

국제중등과학올림피아드의 개정 교수요목에 따른 화학 문항의 출제 경향 분석

신석진*

〈 요약 〉

이 연구에서는 국제중등과학올림피아드 개정 교수요목에 따라 화학 문항의 출제 경향을 분석하였다. IJSO 개정 교수요목에 근거하여 선다형, 이론, 실험 문항을 내용 요소별로 분류하였고, 새로운 유형의 문항의 사례를 설명하였다. 연구 결과, 선다형 문항은 교수요목의 다양한 내용 요소가 고르게 출제되나, 이론 문항은 상호작용 주제의 출제 비율이 높았다. 실험 문항의 출제 비율은 일반 과학 기술, 상호작용, 수학적 기술, 실질적 기술의 순서로 나타났다. 교수요목 개정에 따라 칩전 반응, 용해도 평형, 핵화학, 분광광도법 등의 새로운 내용이 출제되었으며, 여러 내용을 통합하는 이론 문항도 새롭게 출제되었다. 과학 영재 교육의 맥락에서 이 연구에 대한 교육적 함의를 논의하였다.

주요어: 중등과학올림피아드, 화학 문제, 과학 영재 교육

* 늘푸른고등학교 교사, ssjohe@hanmail.net

I. 서론

국제 중등 과학 올림피아드(International Junior Science Olympiad, 이하 IJSO)는 전 세계의 중학생을 대상으로 하는 국제 대회로 해마다 새로운 나라에서 개최되고 있다. 2004년 인도네시아에서 개최된 제1회 IJSO를 시작으로 2023년 태국에서 개최된 제20회 IJSO에 이르기까지, 우리나라는 총 17회에 걸쳐 한국대표단을 출전시켰으며 2022년에는 국가 종합 3위, 2023년에는 종합 1위를 수상하는 우수한 실적을 보여주었다. IJSO는 물리, 화학, 생명과학 교과외의 선다형 문항, 이론 문항, 실험 문항으로 구성되며, 선다형과 이론은 개별 평가로 실험 문항은 모둠 평가로 각각 진행된다. IJSO의 국가별 참가 학생 수는 6명으로 제한되며, 한 모둠당 2~3명으로 총 2개의 모둠을 편성하여 실험 문항을 해결한다. 또, 해마다 참여국이 늘어나는 추세이며 2023년 IJSO에는 총 54개국이 참가하였다.

국가별 과학 교육과정의 차이로 인해 중학생의 과학 학습 내용도 조금씩 다를 수 있으므로 IJSO에서는 교수요목(syllabus)에 교육 목표를 제시하고 올림피아드에 참가하는 중학생이 알아야 할 과학 지식과 실질적 기술 등을 명시하였다. IJSO 교수요목은 일반 과학 기술, 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식, 실험실 기술의 세 가지 영역으로 나누어져 있으며, 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식에는 물리, 화학, 생명과학 교과외의 다양한 개념이나 법칙, 현상 등이 내용 요소로 제시되어 있다(IJSO Syllabus, 2022). 이러한 교수요목은 만 15세 미만의 중학생 수준이 고려된 과학 올림피아드의 성격이나 특징을 반영한다. 또, 개최국에서는 IJSO 교수요목에 근거하여 문항을 출제하며, 국가별 협의를 통한 문항 선정에서도 IJSO 교수요목이 중요한 지표로 작용한다.

한편, 교육과정 개정을 통해 과학교육의 변화를 추구하는 것처럼, IJSO에서는 2020년 12월에 교수요목을 개정하였고 2022년 1월에 IJSO 개정 교수요목을 시행하였다. 교수요목 개정에서 나타난 주요 변화는 과학의 중요 개념에 대해 자세한 내용 요소를 제시하여 모호함을 줄였고, 특정 내용 요소를 다른 주제로 이동시켰으며 실험 기술에 포함된 실험 내용이나 실험 방법을 구체적으로 명시하였다. 예를 들어 과거 교수요목에는 구조, 성질, 기능 영역에 세포, 동물의 구성, 산과 염기와 같은 생명과학과 화학의 핵심 개념 위주로만 제시되었으나 IJSO 개정 교수요목의 구조, 성질, 기능 주제에는 생명과학 교과의 내용 요소만 담고 있고 산과 염기의 내용 요소는 상호작용 주제로 이동하였다. 또, 실험 기술은 관찰, 측정 등의 기초 탐구 능력에서 벗어나 전압, pH, 초점 거리 등의 구체적인 측정 역량이나 적정과 혼합물 분리 등의 구체적인 실험 방법을 제시하였다. 즉, IJSO에서도 교수요목 개정을 통해 중학생을 위한 과학올림피아드 교육의 목표, 내용, 지향점에 있어 꾸준한 변화를 추구하고 있다.

IJSO 교수요목 개정에 따라 2021년까지의 과거 IJSO와는 달리, 2022년 IJSO부터는 개정 교수요목에 근거하여 문항을 출제하였으므로 개정 전후의 IJSO 문항에서는 상당한 차이가 있을 가능성이 높다. 하지만, IJSO에 대한 대부분의 선행 연구는 교수요목 개정 전에 수행되었고, 지난 교수요목에 근거하여 출제 문항, 교육과정, 학생의 문제 해결 과정을 분석하였다. 예를 들어 이희연과 김덕수(2019)는 2008년부터 2017년까지 IJSO 화학 선다형 문항의 출제 경향성을 분석하였고, 신석진과 박지호(2020b)는 2015년부터 2019년까지 IJSO 화학 선다형, 이론, 실험 문항을 분석하였다. 또 IJSO에서 생명과학 교과의 교수요목과 국내 2015 과학과 교육과정을 비교하는 연구(배영혜, 홍준의, 2020)와

IJSO 물리 이론 문항에 대한 학생들의 문제 해결 과정을 분석하는 연구(권경필, 이세연, 2020)도 수행되었다. 따라서 IJSO 개정 교수요목에 맞추어 수행된 연구는 거의 없는 실정이며, 이에 따라 IJSO의 최신 출제 경향이나 새로운 특징을 파악하기 어려운 문제가 있다.

