



ENACT 프로젝트에 참여한 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 변화 탐색

이현주*, 고연주, 홍지연
이화여자대학교

ENACT Project: Promoting Pre-Service Science Teachers' Views on the Social Responsibility of Scientists and Engineers

Hyunju Lee*, Yeonjoo Ko, Jiyeon Hong
Ewha Womans University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 January 2022
Received in revised form
10 February 2022
Accepted 13 February 2022

Keywords:

Socioscientific issues, ENACT project, social responsibility of scientists and engineers, pre-service science teacher

ABSTRACT

This study aims to investigate the effects of the ENACT project on promoting pre-service science teachers (PSTs)' views on the social responsibility of scientists and engineers. The ENACT project was designed to cultivate the social responsibility by integrating the theoretical framework of socioscientific issues (SSIs) education with problem-based inquiry approaches for the resolution of the issues. Thirty-two PSTs voluntarily participated in the project and completed the five stages over three months. Data was collected through a questionnaire to measure PSTs' view of the social responsibility of scientists and engineers (VSRoSE) and focus-group interviews. Results indicate that the PSTs presented statistically significant changes in their views of the social responsibility after the ENACT project. The mean scores of the five sub-dimensions of VSRoSE significantly increased. The interviews also supported that the PSTs had opportunities to seriously consider the social responsibility of scientists and engineers through epistemological exploration of science and technology (Cycle I), and problem-solving and action-taking (Cycle II). In particular, they agreed more on such responsibilities as consideration of societal needs and demands, pursuit of the common good, civic engagement and services using their expertise, communications with the public regarding potential risks, and participation in policy decision-making related to science and technology advances. Educational implications for SSI education and teacher education were suggested.

1. 서론

과학기술의 급속한 발전으로 수많은 과학기술관련 사회쟁점(Socioscientific Issues, 이하 SSI)이 야기됨에 따라, 전 세계적으로 SSI 교육의 필요성이 강조되고 있다. 많은 학자들은 SSI 교육을 통해 학생들이 과학기술과 관련된 문제에 관심을 갖고 합리적으로 의사 결정을 내리며, 문제 해결에 참여하는 시민으로 성장하도록 교육해야 한다고 주장한다. 특히 유럽연합이나 북미지역에서는 다년간의 프로젝트를 통해 체계적인 SSI 교육을 위해 노력해왔다. 그 대표적 예가 PARRISE(Promoting Attainment of Responsible Research and Innovation in Science Education)이다. PARRISE는 '책임감 있는 연구와 혁신(Responsible Research and Innovation, 이하 RRI)'이라는 개념을 중·고등학교 과학교육에도 도입해야 한다는 가정 하에, SSI 교육과 탐구기반 과학교육(Inquiry-Based Science Education)을 결합한 SSIBL(Socio-Scientific Inquiry-Based Learning) 학습 모형을 제안하고 이를 확산해왔다(Amos & Levinson, 2019; Ariza *et al.*, 2021; Levinson, 2018). 이들은 SSI 교육에 있어 교사교육의 중요성을 강조하면서, 유럽연합 내 교사들이 개발한 자료를 워크숍이나 온라인을

통해 공유하는 장을 지속적으로 마련해왔다. 유럽연합의 프로젝트 중 또 다른 예는 I SEE(Inclusive STEM Education to Enhance the capacity to aspire and imagine future careers) 프로젝트이다. I SEE 프로젝트는 과학교육과 미래학을 연계하여 STEM 분야로 진로를 모색하는 학생들에게 과학기술로 인한 미래를 상상하고 예측해보는 기회를 제공함으로써 사회적 책임감을 함양하도록 하는 교육프로그램으로, 영국, 이탈리아, 핀란드 등에 활발하게 적용되었다(Barelli, 2017; Levrini *et al.*, 2019, 2021; Tasquier, Branchetti, & Levrini, 2019). 이와 유사하게 스웨덴에서는 RISKEDU를 통해 고등학생들이 원자력 발전, 방사선, 무선 통신, 생명공학 등의 분야에서 현대 기술이 가져올 수 있는 위협과 사회적 문제를 과학적 정보에 입각하여 분석 및 평가하고, 의사결정할 수 있는 역량을 개발하는 교육프로그램을 제공하고 있다(Schenk *et al.*, 2019; Wojcik, 2019). 캐나다 역시 STEPWISE(Science & Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies & Environments) 프로그램을 통해 과학기술에 내재된 자본주의 논리, 이해관계자 간의 불합리한 관계성 등을 강조하면서 SSI를 통해 과학기술의 본성을 이해하도록 하는 교육을 진행해왔다(Bencze, 2017). 이상 제시된 SSI 관련 프로젝트는 각 프로

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A03041635).

* 교신저자 : 이현주 (hleee25@ewha.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2022.42.1.111>

젝트마다 차별화된 특징을 지니고 있지만, 모두 공통적으로 학생들이 과학기술과 관련된 쟁점이나 위험, 사회적 불합리성 등에 대해 이해하고, 사회가 직면한 SSI를 과학적 방법을 통해 해결할 수 있는 역량을 기르는 데 초점을 두고 있다.

본 연구에서 소개하고자 하는 ENACT 프로젝트도 과학기술과 관련된 쟁점과 위험, 불확실성, 그리고 이를 과학기술적 방법으로 해결해본다는 점에서 위와 유사한 특징을 지닌다. PARRISE, I SEE, RISKEDU, STEPWISE 등의 프로젝트에서 문제해결을 위한 책임감 있는 실천(activism)을 강조하는 것과 같이, ENACT 프로젝트 또한 SSI에 대한 이해를 바탕으로 문제를 해결하고 이를 사회적 실천으로 연결하는 데 중점을 둔다(Lee *et al.*, 2020). 과학기술로 인한 쟁점을 이해하고 이를 해결하기 위해 실천을 강조해야한다는 점은 몇몇 학자들(예: Sjöström & Eilks, 2018)이 강조해 온 과학적 소양의 Vision III와 연관되는 내용이다. 즉, SSI에 대한 이해를 바탕으로 합리적인 의사결정을 하는 역량도 중요하지만, 과학기술과 관련된 문제들을 비판적으로 재조명하고 이를 해결하기 위한 사회·정치적 실천에 참여하도록 하는 역량이 길러져야 한다는 것이다. 그러나 진정한 참여와 실천을 행하기 위해서는 과학기술의 본성(복잡성, 불확실성, 도덕·윤리적 측면, 사회적 영향 등)에 대해 충분히 탐색하는 것이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 과학·기술·공학적 문제 해결과정을 수행해 보는 경험을 제공할 필요가 있다. 이에, 과학기술에 대한 인식론적 이해를 위한 교수전략을 명시적으로 도입해서 문제해결 및 실천에까지 이르도록 설계한 것이 바로 ENACT 프로젝트이며, 이 점에서 PARRISE, I SEE, RISKEDU, STEPWISE 등과 차별화된다.

본 연구에서는 ENACT 프로젝트를 예비 과학교사를 대상으로 적용하여 그 교육적 효과를 탐색하고자 하였다. ENACT 프로젝트의 효과는 다양한 측면에서 기대해볼 수 있지만, 본 연구에서는 프로젝트의 참여가 과학기술자의 사회적 책임에 대한 예비 과학교사의 인식에 어떠한 변화를 가져오는지에 대해 초점을 두었다. 과학기술자의 사회적 책임에 대해서는 그동안 꾸준히 논의되었으나, 그 의미에 대한 구체적인 합의는 아직 부족한 실정이다(Glerup & Horst, 2014; Wyndham *et al.*, 2015). 그러나 한 가지 공통적으로 이야기되는 부분은, 사회적 책임은 이들의 개인적 차원에서의 연구 윤리 준수(예: 엄격한 연구 수행, 동물 및 피험자 보호, 정직성 등)와는 구별되는 거시적 차원의 개념이라는 것이다(Bielefeldt, 2018; Pimple, 2002; Wyndham *et al.*, 2015). Bielefeldt(2018)는 사회적 책임을 “사회와 환경에 대한 다양한 윤리적 책임”(p. 42)이라고 정의하면서, 인간의 안전, 환경과의 공존, 지역사회 문제해결에의 참여, 사회 정의의 추구 등을 요소로 제시하였다. Pimple(2002) 또한 사회적 책임의 7가지 요소(예: 공공 서비스, 공공 교육, 환경 영향 등)를 제시하면서 많은 과학자나 기관이 사회적 책임에 관심을 갖기를 촉구하였다. Ko, Shim & Lee(2021)은 위와 같은 과학기술자의 사회적 책임에 대한 여러 학자들의 논의를 바탕으로, 사회적 책임의 8가지 하위요인을 구체적으로 제시하기도 하였다. 물론 과학기술로 인해 발생하는 문제들의 책임을 과학기술자에게만 부과하는 것은 합리적이지 않다. 그러나 과학기술자는 일반 대중에 비해 전문적인 지식과 기술을 보유하고 있으며, 대중이 직면한 위험에 대해 경고하거나 해결에 관여할 수 있는 전문가집단으로서의 파급력이 있는 것은 사실이다(Song, 2008).

과학기술자의 사회적 역할과 책임에 대해 생각해보는 과정은 예비

과학교사들이 현대 과학기술이 지닌 본성을 이해하는 데 도움이 될 수 있다(Abd-El-Khalick, 2013; Ha, Shin, & Lee, 2019; Song, 2008; Yoon, Cho, & Nam, 2021). 현대 사회에서 과학기술자들은 대규모 프로젝트를 통해 다양한 집단과 행위자들과 사회적 네트워크를 형성하면서 연구활동을 수행한다(Hong, 2016). 이들이 어떠한 이해관계자들과 상호작용하고 그 다양한 이해관계 속에서 어떠한 가치를 중요하게 고려하는가는 자연스럽게 그 행위의 산물에 반영되기 때문이다.

이에, 본 연구에서는 예비 과학교사들이 ENACT 프로젝트를 수행하는 과정에서 과학기술자의 사회적 책임에 대해 반성적으로 생각해봄으로써, 본인의 현대 과학기술의 본성에 대한 이해를 높일 뿐만 아니라 과학교사로서 미래에 이공계를 진학하고자 하는 학생들 그리고 시민으로서 살아갈 학생들과 함께 왜 우리가 과학기술자의 사회적 역할에 대해 관심을 가져야 하는지에 대해 적극적으로 논의할 수 있는 역량을 기르는 것을 궁극적인 목적으로 한다. 교육을 통해 과학기술자들의 사회적 책임과 역할에 대해 논의하는 과정은 과학기술자라는 집단이 일반인과 단절된 폐쇄적이고 엘리트주의적인 집단이 아니라, 시민과 함께 당면한 문제를 해결해 나갈 수 있다는 인식을 함양하는데 도움이 될 수 있다. 이는 교사와 학생들이 과학기술관련 사회쟁점에 책임의식을 갖고 문제해결에 참여할 수 있도록 하는 근본적인 토대가 될 것이다. 이와 같은 목적으로, 본 연구자들은 연구 문제를 “ENACT 프로젝트는 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식변화에 어떠한 영향을 미치는가?”로 설정하였다.

II. ENACT 모형의 개요와 특징

ENACT 모형은 Lee *et al.*(2020)이 이공계 대학생, 이공계로 진로를 모색하는 중·고등학생, 과학에 관심 있는 일반인을 대상으로 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식을 함양하기 위해 제시한 교수학습모형이다. 해당 교수학습모형은 공학분야 교육과정에서 많이 적용되는 사회문제해결 방법과 과학기술관련 사회쟁점교육(SSI)을 결합한 것으로 총 5개 단계로 구성되어 있다. 특히 ENACT 모형은 과학기술관련 사회문제를 해결하는 데 있어 과학기술의 본성에 대한 인식론적 이해가 선행되어야 함을 강조하기 위해 두 개의 Cycle을 제안한다(Figure 1 참조). Cycle I은 과학기술의 본성을 이해하도록 하는 과정이며, Cycle II는 쟁점을 과학·기술·공학적으로 해결하는 실행의 과정이다. 그리고, Cycle I, II의 ‘이해’와 ‘실행’이 밀접하게 연계되고 반복적인 탐색과정으로 이루어질 수 있도록(Barnett, 2007; Wals *et al.*, 2015) 두 개의 Cycle을 양방향으로 연결하였다. Lee *et al.*(2020)은 이 두 개의 Cycle을 바탕으로 1) 쟁점발견(Engage in SSIs), 2) 쟁점탐색(Navigate SSIs), 3) 미래상황 예측(Anticipate consequences), 4) 과학·기술·공학적 쟁점해결(Conduct scientific and engineering practices), 5) 사회적 실천(Take action)의 5단계를 제시하였으며, ENACT는 각 단계의 앞글자를 합쳐 명명된 것이다(자세한 사항은 Lee *et al.*(2020) 참조).

좀 더 구체적으로 과학기술의 본성에 대한 이해를 강조하는 Cycle I은 학습자가 쟁점을 발견하고 탐색하는 과정에서 ‘과학기술의 사회적 함의(Social implications)’, ‘다양한 이해관계자의 개입(Multiple-stakeholders)’, ‘과학기술의 도덕·윤리적 측면(Moral & ethical aspects)’, ‘과학기술의 복잡성과 불확실성(Complexity &

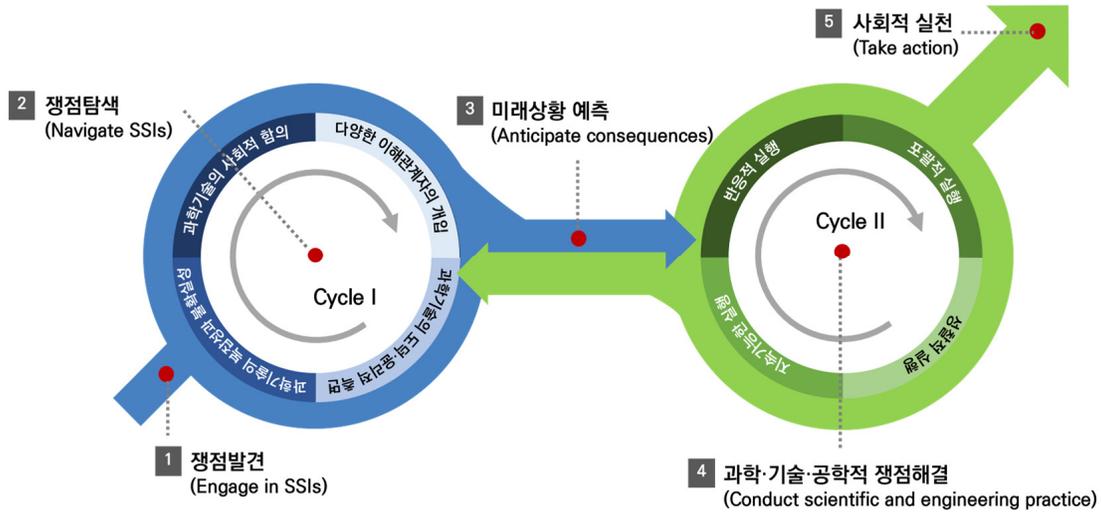


Figure 1. ENACT model (Lee et al., 2020, p. 10)

uncertainty)’를 이해하는 것을 강조한다. 즉, 관심 있는 과학기술이나 쟁점을 탐색하는 과정에서 과학기술이 사회에 어떠한 긍정적, 부정적 영향을 미치는지 다각적으로 탐색하고, 해당 과학기술이나 쟁점에 어떠한 이해관계자가 존재하며 이들 간 어떻게 상호작용하는지를 이해하고, 과학기술이 어떠한 도덕·윤리적 문제를 야기할 수 있으며, 그 이유는 무엇인지를 탐색하도록 한다. 이는 결국 학습자가 과학기술을 독립적인 개체가 아닌 네트워크(Bencze, 2017; Hong, 2016; Latour, 2005)로 이해하도록 함으로써, 과학기술이 갖는 복잡성과 불확실성을 이해하도록 하는 데 목적이 있다.

