

국제중등과학 올림피아드(IJSO)의 화학 실험 문항 분석

신석진¹ · 박지호^{2*}

¹서울대학교, ²한국방송통신대학교

Analysis of the International Junior Science Olympiad(IJSO) Chemistry Experiment Questions

Shin, SeokJin¹ · Park, Jiho^{2*}

¹Seoul National University

²Korea National Open University

Abstract : In this study, the chemistry experiment questions for the 11 years of the International Junior Science Olympiad(IJSO) were analyzed based on trend, knowledge and inquiry elements. The topic of chemistry experiment had a high proportion of quantitative analyses such as acid-base titration and oxidation- reduction titration, and separation of the mixture also had a certain percentage. The chemistry experiment question is characterized by obtaining the measurement by experimenting in accordance with experimental procedures, and then calculating the mass of material using stoichiometry. Chemistry experiment questions include inquiry elements, such as data collection, processing, and interpretation, along with scientific knowledge and methods of inquiry at the level of middle and high schools. Data collection evaluates the selection and use of measurement tools, and data processing organizes data into tables and evaluates measurement accuracy and precision. The data interpretation had a high percentage of the questions in the form of comparing and explaining the results of the experiment. The educational implications are discussed.

Keywords : chemistry olympiad, chemistry experiment, gifted in science

요약 : 이 연구에서는 11년간 국제중등과학 올림피아드(IJSO)의 화학 실험 문항에 대해 출제 경향, 지식과 탐구 요소를 분석하였다. 화학 실험 주제는 산염기 적정, 산화 환원 적정 등의 정량 분석 비율이 높았으며, 증류나 크로마토그래피와 같은 혼합물의 분리도 일정 비율을 차지하였다. 화학 실험 문항은 제시된 실험 절차에 따라 실험을 수행하여 측정값을 얻은 후, 화학양론으로 분석물의 함량을 구하는 특징이 있었다. 화학 실험 문항은 자료 수집 및 자료 처리, 자료 해석에 대한 탐구 요소를 포함하고 있으며, 중고등학교 수준에서의 과학 지식과 탐구 방법을 포함하고 있었다. 자료 수집은 측정 도구의 선택 및 사용에 대해 평가하였고, 자료 처리에서는 측정치를 표로 정리하고, 측정의 정확성과 정밀성을 평가하고 있었다. 자료 해석은 실험 결과를 비교 및 설명하는 형태의 문항의 출제 비율이 높았다. 이에 대한 교육적 함의를 논의하였다.

주요어 : 화학 올림피아드, 화학 실험, 과학 영재 교육

1. 서론

과학 영재교육은 학생의 잠재력을 최대한 계발시킬 수 있도록 교육의 기회를 균등하게 제공하고, 미래 사회에서 국가경쟁력을 높일 수 있는 인재 양성을 목표로

로 한다(정세환 등, 2007). 이를 위해 수많은 국가는 우수한 과학 인재를 기르기 위해 교육과정 개발에서부터 국제 올림피아드 참가를 위한 지원에 이르기까지 다양한 노력을 하고 있으며, 특히 국가 대표 학생이 국제 올림피아드에서 우수한 실적을 거두게 되는

*Corresponding author : 박지호
E-mail : jihopark@knou.ac.kr

경우에는 해당 국가의 과학 위상이 높아지게 된다. 국제 과학 올림피아드 대회의 목적은 과학에 재능 있는 청소년을 발굴하여 그들의 도전 정신과 지적 활동을 자극하고, 과학교육자나 학생의 정기적인 국제 교류를 촉진하며, 세계 청소년들이 한자리에 모여 친선을 도모하고 정보교류 수행하는 것이다(정세환 등, 2007). 우리나라에서도 20세 미만의 고등학생을 대상으로 물리, 화학, 생물, 지구과학 분야의 대표 학생을 선발하여 매년 국제 과학 올림피아드에 출전시키고 있는 실정이다.

과학 영재들의 재능 개발과 자연과학에 대한 탐구의 지속적인 참여를 유도하기 위해 2004년부터 만 15세 이하의 중학생을 대상으로 국제중등과학 올림피아드(Internation Junior Science Olympiad; IJSO)가 매년 개최되고 있다(이희연과 김덕수, 2019). 국제중등과학 올림피아드의 참가 규모는 30~40개국 정도이며, 개최국은 연도별로 바뀌는 특징이 있다. 우리나라는 매년 국가 대표 학생을 선발하여 국제중등과학 올림피아드에 출전시키고 있으며, 2006년 국가종합우승을 달성한 이후로 해마다 우수한 성적을 보여주고 있다(이희연과 김덕수, 2019). 국제중등과학 올림피아드는 물리, 화학, 생명과학 분야의 주요 내용에 대해 객관식 및 주관식(이론), 실험 문항이 출제된다. 실험 문항은 물리, 화학, 생명과학에 대해 개별 또는 혼합형으로 출제되는 특징이 있으며, 국가 대표 학생들은 주어진 시간 동안 팀을 이루어 실험을 수행한 후 관련 문제를 풀게 된다. 실험 문항의 경우, 기초적인 과학 지식과 탐구 수행 능력을 종합적으로 평가하기 때문에 단순히 과학 교과 내용만을 중심으로 공부한 학생은 이러한 문항을 해결하는데 어려움이 있을 것으로 생각된다.