이에 이 연구에서는 교수요목 개정에 따른 변화와 출제 경향을 파악하기 위해 개정 교수요목을 반영한 2022년 및 2023년 IJSO 화학 문항을 분석하고자 한다. 또, IJSO 교수요목의 변화가 선다형, 이론, 실험 문항에 어떻게 반영되었는지 조사하고, 새로운 유형의 출제 사례를 제시하였다.

II. 연구 방법

1. 분석 자료

IJSO는 선다형, 이론, 실험 문항으로 구성되며, 전체 문항은 각각 물리, 화학, 생명과학 영역으로 비교적 균등하게 나뉜다. 특히 선다형 문항은 하위 문항 없이 총 30문항으로 제시되나, 이론 및 실험 문항은 여러 개의 하위 문항으로 구성된다. 이 연구에서는 콜롬비아에서 개최한 2022년 IJSO와 태국에서 개최한 2023년 IJSO에서 화학 교과의 문항만을 선별하였으며, 이때 이론 및 실험 문항은 하위 문항을 중심으로 분석하였다. 또한 실험 문항의 경우 하나의 문항에 다수의 평가 요소가 포함될 수 있으므로, IJSO 실험 문항을 분석한 선행 연구(신석진, 박지호, 2020a)의 방법에 따라 문항에 포함된 평가 요소를 분석하였다. 최종적으로 선다형 20 문항, 이론 18 문항, 실험 48 문항으로 총 86문항을 분석하였다(Table 1).

Table 1. 분석에 사용한 2022년 및 2023년 IJSO의 선다형, 이론, 실험 문항

개최 시기	개최국	선다형	이론	실험	계
2022년	콜롬비아	10	11	22	43
2023년	태국	10	7	26	43
	계	20	18	48	86

2. 분석 방법

IJSO 문항 분석을 위해 IJSO 개정 교수요목의 구성과 교과별 내용 요소, 기존 IJSO 교수요목과의 차이점을 조사하였다. IJSO 교수요목은 일반 과학 기술, 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식, 실험실 기술의 세 가지 영역으로 구분된다. 일반 과학 기술에는 교과 특징과 무관하게 SI 단위, 데이터의 표현, 유효 숫자, 정밀성과 정확성에 관한 내용 요소를 담고 있다. 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식에는 물리, 화학, 생명과학 교과의 다양한 내용 요소를 포함하고 있으며, 수학 교과의 내용은 로그, 선형 관계, 벡터의 표현, 평균 계산 등의 과학 문제 해결을 위한 기초 수준의 성격을 지닌다. 마지막으로 실험실 기술에는 안전과 측정에 대한 일반적인 내용 요소뿐만 아니라, 적정 및 분광광도법, 식물 해부 등과 같이 특정 교과의 특성을 반영하는 내용 요소를 포함하고 있다.

IJSO 개정 교수요목에서는 기존과 달리 내용 요소를 더욱 세분화하여 구체적으로 제시하였고, 실험실 기술 영역에는 구체적인 실험 명칭까지 포함하였다. 또, 화학 교과에서 핵화학이나 분광광도법과 같이 새로운 내용들도 추가되었다. 이에 IJSO 개정 교수요목 중에서 화학에 해당하는 내용만을 Table 2에 정리하였다. 특히 *표시는 IJSO 개정 교수요목에서 새롭게 추가된 내용을 나타낸 것이며, 괄호 안의 설명은 구체적 사례나 제한 사항을 의미한다.

이 연구에서는 IJSO 교수요목에 준거하여 문항을 분석한 선행 연구(배영혜, 홍준의, 2020; 신석진, 박지호, 2020b)의 방법으로 문항을 분석하였다. 문항 분석들은 IJSO 개정 교수요목의 주제와 내용 요소를 중심으로 구성하였다. 이때 선다형 문항과 이론 문항은 IJSO 교수요목 중에서 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식만을 분석들의 범주에 포함하였다. 하지만, 실험 문항 분석에는 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식뿐만 아니라, 일반 과학 기술, 수학적 기술, 실험실 기술이 모두 활용되므로 각각의 영역에 대한 모든 내용 요소를 초기 분석들에 포함시켰다. 다만, 2022년 및 2023년 IJSO 실험 문항은 자연 과학과 수학에 대한 내용 지식에서 상호작용 주제와 수학적 기술의 주제로만 분류가 되어 물질의 구조 등의 나머지 주제는 최종 분석들에서 제외하였다. 그 후, 화학의 선다형 문항, 이론 문항, 실험 문항을 대상으로 내용 요소를 찾아 분석들의 주제별로 분류한 후 기술 통계 수준에서 분석하였다. 또한 최근 2년 간의 IJSO에서 새로운 유형으로 출제된 문항의 사례를 제시하여 설명하였다.