Cycle II는 실행자원을 나타내는 것으로, 유럽연합 지역을 중심으로 과학기술 연구와 혁신의 방향에 대한 책임감 있는 자세를 촉구하는 ‘책임 있는 연구와 혁신(Responsible Research & Innovation)’ 패러다임을 반영하고 있다. 즉, 학생들은 과학·기술·공학적 쟁점 해결 과정에 참여하면서 그 실행과정이 반응적(responsive), 포괄적(inclusive), 성찰적(reflexive), 지속가능한 지(sustainable)를 지속적으로 점검해나간다. 반응적 실행은 사회가 직면한 과제나 새로운 요구, 가치와 규범, 관점 등에 대해 유연하게 대응하고 대처하는가, 포괄적 실행은 다양한 이해관계자의 의견에 관심을 갖고 그들의 의견이 반영될 수 있도록 노력하는가, 성찰적 실행은 실행 과정에서 신중한 성찰과 숙의의 과정을 비판적으로 수행하는가, 지속가능한 실행은 지속가능한 사회를 지향하는 방향으로 연구가 수행되고 있는가에 대한 고려하는 것을 의미한다.

III. 연구 방법

1. 연구 참여자

본 연구에는 E대학의 예비 과학교사 32명이 참여하였다. 연구 참여자를 모집하기 위해 ENACT 프로젝트의 목적과 취지, 운영 및 참여방법 등을 명시한 모집공고문을 학과 게시판에 게시하였으며, 최종적으로 과학교육과 예비 교사 32명이 ENACT 프로젝트와 해당 연구에 자발적으로 참여하기를 희망하였다. 이들의 전공은 물리교육(5명), 화학교육(4명), 생물교육(9명), 지구과학교육(14명)에 고르게 분포하였으며, 학년은 2학년(20명)과 3학년(12명)이 주를 이루었다. 연구참

여자 중 일부 학생들(7명)은 과학기술관련 사회쟁점(SSI) 교육에 대해 들어본 적이 없었으며, 나머지 학생들(25명)은 교과교육론이나 교과교재연구및지도법 과목을 통해 SSI 교육에 대해 접해본 경험이 있었다.

2. ENACT 프로젝트 운영 및 사례

가. ENACT 프로젝트 운영 방식

ENACT 프로젝트는 약 3개월에 걸쳐 비교과활동으로 운영되었다. ENACT 프로젝트는 협업을 강조하기 때문에 4명으로 한 조를 구성하였으며(총 8조), 연구 참여자들의 편의와 선호에 따라 조를 편성하였다. 비교과활동이지만 ENACT 프로젝트와 관련한 이론적 설명은 실시간 온라인 수업을 통해 진행되었다. 특히, ENACT의 각 단계를 설명할 때에는 연구자가 온라인(Zoom)을 통해 실시간 강의를 진행하고 다양한 사례를 제시하였으며, 소회의실을 열어 조별로 구분된 공간에서 프로젝트를 단계별로 수행할 수 있도록 지원하였다. 예비 교사들은 강의 외 시간에 조별로 수차례 모여 프로젝트를 진행하였으며, 연구자들은 그 과정에서 예비 교사들이 ENACT의 취지대로 진행할 수 있도록 피드백을 제공하였다.

ENACT 프로젝트는 Figure 1에서 제시한 바와 같이 5단계로 구성되어 있다. 각 단계의 교수학습활동을 비대면 환경에서 보다 수월하게 진행할 수 있도록 온라인 워크스페이스(www.enactproject.com)를 구축하여 제공하였으며, 해당 워크스페이스는 각 단계마다 학생들이 수행해야 할 활동과 고려해야 할 점을 질문과 전략의 형태로 나타내어 구성하였다. 1단계 쟁점탐색 단계에서는 인터넷 검색을 통해 쟁점이 될 만한 과학기술을 선정하거나 과학기술로 인한 사회쟁점을 조별로 선정하도록 하였으며, 2단계 쟁점탐색에서는 SSI의 복잡성과 불확실성을 효과적으로 이해하도록 하기 위해 이해관계자 지도(Bencze, 2017)를 교수 전략으로 제시하였다. 3단계에서는 퓨처스힐(Glenn, 1994; Oviawe, Tazhenova, Azman, & Abdullah, 2021)과 미래시나리오기법(Livrini et al., 2019, 2021; Tasquier et al., 2019)을 미래 상황 예측을 돕는 교수 전략으로 활용하였다. 4단계에서는 문제해결을 하기 위해 적용할 수 있는 자연과학적 방법, 공학적 방법, 데이터 분석

방법 등을 소개함으로써, 본인의 주제에 맞는 방법을 선택해 효과적으로 해결할 수 있도록 안내하였다. 다만, 예비 과학교사의 경우 과학이나 공학 분야로의 진로를 고려하는 비중이 적다는 점을 고려하여 사회과학적인 문제해결 방식도 허용하였다. 5단계에서는 해결방안의 특성에 맞게 다양한 실천방안을 모색하고 실행에 옮길 수 있도록 장려하였다.

나. ENACT 프로젝트 운영 사례

예비 교사들은 조별로 선정한 ENACT 프로젝트의 주제는 Table 1과 같다. 일부 조의 예비 교사들은(4조, 6조, 7조) 새롭게 개발된 첨단과학기술(예: 메타버스 기술, 생분해성 플라스틱, 노이즈 캔슬링)에 대해 관심을 갖고 탐색하면서 이 과학기술이 야기할 수 있는 쟁점에 대해 탐색하였으며, 나머지 조들은 현재 우리가 직면하고 있는 쟁점(예: 마스크로 인한 환경문제, 의약품의 잘못된 폐기로 인한 문제 등)을 프로젝트 주제로 선정하였다(자세한 ENACT 프로젝트 사례는 Lee et al.(2022) 참조).

예비 교사들의 ENACT 프로젝트 수행 사례 하나를 예로 들면, 3조는 ‘외래 식물 유입에 의한 생물 다양성 감소’를 주제로 ENACT 프로젝트를 수행하였다(Figure 2 참조). 이들은 외래 식물이 생태계에 미

치는 영향이 매우 심각한 수준이지만 이에 대한 일반인의 관심과 우려가 높지 않다는 점에 문제의식을 갖고, 이를 해결할 문제로 결정하였다. 예비 교사들은 2, 3단계에서 외래종 유입과 관련하여 이해관계자가 복잡하게 얽혀져 있음을 확인하고 외래종 유입이 미칠 영향을 예측해보면서 문제해결에 대한 책임감을 느끼기 시작했다. 그 결과, 4단계에서 본인들의 전공을 살려 일반인들이 외래종을 구별할 수 있는 인공지능 모델을 개발한 후 동료들과 공유해 보았으며, 그 과정에서 인공지능 모델과 같은 해결책을 보다 적극적으로 확산해줬다는 필요성을 느껴 5단계로 생태지도를 제작하는 활동까지 자발적으로 실행하였다. 단계별 수행내용을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

1단계(쟁점 발견)에서 3조 예비 교사들은 외래종과 관련된 본인의 경험을 이야기하는 것부터 시작하였다. 한 예비 교사는 집 근처 저수지에 외래종 연잎이 폭발적으로 늘어나 가족과 함께 제거해본 경험을 공유하였으며, 다른 모둠원은 매미나방이나 애벌레 같은 외래종을 잡으러 다니는 사람들에 대한 영상을 시청한 경험을 나누었다. 또한 외래종에 어떠한 것이 있는지, 외래종 중에 귀화되어 우리나라 생태계를 교란시키는 좋은 무엇이 있는지 검색해보았으며, 관련 기사와 영상을 통해 “외래종으로 인한 생태계 교란이 꽤 심각하구나!”라는 문제의식을 보다 분명하게 체감할 수 있었다. 그러나 주변 친구들과 이야기하다 보니, 황소개구리나 뉴트리아와 같은 유입 동물들에 대해서 알고 있는 것에 비해 외래 식물에 대한 이해는 매우 미흡함을 발견

Table 1. Topics of the ENACT project

조	선택한 주제	활동 개요
1조	환경을 위한 마스크 귀끈 개선	코로나19로 인한 일회용 마스크 사용으로 급증한 마스크 폐기물과 마스크 귀끈으로 인한 야생동물의 피해 및 생태계 문제를 쟁점으로 선정함. 이에, 마스크 폐기물의 양과 마스크 관련 환경문제를 줄이고자 구조적 개선을 통한 친환경 마스크 프로토타입을 제작해 봄. 환경보호를 위해 고안한 마스크 디자인은 관련 기업에 아이디어로 제안하였으며, 마스크 귀끈 자르기 첼린지 등을 통해 일회용 마스크로 인한 문제를 알리고 대중도 문제해결에 동참할 수 있도록 권유함.
2조	폐의약품의 올바른 수거를 위한 대책	약의 오남용으로 발생한 폐의약품이 생태계 교란을 일으킬 수 있다는 데 착안하여 약국, 소비자, 환경 및 생태계의 이해관계를 탐색함. 이때 폐의약품 수거와 관한 소비자와 약사의 입장에 간극이 있음을 조사를 통해 확인한 후, 이들의 의견을 고려하여 폐의약품 처리방법이 적힌 손잡이 형태의 가정용 수거봉투를 제작함. 환경부에 폐의약품 수거봉투 제작 및 배부를 정책으로 제안하였으며, 시범적으로 약국에 수거봉투를 배부함으로써 폐의약품 수거를 위해 실천에 옮김.
3조	외래 식물 유입에 의한 생물 다양성 감소	외래동물에 비해 외래식물의 위험성에 대한 인식이 부족함을 깨닫고, 외래식물과 관련된 다양한 이해관계자와 이로 인한 미래상황을 예상함. 과학기술의 발달로 발생한 외래식물과 생물다양성 문제를 다시 과학기술로 해결해보고자, 티처블 머신이라는 인공지능 플랫폼을 이용하여 생김새가 비슷한 외래식물과 토종식물을 분류할 수 있는 모델을 개발함. 이에 그치지 않고, 시민과학의 관점에서 교내 구성원과 함께 캠퍼스 내 외래식물의 분포를 파악하고 생태지도도 만들어 봄.
4조	VR을 비롯한 가상현실에서의 시간압축 현상 해결	메타버스 기술 중 하나인 가상현실(VR)에서 사용자가 인식한 이용시간보다 실제 이용시간이 훨씬 더 긴 시간압축 현상이 일어난다는 데 초점을 두고, 이 현상을 해결하기 위해 실험을 수행하였음. 가상현실에서 게임을 진행하는 과정에서 시간이 표시되지 않은 경우, 시계를 명시적으로 표현한 경우, 알람을 통해 시간을 고지하는 방법을 비교 실험하였으며, 해당 결과를 담은 영상을 제작하고 교육세미나를 진행하여 시간압축 현상에 대한 위험성을 알림.
5조	미세섬유를 거르는 필터 제작	어패류의 몸 속에서 발견된 미세플라스틱 중 대다수가 미세섬유라는 기사를 접한 후, 미세섬유로 인한 환경오염을 줄이기 위한 방법으로 세탁시 발생하는 미세섬유를 감소시켜보고자 함. 생체모방기술을 이용하고자 고래가 수염을 통해 여과섭식하는 원리와 검안경의 원리를 함께 적용하여 세탁 배수구 필터를 제작하였음. 또한 세탁 시 발생하는 미세섬유에 대한 대중의 인식이 부족하다는 데 착안하여 SNS를 통해 자료를 공유하여 인식변화를 추구함.
6조	생분해성 플라스틱의 올바른 사용법	플라스틱이 미치는 환경오염을 줄이기 위해 생분해성 플라스틱이 개발되었으나, 실질적으로 소비자들의 생분해성 플라스틱에 대한 인식은 매우 부족하며 이 때문에 해당 플라스틱이 올바르게 폐기되지 못하고 있음을 알게 됨. 이에 생분해 인증마크를 제작하여 대중의 올바른 분리배출을 도모하였으며, 생분해성 플라스틱에 대한 정확한 이해를 바탕으로 생분해성/난분해성 플라스틱을 바르게 구분할 수 있도록 안내하는 교육용 온라인 보드게임을 제작 및 보급함.
7조	노이즈 캔슬링 기술의 위험성	노이즈 캔슬링 이어폰을 착용한 후 위험한 소음을 듣지 못해 목숨을 잃은 사례를 접한 후, 해당 기술이 필수 위험소음을 차단할 수 있음을 알게 됨. 노이즈 캔슬링으로 인한 위험을 대중에게 알리고자, 노이즈 캔슬링 이어폰을 착용한 후 소음 정도, 거리 등에 따라 소음을 인식할 수 있는 범위를 확인하는 실험을 개발 및 수행하였음. 실험 전후 노이즈 캔슬링 이어폰에 대한 인식을 조사하고 이에 기반하여 해당 제품을 제작하는 기업에 주의 문구를 삽입할 것을 건의함.
8조	생리대 접착제의 유해성	화학물질로 만들어진 일회용 생리대의 안전성에 대해 쟁점을 선정함. 특히 생리대 접착제에서 발견되는 휘발성유기화합물에 초점을 두고, 해당 물질이 여성과 환경에 미치는 영향을 탐색하였음. 초음파용착공법을 활용하여 화학접착제를 부분적으로 제거한 생리대 개발자와 면담을 진행한 후, 안전한 생리대를 개발하기 위해서는 단순히 친환경만 주장할 것이 아니라 시민과 시민단체, 국가, 기업 모두의 노력이 필요함을 확인하게 됨. 국민신문고 청원과 신문기사 기고를 진행하였으며, 중학생을 대상으로 한 교육세미나를 진행하여 생리대 관련 쟁점을 알림.