국제중등과학 올림피아드를 효과적으로 대비하기 위해서는 출제 경향, 유형 등의 관련 대회에 대한 풍부한 정보 제공이 필수적이다. 국제 규모의 올림피아드에 관한 선행 연구를 분석한 결과, 주로 고등학생들이 참여하는 화학 올림피아드, 지구과학 올림피아드, 천문 및 천체 물리올림피아드의 문항을 분석하는 연구들이 대부분을 차지하였고(김혜진과 김옥분, 2016; 임인성 등, 2011; 이기영과 김찬중, 2005), 국제중등과학 올림피아드를 주제로 한 연구들은 적은 편이었다. Yunita(2017)는 나이지리아에서 개최된 2010년 국제중등과학 올림피아드에 참가한 학생을 대상으로

인터뷰를 실시하여 화학 주제인 객관식과 주관식(이론), 실험 문항을 해결하는데 요구되는 인지 과정과 지식 영역을 분석하였다. 또한, 이희연과 김덕수(2019)는 국제중등과학 올림피아드의 현황과 화학 출제 경향을 분석하였다. 이 연구에서는 국제중등과학 올림피아드 실라버스(Syllabus)를 기준으로 화학 분야의 객관식 문항에 대해서만 문항 분석을 실시하였을 뿐, 이론이나 화학 실험 문항에 대한 종합적인 분석은 수행하지 않았다. 이를 종합적하면, 지금까지 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항에 대한 출제 유형이나 탐구 요소 등에 관한 종합적인 분석은 이루어지지 않았기 때문에 선행 연구의 결과만으로 화학 실험 문항에 대한 구체적인 정보를 얻는데 한계가 있을 것이다. 이에 이 연구에서는 2008년부터 2019년까지의 국제중등과학 올림피아드의 실험 문항 분석을 통해 실험 영역 및 주제, 탐구 요소에 대한 분석을 수행하고자 한다. 이를 통해 국제중등과학 올림피아드를 준비하는 학생들에게 화학 실험 문제 해결을 위한 기초적인 가이드라인을 제시할 수 있을 뿐만 아니라, 국내에서 국가 대표를 선발하는 교육 프로그램을 설계 및 운영하는데 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. 분석 자료

2008~2019년에 실시된 국제중등과학 올림피아드(IJSO)의 화학 실험 문제에 대해 실험 절차 및 문항을 분석하였다. 2012년 대회는 우리나라 대표단이 참가하지 않았고, IJSO 홈페이지에 기출 문항에 대한 정보가 없어 분석에서 제외하였다. 또한, 2014년 아르헨티나에서 개최된 실험 문제는 화학과 생명과학의 융합 문제로 출제되었는데, 실험 절차 및 실험 문항에서 화학과 관련된 것만 선별하여 분석하였다. 실험 문항은 국제중등과학 올림피아드 홈페이지에서 내려 받았으며, 실험 문항과 학생용 답안지, 채점틀을 종합적으로 분석하여 타당도를 높이고자 하였다. 또한, 1개의 실험 문항에 대해 하위 문항이 포함된 경우에는 분석 대상을 각각의 하위 문항으로 정하였다. 이에 국제중등과학 올림피아드의 11개의 실험 주제에 포함된 실험 절차와 90개의 실험 문항을 분석하였다(Table 1).

Table 1. 국제중등과학 올림피아드의 연도별 화학 실험 문항 수

연도	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	계
문항 수	7	8	4	6	7	16	4	10	9	14	5	90

2. 분석 방법

우선 11개의 화학 실험 주제와 실험 내용을 종합적으로 고려하여 적정, 혼합물의 분리, 기타의 세 가지 영역으로 분류하였다. 적정은 산염기 적정, 산화 환원 적정, EDTA 적정 등의 정량 분석이며, 혼합물의 분리는 증류와 크로마토그래피 등의 내용으로 제한하였다. 최종적으로 연도별 출제 영역을 범주화한 후, 가장 빈번하게 출제되는 영역을 탐색하였다.

국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항은 실험 절차와 문제가 함께 제시되는데, 문제지와 답안지에는 측정 자료의 수집 및 처리, 해석 과정이 포함되어 있으며, 인지적 측면에서 과학 내용 지식과 탐구 방법에 대한 지식도 포함된다. 이에 대한 분석틀 제작에 앞서 해당 내용이 포함된 선행 연구들을 분석하였다. 신광문 등 (2011)의 연구에서는 물리 실험 보고서를 자료 수집과 자료 처리, 자료 분석으로 범주화시키고, 측정의 개념을 고려하여 분석하였다. 또한, 임인성 등 (2011)은 국제천문 및 천체물리 올림피아드 문항에 대해 과학 탐구의 인지적 측면을 분석하였다. 국제중등과학 올림피아드의 경우, 학생은 실험 문항에 대한 별도의 답안지를 작성하는데, 이 답안지는 선행 연구의 실험 보고서와 유사한 성격을 가지고 있다. 또한, 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문제는 화학 지식이나 탐구 방법에 대한 지식도 포함되므로 임인성 등 (2011)이 사용한 분석틀은 인지적 측면을 분석하는데 적합할 것으로 판단하였다.

위의 두 선행 연구 분석틀을 융합 및 재구성하여 국제중등과학 올림피아드 화학 실험의 실험 절차 및 실험 문항에 대한 분석틀을 구성하였다. 우선, 이 연구에 적합하도록 신광문 등(2011)이 제시한 분석틀을 수정 및 보완하였다. 예를 들어, 국제중등과학 올림피아드 학생 답안지에는 대부분 SI 단위가 제시되어 있어 선행 연구의 분석틀에서 ‘측정 결과에 단위 사용’ 요소는 삭제하였고, 표준 편차와 관련된 불확도 전파 요소는 중학 수준에 적합하지 않아 최종 분석틀에 포함하지 않았다. 이와 더불어 임인성 (2011)의 분석틀에서 과학지식의 인지적 측면 중 과학의 본성 영역은

국제중등과학 올림피아드의 목표에 부합하지 않기 때문에 최종 분석틀에 포함시키지 않았다. 분석틀의 타당도를 높이기 위해 화학교육 전문가 1인과 수차례의 논의를 거쳐 내용 타당도를 검증하였으며, 최종 분석틀을 Table 2에 제시하였다.

