

## 교육과정 및 학업 성취도 분석에 기반한 중학생 과학영재교육 개선 방안

박형용\*

### 〈 요약 〉

본 연구에서는 국제중등과학올림피아드(IJSO) 교수요목을 국제 기준으로 삼아 대한민국 과학과 교육과정과 한국중등과학올림피아드(KJSO) 정규 교육과정의 정합성 및 간극을 비교·분석하고, KJSO 참여 학생의 학업 성취도 자료를 결합하여 과학영재교육 개선의 함의를 도출하였다. 분석 결과 IJSO는 학제간 통합, 정량적 분석 역량, 구체적 탐구·실험 기술을 핵심 기준으로 요구하였다. 국가 교육과정은 정량성 및 실험 기술을 포함한 탐구 역량에서 내용적 간극(Gap 1)이 확인되었으며, KJSO는 이를 보완하는 심화·가속화 과정으로 기능하였다. 다만 IJSO가 지향하는 통합 구조와 달리 KJSO의 분절적 운영으로 구조적 간극(Gap 2)이 잔존하였다. 성취도 분석에서는 국가 교육과정에서 적게 다루고 있는 정량 분석 및 분석적 사고 관련 영역에서 상대적으로 낮은 성취가 나타났다. 이는 Gap 1이 실제 학업 수행에 직접 영향을 미치는 인지 부담 지점임을 보여준다. 본 연구를 통해 확인된 간극을 중심으로 KJSO 교육과정을 보완하고, 국가 수준 과학과 교육과정에는 기초 정량·분석 요소를 단계적으로 도입할 필요를 제안한다.

주요어: 과학영재교육, IJSO, KJSO, 교육과정 분석, 학업 성취도

\*경인교육대학교, hypark@ginue.ac.kr

## I. 서론

과학 기술 발전의 급격한 가속화와 함께 급변하는 국제 정세 속에서 다음 세대의 과학적 소양과 역량 함양은 국가 경쟁력의 핵심 요소가 되었고, 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 이에 따라 세계 각국은 자국의 과학교육 시스템을 점검하고 국제 수준의 경쟁력을 갖추기 위한 노력을 경주하고 있다. 대한민국 역시 시대적 변화에 부응하는 국가 수준의 교육과정을 지속적으로 개정해 오고 있으며, 영재교육진흥법 등을 통해 다양한 영재 교육 및 지원 프로그램을 운영하고 있다. 특히 국가적 과제인 과학영재의 조기 발굴과 교육을 위하여 국제과학올림피아드 사업을 국가적으로 지원함으로써 우리나라 과학 영재들의 국제적 역량 강화를 꾀하고 있다.

이러한 맥락에서 국제중등과학올림피아드(International Junior Science Olympiad, IJSO)는 15세 이하 학생들을 대상으로 물리학, 화학, 생명과학 전반에 걸친 통합적 과학 역량을 평가하는 유일한 국제 대회로서, 중학생 과학 영재에게 요구되는 과학 역량과 그 수준을 가늠하는 중요한 준거가 될 수 있다. IJSO는 2004년 창설 이래 현재 50개국 이상이 참여하는 국제 과학 올림피아드로 성장하였으며, 각국의 과학교육 전문가들이 참여하는 국제 위원회를 통해 교수요목을 개발하고 3년마다 재검증하는 체계적인 과정을 거치고 있다(IJSO, 2020; Nandy & Pramanik, 2025). 이러한 국제적 합의 과정과 지속적 개선 시스템은 IJSO 교수요목이 단순히 경시대회를 위한 지침이 아닌, 중학생 수준 과학 영재교육의 국제 표준으로 기능할 수 있는 타당성을 제공한다.

따라서 IJSO 교수요목에 담긴 구체적인 내용 요소, 수준, 범위에 대한 체계적 분석을 통해 국제 수준의 중학생 과학영재교육 기준을 명확히 할 필요가 있다. 이렇게 도출된 기준을 바탕으로 우리나라 과학영재교육이 국제 수준의 요구사항에 얼마나 부합하고 있는지 체계적으로 분석하고, 개선 방향에 대한 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

한편, ‘의도된 교육과정’, ‘실행된 교육과정’, 그리고 ‘성취된 교육과정’ 사이에는 차이가 있을 수 밖에 없으므로 교육과정 문서 분석만으로는 현장에서의 실효성을 파악하기는 어렵다(Porter & Smithson, 2001). 따라서 분석을 통해 파악된 교육과정 간의 정합성과 간극이 학생들의 실제 학습에 어떤 영향을 미치는지 실증적으로 검증하기 위해서는 교육에 참여하는 학생들의 학업 성취에 대한 분석이 필수적이다. 한국중학생과학올림피아드(Korea Junior Science Olympiad, KJSO)와 같이 특수 목적의 영재 교육 프로그램이 국가 교육과정과 어떠한 연계를 맺고 있는지, 그리고 이 과정에 참여하는 학생들이 어떠한 학업 성취를 보이고, 또 어떤 부분에서 어려움을 겪는지 실증적으로 파악할 때, 비로소 데이터에 기반한 실질적인 교육 개선 방향의 탐색이 가능할 것이다.

이에 본 연구에서는 교육과정 및 학생 성취분석을 통하여 중학생 과학영재교육의 개선 방향을 탐색하기 위해 IJSO 교수요목과 대한민국 국가수준 과학과 교육과정, KJSO 정규 교육과정의 정합성을 비교 분석하였다. 더 나아가, KJSO 교육과정에 참여한 학생들의 학업 성취를 분석하여, 국제적 요구 수준에 부합하는 과학영재교육을 위한 시사점을 얻고자 하였다.

이러한 연구 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 질문은 다음과 같다.

첫째, IJSO 교수요목에서 제시하고 있는 국제 수준의 과학영재교육의 기준은 무엇인가?

둘째, IJSO 교수요목, 대한민국 과학과 교육과정, 그리고 KJSO 정규 교육과정은 서로 어떠한 정합성을 보이며, 교육과정 간의 주요 간극(gap)은 무엇인가?

셋째, KJSO 교육과정에 참여하는 영재 학생들의 학업 성취가 과학 영재교육에 시사하는 바는 무엇인가?

## II. 연구 방법

연구의 목적을 달성하기 위하여 본 연구에서는 문헌 분석과 교육과정 비교 분석방법(Bowen, 2009; Nandy & Pramanik, 2025)을 통해 연구를 수행하였다.

### 1. IJSO 교수요목 분석

본 연구는 IJSO의 최신 교수요목(IJSO, 2020)을 주 분석 대상으로 삼았다. IJSO 교수요목은 국제 위원회의 엄밀한 검토를 거쳐 개발되며, 3년마다 재검증되는 살아있는 문서로서 국제 과학교육의 최신 동향을 반영한다. 국제 표준의 변화 추세와 최근 강조점을 파악하기 위해 2009년 교수요목(IJSO, 2009)을 보조적으로 활용하여 2009년 대비 2020년 교수요목에서 삭제, 추가, 혹은 강조된 항목을 비교 분석하였다. 분석을 통해서 'IJSO 표준 프레임워크'를 도출하였다. 이 프레임워크는 교수요목에서 제시하고 있는 구조를 토대로 (1) 내용 지식(Content Knowledge) (물리학, 화학, 생명과학 영역별 하위 주제 및 학제간 통합 주제), (2) 과학 탐구 능력('탐구 기능' 및 '실험 기술' 통합), (3) 평가 방식 (Assessment) (문제 유형 및 평가 목적)의 3가지 차원으로 구성하였다.

