

RESEARCH ARTICLE

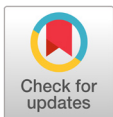
The Effect of Chemistry Experiment Classes Utilizing Advanced Laboratory Equipment at Science High Schools on the Development of Affective Characteristics in Science of Ordinary High School Students Hoping for Careers in Science and Engineering

Jihun Park
Pusan National University

과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동이 이공계 진로 희망 일반계 고등학교 학생들의 과학에 대한 정의적 특성 함양에 미치는 영향

박지훈
부산대학교

Corresponding Author: police6980@gmail.com



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 2, 161-182.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20230010>

Received: March 16, 2023

Revised: May 18, 2023

Accepted: May 22, 2023

© 2023. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

This research is conducted to investigate the effect of chemistry experiment classes utilizing advanced laboratory equipment at science high schools on the change of ordinary high school students' affective characteristics in science. For this purpose, we have developed six new courses that relied on advanced laboratory equipment such as UV-VIS spectrometers and NMR machines. Also, pre- and post-test surveys about affective characteristics of students, post-program surveys and interview materials were collected and analyzed. As a result, we confirmed the significant effect of those courses on ordinary high school students' affective characteristics. By operating the advanced laboratory equipment and experimenting with it, The students could have a variety of experiences related to careers that they could not have in ordinary high school. Further, it is shown that various chemical experiences through professional experiment activities beyond repeated question solving focused on exams have had an influence on changing the perception of chemistry. Unfortunately, such chemical experiments through the regular curriculum are currently only achievable through extracurricular programs or special lectures held during vacation. Therefore, this research can give us the significant implications for subject organization or operation through the development of co-operated curriculum.

Key words: Advanced laboratory equipment, affective characteristics, science high school, ordinary high school, chemistry

Introduction

과거 산업 사회에서 학생들에게 요구되었던 능력은 체계적으로 정립된 학문을 습득하여 활용하는 것이었던 반면(Raphael et al., 2009), 현대의 지식 정보 사회에서는 범람하는 정보와 지식에서 자신에게 필요한 것을 선별하고 융합하여 새로운 지식과 기술을 창출하는 창의적인 인재가 요구된다. 따라서 창의적 인재를 기르기 위해서 학교는 학생들이 능동적인 학습자로 성장하도록 학생들의 흥미와 호기심과 같은 정의적 특성을 길러주는 것이 매우 중요하다(Park & Hong, 2014).

선행 연구를 보면 학습에 대한 흥미와 자신감이 높은 학생일수록 학업 성취도가 높게 나타나는 등 정의적 태도와 성취도 사이에 긍정적 관련성을 보여주는 사례가 다수 보고되었으며(Kim & Kim, 2010; Kim et al., 2022; Lim, 2014), 특정 교과에 대한 정의적 태도가 긍정적이면 다른 교과에서도 긍정적인 태도를 보여주는 경향을 보이기도 하였다(Shim et al., 2001). 또한, 흥미나 동기유발 등은 구성주의적 측면에서 학습을 위한 필수적인 요소가 되므로(Kim & Han, 2018) 정의적 특성은 학생들의 학업 성취를 예측하는 중요한 요인으로 간주된다(Kang et al., 2007). 한편, 인지적 성취와는 별개로 학생들의 과학에 흥미를 함양시키는 그 자체만으로도 정의적 특성의 중요성이 강조되고 있으므로(OECD, 2007), 학교 교육의 목표와 성과로서 정의적 특성은 그 중요성이 매우 크다. 이에 우리나라의 과학교육은 인지적 및 탐구적 측면과 아울러 학생들이 자연 현상에 대한 호기심과 흥미를 갖고, 문제를 과학적으로 해결하려는 태도를 기르는 것과 같은 정의적 측면을 함양하는 것을 목표로 하고 있으며(KOFAC, 2015), 2015 개정 교육과정의 경우 인지적인 능력과 함께 기능이나 정의적 특성까지 포괄하는 총체적인 역량 기반 교육과정으로 설계되어 교육과정 자체에서부터 정의적 요소를 매우 강조하였다(Ministry of Education, 2015).

그러나 PISA 설문 결과 등을 볼 때 우리나라의 많은 과학 교사들은 수업에서 교과서의 내용을 읽고 판서 내용을 필기하며 연습 문제를 풀게 하는 방식의 수업을 진행하는 것으로 나타나 과학교육의 목표 및 교육과정에서 강조하고 있는 정의적 요소의 교육이 현장에서는 충분히 반영되지는 않는 것으로 보인다(Kim et al., 2019). 실제로 수학, 과학 성취도 추이 변화 국제 비교 연구(Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS)의 최근 3주기 동안의 결과를 분석해보면 과학의 학업 성취도는 최상위권을 유지하고 있지만, 과학에 대한 자신감과 흥미는 40~50개의 참여국 중 최하위권에 머물고 있을 정도로 과학에 대한 정의적 태도는 매우 낮으며(Kim, 2013; Sang et al., 2016; Seo et al., 2021), 이러한 특징은 입시 중심의 지식 교육, 실험 교육의 부재 등으로 학교급이 높아질수록 심화되었다(Kim et al., 2010). 이러한 수학과 과학에 대한 낮은 정의적 태도는 해당 과목에 대한 자발적이고 지속적인 학습이 일어나게 하는 데 부정적인 영향을 주게 되며 또한 관련 분야로의 진로 선택을 제약하여 우리나라의 과학 기술에 대한 국제경쟁력을 저하시킬 수 있다(Park & Hong, 2014).

고등학교의 경우 대학수학능력시험 과학 탐구 영역에서 학생의 흥미 및 적성, 진로보다는 입시에서의 유, 불리나 학업 부담 등의 이유로 선택 과목을 결정하는 것은 알려진 사실이며(Lee & Kwak, 2020), 진로와 관계 없는 과목을 선택한 경우가 그렇지 않은 경우와 비교하여 대학교에서의 학업 성취도가 떨어진다고 보고되었다(Hong et al., 2011; Kim et al., 2010; Lee & Chang, 2008; Moon & Lee, 2011). 또한, PISA나 TIMSS의 수학, 과학 성취도가 최상위권을 나타내지만, 성인을 대상으로 하는 국제 비교 검사 결과인 PIAAC 검사에서 수리력과 문제 해결력의 성취도는 OECD 평균 이하로 나타내었으며(Song, 2022), 2015 개정 교육과정에서 과학 교과 의 핵심 역량으로 강조하고 있는 평생 학습 능력 역시 OECD 평균 이하로 나타나는 등(Lim, 2006) 개인의

생애적 관점에서 과학교육의 결과를 볼 때 인지적 성취가 강조된 우리나라의 교육이 효과적이라고 판단할 수만은 없다고 본다.

따라서 과학교육의 장기적인 질적 재고 차원에서 학생들의 과학에 대한 정의적 특성 함양은 매우 중요하다고 볼 수 있다. TIMSS 결과 중 정의적 특성을 강조한 선행 연구들은 대부분 초등학교 및 중학교 학생의 정의적 특성 함양의 중요성을 강조하고 있다(Kim & Kim, 2010; Kim et al., 2022; Lim, 2014). 이와 더불어 대학 진학을 통해 자신의 평생 진로와 관련된 선택을 앞두고 있는 고등학생의 정의적 특성의 함양에 대한 중요성 또한 강조되어야 한다. 또한, 학교의 교육 여건 및 상황을 고려할 때 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들의 과학에 대한 정의적 특성 함양은 시급하다고 볼 수 있다.

과학고등학교의 경우 일반계 고등학교와 비교할 때 고급과학(물리학, 화학, 생명과학, 지구과학), 과학 실험(물리학, 화학, 생명과학, 지구과학) 등의 다양한 심화 과목이 편성되어 학생 선택의 폭이 넓으며, 재학 동안 다양한 탐구 활동의 기회가 주어지게 되어 흥미와 동기유발과 같은 정의적 특성 함양의 기회가 많은 것으로 나타났다(Kim, 2008). 과학 및 기술에 대한 경험은 과학에 대한 태도와 학습 흥미 사이에 유의미한 상관관계를 나타냈으며(Chang et al., 2009; Osborne et al., 2003), 탐구 활동을 통해 스스로 지식을 구성하고 과제를 성공적으로 수행하는 경험은 학생들의 동기를 부여하고 호기심을 높이며, 과학에 대한 흥미와 자아효능감을 높이는 것으로 보고되었다(Park et al., 2018; Yang & Kim, 2017). 실제로 과학에 대한 흥미도에서 과학고등학교 학생들은 과학 중점학교나 일반계 고등학교 학생들과 비교할 때 높게 나타났으며(Kim, 2012), 진로 선택도 73.6%의 학생들이 교과에 대한 흥미와 적성을 바탕으로 결정하였다(Kim et al., 2016).

과학고등학교에서의 다양한 탐구 활동은 대학과 연계된 R&E 활동과 교내 탐구 활동으로 구분할 수 있는데 R&E 활동의 경우 대학과 연계하여 대학의 우수한 장비와 연구를 직·간접적으로 경험할 기회를 얻어 연구 역량을 키울 수 있다. 또한, 과학고등학교 자체로도 대학 연구시설 못지않은 연구 장비를 갖추고 있어 교내 탐구 활동 및 수업 역시 학생들의 진로 희망과 연계하여 다양하게 구성할 수 있다. 실제로 첨단 장비를 활용한 수업에서 과학고등학교 학생들은 매우 긍정적인 반응을 보였으며 과학에 대한 흥미와 학습 의지와 같은 정의적인 특성이 증가한 것으로 나타났다(Choi et al., 2019; Jeon et al., 2016).

그러나 과학고등학교에 갖춰진 첨단 장비 중 상당수가 매우 고가이며, 장비를 유지하는데도 상당한 예산이 소요된다. 과학고등학교의 첨단 장비 관련 예산을 일률적으로 공개하고 있지는 않지만, 일부 공개된 자료를 보면 광역시 소재의 과학고등학교에 2020년과 2021년 모두 수천만 원의 예산을 첨단 기자재 구매의 용도로 지원받은 것으로 나타났다(Jeollabukdo Office of Education, 2020, 2021). 모든 과학고등학교와 영재학교가 이와 같다고 볼 수는 없지만, 전국에 영재학교가 8개, 과학고등학교가 20개가 있는 것을 고려할 때 매년 상당한 예산이 첨단 기자재 구매비용으로 사용된다는 것을 예상해볼 수 있다. 그러나 연구 분야와 관련된 장비를 지속해서 사용하는 대학교의 연구실과는 달리 과학고등학교 첨단 장비의 활용률은 낮은 수준이므로(Jeon et al., 2016), 이러한 장비를 과학고등학교 학생들만을 위하여 이용하는 것은 국가적으로 큰 손실이라고 볼 수 있다. 따라서 과학고등학교에서 갖추고 있는 첨단 장비를 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들이 사용할 기회를 부여한다면, 첨단 장비를 활용한 수업이 과학고등학교 학생들의 정의적 특성 함양에 효과가 있었던 것처럼, 입시 중심의 지식 교육 및 실험 교육의 부재 등으로 과학에 대한 흥미가 낮아진 일반계 고등학교 학생들의 과학에 대한 정의적 특성의 함양에 효과적일 것으로 생각한다. 고등학생의 대학 연구실에서의 탐구 활동이 과학에 대한 흥미와 함께 직접 추구 의사를 높인 것과 같이(Kirchhoff et al., 2023; Knox et al., 2003), 이공

계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학생들에게 첨단 장비의 사용은 탐구적 관심을 통해 흥미와 함께 자신의 진로와의 관련성을 바탕으로(Keller, 1983)으로 투지와 같은 정의적 특성이 함양될 수 있을 것으로 기대된다.

