

국제 중등과학 올림피아드(IJSO) 생물 분야 출제 문항 분석

이영만¹ · 홍준의^{2*}

¹아주대학교, ²서원대학교

Analysis of the INTERNATIONAL JUNIOR SCIENCE OLYMPIAD(IJSO) Biological Field Questions

Lee, Young-Man¹ · Hong, Jun euy^{2*}

¹Ajou University

²Seowon University

Abstract : In this study, multiple choice and theoretical questions during the 10-year period of INTERNATIONAL JUNIOR SCIENCE OLYMPIAD(IJSO) were analyzed based on the behavioral area (problem type) and content area (evaluation content factor). As a result of dividing the behavior area into knowledge, application, and reasoning and calculating frequency, the ratio of knowledge area was highest in multiple-choice questions. In the theoretical items, the ratio of application area was the highest. Categories with the most frequency in the content area was animal structure and function, followed by cell and metabolism, ecology, genetics and evolution, and structure and function of plants. Compared with KJSO selection test, IJSO had a somewhat higher proportion of reasoning areas and no significant differences in content areas. In the 2017 and 2018 IJSO experimental questions, questions about conducting experiment and interpreting data were the most common, followed by questions about whether or not they understood the principles of experimentation. Other questions were to ask the ability to transform the data, and what results would come out under certain circumstances. Taken together, what IJSO calls for is knowledge of full range of biology, ability to perform experiments and reasoning skills.

Keywords : science, olympiad, gifted in science, biology

요약 : 본 연구에서는 INTERNATIONAL JUNIOR SCIENCE OLYMPIAD(IJSO) 10개년 간 객관식 및 이론 출제 문항을 행동 영역(문제 유형)과 내용 영역(평가내용요소)을 준거로 분석하였다. 행동 영역을 지식, 적용, 추론으로 나누어 빈도를 산출한 결과, 객관식 문항에서는 지식 영역의 비율이 가장 높았다. 이론 문항에서는 적용 영역의 비율이 가장 높았다. 내용 영역별로 가장 많은 문제가 출제된 분야는 동물의 구조와 기능이었고, 그 다음이 세포와 물질대사가 많이 출제되었으며, 생태학, 유전과 진화, 식물의 구조와 기능이 비슷한 비율로 출제되었다. KJSO 선발 문항과 비교했을 때 IJSO에서 추론 영역의 비율이 다소 높았고, 내용 영역별로 큰 차이는 없었다. 2017년과 2018년 IJSO 실험 문항에서는 실험 수행과 데이터 해석에 관한 질문이 가장 많은 비율을 차지하였고 그 다음이 실험의 원리를 이해하고 있는지 묻는 것이었다. 그 외에는 데이터를 변환하는 능력, 특정한 상황에서 어떤 결과가 나올지 묻는 질문이었다. 이를 종합해 보면 IJSO에서 요구하는 것은 생물학 전 범위의 지식과 실험 수행 능력 및 추론 능력이다.

주요어 : 과학, 올림피아드, 과학영재, 생물

1. 서 론

국제중등과학올림피아드(International Junior Science Olympiad, 이하 IJSO)는 매년 12월 첫째 주에

전세계의 16세 이하 학생들을 대상으로 하는 자연 과학 분야의 개인 및 팀별 국제대회이다. IJSO는 청소년의 일반 교육 및 삶의 모든 면에서 자연 과학의 중요성을 인식하여 설립된 순수한 교육 행사이다(http://

*Corresponding author : 홍준의
E-mail : jun0572@seowon.ac.kr

www.ijsoweb.org). 한국중등과학올림피아드(Korea International Junior Science Olympiad, 이하 KISO) 조직위원회에 의하면 IJSO는 세계 과학영재의 조기 발굴과 과학자, 과학영재교육자 및 과학영재들의 국제적 친선을 목적으로 국가별 만 15세 이하, 6명 이하의 학생들이 출전하여 과학 전분야(물리, 화학, 생물 중심)에 걸친 3차례 시험(객관식, 주관식, 실험)으로 평가하는 개인 및 팀별 국가대항 자연과학 분야 경시대회이다. 또한 IJSO는 현재 세계의 중학교 학생들을 대상으로 하는 과학올림피아드일 뿐만 아니라, 물리, 화학, 생물 등 과학의 전분야를 아우르는 과학올림피아드로서도 유일한 대회라 할 수 있다([https:// www.kjso.or.kr](https://www.kjso.or.kr)).

IJSO와 KJSO의 목적을 비교하면 다음 Table 1과 같다.

KJSO의 목적은 IJSO의 목적을 바탕으로 이루어졌으며, 한국의 특성을 반영한 목적이 기술되어 있다. 국제과학올림피아드 사업의 일환으로 수행되는 KJSO는 우리나라 중학생들의 흥미를 과학 분야로 유도하고, 우수 중학생 과학도 발굴 및 육성 환경을 조성하여, 최종 국제대회에 출전시키는 것이 목적이다.