Table 2. 개정 IJSO 교수요목에서 화학 교과의 문항 분석틀

영역	주제	내용 요소	세부 내용
일반 과학 기술	과학적 방법		<ul style="list-style-type: none"> • 사용, 분석, 설명 등의 과학적 방법: 가설, 예측, 실험 방법 설명, 결론 도출, 과학적 용어 사용
	실험값의 표상		<ul style="list-style-type: none"> • 실험값에 대해 표나 그래프로 나타내기 • 측정값 해석과 타당성 확인하기
	정밀성과 정확성		<ul style="list-style-type: none"> • 측정의 정밀성과 정확성
	유효 숫자와 반올림		<ul style="list-style-type: none"> • 유효 숫자의 사용(측정값 읽기, 계산 등) • 과학적 표기와 반올림
자연 과학과 수학에 대한 내용 지식	입자, 파동, 물질	물질의 성질	<ul style="list-style-type: none"> • 질량 보존 법칙 • 물질의 상태 및 상태별 성질 • 기체, 액체, 고체, 플라즈마 • 온도와 압력에 따른 물질의 상태, 상전이 • 부피, 모양, 각 상태에서 입자 운동 • 물의 상평형 그림 • 물질의 화학적 구성(원소, 화합물, 혼합물)
		원소와 주기율표	<ul style="list-style-type: none"> • 물질에 대한 원자론 • 양성자, 중성자, 전자, 원자, 원자 번호, 질량수 • 동위원소, 원자량, 분자량, 화학식량, 아보가드로수 • 전자껍질 관점에서 원자의 구조 • 20번까지 원소와 이온의 전자 배치 • 주기율표의 개념과 현대적 설명 • 이온화 에너지, 끓는점, 전기 음성도, 전자 친화도 • 전형 원소에서 금속성 • 금속, 준금속, 비금속 • 산화물의 산염기 성질 • 화학식과 실험식
		기체 상태	<ul style="list-style-type: none"> • 보일 법칙, 샤를 법칙, 결합된 기체 법칙 • 아보가드로 법칙, 이상기체 법칙 • 혼합물에서 부분 압력과 몰 분율 • 확산과 분출
		분자 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 물질을 이루는 분자의 구조

영역	주제	내용 요소	세부 내용
자연 과학과 수학에 대한 내용 지식	에너지	화학 변화와 에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 발열 반응과 흡열 반응 • 반응 엔탈피(연소, 생성 등), 헤스 법칙, 엔탈피 도표 분석
		전기화학	<ul style="list-style-type: none"> • 화학 전지의 구조(전극, 전해질, 염다리) • 산화 전극과 환원 전극에서의 반응, 표준 환원 전위 • 반쪽 전지 반응으로부터 전체 반응식 작성 • 전기분해의 적용: 분해 생성물과 전극에서의 반응
	상호 작용	화학에서의 계산	<ul style="list-style-type: none"> • 몰 개념, 질량과 몰 사이의 환산, 질량 백분율 • 수득률 • 몰 농도 • 용액의 묽힘
		화학 반응	<ul style="list-style-type: none"> • 화학 반응의 균형 맞추기 • 용해도 표를 사용하여 이온 화합물의 용해도 예측 • 침전 반응* • 산염기 반응 • 산화수, 산화 환원 반응 • 반쪽 반응식을 이용한 산화 환원 반응의 균형 맞추기 • 전체 이온 반응식
		화학 결합	<ul style="list-style-type: none"> • 이온 및 공유, 금속 결합, 극성 공유 결합 • 이온 및 공유 결합 화합물의 성질, 공유 결합 • 분자간 힘, 극성 및 무극성 분자의 반데르 발스 힘 • 수소 결합 • 분자간 힘에 따른 물리적 성질
		반응 속도	<ul style="list-style-type: none"> • 반응 속도의 정의(순간 속도와 평균 속도, 속도의 표현) • 반응 속도에 영향을 주는 요인 • 실험 데이터로부터 속도 상수의 결정(1차 반응)
		평형	<ul style="list-style-type: none"> • 화학 반응에서 평형 조건 • 균일 및 불균일 평형에서 평형 상수 • 평형 농도의 계산 • 생성물 제거, 반응물 첨가, 온도에 따른 평형 이동 • 평형에서 촉매의 영향 • 산과 염기, 산염기 평형 • 강한 산과 약한 산, 강한 염기와 약한 염기 • 아레니우스, 브뢴스테드 로리, 루이스의 산염기 정의 • 짝산과 짝염기 • 물의 자체 이온화와 pH • 강한 산 및 강한 염기 수용액에서 pH의 계산 • pH 척도와 지시약 • 산, 염기의 이온화 상수(Ka, Kb) • 산염기 적정 곡선 및 지시약의 선택 • 공동 이온 효과 • 완충 용액(구성 및 정성적 해석) • 용해도곱(Ksp)의 계산 및 용해도 계산*
		수학적 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 선형 관계를 얻기 위한 관계식의 변형 • 평균 값, 측정의 불확정성에 대한 정성적 개념
	실험실 기술	실질적 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 표준 용액의 제조* • 적정 • 분광광도법(Beer 법칙을 통한 농도 결정)* • 혼합물의 분리: 거름, 증류, 재결정, 크로마토그래피 등 • 액체의 pH 측정*

III. 연구 결과 및 논의

1. IJSO 개정 교수요목에 따른 선다형 문항 분석

2022년과 2023년의 IJSO 선다형 문항을 IJSO 개정 교수요목에 따라 분석한 결과를 Table 3에 제시하였다. 전체적으로 화학 반응에 대한 문항이 25.0%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 원소와 주기율표 및 평형 또한 15.0%의 비율을 차지하였다. IJSO 개최 시기에 따라 선다형 문항이 특정 내용 요소에 집중되는 경향은 나타나지 않았으며, 특히 2023년 IJSO에서는 분자 구조와 기초 핵화학에 이르기까지 전체 내용 요소를 고르게 다루는 특징이 있었다. 이와 더불어 2년 동안의 선다형 문항을 주제별로 비교하면 상호작용 주제의 문항이 55.0%(11문항)의 비율로 가장 높았으며, 입자, 파동, 물질 주제의 문항이 30.0%(6문항), 에너지 주제의 문항은 15.0%(3문항)의 비율을 차지하였다.