### 2. IJSO 및 KJSO 교육과정, 그리고 대한민국 교육과정 비교 분석

두 번째 연구 질문인 세 교육과정 간의 정합성과 주요 간극에 대한 답을 얻기 위하여 교육과정 문서에 대한 지시적 내용 분석과 주제 분석 방법을 사용하여 질적 내용분석(Bowen, 2009)을 수행하였다. 이 단계에서는 연구 질문 1에서 도출된 'IJSO 표준 프레임워크'를 비교 준거로 하였고, (1) 'KJSO 2025 교육과정'의 1~3단계 물리학, 화학, 생명과학 영역별 세부 주제와 (2) 대한민국 과학과 교육과정의 내용 체계(핵심 개념, 내용 요소) 및 성취기준을 분석 대상으로 하였다. 국가 교육과정은 현재까지 학교 현장에서 사용되어온 2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)과 새롭게 적용되는

2022 개정 과학과 교육과정(교육부, 2022)을 모두 분석에 포함하였다. 현재는 2022 개정 과학과 교육과정이 적용 중이나, KJSO 2025에 참여한 학생들은 2015 개정 과학과 교육과정에 따라 교육을 받았기에 함께 분석하고 교육과정 개선 방향을 제시하고자 하였다. 분석 절차는 KJSO 및 국가 교육과정의 세부 항목들을 'IJSO 표준 프레임워크'의 각 차원(내용 지식, 과정·기능)에 매핑하는 방식으로 진행하였다. 내용 체계에 대한 비교는 2022 개정 과학과 교육과정의 각 영역에서 제시하고 있는 핵심 아이디어(Table 1)와의 매핑 결과를 토대로 세 교육과정 간의 공통 요소(정합성)와 차이점(간극)을 체계적으로 도출하며, 특히 IJSO 표준에는 존재하나 국내 교육과정(국가 및 KJSO)에서 누락되거나 강조점이 다른 핵심 간극을 식별하는 데 중점을 두었다.

Table 1. 2022 개정 과학과 교육과정의 영역별 핵심 아이디어

물리	화학(물질)	생명
P1. 힘과 에너지 P2. 전기와 자기 P3. 열 P4. 빛과 파동	C1. 물질의 성질 C2. 물질의 변화 C3. 물질의 구조	B1. 생물의 구조와 에너지 B2. 항상성과 몸의 조절 B3. 생명의 연속성 B4. 환경과 생태계 B5. 생명과학과 인간의 생활

연구의 신뢰도와 타당도를 확보하기 위해 다음과 같은 절차를 거쳤다. 첫째, 교육과정 비교 분석에서 KJSO 주차별 학습 내용을 국가 교육과정의 하위 영역에 매핑하는 과정은 과학교육 전공 연구자 2인이 독립적으로 수행한 후 일치도를 확인하였으며, 불일치 항목에 대해서는 협의를 통해 최종 매핑을 결정하였다. 둘째, IJSO 교수요목 분석은 국제 과학올림피아드 관련 문헌과 교육과정 비교 방법론(Greatorex et al., 2019; Nandy & Pramanik, 2025)을 참고하여 분석틀을 구성하였다. 셋째, 학업 성취도 데이터는 KJSO 운영 기관으로부터 제공받은 익명화된 데이터를 활용하였다.

### 3. KJSO 참여 학생의 학업 성취도 분석

세 번째 연구 질문은 KJSO 교육과정의 실질적인 효과성을 검증하고, 앞서 분석된 교육과정 간극이 학업 성취도에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는 데 목적이 있다. 이를 위해 KJSO 1~3단계 참여(1단계 수료 이상) 학생들의 주차별 형성평가(영역별 10점 만점)의 개별 점수 데이터를 활용하여 정량적 분석을 수행하였다. 각 학생은 소속 단계의 주차별 평가(1단계 10주차×3영역, 2단계 10주차×3영역, 3단계 7주차×3영역)에 반복 참여하였으며, 중도 탈락으로 인해 단계별 참여 학생 수는 점차 감소하였다(이수 완료자 기준 1단계 416명 → 2단계 357명 → 3단계 56). 데이터의 전처리 및 모든 통계 분석에는 R 통계 패키지(R Statistical Software, v4.5.2)를 사용하였으며, lme4, lmerTest, emmeans 등의 패키지를 활용하였다.

분석은 다음의 절차로 진행되었다. 먼저, KJSO의 주차별 학습 내용을 키워드 매칭을 통해 국가 교육과정의 하위 영역(Table 1)에 매핑하였다. 이후 교육과정 단계(1~3단계)에 따른 학업 성취도 및 난

이도 차이를 검증하기 위해 선형 혼합 모형(Linear Mixed Model, LMM)을 적용하였다. 이는 단계가 진행됨에 따라 중도 탈락으로 인해 표본 수가 변동하는 불균형 자료의 특성을 보정하고, 동일 학생이 반복적으로 평가에 참여함에 따라 발생하는 데이터의 종속성을 고려하기 위함이다. 분석 모형에서는 '교육과정 단계'와 '과목 영역'을 고정 효과(Fixed Effect)로, 학생 개인인의 기저 역량 차이를 통제하기 위해 '학생 ID'를 변량 효과(Random Effect)로 설정하였다. 모형 적합 후에는 보정된 추정 평균(Estimated Marginal Means, EMM)을 산출하여 단계별 성취도 차이의 통계적 유의성을 검증하였으며, 이를 통해 단순 평균 비교에서 발생할 수 있는 편향을 최소화하고 단계별 난이도 추세를 실증적으로 파악하였다.

다음으로, 국가 교육과정 하위 영역별로 학생들의 상대적 성취 수준을 시각화하기 위해, 각 하위 영역의 평균 점수를 1~5점 척도로 표준화(Min-Max 정규화)하여 방사형 그래프로 나타내었다. 이를 통해 과목 내 영역별 강점과 약점 프로파일을 도출하였다. 마지막으로, KJSO의 주차별 교육 내용 중 학업 성취도 하위 20%와 상위 20%에 해당하는 내용을 추출하여 가장 두드러진 취약 주제와 강점 주제를 파악하였다. 그리고 이렇게 도출된 '취약 영역'이 교육과정 비교를 통해 식별된 '교육과정에서의 간극'과 어떤 연관성을 가지는지 분석하였다.

이 분석을 통해 교육과정 사이에서 나타나는 '간극'이 단순히 문헌상에만 존재하는 차이가 아니라, 학생들의 '실제적 성취도 저하'와 유의미하게 관련되는지를 실증적으로 밝혀내고, 교육과정의 개선을 위한 시사점을 얻고자 하였다.

### Ⅲ. 결과 및 논의

#### 1. 국제 수준의 중학생 과학영재교육 기준

국제적으로 요구되고 있는 과학영재교육의 수준을 알아보기 위하여, IJSO 교수요목을 분석한 결과, IJSO가 제시하는 기준은 단순한 지식의 집합이 아니라, (1) 학제간 통합을 지향하는 내용 체계, (2) 탐구 및 실험 과정을 강조하는 과학 역량, (3) 고등 사고 능력을 요구하는 평가 방식이 유기적으로 결합된 프레임워크인 것으로 나타났다.

#### 가. 학제간 통합을 지향하는 내용 체계

IJSO 교수요목의 가장 두드러진 특징은 전통적인 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학의 분과적 접근을 지양한다는 점이다. 서문에서는 IJSO가 '과학 일반'을 겨루는 대회임을 명시하여, 교수요목의 내용 체계가 물리학, 화학, 생명과학의 영역으로 엄격하게 구분되지 않고 과학의 기본적이고 일반적인 개념을 강조함을 밝히고 있다.

이를 위해 교수요목에서 내용체계를 제시하는 'B. 자연과학 및 수학 내용 지식'에서 과학 3 영역을 6개의 대주제(Big Ideas)로 범주화하여 제시하고 있었다(Table 2).

Table 2. IJSO 교수요목의 학제간 내용체계

대주제 (Big Idea)	주제 (Topic)
1. 입자, 파동 및 물질	물질의 성질 / 원소와 주기율표 / 기체 상태 / 기본 주제
2. 에너지	에너지 관점의 화학 반응 / 전기 및 화학 / 에너지, 일, 힘
3. 상호작용	화학식 / 화학 반응 / 화학 결합 / 반응 속도 / 평형 / 힘과 역학 / 운동과 운동학 / 진동과 파동 / 빛과 광학 / 소리 / 전기 및 자기 / 열 및 물질 전달 / 기초 핵과학
4. 구조, 성질 및 기능	지구, 천문학, 우주 / 생화학 / 생명의 다양성과 구조 / 세포 생물학 / 예방 생물학
5. 시스템	식물 구조와 기능 / 동물 구조와 기능 / 인체 생물학의 원리
6. 발생과 진화	유전학 / 진화의 원리 / 생태학

이러한 통합적 주제 구성은 15세 이하의 과학영재를 대상으로 과학의 근본 개념을 강조하고, 학제간 내용과 연관성을 가진 문제 개발을 장려하고자 하는 IJSO의 교육 철학을 반영한 결과이다. 이 통합적 대주제 내에 포함된 세부 항목들은 다시 전통적인 물리학, 화학, 생명과학 영역의 학문에서 핵심적으로 다루어 온 내용을 깊이 있게 포함하고 있다. 즉, IJSO의 내용체계는 '통합적 주제'라는 상위 구조 안에서 '분과 학문의 핵심 개념'을 충실히 다루는 것을 표준으로 삼고 있음을 알 수 있다. 교수요목에 포함된 주제들을 각 분과 학문의 주요 내용 영역으로 재구성해 보면 <Table 3>과 같이 요약할 수 있다.

