

제 20회 국제중등과학올림피아드 문항 및 대한민국 대표단의 물리 답안 분석

김도영*

〈요약〉

국제중등과학올림피아드는 국가별로 6명씩 선발된 만 15세 이하의 중학생이 물리학, 화학, 생명 과학 분야의 선택형 이론, 서술형 이론, 실험 과제를 해결하는 과정에서 과학 실력을 겨루고 국제 친선을 도모하는 대회이다. 과학올림피아드 대회의 문항과 대표단 학생들의 답안을 분석하면 과학 및 과학 영재 교육의 국제 동향과 우리나라 학생들이 과학 학습 과정에서 보이는 약점을 파악하여 추후 교육 방향을 설정하는데 시사점을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 2023년 12월 태국 방콕에서 개최된 제 20회 중등과학올림피아드에서 출제된, 물리 분야의 이론 문항과 대한민국 대표단 학생의 답안을 분석하고 학생별로 풀이 과정에 대한 면담을 병행하여 물리 분야의 영재 학생 교육과 관련한 제언을 하고자 한다.

* 반곡고등학교 교사, 512kdy@naver.com

I. 서론

국제중등과학올림피아드(International Junior Science Olympiad, 이하 IJSO)는 전 세계 만 15세 미만 학생들의 과학 문제 해결 능력을 평가하는 대회로 전 세계 과학자 및 과학 영재 교육자와 과학 영재들이 모여 국제적 친선과 동시에 과학 영재의 조기 발굴을 목적으로 한다(신석진, 박지호, 2020). IJSO는 2004년 인도네시아에서 제1회 공식 국제 대회로 시작하여 매년 개최되고 있으며, 과학 영재들을 지속적으로 발굴하려 노력하고 있다(이희연과 김덕수, 2019). IJSO에 출제되는 문항은 크게 세 파트로 구성되며 4지 선택형 문항(Multiple Choice Question), 이론 문항(Theoretical Question), 실험 문항(Practical Question)으로 나누어 각 파트별 물리, 화학, 생명과학 분야의 문항이 골고루 출제된다. 이중 선택형 문항은 학생들의 과학적 개념 이해도를 파악하고, 이론 및 실험 문항은 제시된 상황에 과학 개념을 적용하는 능력을 파악할 수 있도록 고안된다.

IJSO 문항의 출제 주제는 개최국의 문화적, 역사적, 전통적, 환경적 특성을 반영하여 구성된다. 2023년 태국 방콕에서 실시된 제 20회 IJSO의 경우 ‘지속 가능한 식량과 농업을 위한 과학’을 주제로 두리안 열매 수확, 망고스틴 추출물 및 토양 산성화, 동물 생리 및 생태계 물질 순환에 대한 이론 문항과 분광광도계 제작 및 분광광도법, 수생식물 줄기 관찰 및 분류에 대한 실험 문항이 출제되어 실생활 연계 및 문제 해결 능력을 종합적으로 평가하였다. 원문항은 영문으로 제공되기에 각 나라의 팀 리더가 대회 실시 전 현지에서 각 나라의 언어로 번역하고 학생들은 자국어로 된 문항을 읽고 자국어로 된 문항을 자국어로 답하는 과정을 거친다. 이후 채점 결과에 대한 이의 신청을 거쳐 최종 점수 및 등수가 확정된다.

우리나라는 IJSO를 준비하기 위해 한국중등과학올림피아드(Korea Junior Science Olympiad, 이하 KJSO)에서 교육을 실시한다. KJSO 교육과정은 IJSO에서 제시한 교육과정을 토대로 구성되고, 학생들은 이러한 KJSO 교육과정에 의거 예비 KJSO 단계를 거친 후 5단계의 정규 KJSO 과정을 통해 최종 6명의 대표단이 구성된다. 이에 따라 KJSO 과정에서 영재 교육을 받은 학생들이 IJSO를 준비하고 문제를 해결할 수 있도록 하기 위해 물리 이론 문항의 출제 경향을 지속적으로 분석하고, 학생들의 약점을 파악하는 것은 향후 KJSO 교육 과정을 결정하고 지도 방향을 수립하는 데 유의미한 정보를 제공할 수 있다.

이에 대한 선행연구는 IJSO 문항의 출제 경향 및 교육과정 분석과 학생들의 답안을 분석한 연구(박지연, 2022; 신명경과 권경필, 2021; 이세연과 권경필, 2020; 이인호, 2020)를 통해 지속적인 제안이 이어지고 있다. 따라서 2023년에 치러진 제 20회 IJSO의 물리 이론 문항 출제 경향과 대표단 답안의 감점 이유, 학생들의 면담 과정에서 드러나는 오답 원인을 추가적으로 분석하는 것은 향후 KJSO 교육과정 수립 및 교육 방향에 대한 시사점을 제공할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 2023년 12월 태국 방콕에서 개최된 제 20회 중등과학올림피아드에서 출제된 물리 분야의 이론 문항 출제 경향과 대표단 학생의 답안을 분석하고 풀이 과정에 대한 면담을 통해 오답 원인을 파악하여 영재 교육 방향에 대한 추가적인 제언을 하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2023년 제20회 IJSO에 출제된 세 파트 중 물리 이론 문항과 대한민국 대표단 학생 6명의 이론 문항 풀이 답안 및 면담 자료를 연구 대상으로 하였다. 한국 대표단 학생 구성은 Table 1과 같다.

