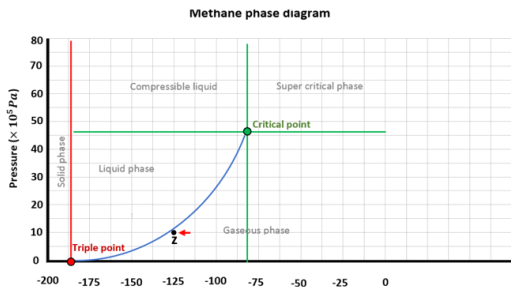


Figure 1. 첫 번째 이론 문항

며, 우리나라 중학교 3학년 교육과정의 수준을 벗어 나는 문항이다.

학생들의 풀이과정을 살펴보면 6명의 학생 중 4학생은 모두 옳은 답을 제시했지만 2명의 학생은 사소한 계산 실수를 보이고 있다. 학생 A의 경우는 Figure 2와 같이 기체분자 한 개의 부피는 잘 계산했지만, 1.25몰의 분자가 차지하는 전체의 부피를 계산하지

$$V' = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4\pi (\frac{d}{2})^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6}$$

$$V' = \frac{\pi}{6} \times (2.50 \times 10^{-10} \text{ m})^3$$

$$= 8.18 \times 10^{-30} \text{ m}^3$$

$$\therefore \frac{V'}{V} = \frac{8.18 \times 10^{-30} \text{ m}^3}{3.19 \times 10^{-2} \text{ m}^3} = 2.56 \times 10^{-28}$$

부피 비 = 2.56×10^{-28}

Figure 2. 학생 A의 ii)에 대한 답안

않음으로써 부피의 비를 계산하지 못하는 실수를 보이고 있다.

학생 B의 경우, Figure 3과 같이 기체상수를 0.082 atm · L/mol · K의 값을 0.82로 넣는 실수 때문에 Z상태의 기체 부피를 10배 크게 계산했으며, 결과적으로 부피변화를 -53%로 계산하였다.

2. 이론: 두 번째 문항

두 번째 문항은 Figure 4와 같이 낙타가 체온을 유지하기 위한 방법으로 물의 기화열만을 이용한다는 가정을 바탕으로 낙타가 가장 높은 체온이나 가장 낮은 체온으로 낮추는데 필요한 땀의 양을 계산하는 문항과 낙타의 발바닥 모양을 제시하고, 모래에 작용하는 압력의 크기를 구하는 문항 2개로 구성되어 있다. 2009 중학교 개정 교육과정이나 2015 중학교 개정 교육과정에서 잠열에 대한 학습 내용이 있지만 정량적 계산을 하는 과정은 없으며, 압력에 대한 학습요소는 존재한다. 따라서 i)문항은 중학교 과정 이상의 문항이며, ii)의 문항은 중학교 수준의 문항으로 볼 수 있다. 대표단 6명 학생 모두 두 번째 문항에 대해서는 감점을 받지 않았다. 하지만 학생들의 답안을 살펴보면 그래프를 정확히 읽지 못하고 있음을 알 수 있다.

Figure 5는 학생 A의 답안으로 낙타의 최고 체온을 42°C, 최저 체온을 36°C로 읽고 있다. 낙타의 최저 체온은 35°C미만임은 그래프로부터 명확히 주어지지만 A학생은 36°C로 읽고 있다.

Figure 6은 학생 C의 답안으로 낙타의 최고 체온을 40.1°C로, 최저 체온을 30.4°C로 읽고 있다. 30°C ~ 40°C 사이의 눈금을 어렵으로 10분등해서 읽으려 했지만 100분의 1로 나타낸 것으로 보인다.

$$PV = nRT$$

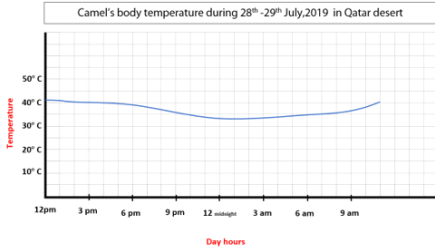
$$V_2 = \frac{nRT_2}{P_2} = \frac{1.25 \text{ mol} \times 0.082 \text{ L atm / mol K} \times 148 \text{ K}}{\frac{10 \times 10^5 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa/atm}}} = 15 \text{ L}$$

$$\Rightarrow \frac{43.4 \text{ L}}{148 \text{ L}} \times 100\% = 29.3\% \rightarrow -100\% = -70.7\%$$