Table 3. IJSO 교수요목(2020)의 분과 학문별 주요 내용 지식 영역

영역	주요 내용 범주	세부 주제 예시 (교수요목 번호)
물리	역학	운동(3-21), 뉴턴의 법칙(3-13), 일과 에너지(3-6, 3-31), 운동량(3-10), 압력 및 부력(3-11, 3-18)
	전자기학	정전기(3-57), 회로(3-58, 3-60, 3-65), 자기 현상(3-68), 전자기 유도(3-70)
	파동 및 광학	파동 특성(3-39), 빛(3-7, 3-43~3-49), 소리(3-9, 3-50~3-55)
	열역학	열(3-8), 온도(3-73), 열전달(3-74), 비열 및 잠열(3-75, 3-76), 열역학 제1법칙(3-77)
화학	물질의 구성	물질의 상태(2-2~2-6), 원자 이론 및 구조(2-8, 2-9, 2-11), 주기율표(2-13, 2-14)
	화학 결합	이온, 공유, 금속 결합(2-38), 분자간 힘 및 수소 결합(2-40, 2-41)
	화학 반응	화학 반응식(2-25), 화학양론(2-21), 산-염기(2-28, 2-51~2-59), 산

		화-환원(2-29, 2-30)
	반응 속도 및 평형	반응 속도(2-43), 화학 평형(2-46, 2-47), 용해도곱(2-62)
	기체 및 열화학	기체 법칙(2-34, 2-35), 반응 엔탈피 및 헤스의 법칙(2-32, 2-33)
생물	세포 및 생화학	생체 분자(4-2), 세포 구조와 기능(4-12, 4-13), 세포 호흡(4-15), 광합성(4-31)
	인체 생리학	소화, 순환, 호흡, 배설계 등 인체 시스템(4-47~4-60)
	유전 및 진화	세포 분열(4-18, 4-19), 멘델 유전(4-23), DNA(4-22), 자연 선택(4-27)
	생태학	생태계 구성 요소(4-71), 생지화학적 순환(4-67), 먹이 사슬(4-69), 상호작용(4-73)
	식물 및 동물	식물/동물의 구조와 기능(4-28~4-37, 4-38~4-46), 분류(4-5)

#### 나. 과학 탐구 능력 및 과정의 강조

IJSO 표준의 두 번째 핵심 기준은 내용체계(B)를 제기하기에 앞서 ‘A. 과학 탐구 기능(science skills)’과 ‘C. 실험 기능(laboratory skills)’을 명시적으로 요구한다는 점이다. 이는 국제 표준이 단순한 지식의 암기보다 과학적 방법론의 체득과 실제 적용 능력을 중시함을 시사한다.

‘A. 과학 탐구 기능’ 영역에서는 학생이 반드시 갖추어야 할 탐구 과정 및 사고 기능을 구체적으로 제시하였다. 여기에는 과학 용어 사용, 가설 설정, 가설 검증을 위한 실험 설계, 데이터의 적절한 표현(표, 다이어그램, 그래프) 및 해석 능력, 데이터의 부정확성 인식, 측정의 정밀도와 정확도, SI 단위 및 유도 단위의 사용, 유효 숫자, 오차 원인 식별 등이 포함된다.

‘C. 실험 기능’ 영역에서는 학생들이 실험실 안전 규정 준수를 기본으로 하며, 구체적인 수행 능력을 요구하였다. 주요 기술로는 질량, 길이, 부피, 시간, 온도, 전압, 전류 등 기본 물리량의 측정, 이진 분류 검색표 사용, 식물 표본 해부, 광학 현미경 사용 및 슬라이드 준비, 표준 용액 제조, 적정, 분광 광도법, 그리고 여과, 단순 증류, 박층 크로마토그래피 등과 같은 기본 분리 기술이 명시되었다.

#### 다. 고등 사고력 및 수학적 문제 해결 역량 중심의 평가

IJSO 교수요목에서는 평가, 즉 국제 대회의 출제에 대해서도 명확한 기준을 제시한다. 이 기준에는 "문제에서 충분한 정보가 주어진다면, 교수요목에 나열되지 않은 더 복잡하거나 추가적인 주제도 문제에서 다룰 수 있음" 이 명시되어 있다. 이는 IJSO의 평가가 단순한 지식의 인출(recall)을 넘어, 주어진 정보를 분석하고 적용하여 새로운 문제를 해결하는 고등 사고력과 추론 능력을 핵심적으로 평가함을 의미한다.

또한, IJSO 표준은 과학의 언어로서 수학의 중요성을 강조하며 ‘7. 수학적 기술(mathematics skills)’을 내용 체계의 별도 대주제 영역으로 제시하였다. 이는 과학영재교육의 국제 표준이 상당한 수준의 수학적 역량을 요구함을 보여준다. 요구되는 수학 기술에는 분수, 로그, 거듭제곱, 다항식(예: 이차 방정식 풀이), 삼각 함수를 포함하는 방정식 풀이, 방정식의 선형 관계 변환, 기본 기하학 및 입

체기화학, 기본 벡터 대수(벡터의 분해와 합) 등이 포함된다.

라. 변화에 대응하는 지속적 개정

교수요목을 통해 제시하고 있는 IJSO 표준에 대한 분석에 더하여 2009년과 2020년의 변화를 분석한 결과, 2020년 개정에서는 최근 과학교육의 국제적 동향을 반영하여 개정이 이루어졌음을 알 수 있다. 구체적으로는 일부 과도하게 심화되었던 내용(예: 화학의 일부 복잡한 명명법, 생물 분류의 세부 사항)이 삭제되거나 축소된 반면, 현대 과학에서 중요성이 커진 영역(예: 데이터 분석, 불확실성)이 강조되는 경향을 보였다. 이는 IJSO 교수요목이 "3년마다 재검증되어야 한다" 는 IJSO의 규정에 따른 것으로, 교육 내용을 정체시키지 않고 지속적으로 개선하려는 국제적 합의가 존재함을 보여준다.

첫 번째 연구 질문에 대한 이상의 분석 결과, IJSO 교수요목에서 제시하는 국제 수준의 과학영재교육 기준은 (1) 분과 학문의 벽을 넘어 통합적 대주제를 중심으로 내용을 구조화하며, (2) 내용 지식의 습득만큼이나 과학 탐구 역량 실제적 체득을 동등하게 중시하고, (3) 과학적 문제 해결을 위한 핵심 도구로서 '수학적 역량'을 명시적으로 요구하며, (4) 평가에 있어서는 '지식의 암기'가 아닌 '데이터 기반의 고등 사고 및 추론 능력'을 핵심으로 삼는다는 네 가지 기초를 확인할 수 있었다.

## 2. IJSO 교수요목, KJSO 교육과정, 그리고 대한민국 과학과 교육과정 사이에서 나타나는 정합성과 간극

세 교육과정 사이의 정합성과 주요 간극에 대하여 알아보기 위하여 지시적 내용 분석과 주제 분석을 통해 비교한 결과는 다음과 같다.

가. IJSO 교수요목과 대한민국 국가 교육과정 비교

IJSO 표준과 대한민국 과학과 교육과정(교육부, 2015, 2022)을 비교한 결과, '내용 지식'의 기본 개념(예: 힘, 에너지, 물질, 세포)은 공유하고 있으나, 요구하는 지식의 깊이, 정량적 분석 수준, 그리고 탐구 기능(skills)의 구체성에서 명확한 간극을 확인할 수 있었다.

첫째, 내용 지식의 간극이다. 국가 교육과정에서는 물리학, 화학, 생명과학의 핵심 영역을 다루나, 이는 주로 개념의 정성적 이해에 초점을 맞춘다. 반면, IJSO 교수요목은 정량적 계산을 필수적으로 요구한다. 예를 들어, 국가 교육과정(중등)이 뉴턴의 법칙을 개념적으로 다루는 데 반해, IJSO 교수요목은 운동량 보존, 벡터 계산을 포함한 정량적 문제 해결을 요구한다. 화학 영역에서는 화학양론(stoichiometry), 반응 속도, 화학 평형, 전기화학 등 IJSO의 핵심 정량 영역 대부분이 초등학생과 중학생을 대상으로 하는 과학과 공통 교육과정에서는 거의 다루어지지 않는다.