Table 3. IJSO 개정 교수요목에 따른 선다형 문항 분석

영역	주제	내용 요소	문항 수(%)		
			2022	2023	계
자연 과학과 수학에 대한 내용 지식	입자, 파동, 물질	물질의 성질	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		원소와 주기율표	1 (10.0)	2 (20.0)	3 (15.0)
		기체 상태	1 (10.0)	1 (10.0)	2 (10.0)
		분자 구조	0 (0.0)	1 (10.0)	1 (5.0)
	에너지	에너지 관점에서 화학 반응	1 (10.0)	0 (0.0)	1 (5.0)
		전기화학	1 (10.0)	1 (10.0)	2 (10.0)
		화학에서의 계산	1 (10.0)	0 (0.0)	1 (5.0)
	상호작용	화학 반응	3 (30.0)	2 (20.0)	5 (25.0)
		화학 결합	1 (10.0)	0 (0.0)	1 (5.0)
		반응 속도	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		평형	1 (10.0)	2 (20.0)	3 (15.0)
			기초 핵화학	0 (0.0)	1 (10.0)
	계		10 (100.0)	10 (100.0)	20 (100.0)

주제별 내용 요소의 개수를 고려하면, 입자, 파동, 물질 주제에 포함된 물질의 상태, 원자 및 분자 구조, 주기율표 등의 내용은 상대적으로 출제되는 문항 수가 적은 것으로 볼 수 있다. 하지만, 에너지 주제에 포함된 엔탈피나 전기화학의 내용은 상대적으로 출제되는 문항 수가 많은 편이었다. 이는 IJSO 문항이 개최국의 산업이나 자원, 환경 문제 등의 쟁점과 관련성이 높기 때문에, 문항 출제에서도 물질의 구조와 같은 이론 중심의 내용보다는 화학 변화와 같이 실생활과 연계되는 내용을 더욱 중시하는 것으로 해석할 수 있다.

IJSO 교수요목의 개정에 따른 변화를 알아보기 위해 2015년부터 2019년까지의 IJSO 화학 문항을 분석한 선행 연구(신석진, 박지호, 2020b)의 결과와 비교하였다. 그 결과, 선다형 문항의 내용 요소 중에서 화학 반응은 교수요목 개정과 무관하게 가장 높은 비율을 차지하는 공통점이 나타났으나, 반응 속도는 개정 전과는 달리 개정 후에는 한 문항도 출제되지 않았다. 또, 교수요목 개정 이후로는 화학 반응과 평형에서 침전 반응과 용해도 평형에 대한 문항이 집중적으로 출제되는 경향이 있었다. 예를 들어 2022년 IJSO에서는 카드뮴 이온(II)과 수산화 이온의 침전 반응과 수산화 카드뮴의 용해도 곱에 대한 정보를 제공한 후, 카드뮴 이온을 제거하기 위해 필요한 수산화 나트륨의 질량을 구하는 문제가 출제되었다(Figure 1).

[2022년 IJSO 선다형 문항]

16. 광산 깊은 곳에서 흘러나오는 물은 카드뮴 이온(II)의 농도가 0.035 mg/L이었다. 광산 기술자는 WHO 음용수 기준인 0.005 mg/L을 맞추기 위해서 수산화 나트륨을 사용하여 독성이 있는 카드뮴 이온을 침전시켜 제거하려고 한다. 수산화 카드뮴의 용해도곱은 $7.20 \times 10^{-15} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ 이다. 이 물 1,000 L를 처리하기 위해 필요한 수산화 나트륨의 양을 구하시오. (단, 처리 전 물의 pH는 7.0으로 가정하시오.)

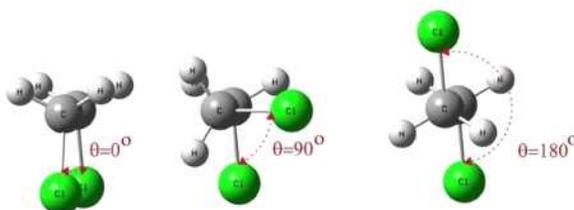
A. 16.09 g B. 29.99 g C. 0.0225 g D. 0.0065 g

Figure 1. 침전과 용해도 평형에 관한 선다형 문항 사례

한편, 2023년 IJSO에서는 분자 구조와 기초 핵화학에 대한 문항이 출제되었다(Figure 2). 분자 구조에서는 1,2-다이클로로에테인의 구조를 제시하고, 탄소와 탄소 사이 결합의 회전에 따라 분자의 극성 정도를 추론하는 문항이 출제되었으며, 기초 핵화학에서는 자연적인 방사선 감쇄 반응과 α 입자와 β^- 입자에 대한 정보를 제시한 후, α 입자와 β^- 입자가 가장 적게 방출되는 반응을 찾는 문항이 출제되었다. IJSO 문항 선정에서 참가국의 교과 대표의 의견을 수렴하는 과정을 거치는데, 이 문항은 유기화학이나 핵화학의 내용 지식이 없더라도 분자의 극성과 원자핵을 이루는 양성자와 중성자, 전자에 대한 기본 지식을 적용하여 문제를 해결할 수 있기에 선정 심사를 통과한 것으로 여겨진다. 이러한 점에 비추어 볼 때, IJSO에서는 교수요목에 해당하는 내용 요소를 단순히 암기하기보단, 실제 상황이나 다양한 맥락에 적용하는 역량을 중시하는 것으로 해석된다.

