

과학 교과와 세부 영역별 학업 성취에 영향을 미치는 학생 및 학교 변인¹⁾

김희경 (한국교육과정평가원 선임연구위원)*

김미림 (한국교육과정평가원 부연구위원)**

요약

본 연구의 목적은 과학 교과 8개 세부 학습영역별 성취도에 영향을 미치는 배경변인을 살펴보는 것이다. 이를 위하여 랜덤 포레스트 및 다층 모형을 사용하여 국가수준 학업성취도 평가 자료를 분석하였다. 분석 결과, 과학 교과 세부 학습영역 전체에 영향을 미치는 공통 요인도 있으나, 세부 학습영역별로 차별적인 영향력을 지닌 요인도 있음을 확인하였다. 즉, 교과에서의 학업성취 차이는 다양한 교육 맥락변인의 차이에서 발생할 수 있으며, 또한 각각의 세부 학습영역별 성취를 향상시키는 데 효과적인 변인은 상이할 수 있다. 따라서 학생의 학업성취를 효과적으로 지원하기 위해서는 교육맥락변인과 연계하여 평가 결과를 분석·해석하는 것이 중요할 것으로 보인다. 또한 본 연구의 분석 결과에 의하면, 학생의 과학 교과에 대한 정의적 특성을 바람직한 방향으로 적극 지원하는 방안이 과학 교과의 모든 세부 학습영역에서의 성취를 향상시키는 데 효과적임을 알 수 있다. 본 연구의 분석 결과는 향후 지역별, 학교별로 나타나는 취약한 세부 학습영역에서의 학업성취도 향상을 위하여 개선이 필요한 교육적 여건에 대한 기초 자료를 제공한다.

주제어: 과학 교과, 세부 학습영역, 학업성취도, 랜덤 포레스트, 다층 모형

1) 본 논문은 ‘국가수준 학업성취도 평가 점수 체제 개선 및 결과 활용도 제고 방안’(김희경 외, 2019)의 일부 내용을 수정·보완한 것임.

* 제1저자, heekyoung@kice.re.kr

** 교신저자, mrkim@kice.re.kr

I. 서 론

국가수준 학업성취도 평가(이하 학업성취도 평가)는 우리나라 학생들의 학업성취 수준을 점검하기 위한 평가 체제로, 1998년 기본 계획을 수립한 이후 2001년부터 매년 시행되고 있다(박인용 외, 2017). 1998년 최초 계획에서 설정한 학업성취도 평가의 기본 목적은 ‘우리나라 교육의 질 관리’라 할 수 있다. 이외에 학생들의 교육과정 성취기준 도달 정도 및 연도별 학업성취 추이를 점검하며, 학업성취에 영향을 미치는 관련 변인을 탐색하여 교육정책 수립이나 교수·학습 개선에 유용한 교육적 정보를 제공하도록 평가결과 활용 방안을 제시하고 있다(이명애 외, 2017; 정혜경 외, 2018).

이러한 목적 아래 학업성취도 평가는 2001년 표집평가 체제로 시작하여 2009년부터 2016년까지 전수평가 체제로 시행되었다가 2017년에 다시 표집평가로 전환되었다. 이러한 평가 체제의 변화에 따라, 평가의 기본 목적은 유지하되, 평가의 활용 측면에서는 강조하는 바가 달라질 수밖에 없었다. 또한 이렇게 학업성취도 평가의 활용 측면에서 강조점이 이동할 때마다 평가 결과 산출 및 분석 방법 등이 함께 변화되어 왔다(정혜경 외, 2018).

평가 체제의 변화 및 발전이 거듭될 때마다 평가 결과 활용 측면의 개선을 함께 고려해야 하는 상황에서, 이 모든 것은 교육적으로 우리나라의 국가 경쟁력을 갖추는 데 기여하는 방향이어야 함을 늘 염두에 두어야 한다. 학업성취도 평가에서도 학교 현장에서의 교과 역량 교육의 질을 높일 수 있도록 평가 결과를 분석하여 교육적으로 유용한 시사점을 제공해야 한다는 의견이 지속적으로 제기되고 있다. 이러한 요구는 매년 학업성취도 평가의 시행 후에 기초학력 미달 비율 추이에만 집중되는 평가 결과 발표에서 벗어나, 세부적이고 다각적인 분석을 통해 교육적 시사점을 제공하는 평가 결과 산출의 필요성이 제기된 것으로 볼 수 있다. 따라서 학업성취도 평가는 교과 역량을 함양하는 교수·학습이 학교에서 어떻게 실현되고 있는지를 점검하고, 향후 교육과정 개선을 위한 다양한 자료를 제공하는 역할을 수행할 필요가 있다. 이러한 역할의 성공적 수행은 평가가 학교 현장의 교육을 추동하는 강력한 동력을 발생시킬 수도 있다.

학업성취도 평가는 2017년 표집평가로 전환된 이후 교과 역량 교육의 성과를 점검하기 위한 평가 결과 산출 방안을 모색하여 학교 교육에서 실천하고 있는 역량 교육 내실화에 기여하고자 하였다. 즉, 교과 역량이 드러나도록 교과 세부 학습영역을 구분하고, 세부 학습영역별 평가 결과를 산출하는 방안을 모색하였으며 실험적으로 과학 교과의 세부 학습영역을 도출하는 연구를 수행하였다. 또한 학업성취도 평가에서 수집하는 학생·교사·학교장 설문 자료를 활용하여 관련 변인의 영향력을 다각적으로 분석하여 제공하는 방안을 탐색하였다.

지금까지 평가 결과를 설문자료와 연계한 분석들은 교과 총점과 교육맥락변인 간의 연계성을 확인하기 위한 목적으로 실시되어 왔다. 그러나 최근의 평가 결과 제공은 점차 총체적인 총점뿐 아니라 교과 세부 영역별 성취도에 관심을 갖는 트렌드를 보인다(정혜경 외, 2018). 본 연구에서는 총점이 아닌 세부 학습영역별 결과를 종속변수로 삼아 이들과 관련 있는 배경 요인을 탐색하는 심층 분석을하고자 하였다. 교과의 세부 영역별 학업성취에 영향력이 있는 교육맥락변인을 분석해보면, 총점 향상에

효과적으로 나타났던 변인을 분석했을 때에는 드러나지 않았던 변인이 나타날 가능성도 있을 것으로 기대하였다.

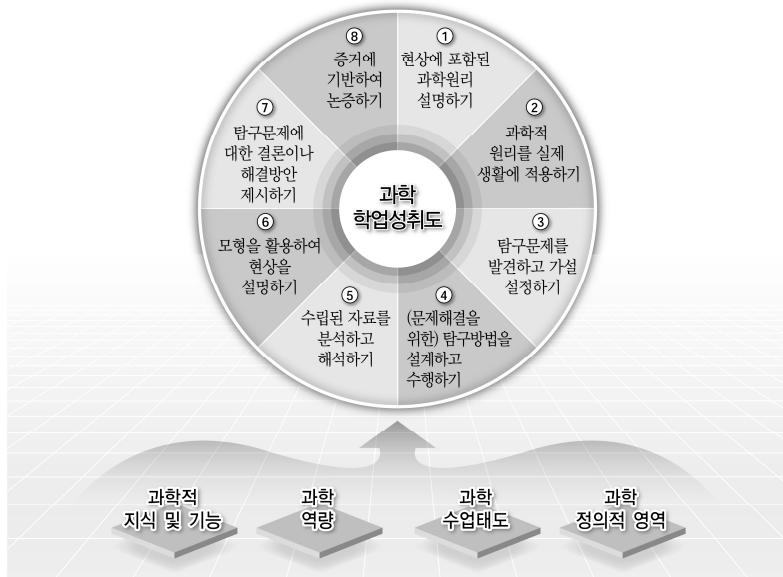
따라서 본 연구에서는 기존의 총점에 기반한 학업성취도 평가 결과 분석에서 한 단계 더 나아가 세부 학습영역의 성취에 긍정적인 영향을 미치는 요인을 심층 분석하여 교수·학습 및 교육 정책에 유용한 시사점을 도출하고자 시도하였다. 이를 위해 정혜경 외(2018)에서 개발된 과학과 세부 학습영역 자료를 심층 분석함으로써 좀 더 유용한 교육 정보 산출을 위한 방법들을 탐색하고자 하였다. 교과 세부 학습영역과 설문조사 결과를 연계한 심층 분석은 교수·학습에 실질적인 도움을 주는 구체적이고 유용한 교육적 정보를 산출하는데 궁극적인 목적이 있다. 보다 구체적으로, 본 연구에서는 데이터 마이닝 기법의 일종인 랜덤 포레스트(random forest)를 사용하여 세부 학습영역과 관련성이 높은 설문 문항을 밝히고, 이 중 관련성이 높게 나타난 문항을 사용하여 다층모형(multilevel modeling) 분석을 실시하여 이러한 특성이 세부 학습영역의 학업성취와 유의한 관련성을 갖는지를 살펴보고자 하였다.