첨단 장비와 관련한 국외 선행 연구를 보면 고등학생을 대상으로 NMR (Bonjour et al., 2015)이나 UV-Vis spectrometer (Jurinovich & Domenici, 2022)의 활용 가능성을 확인한 논문부터 HPLC 실험을 이용한 메타인지 촉진과 관련된 연구(Bowen et al., 2018), AAS를 활용한 협력적 학습과 관련된 연구(Schwarz et al., 2020) 등 다양한 장비 및 분야에 관한 연구가 활발하게 이루어졌지만, 국내에는 과학등학교 학생(Choi et al., 2019; Jeon et al., 2016)이나 교사(Kang et al., 2008)를 대상으로 진행된 연구가 대부분이며 일반계 고등학교 학생을 대상으로 한 연구는 아직 수행되지 않았다. 또한, 과학 분야의 정의적 영역과 관련된 대부분의 연구는 학생들의 개별 응답보다는 TIMSS나 PISA와 같은 국제 비교평가에서 제공되는 대규모 자료를 이용하여 수행된 것으로(Choi & Chung, 2022; Kim & Lee, 2018; Seo et al., 2022), 교육적 처치에 의한 정의적 특성의 변화는 주로 초등학교나 중학교 학생을 대상으로 이루어졌으며(Heo & Yoo, 2010; Nam et al., 2004; Park et al., 2006; Shin & Park, 2020), 고등학교 학생들을 대상으로 한 연구는 고등학생의 정의적 특성 자체에 대한 연구(Jeong et al., 2022; Lee & Kim, 1996; Moon & Ham, 2016; Park & Lee, 2012; Yoo et al., 2013)가 대부분이었다.

따라서 이 연구는 과학고의 첨단 장비를 활용하여 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들을 위한 수업 자료를 개발하고, 이러한 수업이 학생들의 과학에 대한 정의적 특성 함양에 어떠한 효과가 있는지를 알아보려고 한다.

Research Methods

Participants

이 연구는 일반 학교에서 운영하기 어려운 다양한 교과 교육과정 지원을 위한 교육청 주도 프로그램의 하나로 광역시 소재의 과학고등학교에 개설된 ‘과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험’ 활동에 수강 신청을 한 일반계 고등학교 2학년 학생 15명을 대상으로 진행되었다. 학생들은 교수자가 제시한 교수 계획표를 읽고, 수강을 희망하는 경우 활동에서의 목표와 바라는 점 등을 서술하도록 구성된 수강 신청서를 작성하였다. 교수자는 학생들이 작성한 수강 신청서에 제시된 수강 의지 및 진로의 구체성 등을 바탕으로 희망한 20명 중 15명을 선정하였다. 15명의 학생 중 남학생은 5명, 여학생은 10명이고, 모두 화학 계열 이공계 진로를 희망하였으며, 고등학교에서 과학 탐구실험, 통합 과학, 화학 I 을 이수하였다.

Development of Chemistry Experimental Class Materials Utilizing Advanced Laboratory Equipment of Science High School

이 연구를 위해서 첨단 기기를 활용한 화학 실험 수업 자료를 개발하였다. 이를 위하여 과학고등학교 교직 경력 10년 이상의 화학 교사 3명이 개발에 참여하였다. 개발에 참여한 교사 중 1명은 교육학 박사, 1명은 교육학 석사, 1명은 이학 석사 학위를 가지고 있었다. 개발진은 사전 협의회를 실시하여 수업 자료 개발의 방향을 먼저 설정하였다. 협의된 자료 개발의 방향은 첫째 자료의 수준을 조절하여 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학생들이 충분히 기기의 작동 원리나 사용법을 이해할 수 있도록 해야 하고, 둘째 학습 동기를 높이기 위하여 교육과정과 연계할 수 있는 장비를 먼저 선정하며(Keller, 1983), 셋째 한가지 장비를 다양한 활동에서 사용하도록 구성하여 장비 운용을 경험 수준에서 그치지 않도록 하는 것이다.

이후 개발을 위한 1, 2차 협의회를 통해 실험 수업 자료에 사용될 기기를 선정하고, 이를 교육과정과 연결하는 작업을 하였으며, 이를 바탕으로 개발진별 2~3가지 주제에 대한 수업 자료를 개발하였다. 3차 협의회에서는 개발된 수업 자료 초안에 대한 수정 과정을 거쳤으며, 이에 따라 수정된 수업 자료를 이용하여 내용 타당도 검사를 하였다. 이를 바탕으로 4차 협의회에서 최종 수업 자료를 완성하였다.

Data Collection

과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동이 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들의 과학에 대한 정의적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 사전 및 사후 정의적 특성 검사지, 프로그램 사후설문지, 수강 신청서를 수집하였으며, 수집된 자료에 대한 정보는 Table 1과 같다.

Table 1. List of collected data

Data	Frequency	The number of Participants	Quantity
Scientific affective characteristic test	2	15	30
Post-program survey	1	15	15
Course registration form	1	15	15

Scientific Affective Characteristic Test

과학에 대한 정의적 특성을 알아본 선행 연구로는 Kim & Lee (2014), Moon & Ham (2016), Kim et al. (2010), Kang et al. (2021) 등이 있다. Kim & Lee (2014)의 연구에서는 정의적 영역을 성취 정서라 하여 즐거움, 자부심, 화, 불안, 수치심, 지루함 및 절망감과 같은 감성적인 요인을 중점적 설정하였으며, 7개의 영역에서 총 61개의 문항으로 정의적 특성을 알아보았다. Moon & Ham(2016)의 검사지에서는 투지, 흥미, 과제집착력, 자기조절능력의 4개 영역에서의 총 29개의 문항으로 정의적 특성을 알아보았으며, Kim et al. (2010)의 검사지에서는 도구적 동기유발, 과학에 대한 흥미와 즐거움, 과학에서 자아개념, 과학에서의 긴장감의 4개 영역에서의 총 19개 문항으로 정의적 특성을 알아보았다. Kang et al. (2021)은 Moon & Ham (2016)과 Kim et al. (2010)의 검사지를 바탕으로 정의적 특성을 흥미, 도구적 동기유발, 긴장감, 자아개념, 투지(흥미의 일관성, 노력의 지속성), 과제집착력, 자기조절능력 총 7개 영역으로 정의하였으며, 이로부터 48문항을 선정하였다. 흥미(Interest)는 교과나 학습 주제에 관해 주관적으로 느끼는 선호도와 학습활동의 참여를 통해 얻을 수 있는 즉각적인 재미로 정의하였으며(Park et al., 2010), 학습을 위한 내적 동기에 해당한다. 도구적 동기유발(Instrumental motivation)은 어떤 목적을 달성하기 위해 높은 성적을 받거나 진학이나 승진 등을 위해 학습하려는 동기로(Pintrich & Schunk, 2002), 흥미와는 반대로 외적 동기유발이라고 볼 수 있다. 긴장감(Learning anxiety)은 부정적 정서로 과학 성취도와 부정 상관관계를 나타낸다(Kim et al., 2010; Kwak et al., 2006). 자아개념(Self-concept)은 자기 자신에 대해 가지는 생각, 감정 및 태도 등 총체적인 지각을 의미하며 이와 같은 의미로 PISA에서는 자아효능감(Self-efficacy)으로, TIMSS에서는 자신감(Self-confidence)으로 사용하고 있다(Lee & Jeong, 2004; Lee & Hong, 2007). 투지(Grit)는 목표를 성취하기 위한 지속적인 노력과 끈기를 의미하는 것으로 자기통제감(Self-control), 성실성(Conscientiousness)과 유사한 개념이지만 관심과 자기 결정성, 목표의 지속성 등에 차이가 있다(Duckworth et al., 2007). 과제집착력(Task-commitment)은 어떤 과목이나 과제를 할 때 몰입해서 도전하는 것을 의미하고(Cascallar et al., 2006; Zimmerman, 1989), 자기조절능력(Self-regulation)은 자신이 목표로 한 성취를 달성하기 위해 학습자 스스로가 선택, 통제 및 계획을 하며, 방해요인을 극복하는 통합적인 전략이다(Zimmerman, 1989).

이 연구에서는 Kang et al. (2021)의 연구에서 사용한 정의적 특성 검사 문항을 활용하였다. Moon & Ham (2016)과 Kang et al. (2021)의 연구에서는 ‘투지’에 대한 세부적인 내용을 연구하기 위해서 투지를 다시 흥미의 일관성, 노력의 지속성으로 분류하여 추가 분석하기도 하였지만, 이 연구에서는 전체적인 정의적 특성에 대하여 알아보는 것이므로 투지를 하위 요소로 구분하지 않고 분석하였다.

문항은 모두 5단계 리커트 척도로 되어있으며, 15~20번(긴장감), 25~29번(투지)의 11문항은 부정적 문항으로, 나머지 37문항은 긍정적 문항으로 구성되었다. 과학에 대한 정의적 특성 검사에 대한 Cronbach's α 값은 0.876이었다. 과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동을 적용하기 전과 적용이 끝난 후 각각 과학의 정의적 특성 검사를 실시하였으며, 시간은 검사당 평균적으로 20분 정도 소요되었다.

Post-program Survey

과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동이 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학생의 과학에 대한 정의적 특성에 미치는 영향을 심층적으로 알아보기 위해서 활동 후 프로그램 전반에 걸친 사후 설문 조사를 실시하였다. 설문지는 과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동에 대한 전반적인 생각과 자신에게 미치는 영향에 관하여 묻는 두 가지 항목으로 구성되었다. 활동 전반에 걸친 전반적인 생각을 묻는 문항은 2개 문항으로, 6개의 주제 중 자신에게 가장 도움이 되었다고 생각하는 것 2개를 고르고 그 이유가 무엇인지 묻는 문항과 이 프로그램에 참여하면서 느낀 점에 대하여 자유롭게 서술하는 문항으로 구성되었다. 자신에게 미치는 영향에 관하여 묻는 문항은 5개 문항으로 이 프로그램을 통해 사전에 정해 놓은 목표를 달성하였는지? 그리고 이 프로그램에서의 활동이 앞으로 자신의 학업, 자신감, 진로, 과학에 대한 태도에 어떠한 영향을 줄 것 같은지를 물어보는 서술식 문항으로 구성되었다.

