



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사 학위논문

## 사물 인터넷을 활용한

# 실천지향 과학 교육 프로그램의 개발 및 적용

기술 구성, 교사의 기술 관련 어려움, 학생의 환경과학행위성을 중심으로

2021년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과 지구과학전공

가 석 현



사물 인터넷을 활용한  
실천지향 과학 교육 프로그램의 개발 및 적용  
기술구성, 교사의 기술 관련 어려움, 학생의 환경과학행위성을 중심으로

지도교수 김 찬 종

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함

2021년 4월

서울대학교 대학원  
과학교육과 지구과학전공

가 석 현

가석현의 박사 학위논문을 인준함

2021년 7월

위 원 장                    서 기 원

부위원장                    김 찬 종

위     원                    윤 혜 경

위     원                    한 정 혜

위     원                    Sonya N. Martin



## 국문초록

과학 기술은 인류를 풍요롭게 만들어주었지만, 그와 동시에 다양한 잠재적 위험을 유발하고 있다. 원자력 발전소 사고, GMO 논란, 가습기 살균제 사태 등 과학 관련 사회 문제 (SSI)들이 사회의 주요 문제로 두드러지면서 SSI에 대한 시민 참여의 필요성이 증대되고 있다.

과학 기술에 시민을 참여시키기 위한 노력은 다양하게 시도되고 있다. 최근 우리나라에서도 2017년 신고리 원전 5, 6호기 건설 재개 문제와 관련하여 속의 과정이 시도된 바가 있다. 하지만 시민이 SSI 관련 의사 결정에 참여할 만한 충분한 전문성을 가지고 있지 못하다는 비판이 제기되고 있으며, 시민 참여 제도가 정부 기관이나 과학자 협회와 같은 전문가 집단에 의해 주도됨으로써 시민의 관심사가 반영되기 어렵다고 지적되고 있다. 따라서 과학 교육은 학생에게 SSI 의사 결정에 더욱 전문적으로 참여할 수 있는 능력을 가르쳐야 하며, 자신의 관심 주제와 관련하여 주도적으로 문제를 파악하고, 해결 방안을 제시하고, 문제를 직접 해결하기 위해 실천할 수 있는 능력을 길러줘야 한다.

측정 장치는 과학이라는 세상을 바라보는 눈이기 때문에 전문적인 과학 활동을 수행하는 데 전문적인 측정 장비를 갖추는 일은 중요하다. 일반 시민이 관심 있는 SSI 문제에 관해 과학 탐구를 수행하려 해도, 전문적인 측정 장치가 없다면 이를 수행하는 것이 불가능하다. 하지만 최근 아두이노의 등장으로 아마추어도 전문적인 측정 장치를 직접 제작하는 것이 가능해졌다. 아두이노에 자신이 관심 있는 대상을 측정할 수 있는 센서를 장착하고 간단한 프로그래밍을 통해

소프트웨어를 아두이노에 업로드함으로써, 측정 장치를 비교적 저렴한 비용에 확보할 수 있게 되었다.

이 연구에서는 학생들이 시민으로서 SSI에 참여하는 데 필요한 능력을 계발할 수 있도록 피지컬 컴퓨팅 및 사물 인터넷 기술 기반의 DIY 측정 장치 (Do It Yourself Measurement Device using Physical Computing and Internet of Things, DIY-MD)를 활용한 실천지향 과학 교육 수업을 개발하고 이에 대한 적용 가능성을 확인하였다. DIY-MD를 이용한 수업이 이루어지기 위해서는, 어떠한 기술을 이용하여 DIY-MD를 구현하는 것이 학교 환경에 적합한지에 대한 기술 검토 연구가 선행되어야 하며, 현장 교사들이 DIY-MD를 수업에 통합하는 과정에서 현장 교사가 겪은 기술 관련 어려움에 관한 연구가 이루어져야 한다. 따라서 이 연구는 크게 세 연구로 이루어져 있다.

먼저, 3장에서는 DIY-MD를 구현하기 위해 여러 기술을 비교·분석하고 적합한 기술 구성 예시를 제공하였다. 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 이용해서 과학 측정 장치를 제작하기 위해서는 적절한 개발 보드, IoT 플랫폼, 통신 모듈 등이 선택되고 조합되어야 한다. 독립성, 저비용, 친숙함, 이동성, 기술 생태계라는 5가지 측면에서 각 기술을 평가하여 장·단점을 분석하였고, 이를 바탕으로 학교 교육 현장 맥락에 적절하게 구성된 예시 사례로, 아두이노, ThingsBoard, Wi-Fi를 이용하여 만들어진 미세먼지, 이산화 탄소 측정 장치를 제시하였다. 이 연구의 결과는 기술에 익숙하지 않은 과학 교사들이 DIY-MD를 자신의 수업에 도입하는 데 있어 기술 선택으로 인한 시행착오를 줄여줄 것이다.

두 번째로, 4장에서는 3장의 연구 결과를 바탕으로 서로 다른 세 현장에 DIY-

MD를 적용하는 과정에서 나타난 기술 관련 어려움을 살펴보았다. 첫 번째 연구를 통해 제시된 기술에 대한 분석과 적절한 기술 구성의 예시는 현장 교사들에게 있어 기술 선택으로 인한 어려움을 줄여주었지만, 그래도 여전히 교사들은 DIY-MD를 이용하는 데 있어 많은 기술 관련 어려움을 호소하였다. 연구자는 이러한 어려움을 해결하기 위해, 먼저 어떠한 요인들이 교사의 DIY-MD 사용을 어렵게 하는지 파악하는 연구를 수행했다. 과학고 부설 영재센터, 학교 자율 동아리, 커뮤니티 센터에서 DIY-MD를 도입하고자 하는 3명의 교사를 대상으로 DIY-MD와 관련된 기술 지원을 제공하였고, 이들이 DIY-MD를 수업에 이용하는 과정에서 나타난 어려움에 대해 인터뷰하였다. 각 교사의 인터뷰 내용은 3명의 과학 교육 연구자에 의해 범주화되었고, 총 4가지 유형의 어려움을 발견할 수 있었다. 현장 교사들이 겪는 주요한 어려움으로는 (1) 적합한 기술 선정 문제, (2) 인터넷으로 수집한 자료의 신뢰성 문제, (3) 많은 변수가 개입되는 기술 문제의 복잡성, (4) 법과 제도의 문제 등이 있었다. 이 어려움은 연구자의 기술 지원이 있었음에도 나타난 어려움이었고, 교사가 홀로 해결하기 어려운 성격을 띠고 있었다. 따라서 연구자는 대안적인 기술 지원 방식이 필요하다고 판단하여, ICT 분야에서 기술 지원이 어떻게 이루어지고 있는지 살펴보았고, 과학 교사의 DIY-MD 활용에 초점이 맞춰진 군집 모델 (swarming model) 형태의 기술 지원 구축이 필요하다고 제안하였다.

마지막으로, 5장에서는 DIY-MD가 활용된 실천지향 과학 교육 수업에서 학생들의 환경과학행위성 (ESA)의 양상과 변화를 연구하였다. 이 수업은 두 가지 특징을 가지고 있다. 첫 번째는, 과학 탐구 과정에서 DIY-MD를 이용한다는 점이다.



DIY-MD는 학생들이 과학 탐구를 수행하는 데 필요한 데이터를 확보하는 데 도움을 준다. 두 번째는, 사회적 실천 (social action)을 지향하는 과학 수업이라는 점이다. 학생들은 수업을 통해 단순히 내용 지식 (content knowledge)과 실천 지식 (practical knowledge)을 함양하는 것에 그치는 것이 아니라, 이를 바탕으로 한 사회적 실천에 나서게 된다. 이를 통해 학생들은 앞에서 그치는 것이 아니라 사회의 긍정적 변화를 이끌어낼 수 있는 실천 역량 (action competence)을 계발하게 된다. 연구자는 8주 (24차시) 분량의 DIY-MD 활용 실천지향 과학 교육 프로그램을 개발하였고, 이를 대학생들을 대상으로 적용하였다. 이 프로그램은 4주 (12차시) 분량의 DIY-MD 활용법에 관한 수업과 4주 (12차시) 분량의 사회적 실천을 위한 프로젝트 수업으로 구성된다. DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램이 학생의 ESA에 어떠한 영향을 주었는지 확인하기 위해, 학생들의 배경에 대한 사전 인터뷰, 수업 중 진행된 학생의 프로젝트 활동에 대한 사후 인터뷰, 수업 기간 기록된 교수자의 연구 일지가 수집되었고, 2명의 과학 교육 연구자가 이를 분석하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 프로젝트 초기에는 대중적인 지식수준으로 시작했으나, 프로젝트 활동을 진행하면서 필요에 따라 점차 전문 지식을 탐색해 나갔다. 둘째, 당사자성이 결여된 주제를 선택하더라도 프로젝트 과정에서 당사자성이 확보될 수 있었다. 셋째, 유의미한 자신만의 데이터를 확보함으로써 자신을 환경 문제의 행위자로 인식해 나갔다. 넷째, 학생들은 DIY-MD를 이용하여 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있는 능력을 갖추게 되었다.

DIY-MD는 시민들이 자신만의 측정 장치로 과학적 증거를 수집하고 이를 기반으로 자신의 주장을 형성함으로써, 보다 전문적으로 SSI에 참여할 수 있도록

만들어준다. DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육을 통해 학생들이 자신의 삶 속에서 한 명의 시민으로서 자신의 안전과 공동체의 안녕을 위해 SSI에 참여할 수 있는 능력을 기르게 된다.

**주요어** : 실천지향 과학 교육, 시민 참여, 환경과학행위성, 사회적 실천, 피지컬 컴퓨팅, 사물 인터넷

**학 번** : 2017-36941



# 목차

국문초록	iii
목차	ix
표 목차	xv
그림 목차	xvii
I. 서언	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구 문제	9
3. 연구의 한계점	10
4. 용어의 정의	12
(1) 기술	12
(2) 실천	12
(3) 행위성	13
(4) 참 탐구	14
II. 이론적 배경	17
1. 실천지향 과학 교육	17

<b>2. 행위성</b> .....	<b>22</b>
(1) 구조와 행위성 .....	22
(2) 과학 교육에서의 행위성 .....	23
(3) 비판적 과학 행위성.....	24
(4) 환경과학행위성.....	25
<b>3. 사물 인터넷과 과학 교육</b> .....	<b>28</b>
(1) 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷.....	28
(2) 사물 인터넷을 이용한 과학 탐구 .....	33
<b>4. 기술 도입 과정에서의 어려움</b> .....	<b>36</b>
<b>III. 기술 구성</b> .....	<b>39</b>
<b>1. 배경</b> .....	<b>39</b>
(1) 참 탐구에서의 기술 관련 어려움 .....	40
(2) 참 탐구를 위한 피지컬 컴퓨팅 .....	42
(3) 참 탐구를 위한 사물 인터넷 .....	43
<b>2. 기술 비교</b> .....	<b>45</b>
(1) 기술 평가 기준 .....	45
(2) 개발 보드.....	49
(3) IoT 플랫폼.....	51
(4) 통신.....	53
<b>3. 적용</b> .....	<b>56</b>

(1) 배선 및 코딩 .....	56
(2) ThingsBoard 설치 .....	57
(3) IoT 플랫폼으로의 데이터 전송 .....	57
(4) IoT 플랫폼상에서의 데이터 분석 .....	59
<b>4. 추가적인 고려점 .....</b>	<b>60</b>
(1) 본질적인 교육 목표 .....	60
(2) 기술 발달에 따른 변화 .....	60
(3) 센서 특성 이해의 중요성 .....	61
(4) 탐구 대상의 확장 가능성 .....	61
<b>IV. 현장 교사가 당면하는 기술 관련 어려움 .....</b>	<b>63</b>
<b>1. 배경 .....</b>	<b>63</b>
<b>2. 연구 문제 .....</b>	<b>65</b>
<b>3. 연구 설계 .....</b>	<b>65</b>
(1) 연구 참여자 및 실행 맥락 .....	65
(2) 연구 방법 .....	71
<b>3. 연구 결과 .....</b>	<b>74</b>
(1) 적합한 기술 선정 문제 .....	75
(2) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제 .....	78
(3) 많은 변수가 개입되는 기술 문제의 복잡성 .....	81
(4) 법과 제도의 문제 .....	85

4. 논의 .....	88
5. 결론 및 함의 .....	95
<b>V. 학생의 환경과학행위성 양상 및 변화 .....</b>	<b>97</b>
1. 배경 .....	97
2. 연구 문제 .....	98
3. 연구 방법 .....	98
(1) 교수 설계 .....	99
(2) 연구 참여자 .....	102
(3) 데이터 수집 .....	110
(4) 데이터 분석 .....	111
4. 연구 결과 .....	113
(1) 환경과학과 관련된 내용 지식 (U1) .....	113
(2) 과학적 규범에 따른 탐구 활동의 설계와 수행 (U2) .....	121
(3) 환경 문제를 ‘나’의 문제로 인식 (P1) .....	127
(4) 환경 문제 해결의 행위자로서 ‘나’를 인식 (P2) .....	130
(5) 환경 문제 해결의 행위자로서 주변으로부터 받는 인식 (P3) .....	134
(6) 연구 성과를 가족, 교사, 친구 등 지인과 공유 (E1) .....	135
(7) 연구 성과를 대중들과 공유 (E2) .....	136
(8) 자신의 경험을 새로운 환경/맥락으로 확장 (E3) .....	136
5. 논의 .....	137

6. 결론 및 함의 .....	141
<b>VI. 결론 .....</b>	<b>143</b>
<b>참고문헌.....</b>	<b>149</b>
<b>부록 .....</b>	<b>167</b>
부록 1. 사전 온라인 설문 .....	167
부록 2. 사전 인터뷰 질문지 .....	171
부록 3. 사후 인터뷰 질문지 .....	172
(1) 공통질문 .....	172
(2) Y학생.....	172
(3) J학생.....	173
(4) P학생 .....	173
<b>Abstract .....</b>	<b>175</b>





## 표 목차

표 1 개발 보드 비교 .....	50
표 2 IoT 플랫폼 비교.....	53
표 3 통신 방식 비교 .....	54
표 4 셀룰러 통신 모듈 비교 .....	55
표 5 각 교사들의 수업 환경 .....	70
표 6 교사에 따른 유형 별 기술 관련 어려움 .....	75
표 7 교사에게 제공된 기술 구성.....	77
표 8 프로그램 계획.....	101
표 9 환경과학행위성 분석틀.....	112
표 10 학생의 환경과학행위성 양상과 변화.....	114
표 11 자외선 지수에 따른 대응 요령.....	117
표 12 CJMCU-S12SD 센서의 사양.....	117
표 13 Y학생의 탐구 설계.....	122
표 14 J학생의 탐구 설계.....	124
표 15 P학생의 탐구 설계 .....	126



## 그림 목차

그림 1 환경과학행위성의 3가지 구성 요소.....	27
그림 2 피지컬 컴퓨팅에 사물 인터넷을 도입한 사례.....	31
그림 3 아두이노 블록 코딩이 가능한 mBlock 5 실행 화면.....	33
그림 4 과학 탐구에 유용하게 쓰일 수 있는 센서.....	34
그림 5 DIY-MD의 주요 구성.....	48
그림 6 DIY-MD의 예시 (온도, 습도, 미세먼지, CO <sub>2</sub> 측정).....	56
그림 7 ThingsBoard의 관리자 페이지.....	58
그림 8 ThingsBoard로 가시화한 차트, 게이지바, 표, 지도의 예시.....	59
그림 9 자료 분석 과정.....	72
그림 10 블록화된 코드의 예시.....	81
그림 11 다층구조모델.....	90
그림 12 군집 모델.....	91
그림 13 아두이노 포럼.....	92
그림 14 아두이노 프로젝트 허브.....	92
그림 15 아두이노社가 운영하는 디스코드 채널.....	93
그림 16 Y학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram.....	104
그림 17 J학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram.....	107
그림 18 J학생이 SNS에 올린 사회적 실천 결과물.....	107
그림 19 P학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram.....	109

그림 20 측정 장치 설치 모습.....	109
그림 21 측정 장치 설치 위치.....	110
그림 22 분석틀 도출 과정.....	112
그림 24 MQ-2의 회로도.....	120
그림 23 각 기체에 대한 MQ-2의 반응.....	120

# I . 서언

## 1. 연구의 필요성

과학 기술의 급속한 발전으로 인류는 자연에 대해 깊이 있는 이해를 하게 되었으며, 인류는 기아와 질병에서 벗어나 전례 없는 물질의 풍요 속에 살아가고 있다. 하지만 한편으로는 이로 인한 예상치 못한 잠재적인 위험이 대두되고 있다 (Beck et al., 1992). 세균 감염을 막기 위해 만들어진 가슴기 살균제는 오히려 인간의 폐 조직을 파괴함으로써 회복 불능의 장애를 인간에게 일으켰다. 1979년 미국 스리마일섬 원전 사고, 1989년 체르노빌 원전 사고, 2011년 후쿠시마 원전 사고 등 수차례의 원전 사고를 겪었지만 지금도 수많은 원자력 발전소가 세계 곳곳에 건설되고 있다. GMO 기술은 오랜 기간 보관이 가능한 토마토, 제초제에 강한 내성을 가진 콩, 냉해에 강한 딸기 등 기존의 종자를 개량하는 방법보다 우수한 품종을 더 쉽게 얻을 수 있도록 만들어주었지만, GMO가 가지고 있는 잠재적 위험성에 대한 우려가 큰 것도 사실이다 (Paoletti et al., 2008).

과학 기술로 인한 위험이 야기되는 원인 중 하나로 기술 관료적 (technocracy)인 사회적 분위기가 지목된다. 오랫동안 과학 기술과 관련된 의사 결정은 과학 기술 전문가들이 전유해왔다. 전문가만 과학 기술에 접근할 수 있었고, 과학 기술 관련 의사 결정에는 전문가만 정당한 참여 자격이 있었다. 이것이 가능했던 이유는, 두 번의 세계 대전 이후 서구 대학가에 과학과 정치의 결합이 초래한 위험성을 자각하고 과학 기술 연구의 자율성에 절대적인 가치를 부여하는

분위기가 형성되었고 (Hagstrom, 1965; Polanyi, 1962), 시민들은 과학 기술을 정치 중립적으로 바라보고 과학 기술의 안전성이 전문가들에 의해 잘 감시되고 있다고 생각했기 때문이다 (Brown, 2009). 하지만 과학 기술을 구성하고 있는 기술 관료적인 사회적 맥락은 과학 기술의 불확실성과 위험을 심화시켰다 (김동광 외, 2011).

과학 기술과 관련된 의사 결정이 과학 기술인에게 전유 되는 것은 여러 문제를 일으킬 수 있다. 과학 기술 관련 문제들은 단순히 과학 기술 영역에 국한되는 것이 아니라, 사회적, 정치적 요소와 관련되어 있으며, 때로는 지역적인 요소와도 연관된다. 또한, 과학 기술은 본질적으로 불확실성을 내재하고 있으므로 과학 기술에 대한 위험은 엄격하게 평가되어야 한다. 하지만 과학 기술인은 모든 분야의 전문가가 아닌 과학 기술분야에 한정된 전문 지식을 가지고 있고, 이들은 전문가인 동시에 이해당사자이기 때문에 과학의 위험성을 객관적으로 평가하기 어려운 문제가 있다 (Moore et al., 2011).

이러한 문제를 해결하기 위해, 과학 기술 관련 의사 결정 과정에 일반 시민이 참여해야 한다는 목소리가 나오고 있다. 시민은 과학 기술 의사 결정에 영향을 받는 당사자이다. 과학 기술에 대한 참여는 개개인의 권리인 자유권, 정치권, 사회권과 더불어 기본적인 시민권으로써 보장되어야 한다 (Mann et al., 2018). 또한, 과학 기술 문제는 단순히 하나의 인과 관계로 환원될 수 없는 복잡성을 띠기 때문에, 과학 기술 전문성이나 전문 지식이 문제를 해결해 주기보다 오히려 걸림돌이 된다는 시각이 있다 (Ravetz, 1999). 탈 정상과학 개념으로 전문 지식의 문제점을 지적한 Ravetz (1999)는 일반 시민의 과학 참여가 과학 지식의 불확실성 문제를 보완할 수

있다고 주장한다.

과학 기술에 시민을 참여시키기 위한 노력은 다양하게 시도되고 있다. 대표적인 것이 속의 과정이다. 속의 과정이란 민주주의의 합의적 (consensus) 의사 결정과정과 다수결의 원리를 모두 포함하고 있다 (Canevaro, 2018). 속의 민주주의에서는, 민주적 의사 결정이 정당하기 위해서는 단순히 다수결의 원리에 따를 것이 아니라, 그 전에 실제적인 속의가 선행되어야 한다고 주장한다. 최근 우리나라에서도 2017년 신고리 원전 5, 6호기 건설 재개 문제와 관련하여 속의 과정이 시도된 바가 있다 (Chung, 2020; Kim et al., 2020).

과학 기술계 또한, 과학 기술이 초래하는 문제를 해결하기 위한 자체적인 노력이 이루어지고 있다. 대표적인 것이 EU 국가를 중심으로 일어나고 있는 ‘사회에 책임지는 연구 혁신 (RRI, Responsible Research and Innovation)’다. RRI는 과학 기술 혁신을 ‘사회적 책임’이라는 새로운 관점에서 바라본다. 과학 기술 개발에 있어 연구 과정에서 발생할 수 있는 문제와 불확실성을 예측하고 관리하고 대응할 수 있는 체제를 구축하고, 시민과 비정부조직을 과학 기술에 참여시킴으로써 연구에 개방성과 투명성을 확보하려고 노력한다 (European Commission, 2014; 박희제 & 성지은, 2015; 성지은 & 송위진, 2013). RRI는 EU의 연구개발 기본 원칙으로 자리 잡아, 연구 과제의 선정, 연구비 배분, 과학 기술 정책 수립 등에 영향을 미치고 있다.

이렇게 SSI에 대한 시민 참여가 늘어남에 따라, 이에 대한 우려도 나타나고 있다. 특히 많이 지적되는 것이 시민의 전문성에 관한 문제이다. 과학 기술에 관한 의사 결정을 위해서는 해당 분야에 대한 과학 내용 지식을 필요하다. 물론 시민들



또한, 과학 기술 전문가와는 다른 분야의 전문가라고 주장하는 시각도 있다 (Irwin, 2002). 예를 들면, 지역과 관련된 환경 문제를 이해하기 위해서는, 지역과 관련된 지리, 생태계에 대한 이해, 지역민들의 생활 습관 등을 이해할 필요가 있는데, 이러한 전문성은 과학 기술인이 아닌 그 지역을 사는 시민이 전문가라는 입장이다. 하지만 시민의 전문성을 존중하더라도 SSI를 과학적으로 이해하고 이에 대한 해결책을 마련하기 위해서는 해당 문제와 관련된 과학 내용 지식은 여전히 필수적이다.

또 다른 우려는, 숙의 과정과 같은 참여 제도가 정부 기관이나 과학자 협회와 같은 전문가 집단에 의해 주도되기 때문에, 이들과는 다른 필요, 비전, 우선순위를 가지고 있는 시민의 관심사가 반영되기 어렵다는 점이다 (Wynne, 2007). 참여 제도에서의 시민은 주어진 주제에 대해 주어진 형식 안에서 주어진 자료를 가지고 의사 결정에 참여하기 때문에, 참여 제도를 운용하는 주최자의 의도에서 벗어날 수 없다. 따라서 시민들이 SSI에 더욱 의미 있게 참여할 수 있도록, 과학 교육은 학생들에게 시민 참여에 필요한 과학 관련 전문성을 길러주고, 보다 주도적으로 SSI에 참여할 수 있는 능력을 계발시켜줄 필요가 있다.

이 연구는 학생들이 시민으로서 과학 관련 문제에 참여하는 데 필요한 역량을 길어주기 위해 새로운 기술을 도입한 교육 프로그램을 개발하고 이에 대한 가능성을 확인해보았다. 이 연구에서의 교육 프로그램은 다음과 같은 특징을 지닌다. 첫째, 학생들은 자신이 직접 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 활용한 측정 장치 (Do It Yourself Measurement Device using Physical Computing and Internet of

Things, 이하 DIY-MD<sup>1</sup>)를 제작한다. 앞서 참여 제도에서 시민이 전문가들에 의해 주어진 주제, 형식, 자료만으로 의사 결정에 참여하는 한계성을 논의한 바가 있다. 시민들이 자신이 관심 있는 주제에 대한 의사 결정에 참여하기 위해서는 자신의 주장을 형성할 데이터를 스스로 확보할 수 있어야 한다. 측정 장치를 가지고 있지 못하면 다른 이들의 데이터를 이용해야 하는데, 자신이 필요로 하는 데이터에 접근하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 이미 측정되어 데이터로 존재할 가능성도 낮다. 둘째, 학생들은 스스로 주제를 선정하고 이에 관한 탐구를 계획하고 수행하여 자신의 주장을 형성한다. 기존의 탐구는 교사가 정해진 주제에 대해, 제시된 순서를 따라 하는 활동이 주를 이뤘다 (Andersen & Garcia-Mila, 2017). 하지만 시민 참여를 위한 역량을 갖추기 위해서는 단순히 따라 하기식의 탐구가 아니라, 참 탐구 (authentic inquiry)를 수행할 수 있는 능력을 갖춰야 한다. 셋째, 학생들은 단순히 탐구를 통해 자신의 주장만을 형성하는 것이 아니라, 더 나은 사회를 만들기 위해 사회적 실천 (social action)에 나선다. 단순히 내용 지식과 탐구 지식을 가졌다고 해서 실천할 수 있는 것이 아니다. 학생들은 내용 지식과 탐구 지식과 함께 사회 변화를 위한 행동에 나서는 실천 역량 (action competence)을 갖추고 과학 관련 사회 문제에 주체적 행위자로 참여해야 한다 (Jensen, 2002, 2004; Jensen & Schnack, 1997; Mogensen & Schnack, 2010).

이전에는 DIY-MD를 제작하는 것에 전문적인 전기공학 지식과 프로그래밍 지식이 필요했지만, 2005년 아두이노가 등장하면서 이러한 장치들을 저렴한

---

<sup>1</sup> 이 논문에서는 ‘자신이 직접 만든 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 활용한 측정 장치’를 긴 표현의 반복을 줄이기 위해 ‘DIY-MD’로 간략히 표현하였다.

가격으로 손쉽게 만드는 것이 가능해졌다. 아두이노에 다양한 저가형 센서를 연결함으로써 우리는 이산화 탄소, 산소, 이산화 질소, 메탄, 이산화 황, 오존, 라돈 등 여러 물질의 농도, 미세먼지 농도, pH, 전자기파 (적외선, 가시광선, 자외선, X선, 감마선 등) 등을 측정할 수 있게 되고, 이를 통해 과학적 주장을 뒷받침할 과학적 증거를 확보할 수 있게 된다.

학교 교육에서 DIY-MD를 이용하는 것의 의미는 단순히 기존 과학실의 측정 장치를 대체한다는 것에 국한되지 않는다. 그간의 과학 측정 장치는 학교 과학실 안에 보관되어 교사가 의도하는 매우 한정된 시간만 학생들이 사용할 수 있도록 허가되었고, 학생이 그 이외의 시간에 측정 장치를 이용하기 위해서는 교사에게 사용 목적을 설명하고 승인을 받아야 했다. 하지만 DIY-MD는 매우 저렴하므로, 과학실 안에 엄격하게 관리될 필요가 없다. 모든 학생이 개인별로 소유할 수 있을 정도로 가격이 저렴하다. 언제나 손쉽게 접근 가능한 과학 도구를 가지게 됨으로써 학생들은 더욱 자유롭게 과학적 증거를 수집하고 이를 기반으로 한 과학적 주장을 만들어내는 등 적극적인 과학 활동을 할 수 있게 된다.

이 연구는 크게 3가지의 세부 연구로 구성되어 있다. 첫 번째 연구에서는 기술에 익숙하지 않은 교사와 학생들이 DIY-MD를 제작하고 데이터를 측정·분석할 수 있도록, 관련된 기술을 학교 교육의 맥락에서 비교·분석하고 이에 대한 적용 예를 제시하였다 (3장). 학교 현장에서 피지컬 컴퓨팅을 과학 탐구에 이용하려는 시도가 최근 많이 관찰되고 있다 (Alò et al., 2020; Ga et al., 2021; Kuan et al., 2016; Kubínová & Šlégr, 2015; Pino et al., 2019; Schulz, 2016; Schulz & Pinkwart, 2016; Walkowiak & Nehring, 2016). 하지만 피지컬 컴퓨팅을 구현하는

데 있어 다양한 기술적 선택지가 교사들 앞에 놓이게 된다. 선택지가 많으면 각자의 환경에 가장 최적화된 선택지를 고를 수 있다는 장점이 있지만, 한편으로는 여러 선택지를 비교할 수 있는 충분한 안목을 가지고 있지 못하다면 부적합한 기술을 선택함으로써 원하는 피지컬 컴퓨팅을 구현하지 못하거나 큰 시행착오를 겪게 된다. 피지컬 컴퓨팅에 필요한 개발 보드, IoT 플랫폼, 통신 모듈, 통신망 등 다양한 기술의 비교·분석을 제공하고, 과학 교육 현장에 권장할 만한 구성을 개발함으로써, 교육 현장에서 피지컬 컴퓨팅이 널리 활용되고 확산될 수 있는 토대를 마련하였다.

두 번째로는 첫 번째 연구에서 고안된 구성을 실제 현장에 투입한 후, 현장 교사가 겪은 실제적인 기술 관련 어려움을 분석하고, 효과적인 기술 지원에 대한 방향을 제시하였다(4장). 기술 활용에 있어 기술에 익숙하지 않은 교사들은 수업에 기술을 도입하는 과정에서 문제를 겪을 때 이를 잘 대처하지 못하는 경우가 많고, 이러한 부정적 경험들은 교사들이 기술 활용을 꺼리게 만든다 (Bradley & Russell, 1997). 기술 관련 문제가 발생하면 교사의 교수 계획은 전부 틀어지기 때문에, 해당 차시의 수업을 정상적으로 진행할 수 없게 되거나, 본질적인 과학 수업은 뒷전이 된 채 기술 문제 해결에만 수업이 집중되게 된다. 따라서 기술이 교육 현장에 매끄럽게 안착하기 위해서는 발생 가능한 문제를 최소화한 형태로 현장에 기술을 보급하고, 현장 교사에 대한 적절한 기술 지원이 이루어져야 한다. 이 연구는 현장 교사의 기술 문제 해결을 위한 기술 지원 모델을 제시함으로써, 기술 지원 체계 구축을 위한 방향성을 제시하였다.

세 번째 연구는 앞선 연구를 통해 안정화된 기술 구성을 기반으로 DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램을 개발하고 이를 대학생들 대상으로

적용하였다 (5장). 개발된 실천지향 과학 교육 프로그램은 학생들이 직접 자신이 관심 있는 주제를 선정하고, 주제와 관련된 탐구를 직접 설계하고 수행한다. 이때 특징적인 부분은 데이터 수집 과정에서 DIY-MD를 활용하게 된다. DIY-MD는 학생들이 측정 장치로 인한 제약에서 벗어나 더욱 광범위한 주제를 선정할 수 있게 만들어준다. 그리고 학생들은 자신의 탐구 결과를 바탕으로 더 나은 사회를 만들기 위한 사회적 실천 활동에 나선다. 이 과정에서 학생들은 DIY-MD의 활용을 통해 자신의 관심 있는 주제를 탐구하고 또 이를 바탕으로 주체적 행위자로서 사회 변화를 위해 참여하는 능력을 기르게 된다. 환경과학행위성의 관점으로 학생 행위성의 양상과 변화를 관찰함으로써, DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램이 과학 관련 문제의 의사 결정에 참여할 수 있는 능력을 계발할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

DIY-MD는 시민들이 자신만의 측정 장치를 만들고 이를 기반으로 과학적 증거를 수집하고 자신의 주장을 형성함으로써, 보다 전문적으로 과학적인 의사 결정에 참여할 수 있도록 만들어준다. 이 연구는 새로운 기술을 실천지향 과학 교육과 접목함으로써, 학생들의 SSI에 대한 시민 참여 능력을 계발하는 교육 프로그램의 가능성을 확인하였다는 점에서 상당한 의의가 있다.

## 2. 연구 문제

과학 교육은 학생들이 오늘날을 살아가는 한 명의 시민으로서, 잠재된 위험으로부터 나와 우리 사회의 안녕을 위해 과학 관련 사회 문제에 참여할 만한 능력을 갖추도록 힘써야 한다. DIY-MD는 과학적 증거를 수집하는 장치의 역할을 수행함으로써, 학생들이 더욱 전문적으로 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있게 만들어줄 수 있다.

이 연구는 DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램의 가능성을 확인하기 위해, 먼저 학교 환경에 적합한 DIY-MD의 기술 구성을 비교 분석하였고, 이를 실제 현장에 적용하여 현장 교사들이 겪는 기술 관련 어려움을 파악하여 더욱 안정된 기술적 기반을 확보하였다. 그리고, 이를 바탕으로 DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램에서 나타나는 학생들의 행위성을 환경과학행위성이라는 관점에서 분석하였다. 이 연구의 세부 연구 문제는 다음과 같다.

**연구 문제 1:** 학생의 과학 탐구에 DIY-MD를 활용하기 위해, 어떤 기술들을 선택하는 것이 적절한가?

**연구 문제 2:** 학생의 과학 탐구에 DIY-MD를 활용할 때, 현장 교사가 겪는 기술 관련 어려움은 무엇인가?

**연구 문제 3:** DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램에서 학생들의 환경과학행위성은 어떻게 나타나고 변화하는가?

### 3. 연구의 한계점

DIY-MD를 개발하고 이를 과학 탐구에 활용하는 것은 기존 과학 교육에서 볼 수 없었던 새로운 시도라 볼 수 있다. 전문가들에 의한 기술 지원을 받으며 수행한 일부 시범적인 연구들이 진행된 바가 있으나 (Alò et al., 2020), 일반 교사가 독립적으로 이러한 탐구 수업을 진행한 경우는 없었다. 학교 현장에서 실제 지속적으로 작동이 가능한 기술이 되기 위해서는 전문가의 도움 없이도 교사가 손쉽게 이용할 수 있어야 한다. 다만 DIY-MD를 도입한 새로운 시도로 인해 아직은 여러 한계점을 지니고 있다.

먼저, 기술 설계 연구 (3장, 연구 문제 1)에서의 한계점은 다음과 같다. DIY-MD에 있어 센서는 정확한 측정을 위해 가장 중요하게 고려되어야 하는 요소이다. 하지만 측정하려는 대상에 따라 센서가 무수히 다양하여 이들에 대한 비교 및 분석을 하지 못하고, 미세먼지 센서, 이산화 탄소 센서, 온·습도 센서 각 1종에 대한 예시 사례만을 제시하였다.

현장 교사가 당면하는 기술 관련 어려움 연구 (4장, 연구 문제 2)에 대한 한계점은 다음과 같다. 이 연구는 DIY-MD를 과학 탐구 수업에 시범적으로 적용해보는 탐색적 연구였다. 새로 개발된 기술을 적용하는 과정에서 기술 관련 문제가 상당히 드러났기 때문에 이 연구에서는 기술 관련 문제에 주로 초점을 두고 논의를 하였다. 하지만 새로운 기술을 탐구 수업에 도입할 때 단순히 기술 관련 문제만 발생하는 것이 아니므로 기술 관련 문제와 더불어 학습 전반에 대한 문제를 다루는 것이 중요하다. 이 연구에서는 연구의 범위가 교사의 기술 관련 어려움에

한정되어있다는 점에서 한계가 있다.

학생의 환경과학행위성 양상 및 변화 연구 (5장, 연구 문제 3)에서의 한계점은 다음과 같다. 이 연구에서는 대학생 예비교사를 대상으로 연구를 진행하였다. 예비교사는 장차 이 프로그램을 가르치게 될 교사가 될 사람들이다. 본인이 경험해보지 못한 새로운 교육 프로그램이기 때문에, 예비교사들이 먼저 이 프로그램을 경험하고, 또 프로그램에서 요구되는 능력을 갖추는 것이 필요하다. 하지만 이 연구는 예비교사를 단순히 이 교육 프로그램의 참여자로서 연구하였을 뿐, 교사 전문성의 측면에서 접근하진 않았다. PCK (Pedagogical Content Knowledge)나 TPACK (Technical Pedagogical Content Knowledge)의 측면에서 교사의 전문성을 살펴보는 연구가 추후 진행될 필요가 있다.

DIY-MD를 도입한 과학 탐구는 이제 시작되고 있는 단계이다. 이 연구를 토대로 후속 연구들이 이 연구의 부족한 부분들을 앞으로 메워 나가길 기대한다.



## 4. 용어의 정의

### (1) 기술

국립국어원 (2021)의 표준국어대사전에서는 ‘기술(承術)’을 두 가지로 의미로 정의하고 있다. 첫 번째 의미는 영어의 ‘technology’에 해당하는 것으로 “과학 이론을 실제로 적용하여 사물을 인간 생활에 유용하도록 가공하는 수단”을 의미한다. 예를 들면, 건축 기술, 공업 기술, 무기 제조 기술 등이 이에 속한다. 두 번째는 영어의 ‘technique’에 해당하는 것으로 “사물을 잘 다루는 방법이나 능력”을 의미한다. 운전 기술, 사람 다루는 기술 등이 그 예가 될 수 있다. 이 연구에서는 양자의 의미에 대해 모두 ‘기술’이라고 공통으로 표현했다. 이 연구에서 언급되는 기술은 별다른 언급이 없으면 정보통신 기술(Information and Communication Technology)로 한정된다.

### (2) 실천

이 연구에서의 ‘실천(action)’은 Jensen (2002)의 환경에 대한 실천 역량 접근(action competence approach)에 그 뿌리를 두고 있다. 실천은 Kollmuss & Agyeman (2002)의 친환경적 행동 (pro-environmental behavior)과 일부 공통분모를 가지고 있는데, 그들은 친환경적 행동을 “자연과 세계에 대한 자신의 행동의 부정적인 영향을 최소화하고자 의식적으로 노력하는 것”이라 정의하고 있다. 하지만 이는 환경적인 문제를 해결하기 위한 개인적 차원의 실천만을 묘사하고 있다는 점에서 Jensen의 실천과는 일부 다른 차이가 있다. Jensen이

말하고자 하는 실천은 환경 문제 해결을 위한 개인적 차원의 실천뿐만 아니라 집단적, 사회적 차원의 실천을 포괄한다. 이 연구 또한, Jensen과 같은 관점에서 실천이라는 용어를 사용할 것이다.

일반적으로 ‘behavior’는 ‘행동’으로 ‘practice’는 ‘실천’으로 번역되는 경향이 뚜렷하지만, ‘action’에 대한 한국어 용어가 확립되어 있지 못하다. 학자에 따라 ‘실천’, ‘행위’, ‘행동’, ‘활동’ 등으로 다양하게 번역되고 있다. ‘행동’, ‘실천’, ‘활동’으로 번역하는 것은 기존 ‘behavior’, ‘practice’, ‘activity’와 혼동을 일으킬 소지가 있다는 문제가 있다. 하지만 ‘행위’로 번역할 경우 한국어 어휘가 가지고 있는 뜻이 영어의 ‘action’과 다소 다른 문제가 있다. 이 연구에서는 문장 내에서 한국어 어휘가 가지는 의미를 살리기 위해, ‘action’을 ‘practice’와 마찬가지로 ‘실천’으로 번역을 하였다. 다만 ‘practice’와의 차이를 드러낼 필요가 있으면 ‘실천 (practice)’과 같이 괄호 치기로 영어 어휘를 부기하였다. 또한, 이러한 관점에 맞추어 ‘activism’은 ‘실천 주의’로 표기하였다.

### (3) 행위성

사회 과학에서 ‘행위성 (agency)’이란 개인이 독립적으로 행동하고 스스로 자유로운 선택을 할 수 있는 능력을 의미한다 (Barker, 2002). 과학 교육에서 ‘agency’는 한국어로 다양하게 불리고 있다. 국내 연구의 대부분은 학문 분야와 관계없이 ‘agency’를 ‘행위성’이라고 표현하는 추세이나 (김재웅, 2018; 김현애, 2016; 정윤경, 2019; 조주현, 2005), ‘agency’를 능력 (capacity)로 보는 관점을 반영하여 (Basu, 2008; Basu & Calabrese Barton, 2010; Goulart & Roth, 2010; Siry

& Lang, 2010) ‘행위력’이라 표현하는 연구도 상당수 존재한다 (김종욱, 2021; 문현진, 2019; 신승민, 2019; 안경주, 2015; 임성은 외, 2021; 진보라 & 김은성, 2019). 이 연구에서는 ‘agency’를 ‘행위성’으로 표현하는 일반적인 추세를 따랐다.

#### (4) 참 탐구

국내외 과학과 교육과정(또는 과학 교육표준)은 학생들의 과학 탐구 능력 함양을 강조한다. 2015 개정교육과정 과학과 교육과정에서 또한, 과학 교과를 “과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 (...) 과학적 소양을 기르기 위한 교과”로 정의하고 있다. 하지만 많은 현장에서 과학 탐구를 시행하고 있고 이와 관련된 연구도 활발히 진행되고 있지만 (가석현 외, 2019), 실제 학교 교실에서 일어나는 과학 탐구가 진정한 과학 탐구의 성격을 띠고 있지 못하다는 비판이 제기되고 있다. Chinn & Malhotra (2002)는 학생들에게 주어지는 많은 탐구가 진정한 과학 추론 (authentic scientific reasoning) 속성을 반영하고 있지 못하다고 지적하면서 이러한 탐구를 ‘단순 탐구 과제 (simple inquiry tasks)’라고 명명하였고, 이와 반대되는 개념으로 진정한 과학 탐구를 ‘참 탐구 (authentic inquiry)’라고 명명하였다. 참 탐구는 실제 과학자들의 탐구가 가지고 있는 과학적 추론의 핵심 요소들을 반영하고 있다. 참 탐구는 다음과 같은 특성이 있다. (1) 학생들은 연구 문제를 직접 도출한다. (2) 연구를 설계하는 과정에서 학생들은 어떠한 변인들을 대상으로 연구를 수행할지 선택하고, 문제를 해결하기 위한 연구 절차를 고안한다. (3) 연구를 수행하는 과정에서 다양한 변인을 통제하고, 필요할 경우 추가적인 변인을 고려하거나, 선택된 변인 중 일부를 연구에서 제외한다. (4) 결과를 해석하는

과정에서, 데이터를 여러 형태로 변형해가며 의미를 찾아간다. (5) 결론을 도출하는 과정에서 다른 연구들과 비교하고, 유사점과 차이점에 대해 검토한다. 이 연구에서 언급되는 참 탐구는 Chinn & Malhotra (2002)의 관점을 따른다.