Figure 3. 학생 B의 iii)에 대한 답안

The following graph shows average changes in camel body temperature during a typical day in Qatari desert.

i. If camels, like human, use sweating as one of the mechanisms to keep their body temperature almost constant, calculate the maximum amount of water (in liters) a 5.50×10^2 kg Camel would have to sweat at 12 pm to reduce its body temperature to the lowest value during that day. Assuming that the only way to maintain the temperature is the evaporation of sweat. (0.5) (Note: specific heat capacity of mammal is about 3.48×10^3 J/kg.K and the latent heat of vaporization of water at the lowest temperature is 2.42×10^6 J/kg.



ii. The structure of the camel's foot is well-adapted to survive in deserts. The wide spreading feet keeps the camel from sinking into loose and shifting sands. Furthermore, the wide surface of each foot resists sinking by decreasing the pressure on the sand. If we model the camel's foot as shown in the figure below, calculate the pressure due to the camel weight on the sand. Use the camel's mass mentioned in point (i) (0.5)



Figure 4. 두 번째 이론 문항

$$Q = cm\Delta T = 3.48 \times 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K} \times 5.50 \times 10^2 \text{ kg} \times (42 - 36) \text{ K}$$

Figure 5. 학생 A가 그래프에서 읽은 낙타의 체온

12pm 때의 체온은 40.1°C, 하루 중 가장 낮은 체온은 36.4°C이다.

Figure 6. 학생 C가 읽은 낙타의 체온

3. 이론: 세 번째 문항

세 번째 이론 문항은 마찰력이 존재하는 슬로프를 따라 육면체의 물체가 미끄러져 내려올 때, 마찰력을 줄이기 위해 물체 아래에 놓은 얼음이 모두 녹는 상황에서 i) (B)에서 (C)까지 가는데 걸리는 시간, ii) (B)와 (C) 사이의 거리, iii) 물체가 도달하는 최고 높이를 구하는 문항이다.

본 문항을 풀기 위해서는 얼음의 기화, 속도 벡터의 분해, 등가속도 운동의 분석 등을 알아야 하는데 이는 우리나라 중학교 3학년 교육과정을 넘어서는 것으로 물리2에서 다루는 지식내용으로 구성되어 있다. 본 문항에서는 2명의 학생만 감점을 받지 않았으며, 4명의 학생은 모두 감점을 받았다. 감점을 받은 학생들

A (5.00 kg) cubic shaped wooden block is released from rest to slide on a rough track from point (A) to point (B). To decrease the frictional force between the block and the track, a very thin sheet of ice of mass (0.500 g) and temperature of (-5.00 °C) was attached to the bottom of the block as shown in figure. At point (B) the wooden block will travel in air, after the attached ice sheet has totally melted. A box is placed so that the wooden block travels in the air from (B) to land on this box at point (C) as shown in the figure. Assume that the ice sheet doesn't exchange any heat neither with air nor with the wooden block and there is no air resistance with the block. calculate the following:

- i. The time that the wooden block takes to travel from point (B) to Point (C). (1.0)
 - ii. The distance should the point (C) on the box be placed away from point (B). (0.5)
 - iii. The maximum height from the ground that the wooden block will reach during its journey from point (B) to point (C). (0.5)
- Note: Specific heat capacity of ice is 2090 J/kg. °C. Latent heat of water at 0 °C is 3.33×10^5 J/kg.

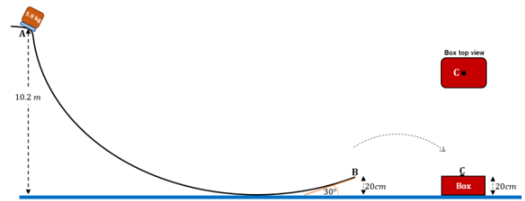


Figure 7. 세 번째 이론 문항

은 대부분 얼음이 녹는 현상이 물체의 운동에 어떤 영향을 미치는지 생각하지 못했다. Figure 8은 학생 D의 답안으로 역학적 에너지 보존법칙을 통해 B점에서 물체의 속력을 계산하고 있다. 이것은 마찰에 의한 열 에너지가 얼음을 녹이는데만 사용되며, 물체의 운동에는 아무런 영향을 주지 않는다는 판단이 반영된 것으로 볼 수 있다.