우리나라는 제 1회 IJSO 인도네시아 대회부터 2018년 제 14회 대회까지 참가해 왔으며, 종합 1위 두 차례, 2위 두 차례 등, 매년 최소 10위 이상의 우수한 성적을 거두어 왔다. 최종 6명의 대표 학생들은 KJSO를 통해 선발되는데, 이를 위해 교수, 교사 및 연구원으로 구성된 과학 각 분야 전문가그룹이 참여하고 있다. KJSO가 주관하는 대표 학생 선발 시험은 IJSO와 유사한 방식으로 진행되고 있지만, 문제 유형과 내용에 대한 분석이 체계적으로 연구된 바는 없었다. IJSO 대회 기출 문항에 대한 분석도 국내 논문 중에는

현재까지 없었고, 해외 연구 중에서도 2010년 IJSO 대회에 대한 인도네시아에서 행해진 분석(Yunita, 2017) 외에는 없었다. 이 인도네시아 연구에서는 한 대회의 화학 문항에 대한 분석으로 제한되어 있어서 사실상 생물 분야 IJSO 문항 분석은 지금까지 없었다고 할 수 있다. IJSO 이외의 생물 관련 국제대회에 대한 분석에는 국제생물올림피아드 (International Biology Olympiad, IBO) 대회에 대한 연구가 간혹 있어 왔다. 28회 IBO에 대해 대회 운영이나 실험과 이론 문항에 대한 고찰(Crealock-Ashurst, B. *et al.* 2017)이 있었고, 생물 올림피아드가 학생들에게 미치는 의의나 영향에 대한 연구(Mutanen, J., & Aksela, M., 2018)가 있었다. 또한, 올림피아드 문항의 질 향상 방안에 대한 논의(이기영, 김찬중, 2005), 한국과학영재 올림피아드 수학 문항분석(이강섭 외, 2008), 국제천문올림피아드 문항의 탐구 유형 분석(임인성 외, 2008, 임인성 외, 2011)에 관한 연구가 있었다.

생물 분야 IJSO 기출 문항에 대한 연구는 전혀 없었기에 IJSO 객관식, 이론 및 실험 문항 일부를 분석하여 생물 분야 국제 중등 과학 시험 문항의 경향성을 파악하고, KJSO를 통해 한국 대표를 선발하는 과정에서 중요한 기준점을 제시할 수 있을 것이다.

II. 연구 내용 및 절차

1. 분석 대상

최근 10년간 (2008~2018년도, 2012년 제외) IJSO 객관식(multiple choice) 기출문항 총 100개, 이론(Theory) 기출문항 총 50개와 최근 2년 간(2017~2018년) 실험(experiment) 기출 문항 총 2개를 대상으로 분석하였다.

Table 1. 국제중등과학올림피아드와 한국중등과학올림피아드의 목적

IJSO	KJSO
1 과학 연구의 성과추구에 대한 보상과 격려	자연과학 분야에 있어 학생들의 관심 증대
2 과학 영재들이 각자의 재능을 개발하는데 있어 도전시키고 자극	우리나라 영재들의 조기발굴과 지속적인 교육
3 세계 젊은 과학도들의 우정을 도모	한국대표단을 국제중등과학올림피아드에 참가시킴으로써 전 세계 과학영재들의 친선 및 문화교류를 도모
4 매년 개최되는 본 행사에 최고의 젊은 과학도들을 선발	세계 각 국의 과학 교육에 관한 정보교류를 통한 우리나라 과학 교육의 선진화
5 자연과학 분야 연구의 지속적인 참여를 유도	

2. 분석 준거 및 절차

위에서 지정한 IJSO 객관식, 이론 기출 문항 및 KJSO 선발 문항들에 대해 문제 유형별(행동 영역) 및 내용 영역별 출제 빈도를 산출하였다. 먼저 행동 영역 분석은 대학수학능력(수능) 평가 틀의 행동 영역과 TIMSS(Trends in International Mathematics and Science Study) 인지 영역 평가를(김현정 등, 2016)을 참고한 후 변형하여 사용하였다. 즉, 지식, 적용, 추론 이렇게 세 가지 영역으로 나누고, 각 기출 문항이 세 영역 중 어디에 속하는지를 정하여 빈도를 산출하였다. 이 영역은 아래에 기술한 특징에 따라 구분하였으며, 명확히 구분하기 힘든 문항의 경우 어떤 영역에 더 가까운 지 판별하여 구분하였다.

- **지식** : 과학적 사실, 개념에 관한 지식과 관련된 영역으로 회상하기, 인식하기 등의 하위요소로 제시된다. TIMSS 인식 영역에서 '알기', 수능 행동 영역에서 '이해'에 해당된다.
- **적용** : 과학적 사실과 개념에 관한 지식을 이용하여 상황이나 그림, 그래프 등을 해석하여 해결책을 찾는 경우에 해당된다. TIMSS 인식 영역에서 '적용하기', 수능 행동 영역에서 '적용'에 해당된다.
- **추론** : 관찰하고 분석하기, 결론 도출하기(정보와 증거에 기반을 두고 타당한 추론하기), 종합하기, 일반화하기를 위한 증거 사용과 과학적 이해를 포함한다. 친숙하지 않고 복잡한 상황으로 구성되는 문제 상황에 하나 이상의 접근이나 전략을 사용하는 것(김수진 등, 2013)으로, TIMSS 인식 영역에서 '추론하기', 수능 행동 영역에서 '탐구'에 해당된다.