## II. 이론적 배경

### 1. 실천지향 과학 교육

과학 관련 사회 문제 (Socioscientific Issues, 이하 SSI)에 대한 일반 시민의 참여는 과학 기술이 만들어낸 불확실한 위험을 줄이고, 내가 살아가는 세계를 더욱 안전하게 만들어주는 보호대의 역할을 한다. SSI에 대한 시민 참여의 중요성이 널리 인식되면서, 다양한 형태의 시민 참여가 나타나고 있다. 1960년대 말부터 등장한 반전 운동, 급진 과학 운동, 환경 운동, 페미니즘 운동 등은 기존 과학 기술의 파괴성과 억압·착취적 성격을 비판하면서 과학 기술에서의 민주적 통제를 주장하기 시작했고, 1990년대 중반부터는 지구적 환경 위기, 광우병 (BSE) 논란, 유전자 조작 식품 (GMO) 반대 운동 등 사회 대중적인 논쟁이 본격화되었다 (Nelkin, 1977). 우리나라에서는 2008년 미국산 쇠고기 수입과 관련된 광우병 집회가 전국적으로 열렸고, 광우병 쇠고기의 유해성에 관한 논쟁이 사회의 중심에 떠올랐다. 최근에는 문재인 정부에서 신고리 원전 5, 6호기의 건설 재개·중단에 대한 문제를 공론화 과정을 통해 결정하였다.

SSI에 대한 시민 참여의 강조가 과학에 대한 지나친 신뢰와 권위에 대한 반작용에서 비롯되었기 때문에, 많은 연구가 과학적 지식이 가지는 한계를 이야기하고 있다. 김동광 외 (2011)는 위험을 평가하면서 과학적 증거를 의사 결정에 사용하는 것이 3가지 측면에서 문제를 안고 있다고 주장한다. 첫째, ‘증립적’이라고 여겨지는 과학적 증거가 실제로는 정치적이고 규범적인 가정들에

의존하고 있다는 것이다. 위험 사회학 연구들은 전문가의 평가 또한, 일반인들만큼 도덕적·정치적 개념을 함축하고 있다고 보고 있다 (김민정, 2005). 둘째, 기술 관료제 사회에서 과학 지식의 권위를 지나치게 이용함으로써 지식으로써의 권위가 점점 상실되고 있다. 기술 관료제에서 사회정치적 문제들의 해결에 과학 지식을 이용하지만, 그러한 문제들은 실상 과학과 별 상관이 없다. 셋째, 사실이 불확실하고 가치와 이해관계가 복잡하게 충돌하는 오늘날에는 기꺼이 이용할 과학적 증거가 없다. 또한, Irwin (2002)은 시민들이 지역 사회의 환경 문제에 대해 해당 지역을 오랫동안 살아온 지역 사회 전문가이기 때문에 과학 전문가와 함께 의사 결정에 참여할 동등한 지위를 가지고 있다고 주장하면서 시민이 가지고 있는 전문성을 과학 기술 전문가의 전문성과 동일 선상에 놓았다.

과학 기술만능주의가 오늘날 많은 불확실한 위험을 양산했고, 그것이 우리의 삶을 잠재적으로 위협하고 있다는 것은 부인할 수 없는 사실이다 (Leiss, 1996). 하지만 이는 SSI을 다룸에 있어 ‘과학적 증거’에 절대적 지위를 부여하고 여타 다른 요소를 의사 결정에서 중요하게 다루지 않은 것이 문제의 근원인 것이지, ‘과학적 증거’가 의사 결정에 반영되는 것 자체에 대한 문제는 아니다. SSI 자체를 이해하는데 있어 과학적 지식은 필수적이며, 과학적 증거의 한계성을 인식하는 데도 과학적 지식이 필수적이다. 또한, SSI에 대한 시민 참여가 늘어나고는 있지만 이에 대한 우려도 존재한다. 특히 자주 거론되는 것이 시민들의 전문성 문제이다. 과학에 대한 전문성을 가지고 있지 않은 일반 시민들이 과학 관련 사회 문제의 중요한 의사 결정에 참여하는 것에 대한 대중들의 우려는 상당하다 (이건혁 외, 2017; 장현주, 2020).

SSI에 있어 과학적 지식과 시민 참여는 어느 하나도 빠지면 안 되는 중요한 요소이다. 따라서 학생들이 과학적 지식을 기반으로 과학 관련 사회 문제에 한 명의 시민으로서 참여할 수 있는 능력을 길러주는 것이 과학 교육이 해야 할 중요한 역할 중 하나이다.

성공적인 교육은 교사가 학습 목표를 명확하게 하고 성공 가능성을 최대화하기 위해 적합한 교수 접근을 취하는 것에 달려있다 (Hodson, 2014a). 토론토 대학의 명예교수인 Derek Hodson (2014a)은 과학 교육의 목표를 크게 4가지로 범주화하였다.

1. **과학 학습 (Learning Science)** — 개념 및 이론 지식을 습득하고 개발
2. **과학에 대한 학습 (Learning about Science)** — 과학 탐구의 특성, 그것이 생성하는 지식의 역할과 상태, 중요한 과학 이론의 기원과 발전을 둘러싼 사회적, 지적 상황, 과학계가 전문가를 확립하고 모니터링하는 방식에 대한 이해를 개발. 과학적 주장을 알리고, 방어하고, 자세히 조사 및 검증하는 언어 관습에 대한 지식. 과학, 기술, 사회 및 환경 간의 복잡한 상호작용에 대한 인식.
3. **과학의 수행 (Doing Science)** — 과학 탐구 및 문제 해결에 참여하고 전문성을 개발
4. **과학 관련 사회 문제 해결 (Addressing socioscientific issues)** — 개인적, 사회적, 경제적, 환경적, 도덕적, 윤리적 측면에서 SSI 대응을 위해 중요한 기술 (skill)을 개발



첫 번째부터 세 번째까지의 목표와 관련해서는 그간 많은 과학 교육 연구가 수행되었고, 현장에서의 많은 실행이 이루어졌다. 학생의 과학적 개념 및 이론 지식의 습득을 연구하기 위한 학생의 개념 변화 연구 (Driver & Scanlon, 1989; Posner et al., 1982), 학생의 NOS (Nature of Science)에 관한 연구 (Lederman, 1992; Lederman et al., 2002; McComas et al., 1998), 과학 탐구에 관한 연구 (Flick & Lederman, 2004; Hanauer et al., 2006; Lederman, 1992; Longino, 1990) 등이 이루어졌다. 하지만 기존 교육에서 다루진 과학적 지식의 습득이나 과학의 본성에 대한 이해, 과학적 탐구 능력만으로는 학생들이 최근 대두되는 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있을 만한 충분한 역량을 제공해 주지 못했다. 과학 관련 사회 문제에 참여하는 것은 그 이상을 필요로 한다. 단순히 과학의 영역에 국한된 능력뿐만 아니라, 기꺼이 실천하려는 마음 (Almers, 2013; Breiting & Mogensen, 1999; Lundegård & Wickman, 2007), 실천을 위해 전략을 구성하고 자원을 활용할 수 있는 능력 (Hedefalk et al., 2014; Jensen, 2002; Jensen & Schnack, 1997; Uzzell, 1999), 문제에 대한 반성과 성찰 (Bishop & Scott, 1998; Breiting & Mogensen, 1999), 나의 문제라는 주인 인식 (Almers, 2013; Breiting, 2008; Jensen, 2004; Lundegård & Wickman, 2007) 등이 동반되어야 한다. 따라서 최근의 과학 교육에서는 과학 관련 사회 문제에 대응하기 위한 기술 (skill)을 개발하는 네 번째 목표가 중시되고 있다 (Hodson, 2014b).

실천지향 과학 교육이란 단순히 학생을 미래 사회를 구성할 시민이 아니라, 오늘날을 살아가는 시민으로서 한 명의 주체적 행위자로 바라보고 (Alsop & Bencze, 2014), 이들을 해박하고 힘이 있는 (informed and empowered) 시민이 되어

사회의 긍정적 변화를 위해 실천할 수 있는 능력을 길러주고자 하는 교육을 의미한다 (Chawla & Cushing, 2007; Schusler et al., 2009). 학생은 오늘을 살아가는 시민으로서 시민 사회의 민주적 의사 결정에 참여할 권리를 지니고 있으므로 (Alsop & Bencze, 2014), 단순히 교육적 맥락에서 과학 관련 사회 문제에 참여하는 것이 아니라 실제적 맥락에서 실천(action)해야 한다.

실천지향 과학 교육의 대표적 사례로는 캐나다의 STEPWISE를 꼽을 수 있다. STEPWISE는 ‘Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments (개인, 사회 및 환경의 웰빙을 촉진하는 과학 및 기술 교육)’의 약자로, 신자유주의 및 자본주의 (capitalism)로 인해 나타난 과학 기술의 불합리성을 다양한 시각에서 분석하고, 사회적 정의 실현을 위해 학생들이 실천 (action)할 수 있는 역량을 길러주는 교육 프로그램이다 (Bencze, 2017). 이 프로그램에서 학생은 자신이 관심 있는 특정 문제와 관련된 과학 연구를 수행하고, 이를 바탕으로 더 나은 사회를 만들기 위한 행동을 실천한다. 이 프로그램은 크게 2가지 단계로 이루어져 있다. 첫 번째 단계는 RiNA 견습과정 (RiNA Apprenticeships)이다. RiNA는 ‘Research-informed & Negotiated Action’의 약자로, 학생들은 이 과정에서 교사의 도움을 받아 과학 연구를 수행하고 그 결과를 바탕으로 동료와의 협의 과정을 거쳐 행동에 이르게 된다. 이 과정을 통해 학생들은 독립적인 RiNA 수행을 위한 전문성을 계발하게 된다. 다음 단계는 학생의 RiNA 프로젝트 (Students’ RiNA Projects)이다. 이 과정에서는 교사의 도움 없이 학생이 RiNA를 수행함으로써 독립적인 행위자의 지위를 갖게 된다 (Bencze, 2017).

## 2. 행위성

### (1) 구조와 행위성

사회 구조가 개인의 행동을 결정하는가? 아니면 개인의 행동이 모여 사회의 구조를 형성하는가? 사회 과학 영역에서 구조와 행위성은 해묵은 논쟁 중 하나이다 (Dessler, 1989). 행위성 (agency)은 개인이 독립적으로 행동하고 스스로 자유로운 선택을 할 수 있는 능력을 의미하며, 구조 (structure)는 일반적으로 조직이 구성된 틀과 유형을 가리킨다. 구조는 인간의 행동을 제한하기도 하고, 일정한 방향을 제시하기도 한다. 구조와 행위성을 바라보는 관점은 크게 3가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 구조주의적 입장이다. 이는 구조에 의해 행위가 결정된다고 생각하는 관점으로, 사회 행위자의 행위성은 이 구조가 작동하는 것으로 설명할 수 있다 (McLean, 2017). 이러한 관점은 행위자를 단순히 주위 환경으로부터 영향만을 받는 수동적 존재로 여기게 되어, 행위자가 구조에 미치는 영향을 간과하게 만든다.

두 번째는 사회 현상학적 입장이다. 이는 개인이 제도보다 더 영향력 있다고 보기 때문에, 자신의 세계를 건설하고 재구성하는 개별 행위자 (agent)의 능력을 강조한다 (Fadul & Estoque, 2011, p. 53). 교육 연구에서는 이러한 관점이 학생과 교사의 주체적 역할에 주목한다는 점에서 의미가 있으나, 학생과 교사 또한, 사회 구조 속에 속해 있고 다양한 제도 속에서 그 행위가 제한된다는 상황을 고려해볼 때 이 또한, 한계가 있다.

세 번째는 절충적인 입장으로 개인과 사회의 상호작용을 강조한다. 즉, 구조는 행위성에 영향을 미치며, 반대로 행위성 또한, 구조를 변화시킨다. 대표적인

학자로는 Giddens (1986)가 있는데, 그는 구조화 이론 (Structure Theory)을 통해 사회는 개인의 자발적인 행위로만 이루어지는 것이 아니며, 또한, 인간의 사회적 행동도 사회 구조의 힘에 의해서만 좌우되는 것이 아니라 주장함으로써 행위자로서 인간과 사회 구조는 서로 일정한 관계를 유지한다고 강조하였다 (Archer, 1982). 사회 구조는 개인의 행동으로 만들어지는 것이며, 사회 구조는 재생산에 반복적으로 영향을 미치는 규칙과 자원으로써 대물림 적 성격을 띠고 있다고 주장했다.

## (2) 과학 교육에서의 행위성

과학 교육 분야에서 또한, 행위성에 관한 관심이 증가하고 있다 (Arnold & Clarke, 2014) 교사와 학생은 교육에 있어서 가장 주요한 행위자이며, 이들의 행위는 학교나 사회의 구조 변화에 영향을 미치고 있다 (Calabrese Barton & Tan, 2010). 행위성의 관점은 교육학 연구에서 연구자들이 현상을 바라봄에 있어 연구자들의 시야를 더욱 넓혀주었다. 그간의 연구는 학생을 수동적인 존재로 여겨왔다. 구성주의 관점이 보편화 됨에 따라 학습이라는 측면에서는 학생이 자신의 지식을 능동적으로 구성하는 주체란 인식이 널리 받아들여지고 있지만, 여전히 학생은 학교에서 교육을 받는 위치에 있을 뿐 학교 구조나 사회 구조를 변화시키는 능동적 행위자로 여겨지지 못해왔다. 하지만 행위성의 관점으로 학생을 바라보게 되면서 학생은 단순히 학교 문화와 규범에 적응해야 하는 수동적 존재가 아니라, 학교 문화와 규범을 능동적으로 재생산하기도 하고, 또 변화시키기도 하는 능동적 존재로 보이게 된다.

과학 교육에서의 행위성 연구는 다양하게 이루어져 왔다. Biddulph (2011)은 ‘Young Peoples’ Geographies (YGP)’라는 교육과정개발프로젝트에서 학생들의 목소리를 수렴하는 과정에서 나타나는 학생들의 ‘교육과정 행위성 (curriculum agency)’을 연구하였다. 학생들은 YGP에서 자신의 목소리와 상식을 학교의 한 부분인 교육과정에 영향을 미치기 위해 발휘하는 데 연구자는 이를 교육과정 행위성이라 칭했다. Edward (2005)는 ‘관계 행위성 (relational agency)’에 관한 문헌 연구를 수행하였다. 관계 행위성이란 다른 사람들이 대상을 해석하고 반응할 때 다른 사람들이 가져오는 자원을 인식하고 접근함으로써 자신이 작업하고 있는 대상을 확장하고 변형을 시도하기 위해 다른 사람들과 협력할 수 있는 능력을 말한다. 또한, Basu et al. (2009), Calabrese Barton & Tan (2010), Schenkel & Calabrese Barton (2020)은 과학 행위성 중 사회 부정의에 대항하는 행위에 주목한 ‘비판적 과학 행위성’을 연구하였다.

### (3) 비판적 과학 행위성

과학 행위성 (science agency)은 과학적 지식과 실천 (practice)을 행위 (action)로 끌어내는 능력을 말한다 (Schenkel & Calabrese Barton, 2020). 이러한 과학 행위성에 ‘비판적 (critical)’이란 이름을 붙인 것은, 과학 행위성에 ‘정의(justice)’라는 개념을 확장하는 데 행위성을 연결 짓기 위한 연구자들의 정치적 관점을 명시적으로 드러낸 것이다 (Schenkel & Calabrese Barton, 2020). 이러한 관점에 따라 비판적 과학 행위성 (Critical Science Agency, CSA)은 단순히 과학적인 내용 지식, 실천 지식을 습득하는 것을 넘어서, 사회적 부정의를 다룰 줄

아는 또 다른 형태의 전문 지식을 요구한다 (Schenkel et al., 2019). 또한, CSA는 세계가 어떠해야 한다고 (what it could be) 배우는 기존의 과학적 소양의 관점을 넘어서, 학생들이 세계에 직접 참여하고 변화를 일으킬 수 있게 만든다.

CSA 관점의 교육은 학교 안에서 피지배계층으로써 부정의에 맞서지 못하고 순응해야 했던 학생들을, 과학이라는 학문을 이용하여 부정의에 맞섬으로써 자신이 속한 학교와 지역 사회를 변화시킬 수 있는 행위자가 될 수 있게 만들어준다. Calabrese Barton (1997)에 따르면, 해방적 과학 교육 (liberatory science education)에서는 학생이 주변인에 머무는 기존 학교 과학 교육과는 달리 학생이 과학을 알고 수행하는 중심이 된다고 설명하였는데, 이러한 맥락에서 CSA 관점의 과학 교육을 해방적 과학 교육으로도 볼 수 있다.

#### **(4) 환경과학행위성**

환경과학행위성 (environmental science agency, ESA)은 Basu & Calabrese Barton (2009, 2010)의 비판적 과학 행위성을 환경 보존과 환경과학의 맥락에 맞추어 변용한 것으로, 환경과학 영역에서 행위자가 주변 세계에 영향을 미칠 수 있는 능력을 의미한다. 예를 들면, 지역 사회에서 시민 과학 프로그램에 참여한 학생은 환경과학 분야의 탐구 능력을 계발하고, 이를 이용하여 탐구를 수행하고, 그들 자신이 환경을 보존하는 데 유능함을 가지고 있다고 봄으로써 ESA을 발휘하게 된다 (Ballard et al., 2017). ESA을 발휘하는 합법적 (legitimate) 행위자가 되기 위해서는 단순히 환경 관련 문제들을 이해하고 문제 해결을 위해 필요한

도구를 다루는 법을 익히는 것 뿐만 아니라, 환경 문제와 관련된 공동체의 가치, 목표, 규범에 뜻을 함께하는 것을 포함한다 (Lave & Wenger, 1991).

학생들의 ESA 발달을 지향하는 교육은 학생들이 삶의 주체로써 자신이 속한 공동체를 긍정적으로 변화시키는 데 이바지할 수 있는 행위자가 되도록 지원한다. 이러한 변화는 다른 이들의 행위성과 결합하고 집단적 행위성을 형성하여, 더 큰 차원의 변화를 만들어낼 것이다. 구체적으로 ESA가 어떤 구성 요소로 이루어져 있는지는 이미 여러 연구가 이루어졌다. Ballard et al. (2017)은 Basu & Calabrese Barton (2009)의 비판적 과학 행위성 연구를 기초로 CSA의 하위 구성 요소를 다음과 같은 3가지로 도출하였다 (그림 1).

- **환경과학 내용 지식과 이와 관련된 탐구 과정, 기술, 방식을 이해하기 :**  
행위자가 어떤 개념, 관행, 인식론을 받아들이는가?
- **환경과학과 관련하여 자신이 가지고 있는 전문 영역을 발전하기 :**  
환경과학 분야나 프로젝트 안에서 자신의 역할을 어떻게 발전시키는가?  
행위자들은 어떻게 전문성을 갖게 되는가? 프로젝트 작업과 참여 과정에서 자신이 자신을 어떻게 위치 짓는가? 다른 사람들이 그들을 어떻게 위치 짓는가?
- **환경과학에 대한 전문성과 참여를 변화의 토대로 삼기 :** 프로젝트의 작업을 넘어서서 자신의 위치나 정체성이 어떻게 변화하는가? 과학의 관점과 도구를 새로운 방식으로 이해하는가? 개인적인 야망과 목표를 새로운 방식으로 공식화하는가? 지속 가능한 방식으로 미래 세계를 바라보고 이에 필요한 조치를 하는가?

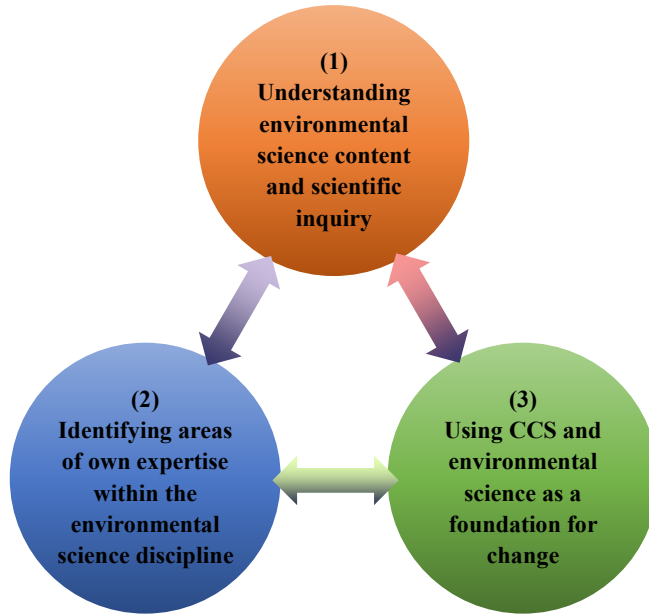


그림 1 환경과학행위성의 3가지 구성 요소

(Ballard et al., 2017)



### 3. 사물 인터넷과 과학 교육

#### (1) 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷

피지컬 컴퓨팅이란 “주변 세계를 감지하고 이에 반응할 수 있는 상호작용 시스템”으로 (Hodges et al., 2020; Prabakar, 2016), 제한된 입출력 장치만을 이용하는 일반적인 컴퓨팅과 달리 다양한 센서와 액추에이터 (actuator)를 통해 물리적 세계와 상호작용할 수 있다. PC에서는 마우스나 키보드 등 입력장치를 통해 사용자로부터 데이터를 받고, 컴퓨터 내에서 연산한 다음, 모니터나 프린터 등 출력장치를 통해 사용자에게 정보를 내보낸다. 반면 피지컬 컴퓨팅 장치는 온도, 습도, 압력, 접촉, 빛, pH, 기체 농도, 가속도, 자기장 등 다양한 센서로 데이터를 받고, 마이크로컴퓨터 내에서 연산한 다음, 모터, LED, 스피커 등 다양한 액추에이터로 정보를 내보낸다. PC는 사용자와 주로 상호작용을 한다면, 피지컬 컴퓨팅에서의 장치는 사용자뿐만 아니라 다양한 물리 세계와 상호작용한다.

피지컬 컴퓨팅을 구현할 때 적절한 개발 보드의 선택은 매우 중요하다. 개발 보드의 목적은 특정 마이크로프로세서에 대한 프로그래밍을 학습하기 위해 이용되며, 또한, 해당 마이크로프로세서를 이용하는 장치의 프로토타입을 만드는 데 이용된다. 개발 보드의 종류는 매우 다양하므로 각각의 장단점을 비교해보고 자신에게 적합한 개발 보드를 선택할 필요가 있다. 학교 현장에서 대표적으로 많이 쓰이는 개발 보드로는 아두이노 (Arduino)와 라즈베리파이(Raspberry Pi), 마이크로비트 (micro:bit)가 있다.

아두이노는 피지컬 컴퓨팅을 구현할 수 있는 개발 보드, 개발 도구를 모두

포함하는 오픈 소스 플랫폼이다. 기존에 피지컬 컴퓨팅 쓰이던 개발 보드와 개발 도구들은 전문적인 하드웨어 지식과 프로그래밍 능력이 있어야 장치를 만들 수 있었다. 하지만 아두이노는 비전문가들도 누구나 쉽게 기기를 만들 수 있도록 설계되었기 때문에, 피지컬 컴퓨팅 장치 제작에 대한 문턱이 대폭 낮아졌다. 아두이노는 오픈 소스이기 때문에 설계도가 모두 공개되어 있으므로 라이선스 비용이 발생하지 않다 보니, 아두이노 클론 보드가 매우 저렴한 가격으로 여러 회사에 의해 생산되고 있다. 아두이노에 속하는 개발 보드는 매우 다양하다. Arduino UNO, Arduino Mega, Arduino Nano, Arduino Leonardo, Arduino Due 등이 있다. 각 보드별로 연산 능력이나 플래시 메모리 용량의 차이가 있다. 이들 중 가장 저렴한 것은 Arduino UNO로 산업 현장과 교육 현장에서 가장 많이 이용되고 있다.

마이크로비트는 아두이노와 달리 교육용에 특화된 개발 보드이다. 마이크로소프트는 마이크로비트에 특화된 개발 도구인 JavaScript 기반의 Microsoft MakeCode를 개발하였다. 교육용으로 개발되었기에 범용성이 떨어지는 측면이 있지만, mBlock 보다 안정성이 높다는 평가를 받는다. MakeCode는 마이크로비트뿐만 아니라 LEGO® MINDSTORMS® Education EV3, Circuit Playground Express, Cue, Arcade, Minecraft, Chibi Chip 등의 개발 보드도 사용될 수 있다. 마이크로비트가 MakeCode에서만 개발이 가능한 것이 아니다. C/C++ 기반의 Arduino IDE에서도 보드 매니저를 통해 nRF5를 추가함으로써 이용이 가능하다. 또한, Python 프로그래밍이 가능한 IDE에서도 microbit 패키지를 설치함으로써 이용할 수 있다.

사물 인터넷은 광범위하게 사용되고 있는 용어지만 사용하는 사람마다 다소

다르게 정의하고 있다. Wikipedia에는 사물 인터넷을 데이터를 교환할 목적으로 인터넷을 연결한 센서, 소프트웨어, 기타 기술 (테크놀로지)를 탑재한 사물, 또는 그 네트워크라고 정의하고 있는데 (Hendricks, 2015; “Internet of Things,” 2021; Rouse, 2020), 이는 보편적 시각에서의 사물 인터넷 정의라 볼 수 있다. 전문적인 시각으로는 국제전기통신연합 (ITU)의 정의가 있다. ITU의 전기통신 표준화 부문인 ITU-T는 2012년 사물 인터넷에 대한 최초의 국제 표준인 Y.2060을 제정한 바가 있는데, 여기에서는 사물 인터넷을 ‘ICT를 기반으로 다양한 물리적인 실체가 있는 사물이나 가상의 사물을 연결하여 더욱 진보된 서비스를 제공하는 글로벌 서비스 인프라’로 정의하고 있다 (ITU-T, 2012). 이러한 정의들을 보면, 사물 인터넷은 인터넷에 연결되어 정보를 주고받는 ‘사물’과, 이들을 연결하는 네트워크를 모두 포함한다고 볼 수 있다.

과학 탐구의 데이터 수집 과정에서 피지컬 컴퓨팅에 사물 인터넷을 도입하면 측정 도구로 인한 한계를 더욱 뛰어넘을 수 있다. 아두이노에 와이파이나 셀룰러 모듈 (ex., LTE 모듈) 연결하면, 측정된 데이터를 인터넷망으로 전송할 수 있다. 이렇게 전송된 데이터는 사물 인터넷 플랫폼으로 전달되어 축적된다 (그림 2). 이는 단순히 데이터를 안전하게 저장하는 저장고 역할에 그치는 것이 아니라, 학생들이 데이터를 수집하고, 분석하는 데 있어 다음과 같이 여러 이점을 제공한다 (Ga et al., 2021).

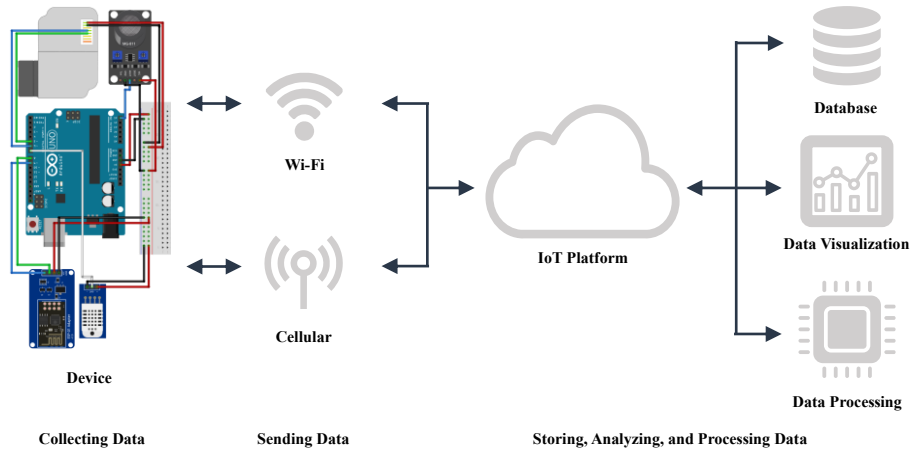


그림 2 피지컬 컴퓨팅에 사물 인터넷을 도입한 사례

첫째, 다양한 대상 (target)을 측정할 수 있게 된다. 학교 과학실에 모든 종류의 측정 장치를 갖추는 것은 비용적인 문제와 공간적인 제약으로 불가능하다. 하지만 DIY-MD를 이용하면, 센서를 추가하는 것만으로 다양한 대상을 측정하는 것이 가능해진다. DIY-MD에 사용되는 센서들은 일반적인 제품 제작에 사용되는 센서들이기 때문에 저렴한 가격에 구매가 가능하다. DIY-MD를 통해 측정할 수 있는 대상이 다양해짐으로써, 학생들이 수행할 수 있는 탐구는 더욱 폭넓어진다.

둘째, 데이터를 분석하고 가시화하는 과정이 간편해진다. 기존의 탐구에서는 측정된 데이터들을 스프레드시트를 사용하여 표로 정리하고, 이를 이용하여 그래프로 가시화하였다. 하지만 사물 인터넷 플랫폼은 Chart, Gauge, Table, Map 등 수집된 특성에 맞게 다양한 형태로 데이터를 가시화할 수 있는 기능을 탑재하고 있어서, 스프레드시트 없이도 데이터를 다루는 것이 가능하다.

셋째, 공간과 시간의 제약 없이 관측할 수 있다. 아두이노는 전력 소모가 적기 때문에 셀룰러 모듈을 장착하더라도 휴대전화용 보조배터리만으로 하루 넘게 기기

사용이 가능하다. 따라서 학생들은 자신이 만든 기기를 들고 다니면서 언제 어디서든 측정을 하는 것이 가능하다. 예를 들면, 공장 주변에 자신의 기기를 설치해서, 일주일간의 미세먼지 변화를 측정할 수도 있다. 그리고 그 측정 과정에서 학생은 사물 인터넷 플랫폼에 접속해서 실시간으로 측정 상황을 확인할 수 있다.

넷째, 원격 관측이 가능해진다. 기존의 도구들은 사용자가 직접 기기를 조작하여 측정을 하므로 측정 과정 동안 사람이 함께 있어야 했다. 하지만 사물 인터넷을 이용한 아두이노 기기는 사용자 없이도 스스로 데이터를 수집하여 사물 인터넷 플랫폼으로 전송한다. 따라서 한번 설치를 해두면 지속해서 데이터를 수집하여 플랫폼으로 보내기 때문에, 멀리 있는 학생들도 플랫폼에 접속하여 해당 기기에서 측정된 데이터를 확인할 수 있다.

다섯째, 여러 학생이 동시에 데이터에 접근할 수 있다. 과학 탐구는 소그룹 활동으로 이뤄지는 경우가 많다. 이러한 그룹 활동에서 성적이 우수하거나 기술 활용 능력이 뛰어난 학생이 전반적인 활동을 주도하는 현상은 쉽게 관찰된다. 사물 인터넷 플랫폼은 동시에 여러 학생이 데이터에 접근할 수 있어서, 데이터를 함께 공동으로 분석할 수가 있다. 동등한 데이터 접근은 일부 학생에게 탐구가 편중되는 것을 완화할 수 있다.

이러한 여러 장점 때문에 학교 과학 탐구에 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 활용하여 만든 측정기기를 이용하는 것은 과학 탐구에 있어 측정 기기의 한계로 탐구가 제한되는 문제를 해소하고, 학생이 더욱 자유롭게 참 탐구를 할 수 있도록 지원한다.

## (2) 사물 인터넷을 이용한 과학 탐구

아두이노를 이용하면 저렴한 가격에 기존 과학실에서 보유하고 있지 못한 측정기들을 대체할 수 있는, 사용자의 입맛에 맞게 설계된 측정 장치를 개발할 수 있다. 아두이노에 각종 센서를 연결하고, 아두이노 보드에 자신이 코딩한 소프트웨어를 업로드 하는 것만으로 과학 탐구에 필요한 측정기가 완성된다. 아두이노는 본래 C언어 계열의 Arduino C라는 프로그래밍언어로 텍스트 코딩을 해야 하지만, mBlock과 같은 피지컬 컴퓨팅을 지원하는 블록 코딩 도구들이 등장하면서 (그림 3), 텍스트 코딩을 몰라도 블록 코딩만으로 아두이노에 탑재할 소프트웨어를 쉽게 개발할 수 있게 되었다. 정규교육과정 내 컴퓨팅 교육이 강화되면서 2015개정교육과정부터 엔트리나 스크래치 등을 통한 블록 코딩이 초등학교 정규 교육과정에 포함되었기 때문에, 대부분 학생은 블록 코딩에 대한

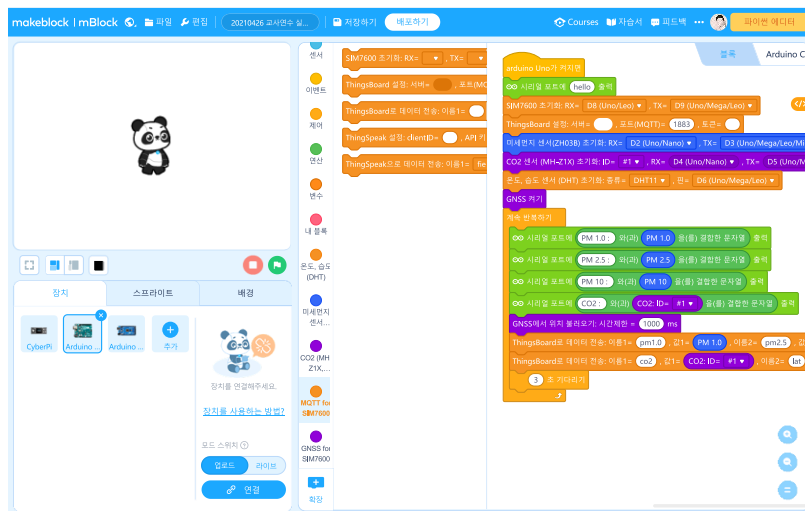


그림 3 아두이노 블록 코딩이 가능한 mBlock 5 실행 화면

경험이 있다.

아두이노에 사용되는 대부분 센서는 매우 저렴한 가격에 판매되고 있다. 아두이노에 다양한 센서들을 연결하여 하드웨어를 구성하고 (그림 4), 블록 코딩으로 개발한 소프트웨어를 기기에 탑재함으로써 학생들은 손쉽게 과학 탐구에 필요한 측정 장치를 만들어낼 수 있다.



그림 4 과학 탐구에 유용하게 쓰일 수 있는 센서

아두이노에 센서를 부착하여 과학 탐구를 수행하고자 하는 시도들이 있었는데, 특히 화학교육 분야에서 이러한 시도가 두드러진다. Kubínová & Šlégr (2015)는 수업이나 실험 활동의 화학 측정에 아두이노를 도입하면서 ChemDuino라는 이름을 붙였다<sup>2</sup>. 이 보고서에서는 아두이노를 이용하여 온도, pH, 압력을 측정하는 사례가 담겨있는데, 화학 측정에서의 아두이노 활용 가능성을 보여주었다는

<sup>2</sup> ChemDuino는 별도의 개발 플랫폼이 아니라, Arduino를 이용한 화학 측정 활동 자체에 붙인 이름이다.

점에서 의의가 있다. Kuan et al. (2016)은 물리 전공 학생을 대상으로 아두이노와 LabVIEW를 이용하여 간단한 로봇을 움직여 보는 교육 프로그램을 개발했다. Walkowiak & Nehring (2016)은 ChemDuino에서 발생하는 데이터를 컴퓨터에 체계적으로 수집하는 것이 어렵다는 점을 해결하기 위해, Microsoft Office에 추가 기능으로 부착할 수 있는 PLX-DAQ를 이용하였다. PLX-DAQ는 아두이노 장치에서 시리얼 통신 통해 컴퓨터로 전송되는 데이터를 Microsoft Excel이나 PowerPoint에 체계적으로 저장될 수 있게 도와주는 도구이다. Pino et al. (2019)는 이산화 탄소 센서를 아두이노에 장착하여 식물의 광합성 과정에서의 이산화 탄소 농도 변화를 관찰하는 실험을 수행한 예시를 통해, 이산화 탄소 측정 또한, 아두이노에 이용하는 것이 가능하다는 것을 보여주었다. Alò et al. (2020)는 더 나아가 칠레의 공립학교 교육 현장에 7학년 학생을 대상으로 아두이노를 과학 탐구 활동에 도입하였다. 학생들은 지구온난화, 대기 오염, 소음 공해, 재생 가능한 에너지 등의 주제를 탐구하기 위해 유해가스 센서 (MQ135), 온습도 센서 (DHT11), 소리 센서 (KY038), 습도 센서 등을 이용하였다. 학생들의 사전/사후 설문에서는 양적으로 뚜렷한 차이가 나타나지 않았지만, 개방형 질문에 대한 답변 분석을 통해 새로운 기술 도입 시 학생들의 상당한 호기심과 열정을 보였다는 것을 알 수 있었다.

지금까지 이루어진 선행 연구들은 주로 기술적으로 아두이노를 과학 실험에 도입할 가능성을 보여주거나, 사전에 계획된 실험 설계에 학생들이 따라 하는 활동에서 아두이노를 도입한 사례로, 과학 탐구에 아두이노를 도입하려는 탐색적 성격을 띠는 연구가 많았다.



## 4. 기술 도입 과정에서의 어려움

그간 정책적으로 교육 환경에 ICT를 도입하기 위해 많은 노력이 있었다. 하지만 새로운 ICT 기술을 교육에 적용하는 것은 번번이 실패해왔고, 세상의 변화만큼 학교는 변화하지 못했다 (Jimoyiannis, 2010). 교사는 학생들의 ICT 지식 및 기술 개발에 대해 긍정적이며 ICT에 대해 배우려는 큰 관심과 동기가 있다. 하지만 교육에 ICT를 도입하는 것에 대해서는 그 중요성을 인식하고 있지만, 교실에서의 광범위한 적용에 대해서는 다소 덜 긍정적이고, 또 이것을 통한 교육의 개선 가능성에 대해서는 훨씬 덜 긍정적이다 (Jimoyiannis & Komis, 2006; Russell et al., 2003). 또한, 교사들은 교육에서의 ICT 사용을 추가로 수행해야 하는 보조적 요소로 보고 있을 뿐, 교육에서 핵심적으로 활용되어야 하는 요소로 생각하고 있지 않았다 (Jimoyiannis & Komis, 2006). 학교에서 교사들의 컴퓨터 사용은 증가했지만, 대부분 교사는 수업 준비 과정에서의 정보 검색이나 수업자료 제작, 학교 행정업무 처리에 ICT를 사용하고 있을 뿐, 수업에서 학생들을 지원하기 위한 도구로서는 잘 사용하지 않았다 (Abbott, 2003; Alabdulaziz & Higgins, 2016; Russell et al., 2003).

ICT 기술을 학교에 통합시키기 위해서는, 그동안 ICT 통합이 실패했던 원인에 대한 이해가 선행되어야 한다. 이미 많은 연구자는 ICT를 교육에 통합시키는 과정에서 나타나는 어려움에 관해 관심을 가져왔다. Pelgrum (2001)은 24개국 중학교의 교장과 교내 담당자를 대상으로 컴퓨터와 관련된 목표를 현실화 (realization)하는 데 장애를 주는 요인들을 조사하였고, 이를 물질적 요소와 비물질적 요소로 나누었다. 물질적 요소로는 불충분한 컴퓨터나 소프트웨어 카피

수, 비물질적 요소로는 교사의 ICT 지식이나 기술의 부족, 교수 활동에 ICT를 통합시키는 것에 대한 어려움, 불충분한 수업 시간 등을 꼽았다. Becta (2004)는 문헌 연구를 통해 교사의 자신감 부족 (Larner & Timberlake, 1995), 교사의 역량 부족 (Kirkwood et al., 2000), 자원에 대한 접근성 부족 (Mumtaz, 2000), 시간 부족 (Cox et al., 2000; Cuban et al., 2001; Fabry & Higgs, 1997), 기술 관련 문제 (Bradley & Russell, 1997; Cuban et al., 2001), 변화에 대한 저항 (Albaugh, 1997), 도움이 되지 않는다는 생각 (Snoeyink & Ertmer, 2001), 학생들의 시험 준비 (Harrison et al., 2002) 등이 ICT 통합에 어려움을 주는 요인으로 발견하였다.

선행 연구에서 보여준 장벽의 상당수는 기술적인 요소와 밀접한 관련이 있다. 수업 시간 (teaching sessions)에 기술 문제가 발생한 경험은, 교사들의 ICT 사용에 대한 자신감을 떨어뜨리고 미래의 수업에서 ICT 사용을 꺼리게 만든다 (Bradley & Russell, 1997). 기술 사용에 어려움을 겪은 교사들은 자신의 역량 부족을 탓하기도 하지만, 기술 자체가 정말 교육에 효과적인가에 대한 의문을 갖게 하고 (Snoeyink & Ertmer, 2001) 기술을 교육에 도입하려는 변화에 대한 저항으로 나타난다 (Albaugh, 1997). 이와 같은 연구들을 보면 ICT 통합에서 장벽의 중심에는 기술과 관련된 문제가 놓여있다고 볼 수 있다 (Sicilia, 2006). 따라서 ICT 기술이 교실과 잘 통합되기 위해서는, 교사들이 겪는 기술 문제를 깊게 살펴보고, 이에 대한 적절한 지원을 교사들에게 제공하는 것이 중요하다 (Becta, 2004; Eastwood et al., 2012; Korte & Hüsing, 2007; Pelgrum, 2001).



### III. 기술 구성<sup>3</sup>

#### 1. 배경

급격한 기술 발전으로, 우리들의 삶은 기술과 떨어질 수 없는 가까운 거리에 놓이게 되었고 기술 없이 살아갈 수 없게 되었다. 이에 따라 기술에 관한 일반인들의 관심은 증대되고 있으며, 그에 맞추어 기술 또한, 일반인들이 접근하기 쉬운 형태로 변화하고 있다. 일반인들의 기술에 대한 관심과 기술에 대한 접근성의 향상은 서로 변증법적으로 작용하며 서로를 촉진하고 있다. 과학과 기술은 불가분의 관계로, 이러한 시대의 변화는 과학 교육의 변화를 끊임없이 자극하고 있다.

과학 교육의 중요한 목표 중 하나는 학생들의 과학적 추론 능력을 향상하는 것이다 (American Association for the Advancement of Science, 1994; National Research Council, 2013). 이를 위해 학교에서는 관찰이나 실험과 같은 과학 탐구에 학생들을 참여시키고 있다 (Chinn & Malhotra, 2002). 데이터를 수집, 분석하고 증거를 기반으로 설명과 주장을 구성하는 과학 탐구는 학생들이 과학적 지식을 습득하고 고차원적 사고능력을 계발하는 데 도움이 된다. Chinn & Malhotra (2002)는 참 탐구 (authentic inquiry)를 단순한 탐구 과제 (simple inquiry task)와 구분하였는데, 여기서 말하는 진정한 과학 탐구에서는 학생들이 연구 문제

---

<sup>3</sup> 이 장의 내용은 *International Journal of Online and Biomedical Engineering* 제17권 제2호에 게재된 내용을 국문 번역 및 수정·보완함.

(research questions)를 직접 도출하고, 이를 해결하기 위한 복잡한 과정을 직접 고안해 낸다. 학생들이 연구 질문을 직접 도출해 내는 것은 쉬운 일이 아니고, 또 이를 바탕으로 문제 해결을 위한 복잡한 과정을 고안하기는 쉽지 않은 일이다. 하지만 이에 못지않은 장애물은, 기술적인 한계로 인해 학생들이 고안해 낸 복잡한 과정을 직접 실행으로 옮기기 어려운 경우가 많다는 점이다. 이 장에서는 진정한 과학 탐구 과정에서 학생들이 겪게 되는 주요한 기술 관련 문제점들을 살펴보고, 이를 해결하기 위해 과학 교육 환경에 적합하게 고안된 사물 인터넷 기술을 적용한 아두이노 기반 장치를 제안하려 한다.