II. 이론적 배경

1. 교과 세부 학습영역 평가 결과 제공 연구

평가의 최근 동향은 ‘학습을 위한 평가(assessment for learning)’를 강조하며, 학생 간의 경쟁을 심화하기보다는 세부 영역에서의 강점 및 취약점을 산출하여 제공하는 등 평가의 교육적인 기능을 강조하는 분석 방법을 탐색할 필요성이 증가하고 있다(김희경 외, 2014, p.6). 이러한 관점에서 정혜경 외(2018)의 연구에서는 학업성취도 평가 결과 산출 시 교과 내 세부 학습영역에 대한 학업성취 특성을 산출하는 방안을 모색한 바 있다. 정혜경 외(2018)는 2017년 국가수준 학업성취도 평가의 과학 교과와 세부 영역을 [그림 1]과 같이 8개 영역으로 설정하고 인지진단모형(cognitive diagnostic model)을 적용하여 분석하였다. 분석 결과, 우리나라 학생들이 가장 우수한 과학 교과 세부 영역은 ‘현상에 포함된 과학 원리 설명하기’였고, 가장 취약한 영역은 ‘증거에 기반하여 논증하기’였다.

또한, 국제 수준 평가인 PISA에서도 유사한 교과 세부 영역에 대한 평가 결과 산출 연구가 수행되었다. 특히, PISA 2015의 주 영역은 과학이었으며 과학적 역량의 3개 세부 영역을 ‘현상을 과학적으로 설명하기’, ‘과학적 탐구를 설계하고 평가하기’, ‘자료 및 증거를 과학적으로 해석하기’로 정의하였다(OECD, 2016). 이러한 과학 세부 역량에 대한 PISA 참여국들의 상대적인 강약점을 파악한 결과, ‘과학적 탐구를 설계하고 평가하기’ 영역이 강점인 참여국은 싱가포르, 뉴질랜드, 벨기에, 미국 등이었으며, 우리나라는 ‘자료 및 증거를 과학적으로 해석하기’에 강점을 보였다.



출처: 정혜경 외(2018, p.220)에서 발췌함.

[그림 1] 2017년 국가수준 학업성취도 평가의 과학 교과 8개 세부 학습영역

[그림 1]에 제시된 학업성취도 평가에서의 과학 교과 세부 영역별 학업성취도, 그리고 PISA 2015에서 수행한 과학 교과 세부 영역 학업성취도 분석을 통한 구체적인 강약점 분석은 영역별로 균형적인 학업성취를 위한 교수·학습을 설계하는 데 유용한 정보가 될 수 있다.

2. 평가 결과와 연계한 교육맥락변인 연구

평가 결과와 연계한 교육맥락변인 분석 연구는 학생의 학업성취에 영향을 주는 학생, 교사, 학교의 특성을 탐색하고자 하는 연구이다. 이러한 연구는 학생의 학습 향상을 위한 교수·학습 개선, 교육 정책의 시사점 도출을 위해 필요하므로 관련하여 다양한 연구가 이루어졌다.

박인용 외(2017)는 국어, 수학, 영어 교과를 중심으로 교과의 학업성취와 관련된 요인을 탐색하고자 2016년 학업성취도 평가 자료를 분석하였다. 이에 주요 연구 결과로 학생 특성과 관련하여 교과 공통적으로 부모와의 대화, 학생의 적극적인 수업 참여도, 스스로 공부하는 자기주도학습 시간, 높은 학업적 효능감이 학생의 학업성취와 정적인 관련성이 있음을 확인하였다. 또한 교사 특성 중에서 교과 및 학교급에 따라 차별적으로 학업성취와 관련성을 보이는 변인을 확인하였는데, 숙제에 대한 교사의 피드백(중학교 수학)이나 수준별 학습자료 개발 및 활용(고등학교 영어) 등의 변인이 학업성취에 대한 긍정적인 관련성이 있음을 확인하였다. 이 연구는 학업성취와 관련 있는 교사 요인을 교과와 학교급에 따라 차별적으로 밝혀낸 것에 의미가 깊다고 할 수 있다.

이신영과 김현정(2021)은 PISA 2018 과학 영역의 인지적 성취와 관련된 교육맥락변인의 영향력

을 분석하였다. 이들의 연구 결과에 따르면 부모의 학력과 가계소득 수준이 학업성취와 관련된 결정적인 요인이었으며, 이외에도 부모의 정서적 지원이 학생의 성취에 유의하게 긍정적인 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 또한 구자옥, 한정아, 김성숙(2015)은 PISA 2012 상위국(대한민국, 싱가포르, 일본, 핀란드)의 과학 성취에 미치는 교육맥락변인 영향력을 분석하였는데, 방과 후 숙제를 위해 할애하는 시간은 대한민국, 일본, 싱가포르 순으로 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 학습 활동에 대한 태도는 특히 대한민국과 일본의 학생들의 과학 성취에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 교사-학생 간 관계 같은 학교 분위기는 특히 여학생들의 과학 성취에 더 영향을 주는 것으로 나타났다.

또한 과학 성취도와 관련된 변인을 탐색하는 연구로 곽영순(2018), 곽영순과 박상욱(2018)은 TIMSS 2015 결과에서 과학 성취도에 영향을 주는 교육맥락변인을 분석하였다. 연구 결과에 따르면, 학생들의 과학 성취도는 가정의 도서 보유량, 학생의 과학 수업에 대한 인식, 과학 학습에 대한 흥미, 학교의 학업 강조 풍토 등에 유의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 이들 연구 결과 중에서 과학 교과에 대한 정의적 특성이 과학 성취도에 유의한 영향을 미친다는 것은 시사하는 점이 크다고 볼 수 있다.

교육 환경 개선 및 교수학습 개선, 더 나아가 교육 정책 수립을 위한 시사점을 도출하기 위한 실증적 자료를 제공하기 위한 목적으로 학업성취와 관련된 교육맥락변인을 밝혀내기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 살펴보았듯이 대부분의 선행 연구는 총점에 기반한 영향요인을 분석한 연구였기 때문에 교과와 세부 학습영역마다 달리 기능하는 영향요인을 밝혀낼 수 없다는 한계가 있다. 따라서 세부 학습영역에서의 학생 성취 특성을 학생-교사-학교장 설문 결과와 연계하여 분석하고자 하는 본 연구는 선행연구와 차별성을 갖는다.

