creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

교육학박사 학위논문

디지털 테크놀로지 활용 시민과학 교육 프로그램을 구현한 초등학교 수업 분석: 행위자-네트워크 이론(ANT)을 기반으로

An Exploration of the Implementation of a Citizen Science Education Program Using Digital Technology in an Elementary Classroom Using Actor-Network Theory

2023년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 지구과학전공

임 성 은

디지털 테크놀로지 활용
시민과학 교육 프로그램을 구현한
초등학교 수업 분석:
행위자-네트워크 이론(ANT)을 기반으로

지도교수 김 찬 종

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2023년 1월

서울대학교 대학원
과학교육과 지구과학 전공
임 성 은

임성은의 박사 학위논문을 인준함
2023년 1월

위 원 장 권 우 진 (인)

부위원장 김 찬 종 (인)

위 원 Sonya N. Martin (인)

위 원 정 용 재 (인)

위 원 하 민 수 (인)

국문 초록

근래 지구온난화, COVID-19 같은 통제하기 힘든 여러 비가역적인 난제들이 다양한 형태로 나타나고 있다. 더욱이 그 결과는 예측하기 힘들어지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 학생들은 과학기술과 관련된 문제에 대한 과학적 이해와 직접적인 해결방안을 모색하고 실천하기 위한 변혁적 역량을 갖춘 미래 시민 역량이 필요하다. 확장 시민과학 교육은 실생활과 밀접한 과학기술 관련 주제를 탐구하고, 해결방안을 모색하며, 개인의 정치화된 행동을 통해 문제해결과정에 참여하는 것으로 미래 시민이 갖추어야 할 역량에 높이는 데 기여할 수 있을 것이다. 이에 이 연구에서는 확장 시민과학 수업 프로그램에 주목하였다.

아울러, 이 연구에서는 교육에서 빠르게 도입되고 있는 디지털 테크놀로지가 확장 시민과학 활동을 활성화하는 데 기여할 가능성에 주목하여 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 수업 프로그램을 구성하였다. 즉, 대기환경과 관련된 시민과학 활동을 위해서 데이터를 획득하기 용이한 디지털 테크놀로지와 데이터를 획득하고 통합 및 변환하는 기술적 플랫폼의 필요성 등을 감안하여 디지털 테크놀로지를 수업 프로그램에 활용하였다.

한편, 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업은 여러 인간과 비인간이 함께 네트워크를 형성하고 있는 프로그램이다. 예를 들어, 테크놀로지는 데이터의 수집과 변환 및 소통을 위한 행위성을 발휘하면서 시민과학 활동을 가능하게 그리고 원활하게 하는 비인간 요소이다. 이처럼 여러 인간과 비인간 사이의 네트워크로 구성된 프로그램 특성상 그 실행 과정을 심도 있게 분석하기 위해서는 인간과 비인간 모두를 분석의 대상으로 포괄하는 방법이 필요하다. 이에 이 연구는 인간과 비인간의 네트워크로 행위를 바라보는 행위자-네트워크 이론(Actor-Network Theory, 이하 ANT)에 주목하여 학습 현상을 새롭고 종합적으로 이해하고자 하였다.

이에 이 연구에서는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 준비하고 실행하는 과정을 ANT의 관점에서 분석함으로써 시민과학 교육에 주는 시사점을 얻는 것을 목적으로 하였다. 구체적인 연구 문제로 다음과 같다. 첫째,

디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 프로그램을 초등학교에서 실행할 때 나타나는 네트워크 구성과정은 어떠한지 살펴본다. 둘째, 이 프로그램의 소집단 활동에서 구성되는 네트워크와 변화과정은 어떠한지 살펴본다.

연구 참여자는 서울 소재 H 초등학교 5학년 담임 교사 1명, 학생 21명이다. 수업 프로그램은 연구자가 개발한 프로그램을 보조교사 및 교사와 논의를 거쳐서 초등학생 수준에 맞추어 수정 보완한 것으로, STEP 1 (디지털 테크놀로지에 대한 이해), STEP 2 (과학적 탐구 활동), STEP 3 (사회적 행동) 총 세 단계 24차시로 구성되어 있다. 수업에 활용된 디지털 테크놀로지는 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있으며 대기 환경을 수집하는 장치, 수집한 자료를 숫자와 그래프로 변환시켜주는 장치 등이 사용되었다. 수업 녹화자료, 연구 참여자 면담자료, 교사의 수업 성찰 일지, 연구자의 참여 관찰일지 등이 연구 자료로 수집되었다. 연구자는 수집된 자료들을 연구문제에 따라 ANT의 관점을 바탕으로 네트워크의 궤적을 기술하였다. 이를 위해 Callon(1986)의 번역 4단계를 기반으로 하였으며, 시간의 흐름에 따라서 행위자들 간에 네트워크가 접히고 펼쳐지는 과정을 수업 단계 및 사례에 따라서 기술하고자 하였다. 이후 지속적인 비교 분석방법을 통해 분석하였다.