Data Analysis Method

Scientific Affective Characteristic Test

과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동을 적용하기 전과 적용이 끝난 후 각각 과학에 대한 정의적 특성 검사를 실시하였다. 검사 결과는 SPSS WIN 26.0을 이용하여 통계 처리하였다. 이 프로그램에 참여한 학생은 15명으로 정규 분포를 가정할 수 없으므로 각 검사 결과에 대하여 Shapiro-Wilk 정규성 검증을 시행한 결과, 사전 및 사후 검사 모두 일부 하위 항목의 유의 수준이 $P < .05$ 로 정규성을 만족하지 못하여 비모수 통계를 사용하였다. 이 연구에서는 실험집단만 존재하므로 프로그램의 효과를 알아보기 위하여 Wilcoxon signed-rank test를 실시하였다.

Post-program Survey

과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동이 끝난 후 프로그램 사후 설문을 실시하였다. 설문 문항은 대부분 주관식 문항으로 구성되었다. 해당 자료들은 정의적 특성 검사 결과 해석에 관한 구체적인 사례로 활용되었다. 자료의 분석은 과학교육전문가 1인, 과학교육 박사 1인, 과학교육 석사과정 1인에 의해서 이루어졌다. 먼저 학생 2명의 자료를 이용한 예비 분석의 결과를 바탕으로 분석 관점에 대하여 합의를 하였으며 이를 바탕으로 재분석하여 분석한 결과가 서로 유사해질 때까지 반복적으로 분석 관점을 조정하였다. 최종적으로 연구자 1인이 합의된 분석 관점을 이용하여 자료를 분석하였다.

Results

Chemistry Experimental Class Materials

협의회를 통하여 선정된 장비는 UV-VIS spectrometer, Atomic absorption spectrometer (AAS), Nuclear magnetic resonance spectrometer (NMR), Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), Rotary evaporator, High-performance liquid chromatography (HPLC)의 여섯 종류였고, 실험 기법은 Thin layer chromatography (TLC), Column chromatography, Recrystallization의 세 개 종류로 총 아홉 가지 종류의 기기 및 실험 기법이다. 이후 첨단 장비 및 실험 기법의 원리 또는 활용과 관련 있는 교육과정상의 성취 기준을 선정하여 매칭하는 과정을 실시하였다(Table 2).

Table 2. Related achievement standards

Equipment or technique	Contents	Related achievement standards
UV-VIS spectrometer	Analysis of organic and inorganic substances	[12Chemistry102-02]
Atomic absorption spectrometer (AAS)	Analysis of metal ion	[12Chemistry102-02]
Nuclear magnetic resonance spectrometer (NMR)	Structural analysis of carbon compounds	[12Chemistry101-02] [12Chemistry103-06]
Fourier transform infrared spectrometer (FTIR)	Identification of functional groups of carbon compounds	[12Chemistry101-02] [12Chemistry103-07]
Rotary evaporator	Separation of mixtures	[9Science13-03]
High-performance liquid chromatography (HPLC)	Separation of mixtures	[9Science13-05]
Thin layer chromatography (TLC)	Separation of mixtures	[9Science13-05]
Column chromatography	Separation of mixtures	[9Science13-05]
Recrystallization	Separation of mixtures	[9Science13-05]

선정된 첨단 장비 중 NMR과 FTIR의 장비 작동 원리와 관련 있는 성취 기준은 없지만, 장비를 활용하여 얻을 수 있는 정보는 ‘생활 속 탄화수소의 종류’와 ‘분자의 구조’로 성취 기준과 관련이 있다. UV-VIS spectrometer와 AAS는 화학 I의 원자의 구조와 관련하여 장비 작동의 원리를 설명할 수 있으며, Rotary evaporator는 중학교 3학년 과학에서 끓는점 차이를 이용한 혼합물의 분리 및 화학 II의 증기압력 내림 현상과 연관 지을 수 있다. HPLC, TLC, Column chromatography는 중학교 3학년의 혼합물의 분리 중 크로마토그래피와 연관 지을 수 있고, Recrystallization은 중학교 3학년의 혼합물의 분리 중 재결정과 연관 지을 수 있다.

이를 바탕으로 선정된 실험 장비 및 기법을 활용한 수업 자료를 개발하였다. 수업 자료의 개발은 먼저 문헌 조사를 통하여 첨단 장비나 실험 기법에 잘 적용되는 사례를 찾은 뒤 이를 활용한 수업 자료를 개발하는 순서로 진행되었다. 수업 주제는 1.카페인 추출, 2.아스피린 합성, 3.카페인과 아스피린의 정량, 4.구리 순환 실험, 5.색소 분리, 6.음료 속 Mg의 양 측정, 7.비타민 음료 속 비타민 C 정량으로 총 7개 주제 24차시 수업으로 개발되었다.

개발된 수업 자료는 과학고등학교 화학 교사 5인, 일반계 고등학교 화학 교사 5인으로부터 내용 타당도를 검증받았다. 내용 타당도는 내용 타당도 지수(Content Validity Index, CVI)에 근거하여 판단하였다. 리커트 척도 중 중간 응답이 존재할 때 중간 점을 선택하는 경향이 증가하므로(Krosnick & Fabrigar, 1997) 해당 검사지의 각 문항은 4단계 리커트 척도로 구성하여, 각 문항에 대한 CVI가 0.75를 초과하는 문항을 우선하여 고려하였다(Waltz & Bausell, 1981).

타당도 검증 문항은 1)개발된 수업 자료의 내용이 화학 과목에 관심이 있는 일반계 고등학교의 심화 수업으로 적절한가? 2)개발된 수업 자료의 실험 절차가 화학 과목에 관심 있는 일반계 고등학교의 심화 수업으로 적절한가? 3)수업 프로그램에 대한 자유 서술 문항으로 총 24개 문항이었으며, 이중 내용 타당도는 자유 서술식 문항을 제외한 1~2)의 객관식 14문항을 대상으로 분석하였다. 내용 타당도의 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Content validity index of chemistry experimental class materials

Topic	#	CVI	Topic	#	CVI	Topic	#	CVI	Topic	#	CVI
1	1)	.90*	2	1)	.90*	3	1)	1.00*	4	1)	.90*
	2)	.80*		2)	1.00*		2)	.80*		2)	.90*
5	1)	1.00*	6	1)	.90*	7	1)	.80*			
	2)	1.00*		2)	.70		2)	.30			

*Items with CVI > .75

개발한 7개 주제의 실험 프로그램 중, 음료 속 Mg의 양 측정과 비타민 음료 속 비타민 C 정량 실험 프로그램은 모두 실험 절차에 관한 내용 타당도가 떨어진다는 결과가 나왔으며, 주관식 문항에서 이에 대한 이유를 다음과 같이 설명하였다.

<사례 1>

- AAS의 경우, 학생들이 스스로 사용하기에는 너무 위험한 장비이므로 학생이 주도적인 역할이 작아질 것이다.
- HPLC는 앞선 다른 프로그램과 달리 전처리를 하는 과정이 길고 복잡하며 이를 학생에게 설명하는 것이 현재는 교육적으로 큰 의미가 없을 것 같다.
- HPLC는 TLC 및 관 크로마토그래피와 내용은 겹치면서도 작동법이 매우 복잡하니, HPLC 프로그램은 삭제하고 TLC와 관 크로마토그래피를 다른 프로그램에 추가하는 것이 좋을 것 같다.

(프로그램 타당도 검사지)

위의 내용 타당도 결과를 바탕으로 HPLC에 대한 주제는 삭제하고 대신 TLC를 아스피린 합성 실험에 추가하였다. AAS의 경우는 화학 I 교육과정상 원자의 구조와 연관 짓기 좋은 장비이므로 개발자 간 협의를 통하여 그대로 유지하되 학생 안전 교육을 강화하기로 하였다.

최종 선정된 수업 내용은 카페인 추출, 아스피린 합성, 카페인과 아스피린의 정량, 구리 순환 실험, 색소 분리, 음료 속 Mg의 양 측정으로 총 6개의 주제이고 사용되는 첨단 기자재는 UV-VIS spectrometer, Rotary evaporator, Nuclear magnetic resonance spectrometer (NMR), Atomic absorption spectrometer (AAS)이며, 포함된 실험 기법은 Thin layer chromatography (TLC), Column chromatography, Recrystallization, Extraction이 있다(Table 4). 수업 자료의 예시는 Fig 1과 같다.

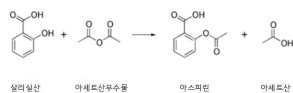
02 아스피린 합성 및 TLC, NMR 분석

실험 이론

아스피린이란?

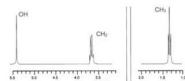
1897년 독일 바이엘사의 연구원 펠릭스 호프만은 살리실산의 히드록시기를 아세트기와 에스테르화 반응시켜 아스피린을 만들었는데 살리실산의 부작용이 크게 줄어들었다. 이는 최초의 합성 의약품이다.

아스피린 합성 반응



NMR

핵자기공명(NMR)스펙트럼 측정법은 자기장 안에 놓인 물질의 구성 원자핵이 그 핵 고유의 주파수의 라디오파에 공명하여 방출 에너지의 특성(nu)에 의해 방출되는 에너지의 특성을 실험적으로 측정하여 핵의 라디오파를 흡수하는 현상을 이용한 스펙트럼 측정법이다. 주로 유기물질의 구조를 분석하는 데 사용된다.



실험 방법

준비물

50mL 삼각플라스크, 알코올램프, 철화기, 석면토끼, 쇠고리, 클램프, 소듐, 합매기, 온도계, 비커, 컵, 탁, 중유, 살리실산, 아세트산무수물, 물, 증류수, 탄산, 에틸에테르, 석유 에테르, CDCl₃, TLC, 에틸아세테이트, 핵세인, 전개병, 아스피린

아스피린 합성 (유기화학)

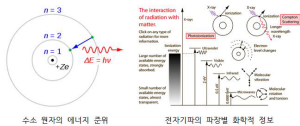
- 1 -

03 카페인과 아스피린의 정량

실험 이론

분광법

에너지의 불연속성은 비단 원자뿐만 아니라 모든 복합물, 또한 원자의 준위뿐만 아니라 분자의 운동(회전, 진동)의 에너지 준위와도 관련이 있다. 빛 에너지는 원자가 진동수(파장)에 따라 흡수되는 일반적으로, 마이크로파는 분자의 회전상태, 적외선은 분자의 진동상태를 변화시키고, 가시광선-자외선은 전자전이, X선은 이온화를 일으킨다.