Figure 9는 학생 A의 답안으로 속력에 대한 식은 모두 옳게 작성했지만, 최종적으로 3.11m/s의 값이 나온 것을 계산기를 다룰 때 실수가 있었던 것으로 파악된다. 이로 인해 계산과정에 대한 점수는 모두 받았지만 정답에 대한 점수를 받지 못했다.

$$A \rightarrow B: \cancel{mgh} \Delta K + \Delta(mgh) = 0, K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2}m(v_B^2 - 0) = mgy(h_A - h_B)$$

$$v_B = \sqrt{2g(h_A - h_B)} = 14.0 \text{ m/s}$$

Figure 8. 역학적 에너지 보존법칙 적용

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2(mgh - Q_{\text{ice}})}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (5.00 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 10.2 \text{ m} - 12 \text{ J})}{5.00 \text{ kg}}}$$

$$= 3.11 \text{ m/s}$$

Figure 9. 학생 A의 답안

Figure 10은 학생 B의 답안으로 마찰에 의해 발생된 열이 물체의 총 에너지에 더해진다고 생각하고 있으며, 물체의 위치에너지 계산에서도 질량을 곱하지 않는 등 계산과정에 매우 미숙함을 보이고 있다.

4. 이론: 네 번째 문항

네 번째 이론 문항은 i), ii), iii)로 구성되어 있다.

i) 문항은 또다시 a, b, c 세 개로 구성되어 있다. a는 한 쪽 발볼을 중심으로 서 있을 때 아킬레스건에 작용하는 힘의 크기를 구하는 것이다. B는 종아리 근육의 비장력(specific tension)을 구하는 것이며, c는 외측두와 내측주 근육이 작용하는 힘의 크기를 구하는 것이다. 힘의 평형과 힘의 벡터 분해에 대한 이해를 요구하는 문항으로 우리나라 중학교 3학년 교육과정을 넘어서는 문제이다.

$$\text{상체의 운동에너지} = 1.0 \text{ J} + 2.09 \text{ J/g} \times 5 \times 10^{-3} \text{ kg} + 3.33 \times 10^3 \text{ J/g} \times 0.5 \text{ kg}$$

$$\frac{1}{2} M v^2 = 269.8$$

$$v = 10.4 \text{ m/s}$$

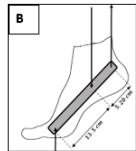
Figure 10. 학생 B의 답안

- Body mass = 72.0 kg
- Calf cross sectional area (avg.) = 23.0 cm²
- Distance from the ball of the foot to the ankle joint = 13.5 cm
- Distance from heel bone to ankle joint = 5.20 cm



i. **Specific tension:** the player is asked to raise his body, as high as possible, to be balanced on ball of one foot as shown in the figure (A).

a. What is the force in the Achilles tendon if the player stands on one foot only? Consider a foot bones as one rigid body as shown in figure (B). Neglect the weight of foot bones. (1.0)



- b. Calculate the specific tension of the calf muscles. (0.5)
- c. If two gastrocnemius muscles (lateral and medial head) contribute equally to a total of 60% of the force exerted on the Achilles tendon. Calculate the force contributed by each of these two muscles on the tendon. (0.5)

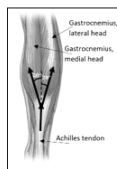


Figure 11. 네 번째 이론 문항 중 i)문항

a문항은 6명의 학생 중에 1명만 옳은 정답을 제시했으며, 다른 학생들은 모두 틀린 답을 제시했다. 학생들이 이 문항을 틀린 가장 큰 이유는 Figure 12와 같이 발목관절에 작용하는 힘의 크기를 사람의 몸무게로 생각한 것이다.

b문항은 모두 옳게 답했으며, c문항 역시 1명을 제외한 모든 학생들이 틀린 답을 제시했다. 옳게 답한 학생은 2개의 근육의 합력이 아킬레스건에 작용하는 힘의 60%라고 해석하였지만, 틀리게 답한 학생은 Figure 13과 같이 근육 하나의 힘이 아킬레스건에 작용하는 힘의 60%라고 해석하고 계산하였다.