### (1) 참 탐구에서의 기술 관련 어려움

참 탐구가 실현되는 과정에서는 3가지의 기술과 관련한 문제가 발생한다. 하나는 학생들의 요구에 맞춘 다양한 측정 도구를 갖추는 문제이고, 다른 하나는 문제를 해결하기 위한 복잡한 과정에 최적화된 도구를 구비하는 문제이다. 그리고 마지막은 기술을 잘 다루는 특정 학생이 데이터 분석 과정에서 탐구를 독점하게 되는 문제이다 (Ga et al., 2021).

다양한 측정 도구를 갖추는 문제는 참 탐구 (authentic inquiry)에 있어 학생들이 직접 연구 문제를 선정하고, 이에 위해 직접 관련된 변인 (variables)을 선정하고 이를 측정해낸다는 점에서 비롯된다 (Chinn & Hmelo-Silver, 2002). 기존 단순한 탐구에서는 교사의 지침안에서 탐구가 이루어지기 때문에, 교사는 학생들이 측정해야 하는 변인을 직접 제시해 주었고 학생들이 필요로 하는 도구를 사전에 갖춰 놓았다. 하지만 참 탐구에서는 학생마다 연구 문제가 달라지고 그에 따라

측정해야 하는 변인들이 달라지기 때문에 학생들이 필요로 하는 도구들을 모두 갖추는 데에는 비용적인 한계가 존재한다. 한 학생이 지역 사회의 미세먼지 문제에 관해 탐구를 원해도 해당 학교에 미세먼지 측정기가 없으면 학생이 탐구를 완벽하게 설계했다 할지라도 이는 진행될 수 없게 된다. 그렇다고 보편적으로 필요로 하지 않는 미세먼지 측정기를 모든 학교에서 구매한다는 것은 현실적이지 않다. 어느 정도의 사양을 갖춘 장치를 갖춰 놓아야 할지도 불명확하고, 갖춰 놓는다고 할지라도 유지보수를 충실하게 하지 않으면 사놓고 몇 번 사용하지도 않은 채 고장 나 폐기하게 된다.

복잡한 과정에 최적화된 도구를 갖추는 문제는 학생들이 연구 설계를 직접 수행하는 점에서 비롯된다. 참 탐구에서는 같은 변인을 측정하고자 하더라도, 탐구의 맥락에 따라 다른 장치가 필요할 수 있다. 한 학생이 자신의 탐구 과정에서 한 달간 특정 지역 미세먼지의 농도 변화를 24시간 측정해야 상황에서, 해당 학교에 매우 정밀한 미세먼지 측정기가 있다 하더라도, 사용자가 매번 조작해 가면서 측정하고, 다시 이 수치를 기록해야 하는 방식의 장치라면 해당 학생의 탐구에 적용하기엔 무리가 따른다. 따라서 탐구에 사용되는 측정 도구는 단순히 해당 변인을 측정해 낼 수 있는 것을 넘어서, 연구 설계에 부합해야 한다.

기술을 잘 다루는 특정 학생이 데이터 분석 과정에서 탐구를 독점하게 되는 문제는 PC를 여러 학생이 동시에 조작할 수 없다는 한계에서 비롯된다. 과학 활동에 있어서 협동 학습은 학생들의 참여를 촉진하고 학습을 향상시킨다는 측면에서 그간 권장됐다 (Howe & Tolmie, 2003). 협동적 탐구기반 과학 활동 (cooperative inquiry-based science activities)에서 학생들은 합리적인 결론을 도출해 내기 위해

수집한 증거들을 기반으로 과학적 추론을 수행한다. 피지컬 컴퓨팅을 통해 개발한 장치로 수집한 원시 데이터 (raw data)들이 이러한 과학적 추론에 필요한 증거가 될 수 있다. 하지만 피지컬 컴퓨팅을 통해 측정된 데이터는 불가피하게 특정 한 사람이 먼저 접근하게 된다. PC와 연결된 채 측정을 했다면, 해당 PC를 조작하는 사용자가 먼저 데이터를 접할 것이고, 메모리카드에 저장하는 방식으로 측정을 했다면, 메모리카드를 처음으로 불러오는 사용자가 먼저 데이터를 접할 것이다. 협동 학습에서는 학업 성취가 좋은 학생, 인기가 많은 학생이나, 남학생이 전체적인 활동을 지배하는 경향이 나타나며 이들이 더욱 많이 배우는 경향이 있다고 알려져 있는데 (Bianchini, 1997; Jones et al., 2000), 이러한 학생들이 피지컬 컴퓨팅을 이용한 과학 탐구에서 데이터에 대한 우선적인 접근 권한을 가지게 될 확률이 높다. 정보에 대한 접근에서 우선권을 갖는다는 것은 단순히 먼저 데이터를 얻게 되는 것에 그치지 않는다. 정보 자체는 힘 (power)이기 때문에 (Moss, 2002), 정보를 먼저 지니고 있다는 것 자체만으로 더욱 탐구의 주도권이 집중되게 된다.

## (2) 참 탐구를 위한 피지컬 컴퓨팅

피지컬 컴퓨팅은 이러한 문제를 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다. 이전에는 특정 변인을 측정하는 장치를 개발한다는 것은 전문가나 할 수 있을 법한 일이었지만, 아두이노, 라즈베리파이와 같은 저가형 개발 보드의 등장으로 누구나 손쉽게 장치를 개발할 수 있는 시대가 열렸다. 개발 보드에 측정하고자 하는 변인을 측정할 수 있는 센서를 연결하면, 손쉽게 측정 장치를 만들 수 있다. 개발 보드와 연결할 센서들은 인터넷 쇼핑몰에서 매우 저렴한 가격에 판매되고 있다.

저렴한 가격에 측정 장치를 확보할 수 있다는 장점보다 피지컬 컴퓨팅이 가지는 더욱 강력한 장점은, 측정 장치를 자신의 탐구 맥락에 맞춰 최적화시킬 수 있다는 점이다. 먼저, 자신이 탐구하고자 하는 목적에 따라 적합한 사양의 센서를 선택할 수 있다. 같은 변인을 측정하는 센서라 할지라도 종류에 따라 측정 가능 범위 (range), 정확도 (accuracy), 작동 전압 (working voltage), 사용 가능 온·습도, 가격 등 다른 특징을 지닌다. 따라서 피지컬 컴퓨팅을 이용한 탐구에 있어 적합한 센서의 선택은 가장 큰 장점인 동시에 가장 중요한 작업이라 할 수 있다. 또한, 탐구 목적에 맞추어 측정하는 방식도 자유자재로 설계할 수 있다. 사용자가 원하는 시점마다 측정할지, 아니면 전원이 켜져 있는 채 일정 간격으로 측정을 할지, 특정 온도에도달하면 측정을 시작할지 등 사용자는 측정 기기의 측정 방식을 직접 설계할 수 있다.

### (3) 참 탐구를 위한 사물 인터넷

피지컬 컴퓨팅과 더불어 사물 인터넷은 학생들의 참 탐구에 있어 매우 유용한 역할을 한다. 먼저, 협동 학습 과정에서 일어나는 데이터 접근성의 차별을 해결할 수 있다. 수집된 데이터를 사물 인터넷 플랫폼으로 전송하게 한다면, 학생들이 동시에 플랫폼에 접속해서 데이터에 접근할 수 있으므로 정보로 인한 차별을 줄일 수 있다. 정보 접근성에 있어 모든 학생이 평등한 지위에 놓이게 된다 (Mason, 1986). 사물 인터넷의 활용은 이러한 정보 접근성 문제를 해결해 줄 수 있다. 학생들이 만들어낸 장치에서 전송된 데이터는 모두 IoT 플랫폼으로 전송되고, 학생들은 차별 없이 IoT 플랫폼에 접속하여 실시간으로 데이터 수집 상황을 살펴볼 수 있다.



학생들 개인마다 각자의 계정을 발급할 수 있고, 장치에 대한 접근 권한을 계정별로 관리할 수 있다.

또한, 사물 인터넷은 학생들의 탐구 활동에 있어 시공간적인 제약을 극복하게 해준다. 기존의 피지컬 컴퓨팅을 이용한 관측은 수집된 데이터를 체계적으로 저장하기 어려웠다. LCD나 OLED 등 디스플레이 모듈을 이용해서 실시간으로 수집된 데이터를 표시해주는 것은 가능하지만 이를 저장할 수 없는 단점이 있다. 보조적인 저장 장치 모듈을 이용하여 메모리카드에 기록한다면 데이터를 보관해 낼 수는 있지만, 학생들이 장치마다 메모리카드에 저장된 데이터를 다시 불러와서 정리해야 하는 과정이 필요하다. 하지만 IoT 플랫폼을 사용하면 이러한 번거로운 작업이 필요가 없다. 장치에서 전송된 데이터는 체계적으로 IoT 플랫폼의 데이터베이스에 기록이 된다.

사물 인터넷은 학생들의 데이터 분석을 손쉽게 만들어 줄 수 있다. 기존 탐구에서는 수집된 데이터들을 Microsoft Excel과 같은 프로그램에 정리하고, 차트를 만들어서 분석을 수행하였다. 하지만 대부분의 IoT 플랫폼은 손쉽게 차트를 만들 수 있는 기능들을 탑재하고 있어서, 학생들은 자신의 계정에 접속해서 수집된 데이터를 자신이 원하는 형태로 대시보드를 만들어서 시각화할 수 있다.

## 2. 기술 비교

피지컬 컴퓨팅을 이용하여 성공적인 과학 탐구를 하기 위해서는 다양한 개발 보드, 센서, 통신, IoT 플랫폼 중에서 적절한 것을 선택해야 한다. 선택지가 많다는 점은 구현할 수 있는 범위가 넓다는 장점이 있지만, 한편으로는 교사가 수업에 어떤 기술을 도입할지 결정하기 위해 이를 비교하고 분석하는 데 많은 시간이 걸린다. Przybylla & Romeike (2014)는 많은 피지컬 컴퓨팅 프로젝트에 대한 아이디어들이 학술 대회에서 제안되고 있고 실제 교사들은 교사 연수 등의 자리에서 피지컬 컴퓨팅에 관한 관심을 다수 표시하고 있지만, 교사들에게 이러한 지식이 제대로 도달하고 있지 못하고 있음을 지적하였다. 이는 각 연수마다 채택하는 기술들이 다르므로, 처음 피지컬 컴퓨팅이나 사물 인터넷에 입문하는 교사들에겐 매 연수가 새롭게 느껴지는 것도 한몫할 것이다.

### (1) 기술 평가 기준

이 연구에서는 과학 교육에서 DIY-MD를 이용하여 탐구를 수행하는 데 적합한 구성을 제안하고자 한다. 이 분야를 처음으로 자신의 수업에 도입하고자 하는 교사들이 더욱 빠르게 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷에 익숙해지는 데 도움이 될 것이다. 여러 가지 기술은 5가지를 기준으로 평가되었다. 기술을 교육 현장에 도입하는 과정에서 발생한 어려움에 관한 선행 연구를 검토하여 (Becta, 2004; Lapinsky et al., 2004; Mumtaz, 2000; O'Donnell & Perry, 2013; Snoeyink & Ertmer, 2001), '독립성', '저비용', '친숙함'의 원칙을 선정하였고, 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷의 특성을 고려하여 '이동성'과 '기술 생태계'를 추가하였다.

### **독립성** (*independence*)

기술에 익숙하지 않은 교사와 학생들이 전문가의 기술 지원 스스로 사용할 수 있어야 한다. 현장에서 기술 전문가의 지원을 적시에 받지 못해 기술 사용이 불가능한 기간이 오래 유지되고, 결국 꽤 오랜 시간 기술을 사용하지 않게 되는 경우가 많다 (Becta, 2004; Mumtaz, 2000; Snoeyink & Ertmer, 2001). 따라서 최대한 외부의 기술 지원 없이도 충분히 이용할 수 있어야 한다.

### **저비용** (*low cost*)

학교 교실에 기술을 도입하는 데 발생하는 걸림돌 중 하나는 비용 문제다 (Ireh, 2010). 값비싼 센서를 이용할 경우 더욱 정밀한 측정이 가능하다는 장점이 있으나, 예산이 충분하지 않으면 여러 학생이 하나의 기기를 함께 사용해야 하는 일이 벌어진다. Chromebook의 보급 사례는 기술 보급에 있어 비용 문제가 얼마나 중요한지 잘 보여주는 한 가지 사례이다 (O'Donnell & Perry, 2013).

### **친숙함** (*familiarity*)

기술 수용도는 그 기술에 대한 친숙함과 밀접한 관련이 있다 (Lapinsky et al., 2004). 기존 과학 탐구에 사용된 MBL은 난이도의 측면에서는 피지컬 컴퓨팅을 이용한 측정보다 훨씬 쉽다. 하지만 MBL은 학생들에게 친숙하지 않다. 과학실에서만 제한적으로 이용할 수 있으며, 그 외의 환경에서 접할 기회가 없다. 따라서 쉬울지라도 사용해볼 기회가 적어 충분히 익숙하지가 않다 보니, 손쉽게 사용하기가 어렵다. 피지컬 컴퓨팅에 사용되는 부품들은 가격이 저렴하여 학생들이 부담 없이 구매할 수 있는 가격이라, 관심 있는 학생들은 개인적으로

기기를 소장하여 다양한 물건을 스스로 만들어볼 수도 있다. 또한, 블록 코딩은 초·중등 정보교육과정에 포함되어 있어 학생들이 이를 접한 사전 경험이 있어서, 피지컬 컴퓨팅 구현을 위한 코딩이 블록 코딩으로 가능하다면 학생들이 비교적 친숙한 환경에서 피지컬 컴퓨팅을 구현할 수 있다.

### **이동성 (mobility)**

측정 장치의 공간적 제약은 학생들이 다양한 주제로 과학 탐구를 수행하는 데 한계를 가져다준다. 학생들이 공간적 제약 없이 여러 데이터를 측정할 수 있도록 가벼운 무게, 이동이 가능한 통신 방식, 보조 전원 등을 고려하였다.

### **기술 생태계 (technology ecosystem)**

이 연구에서는 과학 탐구 맥락에서의 측정 장치로써 피지컬 컴퓨팅을 이용하는 것에 한정되어 논의하고 있지만, 실제 피지컬 컴퓨팅이 확장될 수 있는 범위는 거의 무한하다고 볼 수 있다. 하지만 학교 환경에서 과학 교사의 지도하에 피지컬 컴퓨팅을 다루는 것은 일부 내용에 제한될 수밖에 없다. 피지컬 컴퓨팅은 상당히 많은 요소가 결합한 복잡한 생태계이다 (Evans, 2011). 개발 보드, 센서, 모듈, 전원 장치 등 여러 제조사에 의해 만들어진 여러 가지 부품, 각 부품을 구현하는 라이브러리, 그리고 이 부품과 소프트웨어를 만들어내는 사람들 등 다양한 요소로 구성되어 있다. 생태계가 잘 형성된 기술을 선택하는 것은, 학생이 더욱 손쉽게 인터넷을 통해 정보를 습득할 수 있게 함으로써, 자발적으로 피지컬 컴퓨팅을 더욱 학습하려는 학생들에게 기회를 제공한다 (Campos, 2020).

사물 인터넷 기술을 적용한 피지컬 컴퓨팅은 크게 센서, 개발 보드, IoT 플랫폼, 무선통신망으로 구성되어 있다 (그림 5). 센서는 수행하고자 하는 탐구의 종류에 따라 다양하게 달라지기 때문에, 여기에서는 개발 보드, IoT 플랫폼, 무선통신망에 대해서만 논의한다.

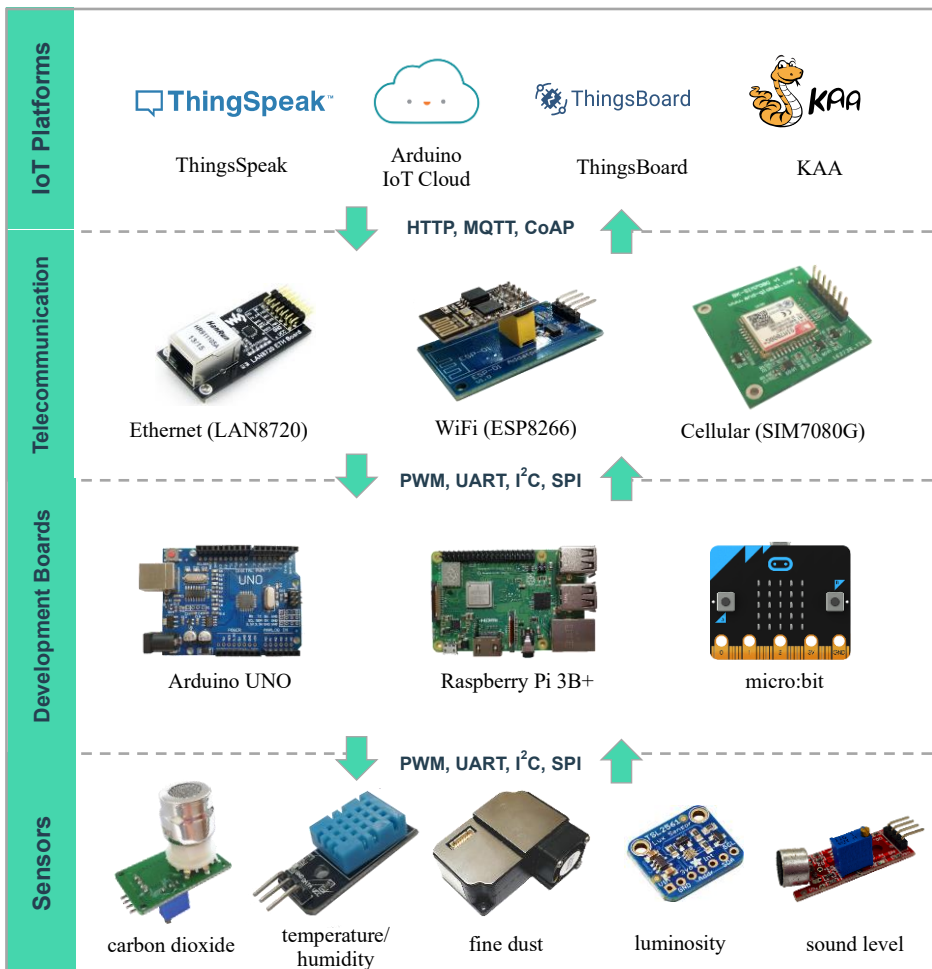


그림 5 DIY-MD의 주요 구성

## (2) 개발 보드

최근 현장 (field)에서 주로 이용되는 개발 보드로는 아두이노와 라즈베리파이, 마이크로비트가 있는데 학교 과학 환경을 고려할 경우 여러 측면을 고려하였을 때 라즈베리파이, 마이크로비트보다는 아두이노를 선택하는 편이 좋다 (표 1).

먼저, 독립성 측면에서 봤을 때, 아두이노나 마이크로비트는 펌웨어나 운영체제의 설치가 필요 없지만, 라즈베리파이는 리눅스 운영체제를 따로 설치해줘야 하므로 리눅스 사용 경험이 없는 사용자라면 이용하는 데 많은 어려움을 겪을 수 있다. 둘째, 비용의 측면에서, 구매 비용을 살펴보면 아두이노 UNO는 \$3~4, micro:bit v1.0은 \$15~18, Raspberry Pi 3B+는 \$30~40으로 아두이노가 가장 저렴하다. 유지보수 측면에서도 아두이노와 마이크로비트가 라즈베리파이보다 내구성이 좋아 비용이 적게 든다. 높은 사양의 반도체를 만들기 위해서는 생산 공정이 더욱 미세화 (scaling)되어야 하는데, 생산 공정이 미세화될수록 칩들의 전기적인 특성들은 더욱 불안정해지므로 외부의 작은 전기적 충격에도 손쉽게 망가질 수 있다. 전자공학적 지식이 많지 않고, 피지컬 컴퓨팅을 처음 접하는 학생들은 배선 (wiring) 과정에서 실수할 가능성이 크다. 학생들이 실수했을 때 아두이노나 마이크로비트는 전원이 차단된 뒤 다시 올바르게 연결하면 정상 작동하지만, 라즈베리파이는 영구적인 손상을 얻게 되는 경우가 빈번하다. 셋째, 친숙함에서는 아두이노가 월등히 낫다. 2015 개정교육과정 정보 교과서의 대부분이 피지컬 컴퓨팅 도구로 아두이노를 채택하고 있다. 따라서 대부분 학생이 아두이노를 정보 교과에서 경험했을 가능성이 크다. 넷째, 이동성에서 살펴보면 아두이노와 마이크로비트가 우수하다. 이동성에 있어 가장

중요한 것은 제품의 무게와 부피인데, 장치를 구성하는 부품 중에서 배터리의 무게와 부피가 가장 큰 비중을 차지한다. 따라서 개발 보드의 소비전력이 작을수록 이동성에 유리하다고 볼 수 있다. micro:bit v1.0는 0.01~0.03W, 아두이노 UNO는 0.25~0.4W, 라즈베리파이 3B+는 2.3~5.6W의 소비전력을 사용한다. 마지막으로 기술 생태계의 측면에서 보면, 아두이노와 라즈베리파이가 가장 유리하다. 개발

표 1 개발 보드 비교

	Arduino UNO	Raspberry Pi 3B+	micro:bit v1.0
독립성	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발 도구 설치만으로 바로 코딩 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>리눅스에 대한 지식을 요구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로그램 설치 없이 온라인 개발 도구로 바로 코딩 가능</li> </ul>
저비용	<ul style="list-style-type: none"> <li>구매 비용이 저렴 (\$3~4)</li> <li>전기적 충격에 강함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>구매 비용이 많이 듦 (\$30~40)</li> <li>전기적 충격에 약해 잘 망가짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>구매 비용이 많이 듦 (\$15~18)</li> <li>전기적 충격에 강함</li> </ul>
친숙함	<ul style="list-style-type: none"> <li>2015개정교육과정 초·중등 정보 교과서가 아두이노를 채택</li> <li>텍스트 코딩, 블록 코딩 모두 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>리눅스에 대한 경험이 부족할 경우 상당히 생소하게 느껴짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>블록 코딩 도구가 기존의 스크래치나 엔트리와 사용법이 유사</li> </ul>
이동성	<ul style="list-style-type: none"> <li>소비전력 매우 낮음 (0.25~0.4W)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>소비전력 높음 (2.3~5.6W)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>소비전력 매우 낮음 (0.01~0.03W)</li> </ul>
기술 생태계	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용자층이 매우 두텁고 다양한 자료가 인터넷에서 공유됨.</li> <li>특히 저가형 센서를 이용하여 측정 도구를 제작한 선행 연구가 많음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용자층이 매우 두텁고 다양한 자료가 인터넷에서 공유됨.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>교육용에 특화되어 개발되었기 때문에 사용자층이 협소</li> </ul>

보드 중에서 가장 많은 사용자층을 확보하고 있고, 교육적인 목적은 물론이고 산업 현장에서도 많이 이용된다. 하지만 마이크로비트는 교육용에 특화된 개발 보드로써 상당히 제한된 커뮤니티를 형성하고 있다. 특히 아두이노는 아마추어부터 전문가 집단까지 다양한 계층에서 측정 장치 개발에 이용되어왔기 때문에, 여러 종류의 측정 장치 개발 사례들이 인터넷을 통해 공유되고 있고, 이를 구현하는 소스 코드가 GitHub에 게시되어 있어, 사용자가 손쉽게 관련된 정보를 인터넷을 통해 얻을 수 있다. 또한, 저가형 센서를 적용한 학술 연구들도 많이 이루어져 있는데, 주로 이산화 탄소 (Hossain et al., 2013; Kalinin et al., 2015; Blackstock et al., 2019; Lapshina et al., 2019; Pino et al., 2019), 메탄 (Yang et al., 2019), 미세먼지 (Budde et al., 2012; Austin et al., 2015; Malika & Sarah, 2015; Tasić et al., 2016; Fathihah et al., 2018; Badura et al., 2018; Pritchard et al., 2018; Lenggoro, 2019; Sayahi et al., 2019; Si et al., 2020), 토양 수분 (Kumar et al., 2016; Blackstock et al., 2019) 등에 관한 센서가 적용된 연구들이 있었다.

### (3) IoT 플랫폼

IoT 플랫폼의 정의는 명확하지 않지만 (Paul, 2019), 대략 공통적인 요소를 추려보면 센서 및 장치와 같은 하드웨어를 연결하고, 다양한 하드웨어 및 소프트웨어의 통신 프로토콜을 처리하고, 장치와 사용자에게 대한 보안 및 인증을 제공하며, 센서와 장치가 수집하는 데이터를 저장하고 분석하고 시각화해주는 소프트웨어라고 볼 수 있다. 다양한 분야에 사물 인터넷이 보급되면서, 다양한 IoT 플랫폼이 등장하였다. 다양하다는 것은 사용자에게 있어 넓은 선택권을 제공해



준다는 장점이 있지만, 한편으로는 처음 접하는 사용자에게 무엇을 선택해야 하는가에 대한 혼란을 초래하는 문제도 있다.

IoT 플랫폼은 무수히 다양하지만, 대표적으로 이용되는 것들로는 ThingsBoard, ThingSpeak, Arduino IoT, Kaa Cloud 등이 존재하는데, 학교 과학 환경에서는 ThingsBoard를 사용하는 것이 여러 장점이 있다 (표 2). 먼저, 독립성의 측면에서 살펴보면 네 가지 플랫폼 모두 클라우드 서비스를 제공하기 때문에 별도의 복잡한 설치 과정 없이 이용할 수 있어, 서버 관리에 부담이 없다는 점이 장점이다. ThingsBoard는 자신의 서버에 직접 설치해서 이용도 가능하지만, 서버 설치 및 운영에 대한 지식이 없다면 다른 이의 도움을 받아야 하는 문제가 있다. 둘째, 비용 측면에서 보면, 클라우드 서비스 이용 시 ThingsBoard를 제외한 다른 플랫폼들은 장치 수의 제약이 있는 무료 요금제를 제공하고 있다. ThingsBoard는 설치형으로 이용할 경우 라이선스 구매 없이 무료로 이용 가능하고 장치 수의 제약이 없다. Arduino IoT는 사용 가능한 보드가 한정된다는 점이 치명적인 단점인데, 아두이노 UNO는 이용할 수 없다. 셋째, 친숙함의 측면에서 보면, 다른 플랫폼들과 달리 ThingsBoard는 한국어를 지원하고 있으므로, 초·중등 학생들이 이용하기가 비교적 편리하다. 넷째, 기술 생태계의 측면에서 보면, ThingsBoard는 오픈 소스 소프트웨어이기 때문에 사용자가 직접 개발에 참여할 수 있는 점이 큰 장점이다. 예를 들면, 어색한 한국어 번역이 많다면 사용자가 이를 개선하는 작업에 직접 참여할 수 있다. ThingSpeak은 MATLAB을 개발한 회사에서 운영하는 IoT 플랫폼인데, MATLAB이 워낙 다양한 사용자층을 확보하고 있다 보니 ThingSpeak에 대한 정보들을 인터넷을 통해 쉽게 구할 수 있다.

표 2 IoT 플랫폼 비교

	ThingsBoard	ThingSpeak	Arduino IoT	Kaa Cloud
독립성	• 설치형/클라우드형 모두 가능	• 설치가 필요 없음	• 설치가 필요 없음	• 설치가 필요 없음
저비용	• 설치형은 무료, 클라우드형은 유료 • 설치형은 장치 수 무제한	• 장치 4대까지 무료	• 장치 2대까지 무료 • 특정 보드만 이용 가능함	• 장치 5대까지 무료
친숙함	• 한글 지원	• 한글 미지원	• 한글 미지원	• 한글 미지원
이동성	-	-	-	-
기술 생태계	• 오픈 소스 소프트웨어로 개발과정에 참여 가능	• 두터운 MATLAB 사용자층 보유	-	-

#### (4) 통신

개발 보드에서 IoT 플랫폼으로 데이터를 전송하는 데에는 유선 형태의 Ethernet을 이용하거나 무선 형태의 Cellular, WiFi를 이용할 수 있다. 통신 수단에 따라 장단점이 있으므로 (표 3), 탐구 설계를 고려하여 적절하게 선택되어야 한다.

##### *Ethernet*

고정된 장소에서 안정적인 통신을 원한다면 Ethernet을 이용하는 것이 좋다. 유선 통신 방식이기 때문에 전파 간섭으로 인해 통신이 방해받는 일이 없고 모듈 또한, \$3 이하로 저렴하다. 유선 케이블을 꼽는 것만으로 접속이 되기 때문에 쉽게

표 3 통신 방식 비교

	Ethernet	Wi-Fi	Cellular
독립성	• UTP 포트가 있는 곳이라면 이용 가능	• Wi-Fi 망이 있는 곳이라면 이용 가능	• 통신사 가입 필요
저비용	• 모듈이 매우 저렴 (~\$3)	• 모듈이 매우 저렴 (~\$2)	• 모듈이 비쌌 (\$25~\$40) • 통신 요금 납부
친숙함	• 데스크톱처럼 랜선을 연결해서 접속	• 가장 익숙한 통신 방식 • 노트북이나 스마트폰처럼 SSID와 Key를 입력해서 접속	• SIM 카드 삽입만으로 이용할 수 없을 수가 있음
이동성	• 이동 불가	• 낮음	• 자유로운 이동 가능
기술 생태계	• 이동성 문제로 사용자층이 적음	• 가장 많이 사용됨	• 사용자층이 거의 없음

이용 가능하지만, 유선으로 연결되어야 해서 이동성이 떨어진다. 그리고 여러 학생이 이용하기 위해서는 학생들 자리마다 UTP 포트를 설치해야 해야 한다. 따라서 학교 환경에서 Ethernet의 이용은 좋은 선택지가 아니다.

### **Wi-Fi**

스마트폰 세대에 익숙한 학생들은 Wi-Fi를 이용한 경험이 많으므로, 학생들에게 가장 익숙한 통신 방법이다. 학생들은 Wi-Fi 특성 (예를 들면 SSID와 비밀번호로 접속, 대부분은 무료, 라우터에서 멀어지면 끊어짐)을 잘 파악하고 있어 쉽게 적응할 수 있다. 라우터가 설치된 고정된 공간에서 측정하는 탐구라면 Wi-Fi는 가장 좋은 선택지이다. 무엇보다도 가장 큰 이점은 학생들이 누군가의 도움 없이 쉽게 접속할 수 있는 통신망이라는 점이다. 아두이노에 주로 이용되는 Wi-Fi

모듈은 ESP-01인데, USD 1~2 정도로 Cellular 모듈보다 매우 저렴하다.

### *Cellular*

셀룰러 망을 이용하는 경우 장소의 제약 없이 데이터 수집이 가능하다는 장점이 있다. 장소가 변경되더라도 별다른 설정 변경이 필요하지 않기 때문에 이용하기 매우 간편하다. 하지만 셀룰러 망에 가입해서 요금을 내야 한다. 하지만 최근 IoT 장치를 위한 SIM 카드를 별도로 판매하고 있는 업체들이 있어 비교적 저렴한 가격에 이용할 수 있다. 셀룰러 통신 모듈도 어떤 망을 사용하는지에 따라 가격 차이가 크다 (표 4). IoT 기기가 사용하는 데이터는 그 양이 많지 않으므로, 2G 이동통신의 속도로도 충분하다. 따라서 학교 과학 탐구 환경에서는 2G 모듈을 이용하는 것이 가장 합리적이다. 하지만 대부분의 보급형 2G 모듈이 GSM/GPRS를 기반으로 하는데, 한국에서는 세계에서 유일하게 GSM 서비스를 하지 않기 때문에 이용할 수 없다.

표 4 셀룰러 통신 모듈 비교

모델명	지원 망	가격	기타
SIM808	2G (GSM/GPRS)	\$ 9	
SIM7020E	4G (LTE NB-IoT)	\$ 10~15	
SIM7600E-H	2G (GSM/GPRS) 3G (UMTS/HSPA+) 4G (LTE Cat 4)	\$ 35~40	GNSS 지원 KC 인증

### 3. 적용

학교 과학 교육 환경에서 저비용 원격 측정을 위해 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 도입한다면, 개발 보드로는 아두이노, IoT 플랫폼으로는 ThingsBoard가 권장된다. 장소를 이동해가면서 측정을 하는 것이 아니라면, 인터넷 연결에는 Wi-Fi를 사용하는 것이 가장 저렴하다. 이 장에서는 아두이노, ThingsBoard, Wi-Fi의 조합으로 온도, 습도, 미세먼지, 이산화 탄소 농도를 측정하는 장치를 만들고 IoT 플랫폼에 적용해보았다.

#### (1) 배선 및 코딩

회로는 [그림 6]과 같이 구성하였으며, 모든 부품은 AliExpress를 통해 구매하였다. 개발 보드는 아두이노 UNO 호환 보드 (USD 2.76), Wi-Fi 모듈은 ESP-01S (USD 1.53), 온습도 센서로는 DHT11 (USD 0.78), 미세먼지 센서는 ZH03B

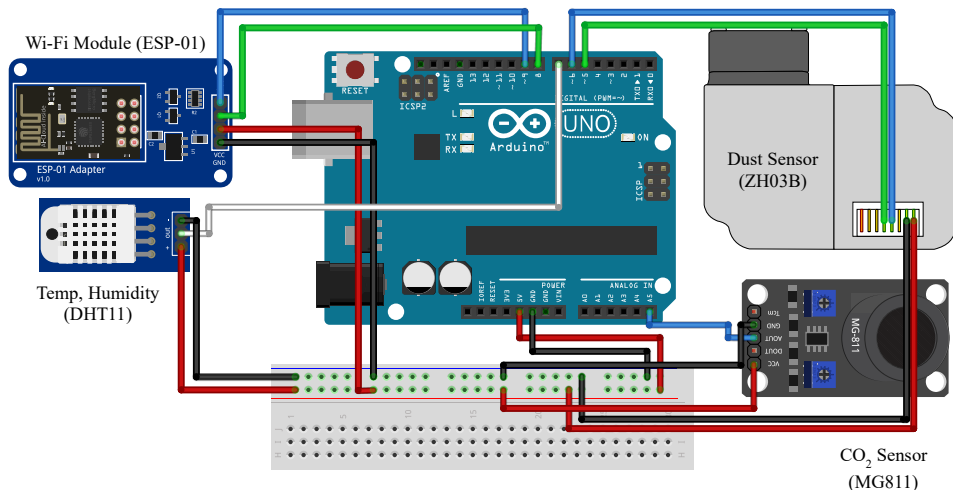


그림 6 DIY-MD의 예시 (온도, 습도, 미세먼지, CO<sub>2</sub> 측정)

(USD 7.98), 그리고 이산화 탄소 센서는 MG-811 (USD 21.66)을 이용하였다. Arduino IDE를 이용해서 텍스트 코딩으로 프로그램을 개발하였고 각 센서에 대해서 오픈 소스로 공개된 라이브러리를 이용하였다.

## (2) ThingsBoard 설치

ThingsBoard Community는 Opensource Software이기 때문에 홈페이지 (<http://www.thingsboard.io>)에서 무료로 내려받을 수 있다. Excel로 내보내기, 다른 플랫폼과의 통합 (platform integration) 등 추가적인 기능을 이용하기 위해서는 유료인 Professional Edition (PE) 버전을 이용해야 하지만, 학교 과학 탐구 환경에서는 Community Edition (CE)만으로도 기능이 충분하므로 유료 버전을 이용할 필요성은 크지 않다. ThingsBoard는 Ubuntu, CentOS, Windows, Raspberry Pi OS 등 다양한 운영체제에 설치할 수 있다. 설치방법에 대한 가이드와 비디오 튜토리얼이 온라인으로 제공되기 때문에 초보자들도 쉽게 설치할 수 있다. 설치가 완료된 이후 모든 설정은 관리자 웹페이지에서 가능하다. 과학 탐구에서는 측정한 데이터를 IoT 플랫폼으로 일방적으로 보내는 경우가 대부분일 것이다. 이 경우는 관리자 페이지에서 ‘장치’, ‘대시보드’ 메뉴만 이용해도 충분하다 (그림 7).

## (3) IoT 플랫폼으로의 데이터 전송

ThingsBoard 설치가 끝났으면, 아두이노에서 ThingsBoard로 데이터를 전송해야 할 것이다. ThingsBoard는 아두이노에서 IoT 플랫폼과 쉽게 연결할 수

과학 탐구에는 두 메뉴만 이용해도 충분하다.

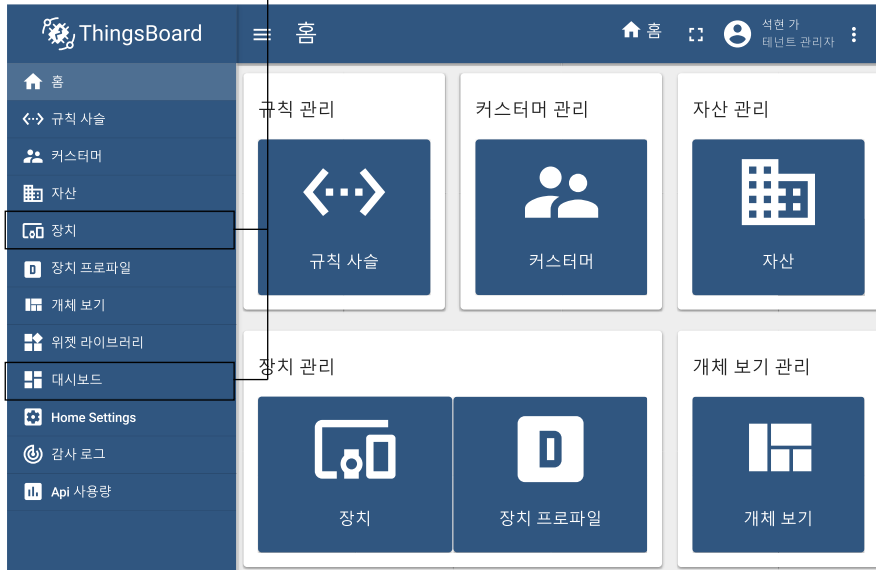


그림 7 ThingsBoard의 관리자 페이지

있도록 관련된 라이브러리를 제공하고 있다. 또한, ThingsBoard의 홈페이지에는 DHT11 (온습도 센서)로 측정된 데이터를 ESP8266 계열의 와이파이 모듈을 이용해서 IoT 플랫폼으로 보내는 예제가 있다. 이 또한, STEP by STEP의 형태로 설명이 진행되기 때문에 초보자라도 손쉽게 데이터 전송이 가능하다. 다만 아두이노 UNO는 Flash Memory가 32KB로 작은 편인데, ThingsBoard 라이브러리는 의존하는 라이브러리가 많아 이를 모두 포함(include)할 경우 플래시 메모리(flash memory)의 상당량을 차지하게 된다. 아두이노 UNO를 이용한 과학 탐구에서는 측정된 데이터를 IoT 플랫폼으로 보내는 간단한 작업만 수행하면 되기 때문에, 우리는 기존 라이브러리 대신 간결화 된 라이브러리를 제작하여 이용하였다.

#### (4) IoT 플랫폼상에서의 데이터 분석

ThingsBoard로 전송된 데이터는 데이터베이스 관리 시스템 (DBMS)에 체계적으로 등록된다. ThingsBoard는 이러한 데이터들을 가시화하여 표현하는 대시보드 기능을 제공하고 있다. ThingsBoard 대시보드의 강점은 차트, 게이지, 지도, 표 등 다양한 형태를 지원하며, 프로그래밍 언어를 알지 못해도 손쉽게 수집된 데이터를 가시화할 수 있다 (그림 8).

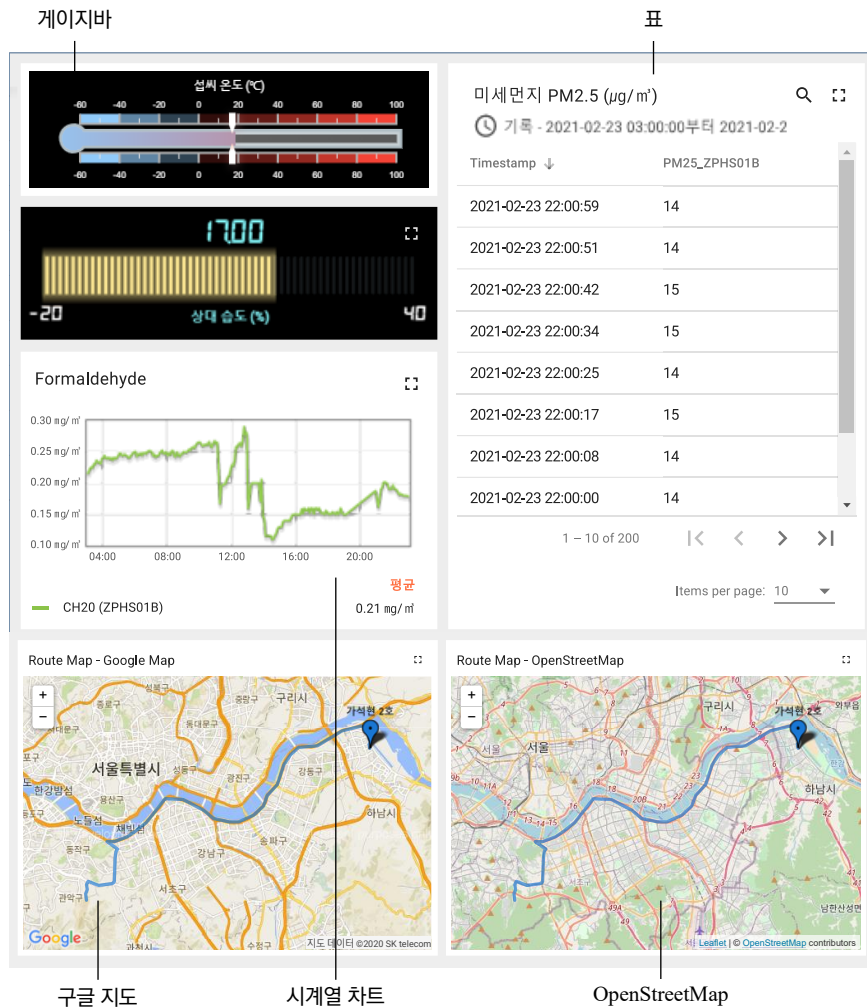


그림 8 ThingsBoard로 가시화한 차트, 게이지바, 표, 지도의 예시



## 4. 추가적인 고려점

피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 이용한 과학 탐구를 계획하고 실행하면서 다음과 같은 내용을 추가로 고려할 필요가 있다.