빛이 시료를 흡수할 때 광선의 복사에너지는 감소하며 복사에너지(irradiance, I)는 광선의 단위 면적당, 초당 에너지이다. 흡광도(absorbance)는 빛이 시료를 통과할 때 광선의 세기가 감소하는 정도를 나타낸다. 따라서 T는 여기서 1 사이의 값을 가진다. 흡광도(absorbance)는 다음과 같이 정의된다. 투광도와 흡광도는 주로 분광도법에서 측정된 데이터로 얻어진다.

$$I = I_0 10^{-\epsilon c l}$$

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$$A = \log \left(\frac{1}{T} \right) = -\log T$$

흡광도와 투광도

검량선

검량선은 농도를 아는 표준 물질(2-4개)의 흡광도를 측정하여 농도-흡광도 그래프를 나타낸 것이다. 일반적으로 농도가 진해질수록 흡광도는 증가하지만, 항상 직선의 관계이며 법칙을 만족하는 것은 아니며, 좋은 법칙에서 직선 관계를 가진다고 추정할 수 있다. 즉 농도가 낮아질수록 흡광도가 낮아질 수 있으므로 내가 분석하려는 시료의 농도를 측정하는 방법과 흡광도를 비교하여 농도를 결정할 수 있다. 이 그래프를 잘 그려서 알아서 직선에 가까운 위치를 나타내주는 상관 계수로 일반적으로 0.99 이상은 되어야 데이터로서의 가치를 가진다.

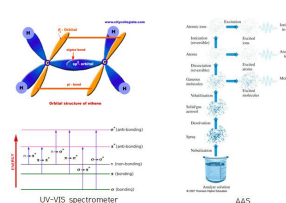
- 1 -

06 음료 속 Mg의 양 측정

실험 이론

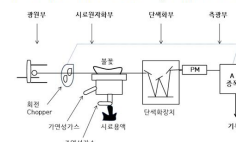
AAS(Atomic Absorption Spectrophotometry)

불꽃(Flame)이나 노(Furnace)를 이용하여 가열 상태의 자유 원자에 의해 흡수되는 빛의 양으로 원자의 농도를 결정하는 기법이다. 시료를 강한 불꽃에 태워 시료 중 존재하는 원소에 해당하는 에너지를 가해 높은 에너지 준위로 만든 후 가열 상태의 원자가 증가할수록 투과하는 빛의 양을 측정하는 원리를 이용한다.



AAS 장비의 구성

원자흡광분광도계는 광원, 원자화 장치, 파장을 분리할 수 있는 단색화 장치, 검출기 등으로 구성되어 있다.



- 1 -

Fig. 1. Example of chemistry experimental class materials

Table 4. Contents of chemistry experimental class materials utilizing advanced laboratory equipment of science high school

Topics	Contents	Periods (50 min)
Topic 1 Extraction of caffeine	- Caffeine extraction using difference in solubility - Mixture separation using density difference - Removal of solvent by rotary evaporator - Caffeine determination by UV-VIS spectroscopy - Structural analysis of caffeine using NMR	4
Topic 2 Synthesis of aspirin	- Synthesis of aspirin - Purifying compounds by recrystallization - Caffeine determination by TLC - Structural analysis of aspirin using NMR	4
Topic 3 Quantitative analysis of caffeine and aspirin	- Quantitative analysis of caffeine in coffee using UV-VIS spectroscopy - Quantitative analysis of aspirin in aspirin tablet using UV-VIS spectroscopy	4
Topic 4 Copper cycle experiment	- Acid-base reactions and redox reactions involving Cu - Analysis of Cu solutions Using Atomic Absorption Spectrometry	4
Topic 5 Separation of pigments	- Separation of pigments by TLC - Separation of pigments by sep-pak c18 cartridge	2
Topic 6 Analysis of metal cations in beverages	Analysis of beverages using AAS	2

Development of Affective Characteristics in Science

과학의 정의적 특성 검사를 통해 정의적 특성의 7가지 하위 요소(흥미, 도구적 동기유발, 자기조절능력, 투지, 긴장감, 자아개념, 과제집착력)에 대하여 알아보았다(Table 5).

Table 5. Wilcoxon signed-rank test result on the scientific affective characteristic test

Sub-Elements		N	Mean ($\pm$ SD)	Negative sum rank	Positive sum rank	Z	p
Interest	Pre-	15	4.22 ($\pm$ 0.46)	6.00	72.00	-2.596b	.009**
	Post-	15	4.52 ($\pm$ 0.44)				
Instrumental motivation	Pre-	15	4.67 ($\pm$ 0.44)	0.00	28.00	-2.388b	.017*
	Post-	15	4.97 ($\pm$ 0.28)				
Self-regulation	Pre-	15	3.58 ($\pm$ 0.53)	14.50	76.50	-2.176b	.030*
	Post-	15	3.88 ($\pm$ 0.61)				
Grit	Pre-	15	3.08 ($\pm$ 0.44)	17.50	102.50	-2.414b	.016*
	Post-	15	3.80 ($\pm$ 0.46)				
Task-commitment	Pre-	15	3.69 ($\pm$ 0.79)	7.00	48.00	-2.106b	.035*
	Post-	15	3.93 ($\pm$ 0.72)				
Self-concept	Pre-	15	3.03 ($\pm$ 0.67)	5.50	99.50	-2.959b	.003**
	Post-	15	3.81 ($\pm$ 0.70)				
Learning anxiety	Pre-	15	2.48 ($\pm$ 0.76)	12.50	78.50	-2.318b	.020*
	Post-	15	2.89 ($\pm$ 0.54)				

* $p < .05$, ** $p < .01$

Wilcoxon signed-rank test 결과, 과학에 대한 정의적 특성에 모든 하위 요소에서 통계적으로 유의미하게 증가하였다. 구체적으로 흥미($Z = -2.596b$, $p < .01$), 도구적 동기유발($Z = -2.388b$, $p < .05$), 자기조절능력($Z = -2.176b$, $p < .05$), 투지($Z = -2.414b$, $p < .05$), 과제집착력($Z = -2.106b$, $p < .05$), 자아개념($Z = -2.959b$, $p < .01$), 긴장감($Z = -2.318b$, $p < .05$)에서 사후 검사가 사전 검사와 비교하여 통계적으로 유의미하게 증가하였다. 즉, 과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동은 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들의 과학에 대한 정의적 특성 함양에 효과 있는 것으로 나타났다.

프로그램 사후설문지 문항 중 자신에게 가장 도움이 되었던 실험(2가지씩 선택)의 결과는 Fig 2와 같다.

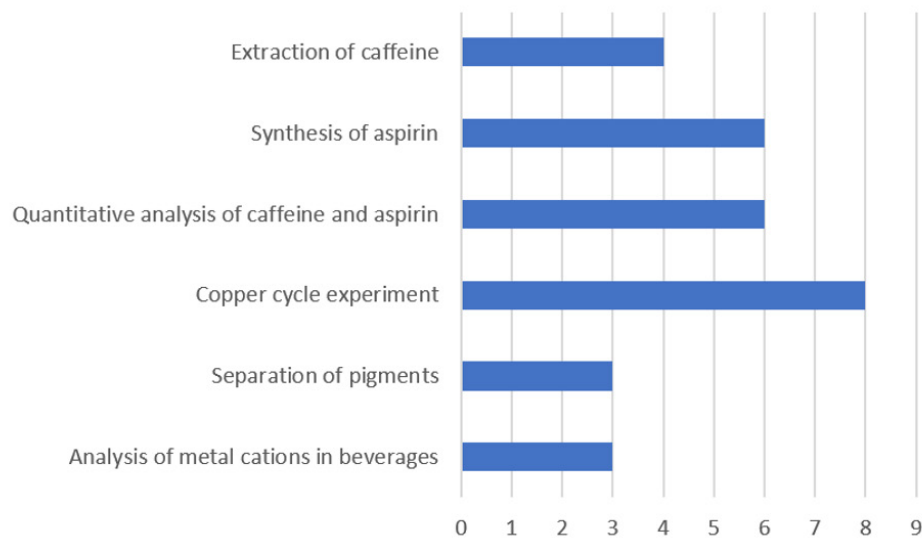


Fig. 2. Results of preference survey by topic

도움이 되었다고 생각하는 대부분 이유는 흥미와 관련된 것이었으며, 흥미를 느낀 이유에 대해서는 크게 '심화 기기의 사용'과 '실험 수업'으로 구분할 수 있었다.

<사례 2>

학생 A: 핵자기공명 NMR로 분석해봐서 너무 재밌었다. 이렇게 비싸고 첨단적인 기계를 사용해 본 것도 처음이라 신기하고 흥미로웠다. 아스피린 분해 실험은 학교에서 해봤는데 여기서 크로마토그래피를 이용해 TLC 분석을 해보아 재밌었다. UV로 빛을 비춰보아 실제 아스피린과 우리가 만든 아스피린의 값을 비교해보는 것이 재미있었다. 우리 조는 정확히 차이 나지는 않았지만 다른 조 결과를 보면서 흥미를 느꼈다.

학생 C: 일단 학교에는 없는 여러 가지 기계들을 활용하여 조금 더 정밀하고 기술적인 실험을 경험할 수 있었던 것 같다. 학교에서는 화학 수업에서 실험한 기억이 거의 없고 영상 매체를 통해 실험을 대신하였는데 특히 영상으로 미리 접해 본 아스피린 합성을 실제로 해보니까 인상적이고 신기했다.

학생 D: 여러 기계가 매우 신기했다. 일주일이라서 너무 아쉽고 일주일 만에 태어나서 18년 동안 해 온 과학 실험들보다 더 많은 것을 한 것 같고 멀리까지 와서 새로운 친구들이랑 다양하게 실험하니 진짜 좋은 경험이었던 것 같다.

(프로그램 사후설문지)

<사례 2>의 학생 A는 이번 활동에서 실시한 실험의 일부를 학교 수업에서 수행한 경험이 있었다. 그러나 일반 고등학교의 분석 장비 부재로 인하여 제한된 탐구 활동을 하였지만, 이 활동에서는 첨단 장비를 통해 본 인들이 합성하거나 추출한 물질을 실제로 확인할 수 있었다는 점에서 큰 만족감을 표현했다. 학생 C와 D의 경우도 첨단 기기의 사용에 대한 흥미를 표현하였다. 이와 함께 학생 C와 D의 응답을 통해 일반계 고등학교의 수업에서는 실험 활동에 제한이 있었으며 이 활동을 통해 실험 활동을 수행한 것만으로도, 흥미에 영향을 준 것을 알 수 있었다.