연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 프로그램을 준비하고 실행하는 과정에서 네트워크 구성과정의 특징은 다음과 같았다. 문제제기 단계에서는 연구자로부터 시작된 기존 교육 네트워크 교란 행위가 교사의 관심 끌기로 이어졌으며, 교사가 연구자를 대신하여 학생들에게 문제제기 하는 것으로 연속ㆍ확장되는 특이점을 보였다. 그러나 문제제기 단계에서 설정한 초기 OPP를 통과하지 못하는 행위자들이 많아져 전체적인 동맹 관계가 흔들리며 배반의 사례가 생겨나 OPP를 변경하게 되었다. 이후 주요 행위자들은 변경된 OPP를 의무적으로 통과하면서 각자의 이익을 달성하기 위해서 동맹 관계를 맺으려 다시 노력하기 시작하였다. 관심끌기 단계에서는 연구자는 교사와 학생들의 관심을 지속해서 유발하기 위해서 다양한 전략과 장치들을 사용했으며, 교사 역시 연구자와 함께 학생들의 관심을 유발하기 위해 여러 가지 전략 장치들을 논의하고 사용하였다. 비인간 행위자들은 의도와 무관하게 학생들의 관심을 유발하였다. 그러나, 행위자별

로 다양한 입장과 기대이익을 가지고 있어 네트워크 구축의 복잡성을 증대시키고 포섭을 어렵게 만들었다. 이러한 차이로 인해 등록하기에 성공하거나 배반하는 사례, 혹은 복합적으로 이루어지는 사례 등 다양한 사례가 나타났다. 이후 제안하는 글, 포스터 등 불변의 가동물을 통해 등록하기 단계가 잠시 나타났지만, 종업식 등의 이유로 답변을 제대로 받지 못한 채 마무리되었다.

둘째, 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 프로그램을 실행하는 과정 중에 소집단 활동에서 구성되는 네트워크와 변화과정은 다음과 같았다. 학생들은 새로운 비인간-인간 행위자가 교육현장에 들어오면서 문제 해결 전략으로 고착화되어 있던 기존 네트워크 형성방법을 바꾸는 것을 확인할 수 있었다. 사용된 학습전략은 학생마다 다르며 다양한 인간 행위자와 비인간 행위자를 포함하여 네트워크 안정화를 꾀하고 있었다. 또한, 디지털 테크놀로지라는 비인간과 블랙박스화에 실패하더라도, 기입물을 통해서 담화를 형성할 수 있음을 확인하였다. 모둠 내의 역할에만 국한되어 활동한 모둠보다 모둠원들이 각자 자신의 역할을 수행하되 각자의 연결망에 서로 유기적으로 연결되어 교류하는 모둠에서의 학습이 활발하게 이루어졌다. 디지털 테크놀로지, 기입물 등의 비인간 행위자가 어떤 행위자와 연결되는지에 따라서 발현된 행위성이 달라졌으며, 비인간의 블랙박스가 깨지면서 예측 불가능한 상황이 생기며 학습에 큰 영향을 미치기도 하였다. 이 과정에서 비인간 행위자는 교수학습 네트워크를 흔들 정도로 큰 행위성을 가진 존재임이 드러났다. 또한, 학습 활동의 결과물은 인간 행위자의 역량이나 능력으로 인한 것이 아니며 여러 복잡한 네트워크 과정으로 발현되는 것임이 드러났다. 비인간뿐만 아니라 인간 행위자에 의한 연결로 비의지적으로 학습 네트워크를 확장하는 데 실패하기도 하였다. 사회적 행동을 할 때 성인 행위자가 '기입물-학생-학교 밖 행위자들'과 적극적으로 관계 맺기를 위한 개입이 필요함을 알 수 있었다.