### (1) 본질적인 교육 목표

이 활동은 개발 보드에 관한 지식, 프로그래밍 지식, 센서의 원리에 관한 지식 등 다양한 영역의 지식이 필요하다. 목적을 분명히 하지 않은 채 활동에 참여할 경우, 교사의 의도와 달리 학생들은 지엽적인 부분에 주목하여 본질적인 교육 목표를 달성하지 못할 가능성이 크다. 실제 피지컬 컴퓨팅을 이용한 교육에서 많은 학생이 기술적인 부분에만 지나치게 몰입되어 실제적인 교육 목표를 달성하지 못하는 경우가 많았다. 컴퓨팅이 아닌 과학 탐구가 활동의 핵심이라면, 학생들이 기술적인 부분에 매몰되지 않도록 해야 한다. 컴퓨팅 사고나 코딩 기술 습득을 목표로 하는 교육보다 과학 탐구 그 자체에 집중할 수 있도록 교사의 더욱 직접적인 기술 지원이 필요하다.

### (2) 기술 발달에 따른 변화

이 장의 내용은 2021년 5월에 작성되었다. 지금도 새로운 개발 보드가 새로 등장하고 있다. 특히 학교 현장에서는 마이크로비트의 확장세가 눈에 띈다. 사물 인터넷의 수요가 급증하면서 다양한 플랫폼이 등장하고 있다. 우리나라의 경우는 SKT에서 ThingPlug, KT에서 IoTmakers를 개발하였으며, 네이버에서도 nCloud에

IoT 서비스를 추가하였다. 2019년 4월 3일, 대한민국에서 세계 최초로 5G 통신이 상용화되었다. 새로운 기술이 등장하고 고도화됨에 따라 이 연구에서 다른 개발 보드, 통신, IoT 플랫폼 등에 대한 분석은 주기적으로 재평가될 필요가 있다.

### (3) 센서 특성 이해의 중요성

탐구마다 요구하는 센서가 너무 다양하므로 이 장에서는 각 센서에 대한 비교 분석이 포함되어 있지 않다. 하지만 측정에 있어 무엇보다 중요한 것은 원하는 값을 정확하게 측정해내는 것이다. 같은 대상 (target)을 측정하더라도 센서의 종류에 따라 그 정확성 (accuracy), 정밀성 (precision), 분해능 (resolution) 등이 다르다. 선택한 센서가 탐구 설계에서 원하는 측정을 제대로 수행할 수 있는지 신중하게 살펴볼 필요가 있다. 또한, 센서는 주기적인 보정 (calibration)이 필요하며, 일정 수명 내에서만 사용할 수 있다. 센서의 측정 방식에 따라 작동 시간 (running time)으로 수명이 평가될 수도 있고, 제조 일자 (manufactured date)로부터 수명이 평가될 수도 있다. 일부 센서는 자동 보정 기능이 탑재되어 있어 보정을 요구하지 않는다. 수명이 지난 센서를 사용하거나, 보정이 틀어진 센서를 사용한다면 그 센서로부터 측정된 값은 전혀 믿을 수 없게 된다.

### (4) 탐구 대상의 확장 가능성

이 장에서 제안하는 DIY-MD로는 다양한 대상을 측정할 수 있다. 광센서를 이용하면 생활 속에서의 적외선, 가시광선, 자외선을 측정할 수 있다. 다양한 기체 센서가 개발되어있어 이산화 탄소, 일산화 탄소, 이산화 질소, 오존, 폼알데하이드,

메테인, 산소, 알코올 등의 농도 측정이 가능하다. 물리 실험에서 이용될 수 있는 가속도 센서, 자기장 센서, 거리 센서 (초음파 센서, 적외선 센서), 접촉 센서, 소리 센서도 다양하게 판매되고 있다. 기타 pH, 온도, 습도, 압력 등도 어렵지 않게 구할 수 있다. DIY-MD의 사용으로 학생들이 측정할 수 있는 범위가 넓어짐으로써, 더욱 다양한 탐구 주제를 학교나 가정에서 수행할 수 있게 된다.

## IV. 현장 교사가 당면하는 기술 관련 어려움

### 1. 배경

실천지향 과학 교육에서의 탐구는 참 탐구적인 성격을 가질 수밖에 없다. 탐구의 시작이 학생이 제기한 문제로부터 시작되기 때문에 탐구의 범위가 다양하여, 교사가 사전에 이에 대한 자세한 안내를 제공하는 것은 실질적으로 불가능하다. 따라서 학생은 문제를 해결하기 위한 복잡한 탐구 과정을 직접 설계하고 수행하며, 수집한 데이터를 분석하여 결론을 도출한다. 이러한 참 탐구 활동은 과학자들이 수행하는 본질적인 논리 추론 과정을 반영하고 있으므로, 학생들은 이 과정에서 과학적인 사실 뿐만 아니라, 과학의 본성이나, 과학을 하는 것 (doing Science)에 대한 이해가 증진된다 (Gillies, 2020).

하지만 학생의 참 탐구를 어렵게 하는 요인 중 하나는 측정 장치에 관한 문제이다 (Ga et al., 2021). 과학 탐구에 있어 측정 장치는 학생들의 경험에 큰 영향을 준다. 과학, 공학과 관련된 실험 활동에서 학생들의 경험은 실험 장치에 의해 매개되기 때문에 (인간-기술-세계), 학생들이 실험 장치를 통해 경험하는 세계가 어떠한지에 대해 살펴보는 것은 중요하다 (Bernhard, 2018). 학생이 관심 있는 주제를 탐구하기 위해서는 다양한 측정 장치가 필요하지만, 실제 학교나 가정에서 이를 충분히 갖추기는 쉽지 않다. 특히 과학 관련 사회 문제를 탐구하는 데 필요한 장치는 기존 학교 과학실에 비치된 장비들과는 다른 측정 장치가 필요하다. 예를 들면, 대부분의 학교 과학실에 온도계, 습도계, pH 미터, 멀티미터, 자력계는 갖추져

있지만, 미세먼지 측정기나 환경 오염 물질 (일산화 탄소, 이산화 탄소, 폼알데하이드, 오존, TVOC 등) 측정기, 수질오염 측정기 등은 갖추고 있지 않다. DIY-MD는 기본적인 아두이노 키트만 가지고 있으면, 원하는 센서를 추가하는 것만으로 측정 장치를 만들 수 있는데, 그 비용이 기존 기성품보다 매우 저렴하여 학교나 가정에서 이용하는 데 부담이 적다.

앞서 3장에서는 일반 교사들이 DIY-MD를 쉽게 도입할 수 있도록, 학교 과학 환경에 적절한 DIY-MD 기술 구성을 제시한 바가 있다. 하지만 단순히 기술 구성을 제시받는 것만으로는 일반 교사가 손쉽게 DIY-MD를 이용하기엔 충분하지 않다. DIY-MD는 교사와 학생이 직접 장치를 제작해야 하므로, 회로에 관한 지식이나 코딩 기술 등 일정 수준의 배경 지식이 필요하다. 학교 교실에 기술을 도입하기 위한 많은 시도가 그동안 있었지만, 학교 교실은 크게 변화하지 못했다 (Jimoyiannis, 2010). 교사들은 새로운 기술을 배우려는 높은 관심과 동기가 있었지만, 기술을 적용하는 과정에서 나타난 여러 기술 관련 문제로 인해 기술 도입을 포기한 경우가 많았다 (Bradley & Russell, 1997; Cuban et al., 2001). 따라서 ICT 기술이 교실과 잘 통합되기 위해서는, 교사들이 겪는 기술 문제를 깊게 살펴보고, 이에 대한 적절한 지원을 교사들에게 제공하는 것이 중요하다 (Becta, 2004; Eastwood et al., 2012; Korte & Hüsing, 2007; Pelgrum, 2001).

이 장에서는 3장의 연구 결과를 토대로 교육 현장에 DIY-MD를 이용한 과학 탐구를 적용하고, 그 과정에서 나타난 현장 교사의 기술 관련 어려움을 연구하였다. 현장 교사의 기술 관련 어려움을 조사함으로써 DIY-MD가 학교 현장에 적용되는 데 발생하는 어려움을 예측하고, 이에 대한 적절한 지원 방안을 제안하였다.

## 2. 연구 문제

- 학생의 과학 탐구에 DIY-MD를 활용할 때, 현장 교사가 겪는 기술 관련 어려움은 무엇인가?

## 3. 연구 설계

이 장의 연구는 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구에 도입한 3명의 교사에게 대한 기술적-해석학적 질적 연구 (descriptive-interpretive qualitative research)이다 (Elliott & Timulak, 2021). 각 교사는 지방자치단체에서 운영하는 교육 프로그램, 과학고등학교 부설 영재교육원, 학교 내 자율동아리에서 DIY-MD를 과학 수업에 도입하였다. 이질적인 사례를 선택한 것은 이러한 탐구가 주로 적용되는 여러 환경에서의 DIY-MD 사용의 특징적 차이를 동시에 드러내기 위함이다 (유기웅 외, 2018). 두 명의 교사는 피지컬 컴퓨팅과 더불어 사물 인터넷 기술을 활용했지만, 나머지 한 교사는 사물 인터넷을 도입하지 않았다.

### (1) 연구 참여자 및 실행 맥락

연구자는 DIY-MD를 과학 교육 현장에 적용하는 데 있어 여러 기술 선택지를 비교·분석하고, 적합한 기술 구성을 제안한 바가 있다<sup>4</sup>. 이러한 기술 구성이 실제

---

<sup>4</sup> 이에 대한 자세한 내용은 3장에 구체적으로 기술되어 있다.

현장에서 일반 교사들이 적용하는 데 어려움이 없는지 파악하기 위해, 피지컬 컴퓨팅에 대한 경험이 없는 일반 교사 3명을 대상으로 연구를 진행하였다. 이들은 모두 중학생을 대상으로 수업을 진행했다는 점에서는 공통적이거나, 각 교사가 수업을 진행한 환경은 상당히 달랐다(표 5).

### **교사 A**

교사 A는 교직 경력 10년의 40대 여교사로 수도권 소재 과학고등학교에서 근무하면서 과학고등학교 부설 영재교육원, 교육청 부설 영재교육원 강사로 활동 중이다. 과학고등학교에서 3년째 근무하고 있어서, 학생들의 자율 탐구를 지도한 경험이 풍부하며, 평소 Padlet이나 Google Sites 등 여러 기술을 수업에서 활용하고 있다. 교사 A는 과학고등학교 부설 영재교육원에 다니고 있는 중학교 2학년 학생 5명에 대해, 자신들의 연구 과정에서 피지컬 컴퓨팅을 이용하도록 지도하였다.

영재교육원의 수업은 1년간 총 85차시 (1차시당 50분)로 구성되어 있었고, 그중 학생들이 자율적으로 주제를 잡아서 연구를 수행하는 ‘연구 과정’이 16차시 분량으로 편성되어 있었다. 영재교육원의 중학교 2학년 과학반에는 총 40명의 학생이 있었는데, 이들은 5명 내외로 짝을 짓고 자신들의 주제에 맞는 지도 교사를 선택해서 연구 과정을 진행하였다. 교사 A는 사전에 학생들에게 아두이노를 이용하여 과학 활동을 할 학생들이만 자신을 지도 교사로 선택하라고 했고, 남자 4명, 여자 1명으로 구성된 1개 팀이 교사 A를 지도 교사로 선택했다. 연구 과정은 교사의 강의보다 학생의 자기 주도적으로 직접 연구를 설계하고 수행하는 활동으로 운영되었다. 따라서, 피지컬 컴퓨팅에 대한 학습 또한, 대부분 학생이 주도하여 학습하였다. 교사 A가 아두이노를 이용하여 연구 과정을 지도하기로 하게 된 것은

연구자와 관련이 있다. 교사 A는 연구자가 DIY-MD를 과학 교육에 도입하려고 연구 중임을 알게 되었고, 자신 또한, 영재교육원의 연구 과정에 DIY-MD를 도입하기 위해 이에 관한 도움을 요청하였다. 연구자는 교사 A에게 사야 하는 기본 부품들과 이를 구매할 수 있는 업체를 알려주었다.

코로나19로 인해 전 과정은 비대면 (실시간)으로 진행되었다. 교사 A는 학생들에게 간단한 아두이노 사용법 책자가 포함된 아두이노 키트를 택배로 보내주었다. 하드웨어 회로 연결, 개발 도구 설치 등 아두이노 활용을 위한 기초적인 활동은 별다른 교육 없이 학생들이 사용법 책자를 참고하며 직접 수행하였다. 학생 중에서는 프로그래밍이 관심이 많은 학생이 1명 있었으나 나머지는 프로그래밍 경험이 거의 없었다. 학생들은 Arduino IDE를 이용하여 텍스트 코딩으로 프로그래밍을 수행하였으며, ‘이산화 탄소 농도에 따른 온실효과의 정도 변화’를 알아보기 위해 DIY-MD를 이용하여 이산화 탄소의 농도를 측정하였다. 이 수업에서는 사물 인터넷을 이용하지 않았기 때문에, 학생들은 직접 시리얼 모니터를 통해 데이터를 읽어 Excel에 기록하였다.

### **교사 B**

교사 B는 교직 경력 3년의 20대 남교사로 수도권 소재 여자중학교에서 근무하고 있으며, 과학고등학교를 졸업하고 사범대학에서 지구과학 교육을 전공했다. 과학고등학교 시절 C언어 등 프로그래밍을 배운 적은 있지만, 배운 지식을 활용하여 무언가를 만들어본 경험은 없다. 교사 B는 근무하는 학교에서 정규 교과 수업 외의 자율동아리로 ‘미세미세탐구반’을 개설하여 우리 주변의 미세먼지 농도를 측정하는 탐구를 설계·수행하고, 그 결과를 바탕으로 미세먼지



문제 해결을 위한 사회적 실천을 수행하는 활동을 7주간 17차시(1차시 당 40~45분)로 운영하였다. 동아리 활동은 방과 후 시간에 진행되었으며, 미세먼지를 측정하는 과학 탐구에 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷이 이용되었다. 연구자는 수업에 사용할 아두이노 부품을 키트로 구성하여 제공해 주었고, 학생들이 블록 코딩으로 아두이노를 사용할 수 있도록 mBlock 3 기반의 미세먼지 센서 확장 블록을 제작해주었다. 그는 교내 2~3학년 학생을 대상으로 자율동아리에 참여할 학생들을 모집하였고 17명의 학생이 자발적으로 자율동아리에 참여하겠다고 지원하였다. 애초 수업은 대면 수업으로만 계획되었으나, 코로나19 확산에 따른 방역수준 격상으로 일부 수업이 ZOOM을 통한 비대면으로 진행되었다.

### *교사 C*

교사 C는 교직 경력 4년의 30대 여교사로, 수도권 소재 중학교에서 근무하고 있으며, 지자체 부설 교육협력센터에서 강사로 활동하고 있다. 얼마 전까지만 해도 학부 시절 전공 수업에서 과제를 위해 MATLAB을 이용한 것을 제외하면 프로그래밍 경험이 전혀 없었는데, 연구자가 진행한 4주간의 ‘피지컬 컴퓨팅 및 사물 인터넷의 과학 탐구 활용 연수’를 통해 DIY-MD를 접하게 되었다. 이때 당시에는 Arduino IDE를 통한 텍스트 코딩으로 프로그래밍을 학습했다. 교사 C는 연수 종료 후 추가로 연구자를 통해 mBlock 3, 5를 통한 블록 코딩 방법을 전수받았고 이후에 교사 C는 지자체 부설 교육협력센터에서 개설한 ‘중등융합과학: 나는 행동하는 시민과학자’ 프로그램에서 중학교 1~3학년 6명의 학생을 대상으로 총 8주 16차시의 교육 프로그램을 대면으로 운영했다. 연구자는 수업에 사용할 아두이노 부품을 키트로 구성하여 제공하였고, 학생들이 블록 코딩으로

아두이노를 사용할 수 있도록 mBlock 5 기반의 미세먼지 센서와 이산화 탄소 센서의 확장 블록을 제작해주었다. 학생들은 1인 1세트의 아두이노 키트를 제공받았으며, 각자의 키트를 이용하여 미세먼지를 측정할 수 있는 장치를 만들어보았다. 개발 환경으로는 블록 코딩이 가능한 mBlock 5를 이용했다. 센서로부터 측정된 데이터는 아두이노에 연결된 Wi-Fi 모듈 (또는 LTE 모듈)을 통해 IoT 플랫폼으로 전송되었고, 학생들은 이 플랫폼에 접속하여 데이터를 분석하였다.

표 5 각 교사들의 수업 환경

	교사 A (경력 10년, 40대, 여)	교사 B (경력 3년, 20대, 남)	교사 C (경력 3년, 30대, 여)
전공	지구과학 교육	지구과학 교육	지구과학 교육
수업 대상	중학교 2학년 5명	중학교 2~3학년 17명	중학생 1~3학년 6명
형태	H과학고등학교 부설 영재교육원	S여자중학교 자율동아리	S지자체의 교육협력센터 프로그램
온/오프라인	온라인 (실시간)	오프라인 + 온라인 (실시간)	오프라인
수업 차시	1학기 (16차시)	7주 (17차시)	8주 (16차시)
개발 환경	Arduino IDE	mBlock 3	mBlock 5
수업 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-4차시: 과학 탐구 방법, 연구 과정 계획 안내</li> <li>• 5-8차시: 탐구 계획 설계, 관련 부품 선정 및 구입</li> <li>• 9-12차시: 아두이노를 활용한 이산화 탄소 측정 장치 제작</li> <li>• 13-16차시: 실험 수행 및 결과 피드백</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2차시: 시민과학 및 대기환경문제 탐색 (온라인)</li> <li>• 3차시: 아두이노 기초 (온라인)</li> <li>• 4-6차시: mBlock3를 활용한 코딩 실습</li> <li>• 7차시: 연구계획 발표 및 공유 (온라인)</li> <li>• 8-9차시: 연구계획에 따른 측정 장치 제작</li> <li>• 10-11차시: 데이터 해석 및 보고서 작성</li> <li>• 13-15차시: 시민과학자 활동 준비하기</li> <li>• 16-17차시: 활동 보고회 및 피드백</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1~2차시: 시민과학 및 대기환경문제 탐색</li> <li>• 3~6차시: 아두이노와 친해지기</li> <li>• 7~8차시: 데이터 수집 준비하기</li> <li>• 9~10차시: 데이터 수집 중간 점검</li> <li>• 11~12차시: 데이터 분석하기</li> <li>• 13~14차시: 시민과학 활동 준비하기</li> <li>• 15~16차시: 시민과학 활동 계획 발표 및 마무리</li> </ul>
기술 활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아두이노를 이용한 이산화 탄소 측정</li> <li>• 시리얼 모니터 상에서 이산화 탄소 수치를 확인하여 Excel에 기록</li> <li>• Excel을 통한 데이터 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세먼지 관련 주제로 사회적 실천을 고려한 과학 탐구 설계</li> <li>• 아두이노를 이용한 미세먼지 측정</li> <li>• 측정된 데이터를 IoT 플랫폼으로 전송</li> <li>• IoT 플랫폼에서의 데이터 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아두이노를 이용한 미세먼지 측정</li> <li>• 측정된 데이터를 IoT 플랫폼으로 전송</li> <li>• IoT 플랫폼에서의 데이터 분석</li> </ul>
연구자의 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아두이노로 미세먼지, 이산화 탄소, 오존 농도 등을 측정할 수 있다고 알려줌</li> <li>• 키트를 구매할 수 있는 업체를 알려줌</li> <li>• 센서의 선택이나 코딩은 현장 교사와 학생들이 직접 함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수업에 필요한 아두이노 키트 구성을 모두 제공 (보드, 그루브 실드, 그루브 커넥터, 미세먼지 센서, Wi-Fi 모듈 등)</li> <li>• 미세먼지 센서의 확장 블록을 개발하여 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 피지컬 컴퓨팅에 관한 4주 연수를 제공</li> <li>• 수업에 필요한 적절한 아두이노 키트를 구성하여 제공 (보드, 그루브 실드, 그루브 커넥터, 미세먼지 센서, 이산화 탄소 센서, LTE모듈 등)</li> <li>• 미세먼지 센서, 이산화 탄소 센서의 라이브러리 및 확장 블록을 수업에 적합한 형태로 개발하여 제공</li> </ul>

## (2) 연구 방법

### 데이터 수집

현장에 DIY-MD를 적용하는 과정에서 느꼈을 교사의 기술 관련 어려움을 파악하기 위해 모든 수업이 종료된 이후 약 60~90분가량의 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰 내용은 모두 녹음되었고, 인공지능 (CLOBA Note<sup>®</sup>)으로 1차 전사 후 인간에 의해 교정되었다. 인터뷰는 반구조화된 인터뷰로 진행되었으며, 다음과 같은 내용을 질문하였다. 질문들은 완전히 개방된 질문에서 시작하여, 점점 구체적인 질문으로 나아갔다. 3명의 교사 모두 이번에 피지컬 컴퓨팅을 처음 접한 상황이었기 때문에, 수업 자체뿐만 아니라 피지컬 컴퓨팅을 처음 접한 시기부터 수업을 마친 현재까지의 시간적 범위에 대해 인터뷰가 진행되었다.

- 수업하면서 느낀 점을 말씀해주세요.
- 수업을 계획하고 진행하면서 기술과 관련되어 어려웠던 부분은 무엇이었나요?
- 이러한 문제들을 어떻게 해결했나요? 만일 해결하지 못했다면 어떻게 해결해야 한다고 생각하시나요?
- 일반적인 과학 교사가 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 도입한 과학 탐구 수업을 하기 위해서는 어떤 지원이 있어야 한다고 생각하시나요?

또한, 연구자는 교사들의 수업이 진행되는 기간 수업의 진행 경과, 학생이나 교수자의 어려움, 기술 문제의 해결 방법 등을 연구 일지에 기록하였다.

## 데이터 분석

이 연구에서의 자료 분석은 질적 자료 분석에 일반적으로 사용되는 반복적 비교분석법 (constant comparison method)을 이용하였다 (Lewis-Beck et al., 2004). 반복적 비교분석은 본래 Galser & Strauss (1967)가 제안한 근거 이론에서 한 현상을 설명하는 이론을 도출하기 위한 연구 방법으로 사용되었다. 하지만 현재는 근거 이론이 아닌 다른 질적 연구 자료 분석에도 반복적 비교분석법의 과정을 따르는 경우가 많다 (Ezzy, 2002). 반복적 비교분석법은 학자들에 따라 그 단계가 다르게 제시되고 있으나, 여기서는 [그림 9]와 같은 순서를 따랐다.

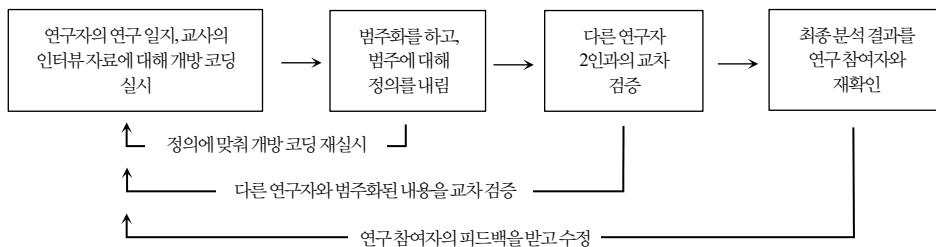


그림 9 자료 분석 과정

먼저 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구에 적용하는 과정에서 나타난 기술 관련 어려움을 파악하기 위해, 연구자가 작성한 연구 일지와 교사들의 인터뷰 자료를 바탕으로 여러 기술 관련 어려움에 대한 개방 코딩 (open coding)을 수행하였다. 이렇게 개방 코딩된 어려움을 유사한 것끼리 묶어 범주화하였고, 해당 범주들을 명확하게 정의하였다. 그리고 다시 이렇게 정의된 범주에 근거해서 나열된 어려움을 다시 비교하면서 범주 확인을 거쳤다. 정의된 범주들과 이에 맞추어 분류된 어려움은 박사급 연구원 1명과 박사과정 연구원 1명에 의해 교차

검증이 이루어졌다. 처음에 연구자는 교사의 어려움을 (1) 기술 선정 문제 (2) 측정된 데이터의 신뢰성 문제 (3) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제 (4) 문제 상황 대처의 어려움 (5) 언어 장벽 (6) 다양한 분야의 지식이 필요 (7) 법, 제도적 규제라는 총 7가지의 항목으로 분류하였는데, 교차 검증 과정에서 유사한 분류가 통합되어 총 4가지 항목인 (1) 적합한 기술 선정 문제 (2) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제 (3) 많은 변수가 개입되는 기술 문제의 복잡성 (4) 법과 제도의 문제로 줄어들었다. 서술상의 한계로 분석 과정이 선형적으로 묘사되었지만, 실제 분석은 데이터 수집 과정에서부터 이루어졌으며 (Merriam & Tisdell, 2015), 개방 코딩과 범주화의 결과는 연구 전 과정에 걸쳐 계속 개정되었다. 마지막으로 인터뷰 내용에 대한 연구자의 오해석을 확인하기 위해 인터뷰 당사자인 교사가 최종적인 분석 결과를 재확인하였고, 동아리 명칭, 참여 학생 수 등과 같은 간단한 오류가 수정되는 것 이외에 특별한 변동 사항은 없었다.

### 3. 연구 결과

이 수업을 진행한 3명의 교사는 연구자의 기술 지원을 받았음에도 여러 기술 관련 어려움을 호소하였다. 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷은 과학 탐구를 잘하기 위한 보조적인 도구임에도, 기술 관련 문제가 크게 드러나면서 기술 문제의 해결이 과학 탐구의 성패를 가로 짓는 가장 큰 요소가 되어버렸다.

교사 B : 기술적으로 좀 더 깊게 파고드는 것도 의미가 있지만 이런 과학 탐구 활동을 애들이 직접 해보고 사회적 실천해 보는 게 더 의미가 있다고 생각했거든요. 기술은 약간 보조로 지원해주는 역할이고... 물론 기술을 깊게 이해할수록 좋긴 해요. 근데 일단은 지원 역할이니까 ... 하지만 이게 생각보다 프로젝트의 성패에 큰 영향을 미치는 만큼 이거를 빠르게 해결해 줄 수 있는 방법이 있으면 좋겠다고 생각했고 ...

(교사 B의 사후 인터뷰)

수업의 전반적인 과정에서 기술 관련 문제가 크게 발생한다면 교사와 학생들은 기술 문제 해결의 모든 에너지를 소비하여, 수업의 본질적인 목표인 과학 탐구에 집중할 수 없게 된다. 하지만 기술 문제를 제대로 해결하지 않으면 과학 탐구의 근간이 되는 원시 데이터 (raw data)의 신뢰성 문제가 초래되기 때문에 기술 문제를 가볍게 다룰 수도 없다. 따라서 탐구 과정에서 어떠한 기술 관련 문제들이 야기되었는지 살펴보고 이를 최소화하여, 학생과 교사 모두 과학 탐구에 집중할 수 있도록 지원할 필요가 있다. 본 연구에 참여한 3명의 교사는 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구 수업에 적용하는 과정에서 다음과 같은 4가지 유형의 어려움을 호소하였다 (표 6). 각 어려움 간은 서로 상호배타적이지 않으며, 상호연관적이다.

표 6 교사에 따른 유형 별 기술 관련 어려움

유형	교사 A	교사 B	교사 C
(1) 적합한 기술 선정 문제	CO <sub>2</sub> 센서를 고르는 데 어려움을 겪음	연구자가 제시한 기술을 그대로 이용하여 문제를 겪지 않음	
(2) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제	새로 구매한 CO <sub>2</sub> (MG811) 센서를 사용하기 위해 인터넷에서 얻은 여러 종류의 예제 코드를 이용했으나 제대로 작동하지 않음	연구자가 제공한 mBlock 확장 블록을 이용했기 때문에 인터넷에서 자료를 찾을 필요가 없었음	새로 구매한 CO <sub>2</sub> (MG811) 센서를 구현하기 위해 구글링을 했으나, 사이트마다 알려주는 내용이 다름
(3) 많은 변수의 개입으로 인한 복잡성 문제	문제가 발생해도 원인을 찾아내기가 어려웠다.	Wi-Fi 모듈로 LTE 라우터에 접속하였는데, 일부 기기에서 접속이 실패함.	블록 코딩 자체에는 전혀 문제가 없는데도 오류가 발생한다.
(4) 법과 제도의 문제		보안 문제로 학내의 Wi-Fi를 이용할 수 없었음	LTE 통신 모듈을 이용하는 과정에서 통신 서비스 방식, 전파법에 따른 적합성 평가, 유심 발급 등 법과 제도로 인한 어려움을 겪음

### (1) 적합한 기술 선정 문제

개발 보드, 프로그래밍 언어, 통신 모듈, 센서 등을 고를 때, 어떠한 것을 선택하는 것이 적합한지 판단하는 데 많은 시간이 소요되었다. 그중 센서를 선택하기가 가장 쉽지 않았다. 학생이 설계한 과학 탐구에 따라 다양한 종류의 센서가 필요하다. 같은 대상을 측정하는 센서라 하더라도 측정 원리 (전기적, 광학적, 화학적), 정확도, 측정 범위, 작동 전압, 데이터 전송 방식 (Analog, PWM,



UART, SPI, I2C)이 달라서, 탐구의 환경에 맞추어 적합한 센서를 선택해야 한다.

교사 A는 학생들이 직접 자신의 탐구에 사용할 센서를 선택하게 했다. 센서 선택에 대한 별다른 지침은 제공해 주지 않았다. 학생들은 인터넷 검색을 통해 국내 온라인 쇼핑몰에서 판매하는 센서를 골랐다. 해당 쇼핑몰에서 판매하는 이산화탄소 센서는 MH-Z19B, MH-Z14, MH-Z16, MG811, SH-300-NDC로 총 5종이었다. 학생들은 인터넷에 정보가 많은 센서를 선택해야 추후 아두이노로 코딩을 하기가 편하리라 판단하고, 인터넷 검색을 통해 MH-Z19B 센서의 정보가 많다고 판단하고 해당 센서를 선택하였다. 하지만 배송된 센서에는 핀 헤더가 납땀이 되어있지 않았고, 인두가 없는 학생들은 이를 사용하지 못했다. 교사는 다시 MG811 센서를 구매해서 학생들에게 발송해주었다.

교사 A : 딱히 무슨 정보가 있어서 그 센서를 선택한 건 아니고 ... 저도 써본 게 없어서 아이들 보고 그냥 고르라 했어요. ... 가격이 수용할 수 있는 범위면 그냥 사줬어요 ... (그런데) 센서를 배송받았는데 납땀이 안 되어있더라고요. 그게 안 되어 있는지 생각을 못 해서 ... (교사 A의 사후 인터뷰)

교사 A 또한, 아두이노 사용이 처음이었기 때문에 센서 선택에 관한 특별한 조언을 줄 수 있는 상황이 아니었다. 가격이 합리적인지에 대해서만 판단하였을 뿐 아이들이 고른 센서를 그대로 구매해주었다. 판매사 사이트에서는 핀 헤더가 납땀이 되지 않은 사진이 그대로 나타나 있었으나, 교사 A는 경험 부족으로 이를 알아채지 못했다. 핀 헤더가 납땀이 안 되어있다는 단순한 문제는 센서를 전혀 사용하지 못하게 만드는 원인이 되었고 교사 A는 학생들에게 다른 센서(MG811)를 추가로 구매해 주었다. 아주 사소한 문제였지만 새로운 센서를 구매해서

학생들에게 다시 제공되기까지 상당한 시간이 소요되었다.

연구자는 교사 A에게 아두이노를 통해 미세먼지나 이산화 탄소 농도 측정이 가능하다는 것을 알려주면서 이에 대한 정보를 얻을 수 있는 사이트, 부품을 구매할 수 있는 업체 등을 알려주었다. 교사 A는 연구자의 추천에 따라 라즈베리파이, 마이크로비트 등 다른 선택지에 대한 고민 없이 아두이노를 선택하였다. 하지만 그 이외의 센서 선택이나 코딩 구현에 관한 구체적인 안내를 받지 못해 이 부분에 대한 선택에서 어려움을 겪었다. 연구자는 이러한 문제를 해결하기 위해 센서, 통신 모듈, 코딩 구현 방식 등에 대해 더욱 자세한 가이드를 제공하는 것이 좋겠다고 판단하였고, 교사 B, C에게는 권장하는 기술 구성을 구체적으로 제시해 주었다 (표 7).

반면, 교사 B, C는 개발 보드, 센서, 통신 모듈 등 기술 구성에 대해 연구자가 추천해준 것을 그대로 이용하였기 때문에 적합한 기술을 선택하는 과정에서의 문제는 겪지 않을 수 있었다.

표 7 교사에게 제공된 기술 구성

	교사 B	교사 C
개발 보드	아두이노 UNO	아두이노 UNO
개발 도구	mBlock 3	mBlock 5
Wi-Fi 통신 모듈	ESP-01S	ESP-01S
LTE 통신 모듈	LTE 라우터를 이용	SIM7600E
센서	ZH03B (미세먼지)	ZH03B (미세먼지) MH-Z19B (이산화 탄소)
기타	mBlock 3에 맞는 확장 블록을 개발해서 제공	mBlock 5에 맞는 확장 블록을 개발해서 제공

## (2) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제

모듈이나 센서를 아두이노와 잘 연결했다면, 이후에는 이들과의 통신을 소프트웨어로 구현해야 한다. 동체 감지 센서 (PIR 센서, passive infrared sensor)는 사물이 있거나 없는 경우를 1과 0으로 단순하게 출력 해내기 때문에, 단순한 디지털 신호로 읽어 들이면 된다. 근접 센서 (proximity sensor)는 사물이 인접한 정도를 0~5V 범위에서의 세기로 전압을 출력하므로, 단순히 아날로그 신호로 읽어 들이면 된다. 하지만 우리가 과학 탐구에서 사용하는 센서는 이렇게 간단한 센서들이 아니다. 미세먼지 센서인 ZH03B는 PM1.0, PM2.5, PM10 등 여러 데이터를 동시에 출력해야 하므로, 일정한 규칙에 따라 0과 1로 조합된 디지털 신호의 형태로 값을 출력해낸다. 일반적으로 피지컬 컴퓨팅에서 사용되는 통신 프로토콜은 UART, I2C, SPI 방식의 통신이 이용되는데, 사용자가 이러한 신호들을 직접 처리해서 우리가 원하는 값으로 산출해내기는 어렵다. 아두이노는 매우 사용자층이 두텁기 때문에, 시중에 나와 있는 대부분 센서에 대해 라이브러리와 예시 코드가 구현되어 있다. 따라서 인터넷 검색을 통해 이를 구현할 수 있는 코드를 쉽게 찾을 수 있다. 하지만 인터넷에 게시된 정보에는 상당수의 오류가 존재했고, 이는 기술 문제 해결에 많은 시간을 소비하게 만드는 주요 원인이었다.

교사 A의 학생들은 처음엔 센서를 구매한 업체의 블로그에서 코드를 받아서 사용하였다. 하지만 정상적으로 작동하지 않아서, 인터넷 검색을 통해 센서들의 다른 예제 코드를 찾아 코딩하였는데 또 정상적으로 작동하지 않았다. 교사 A와 학생들 모두 프로그래밍에 대한 지식이 많지 않다 보니 정상적으로 작동하지 않는 원인을 파악할 수 없었고, 정상적으로 될 때까지 인터넷에 있는 새로운 예제를 찾아

시도를 해보았다.

교사 A : 그 센서는 전혀 써본 적도 없고... 문제는 그 ○○○○○ (블로그)에서 나온  
센서의 코드를 써도 잘 안 돼서... 메카솔루션에서 제공한 코드로도 잘 안 됐어요.  
(...) 라이브러리가 없다고 뜨면 라이브러리를 다시 찾아서 넣고... 라이브러리를  
이걸 가져왔다가 저걸 가져왔다가 막 그냥 정말 닥치는 대로 해 봤어요.

(교사 A의 사후 인터뷰)

교사 C는 교육협력센터의 수업을 진행하기에 앞서, 연구자가 진행하는 4주간의 교사 연수에 참여했었다. 해당 연수에서는 Arduino IDE를 통한 텍스트 코딩으로 프로그래밍하였는데, 당시 교사 C는 앞으로 어떤 수업을 자신이 맡게 될 줄 모르는 상황이었기 때문에, 미래에 자신도 텍스트 코딩으로 학생을 가르쳐야 할 것으로 판단하고 교육 내용을 충분히 숙지하기 위해 노력했다. 연구자의 수업에 맞추어 단계별로 따라가는 것은 어렵지 않았으나, 홀로 연구자의 도움 없이 프로그래밍하는 상황에서 발생하는 문제는 전혀 대처해낼 수 없었다. 연수에서는 DHT11 센서로 온도와 습도를 측정하여 IoT 플랫폼에 전송하는 활동을 했었는데, 교사 C가 연수 이후, MG811 센서를 이용하여 이산화 탄소를 측정할 수 있는 장치를 만들려 했다. 새로운 센서를 접했을 때 어떻게 이 센서를 구현하는 방법을 인터넷에서 찾을 수 있는지에 대해 연수 시간에 배웠기 때문에, 교사 C는 인터넷에 나온 MG811에 관한 정보, 예제 코드 등을 이용하여 코딩을 수행했다. 하지만 사이트마다 알려주는 정보의 내용이 달라서, 어떤 내용을 따라가야 할지 혼란스러웠다. 무조건 하나씩 따라 해보고 되는 것을 찾다 보니, 무언가 값이 나와도 제대로 작동하고 있는 것인지에 대한 확신하지 못했다.

교사 C : 그때 제가 이제 CO2 센서 달아서 텍스트 코딩했었을 때, 블로그에 있는 자

료를 참고했는데요. 블로그 내용을 보면, 정확한 캘리브레이션을 위해서 전압값을  
뭘 잡아줘야 한대요. 여기 뭘 바꿔야 한대요. 그래서 거기서 시키는 대로 따라 해  
도 값이 잘 안 나왔고, 어떻게 해서 값이 나오면 이게 과연 내가 제대로 해서 값이  
나오는 건지 억지로 내가 맞춘 건지. 그런 게 의문이었어요.

교사 C : 글을 다 눌러보면, 그 글들이 또 조금씩 조금씩 말이 다르거든요. 그러면서  
이제 과연 나는 누구의 말을 들어야 하는지 의문이 생겼는데 판단할 능력이 안 되  
죠. 그냥 하나씩 하나씩 해보면서 작동이 되는 걸 찾았어요. 어찌어찌해서 값이 나  
오기 시작해도, 이게 제대로 되는 건지 모르겠더라고요. 누가 알려주는 사람이 없  
으니까.

(교사 C의 사후 인터뷰)

연구자는 이러한 문제를 해결하기 위해 텍스트 코딩 대신 블록 코딩 도구인  
mBlock을 이용하기로 하고, 적절한 Wi-Fi, LTE 모듈과 미세먼지, 이산화 탄소  
센서를 선정하여 확장 블록을 개발하여 교사 B의 수업에는 mBlock 3를, C의  
수업에는 mBlock 5를 적용했다. mBlock으로 전환한 후부터는 인터넷을 검색하며  
정보를 찾을 필요가 없었다. 하지만 확장 블록은 코드가 블록으로 묶여 있어서 일반  
사용자가 쉽게 수정을 할 수 있는 형태가 아니므로 (그림 10), 오작동이 일어날 때  
사용자가 대처할 방법이 없었다.

교사 C : 블록 코딩 그 행위 자체는 사실 쉽죠. 왜냐하면, 확장 블록을 다 만들어주시  
니까. 만들어 준 거를 연결하는 것 자체는 쉬웠는데 대신에 그렇게 해서 이제 업로  
드를 하면 가끔 업로드가 안 돼요. 그럼 이제 거기서부터 왜 안 되는가. 블록으로  
묶여 있어서 제가 이유를 찾을 수 없고 그러면 제가 할 수 있는 거는 단순한 뭐 뺐  
다 꽃았다 꺾었다 하는 그런 것들 밖에 못하니까 자괴감이 드는 거죠. 이게 맞는 건  
지 내가 제대로 하는 것인지.

(교사 C의 사후 인터뷰)

교사 B : 제일 어려운 거는 그거였죠. 그러니까 결국 제가 어쨌든 나름 스스로 공부도 하긴 했는데, 형 (연구자)이 짜준 블록을 바탕으로 블록 코딩했잖아요. 근데 그 블록 코딩을 하다 보니 결과적으로 오작동이 일어났을 때 어떤 이유에서 작동이 안 되는지를 파악하기 어려웠어요. (교사 B의 사후 인터뷰)

블록은 이해하기 쉬운 형태로 표현된다.

학생은 텍스트 코드를 신경 쓸 필요 없이

블록을 조합하기만 하면 된다.



블록을 추가하면 이에 대응되는 텍스트 코드가 자동으로 추가된다.

```

Arduino C
1 // generated by mBlock5 for <your product>
2 // codes make you happy
3
4
5 #include "SD_ZH03B/SD_ZH03B.h"
6
7 #include <Arduino.h>
8 #include <Wire.h>
9 #include <SoftwareSerial.h>
10
11 /***** ZH03B Declare *****/
12 SoftwareSerial Serial_ZH03B(4, 5);
13 SD_ZH03B ZH03B(Serial_ZH03B);
14
15 void _delay(float seconds) {
16     long endTime = millis() + seconds * 1000;
17     while(millis() < endTime) _loop();
18 }
19
20 void setup() {
21     Serial.begin(115200);
22     /***** ZH03B Setup *****/
23     Serial_ZH03B.begin(9600);
24     ZH03B.setMode ( SD_ZH03B::IU_MODE);
25     /***** *****/
26     Serial.println("hello");
27
28 while(1) {
29     Serial.println(String("PM 1.0 = ") + String(ZH03
30     Serial.println(String("PM 2.5 = ") + String(ZH03
31     Serial.println(String("PM 10 = ") + String(ZH03B
32     _delay(5);
33     _loop();
34 }
35
36 }
    
```

그림 10 블록화된 코드의 예시

### (3) 많은 변수가 개입되는 기술 문제의 복잡성

피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 적용한 과학 탐구 과정에서 학생들은 많은 기술 관련 문제 상황에 직면했고, 그때마다 교사에게 도움을 요청하였다. 하지만 교사들은 이러한 기술 관련 문제를 해결하기 위해 노력했음에도 즉각적인 대처를 하지 못하는 경우가 많았다. 기술 문제에 개입되는 변수가 너무 많았기 때문에, 기술

문제를 파악하기 위해서는 다양한 분야의 배경 지식과 경험이 필요했다.

교사 A 또한, 문제 상황 대처에 어려움을 겪었다. 학생들이 이산화 탄소 측정을 위해 MG811 센서의 구매를 요청했고, 교사 A는 해당 센서를 구매하여 학생들에게 보내주었다. 하지만 센서가 정상적으로 작동되지 않는다면 문제를 호소하는 학생들이 많았다.

교사 A : 제가 사실 아두이노를 아직 잘 몰라서, 제가 이거 하겠다고 하고 애들이 가져간 키트랑 똑같은 키트를 가지고 달려 있었던 교재를 따라 해본 게 달라서... CO<sub>2</sub> 센서는 아예 써본 적도 없고... 근데 문제는 그 ○○○○○ (국내 부품 쇼핑몰) 블로그에서 나온 센서를 써도 잘 안 됐어요. 근데 애들이 말하는 에러는 사실 센서랑 관련된 에러가 아닌 경우도 많았고 ( ... ) 어느 날은 또 본체가 안 된다고 해서 Arduino UNO도 바꿔 보고 이것저것 바꿨는데... 접촉문제도 있고

(교사 A의 사후 인터뷰)

하지만 교사 A는 문제의 원인을 알 수가 없었기 때문에, 모든 것을 다시 다 새로 해보게 하는 방법 밖에 없었다.