Table 1. 한국 대표단 학생 구성

구분	나이	성별	지역	영재교육 경력
A	만 14세	남	서울	교육지원청 영재원 및 대학부설 영재원
B	만 15세	남	부산	대학부설 영재원
C	만 14세	남	부산	대학부설 영재원
D	만 14세	남	인천	대학부설 영재원
E	만 14세	남	경기	교육지원청 영재원
F	만 14세	남	경기	대학부설 영재원

이론 문항별 출제 경향과 대표단 학생들의 답안에 대한 면담을 통하여 오답 원인을 문항별로 분석하였다. 대표단 학생들과의 면담은 시험 종료 후 방콕 현지에서 팀 리더와 대표단 학생 만남 시간에 이루어졌다. 면담은 이틀간 이루어졌으며 대표단과 함께 대회에 참가한 연구자를 포함하는 팀리더 3명과 학생의 면담은 주로 문제 풀이 방법과 답안 작성 이유에 대하여 인터뷰 형식으로 진행했으며, 풀이를 중심으로 면담 과정에서 드러나는 오답 원인을 중심으로 분석하였다.

2. 이론 문항 분석 준거

Bloom의 교육목표 분류법은 교육 목표를 체계적으로 분류할 방법을 제공하고 다양한 인지 수준을 평가할 수 있다. 제 20회 IJSO 이론 문항은 Table 2와 같이 Anderson과 Krathwohl(2001)이 제시한 신 교육 목표 분류법을 사용하였는데, 이는 Bloom의 교육 목표 분류법을 보완하여 여섯 가지 인지 수준(Cognitive Level)으로 제시함으로써 문항이 다양한 인지수준을 얼마나 잘 다루고 있는지 평가 가능하다. 이에 따라 신 교육 목표 분류법에 따라 각 이론 문항이 어느 인지 수준에 해당하는지 구분하는 데 활용하였으며, 명확한 구분이 어려운 경우 더 가까운 수준으로 판별하였다. 문항에 제시된 문제 상황과 물리학 개념과 더불어 한국 대표단 6명의 답안에 대한 정답률과 감점 원인을 추가적으로 분석하였다.

Table 2. 신 교육목표 분류법(Anderson and Krathwohl, 2001)

#	Cognitive Level	high Order Thinking
C6	Creating	Generating, Designing, Producing, Devising
C5	Evaluating	Checking, Critiquing, Hypothesising, Experimenting
C4	Analyzing	Attributeing, Organizing, Integrating, Validating
C3	Applying	Executing, Implementing, Sharing
C2	Understanding	Classification, Comparing, Interpreting, Inferring
C1	Remembering	Recognition, Recalling, Describing, Identifying
		Low Order Thinking

III. 연구 결과

1. 물리 이론 문항 분석 결과

신 교육목표 분류법에 따라 물리 이론 문항을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 하위 문항을 포함한 총 11문항 중 9문항은 역학, 2문항은 파동학 관련 문항이었으며, 뉴턴 운동 법칙, 충격량, 힘과 운동, 일과 에너지, 소리 에너지와 관련된 내용이 출제되었다. 인지 수준은 C2(Understanding) 1문항(9.1%), C3(Applying) 6문항(54.5%), C4(Analyzing) 4문항(36.4%)이 출제되었다.

Table 3. 물리 이론 문항 분석 결과

이론 문항	배점	상황	개념	인지 수준
P1	0.5	두리안 자유 낙하	역학적 에너지 보존, 등가속도 운동	C3
P2	1.0	두리안 지면 충돌	충격량	C3
P3-a	0.7	낙하하는 두리안 연직방향 받기	가속도	C3
P3-b	0.8		힘	C4
P4-a	0.5	낙하하는 두리안 비스듬히 받기	가속도	C3
P4-b	0.5		알짜힘	C3
P5-a	0.8	두리안 운동 분석	자유물체도	C4
P5-b	1.2		벡터	C3
P6	2.0	두리안 역학적 평형	힘의 평형, 모멘트, 토크	C4
P7	1.0	두리안 낙하 및 충돌	소리 에너지, 일률	C3
P8	1.0		소리 세기 준위	C2

2. 이론 문항별 분석 결과

물리 이론 문항별 성취도(%) 및 오답 원인 분석 결과는 Table 4와 같다. 각 문항의 성취도(%)는 6명 학생의 획득 가능한 총점수 대비 획득한 총점수의 비율로 분석하였다.

Table 4. 물리 이론 문항별 오답 원인 분석 결과

이론 문항	배점	성취도(%)	오답 원인 분석 결과
P1	0.5	100	-
P2	1.0	93.3	유효숫자 미적용, 계산 실수(제곱 미적용)
P3-a	0.7	97.6	계산 실수(제곱 미적용)
P3-b	0.8	75	연계형 문항(계산 감점)
P4-a	0.5	100	-
P4-b	0.5	100	-
P5-a	0.8	89.6	운동 방향과 가속도 방향 혼동
P5-b	1.2	93.1	연계형 문항(계산 감점)
P6	2.0	89.2	회전축 오류, 나뭇가지 토크 미적용, 계산 실수(토크 팔의 길이 미적용)
P7	1.0	91.7	원의 넓이 공식 오류
P8	1.0	95	원의 넓이 공식 오류

각 문항별 답안 분석 및 면담 결과에 대한 상세 내용은 다음과 같다.

가. P1 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 첫 번째 문항은 Figure 1과 같이 나뭇가지에 매달려 있던 두리안 열매를 자유낙하 운동시켰을 때 등가속도 운동 분석 또는 역학적에너지 보존을 이용하여 지면에 도달하는 두리안 열매의 속도를 구하는 문제이다.

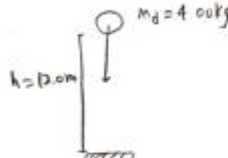
P1. [0.5 pt] A durian fruit with a mass of $m_d = 4.00$ kg is dropped from a branch at a height of $h = 12.0$ m above the ground. Calculate the speed of the durian fruit at the instant when it reaches the ground, disregarding air resistance.

Figure 1. P1 이론 문항

본 문항에서는 대표단 6명 학생 모두 옳은 답을 제시하였다. 학생들의 답안 풀이 분석 결과 두 가

지 풀이 방법을 적용하였으며, 학생 B, C, D, F는 Figure 2와 같이 등가속도 운동 공식을, 학생 A, E는 Figure 3과 같이 역학적 에너지 보존을 이용하여 문제를 해결하였다. 학생 면담 결과 등가속도 운동 공식, 역학적 에너지 보존을 적용하여 쉽게 해결되는 문제로 문제 해결에 어려움은 없었음을 확인하였다.