이와 같은 연구 결과는 다음과 같은 교육적 시사점을 주고 있다. 첫째, 학습을 돕기 위해서는 다양한 방법을 사용하여 여러 인간-비인간 행위자들을 만날 수 있도록 해야 한다. 그리고 이들을 자신의 필요에 따라 적절히 포섭하는 방법에 대한 메타적으로 인지하는 능력을 길러주기 위해 여러 행위자를 포섭해보는

경험을 직·간접적으로 할 수 있도록 도와줘야 한다. 둘째, 비인간 행위자들이 교육현장에서 적절한 행위성을 발휘하려면 비인간을 둘러싼 다양한 요인을 고려하여 지원해주어야 한다. 이를 위해 비인간을 교수학습 상황에 도입하기에 앞서 블랙박스화 되어 있는 비인간을 해체해볼 필요가 있다. 이러한 과정을 거친다면 학생들의 수준에 맞추어 비인간을 구성하는 행위자들과 만나게 되는 단계를 적절히 조절할 수 있을 것이다. 셋째, 인간뿐만 아니라 비인간과 네트워크를 함께 구성하는 과정에서 지식이 획득되고 학습이 일어난다는 점을 고려하여 교수학습을 설계해야 할 것이다. 학습결과의 원인을 살펴보는 과정에서 인간 행위자만 주목하는 것이 아니라 관련 비인간-인간 행위자들이 다중적으로 얽혀 있는 모습에 주목함으로써, 그동안 해결하지 못했던 교수·학습문제를 새로운 관점에서 다시 접근해 볼 수 있게 한다. 넷째, 교육과 학습도 인간-비인간 상호작용의 결과로서 이해할 필요가 있다. 그동안 교육 연구에서 인본주의적 관점에서 교수·학습을 바라보던 것에서 탈피해 새로운 관점에서 교수학습을 바라보는 것을 제안할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

이 연구는 기존의 교수·학습 관점을 넘어 학습이 네트워크의 구성이라는 점을 사례 연구를 통해서 보여줘 네트워크적 관점에서 수업을 어떻게 준비해야 하는지, 그리고 학습을 돕기 위해서는 어떻게 해야 하는지 시사점을 주고 있다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있다. 그동안 간과되어 있던 비인간들의 역할과 위치에 대해서 재고해볼 기회를 제공하여 새로운 관점에서의 교육적 논의를 이어나갈 수 있을 것이라 기대한다. 아울러 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 준비하고 적용하는 과정에 관한 이해의 폭을 넓혀 앞으로 시민과학 교육 프로그램의 효과적인 적용에 도움이 될 것이다.

주요어 : **확장 시민과학 교육, 행위자-네트워크 이론(ANT), 디지털 테크놀로지, 초등학교, 과학교육**

학 번 : 2018-30076

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 1 절 연구의 필요성 및 연구 목적 ····· 1
제 2 절 연구 문제 ····· 7

제 2 장 이론적 배경 ····· 8
제 1 절 시민과학 교육 ····· 8
1. 시민과학의 개념 ····· 8
2. 시민과학의 유형 ····· 17
3. 교육맥락에서의 시민과학 ····· 21
4. 시민과학과 테크놀로지 ····· 24
제 2 절 행위자-네트워크 이론 ····· 28
1. 행위자-네트워크 이론의 개관 ····· 28
2. 행위자-네트워크 이론의 주요 개념 ····· 29
3. 행위자-네트워크 이론과 번역 ····· 35
4. 행위자-네트워크 이론과 교육 ····· 42

제 3 장 연구 방법 ····· 47
제 1 절 연구 맥락 ····· 47
1. 연구 과정 ····· 47
2. 방법론적 맥락 ····· 49
3. 학교 맥락 및 수업 프로그램 ····· 51
4. 연구 참여자 ····· 60
제 2 절 자료 수집 및 분석 ····· 66

1. 자료 수집 ····· 66
2. 자료 분석 ····· 70
3. 연구 신뢰도 및 타당도 확보 방안 ····· 78

제 4 장 프로그램 준비 및 실행 단계에서의 네트워크 구성과정 ····· 80
제 1 절 문제제기 ····· 81
1. 문제제기 ····· 81
2. 의무통과점 설정 ····· 84
제 2 절 관심끌기 ····· 91
1. 연구자의 관심끌기 전략 ····· 91
2. 비인간의 관심끌기 전략 ····· 107
3. 교사의 관심끌기 전략 ····· 114
제 3 절 등록하기 ····· 120
1. 각 행위자의 역할 ····· 120
2. 배반 ····· 122
제 4 절 동원하기 ····· 129