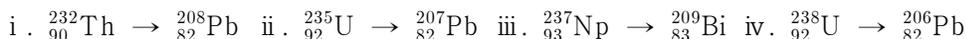
[2023년 IJSO 선다형 문항]

18. 1,2-다이클로로에테인 또는 에틸렌 다이클로라이드(EDC)는 폴리염화비닐(PVC) 생산에 사용되는 염화 비닐의 원료이며, 그 구조는 아래 그림과 같다(생략). EDC에서 C-C결합의 회전은 거의 자유롭게 일어난다. 이는 하나의 CH₂Cl 그룹은 고정되어 있고 다른 CH₂Cl 그룹이 C-C축을 중심으로 회전하는 것으로 생각할 수 있다. 아래 그림은 C-C결합을 따라 바라 보았을 때 C-C의 회전각(θ)에 따른 분자 구조의 변화를 보여준 것이다.



쌍극자 모멘트는 분자의 극성 정도를 정량적으로 측정하는 것이다. 분자의 쌍극자 모멘트는 결합의 극성에 대한 벡터의 합으로부터 계산한다. 다음 그림 중에서 C-C의 회전각(θ)에 대한 쌍극자 모멘트의 크기를 옳게 나타낸 것은? (생략)

17. 다음의 자연 방사선 감쇄 반응이 일어나는 동안 α 입자(${}^4_2\text{He}$ 핵)와 β^- 입자(e^- , 전자)만이 방출된다.



어떤 감쇄 반응에서 각각 가장 적은 α 입자와 가장 많은 β^- 입자를 방출하는가? (생략)

Figure 2. 분자 구조와 기초 핵화학에 대한 선다형 문항 사례

2. IJSO 개정 교수요목에 따른 이론 문항 분석

2022년과 2023년 IJSO 이론 문항을 IJSO 개정 교수요목에 따라 분석한 결과를 Table 4에 제시하였다. 전체 문항 중에서 화학에서의 계산 문항이 33.2%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 평형 문항이 27.8%, 화학 반응 문항이 16.7%의 순으로 나타났다. 선다형 문항은 전체 주제의 내용 요소가 비교적 고르게 출제된 반면, 이론 문항은 상호작용 주제의 내용 요소가 집중적으로 출제되는 경향이 나타났다. 또, 상호작용 주제에서도 몰과 질량 사이의 환산, 화학양론 등과 같은 화학에서의 계산, 중화 반응, 산화 환원 반응 등의 화학 반응, 산염기 평형 및 적정, 용해도 등의 평형 문제들이 중심을 이루는 특징이 나타났다. 이를 고려하면 IJSO 이론 문항에서는 입자, 파동, 물질 주제의 내용들이 거의 출제되지 않고 있으며, 화학 반응과 평형, 에너지에 관한 내용이 주를 이루는 것으로 여겨진다.

Table 4. IJSO 개정 교수요목에 따른 이론 문항 분석

영역	주제	내용 요소	문항 수(%)		
			2022	2023	계
자연 과학과 수학에 대한 내용 지식	입자, 파동, 물질	물질의 성질	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		원소와 주기율표	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		기체 상태	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		분자 구조	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	에너지	에너지 관점에서 화학 반응	0 (0.0)	1 (14.2)	1 (5.6)
		전기화학	1 (9.1)	0 (0.0)	1 (5.6)
	상호작용	화학에서의 계산	4 (36.3)	2 (28.6)	6 (33.2)
		화학 반응	1 (9.1)	2 (28.6)	3 (16.7)
		화학 결합	2 (18.2)	0 (0.0)	2 (11.1)
		반응 속도	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		평형	3 (27.3)	2 (28.6)	5 (27.8)
		기초 핵화학	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	계		11 (100.0)	7 (100.0)	18 (100.0)

이러한 경향은 IJSO 교수요목의 개정에 따라 더욱 두드러지게 나타났다. 선행 연구(신석진, 박지호, 2020b)의 결과와 비교하면, 개정 전에는 입자와 물질 주제에 속하는 물질의 구성과 상태의 이론 문항이 17.3%의 비율로 출제되었으나, 개정 이후 지금까지 입자와 물질 주제의 문제는 출제되지 않았다. 앞으로 IJSO 이론 시험에서 물질의 구성과 상태에 관한 문항이 출제될 가능성도 있지만, 지금까지의 출제 경향을 고려하면 IJSO를 준비하는 과정에서 화학 반응, 평형, 에너지에 관한 문제에 더욱 집중하는 것이 바람직한 방향으로 여겨진다. 특히 화학 반응에서의 양적 관계나 평형에 대한 주제는 개최국의 산업과 자원과도 밀접하게 관련되어 다양한 유형의 문제를 출제할 수 있는 특징이 있다.

일반적으로 IJSO의 이론 문항은 화학 교과에서 10문항 정도 출제되는 경향이 있는데, 2023년 IJSO의 이론 문항은 전년도보다 4문항 적게 출제되었다. 그 이유는 하나의 문항으로 여러 내용 요소에 대한 이해를 종합적으로 평가하는 방향으로 출제하였기 때문이다. 예를 들어 Figure 3에 제시된 망고스틴 문항의 경우에는 연소 분석, 중화 반응, 물질의 양, 산의 이온화 평형에 대한 이해를 종합적으로 평가하고 있다. 지금까지 IJSO의 이론 문항은 문항별로 1~2개 정도의 내용 요소가 포함되어 있었으나, IJSO 교수요목을 개정한 이후에는 여러 내용 요소를 종합하는 신유형의 문항이 출제되는 것도 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다. 특히 이러한 문항은 배점이 높고 하나의 내용 요소별로 부분 점수

를 부여하므로, IJSO에 참여하는 학생이 신유형의 문항에 익숙해질 수 있도록 한국대표단 교육 내용에서도 작은 변화가 요구된다.