풀이 과정:



$m_d = 4.00\text{ kg}$
 $h = 12.0\text{ m}$

공식저항을 무시하므로 무리한 오직 공식으로만 풀었다.
 이때, 등가속도 공식에 의해 $2ah = v^2 - v_0^2$ 이고,
 $v_0 = 0\text{ m/s}$, $a = 9.8\text{ m/s}^2$, $h = 12.0\text{ m}$ 이므로

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2ah}$$

$$= \sqrt{0^2 + 2 \cdot 9.8 \cdot 12} = 15.3\text{ m/s}$$

Figure 2. 학생 B의 등가속도 운동 공식 활용 풀이 답안

자유낙하 운동에서 등가속도 운동 3번 공식을 적용했고, 문제 상황은 평소에 다루는 형태와 같이 단순해서 해결하기 쉬웠어요.

(학생 B 면담 결과)

풀이 과정:

$$KE_0 + PE_0 = KE_1 + PE_1$$

$$v_0 = 0 \Rightarrow KE_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 = 0$$

$$h_0 = 0 \Rightarrow PE_1 = mgh_1 = 0$$

$$\therefore PE_0 = KE_1$$

$$\Rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times 9.8\text{ m/s}^2 \times 12.0\text{ m}}$$

$$= 15.3\text{ m/s}$$

	가만히 놓을 때	지면에 도달하는 순간
KE	KE_0	KE_1
PE	PE_0	PE_1
v	$v_0 = 0$	v_1
h	$h = 12.0\text{ m}$	$h = 0$

Figure 3. 학생 A의 역학적 에너지 보존 활용 풀이 답안

최고점에서 열매를 가만히 놓을 때와 지면에 도달하는 순간으로 구분해서 평소 다루던 풀이 형태로 역학적 에너지 보존 공식을 그냥 적용해서 풀었어요.

(학생 A 면담 결과)

나. P2 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 두 번째 문항은 Figure 4와 같이 두리안 열매를 나무 위에서 자유낙하 운동시켜 지면에 도달할 때 두리안 열매의 운동량 변화량 및 충돌 시간을 이용하여 열매에 작용하는 평균 충격력을 묻는 문제이다.

P2. [1.0 pt] If the impact time is $\Delta t_i = 2.00 \times 10^{-2}$ s, determine the average impulsive force exerted on the durian fruit when it hits the ground, assuming that the durian does not bounce after the collision. (Impact time is defined as the time duration starting from the moment the surface of the durian fruit touches the ground until the durian fruit comes to rest.)

Figure 4. P2 이론 문항

본 문항에서 감점을 받은 대표단 학생은 3명이었으며, 학생 B, F는 Figure 5와 같이 유효숫자의 개수를 3개가 아닌 4개로 작성하여 감점되었다. 학생 F 면담 결과 답안 작성 과정에서 유효숫자 개수를 고려하지 않고 풀이를 작성했음을 확인하였다.

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\Delta P}{\Delta t} &= \frac{\Delta P}{\Delta t_i} = \frac{61.2 \text{ kg}\cdot\text{m/s}}{2.00 \times 10^{-2} \text{ s}} = 3060 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2 \\ \left| \frac{\Delta P}{\Delta t} \right| &= 3060 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2 \end{aligned}$$

방화호면 역학 위.
sig fig - 0.1

Figure 5. 학생 F의 풀이 답안

문제는 평소 다루던 충격량 기본 문제 형태라 쉬웠지만, 문제 초반이라 유효숫자는 생각하지 않고 그냥 계산 결과 나오는대로 작성했나봐요.

(학생 F 면담 결과)

학생 E는 Figure 6과 같이 단순 계산 실수로 인하여 감점되었다. 이는 학생 면담 결과 계산기를 사용하는 과정에서 버튼을 잘못 눌러 발생한 오류로 보인다.

풀이 과정: 두리안 md V (V 는 u 와 같다)의 운동량을 갖다가 지면과 충돌하여 0의 운동량을 갖는다. (정지되므로) 아래 방향을 (+)로 하자.

$\Delta p = F \Delta t$

충격량 변화 평균 충격력

$$\therefore F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{mv}{\Delta t}$$

$$= \frac{-(4.00 \text{ kg})(15.33623 \text{ m/s})}{2.00 \times 10^{-2} \text{ s}}$$

$$= -3834.06 \text{ N}$$

$$\approx -3.83 \times 10^3 \text{ N} \quad -0.2$$

방향은 위 방향, 즉 g 의 방향이다.

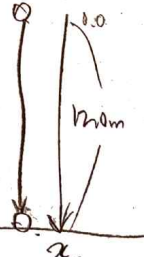


Figure 6. 학생 E의 풀이 답안

충격량 공식을 적용만 하면 되어 문제를 푸는 데 어려움은 없었는데.. 아마 계산기를 사용하다가 잘못누르지 않았을까 생각돼요.

(학생 E 면담 결과)

다. P3 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 세 번째 문항은 Figure 7과 같이 두리안 열매를 나무 위에서 자유낙하 운동시켜 사람이 들고 있는 포대 자루(Gunny sack)에 도달할 때 (a) 두리안 열매를 정지시키는 데 필요한 가속도 크기와 (b) 일꾼이 포대 자루를 이용하여 두리안 열매에 가하는 힘의 크기를 묻는 문제이다.

P3. [1.5 pt] To prevent damage to the durian fruit, a professional durian picker uses a gunny sack to catch the falling durian fruit before it hits the ground. Consider the same durian fruit with mass m_d dropped from the same height h as in question P1. Now, the durian picker uses a gunny sack to catch the durian fruit at a height of $h_p = 1.50$ m above the ground as shown in the Fig. P-2. Assume that the picker applies a constant force to the gunny sack, bringing the durian fruit to a halt just before it touches the ground.