III. 연구 방법

1. 분석 자료

본 연구에서 사용한 자료는 2017년 학업성취도 평가 자료 중에서 중학교 3학년 과학과의 평가 자료이다. 정혜경 외(2018)에서는 학업성취도 평가 결과의 활용도 제고를 위해 교과 내 세부 학습영역에 대한 학업성취 특성을 산출하는 방법을 시도하였고, 이를 통하여 중학교 3학년 과학 교과와 세부 학습영역 8개를 추출하였다. 중학교 3학년 과학 교과와 8개 세부 학습영역과 그에 대한 설명은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 중학교 3학년 과학과 세부 학습영역 및 설명

학업성취도 평가 틀		세부 학습영역	설명
교과역량	하위 요소		
과학 원리의 이해 및 적용 능력	이해	1. 현상에 포함된 과학 원리 설명하기	자연이나 일상생활의 다양한 현상을 설명할 수 있는 과학 원리가 무엇인지 알고, 개념 간의 위계나 구조를 이해하는 능력
	적용	2. 과학적 원리를 실제 생활에 적용하기	과학 원리에 대한 이해를 바탕으로 새롭고 구체적인 상황에 과학 원리를 적용하는 능력
과학적 탐구 및 문제 해결력	문제 발견 및 인식	3. 탐구 문제를 발견하고 가설 설정하기	주어진 상황에서의 핵심적 탐구 문제를 도출하거나 해결해야 할 문제를 명료화하는 능력
	탐구 설계 및 수행	4. (문제 해결을 위한) 탐구 방법을 설계하고 수행하기	인식된 문제를 해결하기 위한 탐구의 방법을 설계하여 이를 실행하는 능력
	자료 분석 및 해석	5. 수집된 자료를 분석하고 해석하기	탐구의 수행을 통해 얻어진 자료를 분석하고 해석하는 능력
	모형의 개발과 사용	6. 모형을 활용하여 현상을 설명하기	증거에 기초하여 모형을 세워 현상을 설명하거나 결과를 예측하는 능력
	결론 도출 및 해결 방안 제시	7. 탐구 문제에 대한 결론이나 해결 방안 제시하기	자료에 대한 해석을 바탕으로 주어진 탐구 문제에 대한 결론이나 해결 방안을 제시하는 능력
과학적 의사소통 능력	증거에 대한 토론과 논증	8. 증거에 기반하여 논증하기	증거와 과학적 추론에 근거하여 주장을 펼치거나 반론을 제시하는 능력

출처: 동효관 외(2018, pp.45-46)와 정혜경 외(2018, p.90)의 내용을 발췌하여 표로 제시함.

앞서 언급하였듯이, 정혜경 외(2018)에서는 2017년 중학교 3학년 과학 교과의 선다형(32문항)과 서답형(8문항) 문항이 결합된 평가도구를 분석하기 위하여, 인지진단모형 중 서답형 문항 분석이 가능한 ‘다분점수 Fusion 모형’을 적용하였고, 그 결과 6,645명 학생의 8개 세부 학습영역에 대한 성취율(posterior probability of mastery, 이하 PPM)을 추정하였다. 인지진단모형은 평가 도구에서 측정하고자 하는 것을 총체적으로 분석하는 것이 아니라 세부적인 영역(attribute)에 대한 학생의 능력모수를 추정하는 측정학적 방법이다(DiBello et al., 1995, p.132; Tatsuoaka, 1985, p.71). 인지진단모형을 통해 추정되는 세부 영역별 능력모수는 각 학생이 해당 학습영역을 숙달하고 있을 확률을 추정한 값이며, 0~1 범위의 확률로 산출된다. 정혜경 외(2018)는 세부 영역별 능력모수를 ‘세부 학습영역별 성취율’로 지칭하였으며, 본 연구에서도 동일하게 지칭하였다.

본 연구에서는 이상에서 설명한 과학 교과의 세부 학습영역별 성취율을 종속변수로 활용하였다. 구체적으로, 랜덤 포레스트 분석에서는 PPM 자체를 종속변수로 사용한 반면, 다층모형 분석에서는 PPM을 로짓 변환(logit transformation)하여 정규성 가정을 충족할 수 있도록 하였다. 학생들의 세부 학습영역에서의 성취율 평균은 ‘1. 현상에 대한 과학 원리 설명하기’가 가장 높아 학생들이 가장 쉬워하는 영역인 것으로 나타났다. 반면 ‘8. 증거에 기반하여 논증하기’에서 가장 낮은 평균 성취율을 보여 학생들이 가장 어려워하는 영역인 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 2017년 학업성취도 평가 중학교 3학년 과학 교과 세부 학습영역별 성취율 평균

변수	설명	평균
PPM1	'1. 현상에 포함된 과학 원리 설명하기' 성취율	0.6000
PPM2	'2. 과학적 원리를 실제 생활에 적용하기' 성취율	0.4998
PPM3	'3. 탐구 문제를 발견하고 가설 설정하기' 성취율	0.5441
PPM4	'4. (문제 해결을 위한) 탐구 방법을 설계하고 수행하기' 성취율	0.4508
PPM5	'5. 수집된 자료를 분석하고 해석하기' 성취율	0.5351
PPM6	'6. 모형을 활용하여 현상을 설명하기' 성취율	0.4515
PPM7	'7. 탐구 문제에 대한 결론이나 해결 방안 제시하기' 성취율	0.5373
PPM8	'8. 증거에 기반하여 논증하기' 성취율	0.3857

출처: 정혜경 외(2018, pp.93-94)의 내용을 발췌하여 표로 제시함.

다음으로, 2017년 학업성취도 평가에서 수집된 설문 자료(학생, 교사, 학교장 대상)를 독립변수로 사용하였다. 랜덤 포레스트 분석 시에는 데이터 마이닝 기법의 장점을 살리기 위하여 최대한 많은 변수를 투입하였다. 최종적으로 활용된 문항 수는 학생 101개, 교사 78개, 학교장 62개 문항이었다. 이들 독립변수를 하위영역 수준에서 정리하면 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 독립변수

수준	대영역	중영역	하위영역
학생	개인 및 가정환경	가정환경 및 일상생활	부모와의 관계, 일상생활, 운동, 부모 학력
	학교 생활	학습 태도 및 이해도	준비도, 수업 태도, 예습과 복습, 수업 참여도
	학교생활행복도	-	심리 적응도, 학교 만족도
	학교-교사 관계	-	민감성, 수용성
	진로 관련	진로 성숙도	진로에 대한 태도, 진로 탐색 및 의사결정
	방과 후 생활	방과 후 학습	방과후학교, 자기주도학습, EBS 강의
		방과후학교 및 EBS	참여 프로그램, 만족도
		여가시간	컴퓨터나 휴대용 전자기기 사용 시간
	학습 관련 정의적 특성	-	학업적 효능감 및 동기
		교과 태도	과학에 대한 태도
교사	개인 특성	개별 특성	성별, 교직 경력, 최종 학력, 교원자격 취득학교
		정의적 특성	직무 만족도 및 자기 효능감
		자기 계발	최근 1년간의 활동
	교수·학습 준비	-	수업 활동, 수업에 대한 어려움
	교수·학습 운영	-	이용 교수학습 자료
	교과	과학 교과수업	수업 활동 빈도, 과학 교과 수업에서 강조하는 것
		공통	과학 수업에서 학생들이 가장 어려워하는 영역, 과학 교과 수업 내용을 이해하는 학생 비율, 주로 활용하는 교수·학습 방법

수준	대영역	중영역	하위영역
	교육평가	-	평가 방식, 평가 결과 활용, 일주일의 시간 활용
학교장	교원 특성	학교장 특성	성별, 학교장의 부임 시기, 교장공모제 여부, 학교장의 활동별 수행 정도
		교원 특성	교원 수, 교사 연수 현황
	학생 구성	학교 규모	학생 수
		학생 구성 특성	소외계층 비율
	교육과정 및 학교 풍토	수업 및 프로그램	방과 후 학교, 특별 활동, 학생부진 학생지도 프로그램 유형
		학교 풍토	교사 풍토, 학생 풍토, 학부모 풍토, 학부모 참여 정도

2. 분석 방법

과학 교과 세부 학습영역에 대한 학생 성취율과 설문조사 결과를 연계함으로써 우리나라 학생의 과학 교과에서의 성취도를 향상시키기 위한 교육환경 및 교수·학습 개선 방안을 탐색하고자 하였다. 이를 위하여 우선적으로 학업성취도 설문 자료와 과학 교과 세부 학습영역의 전반적인 관련성을 살펴보기 위하여 데이터 마이닝 기법의 하나인 랜덤 포레스트를 활용하였다. 즉, 랜덤 포레스트 분석을 활용하여 학업성취도 평가 설문 자료와 2017년도 중학교 과학과 세부 학습영역 성취율 간의 전반적인 관련성을 탐색함으로써, 이후 다층모형 분석에서 투입할 변수를 선별할 때 기초적인 정보로 사용하고자 하였다. 다음 단계로 다층모형 분석을 활용하여 과학 교과 세부 학습영역별 성취 정도가 학교별로 차이가 있는지를 파악하고자 학교별 분포를 살펴보고, 세부 학습영역별 성취율과 교육 맥락 변인과의 관련성이 학교별로 차이가 있는지 등을 파악하였다.