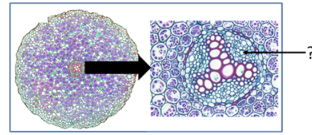
Figure 1에 세 영역의 대표적인 예시 문항이 있다.

본 연구의 객관식과 이론 문항 분석에서는 문항별 배점을 고려하지 않고 문항 수만으로 결과를 산출하여 실제적인 출제 비중을 정확하게 파악하기에는 한계가 있을 수 있으나, 10년간의 전체적인 출제 경향성을 파악하는 데 중점을 두었다.

내용 영역별 빈도 산출 시 내용 영역은 캠벨 생명과학 11판(Campbell *et al.*, 2017)의 내용 요소를 참고하여 일반적으로 대학 교재 등에서 나누는 영역으로 작

(가)

그림은 미나리아재비의 어린 뿌리의 기본 조직을 볼 수 있도록 자른 것이다. 가로로 자른 뿌리 그림은 뿌리 조직의 기본적인 패턴을 나타낸다. 물음표(?)는 뿌리 조직에서 무엇인가?

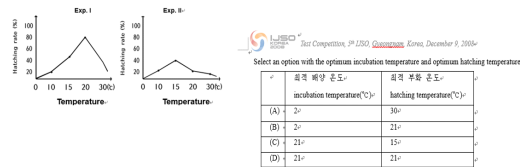


- A. 체관 B. 피질
C. 물관 D. 내피

(나)

아래 그래프는 초파리 알의 부화에 관한 실험 결과를 보여준다. 한 과학자가 초파리를 3일 동안 2°C (실험 I)에 배양한 후에 10°C, 15°C, 20°C, 30°C에서 각각 부화하였고, 21°C (실험 II)에서 배양한 후에 같은 온도에서 각각 부화하였다.

최적 배양 온도와 최적 부화 온도를 바르게 짝지은 것은?



(다)

그림 VI-1은 시간에 따른 좌심실의 혈압과 혈액량의 변화를 나타낸 것이다.

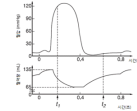


그림 VI-1. 좌심실의 혈압과 혈액량의 변화

[문제]

VI-1. [1.0 점] t1과 t2 초일 때 반월판과 방실판막(이첨판)은 열려있는가 아니면 닫혀있는가? (답안지에 열려있으면 '○', 닫혀있으면 '×'를 표시하십시오.)

VI-2. [1.0 점] 그림 VI-1에서 심박동률(분당 박동수)은 얼마인가? (2개의 그래프를 보고 정확하게 답하십시오.)

VI-3. [1.0 점] 심박출량은 단위시간 동안 심실에서 펌프 혈액량으로 정의될 수 있다. 이 조건에서 심박출량(L/min)을 계산하십시오. (소수점 2자리까지 계산하십시오.)

Figure 1. 문항 유형의 예. (가) 지식 문항의 예 (2016년 출제 객관식 문항), (나) 추론 문항의 예(2008년 출제 객관식 문항), (다) 적용 문항 예(2015년 출제 이론 문항)

성하였다. 즉, 세포와 물질대사, 유전과 진화, 식물의 구조와 기능, 동물의 구조와 기능, 생태학, 이렇게 다섯 분야로 나누었고, 세부영역은 아래 Table 2와 같다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 객관식, 이론 문항에 대한 문제 유형별(행동 영역) 분석

2008~2018년(2012 제외) IJSO 객관식, 이론 기출 문항을 행동 영역 별로 지식, 적용, 추론 유형으로

Table 2. 내용 영역

	세부 영역
세포와 물질대사	생체 거대분자, 세포의 구조와 기능, 세포막, 세포 신호전달, 세포 호흡과 광합성, 세포분열
유전과 진화	멘델 유전학, 유전자 발현, 진화
식물의 구조와 기능	식물의 구조와 생장, 식물의 영양, 생식, 신호와 행동
동물의 구조와 기능	동물의 소화, 호흡, 배설, 생식, 발생, 신경, 감각과 운동
생태학	행동생태학, 개체군, 군집, 생태계, 보전과 지구 생태학

분류하였다. 10개년 간 총 객관식 문항 중, 지식이 47%, 적용이 36%, 추론이 17% 가량 출제되어, 세 가지 유형 중 지식 영역의 비율이 가장 높았다(Table 2). 10개년 간 대회 중 지식의 비율이 가장 높았던 대회는 2015년 한국 대회로 객관식 문항 중 70%가 지식형이었다. 반면, 지식형의 비율이 가장 적었던 대회는 2008년과 2017년 대회였다. 그 외 대회의 지식형 문항 비율은 40~60% 사이였다. 2017년 대회에서는 추론형이 60%로 다른 대회보다도 가장 추론형의 비율이 높았다. 그 외 대회는 모두 추론형 문항 비율은 30% 이내였다(Table 3).