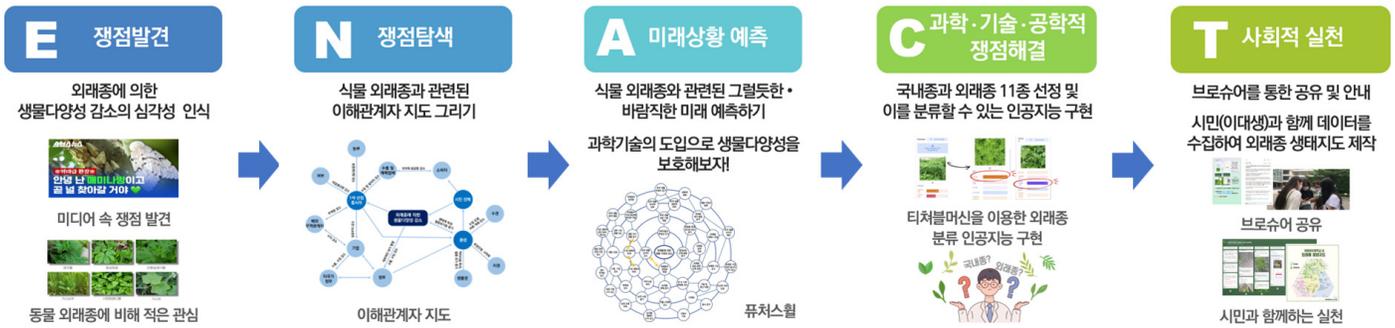


Figure 2. An example of ENACT project: Biodiversity loss by invasive species

하였다. 이에, 예비 교사들은 외래 식물에 대해 관심을 갖게 만드는 것이 외래 식물 유입에 의한 생물 다양성 감소를 막기 위한 시발점이라는 결론을 내렸다.

2단계(쟁점 탐색)에서 예비 교사들은 외래 식물 유입으로 인한 생물 다양성 문제를 해결하기 위해 가장 먼저 이 문제와 관련된 이해관계자들을 생각해보았다. 외래 식물의 유입 문제는 생태계뿐만 아니라 농부, 기업, 정부, 일반인, 시민단체 등과도 연결되어 있다. 이들은 이해관계자 지도(Bencze, 2017)를 그리면서 외래 식물로 인해 이해관계자들이 서로 어떤 영향을 주고받는지, 외래 식물로 인한 문제가 왜 점점 더 심각해질 수밖에 없는지, 이 문제를 해결하려면 어떤 이해관계자들과 함께 노력해야 하는지 등을 파악했다. 예를 들어, 가장 먼저 환경, 대중, 정부, 1차 산업 종사자를 이해관계자 지도에 그려 넣고, 각 이해관계자로부터 꼬리에 꼬리를 물어 연결되는 이해관계자를 적어나갔다. 유입된 외래종에 의해 생물 다양성이 감소하면 직접적으로 관련 있는 1차 산업 종사자들이 경제적으로 큰 피해를 입을 것이라 생각하였으며, 1차 산업 종사자들이 받은 피해는 소비자와 판매 및 유통업자 모두에게 영향을 줄 수 있다고 표현하였다. 나아가 지권, 수권, 생물권 등 생태계 전반에도 영향을 미쳐 생태계 파괴 위험과 환경오염 등의 문제를 초래함을 그려나갔다. 생물 관련 무역을 하는 기업과 정부가 생물 종이나 개체 수 감소로 필요한 수입, 수출량 부족으로 경제적 타격을 받을 수 있다는 점 또한 이해관계자 지도에 표현하였다.

3단계(미래상황 예측)에서는 외래 식물이 계속 늘어난다면 앞으로 10-20년 후에는 어떤 일이 벌어질지 생각해보았다. 먼저, 퓨처스휠을 이용하여 미래의 모습을 예측해보면서, 지금부터라도 생태계에 교란을 주는 외래 식물을 줄이기 위한 작은 노력을 실천한다면 10-20년 후 일어날 수 있는 변화에 대해 이야기해 보았다. 예비 교사들은 1차적으로 땅 속 수분 감소, 수권 생태계 파괴 등을 적은 후, 2차, 3차로 확산되면서 인간에게 미치는 영향들을 동그라미 안에 적어나갔으며, 서로 영향을 주고 받아 문제를 더 악화시키는 경우 또한 화살표를 이용해 표시해보았다. 퓨처스휠을 완성한 후에는 현재의 문제 상황이 지속되었을 때의 미래와 바람직한 미래에 대한 두 개의 미래상황 예측 시나리오를 작성하였다. 외래 식물로 인해 식물종 다양성의 감소가 가져올 수 있는 사막화, 다양한 개체의 멸종을 비롯하여 식량난과 물부족 등 인류의 생명을 위협하는 다양한 시나리오를 생각해보았다. 한편으로는 생태 환경의 보존에 대한 사람들의 인식이 개선되고 IT기술 등을 활용하여 멸종 위기에 처한 종들을 데이터화(예: 생태지도 제작 등)한다면 종을 보존하는 데 기여할 수 있을 것이라는 바람직한 미래를 담은 시나리오 또한 작성해보았다.

4단계(과학·기술·공학적 쟁점해결)에서는 예비 교사로서의 전공을 살려 일반인들이 외래종을 식별할 수 있도록 교육하는 방법부터 찾아보기로 했다. 이들은 먼저 외래 식물이 우리 주변에 얼마나 있는지 직접 확인하기 위해 학교 캠퍼스와 동네 산자락을 돌아다녔다. 하지만 외래 식물 사진을 옆에 두고 비교하며 찾아보았음에도 불구하고, 외래 식물과 유사하게 생긴 국내 식물을 구분하는 것은 무척 어려웠다. 외래 식물에 관심이 낮은 비전공인들에게 생태계 교란을 막기 위해 외래 식물을 함께 찾아보자고 말로만 교육하는 것은 한계가 있을 수밖에 없다는 것을 깨닫게 된 순간이었다. 예비 교사들은 이 점에 착안해서, 최근 소개된 ‘티쳐블 머신’이라는 인공지능기반 교육용 앱을 활용해보기로 했다. 티쳐블머신은 사용자가 직접 데이터 클래스를 분류해 사진들을 입력한 후 인공지능(AI)이 데이터를 학습하도록 하면, 새로운 데이터를 입력했을 때 분류해주는 인공지능 모델을 만들 수 있다. 무엇보다도 사용법이 쉽고 간단했다. 먼저, 서울시 지정 생태계 교란 위해 식물종으로 선정된 6가지 외래종인 가시박, 가시상추, 단풍잎돼지풀, 돼지풀, 환삼덩굴, 서양등골나물로부터 시작하였으며, 인터넷 검색을 통해 각 식물마다 사진 50-60장씩 수집하였다. 이후 티쳐블 머신에 각 식물별 클래스를 만들고, 클래스에 수집한 사진을 업로드하여 학습시킨 후 식물을 분류하는 모델을 만들었다. 그런데 첫 번째 시도로 만든 AI 모델에 새로운 데이터를 넣고 테스트해보았더니 외래종 6종과 전혀 다르게 생긴 국내종도 외래종으로 판별되는 오류가 계속 발생했다. 예를 들어, 깎이는 외래종이 아님에도 기타로 분류되지 못하고 그나마 비슷한 형태를 가진 서양등골나물로 판별되었다. 정확하게 분류되지 못하는 문제를 해결하기 위해 선정한 6개 외래종과 비슷하게 생긴 국내종 11개를 추가적으로 선정하였다. 새로운 클래스를 만들고 각 클래스에 더 많은 60-100개 이미지 데이터를 입력해 학습시킴으로써 유사하게 생긴 국내종을 식별할 수 있도록 보완해보았다. 또한 학습에 사용된 데이터를 다시 검토해서 각 클래스에 보다 정확한 데이터가 입력되도록 하였다. 클래스에 잘못된 사진이나 여러 식물이 동시에 나와 있는 사진 데이터는 삭제하였으며, 하나의 식물을 여러 각도에서 찍은 사진이나 표본의 다양성을 위해 직접 찍은 사진도 추가하는 과정을 통해 티쳐블머신 모델의 정확성을 높이려고 노력하였다. 사진을 추가함에 따라 달라지는 분류 비율을 지속적으로 체크해본 결과, AI 모델의 분류 능력이 점점 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 5단계(사회적 실천)에서는 시민과학의 관점에서 교내 구성원과 함께 인공지능 모델을 이용하여 생태지도를 제작해보았다. 주변 사람들이 시민과학자가 되어 AI 모델을 이용해 가까운 공원이나 산, 주변을 돌아다니며 함께 외래종을 찾고, 찾은 사진을 함께 공유하

는 공간을 만들고 싶었다. 예비 교사들은 우선적으로 프로젝트 참여 방법과 티처블 머신에 대한 설명, 외래종 6종에 대한 설명, 외래종 발견 및 제거의 의의, 식물 종을 판별할 수 있는 티처블 머신 모델 QR 코드 등이 담긴 브로슈어를 작성해서 학우들에게 나누어주었으며 SNS를 통해 공유하는 과정을 거쳤다. 프로젝트 참여를 원하는 대학생들로 하여금 QR코드를 통해 AI 모델을 실행하여 국내종 및 외래종을 판별해본 후, 발견한 외래 식물을 패들릿에 외래종의 사진, 발견한 위치, 티처블 머신 상의 판별 결과를 업로드하도록 하였다. 그러나 다양한 시민들이 참여하는 만큼 잘못된 정보가 올라오기도 하고 티처블머신 자체가 잘못된 판별을 하는 경우도 있었다. 이에, 게시되는 정보를 지속적으로 모니터링하며 잘못된 정보를 정정하는 과정을 거친 후, 최종적으로 학교 캠퍼스 지도 위에 학생과 시민들이 찍어 올린 사진들의 위치를 확인해서 생태지도를 제작해보았다. E대학의 캠퍼스에는 환삼덩굴과 서양등골나물이 많이 분포하고 있었다. 지금은 캠퍼스 지도를 만드는 것부터 시작했지만, 이들은 생태지도 프로젝트를 더 넓은 지역으로 확장해나갈 계획을 세웠다.

3. 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식의 변화를 탐색하기 위해 혼합연구방법(Greene, 2007)을 이용하였다. 이는 양적분석과 질적분석을 통해 분석의 신뢰도를 높일 뿐만 아니라, 양적분석 결과와 질적분석 결과가 상이할 경우 그 원인을 탐색해봄으로써 보다 심도 있는 통찰을 제시하기 위함이다. ENACT 프로젝트는 한국연구재단의 지원을 받아 이론적 모형개발부터 프로젝트 적용, 효과 탐색까지 3년에 걸쳐 진행된 것으로, 본 연구에서는 예비 과학교사를 대상으로 진행한 ENACT 결과물 중 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 변화에 초점을 둔 자료 일부만을 사용하였다. 우선, ENACT 프로젝트 참여 전후로 “과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식”을 묻는 검사지(VSRoSE)를 투입하여 그 변화를 탐색하였다. 또한 ENACT 프로젝트의 5단계가 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위해 Cycle I이 마무리되는 3단계 후와 Cycle II가 마무리되는 5단계 후 조별 면담을 실시하였다. 이외에도 예비 교사들의 연구 수행내용을 충실히 이해하기 위해 예비 교사들이 온라인 워크스페이스에 작성한 활동 내용도 보조자료로 이용하였다.

가. 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 검사도구 (Views of Social Responsibility of Scientists and Engineers, VSRoSE)

본 연구에서는 예비 교사의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 변화를 탐색하고자 Ko et al.(2021)이 개발한 Views of Social Responsibility of Scientists and Engineers(VSRoSE)를 이용하였다. 이 검사도구는 문헌조사를 통한 하위요인 도출 및 정의부터 시작하여 탐색적·확인적 요인분석, 구인타당도 확보 등의 엄격한 통계적 과정을 거쳐 개발된 것으로, 8개 요인으로 구성된 5점 리커트 척도 검사도구이다(Table 2). 각 요인은 3-5개 문항으로 구성되어 총 30개 문항으로 구성된다. 해당 검사도구의 문항 내적일관성 신뢰도(Cronbach's alpha)는 지속가능한 환경에 대한 고려(ENVIR)에서 다소 낮았으나

Table 2. Constructs of VSRoSE

요인	문항 수	Cronbach's alpha
인간의 복지와 안전에 대한 고려(HUMAN)	5	.852
지속가능한 환경에 대한 고려(ENVIR)	3	.539
사회적 위험과 영향 고려(CONSEQ)	5	.801
사회적 필요와 요구 고려(NEEDS)	3	.780
공공선의 추구(COMGOOD)	3	.802
사회참여와 봉사(CIVIC)	5	.841
대중과의 소통(COMMU)	3	.954
정책결정에의 참여(POLICY)	3	.806
전체	30	.938

(.539), 전반적으로 양호한 수준이었다(.801~.954). 연구참여자들은 ENACT 프로젝트 참여 전후 2회에 걸쳐 VSRoSE에 응답하였으며, 수집된 VSRoSE 응답자료는 SPSS 프로그램을 이용하여 기술통계 및 종속표본 t-검정을 실시하였다.

나. 조별 면담

본 연구자는 예비 교사가 ENACT 프로젝트를 진행하는 과정에서 조별로 2회 면담을 실시하였다. 각 면담은 약 60-75분간 온라인(Zoom)을 통해 진행되었으며, 반구조화된 면담의 형태로 진행되었다. 면담의 본 취지는 ENACT 프로젝트의 각 단계별 수행내용과 프로젝트를 통해 새롭게 알게 된 점, 프로젝트를 수행하면서 특별히 강조했던 점 등 총체적인 ENACT 프로젝트의 효과를 탐색하는 것이었다. 그러나 본 연구에서는 면담의 전체 내용을 탐색하면서 과학기술자의 사회적 책임에 대한 예비 교사들의 인식 변화와 관련된 내용에 초점을 맞추어 분석하였다. 관련된 면담 질문은 “ENACT 프로젝트를 통해 과학기술자의 사회적 책임이나 역할에 대해 생각해본 적 있는가?”, “여러분의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 생각에 있어 변화한 점이 있는가?”, “ENACT 프로젝트의 어떤 점이 그러한 생각을 하도록 하였는가?”이었다. 즉, 연구자는 면담질문을 VSRoSE에 포함된 과학자의 사회적 책임에 대한 8개 요인에 대해 각각 질문하지 않고 포괄적으로 제시함으로써, 예비 교사들이 ENACT 프로젝트를 통해 본인이 인식하게 된 과학기술자의 사회적 책임을 본인의 언어로 자유롭게 표현할 수 있도록 하였다. 또한 과학기술자의 사회적 책임에 대한 이들의 일반적인 생각을 모호하게 표현하지 않고 ENACT 프로젝트 수행 내용에 맥락화시켜 구체적으로 응답할 수 있도록 이끌었다. 1차 면담에서는 1, 2, 3단계를 수행하면서 생김 인식의 변화에 대해 이야기 하였으며, 2차 면담에서는 4, 5단계 또는 전체적으로 되짚어 보면서 응답하도록 하였다.