Table 2의 분석틀에서 자료 수집 범주는 실험 과정에 초점을 두었고, 자료 처리 및 해석, 과학 지식 범주는 실험 문항에 초점을 두어 분석하였다. 실험 과정의 경우, 각 단계별 절차의 특징을 분석틀에 대응시킨 후 빈도를 구하였는데, 특정 실험에서 같은 실험 도구를 반복적으로 사용하거나, 절차의 특징이 동일한 경우에는 중복하지 않고 하나로 통합하여 빈도를 구하였다. 또한, 특정 주제의 여러 실험 문항에서 세부 내용이 중복되는 경우 각각을 통합하였다. 예를 들어, 2018년 대회에서 산염기 적정 실험의 경우, 여러 문항에서 환산 인자를 사용해야 하므로 해당 년도에서는 자료 변환의 빈도를 1개로 정하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 화학 실험 문항에 대한 주제 및 유형 분석

2008년 대회를 시작으로 최근 2019년까지 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항에 대한 주제와 실험 유형을 분류하여 Table 3에 제시하였다.

분석 결과, 화학 실험 문항에서는 적정 등을 포함한 정량 분석이 높은 비율을 차지하였다(63.6%). 특히, 학생들에게 친숙한 산염기 적정, 산화 환원 적정 뿐 아니라, 금속 이온의 농도를 정량하는 EDTA 적정이나 비금속 이온을 정량하는 Fajans 적정 등 흔히 접해보지 않았기 때문에 다루기 어려운 적정 기법도 출제되었다. EDTA 적정이나 Fajans 적정은 대학 교과인 분석화학에서 다루는 내용이지만, 국제중등과학 올림피아드에서는 이러한 적정의 이론적 배경이나 세부 내용에 대한 지식은 다루지 않으며, 적정의 기본 원리를 알고 있는 중학생이 쉽게 실험에 참여할 수 있도록 구체적인 방법을 안내하고 있다. 즉, 국제중등과학 올림피아드에서는 학생들이 적정에 대한 구체적인 배경 지식을 알지 않더라도 제시된 실험 절차에 따라

Table 2. 국제중등과학 올림피아드 화학 실험의 실험 절차 및 실험 문항 분석틀

대범주	소범주	세부 내용	설명
자료 수집	측정 도구 선택 및 사용	적절한 측정 도구 사용	실험에 맞는 적절한 측정도구 사용하기
		측정 범위의 적절한 선택 올바른 눈금 읽기	측정도구의 측정 범위를 적절히 선택하기 메니스커스 등의 눈금을 정확히 읽기
	측정 수행	반복 측정 수행	필요한 경우 반복 측정 수행하기
	자료 변환	단위를 적절히 변환	환산 인자를 사용하여 단위를 환산하기
자료 처리	표와 그래프	표를 바르게 나타내기	필요한 변수 넣기, 변수에 맞는 단위 넣기
		그래프를 바르게 그리기	축 간격, 변수와 단위 표시, 점찍기, 추세선
	대푯값	대푯값을 바르게 구하기 유효숫자 맞추기	적절한 대푯값(평균값 등)을 선정 및 사용 연산에 의한 올바른 유효숫자 맞추기
자료 해석	표, 그래프 해석	변수 관계를 수식으로 표현	변수 관계를 방정식의 형태로 표현하기
		내삽과 외삽의 사용	내삽과 외삽으로 기울기와 절편을 구하기
	오차 분석	정확성과 정밀성 오차의 원인 및 불확도	결과 분석에 정밀성과 정확성을 고려하기 오차 원인을 파악하고 불확도를 고려하기
	실험 결과	결과 설명 및 비교	결과 값을 비교하거나 실험 결과를 설명하기
과학 지식	내용 지식	중·고교 수준 전문지식	실험 배경에 대한 이론, 관련 지식
	방법 지식	과학 탐구 과정 및 지식	실험 과정이나 방법에 대한 내용

Table 3. 중등과학올림피아드의 화학 실험 문항에 대한 주제 및 실험 유형

연번	년도	실험 주제	유형
1	2019	물의 경도 측정	EDTA 적정
2	2018	과일 산 수용액 속의 산 함량 결정	산염기 적정(표준화 포함)
3	2017	염화 나트륨 수용액 속 염화 이온 농도	Fajans 적정
4	2016	육두구(Nutmeg) 오일의 증류	증류: Hydro-distillation
5	2015	감귤 주스 속의 시트르산 함량 결정	산염기 적정
6	2014	포도당의 알코올성 발효	수상 치환을 통한 부피 측정
7	2013	우유의 완충 용량, 칼슘 이온 농도 측정	완충 용액, EDTA 적정
8	2011	바이오 디젤 속 에너지 함량 분석	열량계를 사용한 열량 측정
9	2010	나이지리아 지역 과일의 포도당 함량 측정	산화 환원 반응(KMnO ₄ 이용)
10	2009	양배추 용액 속 비타민 C의 함량 측정	산화 환원 적정(요오드법)
11	2008	오징어 먹물 속 색소 성분 분석	크로마토그래피(TLC)

※ 2012년 국제중등과학 올림피아드는 개최되지 않음.

실험을 수행하면서 측정값이나 지시약의 색 변화 등을 통해 결과를 처리할 수 있는 절차적 지식이나 실험 역량을 증시한다. 또한, 증류나 크로마토그래피와 같이 혼합물의 분리에 대해 출제되는 비율은 18.2%를 차지하였고, 기타 유형으로 간이 열량계를 사용한 열량 측정, 수상치환을 통한 기체의 부피 측정, 화학양

론을 적용한 반응물의 정량 실험들도 출제되었다. 혼합물의 분리 실험은 정성 분석을 하거나, 성분 물질을 분리하여 질량 백분율을 계산하는 등의 화학양론을 적용한 문제들이 함께 제시되었다. 혼합물 분리 실험은 자세한 실험 절차에 따라 실험을 수행하여 성분 물질의 종류를 찾거나, 측정 결과로부터 화학양론을 적

용하여 정량 분석을 수행하는 특징이 있었다.