[2023년 IJSO 이론 문항]

망고스틴(mangosteen)은 약간 달콤하고 신맛이 나는 열대 과일이다. 태국에서 과일의 여왕으로 잘 알려져 있다. 망고스틴은 동남아시아에서 피부 감염과 상처를 치료하는 전통 약재로 사용되어 있다. 과일 껍질에는 과일의 이름과 유사한 망고스틴(mangostin) 분자가 함유되어 있는데 ~ (중략) ~ 피부 관리 등에 많이 응용되고 있다.



(C1-1). (2.5점) 망고스틴(Mangostin) 분자는 세 종류의 원소로 구성되어 있으며 망고스틴 기체의 밀도는 동일한 온도 및 압력에서 질소 기체의 밀도보다 14.65 배 높다. 순수한 망고스틴 분자 기체 시료 1.000 g을 과량의 산소로 완전 연소하였더니 물과 이산화 탄소만 생성되었다.

생성된 물을 흡습기에 모두 수집했을 때, 이 흡습기의 질량이 0.570 g 증가하였다.

이산화 탄소는 100.00 cm³의 2.00 M 수산화 나트륨(NaOH) 수용액이 들어 있는 별도의 흡습기에 모두 용해시켰다. 이 용액을 25.00 cm³만큼 덜어 메틸 오렌지 지시약(변색 범위 pH 3.2 - 4.4)을 사용하여 2.00 M의 묽은 염산(HCl(aq))으로 적정했더니, 25.00 cm³의 묽은 염산이 소모되었다. 또한 동일한 부피(25.00 cm³)의 용액을 별도로 페놀프탈레인 지시약(변색 범위 pH 8.3 - 10.0)을 사용하여 2.00 M의 묽은 염산으로 적정했을 때는, 17.70 cm³의 묽은 염산이 소모되었다.

망고스틴의 분자식을 구하시오. (단, H₂CO₃; K_{a1} = 4.2 × 10⁻⁷, K_{a2} = 4.8 × 10⁻¹¹ 임을 정성적으로 고려하시오.)

Figure 3. IJSO 교수요목 개정 이후에 출제된 신유형의 이론 문항

3. IJSO 개정 교수요목에 따른 실험 문항 분석

최근 2년 동안의 IJSO 실험 문항을 IJSO 개정 교수요목에 따라 분석하였다(Table 5). 화학 교과의 전체 실험 문항 중에서 측정이나 결과 처리 등의 내용에 해당하는 일반 과학 기술 주제가 54.2%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 화학 교과 내용에 해당하는 문항 20.8%, 수학적 기술 14.6%, 실질적 기술 10.4%의 순으로 나타났다. IJSO의 실험 문항을 분석한 선행 연구(신석진, 박지호, 2020a)에 따르면, 화학 교과의 실험 문항은 내용 지식보다는 실험 과정에 대한 절차적 지식, 탐구 수행 능력, 자료 해석 능력 등이 중시하는 특징이 있다. 이 연구 결과에 따르면 위와 같은 특징은 IJSO 교수요목을 개정된 이후에도 일관성 있게 유지한 것으로 여겨진다.

Table 5. IJSO 개정 교수요목에 따른 실험 문항 분석

영역	주제	내용 요소	문항 수(%)		
			2022	2023	계
일반 과학 기술		과학적 방법	12 (54.5)	3 (11.5)	15 (31.3)
		실험값의 표상(표, 그래프)	1 (4.5)	1 (3.8)	2 (4.2)
		정밀성과 정확성	2 (9.1)	2 (7.7)	4 (8.3)
		유효 숫자 및 반올림	1 (4.5)	4 (15.4)	5 (10.4)
자연 과학과 수학에 대한 내용 지식	상호작용	화학에서의 계산	0 (0.0)	7 (26.9)	7 (14.6)
		화학 반응	0 (0.0)	1 (3.8)	1 (2.1)
		화학 결합	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		반응 속도	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		평형	0 (0.0)	2 (7.7)	2 (4.2)
		기초 핵화학	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
		수학적 기술	4 (18.2)	3 (11.5)	7 (14.6)
실험실 기술	실질적 기술	표준 용액의 제조	1 (4.5)	0 (0.0)	1 (2.1)
		분광광도법	0 (0.0)	3 (11.5)	3 (6.3)
		용액의 pH 측정	1 (4.5)	0 (0.0)	1 (2.1)
계			22 (100.0)	26 (100.0)	48 (100.0)

하지만, IJSO 개정 교수요목에서 실험실 기술에 관한 내용 요소가 대폭 수정됨에 따라 2022년 및 2023년 IJSO 실험 내용은 개정 전과는 상당히 다른 특징이 있었다. 즉, 개정 전에는 주로 증화 적정이나 산화 환원 적정이 대부분을 차지하였으나(신석진, 박지호, 2020a), 개정 후에는 분광광도계를 이용한 수용액의 농도 측정, 표준 용액의 제조 및 수용액의 점도, pH 측정 등과 같이 기존과 다른 유형이 실험이 제시되었다. 이러한 실험은 IJSO 개정 교수요목의 실험실 기술에 명시되어 있었으며, IJSO에서도 교수요목에 근거하여 실험 문항을 출제하였다. 예를 들어, 2023년 IJSO에서는 자외선-가시광선 분광광도계(UV-Vis spectrophotometer)와 람베르트-비어 법칙(Lambert-Beer's law)를 이

용하여 물질의 농도를 정량하고, 분광광도계로 얻은 흡광도 값에 근거하여 화학 반응의 양적 관계와 평형 상수를 찾는 문항이 출제되었다(Figure 4). 또, 하나의 분광광도계를 3개국의 대표단 학생이 교대로 사용하도록 시간표를 정하여서 기기 사용에 있어 불편함을 줄이기 위해 노력하였다. 분광광도계를 사용하여 물질을 정량하는 실험은 첨단기자재에 대해 접근성이 낮은 국가의 중학생에게는 친숙하지 않아 어렵게 느껴질 가능성이 높다. 그런데도 IJSO에서는 데이터 기반의 과학 및 첨단기자재를 이용한 실험을 제시하여 미래 과학교육의 지향하는 움직임을 보여주었다. 따라서 IJSO 한국대표단 교육이나 KJSO 단계별 교육에서도 IJSO 개정 교수요목에 맞추어 분광광도계를 활용한 실험 등의 미래 과학교육을 지향하는 실험·실습 경험을 제공해 줄 필요가 있다.