8개 조의 2회 면담은 모두 전사되었으며, 전사된 내용은 NVivo 질적자료 분석 프로그램을 이용하여 분석하였다. 연구자들은 VSRoSE의 개발과정에서 과학기술자의 사회적 책임에 대한 이론적 틀을 구성하였기 때문에 이 관점에서 예비 교사들의 응답을 분석하여, VSRoSE의 응답 결과와 비교·분석하였다. 이를 위해 1차적으로 면담의 내용을 전체적으로 읽으면서 Table 1의 8개 요인을 코드로 하여 연역적으로 코딩하였으며, 필요에 따라 일부 면담내용은 2개 이상의

코드를 사용하기도 하였다. 각 코드별 면담 내용을 2차적으로 살펴보면 각 요인별 하위 코드를 귀납적으로 생성하였다. 예를 들어, ‘대중과의 소통’의 경우, ‘과학문화 확산’, ‘대중교육’, ‘전문가들 간의 소통’ 등으로 하위 코드를 만들어 데이터를 정리하였으며, 그 코드들을 중심으로 내용을 종합적으로 이해하여 결과에 제시하였다.

IV. 연구 결과

1. ENACT 프로젝트 참여가 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 변화에 미치는 영향

예비 과학교사가 ENACT 프로젝트 참여 후 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식이 변화하였는지 종속표본 t-검정을 실시한 결과는 Figure 3, Table 3과 같다. 먼저, VSRoSE의 전체 평균점수는 ENACT 프로젝트 참여 이후 통계적으로 유의한 향상이 있었다($p < .001$). 전반적인 사회적 책임에 대한 인식은 향상되었으나, 8개 하위요인 중 ‘인간의 복지와 안전에 대한 고려(HUMAN)’, ‘지속가능한 환경에 대한 고려(ENVIR)’, ‘사회적 위험과 영향 고려(CONSEQ)’는 프로젝트 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이들 세 개 요인은 과학기술자가 연구를 계획하거나 수행할 때 인간의 안전과 건강을 고려하고, 환경과 생태계를 고려하여 지속가능한 발달을 추진하며, 사회에 미치는 잠재적인 위험과 영향을 고려하는 것이 그들의 책임인가에 대한

인식을 묻는 문항들로 구성되어 있다. 이들 세 요인의 경우에는 다른 다섯 요인에 비해 사전에서부터 높은 평균 점수를 보였으며(4.29~4.47점), 사후에도 높은 점수를 보이거나(4.45~4.47점) 사전과 유사한 점수였다.

이에 반해, 과학기술자의 연구수행 과정과 산출물을 공유하는 과정에서 관련된 이해관계자(예: 대중, 정부, 기업 등)와 상호작용하며 다양한 방식으로 사회에 기여하는 것이 그들의 책임에 해당하는지를 묻는 다른 5개 요인(NEEDS, COMGOOD, CIVIC, COMMU, POLICY)은 프로젝트 참여 후 유의하게 향상되었다($p < .001, p < .01$). 특히 ‘사회참여와 봉사(CIVIC)’와 ‘대중과의 소통(COMMU)’는 상승폭이 매우 컸으며($d_{CIVIC} = 1.273, d_{COMMU} = 1.120$), ‘공공선의 추구(COMGOOD)’를 제외한 나머지 4개 요인의 사후 평균점수는 기존에 높았던 앞의 세 요인(HUMAN, ENVIR, CONSEQ)보다 높은 평균 점수를 보일 만큼 향상되었다. 이는 예비 과학교사들이 ENACT 프로젝트에 참여하기 전에는 적극적이고 구체적인 의미의 사회적 책임에 속하는 5개 요인에 대해서 그 중요성을 상대적으로 덜 인식하고 있었으나, ENACT 프로젝트 후 그 요인들을 보다 비중 있게 인지하게 되었음을 보여준다.

2. 과학기술자의 사회적 책임의 하위 요인별 인식 변화

과학기술자의 사회적 책임에 대한 8개 하위 요인별 예비 과학교사들의 응답을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

가. 인간의 복지와 안전에 대한 고려(HUMAN)

인간의 복지와 안전에 대한 고려(HUMAN)가 과학기술자의 책임이라는 것은 여러 학자들에 의해 강조되어 왔다(Bielefeldt, 2018; Godhade & Hundekari, 2018; Wyndham *et al.*, 2015; Zandvroot *et al.*, 2013). 이는 과학기술 연구를 수행하는 과정에서 과학기술자는 인간의 복지, 안전과 건강에 미칠 수 있는 잠재적 위험을 미리 예측해 보고 이를 최소화할 수 있도록 노력해야 한다는 것이다. 이 요인에는 5개 문항이 포함되어 있으며(Table 4 참조), 예비 교사들은 문항2를 제외한 4개 문항에서 사전 검사에서도 높은 평균을 나타냈다. 즉, 과학기술자가 본인이 수행하는 연구가 인류의 안전과 건강을 해치는

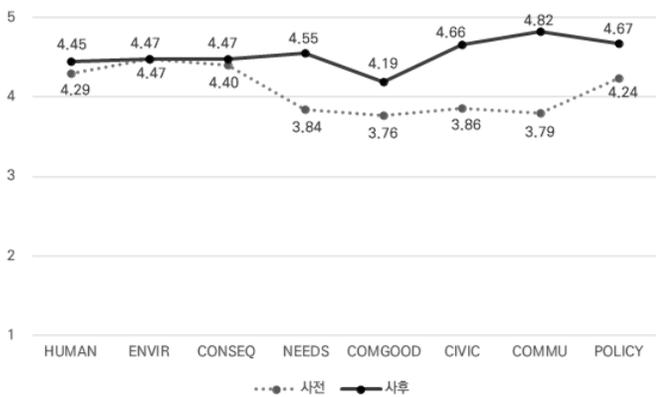


Figure 3. Comparison of pre- and post-scores on VSRoSE

Table 3. Results of dependent t-test on the VSRoSE responses

	사전		사후		t	p	Cohen's d
	M	SD	M	SD			
인간의 복지와 안전에 대한 고려 (HUMAN)	4.29	0.584	4.45	0.437	1.456	.155	.257
지속가능한 환경에 대한 고려 (ENVIR)	4.47	0.422	4.47	0.514	0.000	1.000	.000
사회적 위험과 영향 고려 (CONSEQ)	4.40	0.434	4.47	0.442	0.712	.482	.126
사회적 필요와 요구 고려 (NEEDS)	3.84	0.723	4.55	0.453	4.739***	.000	.838
공공선의 추구 (COMGOOD)	3.76	0.739	4.19	0.535	3.226**	.003	.570
사회참여와 봉사 (CIVIC)	3.86	0.598	4.66	0.408	7.202***	.000	1.273
대중과의 소통 (COMMU)	3.79	0.961	4.82	0.305	6.333***	.000	1.120
정책결정에의 참여 (POLICY)	4.24	0.537	4.67	0.369	4.290***	.000	.758
전체	4.10	0.452	4.53	0.357	5.623***	.000	.994

Note. ** $p < .01$, *** $p < .001$

Table 4. Descriptive statistics of participants' responses to the VSRoSE items

요인	No	문항	사전		사후	
			M	SD	M	SD
인간의 복지와 안전에 대한 고려 (HUMAN)	1	연구과정에서 적어도 인류의 건강을 해치지 않아야 한다.	4.50	0.622	4.38	0.660
	2	인류의 건강을 최우선으로 고려해야 한다.	3.56	1.076	4.00	0.718
	3	자신이 하는 일이 사람들의 안전을 해치지 않는지 고려해야 한다.	4.50	0.568	4.50	0.508
	4	과학기술이 사람들의 건강에 미칠 수 있는 영향을 고려해야 한다.	4.59	0.499	4.69	0.471
	5	적어도 인류가 여러 위험으로부터 안전한 상황에 놓이도록 해야 한다.	4.28	0.772	4.69	0.535
영역 전체			4.29	0.584	4.45	0.437
지속가능한 환경에 대한 고려 (ENVIR)	6	연구과정에서 자연환경을 보호하기 위해 노력해야 한다.	4.44	0.504	4.44	0.669
	7	생태계에 미치는 영향을 최소화해야 한다.	4.47	0.567	4.38	0.751
	8	환경을 보호하면서도 지속적인 발전을 위해 노력해야 한다.	4.50	0.672	4.59	0.665
영역 전체			4.47	0.422	4.47	0.514
사회적 위험과 영향 고려 (CONSEQ)	9	자신이 속한 과학기술분야에서 일어날 수 있는 사회문제가 무엇인지 알아야 한다.	4.63	0.492	4.63	0.554
	10	현대 과학기술과 관련된 사회문제가 무엇이 있는지 찾을 수 있어야 한다.	4.34	0.545	4.41	0.756
	11	자신이 하는 일이 과학기술 분야의 발달에 어떻게 기여할 수 있는지 알고 있어야 한다.	4.53	0.567	4.59	0.499
	12	자신이 속한 과학기술분야에서 해결해야하는 사회문제가 무엇인지 찾을 수 있어야 한다.	4.19	0.693	4.63	0.492
	13	연구와 관련하여 충돌하는 가치나 이해관계는 없는지 살펴보아야 한다.	4.31	0.592	4.09	0.689
영역 전체			4.40	0.434	4.47	0.442
사회적 필요와 요구 고려 (NEEDS)	14	사회의 가치나 기대를 반영한 과학기술 연구를 수행해야 한다.	3.75	0.916	4.47	0.567
	15	시민들이 원하고 사회가 필요로 하는 지식을 만들어내고 있는지 고려해야 한다.	3.84	0.847	4.53	0.621
	16	과학기술 연구에 대한 사회의 수요와 기대를 파악해야 한다.	3.94	0.840	4.66	0.483
영역 전체			3.84	0.723	4.55	0.453
공공선의 추구 (COMGOOD)	17	인류의 삶의 질을 높일 수 있는 부분을 연구해야 한다.	3.84	0.808	4.00	0.718
	18	사회 구성원의 복지와 편안함을 증진시키는 데 연구목적을 두어야 한다.	3.66	0.902	4.63	0.492
	19	사람들이 일상생활에서 겪는 불편함을 개선하는 데 연구목적을 두어야 한다.	3.78	0.906	3.94	0.948
영역 전체			3.76	0.739	4.19	0.535
사회참여와 봉사 (CIVIC)	20	과학기술과 관련된 사회문제를 해결하기 위해서라면 관련 사회운동에 기꺼이 참여해야 한다.	3.53	0.761	4.78	0.420
	21	일반 시민들과 협업하여 과학기술과 관련된 사회문제를 해결해야 한다.	3.97	0.740	4.59	0.560
	22	다른 사람들도 과학기술 문제해결에 참여할 수 있도록 적극적으로 행동을 권유해야 한다.	3.78	0.832	4.69	0.471
	23	사회문제에 관심이 있고 지식이 있는 일반시민들과 함께 과학기술 문제를 해결해야 한다.	3.91	0.818	4.72	0.457
	24	자신의 전문성을 필요로 하는 일반인에게 자문역할을 수행해야 한다.	4.13	0.660	4.53	0.671
영역 전체			3.86	0.598	4.66	0.408
대중과의 소통 (COMMU)	25	책이나 기사, 블로그, 강연 등의 미디어를 통해 사람들이 과학을 친숙하게 여길 수 있도록 해야 한다.	3.81	1.120	4.78	0.420
	26	과학기술과 관련된 문제해결에 필요한 지식이나 연구를 일반 사람들이 이해하기 쉽도록 설명해야 한다.	3.81	0.931	4.84	0.369
	27	과학기술과 관련된 지식이나 연구를 일반 사람들이 이해하기 쉽도록 설명해야 한다.	3.75	0.950	4.84	0.369
영역 전체			3.79	0.961	4.82	0.305
정책결정에의 참여 (POLICY)	28	학회/단체의 일원으로서 과학기술과 관련된 정책을 수립하는 데 영향력을 행사해야 한다.	4.19	0.592	4.59	0.712
	29	과학기술과 관련된 정책 수립에 적극적으로 참여해야 한다.	4.31	0.644	4.78	0.420
	30	과학기술 정책의 중요성을 강조하여 과학기술에 대한 투자를 이끌어내야 한다.	4.22	0.659	4.63	0.492
영역 전체			4.24	0.537	4.67	0.369
전체 사회적 책임감 (30문항)			4.10	0.452	4.53	0.357

방향으로 나아가지 않도록 지속적으로 고려해야 하며(문항3), 연구과정에서 발생하는 산물도 인간의 건강을 해하는 일이 없도록(문항1) 그리고 인류가 안전한 상황에 놓이도록 유의해야 한다는 것(문항5), 과학기술이 인간의 건강에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지에 대해서도 고려해야 한다(문항4)는 점에 매우 동의하는 응답을 보였다. 그러나 상대적으로 과학기술연구에 있어 인류의 건강을 최우선으로 고려해야 하는가(문항2)에 대한 응답은 3.56점으로 낮은 평균을 보였다. 즉, 인간의 건강, 안전, 복지는 고려되어야 하는 중요 요소이지만, 그것이 최우선이어야 하는가에 대해서는 예비 교사마다 다소 의견 차이가

있었던 것으로 추측된다. 그러나 문항2에 대해서도 ENACT 프로젝트 참여 후에는 다소 편차가 줄어드는 경향을 보였으며, 평균점수도 4.0 점으로 향상되는 결과를 보였다.

앞의 Table 3에서와 같이, ENACT 프로젝트 참여 후 HUMAN 요인에 대한 예비 교사의 인식은 통계적으로 유의하게 향상되지 않았다($p = .155$). 그러나 문항4와 문항5와 같이 건강에 대한 고려와 위험으로부터의 안전을 위해 노력해야 한다는 문항에서는 4.69점의 높은 평균을 보였다. 많은 학자들이 인간의 복지와 안전 고려를 과학기술자의 책임이라는데 동의하는 것처럼, ENACT 프로그램에 참여한 예

비 과학교사들도 이에 충분히 동의하는 것으로 보인다. 면담에서도 다음과 같이 나타났다.