연구에 참여한 학생들이 모두 자발적으로 이 프로그램에 참여하였다고 응답한 것으로 볼 때 화학에 대한 흥미가 일반적인 학생들과 비교할 때 높다고 판단되며, 실제로 학생들의 흥미에 대한 사전 점수의 평균은 4.22점으로 정의적 특성의 하위 요소 중 동기유발 다음으로 높았다. 위 학생들의 응답을 종합해 볼 때, 과학에 흥미는 높은 상태이지만 평소 이론 위주의 학교 수업에 불만족을 느끼고 있었으며, 이러한 학생들이 경험한 학교에서는 다룰 수 없는 각종 장비를 이용한 다양한 실험 활동은 과학에 대한 흥미를 더욱 높이는 데 큰 효과를 나타낸 것으로 보인다.

학생들은 이번 활동에 참여하기 위해서 수강 신청서를 작성하였으며, 수강 신청서에 활동 참여의 목표를 기술하도록 하였다. <사례 3>은 학생들이 작성한 목표의 예시이다.

<사례 3>

학생 B: 화학 계열로의 진로를 희망하는 만큼 첨단 장비로 다양한 경험을 쌓고자 한다.

학생 G: 책으로만 보고 문제만 푸는 화학이 아닌 진정한 화학을 경험해보고, 내가 미래에 관련 직종을 가질 때를 대비하여 전문적인 기구를 사용해 보는 것이 목표이다.

학생 C: 막연하게 화학과 관련된 직업을 생각했지만, 화학 문제집을 풀거나 학교에서 이론상의 화학 수업을 들을 때 화학이라는 과목의 흥미가 떨어지고 과학 수업이 전처럼 즐겁지 않다는 생각이 들어서 실험하는 과정을 체험해보면 생각이 바뀔 수 있을까 라는 것을 목표로 참여했다.

학생 H: 화학을 선택하여 공부하면서 어려워서 좋아해서 시작한 화학이었지만, 하기 싫고 결국 마지막까지 미뤄서 하던 화학 공부였는데 실험하면서 다시 화학을 좋아하고 싶다.

(수강 신청서)

학생 B와 G의 경우는 본인이 희망하는 화학 관련 진로와 관련된 활동을 하기 위해서 이 활동을 수강하였다고 응답하였고, 학생 C와 H는 이론 위주의 학교 수업으로 인하여 화학에 대한 흥미가 떨어졌으며, 실험 활동하면서 화학에 대한 흥미를 높이기 위해서 이번 활동에 참여하였다고 응답하였다. 사후설문 중 자신이 수강 신청서에 작성한 목표를 이루었는지, 왜 그렇게 생각하는지를 묻는 문항에서 학생들은 전원 목표를 이루었다고 응답하였다.

첨단 기기의 사용 및 학교에서 하지 못하였던 다양한 실험 수행은 학생들에게 도전적 목표에 해당한다고 볼 수 있으며, 이러한 도전적 목표를 달성하는 경우 학생들은 자기 만족감 및 성취감을 갖게 된다고 보고되었다(Kim & Jung, 1999). 또한, 학생들이 느끼는 성취감은 긍정적 자아개념 형성에 도움을 주는데(Blackwell et al., 2007; Kim & Kwon, 2016; Park et al., 2004), 이 활동에서 학생들의 자아개념의 향상은 이러한 목표 달성에 따른 성취감이 영향을 준 것으로 보인다.

이 활동이 자신의 ‘학업’과 관련하여 어떤 영향을 줄 것 같은지에 대한 질문에 대하여 가장 많은 학생이 응답한 유형은 학교에서 배웠던 화학 개념이해에 도움이 될 것 같다는 유형이었다.

<사례 4>

학생 E: 수능에서 화학 과목을 칠 것인데, 이 활동에서 배운 개념들이 화학1과 관련 있는 내용이 많아서, 1년 동안 화학을 공부하면서 이번에 배운 개념을 적용할 수 있을 것 같습니다. 또 직접 실험해보면서 개념을 배웠기 때문에 해당 개념들이 단순히 이론적으로 배웠을 때보다 더 오래 기억에 남을 것 같아 수능 공부할 때도 까먹지 않고 오래 기억하면서 학업에 유용하게 사용할 수 있을 것 같습니다.

학생 I: 보어 모형을 이용해서 AAS를 설명했던 부분이 좋았고 보어 모형이 실제로 이렇게 사용될 수 있다는 것을 배워서 기억에 많이 남는다.

(프로그램 사후설문지)

<사례 4>의 학생 E의 경우, 자신이 평소에 공부하였던 개념을 활용하여 실험해볼 수 있었던 점에서 매우 만족감을 느꼈다고 언급하였으며, 학생 I는 직접적으로 보어 모형을 언급하며 이 부분이 기억에 많이 남는다고 하였다. 이 활동의 수업 자료를 만들 때의 방향 중 하나가 학생들이 학교에서 배우는 교육과정과의 연계를 통해 동기를 높이는 것이었다. 학생들은 여러 설문 항목에 걸쳐 첨단 기기의 사용에 있어서 기대는 되지 만 자신이 잘 수행하지 못할까 봐 걱정하는 모습을 보이기도 하였다(사례 5).

<사례 5>

학생 E: 제가 과학에 있어서 많은 지식을 가지고 있는 사람이 아니어서 이해할 수 있을지 걱정도 많이 있었는데 선생님께서 실험에 사용되는 원리를 너무나 이해하기 쉽게 알려주셔서 앞으로도 계속 기억에 남을 것 같고, 대학교에 가서도 유용하게 사용할 것 같습니다. 그리고 실험 후에 선생님께서 다시 실험에 사용된 이론을 정리해주셔서 한 번 더 개념을 되새길 때 너무 좋았던 것 같습니다.

학생 D: 난생처음 써보는 심화 기자재들을 이용한 실험을 많이 하다 보니까 처음에는 무서웠지만 진짜 새롭고 신기한 경험이었습니다.

(프로그램 사후설문지)

학습자는 학습하는 내용이 자신의 흥미, 목적, 경험 등과 연결될 때 학습의 필요성 및 가치를 인식하게 되는데(Keller, 1983), 비록 첨단 기기의 사용이 처음에는 학생들에게 어렵게 느껴졌을 수도 있지만, 이를 이용하여 자신이 평소에 배운 내용을 확인하고 실험을 해보는 등 자신과의 관련성을 인식함으로써 흥미가 더 높아진 것으로 보이며, 이는 수업 자료를 만들 때 교육과정과 연계하여 개발한 것이 어느 정도 효과가 있었던 것으로 볼 수 있다. 영재 학생을 위한 교육과정은 일반 학급에서 실시하는 교과목과 연계하여 심도 있게 다루었을 때 그 효과가 큰 것과 같이(Ryu, 2003), 첨단 기자재를 활용한 교육 역시 일반 교육과정에 대한 심화 학습의 형태로써 교육과정과 연계하여 내용을 구성할 때 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

<사례 6>은 ‘학업’과 관련하여 어떤 영향을 줄 것 같은지에 대한 질문에서 과제집착력과 관련된 내용이다.

<사례 6>

학생 J: 아스피린 합성을 할 때, 내가 가장 싫어하는 잘 안푸는 화학 양론을 이용하였는데 문제 풀 때와는 다르게 즐겁게 하였던 것 같다.

학생 K: 여러 실험을 통해서 수십 가지의 변수가 결과에 영향을 미치고 오차범위가 큰 결과 또한 나올 수 있으며, 올바른 결과값이 나올 때까지 실험을 반복해야 한다는 것이 조금 힘든 과정이라고 생각했다. 다만 거기서 얻게 되는 즐거움과 성취감 또한 대단하다는 것을 느끼게 되었다.

(프로그램 사후설문지)

학생 J은 평소에 싫어하던 화학 양론을 이 활동을 통해서 즐겁게 할 수 있었다고 말하고 있으며, 학생 K는 실험하는 과정이 힘들기는 하지만, 그로 인한 성취감이 크다는 것을 언급하고 있다. 학생 J의 경우 평소에는 포기하였던 개념을 이 활동을 수행하기 위해서 끝까지 해낸 사례이고, 학생 K의 경우는 어려운 과제를 해결하였을 때의 성취감을 느껴보았다는 점에서 과제집착력과 관련 있는 사례로 볼 수 있으며, 학생 응답을 볼 때 흥미가 바탕이 된 것으로 보인다. 이는 흥미와 과제집착력 사이에 강한 상호작용($r=.78, p<.01$)이 있다는 선행 연구(Moon & Ham, 2016)를 뒷받침하는 것이라 볼 수 있다.

이 활동이 자신의 ‘자신감(자아개념)’과 관련하여 어떤 영향을 줄 것 같은지에 대한 질문 역시도 크게 2가지의 유형으로 구분할 수 있었다. 첫 번째는 평소 실험 기회의 부족으로 실험 수업에 대한 자아개념이 떨어졌지만, 이 활동을 통해 회복되었다는 것이다.

<사례 7>

학생 L: 실험을 한 기회가 별로 없어서 수업 첫 시간에는 많이 긴장했지만, 시간이 점차 지날수록 실험기구를 다루는 면이나 실험의 다음 과정을 미리 준비하는 등 긴장 속의 조금의 여유를 느낄 수 있었다

학생 M: 원래는 실험이 무섭고 자신감도 없었는데 이번 기회를 통해 자신감을 많이 얻게 되었습니다. 또 스스로 과학을 좀 못한다고 생각했었는데, 이론에 대해서 학습하고 그것을 바로 실험에 적용해서 하나씩 배워가니 많은 것을 알게 된 것 같아서 자신감이 생겼습니다!

(프로그램 사후설문지)

<사례 7>에서 두 명의 학생 모두 초기에 실험 활동에 대한 낮은 자아개념을 나타내는 언급을 하였는데, 이는 학생 L에서와 같이 평소 학교 수업에서의 실험 활동 부재가 원인인 것으로 보인다. 이 항목 이외에도 다양한 항목에 걸쳐 학생들은 평소 학교 수업에서 실험 활동을 거의 하지 못한다는 내용을 언급하였다. 두 번째는 이론 위주의 수업으로 인한 떨어진 자아개념이 화학 실험을 수행하면서 회복되었다는 것이다.

<사례 8>

학생 E: 사실 저는 과학 시험을 치면 점수가 잘 나오는 편도 아니고, 과학에 대한 이해력이 빠른 편도 아닙니다. 그런데 이번 활동을 통해서 많은 과학 지식과 경험을 얻었고, 이런 어려운 지식도 내가 이해 해냈다는 점과 복잡한 실험 과정도 직접 해봤다는 경험을 바탕으로 과학에 대한 자신감이 한층 높아진 것 같습니다.