둘째, 탐구 기능(skills)에서의 간극이다. 가장 큰 간극은 과학 탐구의 실험 기능 영역에서 나타났다. IJSO는 적정(Titrations), 분광광도법(Spectrophotometry), 크로마토그래피(TLC), 벡터(선형 대수), 유효 숫자 및 불확실성(오차) 해석 등 매우 구체적이고 정량적인 실험 및 데이터 분석 기술을 표준으로 요구한다. 이에 반해 국가 교육과정의 ‘탐구 과정’은 가설 설정, 변인 통제, 자료 해석 등 일반적인 탐구 기능을 강조하고, 지시약의 색깔 변화 등 정성적인 실험을 다룰 뿐, IJSO가 요구하는 특정 실험 기술이나 정량적 데이터 처리 방법을 명시적으로 포함하지 않는다.

셋째, 구조적 간극이다. IJSO는 연구 질문 1에서 분석했듯이 ‘6대 대주제(Big Ideas)’를 통해 학제간 통합을 지향하는 반면, 과학과 교육과정에서는 ‘운동과 에너지’, ‘물질’, ‘생명’ 등 여전히 분과적 영역 구분이 강한 체계가 유지되고 있다. 이러한 구조적 차이는 단순한 형식의 문제가 아니라, 학생들의 과학적 사고 발달에 실질적 영향을 미칠 수 있다(Lederman & Lederman, 2014). 통합 구조는 학생들이 과학 현상을 여러 분과의 관점에서 종합적으로 이해하고, 실제 문제 해결에 다학문적 접근을 적용하는 능력을 함양하는 데 유리하기 때문이다. 반면 분과적 구조는 각 학문의 개념적 깊이를 체계적으로 다루는 데는 효과적이거나, 학제간 연결과 실제 맥락 적용에서는 한계를 가질 수 있다.

#### 나. IJSO 교수요목과 KJSO 교육과정 내용 비교

KJSO 정규 교육과정(1~3단계)에서 이루어지는 교육 내용과 IJSO 교수요목의 내용을 비교 분석한 결과 내용 지식 및 탐구 기능의 정합성 측면에서, KJSO 교육과정은 IJSO 표준과 높은 정합성을 보였다. KJSO는 국가 교육과정과 IJSO 표준 사이의 ‘내용적 간극(content gap)’과 ‘기능적 간극(skills gap)’을 효과적으로 메우는 가교(bridge) 역할을 수행하고 있다.

KJSO 교육과정의 보완적 기능을 수행하고 있음은 분명하지만, IJSO 교수요목과의 KJSO 교육 내용 사이에도 구조적 간극은 존재하였다 (이하 ‘Gap 2’). IJSO가 ‘6대 대주제’를 통해 물리학, 화학, 생명과학의 통합적 접근을 강조하는 것과 달리, KJSO 교육과정은 1~3단계에 걸친 30주간의 교육에서 세 학문 영역이 엄격하게 분리되어 운영되고 있음을 볼 수 있다. KJSO 교육과정의 영역과 단계별 주요 교육내용에서 나타나는 설계의 특징을 분석한 결과(표 4)는 물리-화학의 에너지-열역학적 연계는 이루어지고 있지만, 생물과의 연계는 상대적으로 약함을 보여준다. 즉, KJSO는 IJSO가 요구하는 ‘내용 지식’과 ‘탐구 기능’은 충실히 따르지만, ‘학제간 통합’이라는 IJSO의 핵심 교육 철학을 교육과정 구조 자체에 반영하는 데는 여전히 한계 지니고 있다.

Table 4. KJSO 교육과정의 주요 교육 내용 및 설계상의 특징

영역	1단계	2단계	3단계	수직적 계열화
물리학	속력과 속도, 등가속도 운동, 뉴턴 운동 법칙, 일과 운동 에너지, 전기 회로, 온도와 열, 파동, 빛 - 기초 개념 중심, 중학교 수준	삼각함수, 힘의 합성과 분해, 역학적 에너지 보존, 운동량과 충격량, 압력과 부피, 파동, 광학 등 수학적 정량적 접근. 관계 이해 중심 학습	관성력, 원심력, 전자기학, 열역학 법칙, 베르누이 방정식, 도플러 효과, 빛의 간섭, 오차 최소화, 정량적 실험 측정 중심	기초→정량→통합의 나선적 심화 구조가 뚜렷

화학	원소, 원자, 물질의 상태, 주기율표, 밀도, 혼합물의 분리, 화학 반응, 물질의 상태, 산과 염기, 산화 환원 등 기초 화학 개념	물, 화학 반응의 양적 관계, 화학 결합, 기체 법칙, 산과 염기, 중화 반응, 산화 환원 반응	기체의 성질, 화학 평형, 산-염기 평형, 중화 적정 등 측정 중심 실험. 실험 오차 최소화 강조	개념→정량→측정 중심의 논리적 구조
생명과학	소화·순환·호흡계·감각기관, 세포, 광합성, 유전 현상 등 생명 현상의 기초	신경계, 물질대사 심화, 유전물질, 돌연변이, 생태계, 에너지 흐름과 물질순환 등	동물생리(호흡, 순환, 배설, 생식) 심화, 세포 및 물질대사 심화, 현미경 조작, 자연 선택과 진화, 분류, 식물의 구조생물 실험 수행	생리학→세포→개체→계통→진화의 연계
수평적 연계	에너지 변환(물리의 운동·화학 반응·생물의 호흡) 주제로 자연스러운 연계 형성	정량적 법칙(기체, 열역학) ↔ 생명 시스템의 물질대사 연계 가능성 존재	화학반응과 에너지 보존 등 정밀 측정·오차 분석의 공동 목표로 통합 실험 설계 가능	물리-화학 간 정량 통합은 높은 편, 생물과의 통합 강화 필요

다. 심화보완적 기능을 수행하는 가교(bridge)로서의 KJSO 교육과정

〈Table 5〉는 2022 개정 과학과 교육과정의 세부 영역과 KJSO의 단계별 교육 내용을 학문적 관련성에 기초하여 대응시킨 결과이다. 분석 결과에서 보이듯이 KJSO의 1~3단계 교육이 국가 교육과정의 핵심 아이디어 체계와 거의 완전하게 정합되는 구조임을 알 수 있다. 물리학 영역은 P1부터 P4까지(힘·에너지, 전기·자기, 열, 빛·파동) 전체에 균형 있게 분포하며 심화된다. 화학은 C1부터 C3까지(성질·변화·구조) 단계별로 심화되며, 생물은 B1부터 B5까지 전 영역을 점진적으로 포괄한다.

Table 5. 2022 개정 과학과 교육과정 영역과 KJSO 단계별 교육 내용의 연계

2022 개정 과학과 교육과정	KJSO 1단계 (기초 개념)	KJSO 2단계 (심화·정량)	KJSO 3단계 (실험·통합)
P1. 힘과 에너지	운동하는 물체, 힘, 에너지 변화와 보존	운동 법칙 응용, 에너지 전이 분석 (정성/정량)	역학·에너지 변환 복합 실험 설계
P2. 전기와 자기	전기 현상, 전기 회로 특성	전기·자기 상호작용, 전자기 유도	전자기학 실험, 회로 설계·측정
P3. 열	열과 압력, 온도 변화 기초	이상기체 방정식, 열역학 법칙 (정량)	발열량 측정, 에너지 효율 응용 실험
P4. 빛과 파동	소리, 빛의 성질	파동의 성질, 광학 현상(굴절, 간섭)	정량적 파동 분석, 장비 활용 실험
C1. 물질의 성질	물질 상태, 혼합물 분리, 산과 염기	원자 구성, 원자모형, 화학 결합, 기체 법칙	기체, 고체, 용액의 성질, 화학적 조성비, 발열량 정량 분석
C2. 물질의 변화	화학 반응 법칙, 연소, 산화, 중화/산화·환원 반응	산화환원, 중화 반응	반응 속도, 화학 평형, 중화 적정

	기초		
C3. 물질의 구조	원자, 분자, 결합 기초	분자 구조, 상태 방정식, 상평형	고분자 구조, 화학 결합 특성 분석
B1. 생물의 구조와 에너지	세포 구조, 광합성 기초	세포호흡, 효소, 식물의 구조와 기능	물질대사(세포호흡, 발효, 광합성심화), 식물의 구조, 효소
B2. 항상성과 몸의 조절	소화계, 순환계, 호흡계, 감각기관, 신경계	신경전달, 호르몬, 근수축, 질병과 면역	면역계, 신경계 통합 조절
B3. 생명의 연속성	생식과 발생, 세포분열, 유전 물질 기초, 가계도	세포 주기, 유전 물질, 돌연변이	유전자 발현, 진화
B4. 환경과 생태계	생물다양성	생태학 개념, 종 간 상호작용, 에너지 흐름, 물질 순환	종 분화, 생물 분류
B5. 생명과학과 인간의 생활		인류 건강, 물질 순환	

이처럼 KJSO 교육과정은 국가 교육과정의 토대 위에서 작동하고 있다. 2022 개정 과학과 교육과정에서 제시하는 내용 체계(물리학 P1~P4, 화학 C1~C3, 생명과학 B1~B5)는 KJSO 교육과정의 심화 학습을 위한 토대가 되고 있다.