화학 실험 문항에 대한 소재는 개최국의 특산물이거나 최근 이슈가 되는 소재를 활용하는 편이다. 예를 들어, 2015년 대회는 우리나라에서 개최되었는데, 실험 소재로 국내 사람들이 즐겨 먹는 감귤이 제시되었고, 산염기 적정을 통해 감귤 주스 속의 구연산 함량을 정량하는 실험이 출제되었다(Figure 1). 2010년 나이지리아에서 개최된 대회에서는 나이지리아 대추야자와 큰 가지가 실험 소재로 제시되었고, 이 과일 추출액의 포도당 함량을 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄)의 산화 환원 반응을 통해 정량하는 실험이 출제되었다(Figure 2). 감귤이나 대추야자 등의 천연물들은 화학 실험 문항뿐만 아니라, 생명과학 실험 문항과도

연계되는 특징이 있었다.

화학 실험 문항의 경우, 개최 지역의 특산품이나 자원, 산업과 관련되는 소재를 중심으로 특정 물질의 농도를 정량하는 형식으로 출제되었다. 산염기 적정과 같은 정량 분석은 뷰렛이나 피펫, 부피 플라스크 등의 실험 도구를 사용하여 실험을 수행하는 역량과 측정 결과에 대해 화학양론을 고려하여 분석하는 탐구 수행 과정도 평가하였다. 이러한 점들을 고려해 볼 때, 국제중등과학 올림피아드를 준비하기 위해서는 화학양론, 산염기, 산화 환원 등의 자주 출제되는 개념에 대한 이해가 선행되어야 하며, 기존에 출제된 문제를 중심으로 실험을 반복하면서 화학 실험에 대한 역량을 키울 필요가 있다.

[2015 IJSO]

“감귤”은 씨가 없고 껍질을 쉽게 벗길 수 있는 감귤류의 일종으로 ‘달고’ ‘신’ 맛을 지닌 한국에서 가장 선호하는 과일 중의 하나이다. 여러분들은 한국에서 지내는 동안 이미 감귤의 맛을 보았을 것이다.



이번 시험에서는 감귤과 관련한 3가지의 실험을 하게 될 것이다.

- 실험 I. 과일 주스의 밀도 측정하기
- 실험 II. 과일 주스의 구연산 함량 측정하기
- 실험 III. 과일과 씨의 구조 해부

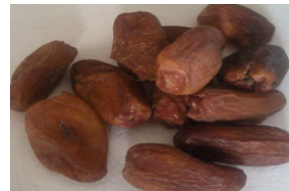
Figure 1. 2015년 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항 소재

[2010 IJSO]

대추야자(date palm, *Phoenix dactylofera*)와 큰 가지(garden egg, *Solanum aethiopicum*)는 나이지리아에서 스넥으로 흔히 먹는 과일이다. 대추야자(The date palm)는 육질이 많고 단맛이 난다. 이것은 설탕, 다량의 섬유소, 비타민, 무기 염류와 미량의 지방을 함유하고 있으며, 그대로 먹거나 건조시켜 스넥으로 먹는다. (중략)



큰 가지



대추야자

이 실험의 목적은 이 과일의 추출액에서 포도당의 농도를 결정하는 것이다. 이미 농도를 알고 있는 여러 가지 포도당 용액에서 과망가니즈산 칼륨(KMnO₄) 수용액의 자주색이 없어질 때까지의 시간을 측정한 후 표준 그래프를 그리고, 이것으로부터 이 지역 과일들의 추출액에 들어있는 포도당의 농도를 결정하는 것이다.

Figure 2. 2010년 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항 소재

2. 지식 및 탐구의 측면에서 화학 실험 문항 분석

2008년부터 2019년까지의 국제중등과학 올림피아드 화학 실험 문항을 지식 및 탐구 측면에서 분석한 결과를 Table 4에 제시하였다. 분석 결과, 탐구 측면에서 자료 수집과 자료 처리, 자료 해석의 비율이 각각 28.6%, 26.5%, 29.3%로 고르게 나타났으며, 과학

지식의 비율은 15.6%로 낮은 편이었다. 특히, 과학 지식 범주에서 탐구 과정이나 방법 등의 절차적 지식에 대한 문항 비율이 26.1%(6문항)을 차지한 것을 고려하면 전체 문항들 중에서 중·고교 수준의 지식 자체에 대한 문항의 비율은 매우 낮은 편이었다. 이는 국제중등과학 올림피아드에서는 어려운 수준의 과학