랜덤 포레스트는 수백 그루 이상의 의사결정 나무(decision tree)의 결과를 종합하여 제시하는 기법이다. 랜덤 포레스트에서는 개별 의사결정 나무를 분석하기 위하여 전체 자료의 일부를 임의로 표집하는데, 이 데이터를 훈련 자료(training data)이라고 할 수 있다. 그리고 이때 표집되지 않은 자료를 OOB(out-of-bag) 자료라고 하며 이를 시험 자료(test data)로 사용한다. 그리고 훈련 자료와 시험 자료의 성능(performance)을 비교하여 과적합(overfitting) 여부를 파악할 수 있다. 과적합이란 모형의 성능이 훈련 자료를 설명하는 데 맞추어져 있어 다른 자료(예: 시험 자료)를 잘 설명하지 못하는 현상을 의미한다(Mutasa, Sun, & Ha, 2020). 본 연구에서는 이러한 과적합의 발생을 살펴보기 위하여 훈련 자료와 시험 자료의 설명력을 비교하였다. 두 자료에 대한 설명력에 크게 차이가 없으면 과적합이 발생하지 않은 것으로 간주할 수 있다. 설명력을 비교한 이유는 본 연구에서 사용한 모형이 랜덤 포레스트 회귀 모형이었기 때문이다.

랜덤 포레스트의 분석 결과 중에서는 전체 변수의 상위 약 10%에 해당하는 변수를 주요한 변수로 정의하였다. 일반적으로, 랜덤 포레스트를 적용한 다양한 연구(박소영, 정혜원, 2020; 최인희, 김미림, 2023; 홍지혜 외, 2022)에서는 상위 10~30개의 중요한 변수를 중심으로 연구 결과를 해석하였다. 이

러한 연구들을 참고하여, 본 연구에서도 전체 변수의 상위 약 10%에 해당하는 변수를 중요한 변인으로 간주하여 다층모형 분석의 설명변수로 사용하였다. 이에 따라 학생은 상위 10개(총 101개), 교사는 상위 8개(총 78개), 학교는 상위 6개(총 62개) 변수를 추출하였다. 이상의 분석을 위하여 R 패키지인 randomForest(Liaw & Wiener, 2002)를 사용하였다.

다음으로, 다층모형 분석에서는 랜덤 포레스트 분석에서 “주요한” 변수로 간주된 변수만을 설명변수로 사용하였다. 분석 시에는 학생 수준의 설명변수 중 범주형이 아닌 경우를 제외하고 모두 전체 평균 교정(grand mean centering)을 실시하였다. 앞서 언급한 것처럼 다층모형의 종속변수는 PPM을 로짓 변환하여 사용하였다. 이상의 다층모형 분석을 위하여 R 패키지인 lme4(Bates et al., 2015)를 사용하였다.

IV. 연구 결과

1. 랜덤 포레스트 분석 결과

가. 분석 모형의 설명력

〈표 4〉는 세부 학습영역 성취율에 대한 랜덤 포레스트 회귀 모형의 설명력(R^2)을 제시한 것이다. 설명력에 있어 훈련 자료와 시험 자료 간 큰 차이가 없으므로, 과적합이 발생하지 않았음을 확인할 수 있다. 시험 자료를 기준으로, 학생 설문 문항은 세부 학습영역별 성취율 분산의 17.5~21.0%를 설명하였고, 교사 설문 문항은 1.3~2.2%를 설명하였으며, 학교장 설문 문항은 2.6~4.1%를 설명하였다. 즉, 학생 설문 문항은 세부 학습영역별 성취율과 강한 연관성을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 교사 및 학교장 설문 문항은 세부 학습영역별 성취율과의 연관성이 학생 변인에 비해 낮은 것을 알 수 있다. 즉, 이러한 결과는 학생들의 응답을 통해 얻은 정보가 학생들의 학습 성과와 밀접하게 관련되어 있음을 의미한다.

〈표 4〉 랜덤 포레스트 모형의 설명력

구분	자료	PPM1	PPM2	PPM3	PPM4	PPM5	PPM6	PPM7	PPM8
학생	훈련 자료	.211	.163	.198	.193	.219	.195	.218	.194
	시험 자료	.196	.175	.188	.182	.208	.184	.210	.183
교사	훈련 자료	.033	.027	.023	.025	.025	.026	.023	.026
	시험 자료	.022	.167	.013	.015	.015	.016	.014	.016
학교	훈련 자료	.047	.036	.043	.043	.048	.045	.031	.044
	시험 자료	.036	.026	.033	.033	.038	.035	.041	.033

나. 주요 영향요인: 학생 수준

〈표 5〉는 상위 10개 변수의 순위를 각 세부 학습영역에 따라 제시한 것이다. 모든 세부 학습영역별 상위 10개 변수를 종합한 결과 총 16개의 설문 문항이 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이중 5개의 설문 문항이 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향을 미쳤다. 구체적으로, 가정의 도서 보유 정도를 묻는 문항(‘집에 책이 몇 권 정도 있습니까?’), 수업 준비도 및 태도에 포함된 ‘나는 수업 시간에 집중하는 편이다’, 사교육 참여와 관련된 ‘학원 강의나 과외 수업을 통해 공부한다’가 모든 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향을 미치고 있었다. 또한 과학 교과에 대한 자신감을 묻는 2개 문항 ‘나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다’, ‘노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다’도 모든 세부 학습영역에서 공통적으로 주요한 영향요인으로 나타났다. 이들 공통 영향요인 중에서 ‘나는 수업 시간에 집중하는 편이다’와 ‘나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다’는 모든 세부 학습영역에서 가장 영향이 높은 문항으로 나타났다. 이는 학생의 수업 집중과 과학 교과 학습에 대한 자신감이 과학 교과 세부 학습영역 성취도에 전반적으로 영향을 미친다는 것을 시사한다.

1번(과학 원리 설명), 3번(탐구문제 발견 및 가설 설정), 7번(탐구문제에 대한 결론 및 해결 방안 제시)의 3개 세부 학습영역에서는 가정의 도서 보유 정도의 영향이 3순위로 나타났다 반면, 2번(실제 생활 적용), 4번(문제 해결을 위한 탐구 방법 설계 및 수행), 6번(모형을 활용하여 현상 설명), 8번(증거에 기반한 논증)의 4개 세부 학습영역에서는 과학 교과에 대한 자신감에 해당하는 ‘노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다’가 3순위의 영향력을 지닌 것으로 나타났다. 또한 5번(자료 분석 및 해석) 세부 학습영역의 경우 ‘학원 강의나 과외 수업을 통해 공부한다’가 3순위로 나타났다. 가정의 도서 보유 정도나 사교육이 큰 영향력을 보인 과학 교과 세부 학습영역은 1, 3, 7, 5번으로 이들 세부 영역은 학생들의 평균 성취율이 높아 비교적 쉬운 영역이었다. 과학 교과에 대한 자신감이 영향력이 큰 세부 영역은 2, 4, 6, 8번으로 학생들의 평균 성취율이 0.5 미만으로 어려웠던 영역인 것으로 나타났다. 2, 4, 6, 8번 세부 학습영역은 과학적인 지식 이해와 함께 문제 해결을 위한 효율적인 사고 및 역량이 복합적으로 요구되는 영역이다. 따라서 학생들이 수월하게 성취하기 힘든 어렵고 복합적인 세부 학습영역에서는 학생의 과학 교과 학습에 대한 자신감이 크게 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 이는 학생들이 어려워하는 세부 학습영역에서의 성취율 향상을 위한 유용한 정보가 될 수 있다. 사교육은 5번(자료 분석 및 해석)과 같이 단순한 반복적 연습을 통해 향상되기 쉬운 세부 학습영역에서 영향력이 높게 나타난 것으로 보아, 학생들의 근본적인 과학 성취도를 다지고 장기적으로 심층 영역에서의 성취까지 높일 수 있도록 돕는 요인으로는 미흡함을 알 수 있다.