학생 G: 화학 문제들을 풀면서 계산 문제를 어려워할 때가 종종 있었는데 실제 연구에서는 어려운 계산 문제가 나오는 것이 아니라는 것을 알게 되어 그동안 '내가 연구 분야에 맞는 것일까'하는 걱정을 조금이나마 줄일 수 있도록 도움이 되었다.

(프로그램 사후설문지)

<사례 8>에서 두 명의 학생 모두 계산 문제를 잘 풀지 못해 화학에 대한 낮은 자아개념을 표현하였다. 두 가지 유형을 분석해 볼 때, 공통으로 학생들은 학교에서 이론 위주의 제한된 화학 관련 교육 활동으로 인하여 화학에 대한 어느 정도의 불안감을 가지고 있었던 것으로 보인다. 실제로 정의적 특성에 대한 사전 검사를 보면, 부정적 문항으로 구성된 긴장감의 점수는 2.48로 다른 항목의 점수가 3점대 중반인 것과 비교할 때, 이 연구에 참여한 학생들은 긴장감이 비교적 높다고 볼 수 있다. 그러나 실험 활동을 직접 수행하고, 자신이 평소에 어려워하였던 개념을 적용하여 실험 활동에 성공적으로 수행하는 경험을 하면서 학생들은 화학 수행에 대한 자아개념이 높아졌으며(Blackwell et al., 2007; Kim & Kwon, 2016; Park et al., 2004), 또한 이는 화학 학습에 대한 긴장감 완화로 이어진 것으로 보인다.

이 활동이 자신의 '진로 선택'과 관련하여 어떤 영향을 줄 것 같은지에 대한 질문에 대하여 거의 모든 학생이 진로와 관련된 경험을 통하여 진로 선택에 확신이 생겼다고 응답하였다.

<사례 9>

학생 A: 원래 진로 희망 학과가 화학공학과였는데 이 활동으로 화학으로 진로를 정하는 것이 더욱 확고해진 것 같다.

학생 F: 진로에 대한 고민이 있었는데 이런 실험을 하는 활동을 통해 과학 과목 공부를 열심히 해야겠다는 동기가 생긴 것 같아서 너무 좋았고 진로를 한번 더 생각해 볼 기회가 된 것 같다.

학생 H: 이번 활동을 하면서 알게 된 실험과 실험 이론들이 화학 공부를 하면서 화학이 어려워도 계속할 힘을 준 것 같습니다. 문제가 안 풀리고 힘들 때 다른 과목을 공부하고 싶다는 생각을 많이 한 적이 있는데 내가 생각하던 화학과 매우 다르고 힘들다는 생각이 들어서 그런 생각이 많이 들었는데 이번 활동을 하면서 내가 생각하던 화학과 비슷하다는 생각도 하고 실험 이론을 배우면서 재밌었고 대학교에 가서 더 배워보고 싶다는 생각이 들어서 공부를 계속할 수 있게 영향을 준 것 같습니다.

(프로그램 사후설문지)

<사례 9>에서 특히, 학생 F와 H를 보면 이번 활동을 통하여 자신의 진로가 확고해졌고, 목표를 이루기 위하여 지속해서 공부해야겠다는 다짐을 명시적으로 드러내었다. 이는 투지에 해당하는 사례로 볼 수 있으며 실제로 정의적 특성 검사에서 투지는 사전 검사와 비교할 때 사후 검사의 평균이 가장 높게 상승하였다. 사례를 보면 진로에 대한 확신은 첨단 기자재 사용에 따른 흥미를 바탕으로 하였으므로, 실험 활동을 수행하면서 느낀 흥미는 진로 선택에 대한 확신으로 이어졌으며 이는 다시 정의적 특성 중 투지에 영향을 준 것으로 보인다.

이 활동이 자신의 ‘태도’와 관련하여 어떤 영향을 줄 것 같은지에 대한 질문의 응답을 보면 학생들의 처음 과학에 대한 태도가 다소 왜곡되어 있다는 것을 알 수 있다.

<사례 10>

학생 C: 과학은 원래 지루하고 이해하기 힘들고 복잡한 과목이라고 생각했는데 지금은 실험을 통해서 아! 내가 풀던 문제의 실험 원리가 이랬다는 것을 생각하면 흥미롭고 신기했다. 직접 실험을 해보니 새롭게 알게 된 점이 많은 것 같았다.

학생 E: 원래 학교에서 배운 과학 이론을 실험이나 실생활에 쓸 일은 거의 없다고 생각했었는데, 이번 활동을 통해서 지금은 교과서로 배운 과학 개념이 실험에서도 유용하게 쓰인다는 것을 알게 되었습니다. 예를 들어 화학을 배울 때 몰농도 계산 등을 많이 해보긴 했지만 실제로 몰농도를 계산하여 실험에 사용하면서 내가 계산해낸 것이 실험에 이용된다는 점에 뿌듯함을 느낄 수 있었습니다.

학생 N: 과학은 원래 문제를 풀면서 가끔 지루하고 내가 이걸 왜 풀어야 하는 거고 계산은 또 왜 이리 복잡하고 이걸 배워서 쓸데가 있겠냐고 생각했는데 지금은 그런 내용을 알아야 실제로 실험할 때 정확하게 해볼 수 있다고 느꼈습니다. 또한, 과학이란 신비롭고 흥미로운 과목이라는 것을 느꼈습니다.

(프로그램 사후설문지)

<사례 10>의 세 학생 모두 <사례 8>에서 ‘자아개념’과 관련된 질문에서 응답한 학생들의 예시와 같이 문제 풀이 위주의 수업으로 인하여 과학에 대한 흥미가 낮아진 상태로 보이며, 나아가 <사례 10>에 제시된 학생들은 자신이 배우는 과학이 현실 세계와는 다소 거리가 있는 것이라는 생각하고 있다. 그러나 학생 C의 경우 실험을 통해서 자신이 배웠던 원리가 어떻게 해서 나오게 되었는지, 학생 E의 경우 자신의 알고 있던 개념을 직접 수행해 보면서, 흥미를 느낌과 함께 과학이 현실 세계와 관련 없다는 왜곡된 태도가 교정된 것으로 보인다.

이러한 내용을 종합해 볼 때, 과학고 첨단 장비를 활용한 화학 실험은 이공계열로 진로를 희망 일반계 고등학교 학생들의 정의적 특성 함양에 효과적이라고 볼 수 있다. 이번 활동에 참여한 학생들은 일반계 고등학교 학생 중 비교적 화학에 대한 흥미가 높고, 화학 관련 학과에 진학하기를 희망하는 학생들이다. 그러나 일반계 고등학교에서의 이론 위주 수업으로 실험의 기회를 받지 못하였고, 제한된 수업 내용으로 인하여 진로와 관련된 경험이나 활동을 하지 못하였다. 이런 학생들에게 실험 활동은 화학에 대한 흥미를 높여 주었으며, 과학고의 첨단 장비를 이용한 화학 실험을 수행하였다는 점에서 자신감과 긍정적인 자아개념을 형성하게 해주었다. 또한, 자신의 희망 진로와 관련된 경험을 하고 정보를 얻게 함으로써 동기유발 및 투지와 같은 정의적 특성을 증가시켜주었다고 볼 수 있다.

Discussion and Conclusions

이 연구의 목적은 첨단 장비를 활용한 화학 실험이 이공계열로 진로를 희망 일반계 고등학교 학생들의 정의적 특성에 미치는 영향을 알아보는 것이다. 이를 위하여 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들에게 첨단 장비를 활용한 화학 실험하기 전과 후의 과학에 대한 정의적 특성 검사를 하였으며, 활동이 끝난 후 프로그램 사후설문을 수집하여 사례 중심으로 질적 분석을 병행하였다. 이 연구로부터 도출한 결과는 다음과 같다.

첨단 장비를 활용한 화학 실험은 이공계열로 진로를 희망하는 일반계 고등학교 학생들의 정의적 특성 함양에 효과가 있었다. 과학에 대한 정의적 특성에 대하여 Wilcoxon signed-rank test를 실시한 결과, 첨단 장비를 활용한 화학 실험을 하였을 때 실험집단의 정의적 특성의 모든 하위 요소는 활동 전과 비교하였을 때 통계적으로 유의미하게 증가하였다. 흥미는 과목에 대한 내적 동기로서 그 자체로서 과학 교육의 목표가 되며(OECD, 2007) 도구적 동기 유발은 학업에 대한 외적 동기이므로(Pintrich & Schunk, 2002), 이 활동을 통해서 학생들의 과학 학습에 대한 동기가 증가하였다고 볼 수 있다. 또한, 과제 집착력과 자기 조절능력은 학업을 지속하고 문제 해결에 적극적으로 참여하게 하는 정의적 요인이며(Chung & Ahn, 2010; Kang et al., 2002; Jeong & Park, 2006; Seo, 2009) 이를 매개로 한 투지 역시 목표를 달성하기 위한 노력, 인내를 다루고 있으므로(Duckworth et al., 2011), 이 활동을 통해 동기로부터 시작된 학습을 지속할 수 있는 능력 역시 증가하였다고 볼 수 있다. 자아개념은 학업 영역에서 자신이 지각하는 유능감, 학업을 잘하는 것에 대한 개인의 가치 및 평가로 학업 성취를 예측하는 요인(Marsh & O'Mara, 2008)으로 작용할 수 있으며, 긴장감은 학업 성취와 부적 상관관계를 나타내므로(Kim et al., 2010; Kwak et al., 2006), 이 활동은 학생들의 학업 성취에 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다.

이 활동을 통해 하위 요소별로 효과가 나타나는 세부적인 이유는 다르게 해석될 수 있지만, 근본적인 원인으로 학생의 측면에서는 입시 위주 교육을 받은 학생들의 학교 교육에 대한 불만족이고, 활동의 측면에서는 희망 진로와 관련된 실험 활동으로 분석된다.