Table 4. 국제중등과학 올림피아드 화학 실험 문항에 대한 지식 및 탐구 수준에서의 분석

대범주	소범주	세부 내용	주제 유형			계
			적정	혼합물 분리	기타	
자료 수집	측정 도구 선택 및 사용	적절한 측정 도구 사용	9 (8.7%)	3 (18.8%)	2 (7.4%)	14 (9.5%)
		측정 범위의 적절한 선택	9 (8.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	9 (6.1%)
		올바른 눈금 읽기	9 (8.7%)	1 (6.3%)	2 (7.4%)	12 (8.2%)
	측정 수행	반복 측정 수행	7 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (4.8%)
	자료 변환	단위를 적절히 변환	7 (6.7%)	0 (0.0%)	1 (3.7%)	8 (5.4%)
자료 처리	표와 그래프	표를 바르게 나타내기	10 (9.6%)	0 (0.0%)	2 (7.4%)	12 (8.2%)
		그래프를 바르게 그리기	1 (1.0%)	0 (0.0%)	1 (3.7%)	2 (1.4%)
	대표값	대표값을 바르게 구하기	9 (8.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	9 (6.1%)
유효숫자 맞추기		6 (5.8%)	0 (0.0%)	2 (7.4%)	8 (5.4%)	
자료 해석	표, 그래프 해석	변수 관계를 수식으로 표현	1 (1.0%)	0 (0.0%)	2 (7.4%)	3 (2.0%)
		내삽과 외삽의 사용	1 (1.0%)	0 (0.0%)	1 (3.7%)	2 (1.4%)
	오차 분석	정확성과 정밀성	7 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	7 (4.8%)
오차의 원인 및 불확도		1 (1.0%)	0 (0.0%)	1 (3.7%)	2 (1.4%)	
	실험 결과	결과 설명 및 비교	17 (16.3%)	3 (18.8%)	9 (33.3%)	29 (19.7%)
과학 지식	내용 지식	중·고교 수준 전문지식	9 (8.7%)	4 (25.0%)	4 (14.8%)	17 (11.6%)
		방법 지식	과학 탐구 과정 및 지식	1 (1.0%)	5 (31.3%)	0 (0.0%)
계			104 (100.0%)	16 (100.0%)	27 (100.0%)	147 (100.0%)

지식에 대한 이해보다는 측정 도구를 사용하여 자료를 수집하고, 수집된 자료를 처리하여 결과를 해석하는 등의 실험 과정을 중시하는 것으로 해석할 수 있다.

자료 수집의 소범주 중에서 측정 도구 선택 및 사용, 측정 수행에 해당하는 내용은 모두 실험 절차에 포함되어 있었다. 예를 들면, 올바른 눈금 읽기는 적정 실험에서 뷰렛의 눈금 변화와 같이 메니스커스를 정확하게 읽는 것과 관련되며, 지시약의 색깔 변화를 옳게 판단하는 것은 측정 범위의 적절한 선택과 관련된다. 이러한 세부 내용의 경우, 학생들이 뷰렛이나 피펫 등의 기초적인 실험 도구의 사용법을 숙지하고, 안내된 절차에 따라 실험을 수행하여 얻어진 측정치의 정확성에 기초하여 평가한다. 즉, 채점위원들이 학생들이 실험을 수행하는 과정에서 이러한 요소들을 직접적으로 평가하는 것이 아니라, 실험을 통해 얻은 측정값의 정확성을 기준으로 간접적인 평가를 수행한다. 반복 측정은 실험 절차에 이를 명시하거나, 2~3회 반복 측정하도록 학생용 답안지에 해당 내용이 포함되었다. 자료 수집 과정에서 높은 점수를 받기 위해서는 학생들이 실험 절차에 따라 뷰렛이나 피펫 등의 기초적인 실험 도구를 바르게 사용하여 정확한 측정값을 얻는 과정이 중요하다.

자료 처리 범주에서 가장 높은 비율을 차지하는 세부 내용은 표를 바르게 나타내기(8.2%)이며, 이는 주로 답안지에 반복 측정 결과를 표로 정리하는 형태로 제시되었다. 측정값의 대푯값으로는 평균을 사용하는 경향이 있었고(6.1%), 이 평균값을 사용하여 분석하고자 하는 물질의 함량을 계산하는 문항이 함께 제시

되는 편이었다. 예를 들면, 2015년 대회에서는 감귤 주스와 사과 주스에 포함된 구연산 함량을 구하기 위해 적정에 사용된 수산화 나트륨(NaOH) 수용액의 소모된 부피를 각각 4회 반복 측정하여 평균 부피를 구하고, 화학양론을 통해 적정에 소모된 수산화 나트륨의 몰 수를 계산하는 문항이 출제되었다(Figure 3). 이때 화학양론을 적용하여 분석물의 농도를 구하는 과정에서는 단위를 적절하게 변환하는 내용(5.4%)과 유효 숫자 맞추기(5.4%)가 포함되는데, 유효 숫자를 고려하지 않는 경우에는 감점이 있도록 채점점이 구성되었다. 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험에서 자료 처리는 반복 측정 결과를 표로 나타내어 대푯값을 계산하고, 분석물의 함량을 계산할 때 단위 환산을 바르게 수행하고, 유효 숫자를 고려하는 것을 중시하는 것으로 여겨진다.

자료 해석 범주에서는 실험 결과를 설명하거나 비교하는 문항이 높은 비율(19.7%)을 차지하였다. 이러한 문항은 측정값으로부터 화학양론을 단계별로 적용하여 분석물의 함량을 찾거나, 측정값 비교를 통해 분석물의 종류나 결과의 경향성을 설명하는 특징이 있었다. 예를 들어, 2018년 대회에서는 적정에 사용한 수산화 나트륨(NaOH) 수용액의 부피로부터 과일 용액의 산 함량을 계산할 때, Figure 4와 같이 단계별로 화학양론을 적용하도록 답안지가 구성되었으며, 학생들은 풀이 과정과 결과값을 함께 작성해야 한다.