그거(과학기술의 위험성)를 판단하는 건 과학자가 아닌 [다른 사람의 몫이라고 생각했어요]. 과학자가 그런 걸 생각하면 더 나은 기술을 발전시키지 못할 수 있을 거 아니에요. [과학자들이] “이게 맞나?” 라는 생각을 계속하면 하려던 것도 안 하게 되고, “그냥 하지 말까?” 이렇게 되니까. 저는 동료 과학자나 정부나 이런 측에서 안전성 검사를 해야 한다고 생각을 했었어요. 그런데 ENACT를 하면서 생각해 보니, 이렇게 하면 더 문제가 생길 수 있으니 과학자가 먼저 기술을 만들고 난 후에도 이거를 통해서 어떤 문제가 생길 수 있을지 생각하고 발표하고 동료 과학자들끼리 함께 연구해보는 게 더 좋을 것 같다고 생각했습니다. (7조_노이즈 캔슬링)

ENACT 활동을 하면서 했던 제일 중요한 '미래 예측'을 과학자가 이제 어느 정도 해야 된다고 생각을 해요. 이 기술을 통해서 분명히 이득을 얻는 것이 일차적인 목적이긴 하겠지만, 그게 분명히 좋은 쪽으로만 나가지 않을 거라는 거를 염두에 두고 “나쁜 방향으로 어떻게 나갈 수 있을까?”[를 생각해봐야겠죠]. (6조_생분해성 플라스틱)

면담에서 인간의 안전과 건강을 고려하는 것이 과학기술자의 사회적 책임이라고 직접적·명시적으로 언급한 예비 교사들은 많지 않았다. 위의 7조의 응답처럼 인간을 위협으로부터 보호하고 안전함을 우선시하게 될 경우 과학기술이 발전하는 장애 요인이 될 수 있는 가능성도 없지 않음을 이들은 인식하고 있었다. 그러나 과학기술이 인간에게 미치는 영향과 안전성에 대한 평가를 정부나 다른 이해관계자에게 넘기는 것이 아니라, 과학기술자들도 잠재적 위험성에 대해 고려하고 이를 줄이기 위한 방안에 대해 동료들과 서로 논의하는 과정이 필요하다는 것을 깨닫게 되었다. 6조의 경우에도, 아무리 생분해성 플라스틱의 개발과 같이 좋은 의도의 연구를 수행하더라도 경제적인 이윤 추구를 넘어 그 기술이 야기할 수 있는 미래에 대해 예측해보는 것이 연구자의 책임이라고 응답하였다.

나. 지속가능한 환경에 대한 고려(ENVIR)

인간의 안전과 건강에 대한 고려와 마찬가지로 지구 환경과 생태계에 관심을 갖고 지속가능한 개발을 해나가도록 노력하는 것(ENVIR)도 과학기술자의 사회적 책임으로 많이 언급되어 왔다(Bielefeldt, 2018; Vanasupa, Slivovski, & Chen, 2006). Table 3과 같이, 예비 교사들도 환경에 대한 고려가 과학기술자의 사회적 책임이었는데 매우 동의하는 경향을 보였으며, 8개 요인의 사전 점수 중 평균 점수가 가장 높았다. 그러나 ENACT 프로젝트 참여 후에도 예비 교사들은 사전 점수와 동일한 평균점수(4.47점)를 나타냈다. Table 4에서 제시된 세 문항 각각의 평균도 거의 유사하다. 즉, 예비 교사들은 연구 결과가 생태계에게 미칠 수 있는 부정적 영향을 최소화해야 할 뿐만 아니라(문항7), 연구 과정에서도 자연환경을 보호하는 방향으로 수행해야 하며(문항6), 환경과 공존할 수 있는 방향으로 나아가도록 노력해야 하는 것(문항8) 모두 과학기술자의 책임이라는 데 동의하였다. 면담에서도 유사한 응답을 보였다.

과학자들이 기술을 개발할 때 본인이 의도한 대로 쓰인다는 그런 장담이 없잖아요. ... 사람이 편리하고자 만든 것이지만 편리하고자 하는 게 어찌면

또 해가 될 수도 있고, 그게 인간에게만 고스란히 해가 되는 기술도 있지만 또 생태계라든지 다른 생물체에게도 충분한 피해를 줄 수 있는 기회들이 굉장히 많다는 것을 충분히 인식해야 된다는 점을 깨달은 것 같아요....1, 2, 3단계를 진행할 때는 “과학 기술이 문제가 많네”, “과학자들 힘들겠네” 이런 느낌으로만 생각을 했는데요. 4, 5단계를 직접 진행하면서 저희가 다양하게 해결 방안을 고민해 봤을 때 미세섬유라는 정보랑 이것을 해결할 방안이 너무 정보가 적은 거예요. 그래서 이걸 보고 과학자들은 도대체 뭘 하고 있지, 이렇게 중요하고 어떻게 보면 엄청 중요하고 진짜 큰 문제인 거 같아요. 환경에 엄청 큰 영향을 미치고요. “이게 점점 나중 되면 심화될 문제인데, 이렇게 정보랑 해결책을 마련해 주지 않았다고?”[라는 생각이 들었죠]. (5조_미세섬유 필터)

1단계에서는 발전이라는 의미 자체가 긍정적으로 나아간다고 생각했기 때문에 과학 기술을 긍정적으로 생각하고 인간의 편의를 위해서 긍정적인 방향으로 흘러간다고 생각을 했었어요. 그런데 3단계가 끝나고 나서 과학 기술 주변으로 너무 많은 이해 관계자가 있는데, “이게 너무 인간을 위한 기술이 아닌가?”[라는 생각이 들었어요]. 왜냐하면 이해 관계자에 환경도 있었잖아요. 그래서 너무 인간중심적이라는 생각이 컸어요. “과학 기술이 우리를 위하긴 하는데, 너무 우리만을 위하느냐...”... 그런데 5단계 이후에는 다양한 사람들이 이 과학기술 발전에 참여할 수 있어야겠다는 생각을 하게 됐죠. 이해 관계자들이 과학기술 발전에 참여할 수 있다면 이런 문제점들을 해결할 수 있겠다. 예를 들어 환경단체 시민들 또한 목소리를 낼 수 있어야 된다. (7조_노이즈 캔슬링)

예비 교사들은 과학기술의 발달이 환경에 미치는 악영향에 대해서는 인지하고 있었다. 이들은 미세섬유의 발생이나 수많은 마스크의 폐기, 플라스틱 사용량 증가 등이 환경에 미치는 영향을 ENACT의 2단계, 3단계를 통해 충분히 탐색하였다. 이에 대해 5조는 과학기술자들이 미세섬유 개발에만 초점을 둘 것이 아니라 이것이 환경에 미치는 영향까지도 연구하고 해결할 수 있는 방안을 제시해야 할 책임이 있다고 언급하였다. 그러나 5조 외에 과학자들이 연구를 수행하면서 환경에 대해 더 많은 가치를 부여하고 이를 고려해야 한다는 응답을 명시적으로 한 예비 교사들은 거의 없었다. 대부분 7조 예비 교사 응답처럼 과학기술의 발달이 지나치게 인간중심으로 진행되는 것을 깨닫고 다양한 이해관계자들이 인간뿐만 아니라 환경에 대한 고려도 해야 한다는 응답을 보였다.

다. 사회적 위험과 영향 고려(CONSEQ)

사회적 위험과 영향 고려(CONSEQ)는 현대 사회에서 과학기술의 적용이 많은 혜택과 동시에 사회문제를 야기할 수 있기 때문에, 이로 인한 가치나 이해관계 충돌, 불평등한 분배 문제와 같은 사회적 결과를 민감하게 인식하고 행동해야 함을 의미한다(Bielefeldt, 2018; Sakharov, 1991; Wyndham *et al.*, 2015; Zandvroot *et al.*, 2013). 이 요인에 대한 문항은 총 5개였으며(Table 4 참조), 대부분의 예비 교사들이 과학기술자가 본인이 속한 과학기술이 사회에 어떠한 기여를 할 수 있으며(문항11), 어떠한 사회문제가 일어날 수 있는지(문항9)에 대해 인식하는 것이 그들의 책임이라는 데 매우 동의하는 경향을 나타냈다. 과학기술자가 본인이 속한 분야에서 해결해야 하는 사회문제에 대해 적극적으로 찾아야 하는 책임이 있는지에 대해 묻는 문항(문항12)에 대해서는 사전검사서에서 타 문항에 비해 약간 낮은 4.19점을 보였지만, 프로그램 후에는 크게 향상되어 상당히 높은 점수(4.63점)

를 보였다. 즉, 본인의 연구가 어떠한 사회문제를 야기할 수 있는가를 아는 것뿐만 아니라 해결해야 할 사회문제가 있다면 이를 찾아서 해결하려는 노력을 기울이는 것도 과학기술자의 사회적 책임이 될 수 있다는 응답이다. 면담에서도 대부분의 예비 교사들이 과학기술자가 과학기술로 인해 생겨날 수 있는 문제에 대해 생각해봐야 한다는 의견을 제시하였다.

솔직히 말해서 과학자나 공학자가 과학 지식을 발전시키고 과학기술을 만들고 이런 과정에서 “당연히 사회적인 책임도 생각을 해야 되지, 그래야 되지”라는 생각은 있지만 “아니, 근데 과학자가 기술 발전시키는 것도 어디야. 그건 다른 사람이 책임져야 되는데. 사회적인 건 좀 다른 사람이 책임져야 되는 거 아니야?”라는 그런 생각도 좀 있었거든요. 그런데 이해관계자 지도를 그린다든가 아니면 퓨처스힐을 그리면서 “과학기술을 만들어 내거나 할 때 자기가 가져올 수 있는 책임감을 그래도 확실하게 인지를 하고는 있어야겠구나. 과학자나 공학자가 그런 부분에서 제대로 책임감을 인식하고 있어야 되겠구나”라는 생각을 했어요. 왜냐하면 의약품 같은 경우도 정말 인류를 위해서 만든 거지만, 그런 것들도 악영향을 굉장히 많이 끼치고 있기 때문에 과학자나 공학자도 확실하게 책임감을 인지하고, 그게 어떠한 사회적 문제를 불러일으킬 수 있기 때문에 그것과 관련된 생각도 많이 해야 되는 게 당연하구나라는 생각이 계속 들었던 것 같아요. (2조_폐의약품 수거)

과학자는 자신이 개발한 기술이라든가 그런 것에 자신의 책임을 가지고 윤리 의식을 가지고 후폭풍까지 대비할 수 있도록 대비책을 마련해야 된다는 말에 옛날에는 깊이 공감을 못했어요. 그냥 어느 정도 그런 책임감을 가지고 윤리적인 생각을 가지고 있어야 하겠지만, 과학자는 과학기술을 만드는 사람이기 때문에 과학기술을 만드는 주체잖아요. 그래서 주요 역할은 그냥 기술 개발이 아닌가 이렇게 생각을 했는데요. ENACT 활동을 하다 보니까 그런 생각을 안 할 수가 없을 것 같아요. 과학자도 자기가 기술을 개발하면서 나중에 어떤 악영향이 생길 수 있을지, 활동하면서 생각보다 과학자들이 윤리적인 쪽으로 더 해야 할 일이 많겠구나, 그리고 해야 하겠구나 라는 생각이 들었어요. (4조_VR 시간압축)

적지 않은 예비 교사들이 ENACT 프로젝트 참여 전에는 과학기술자의 주된 역할은 과학연구를 하고 기술을 개발하는데 있다고 생각했다는 점은 주목할 만하다. 이들은 과학기술자들이 사회적 영향에 대해 윤리적 차원에서 고려해볼 수는 있지만 그것이 책임이라고는 생각하지 않았다. 자칫 결과에 대한 지나친 고려가 과학기술 발전을 저해할 수도 있다는 우려 때문이었다. 그러나 문항12에 대한 답변에서도 나타난 바와 같이, 예비 교사들은 ENACT 참여 후 과학기술을 개발하는 과정에서 그 기술이 미칠 수 있는 영향에 대해 생각할 책임이 있다는 입장으로 변화하는 모습을 보였다. 1조 예비 교사들은 “과학자들은 과학적인 방안을 냈을 때 사회에 큰 파급을 일으킬 수 있는 사람들이잖아요”와 같이 과학기술자의 행위와 행위의 산물이 갖는 사회적 파급효과에 대해 언급하기도 하였다. 이는 ENACT 프로젝트의 교육적 효과를 대변해준다고 볼 수 있다. 그러나 예비 교사들의 응답을 보면 새로운 연구물의 산출로 인한 가치나 이해관계 충돌, 불평등한 분배 문제, 그리고 이러한 사회적 문제에 대해 과학기술자가 어떠한 사회적 역할을 할 수 있는지에 대한 보다 구체적 언급은 거의 없었다. 이들 대부분 과학기술이 사회에 미치는 전반적인 영향에 대해 주목하는 경향을 보였다.

라. 사회적 필요와 요구 고려(NEEDS)

사회적 필요와 요구 고려(NEEDS)는 잠재적인 이해관계 또는 가치의 균형을 맞추기 위해 소외된 그룹을 포함한 광범위한 이해 관계자들을 인식하고, 이들의 수요와 기대에 대해 소통하고 반영하도록 노력하는 것(Stilgoe, Lock, & Wilsdon, 2014; Tassone *et al.*, 2018)을 의미한다. 이 요인을 측정하는 문항은 Table 4와 같이 3개이며, 모두 과학기술자가 사회(시민)의 수요와 기대에 반응하여 연구를 수행해야 하는지에 대한 의견을 묻는 문항이다. ENACT 프로젝트 참여 전에는 평균 3.84점으로 8개 요인 중 낮은 평균점수를 보였으나, 참여 후에는 해당 과학기술과 관련된 다양한 이해관계자들의 필요와 요구를 반영하기 위해 노력을 기울이는 것이 과학기술자의 사회적 책임이리는데 동의하는 경향을 보였다. 사전 점수 평균에 비해 사후 평균(4.55점)이 통계적으로 유의한 수준으로 향상되었다. 구체적으로, 예비 교사들은 과학기술자가 사회적 수요와 기대를 파악해야 한다는 문항16에 가장 많이 동의하였으며(4.66점), 그 수요와 기대에 맞는 과학기술 연구를 수행하고(문항14, 4.47점) 사회가 요구하는 지식과 기술을 만들어내고 있는지에 대해서도 반성적으로 생각해봐야 할 책임이 있다(문항15, 4.53점)고 응답하였다. 면담에서도 이와 관련된 응답이 나타났다.