10년간의 이론 문항에서는 적용 영역이 50%, 지식과 추론 영역이 각각 25%로, 적용 영역의 비율이 가장 높았다. 여러 대회 중에서는 71%가 지식형이었던 2009년 대회가 지식형 비율이 가장 높았던 대회였다. 반면, 2017, 2013, 2010, 2008년, 4개 대회에서 이론 문항에서는 지식형이 출제되지 않았다. 2017년 대회는 객관식 문항뿐만 아니라, 이론 문항에서도 추론형이 가장 많이 출제된 대회였다(Table 3).

최근 5년간(2014~2018년)과 그 이전 5년(2012년 제외) 간 유형을 비교하면 큰 차이는 없으나, 최근 5년이 그 이전에 비해 객관식에서는 지식 영역이 44%에서 50%로, 추론 영역이 14%에서 20%로 모두 비율이 다소 늘어났다. 이론 문항에서는 지식, 적용 영역이 모두 미세하게 줄고, 적용 영역이 더 늘어났다. 이전 5년간에 비해 최근 5년 간 문항에서 객관식, 이론 문항 모두 추론형의 비율이 약간 높아졌다(Figure 2).

10개년 간(2008~2018년, 2012년 제외) IJSO 객관식과 이론 기출문항을 모두 합하여 산출한 행동 영역 유형별 빈도에서는 지식과 적용이 각각 41%, 추론 영역이 18%였다. 현 KJSO 선발 양식에서도 이러한 유형별 빈도에 맞추어 학생들을 선발할 필요성이 있다. 지식 중심으로 학생들을 선발했을 때 지식이 많은 학생보다 순수한 추론 능력이 뛰어난 학생들이 배제될 가능성이 있을 수 있으나, 적용 영역에 지식과 추론 능력이 포함된다고도 볼 수 있으므로 단정 지어 말하기는 힘들다. 좀 더 심화된 연구를 통해 KJSO 선발 문항을 개선시킬 필요성이 있는지 판단해야 할 것이다.

2. 객관식, 이론 문항에 대한 내용 영역별 비교

2008~2018년(2012 제외) IJSO 객관식과 이론 문항을 합하여 내용 영역별 출제 빈도를 산출하였다. 가장 많은 문제가 출제된 영역은 동물의 구조와 기능 분야였고, 그 다음이 세포와 물질대사가 많이 출제되었으며, 생태학, 유전과 진화, 식물의 구조와 기능이 비슷한 비율로 출제되었다(Figure 3). 최근 5년간(2014~2018년)과 그 이전 5년(2012년 제외) 간 유형을 비교하면, 동물의 구조와 기능 분야에서 가장 많이 빈도가 증가하였으며(25.8%에서 33.7%), 세포와 물질대사, 생태학 분야는 1%와 0.5%만 증가하였다. 식물의 구조와 기능 분야는 16.1%에서 9.3%로 다소

Table 3. 최근 10개년 간 IJSO 객관식, 이론 문항에 대한 문제 유형별 문항 수

IJSO 문항	유형	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2011	2010	2009	2008	비율(%)
객관식	지식	5	1	6	7	6	4	5	6	6	1	47
	적용	5	3	2	2	3	3	3	4	4	7	36
	추론	0	6	2	1	1	3	2	0	0	2	17
이론	지식	1	0	4	0	2	0	3	0	5	0	25
	적용	2	2	2	4	2	2	2	3	1	5	50
	추론	1	4	1	0	0	2	0	1	1	0	25

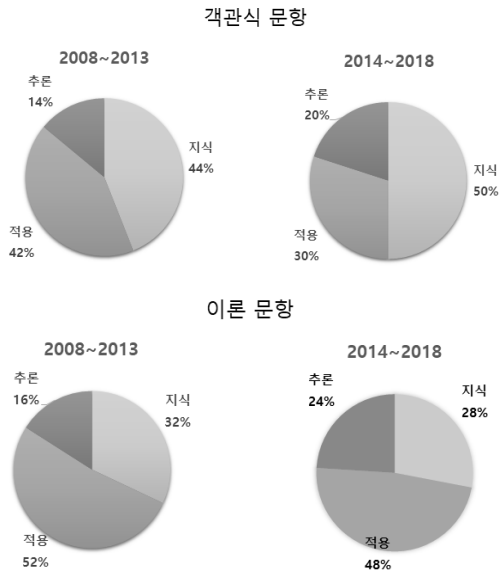


Figure 2. 최근 5년(2014~2018년) 간과 그 이전 5년(2008~2013년, 2012년 제외) 간 IJSO 객관식 문항과 이론 기출 문항 유형 비율

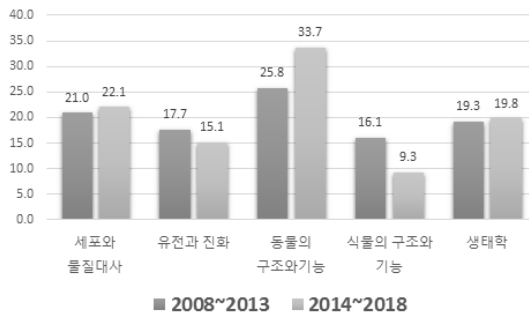


Figure 3. 최근 5년(2014~2018년) 간과 이전 5년(2008~2013년, 2012년 제외) 간 IJSO 출제 문항 내용 영역별 빈도 비교