하지만 이러한 큰 틀에서의 정합성에도 불구하고, 2022 개정 과학과 공통 교육과정(초등에서 중학교 1~3학년군까지)의 내용 체계와, IJSO 교수요목 및 KJSO 교육과정이 요구하는 내용을 자세히 살펴보면, IJSO와 KJSO가 요구하는 핵심 내용 상당수가 중학교 과정에는 포함되지 않는다. 고등학교 '선택 중심 교육과정'의 과목에서 처음 도입되는 내용, 특히 '정량적 분석'을 요구하는 내용에서 이러한 간극이 두드러짐을 알 수 있다(Table 6).

Table 6. IJSO/KJSO 교육 내용과 2022 개정 과학과 교육과정 공통-선택 과정 간의 간극

학문 영역	주요 간극 (IJSO/KJSO 요구)	IJSO/KJSO 관련 항목 예시	2022 개정 공통교육과정 (중학교)	2022 개정 선택 중심 교육과정 (고등학교)
물리학	운동량 및 보존	IJSO:3-10 (Momentum) KJSO(2단계):"운동량 보존"	'힘과 운동'의 정성적 관계 (P1)	[일반 선택] 물리학 ('힘과 에너지' 영역)
	열역학 법칙	IJSO:3-77 (First law of thermodynamics) KJSO(3단계):"열역학 제1법칙", "열기관"	'열과 온도', '비열' 등 현상 중심 (P3)	[일반 선택] 물리학 ('힘과 에너지' 영역)
화학	몰(Mole)과 화학양론	IJSO:2-21 (Stoichiometry) KJSO(2단계):"화학양론"	없음 (정성적 화학 반응만 다룸)	[일반 선택] 화학 ('화학의 언어' 영역)
	산화-환원 (산화수)	IJSO:2-29, 2-30 (Redox) KJSO(1단계):"산화-환원반응 기초" KJSO(2단계):"산화수"	산소 이동 중심의 정성적 정의 (C2)	[진로 선택] 화학반응의 세계('산화·환원 반응' 영역)

	산-염기 중화 적정	IJSO:1-21 (Titrations) KJSO(1단계):"중화 반응 기초" KJSO(2단계):"중화 반응" (정량)	지시약 색 변화 등 정성적 확인 (C1)	[진로 선택] 화학반응의 세계('산 염기 평형' 영역)
	반응 속도 및 평형	IJSO:2-43 (Reaction rate), 2-46 (Equilibrium) KJSO(3단계): "반응속도", "화학 평형"	없음	[일반 선택] 화학(화학 평형) [진로 선택] 물질과 에너지(반응 속도)
생명과학	분자 수준의 유전	IJSO:4-22 (DNA) KJSO(2단계): "돌연변이" KJSO(3단계): "유전자 발현"	멘델 유전 법칙, 기본 가계도 (B3)	[진로 선택] 생물의 유전 (‘유전자와 유전물질’, ‘유전자의 발현’)

물리학 영역의 경우, 2022 개정 중학교 과정은 힘, 에너지, 전기, 파동 등의 기본 개념을 정성적으로 다루는 데 초점을 맞춘다. 그러나 IJSO와 KJSO 2단계 등에서 요구하는 정량적 분석 내용은 고등학교 일반선택 과목인 ‘물리학’ 수준에서 주로 다루어진다. 예를 들어, IJSO 교수요목과 KJSO 2단계의 핵심 정량 분석 주제인 ‘운동량과 운동량 보존 법칙’은 중학교 과정에서는 명시적으로 다루지 않으며, ‘힘과 에너지’ 영역에서 처음 도입된다. 마찬가지로 ‘열역학 제1법칙’과 ‘열기관의 효율’ 등 IJSO와 KJSO에서 다루는 주제 역시 ‘힘과 에너지’ 영역의 ‘열과 에너지 전환’에 관한 내용에 해당한다.

화학 영역은 세 과목 중 간극이 가장 크게 나타나는 분야이다. IJSO와 KJSO에서 요구하는 거의 모든 ‘정량 화학’의 기초가 중학교 과정에는 부재하며, 고등학교 일반선택 과목인 ‘화학’과 진로선택 과목인 ‘물질과 에너지’, ‘화학반응의 세계’ 과목의 핵심 주제들과 일치한다. IJSO 교수요목과 KJSO 2단계의 핵심인 ‘몰(mol)’ 개념과 이를 이용한 ‘화학 반응의 양적 관계(화학양론)’는 2022 개정 중학교 과정에서 전혀 다루어지지 않는다. 이는 ‘화학’의 첫 번째 대단원에서 가장 핵심적으로 도입되는 내용이다. 또한, ‘산화수’ 개념을 이용한 정량적 ‘산화·환원 반응’과 ‘중화 적정’ 및 ‘농도 계산’ 역시 중학교 과정이 아닌 ‘화학반응의 세계’의 ‘산 염기 평형’ 영역에 해당한다. 나아가 ‘반응 속도’와 ‘화학 평형’은 진로선택 과목인 ‘물질과 에너지’에서 본격적으로 다루어진다.

생명과학 영역은 물리, 화학에 비해 중학교 과정과의 연계성이 높은 편이나, ‘분자생물학적 접근’과 ‘분석적 사고’를 요구하는 영역에서 고등학교 진로선택 과목인 ‘생물의 유전’ 수준의 간극이 발견된다. 중학교 과정이 멘델 유전 법칙과 기본적인 가계도 분석을 다루는 반면, IJSO 교수요목과 KJSO 2단계에서 요구하는 ‘DNA 구조’나 ‘유전자 발현(전사, 번역)’ 등 분자 수준의 접근은 ‘생물의 유전’의 ‘유전자와 유전물질’, ‘유전자 발현’ 단원에서 핵심적으로 다루어진다.

이상의 분석 결과를 종합해볼 때 KJSO 교육과정은 국가 교육과정에 따라 학습한 학생들을 대상으로, 공통 교육과정만으로는 도달할 수 없는 IJSO 요구 수준과의 간극(Gap 1)을 연결하는 가교가 되는 과학영재교육 프로그램으로 기능하고 있음을 알 수 있다.

### 3. KJSO 참여학생의 학업 성취도 분석 결과 및 교육과정 개선을 위한 시사점

교육과정 비교 분석을 통해 파악된 교육과정의 간극이 학생들의 성취에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 KJSO 교육과정 1~3단계에 참여한 학생들의 주차별 형성평가 성취도 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다.

#### 가. 단계별 성취도 분석: '2단계' 과정에 대한 낮은 성취도

KJSO 교육과정 1~3단계의 주차별 성취 점수에 대한 단순 관측 평균(Observed Mean,  $M_{obs}$ )을 시각화한 결과에서 학생들의 성취도는 단계와 주차에 따라 뚜렷한 차이를 보였다(Figure 1).