연구자 : 그래서 문제 상황마다 원인을 알아냈나요?

교사 A : (아니요) 그냥 문제 상황마다 부딪혀 보고 검색하고 바꿔 보고 막 이렇게 해서 해결을 하는 식으로... 정말 해결이 됐는지는 모르지만...

교사 A : 똑같은 코드를 썼는데 안 되는 때도 있었어요 어떤 애가 성공을 해서 자신의 코드를 보내요. 그러면 그게 다른 애들도 다 돼야 한다고 생각하는데 저 애는 안 된다고 하고 이 아이는 된다고 하고... 어떡해요.

연구자 : 어떻게 해결을 했어요?

교사 A : 다시 뺐다가 꺾보고 다시 깔아보고... (결국은 원인을 모르니까) 모든 걸 다 해보는 거예요. ( ... ) 그냥 처음부터 순서대로 다 해보는...? 그러다 또 어느 날 됐

다고 그러고. 정확히 뭐가 문제였는지 진단을 못 한 채, 하다 보니까 됐어요. 왜 됐는지는 명확하게 아직 몰라요. (교사 A의 사후 인터뷰)

학생들은 뚜렷한 안내를 받지 못 한 채 여러 가지를 시도해 가면서 문제를 찾기 위해 애썼고, 그 과정에서 무엇이 문제인지 파악을 못한 채 어느 정도 잘 작동하는 거 같으면 해결되었다 생각하고 상황을 넘겼다.

교사 B의 수업에서는 고정된 Wi-Fi망을 이용하지 않고, LTE 신호를 Wi-Fi로 바꿔주는 LTE 라우터의 신호를 받아서 인터넷에 접속했다. 하지만 알 수 없는 원인으로 접속이 안 되는 문제가 빈발했고, 교사 B는 이것에 대한 해결책을 찾을 길이 없어 답답해하였다.

교사 B : 어떻게 해결하면 되겠다는 구상이 딱 코드를 보자마자 떠올라서 제가 직접 고쳐 줄 수 있었으면 제일 좋았을 텐데. 그게 안 되니까….

(교사 B의 사후 인터뷰)

아두이노가 LTE 라우터에 접속을 못 한다고 생각하여, 교사 B는 임시방편으로 자신의 휴대전화로 Wi-Fi를 테더링 했지만, 아두이노 장치는 해당 SSID로도 접속이 불안정했다. 일부 학생은 길거리를 이동하면서 측정을 하는 것으로 탐구를 설계했기 때문에 LTE 라우터 사용이 꼭 필요했는데, LTE 사용이 불가능해지면서 이 학생들은 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 통한 데이터 측정을 포기했고, 과학실에 비치된 미세먼지 측정기로 탐구를 대체했다. 하지만 해당 측정기는 사용자가 직접 들고 다니면서 측정을 해야 하는 장치이기 때문에 원격 측정이 불가능했다. 따라서 학생들은 동일 장소에서 오랜 기간 측정하도록 설계된 기존 탐구 계획을 포기하고 계획을 변경해야만 했다. 교사 B는 기술 문제가 빈번히 발생하여



아이들이 자신의 탐구 계획을 접는 것에 대해 안타까워하며 다음과 같이 진술했다.

교사 B : 제가 봤을 때는 그 기계를 오작동 없이 잘 작동하는 것도 되게 중요한 요인이  
라고 생각이 되거든요. 애들이 아두이노에 나뭇 정을 붙여 가려고 해도 아두이노  
가 계속 고장이 나니까 아두이노로 할 수 있는 것들을 접고 접고 접고 하는 거예요.  
제가 그게 눈에 보니까 좀 마음이 아프더라고요. 기술 문제가 되게 중요한 부분이  
예요. (교사 B의 사후 인터뷰)

연구자는 교사 B가 LTE 라우터로 인해 겪은 문제를 해결하기 위해 기술적인 분석을  
진행했다. 해당 수업이 이루어졌던 공간은 이미 2대의 Wi-Fi AP가 설치되어  
있었는데, 해당 AP는 아두이노에서 Wi-Fi 통신에 사용되는 ESP-01 모듈과 호환이  
되지 않았기 때문에<sup>5</sup> 이용할 수 없었다. 또한, 다른 교실에도 AP가 설치되어 있어  
2.4GHz 대역에서 약 10개 정도의 SSID가 검색되고 있었다. 이 상황에서  
6~7대가량의 LTE 라우터를 추가 가동했었기 때문에 주파수 혼선으로 인해 문제가  
발생한 것으로 파악했다. 결국, 연구자는 LTE 라우터가 아닌 LTE 모듈로 직접 LTE  
망에 접속하는 방향으로 기술 구성을 변경하였고, 교사 C의 수업에 이를 처음으로  
적용하였다.

교사 C는 LTE 라우터를 사용하는 대신 LTE 모듈을 이용했고, 이로 인해 교사  
B가 겪은 기술 문제는 겪지 않을 수 있었다. 하지만 다른 기술 문제들은 여전히  
발생했다. LTE 모듈이나 센서를 인식하지 못하는 문제, 컴파일 과정에서의 문제,

---

<sup>5</sup> 교육부 보안 규정에 따라 WPA2-Enterprise로 보안 설정이 되어있었는데, ESP-01 모듈  
통신을 위해 사용한 아두이노 라이브러리(WifiESP)는 WPA2-Enterprise 접속을 지원하지  
않았다. 이와 같은 법과 제도의 문제로 인한 어려움은 다음 어려움에 후술되어 있다.

LTE 모듈이 인식은 되지만 접속에 실패하는 문제 등 다양한 문제들이 나타났다. 교사 C는 이러한 문제에 대해 원인을 파악할 수가 없었고, 기기를 다시 연결해보거나, 부품을 교체하거나, PC에 설치된 소프트웨어를 재설치하는 방법 등으로 문제 해결을 시도했다. 하지만 이런 과정에서 문제가 해결되는 때도 있었으나, 자신의 조치로 인해 문제가 해결된 것인지에 대한 확신이 없었고, 정확한 문제의 원인도 파악하지 못했다. 교사 C는 자신이 문제를 해결한 것에 대해 이렇게 표현했다.

교사 C : 망가진 자판기를 발로 차서 작동시킨 것과 같은 느낌이었어요.

(교사 C의 사후 인터뷰)

교사 C는 ‘이렇게 해결을 해봐야 다음에 또 같은 문제가 나타나도 해결할 수 없다’라고 말하며 걱정을 표출했다.

#### (4) 법과 제도의 문제

교사 B의 수업에서는 학교에 설치된 Wi-Fi AP 대신에 LTE 라우터로 Wi-Fi를 수신받았다. 이렇게 한 이유는, 학내 AP가 교육청의 보안 규정에 따라 WPA2-Enterprise로 보안 설정이 되어있었는데, ESP-01S 모듈 구현에 사용된 아두이노 라이브러리 (WifiESP)는 WPA2-Enterprise 방식의 접속을 지원하지 않았다. 교사 B는 연구자와 수업을 준비하는 과정에서 Wi-Fi 보안 방식이 문제가 된다는 것을 뒤늦게 발견하였고, 연구자는 급하게 LTE 라우터로 대체하여 교사 B에게 제공하였다.

교육청 보안 규정은 학교 선생님들도 제대로 알기 어려움. ESP-01S 말고 다른 모듈을 사용해 보려했는데, 다른 모듈을 사용하게 되면 기존에 설계된 mBlock 확장 블록과 아두이노 라이브러리를 모두 새로 개발해야 함. LTE 라우터로 대체하면 쉽게 될 줄 알았는데 그것마저 잘 안됨. (연구자의 연구 일지)

하지만 충분한 기술 검토와 지원 없이 급하게 현장에 투입됨으로써 많은 기술 문제를 초래하였다.

교사 C는 교사 B가 LTE 통신 문제로 인해 수업 진행이 어그러지고, 학생들의 탐구 계획이 수정되는 상황을 매우 심각하게 받아들였다. 교사 C는 본인이 해결할 수 없는 영역이라 판단하였기 때문에 연구자가 이에 대한 대안을 마련해 주기를 기대했다. 연구자는 교사 C의 수업에서는 Wi-Fi 모듈과 LTE 라우터를 이용하는 대신, GSM (2G) 모듈로 직접 인터넷에 접속하는 것을 검토했다. LTE가 아니라 GSM을 선택한 것은 모듈의 가격이 절반 이하로 매우 저렴했기 때문이고, 실제 영어권 커뮤니티에서도 모두 셀룰러 통신에 GSM을 이용하고 있었다. 하지만 테스트를 위해 구매한 GSM 모듈은 제대로 작동하지 않았다. 한국에서는 GSM 서비스를 하고 있지 않기 때문이었다. 연구자는 대부분의 개발 정보를 영어권 커뮤니티에서 얻어왔는데, 세계에서 한국만 유일하게 GSM 서비스를 하지 않았기 때문에 사전에 GSM 이용이 불가하다는 사실을 알 수가 없었다. 그래서 할 수 없이 가격이 더 비싼 LTE (4G) 모듈을 구매했다. 여러 LTE 모듈을 비교해본 결과, NB-IoT 망을 이용하는 SIM7020G 모듈이 그나마 가격이 저렴해서 가장 적합하다고 판단을 하고 이를 구매하여 테스트하였는데 접속이 되지 않았다. 당시는 원인을 파악하지 못했으나, 이후에 해외 기술자와 연락하는 과정에서 한국 통신사들이 일반 SIM에 대해 NB-IoT 접속을 차단하고 있다는 이야기를 들었다. 연구자는

Cat.M1 망을 이용하는 SIM7080G 모듈을 구매하여 다시 테스트해서 정상작동하는 것을 확인했다. 하지만 수업에 사용하기 위해 여러 모듈을 구매하는 과정에서 또 문제가 발생했다. 연구자는 SIM7080G 모듈을 중국 인터넷몰에서 구매를 했는데, 해당 모델은 국내에서 사용하기 위한 방송통신기기 적합성 평가를 받지 않은 제품이었다. 따라서 해당 모듈을 한국 내에서 이용하는 것은 불법이었다. 연구자는 적합성 평가 제도에 관한 법령을 검토하였고, 제조사가 직접 적합성 평가를 받았으면 해당 모델에 대해서는 어떠한 판매자를 통해 구매해도 괜찮다는 것을 확인했다. 또한, 적합성 평가를 통과한 기기들의 목록이 인터넷을 통해 공개된다는 사실도 알게 되었다. 연구자는 SIM7600E 모듈이 제조사를 통해 적합성 평가를 받았다는 사실을 확인하고 해당 모듈을 이용하는 것으로 선회했다. 통신 관련 법제를 이해하기 위해서는 상당한 기술 관련 지식이 필요하므로, 교사 C가 문제를 인식하고 해결 방안을 마련하는 것에는 상당한 어려움이 따랐다. 결국, 연구자의 기술 지원에 전적으로 의존할 수밖에 없었다.

교사 C : 기술적인 건 지금도 잘 모르겠어요. APN도 뭔지 잘 모르겠고 WPN인가?

연구자 : APN이지.

교사 C : WPN은 아예 없는 용어예요? W 어찌고도 봤었거든요.

(교사 C의 사후 인터뷰)

## 4. 논의

이 연구에서는 교사들이 겪은 주요한 기술 관련 어려움으로 (1) 적합한 기술 선정 문제, (2) 인터넷으로부터 수집한 정보의 신뢰성 문제, (3) 많은 변수가 개입되는 기술 문제의 복잡성, (4) 법과 제도의 문제 등 4가지의 문제를 발견하였다. 컴퓨터 전문가라 할지라도 피지컬 컴퓨팅에 대한 충분한 경험이 없다면 이러한 문제를 스스로 해결해내는 데 상당한 어려움이 따른다. 컴퓨터 전문가는 일반적인 컴퓨터 관련 지식을 잘 알 뿐이지, 피지컬 컴퓨팅에 쓰이는 센서나 셀룰러 통신과 관련된 법과 제도 등은 잘 알지 못한다. 하물며 과학 교사가 경험하는 어려움은 더 클 수밖에 없다.

과학 교사들의 어려움을 경감시키기 위해서는 이들을 상대로 과학 탐구의 맥락에서 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷의 이용에 대한 충분한 연수가 선행되어야 한다. 하지만 이 연구에서 나타난 어려움을 보면, 상당히 특수한 맥락에서 발생하는 문제들이 많았다. 예를 들면 교사 B는 MH-Z19B 센서를 구매해서 학생들에게 제공했다. 하지만 센서에 핀 헤더가 납땜되어 있지 않아 학생들이 사용할 수 없었다. 하지만 모든 교사가 CO<sub>2</sub> 센서로 MH-Z19B를 사용하지 않는다. 다른 센서를 사용한다면 다른 문제를 겪을 것이다. 연수가 기술 관련 문제를 해결하는 데 있어 필요조건일 뿐 충분조건이 아니다.

연구자는 각 교사가 겪는 어려움 상황에 여러 기술 지원을 수행하였다. 교사 A가 센서 선택에 있어 어려움을 겪는 상황을 보고, 교사 B, C에게 적합한 센서를 사전에 비교 분석하여 추천해주었다. 교사 A와 C가 이산화 탄소 센서를 구현하기

위해 인터넷에 있는 정보를 참고하는 과정에서, 정보의 신뢰성 문제로 인해 어려움을 겪는 것을 보고, 텍스트 코딩 대신 블록 코딩으로 프로그래밍을 할 수 있도록 여러 센서와 모듈에 대한 mBlock 확장 블록을 개발하여 교사 B, C의 수업에 투입하였다. 연구자의 기술 지원은 교사가 겪은 기술 문제를 해결하는 데 큰 도움이 되었지만, 실제 학교 현장의 교사들이 1:1 기술 지원을 받기는 어렵다는 한계가 있다. DIY-MD가 기술 문제없이 현장에 보급되기 위해서는 다른 형태의 기술 지원이 이루어져야 한다.

학교 교육과 관련된 영역뿐만 아니라 많은 영역에서 ICT를 자신들의 업무와 통합시키는 과정에서 많은 어려움을 겪고 있으며, ICT 업계는 이러한 어려움을 극복하게 해주기 위해 적극적으로 연수와 더불어 기술 지원에 나서고 있다. 기술 지원은 연수와는 다르다. 연수는 해당 ICT의 사용에 관한 전반적인 내용을 훈련하는 것이지만, 기술 지원은 문제 상황이 발생했을 때 그 특정 상황에 대한 해결만을 지원한다. 과학 교사들에게도 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구에 원활하게 활용할 수 있도록 적절한 기술 지원 체계를 마련하는 것이 필요하다.

기술 지원의 가장 많은 형태는 다층구조모델 (Tiered Support Model)을 채택하고 있다(그림 11). 이 모델에서의 기술 지원은 보통 해당 기술을 제조하거나 개발한 회사에 의해 제공된다. 예를 들면 Microsoft는 자사 제품에 관한 기술 지원을 위해 24시간 콜센터를 운영하고 있다. 하지만 이러한 모델을 동일 하게 적용하기 어려운 측면이 있다. 아두이노 자체는 오픈 소스의 형태로 무료로 이용할 수 있지만, 기술 지원은 값비싼 정품 보드와 자사의 부품을 구매한 사용자에게만 제공되고

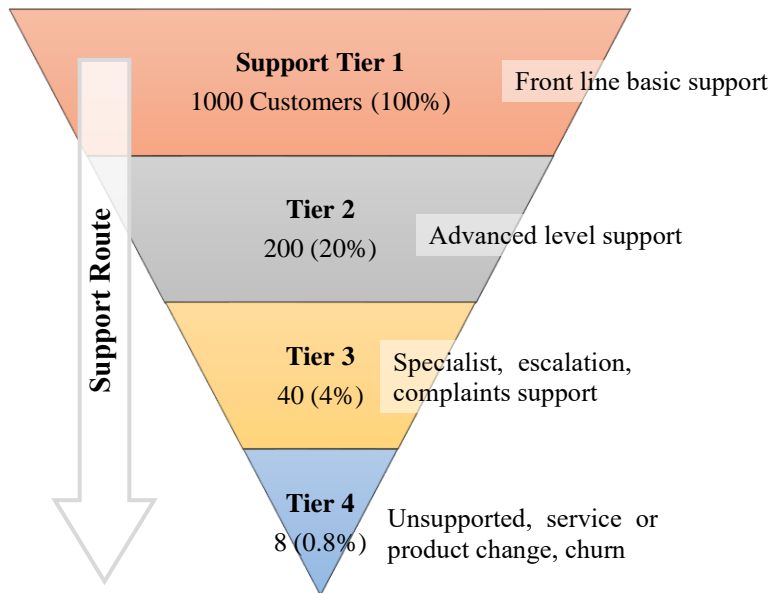


그림 11 다층구조모델

(Jackman, 2011)

있다. 또한, 탐구에 사용되는 센서는 별도의 제조사들이 제작한 것이기 때문에 이들의 기술 지원 대상에 포함되지 않는다. 더불어 사물 인터넷에 이용되는 통신 모듈이나 통신망 또한, 다른 회사에 의해 제조되고 운영된다. 공급자가 단일하지 않기 때문에 종합적인 지원을 공급 자로부터 받는 것은 불가하다. 아두이노 개발자의 커뮤니티는 대부분의 기술 지원이 군집 모델 (Swarming Model)에 의해 이루어지고 있다 (그림 12). 군집 모델이란 공급자가 별도로 구분되지 않고, 개발자와 사용자가 모두 동등하게 참여하여 정보를 교환하는 기술 지원 방식이다 (Mehrotra, 2018). 아두이노는 아두이노를 기반으로 하는 모든 영역에 대해, 참여자들이 자신들의 지식을 공유하고, 기술 문제에 대한 도움을 요청하고, 타인의 기술 문제에 대해 조언을 제공할 수 있도록 아두이노 커뮤니티 (Arduino Community)를 운영하고 있다. 아두이노 커뮤니티는 사용자들끼리 궁금한 점을

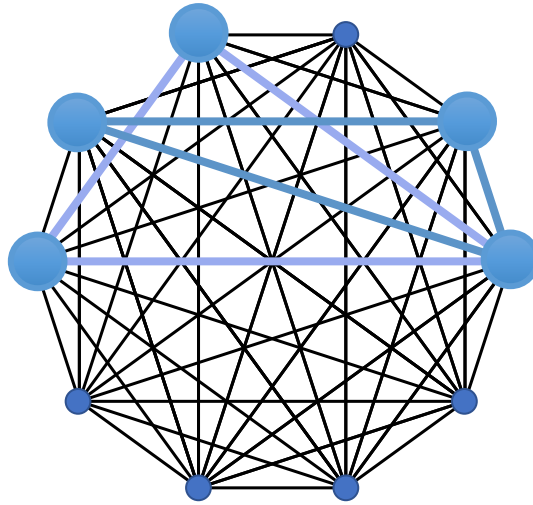


그림 12 군집 모델

(Stevens-Hall, 2018)

올리고 답변하는 포럼 (Forum; 그림 13)과 자신이 아두이노를 이용하여 제작한 프로젝트를 공유하는 프로젝트 허브 (Project Hub; 그림 14), 전 세계 여러 나라에서 지역별로 이루어지는 오프라인 행사인 아두이노의 날 (Arduino Day)로 구성되어 있다. 이 커뮤니티에서 공유되는 정보는 아두이노에서 정식으로 공급된 제품들에 한정되지 않는다. 아두이노 호환 보드는 물론이고 다른 형태의 개발 보드와 관련된 자료들도 공유되고 있다. 주요 호환 부품을 제조하고 판매하는 Adafruit 또한, 자신들의 기술 자료들을 모든 사용자에게 개방하고 있으며, 포럼을 통한 참여자들 간의 정보 공유의 장을 만들어 놓았다. Adafruit의 기술 자료들은 그들이 브레이크아웃 보드 (breakout board)의 형태로 제작하여 판매되는 모듈이 아니더라도 동일 센서를 이용한다면 그대로 참고할 수 있는 자료이기 때문에, 많은 아두이노 개발자들이 그들의 개발 자료들을 이용하고 있다.



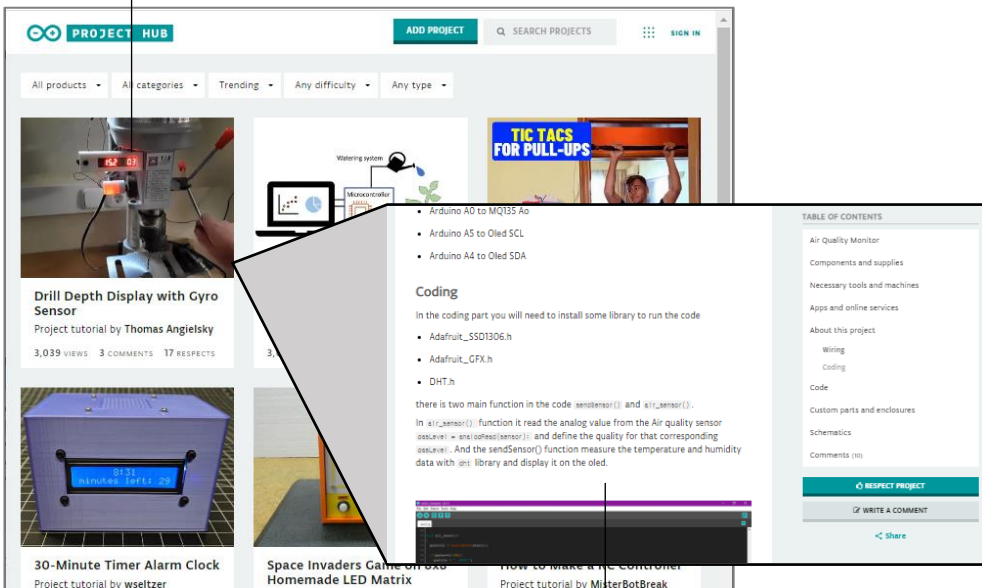


누구나 자신이 궁금한 내용을 질문으로 올릴 수 있다.

답변을 다는 이는 아두이노 회사의 엔지니어일 수도 있고, 포럼에서 활동하는 다른 일반 사용자일 수도 있다.

그림 13 아두이노 포럼

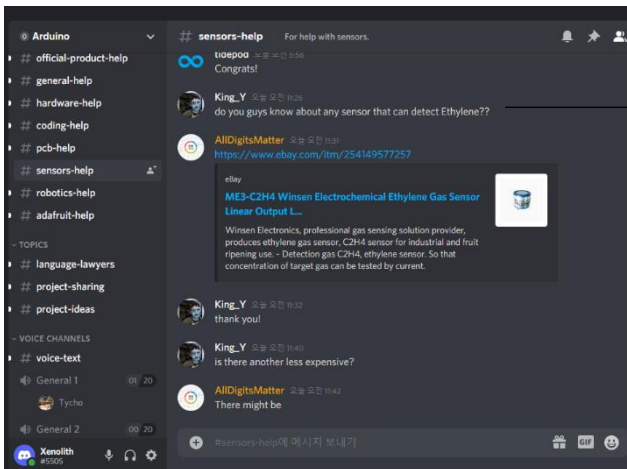
사용자가 만든 다양한 프로젝트가 게시되어 있다.



다른 사용자들이 따라서 만들 수 있도록 사용된 부품의 종류, 부품의 구매처, 회로 구성 방법, 예제 소스 코드 등을 상세히 안내하고 있다.

그림 14 아두이노 프로젝트 허브

또한, 아두이노는 홈페이지와 별도로, 디스코드 (Discord)라는 플랫폼을 통한 커뮤니티 서비스도 운영하고 있다. 디스코드는 온라인 게임을 하는 사람들이 함께 게임을 즐기면서 서로 연락할 때 사용하는 게이머들을 위한 모바일 메신저 서비스로 시작되어, 현재 교육과 비즈니스 영역까지 서비스 영역이 확장되고 있다. 디스코드를 통해 사용자는 채팅 채널에 있는 다른 사용자와 텍스트, 음성, 이미지, 비디오 등을 주고받으며 상호작용할 수 있다. 아두이노는 디스코드 상에 사용자 간의 기술 문제를 교류할 수 있도록 아두이노 채널을 개설하였다. 기술과 관련된 도움을 받고자 하는 사용자는 디스코드에 개설된 아두이노 채널에서 자신의 질문을 채팅 형식으로 올리면 된다. 디스코드는 기본적으로 메신저의 형태이기 때문에, 포럼보다 더 빠르고 간편하게 상호작용이 가능하다 (그림 15).



닉네임 ‘King\_Y’는 에틸렌 (ethylene)을 측정할 수 있는 센서가 있는지 질문을 올렸고, 닉네임 ‘AllDigitsMatter’에게 ME3-C2H4 센서를 추천받았다. ‘King\_Y’는 자신의 질문에 대한 답을 5분 만에 받았다.

그림 15 아두이노가 운영하는 디스코드 채널

피지컬 컴퓨팅은 무한히 확장될 수 있는 개발자 생태계이다. 새로운 제품의 프로토타입 제작, 전자공학 분야의 교육, 맞춤형 기기 제작, 과학 연구, 학교 과학 탐구 등 많은 영역에 활용될 수 있다. 학교 과학 탐구는 제한적인 환경이기 때문에, 피지컬 컴퓨팅의 넓은 영역 중 일부 영역의 기술과 지식만을 이용한다. 따라서 무수히 많은 정보가 산재되어 있는 기존 개발자 생태계의 자료들은 일반 과학 교사가 참고하기에 필요 없는 정보가 너무 많다. 따라서 군집 모델에 기반하여 학교 과학 탐구만을 위한 새로운 지원 체계, 즉 기술 지원 온라인 커뮤니티가 마련될 필요가 있다.

기술 지원 온라인 커뮤니티를 구축하기 위해서는, 온라인 커뮤니티의 형성과 유지 과정에 대한 이해가 선행되어야 한다. 강명수 (2005)는 문헌 연구를 통해 전통적 커뮤니티와 온라인 커뮤니티의 형성과 유지에 관한 모형을 개발하였고, 20~30대 207명을 대상으로 설문 조사하여 상호 작용, 공유 의식, 책임 의식, 규범적 몰입과 감성적 몰입에 매개된 재방문 의도, 참여 의도에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 강명수의 연구는 많은 현장 교사들이 참여하여 자생적으로 운영될 수 있는 커뮤니티를 어떻게 만들어 나갈지에 대한 시사점을 제공해준다.

기술 지원 온라인 커뮤니티는 온라인 교사 공동체의 특성 또한, 지니고 있다. 서경혜 (2011)는 ‘인디스쿨’이라는 플랫폼에는 교수 학습 자료를 공유하는 ‘교과별 자료실’이라는 공간에서 일어나는 활동에 초점을 두고 수업자료 개발의 실재를 탐구하였다. 그리고 해당 온라인 공동체 내에서 단순히 교수학습자료의 공동 생산만 이루어지는 것이 아니라, 자료의 대량 유통 및 소비에 대한 논의, 이와 관련하여 협력과 재생산의 문제, 개방과 질 관리 문제에 대한 논의가 이루어지고

있음을 발견하였다. 서경혜의 연구는 교사 공동체가 온라인상에서 의미 있게 형성되고 운영될 가능성을 보여주고 있다.

하지만 강명수 (2005)의 연구는 일반적인 커뮤니티를 초점으로 두었고, 서경혜 (2011)의 연구는 ‘인디스쿨’이라는 폐쇄된 플랫폼<sup>6</sup> 속에서 ‘교수학습자료 개발’이라는 한정된 주제만을 다뤘기 때문에 기술 지원 온라인 커뮤니티를 구축과는 다소 차이가 존재한다. 따라서 과학 탐구를 위한 피지컬 컴퓨팅에 초점을 맞춘 기술 지원 커뮤니티를 어떻게 구축하고 운영해 나갈 것인지에 대한 추가적인 연구와 실무적인 논의가 수행될 필요가 있다.

## 5. 결론 및 함의

이 연구에서는 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구에 적용한 3명의 교사를 대상으로 이들이 겪은 기술 관련 어려움을 밝히는 사례 연구를 수행하였다. 3명의 교사는 정도는 다르지만, 연구자로부터 일부 기술적인 지원을 받아 수업을 진행하였다.

이들의 겪은 어려움은 일반적인 교사가 스스로 해결할 수 있는 문제가 아니었기 때문에 교사들은 문제 상황을 적절하게 대처하지 못했다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 연구자가 제공한 기술 지원을 뛰어넘는 수준의 지원

---

<sup>6</sup> 초등학교 현직 교사에게만 가입이 허용되어 있어, 연구자들 또한, 접근할 수 없다.

체계가 마련되어야 한다. 이 연구의 논의에서는 ICT 지원에 주로 이용되는 다층구조모델과 군집 모델을 살펴보면, 피지컬 컴퓨팅을 이용한 과학 탐구에 사용되는 부품들은 공급자 (제조사, 개발사)가 다양해서 공급자 주도의 기술 지원 모델인 다층구조모델의 적용이 어렵다고 지적하였다. 그리고 현재 피지컬 컴퓨팅과 관련된 지원 체계가 군집 모델에 가까우므로, 과학 교사들을 위한 군집 모델 형태의 기술 지원 생태계가 형성되어야 한다고 주장하였다.

군집 모델은 여러 주체가 참여한 공동체에 의해 작동되는 모형이다. 따라서 흩어진 정보들을 모으고 참여자들을 하나의 공동체로 만들어나가는 쉽지 않은 과정이 이루어져야 한다. 따라서 현재 흩어져 있는 정보들, 그리고 유관한 참여 주체들을 탐색하고 이들을 서로 유기적으로 엮을 수 있는 지원 체계를 어떻게 설계해야 할지에 대해 학계와 현장에서의 추가적인 연구와 논의가 필요하다.

## V. 학생의 환경과학행위성 양상 및 변화

### 1. 배경

기술관료주의에 대한 비판으로 SSI에 대한 시민 참여가 대두되고 있다 (Beck et al., 1992). 최근 문재인 정부에서는 신고리 원전 3, 4호기의 건설 재개·중단을 결정하기 위해 공론화 위원회를 구성하고, 시민들이 참여하는 숙의 과정을 거쳐 원전 건설을 재개하는 것으로 결정하였다. SSI에 대한 의사 결정에 필요한 전문성은 과학에 국한되지 않는다. 사회적, 경제적인 문제와 결부되어 있기도 하고, 지역 사회의 맥락을 이해할 필요도 있다. 또한, 과학 기술 전문가라 할지라도 오늘날 과학이 복잡 다각화됨에 따라 전문가 또한, 자신의 전문성이 일부 영역에 국한되며, 한편으로는 일반 시민 또한, 지역적 맥락을 잘 이해하고 있는 지역 사회와 관련된 영역에서의 전문가라고 볼 수도 있다 (Irwin, 2002).

하지만 일반 시민이 SSI에 대한 의사 결정에 참여하는 것에 대해 시민이 이를 결정할 만한 충분한 전문성을 지녔는지에 대한 우려가 지속해서 제기되고 있다 (박민주, 2017; 유하라, 2017; 이건혁 et al., 2017). SSI는 복잡한 과학 관련 내용이 포함되는 사회적 문제이기 때문에, 시민이 SSI 의사 결정에 의미 있게 참여하기 위해서는 과학 지식<sup>7</sup>을 기반으로 과학적인 맥락에서 사회 문제에 참여할 수 있는

---

<sup>7</sup> 여기에서 과학 지식은 선언적 지식 (declarative knowledge)과 절차적 지식 (procedural knowledge)을 모두 포함한다.

능력을 갖추는 것이 필요하다.

이 연구에서는 학생이 시민으로서 SSI에 대한 의사 결정에 참여하는데 필요한 능력을 갖추 수 있도록 실천지향 과학 교육 프로그램을 개발하여 사범대학에 재학 중인 예비교사 대학생을 대상으로 적용하고, 이를 환경과학행위성의 관점에서 분석하였다. 이 프로그램의 특징은 학생의 과학 전문성을 향상시키기 위해 DIY-MD를 이용했다는 부분이다. DIY-MD는 과학 기술 전문가와 달리 일반 시민이 가지고 있지 못했던 측정 도구의 한계를 보완해줌으로써 (Ga et al., 2021), 더욱 전문적인 과학적 증거를 확보하는 데 도움을 준다. 따라서 학생들의 전반적인 환경과학행위성의 양상과 변화를 알아보는 동시에, DIY-MD가 환경과학행위성에 어떠한 영향을 주었는지 살펴보았다.

## 2. 연구 문제

- DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램에서 학생들의 환경과학행위성의 양상과 변화는 어떻게 나타나고 변화하는가?

## 3. 연구 방법

학생들의 환경과학행위성 변화를 알아보기 위해, 기술적-해석학적 질적 연구 (descriptive-interpretive qualitative research) 방법론을 이용하였다 (Elliott &

Timulak, 2021). 사범대학에 재학 중인 예비교사 대학생을 대상으로 우리 주변의 환경 문제를 탐구하게 하고, 이 결과를 바탕으로 환경 문제 해결을 위한 방안을 수립·실천하도록 하는 교육 프로그램을 진행하였다. 총 5명의 학생이 참여하였는데, 그중 3명의 사례를 구체적으로 연구하였다. 분석에 포함되지 않은 한 명의 학생은 연구 초기에 참여를 중단하였으며, 다른 한 명은 당사자의 개인적인 이유로 분석에서 제외하였다.

### (1) 교수 설계

이 교육 프로그램은 프로젝트 기반의 실천지향 과학 탐구 학습 (project-based and action-oriented scientific inquiry learning)으로, 학생들은 우리 주변의 의심되는 환경 문제에 대해 과학적인 방법을 이용하여 탐구를 수행하고, 이렇게 얻어진 과학적 증거를 기반으로 자기주장을 형성하고, 그리고 문제 해결을 위한 방안을 계획하고 실천하는 것으로 구성되어 있다.

본 프로그램의 특징적인 부분은 환경 문제에 관한 과학 탐구를 수행하는 과정에서 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷 기술을 이용한 DIY 측정 장치 (DIY-MD)를 직접 만들어 이용한다는 점이다. 학생은 이 장치를 통해 자신의 주장을 뒷받침할 과학적 증거를 수집하게 된다.

수업은 총 8주차 (24차시)로 이루어져 있으며, 1차시는 50분으로 구성되어 있다 (표 8). 수업은 크게 Part 1에 해당되는 12차시와 Part 2에 해당되는 12차시로 나뉜다. Part 1에서 학생들은 DIY-MD 제작과 IoT 플랫폼 활용에 관해 학습하였다.



본 프로그램의 주목적은 학생들의 코딩 기술이나 컴퓨팅 사고력을 계발하는 데 있는 것이 아니므로, 프로그래밍에 필요한 상세한 문법이나 알고리즘보다는 예제에 기반해서 측정 장치를 개발하는 실용적인 능력을 갖추는 것에 초점을 두었다. 1~2주차에는 아두이노의 기본적인 내용을 학습하였고, 3주차부터 본격적으로 특정 변인을 측정하여 IoT 플랫폼으로 전송하는 방법에 대해 학습하였다. 학생들은 연습으로 온습도 센서 (DHT11)를 통해 온도와 습도를 측정하고, 이를 IoT 플랫폼으로 전송하는 측정 장치를 만들어보았다. 4주차에는 3주차에서 배운 내용을 토대로, 여러 센서를 연결해서 측정 장치를 만들어보는 실습을 진행했다. 또한, Part 2에서 진행될 개별 프로젝트에 관해 설명을 해주고, 이와 관련된 국내외 우수 사례들을 소개하였다. 여기서 보여준 사례들의 상당수는 국내외에서 진행된 시민 과학 프로젝트였다. 학생들에게는 다음 시간까지 각자가 생각한 주제를 정리해서 발표해야 한다고 알렸다.

Part 2에서는 의심되는 환경 문제를 선택하고, 측정 장치를 이용하여 환경 문제를 탐구한 다음, 수집된 과학적 증거를 기반으로 환경 문제 해결을 위한 방안을 수립하고 실천하였다. 5주차에는 모든 학생이 모여서 각자가 생각한 주제, 탐구 계획, 예상 결과, 사회적 실천 계획을 발표하였다. 발표마다 교수자와 학생들이 피드백을 주었다. 그리고 남은 시간 동안은 피드백을 바탕으로 자신의 계획을 수정하는 시간을 가졌다. 이후 6주차부터 탐구를 수행하였고, 탐구를 통해 얻은 데이터를 분석하여 시사점을 도출하고, 이를 근거로 사회적 실천을 수행하였다.

표 8 프로그램 계획

Part	주차 (차시)	내용	수업형태
Part 1	1 (1~3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷</li> <li>• 전기 신호의 원리 (디지털 신호와 아날로그 신호)</li> <li>• 디지털 입출력 (LED 깜빡이기, 저항과 브레드보드, 시리얼 모니터)</li> </ul>	집합
	2 (4~6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아날로그 입출력 (가변 저항, 조도 센서, 온도 센서)</li> <li>• 라이브러리를 활용한 코딩 (초음파 센서, 서보 모터)</li> <li>• 아두이노 응용하기 (LCD)</li> </ul>	집합
	3 (7~9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센서와 액추에이터 (온습도 센서 DHT11)</li> <li>• Wi-Fi 모듈 (ESP-01)을 통한 인터넷 접속</li> <li>• IoT 플랫폼 (ThingsBoard)으로의 데이터 전송</li> <li>• IoT 플랫폼에서 데이터 분석하기</li> </ul>	집합
	4 (10~12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자신이 원하는 센서를 골라 IoT 플랫폼으로 데이터 전송하기</li> <li>• 앞으로 진행될 개별 프로젝트 안내</li> <li>• 개별 프로젝트와 관련된 국내외 우수 사례 소개</li> </ul>	집합
	5 (13~15)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주제발표 및 탐구 설계</li> <li>• 교수자 또는 동료 학생 간의 피드백</li> </ul>	집합
Part 2	6~8 (16~24)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정 기기 제작</li> <li>• 데이터 수집</li> <li>• 데이터 분석 및 실천 계획 수립</li> <li>• 사회적 실천</li> </ul>	개별

## (2) 연구 참여자

이 연구에는 사범대학에 재학 중인 2, 3학년 5명이 참여하였다. 여자 1명, 남자 4명으로 구성되어 있으며, 모두 지구과학 교육을 전공하고 있다. 이 학생들은 2020년 1학기에 ‘지구과학교육론’을 수강하였고, 15주차 수업 중 1주차 분량으로 STS, SSI 교육, 실천지향 과학 교육 등을 학습하였다. 해당 주차의 수업이 끝나고 연구자는 학생들에게 교육 프로그램과 본 연구에 대해 알리고 연구 참여자를 모집하였다. 코로나19의 확산으로 수업이 비대면으로 이루어지고 있었기 때문에, 연구 참여 홍보 또한, 비대면으로 진행되었다.

연구 참여자 모집 과정에서는 크게 2가지 요소가 강조되었다. 첫째는 프로그래밍 교육에 관한 부분이었다. 4주간 아두이노를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교육이 이루어질 것이고 사물 인터넷에 대한 활용 방법을 포함할 것이라 안내했다. 이 교육을 통해 학생들은 센서를 아두이노에 연결하여 측정 장치를 개발하고, 사물 인터넷 플랫폼으로 데이터를 전달하고, 플랫폼상에서 수집된 데이터를 분석하는 법을 배우게 될 것이라고 설명했다. 둘째는 사회적 실천에 관한 부분이었다. 센서를 아두이노에 연결하여 측정 장치를 만드는 궁극적인 목표는, 우리 사회에 있는 문제를 해결하는 데 이 장치를 이용하기 위함이다. 따라서 학생들에게 프로그래밍 교육을 통해 배운 내용을 바탕으로 우리 사회의 문제를 해결하는 프로젝트를 각자 수행하게 될 것이라고 설명했다.

### *연구자와 연구 참여자 간의 관계*

이 연구는 연구자가 직접 교수자가 되어 교육 프로그램을 운영하였다. 연구

참여자들은 연구자와 약 10년 정도의 차이가 나는 대학 선후배 관계이며, 이들은 이 연구 산출물이 연구자의 박사학위 논문의 데이터로 사용된다는 것을 인식하고 있었다. 연구자는 연구 수행 과정에서 일부 참여자들이 ‘자신들이 성실하게 참여하지 않으면 선배의 졸업에 지장을 줄 수 있다’고 생각하는 것을 알게 되었다. 연구자와 연구 참여자 간의 잘못된 권력 관계는 연구 참여자의 이익을 침해할 뿐만 아니라 연구 데이터가 왜곡되는 문제가 발생할 수 있다. 연구자는 이러한 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 메시지를 3주차에 연구 참여자들에게 전달하였다.

연구자 : 이 연구를 참여하는 도중에 연구 참여를 중단하고 싶다면 이유와 상관없이 언제든지 가능합니다. 여러분들의 연구 참여 중단은 제 연구에 방해가 되지 않습니다. 또한, 여러분들이 이 프로그램에서 우수한 성취를 거둬야만 제 연구가 가치 있게 되는 것이 아닙니다. 자연스러운 환경에서 여러분들의 자유 의지에 따라 행동하시면 됩니다. 그것이 가장 연구를 가치 있게 만드는 길이기도 합니다.

(수업 3주차 이후 연구 참여자 카카오톡 대화방에 보낸 메시지)

초기에 5명의 학생이 연구에 참여하였으며, 1명의 학생은 개인적인 사유로 4주차에 참여를 중단하였다.

### ***Y학생***

Y학생은 지구과학 교육을 전공하는 대학교 2학년 학생이다. 지방 중소도시의 일반계 고등학교를 졸업하였다. 최근 코딩이 매우 대세라고 인식하여 기회가 되면 코딩을 배워야겠다고 생각하고 있었지만, 기회가 없었다. 만약 기회가 온다면 닥치는 대로 해봐야겠다고 생각하고 있던 와중에, 본 프로그램에 대한 안내를 받게 되었고, 선뜻 참여를 결정하였다. 수학과 과학, 교육학에 관심이 있어서

지구과학교육과에 진학하였지만, 졸업 후에는 자연과학 분야 대학원으로 진학할 계획이다.

Y학생은 ‘P지역 방사광 가속기의 유해성’을 주제로 선정하였다. 해당 방사광 가속기가 자신의 본가 주변에 있었기 때문에 주제를 고르는 과정에서 해당 주제가 쉽게 떠올라 주제로 선택했다. 하지만 Y학생이 평소 방사광 가속기의 유해성에 대해 걱정한 것은 아니었다. Y학생은 가우저 계수기 모듈과 Wi-Fi 모듈을 아두이노와 연결해서 방사광 가속기 주변의 방사능 수치를 측정하는 사물 인터넷 측정 장치를 제작하였다 (그림 16). 방사광 가속기가 연중 항시 운행하는 것이 아니므로, 방사광 가속기 홈페이지의 운행 일정을 확인해서 방사선을 측정하였다. 방사광 가속기 주변에서 측정된 방사선 세기는 방사광 가속기에서 멀리 떨어진 지역과 비교했을 때 큰 차이가 없었고, 이를 통해 방사광 가속기로 인한 유해 방사선 방출에 대해 걱정할 필요가 없다는 결론에 이르렀다. Y학생은 이미 지역 사회에 방사광 가속기에 대한 우려가 거의 없는 상태이므로 안전함을 알리는 사회적 실천

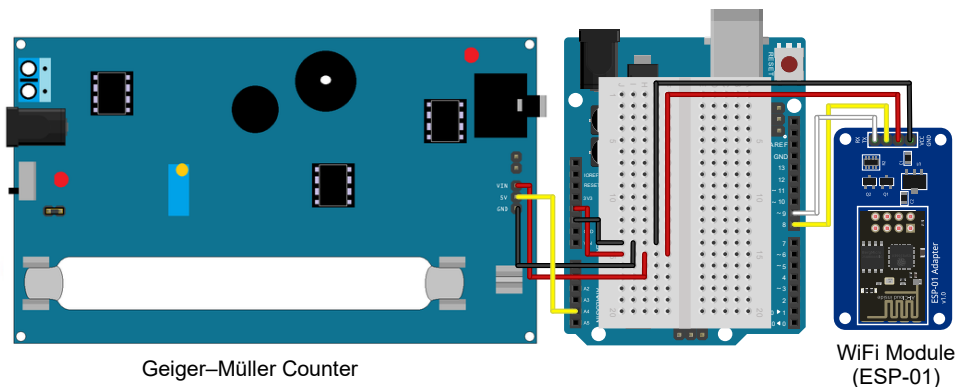


그림 16 Y학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram

활동은 무의미하다고 판단하였고, 연구자에게 사회적 실천을 수행하지 않겠다고 알려왔다.