빈도가 감소하였고, 유전과 진화 분야는 2.6% 만큼 낮은 폭으로 감소하였다. 세부적으로 보면 유전과 진화 영역 내에서 전통적인 멘델 유전 문제는 다소 감소하였으나, 유전자 발현은 3.2%에 4.65%로 오히려 증가하였다. 유전자 발현은 한국 중등 교과과정에는 포함되지 않으나, 최근 출제가 꾸준히 되고 있는 분야이다. 따라서 IJSO 대회를 준비하는 KJSO에서는 한국의 교육과정을 벗어나 선행 학습과 심화 학습을 해야 하는 불가피한 상황에 놓여 있게 된다.

3. 실험 문항 분석

2018년도에는 박막크로마토그래피(TLC)를 이용하여 식물 화합물을 동정하는 실험에 관한 문항이 출제되었다(Figure 4). 요약하면, 학생들은 여러 화합물에 대한 Rf값을 제공받은 후, 실제 식물 추출물 용액을 TLC로 분리하여 각 스팟(spot)의 Rf 값을 구하고, 자기가 구한 값과 제공한 값을 비교하여 각 화합물을 맞추는 실험이었다. 그 외에는 TLC 실험 원리에 대한 질문으로 각 화합물의 이동거리를 결정하는 요인이 무엇인지, 실험 결과에 영향을 주는 요인이 무엇인지 등을 묻는 질문이었다. 화합물의 극성(polarity) 특성에 따라 화합물이 분리되는 TLC 원리에 대한 개념이 있

BIOLOGY LABORATORY PRACTICAL

Total marks [13.4 points]

Title: Using thin layer chromatography technique to identify plant compounds.

Thin-layer chromatography (TLC) is a technique used to identify compounds contained within biological extracts (e.g. plant extracts from steam distillation). As in other chromatographic methods, TLC is based on the principle of differential separation of compounds within a mixture. However, unlike other chromatographic methods, TLC is a simple, relatively cheap, highly sensitive and has a short development time.

The TLC system consists of different components such as TLC plates, chamber and mobile phase. TLC plates are usually ready-made and are coated with a thin layer of a stationary phase. The stationary phase of the plates is applied uniformly (uniform thickness throughout the plate). The TLC plates are developed in a TLC chamber, which contains the mobile phase. The mobile phase is made of a solvent (or mixture of solvents) which is chemically inert with the sample and is of high purity. It helps to separate compounds as they move up the TLC plate. Upon completion of the vertical separation of different compounds (which will appear as spots), each compound/spot will have a retention factor (also known as retardation factor) R_f value. The R_f value is calculated using the following formula:

$$R_f = (\text{distance travelled by compound}) / (\text{distance travelled by mobile phase}).$$

(중간 생략)

Table 1: Plant pigments and their R_f values, determined using the above procedure.

Plant pigment	R_f value
i) Xanthophyll 2	0.15
ii) Xanthophyll 1	0.28
iii) Rutin	0.34
iv) Chlorophyll b	0.42
v) Gallic acid	0.54
vi) Chlorophyll a	0.59
vii) Pheophytin	0.81
viii) Carotene	0.98

Questions

- [7.15 points] Draw a sketch of all the spots observed in lanes A-D on your TLC plate, and complete the table in your answer sheet with R_f values and proposed pigments (Roman numeral from Table 1, one per spot) Note that not all pigments in your sample are present in Table 1.
- [1.0 point, 0.25 per statement] For the following observations about the sample in lane D, mark in your answer sheet whether the following statements are true or false.

Statement	True	False
It separated into distinct pigments, which are not present in other lanes.		
It separated into distinct pigments, which are also present in other lanes.		

(이하 생략)

Figure 4. 2018년도 IJSO 실험 문항의 일부

으면 추론으로도 해결이 가능하며, TLC 원리와 Rf 값의 정의를 제시문을 통해 알려주었기에 제시문만 읽고도 실험을 진행하는 데는 큰 지장은 없을 것이다. 하지만 세부 문항에 대한 답변을 위해서는 이전에 TLC 실험에 대한 경험과 세부적인 과정에 대한 학습경험이 있는 학생들이 더 유리했으리라고 생각된다.