[2023년 IJSO 실험 문항]

실험 프로토콜(Experimental protocol)

1. 25.00 mL 부피 플라스크에 쌀 추출액 시료 5.00 mL를 넣은 후, 0.1 M 설포 살리실산(sulfosalicylic acid) 용액 5.00 mL를 넣는다. 다음으로 0.1 M 과염소산을 눈금선까지 채워 최종 부피를 맞춘다. 이때 용액이 완전히 혼합되었는지 확인한다.
2. 잘 섞어진 혼합 용액을 최소 20 분 동안 그대로 두어 안정한 착물이 생성되게 한다.
3. 505.0 nm 파장의 빛을 사용하는 분광광도계를 사용하여 흡광도를 측정한다. 깨끗한 큐벳에 용액을 약 80 % 정도 채운 후, 큐벳을 분광광도계에 올바르게 위치시키고 분광광도계의 시작 버튼을 눌러 흡광도(Abs)를 기록한다.



(C1-2). (0.3점) 쌀 추출액 시료로부터 형성된 착물 용액의 흡광도(Abs)를 쓰시오. (중략)

Figure 4. IJSO 교수요목 개정 이후에 나타난 분광광도계를 활용한 화학 실험 문항

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 IJSO 교수요목의 개정에 따른 변화를 파악하기 위해 2022년 및 2023년 IJSO 화학 문항을 분석하였다. 개정된 교수요목에 근거하여 분석틀을 구성하고 IJSO의 선다형, 이론, 실험 문항을 각각 분석하였으며, 개정 전 IJSO 문항을 분석한 선행 연구(신석진, 박지호, 2020b)의 결과와 비교하고 개정 이후 새로운 유형의 문항 사례와 특징을 제시하였다.

첫째, IJSO 선다형 문항에서는 교수요목의 여러 주제가 비교적 고르게 출제되는 경향이 나타났으나 주제별 출제 비율은 조금씩 차이가 있었다. 구체적으로 화학 반응이나 평형 등이 포함된 상호작용 주제가 높은 비율로 출제되었으나, 물질의 구조를 다루는 입자, 파동, 물질 주제는 낮은 비율로 출제되었다. 이와 같은 출제 경향은 교수요목 개정 전과 후에도 일관되게 나타났으나, 세부적인 출제 내용에서는 다른 점이 나타났다. 즉, 교수요목 개정 후에는 침전 반응과 용해도 평형에 대한 문항의 출제 빈도가 높았으며 반응 속도에 대한 문항은 거의 출제되지 않았다. 또한 분자 구조와 핵화학에 대한 자료를 제시하고 분자의 극성이나 원자를 이루는 기본 입자의 지식을 이용하여 이를 해결하는 새로운 유형의 문항도 출제되었다.

둘째, IJSO 이론 문항에서는 상호작용 주제의 문항이 집중적으로 출제되는 경향이 나타났다. 즉, 화학에서의 계산, 화학 반응, 평형 문제들이 대부분을 차지하였으나, 물질의 구조나 상태에 대한 문항은 거의 출제되지 않았다. 특히 IJSO 교수요목 개정 전에는 물질의 구조와 상태의 이론 문항이 적게나마 출제되는 편이었으나, 개정 후에는 상호작용 주제의 이론 문항이 주를 이루었다. 또한 교수요목 개정 후에는 한 문항에 여러 내용 요소를 종합하여 제시하는 새로운 출제 경향도 나타났다.

셋째, IJSO 실험 문항에서는 과학적 방법이나 결과 처리 등을 다루는 일반 과학 기술의 문항이 출제되는 비율이 높았고, 수학적 기술과 실질적 기술 문항의 출제 비율도 적지 않았다. 즉, IJSO 실험 문항은 선다형이나 이론 문항과 달리 중학생의 과학적 탐구 능력이나 방법적 지식을 평가하는데 초점을 두고 있다. IJSO 교수요목의 개정에 따라 실험 내용에 있어 상당한 변화가 나타났으며, 개정 전에는 중화 적정이나 산화 환원 적정과 같이 전통적인 방법의 정량 분석이 대부분을 차지하였으나, 개정 후에는 점도 측정이나 자외선 가시광선 분광광도계를 이용한 정량 분석처럼 새로운 실험 내용이 등장하였다.

IJSO 사무국에서는 여러 국가의 대표들과 협업하여 2020년 12월에 IJSO 교수요목을 개정하였으며, 2022년 IJSO에서부터 개정 교수요목에 맞추어 문항을 출제하였다. 특히, IJSO 개정 교수요목에서는 주제 영역의 모호성을 줄이기 위해 내용 요소들을 구체적으로 명시하였으며, 이에 따라 기존과 달리 새로운 내용 요소들이 적지 않게 포함되어 있었다. 특히 실험실 기술 영역은 구체적인 실험 내용이 제시되었을 뿐만 아니라, 분광광도법과 같이 첨단기자재를 활용한 실험들도 포함하였다. 이를 고려하면 IJSO에서는 미래 과학교육을 지향하여 올림피아드 교육 목표를 분명히 하기 위해 IJSO 교수요목 개정을 변화의 출발점으로 정한 것으로 여겨진다. 이러한 변화에도 불구하고, 아직까지 IJSO 개정 교수요목을 분석하거나 개정 이후의 출제 문항을 분석한 연구는 거의 없었다. IJSO의 출제 경향의 변화나 신유형 문항의 특징을 명확히 분석해야 IJSO 준비를 위한 한국대표단 교육 내용이나 방법에 있어서 올바른 변화를 끌어낼 수 있을 것이다.