### *J학생*

J학생은 지구과학 교육을 전공하는 대학교 2학년 학생이다. 지방 대도시의 일반계고등학교를 졸업하였다. 이 학생은 “미래 교사로서 미래를 살아가기 위한 무언가를 배우기 위해서” 이 프로그램에 참여했다고 말하면서, 구체적으로 ‘무언가’에 대해서는 ‘코딩’과 같이 미래 사회에 살면서 필요하게 될 것들이라고 응답하였다. 하지만 사범대 학생이니까 미래 교사로서의 자질을 갖춰야 한다는 당위적인 생각에서 위와 같이 응답한 것일 뿐 실제 진로 계획이 교사가 되려는 것은 아니고 현재는 별 진로 계획이 없는 상태이다.

J학생은 ‘실내 자외선의 유해성’을 주제로 선택하고, 학교 건물 내에서 사람들이 장시간 체류하는 장소들의 자외선을 측정하기로 계획하였다. J학생은 유리창을 투과해서 강하게 들어오는 햇볕에는 강한 자외선이 포함되어 있으므로 강의실 창가 좌석이나 햇볕이 잘 드는 라운지 좌석 등에 앉아있는 사람들이 자외선에 심하게 노출될 것이라 가설을 세웠다. 그리고 자외선을 측정하기 위한 적절한 센서를 찾아보았다. 이 실험에서는  $mW/cm^2$ 와 같은 단위의 자외선 세기를 측정하는 것이 아니라, 실생활에서 자외선의 유해도를 판단할 수 있는 자외선 지수 (UVI)를 얻어내는 것이 중요했다. J학생은 이에 적합한 센서로 CJMCU-S12SD를 찾아냈고, 이를 이용하여 DIY-MD를 만들었다 (그림 17).

J학생은 먼저 자신의 학과가 위치한 건물의 실내외 자외선을 측정했다. 햇빛이

잘 드는 실외, 그늘진 실외, 창문을 열었을 때의 햇빛이 잘 드는 실내, 창문을 닫았을 때의 햇빛이 잘 드는 실내를 측정하였다. 그 결과 다음과 같은 순서로 UVI가 높았다.

햇빛이 잘 드는 실외 > 창문을 열었을 때의 햇빛이 잘 드는 실내 > 그늘진 실외 > 햇빛이 잘 드는 실내

연구 결과에 따르면, 창문은 실내에 들어오는 자외선을 차단하는 데 결정적인 역할을 했으며, 겉보기 밝기가 밝다고 해서 자외선 지수가 높은 것은 아니었다. 다른 건물의 창문들도 자외선 차단 효과가 있는지 확인하기 위해 다른 건물로 이동해서 같은 실험을 수행하였고 유사한 결과를 얻어냈다. J학생은 흥미로운 연구 결과에 고무되어 마을버스 창문에 대해서도 실험을 해보았고, 마을버스 창문 또한 안전함하다고 결론내렸다. J학생은 추가적인 인터넷 검색을 통해, 형광등에서 자외선이 나온다는 논란이 있는 것을 알고 형광등, LED에서 방출되는 자외선도 측정했고, 형광등이나 LED에서는 인체에 유해할 만큼의 자외선이 방출되지 않았다는 것을 확인했다.

이 실험을 통해 J학생은 자외선이 창문을 투과하면서 급격히 약화되며 직사광선이 내리쬐지 않고 있더라도 창문이 열려있으면 상당량의 자외선이 실내로 들어온다는 것을 알아냈다. 이는 겉보기 밝기가 강할수록 자외선을 많이 쬐고 있다고 여긴 기존 통념과는 다른 결론이었다. J학생은 이를 주변에 알려야겠다고 생각하고 SNS (Facebook)에 카드 뉴스 형태로 탐구 내용을 정리해서 올렸다(그림 18).

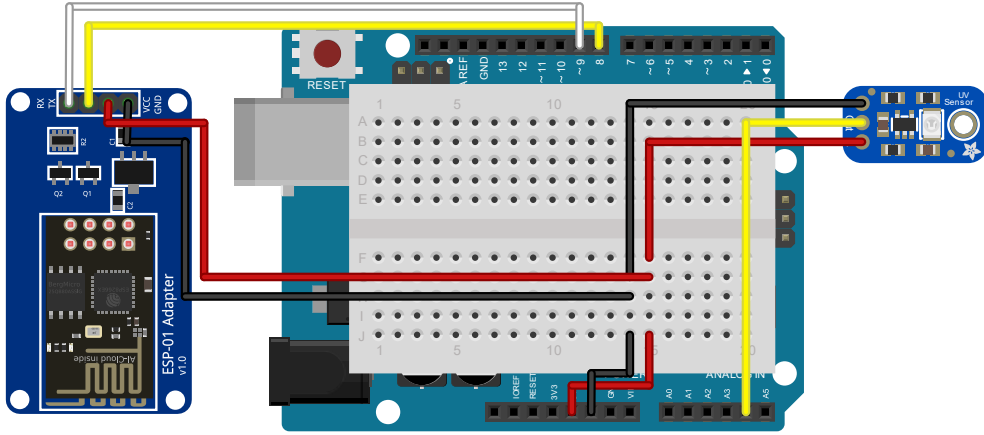


그림 17 J학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram

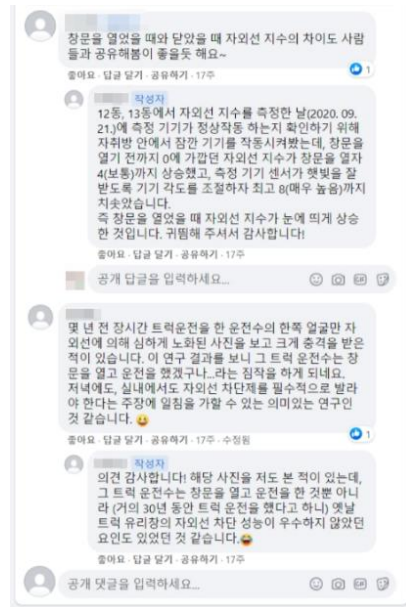
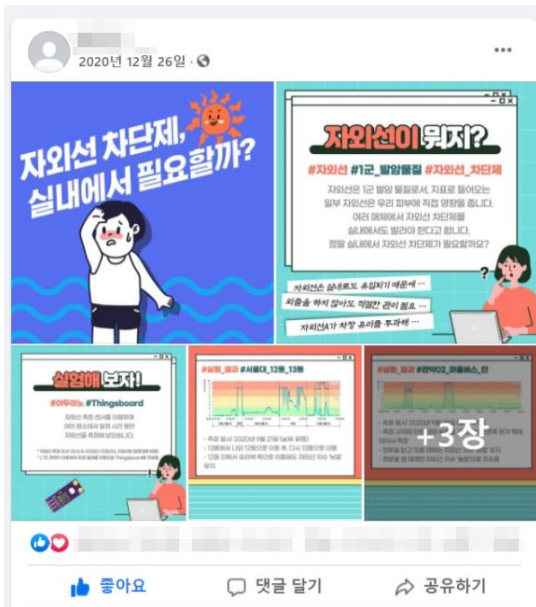


그림 18 J학생이 SNS에 올린 사회적 실천 결과물



## ***P학생***

P학생은 지구과학 교육을 전공하는 대학교 2학년 여학생이다. 지방 중소도시의 일반계 고등학교를 졸업하였다. 연구 참여 소개를 들은 이 학생은 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 이용한 과학 탐구라는 부분이 새롭게 느껴졌고, 사회적 실천을 수행하는 과학 교육도 새롭게 느껴졌다. 현재의 학교 교육과는 다소 다른 방식의 수업이라, 새로운 것을 배우게 될 기회라 생각하고 이 프로그램에 참여했다. 또한, 최근 대입에서 학생부종합전형이 늘어나면서 학생 R&E 등 교과 외 활동이 중요하게 여겨지고 있으므로, 아두이노를 이용한 탐구는 추후 교사가 되어 학생 R&E를 지도할 때 의미 있게 쓰일 것으로 생각했다. P학생은 이 수업에 참여하는 동기에 대해 자신이 배우고자 하는 동기가 70%, 추후 학생지도를 위해 배우는 것이 30%라 말했다.

P학생은 ‘길거리 간접흡연 문제’를 주제로 선택하였다. P학생은 이 프로젝트를 통해서 흡연 구역에서 퍼져나오는 담배 연기로 인해 보행로를 걷는 사람들이 간접흡연에 노출되는 문제가 심각하다는 것을 밝히고, 학내에 흡연 부스를 설치할 것을 제안하고자 했다. P학생은 먼저 담배 연기를 감지하기 위해 일산화 탄소 센서인 MQ-7과 연기 센서인 MQ-2를 이용하여 측정 장치를 제작하였다(그림 19).

P학생은 자신이 재학 중인 학교 내의 흡연 구역 대상으로 연구를 진행하였다. 이 학교는 별도의 흡연 구역을 지정해 놓지 않았기 때문에, 사람들이 관습적으로 흡연하는 지역 중 학생들이 가장 많이 간접흡연 피해를 겪을 만한 곳을 찾았고 중앙도서관 부근의 흡연 구역을 대상으로 연구를 진행하기로 했다. P학생은 흡연 구역 주변에 3개의 측정 장비를 설치하였는데, 장치 A는 흡연 구역에서 가장 인접한 곳에

설치하였고, 나머지 B, C는 흡연 구역에서는 다소 떨어져 있으면서 보행로에는 인접한 위치에 설치하였다(그림 20, 21). A에서 감지된 담배 연기가 B, C의 위치에 어느 정도 감지되는지를 측정함으로써, 흡연 구역(A지역)의 담배 연기가 보행로(B, C지역)에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보려고 했다. 하지만 P학생은 데이터로부터 유의미한 해석을 내리는 데 어려움을 겪었다. 흡연 구역에 있는 장치 A에서 흡연자가 없는 새벽 시간에도 연기가 감지되었을 때의 높은 값이 계속 측정되었다. 따라서 장치 A를 통해 흡연이 이루어져 있는지 파악을 하고 장치 B, C를 통해서 보행로에 얼마나 영향을 주는지 확인하려고 했던 의도대로 수집된 데이터를 해석할 수 없었다. 결국, P학생은 사회적 실천 단계로 나아가지 않고 프로젝트를 종결하였다.

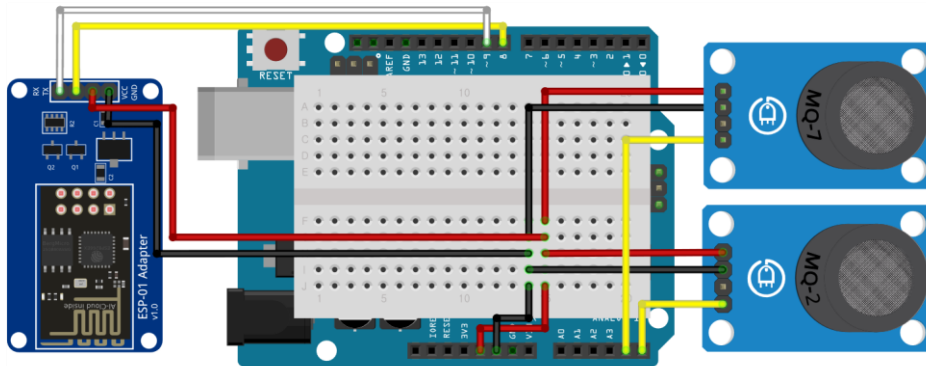


그림 19 P학생이 만든 장치의 Fritzing Diagram



그림 20 측정 장치 설치 모습



그림 21 측정 장치 설치 위치

### (3) 데이터 수집

다양한 종류의 데이터가 수집되었다. 학생의 배경과 참여 동기를 이해하기 위해 온라인 설문 (부록 1)과 사전 인터뷰 (부록 2)를 수행하였고, 수업 중 학생의 경험을 이해하기 위해 사후 인터뷰 (부록 3)를 진행하였다. 사전 인터뷰는 온라인 설문을 토대로 초점 질문을 제작하여 진행되었고 (부록 2), 사후 인터뷰는 연구하려는 목적에 맞추어 초점 질문을 제작하여 진행되었다 (부록 3). 교수자는 연구가 진행되는 동안 연구 일지 (research note)를 날짜별로 기록을 하였다. 교수자의 연구 일지에는 수업한 내용, 수업에 대한 소감, 학생에 대한 특별한 코멘트, 앞으로의 계획, 수업 개선이 필요한 점 등 수업과 관련되어 생각나는 모든 것들을 최대한 기록하였다.

#### (4) 데이터 분석

연구자는 Ballard et al. (2017)과 Harris & Ballard (2021)의 연구에서 사용된 ‘환경과학행위성 (Environmental Science Agency, ESA)’ 프레임워크를 일부 수정 보완하여 수집된 데이터를 분석하는데 이용하였다. ESA는 Basu & Calabrese Barton (2009, 2010)의 ‘비판적 과학 행위성 (Critical Science Agency, CSA)’에서 파생된 개념으로, CSA를 환경과학과 환경 보존의 맥락에 맞게 변용한 것이다. Ballard et al. (2017)과 Harris & Ballard (2021)의 ‘ESA 프레임워크’를 그대로 이용하지 않고 수정 보완한 이유는, Ballard et al. (2017)의 경우 각 하위 행위성의 개념만을 간결하게 언급하고 있을 뿐 구체적 예시를 제시하고 있지 않아, 실제 데이터를 분석하는 프레임워크로 이용하기에 다소 모호한 부분이 있었다. Harris & Ballard (2021)의 프레임워크는 각 행위성 세부 요소에 대한 상세한 예시를 제시하고 있지만, 해당 연구에서 수집된 데이터를 기반으로 마련된 것이므로 다른 맥락에서 이용하는데 한계가 있다.

변용된 분석틀은 다음과 같은 과정으로 도출되었다 (그림 22). 먼저 앞서 언급한 두 연구를 기초해서 초기 모형을 만들었고, 이를 토대로 3명의 학생 사례에 대한 데이터 분석을 시도하였다. 현재 상태의 분석 틀로 분석하기에 한계가 있는 데이터가 나타나면 분석틀을 수정 보완하였고, 다시 새로 보완된 분석틀도 처음부터 데이터를 재해석하였다. 이러한 과정을 반복적으로 수행하면서 분석틀을 지속해서 보완해 나갔고, 최종적으로 분석에 사용된 분석틀은 [표 9]와 같다.

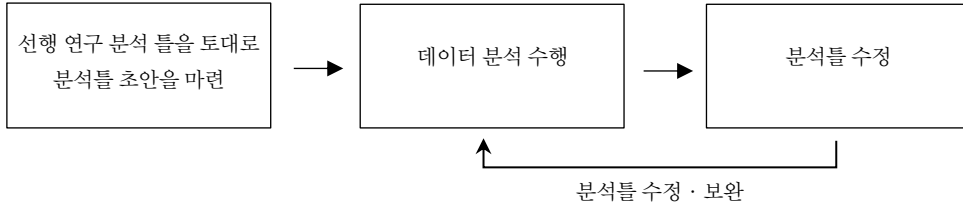


그림 22 분석틀 도출 과정

분석틀 도출 및 연구 데이터 분석은 분석의 타당도를 확보하기 위해 1명의 박사급 연구자와 함께 교차 검증을 진행하였고, 분석에 이견이 있는 부분에 관해서는 연구자 간 협의로 결정하였다.

표 9 환경과학행위성 분석틀

요소	분류 코드 및 내용
지성 (Understanding)	<b>환경과학과 관련된 내용 지식과 환경과학 활동에 대한 절차적 지식의 이해</b> U1. 환경과학과 관련된 내용 지식 U2. 과학적 규범에 따른 탐구 활동의 설계와 수행
위치성 (Positioning)	<b>환경 문제에 대한 ‘나’ 자신의 위치 짓기</b> P1. 환경 문제를 ‘나의 문제’로 인식 P2. 환경 문제 해결의 행위자로서 ‘나’를 인식 P3. 환경 문제 해결의 행위자로서 주변으로부터 받는 인식
확장성 (Extensionality)	<b>프로젝트 주제와 관련하여 개인(또는 조) 단위의 프로젝트를 넘어서 바깥으로 행위를 확장</b> E1. 연구 성과를 가족, 교사, 친구 등 지인과 공유 E2. 연구 성과를 대중들과 공유 E3. 자신의 경험을 새로운 환경/맥락으로 확장

## 4. 연구 결과

연구자는 데이터 분석을 통해 학생의 환경과학행위성 양상을 지성 2가지, 위치성 3가지, 확장성 3가지로 분류할 수 있었다. 분류 별로 어떤 환경과학행위성 양상이 나타났고 또 어떻게 변화했는지는 [표 10]에 정리되어있다.

### (1) 환경과학과 관련된 내용 지식 (U1)<sup>8</sup>

프로젝트를 시작할 당시에는 여러 환경 문제에 관한 대중 매체(신문, 블로그) 등 일반인 수준의 과학 내용 지식을 위주로 찾아보았다. 해당 환경 문제에 대한 구체적인 과학적 원리를 이해하려고 노력하기보다는 대중들 사이에서 논란이 되는 내용을 위주로 살펴보았다. 하지만 주제가 정해지고 탐구에 대한 구체적인 계획을 수립하는 과정에서 전문적인 과학 내용 지식이 필요해졌고 학생들은 더 고차원적인 지식을 찾아보기 시작했다.

#### **대중 매체(신문, 블로그)를 통해 환경과학 관련 정보를 검색**

Y학생은 본 주제를 선택하면서 인터넷 뉴스 기사를 통해 방사광 가속기에 대한 전문가들의 견해를 살펴보았다. 프로젝트 계획 발표에서 뉴스 기사를 부분 인용하면서 주제 선정 계기를 다음과 같이 서술하였다.

---

<sup>8</sup> 분류 코드는 [표 10] 참조

표 10 학생의 환경과학행위성 양상과 변화

요소	분류*	양상**	변화
지성	U1. 환경과학과 관련된 내용 지식	<ul style="list-style-type: none"> <li>대중 매체(신문, 블로그)를 통해 환경과학 관련 정보를 검색 (Y, J)</li> <li>전문가 수준의 과학 관련 지식을 탐색 (Y, P)</li> </ul>	프로젝트 초기에는 대중적인 지식수준으로 시작했으나, 프로젝트 활동을 진행하면서 필요에 따라 점차 전문 지식을 탐색해 나감
	U2. 과학적 규범에 따른 탐구 활동의 설계와 수행	<ul style="list-style-type: none"> <li>탐구 과정에서 과학 탐구에 관한 절차적 지식을 이용 (Y, J, P)</li> </ul>	
위치성	P1. 환경 문제를 '나의 문제'로 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로젝트 시작 당시에는 자신의 주제를 '나'의 문제로 생각하는 학생도 있었고 (P), 그렇지 않은 학생도 있었음 (Y, J)</li> <li>프로젝트 주제를 잡은 후 추가적인 정보들을 찾아보는 과정에서 이 문제가 나와 우리에게 영향을 미칠 수 있는 중요한 문제라고 인식하게 됨 (J, P)</li> </ul>	당사자성이 결여된 주제를 선택하더라도 프로젝트 과정에서 당사자성이 확보됨
	P2. 환경 문제 해결의 행위자로서 '나'를 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로젝트 시작 당시에는 내가 해결해야 할 문제라고 생각하지 않음 (Y, J, P)</li> <li>자신을 문제 해결의 행위자로 인식하는 데 있어 유의미한 데이터의 확보가 중요한 영향을 미침 (Y, J, P)</li> <li>자신이 탐구한 결과를 토대로 주변과 소통할 수 있는 '나'를 발견함 (J)</li> </ul>	유의미한 자신만의 데이터를 확보함으로써 자신을 환경 문제의 행위자로 인식해 나감
	P3. 환경 문제 해결의 행위자로서 주변으로부터 받는 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로젝트의 참여한 동료들로부터 환경 문제 해결의 행위자로 인식됨 (J)</li> </ul>	
확장성	E1. 연구 성과를 가족, 교사, 친구 등 지인과 공유	<ul style="list-style-type: none"> <li>실험 결과를 이 수업에 참여한 사람들과 공유를 하고 피드백을 받음 (J)</li> <li>중학교 동창들이 모인 카톡방에서 실내 자외선 문제가 언급되자, J학생은 자신의 사회적 실천 결과물을 친구들에게 공유함 (J)</li> </ul>	
	E2. 연구 성과를 대중들과 공유	<ul style="list-style-type: none"> <li>일반인에게 알릴 만한 카드 뉴스를 제작하여 Facebook에 올림 (J)</li> </ul>	
	E3. 자신의 경험을 새로운 환경/맥락으로 확장	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로젝트의 경험을 토대로 DIY-MD를 이용해 새로운 환경 문제 해결에 나설 수 있는 능력을 확보함 (Y, J, P)</li> </ul>	학생들은 DIY-MD를 이용하여 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있는 능력을 갖추게 됨

\* U: 지성, P: 위치성, E: 확장성

\*\* Y: Y학생, J: J학생, P: P학생

한국원자력안전기술원의 입자가속기 안정성 평가요건 도출이라는 문서에 따르면 다음과 같은 부분이 있다. “한편 고에너지 전자 가속기인 포항 방사광 가속기의 사례에서도 작업장 주변의 오염이나, 방사선 구역에서 사용한 물품 등의 오염은 거의 발견되지 않았으며 공기의 오염도도 거의 발생하지 않는 것으로 측정되었다.” “그러나 전자빔에 장시간 노출되는 몇몇 부품들은 방사화가 진행되고 있었으며, 밀폐된 공간에서는 오존의 농도가 증가하는 것으로 관측되었다.” (중략) 하지만 인터뷰에는 다음과 같은 부분도 있다. “방사광 가속기는 연구자가 원하는 파장으로 바꿀 수 있으며 전통적 방법보다 훨씬 강력한 X선을 발생시킨다.” 중부매일에서 인터뷰한 방사광 가속기 연구를 맡고 있는 조진희 충북연구원 박사에 따르면 “방사광 가속기는 인체에 영향을 줄 수 있는 방사능과 무관하며, 폭발 같은 위험성이 없는 연구시설”이라고 한다. 하지만 방사광 가속기는 폭발과 같은 위험성이 없고 방사능과 관련이 없다고 하더라도, X선 등의 강력한 전자기파를 발생시켜 방사선을 낼 수 있음이 여타 연구 문헌과 기사에 나와 있으니, 직접 방사광 가속기 주변에서 아두이노를 이용한 피지컬 컴퓨팅으로 방사능 검출량을 간단하게나마 알아보려고 한다. (Y학생의 탐구 계획 발표자료)

Y학생은 기사 내용을 토대로 방사광 가속기에 대한 전문가들의 상반된 입장이 존재하기 때문에, 유해성 여부를 직접 확인하는 것이 의미 있다고 생각했다. 하지만 Y학생이 해당 뉴스 기사의 내용을 과학적으로 엄밀하게 따져본 것은 아니다. 예를 들어 과학적인 관점에서 전자의 가속이 전자기파를 발생시키는 현상을 알아보거나, ‘전자빔에 장시간 노출된 부품들이 방사화된다’라는 것이 구체적으로 어떤 현상을 의미하는 것인지 이해해보려 하지 않았다. Y학생은 단순히 상반된 입장이 존재하므로 논란거리가 된다는 정도로 이 문제를 받아들였다.

J학생은 인터넷 뉴스 기사를 검색하다가 ‘실내 자외선 문제’를 접하게 되었고, 이를 프로젝트 주제로 선택해야겠다고 생각했다. 이 문제에 대한 자세한 내용을 더



알아보기 위해 다른 기사를 더 찾아보았고, 실제 여러 매체에서 이 문제를 다뤘다는 것을 알게 되었다. 하지만 대중들 사이에서 논란이 되는 내용을 위주로 살펴보았을 뿐, 자외선이 인체에 어떠한 원리로 유해하게 작용하는지는 살펴보지 않았다.

### **전문가 수준의 과학 관련 지식을 탐색**

Y학생은 방사광 가속기의 유해성을 알아보기 위해 구체적으로 무엇을 측정해야 할지 결정해야 했고, 이를 위해 방사광 가속기가 무엇을 방출하는지에 대한 이해가 필요했다. Y학생은 방사광 가속기가 작동되는 원리에 대해서 인터넷 자료들을 찾아보기 시작했고, 방사광 가속기에서 발생할 수 있는 물질이나 에너지 중 인간에게 가장 큰 위협이 되는 것은 X선이라 판단하였다. 그리고 X선을 감지하기 위해 DIY-MD 제작에 이용할 센서로 가우저 계수기를 선택하였다.

하지만 J학생은 프로젝트를 진행하면서 자외선에 대한 전문적 지식을 찾아보지는 않았고, 대중적인 이해 수준을 유지하였다. 태양으로부터 자외선이 오고, 이 자외선이 인간에게 좋지 못한 영향을 준다는 사실은 꼭 과학을 전공하고 있는 사람이 아니더라도 상식적인 수준에서 알고 있는 내용이다. 또한, 자외선 지수라는 것도 과학적인 단위의 자외선 수치를 일반인들이 알기 쉽게 간단한 숫자로 등급별로 나누고 실제 인간에게 주는 영향과 연관을 지어놓은 것이기 때문에 (표 11), 전문적인 내용 지식이라 보기 어렵다. 센서를 선택하는 과정에서도 전문적인 과학 내용 지식을 이용한 것은 아니었다. CJMCU-S12SD는 240-370nm 범위의 빛을 측정하므로 인체에 해로운 UVB 계열의 빛을 가장 잘 감지해낼 수 있는 특징이 있다 (표 12). 하지만 J학생이 이 센서를 선택한 것은 이러한 특징을 고려한

것이 아니라, UVI를 구할 수 있는 예제 코드를 인터넷을 통해 손쉽게 구할 수 있기 때문이었다.

P학생은 DIY-MD를 이용한 측정 기기를 제작하는 과정에서 센서 보정에

표 11 자외선 지수에 따른 대응 요령






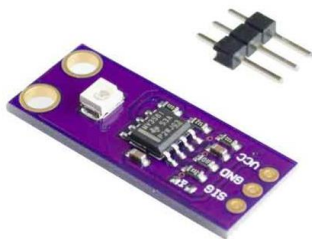
단계	지수범위	대응요령
 위험	11 이상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 햇볕에 노출 시 수십 분 이내에도 피부 화상을 입을 수 있어 가장 위험함</li> <li>• 가능한 실내에 머물러야 함</li> <li>• 외출 시 긴 소매 옷, 모자, 선글라스 이용</li> <li>• 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함</li> </ul>
 매우높음	8 이상 ~ 10 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 햇볕에 노출 시 수십 분 이내에도 피부 화상을 입을 수 있어 매우 위험함</li> <li>• 오전 10시부터 오후 3시까지 외출을 피하고 실내나 그늘에 머물러야 함</li> <li>• 외출 시 긴 소매 옷, 모자, 선글라스 이용</li> <li>• 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함</li> </ul>
 높음	6 이상 ~ 7 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 햇볕에 노출 시 1~2시간 내에도 피부 화상을 입을 수 있어 위험함</li> <li>• 한낮에는 그늘에 머물러야 함</li> <li>• 외출 시 긴 소매 옷, 모자, 선글라스 이용</li> <li>• 자외선 차단제를 정기적으로 발라야 함</li> </ul>
 보통	3 이상 ~ 5 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2~3시간 내에도 햇볕에 노출 시에 피부 화상을 입을 수 있음</li> <li>• 모자, 선글라스 이용</li> <li>• 자외선 차단제를 발라야 함</li> </ul>
 낮음	2 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 햇볕 노출에 대한 보호조치가 필요하지 않음</li> <li>• 그러나 햇볕에 민감한 피부를 가진 분은 자외선 차단제를 발라야 함</li> </ul>

표 12 CJMCU-S12SD 센서의 사양



항목	내용
동작 전압	2.7~5.5V (DC)
측정 대상	자외선
측정 범위	240~370nm
작동 온도	-30~85 °C

어려움을 겪었고, 이를 해결하고자 센서의 데이터 시트를 읽기 위해 관련된 지식을 찾아보았다. P학생은 탐구 수행에 앞서 자신이 제작한 관측 기기의 정상작동 여부를 테스트하였는데, 3개의 기기에서 관측된 MQ-7, MQ-2 센서의 값이 서로 크게 차이가 났다. P학생은 이 문제를 해결하고자 인터넷에 나와 있는 여러 MQ 센서의 예제를 따라서 코드를 변경하였다. 그러나 여전히 신뢰할 수 없는 값이 측정되었고, 교수자는 P학생에게 데이터 시트 (HWSensor, n.d.)를 보고 코드를 하나하나 해석해보자고 제안했다.

MQ센서가 잘 작동하지 않음. MQ센서에 대한 calibration을 지원 해야겠다.  
datasheet를 만나서 같이 봐야겠다. (연구자의 연구 일지)

데이터 시트에는 여러 기체에 대한 MQ-2 센서의 민감도가 그래프로 그려져 있었는데 (그림 23), 한 축은 ppm으로, 다른 한 축은  $\frac{R_s}{R_0}$ 로 되어있었다.  $R_s$ 는 대상 환경 (target environment)에서 측정된 저항값이며,  $R_0$ 는 수소 1000ppm 환경에서의 저항값이다. 그래프에서 볼 수 있는 것처럼, 수소선  $x = 1000\text{ppm}$  지점의  $y$ 값은 1임을 알 수 있다. 수소 1000ppm의 환경을 만들어서  $R_0$ 값을 측정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 하지만 [그림 23]을 통해 맑은 공기 (air)에서의  $\frac{R_{s,air}}{R_0}$ 는 값은 약 9.8 정도 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 맑은 공기에서의  $R_{s,air}$ 를 측정하면  $R_0$ 값을 구할 수 있다.

P학생은 먼저 [그림 23]에 있는 연기 (smoke)에 해당하는 선을 수식으로

변환하였다. 해당 선의 주요 지점을 PlotDigitizer<sup>9</sup>를 이용하여 좌푯값으로 구하고, 이렇게 구한 좌푯값을 다시 웹상에서 다항 회귀 (polynomial regression)를 쉽게 할 수 있도록 만들어진 도구를 이용하여 다항식으로 변환하였다. 하지만 이러한 사투 끝에도 제대로 된 값을 구할 수 없었다. 처음에는 analogRead()를 통해 읽어 들이는 값이  $R_s$ 로 판단하고 코딩을 했으나, 실제 이 값은  $R_s$ 가 아니었다. analogRead()는 아날로그 신호 핀과 GND 간의 전압을 읽어오는 함수이므로 저항값이 될 수 없다. 다시, 데이터 시트 상에 나와 있는  $R_s = \frac{V_c}{V_{R_L-1}} \times R_L$  를 이용해서  $R_s$  를 구하려 했지만, 해당 식에서의  $V_c$  옹 해당하는 loop voltage와,  $R_L$  옹 해당되는 부하 저항 (load resistance)이 정확히 무엇을 의미하는지 알 수가 없었다. 데이터 시트에 간단한 회로도도 그려져 있긴 했지만, 이것으로  $V_c$  옹  $R_L$  은 이해하기엔 무리가 있었다 (그림 24). 결국 장치 간의 보정을 포기하고, 각 장치에서 측정된 센서 값의 상대적 변화를 보는 것으로 선회했다.

---

<sup>9</sup> PlotDigitizer는 Open-source Software로, 아래 URL에서 내려받아 이용하였다.  
(<https://sourceforge.net/projects/plotdigitizer>)

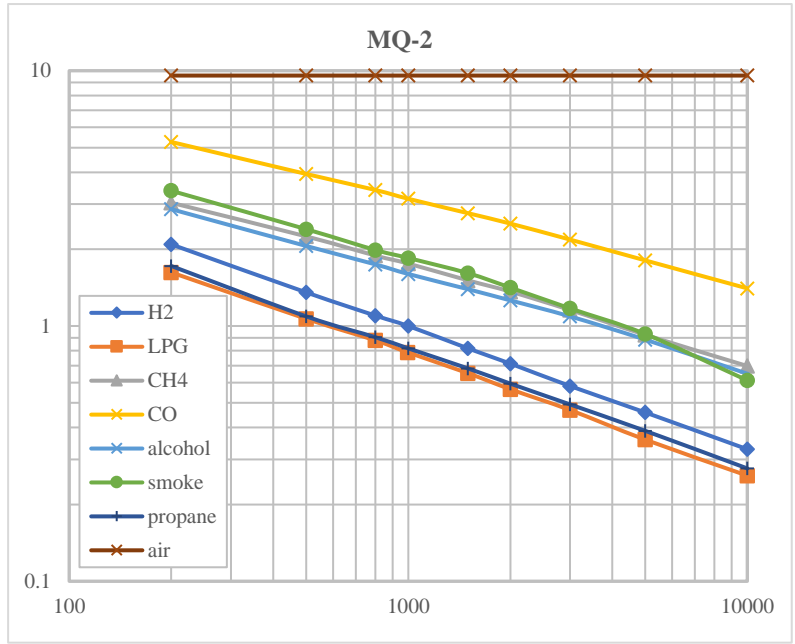


그림 24 각 기체에 대한 MQ-2의 반응

(HWSensor, n.d.)

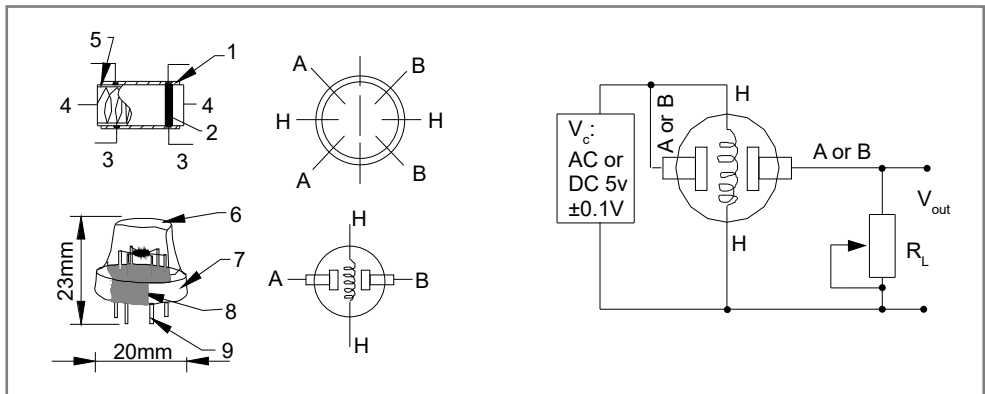


그림 23 MQ-2의 회로도

(HWSensor, n.d.)

## (2) 과학적 규범에 따른 탐구 활동의 설계와 수행 (U2)

교수자는 수업 시간에 과학 탐구의 방법이나 절차에 대해 전혀 다루지 않았다. 하지만 학생들은 자연스레 과학 탐구 과정의 규범적인 순서에 따라 자신들의 탐구를 진행해나갔다.

### *탐구 과정에서 과학 탐구에 관한 절차적 지식을 이용*

Y학생은 의식하진 않았지만, 자신의 탐구를 과학적 탐구방법에 따라 체계적으로 수행하였다 (표 12). 먼저 “지역 사회에 건설된 방사광 가속기가 인근 거주자들에게 유해할까?”라는 문제 인식으로 시작한다. 이 문제를 해결하기 위해 J학생은 다음과 같은 가설을 설정했다.

가설 : 방사광 가속기 부근에서 기준치 이상의 방사선이 관측된다.

Y학생은 이 가설을 확인하기 위해, 방사선을 측정할 수 있는 적절한 센서를 찾아보았고, 가우저 계수기를 이용하는 것이 가격 측면에서 합리적이라 판단하고, 아두이노에 가우저 계수기를 연결하여 측정 장치를 제작하였다. J학생은 유해성을 2가지 기준에서 판단하였다. 첫째로, 방사광 가속기가 운행 될 때와 운행되지 않을 때의 방사선량에 차이가 있는지 확인했다. 둘째로는, 방사광 가속기가 운행될 때의 방사선량을 방사선 안전기준치와 비교했다. 이렇게 Y학생은 가설을 확인하는 데 적합한 변인 통제를 수행하였다. Y학생은 방사광 가속기가 운행하는 일정을 확인하고, 운행시간과 미운행 시간에 각각 여러 지점에서 방사선을 측정하였다. 방사선 측정 결과, 운행시간과 미운행 시간 간의 유의한 방사선량 차이가 없었고, 그 수치 또한, 기준치를 넘지 않았다.

표 13 Y학생의 탐구 설계

<b>문제 인식</b>
지역 사회 건설된 방사광 가속기가 인근 거주자들에게 유해할까?
↓
<b>가설 설정</b>
방사광 가속기 부근에서 기준치 이상의 방사선이 관측된다.
↓
<b>탐구 설계 및 수행</b>
아두이노에 가우저 계수기를 연결하여 방사선을 측정 장치를 제작하고, 방사광 가속기가 운행되고 있는 시간과 운행되고 있지 않은 시간에 여러 지점에서 방사선을 측정함.
↓
<b>자료 해석</b>
방사광 가속기가 운행되고 있는 시간에 측정된 방사선 수치와 운행되고 있지 않은 시간에 측정된 방사선 수치 간의 유의한 차이가 없었으며, 모두 기준치 이하였음.
↓
<b>결론 도출</b>
방사광 가속기가 운행되더라도 주변 지역에 유해한 영향을 주지 않는다.

J학생 또한, 의식하진 않았지만, 자신의 탐구를 과학적 탐구방법에 따라 체계적으로 수행하였다 (표 14). 먼저 “인간은 실내 환경에서도 자외선에 노출이 많이 될까?”라는 문제 인식으로 시작한다. 이 문제를 해결하기 위해 J학생은 다음과 같은 가설을 설정한다.

가설 1 : 실내 환경이라도 햇빛이 잘 드는 위치는 자외선 지수가 높다.

J학생은 이 가설을 확인하기 위해 탐구를 설계한다. 먼저, 자외선 지수를 측정할 수 있는 센서를 알아보았고, CJMCU-S12SD 센서를 사용하기로 했다. 이 센서를

선택한 이유는 UVI를 얻어낼 수 있는 예제들이 인터넷에 많이 공개되어 있어 프로그래밍하기 쉬울 것으로 판단했기 때문이다. J학생은 이 센서를 통해 측정되는 UVI 값이 제대로 된 값인지 확인하기 위해 실외에서 자외선을 측정하고, 일기 예보를 통해 발표된 자외선 지수와 비교를 해보았다. J학생이 센서의 값이 잘못될 수 있다는 점을 인식한 것과 센서 값과 일기 예보의 자외선 지수 값을 비교하겠다고 생각한 것은 이 학생의 과학 탐구에 대한 절차적 지식과 관련이 있다. J학생은 원하는 가설을 확인하기 위해 이에 걸맞은 변인 통제를 했다. 먼저 실내에서 햇빛이 잘 드는 곳과 잘 들지 않는 곳에 UVI 값을 측정했다. 하지만 햇빛이 잘 드는지 여부만으로는 일관된 결과가 나오지 않았다. 즉, 통제되지 않은 변인이 추가로 있음을 파악하고, 새로운 가설을 설정했다. J학생은 통제되지 않은 변인이 창문이 열려있는지 여부라 추측하고, 이에 맞는 가설을 추가로 세웠다.

가설 2 : 창문을 닫을 경우 햇빛이 잘 드는 실내라도 자외선 지수가 낮다.

가설 2에 대한 검증을 위해 실험 설계를 변경하였고, 다시 실험을 수행했다. 두 번째 실험을 통해, J학생은 햇빛이 잘 드는지 여부보다 창문이 열려있는지 여부가 자외선 지수에 더 큰 영향을 준다는 사실을 알아냈다. 따라서 실내에서 창문을 닫고 생활한다면 자외선으로부터 안전하다고 결론을 내리려 했다. 하지만 자외선의 광원이 태양만 있지 않다는 사실이 떠올랐고, 실내 광원에서 자외선이 상당히 방출된다면 단순히 창문을 닫고 있는 것만으로 실내가 안전하다고 말하기 어렵다고 생각했다. 그래서 실내의 광원에 대해서도 유해한 자외선이 방출되는지 확인해봐야겠다고 생각하고 가설 3을 추가로 세웠다.



표 14 J학생의 탐구 설계

<b>문제 인식</b>	
인간은 실내 환경에서도 자외선에 노출이 많이 될까?	↓
<b>가설 설정 #1</b>	
실내 환경이라도 햇빛이 잘 드는 위치는 햇빛이 잘 안 드는 위치보다 자외선 지수가 높다.	↓
<b>탐구 설계 #1</b>	
UVI 측정이 가능한 CJMCU-S12SD 센서를 이용하여 측정 장치 제작 실제 태양 빛을 측정된 UVI와 일기 예보 상에 UVI를 비교하여 검증	↓
<b>탐구 수행 #1</b>	
대학 내에 사람들이 오래 머무는 공간 중에서 햇빛이 강하게 드는 장소를 대상으로 자외선 지수를 측정	↓
<b>자료 해석 #1</b>	
햇빛이 잘 들더라도 실내 환경에서는 대체로 자외선 지수가 3 이하로 안전했다. 하지만, 일부 창가에서 자외선 지수가 높게 측정됨. 일부 창가에서 높게 측정된 자외선 지수는 '창문의 개방'이 원인인 것으로 추정하고 추가 실험을 수행	↓
<b>가설 설정 #2</b>	
창문을 닫을 경우 햇빛이 잘 드는 실내라도 자외선 지수가 낮다.	↓
<b>탐구 설계 수정 및 재수행 #2</b>	
창문의 개방 여부를 달리하며 같은 실험을 반복 수행	
	↓
<b>자료 해석 #2</b>	
같은 장소라도 창문의 개방 여부가 UVI에 영향을 줌. 창문을 통과한 빛은 UVI가 낮다. 건물의 창문은 물론 버스의 창문 또한, 비슷한 효과가 나타났다.	↓
<b>결론 도출 #2</b>	
실내 환경일지라도 창문을 닫고 있으면 자외선 지수가 낮다. 햇빛이 아닌 다른 광원에 의한 자외선도 영향을 주지 않을까 하는 의심이 생겨서 추가 실험을 수행	↓
<b>가설 설정 #3</b>	
형광등, LED 등 조명기기에서 방출되는 자외선으로, 실내 자외선 지수가 높아진다.	↓
<b>탐구 설계 및 수행 #3</b>	
형광등, LED 조명에서 방출되는 자외선으로 인한 UVI를 측정	↓
<b>자료 해석 #3</b>	
형광등, LED에서 나온 빛의 UVI는 3 이하로 안전했다.	↓
<b>결론 도출 #3</b>	
형광등, LED 조명 기기는 유해한 정도의 자외선을 방출하지 않는다.	