특히 학생들의 성취율이 가장 낮고 어려워하는 8번(증거에 기반한 논증) 세부 학습영역의 경우, 다른 세부 학습영역에 비해 자기주도학습이나 학업적 자기효능감의 영향력보다 과학 교과에 대한 정적 특성(태도, 자신감, 흥미, 가치)의 영향력이 두드러지는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 세부 학습영역별 주요 영향요인: 학생 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역별 중요도 순위							
			1	2	3	4	5	6	7	8
가정환경 및 일상생활	일상생활	집에 책이 몇 권 정도 있습니까?(잡지, 신문, 교과서, 참고서 제외)	3	6	3	4	5	7	3	5
	부모 학력	아버지 최종 학력	9	5	5	7	4	8	9	
학습 태도 및 이해도	수업준비도 및 태도	나는 수업 시간에 집중하는 편이다	1	2	1	2	1	2	1	2
방과 후 학습	자기주도학습	교과서, 참고서 등을 이용하여 스스로 공부한다					9	10	10	
	사교육	학원 강의나 과외 수업을 통해 공부한다	5	4	4	5	3	4	4	7
자기조절학습	학업적 자기 효능감	나는 수업 시간에 배운 내용 중 중요한 것이 무엇인지 잘 파악할 수 있다			9		6		7	
		나는 수업 시간에 배운 내용 중 내가 무엇을 알고, 무엇을 모르는지 판단할 수 있다	10		10		10		8	
교과 기반 정의적 특성	과학에 대한 태도	과학 수업 시간에 배우는 내용이 어렵다		8		9		6		6
		나는 다른 사람보다 과학을 잘하는 편이다		7		6		5		4
	자신감	나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다	2	1	2	1	2	1	2	1
		나는 다소 어려운 과학 문제라도 해결할 수 있다						9		8
		노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다	7	3	6	3	8	3	6	3
		나는 과학 공부에 흥미가 있다		10		10				10
	가치	과학 공부는 내가 나중에 하고 싶은 일을 하는 데 도움이 될 것이다								9
		과학 공부를 하면 일상생활에 도움이 될 것이다	6	9	7	8	7			
		과학 공부를 하면 사고력을 기르는 데 도움이 된다	4		8				5	

다. 주요 영향요인: 교사 수준

〈표 6〉은 상위 8개 변수의 순위를 각 세부 학습영역에 따라 제시한 것이다. 모든 세부 학습영역별 상위 8개 변수를 종합한 결과 총 18개의 설문 문항이 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이중 4개의 설문 문항이 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향을 미쳤다. 구체적으로, 교사의 교직 경력은 과학 교과 세부 학습영역 전체에 영향을 미치고 있었다. 수업 어려움의 이유를 묻는 문항 중에서 ‘학생들의 학습 능력 차이’와 ‘학생들의 학습 흥미 부족’, 그리고 과학 교과 수업에 대해 묻는 문항 중에서 ‘과학 교과의 수업 내용을 이해하는 학생들의 비율이 학급에서 어느 정도 됩니까?’도 모든 세부 학습영역에서 공통적으로 주요한 영향요인으로 나타났다. 이들 문항 중에서 수업 내용을 이해하는 학생들의 비율이 대부분의 세부 학습영역 성취에서 가장 주요한 영향요인으로 나타났다. 이는 성취도 격차가 큰 학

급에서의 과학 수업의 어려움, 흥미가 부족한 학생들로 인한 과학 수업의 어려움이 과학 교과의 모든 세부 학습영역 성취에 영향을 끼치는 악순환을 발생시킨다는 것을 시사한다.

또한 교사 수준의 설문 문항은 해당 세부 학습영역에서만 차별적으로 고유하게 중요한 요인으로 나타난 경우가 많았다. 예를 들어, 과학 수업활동 빈도와 관련하여 시험 또는 퀴즈 보기 빈도는 1번(과학 원리 설명) 세부 학습영역에만 관련이 있었다. 이러한 결과를 기반으로 과학적 원리를 이해하는 데 있어서 교사가 시험 및 퀴즈를 장려하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 또한 교사의 평가 방식을 묻는 문항인 ‘수행평가 과제가 어떻게 평가될 것인가를 학생들에게 공지하십니까?’는 8번(증거에 기반한 논증) 세부 학습영역에만 관련된 것으로 나타났다. 8번(증거에 기반한 논증) 세부 학습영역은 가장 난이도가 높은 세부 학습영역으로 이에 대한 성취를 향상시키는 데에는 교사의 평소 수업이나 평가 방식이 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

〈표 6〉 세부 학습영역별 주요 영향요인: 교사 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역							
			1	2	3	4	5	6	7	8
교사 배경	성별	교사 성별		2	2	6	3	1	1	4
	교직 경력	교직 경력(단위: 개월 수)	3	3	3	2	6	3	2	2
	교원 자격 취득학교	사범대학								7
교직에 대한 인식	직무만족도	나는 가르치는 일에 보람을 느낀다	6	8	5	3	2			
	자기효능감	나는 생활 지도를 할 때 학생 개인에 대한 정보를 충분히 활용할 수 있다			6					
	직무만족도	우리 학교에서는 학교 제반 문제에 대해서 자유롭게 건의할 수 있다						8		
교수·학습	수업에 대한 어려움	학생들의 학습 능력 차이	2	5	8	5	8	4	5	3
		학생들의 학습 흥미 부족	4	6	4	4	4	5	3	6
		학생들의 주의 산만	7						8	
과학 수업	교사 연수	교수학습 관련 직무 연수		7	7	8	5			
	수업활동 빈도	과학적 개념, 원리, 법칙 암기하기						6		
	기타	시험 또는 퀴즈 보기	8							
교수·학습 운영	주로 활용하는 교수·학습 유형	과학 교과의 수업 내용을 이해하는 학생들이 표집 학급에서 어느 정도 됩니까?	1	1	1	1	1	2	4	1
		교사 설명 중심				7		7		
		수행평가 과제가 어떻게 평가될 것인가를 학생들에게 공지하십니까?								8
평가	평가결과 활용	학생의 수행 수준 진단					7			
	일주일의 시간 활용	수업 계획 및 교재 개발	5	4					6	
교육활동		학생 과제물 검토 및 학생 평가 관련 업무							7	5

라. 주요 영향요인: 학교 수준

〈표 7〉은 상위 8개 변수의 순위를 각 세부 학습영역에 따라 제시한 것이다. 모든 세부 학습영역별 상위 8개 변수를 종합한 결과 총 7개의 설문 문항이 주요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이중 4개의 설문 문항이 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향을 미쳤다. 구체적으로, 학교 규모(전체 학생 수), 기초생활수급자 비율, 다문화 학생 비율이 모든 세부 학습영역에서 공통적으로 주요한 영향요인으로 나타났다. 또한 학부모 풍토의 하나인 자녀의 학업성취에 대한 학부모의 지원이 모든 세부 학습영역에서 주요 영향요인으로 나타났다.

또한 학교를 구성하는 학생들의 풍토도 5개 세부 학습영역에 대체적으로 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 구체적으로 학생들의 학업성취를 높이하고자 하는 의지는 1, 2, 4, 5, 7번 세부 학습영역에 대한 주요 영향요인이었다.

〈표 7〉 세부 학습영역별 주요 영향요인: 학교 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역							
			1	2	3	4	5	6	7	8
학교의 인적 구성	학생 현황	전체 학생 수	5	3	3	3	3	3	3	3
		기초생활수급자 비율	1	1	1	1	2	1	1	1
		다문화 학생 비율	2	2	2	2	1	2	2	2
	교원 현황	교사 1인당 학생 수			6		6	4		6
학교 특성 및 운영	학생풍토	학업성취를 높이하고자 하는 의지	6	6		6	5		5	
	학부모 풍토	자녀의 학업성취도 향상을 위한 학부모의 요구	3	4	5	4		5	6	5
		자녀의 학업성취에 대한 학부모의 지원	4	5	4	5	4	6	4	4

2. 다층모형 분석 결과

독립변수의 영향력을 알아보기에 앞서, 독립변수를 투입하지 않은 기초모형을 분석하여 전체 분산 중 학생 수준 분산과 학교 수준의 분산을 추정하고, 이를 통하여 ICC(intraclass correlation)을 산출하였다(〈표 8〉 참조). 참고로 ICC는 전체 분산 중에서 학교 수준의 분산이 차지하는 비율을 나타내는 지수이다. ICC의 범위는 .050~.064로 나타났다. 2번(과학적 원리를 실제 생활에 적용하기) 세부 학습영역의 ICC가 .050으로 가장 작았고, 5번(수집된 자료를 분석하고 해석하기) 세부 학습영역의 ICC가 .064로 가장 높았다.