ii)문항은 Figure 14와 같이 정장이뼈가 건디는 충격량의 크기와 발로 차였을 때 받은 충격량의 크기를 비교하는 문제이다. 충격량은 물리 I에서 다루는 내용이다. 본 문항에 대해서는 6명의 학생들이 모두 옳

axis에서 도크를 계산하면

$$\tau = (13.5 \text{ cm})(mg \cos \theta) - (18.7 \text{ cm})(F \cos \theta) = 0$$

$$\Rightarrow F = \frac{13.5}{18.7} mg = 510 \text{ N}$$

Figure 12. 발목 관절에 작용하는 힘을 mg으로 판단함

하나의 근육이 작용하는 힘

$$= \text{아킬레스건이 작용하는 힘} \times 60\%$$

$$= (833.17 \text{ N}) \times 60\%$$

$$= 1100.22 \text{ N}$$

Figure 13. 종아리 근육에 작용하는 힘

ii. Bone strength:

For a healthy football player, the tibia bone can endure a maximum force about 36.0 N per 4.90 × 10² mm² before fracture. The figure shows player (A) tried to kick the ball but unfortunately, he hit player (B) instead. As a result, player (B) received the full kick in his tibia (assume that his tibia was stationary before collision). After collision the leg of player (B) moved back with velocity of 4.25 m/s. The mass of his leg is 3.20 kg and the impact time 55.0 ms and impact area is 6.20 × 10² mm².



Do you think that the tibia of the player (B) will bear this shock without fracturing? (0.25)

Select in the answer sheet: () Yes OR () No

Show your calculations in details in the answer sheet. (1.0)

Consider that no other external forces affect the leg of player (B).

Figure 14. 네 번째 이론 문항 중 ii)문항

은 답을 제시하였으며, 풀이과정도 잘 제시하였다.

iii)문항은 주어진 데이터로부터 경강이 보호대의 성능을 비교하는 문항이다(Figure 15). 경강이 보호대의 성능은 단위시간당 흡수한 힘의 크기로 나타내므로 우리나라 중학교 3학년 학생들에게는 어렵지 않은 문항으로 판단된다.

5. 이론: 다섯 번째 문항

마지막 이론 문항은 영률에 관한 것으로 i)문항은 크롬합금 케이블에 매달린 물체의 무게를 구하는 것이며, ii)는 길이와 단면적이 다른 두 케이블에 동일한 힘이 작용할 때 늘어난 길이의 비를 구하는 것이다. iii)은 고정대 사이에 놓인 크롬합금 케이블이 열팽창이 일어날 때 고정대에 작용하는 힘의 크기를 구하는 문제이다. 영률은 물리 I, II에도 나오지 않고 있어서 우리나라 중고등학교 학생들에게 생소한 문항이라 할 수 있다.

i) 문항은 6명의 학생 중에 1명만 옳은 풀이과정과 답을 제시하였으며, 학생 F는 SI 단위 접두어에 대해 잘 못 알고 있었던 것으로 보인다. GPa를 10^6 Pa로 치환함으로써 결과를 정답의 1/1,000배로 제시하였다.

iii. Developing a football shin guard.

Many sport companies develop shin pads to absorb impact that can cause injury upon severe collisions during football matches. In an experiment to compare the performances of different shin pad brands, a simulated human tibia is covered by each shin pad. A kicking device (impactor) is used to mimic the foot of the attacking player. A force meter is placed beneath the pad to measure the impact on the tibia. The following table represents the results.



Shin pad	Impact duration (ms)	Kicking Force (N)	Sensor force (N)
Brand (1)	15	1066	11.5
Brand (2)	15	867	11.2
Brand (3)	17	846	17.8
Brand (4)	20	778	8.8
Brand (5)	13	622	9.0
Brand (6)	13	1096	6.6

Figure 15. 네 번째 이론 문항 중 iii)문항

A chromium alloy steel is used to make suspension cables and wires that are used in many fields such as construction cranes, elevators and sports.

i. Calculate the weight hangend in a string which causes an increase in a chromium steel wire of length 2.0 m and cross-section area of 2.0 mm^2 by 0.50 mm, knowing that the Young modulus is 220 GPa. (0.5)

ii. Two cables of the chromium steel alloy have lengths ratio 1:3, and diameters ratio 3:1. If they are stretched by the same force, what is the ratio of their increase in length? (0.5)

iii. A chromium steel alloy rod of Young modulus Y and coefficient of linear expansion α was clamped between two rigid supports, separated by a distance L . If the rod has length L , cross sectional area A and its temperature increased by ΔT , express the force exerted by the rod on the supports in terms of (Y, A, L, α and ΔT). Ignore change in cross sectional area due to heat. (0.5)

Figure 16. 다섯 번째 이론 문항

학생 A와 E는 Figure 17과 같이 식을 옳게 세웠지만 항을 이항하는 과정에서 실수를 하였다.