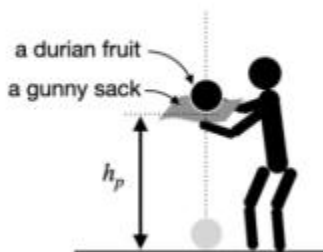


Fig. P-2: The picker uses a gunny sack to catch a durian fruit.

- Calculate the acceleration of the durian fruit during the catch.
- Calculate the magnitude of the force the picker uses to catch the durian fruit.

Figure 7. P3 이론 문항

(a) 문항의 경우 대표단 학생 5명은 옳은 정답을 제시하였으며, 학생 F의 경우 Figure 8과 같이 가속도를 구하는 과정에서 속력 값을 제곱으로 적용하지 않아 감점되었다. 이는 학생 F 면담 결과 옮겨 적으며 계산하는 과정에서 발생한 실수임을 확인하였다.

풀이 과정: 0.8

(a) (속리만에 작용하는 힘의 합) = - (코대라리가 주는 힘 F) + ($m_d g$) = Const.
 $F = ma$ 이므로
 $\therefore a = \frac{F}{m} = \text{const.}$ (단, 연직 아래를 +로 잡는다.)
 등가속도 운동방정식으로부터 $2as = v^2 - v_0^2$, $a = g$
 $\therefore h_p$ 높이에서 $v_0 = 0$, $v_p = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.80 \text{ m/s}^2 \times (12.0 \text{ m} - 1.50 \text{ m})}$
 $= 14.3 \text{ m/s}$
 $\therefore 2as = v^2 - v_0^2$, $2a_p h_p = v_p^2 - 0$
 $\therefore a_p = -\frac{v_p^2}{2h_p} = -\frac{(14.3 \text{ m/s})^2}{2 \times 1.50 \text{ m}} = -4.78 \text{ m/s}^2$, $|a_p| = 4.78 \text{ m/s}^2$
 (b) $a_p = \frac{F_{\text{net}}}{m_d}$, $F_{\text{net}} = m_d g - F$, $F = m_d g - F_{\text{net}} = m_d(g - a)$
 $\therefore F = m_d(g - a) = (1.00 \text{ kg}) \{9.80 \text{ m/s}^2 - (-4.78 \text{ m/s}^2)\} = 58.3 \text{ kg m/s}^2$
 $|F| = 58.3 \text{ kg m/s}^2$

Figure 8. 학생 F의 풀이 답안

제곱을 적용하지 않은건.. 급하게 풀다가 단순히 실수한 것 같아요. 식을 작성하고 푸는 과정은 기본적 문제 형태라 어렵지 않았는데 아쉬워요.

(학생 F 면담 결과)

(b) 문항의 경우 감점을 받은 대표단 학생은 3명이었다. 학생 B, D의 경우 Figure 9과 같이 일꾼이 물체에 가하는 힘의 크기가 아닌 물체에 가해지는 알짜힘을 계산하여 감점되었다. 학생 D 면담 결과 일꾼이 물체에 가하는 힘의 크기가 아닌 (a) 문항에서 구한 가속도를 그대로 적용하여 알짜힘을 구한 것으로 확인되었다. 또한 학생 F는 (a) 문항에서 발생한 실수로 인하여 연계적으로 감점이 발생한 것으로 확인되었다.

b) $F=ma$ 이므로
 $F=(4.00\text{kg})(68.6\text{m/s}^2) = 274\text{N}$ 0.2

Figure 9. 학생 D의 풀이 답안

보통 구한 값을 바로 다음에 적용하는 형태의 문제를 주로 다뤘고, 문항 (a)에서 구한 가속도를 그대로 적용했어요. 그러다 보니 중력을 고려 안 했어요. 알짜힘에서 중력을 빼고 일꾼이 가하는 힘만 고려해서, 그래서 실수한 것 같아요.

(학생 D 면담 결과)

라. P4 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 네 번째 문항은 Figure 10과 같이 두리안 열매를 안전하게 받기 위하여 (a) 대각선 방향으로 정지시키는 데 필요한 가속도의 크기와 (b) 포대 자루를 이용하여 두리안 열매에 가해지는 알짜힘의 크기를 묻는 문제이다.

P4. [1.0 pt] The method described in question P3 remains risky due to the falling durian fruit's proximity to the durian picker's head and hands. Additionally, the picker must repeatedly lower their body and bend their knees, expending excessive effort and energy. A safer and more efficient approach involves the picker holding one edge of the gunny sack and swinging it to catch the falling durian fruit. As the durian fruit initially touches the gunny sack, the picker redirects it toward himself, causing the durian fruit to descend between his legs and come to a halt before striking the ground as shown in Fig. P-3 (a).

To simplify the problem, let's disregard how the velocity is redirected and how the force is applied through the gunny sack to the durian fruit. Then let's assume that the durian fruit is a point particle and consider the problem as follows. The catching process starts from point A and ends at point B in a straight line trajectory as shown in Fig. P-3 (b). At the point A, the durian fruit's speed v matches that of the falling durian fruit at $h_p = 1.50$ m above the ground as in question P3 but with a different direction. The durian picker applies a constant force to the durian fruit throughout its trajectory so that the durian fruit comes to a complete stop at point B.

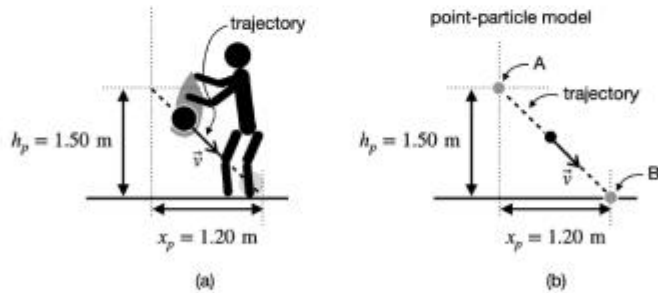


Fig. P-3: (a) The durian fruit's trajectory from problem P4. (b) The diagram for simplified problem.