〈표 8〉 기초모형의 무선효과

구분	PPM1	PPM2	PPM3	PPM4	PPM5	PPM6	PPM7	PPM8
학교 수준	1.498	1.152	0.343	0.336	1.719	0.782	0.991	0.665
학생 수준	23.977	21.709	5.771	5.287	25.067	13.007	16.338	11.824
ICC	.059	.050	.056	.060	.064	.057	.057	.053

다층모형 분석 결과를 학생, 교사, 학생 수준으로 나누어 <표 9>~<표 11>에 요약하여 정리하였다. 학생 수준 변인의 세부 학습영역에 대한 영향력 분석 결과는 <표 9>와 같다. 아버지의 최종 학력과 과학 공부에 대한 흥미는 모든 세부 학습영역에 대해 유의한 영향력이 없는 것으로 나타났다. 학생 수준 설문 문항 중에서 6개의 문항은 8개 세부 학습영역 모두에 유의하게 긍정적인 영향력이 있었다. 구체적으로 가정의 도서 보유량, 수업 집중도, 스스로 공부하는 자기주도학습 시간, 사교육 시간, 과학 교과 학습에 대한 자신감(나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다), 과학 교과 학습의 가치 인식(과학 공부를 하면 일상생활에 도움이 될 것이다)은 긍정적인 영향력을 있음을 확인하였다.

한편 과학에 대한 태도에 해당하는 문항인 '과학 수업 시간에 배우는 내용이 어렵다'와 과학 교과 학습 자신감 중에서 '노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다'는 모든 세부 학습영역의 성취에 부정적인 영향력을 보였다. 이를 통해 학생이 과학 교과 학습에 대해 어렵다는 인식을 가지고 수업 중 위축된 태도를 가지고 있거나 자신감이 결여된 경우, 전반적인 과학 교과 성취 향상에 어려움이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

또한 수업 집중, 방과 후 학습 시간, 자기효능감뿐만 아니라 학생의 과학 교과에 대한 정의적 특성(태도, 자신감, 흥미, 가치)이 과학 세부 학습영역 성취에 전반적으로 영향을 끼치는 주요 요인이라는 것을 확인할 수 있다.

<표 9> 다층모형 분석 결과 요약: 학생 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역별 중요도 순위							
			1	2	3	4	5	6	7	8
가정환경 및 일상생활	일상생활	집에 책이 몇 권 정도 있습니까?(잡지, 신문, 교과서, 참고서 제외)	+	+	+	+	+	+	+	+
	부모 학력	아버지 최종 학력								
			유의하지 않음							
학습 태도 및 이해도	수업준비도 및 태도	나는 수업 시간에 집중하는 편이다	+	+	+	+	+	+	+	+
방과 후 학습	자기주도학습	교과서, 참고서 등을 이용하여 스스로 공부한다	+	+	+	+	+	+	+	+
	사교육	학원 강이나 과외 수업을 통해 공부한다	+	+	+	+	+	+	+	+
자기조절학습	학업적 자기 효능감	나는 수업 시간에 배운 내용 중 중요한 것이 무엇인지 잘 파악할 수 있다	+	+			+		+	+
		나는 수업 시간에 배운 내용 중 내가 무엇을 알고, 무엇을 모르는지 판단할 수 있다	+	+	+	+	+		+	
교과 기반 정의적 특성	과학에 대한 태도	과학 수업 시간에 배우는 내용이 어렵다	-	-	-	-	-	-	-	-
		나는 다른 사람보다 과학을 잘하는 편이다		+	+	+		+		+
	자신감	나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다	+	+	+	+	+	+	+	+
		나는 다소 어려운 과학 문제라도 해결할 수 있다	-	-	-	-	-	-	-	-
		노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다	-	-	-	-	-	-	-	-

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역별 중요도 순위							
			1	2	3	4	5	6	7	8
	흥미	나는 과학 공부에 흥미가 있다	유의하지 않음							
	가치	과학 공부는 내가 나중에 하고 싶은 일을 하는 데 도움이 될 것이다	+			+	+	+	+	+
		과학 공부를 하면 일상생활에 도움이 될 것이다	+	+	+	+	+	+	+	+
		과학 공부를 하면 사고력을 기르는 데 도움이 된다	+		+		+	+	+	

주. 추정치가 유의한 경우($p < .05$)에 한하여 추정치가 양인 경우 +, 음인 경우 - 기호를 넣었음.

교사 수준의 다층모형 분석 결과는 <표 10>에 요약 정리하였다. 학생 수준의 결과와 달리, 대부분의 문항에서 그 영향력이 크지 않음을 확인하였다. 특이한 것은, 수업 활동 빈도에 관련된 설문 문항 가운데 과학적 개념, 원리, 법칙을 암기하게 하는 수업활동 빈도는 과학 교과와 모든 세부 학습영역에 부적 영향을 미치고 있다는 것이다. 개념이나 법칙을 암기하는 것은 어느 정도 필요하나 암기 위주의 수업 활동 빈도가 높으면 장기적이고 포괄적인 성취도 향상을 이끌어내지 못한다는 것을 알 수 있다.

또한 교사가 평가 결과를 학생의 수행 수준을 진단하기 위해 활용하는 경우, 대부분의 세부 학습영역에 정적인 영향을 미치고 있다는 점도 특기할 만하다. 교사가 학생의 수준을 파악하는 만큼 그 수준에 알맞은 수업 내용과 방법을 적용할 것이므로 학생의 과학 교과 세부 학습영역 성취를 향상시키는 데 효과적인 것이다.

<표 10> 다층모형 분석 결과 요약: 교사 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역							
			1	2	3	4	5	6	7	8
교사 배경	성별	교사 성별	유의하지 않음							
	교직 경력	교직 경력(단위: 개월 수)	유의하지 않음							
	교원 자격 취득학교	사범대학	-		-	-	-			-
교직에 대한 인식	직무만족도	나는 가르치는 일에 보람을 느낀다	유의하지 않음							
	자기효능감	나는 생활 지도를 할 때 학생 개인에 대한 정보를 충분히 활용할 수 있다	유의하지 않음							
	직무만족도	우리 학교에서는 학교 제반 문제에 대해서 자유롭게 건의할 수 있다								
교수·학습	수업에 대한 어려움	학생들의 학습 능력 차이	유의하지 않음							
		학생들의 학습 흥미 부족	유의하지 않음							
		학생들의 주의 산만	유의하지 않음							
	교사 연수	교수학습 관련 직무 연수	유의하지 않음							

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역							
			1	2	3	4	5	6	7	8
과학 수업	수업활동 빈도	과학적 개념, 원리, 법칙 암기하기	-	-	-	-	-	-	-	-
		시험 또는 퀴즈 보기	유의하지 않음							
	기타	과학 교과와 수업 내용을 이해하는 학생들이 표집 학급에서 어느 정도 됩니까?			+	+				
교수·학습 운영	주로 활용하 는 교수·학 습 유형	교사 설명 중심	유의하지 않음							
평가	평가 방식	수행평가 과제가 어떻게 평가될 것인가를 학생들에게 공지하십니까?	유의하지 않음							
	평가결과 활용	학생의 수행 수준 진단	+		+	+	+	+		+
교육활동	일주일의 시 간 활용	수업 계획 및 교재 개발	-							
		학생 과제물 검토 및 학생 평가 관련 업무	유의하지 않음							

주. 추정치가 유의한 경우($p < .05$)에 한하여 추정치가 양인 경우 +, 음인 경우 - 기호를 넣었음.

학교 수준의 다층모형 분석 결과는 <표 11>에 요약 정리하였다. 학생 및 교사 수준의 결과에 비하여 대부분의 문항에서 그 영향력이 크지 않음을 확인하였다. 학교를 구성하는 학생들이 학업성취를 높이 고자 하는 의지가 높은 학생풍토를 가진 경우에 7번(탐구 문제에 대한 결론 및 해결 방안 제시) 세부 학습영역 성취 향상에 긍정적인 영향이 있었다.