가설 3 : 형광등, LED 등 조명기기에서 방출되는 자외선으로, 실내 자외선 지수가 높아진다.

J학생은 세 번째 실험을 통해 형광등, LED가 자외선 지수에 미치는 영향은 거의 없다는 것을 확인하고, 두 번째 실험 이후에 내렸던 잠정적 결론을 확정지었다.

결론 : 실내 환경에서 창문을 닫고 생활한다면 자외선으로부터 안전하다.

P학생 또한, 마찬가지로, 자신의 탐구를 과학적 탐구방법에 따라 체계적으로 수행하였다(표 15). 먼저 “흡연 구역의 담배 연기가 주변 보행로를 걷는 보행자에게 영향을 미치고 있는가?”라는 문제 인식으로 시작한다. 이 문제를 해결하기 위해 P학생은 다음과 같은 가설을 설정한다.

가설 : 흡연 구역 (A)에서 발생한 담배 연기로 인해 보행로 근처 (B, C) 지점에서 담배 연기가 관측된다.

P학생은 이 가설을 확인하기 위해 탐구를 설계한다. 먼저, 담배 연기를 측정할 수 있는 센서를 알아보았고, 일산화 탄소를 감지하는 MQ-7과 연기를 감지하는 MQ-2를 함께 사용하기로 했다. 변인 통제를 위해 같은 센서, 같은 보조배터리, 같은 개발 보드, 같은 와이파이 모듈, 같은 케이블 등을 이용했다. 그리고 강수나 습기로 인한 센서값의 변화를 차단하기 위해 방수 처리를 했다. 실제 이 장치를 A, B, C 구역에 설치하고, 24시간 동안 원격 관측으로 데이터를 수집했다. 이렇게 얻은 데이터를 해석하고 결론을 도출했다.

표 15 P학생의 탐구 설계

<b>문제 인식</b>
흡연 구역의 담배 연기가 주변 보행로를 걷는 보행자에게 영향을 미치고 있는가?
↓
<b>가설 설정</b>
흡연 구역 (A)에서 발생한 담배 연기로 인해 보행로 근처 (B, C) 지점에서 담배 연기가 관측된다.
↓
<b>탐구 설계</b>
담배 연기 감지에 일산화 탄소 센서 (MQ-7), 연기 센서 (MQ-2)를 사용 변인 통제를 위해 관측장치 설계시 동일한 부품을 사용, 방수 처리
↓
<b>탐구 수행</b>
담배 연기의 초기 발생량을 알아보기 위해 A 지점에 관측장치 설치 보행로 근처에 담배 연기가 어느 정도 도달하는지 알기 위해 B, C 지점에 관측장치 설치 24시간 동안 IoT를 이용한 원격 관측으로 데이터 수집
↓
<b>자료 해석</b>
A의 값이 높아지고 나서 일정 시간 후에 B, C의 값이 높아지는 것을 관찰할 수 있었음 하지만, A에서 새벽 시간대에도 높은 값이 계속 유지됨
↓
<b>결론 도출</b>
A 센서가 흡연 구역에서 너무 가까이 있어, 고농도의 연기로 인해 일정 시간 포화 상태가 유지된 것으로 판단함. 자료 해석의 한계가 있음을 발견함.

### (3) 환경 문제를 ‘나’의 문제로 인식 (P1)

프로젝트 시작 당시 자신의 주제를 ‘나’의 문제로 생각하는 학생도 있었고 (Y, J) 그렇지 않은 학생도 있었다 (P). 하지만 ‘나’의 문제로 생각하지 않았던 학생도 해당 문제를 프로젝트 주제로 선정 후 깊이 있게 알아보게 되면서 점차 ‘나’의 문제로 인식해 나갔다.

#### *프로젝트 시작 당시에는 자신의 주제를 ‘나의 문제’로 생각하는 학생도 있었고 그렇지 않은 학생도 있었음*

프로젝트 시작 당시 Y, J학생은 자신의 주제를 ‘나의 문제’로 인식하지 않았다. Y학생은 고등학교 때까지 방사광 가속기가 건설된 지역의 주민이었고, 그의 가족은 여전히 그 지역에 살고 있다. 하지만, 이 방사광 가속기의 유해성에 대해 평소 문제의식을 강하게 느끼지 않았다. 프로젝트 주제를 골라야 하는 상황이었기 때문에 가장 가까운 내 생활 속에서 마땅한 주제를 찾았고, 가장 먼저 떠오르는 것이 본가 주변에 있는 방사광 가속기였기 때문에 이를 주제로 선택하였다. Y학생이 문제의식을 강하게 느끼지 않았던 배경에는 사회에 대한 신뢰가 깔려 있었다.

Y학생 : (방사광 가속기를) 대학에 지어야 하는데, 기숙사에서 사는 학생들도 있을 거고, 연구하는 분들도 많이 있는데 그런 분들이 위험하면 안 되잖아요. 주변에 주거 환경도 다 있고 하니까. 그래서 그런 거(방사능 수치)는 걱정을 다 해 봤을 것 같아요. (Y학생 사후 인터뷰)

J학생은 평소 여름에도 선크림을 바르지 않을 정도로 자외선 문제에 대해 둔감했기 때문에 ‘실내 자외선 문제’를 ‘나의 문제’라 생각하지 않았었다.

연구자 : 이 주제는 어떻게 선택하게 되었는지?

J학생 : 자외선은 그냥 우연히 보다가 자외선 지수 이런 거를 발견해서 거기 관심을 가지고 완전 이제 자외선 쪽으로 방향을 틀었습니다.

연구자 : 평소에 자외선에 관심이 있었어?

J학생 : 이거 실험하기 전에는 솔직히 저도 미세먼지 이런 거에만 관심이 있었지 자외선을 막 그렇게 신경 쓰고 그러지는 않았어요. 전혀….

(J학생 사후 인터뷰)

P학생은 Y, J학생과 달리 자신이 선택한 주제를 ‘나의 문제’라고 생각했다. P학생은 중·고등학교 시절 지방의 중·소도시에서 살았는데, 간접흡연에 노출된 적이 거의 없었다. 공부하느라 집과 학교만을 오갔고 등굣길은 늘 한적했기 때문에 사람을 잘 마주치지 않았다. 또한, 여중·여고를 다녔다가 보니 담배 피우는 학생이 없었다.

P학생 : 중고등학교 때 학교에서 담배를 피우는 학교들도 있다고 들었는데 제가 나온 학교는 그런 분위기가 아니었거든요

연구자 : 담배 피우는 애가 없다고? 여자학교?

P학생 : 네 여고인데 담배피는 학생이 없었는데 대학 오니까 길에서 담배 피우는 사람 너무 많고

연구자 : ○○○ (P학생의 고향)도 길거리에서 담배피우는 사람 많잖아?

P학생 : 분기에 한번 볼까 말까…? 제가 생활 자체를 생활 환경이 집 학교 집 학교 이 루틴인데, 걸어서 15분 거리거든요. 그 길에는 담배 피울 만한 사람이 딱히 (없었어요). 왜냐하면, 거기가 다 중학교, 고등학교가 있어서 이런 분위기고 제가 등하교할 때는, 다른 학생들이 등하교하고 그런 환경이었어요.

(P학생의 사후 인터뷰)

하지만 대학교에 합격하면서 서울로 오게 되었는데, 길에서 담배 피우는 사람들이

너무 많아서 놀랐고, 담배 냄새가 자신에게 올 때마다 불쾌감을 느꼈다. 다른 학교처럼 자신의 학교에도 흡연 부스가 설치되었으면 하는 마음이 들었지만, 그것은 담배 냄새에 노출된 그 순간에만 그랬을 뿐 금세 잊었다.

**프로젝트 주제를 잡은 후 추가적인 정보들을 찾아보는 과정에서 이 문제가 나와 우리에게 영향을 미칠 수 있는 중요한 문제라고 인식하게 됨**

J, P학생은 처음엔 프로젝트 주제를 ‘나의 문제’로 여기지 않았지만, 프로젝트를 진행하면서 점차 중요한 문제라고 인식하게 되었고, ‘나의 문제’로 여기기 시작했다.

J학생은 주제 선정 이후 대중 매체에서 실내 자외선 문제에 대해 어떤 내용을 다루고 있는지 인터넷 기사들을 찾아보는 과정에서, 생각보다 많은 사람이 실내 자외선 문제에 관심이 있다는 사실을 알게 되었고, 점차 이 문제를 나와 우리 공동체에 중요한 문제로 인식해 나갔다.

연구자 : 정말 이 문제를 해결하고 싶은 마음이 컸었는지 아니면 그냥 해야하니까 하는 그런 생각이 더 컸던 건지?

J학생 : 자외선 관련해서 검색하다 보니까, 이게 꽤 심각할 수 있는 문제라는 걸 알게 되어서 그때부터 이제 진짜로 어디에서 이제 자외선 위험이 있을까 하는 호기심이 커져서 이렇게 실험을 진행했습니다. (J학생 사후 인터뷰)

P학생은 주제를 선정하고 나서, 탐구를 설계하기 위해 학내의 개방된 흡연 구역을 다시 유심히 살펴보았다. 이 학교는 흡연 구역이 별도로 정해져 있는 것이 아니라 관습적으로 인식되고 있었다. P학생은 탐구를 수행할 적절한 장소를 찾기

위해 이러한 관습적인 흡연구역들이 어디에 위치하는지 살펴보았는데, 그 과정에서 생각보다 많은 지역에서 사람들이 담배를 피우고 있고 주변 행인들에게 영향을 줄 수 있다는 사실을 깨달으면서 간접흡연 문제가 심각하다고 느끼게 되었다.

연구자 : 주제를 잡고 난 후에 태도가 좀 변한 게 있는지?

P학생 : 이 문제가 제게 큰 문제라고까지 생각을 안 했는데, 주제를 잡고 살펴보다 보니 진짜 심각하다는 생각이 들었어요. 그 전보다 그냥 간접흡연을 당할 수 있는 장소가 좀 더 많다는 생각을 하게 된 거 같아요. 전에는 중앙도서관 쪽이야 너무 대놓고 많이 피는 곳이어서 거기에서 담배를 사람들이 많이 핀다는 거는 인지를 했는데, 거기 말고도 사람들이 모여서 담배 피우는 구역이 생각보다 더 있어서 간접 흡연 당할 수 있는 곳이 학내에 정말 많구나 하고 생각했죠. (P학생 사후 인터뷰)

#### (4) 환경 문제 해결의 행위자로서 ‘나’를 인식 (P2)

프로젝트 시작 당시에는 세 학생 모두 이 문제가 자신이 직접 해결해야 하는 문제라고 생각하지 않았다. 하지만 이후 탐구 활동을 통해 어떤 데이터를 얻었는지에 따라 환경 문제 해결에 나서려는 학생들의 태도가 달라졌다.

##### ***프로젝트 시작 당시에는 내가 해결해야 할 문제라고 생각하지 않음***

Y학생은 방사광 가속기가 유해하지 않을 것이라는 믿음이 있었다. 하지만 유해하지 않을 것이라는 믿음은 과학적 근거나 논리가 있는 것이 아니라 자신이 유해성을 확인할 방법이 없으므로 믿는 것 외에는 할 수 있는 게 없다는 인식에서 나온 것이다. Y학생은 자신을 방사광 가속기가 문제가 되는지 직접 알아보고

행동하는 위치에 있다고 보지 않았다. 자신을 단순히 믿어야 하는 사람으로 위치시켰고, 실제 그렇게 믿었다.

연구자 : 그런 것 (방사광 가속기 반대 현수막)들이 붙어 있으면 궁금하지 않았어? 정말 저게 우리 동네 들어오면 위험한지….

Y학생 : 하긴 했는데 어떻게 하면 알 수 있을지도 모르고 이게 그냥 믿어야지 뭐 이런 생각으로 그냥….

연구자 : 이런 국가에서 운영하는 시설이나 이런 거에 대해서 의심을 많이 하는편 보다는 믿는 편인가?

Y학생 : 그런 거 같기도 해요 (Y학생 사후 인터뷰)

J학생은 애초 자외선 자체에 관해 관심이 없었기 때문에 자신이 이 문제를 해결해야겠다는 인식조차 없었다. 단순히 프로젝트를 수행해야 하는 상황에서 관찮은 주제라 생각해서 선택한 것뿐이었다.

P학생에게 있어 간접흡연 문제는 이 생활 속에서 느끼는 문제이긴 했지만, 이를 해결하기 위해 직접 나서고자 하는 의지까지는 없었다.

연구자 : 그러니까 생각했던 거보단 그냥 좀 더 심각하게 생각을 하게 됐다는 거네?

P학생 : 그래도 여전히 막 내가 나서서는 굳이… (P학생의 사후 인터뷰)

### ***자신을 문제 해결의 행위자로 인식하는 데 있어 유의미한 데이터의 확보가 중요한 영향을 미침***

학생이 자신을 문제 해결의 행위자로 인식을 하는 데 있어, 유의미한 데이터를 확보하는 것이 상당히 중요했다. J학생은 자신의 측정한 데이터로부터 실내에서는 자외선의 영향을 거의 받지 않는다는 사실을 발견할 수 있었다. 이는 기존 언론에서



보도된 내용과는 다른 결과였다. J학생은 자신이 상당히 유의미한 데이터를 확보했다고 생각을 했고, 잔뜩 고무되어서 당초 계획에도 없던 다른 장소까지 추가적인 탐구를 수행하였다. 그리고 그 결과를 토대로 사회적 실천에 가장 적극적으로 나섰다. J학생은 이 수업에서 가장 의미 있었던 것으로 실험 결과를 단순히 프로젝트 참여 학생들끼리만 알고 있는 게 아니라 다른 사람에게 널리 알릴 수 있었던 부분을 꼽았다. 이렇게 생각한 배경에는 탐구 결과가 의미가 있다면 이를 단순히 소수가 가지고 있는 것이 아니라 주변에 알리는 것이 중요하다는 생각이 기저에 깔려 있다.

J학생 : 실험 결과 우리끼리만 알고 공유하는 거가 아니라 이러한 결과가 있다고 다른 사람들에게 널리 알릴 수 있었으니까 그 부분이 제일 의미가 있었다고 생각을 합니다. (J학생 사후 인터뷰)

반면 Y학생은 자신의 데이터로부터 방사광 가속기의 유해성 문제에 대해 우려할 필요가 없다는 결론을 얻어내면서, 자신이 굳이 나서서 방사광 가속기의 유해성 문제를 알릴 필요가 없다고 생각했다. Y학생은 처음부터 방사광 가속기가 유해하지 않을 것이라고 거의 믿고 있었다. 그럼에도 프로젝트 주제로 선정한 것은 약간이지만 의심이 없진 않았기 때문이었고 이번 기회에 확인해보면 좋겠다고 생각했다. Y학생은 유해성을 입증할 만한 데이터가 나올 경우 유해성을 알리는 활동을 해야겠다고 생각을 했고, 유해하지 않다는 결과가 나올 경우 해가 없음을 알리는 활동을 해야겠다고 생각했다. 하지만 Y학생은 유해하지 않다는 결과를 얻게 되었지만, 해가 없음을 알리는 활동을 하기보단, 자신의 프로젝트 주제 선정이 부적절했다고 진술하면서 사회적 실천 없이 프로젝트를 종료하였다.

Y학생 : 솔직히 지금 생각해 보면 조금 의미가 없었던 주제 같거든요. 왜냐면 제가 실제로 기계를 선택해서 만들어서 측정해봤는데 보니까 거의 없는 수치가 나오는 거예요. 거의 0에 가까운….

연구자 : 측정을 해 봤어?

Y학생 : 네 측정까진 해 봤거든요. 거의 그냥 진짜 무해한 수치가 나와 가지고 0.00 뭐 얼마였나? 그 정도로 나와서 해보고도 별로 의미가 없다고 느꼈고 실제로 방사광이다 보니까 사실 과학적으로도 큰 상관이 없는데 왜 그렇게 잡았나 싶기도 하고…  
(Y학생 사후 인터뷰)

P학생은 간접흡연 문제를 자신의 문제로 생각했지만, 굳이 나서서 자신이 해결해야 할 문제라고는 생각하지 않았다. 하지만 프로젝트를 통해 자신의 주장을 뒷받침할 데이터를 얻게 된다면, 대학 본부에 좀 더 쉽게 어필할 수 있어서 자신이 문제 해결을 위해 직접 행동할 마음이 있었다. 하지만 데이터 확보에 실패함으로써 직접 행동하려는 생각은 자연스럽게 사라졌다.

연구자 : 데이터 없이도 그냥 요구할 수도 있잖아요?

P학생 : 데이터가 없을 때는 왜 요구하지 않았느냐고요?

연구자 : 데이터가 없어도 충분히 요구할 수 있잖아.

P학생 : 데이터가 있어야 그래도 좀 더 신빙성이 있어 보이지 않을까 이런 생각이….

(P학생의 사후 인터뷰)

### **자신이 탐구한 결과를 토대로 주변과 소통할 수 있는 ‘나’를 발견함**

J학생은 자기 생각을 외부에 적극적으로 주장하는 성격이 아니다. 따라서 SNS와 같이 여러 사람이 있는 곳에 자기 생각을 펼치지 않아 왔다. 하지만 이번 프로젝트로 인해 SNS에 내가 직접 알아낸 지식을 주변인들에게 공유해보는 경험을

하게 되었다. J학생은 이 부분에 대해 SNS를 통해 사회 문제에 관한 과학 탐구의 결과를 공유하고 소통하는 것이 가능하겠다는 인식을 갖게 되었다.

J학생 : 거기서 실험을 통해서 그래도 내 생각을 누군가가 봐줌으로써 알아주고 결과를 봐주고 함으로써 소통 이런 것도. 소통 같은 거도 충분히 이루어질 수 있겠다는 생각이 들었습니다. (J학생 사후 인터뷰)

### (5) 환경 문제 해결의 행위자로서 주변으로부터 받는 인식 (P3)

#### *프로젝트의 참여한 동료들로부터 환경 문제 해결의 행위자로 인식됨*

J학생은 실내 자외선 문제에 대해 의미 있는 데이터를 확보하게 되었고, 이 실험 결과를 수업에 참여한 동료들과 공유했다. 동료들은 J학생의 연구 결과를 매우 의미 있게 받아들이면서, J학생이 이 문제를 알리는 데 나서야 한다고 생각했다.

P학생 : ○○(J학생)의 데이터는 다른 사람들이 생각하지 못했던 부분에 대해서 확실하게 알려 주고 새로운 지식을 좀 준다는 느낌을 받아서... (중략) 실제로 이게 문제인 걸 확인했으면 그걸 좀 다른 사람하고 공유하고 싶고 그런 측면에서 사회적 실천을 하게 되는 거 같아요. (P학생 사후 인터뷰)

L학생<sup>10</sup> : ○○(J학생) 보고 좀 느낀 게 있었어요. 자외선 그 어쨌든 계몽이 된 거 같아요? 실내 자외선 문제에 대해 일깨워 주는 것만으로도 사회적 참여가 확실히 되는구나. 어쨌든 ○○(J학생) 바로 옆에 제가 바뀌었으니까. 지식이 생성됐잖아요. (L학생 사후 인터뷰)

---

<sup>10</sup> L학생은 수업의 전 과정에 참가하였으나 개인적인 사정으로 인해 분석 대상 사례에서는 제외되었다.

(6) 연구 성과를 가족, 교사, 친구 등 지인과 공유 (E1)

*실험 결과를 이 수업에 참여한 사람들과 공유를 하고 피드백을 받음*

J학생은 실험 결과가 나오자마자, 이 수업에 참여하고 있는 학생들로 구성된 SNS 단체 대화방에 실험 결과를 공유했다. 다른 학생들은 J학생의 실험 결과를 보고 상당히 의미 있는 결과를 얻어냈다고 반응했다.

*중학교 동창들이 모인 카톡방에서 실내 자외선 문제가 언급되자, J학생은 자신의 사회적 실천 결과물을 친구들에게 공유함*

J학생의 중학교 친구들로 구성된 SNS 단체 대화방에서 실내 자외선 문제에 관한 이야기가 나왔는데, J학생은 친구들에게 자신의 사회적 실천 결과물을 보여주면 좋겠다는 생각에, 자신의 카드 뉴스를 보내주었다. 또래 집단에서 J학생이 학업 성적이 좋은 우등생이란 인식은 있었지만, 단체 대화방에서 자신이 그러한 지식을 드러내는 일은 거의 없었었다. 하지만 이번에는 공유해야겠다고 생각했다

연구자 : 결과물이 충분히 사람들에게 알려졌다고 생각을 하는지?

J학생 : 그렇게 많이 까지는 아니라고 생각합니다. 그래도 다행히 지금 페이스북 게시글을 보는 사람들은 일단 과학에 조금이라도 관심이 있으신 분들이니까... (멈춤)  
조금 더 많이 알려져야 할 필요는 있다고 생각합니다.

연구자 : 결과에 대해서?

J학생 : 네네. 결과에 대해서 이런 결과도 있다라고.

연구자 : 혹시 이 결과를 다른 친구나 우리 피지컬컴퓨팅이란 친구들 말고 다른 친구나 아니면 가족들이나 이런 사람들하고 내용을 얘기한 적이 있어?)

J학생 : 만든 카드 뉴스를 중학교 친구들이랑 그냥 톡 하다가 얘기가 나와서... 내가 만든 거 있는데 한번 보라고 보내준 적이 있습니다.

연구자 : 평소 과학 관련된 대화를 나눠?

J학생 : 거의 없는 거 같아요.

(J학생 사후 인터뷰)

### (7) 연구 성과를 대중들과 공유 (E2)

#### ***일반인에게 알릴 만한 카드 뉴스를 제작하여 Facebook에 올림***

J학생은 이 결과를 SNS에 카드 뉴스 형태로 만들어서 공유하기로 하고, 카드 뉴스에 넣을 내용을 교수자에게 보내주며 의견을 구했다. 교수자는 학생이 손쉽게 미려한 카드 뉴스를 만들 수 있도록 ‘미리캔버스’라는 그래픽 도구를 소개해주었다. J학생은 이 도구를 이용해서 기존에 계획했던 카드 뉴스를 제작하였고, Facebook 페이지에 올리고 일부 네티즌과 상호작용을 했다 (그림 18)

### (8) 자신의 경험을 새로운 환경/맥락으로 확장 (E3)

#### ***프로젝트의 경험을 토대로 DIY-MD를 이용해 새로운 환경 문제 해결에 나설 수 있는 능력을 확보함***

학생들은 DIY-MD를 이용하여 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. J학생은 사회적 실천까지 모두 수행했지만, Y, P학생은 사회적 실천 없이 프로젝트를 종료했다. 하지만 이 세 학생 모두 DIY-MD를 또 다른 프로젝트에서 수행하고 싶어 했고, 그에 필요한 측정 장치를 스스로 만들 수 있다고 진술했다.

연구자 : 이번에 했던 프로젝트를 다른 주제로 또 하고 싶은 마음이 있는지?

P학생 : 학기 중이 아닐 때면 할 수 있을 것 같아요.

(중략)

연구자 : 만약 우리 지난번 프로젝트 같은 걸 다시 또 하게 된다면, 혼자서 스스로 측정 장치를 만들 수 있을 거 같아?

P학생 : 음 아마 할 수 있을 것 같아요!! 구글링하거나 알리나 아두이노 키트 파는 곳에서 사고 구글링에서 코드 찾아서 똑딱 만들면 되지 않을까요?

(P학생 사후 인터뷰)

## 5. 논의

연구 결과를 통해, 다음과 같은 4가지 결과를 얻을 수 있었다. 첫째, 프로젝트 초기에는 대중적인 지식수준으로 시작했으나, 프로젝트 활동을 진행하면서 필요에 따라 점차 전문 지식을 탐색해 나갔다. 하지만 프로젝트 수행 과정에서 필요로 하지 않는다면, 관련 지식에 대해 찾아보지 않았다. 둘째, 당사자성이 결여된 주제를 선택하더라도 프로젝트 과정에서 당사자성이 확보될 수 있었다. 수업에서 주어진 과업은 학생에게 있어 꼭 해내야 하는 일로 받아들여졌기 때문에, 해당 환경 문제를 해결하려고 나서는 외재적 동기가 되었다. 하지만 외재적 동기를 통해 프로젝트에 참여하는 과정에서 환경 문제의 중요성에 대해 인식을 하게 되었고, 환경 문제 해결에 대한 내재적 동기를 유발하게 되었다. 셋째, 유의미한 자신만의 데이터를 확보함으로써 자신을 환경 문제의 행위자로 인식해 나갔다. 프로젝트 주제와 관련해서 사회적으로 의미 있는 시사점을 제공할 수 있는 데이터를 확보한 학생은 적극적으로 사회적 실천을 수행하려는 태도가 나타났다. 넷째, 학생들은 DIY-MD를 이용하여 과학 관련 사회 문제에 참여할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 이는

프로젝트에서 사회적 실천까지의 과정을 모두 수행했는지와 관련이 없었다. DIY-MD를 제작하고 측정하는 한 차례의 활동만으로도 학생들은 자신이 DIY-MD를 직접 제작하여 다른 환경 문제에 이용할 수 있다고 생각했다.

이 수업에서의 프로젝트는 주제가 자유로웠고, 그 수행 과정 또한, 학생이 직접 설계하는 참 탐구 (authentic inquiry)적인 성격을 띠었다. 따라서 교수자가 이 프로젝트의 향방을 예측하기 어렵다. 기존의 탐구는 교수자가 예상되는 절차, 문제 상황, 해결 방법 등을 충분히 사전에 준비할 수 있지만, 개방된 형태의 탐구는 탐구의 주제가 교수자에게 충분히 익숙하지 않을 수 있고 교수자 또한, 학생과 마찬가지로 그 문제에 대해 함께 탐구해야 하는 수행자의 입장에 서게 되는 경우가 많다. 이러한 개방형 탐구의 특수성은 다음과 같은 몇 가지의 고려할 점들을 남긴다.

먼저, 모든 학생이 사회적 실천을 수행해야 하는지에 대한 문제이다. 앞서 언급한 세 학생의 사례를 보면, 사회적 실천을 수행 학생은 J학생 뿐이었다. Y학생의 경우는 방사광 가속기가 설치된 곳에서 가우저 계수기를 통해 방사선을 측정한 결과, 다른 지역과 비교했을 때 유의한 수준의 차이를 발견하지 못했다. 즉, 방사광 가속기의 유해성을 찾아내지 못했다. Y학생은 애초 방사광 가속기가 유해하다고 생각하지 않았고, 지역 사회의 구성원들도 비슷한 생각을 하고 있었다. Y학생이 이 주제를 선택한 것은 프로젝트의 주제를 선택해야 하는 상황에서, 자신의 주변 환경과 관련하여 가장 쉽게 떠오른 주제였기 때문이었다. 만약 유해성을 밝힐 만한 데이터를 확보했다면, 이는 기존 지역 사회의 인식과 상당히 다른 결과이기 때문에 사회적 실천에 대한 필요성을 강하게 느꼈을 것이다. 하지만 유해성을 의심할 만한 수치가 측정되지 않았고, 이는 Y학생의 예상과도 일치하고,

지역 사회의 인식과도 다르지 않기 때문에 사회적 실천을 해야 할 필요성을 느끼지 못하는 것은 충분히 합리적인 생각이다. 데이터 수집 전 탐구를 설계하는 과정에서, 교수자는 안전한 수치가 측정된다면 지역 사회에 안전성을 홍보하자는 사회적 실천 계획을 제안하였었는데, Y학생에게 이는 큰 의미 있는 활동이라 생각하지 않았고, 사회적 실천 없이 프로젝트를 마쳤다. 교수자는 수업을 계획하면서 모든 학생이 주제 선정부터 탐구 설계, 탐구 수행, 사회적 실천까지의 전 과정을 수행하는 것으로 계획을 세웠다. 하지만 탐구 결과에 따라 사회적 실천이 필요하지 않은 경우는 충분히 발생할 수 있다. 모든 학생이 동일한 수업 일정에 맞추어 모든 과정을 수행해야 한다는 교수자의 사고는 Y학생을 중도 포기자로 만들었지만, Y학생은 중도 포기를 한 것이 아니라, 탐구 결과를 확인함으로써 프로젝트를 완수한 것으로 보는 편이 적절하다.

두번째는, 기대했던 데이터를 얻지 못했을 경우는 어떻게 해야 할지에 관한 문제이다. P학생은 흡연 구역의 담배 연기가 보행로를 걷는 사람들에게 영향을 미친다는 자신의 주장을 일산화 탄소 센서 (MQ-7)와 연기 센서 (MQ-2)를 통해 확보한 데이터로 증명하려 했다. 하지만 유의미한 데이터를 확보하지 못했다. 교수자는 당초 이렇게 유의미한 데이터를 확보하지 못했을 경우 탐구 설계를 수정해서 데이터 확보를 다시 시도하는 쪽으로 계획을 했었다. 하지만 P학생이 유의미한 데이터를 확보하지 못한 시점은 이미 정해진 수업 기간을 넘어선 상태였기 때문에, 더는 탐구를 수행하는 것이 힘든 상황이었다. 교수자는 이 상황에서 어떻게 해야 할지 상당히 고민이 되었다.

시사점 있는 데이터를 도출하기 어려울 거 같다. 사회적 실천을 어찌해야 하나? 데이



터가 있어야만 꼭 사회적 실천을 할 수 있나? (교수자의 연구노트, 2020-10-29)

결국, 교수자는 P학생에게 ‘데이터 확보에 실패했으니 프로젝트를 여기서 마치자’고 제안했다. 하지만 P학생의 생각은 달랐다.

연구자 : 데이터 수집이 실패한 원인이 뭘까?

P학생 : 근데 데이터 수집이 실패했다고 하기에는 데이터 수집이 아예 실패한 것도 아니었어서, 그때 1호가 그 흡연 구역 바로 옆에 있었는데 그것만 압도적으로 높게 나타나가지고…. 근데 문제는 흡연 안 하는 시간에도 높게 나와서….

연구자 : 그때 우리가 (생각) 했던 게 담배빵을 심하게 당하면 영구적으로 센서가 변하는 게 아닌가 그런 의심도 했었지.

P학생 : 근데 그러고 나서 한참 후에 다시 같은 센서로 잦을 때는 1, 2, 3호기의 센서가 모두 그냥 비슷하게 나와서…. 그래서 진짜 이게 뭘까 그런 생각….

(P학생의 사후 인터뷰)

P학생은 교수자와는 달리 데이터 수집에 실패한 것이 아니라 생각했다. 일부 데이터 속에 유의미한 정보들이 있었다고 생각을 했다. 교수자는 P학생의 생각을 듣고 나서, 데이터 수집이 실패했다는 자기 생각이 잘못되었음을 인식했다. 탐구 설계 당시 기대했던 결과를 데이터 수집 과정에서 얻어내지 못한다고 할지라도, 그 학생이 수행한 프로젝트를 실패로 볼 수는 없다. 학생은 주제를 선택하고, 탐구를 설계하고, 또 탐구를 수행하는 과정에서 많은 것들을 경험했고, 그러한 경험은 유의미한 학습 일부가 되었을 것이다. 따라서 이 상황을 교수자가 실패로 규정하는 것은 학생의 유의미한 경험을 폄하하는 잘못된 판단이다. 개방형 탐구에서 기대했던 결과를 얻지 못하는 것은 충분히 발생할 수 있는 일이기 때문에, 교수자는 이러한 상황을 어떻게 대처할 것인지에 대한 준비가 필요하다.

## 6. 결론 및 함의

이 연구는 사범대학에 재학 중인 대학생 예비교사를 대상으로 DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육 프로그램을 운영하고, 이 과정에서 나타난 학생들의 환경과학행위성의 양상과 변화를 살펴보았다. 학생들은 실천지향 과학 교육 프로그램의 프로젝트를 수행하면서 환경과학 문제에 대한 지식을 습득하고 자신이 이 문제에 영향을 받는 당사자라 인식해 나갔다. 그리고 자신이 이 문제 해결을 위해 나서야겠다는 생각을 하게 되었다. DIY-MD는 환경 문제에 대한 과학적 데이터를 학생들이 직접 측정할 수 있게 도와주었고, 학생들은 환경 문제에 관한 중요한 함의를 담고 있는 데이터를 확보함으로써 사회적 실천에 더욱 적극적으로 나서게 되었다. 또한, 학생들은 DIY-MD를 활용한 프로젝트를 한 차례만 수행하였음에도, 다른 과학 관련 사회 문제를 해결하는 데 DIY-MD를 활용할 수 있고, 또 활용할 것이라고 생각했다.

이 연구는 DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램이 과학 관련 사회 문제에 있어 학생들이 적극적인 행위자로 변화하는 데 이바지할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 하지만 여러 한계점을 동시에 보여주었다. DIY-MD로 데이터를 확보하는 과정에서 당초 예상과 다른 결과가 나온다면 계획된 사회적 실천을 수행하는 것이 의미 없어질 수도 있다. 또한, DIY-MD로 제작한 측정 장치가 원하는 값을 제대로 측정해내지 못한다면, 계획된 사회적 실천을 수행하는 데 어려움이 따를 수 있다. 과학자들의 활동에서는 이러한 실패가 흔히 일어나지만, 한정된 시간에 계획된 교수 학습을 진행해야 하는 학교에서는 다양한 변칙적인 상황들이 학생들을 지도하는 데 어려움으로 작용할 수 있다. 따라서 프로젝트

과정에서의 실패 상황을 가장 가치 있는 실패로 만들기 위해 어떻게 해야 하는지에 대한 고민이 필요하다.

## VI. 결론

이 연구는 DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육 프로그램의 가능성을 확인하기 위해, DIY-MD 구현을 위한 여러 기술을 비교·분석하고 적절한 기술 구성을 제시하였다. 그리고 이를 현장에 적용하면서 발생하는 교사들의 기술 관련 어려움을 살펴보았다. 마지막으로 DIY-MD를 사용하여 실천지향 과학 교육 프로그램에 참여한 학생들의 환경과학행위성을 살펴보므로써, 학생이 시민으로서 SSI에 전문적으로 참여할 수 있는 능력을 길러내는 것에 대한 이 프로그램의 가능성을 확인하였다. 이 연구는 크게 세 부분으로 나눠 진행되었다.

첫 번째로, 학교 과학 탐구의 측정에 있어 적합한 피지컬 컴퓨팅의 기술 구성을 제시하였다. 피지컬 컴퓨팅을 구현하는 데 적절한 개발 보드, 통신 방식, IoT 플랫폼의 선정은 매우 중요하지만, 컴퓨터 분야에 대한 전문 지식이 없는 일반적인 사용자가 적절한 기술을 찾아서 이용하기는 쉽지 않은 일이다. 학교 과학 탐구라는 특정한 상황에 각 기술 선택지가 어떠한 장단점을 지니는지 교사들에게 여러 기술에 대한 비교·분석을 제시함으로써 교사들이 더욱 빠르게 시행착오 없이 현장에 DIY-MD를 도입할 수 있는 길을 제시하였다.

두 번째로, 현장 교사들이 피지컬 컴퓨팅과 사물 인터넷을 과학 탐구에 적용하는 과정에서 겪는 기술 관련 어려움은 무엇인지 살펴보았다. 학교 현장에 수많은 새로운 기술이 도입되었지만, 학교 교실에서의 변화는 미미하다. 여러 선행 연구들은 학교 교실과 새로운 기술이 통합되는 데 있어 많은 어려움이 존재한다고 말하고 있다. 따라서 DIY-MD라는 새로운 기술이 과학 교육 현장에 매끄럽게

통합되기 위해서는 교사들이 겪는 기술 관련 어려움을 파악하고, 이에 대한 적절한 지원을 마련하는 것이 중요하다. 기술을 개발한 과학 교육 연구자, 학교 현장에서 기술을 도입한 교사, 영재교육원에 기술을 도입한 교사 3명의 사례를 통해 다양한 환경의 다양한 배경을 가진 교사들이 겪는 어려움을 상세하게 파악하였다.

세 번째로는, DIY-MD를 도입한 실천지향 과학 교육 프로그램을 대학생으로 대상으로 적용하고, 이들의 환경과학행위성 변화를 살펴보았다. SSI에 대한 시민 참여의 필요성이 대두되고 있지만, 한편으로는 이들의 전문성에 대한 논란이 상당하다. DIY-MD는 일반 시민들에게 과학적 증거의 확보를 도와줌으로써 이들의 과학 전문성을 향상시키는 데 이바지한다. 이들이 DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육 프로그램에 참여하면서 겪는 경험을 환경과학행위성의 관점에서 분석하여 DIY-MD 실천지향 과학 교육 프로그램의 적용 가능성을 탐색하였다.

이 연구는 DIY-MD를 개발하고 현장에 처음으로 적용한 연구이다. 따라서 기술 관련 문제를 해결하는 데 상당한 노력을 기울였으며, 현장 적용에 대한 가능성을 대학생으로 한 연구를 통해 보여주었다. 이 연구를 통해 DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육의 물리적 여건이 마련되고 교육적 가능성을 확인하였으므로, 앞으로 다음과 같은 후속 연구들이 추가로 진행될 필요가 있다.

먼저, DIY-MD에 사용하기 적합한 센서들에 관한 비교 연구를 수행하여 현장 교사들에게 이에 대한 가이드를 제공할 필요가 있다. 센서마다 적절한 사용 환경(온도, 습도 등), 보정이 필요한지 아닌지, 필요하다면 보정을 수행해야 하는 주기, 보정 방법, 측정 해상도 등이 다르다. 또한, 제조사에서 제공하고 있는 사양이 과장된 때도 있다. 연구자가 다양한 센서들에 대해 여러 특징과 함께 사용 안내를

제공한다면, DIY-MD로 측정된 데이터가 더욱 신뢰할 수 있게 될 것이다.

둘째, 기술 발달에 발맞추어 지속해서 적합한 기술 구성에 관한 연구가 꾸준히 이루어져야 한다. 새로운 개발 보드, 개발 도구, IoT Platform 등이 등장하면, 이 연구에서의 각 기술에 대한 평가도 다시 재고되어야 할 것이다. 예를 들면, 최근 학교에서는 micro:bit에 대한 활용이 증가하고 있다. 아두이노 UNO 보드의 사용이 앞으로도 계속 비교우위로 평가받지 못할 수도 있다. ThingsBoard가 여러 단점을 가지고 있음에도 비교우위를 점할 수 있었던 가장 큰 이유는 한국어 UI를 지원한다는 점 때문이었다. 다른 플랫폼들이 한국어 UI를 지원하기 시작한다면 이 또한, 재평가되어야 한다.

셋째, 현장 교사들의 기술 관련 어려움을 지원하기 위해, 군집 모델 기반의 기술 지원 커뮤니티를 어떻게 구축해야 할지에 대한 연구도 이루어져야 한다. 온라인 커뮤니티를 형성하고 많은 참여 주체들을 유지하는 일은 쉬운 일이 아니다. 기존 온라인 커뮤니티에 관한 선행 연구들은 온라인 커뮤니티가 형성되고 유지되는 과정에 어떤 것들이 영향을 미쳤는지 자세히 보여주고 있다. 이러한 선행 연구를 바탕으로, 군집 모델 기반의 기술 지원 커뮤니티 구축 계획을 수립하고 실제 이를 구축한 다음 그 안에서 벌어지는 현상을 자세히 들여 볼 필요가 있다.

넷째, DIY-MD는 실천지향 과학 교육뿐만 아니라, 기존 학교에서 수행됐던 과학 실험 장치를 대체할 수 있다. 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학에서 기존에 수행되던 탐구 중 DIY-MD 적합한 것을 선택하고, DIY-MD의 맥락에 맞게 수정 보급할 필요가 있다. 또한, 코로나19 대유행으로 비대면 교육이 대두되고 있다. 저렴한 DIY-MD를 이용해서 가정에서 수행할 수 있는 실험들을 개발하는 것이

필요하다.

다섯째, DIY-MD의 사용은 학생들의 주장을 뒷받침할 과학적 증거를 제공해 주기 때문에, 학생들의 사회적 실천은 기존 실천지향 과학 교육과는 다르게 나타날 것이다. DIY-MD를 활용한 실천지향 과학 교육에서 나타나는 교사 또는 학생이 사회적 구조와 상호작용하는 모습을 ‘구조와 행위성’의 관점에서 살펴볼 필요가 있다.

여섯째, DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육 프로그램이 학생의 정체성에 미치는 영향에 대해서도 알아볼 필요가 있다. DIY-MD를 이용한 실천지향 과학 교육 프로그램은 유의미한 과학적 증거를 확보한다는 측면에서 학생이 자신이 더욱 전문성 있는 과학을 수행하고 있다고 느끼게 된다. 이러한 DIY-MD의 영향은 학생들이 시민으로서 SSI에 대한 의사 결정에 합법적으로 참여할 수 있는 자격이 있다는 정체성을 형성할 것이다. 또한, DIY-MD로 확보한 과학적 증거로 학생들이 사회적 실천을 수행할 때, 주변에서 바라보는 학생들에 대한 위치성을 연구할 필요가 있다. DIY-MD로 확보한 과학적 증거는 학생들이 단순한 학습자가 아니라 이 사회에 목소리를 낼 수 있는 당사자라는 위치성을 확보하게 해줄 것이다.

학생들이 시민으로서 SSI 관련 의사 결정에 적극적으로 참여하는 것은 민주 사회의 구성원으로서 자신에게 영향을 미치는 의사 결정에 참여할 수 있는 당연한 권리이자 기술 관료적인 의사 결정으로 인해 야기되는 문제를 경감시킬 수 있는 해결책이다. 이 연구는 학생들이 SSI 문제에 더 자율적이고 적극적으로 전문성을 가지고 접근할 수 있도록 DIY-MD를 실천지향 과학 교육 도입함으로써 DIY-MD 활용 실천지향 과학 교육 연구의 시작을 열었다. 이 연구를 토대로 많은 후속

연구들이 진행되어, DIY-MD 활용 실천지향 과학 교육이 질적으로 향상되고, 학교 교육에 널리 퍼지길 기대한다. 그리고 장기적으로 실천지향 과학 교육을 통해 많은 시민이 과학에 참여함으로써 미래 세대가 과학으로 인한 불확실한 위험을 최소화하고 보다 풍요로운 삶을 누릴 수 있게 되길 바라본다.