오차 분석의 경우, 적정 실험에서 측정의 정밀성과 정확성을 평가하고 있으며(4.8%), 오차의 원인이나 불확도에 대한 문항은 적은 편이었다(1.4%). 특히, 정

실험 II. 과일 주스의 구연산(Citric Acid) 함량 측정									
두 과일 주스의 평균 적정값을 구하는 과정을 쓰시오.									
II-1 (7.0)	주스								
	감귤 주스				사과 주스				
	실험 횟수	1	2	3	4	5	6	7	8
	처음 부피(mL)								
	나중 부피(mL)								
적정에 소모된 NaOH 부피(mL)	평균 부피			평균 부피					
II-1 (2.0)	(풀이 과정을 쓰시오)								
NaOH 몰 수	감귤 주스			사과 주스					

Figure 3. 2015년 국제중등과학 올림피아드 화학 실험 문항의 답안지(일부 발췌)

II-4 (0.5)	중화 적정에 사용한 수산화 나트륨(NaOH)의 몰 수를 구하는 과정과 그 값을 각각 쓰시오.
II-5 (1.0)	수산화 나트륨(NaOH) 수용액을 사용하여 중화 적정한 과일산 수용액에 들어있는 과일산(HA)의 질량을 과정과 그 값을 각각 쓰시오.
II-6 (0.5)	과일산 수용액의 밀도를 1.005 g/mL라고 할 때 4 mL 과일산(HA) 수용액의 질량(g)을 구하는 과정과 그 값을 각각 쓰시오.
II-7 (0.5)	과일산 수용액에 들어 있는 과일산(HA)의 질량 백분율(%)을 구하는 과정과 그 값을 각각 쓰시오.

Figure 4. 2018년 국제중등과학 올림피아드 화학 실험 문항의 답안지(일부 발췌)

밀성과 정확성은 채점틀에 해당 요소를 반영하고 있는데, 이는 측정값에서 벗어나는 범위를 기준으로 부분 점수를 부여하고 있었다. 예를 들어, 2018년 대회에서는 중화 적정에 사용한 수산화 나트륨의 부피 값들이 ±0.1 범위에 들어오면 0.5점을 부여하고, 이 값을 정확한 측정 부피와 비교하여 부분 점수를 부여하였다(Figure 5). 측정의 본성에 포함되는 정밀성과 정확성은 중학생들에게는 익숙하지 않을 것이므로, 사전 교육을 통해 해당 내용을 가르칠 필요가 있고, 실험자에 의한 오차가 최소화되도록 실험을 유의하여 수행하도록 안내해야 한다.

또한, 자료 해석에서 작성한 그래프를 바탕으로 변수 관계를 수식으로 표현하거나(2.0%), 기울기와 절편을 구하는 문항도 출제되었다(1.4%). 예를 들면, 2014년 대회에서는 발효 실험을 통해 발생한 기체의

부피를 시간에 따라 기록하고, 시간에 따른 기체 발생량의 자연 대수값에 대한 그래프를 구성하는 활동이 포함되어 있었다(Figure 6). 이때 학생들은 그래프 상의 점들로부터 추세선을 나타내고, 두 측정값을 이용하여 기울기와 y-절편을 구해야 하며, 최종적으로 기울기와 y-절편을 이용하여 1차 함수식을 도출해야 한다. 일반적으로 추세선을 나타낼 때 최소 제곱법(Least square method)과 같은 통계적 방법을 사용해야 하지만, 채점틀에서는 단순히 그래프 상의 두 점을 이용하여 기울기와 절편을 얻는 방법이 제시되어 있었다. 즉, 국제중등과학 올림피아드에서는 어려운 통계적인 방법으로 기울기와 절편, 1차 함수식을 구하는 것을 요구하지 않는다고 해석할 수 있다. 다만, 측정값을 사용하여 그래프를 그리고, 두 변수 사이의 관계를 찾는 것은 과학 탐구에서 중요한 요소이므로 국

II-2 (3.5)	과일산의 중화 적정에 사용한 수산화 나트륨(NaOH) 표준 용액의 부피(mL)를 각각 적으시오.				
		적정1	적정2	적정3	적정4
	적정 이전 처음 용액의 부피	_____	_____	_____	_____
	적정 이후 나중 용액의 부피	_____	_____	_____	_____
	중화 적정에 사용한 부피	_____	_____	_____	_____
	중화 적정에 사용한 평균 부피	_____ mL			_____
[채점틀]					
• 적정에 사용한 평균 부피 : 25.65mL [0.5]					
• 정밀도(Precision)					
측정값 범위	±0.1	±0.2	±0.2 초과		
점수	0.5	0.25	0		
• 정확도(Accuracy)					
측정값 범위	±0.3	±0.5	±1.0		
점수	1.0	0.5	0.25		

Figure 5. 2018년 국제중등과학 올림피아드 화학 실험 문항과 채점틀

문항 G.3.2.2. ‘기체 생성 속도의 감소’(그래프 B의 단계 b)에 해당되는 1분당 기체 발생량을 측정할 값(F)의 자연 대수(ln) 값을 계산한 후 답지에 있는 표를 완성하시오.

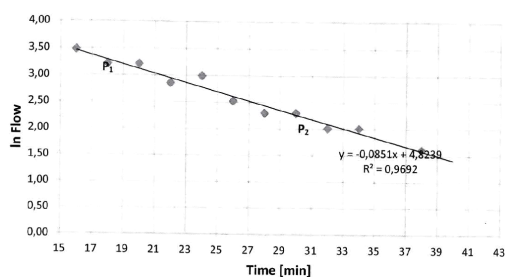
시간 (분)	F (mL/분)	ln(F)

문항 G.3.2.2. 표의 데이터를 답지의 모눈종이(그래프 C)에 그리시오. (자연로그 ln(F)와 시간(분))

문항 G.3.2.4. 그래프 C에 가장 적합한 직선을 그리시오.

문항 G.3.2.5. 그래프 C에서 얻은 직선의 기울기(A)와 y-절편을 계산하시오.

선형 함수(Linear equation)	기울기(A)	y-절편(B)



구분	점수
단위	0.1
축 이름	0.1
축 척도	0.1
눈금 간격의 적절한 사용	0.1
값(점)	0.7
추세선	1.0
총점	2.0

[풀이 과정]

$$P_1 = (x_1, y_1) = (19, 3.25) \quad P_2 = (x_2, y_2) = (31, 2.2)$$

$$A = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{2.2 - 3.25}{31 - 19} = -0.08 \quad \therefore \text{Slope}(A) : -0.08$$

$$y = Ax + B$$

$$B = 1.5 - (-0.08) \times 39 \quad B = 4.62 \quad \therefore \text{Intercept}(B) : 4.6$$

$$\text{Linear equation: } y = -0.08x + 4.6$$

Figure 6. 2014년 국제중등과학 올림피아드 실험 문항과 채점점

제중등과학 올림피아드를 준비하는 학생들은 이에 대한 절차적 지식을 알고 있어야 할 것이다.