제 5 장 개인 및 소집단 활동에서 구성되는 네트워크 및 변화과정 ····· 134
제 1 절 지아를 둘러싼 네트워크 사례 ····· 136
1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 실패과정 ····· 136
2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 143
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 152
제 2 절 효진을 둘러싼 네트워크 사례 ····· 160

1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 성공과정 ····· 160
2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 166
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 176

제 3 절 소영을 둘러싼 네트워크 사례 ····· 186
1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 성공과정 ····· 186
2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 192
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 197

제 4 절 예지를 둘러싼 네트워크 사례 ····· 207
1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 실패과정 ····· 207
2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 211
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성 ····· 215

제 6 장 결론 및 제언 ····· 219
제 1 절 결론 ····· 219
제 2 절 논의 및 제언 ····· 224
1. 시사점 ····· 224
2. 제언 ····· 228

참고문헌 ····· 231
Abstract ····· 244

표 목 차

[표 1-1] 유럽 및 미국 초기 시민과학의 태동, 영역, 목적 ·· 12
[표 1-2] 교육공학의 철학적 관점에 따른 개념 비교 ····· 44
[표 2-1] 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 수업 세부 내용 ····· 55
[표 2-2] 수업에서 활용된 디지털 테크놀로지 및 이와 관련된 비인간 ····· 57
[표 2-3] 모둠별 탐구 주제 및 사회적 행동 ····· 59
[표 2-4] 모둠 내 역할 ····· 64
[표 2-5] 수집한 자료 ····· 66
[표 2-6] 사전 면담 질문지 프로토콜 ····· 67
[표 2-7] STEP 1 수업 후 면담 질문지 프로토콜 ····· 68
[표 2-8] STEP 3 수업 후 면담 질문지 프로토콜 ····· 69
[표 3-1] 수업 단계별 번역 과정 ····· 80
[표 3-2] 관심끌기 대상 목록 및 학교별 교수 · 학습 상황 ··· 82
[표 4-1] 4 모둠 학생의 모둠 내 역할 ····· 143
[표 4-2] 5 모둠 학생의 모둠 내 역할 ····· 167
[표 4-3] 3 모둠 학생의 모둠 내 역할 ····· 193

그 림 목 차

[그림 1-1] 정화와 번역 과정 ····· 36
[그림 1-2] 번역 과정 ····· 40
[그림 1-3] 번역의 3단계와 세계의 변화 ····· 41
[그림 2-1] 연구 과정 ····· 48
[그림 2-2] 수업 단계별 네트워크 구성 분류 ····· 74
[그림 2-3] 사례 1 STEP 1 네트워크 구성과정 도식 중 일부 77
[그림 3-1] 수업 목표, 초기 OPP, 변경된 OPP ····· 85
[그림 3-2] 각 주요 행위자들과 행위자들의 목적, OPP의 변경 및 번역 과정 ····· 88
[그림 3-3] 관심끌기 전략을 통해 교사는 기존 동맹을 끊고 본 수업 프로그램과 연결됨 ····· 93
[그림 3-4] 관심끌기 전략을 통해 학생이 기존 동맹을 끊고 본 수업 프로그램과 연결됨 ····· 95
[그림 3-5] 구글 클래스룸에서 학생, 교사, 연구자의 교류 ·· 98
[그림 3-6] 과학교육 연구자들의 편지 ····· 103
[그림 3-7] 학생들도 청원 글을 올릴 수 있는 서울시 교육감 홈페이지 ····· 106
[그림 3-8] 처음으로 미세먼지 값을 그래프로 확인한 날 ··· 109
[그림 3-9] 수업 중 기계식 환기 설비 장치를 가리키는 태준 112
[그림 3-10] STEP 1 번역 과정에서 우회 및 중단 ····· 123
[그림 3-11] 오류가 난 띵스보드 화면 ····· 124
[그림 3-12] 컴퓨터 업데이트 중 수업이 계속 진행되어 다급히 손을 드는 태준 ····· 126
[그림 3-13] 본 수업에서의 번역과 세계의 변화 ····· 129
[그림 3-14] 마스크 회사에 게시한 제안하는 글 및 답변 ·· 132
[그림 3-15] 교육청 답변 사항 ····· 133