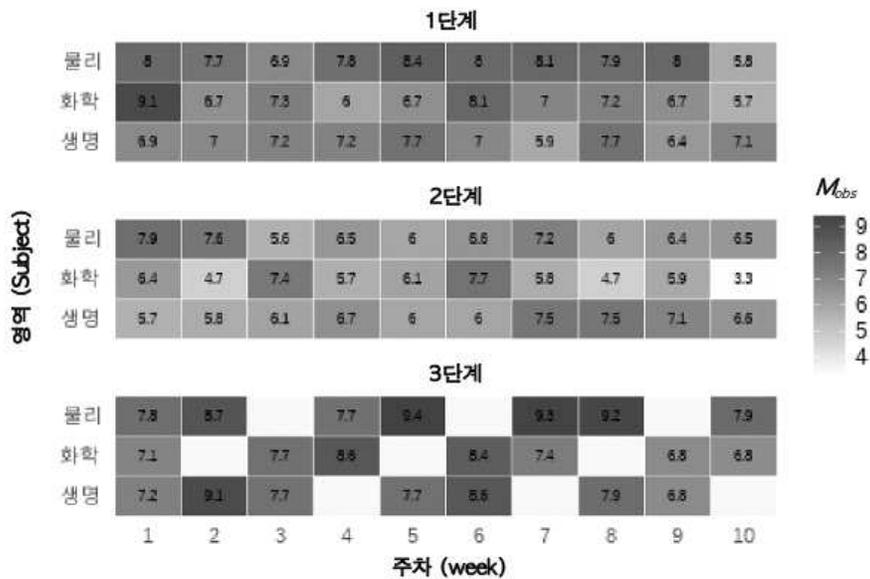


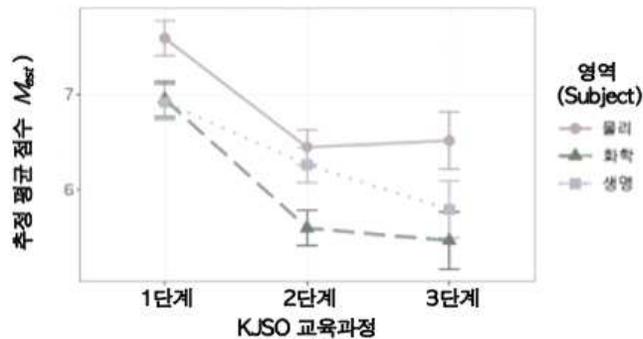
Figure 1. KJSO 단계 및 영역별 성취도 히트맵

기초 통계 분석 결과, 교육과정 단계별 관측 평균( $M_{obs}$ )은 1단계 7.24점( $SD=2.28$ ), 2단계 6.30점( $SD=2.62$ ), 3단계 8.01점( $SD=1.77$ )으로 나타났다. 이는 2단계에서 성취도가 일시적으로 하락하는 경향을 보여준다. 이러한 '2단계 성취도 하락' 현상은 특히 화학 영역에서 두드러졌는데, 화학의 경우 1단계 7.04점에서 2단계 5.80점으로 급락하며 모든 단계 및 영역을 통틀어 가장 낮은 성취 수준을 기록하였다.

그러나 이러한 단순 평균의 차이는 중도 탈락자로 인한 데이터 불균형이나 특정 우수 학생 집단의 생존 편향이 반영되었을 가능성이 있다. 따라서 학생들의 성취도 변화가 단순한 집단 특성의 차이가 아닌, 실제 교육과정 단계별 난이도 상승에 기인한 것인지 검증하기 위하여 선형 혼합 모형(Linear Mixed Model, LMM)을 적용한 심층 분석을 수행하였다.

분석한 결과, 학업 성취도에 대한 교육과정 단계의 주효과( $F(2, 16220)=520.41, p<.001$ )와 교과 영역의 주효과( $F(2, 15881)=99.91, p<.001$ )가 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 특히, 단계와 영역 간의 상호작용 효과가 유의미하게 나타나( $F(4, 15880)=23.47, p<.001$ ), 과목 영역에 따라 단계별 성취도의 변화 양상에 뚜렷한 차이가 있음이 확인되었다.

추정 한계 평균(Estimated Marginal Means, EMM 또는  $M_{est}$ )을 통한 사후 분석 결과, 물리 영역은 1단계( $M_{est} = 7.59, SE=.09$ )에서 가장 높은 성취를 보였으나 2단계( $M_{est} = 6.45, SE=.09$ )에서 급격히 하락한 후 3단계( $M_{est} = 6.52, SE=.15$ )까지 낮은 수준이 유지되는 경향을 보였다. 화학 영역은 1단계( $M_{est} = 6.95, SE=.09$ ) 대비 2단계( $M_{est} = 5.60, SE=.09$ )에서 가장 큰 폭의 성취도 하락을 보였으며, 3단계( $M_{est} = 5.46, SE=.15$ )에서도 최저 수준이 지속되었다. 반면, 생명과학 영역은 1단계( $M_{est} = 6.92, SE=.09$ ), 2단계( $M_{est} = 6.26, SE=.09$ ), 3단계( $M_{est} = 5.79, SE=.15$ )로 진행됨에 따라 성취도가 점진적으로 하락하는 선형적 패턴을 나타냈다(Figure 2).



(추정평균점수( $M_{est}$ )가 낮을수록 어려운 내용임)

Figure 2. 학업 성취 점수에 대한 LMM 분석에 기반한 KJSO 단계별 교육 난이도

이 분석 결과는 교육과정의 단계적 심화와 학습자 선발 기제가 복합적으로 작용한 결과로 해석될 수 있다. LMM 분석 결과, 모든 교과 영역에서 단계가 진행됨에 따라 EMM이 유의하게 감소하는 경향을 보였는데, 이는 교육과정이 상위 단계로 이행함에 따라 학습 내용의 난이도와 복잡성이 실질적으로 상승하였음을 시사한다. 특히 화학 영역의 급격한 성취도 하락과 생명과학 영역의 선형적 하락 패턴은 해당 단계의 교육 내용이 학생들에게 상당한 인지적 부하를 주고 있음을 보여준다.

주목할 점은 3단계에서의 단순 관측 평균( $M_{obs}=8.01$ )과 LMM 추정 평균( $M_{est}\approx 5.92$ ) 간의 현저한 괴리이다. 난이도 상승에도 불구하고 관측 평균이 반등한 현상은, 하위 단계에서 학업 성취가 낮은 학생들이 중도 탈락하고 상위 역량을 가진 학생들이 선발되어 잔류하는 '선발 효과'에 기인한 것으로 판단된다. 즉, KJSO 교육과정은 단계별로 점차 난이도가 심화되는 배치를 통해 자연스럽게 고성취 학생

을 선별하는 기능을 효과적으로 수행하고 있음을 알 수 있다. 한편, 2단계와 같은 특정 구간에서의 나타나는 급격한 난이도 상승은 학생들의 학업 지속을 저해하는 잠재적 위험 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다.

#### 나. 하위 영역별 강점 및 약점

〈Figure 3〉은 KJSO 참여 학생들의 강점과 약점을 체계적으로 분석하기 위해, 2022 개정 과학과 교육과정의 하위 영역(물리학 P1~P4, 화학 C1~C3, 생명과학 B1~B5)에 KJSO의 주차별 학습 내용을 매핑하고, 영역별 성취 균형을 시각화할 수 있도록 각 하위 영역의 평균 점수(*Mobs*)를 1점에서 5점 척도로 표준화하여 방사형 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 5점에 가까울수록 해당 하위 영역의 성취가 다른 영역(주제)에 비하여 상대적으로 높음을 의미한다.

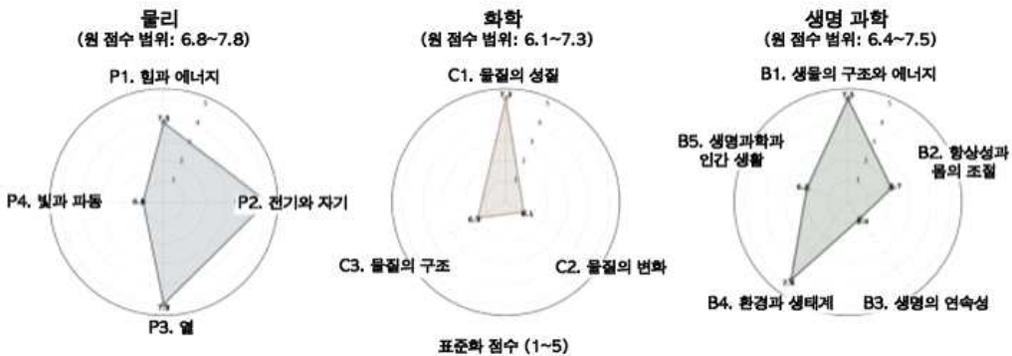


Figure 3. 과학과 교육과정의 영역별 주제에 대한 KJSO 참여학생들의 학업 성취도

분석 결과는 영역별로 다음과 같이 뚜렷한 강점과 약점을 나타내었다.