이 연구에 참여한 일반계 고등학생들은 모두 자발적으로 참가하였고 수강 신청서에서 화학에 관심이 있으며 화학과 관련된 진로를 희망한다고 언급하였다. 그러나 일반계 고등학교의 이론 위주 수업 등으로 인하여 실험 활동의 기회가 매우 제한되는 등, 학생이 가진 화학에 대한 흥미와 관심을 학교 교육에서 충족시켜주지 못하는 상황이었다. 선행 연구를 보면 실험 수업은 학습에 대한 호기심이나 흥미 열정과 같은 정의적 특성을 함양시키는 것으로 나타났으며(Hofestein & Lunetta, 1982), 실험 실습의 기회가 주어지지 않을 때 또는 교사와의 상호작용이 원활하게 일어나지 않을 때 학생들의 과학에 대한 정의적 특징에 부정적 영향을 주었다고 보고되었다(Jeong et al., 2022). 실제로 이 연구에 참여한 학생들은 다른 항목과 비교할 때 과학에 대한 흥미가 높은 편이었지만 사후 설문 조사를 볼 때 일반계 고등학교에서 수능 위주의 제한된 화학 수업으로 실험 실습 기회가 없어 과학에 대한 흥미가 처음과 비교하였을 때 많이 떨어진 상태라고 스스로 인식하고 있었으며, 자신의 희망 진로와 관련된 경험 역시 부족하다고 하였다. 또한, 계산 위주의 화학으로 인하여 화학에 대한 왜곡된 이미지를 가지기도 하였다. 그러나 첨단 장비를 활용한 화학 실험 활동을 수행하면서 화학과 관련된 진로를 선택하였을 때 수행하는 기초적인 경험을 하였으며, 화학이 이론적인 계산만 하는 것이 아니라 실험과 연구가 매우 중요하다는 사실을 알게 되었다고 응답하였다. 그 결과 학생들은 과학에 대한 흥미가 매우 높아졌다고 명시적으로 응답하였으며, 이러한 흥미는 투지 및 자아개념 등의 다양한 정의적 요소에 영향을 준 것으로 보인다. 일부 학생들의 경우 실험 활동을 한 그 자체도 흥미를 높이는 데 영향을 주었다고 언급하기도 하였지만, 대부분 학생이 첨단 기기 사용에 대해서 명시적으로 흥미를 나타내었으며, 첨단 기기를 사용하여 희망 진로 관련 활동을 한 것에 대해서도 상당한 만족감을 나타내었으므로 실험 수업의 요인과 함께 첨단 기기 사용 역시 효과를 나타내는 요인이었다는 것을 확인할 수 있었다. 선행 연구를 보면 대학의 연구시설에서 연구원들과 함께 연구 활동을 지낸 고등학생들이 흥미나 직업 추구 의사가 높아졌으며(Knox et al., 2003), 학교 실험실과 비교할 때 대학 연구실에서 실험한 학생들이 높은 수준의 과제를 수행한 성취감 등으로 인하여 내적 동기가 높아졌는데(Kirchhoff et al., 2023), 이와 유사한 결과로 보인다.

이와 같은 분석 결과를 바탕으로 할 때, 이공계열로 진로를 희망 일반계 고등학교 학생들에게 과학고 첨단 장비를 활용한 심화 과학 실험 활동은 과학교육 목표 달성에 효과적이라고 볼 수 있다. 과학교육 목표 달성 측면에서 보면, 과학에 대한 정의적 특성은 인지적 측면에서의 학습 효과와 긍정적인 상관관계가 있을 뿐만 아니라(Kim & Kim, 2010; Kim et al., 2022; Lim, 2014) 과학에 대한 가치와 흥미를 느끼게 해주므로, 이 활동은 자연 현상에 대한 호기심과 흥미를 갖고, 문제를 과학적으로 해결하려는 태도를 보이는 학생(KOFAC, 2015)을 기르는 것을 목표로 하는 과학교육의 목표를 가장 효과적으로 달성할 방법이라고 생각된다. 또한, 이러한 결과는 예산의 효율적 사용이라는 측면에서도 긍정적이라고 볼 수 있다. 예산의 효율적 사용 측면에서 이 활동은 교육 생산성을 높인다고 볼 수 있다. 교육 생산성이란 “추가적 재정, 자원의 투입 없이 학생들의 교육성과를 높이는 것 또는 낮은 수준의 재정지출로 교육성과를 가져오는 것”(Odden and Picus, 2000)으로 정의된다. 학생들에게 투입되는 교수학습 활동비는 학업 성취에 영향을 준다고 주는 것으로 보고 되었는데(Hedges et al., 1994), 학생들에게 투입되는 교육자원을 증가시키는 방법은 교육 예산을 증가시키는 방법도 있지만 이보다 예산을 효과적으로 사용하는 것이 현실적인 방법일 것이다. 첨단 기기를 활용한 화학 실험이 과학교육 목표 달성에 효과적이라고 하더라도 일반계 고등학교에 각종 첨단 장비를 갖추는 것은 불가능하므로, 이러한 활동을 위해서는 과학고등학교의 첨단 장비를 활용하여 교육 생산성을 최대한으로 높이는 것이 중요하다. 즉, 과학고등학교의 첨단 장비를 일반계 고등학생들에게도 사용하게 하는 것은 추가로 예산을 들이지 않으면서 학생 1인당 투입되는 교육자원을 증가시키는 것이므로 이를 통하여 교육의 질적 강화를 가져올 것으로 기대된다.

그러나 현행의 교육과정으로는 방학 기간을 통한 특강이나 교육과정 외 프로그램 운영으로 제한될 수밖에 없다. 하지만 고교 학점제의 전면적 시행을 앞둔 현시점에서 이 연구는 학교의 과목 편성 및 운영에 큰 시사점을 줄 수 있다고 본다. 고교 학점제는 학생들이 진로와 적성에 맞춰 학생의 수업 선택권을 보장하는 취지로 추진되고 있으며 2025년 전국 고등학교 전면 시행을 앞두고 있다(Ministry of Education, 2021). 교사의 역량, 학교의 교육 여건 등을 고려할 때, 일반계 고등학교의 단위 학교 차원에서 교양적인 수준에서 전공 심화 수준까지의 수업을 모두 개설할 수 없으므로, 공동교육과정을 통하여 학생들의 선택권을 최대한 보장해줄 수 있는데, 이때 과학고등학교가 일반계 고등학교 학생들을 위해서 첨단 장비를 활용한 과학 실험 수업과 같은 형태의 수업을 개설하면 일반계 고등학교 학생들의 진로 및 적성에 맞는 교과목의 선택권 보장에 큰 도움이 될 수 있다.

이 연구에서 첨단 장비를 활용한 첨단 화학 실험 활동에 자발적으로 수강한 일반계 고등학교 학생들 대상으로 하였다는 점은 해석의 제한점으로 작용할 수 있다. 이 활동에 참여한 학생들은 보편적인 일반계 고등학교 학생들과 비교할 때 화학에 대한 흥미가 높다고 판단되므로 이 연구의 결과를 모든 일반계 고등학교 학생들에게 일반화시키기에는 어려움이 있으며, 일반계 고등학교 학생 중 화학에 관심이 높고 화학과 관련된 진로 희망을 하는 학생들에게 제한하여 해석하는 것이 바람직하다. 또한, 이 연구는 화학 장비로만 진행되었는데, 다른 과학 과목(물리학, 생명과학, 지구과학)의 경우 장비의 사용과 교육과정의 연계성 등이 다를 수 있으므로 다른 과학 과목에서 효과가 있는지를 추가로 알아볼 필요가 있다.

References

- Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development*, 78, 246-263.
- Bonjour, J. L., Pitzer, J. M., & Frost, J. A. (2015). Introducing high school students to NMR spectroscopy through percent composition determination using low-field spectrometers. *Journal of Chemical Education*, 92, 529-533.
- Bowen, R. S., Picard, D. R., Verberne-Sutton, S., & Brame, C. J. (2018). Incorporating student design in an HPLC lab activity promotes student metacognition and argumentation. *Journal of Chemical Education*, 95, 108-115.
- Cascallar, E., Boekaerts, M., & Costigan, T. (2006). Assessment in the evaluation of self-regulation as a process. *Educational Psychology Review*, 18, 297-306.
- Chang, S. N., Yeung, Y. Y., & Cheng, M. H. (2009). Ninth graders' learning interests, life experiences and attitudes towards science & technology. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 447-457.
- Choi, D., Kim, J., Lee, M., & Kim, W. (2019). The effects of the program of 'research methodology using advanced equipment' on the 'science career orientation' and 'interest in science subject' for scientifically gifted students. *The Journal of the Korean Society for the Gifted and Talented*, 18, 5-23.
- Choi, J., & Chung, H. (2022). The analysis of influencing factors of youth science achievement in Korea by TIMSS 2019. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 22, 329-342.
- Chung, Y. & Ahn, M. (2010). Effects of self-regulated learning on academic self-regulation, science achievement and science related affective domains. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29, 389-400.
- Duckworth, A. L., Peterson, C., Matthews, M. D., & Kelly, D. R. (2007). Grit: perseverance and passion for long-term goals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92, 1087-1101.
- Hedges, L. V., Laine, R. D., & Greenwald, R. (1994). Does money matter? a meta analysis of studies of the effects of differential school inputs on student outcomes. *Educational Researcher*, 23, 5-14.
- Heo, E., & Yoo, P. (2010). The study on the influence of MBL exhibition class on the elementary school students' academic achievement, scientific research abilities and affective characters. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 3, 36-46.
- Hofestein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 201-217.
- Hong, M., Kim, J., & Park, H. J. (2011). The effects of taking elective science courses in high school on studying science at the university level. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 31, 836-847.
- Jeollabukdo Office of Education. (2023, March 12). Basic plan for science education in jeonbuk province in 2020 for fostering future-oriented science talents. Retrieved from https://www.jbe.go.kr/board/view.jbe?boardId=BBS_0000205&menuCd=DOM_000000105001001000&orderBy=REGISTER_DATE%20DESC&paging=ok&startPage=40&searchOperation=AND&dataSid=356162
- Jeollabukdo Office of Education. (2023, March 12). Basic plan for science education in jeonbuk province in 2021 for fostering creative talents with scientific literacy. Retrieved from https://www.jbe.go.kr/board/view.jbe?boardId=BBS_0000205&menuCd=DOM_000000105001001000&orderBy=REGISTER_DATE%20DESC&paging=ok&startPage=40&searchOperation=AND&dataSid=356162
- Jeon, K., Park, D., Jang, N., Park, J., & Park, J. (2016). The Development and Validation of Instructional Strategies Using the Advanced Laboratory Equipment(ALE) in Science High School Chemistry Classrooms: A Focus of UV-Visible and IR Spectrophotometer. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(1), 69-81.