[그림 4-1] 수업 실행 단계별 네트워크 구성 분류 사례 ····· 134
[그림 4-2] '지아-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 실패과정 ····· 138
[그림 4-3] '기입물, 지아, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 146
[그림 4-4] 창문을 연 후 급격히 감소하는 이산화탄소 (계획에 없던 탐구 활동) ····· 149
[그림 4-5] '포스터, 지아, 모둠원, 시간'을 둘러싼 네트워크 형성 과정 ····· 154
[그림 4-6] 학교에 부착한 포스터 ····· 158
[그림 4-7] '효진-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 성공과정 ····· 162
[그림 4-8] 친구들을 돕는 효진 ····· 163
[그림 4-9] '모둠 내 역할, 기입물, 효진, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 170
[그림 4-10] 효진이를 중심으로 도움을 요청하는 친구들 ·· 174
[그림 4-11] 다른 모둠의 측정을 도와주는 효진 ····· 175
[그림 4-12] '제안하는 글, 효진, 모둠 내 역할, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 178
[그림 4-13] 역할을 지우고 다시 쓰는 과정이 반복된 계획서 ····· 179
[그림 4-14] 아무것도 하지 않는 정혁 ····· 182
[그림 4-15] 홀로 남아 글쓰기를 하는 지영 ····· 184
[그림 4-16] 교육청에 올린 제안하는 글 ····· 184
[그림 4-17] '소영-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 성공 과정 ····· 189
[그림 4-18] '기입물, 소영, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성 과정 ····· 194
[그림 4-19] '제안하는 글, 소영, 모둠원, 기록 활동과 관련된

비인간'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 199
[그림 4-20] 계획서에 글 쓰는 정원이를 제지하며 샤프를 가져가는 소영 ····· 200
[그림 4-21] 노트북을 만난 이후, 보다 적극적으로 참여하기 시작한 정원 ····· 200
[그림 4-22] 노트북, 샤프, 종이 등과 연결이 끊기며 흥미를 잃은 정원 ····· 201
[그림 4-23] 학교에 부착한 제안하는 글 ····· 205
[그림 4-24] '예지-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 실패 과정 ····· 209
[그림 4-25] 노트북 업데이트로 인해 수업에 참여하지 못한 채 돌아다니는 예지 ····· 210
[그림 4-26] '기입물, 예지, 모둠원, 모둠 내 역할'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 212
[그림 4-27] '제안하는 글, 예지, 모둠 내 역할, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정 ····· 216

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 필요성 및 연구 목적

현대 사회 시민들은 디지털 기기, 스마트 장치 등을 통해 국가 경계를 넘어 복수의 의사소통 채널을 통해서 인간과 인간, 인간과 사물, 사물과 사물이 연결된 초연결 사회(hyper-connect society)에서 살아가고 있다. 즉, 시민들은 다양한 규모로 복잡하게, 그리고 상호의존적으로 연결된 수많은 관계망(network) 속에서 살아가고 있다. 초연결 사회를 이룩하게 된 배경에는 수많은 과학기술의 발전이 있다. 과학기술은 산업혁명을 거치면서 기대수명, 교육, 운송, 통신, 의료, 놀이 및 여가활동, 예술, 전쟁, 윤리와 가치, 인구의 크기, 생산과 소비 등 경제, 사회문화, 정치, 소득 수준 등에 영향을 미치며 사람들의 삶의 형태를 변화시켰다. 또한, 이로 인해서 사람들의 사고, 행동, 가치 등이 변화되었다. 그러나 과학기술의 발달로 형성된 새로운 네트워크는 항상 긍정적인 결과만을 가져오는 것은 아니다(성태제, 2017; 이현주, 2018; Borg, 2016; Schwab, 2016). 기계화로 인한 대량 실업자 양성, 계층 · 지역 · 국가 간 불평등 및 양극화 심화, 자연환경 파괴, 비인간화 등 여러 부정적인 결과도 가져왔다(Schwab, 2016). 과거에는 신자유주의 논리에 따라 이러한 과학기술 발달의 부정적 측면보다는 긍정적인 측면이 더 부각 되며 성장해왔지만, 최근 가습기 살균제 사건, 미세먼지, 지구온난화, 미세플라스틱, COVID-19 등 과학기술로만 통제하기 힘든 위험들이 다양한 형태로 재생산되고 있다. 이제는 이러한 문제들을 더는 간과할 수 없게 되었다.