기술자, 과학자들이 다양한 가치관을 가진 사람들과 협업을 해야 되는 것 같아요. 토론을 통해서 시민들도 참여하고 정책을 만드는 과정과 같이 그런 자리가 필요하다고 생각해요. 그래서 인권단체라든지 동물권 단체라든지 과학기술만을 하는 사람이라든지 분명 다들 그 가치가 다 다르잖아요. 그런데 그 안에서 뭔가 합의점을 찾아야 되는 것이 아닐까. 여러 다수가 이익을 얻는 것보다는 어떤 조금의 피해를 보는 사람이 있다면 그걸 줄여나가는 방향이 돼야 된다고 생각해요. 그래서 과학자와 공학자라는 걸 강조할 때도 우리가 뭔가 연구하고 실험을 하는 그런 모습보다는 다른 사람들과 소통을 하고 토론하고 합의하는 그런 모습을 조금 강조를 해야 하지 않을까 하는 생각이 들었어요. (8조_생리대 접착제)

4단계를 할 때 단순히 머릿속에 있는 것만 아이디어로 생각해내지 말고 사전 자료 조사나 주변 현장 조사, 소비자 조사 이런 다양한 사람들과 할 수 있는 면담 이런 것들을 많이 활용하라고 조언을 해 주고 싶어요. 저희가 프로토타입 설계할 때 아이디어를 내거나 할 때 처음에는 저희 머릿속에 있는 것을 무작정 고집어내기 바빴는데 그러다 보니까 뒤로 갈수록 이게 올바른 해결 방안인가, 올바른 아이디어인가라는 의문을 많이 가졌고, 저희는 장점만을 바라보고 프로토타입 설계를 했지만, 생각보다 단점이 더 큰 프로토타입들도 많이 있었고, 그런 프로토타입이 나온 데는 아무래도 자료나 사전 조사가 조금 부족했던 것도 있다고 생각하거든요. 그래서 그 과정들을 간과하지 말고, 본인들의 아이디어 내는 데만 급급하지 말고, 다양한 자료 조사, 그리고 다른 사람들과의 면담 이런 것도 꼭 중요한 과정이라고 조언해주고 싶습니다. (1조_마스크 귀판)

예비 교사들은 ENACT 4단계(과학·기술·공학적 쟁점해결)에서 문제를 해결해가는 과정에서 시행착오를 많이 겪었다. ENACT 모형에서 4, 5단계를 수행할 때 4가지의 강조점(반응적, 포괄적, 반성적, 지속가능한 실행)을 언급했음에도 불구하고, 학생들은 왜 그 과정이 중요한지에 대해 수행과정에서는 충분히 인지하지 못했다. 그러나 해결방안을 만들어나갈수록 이들은 다양한 이해관계자들의 생각과 의견을 반영하는 것이 중요함을 깨달았다. 예를 들어, 8조는 생리대 접착제의 유해성과 관련해서 왜 천연접착제를 연구해서 사용하지 않

는지에 대해 의문을 가졌다. 그래서 다양한 재료를 활용하여 천연 접착제를 제조하고 천연 접착제의 점성과 균저항성을 측정하는 실험도 수행했다. 그런데, 우연히 접착제 사용을 줄인 생리대 생산업체의 보도를 접하게 되었고, 직접 이 회사를 방문해서 대표관계자와 만남의 기회를 가졌다. 이 과정에서 예비 교사들은 국가에서 제안한 휘발성유기화합물(VOCs) 검출 방법의 불합리성이나 관련 규정의 미흡, 천연접착제로 생리대를 제작할 경우 발생할 수 있는 문제점, 생리대 접착제 사용에 대한 일반인들의 이해 부족, 관련 시민단체의 과학적 근거 부족 등의 많은 문제점들을 발견했다. 이들은 본인의 관점으로 문제를 해결하려고 했던 과정을 반성적으로 되돌아보면서, 다양한 이해관계자들의 목소리를 듣는 것의 중요성을 몸소 깨달았다. 1조의 경우에도 유사한 응답을 보였다. 마스크 사용 증가로 인한 환경문제나 해양동물의 피해를 줄이기 위해 마스크 귀끈을 개선한 프로토타입을 만들어보는 과정에서도 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴하는 과정이 중요하다는 것을 인지하였다. 즉, 예비 교사들은 다양한 이해관계자들을 파악하고 이들의 수요를 파악하는 것, 즉 반응성(responsiveness)과 포괄성(inclusiveness)의 개념을 이해하게 되었으며, 보다 나은 과학기술을 만들어내기 위해서는 이와 같은 노력이 과학기술자의 책임이 되어야 한다고 인식하였다.

마. 공공선의 추구(COMGOOD)

공공선의 추구(COMGOOD)는 과학기술자가 과학기술 연구를 개인이나 본인이 속한 조직의 이익을 추구하는 방향이 아니라 보다 많은 사람들에게 혜택이 분배될 수 있는 방향으로 수행하는 것(Pimple, 2002)을 의미하는 것으로, 총 3개의 문항을 포함하고 있다. Table 3에서와 같이, 예비 교사들은 ENACT 프로젝트 참여 후 공공선의 추구가 과학기술자의 사회적 책임이라는데 통계적으로 유의미하게 더 동의하는 결과를 보였다. 그러나, 8개의 사회적 책임감 요인 중 사전(3.76점) 및 사후(4.19점) 검사 평균 점수가 가장 낮게 나타났다. Table 4에 제시된 각 문항별로 살펴보면, 더 많은 사회 구성원의 복지와 편안함을 증진할 수 있는 방향으로 연구를 수행해야 하는가(문항18)에 대해서는 사전(3.66점)에 비해 사후검사(4.63점)에서 동의하는 응답이 많아졌다. 인류의 삶의 질을 높이는 방향으로(문항17), 그리고 일상생활에서 겪는 불편함을 개선하는 방향에 연구의 목적을 두어야 한다(문항19)에 대해서는 크게 변화가 없었으며 약 4.0점 정도의 평균 점수를 보였다. 이와 같은 결과를 볼 때, 예비 교사들은 사회 구성원의 삶의 질을 개선하는 것도 추구해야 하는 가치이기는 하지만 인간이나 환경에 대한 고려, 사회적 위험 등에 대한 고려나 적극적인 구체적인 사회적 실천과 참여에 대한 책임보다는 상대적으로 그 비중을 낮게 생각하고 있는 것으로 보인다. 면담에서도 8개조 중 2개 조만 공공선의 추구에 대한 책임을 구체적으로 언급하였다.

처음에는 과학자나 공학자가 뭔가 문제가 생기면 그거에 대한 과학적인 해결책을 내기만 하면 된다 이렇게 생각하고 있었는데요. 이번에 조사하면서 그 코리볼(시중에 판매되는 미세섬유 거름장치)을 엄청 비싸게 팔고 있더라고요. 5만원이요. 또 미세섬유 잡는 세탁망 같은 경우도 180개 한정으로 판매 이런 식으로 해서, 4만 얼마 이 정도로 엄청 비싸게 팔고 있는데요. 과학자나 공학자가 그 기술을 만들지만 해서는 되는 게 아니라, 정말로 미세섬유가 미치는 환경에 대해서 생각을 하고 그 기술을 만든 거라면 그게

정말 널리 퍼질 수 있게 사람들이 많이 알 수 있게 좀 해줘야 된다고 생각해요. 그거까지는 과학자랑 공학자가 건드릴 수 없는 문제일 수도 있겠지만요. 그 기술을 개발하면서 좀 더 사람들에게 널리 쓰일 수 있게까지 할 수 있다면 어떨까 싶은 생각이 들었어요. (5조_미세섬유 필터)

솔직히 [저는 과학기술자들이] 연구하고 좋은 기술만 만들면 끝난다는 그런 생각이 있었는데요. 5단계 실험 단계가 있었잖아요. 연구에서 끝나는 게 아니라, 연구가 성공했다면 “연구가 성공했으니까 우리는 사회가 좋아질 거야”가 아니잖아요. 사실 연구를 해도 이게 적용이 돼야 되고, 사람들이 사용해야 되는 거니까. “사회적 실천을 어떻게 해서 우리가 사회를 더 좋게 할 수 있을까?” 원래 연구의 시작이 그거잖아요. 좀 더 안 좋은 부분을 개선한다든가 이런 부분을 찾아내고 줄여나가는 거니까 이 실천이 중요하다. (8조_생리대 접착제)

5조 예비 교사들은 세탁 시 발생하는 미세섬유가 환경에 미치는 영향을 고려해서 시중에 판매되고 있는 다양한 거름장치를 분석해보았다. 그런데 거름장치가 새로운 해결책이 될 수 있음에도 대중들이 구입하기에 다소 비싼 가격으로 판매되어 많은 사람들이 미세섬유를 줄이는 데 참여하지 못하고 있음을 알게 되었다. 물론 예비 교사들도 이것이 과학기술자가 해결할 수 있는 문제만은 아니라는 것을 충분히 인지하고 있었다. 그렇지만 많은 사람들에게 혜택이 돌아갈 수 있는 방향으로 과학기술이 발달해나가면 좋겠다는 의도를 내포하고 있었다. 같은 맥락에서 8조의 예비 교사들도 연구를 통해 산물을 내놓는 것에서 끝나는 것이 아니라 많은 사람들이 사용할 수 있어야 하고, 이를 통해서 사회를 더욱 좋게 개선해나갈 수 있도록 해야 한다는 응답을 내놓았다.

바. 사회참여와 봉사(CIVIC)

사회참여와 봉사(CIVIC)는 과학기술관 관련된 지역사회 문제해결을 위해 본인의 기술과 지식을 나누는 자원봉사나 자문 및 공익(pro bono) 활동을 수행하고, 대중과 협력하는 것(Bielefeldt, 2018; Glerup & Horst, 2014)을 의미한다. 사회참여와 봉사가 과학기술자의 사회적 책임인가에 대해서는 학자마다 이견이 있다(Schlossberger, 2016). 그러나 본 연구에 참여한 예비 교사들은 이 부분도 과학기술자의 사회적 책임이라는데 매우 동의하는 경향을 보였다. 특히 ENACT 프로젝트 참여 전에는 평균 점수가 낮은 요인 중 하나였지만, 프로젝트 참여 후 상승폭이 큰 요인 중 하나로 나타났다($d = 1.273$). 프로젝트 참여 후 5개 모든 문항에서 4.5점 이상의 평균을 보였으며, 그중에서도 과학기술과 관련된 사회문제를 해결하는 것뿐만 아니라 관련된 사회 운동에도 참여하는 것이 책임인가를 묻는 문항20의 평균점수(4.78점)가 가장 높았다. 그리고 해당 과학기술 문제와 관련된 전문가나 시민들과도 함께 협업해서 문제를 해결하도록 권장해야 한다는 문항(문항22, 문항23)에도 높은 점수를 나타냈다. 이와 같은 유의미한 변화처럼, 면담에서도 대부분의 예비 교사들이 사회참여와 봉사가 과학기술자의 사회적 책임이라는 것을 언급하였다. 다음은 그 예시이다.

제가 이번 ENACT 활동을 하면서 좀 생각이 달라진 게 저희가 이 사회 쟁점을 해결하기 위해서는 저희와 같은 사람들의 아이디어도 중요하지만 과학자의 의견이 들어가지 않는다면 그게 현실적으로 좀 구현하기 어려울 수도 있겠다는 생각이 들더라고요. 예를 들어서 저희가 이 마스크 필터를

한번 바꿔볼까라는 생각을 했었을 때 “우리는 이것에 대한 과학적인 지식을 잘 모르니까 건들 수 없을 거야”라는 생각으로 넘어가게 되더라고요. 그래서 제가 생각한 거나 시제 쟁점을 해결할 때도 과학자의 의견이 많이 반영될 수 있고, “그래서 과학자의 참여도 중요하구나, 이것도 과학자의 하나의 역할이 될 수 있겠구나”라는 생각을 했던 것 같습니다. (1조_마스크 귀곤)

1단계를 하고 난 이후에는 과학자라고 하면 이런 여러 가지 문제들을 해결할 수 있는 기술을 계속 개발하는 그런 역할을 해야 된다고만 생각을 했었어요. 그런데 쪽 ENACT 단계를 거쳐 오면서 아무리 과학자가 지금 당장 사회에 만연해 있는 문제를 해결하기 위해서 어떤 과학 기술을 개발하더라도 그 해결 방안을 개발하는 것과 실제 해결이 되는 것 사이는 어떻게 보면 좀 다른 얘기잖아요. 그래서 이런 기술을 개발하는 데 그치는 것이 아니라 이 기술을 좀 많이 퍼지고 다양한 사람들이 이거에 대해서 들어보고 이것에 참여할 수 있도록 약간 지역사회에 자신이 만든 거를 확산시키는 그런 역할도 과학자가 해야 한다는 생각이 들었고요. (3조_외래 식물종)

과학자들이 그냥 본인의 연구를 하는 입장에서 아무리 윤리 의식을 가지고 책임을 가져도 미처 떠올리지 못하는 부분이 있을 수 있다고 생각을 하거든요. 그래서 이 부분은 미리 짚어주고, 과학기술에 대해 상호작용을 하는 게 시민들의 역할이 돼야 한다고 생각을 해서 과학자가 시민들 사이에서 그 기술들을 매개시켜주고, 소통이 가능하게 해주는 사람들의 역할이 필요하지 않을까 하는 생각을 했어요. (4조_VR 시간압축)

면담에서 예비 교사들은 주로 대중과의 협업에 대해 강조했다. 1조 예비 교사들은 일반인들이 마스크 필터를 개발하거나 필터 종류에 따른 효과를 측정해보고 싶다고 하더라도 해당 전문성이 부족하기 때문에 문제해결에 실제로 참여하는 것이 어려웠다고 응답했다. 이들은 “전문가들, 과학자들이 좀 더 자문을 해 주거나 아니면 같이 협업을 하는 게 필요”하다고 말하면서, 과학기술자들이 문제해결을 위해 본인의 기술과 지식을 나누는 것이 책임이라고 응답하였다. 3조와 4조 예비 교사들도 같은 맥락에서 과학기술자가 연구한 산물이 사회 문제를 해결하는 좋은 안이 될 수 있지만, 그것을 대중과 협력하여 확산시킬 때 그 효과가 커질 수 있음을 지적하였다. 다시 말해서, 과학기술자가 문제해결을 위해 자신의 전문성을 나누고 대중과 협력하는 것의 중요성을 강조하였다. 그 외 5조도 시민과학의 예를 들면서, “과학자들만 기술을 개발하는 게 아니라 관심 있는 시민들도 함께 동참”하는 것이 필요하다고 언급하였다.

사. 대중과의 소통(COMMU)

대중과의 소통(COMMU)은 과학기술자들이 본인의 연구 내용이 나 또는 해결해야 할 과학기술 문제와 관련된 지식을 대중이 이해할 수 있도록 설명함으로써 대중이 과학 및 과학관련 문제들에 대해 관심을 갖고 친숙하게 여길 수 있도록 돕는 것을 의미한다(Canney & Bielefeldt, 2016). 프로젝트 참여 전 예비 교사들은 이 요인에 대해 낮은 평균(3.79점)을 보였는데, 프로젝트 참여 후에는 가장 높은 평균 점수(4.82점)를 나타냈다. 본 연구의 예비 교사들은 ENACT 프로젝트를 수행하면서 교육과 소통의 중요성, 그리고 이에 대해 과학기술자가 관심을 갖고 노력해야 한다는 점에 대해 매우 공감하게 된 것으로 보인다. Table 4에서와 같이 예비 교사들은 과학기술의 내용이라든지 (문항27) 과학기술과 관련된 사회문제 해결에 필요한 지식이나 연구 (문항26)를 일반인이 이해할 수 있도록 쉽게 설명하는 것이 과학기술

자의 중요한 책임이라는 데 매우 동의하였다(4.84점). 또한 책이나 기사, 블로그, 강연 등을 통해 과학을 대중들이 친숙하게 여기도록 돕는 것(문항25)도 그들의 책임이라고 여겼다. 면담에서도 대부분의 예비 교사들이 대중과의 소통에 대해 언급했다.