이외의 학생들은 영률에 대한 정의를 정확히 모르거나(학생 B), 시간이 없어 마지막 문항 전체를 풀지 못한 학생도 있었다(학생 D). 마지막 문항 전체를 풀지 못한 학생을 제외하면 ii) 문항은 모든 학생이 옳은 풀이과정과 정답을 제시하였다. 학생 B는 i) 문항을 풀 때 사용했던 영률에 대한 정의를 계속 사용하여 iii) 문항을 풀었으며 풀이과정에 대해서는 점수를 얻었지만 정답에 대한 감점을 받았다(Figure 18).

학생 C는 문제 상황을 다르게 해석하여 막대가 L에서 $L(1+\alpha\Delta T)$ 로 늘어날 때 작용하는 힘과 $L(1+\alpha\Delta T)$ 에서 L로 줄어들 때 작용하는 힘의 크기가 같다고 임의로 가정하고 iii) 문항을 풀었다. 따라서 풀이과정 및 정답에서 모두 점수를 얻지 못했다.

A, E, F 학생은 모두 옳은 풀이과정 및 정답을 제시하였다.

$$\frac{mg}{A \frac{\Delta L}{L_0}} = \alpha \quad \Rightarrow mg = \alpha A \frac{L_0}{\Delta L} = 220 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\frac{m \times g \times A \times 10^{-6} \text{ m}^2}{2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \times \frac{(100 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{1 \text{ m}} = 220 \times 10^9 \text{ Pa} \quad \Rightarrow 0.5 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \times 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{1}{2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \times \frac{1}{2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \times \frac{1}{2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \times \frac{1}{2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

Figure 17. 식을 이항하는 과정에서의 실수

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

$$Y = \frac{F}{A} = \frac{F}{\alpha L \Delta T}$$

$$\therefore F = A \alpha L \Delta T Y$$

Figure 18. 학생 B가 생각한 영률

나중 아래의 길이는 $L(1+\alpha\Delta T)$ 이므로 L로 길이가 감소해야 하므로

$$\frac{F}{A} = \alpha \frac{\Delta L}{L} \Rightarrow F = \alpha \frac{L \Delta T}{L(1+\alpha\Delta T)}$$

$$F = \alpha A \frac{\Delta T}{1+\alpha\Delta T}$$

Figure 19. 학생 C의 iii)에 대한 풀이

IV. 결론 및 시사점

본 논문에서는 2019 IJSO에 참가한 대표단 6명 학생의 물리 이론 문제 풀이 과정을 분석하였다. 이론 문항은 주관식으로 주어지며, 풀이과정을 함께 채점하기 때문에 학생 답안을 보면 학생들의 풀이과정을 면밀히 검토할 볼 수 있다. 총 5문항이 출제되었으며, 각 문항에 따른 하위 문항이 있었기 때문에 하위 문항수로 계산하면 총 17문항이 출제되었다. 각 문항에 대한 학생들의 풀이과정 분석을 통해 얻은 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, IJSO의 출제 범위는 우리나라 중학교 3학년 교육과정을 벗어나 있다. 하위 문항 중 1~2문항은 학교 교육과정에서 배운 내용으로 풀이가 가능하지만, 대부분의 문항은 물리 I 혹은 물리 II 과정에서 학습할 내용을 포함하고 있다. 뿐만 아니라 영률과 같은 개념은 대학 수준의 일반물리학에서 배우는 내용으로 학교 교육을 통해서 준비할 수 없는 내용이다 (Young & Freedman, 2008). 따라서 IJSO를 준비하기 위한 유일한 공공의 교육과정인 KJSO의 교육과정의 지속적 수정·보완을 통한 교육이 이루어질 필요가 있다.