## 참고문헌

- 가석현, 김찬중, & 최승언. (2019). 자동내용분석법(Automatic Content Analysis)을 통한 과학교육 연구동향 분석: 2008년부터 2015년까지 8년간의 JRST, IJSE 연구논문 분석. *학습자중심교과교육연구*, 19(7), 519-543.
- 강명수. (2005). 온라인 커뮤니티 형성과 유지에 관한 연구:규범적 몰입과 감성적 몰입의 매개역할을 중심으로. *대한경영학회지*, 18(1), 67-87.
- 국립국어원. (2021). 기술. *표준국어대사전*. 두산동아.
- 김동광, 김명진, 김병수, 김환석, 박병상, 박진희, 이영희, 장영배, 조아라, 한재각, & Martin, B. (2011). *시민의 과학*. 사이언스북스.
- 김민정. (2005). 환경 갈등 조정자로서의 전문가의 역할. *환경사회학연구 ECO*, 109-138.
- 김재웅. (2018). 시민참여교육 프로그램개발에 관한 질적사례연구:특성과 난점을 중심으로. *평생학습사회*, 14(4), 79-110.  
<https://doi.org/10.26857/JLLS.2018.11.14.4.79>
- 김종욱. (2021). *실천 지향 기후변화 활동 참여를 통한 초등학교의 실행 과정에서 의 기후 실천가 정체성 탐색*. 박사학위논문, 서울대학교.
- 김현애. (2016). *과학 프로젝트 학습에서 드러나는 초등학교의 행위성 탐색*. 석사학위논문, 서울대학교.
- 문현진. (2019). *초등 사회과 교실 생태계 부조(不調) 연구*. 박사학위논문, 한국교원대학교.
- 박민주. (2017, June 29). “신고리 원전” 시민배심원단 결정...전문성·공정성 논란. *MBC 뉴스*.  
[https://imnews.imbc.com/replay/2017/nwdesk/article/4353532\\_30212.html](https://imnews.imbc.com/replay/2017/nwdesk/article/4353532_30212.html)

- 박희제, & 성지은. (2015). 더 나은 사회를 위한 과학을 향하여 :사회에 책임지는 연구혁신(RRI)의 현황과 함의. *과학기술학연구*, 15(2), 99-133.
- 서경혜. (2011). 교사공동체의 온라인상 협력을 통한 수업자료 개발의 실제와 쟁점. *교육과학연구*, 42(3), 25-53.
- 성지은, & 송위진. (2013). 사회에 책임지는 과학기술혁신 :Responsible Research and Innovation 논의 동향. *Issues & Policy*, 69, 1-24.
- 신승민. (2019). 맥도웰의 초월적 정당화: 맥도웰-드레퓌스 논쟁을 중심으로. *철학논집*, 56, 205-231.
- 안경주. (2015). 지역 여성 활동가들의 행위력이 소환한 미생(未生)의 `여성학'과 지역현장여성주의의 동학:광주지역 차세대 과정을 중심으로. *한국여성학*, 31(4), 253-294.
- 유기웅, 정종원, 김영석, & 김한별. (2018). *질적 연구방법의 이해* (개정판). 박영스토리(피와이메이트); Calibre.
- 유하라. (2017, July 28). 신고리 5,6호기 공론화위 활동기간, 전문성 등 논란. *Redian*. <http://www.redian.org/archive/113310>
- 이건혁, 최혜령, & 강성휘. (2017, June 28). 문재인 정부 '脫核 드라이브'... 非전문가 손에 결정 맡겨 논란. *동아일보*. <https://www.donga.com/news/Politics/article/all/20170628/85091310/1>
- 임성은, 김종욱, & 김찬중. (2021). 사회적 실천지향 SSI 수업을 시행하면서 직면하는 초등 교사의 어려움 탐색 -구조와 행위주체성 관점에서-. *한국과학교육학회지*, 41(2), 115-131.
- 장현주. (2020). 공론화 과정에서의 숙의성과 대표성: 신고리원전 5·6호기 공론화 과정을 중심으로. *현대사회와행정*, 30(3), 53-84. <https://doi.org/10.26847/mspa.2020.30.3.53>
- 정윤경. (2019). 포스트휴머니즘과 휴머니즘에 기반한 교육 재고. *교육철학연구*,

41(3), 117–147.

조주현. (2005). 생명공학과 여성의 행위성 :시험관아기 시술과 배아복제 연구 사  
이에서. *과학기술학연구*, 5(1), 93–123.

진보라, & 김은성. (2019). 화훼시장 경매에 대한 행위자-연결망 이론적 접근. *과  
학기술학연구*, 19(2), 1–40.

Abbott, M. L. (2003). *State Challenge Grants: TAGLIT Data Analysis* (p. 42).  
Fouts & Associates, L.L.C.

Alabdulaziz, M., & Higgins, S. (2016). Obstacles to Technology use When  
Addressing Saudi Primary Students' Mathematics Difficulties. *International  
Journal of Engineering Research & Technology*, 5(10), 6.

Albaugh, P. R. (1997). *The Role of Skepticism in Preparing Teachers for the Use  
of Technology*. <https://eric.ed.gov/?id=ED406339>

Almers, E. (2013). Pathways to Action Competence for Sustainability—Six  
Themes. *The Journal of Environmental Education*, 44(2), 116–127.  
<https://doi.org/10.1080/00958964.2012.719939>

Alò, D., Castillo, A., Marín Vial, P., & Samaniego, H. (2020). Low-cost emerging  
technologies as a tool to support informal environmental education in children  
from vulnerable public schools of southern Chile. *International Journal of  
Science Education*, 42(4), 635–655.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1723036>

Alsop, S., & Bencze, L. (2014). Activism! Toward a More Radical Science and  
Technology Education. In J. Bencze & S. Alsop (Eds.), *Activist Science and  
Technology Education* (pp. 1–19). Springer Netherlands.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1_1)

American Association for the Advancement of Science. (1994). *Benchmarks for  
Science Literacy*. Oxford University Press.  
<http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>

Andersen, C., & Garcia-Mila, M. (2017). Scientific Reasoning During Inquiry. In  
K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 105–117).

SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_8)

- Archer, M. S. (1982). Morphogenesis versus Structuration: On Combining Structure and Action. *The British Journal of Sociology*, 33(4), 455–483. <https://doi.org/10.2307/589357>
- Arnold, J., & Clarke, D. J. (2014). What is ‘Agency’? Perspectives in Science Education Research. *International Journal of Science Education*, 36(5), 735–754. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.825066>
- Austin, E., Novosselov, I., Seto, E., & Yost, M. G. (2015). Laboratory Evaluation of the Shinyei PPD42NS Low-Cost Particulate Matter Sensor. *PLOS ONE*, 10(9), e0137789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137789>
- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., & Modzel, P. (2018). Optical particulate matter sensors in PM2.5 measurements in atmospheric air. *E3S Web of Conferences*, 44, 00006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400006>
- Ballard, H. L., Dixon, C. G. H., & Harris, E. M. (2017). Youth-focused citizen science: Examining the role of environmental science learning and agency for conservation. *Biological Conservation*, 208, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.024>
- Barker, C. (2002). *Making Sense of Cultural Studies: Central Problems and Critical Debates*. <https://doi.org/10.4135/9781446220368>
- Basu, S. J. (2008). How students design and enact physics lessons: Five immigrant caribbean youth and the cultivation of student voice. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(8), 881–899. <https://doi.org/10.1002/tea.20257>
- Basu, S. J., & Calabrese Barton, A. (2009). Critical physics agency: Further unraveling the intersections of subject matter knowledge, learning, and taking action. *Cultural Studies of Science Education*, 4(2), 387–392. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9155-4>
- Basu, S. J., & Calabrese Barton, A. (2010). A Researcher-Student-Teacher Model for Democratic Science Pedagogy: Connections to Community, Shared Authority, and Critical Science Agency. *Equity & Excellence in Education*,

43(1), 72–87. <https://doi.org/10.1080/10665680903489379>

- Beck, U., Lash, S., & Wynne, B. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (Vol. 17). sage.
- Becta. (2004). *A review of the research literature on barriers to the uptake of ICT by teachers* (p. 29).
- Bencze, L. (2017). STEPWISE: A Framework Prioritizing Altruistic Actions to Address Socioscientific Issues. In L. Bencze (Ed.), *Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments: STEPWISE* (Vol. 14, pp. 19–45). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8_2)
- Bernhard, J. (2018). What matters for students' learning in the laboratory? Do not neglect the role of experimental equipment! *Instructional Science*, 46(6), 819–846. <https://doi.org/10.1007/s11251-018-9469-x>
- Bianchini, J. A. (1997). Where knowledge construction, equity, and context intersect: Student learning of science in small groups. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1039–1065. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199712\)34:10<1039::AID-TEA5>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199712)34:10<1039::AID-TEA5>3.0.CO;2-S)
- Biddulph, M. (2011). Articulating student voice and facilitating curriculum agency. *The Curriculum Journal*, 22(3), 381–399. <https://doi.org/10.1080/09585176.2011.601669>
- Bishop, K., & Scott, W. (1998). Deconstructing action competence: Developing a case for a more scientifically-attentive environmental education. *Public Understanding of Science*, 7(3), 225–236. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/7/3/002>
- Blackstock, J. M., Covington, M. D., Perne, M., & Myre, J. M. (2019). Monitoring Atmospheric, Soil, and Dissolved CO<sub>2</sub> Using a Low-Cost, Arduino Monitoring Platform (CO<sub>2</sub>-LAMP): Theory, Fabrication, and Operation. *Frontiers in Earth Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00313>
- Bradley, G., & Russell, G. (1997). Computer Experience, School Support and Computer Anxieties. *Educational Psychology*, 17(3), 267–284.

<https://doi.org/10.1080/0144341970170303>

Breiting, S. (2008). *Mental Ownership and Participation for Innovation in Environmental Education and Education for Sustainable Development*.

Breiting, S., & Mogensen, F. (1999). Action competence and environmental education. *Cambridge Journal of Education*, 29(3), 349–353. <https://doi.org/10.1080/0305764990290305>

Brown, M. B. (2009). *Science in Democracy: Expertise, Institutions, and Representation*. The MIT Press.

Budde, M., Busse, M., & Beigl, M. (2012). Investigating the use of commodity dust sensors for the embedded measurement of particulate matter. *2012 Ninth International Conference on Networked Sensing (INSS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/INSS.2012.6240545>

Calabrese Barton, A. (1997). Liberatory Science Education: Weaving Connections Between Feminist Theory and Science Education. *Curriculum Inquiry*, 27(2), 141–163. <https://doi.org/10.1080/03626784.1997.11075486>

Calabrese Barton, A., & Tan, E. (2010). *We Be Burnin'!* Agency, Identity, and Science Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 19(2), 187–229. <https://doi.org/10.1080/10508400903530044>

Campos, L. (2020, April 20). Building a Technology Ecosystem: What You Need to Know. *HubSpot*. <https://blog.hubspot.com/website/technology-ecosystem>

Canevaro, M. (2018). *Majority Rule vs. Consensus: The Practice of Democratic Deliberation in the Greek Poleis* (pp. 101–156). <https://doi.org/10.3366/edinburgh/9781474421775.003.0005>

Chawla, L., & Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental Education Research*, 13(4), 437–452. <https://doi.org/10.1080/13504620701581539>

Chinn, C. A., & Hmelo-Silver, C. E. (2002). Authentic inquiry: Introduction to the special section. *Science Education*, 86(2), 171–174. <https://doi.org/10.1002/sc.10000>

Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in

- schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Chung, J.-B. (2020). Public deliberation on the national nuclear energy policy in Korea – Small successes but bigger challenges. *Energy Policy*, 145, 111724. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111724>
- Cox, K., Cox, M. J., & Preston, C. (2000). *Teachers as Innovators: An Evaluation of the Motivation of Teachers to Use Information and Communications Technologies*. King's College London, Department of Education and Professional Studies.
- Cuban, L., Kirkpatrick, H., & Peck, C. (2001). High Access and Low Use of Technologies in High School Classrooms: Explaining an Apparent Paradox. *American Educational Research Journal*, 38(4), 813–834. <https://doi.org/10.3102/00028312038004813>
- Dessler, D. (1989). What's at Stake in the Agent-Structure Debate? *International Organization*, 43(3), 441–473.
- Driver, R., & Scanlon, E. (1989). Conceptual change in science: A research programme. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5(1), 25–36.
- Eastwood, J. L., Sadler, T. D., Zeidler, D. L., Lewis, A., Amiri, L., & Applebaum, S. (2012). Contextualizing nature of science instruction in socioscientific issues. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2289–2315.
- Edwards, A. (2005). Relational agency: Learning to be a resourceful practitioner. *International Journal of Educational Research*, 43(3), 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2006.06.010>
- Elliott, R., & Timulak, L. (2021). *Essentials of Descriptive-Interpretive Qualitative Research: A Generic Approach* (1st edition). American Psychological Association.
- European Commission. (2014). *Responsible research and innovation :Europe's ability to respond to societal challenges*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/95935>
- Evans, B. (2011). *Beginning Arduino Programming*.



- Ezzy, D. (2002). *Qualitative Analysis: Practice and innovation*. Allen & Unwin.
- Fabry, D. L., & Higgs, J. R. (1997). Barriers to the Effective Use of Technology in Education: Current Status. *Journal of Educational Computing Research*, 17(4), 385–395. <https://doi.org/10.2190/C770-AWA1-CMQR-YTYV>
- Fadul, J. A., & Estoque, R. S. (2011). *A Textbook for an Introductory Course in Sociology 2nd Edition*. Lulu.com.
- Fathihah, M. A., Khairunnisa, M. P., Rashid, M., NorRuwaida, J., Dewika, M., Ito, Y., & Wuled Lenggoro, I. (2018). Development of low-cost and user-friendly sustainable portable particulate sensor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 458, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/458/1/012041>
- Flick, L. B., & Lederman, N. G. (2004). *Scientific inquiry and nature of science*. Springer.
- Ga, S.-H., Cha, H.-J., & Kim, C.-J. (2021). Adapting Internet of Things to Arduino-based Devices for Low-Cost Remote Sensing in School Science Learning Environments. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (IJOE)*, 17(02), 4–18.
- Giddens, A. (1986). *The Constitution of Society: Outline of the Theory of Structuration*.
- Gillies, R. M. (2020). Chapter 1. Inquiry-Based Science. In *Inquiry-Based Science Education* (p. 20). CRC Press, Inc.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research* (4. paperback printing). Aldine de Gruyter.
- Goulart, M. I. M., & Roth, W.-M. (2010). Engaging young children in collective curriculum design. *Cultural Studies of Science Education*, 5(3), 533–562. <https://doi.org/10.1007/s11422-009-9196-3>
- Hagstrom, R. G. (1965). *Scientific Community*.
- Hanauer, D. I., Jacobs-Sera, D., Pedulla, M. L., Cresawn, S. G., Hendrix, R. W., & Hatfull, G. F. (2006). Teaching scientific inquiry. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-*, 314(5807), 1880.

- Harrison, C., Comber, C., Fisher, T., Haw, K., Lewin, C., Lunzer, E., McFarlane, A., Mavers, D., Scrimshaw, P., Somekh, B., & Watling, R. (2002). *ImpacCT2: The Impact of Information and Communication Technologies on Pupil Learning and Attainment. ICT in Schools Research and Evaluation Series, 7.*
- Hedefalk, M., Almqvist, J., & Lidar, M. (2014). Teaching for action competence. *SAGE Open, 4*(3). <https://doi.org/10.1177/2158244014543785>
- Hendricks, D. A. (2015, August 10). The Trouble with the Internet of Things. *London Datasotre*. <https://data.london.gov.uk/blog/the-trouble-with-the-internet-of-things/>
- Hodges, S., Sentance, S., Finney, J., & Ball, T. (2020). Physical Computing: A Key Element of Modern Computer Science Education. *Computer, 53*(4), 20–30. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2935058>
- Hodson, D. (2014a). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education, 36*(15), 2534–2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Hodson, D. (2014b). Putting Your Money Where Your Mouth Is: Towards an Action-oriented Science Curriculum. *Journal for Activist Science & Technology Education, 1*(1), 1–15.
- Hossain, M. K., Ariful, S. M., Tower, T., & Bhattacharyya, S. (2013). GSM based Wireless Sensor Network to Measure Global Warming, Humidity and CO2. *International Journal of Computer Applications, 76*(14), 23–29. <https://doi.org/10.5120/13316-0915>
- Howe, C., & Tolmie, A. (2003). Group work in primary school science: Discussion, consensus and guidance from experts. *International Journal of Educational Research, 39*(1), 51–72. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(03\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(03)00073-9)
- HWSensor. (n.d.). *Technical Data: MQ-2 Gas Sensor*. Hanwei Electronics. Retrieved May 30, 2021, from <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-2/MQ-2.pdf>
- Internet of things. (2021). In *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet\\_of\\_things&oldid=1022736571](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet_of_things&oldid=1022736571)

- Ireh, M. (2010). Budgeting and Funding School Technology: Essential Considerations. *School Business Affairs*, 76(7), 18.
- Irwin, A. (2002). *Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203202395>
- ITU-T. (2012). *Recommendation Y. 2060: Overview of the Internet of Things*. ITU. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>
- Jensen, B. B. (2002). Knowledge, Action and Pro-environmental Behaviour. *Environmental Education Research*, 8(3), 325–334. <https://doi.org/10.1080/13504620220145474>
- Jensen, B. B. (2004). Environmental and health education viewed from an action-oriented perspective: A case from Denmark. *Journal of Curriculum Studies*, 36(4), 405–425. <https://doi.org/10.1080/0022027032000167235>
- Jensen, B. B., & Schnack, K. (1997). The Action Competence Approach in Environmental Education. *Environmental Education Research*, 3(2), 163–178. <https://doi.org/10.1080/1350462970030205>
- Jimoyiannis, A. (2010). Designing and implementing an integrated technological pedagogical science knowledge framework for science teachers professional development. *Computers & Education*, 55(3), 1259–1269. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.022>
- Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2006). Exploring secondary education teachers' attitudes and beliefs towards ICT adoption in education. *Themes in Education*, 7, 181–204.
- Jones, M. G., Brader-Araje, L., Carboni, L. W., Carter, G., Rua, M. J., Banilower, E., & Hatch, H. (2000). Tool time: Gender and students' use of tools, control, and authority. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 760–783. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200010\)37:8<760::AID-TEA2>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200010)37:8<760::AID-TEA2>3.0.CO;2-V)
- Kalinin, Y. S., Velikov, E. K., & Markova, V. I. (2015). Design of Indoor

- Environment Monitoring System using Arduino. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering*, 3(7), 46–49. <https://doi.org/10.1109/IMCEC.2018.8469580>
- Kim, P., Kim, J., & Yim, M.-S. (2020). How deliberation changes public opinions on nuclear energy: South Korea's deliberation on closing nuclear reactors. *Applied Energy*, 270, 115094. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115094>
- Kirkwood, M., van der Kuyl, T., Parton, N., & Grant, R. (2000, September 20). *The New Opportunities Fund (NOF) ICT training for teachers programme: Designing a powerful online learning environment*. European conference on educational research. <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001690.htm>
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Korte, W. B., & Hüsing, T. (2007). Benchmarking Access and Use of ICT in European Schools 2006: Results from Head Teacher and A Classroom Teacher Surveys in 27 European Countries. *ELearning Papers*, 2(1), 1–6.
- Kuan, W.-H., Tseng, C.-H., Chen, S., & Wong, C.-C. (2016). Development of a Computer-Assisted Instrumentation Curriculum for Physics Students: Using LabVIEW and Arduino Platform. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 427–438. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9603-y>
- Kubínová, Š., & Šlégr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1751–1753. <https://doi.org/10.1021/ed5008102>
- Kumar, M. S., Chandra, T. R., Kumar, D. P., & Manikandan, M. S. (2016). Monitoring moisture of soil using low cost homemade Soil moisture sensor and Arduino UNO. *2016 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 01, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2016.7586312>

- Lapinsky, S. E., Wax, R., Showalter, R., Martinez-Motta, J. C., Hallett, D., Mehta, S., Burry, L., & Stewart, T. E. (2004). Prospective evaluation of an internet-linked handheld computer critical care knowledge access system. *Critical Care*, 8(6), 1–8. <https://doi.org/10.1186/cc2967>
- Lapshina, P. D., Kurilova, S. P., & Belitsky, A. A. (2019). Development of an Arduino-based CO2 Monitoring Device. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 595–597. <https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8656915>
- Larner, D. K., & Timberlake, L. M. (1995). *Teachers with Limited Computer Knowledge: Variables Affecting Use and Hints To Increase Use*. <https://eric.ed.gov/?id=ED384595>
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Leiss, W. (1996). Three Phases in the Evolution of Risk Communication Practice. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 545(1), 85–94. <https://doi.org/10.1177/0002716296545001009>
- Lenggoro, W. (2019). Shinyei Based Sensor with Added Roof Enhanced Detection of Indoor Particulate Matter. *The International Journal of Integrated Engineering*, 11(7), 67–76. <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.07.009>
- Lewis-Beck, M., Bryman, A., & Liao, T. (2004). *The SAGE Encyclopedia of Social Science Research Methods* (Vol. 1–3). <https://doi.org/10.4135/9781412950589>
- Longino, H. E. (1990). *Science as social knowledge: Values and objectivity in*

*scientific inquiry*. Princeton University Press.

- Lundegård, I., & Wickman, P. O. (2007). Conflicts of interest: An indispensable element of education for sustainable development. *Environmental Education Research, 13*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/13504620601122566>
- Malika, M., & Sarah, D. (2015, June 15). Low cost air pollution sensors: New perspectives for the measurement of individual exposure? *International Conference on Urban Climate*. 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment. <http://www.meteo.fr/icuc9/Poster/NOMTM.pdf>
- Mann, S. P., Donders, Y., Mitchell, C., Bradley, V. J., Chou, M. F., Mann, M., Church, G., & Porsdam, H. (2018). Opinion: Advocating for science progress as a human right. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 115*(43), 10820–10823. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816320115>
- Mason, R. O. (1986). Four Ethical Issues of the Information Age. *MIS Quarterly, 10*(1), 5–12. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/248873>
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In *The nature of science in science education* (pp. 3–39). Springer.
- McLean, S.-A. (2017, February 1). Structure & Agency In Contemporary Social Theory. *Decolonize ALL The Things*. <https://decolonizeallthethings.com/2017/01/31/structure-agency-in-contemporary-social-theory/>
- Mehrotra, S. (2018, January 19). IT Support: What are the different levels? *Greycampus*. <https://www.greycampus.com/blog/it-service-management/it-support-what-are-the-different-levels>
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation*. John Wiley & Sons.
- Mogensen, F., & Schnack, K. (2010). The action competence approach and the “new” discourses of education for sustainable development, competence and quality criteria. *Environmental Education Research, 16*(1), 59–74.

<https://doi.org/10.1080/13504620903504032>

- Moore, K., Kleinman, D. L., Hess, D., & Frickel, S. (2011). Science and neoliberal globalization: A political sociological approach. *Theory and Society*, 40(5), 505–532. <https://doi.org/10.1007/s11186-011-9147-3>
- Moss, J. (2002). ‘Power and the digital divide.’ *Ethics and Information Technology*, 4(2), 159–165. <https://doi.org/10.1023/A:1019983909305>
- Mumtaz, S. (2000). Factors affecting teachers’ use of information and communications technology: A review of the literature. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 9(3), 319–342. <https://doi.org/10.1080/14759390000200096>
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Nelkin, D. (1977). *Technological Decisions and Democracy: European Experiments in Public Participation* (1st edition). SAGE Publications, Inc.
- O’Donnell, B., & Perry, R. (2013). *Quantifying the Economic Value of Chromebooks for K–12 Education*. 17.
- Paoletti, C., Flamm, E., Yan, W., Meek, S., Renckens, S., Fellous, M., & Kuiper, H. (2008). GMO risk assessment around the world: Some examples. *Trends in Food Science & Technology*, 19, S70–S78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.007>
- Paul, F. (2019, February 5). Why are IoT platforms so darn confusing? *Network World*. <https://www.networkworld.com/article/3336166/why-are-iot-platforms-so-darn-confusing.html>
- Pelgrum, W. J. (2001). Obstacles to the integration of ICT in education: Results from a worldwide educational assessment. *Computers & Education*, 37(2), 163–178. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00045-8)
- Pino, H., Pastor, V., Grimalt-Alvaro, C., & Lopez, V. (2019). Measuring CO2 with an Arduino: Creating a Low-Cost, Pocket-Sized Device with Flexible Applications That Yields Benefits for Students and Schools. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 377–381.

<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00473>

- Polanyi, M. (1962). The Republic of science. *Minerva*, *1*(1), 54–73.  
<https://doi.org/10.1007/BF01101453>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, *66*(2), 211–227.
- Prabakar, J. (2016). *BeagleBone By Example*. Packt Publishing.  
<https://books.apple.com/us/book/beaglebone-by-example/id1150481399>
- Pritchard, H., Gabrys, J., & Houston, L. (2018). Re-calibrating DIY: Testing digital participation across dust sensors, fry pans and environmental pollution. *New Media & Society*, *20*(12), 4533–4552.  
<https://doi.org/10.1177/1461444818777473>
- Przybylla, M., & Romeike, R. (2014). Physical Computing and its Scope—Towards a Constructionist Computer Science Curriculum with Physical Computing. *Informatics in Education*, *13*(2), 225–240.  
<https://doi.org/10.15388/infedu.2014.14>
- Ravetz, J. R. (1999). *What is Post-Normal Science*. 7.
- Rouse, M. (2020, February). *What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?*  
IoT Agenda.  
<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Russell, M., Bebell, D., O'Dwyer, L., & Duffany, K. (2003). Examining Teacher Technology Use. *Journal of Teacher Education - J TEACH EDUC*, *54*, 297–310. <https://doi.org/10.1177/0022487103255985>
- Sayahi, T., Butterfield, A., & Kelly, K. E. (2019). Long-term field evaluation of the Plantower PMS low-cost particulate matter sensors. *Environmental Pollution*, *245*, 932–940. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.065>
- Schenkel, K., & Calabrese Barton, A. (2020). Critical science agency and power hierarchies: Restructuring power within groups to address injustice beyond them. *Science Education*, *104*(3), 500–529. <https://doi.org/10.1002/sce.21564>



- Schenkel, K., Calabrese Barton, A., Tan, E., Nazar, C. R., & Flores, M. D. G. D. (2019). Framing equity through a closer examination of critical science agency. *Cultural Studies of Science Education*, 14, 309–325. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09914-1>
- Schulz, S. (2016). Improving Scientific Inquiry through Physical Computing. *Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research*, 289–290. <https://doi.org/10.1145/2960310.2960352>
- Schulz, S., & Pinkwart, N. (2016). Towards Supporting Scientific Inquiry in Computer Science Education. *Proceedings of the 11th Workshop in Primary and Secondary Computing Education*, 45–53. <https://doi.org/10.1145/2978249.2978255>
- Schusler, T. M., Krasny, M. E., Peters, S. J., & Decker, D. J. (2009). Developing citizens and communities through youth environmental action. *Environmental Education Research*, 15(1), 111–127. <https://doi.org/10.1080/13504620802710581>
- Si, M., Xiong, Y., Du, S., & Du, K. (2020). Evaluation and calibration of a low-cost particle sensor in ambient conditions using machine-learning methods. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(4), 1693–1707. <https://doi.org/10.5194/amt-13-1693-2020>
- Sicilia, C. (2006). *The challenges and benefits to teachers' practices in constructivist learning environments supported by technology* (pp. 1–104) [McGill University]. <https://www.learntechlib.org/p/126851/>
- Siry, C. A., & Lang, D. E. (2010). Creating Participatory Discourse for Teaching and Research in Early Childhood Science. *Journal of Science Teacher Education*, 21(2), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9162-7>
- Snoeyink, R., & Ertmer, P. A. (2001). Thrust into Technology: How Veteran Teachers Respond. *Journal of Educational Technology Systems*, 30(1), 85–111. <https://doi.org/10.2190/YDL7-XH09-RLJ6-MTP1>
- Tasić, V. M., Jovašević-Stojanović, M., Topalović, D., & Davidović, M. (2016). Measurement of PM 2.5 Concentrations in Indoor Air Using Low-Cost

Sensors and Arduino Platforms. *Proceedings of the 6 Th Scientific Meeting EuNetAir*, 69–72. <https://doi.org/10.5162/6EuNetAir2016/18>

Uzzell, D. (1999). Education for environmental action in the community: New roles and relationships. *Cambridge Journal of Education*, 29(3), 397–413. <https://doi.org/10.1080/0305764990290309>

Walkowiak, M., & Nehring, A. (2016). Using ChemDuino, Excel, and PowerPoint as Tools for Real-Time Measurement Representation in Class. *Journal of Chemical Education*, 93(4), 778–780. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00923>

Wynne, B. (2007). Public Participation in Science and Technology: Performing and Obscuring a Political–Conceptual Category Mistake. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*, 1(1), 99. <https://doi.org/10.1007/s12280-007-9004-7>

Yang, S., Liu, Y., Wu, N., Zhang, Y., Svoronos, S., & Pullammanappallil, P. (2019). Low-cost, Arduino-based, portable device for measurement of methane composition in biogas. *Renewable Energy*, 138, 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.083>



# 부록

## 부록 1. 사전 온라인 설문

1. 이 교육 프로그램에 참여하시는 목적은 무엇인가요? 어떠한 것을 얻어가고 싶으신가요?

2. 사범대학에 입학하신 이유가 무엇인가요?

- 미래에 중고등학교 교사가 되기 위해서 지원했다.
- 서울대에 오기 위해 성적에 맞춰서 지원했다.
- 부모님, 선생님 등 주변의 권유에 따라 지원했다.
- 기타 : \_\_\_\_\_

3. 현재 진로 계획은 어떠한가요?

- 중고등학교 교사
- 지구과학 분야 대학원 진학
- 컴퓨터 공학, 데이터 사이언스, 인공 지능 등 관련분야 대학원 진학
- 인문사회, 예술 등 기타 대학원 진학
- 전공과 관련한 분야(지구과학)에 취직
- 컴퓨터 공학, 데이터 사이언스, 인공 지능 등 분야에 취직
- 전업 가사 노동자(구 전업 주부)
- 과학 교육학 분야 대학원 진학
- 다른 자연계 전공 대학원 진학
- 전공과 관련한 분야(과학 교육)에 취직
- 기타 다른 분야 취직
- 별 생각 없다
- 기타 : \_\_\_\_\_

4. 할 줄 아는 프로그래밍 언어가 1개 이상 있으신가요?

- 예
- 아니오

5. 할 줄 아는 프로그래밍 언어가 있다면, 어떤 종류를 할 줄 아시나요? 그리고 어느 정도 수준인가요?

- 1) 할 줄 아는 언어: \_\_\_\_\_
- 2) 수준:  개발자(전문가 수준)     아마추어     초보

6. 프로그래밍은 어디서 배우셨나요?

7. 프로그래밍에 대한 흥미는 어떠한가요?

1      2      3      4      5

거의 흥미가 없다                  매우 흥미가 있다.

8. 이 프로그램의 대상은 누구라고 생각하십니까?

9. 이 교육 프로그램은 어떤 목적으로 운영된다고 생각하십니까?

10. 다음 항목들에 체크바랍니다.

	매우 동의하지 않음	동의하지 않음	보통	동의함	매우 동의함
컴퓨팅(프로그래밍) 능력은 미래 시대에 필요한 핵심 역량이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
과학 교과에 컴퓨팅을 융합하는 교육이 이루어질 필요가 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
컴퓨팅은 정보·컴퓨터 교과에서 가르쳐야 하며, 과학 교과는 기존 교육에 충실해야 한다	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
정보·컴퓨터 교과는 컴퓨팅(프로그래밍)보다 컴퓨터 활용(문서 편집, 인터넷 검색, 이미지 편집)에 더욱 힘써야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
컴퓨팅은 과학의 하위 분야이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
지식보다 지식을 알아내는 법을 가르쳐야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
과학 탐구에 많은 시간을 쏟는 것은 시간 낭비이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
현재 과학 교육과정은 너무 많은 과학 내용을 다루고 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학교에서 과학을 배우지 않더라도 미래에 세상을 살아가는데 큰 무리가 없다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
과학 교육의 주된 목표는 미래 사회를 이끌어 갈 유능한 과학자를 양성하는 것이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학교에서 과학을 제대로 공부하지 않은 학생 일지라도 이 세상을 살아가는데 전혀 불편할 게 없다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
컴퓨터 교육은 코딩보다 워드프로세서, 인터넷 검색 등을 가르치는데 더욱 힘써야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
성인이 되어 코딩을 하게 될 학생은 소수에 불과하다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
과학 교육은 컴퓨터 교육보다 중요하다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	매우 동의 안 함	동의 안 함	보통	동의함	매우 동의함
나는 컴퓨팅을 가르칠 만한 충분한 역량을 지니고 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 컴퓨팅을 과학 교육과 접목하여 잘 가르칠 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 최신 기술에 빨리 적응한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 컴퓨터(문서 작업, 인터넷 검색, 이미지 편집 등)에 능숙하다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 과학교육이 효과적으로 잘 이루어지도록 테크놀로지를 잘 활용할 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 컴퓨터를 잘 가르칠 만한 능력이 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
과학을 가르치는 데 있어 나는 컴퓨터를 도구로 잘 활용할 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
내가 원하는 학습 콘텐츠를 컴퓨터를 이용하여 쉽게 만들 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**11. 다음 진술에 동의하는 정도를 표시해주세요.**

	매우 동의 안 함	동의 안 함	보통	동의함	매우 동의함
교사는 정치적으로 중립을 유지해야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학생들은 자신과 관련된 문제에 대해 집회나 시위에 참여해야 한다. (참여할 수 있다)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
선거를 할 수 있는 연령이 더욱 낮아져야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
선생님들의 지도에 따르는 것이 학생의 마땅한 도리다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학교 내의 중요 의사 결정에 학생들이 참여해야 한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
교복을 착용하는 것은 학생의 자유를 침해하는 것이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학생들은 선생님의 지도가 부당하다고 생각할 경우 이를 거부할 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
생활 지도는 교사의 중요 업무 중 하나이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
공동체의 질서 유지를 위해 개인의 자유는 불가피하게 침해될 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
자신의 신념과 반하는 수업에 대해서 학생은 수업을 거부할 수 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
학생은 학교의 규칙을 충실히 따를 의무가 있다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
교육에 있어 어느 정도의 체벌은 필요하다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	매우 동의 안 함	동의 안 함	보통	동의함	매우 동의함
최신 기술을 사용한 제품과 서비스는 기존 것들 보다 더욱 사용하기 편리하다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
사용 가능한 기술 중 가장 최신의 것을 좋아한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
기술은 직업 활동을 더욱 효율적으로 만들어 준다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
기술로 인한 원격 근무는 사람들의 삶의 질을 향상시켰다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
기술은 인간을 보다 자유롭게 만들어 준다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
다른 사람들은 나에게 최신 기술에 대한 조언을 구한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
친구들은 나보다 최신 기술을 더 잘 따라가는 거 같다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
나는 친구들 사이에서 최신 기술을 가장 빨리 접하는 편이다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
기술을 사용함에 있어 다른 사람들보다 어려움을 덜 겪는다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
하이테크 기술이 도입된 제품을 구입할 때 추가 기능이 많은 모델보다 기본 기능에 충실한 모델을 선호한다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
많은 신기술들은 사람들에게 널리 사용되고 난 후에야 위험성이 발견된다.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 부록 2. 사전 인터뷰 질문지

1. 이 교육 프로그램에 참여하시는 목적은 무엇인가요? 어떠한 것을 얻어가고 싶으신가요?
2. 사범대학에 입학하신 이유가 무엇인가요?
3. 현재 진로 계획은 어떠한가요?
4. 할 줄 아는 프로그래밍 언어가 1개 이상 있으신가요?
5. 이 프로그램의 대상은 누구라고 생각하십니까?
6. 이 교육 프로그램은 어떤 목적으로 운영된다고 생각하십니까?
7. 컴퓨팅(프로그래밍) 능력은 미래 시대에 필요한 핵심 역량이라고 생각하십니까?
8. 과학 교과에 컴퓨팅을 융합하는 교육이 이루어질 필요가 있다고 생각하십니까?
9. 본은 컴퓨팅을 가르칠 만한 충분한 역량을 가지고 있다고 생각하십니까?
10. 학창 시절 사회활동에 참여한 경험이 있나요?
11. 자신이 최신 기술에 빠르게 적응하는 편이라고 생각하십니까?
12. 주변 친구들과 비교했을 때 자신이 최신 기술을 잘 따라가는 사람이라 생각하십니까?



### 부록 3. 사후 인터뷰 질문지

#### (1) 공통질문

- A. 살면서 중요하게 생각하는 가치가 있나요?
- B. 사회 참여에 적극적인 사람인가요?
- C. 평소 사회 문제에 관심이 많은가요?
- D. 이 수업엔 왜 참여했나요?
- E. \_\_\_\_\_을 주제로 선택하게 된 이유는 무엇인가요?
- F. 이 문제를 꼭 자신이 해결해야 할 문제라 생각하나요?
- G. 이 문제를 해결하고자 하는 마음이 컸나요?
- H. 이러한 활동이 가치가 있다고 생각하시나요?
- I. 이러한 활동을 다시 하고 싶나요? 더 해보고 싶은 주제가 있나요?
- J. 이 활동을 참여하고 나서 달라진 점이 있나요?
- K. 이 활동을 친구들에게 추천하고 싶나요?
- L. 그 문제를 충분히 해결했다고 생각하시나요?
- M. 컴퓨팅(아두이노 장치)이 학생의 프로젝트에 중요한 역할을 했나요?

#### (2) Y학생

- A. 프로젝트를 그만 두기로 결정한 이유는 무엇인가요?
- B. 가우저 계수기 코딩이 어려웠나요?
- C. 어떤 사회적 실천을 생각하고 있었나요?

**(3) J학생**

- A. 왜 SNS에 연구 결과를 공유하기로 결정했나요?
- B. 다른 사람에게도 연구 결과를 공유했나요?
- C. 자신의 활동이 어떤 측면에서 의미가 있다고 생각하시나요?

**(4) P학생**

- A. 데이터 수집이 실패한 원인은 무엇일까요?
- B. 데이터 수집을 다시 한다면 어떤 점을 개선할 생각인가요?
- C. 데이터 없이 사회적 실천을 할 생각은 없었나요?



## **Abstract**

# **Development and Application of Action-oriented Science Education Program Using the Internet of Things**

**: Focused on Technical Configuration, Teachers'  
Technical Difficulties, and Students' Environmental  
Science Agency**

Ga Seok-Hyun

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

The development of science and technology makes it possible for humans to understand natural science deeply and escape poverty and diseases. However, it has been causing various potential risks. As the Socio-Scientific Issues (SSIs) such as nuclear power plant accidents, GMO controversy, and humidifier disinfectant scandals happened in our daily lives, the urge for citizen participation in SSI is increasing.

Several methods to encourage citizens to engage in science and technology are being discussed. Recently, a deliberation process has been attempted in Korea to determine whether to build Shin Kori (신고리) Nuclear Power Plants No. 5 and No. 6 in 2017. However, there is criticism that citizens do not have enough expertise to

participate in SSI-related decisions. The research topic or agenda was usually set by experts from government and scientific organizations without reflecting citizens' interests. Therefore, science education should teach students to participate more professionally in SSI decision-making and develop the ability to identify problems, propose solutions, and take actions to solve the problems.

Because measuring devices are the lens of the world, it is important to have professional measurement devices to perform professional scientific activities. Even if citizens want to conduct scientific inquiries into their interest SSIs, it is impossible to do so without professional measurement devices. With the advent of Arduino, it has become possible for amateurs to develop professional measurement devices by themselves. By connecting sensors capable of measuring the interest target in Arduino and uploading the software to Arduino through simple programming, the measurement device can be obtained at a relatively low cost.

This study developed an action-oriented science education program using Do It Yourself Measurement Device using Physical Computing and the Internet of Things (DIY-MD). It confirmed the applicability of the DIY-MD to develop students' skills to participate in SSI as informed citizens. For the use of DIY-MD in the school classroom, the researcher conducted a technical review of what kind of technologies are more suitable for DIY-MD in a school environment. Afterward, the researcher studied the technical difficulties experienced by the teachers who tried to integrate DIY-MD into the class to minimize the barriers. This study is composed of three sub-studies.

First, in Chapter 3, the researcher compared and analyzed the pros and cons of various technologies, such as development boards, IoT platforms, and communication modules, composing DIY-MD and provided appropriate examples of technology composition based on five criteria: independence, low cost, familiarity,

mobility, and technology ecosystem. As an example of DIY-MD, the device for measuring the concentration of fine dust and carbon dioxide was presented using Arduino, ThingsBoard, and Wi-Fi modules. The results of this study will reduce teachers' trial and error of technology selection for implementing DIY-MD in their classrooms.

Second, in Chapter 4, based on the results of Chapter 3, the researcher examined the technical difficulties proposed by the teachers who tried applying DIY-MD to their classrooms. In Chapter 3, the researcher presented the analysis of the technology and the example of proper technology configuration. However, the teachers still complained about the technical difficulties related to DIY-MD. The researcher conducted a study to identify the reasons why it was challenging to adapt DIY-MD to finding a solution. Three teachers at the gifted center affiliated to the science high school, school autonomous club activity (학생자율동아리), and local community center participated in the research. DIY-MD was adapted to the classroom by offering technical support from researchers. The researcher wrote a research note focusing on the technical support the researcher provided and the difficulties they appealed and interviewed about their experiences using DIY-MD in class. The interview with three science teachers was summarized and analyzed. Afterward, four major types of difficulties have been identified. The following are the major difficulties: (1) the problem of selecting appropriate technology, (2) the problem of reliability of the information on the Internet, (3) the complexity of technical problems involving many variables, and (4) the problems of laws and institutions. Although the researcher provided technical support to the teachers, these difficulties were still arising and cannot be solved easily. The researcher found that he should provide other forms of technical support to teachers and proposed swarming model-based technical support focused on DIY-MD through reviewing

how technical support is being carried out in the ICT field.

Finally, in Chapter 5, the researcher studied the aspect and change of students' environmental science agency (ESA) in an action-oriented science education program which was adapted from DIY-MD. This program has two characteristics: (1) it uses DIY-MD in the process of scientific inquiry. DIY-MD helps students obtain the data they need to carry out scientific inquiries; (2) this program includes the step of social action. Students are not only cultivating content knowledge and practical knowledge through class but also developing skills of social action based on them. Through this, students develop action competence that can lead to positive societal changes. The researcher developed an action-oriented science education program using DIY-MD for eight weeks (24 sessions) and applied it to undergraduate students. The program consists of four weeks (12 sessions) of learning DIY-MD utilization and four weeks (12 sessions) of the student-led project for social action. The researcher investigated students' agency in the class using the ESA lens through the preliminary interview on the students' background, the post-interview on the project activities of the students in the class, the researcher's field notes. For the credibility of the results, two researchers analyzed the data and compared them. As a result, the researcher led to four conclusions: first, students started with a laymen's level of knowledge at the beginning of the project, but as the project progressed, they explored the expertise as needed. Second, even if students select the topic, the students might lack a sense of belonging and are unable to relate to environmental concerns. Third, by grasping meaningful data, students recognized themselves as actors of environmental problems. Fourth, students have the skills to participate in SSIs using DIY-MD.

DIY-MD allows citizens to participate in SSI more professionally by collecting scientific evidence with their measuring device and forming their claims based on it.

Through the action-oriented science education using DIY-MD, students develop competence to participate in SSIs for their safety and community well-being as a citizen in their lives.

**Keywords : Action-oriented science education, citizen participation,  
environmental science agency, social action, physical computing,  
Internet of Things**

***Student Number : 2017-36941***