각 세부문항과 배점, 그리고 답변을 위해 어떤 능력이 필요한지를 세부 문항별로 요약하여 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 제공된 4개 용액의 TLC 전개 결과, 전체를 그림으로 그리고 각 스팟의 Rf 값 구하라. 각 스팟이 어떤 물질에 해당하는지 찾으시오(7.15점). - 실험 수행 및 데이터 해석능력
- 2) 특정한 용액에 대한 실험결과를 관찰하여 색소가 전개되는 패턴 등의 질문에 답하시오(1점). - 실험 수행 및 데이터 해석능력
- 3) 실험 과정에서 특정한 단계(TLC 챔버를 왜 닫아야 하는지)에 대한 이유에 대해 답하시오(1점). - 실험 원리에 대한 이해
- 4) Rf값에 영향을 주는 요인들을 고르시오(1.75점) - 실험 원리에 대한 이해
- 5) TLC 판에서 가장 늦게 이동하는 화합물을 고르시오 (0.25점) - 실험 수행 및 데이터 해석능력
- 6) 특정 화합물이 늦게 이동하는 이유에 대해 답하시오 (1점). - 실험 원리에 대한 이해
- 7) 실험 과정 변경 시(이동상의 극성과 비극성 용매 비율이 변할 때) Rf 값 결과 변화가 있을지 예측하시오 (0.25점) - 실험 원리에 대한 이해
- 8) 실험 결과에 영향을 줄 수 있는 실험 과정 요인들을 선택하시오. (1점) - 실험 원리에 대한 이해

이렇게, 실험결과 자체를 답안으로 작성하거나, 실험 원리에 대한 질문에 답하는 것이 대부분이었다. 실험 결과를 얻어서 그림으로 표현하거나, 그 결과를 해석하는 질문(1번, 2번, 5번 문항)이 총 8.4점(약 63%)에 해당하였고, 실험의 원리나 실험과정의 이해에 대한 질문(3번, 4번, 6번, 7번, 8번 문항)이 5점(약 37%)에 해당하였다.

결론적으로, 특별한 기기나 도구 사용법에 대한 심화된 지식이 필요한 것은 아니지만, 극성에 따라 색소 물질을 분리할 수 있다는 원리에 대한 이해와 더불어

실제 데이터를 얻기 위한 기본적인 실험 기술은 필요하다.

2017년도에는 짚신벌레의 수축포에 관한 문제가 출제되었다(Figure 5). 요약하면 수축포의 수축횟수가 소금 농도에 따라 어떻게 변하는지 예측하고, 실제로 정해진 과정대로 실험을 수행하여 수축횟수를 구하며, 주어진 조건에서 그래프를 예측하는 세부문항들이 출제되었다.

각 세부문항과 배점, 그리고 답변을 위해 어떤 능력이 필요한지를 세부 문항별로 요약하여 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 환경에 따른 수축포 수축 횟수에 관해 가설과 예측을 구분하라. 또한 가설에 따라 실험결과가 어떻게 나올지 예측하시오 (1점). - 추론 능력
- 2) 짚신벌레가 있는 프레파라트 샘플을 제대로 준비하였는가? (2.1점) - 실험 수행 능력
- 3) 실험 과정 중 메틸셀룰로즈 젤을 사용하는 이유를 말하시오 (0.7점). - 실험 원리에 대한 이해
- 4) 수축포가 6번 수축하는데 걸리는 시간을 측정하시오 (3.9점). - 실험 수행 능력
- 5) 초당 수축빈도를 구하시오 (0.9점). - 데이터 변환 능력
- 6) 수축빈도의 평균을 구하시오 (0.8점). - 데이터 변환 능력
- 7) 각 샘플의 수축빈도 평균을 작은 값부터 큰 값으로 나열하시오 (0.2점) - 데이터 변환 능력
- 8) 각 샘플의 수축빈도 중간 값을 구하시오 (0.4점). - 데이터 해석 능력
- 9) 평균값 대신 중간값을 이용할 때의 장단점을 고르시오 (0.8점). - 추론 능력
- 10) 결과에 기초하여 결론이 옳은지 아닌지 판별하시오(수축빈도가 시간이 지나도 일정한가?, 환경 소금농도 변화는 짚신벌레에 영향을 주는가? 등) (0.8점). - 데이터 해석 능력
- 11) 특정 소금농도의 환경에서 짚신벌레의 삼투압이 어떻게 변할 것인지 옳게 예측한 그래프를 고르시오 (0.7점) - 추론 능력
- 12) 특정 소금농도의 환경에서 짚신벌레의 수축포 수축빈도가 어떻게 변할 것인지 옳게 예측한 그래프를 고르시오(0.7점) - 추론 능력

Biology - The contractile vacuole of *Paramecium*

Introduction

Paramecia are one of the best known and most studied types of unicellular organism. The shape of a *Paramecium* cell somewhat resembles a slipper, although the front is located at the 'heel' and the back at the 'toes' of the slipper (Figure 1).

Paramecia are mostly cultivated in 'hay infusion' (water in which hay has been boiled for about ten minutes). Bacteria feed on the degradation products of the hay and readily grow in this medium. *Paramecia* in turn consume the bacteria, allowing them to thrive in the medium as well.

Paramecia contain some interesting cell organelles named 'contractile vacuoles'. These vacuoles are used to pump water out of the cell.

In this experiment, you will investigate the contraction frequency of the anterior (= 'at the front') contractile vacuole of *Paramecium caudatum* for two salt concentrations of the surroundings.

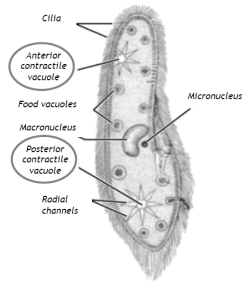


Figure 1 - Schematic drawing of a *Paramecium* cell with contractile vacuoles and some other cell organelles indicated.