- Jeong, E., Park, J., Lee, S., Yoon, H., Kim, H., Kang, H., ... Jeong, J. (2022). A qualitative study on the cause of low science affective achievement of elementary, middle, and high school students in Korea. *The Korean Association for Science Education*, 41, 325-340.
- Jeong, M. & Park, W. (2006). Analysis of self-regulated learning factors on students' science process skills. *Biology Education*, 34, 145-154.
- Jurinovich, S., & Domenici, V. (2022). Digital tool for the analysis of UV-Vis spectra of olive oils and educational activities with high school and undergraduate students. *Journal of Chemical Education*, 99, 787-798.
- Kang, S., Lee, H., Kim, Y., & Kim, K. (2008). The perception of in-service and pre-service science teachers of the training program, and the practical use of advanced science laboratory equipment. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28, 880-889.
- Kang, S., Park, J., & Nam, J. (2021). The impact of science classes applying collaborative problem solving for character competency (CoProC) on the character competence and scientific affective characteristics of vocational high school students. *Journal of the Korean Chemical Society*, 65, 468-483.
- Kang, S., Yang, J., & Yeau, S. (2002). Analysis of self-regulated learning ability and psychological learning environment which influence on science achievement of middle school students. *Biology Education*, 30, 190-196.
- Kang, Y., Park, S., Jung, H., & Park, J. (2007). A Study on the Suitability of Special Purpose High School Policies(RR2007-05). KEDI.
- Keller, J. M. (1983). Motivational design of instruction. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design Theories and Models : An Overview of Their Current Status*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Kim, E., & Kwon, H. (2016). Phenomenological study on the elementary students' experience participating in the science fair. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36, 113-123.
- Kim, H. (2012). Analysis of Scientific Creativity and Scientific Interest of the Science Core Course Students Compared to Other Science High School and Regular Class Students(Unpublished Master's Thesis). Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.
- Kim, H., & Han, J. (2018). Non-cognitive variables predicting middle school student academic achievement profiles in Korean languages and mathematics: Using cognitive diagnostic model and structural equation model. *Journal of Educational Evaluation*, 31, 1-27.
- Kim, H., Koo, N., Lee, S., & Lee, I. (2019). The Status of Science Classes in Korea as Revealed by the PISA 2015 Survey Results[2019 KICE issue paper](ORM 2019-54-1). KICE.
- Kim, J., & Lee, E. (2014). The validation of the Korean version of the achievement emotions questionnaire-mathematics (K-AEQ-M) for middle school students. *The Korean Journal of Human Development*, 21, 115-139.
- Kim, J., Lee, H., & Chun, M. (2016). An analysis of career planning of science gifted students. *Journal of Gifted/Talented Education*, 26, 653-675.
- Kim, K., & Kim, S. (2010). A cross-national analysis on the relationship between achievement and affective characteristics in mathematics and science. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 13, 179-208.
- Kim, K., Seo, M., & Lee, B. (2022). The relationship between academic achievement and affective attitudes in math and science based on TIMSS results. *Journal of Educational Evaluation*, 35, 763-786.
- Kim, M. (2008). Science High School Students' Epistemological Understanding of the Science through the Authentic Open Inquiry(Unpublished Doctoral Dissertation). Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.

- Kim, N., & Lee, D. (2018). The effect of teacher's feedback on homework on students' academic achievement -A comparative analysis of TIMSS 2015 Korea and Singapore data-. *The Journal of Korean Teacher Education*, 35, 385-411.
- Kim, S. (2013). TIMSS 2011 Characteristics of Mathematics and Science Achievement of Korean Students in TIMSS 2011(PIM 2013-1). KICE.
- Kim, S., Lee, S., & Choi, S. (2010). Research on the students' interest in science subjects. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 3, 191-197.
- Kim, Y., & Jung, M. (1999). Effects of learner participation in instructional objective - setting on both academic achievement and mathematic self – efficacy. *Journal of Educational Psychology*, 13, 1-19.
- Kirchhoff, T., Randler, C., & Großmann, N. (2023). Experimenting at an outreach science lab versus at school—Differences in students' basic need satisfaction, intrinsic motivation, and flow experience. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-39
- Knox, K. L., Moynihan, J. A., & Markowitz, D. G. (2003). Evaluation of short-term impact of a high school summer science program on students' perceived knowledge and skills. *Journal of Science Education and Technology*, 12, 471-478.
- KOFAC (2015). Development Research of Draft of 2015 Revised Subject Curriculum II - Science Curriculum. (Research Report BD15110002). Seoul: KOFAC.
- Krosnick, J. A., & Fabrigar, L. R. (1997). Designing rating scales for effective measurement in surveys. In: Lyberg, L.E., Biemer, P.P., Collins, M., De Leeuw, E.D., Dippo, C., Schwarz, N., Trewin, D. (eds.), *Survey Measurement and Process Quality* (pp. 141-164). NY: Wiley.
- Kwak, Y., Kim, C., Lee, Y., & Jeong, D. (2006). Investigation on elementary and secondary students' interest in science. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27, 260-268.
- Lee, B., & Chang, S. (2008). The effect of educational backgrounds in high school sciences on the achievement of college sciences. *The Journal of Curriculum Studies*, 26, 191-210.
- Lee, I., & Kwak, Y. (2020). Exploration of the status of course completion and ways to raise selection rates of general elective courses in the 2015 revised science curriculum. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 40, 217-226.
- Lee, J., & Kim, B. (1996). Structural analysis among science achievement, science process skills and affective perception toward science of high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 16, 249-259.
- Lee, M., & Hong, M. (2007). Trends and an international comparison of korean middle school students' attitudes toward science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27, 201-211.
- Lee, M., & Jeong, E. (2004). A study on factors in school science influencing students' attitudes toward science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 24, 946-958.
- Lim, E. (2006). Who learns more in the life-long society? *International Journal of Adult & Continuing Education*, 9, 121-149.
- Lim, Y. (2014). The trends in the korean middle school students affective characteristics toward science and its correlation and effect on their science achievement: Utilizing the results of TIMSS 2003, 2007 and 2011. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 14, 1-21.
- Marsh, H. W., & O'Mara, A. (2008). Reciprocal effects between academic self-concept, self-esteem, achievement, and attainment over seven adolescent years: Unidimensional and multidimensional perspectives of self-concept. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34, 542-552.
- Ministry of Education. (2015). 2015 Revised National Curriculum.
- Ministry of Education. (2023, March 12). Step-by-step implementation plan for the full application of the high school credit system in 2025(2022-2024). Retrieved from <https://www.moe.go.kr/boardCnts/view.do?boardID=294&boardSeq=88188&lev=0&searchType=>

- Moon, G., & Ham, E. (2016). An analysis of the relationship of grit, interest, task-commitment, self-regulation ability, and science achievement of high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36, 445-455.
- Moon, S., & Lee, S. (2011). Relationship between the high school Chemistry I, II, and the general chemistry, and college students cognition about the subject. *Journal of the Korean Chemical Society*, 55, 112-123.
- Nam, K., Lee, B., & Lee, S. (2004). The effect of science journal writing on the science-related affective domain of scientifically gifted students at middle school level. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 24, 1272-1282.
- Odden, A. R., & Picus, L. O. (2000). *School Finance: A Policy Perspective*. (2nd ed.). McGraw-Hill Companies, Inc.
- OECD. (2007). *PISA 2006 Science Competencies for Tomorrow's World*. Volume 1. Analysis Paris: OECD.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 1049- 1079.
- Park, C., & Lee, B. (2012). Research on the affective characteristics of science high school students-focused on moral intelligence, creative personality and interpersonal relations. *The Journal of Creativity Education*, 12, 187-207.
- Park, H., Son, Y., & Hong, Y. (2018). The latent profiles of student perception of inquiry activities and teacher feedback in science classrooms: Individual and school factors and affective characteristics. *Journal of Educational Evaluation*, 31, 557-582.
- Park, S., & Hong, H. (2014). Principles and Strategies for Cultivating Definitional Characteristics of Mathematics and Science(ORM 2014-27-26). KICE.
- Park, S., & Hong, M. (2014). Program Development for Improving the Affective Characteristics of Middle School Students in Mathematics and Science(RRI 2014-1). KICE
- Park, S., Kim, M., & Ju, M. (2010). A Study on Improving Definitional Characteristics of Mathematics(RRI 2010-9). KICE.
- Park, S., Park, J., & Yeo, S. (2006). The effects of MBL programs on academic achievement and science-related affective characteristics of elementary school students in laboratory instructions. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25, 454-464.
- Park, Y., Kim, U., & Chung, K. (2004). Longitudinal analysis of the influence of parent-child relationship on adolescents' academic achievement: With specific focus on the mediating role of self-efficacy and achievement motivation. *Korean Journal of Psychological and Social Issues*, 10, 37-59.
- Pintrich, P. R., & Schunk, D. H. (2002). *Motivation in Education: Theory, Research, and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Raphael, T., George, M., Weber, C., & Nies, A. (2009). Approaches to teaching reading comprehension. In S. Israel & G. Duffy (Eds.), *Handbook of Research on Reading Comprehension*. (pp. 449-469). NY: Routledge.
- Ryu, J. (2003). A study on improvement of effective enrichment program for gifted children in elementary schools. *The Journal of Curriculum Studies*, 21, 433-452.
- Sang, K., Kwak, Y., Park, J., & Park, S. (2016). Characteristics of Mathematics and Science Achievement of Korean Students in TIMSS 2015(ORM 2016-96). KICE.
- Schwarz, G., Picotti, V., Bleiner, D., & Gundlach-Graham, A. (2020). Incorporating a student-centered approach with collaborative learning into methods in quantitative element analysis. *Journal of Chemical Education*, 97, 3617-3623.
- Seo, H. (2009). Characteristics of middle school students in a biology special class at science gifted education center: Self-regulated learning abilities, personality traits and learning preferences. *Journal of Gifted/Talented Education*, 19, 457-476.

- Seo, M., Kim, K., Jeon, S., Lee, J., Park, M., Kim, S., ... Kim, D. (2021). Characteristics of Mathematics and Science Achievement of Korean Students in TIMSS 2019(ORM 2021-30). KICE.
- Seo, M., Lee, B., & Kim, K. (2022). Latent profile patterns of affective attitudes in math and science and their influential factors for elementary and middle school students in TIMSS 2019. *Journal of Educational Evaluation*, 35, 247-271.
- Shim, G., So, Keum., Kim, Hyun., & Chang, Nam. (2001). Study on the interest in science of science gifted / talented middle school students 2 - by gifted / talented division -. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 21, 135-148.
- Shin, J., & Park, S. (2020). A study on science-related affective characteristic and perception of measurement of elementary students who participated in citizen science activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 39, 168-182.
- Song, R. (2022). Exploring the principles for adults' mathematical literacy education using an interdisciplinary educational approach. *The Journal of Educational Research in Mathematics*, 32, 83-102.
- Waltz, C. F., & Bausell, R. B. (1981). *Nursing Research: Design, Statistics, and Computer Analysis*. PA: FA Davis company.
- Yang, H., & Kim, H. (2017). The application effect of experimental instruction model based on feedback process in middle school science class. *School Science Journal*, 11, 246-259.
- Yoo, Y., Kang, Y., & Kim, J. (2013). The relationships among scientific creativity and general creativity, meta-cognition, and affective characteristics. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 17, 109-128.
- Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81, 329.

Author Information

Jihun Park: Pusan National University, Lecturer, First Author