둘째, IJSO 대표단 학생들이 문제 풀이 과정에 겪는 어려움은 다양하게 나타났다. 먼저 자주 접하는 문제 상황이 아닌 경우, 학생들은 자의적 해석을 통해 주요한 효과를 무시하거나, 문제 상황을 변형하여 접근하는 경향이 크다. 마찰력에 의해 얼음이 녹는 상황에서 마찰력이 물체의 운동에 영향을 미치지 않는다고 생각하거나, 발볼로 중심을 잡고 서 있는 경우 발볼에 작용하는 수직항력의 크기가 사람의 무게가 되어 어야함을 간과한다. 이것은 학생들에게 더욱 다양한 물리적 상황을 제시할 필요가 있다는 것을 보여주는 사례라고 할 수 있다. 따라서 IJSO를 준비하는 학생들을 위한 다양한 상황의 문항을 개발할 필요가 있다. IJSO 대표단 학생들이 겪는 또 다른 어려움은 그래프를 해석하는 것이다. 그래프를 읽거나 주어진 자료를 그래프로 변환하는 능력은 학교 과학교육과정뿐만 아니라, KJSO 교육과정에서도 매우 중요하게 다루는 과학적 탐구능력 중 하나이다. 하지만 실제 문제 풀이 과정에서 눈금을 1/100로 잘못 읽거나 전혀 다른 값으로 오인하는 경우가 보이고 있다. 따라서 좀 더 중

점적으로 교육해야할 필요가 있다고 생각된다. 마지막으로 SI 단위 접두어를 잘못 알고 있거나 작은 계산 실수들이 발견된다. 이것은 우리나라의 과학교육이 이론이나 법칙, 원리 위주의 학습을 좀 더 중요시 여기거나 대수를 이용한 문제 풀이에 치중하는 경향이 있기 때문으로 생각된다. 따라서 길이가 긴 숫자로 다루거나 조금 복잡한 숫자가 제시된 문항을 풀 때, 당황한 학생들이 실수를 하는 경우가 자주 발생한다. 따라서 우리 주변에서 관찰되는 자연현상을 단순하게 모형화하거나, 간단한 상황에 실제 숫자를 대입해 값을 계산하거나 추정하는 활동을 늘릴 필요가 있다.

현재 우리 사회에는 과학 및 수학 올림피아드 대회나 IJSO와 같은 과학경진대회에 대한 다양한 관점이 존재한다. 하지만 분명한 것은 이러한 대회가 학생들의 학습의욕을 고취시키며, 성취감 및 미래에 대한 도전의식을 심어준다는 사실이다. 또한 이러한 대회를 통해 우리나라의 교육 수준을 국제적 수준에서 비교할 수 있다는 장점도 존재한다. 더불어 본 논문에서 밝혀진 그래프 읽는 능력의 부족이나 긴 숫자를 다루는 능력의 부족 또는 새로운 상황에 대한 과학적 사고력의 부족을 향상시킬 수 있는 방안을 마련하여 교육 과정에 반영한다면 우리나라의 과학교육의 질적 발전을 도모할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- 교육과학기술부 (2009). 교육과정 총론. 교육과학기술부 고시 제 2009-41호.
- 문공주, 문지영, 김성원 (2013). 물리영재의 자기효능감에 영향을 주는 요인의 탐색. 새물리, 63(3), 227-237.
- 이희연, 김덕수 (2019). 국제중등과학올림피아드(IJSO)의 현황과 화학영역 출제경향. 교육과학연구, 21(1), 201-211.
- 임준홍, 이봉우 (2015). 고등학생들이 역학 문제 풀이 과정에서 겪는 과정 지식 관련 어려움 분석. 새물리, 65(9), 888-899.
- McDermott, L. C. & Redish, E. F. (1999). Physics education research. Am. J. Phys., 67, 755.
- Young, H. D. & Freedman, R. A. (2008). University Physics. Pearson Addison-Wesley.

2019년 12월 28일 접수

2020년 2월 20일 수정원고 접수

2020년 2월 23일 채택

* 권경필, 경인교육대학교(Kwon, Gyeongpil; Gyeongin National University of Education).
* 이세연, 서울 명덕고등학교(Lee, Seyeon; Seoul Myungduk Highschool).