<표 11> 다층모형 분석 결과 요약: 학교 수준

영역	하위 영역	설문 문항	세부 학습영역							
			1	2	3	4	5	6	7	8
학교의 인적 구성	학생 현황	전체 학생 수						+		
		기초생활수급자 비율		-	-				-	
		다문화 학생 비율	유의하지 않음							
	교원 현황	교사 1인당 학생 수	유의하지 않음							
학교 특성 및 운영	학생풍토	학업성취를 높이하고자 하는 의지							+	
	학부모풍토	자녀의 학업성취도 향상을 위한 학부모의 요구	유의하지 않음							
		자녀의 학업성취에 대한 학부모의 지원	유의하지 않음							

주. 추정치가 유의한 경우($p < .05$)에 한하여 추정치가 양인 경우 +, 음인 경우 - 기호를 넣었음.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 랜덤 포레스트 분석과 다층모형 분석을 적용하여 과학 교과 8개 세부 학습영역 성취도에 영향을 미치는 학생, 교사, 학교 변인을 탐색하였다. 기존의 과학 교과 총점을 종속변수로 두고 분석했던 선행연구들과 유사한 결과로서 교사, 학교 변인에 비해 학생 변인이 과학 교과 성취와 전반적으로 연관성이 높다는 것을 다시 한번 확인하였다. 또한 학생 변인 중에서 수업 태도, 자신감, 교사 변인에서는 교직 경력, 학교 변인에서는 학교 풍토(학업성취 의지, 학부모 지원 등)가 학업성취도와 관련된 유의미한 요인인 것은 선행연구들에서도 논의되었던 결과이다. 본 연구의 목적은 과학 교과 성취도에 대한 영향요인을 총체적으로 분석하는 것이 아니라 과학 교과의 8개 세부 학습영역에 대한 영향요인을 차별적으로 탐색해보기 위한 것이므로, 이러한 차별점을 부각할 수 있는 연구 결과를 제시하고 논의하는 것이 의미가 있을 것으로 생각된다. 따라서 이러한 관점에서 과학 교과 8개 세부 학습영역 전체에 공통적으로 영향력을 보인 요인과 차별적으로 영향력을 보인 요인을 분리하여 비교·논의하고자 한다.

랜덤 포레스트 분석 결과에 따르면 학생 수준의 변인 가운데 과학 교과 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향력이 있는 변인은 가정의 도서 보유량, 수업 준비도 및 태도, 방과 후 사교육 참여 시간, 그리고 학생의 과학 교과에 대한 자신감(예: 나는 친구에게 과학 원리를 설명할 수 있다)이었다. 여기에 다층모형 분석에서 과학 교과 8개 세부 학습영역 모두에 공통적으로 영향력 있는 변인이 추가적으로 분석되었는데, 방과 후 스스로 공부하는 자기주도학습 시간, 과학 교과에 대한 가치(예: 과학 공부를 하면 일상생활에 도움이 될 것이다)였다. 이를 통해 수업 준비도 및 태도, 방과 후 학습 시간(사교육, 자기주도학습 등) 외에 과학 교과에 대한 정의적 특성(태도, 자신감, 흥미, 가치)이 과학 교과 세부 학습영역 성취에 전반적으로 유의미한 영향력이 있음을 확인할 수 있었다. 특히 다층모형 분석 결과, 과학 교과에 대한 정의적 특성 중 '과학 수업 시간에 배우는 내용이 어렵다'(과학 교과에 대한 태도) '노력해도 나에게 과학은 여전히 어렵다'(과학 교과에 대한 자신감)는 모든 세부 학습영역의 성취에 부정적인 영향력을 보였다. 이를 통해 학생이 과학 교과 학습에 대해 어렵다는 인식을 가지고 수업 중 위축된 태도를 가지고 있거나 자신감이 결여된 경우, 전반적인 과학 교과 성취 향상에 어려움이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

랜덤 포레스트 분석 결과, 교사 변인 가운데 과학 교과 8개 세부 학습영역에 공통적으로 영향력이 나타난 변인은 교사의 교직 경력, 수업 어려움 정도, 학급 학생 중 과학 교과 수업을 이해하는 학생 비율이었다. 이 중에서 수업 내용을 이해하는 학생들의 비율이 대부분의 과학 교과 세부 학습영역 성취에서 가장 주요한 영향요인으로 나타났다. 이는 성취도 격차가 큰 학급에서의 과학 수업의 어려움이 과학 교과의 모든 세부 학습영역 성취에 영향을 끼치는 악순환을 발생시킨다는 것을 시사한다. 여기에 다층모형 분석을 통하여 교사 변인 가운데 모든 세부 학습영역에 영향 미치는 공통요인이 추가적으로 나타났는데, 과학 교과 수업 활동 빈도에 관련된 설문 문항 가운데 과학적 개념, 원리, 법칙을 암기하게 하는 수업활동 빈도가 높을수록 과학 교과의 모든 세부 학습영역에 부적인 영향을 미치고 있다는 것이

다. 개념이나 법칙을 암기시키는 활동은 학생에게 과학 원리를 이해시키기에 어느 정도 필요하나 암기 위주의 수업 활동 빈도가 높으면 장기적이고 포괄적인 성취도 향상을 이끌어내지 못한다는 것을 알 수 있다. 또한 다층모형 분석에 의한 결과 중에서 교사가 평가 결과를 학생의 수행 수준을 진단하기 위해 활용하는 빈도가 높을 경우, 대부분의 세부 학습영역에 정적인 영향을 미치고 있다는 점도 특기할 만 하다. 교사가 학생의 수준을 파악하는 만큼 그 수준에 알맞은 수업 내용과 방법을 적용할 것이므로 학생의 과학 교과 세부 학습영역 성취를 향상시키는 데 효과적일 것이다.

학교 수준 변인 중 공통요인은 랜덤 포레스트 분석 결과에 의하면 학교 규모(전체 학생 수), 기초생활수급자 비율, 다문화 학생 비율, 학부모 풍토(자녀의 학업성취에 대한 학부모의 지원)가 모든 과학 교과 세부 학습영역에서 주요 영향요인으로 나타났다. 또한 학교를 구성하는 학생 풍토도 5개 세부 학습영역에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 구체적으로, 학생들의 학업성취를 높이하고자 하는 의지는 1, 2, 4, 5, 7번 세부 학습영역에 대한 주요 영향요인이었다. 이를 통해 학교를 구성하는 학생 및 학부모 풍토는 성취도 향상을 위한 의지나 관심과 관련 있고, 이러한 면학 풍토가 과학 교과의 전반적인 성취도 향상에 긍정적임을 알 수 있다.

한편, 본 연구에서는 과학 교과 8개 세부 학습영역별로 차별적인 영향력을 갖는 변수가 있음을 확인하였다. 먼저 학생 수준 변인의 경우, 랜덤 포레스트 분석 결과에 따르면 가정의 도서 보유량이나 방과 후 사교육 학습 시간이 큰 영향력을 보인 과학 교과 세부 학습영역은 1번(과학 원리 설명), 3번(탐구문제 발견 및 가설 설정), 7번(탐구문제에 대한 결론 및 해결 방안 제시), 5번(자료 분석 및 해석)으로 이들 세부 학습영역은 학생들의 평균 성취율이 높은 비교적 쉬운 영역이었다(<표 2>의 성취율 평균 참조). 과학 교과에 대한 정의적 특성인 자신감의 영향력이 크게 나타난 세부 학습영역은 2번(실제 생활 적용), 4번(문제 해결을 위한 탐구 방법 설계 및 수행), 6번(모형을 활용하여 현상 설명), 8번(증거에 기반한 논증)으로 학생들의 평균 성취율이 0.5 미만으로 어려웠던 영역인 것으로 나타났다(<표 2>의 성취율 평균 참조).

이를 해석해보면, 2, 4, 6, 8번 세부 학습영역은 과학적인 지식 이해를 토대로 문제 해결을 위한 효율적인 사고 및 역량이 복합적으로 요구되는 영역이다. 따라서 학생들이 수월하게 성취하기 힘든 어렵고 복합적인 세부 학습영역에서는 학생의 과학 교과 학습에 대한 자신감이 크게 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 이는 학생들이 어려워하는 세부 학습영역에서의 성취율 향상을 위한 유용한 정보가 될 수 있다. 사교육 학습 시간은 5번(자료 분석 및 해석) 세부 학습영역과 같이 단순한 반복적 연습을 통해 향상되기 쉬운 세부 학습영역에서 영향력이 높게 나타난 것으로 보아, 학생들의 근본적인 과학 소양을 다지고 장기적으로 심층적인 영역에서의 성취까지 향상시키는 효과를 얻는 요인으로는 미흡함을 알 수 있다. 특히 8개 세부 학습영역 가운데 가장 학생들의 성취율이 낮고 어려워하는 8번(증거에 기반한 논증)의 경우, 과학 교과에 대한 정의적 특성(태도, 자신감, 흥미, 가치)의 영향력이 두드러지는 것으로 나타났다. 따라서 과학 교과의 성취도를 향상시키고자 할 때, 심층 영역에서의 성취 향상을 위해서는 학생들의 과학 교과에 대한 정의적 특성을 바람직한 방향으로 키워주는 것을 병행할 필요가 있다.