Protocol

Investigation of the contraction frequency of the anterior contractile vacuole

To be able to investigate the contraction frequency of *Paramecium*'s anterior contractile vacuole, you must study live *Paramecium* under the microscope. For this, you will prepare your own microscopy samples following these steps: First, you will concentrate the *Paramecia* from the hay infusion (section A). Then, you will prepare a microscopy sample of the concentrated *Paramecium* culture (sections B and C). Finally, you will analyse the *Paramecium* under the microscope (section D).

ATTENTION! It is important that the *Paramecia* in the microscopy samples are as fresh as possible when you analyse them. Therefore, perform all sections (A, B, C and D) for one salt concentration before moving on to the other salt concentration.

ATTENTION! It is possible that some *Paramecia* do not survive the preparation of the microscopy sample. Do not analyse *Paramecia* that are not healthy (swollen or shrunken or with protruding vesicles), that do not show any movement at all or whose vacuoles contract less than once per minute. If your sample does not contain enough healthy *Paramecia*, you have to make a new sample. You are allowed to use more than one droplet for your observations.

Materials

- A 50 mL Erlenmeyer flask with water
- A plastic 15 mL tube labelled 'P-', containing a *Paramecium* culture in hay infusion without any additions
- A plastic 15 mL tube labelled 'P+', containing a *Paramecium* culture with extra sodium chloride added to increase the salt concentration by 0.03 mol/L
- A 15 mL tube rack

(중간 생략)

- (1 point) Below, five possible statements about the experiment are given. (Note that the statements are not necessarily correct!). Indicate in Table A1 which statements represent hypotheses and which statements represent predictions, while making sure to match corresponding hypotheses and their predictions if the hypotheses were true. You have to use one statement twice.
 - The contraction frequency of the anterior vacuole is the same for both salt concentrations.
 - Paramecium* regulates water outflow by changing the contraction frequency of the vacuole when the osmotic value of the surroundings changes.
 - Salt concentration does not affect *Paramecium*.
 - Paramecium* counterbalances water inflow in different environments by changing only the volume that is pumped out per contraction of the vacuole.
 - The anterior vacuole contracts more often for the lower salt concentration than for the higher salt concentration.

	Hypothesis	Prediction
1		
2		
3		

(이하 생략)

Figure 5. 2017년도 IJSO 실험 문항의 일부

이와 같이 2017년에는 실험 수행 능력과 실험원리에 대한 이해, 데이터 변환과 해석 능력 및 추론 능력까지 골고루 요구하는 문항이 출제되었다. 이 중 실험 수행이 2개의 세부문항(2번, 4번)으로 총 6점의 배점(46.2%)를 차지하였고, 실험원리에 대한 이해가 1개

문항(3번)으로 총 0.7점(5.4%), 데이터 변환이 3개 문항(5번, 6번, 7번)으로 총 1.9점 배점(14.6%), 데이터 해석이 2개 문항(8번, 10번) 총 1.2점(9.2%), 기타 추론 능력이 총 4개의 문항(1번, 9번, 11번, 12번)으로 3.2점(24.6%)을 차지하였다.

실험을 제대로 수행하는 데 있어 원심분리기, 현미경, 마이크로피펫과 같은 실험도구에 대한 훈련이 되어 있어야 시간 내에 수행하는데 지장이 없으리라 생각된다. 문항에 마이크로피펫에 대한 조작법은 제시가 되어 있지만, 실제로 시험당일 처음 조작법을 읽고 알게 된 학생들은 제대로 조작하기는 쉽지 않았으리라 추측된다. 따라서 이전에 기본 실험도구에 대한 조작법을 습득하고 있는 경우, 훨씬 쉽고 빠르게 실험을 진행했을 것이다. 원리에 대한 이해와 적용 및 종합적인 추론 능력 이외에도 기본 실험기구에 대한 조작법 숙지도 필요한 문항이었다 하겠다.

정리하자면, 2017년 실험문제에 제대로 답변하기 위해서는 데이터의 정리와 변환 능력 및 기본원리와 실험결과를 연결하고 적용할 수 있는 능력이 필요하며, 또한 여러 실험도구에 대한 조작법을 충분히 알고 있어야 한다.

2년 간 실험 문항을 종합하면, Figure 6에 나타난 것과 같이 제대로 실험을 수행하고 데이터를 해석하는 것에 관한 질문이 총 배점 중 약 60%를 차지하였고, 그 다음이 실험의 원리를 이해하고 있는지 묻는 것으로 21%에 해당하였다. 그 외에는 데이터를 변환하는 능력, 특정한 상황에서 어떤 결과가 나올지 묻는 질문이었다.