과학 지식 범주에서는 중·고등학교 수준의 화학 지식에 대한 문항이 11.6%로 높은 비율을 차지하였다. 이러한 문항들은 실험 내용과 연계되며, 결과 분석 및 해석에 필요한 정보를 찾는 형태의 문항이었다. 예를 들어, 적정 반응에서 균형 화학 반응식을 작성하게 하거나, pH 측정값을 주어진 후 미지 산의 이온화 상수(K_a)를 계산하는 문항도 있었다. 화학 실험에서 화학 지식에 대한 문항의 난이도는 국제중등과학 올림피아드의 이론 문항보다는 낮고, 객관식 문항과 유사한 수준이었다. 한편, 탐구 과정이나 방법에 대한 지식을 묻는 문항은 4.0%의 비율을 차지하였다. 이러한 문항은 실험 절차에 숨겨진 과학적 의미나 실험 조건의 변화 등에 관련된다. 예를 들어, 2016년 화학 실험

주제인 육두구(Nutmeg) 오일의 증류에서는 알갱이 대신 가루를 사용하는 이유나 실험에서 끓임쪽을 사용하는 이유, 증류 장치의 냉각수의 방향을 달리하였을 때 예상되는 결과에 대한 객관식 문항이 출제되었다(Figure 7). 이러한 문항의 경우, 학생들이 기계적으로 제시된 실험 절차를 따르는 방법으로 학습을 하였다면 문제 해결에 상당한 어려움이 있을 것으로 추측된다. 이를 해결하기 위해, 학생들이 화학 실험을 수행하면서 실험 배경에 대한 일반적인 지식과 실험 절차의 각 단계들이 가진 과학적 의미에 대해 깊게 생각해 볼 필요가 있을 것이다.

화학 실험 문항에 대해 주제 유형에 따라 분류한 결과, 적정의 경우에는 자료 수집 및 자료 처리, 자료 해석의 합계 비율이 90.4%로 매우 높은 편이었으나, 혼합물 분리의 경우에는 과학 지식에 대한 문항이

(화학) 욱두구 오일의 종류

Ch-5 (0.5 point) 실험에서 사용하는 비등석(끓임쪽)의 기능은 무엇인가?
 Ⓐ 물을 빨리 끓게 하기 위해서
 Ⓑ 욱두구 오일과 물을 빨리 분리시키기 위하여
 Ⓒ 원통형 플라스크 내용물 내부의 열의 분산을 돕기 위하여

Ch-6 (0.5 point) 실험에서 욱두구 열매 알갱이 대신 열매 가루를 사용하는 주된 목적은?
 Ⓐ 욱두구 씨앗을 물에 잘 녹이기 위하여
 Ⓑ 욱두구 씨앗과 물의 접촉 표면적을 증가시키기 위하여
 Ⓒ 플라스크 내 물의 기화 속도를 증가시키기 위하여

-----**(중략)**-----

Ch-8 (0.75 point) 실험에서 만약 냉각수를 응축관 위에서부터 아래로 흐르게 하면, 수증기와 욱두구 오일의 응축에 어떤 영향을 미치겠는가?
 Ⓐ 더욱 효과적이다.
 Ⓑ 덜 효과적이다.
 Ⓒ 영향이 없다.

Figure 7. 2016년 국제중등과학 올림피아드 실험 문항 일부 발췌

56.3%로 높은 비율을 차지하고 있었다. 즉, 적정과 같이 분석물의 함량을 찾는 정량 분석은 실험의 성격에 맞게 자료 수집에서부터 해석까지의 과정을 중시하고 있으며, 종류와 얇은 막 크로마토그래피(TLC)와 같은 혼합물 분리 실험에서는 과학 지식에 치중된 측면이 있었다. 기타 영역에서는 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석, 과학 지식의 네 가지 범주가 고르게 분포되는 면이 있었다. 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항에서는 적정과 같은 정량 분석을 주로 다루고 있기 때문에 높은 점수를 받기 위해서는 자료 수집에서부터 자료 해석까지의 탐구 과정에 대한 철저한 준비가 중요하다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 최근 11년 동안 출제되었던 국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항을 분석하여 출제 경향을 파악하고, 실험 내용과 탐구 영역을 분석하였다. 연구 결과를 요약 및 정리하면서 국제중등과학 올림피아드를 준비하거나, 국가 대표 선발을 위한 교육을 운영할 때 고려해야 할 사항을 제언하고자 한다.

국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 주제는 개최국의 특산품이나 자원, 산업과 관련된 소재를 중심으로 특정 물질의 농도를 정량하는 정량 분석이 높은

비율을 차지하였다. 특히, 감귤, 대추 야자 등의 천연물은 생명과학 실험 주제와도 연관되기 때문에 국제중등과학 올림피아드에서는 자연에 대한 융합적 이해를 중시하는 것으로 해석할 수 있다. 정량 분석은 주로 산염기 적정, 산화 환원 적정, EDTA 적정 등이 있으며, 대학 수준에 해당하는 적정의 화학적 원리보다는 탐구 수행 능력이나 학생들의 결과 처리 능력을 평가하고 있었다. 또한, 혼합물의 분리와 기타 영역의 주제들도 실험 절차에 따라 정성 분석을 수행하거나 정량 분석을 하는 내용으로 출제되었다. 이를 요약하면, 화학 실험 문항에서는 실험 절차에 따라 적절한 실험을 하고, 도구를 바르게 사용하는 과정에서 탐구 수행 능력을 평가하고, 측정 결과로부터 분석하고자 하는 물질의 함량을 구하는 등의 결과 처리 능력에 대해 평가의 초점을 두었다. 이에 국제중등과학 올림피아드를 준비하는 학생들은 산염기 적정이나 산화 환원 적정과 같이 널리 알려진 정량 분석 실험을 반복적으로 연습하면서 탐구 수행 능력을 키워야 하며, 측정 한 값으로 분석물의 함량을 구하는 결과 처리 능력도 숙달해야 할 것이다. 특히, 분석물의 함량을 구하는 과정에서는 화학양론이나 기초적인 과학 지식도 포함되기 때문에 중·고등학교 수준의 화학 지식에 대해서도 깊이 있는 이해가 필요하다.