물리학 영역에서는 P1(힘과 에너지), P2(전기과 자기), P3(열), P4(빛과 파동)의 4개 하위 영역에서 비교적 균형 잡힌 높은 성취도를 보였다. 이는 KJSO 물리 교육과정이 국가 교육과정의 정성적 접근을 IJSO의 정량적 수준으로 효과적으로 심화·연계하고 있음을 시사한다.

화학 영역에서는 C1(물질의 성질)과 C3(물질의 구조)에서는 높은 성취도를 보인 반면, C2(물질의 변화) 영역에서 극명한 취약점이 나타났다.

생명과학 영역에서는 B1(생물의 구조와 에너지), B2(항상성과 몸의 조절), B4(환경과 생태계) 등 대부분 영역에서 성취가 높았으나, B3(생명의 연속성) 영역에서 뚜렷한 약점을 보였다.

## 다. 성취 결과와 교육과정 간극의 연관성

학업 성취도 분석 결과 나타난 특정 영역의 취약점, 즉 화학 C2(물질의 변화) 영역과 생물 B3(생명의 연속성) 영역의 낮은 성취도는 교육과정 비교 분석을 통해 식별된 '교육과정 간극(Gap 1)'과 직접적으로 연결된다. 이러한 연관성은 교육과정 문서 분석을 통해 이론적으로 도출된 간극이 학생들의 실제 학업 성취에 구체적으로 어떻게 영향을 미치는지를 실증적으로 보여준다.

### *화학 C2(물질의 변화)의 취약성: '정량화 간극'의 실증*

교육과정 비교 분석에서, 대한민국 국가 교육과정은 화학 개념을 주로 정성적 이해 중심으로 다루는 반면, IJSO 표준은 화학양론(stoichiometry), 산-염기 적정, 산화-환원 반응 등에서 고도의 정량적 계산을 핵심적으로 요구하는 '간극(Gap 1)'이 존재함을 밝힌 바 있다. 본 연구에서 학업 성취도 하위 20%에 해당하는 데이터를 분석한 결과, 이러한 교육과정 간극이 학생들의 실제 학업 성취도에 직접적인 영향을 미치고 있음이 확인되었다.

가장 낮은 성취도를 보인 주제는 2단계 화학의 "산화수+산화환원반응/화학양론"(3.30점) 및 "화학 반응의 양적 관계"(4.68점), "중화 반응"(5.87점)이었다. 이들 주제의 공통점은 모두 몰(mole) 개념을 기반으로 한 정량적 계산을 필수적으로 요구한다는 것이다. 표 6에서 제시한 바와 같이, 이러한 내용들은 대한민국 중학교 과학과 공통 교육과정에서는 전혀 다루어지지 않으며, 고등학교 진로선택 과목인 '물질과 에너지', '화학반응의 세계'에서 처음 도입되는 내용이다.

학생들은 KJSO 1단계 1주차에서 처음으로 몰 개념을 학습하지만(평균 6.39점), 이후 불과 10주 이내에 화학양론, 산화환원 반응의 정량적 계산, 기체 법칙 등 연속적인 고난도 정량 화학 주제를 접하게 된다. 특히 2단계 10주차는 '산화수 개념'과 '화학양론 적용'이라는 두 가지 복잡한 정량 개념이 동시에 요구되는 지점으로, 학생들은 이 '정량화 간극'을 처음으로 본격적으로 접하면서 가장 큰 학업적 어려움을 겪게 된다. 이는 학생들이 취약한 화학 C2 영역이 국가 교육과정에서는 부재하나 IJSO 표준에서는 핵심적으로 요구하는 '정량적 문제 해결' 영역과 정확히 일치함을 보여준다.

### *생물 B3(생명의 연속성)의 취약성: '분석적 사고 간극'의 실증*

생물 영역에서 나타난 취약점 역시 교육과정 비교에서 식별된 'Gap 1'과 직접적으로 연관된다. 학업 성취도 하위 20% 데이터를 분석한 결과, 생물 영역의 취약점은 1단계의 "세포분열/멘델유전학"(5.55점) 및 "가계도 분석"(6.29점)에서 집중적으로 발생하였다. 이들 주제는 모두 생물 B3(생명의 연속성) 영역에 해당한다.

이러한 취약성이 나타나는 근본 원인은 해당 영역이 단순한 지식의 암기가 아닌 고등 사고 능력을 요구하기 때문이다. 가계도 분석은 논리적 추론 능력을, 멘델 유전 법칙은 정량적 확률 계산 능력을, 세포분열은 복잡한 과정에 대한 체계적 이해를 각각 필요로 한다. 교육과정 비교 결과가 보여주듯이, 대한민국 국가 교육과정(중학교)이 멘델 유전 법칙과 기본적인 가계도를 정성적 수준에서 다루는 반

면, IJSO와 KJSO는 유전 확률의 정량적 계산, 복잡한 가계도의 논리적 추론, DNA 구조 및 유전자 발현과 같은 분자 수준의 이해를 요구한다. 이러한 내용은 고등학교 진로선택 과목인 '생물의 유전'에서 처음 도입되는 것으로, 중학생 수준의 학생들에게는 높은 수준의 '분석적 사고'를 요구하는 영역이다.

학생들이 유전학과 세포분열에서 어려움을 겪는 것은 단순히 내용 자체가 어렵기 때문이 아니라, 정량적·논리적 추론 능력이라는 새로운 유형의 인지적 기능을 요구받기 때문이다. 국가 교육과정의 토대만으로는 이러한 고등 사고 능력을 요구하는 국제 표준의 기준을 충족하기 어려우며, 이는 화학 영역의 '정량화 간극'과 더불어 또 다른 형태의 'Gap 1', 즉 '분석적 사고 간극'을 구성한다.

#### *물리학 영역의 상대적 안정성: 국가 교육과정 연계의 효과*

흥미롭게도, 2단계 물리학 점수의 평균(6.62점)은 2단계 화학(5.76점)이나 생명과학(6.60점)에 비해 상대적으로 높은 학업 성취도를 유지하였다. 2단계 물리학의 취약 주차(3주차 5.64점, 5주차 6.01점, 8주차 6.02점)는 2단계 화학의 극단적 취약 주차(3.30~4.71점)만큼 심각하지 않았다.

이는 물리 영역의 경우, 국가 교육과정이 비록 정성적이긴 하나 힘, 에너지, 운동, 전기·자기 등의 '기본 개념'을 비교적 충실히 다루고 있어, 이를 정량화하는 2단계로의 전환이 화학이나 생물에 비해 상대적으로 점진적이기 때문으로 해석된다. 즉, 물리는 '개념은 있으나 정량화가 부족'한 반면, 화학은 '개념 자체(몰, 화학양론)가 부재'하여 간극이 더 크게 나타나는 것이다. 이는 Gap 1의 크기가 과목별로 상이하므로, 국가 교육과정과의 연계성이 클수록 영재 학생들의 학습 부담이 경감됨을 시사한다.

#### *라. 교육과정 간극의 누적 효과: 2단계 성취도 하락의 구조적 원인*

이상의 성취도-간극 연계 분석은 국내 과학교육 고도화를 위해 다음과 같은 두 가지 핵심 시사점을 제공한다.

첫째, KJSO 영재 교육과정의 개선 방향이다. KJSO는 'Gap 1'을 성공적으로 보완하고 있으나, 학업 성취도 데이터는 '2단계 화학(C2)'과 '생물(B3)' 영역에서 교육 방법의 개선이 시급함을 보여준다. 이는 단순히 해당 주제의 시수를 늘리는 것을 넘어, 1단계(기초)에서 2단계(정량적 개념)로의 전환과정에서 학생들이 어려움을 겪고 있으므로, 이에 대한 적절한 방안 마련이 필요함을 시사한다.

둘째, 과학 교육의 토대인 국가 교육과정 대한 개선 방향이다. 최상위권 영재 학생들조차 화학양론과 유전학 등 핵심 정량·분석 영역에서 큰 어려움을 겪는다는 사실은, 이 간극이 KJSO 프로그램만으로 해결하기에는 너무 크다는 것을 방증한다. 국제 기준에 부합하는 과학교육 고도화를 위해서는, 국가 교육과정 자체도 '정성적 이해'에만 머무르지 말고, 중학교 단계에서부터 기초적인 정량적 접근(예: 간단한 화학 반응식 계산)과 분석적 사고(예: 데이터 해석) 요소를 점진적으로 도입하여 그 토대를 강화해야 함을 시사한다.