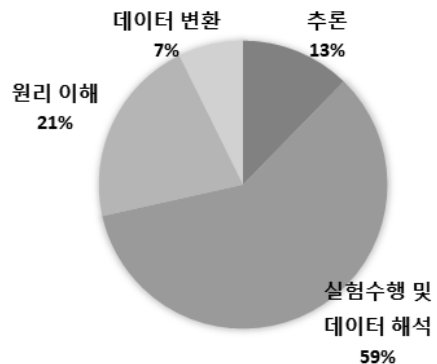


Figure 6. 최근 2년간 IJSO 실험 문항 분석

IV. 결론 및 제언

본 연구는 최근 10년동안 출제되었던 IJSO 문항을 분석하여 출제 경향을 파악하고, KJSO에서 국가대표를 선발하는데 중요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 연구 결과에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 연구 결과 최근 10년간(2012년 제외) IJSO 문항을 행동 영역 분석했을 때, 객관식 문항에서는 지식 영역이 약 47%, 적용 영역이 약 36%, 추론 영역이 약 17% 가량 출제되었다. 이론 문제는 적용 영역이 50% 가량, 지식과 추론 영역이 각각 25% 가량 출제되었다. 지식과 적용 범주가 상당한 빈도를 차지하므로 IJSO가 생물 분야의 특정한 과학적 개념과 원리에 대한 일정 정도의 지식을 주로 평가하고, 부수적으로 추론 능력을 함께 평가한다고 볼 수 있다. 생물학은 개념중심의 학문으로 규정하고 있어 개념의 이해가 중요하기는 하지만, IJSO의 출제 경향은 개념을 바탕으로 추론 능력이 강조되고 있다는 것을 알 수 있다.

둘째, 내용 영역별 출제 빈도를 산출했을 때, 가장 많은 문제가 출제된 영역은 동물의 구조와 기능 분야였고, 그 다음이 세포와 물질대사가 많이 출제되었으며, 생태학, 유전과 진화, 식물의 구조와 기능이 비슷한 비율로 출제되었다. 한국의 중학교 교육과정에서는 다루지 않는 부분이 많이 포함되어 있으므로 IJSO에 참가하는 KJSO의 교육은 선행 및 심화 교육이 불가피한 실정으로 파악된다.

셋째, 행동 영역에서 보면, IJSO 문항이 KJSO 선발 고사와 비교했을 때 추론 영역의 빈도가 높았으며, IJSO 실험 문항에서도 추론이 필요한 경우가 출제되어, 실험 수행, 자료 해석, 결론 도출 등의 능력이 있는지를 테스트한다고 할 수 있다. 결국, 생물학 전 범위의 일정 지식과 실험 수행 능력 및 결론 도출 등의 추론 능력을 모두 갖춘 학생들을 우수한 학생으로 평가하고 있는 것이다. 따라서 KJSO의 학생선발에 있어서 개념의 이해와 같은 지식의 평가와 더불어 적용 및 추론 능력 등 다방면의 평가가 필요하다.

이기영, 김찬중 (2005). 한국지구과학올림피아드 문항분석을 통한 문항의 질 향상 방안. 한국지구과학교육학회지. 26(6), 511-523.

이강섭, 라병소, 허민, 박명규, 유은영 (2008). 2007 한국과학영재올림피아드 수학분야의 문항분석. 대한수학교육학회 학술대회논문집. 53-86.

임인성, 성현일, 김광동, 김봉규, 김유제, 강용희, 최승언 (2008). 국제천문올림피아드 현황과 기술문항에 대한 과학탐구 유형 분석. 한국천문학회 천문학논총. 23(2), 109-121.

임인성, 성현일, 한인우, 김유제, 최승언 (2011). 국제 천문 및 천체물리 올림피아드 현황과 기술문항에 대한 과학탐구 유형 분석. 한국천문학회 천문학 논총. 26(3), 89-101.

김현정, 이창훈, 동효관, 김동영, 이재봉, 이신영 (2016). 대학 수학능력시험 과학탐구 영역 평가 틀의 행동 영역에 대한 고찰. 현장과학교육. 10(1), 83-94.

김수진, 동효관, 박지현, 김지영, 진의남, 전경희, 서지희, 김민정 (2013) 수학 과학 성취도 추이변화 국제비교 연구: TIMSS 2015 평가 기반 구축. 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2013-7-3.

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2017). Biology: A Global Approach (11th ed.). New York: Pearson.

<http://www.ijsoweb.org/>, accessed 17, April 2019.

https://www.kjsso.or.kr/sub01/sub_02.html, accessed 21, April 2019.

Yunita, Yunita, (2017), ANALISIS SOAL INTERNATIONAL JUNIOR OLYMPIADE (IJSO) SAINS (KIMIA) BERDASARKAN DIMENSI PROSES KOGNITIF DAN PENGETAHUAN, EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan). 2(1), 1-13.

Crealock-Ashurst, B. *et al.* (2017), A Critical Reflection on the 28th International Biology Olympiad. Exchanges: the Warwick Research Journal. 5(1), 127-136.

Mutanen, J., & Aksela, M. (2018), The relevance of non-formal Biology Olympiad training for upper secondary school students. LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education. 6(2), 126-145.

2019년 5월 9일	접수
2019년 6월 7일	수정완료 접수
2019년 6월 7일	채택

참고문헌

* 홍준의, 서원대학교(Hong, Jun euy; Seowon University).