- (a) Calculate the magnitude of the acceleration of the durian fruit during this catch.
- (b) Calculate the magnitude of the net force (F_{net}) exerts on the durian fruit during this catch.

Figure 10. P4 이론 문항

본 문항에서는 대표단 6명 학생 모두 옳은 답을 제시하였다. 학생 풀이 분석 결과 Figure 11과 같이 (a) 문항에서는 열매가 이동한 거리를 피타고라스 정리를 이용하여 구하고, 등가속도 운동을 활용하여 열매에 가해지는 가속도를 계산하였으며, (b) 문항에서는 (a) 문항에서 구한 가속도를 이용하여 두리안 열매에 가해지는 알짜힘의 크기를 구하여 문제를 해결하였다. 학생 C 면담 결과 P3 문항에서 방향만 바뀌었으며 풀이 방법이 유사하였고, 오히려 알짜힘을 묻는 문항으로 문제 이해 및 풀이가 더욱 용이했음을 확인하였다.

풀이 과정:

문제 3기속 구했듯이 속도 $v = 14.3 \text{ m/s}$

열매 가속도 크기는 a , 시간 $t = \frac{14.3}{a} \text{ s}$

$$\text{이동거리} = \sqrt{(1.50 \text{ m})^2 + (1.20 \text{ m})^2} \approx 1.92 \text{ m}$$

$$= v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$= 14.3 \text{ m/s} \times \left(\frac{14.3}{a} \text{ s} \right) - \frac{1}{2} a \left(\frac{14.3}{a} \text{ s} \right)^2$$

문제 3과 같은 가속도 운동방향을 반대방향의 가속도이므로 -호

$$\therefore \frac{(14.3)^2}{2a}$$

$$\Rightarrow a = 53.3 \text{ m/s}^2$$

$\Rightarrow$ 가속도 크기는 53.3 m/s^2 이다

$$\text{열매의 크기 } F_{\text{net}} = ma = 4.00 \text{ kg} \times 53.3 \text{ m/s}^2 = 213 \text{ N}$$

Figure 11. 학생 C의 풀이 답안

3번 문항이랑 문제가 비슷해서 푸는 데 어려움은 없었어요. 방향만 바뀌었고, 오히려 알짜힘을 구하는 문제라서 쉽게 해결할 수 있었어요.

(학생 C 면담 결과)

마. P5 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 다섯 번째 문항은 Figure 12와 같이 (a) 운동하는 두리안 열매에 작용하는 모든 힘을 자유물체도로 나타내고 (b) 일꾼이 두리안 열매에 가하는 힘의 크기와 방향을 묻는 문제이다.

P5. [2.0 pt]

(a) Draw a diagram of the durian fruit during the trajectory in the question P4 into a given coordinates in the answer sheet, as also shown in Fig. P-4. The diagram must show the gravitational force on the durian fruit $m_d \mathbf{g}$, the net force $\mathbf{F}_{\text{net}}$, and the force exerted by the durian picker through the gunny sack $\mathbf{F}_{\text{picker}}$.

(b) Calculate the magnitude of the force $\mathbf{F}_{\text{picker}}$ and the angle Φ (in degrees) between $\mathbf{F}_{\text{picker}}$ and the Y-axis.

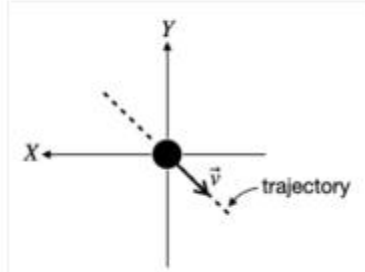


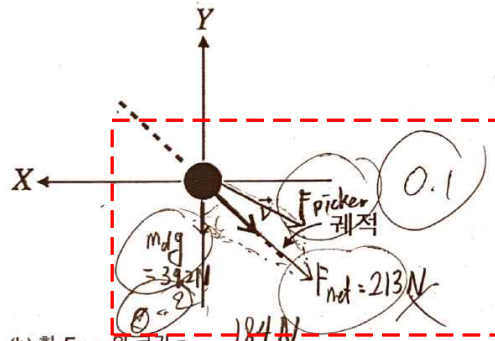
Fig. P-4: The coordinates for problem P5.

Figure 12. P5 이론 문항

본 문항에서는 대표단 학생 5명은 (a), (b) 문항 모두 옳은 정답을 제시하였다. 학생 F의 답안 분석 결과는 Figure 13과 같이 (a) 문항에서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향을 운동 방향으로 결정하여 일꾼이 가하는 힘의 방향을 잘못 표현하였고, 이에 따라 (b) 문항도 연계적으로 계산 오류로 이어져 감점되었다. 학생 F 면담 결과 물체의 운동 방향이 가속도의 방향이라고 생각하여 발생한 오류로 확인되었다.

정답:

(a) 운동 궤적 상에서 두리안 열매에 대한 자유물체도



(b) 힘 F_{picker} 의 크기 = 184 N
 F_{picker} 와 Y축 사이의 각도 $\phi = 46.3^\circ$

풀이 과정:

$$F_{\text{net}} \text{이 } y \text{축과 이루는 작은 각을 } \theta \text{라고 하자.}$$

$$\cos \theta = \frac{h_p}{\sqrt{r_p^2 + h_p^2}} = \frac{1.50 \text{ m}}{1.92 \text{ m}} = 0.781$$

$$\therefore \text{제 2코사인 법칙 } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \theta \text{ 옳다.}$$

$$b = 39.2 \text{ N}, c = 213 \text{ N}, a = |F_{\text{picker}}|$$

$$\therefore |F_{\text{picker}}|^2 = (39.2 \text{ N})^2 + (213 \text{ N})^2 - 2(39.2 \text{ N})(213 \text{ N}) \times 0.781$$

$$|F_{\text{picker}}| = 184 \text{ N}$$

$$\therefore \text{사인 법칙에서 } \frac{F_{\text{net}}}{\sin \phi} = \frac{F_{\text{picker}}}{\sin \theta}, \sin \theta = \frac{r_p}{\sqrt{r_p^2 + h_p^2}} = \frac{1.20 \text{ m}}{1.92 \text{ m}} = 0.625$$

$$\therefore \sin \phi = \frac{F_{\text{net}} \sin \theta}{F_{\text{picker}}} = \frac{213 \text{ N} \times 0.625}{184 \text{ N}} = 0.724, \phi = \sin^{-1} 0.724 = 46.3^\circ$$

Figure 13. 학생 F의 풀이 답안

운동 방향이 가속도 방향이라고 순간적으로 착각했어요. 중력 방향을 고려하다 보니 일꾼이 가하는 힘 벡터가 이렇게 나왔어요.