## IV. 결론 및 제언

본 연구는 국제 기준에 부합하는 국내 과학 교육의 고도화 방향을 탐색하기 위해, 국제중등과학올림피아드(IJSO)를 국제 표준의 준거로 설정하고, 대한민국 국가수준 과학과 교육과정 및 한국중학생과학올림피아드(KJSO) 정규 교육과정을 비교 분석한 연구이다. 나아가 KJSO 참여 학생들의 실제 성취도 데이터를 교육과정 간의 '간극'과 연계하여, 교육과정의 효과성과 한계점을 실증적으로 진단하였다.

본 연구의 세 가지 연구 질문에 대한 핵심 결론은 다음과 같다.

첫째, IJSO 교수요목이 제시하는 국제 수준의 과학교육 기준은 '지식'과 '기술', '통합'을 유기적으로 결합한 형태이다. 이는 (1) 물리학, 화학, 생명과학의 분과적 접근을 넘어 '6대 대주제(Big Ideas)'를 중심으로 한 학제간 통합 구조를 지향하며, (2) 단순 개념 이해를 넘어 수학적 활용을 포함한 '정량적 분석'을 필수적으로 요구하고, (3) '일반 과학 기술' 및 '구체적 실험 기술(예: 적정, 분광법)'을 명시적으로 강조하며, (4) 최종 평가는 '지식의 인출'이 아닌 '정보 기반의 고등 사고 및 추론 능력'을 핵심으로 삼는다.

둘째, 세 교육과정 간의 정합성 및 간극 분석 결과, 대한민국 국가 교육과정과 IJSO 국제 표준 사이에는 매우 큰 '간극(Gap 1)'이 존재하였다. 국가 교육과정(중등)은 정성적, 개념적 이해에 초점을 맞추는 반면, IJSO는 정량적 분석과 구체적 과학 기술을 요구한다. KJSO 교육과정은 국가 교육과정의 토대 위에서 이러한 'Gap 1'을 메꾸기 위한 심화·속진 프로그램으로 설계되었으며, 내용 지식과 기술 측면에서 IJSO 표준과 높은 정합성을 보였다. 그러나 IJSO가 '통합 구조'를 지향하는 것과 달리, KJSO는 물리학, 화학, 생명과학을 분절적으로 운영하는 '구조적 간극(Gap 2)'을 지니고 있었다.

셋째, KJSO 학생 성취도와 교육과정 간극의 연관성 분석 결과에서 식별된 'Gap 1'이 학생들의 실제 학업 성취에 직접적인 영향을 미침을 실증적으로 확인하였다. KJSO 1단계(기초)에서 2단계(심화·정량)로 진입할 때 성취도가 유의미하게 하락하였으며, 특히 취약점이 드러난 영역은 화학 C2(물질의 변화)와 생물 B3(생명의 연속성)였다. 이는 국가 교육과정에서는 부재하나 IJSO 표준에서는 핵심적으로 요구하는 '화학양론' 및 '가계도 분석', '유전자 발현' 등 정량적·분석적 사고 영역과 정확히 일치하였다. 이는 국가 교육과정의 토대와 국제 표준 간의 간극이 너무 커서, 최상위권 영재 학생들조차 이 '간극'을 극복하는 데 큰 어려움을 겪고 있음을 시사한다.

이상의 연구 결론을 바탕으로, 국제 기준에 부합하는 국내 과학(영재) 교육 고도화를 위해 다음과 같이 제언한다.

첫째, KJSO 교육 프로그램의 교육 방법론 개선이 필요하다. 학업 성취도 데이터는 KJSO가 국가 교육과정의 간극을 성공적으로 메우고 있음을 증명하는 동시에, '2단계 화학(C2)'과 '생물(B3)' 영역이 학생들의 핵심적인 '인지적 부하 지점'임을 명확히 보여주었다. 따라서 이 영역들에 대해 단순히 학습 시간을 늘리는 것이 아니라, 1단계(개념)에서 2단계(정량)로의 '연착륙'을 유도할 수 있는 교육과정의 재구조화와 교수법 개발이 시급하다. 또한, IJSO의 통합 철학을 반영하기 위해, KJSO의 분절적 운영(Gap 2)을 보완할 수 있는 '학제간 통합 모듈' 또는 '통합형 프로젝트'를 3단계 교육과정에 도입할 것

을 제안한다.

둘째, 과학 영재교육을 위한 국가수준 과학과 공통 교육과정의 심화 논의가 필요하다. 본 연구 결과는 국가 교육과정과 국제 표준 간의 'Gap 1'이 KJSO 프로그램만으로는 완전히 해소하는 데 한계가 있음을 보여준다. 국제적 경쟁력을 갖춘 과학 인재 양성을 위해서는, '토대'가 되는 국가 교육과정 자체의 고도화가 필수적이다. 이는 2022 개정 과학과 교육과정의 방향성과도 일치한다. 구체적으로, 중학교 과학과 교육과정이 정성적 개념 이해에만 머무르지 않고, 국제 표준이 요구하는 '기초적인 정량적 접근'(예: 간단한 화학 반응식 계산, 유효 숫자 개념) 및 '데이터 기반 분석적 사고' 요소를 점진적으로 도입하여 그 토대를 강화해야 함을 제안한다. 이는 상위 단계 학습으로의 급격한 난이도 상승 충격을 완화하고, 보다 견고한 과학 교육의 기반을 마련하는 데 기여할 것이다.

## 참고문헌

- 교육부 (2015). **과학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9].
- 교육부 (2022). **과학과 교육과정**. 교육부 고시 제2022-33호 [별책 9].
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40.
- Greator, J., Rushton, N., Coleman, T., Darlington, E. & Elliott, G. (2019). *Towards a method for comparing curricula*. Cambridge Assessment Research Report. Cambridge Assessment.
- IJSO. (2009). *Syllabus of the International Junior Science Olympiad*. [https://ijsoweb.org/qna/IJSO\\_syllabus\\_accepted\\_20091204.pdf](https://ijsoweb.org/qna/IJSO_syllabus_accepted_20091204.pdf)
- IJSO. (2020). *Syllabus of the International Junior Science Olympiad*. <https://ijsoweb.org/qna/IJSO-Syllabus-2020-update-corrected-version.pdf>
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In *Handbook of research on science education*, volume II (pp. 600-620). Routledge.
- Nandy, A., & Pramanik, S. (2025). A systemic comparison of secondary-level Science Olympiad programs in India, Singapore, and the USA. *Bharati International Journal of Multidisciplinary Research & Development*, 3(4), 1-35.
- Porter, A. C., & Smithson, J. L. (2001). *Defining, developing, and using curriculum indicators* (CPRE Research Report Series RR-048). Consortium for Policy Research in Education.

# Direction for Improving Science Gifted Education for Middle School Students Based on the Analysis of Curriculum and Academic Achievement

Hyoungh-Young Park(Gyeongin National University of Education)

**Abstract** : This study used the International Junior Science Olympiad (IJSO) syllabus as an international benchmark to compare South Korea's national science curriculum with the Korea Junior Science Olympiad (KJSO) regular curriculum and to connect curriculum gaps with achievement data from KJSO participants. The IJSO standards emphasize interdisciplinary integration, quantitative analysis, and specific inquiry/experimental skills; however, the national curriculum shows a content gap (Gap 1) in quantitative and experimental inquiry competencies, which the KJSO program addresses through enrichment and acceleration. Nevertheless, a structural gap (Gap 2) persists because the KJSO curriculum operates in fragmented disciplinary modules rather than an integrated structure. Achievement analyses indicated relatively lower performance in domains missing from the national curriculum—especially quantitative chemistry and analytical thinking in biology—suggesting that Gap 1 functions as a cognitive-load point that directly constrains student performance. These findings imply that while KJSO can bridge national curricula and international standards, targeted methodological supports at gap points and the gradual introduction of basic quantitative and analytical elements into the national curriculum are needed.

\* Key words : science gifted education, IJSO, KJSO, curriculum analysis, student achievement

논문접수 : 2026.01.06.

게재승인 : 2026.02.18.