교사 수준 변인에서 차별적인 영향력이 나타난 변인을 살펴보면, 랜덤 포레스트 분석 결과 교사의 수업 활동과 평가 방식이 세부 학습영역별로 다른 영향력을 보였다. 예를 들어, 과학 수업활동 빈도와 관련된 설문 문항 가운데 시험 또는 퀴즈 보기 빈도는 1번(과학 원리 설명) 세부 학습영역에만 관련 있

는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 기반으로 과학적 지식 및 원리를 이해하는 것은 교사가 시험 및 퀴즈를 통해 장려하는 것이 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 교사의 평가 방식을 묻는 문항인 ‘수행평가 과제가 어떻게 평가될 것인가를 학생들에게 공지하십니까?’는 8번(증거에 기반한 논증) 세부 학습영역에만 관련된 것으로 나타났다. 8번(증거에 기반한 논증) 세부 학습영역은 가장 난이도가 높은 심층적인 세부 학습영역으로 이에 대한 성취를 향상시키는 데에는 교사의 평소 수업이나 평가 방식이 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 과학 교과 8개 세부 학습영역별 성취도에 영향을 미치는 배경변인을 랜덤 포레스트 및 다층모형을 적용하여 분석하였다. 분석 결과, 과학 교과 세부 학습영역 전체에 영향을 미치는 공통 요인도 있으나, 세부 학습영역별로 차별적인 영향력을 지닌 요인도 있음을 확인하였다. 즉 교과에서의 학업성취 차이는 다양한 교육맥락변인의 차이에서 발생할 수 있으며, 또한 세부 학습영역마다 성취에 효과적인 변인은 상이할 수 있으므로 학생의 학업성취가 향상되도록 효과적으로 지원하기 위해서는 교육맥락변인과 연계하여 평가 결과를 분석·해석할 수 있어야 할 것으로 생각된다. 본 연구의 분석 결과는 향후 지역별·학교별로 취약하게 나타나는 세부 학습영역에서의 성취도 향상을 위해 구체적으로 어떠한 교육적 여건을 개선시켜야 하는지를 모색하기 위한 기초 자료를 제공한다. 또한 본 연구의 분석 결과에 의하면, 학생의 과학 교과에 대한 정의적 특성을 바람직한 방향으로 적극 지원하는 방안이 과학과의 모든 세부 학습영역에서의 성취를 향상시키는 데 효과적임을 알 수 있다. 따라서 학업성취도의 취약점을 진단하고 그치는 것이 아니라 학업성취와 교육맥락변인을 연계한 분석을 통해, 취약점을 보완하기 위한 처방을 제시해줄 수 있어야 할 것이다.

한편 본 연구에서 사용한 랜덤 포레스트나 다층모형에서는 변인들 간의 복잡한 구조적 인과관계는 파악하기 힘들다는 단점이 있다. 학업성취에 직접적인 영향을 미치지 않는 변인이더라도 다른 변인의 매개를 통해 간접적으로 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 직·간접적인 영향 관계를 파악하기 위해서는 구조방정식 모형(structural equation model)을 적용할 필요가 있다. 특히 학업성취도 평가 자료의 위계적인 구조를 고려하여 다층 구조방정식 모형(multilevel structural equation model)을 활용한다면 학생과 학교 수준 변인들이 세부 학습영역별 성취도에 미치는 효과와 그 관계성을 밝히는 더욱 정교한 심층 분석 방법이 될 수 있다.

참고문헌

- 곽영순. (2018). TIMSS 2015에서 과학 성취도와 흥미에 영향을 주는 교육맥락변인 분석. **한국과학교육학회지**, 38(2), 113-122.
- 곽영순, 박상욱. (2018). TIMSS 2015 상위국 8학년 과학성취에 미치는 교육맥락변인의 영향력 분석. **과학교육연구지**, 42(1), 66-79.
- 구자옥, 한정아, 김성숙. (2015). PISA 2012 상위국 남녀학생의 과학 성취에 미치는 교육맥락변인 영향력 분석. **교육평가연구**, 28(5), 1381-1400.
- 김희경, 김완수, 김수진, 정혜경, 김미림, 김성훈. (2019). **국가수준 학업성취도 평가 점수 체제 개선 및 결과 활용도 제고 방안**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2019-3.
- 김희경, 박종임, 정연준, 박상욱, 김창환, 이재희, 최재화. (2014). **맞춤형 교육 지원을 위한 형성평가 체제 도입 (I) - 온·오프라인 형성평가 시스템 설계**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2014-9.
- 동효관, 김경주, 강민경, 장의선, 성경희, 양성현, 김성경, 이재봉, 구자옥, 박상복, 김소연, 최원호, 김용진, 이기영. (2018). **2015 개정 교육과정에 따른 국가수준 학업성취도 평가 출제 방안 연구**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2018-4.
- 박인용, 김완수, 정혜경, 서민희, 한정아, 이현숙. (2017). **국가수준 학업성취도 평가 결과에 나타난 학업성취 및 정의적 특성 분석**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2017-6.
- 이명애, 동효관, 박인용, 김완수, 서민희, 정혜경, 김경주, 강민경, 장의선, 성경희, 임해미, 김성경, 배주경, 김소연, 이재봉, 박지현, 양길석, 강태훈, 신영준. (2017). **2015 개정 교육과정 적용에 따른 국가수준 학업성취도 평가 체제 발전 방안 연구**. 한국교육과정평가원. 연구보고 CRE 2017-8.
- 이신영, 김현정. (2021). PISA 2018 과학 영역에서 나타난 교육맥락변인 특성과 영향력 분석. **교과교육학연구**, 25(2), 94-107.
- 정혜경, 김명화, 김희경, 서민희, 박민규, 임효진. (2018). **표집평가 전환에 따른 국가수준 학업성취도 평가 개선 방안 연구**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2018-9.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Dibello, L., Stout, W., & Roussos, L. (1995). Unified cognitive/psychometric diagnostic assessment likelihood-based classification techniques. In P. Nichols, S. F.

- Chipman, & R. L. Brennan (Eds.), *Cognitively diagnostic assessment* (pp.361-389). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18-22. <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.
- Mutasa, S., Sun, S., & Ha, R. (2020). Understanding artificial intelligence based radiology studies: What is overfitting?. *Clinical imaging*, 65, 96-99.
- OECD. (2016). *PISA 2015 results excellence and equity in education*. Paris: OECD Publishing.
- Tatsuoka, K. K. (1985). A probabilistic model for diagnosing the misconceptions by the pattern classification approach. *Journal of Educational Statistics*, 10(1), 55-73.

· 논문접수 : 2023.10.05. / 수정본접수 : 2023.10.27. / 게재승인 : 2023.11.13.

ABSTRACT

Student and school variables affecting academic achievement in science subject attributes

HeeKyoung Kim

Senior Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation

Meereem Kim

Associate Researcher, Korea Institute for Curriculum and Evaluation

This study employed random forests and multilevel models to investigate the impact of background factors on achievement in eight attributes of science subject. The results showed that while there are shared factors influencing achievement across all attributes there are also distinct factors within each attribute that exhibit varying degrees of influence. In essence, differences in academic achievement can be attributed to variations in educational contextual factors, and the factors effective in enhancing achievement may differ across attributes. Therefore, it is crucial to analyze and interpret assessment results in conjunction with these educational contextual variables to effectively support students' academic success. Furthermore, the result suggests that actively promoting students' affective characteristics related to science subject can be an effective approach to improving achievement across all science attributes. The findings from this research provide fundamental insights for identifying necessary improvements in educational conditions to enhance academic achievement in attributes of science subject.

Key Words: *Science Subject Attributes, Academic Achievement, Random Forest, Multilevel Model*