(학생 F 면담 결과)

바. P6 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 여섯 번째 문항은 Figure 14와 같이 나뭇가지와 나뭇가지에 매달린 두리안 열매들의 무게를 지탱하기 위해 매달아 놓은 플라스틱 줄에 작용하는 장력을 계산하는 문제이다.

P6. [2.0 pt] In a single branch, it's common to find multiple durian fruits. The farmer must employ a plastic rope to support the thin branch and prevent it from breaking under the weight of the durian fruits. To simplify the problem, let's assume the branch with a length of $L = 5.00$ m has a uniform mass of $m_b = 6.00$ kg, and all of the durians depicted in Fig. P5 have an identical mass of $m_d = 4.00$ kg each. A joint between the branch and the stem provides $M_j = 150$ N·m clockwise moment as shown in Fig. P-5. Calculate the tension in the plastic rope.

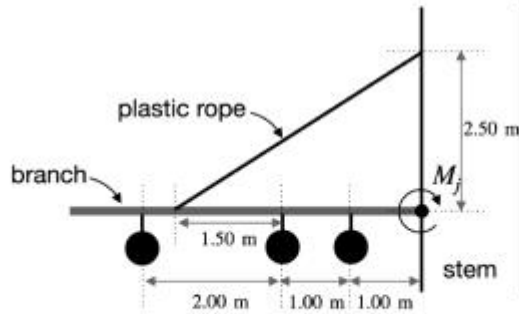


Fig. P-5: The configuration of the durian fruits on a single branch for problem P6.

Figure 14. P6 이론 문항

본 문항에서 감점을 받은 대표단 학생은 3명이었으며, 학생 A의 답안 분석 결과 Figure 15와 같이 나무줄기가 나뭇가지에 가하는 모멘트를 고려하지 않아 감점되었다. 학생 A 면담 결과 계산식을 작성하는 과정에서 나뭇가지 자체의 질량에 의한 토크를 고려하지 않은 것으로 드러났다.

$$\begin{aligned}
 \sum M_1 + M_2 + M_3 + M_T + M_J &= 0 \\
 \Rightarrow (-156.8) + (-79.4) + (-39.2) + T_x \ell_T + (150) &= 0 \\
 \Rightarrow T_x \ell_T &= 124.4 \text{ N}\cdot\text{m} \\
 \Rightarrow T_x = 124.4 \text{ N}\cdot\text{m} \div \ell_T = 124.4 \text{ N}\cdot\text{m} \div (3.90 \text{ m}) &= 31.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

No M_{branch}
-0.2

Figure 15. 학생 A의 풀이 답안

줄기에 의해 나뭇가지에 가해지는 돌림힘도 이해는 됐고 문제에 설명이 주어져서 그냥 적용해서 풀었어요. 그런데 계산식 작성하는 과정에서 나뭇가지 질량을 작성하지 않았는데.. 단순 실수예요.

(학생 A 면담 결과)

학생 C의 답안 분석 결과 Figure 16과 같이 나뭇가지의 회전축을 나뭇가지의 가장 왼쪽 지점으로

하여 계산하여 감점되었다. 학생 C 면담 결과 토크 문제를 해결할 때 항상 끝부분을 회전축으로 잡아 해결하는 습관이 있었으며, 이러한 방법으로 문제를 해결하는 과정에서 발생한 오류임을 확인하였다.

$$+ m_b \times \frac{L}{2} \times g + m_s \times g \times (1.00\text{m} + 3.00\text{m} + 4.00\text{m}) - (\text{중심에서 3cm 떨어진 곳}) \quad (\text{거리만 3개})$$

$$- (\text{빛줄} + \text{방향장력}) \times (1.00\text{m} + 0.50\text{m}) - 150\text{N} \cdot \text{m} = 0$$

Figure 16. 학생 C의 풀이 답안

돌림힘 구할 때 끝에, 끝에 중에서도 간단한 곳을 회전축으로 잡아요. 문제 해결할 때 그래서 제일 왼쪽을 회전축으로 잡아서 문제를 풀었어요.

(학생 C 면담 결과)

학생 D 답안 분석 결과 Figure 17과 같이 장력이 작용하는 지점의 모멘트 팔의 길이를 비 적용하여 감점되었다. 학생 D 면담 결과 수식을 기호로 작성하는 과정에서 y 축의 힘을 표현하면서 모멘트 팔의 길이를 적지 않은 단순 실수로 확인되었다.

$$(6.00\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(1.00\text{m}) + (4.00\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(1.00\text{m}) + (4.00\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(2.00\text{m}) - F_T y + (4.00\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(4.00\text{m}) = 0$$

$$(6.00\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)(0.50\text{m}) \quad \times d = 0.1$$

$$F_T y = 300\text{N} \quad 271.4\text{N}$$

$$F_T = \frac{1}{50} \times F_T y = \frac{\sqrt{2.50^2 + 3.50^2}}{2.50} \times 271.4\text{N} = 467\text{N}$$

Figure 17. 학생 D의 풀이 답안

처음에 조금 헷갈렸는데 푸는데 어렵지 않았어요. 그런데 식을 쓰다가 장력의 y 방향을 적었는데, 그러다가 모멘트 팔의 길이를 안 쓴 것 같아요.