국제중등과학 올림피아드의 화학 실험 문항에 대해

지식과 탐구 측면에서 분석한 결과, 자료 수집, 자료 처리, 자료 해석이 고르게 높은 비율을 차지하였고, 실험 내용이나 탐구 방법을 다루는 과학 지식의 비율도 적지 않았다. 자료 수집에서 측정 도구의 선택 및 사용 능력은 제시된 실험 과정에 따라 얻은 측정값의 정확성을 바탕으로 평가하고 있었다. 또한, 반복 측정을 하도록 답안지가 구성되어 측정의 정밀성이 중시되고 있었다. 즉, 국제중등과학 올림피아드에서는 측정의 정확성과 정밀성을 중시하기 때문에 학생들은 각각의 개념을 이해하고 오차를 최소화하도록 실험을 수행해야 할 것이다. 자료 처리의 경우, 실험 결과를 표로 정리하는 형식으로 제시되는 문항이 많았으며, 측정값의 평균을 사용하여 단위 환산이나 유효 숫자 맞추기에 대해 종합적으로 평가하고 있었다. 자료 해석은 실험 결과를 설명하거나 비교하는 형식의 문항이 높은 비율을 차지하였는데, 이는 주로 화학양론을 사용하여 분석하고자 하는 물질의 함량을 단계적으로 계산하는 형태의 문항이 제시되었다. 자료 분석 및 해석에서 그래프를 그리는 문항도 출제되었는데, 그래프의 축이나 추세선, 눈금 등의 영역을 종합적으로 평가하였고, 기울기와 변수들의 관계를 수식으로 찾는 등의 기본적인 수학 능력도 함께 요구되고 있었다. 과학 지식에 대한 문항은 주로 실험에 관련된 중·고등학교 수준의 화학 내용에 대한 것이며, 탐구 과정이나 방법에 대한 내용도 일부 포함하고 있었다. 한편, 적정 실험의 경우에는 자료 수집 및 자료 측정, 자료 해석에 대한 문항이 주로 출제되었고, 혼합물의 분리 실험은 과학 지식 문항의 비율이 높았다.

국내에서 운영되는 한국중등과학 올림피아드(Korea Junior Science Olympiad; KJSO)는 국제중등과학 올림피아드를 참가할 국가 대표 학생의 선발 및 교육을 위해 운영된다. 특히, 선발 과정에서 온라인 이론 교육과 실험 교육이 병행되는데, 국제중등과학 올림피아드의 출제 경향에 맞게 실험 교육 프로그램을 운영한다면 국제 대회에서 우수한 성적을 얻는데 도움

이 될 것이다. 또한, 이 연구 결과를 바탕으로 국가 대표 학생들에게 화학 실험 문항의 출제 경향이나 특징, 높은 점수를 받기 위한 지침 등을 함께 제시한다면 학생들이 국제 대회에서 높은 점수를 얻는데 도움이 될 것이다. 이 연구는 국제중등과학 올림피아드 실험 문항만을 분석하였기 때문에 해당 문제를 푸는 과정에 학생들이 느끼는 난이도 등의 인식은 분석하지 못한 한계가 있다. 앞으로 국제중등과학 올림피아드에 참가한 학생들의 참가 후기를 분석하거나 인터뷰 등의 방법을 활용한 정성 분석을 수행하여 학생들의 인식을 심층적으로 조사할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- 김혜진, 김옥분 (2016). 화학올림피아드 참여 경험의 현상학적 이해. *영재와 영재교육*, 15, 141-167.
- 신광문, 강영창, 이성목, 이재봉 (2011). 대학생들의 물리실험에서 측정 활동 분석틀 개발 및 적용. *한국과학교육학회지*, 31(1), 115-127.
- 이기영, 김찬중 (2005). 한국 지구과학 올림피아드 문항 분석을 통한 문항의 질 향상 방안. *한국지구과학회지*, 26(6), 511-523.
- 이희연, 김덕수 (2019). 국제중등과학올림피아드 (IJSO) 의 현황과 화학영역 출제경향. *교육과학연구*, 21(1), 201-211.
- 임인성, 성현일, 한인우, 김유제, 최승언 (2011). 국제천문 및 천체물리 올림피아드 현황과 기출문항에 대한 과학탐구 유형 분석. *천문학회지*, 26(3), 89-101.
- 정세환, 이길승, 심재영 (2007). 국제과학올림피아드 참가자의 진로에 대한 연구. *영재교육연구*, 17(1), 145-171.
- Yunita, Y. (2017). Analisis soal International Junior Olympiad (IJSO) sains (KIMIA) berdasarkan dimensi proses kognitif dan pengetahuan. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 2(1), 1-13.

2020년 1월 20일 접수
 2020년 2월 22일 수정완료 접수
 2020년 2월 23일 채택

* 신석진, 서울대학교(Shin, SeokJin; Seoul National University).

* 박지호, 한국방송통신대학교(Park, Jiho; Korea National Open University).