5단계를 실행하면서 느꼈던 거는 ... 막상 나가서 이야기를 들어보니까 이 문제에 대해서 전혀 알고 있지 못하는 분도 계시고 “이 문제에 관심이 있으신가요?” 아니면 “이 문제를 아시나요?”라고 물어봤을 때 대부분 고개를 절레절레 저으셨단 말이에요. ... “이렇게 많은 문제들에 대해서 사람들이 정말 꽤나 모르고 있구나”라는 것을 느끼게 되어서 이게 과학 기술을 설계하는 것도 중요하지만 이 문제로 인해서 발생할 수 있는 문제들을 다시 대중들이나 아니면 그 문제로 인해서 영향을 받는 이해 관계자들에게 좀 알리고 그 문제에 대한, 그 기술에 대한 경각심을 가지게 하는 것도 중요하구나라는 생각을 하게 되었습니다. (3조_외래 식물종)

ENACT에 참여하기 전에는 솔직히 말해서 별로 크게 생각해 보지 않았어요. 정말 그냥 “과학자는 연구하고 실험실에서 실험하고 관찰하고 뭔가 개발하는 사람이자”라는 그런 막연한 생각밖에 안 했었고요. 1, 2, 3단계를 하면서는 저희 주제에 치중된 거긴 하지만 “계약 회사나 이런 쪽이 책임을 가지고 다시 [폐의약품] 회수를 한다던가 이래야 되는 거 아닌가?”라는 좀 극단적인 쪽까지 치우쳤다가, 4, 5단계 하면서 “이걸 개발한 과학자한테만 내가 너무 책임을 전가한 건 아닌가? 사실 이게 사회 전반에 걸친 문제인데”[라는 생각이 들고], 그렇게 되니까 “그럼 적어도 과학자나 공학자가 자기가 개발한 거에 대해서 그래도 전문 지식을 갖고 있고 더 잘 아는 사람이기 때문에 시민들한테 뭔가 알리는, 강연이나 그런 역할은 조금은 해야 하지 않을까”[라는 생각을 했어요].(2조_폐의약품 수거)

저희가 5단계 실천했던 것처럼 카드 뉴스로 쉽게 좀 알린다든가 포럼을 한다든가 정책 회의를 한다든가 이런 연구에 대해서 알려주는 게 필요할 것 같아요. 과학자들이 청소년들에게 찾아가는 그런 수업도 요즘 많더라고요. 그런 수업을 통해서 알려준다든가 하는 방식으로 과학자도 계속해야죠. 확실히 특히 기업이 그런 걸 또 안 하니까 과학자나 공학자들이 그런 부분에서도 알려주는 것이 필요하지 않을까라는 생각은 가지고 있었어요. (8조_생리대 정착제)

예비 교사들은 과학기술자가 대중과 소통해야 하는 책임을 갖고 있는 이유를 여러 가지로 설명하였다. 첫째, 대중들은 과학기술관련 문제들을 과학기술자의 전문 영역이라고 생각하기 때문에 관심을 보이지 않거나 쉽게 의견을 제시하지 않기 때문이다. 3조의 경우 프로젝트를 수행하는 과정에서 일반인들에게 외래 식물종에 대해 얼마나 인지하고 있는지 물어봤는데, 멸종 위기 동물에 대해서는 관심을 갖는 반면 외래 식물종과 그 심각성에 대해 알고 있는 사람이 거의 없다는 점에 당황스러워했다. 이들은 대중들이 이와 같은 문제에 대해 인식하도록 과학기술자들이 강연이나 교육 등을 통해 알려주어야 할 책임이 있다고 응답했다. 둘째, 실제로 연구를 수행하는 과학기술자가 과학기술이 가지고 있는 잠재적 위험성에 대해 가장 잘 알 수 있기 때문에 일반 대중들에게 그 위험성에 대해 알려야 한다는 것이다. 이 과정이 있어야만 과학기술자와 대중이 힘을 합쳐 좋은 방향으로 이끌어 나갈 수 있다고 생각했다. 예를 들어, 6조 예비 교사들도 “과학기술을 만드는 공학자분들이 일반 시민들한테 계속 이 기술을 사용할 때 어떤 위험성이 있는지, 어떤 어두운 면이 있는지를 계속 경각심을 주고 ... 충분히 이해할 수 있게 많이 알려야 되고 또 가르쳐 줘야 된다”고 응답하였다. 셋째, 과학기술자들이 보다 정확한 정보를 파급

력 있게 전달할 수 있다고 생각했기 때문이다. 5조 예비 교사들은 최근 미디어를 통해 부정확한 정보를 보도하는 경우가 많음을 지적하면서 “전문적인 지식을 갖추고 있고 이미 검증된 과학자나 기술자들이 얘기하는 정보들을 가지는 파급력은 더 다를 것”이라는 지적을 했다. 위의 2조와 8조 예비 교사들도 과학기술자가 전문성을 갖고 있기 때문에 기업이나 기관의 이익을 대변하는 것이 아니라 대중에게 정확한 지식을 알리고 미디어나 포럼 등을 통해 교육해야 함을 강조하고 있다.

아. 정책결정에의 참여(POLICY)

정책결정에의 참여(POLICY)는 과학기술이 올바른 방향으로 발전하고 그 혜택이 고르게 분배되기 위한 정책을 제안하거나 수립하는데 참여하고, 관련된 분야의 투자를 이끌어내는 것(Latham *et al.*, 2011; Vanasupa *et al.*, 2006)을 의미한다. 흥미롭게도 본 연구에 참여한 예비 교사들은 ENACT 프로젝트 참여 전에도 과학기술자의 정책 참여에 대한 책임의 중요성을 인간과 환경, 사회에 대한 고려(HUMAN, ENVIR, CONSEQ) 수준 정도로 높게 평가했다(4.24점). 그만큼 예비 교사들은 과학기술 정책의 올바른 수립과 실행이 중요하며, 이에 대해 과학기술자가 충실한 역할을 해야 함을 인지하고 있음을 말해준다. ENACT 프로젝트 참여 후에는 이러한 인식이 더욱 강해졌으며, 그 변화도 통계적으로 유의미했다. 전체 8개 요인 중 2번째로 높은 평균점수(4.67점)를 보였다. 이 요인과 관련한 3개 문항 중 가장 높은 평균 점수를 보인 문항은 과학기술과 관련된 정책 수립에 대한 참여에 대한 문항(29(4.78점)이며, 과학기술의 발전을 위한 투자를 이끌어 내거나(문항30, 4.63점) 관련분야의 전문가들과의 연대를 통한 영향력 행사(문항28, 4.59점)도 중요하다고 보았다. 면담에서는 1조와 8조의 교사들이 정책적인 참여의 중요성을 강조했다. 다음은 그 예시이다.

이 활동 전에는 공학자하면 생각나는 분위기 있잖아요. 개발실에서 똑딱 똑딱 뭐 만들고 프로그래밍을 하거나, 좀 그런 면으로 공학자 이미지가 많잖아요. 과학자도 화학용품, 화학 시료를 섞거나, 아니면 뭐 현미경을 보거나, 사실 저도 전에는 그런 이미지가 먼저 떠올랐어요. 그런데 이번엔 쟁점, 사회 자체에 과학을 연결하다 보니까 행정적인 면에서 과학자와 공학자가 많이 참여할 수 있을 것 같다고 생각을 했어요. 요즘 핵발전소 이런 거에도 과학자들이 굉장히 많이 참여해서 그 정책을 논의하기도 하고, 또 공장에서 대기오염 이런 걸 관련해서 항상 그 공장에 공학자들이 참여해가지고 가스 오염을 줄일 수 있는 정책을 논의하거나, 아니면 과학자 공학자 출신의 어떤 국회의원이 나중에 나와서 관련 정책을 내놓을 수도 있는 거고, 굉장히 다양한 면에서 그 과학자와 공학자가 참여할 수 있다는 것을 배웠습니다. (1조_마스크 귀관)

저희 주제가 생분해 플라스틱을 예로 들자면요. 생분해 플라스틱이 좋은데, 일단 좋은 취지로 만든 만큼 끝까지 처리되기까지 책임을 지면 좋잖아요. 쓰레기니까 당연히 소각이 되든가 아니면 매립이 되든가 분해가 되든가 해야 되는데, 그냥 “나는 제품을 만드는 과학자니까 제품에서 끝날 거야” 하는 게 아니라 “이 제품을 만들 건데 이게 사회적으로 어떤 영향을 줄 수 있기 때문에 나의 기술이 유용하게 쓰이기 위해서는 정부나 어떤 사회적 기관에서 뒷받침이 어떻게 되었으면 좋겠다” 까지 어느 정도 생각을 하는 것이요. 4, 5단계가 사회적 실천이었는데, 그때 다양한 조에서 다양한

기업이랑 연락도 하고 그러면서 이해관계가 맞는 기관이랑 연결을 했던 것처럼, 만약에 제가 그런 기술을 만드는 사람이라면 “내가 이런 생분해 플라스틱이라는 기술을 만들었는데 지금 알아보니깐 이거를 제대로 처리할 수 있는 인프라는 보장되고 있지 않다”, 그러니까 이거를 진짜로 법제화를 촉구하는 청원을 한다든가 아니면 관련 기관에 문의를 한다든가 해가지고 끝까지 책임을 지는 그런 모습을 보인다면 어느 정도 사회적 책임을 질 수 있지 않을까 싶었어요. (6조_생분해성 플라스틱)

예비 교사들은 ENACT 프로젝트를 하면서 쟁점을 탐색하는 과정에서 과학기술자들이 단순히 과학기술을 개발하는 것을 넘어 관련된 분야의 정책을 개발하고 실행하는데 적극적인 의견을 개진할 필요가 있음을 깨닫게 되었다. 해당 기술이 야기할 수 있는 문제점에 대해 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴해서 그 기술이 정말 인간과 사회를 돕는 기술이 되도록 할 책임이 있고, 이 과정에서 정책에의 참여는 필수적이라는 생각을 하고 있었다. 6조의 경우, 생분해성 플라스틱 기술이 환경문제를 해결하는 중요한 기술이 될 수 있음에도 불구하고, 이를 어떻게 사용하고 폐기해야 하는지에 대한 정부와 기관, 기업, 대중들의 이해가 부족하기 때문에 잘못 버려져 그 기술의 효과를 충분히 얻어내지 못하는 점을 안타까워하면서 과학기술자들이 청원이나 법제화 등을 통해 사회적 책임을 질 필요가 있다고 강하게 언급하였다.

V. 결론 및 논의

본 연구에서는 과학기술관련 사회쟁점 맥락을 활용하여 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식을 함양할 수 있도록 개발된 ENACT 프로젝트를 소개하고, 예비 과학교사들을 대상으로 적용하여 그 효과를 탐색해보았다. ENACT 프로젝트는 과학기술에 대한 인식론적 탐색을 강조하는 Cycle I과 쟁점해결과 실천을 강조하는 Cycle II를 수행하는 과정을 명시적으로 강조하고 각 단계별 교수전략을 제시했다는 점에서 기존에 수행되었던 다른 SSI 프로젝트들과는 차별화된다. 본 연구에서 예비 과학교사들이 ENACT 프로젝트를 수행하면서 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식이 어떻게 변화하는지를 탐색해본 결과, 다양한 측면에서 긍정적인 변화를 확인할 수 있었다. 예비 교사들은 프로젝트 참여 전 과학기술이 인간과 환경, 사회에 미치는 영향을 고려해야 한다는 일반적인 책임에 초점을 두는 경향을 보였으나, 참여 후에는 사회적 필요와 요구를 반영하고, 지역사회 문제해결을 위해 대중과 협력하고 소통하며, 정책에 참여해야 하는 것까지 확장해서 이해하게 된 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과에 대해 다음과 같이 논의해보고자 한다.

우선, 본 연구에서 예비 교사들이 과학기술자의 사회적 역할을 폭넓게 인지하게 된 것은 매우 바람직한 결과라 할 수 있다. 8개의 요인 중 특히 과학기술자가 해당 기술과 관련된 다양한 이해관계자들을 인지하고 이들의 수요와 기대에 반응하는 것(NEEDS), 과학기술로 인한 지역사회 문제 해결을 위해 본인의 전문성을 공유하고 대중과 협력하는 것(CIVIC), 그리고 첨단 과학기술과 이로 인한 위험에 대해 대중과 소통하는 것(COMMU)이 과학기술자의 사회적 책임에 포함되어야 한다는 인식이 높아졌다. 예비 교사들은 본인이 선정한 쟁점에 대해 이해하고 문제를 해결해가는 과정에서 다양한 이해관계자들의 의견을 반영하지 못했을 때 나타나는 결과를 직접 확인해보았다.

또한 해당 쟁점과 관련된 지식과 기술이 부족함에 따라 전문적인 용어를 이해하는 데 어려움도 겪었으며, 이에 따라 보다 적극적인 해결 방안을 내지 못했다는 한계 또한 인지하였다. 이와 같은 경험은 예비 과학교사들로 하여금 과학기술자들의 다양한 사회적 역할의 필요성에 대해 공감할 수 있도록 하였다. 이들의 인식변화는 단순히 과학기술자의 사회적 책임이 보다 다양한 영역에 부과되어야 한다는 해석을 넘어서, 본인들이 시민으로서 과학기술 전문가와 함께 SSI 문제해결에 참여할 수 있는 방안이나 과학교사로서 학생들에게 SSI 교육을 어떻게 실행해야 할 것인가에 대한 숙고까지 이어졌다.

둘째, 본 연구의 결과는 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 함양은 체계적인 교육을 통해서 가능하다는 것을 보여주었다. Yoon *et al.*(2021)은 초등 과학영재들의 과학자의 사회적 역할에 대한 인식을 높이기 위해 과학사를 소재로 사용하였으며, 초등학생의 경우에도 과학기술자가 과학기술의 부정적 결과에 대한 책임을 지고 사회구성원으로서의 책임을 져야 한다는 인식을 하게 됨을 발견하였다. 같은 맥락에서 본 연구의 ENACT 모형도 체계적인 교육을 통해 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식이 확장될 수 있음을 뒷받침해준다. 한 가지 주목할 점은 VSRoSE의 8개의 요인 중 인간, 환경, 사회에 미치는 영향을 고려하는 것(HUMAN, ENVIR, CONSEQ)의 점수는 ENACT 프로젝트 참여 전에도 상대적으로 높았으며, 이 요인들에 대한 사후 점수는 모두 유의미한 향상을 보이지 않았다는 점이다. 즉, 예비 교사들은 과학기술자가 인간과 환경, 사회에 미치는 영향을 고려해야 할 책임이 있다는 것에 대해서는 이미 어느 정도 충분히 인식하고 있음을 말해준다. 예비 교사들이 ENACT 프로젝트의 Cycle I과 II를 통해 다양한 이해관계자들을 탐색하고 과학기술이 미래에 미칠 영향에 대해 고려하며 직접 문제를 해결하고 실천해본 경험은, 특히 참여와 실천과 관계된 5개 요인(NEEDS, COMGOOD, CIVIC, COMMU, POLICY)에서 향상된 결과를 가져왔다.