(학생 D 면담 결과)

사. P7 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 일곱 번째 문항은 Figure 18과 같이 두리안 열매를 나뭇가지에서 자유낙하 운동시켜 두리안 열매가 바닥에 충돌 시 방출되는 소리 에너지를 구하고, 충돌 지점으로부터 특정 거리에서의 소리 세기 준위(Desibel level, β)를 계산하는 문제이다.

P7. [1.0 pt] Assume that 0.001% of the kinetic energy of the durian fruit in problem P1 just before the impact, as described in problem P2, is converted into sound energy. Given that the sound energy that hits the ground get absorbed by the ground, calculate the sound intensity level (in decibels, dB) of the impact sound at a distance of $r = 10.0$ m from the point where the durian fruit hits the ground.

Additional Information: The sound intensity level β is a logarithmic measure of its intensity $I = P/A$, where P is the power and A is the area. The sound intensity level is defined by

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right),$$

where $I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Figure 18. P7 이론 문항

본 문항에서 감점을 받은 대표단 학생은 4명이었으며, 학생 A, C의 답안 분석 결과 Figure 19와 같이 소리 에너지가 방출될 때 $4\pi r^2$ 로 퍼져나가는 것이 아닌 $2\pi r^2$ 으로 계산하여 감점되었다. 학생 A 면담 결과 지면 방향으로 퍼져나가는 소리 에너지가 지면에 흡수된다는 표현을 에너지의 절반이 없어진다는 의미로 받아들여 적용했음을 확인하였다.

$$P = \frac{\frac{1}{2} m v^2 \times 0.001 \times 10^{-2}}{\frac{1}{2} \times 4 \pi r^2 \times (15.3 \text{ m/s})^2 \times 0.001 \times 10^{-2}} = 0.2341 \text{ W}$$

$$A = \left(\frac{1}{2} \times 4 \pi r^2 \right) = 2 \pi r^2 = 2 \pi \times (10.0 \text{ m})^2 = 628.3 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{0.2341 \text{ W}}{628.3 \text{ m}^2} = 3.726 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

Figure 19. 학생 A의 풀이 답안

지면방향으로 아, 그냥 표면적만 구하면 된다고 생각했어요. 지면을 제외한 지상 방향만 고려했어요.

(학생 A 면담 결과)

학생 D의 답안 분석 결과 Figure 20과 같이 소리 에너지가 방출될 때 구의 부피 개념을 적용하여 감점되었다. 학생 D 면담 결과 소리 에너지가 방출될 때 역제곱 법칙에 따르며 퍼져 나간다는 개념이 부족했음이 드러났다.

$$\begin{aligned}
 \beta &= (10 \text{ dB}) \log \frac{P}{I_0} \\
 &= (10 \text{ dB}) \log \frac{P/A}{I_0} \\
 &= (10 \text{ dB}) \log \frac{0.0241 \text{ W} / \frac{1}{100} \text{ m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}
 \end{aligned}$$

-0.1
difficult

Figure 21. 학생 D의 풀이 답안

소리 에너지가 퍼져 나가는 걸 원의 형태로 적용했어요. 구의 부피만큼 퍼져 나간다고 생각했어요.

(학생 D 면담 결과)

학생 F의 답안 분석 결과 Figure 21과 같이 운동 에너지를 구하는 과정에서 속력을 제곱으로 적용하지 않아 감점되었다. 학생 F 면담 결과 단순 계산 실수로 확인되었다.

풀이 과정: P1과 같이 낙하해올 cm 충돌 직후 속력 = 15.3 m/s

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{운동에너지 } E_k &= \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (4.00 \text{ kg}) (15.3 \text{ m/s})^2 \\
 &= 30.6 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{소리에너지 } E_s = 0.001\% \times E_k = 0.001 \times \frac{1}{100} \times 30.6 \text{ J}$$

Figure 22. 학생 F의 풀이 답안

아.. 식은 잘 작성했는데 계산할 때 잘못 계산한 것 같아요. 제곱을 적용하지 않았어요.

(학생 F 면담 결과)

아. P8 이론 문항, 답안 분석 및 면담 결과

이론 시험 여덟 번째 문항은 Figure 22와 같이 P7 이론 문항과 연계하여 두리안 열매가 자유낙하를 하여 지면과 충돌 후, 측정되는 소리 세기 준위를 이용하여 충돌 지점으로부터 관측자의 위치를 추론하는 문제이다.

P8. [1.0 pt] Determine the distance from the impact point, as described in problem P7, at which the sound intensity level of the impact reaches 60 dB—a level that is easily noticeable in an orchard environment.

Figure 23. P8 이론 문항

본 문항에서 감점을 받은 대표단 학생은 3명이었으며, 학생 A, C의 답안 분석 결과 Figure 23과 같이 소리 에너지의 방출 표면적을 $2\pi r^2$ 로 계산하여 감점되었다. 학생 C 면담 결과 지면 방향으로 퍼져나가는 소리 에너지의 절반이 지면에 흡수되기 때문에 표면적의 반만 적용했음을 확인하였다.

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$60 \text{ dB} = 10 \text{ dB} \times \log \left(\frac{0.94}{2\pi r^2} \right) \times 10^{12}$$

$$\Rightarrow r = 3811 \text{ m}$$

Ditto $4\pi r^2$
-0.1

Figure 24. 학생 C의 풀이 답안

소리 에너지의 절반이 지면으로 흡수되니까요. 지면으로 흡수되는 만큼인 반을 제외하고 나머지 에너지를 적용했어요.

(학생 C 면담 결과)

학생 D의 답안 분석 결과 Figure 24와 같이 P7 문항과 동일한 개념을 적용하여 연계적으로 감점되었음을 확인하였다.