구체적으로 IJSO 문항의 내용이 다양화되는 추세에 맞추어, 핵화학 등과 같이 IJSO 개정 교수요목

에 새롭게 포함되는 내용 요소는 한국중등과학올림피아드(Korea Junior Science Olympiad, KJSO) 교육과정에 포함하고 학생들이 대표단 교육에서 이를 학습하도록 교육 내용을 재구성해 줄 필요가 있다. 또한, 상호작용 주제에 포함된 화학 반응이나 평형 등의 문항은 출제 빈도가 매우 높으므로, 학생들이 산 염기 평형, 침전 평형, 전기화학 등의 중요 개념을 명확히 이해한 후, 관련 문제 해결 경험을 충분히 갖도록 지원해야 한다. 이와 더불어 개정 IJSO 교수요목에서 새롭게 제시된 내용 요소에 대해서는 한국대표단 교육에서부터 이러한 내용에 대해 배경 지식을 가질 수 있도록 교수학습이 이루어져야 할 것이다.

2023년 IJSO에서는 디지털 기기나 첨단 기자재를 활용한 실험 문항이 출제되었으며, 이는 디지털 기반의 과학 영재 교육의 중요성에 대해 많은 국가의 과학교육 전문가들도 공감하고 같은 지향점을 가지고 있는 것으로 여겨진다. 이러한 추세 변화에 민감하게 반응할 수 있도록 한국대표단 교육에서도 디지털 기반 탐구 경험을 제공할 필요가 있다. 즉, IJSO를 준비하기 위한 실험 교육을 운영할 때도 적정이나 반응 속도 측정과 같은 기초적인 정량 분석에 머무르지 않고, 대표단 학생들이 자외선 가시광선 분광광도계 등의 첨단 기자재를 직접 사용할 수 있도록 지원해야 한다. 또, 디지털 기반 탐구 활동의 맥락에서 데이터의 처리와 분석, 전환 등의 역량을 키울 필요가 있고, 한국대표단 교육에서도 이를 위해 충분한 물적 자원을 확보할 필요가 있다.

최근 IJSO 실험 문항들은 서로 다른 교과 영역이 연계되어 출제되고 있다. 예를 들어 2023 IJSO 물리 실험 문항은 간이 분광광도계, 조도 센서, 멀티미터를 사용하여 수용액의 흡광도를 측정하고 미지 수용액의 농도를 정량하는 내용이 제시되었다. 하지만 이 연구는 화학 실험 문항만을 분석하였으므로, IJSO 실험에서 전체 교과 영역이 어떻게 연계되는지에 대한 정보를 파악하기에는 한계가 있다. 이와 더불어 앞으로 문항 분석뿐만 아니라, IJSO에 참여하는 대표단 학생들의 정답률이나 문제 해결 과정 등에 대한 심층적인 정보에 관한 연구도 필요할 것이다.

참고문헌

- 권경필, & 이세연. (2020). 제16회 국제중등과학올림피아드 물리 이론 문제에 대한 학생들의 풀이과정 분석. **국제과학영재학회지**, 6(1), 19-26.
- 배영혜, & 홍준의 (2020). 국제중등과학올림피아드 실라버스와 한국의 2015 개정 과학과 교육과정 비교-생물영역을 중심으로. **국제과학영재학회지**, 6(1), 11-17.
- 신석진, & 박지호. (2020a). 국제중등과학 올림피아드(IJSO)의 화학 실험 문항 분석. **국제과학영재학회지**, 6(1), 27-37.
- 신석진, & 박지호. (2020b). 국제중등과학올림피아드(IJSO)와 한국중등과학올림피아드(KJSO) 에서 화학 문항의 비교 분석. **국제과학영재학회지**, 6(2), 87-101.
- 이희연, & 김덕수. (2019). 국제중등과학올림피아드(IJSO)의 현황과 화학영역 출제경향. **교육과학연구**, 21(1), 201-211.
- IJSO Syllabus. (2022). <https://ijsoweb.org/ijsso-syllabus>.

A Trend Analysis of the Chemistry Test Problems Based on the Revised Syllabus of the International Junior Science Olympiad.

SeokJin Shin (Neulpureun High School)

Abstract : In this study, the trend of chemistry test problems was analyzed based on the revised syllabus of the International Junior Science Olympiad (IJSO). Multiple-choice, theoretical, and experimental problems were classified by topics and concepts based on the revised IJSO syllabus, and new types of problems. As a result of the study, the multiple-choice problems evenly included various topics and concepts from the syllabus, while the theoretical problems had a high proportion of topics related to interactions. The ratio of experimental problems was in the order of general science skills, interaction, mathematics skills, and practical skills. After the syllabus revision, new types of problems were introduced, including precipitation reactions, solubility equilibrium, nuclear chemistry, and spectrophotometry. In addition, there were new theoretical problems integrating various concepts. The educational implications of this were discussed in the context of science education for the gifted.

* key words : International Junior Science Olympiad, chemistry problems, Science education for the gifted.

논문접수 : 2024.05.09.

논문심사 : 2024.05.23.

게재승인 : 2024.05.30.