셋째, 본 연구는 과학기술자의 사회적 책임에 대한 예비 과학교사의 인식을 변화시켜야 한다는 목적을 가지고 시작했다. 그 주된 이유는 과학기술자의 사회적 역할에 대해 다각적으로 탐색함으로써 과학기술의 본성을 이해하고, 나아가 시민으로서 SSI에 더욱 관심을 갖고 문제해결에 참여할 뿐만 아니라 과학 교사로서 SSI 교육을 실행하는데 도움을 주고자 함이었다. 과학기술관련 사회쟁점(SSI) 교육에 있어서 과학과 기술의 본성을 이해하는 것은 SSI 교육을 위해 교사가 갖추어야 할 핵심적인 내용지식이며, 실제 SSI에 대한 의사결정과 교수방식에도 영향을 줄 수 있다(Abd-El-Khalick, 2013; Lee, 2018). ENACT 모형의 Cycle I은 과학기술에 대한 인식론적 이해를 강조하기 때문에, 기대했던 바대로 예비 교사들은 과학기술자의 사회적 책임에 대해 응답할 때 과학기술의 본성, 즉 복잡성과 불확실성에 대해 이해하게 되었음을 보여 주었다. 뿐만 아니라, Cycle II에서 예비 교사로서 문제해결과 사회적 실천을 수행한 내용이 과학기술자가 문제를 해결하는 과정과는 차이가 있었던 것은 사실이지만, 본인이 과학교사로서 학생들에게 어떠한 방향으로 SSI 교육을 수행할 수 있을 것인가에 대해 고민해보는 기회가 되었다는 응답을 보이기도 했다. 이와 같이 예비 교사들이 과학기술관련 사회쟁점에 대한 충분한 이해를 바탕으로 쟁점을 해결하고 실천까지 나아갈 수 있었던 배경에는 교사 교육자의 적절한 안내와 도움이 있었다. 본 연구진에서는 예비 교사들이 해결해보고 싶은 쟁점을 좁힐 수 있도록 지도하거나, 더 생각해

보야 할 이해관계자가 없는지 또는 또 다른 형태의 미래상황이 가능할 지 질문하는 것, 문제해결에 이용할 수 있는 다양한 테크놀로지를 안내해주는 것, 학생들의 논의 과정에 지속적인 피드백을 제공하는 것 등 적절한 수준의 교육적 안내를 제공하였다. 그러나 ENACT를 진행하는 전반적인 과정은 연구진의 적극적인 개입이라기보다는 학생들이 자발적으로 모임을 갖고 자율적으로 탐구해나가는 과정이었으며, 연구진은 이러한 분위기를 조성하고 구체적인 피드백을 제공하는 데 많은 노력을 기울였다.

마지막으로, 본 연구는 예비 과학교사를 대상으로 ENACT 프로젝트를 진행하였지만 이공계 진학을 고려하는 중·고등학생에게도 적용이 가능할 것으로 기대된다. 국내의 선행연구를 분석해보면, 과학기술자에 대한 이미지를 탐색하는 연구(예: Bernard & Dudek, 2017; Choi, 2005; Narayan, Park, Peker, & Suh, 2013)는 오랜 시간에 걸쳐 보고되고 있지만, 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식을 조사하고 이를 향상시키기 위한 교육적 방법을 소개한 연구는 거의 없다(Yoon *et al.*, 2021; Zandvoort *et al.*, 2013). 사회적 책임감이 행위로 연결되기 위해서는 대학에 진학하여 연구윤리나 공학윤리 관련 교과를 수강하는 것만으로는 한계가 있다. ENACT 프로젝트처럼 관심 있는 쟁점을 스스로 선택해서 다각도에서 탐색한 후, 해결방안을 고안하고 실천해보는 체계적인 경험이야말로 학생들이 과학기술자의 사회적 역할과 책임에 대해 진지하게 생각해보는 기회를 제공할 수 있다. 본 연구에서 예비 교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식이 확장된 것처럼, 이 교사들이 지도하는 중·고등학생도 ENACT 프로젝트를 통해 과학기술자의 사회적 책임에 대해 고민해보는 기회가 있기를 기대한다.

국문요약

ENACT 프로젝트는 과학기술과 관련한 사회쟁점(SSI)에 관심을 갖고 쟁점해결에 참여해보는 경험을 통해 사회적 책임감을 함양하는 교육프로그램으로, 본 연구에서는 ENACT 프로젝트 수행을 통해 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식이 어떻게 변화하는지 탐색해보았다. 32명의 예비 과학교사가 비교과활동으로 약 3개월에 걸쳐 자발적으로 참여하였으며, ENACT 모형 즉, 쟁점발견, 쟁점탐색, 미래상황 예측, 과학·기술·공학적 쟁점해결, 사회적 실천의 5단계에 따라 진행하였다. 예비 과학교사들의 과학기술자의 사회적 책임에 대한 인식 변화를 탐색하기 위해 혼합연구방법을 이용하였으며, 이를 위해 과학기술자의 사회적 책임인식을 측정하는 검사 도구(VSRoSE)와 조별 면담 자료를 수집하였다. 연구결과, 예비 과학교사들은 VSRoSE 전체 및 8개 하위요인 중 5개 요인에서 통계적으로 유의미한 향상을 나타내었다. 각 하위 요인별 예비 교사들의 면담을 분석한 결과, 이들은 과학기술에 대한 인식론적 탐색을 강조하는 Cycle I과 쟁점해결과 실천을 강조하는 Cycle II를 수행하는 과정에서 과학기술자의 사회적 역할에 대해 고민할 수 있는 기회를 충분히 갖게 되었음을 확인하였다. 특히 프로젝트 참여 전 과학기술이 인간과 환경, 사회에 미치는 영향을 고려해야 한다는 것에 초점을 두었던 예비 교사들의 인식은, 프로젝트 참여 후 사회적 필요와 요구를 반영하고 지역사회 문제 해결을 위해 대중과 협력·소통하며 정책에 참여해야 하는 것까지 확장해서 이해하는 모습을 보였다. 위 결과를 기반

으로 과학기술관련 사회쟁점 교육과 교사교육에 있어 본 연구의 시사점을 제시하였다.

주제어 : 과학기술관련 사회쟁점, ENACT 프로젝트, 과학기술자의 사회적 책임, 예비 과학교사

References

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education, 22*(9), 2087-2107.
- Amos, R., & Levinson, R. (2019). Socio-scientific inquiry-based learning: An approach for engaging with the 2030 sustainable development goals through school science. *International Journal of Development Education and Global Learning, 11*(1), 29-49.
- Ariza, M. R., Christodoulou, A., Harskamp, M. V., Knippels, M. C. P., Kyza, E. A., Levinson, R., & Agesilaou, A. (2021). Socio-scientific inquiry-based learning as a means toward environmental citizenship. *Sustainability, 13*(20), 1-22.
- Barelli, E. (2017). *Science of complex systems and future-scaffolding skills: A pilot study with secondary school students*. Unpublished master's thesis, University of Bologna, Italy.
- Barnett, R. (2007). *A will to learn: Being a student in an age of uncertainty*. Berkshire, England: McGraw-Hill/Open University Press.
- Bencze, L. (2017). *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments: STEPWISE*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Bernard, P., & Dudek, K. (2017). Revisiting students' perceptions of research scientist: Outcomes of an indirect draw-a-scientist test (INDAST). *Journal of Baltic Science Education, 16*(4), 562-575.
- Bielefeldt, A. R. (2018). Professional social responsibility in engineering. In I. Muenstermann (Ed.), *Social responsibility* (pp. 41-60). London, England: IntechOpen.
- Canney, N. E., & Bielefeldt, A. R. (2016). Validity and reliability evidence of the engineering professional responsibility assessment tool. *Journal of Engineering Education, 105*(3), 452-477.
- Choi, K. (2005). Contemplation of scientist's social role, responsibility and its educational methods. *Journal of Science & Technology Studies, 10*, 49-67.
- Glenn, C. J. (1994). *Future mind: Artificial intelligence: Merging the mystical and the technological*. Washington, DC: Acropolis Books.
- Glerup, C., & Horst, M. (2014). Mapping 'social responsibility' in science. *Journal of Responsible Innovation, 1*(1), 31-50.
- Godhade, J., & Hundekari, S. (2018). Social responsibility of engineers. *International Journal of Academic Research and Development, 3*(2), 125-126.
- Greene, J. C. (2007). *Mixed methods in social inquiry*. San Francisco, CA: John Wiley & Sons.
- Ha, M., Shin, S., & Lee, J. (2019). Developing the questionnaire to measure the perception of the norms of science and applying to pre-service science teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education, 39*(4), 489-498.
- Hong, S. (2016). *Science-Technology-Society: Listening to science*. Seoul: Dongasiabook.
- Ko, Y., Shim, S. S., & Lee, H. (2021). Development and validation of a scale to measure Views of Social Responsibility of Scientists and Engineers (VSRoSE). *International Journal of Science and Mathematics Education*. Online first.
- Lathem, S. A., Neumann, M. D., & Hayden, N. (2011). The socially responsible engineer: Assessing student attitudes of roles and responsibilities. *Journal of Engineering Education, 100*(3), 444-474.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Lee, H. (2018). *What is SSI education?* Seoul: Parkyoung Story.
- Lee, H., Choi, Y., Nam, C., Ok, S., Shim, S., Hwang, Y., & Kim, G. (2020). Development of the ENACT model for cultivating social responsibility of college students in STEM fields. *Journal of Engineering Education Research, 23*(6), 3-16.
- Lee, H., Hwang, Y., Ko, Y., Choi, Y., Ok, S., Nam, C., Shim, S., & Kim, G. (2022). *ENACT project*. Seoul: Parkyoung Story.
- Levinson, R. (2018). Introducing socio-scientific inquiry-based learning (SSIBL). *School Science Review, 100*(371), 31-35.
- Levrini, O., Tasquier, G., Barelli, E., Laherto, A., Palmgren, E., Branchetti, L., & Wilson, C. (2021). Recognition and operationalization of future-scaffolding skills: Results from an empirical study of a teaching-learning module on climate change and futures thinking. *Science Education, 105*(2), 281-308.
- Levrini, O., Tasquier, G., Branchetti, L., & Barelli, E. (2019). Developing future-scaffolding skills through science education. *International Journal of Science Education, 41*(18), 2647-2674.
- Narayan, R., Park, S., Peker, D., & Suh, J. (2013). Students' images of scientists and doing science: An international comparison study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 9*(2), 115-129.
- Oviawe, J. I., Tazhenova, G. S., Azman, M. N. A., & Abdullah, A. S. (2021). Promoting students' academic performances and interests in blocklaying and concreting works using a futures-wheel instructional strategy versus problem solving: Implications for sustainable development. *Journal of Technical Education and Training, 13*(3), 79-92.
- Pimple, K. D. (2002). Six domains of research ethics. *Science and Engineering Ethics, 8*(2), 191-205.
- Sakharov, A. (1981). The responsibility of scientists. *Nature, 291*, 184-185.
- Schenk, L., Hamza, K. M., Enghag, M., Lundegård, I., Arvanitis, L., Haglund, K., & Wojcik, A. (2019). Teaching and discussing about risk: Seven elements of potential significance for science education. *International Journal of Science Education, 41*(9), 1271-1286.
- Schlossberger, E. (2016). Engineering codes of ethics and the duty to set a moral precedent. *Science and Engineering Ethics, 22*(5), 1333-1344.
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In Y. J. Dori, Z. Mevarech, & D. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education* (pp. 65-88). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Song, S. (2008). Discussion on the social responsibility of scientists and engineers revisited. *Journal of Engineering Education Research, 11*(2), 5-14.
- Stilgoe, J., Lock, S. J., & Wilsdon, J. (2014). Why should we promote public engagement with science? *Public Understanding of Science, 23*(1), 4-15.
- Tasquier, G., Branchetti, L., & Levrini, O. (2019). Frantic standstill and lack of future: How can science education take care of students' dystopic perceptions of time?. In E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran, & P. E. Childs (Eds.), *Bridging research and practice in science education* (pp. 205-224). Cham, Switzerland: Springer.
- Tassone, V. C., O'Mahony, C., McKenna, E., Eppink, H. J., & Wals, A. E. (2018). (Re-)Designing higher education curricula in times of systemic dysfunction: A responsible research and innovation perspective. *Higher Education, 76*, 337-352.
- Vanasupa, L., Slivovski, L., & Chen, K. C. (2006). Global challenges as inspiration: A classroom strategy to foster social responsibility. *Science and Engineering Ethics, 12*(2), 373-380.
- Wals, A. E., Tassone, V. C., Hampson, G. P., & Reams, J. (2015). Learning for walking the change: Eco-social innovation through sustainability-oriented higher education. In M. Barth, G. Michelsen, M. Rieckmann, & I. Thomas (Eds.), *Routledge handbook of higher education for sustainable development* (pp. 25-39). London, England: Routledge.
- Wojcik, A., Hamza, K., Lundegård, I., Enghag, M., Haglund, K., Arvanitis, L., & Schenk, L. (2019). Educating about radiation risks in high schools: towards improved public understanding of the complexity of low-dose radiation health effects. *Radiation and Environmental Biophysics, 58*(1), 13-20.
- Wyndham, J. M., Albro, R., Ettinger, J., Smith, K., Sabatello, M., & Frankel, M. S. (2015). *Social responsibility: A preliminary inquiry into the perspectives of scientists, engineers and health professionals*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Yoon, J., Cho, W., & Nam, Y. (2021). Gifted students' perception of the social roles and responsibilities of scientists. *Journal of Gifted/Talented Education, 31*(3), 383-404.
- Zandvoort, H., Børsen, T., Deneke, M., & Bird, J. (2013). Editors' overview: Perspectives on teaching social responsibility to students in science and engineering. *Science and Engineering Ethics, 19*, 1413-1438.

저자정보

이현주(이화여자대학교 교수)
고연주(이화여자대학교 강사, 해저드리터러시 융합교육연구소 박사후연구원)
홍지연(이화여자대학교 대학원 석사과정생)