풀이 과정: 거리 r 이자 3811 m

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$= (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{P/A}{I_0} \right)$$

$$= (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{0.2 \times 11 \text{ W} \times \left(\frac{\pi}{4} r^2 \right)}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \right) = 60 \text{ dB}$$

Ditto $4\pi r^2$
-0.1

Figure 25. 학생 D의 풀이 답안

7번 문제와 같은 형태의 문제라 7번에서 적용했던 대로 소리 에너지가 구의 부피 형태로 퍼져나간다고 동일하게 적용했어요.

(학생 D 면담 결과)

IV. 결론 및 시사점

본 연구는 2023년 태국에서 개최된 제 20회 IJSO 대회에 물리 이론 문항별 출제 경향 분석과 대회에 참가한 6명의 대한민국 대표단 답안 분석 및 면담을 통한 오답 원인을 분석하여 KJSO 교육의 방향에 대한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다. 이론 문항은 문항별 하위 문항을 포함하여 총 11 문항이 출제되었으며, 대표단 학생들의 주관식 풀이에 대한 채점 결과와 각 학생의 면담을 통해 오답 원인을 분석할 수 있었다. 이론 문항의 출제 경향 분석 결과와 각 문항에 대한 대표단의 답안 분석 및 면담을 통해 얻은 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 이론 문항의 출제 경향의 경우 신교육목표 분류법에 근거할 때, 인지 수준은 C3(54.5%), C4(36.4%), C2(9.1%) 순으로 출제되었다. 즉, 물리학 개념 자체를 묻는 이해 수준의 문항보다 상황을 제시하고 실생활에 적용 및 분석하는 수준의 문항이 주를 이뤘음을 알 수 있다. 또한 고난도의 문항을 다루기보다는 두리안 열매의 자유 낙하, 두리안 열매와 지면의 충돌, 두리안 열매 충돌 시 발생하는 소리와 같이 현실 상황을 기반으로 기본이 되는 물리학 개념을 적용 및 활용하여 해결하는 문항이 출제되었음을 알 수 있다.

둘째, 학생들은 두리안 열매 낙하 및 충돌과 같은 현실 상황에서 단순 계산 실수, 제공 미적용, 원의 공식에 대한 수학적 개념의 오류와 같은 오답 원인이 확인되었다. 이는 정형화된 상황이 아닌 현실 상황에 물리학 개념을 적용하여 분석하는 능력 부족과 계산값이 명확히 떨어지지 않을 때 유효숫자를 처리하는 과정에서 실수, 복잡한 계산 과정에서 단순 계산 실수, 역제곱 법칙에서 구의 넓이와 같은 수학적 개념의 이해 및 적용 능력이 부족했음을 알 수 있다.

따라서 KJSO 및 우리나라 영재 교육에서 단순 암기나 정형화된 수치를 적용하는 물리 문항을 다루기보다는 현실 상황에서 사용되는 값을 적용한 문제를 풀이하고, 현실 상황을 단순화하거나 모형화하여 물리 이론과 법칙을 적용할 수 있도록 변환하고 해석하는 활동을 통하여 물리학적 개념의 이해와 적용 능력을 길러야 할 필요성을 보여준다. 또한 고급 물리 이론에 대한 숙진과 새로운 지식 및 최신 유행의 지식에 대한 내용을 다루는 것도 중요하지만, 기초 및 기본이 되는 물리 법칙과 이론, 수학적 개념을 실제 상황에 적용하고 해석할 줄 아는 능력을 기를 수 있도록 지도하는 방안의 필요성을 제언하는 바이다.

참고문헌

- 박지연. (2022). 국제중등과학올림피아드(IJSO)와 한국중등과학올림피아드(KJSO)의 물리 문항 비교 분석. **국제과학영재학회지**, 7(1), 17-28.
- 신석진, 박지호. (2020). 국제중등과학올림피아드(IJSO)와 한국중등과학올림피아드(KJSO)에서 화학 문항의 비교 분석. **국제과학영재학회지**, 6(2), 87-101.
- 신명경, 권경필. (2021). 국제중등올림피아드 실리버스와 2015 개정 과학과 교육과정 ‘운동과 에너지’ 영역 비교. **국제과학영재학회지**, 7(1), 9-15.
- 이세연, 권경필. (2020). 제 16회 국제중등과학올림피아드 물리 이론 문제에 대한 학생들의 풀이과정 분석. **국제과학영재학회지**, 6(1), 19-26.
- 이인호. (2020). 제 15회 국제중등올림피아드(IJSO2018) 문항 및 우리나라 대표 학생 답안 분석 -물리 이론 시험 문항을 중심으로-. **국제과학영재학회지**, 6(2), 77-85.
- 이희연, 김덕수 (2019). 국제중등과학올림피아드 (IJSO) 의 현황과 화학영역 출제경향. **교육과학연구**, 21(1), 201-211.
- Anderson L W, dan Krathwohl D R 2001 *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assesing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educationl Objectives* (New York: Addison Wesley Longman, Inc)

Analysis of Students' Problem Solving for The Physics MCQ and Theory Problems of The 20th International Junior Science Olympiad(IJSO)

Doyeong Kim (Bangok High School)

Abstract : The International Junior Science Olympiad (IJSO) is a competition where students under the age of 15, selected six per country, compete in their scientific abilities and promote international friendship through solving multiple-choice and descriptive theoretical questions, as well as experimental tasks in physics, chemistry, and life sciences. Analyzing the questions of the Science Olympiad competition and the answers of the student delegation can provide insights into the international trends in science and gifted education, and identify the weaknesses of Korean students in the science learning process, which can help set future educational directions. This study aims to analyze the theoretical questions in physics and the answers of the South Korean delegation students presented at the 20th Junior Science Olympiad held in Bangkok, Thailand, in December 2023, and conduct interviews with each student about their problem-solving process to make suggestions related to the education of gifted students in physics.

* Key words : International Junior Science Olympiad, Korea Junior Science Olympiad, Gifted Science, Middle Schooler

논문접수 : 2024.05.10.

논문심사 : 2024.05.24.

게재승인 : 2024.06.14.