문제는 과거와 달리 과학기술이 발전하는 속도가 더욱 빨라지고 있어 새로운 과학기술로부터 어떤 네트워크가 형성되고, 형성된 네트워크가 다른 행위자들에게 어떤 영향을 미치며 또 다른 네트워크를 형성할지 알 수 없다는 것이다. 또한, 이러한 네트워크로 인해 어떤 부정적인 결과가 생겨날지 점점 더 예측하기 힘들어지고 있다. 인간과 인간, 인간과 비인간, 비인간과 비인간이 만들어내는 네트워크는 너무 복잡해지고 있으며, 한 번 형성된 네트워크

는 다시 원래대로 돌아갈 수 없는 비가역적인 특성을 띤다(이현주, 2018). 이처럼 과학기술이 발전할수록 과학기술과 관련된 사회적 쟁점(Socio-scientific Issues, 이하 SSI)이 심화하며, 네트워크 속 여러 행위자가 복잡하게 얽혀있는 문제를 해결하기 위한 단편적이면서도 뚜렷한 해결방법이 존재하지 않아 어려움에 직면하고 있다.

그렇다면 이러한 위험사회(Risk Society)에 과학교육이 나가야 할 방향은 무엇일까? 연구자는 확장 시민과학(Extreme Citizen Science) 교육에 주목하고자 하였다. 벡(Beck)은 위험사회를 직접민주주의나 풀뿌리 민주주의와 같이 개인화된 정치적 행위를 통해서 해결할 수 있다고 주장하였다. 또한, 개인이 확고한 신념과 이념을 가지고 행동하는 것은 아니지만, 반사적이고 실용주의적 대응 방식이자, 자신이 생산한 불확실성에 기초해 스스로 의심하는 성찰적 근대성이 오늘날 위험사회에 필요하다고 하였다(Beck, 1992; 홍찬숙, 2016). 시민들의 참여수준에 따라서 시민과학을 분류한 English et al.(2018)과 Haklay(2013)는 확장 시민과학을 시민이 연구문제를 정의하고 자료를 수집, 분석, 해석, 연구 결과 출판, 대중을 위한 행동하기까지 모든 단계에 참여하는 것으로 정의하였다. 확장 시민과학 교육은 학생들이 특별한 신념이나 이념이 있는 것은 아니지만, 자신의 삶과 밀접한 연구문제를 직접 정의하고, 과학적으로 탐구하고 그 결과를 활용해 개인적·사회적 행동을 통해 주체적으로 문제를 해결해볼 수 있다는 점에서 위험사회에 꼭 필요한 과학교육 활동이 될 수 있다. 또한, 거시적 관점에서 학생들이 성찰적 근대성을 지니기 위한 대안적인 교육 활동이 될 수 있다.

학교 과학교육에서는 실증주의에 기초하여 합리적이고 객관적인 지식처럼 보이는, 즉 불확실성은 거의 다루지 않음으로써 과학 본성에 반하는 교수·학습을 하는 경우가 많다. 그러나 확장 시민과학 교육을 통해서는 학생들이 학교에서 배운 과학과 일상생활 속의 과학을 분리하지 않고 그 경계를 넘나드는 것을 가능하게 만든다. 학교에서 배운 과학과 일상생활 속의 과학과 경계가 허물어져 앎이 실천으로 이어지게 된다. 또한, 학생들 자신의 가치관과 신념에 기반하여 의사 결정을 해볼 수 있으며 이를 거시적인 관점에서 해결해볼 수 있다. 시민과학 교육은 학생들에게 이러한 기회를 제공할 수 있으나

학교 과학교육은 아직 이러한 기회를 제공하는 교육방식을 적극적으로 도입하지 않고 있다. 예측 불가능한 미래사회가 필요로 하는 인재를 양성하기 위해서는 학교 과학교육에 시민과학 교육방식을 적극적으로 도입할 필요가 있을 것이다.

한편, 사회 변화에 따라 교육이 마주하고 있는 환경도 급변하고 있다. 2017년부터 국내 교육계에서도 4차 산업혁명이라는 키워드가 빈번하게 사용되기 시작하였으며, 이를 교육 개혁과 관련 지은 연구들이 활발히 이루어지고 있다(김대식, 2017). 또한, 미래 교육을 위한 에듀테크, 스말로그 교육[1], 플립러닝, 하이브리드 교육 등 디지털 테크놀로지를 접목한 수업에 관한 관심이 부상하며 새로운 교육 패러다임에 대한 여러 탐색적 연구가 진행되고 있다. 2016년 1월 스위스 다보스에서 열린 제46차 세계경제포럼(World Economic Forum)에서는 4차 산업혁명이 '사물인터넷(IoT), 블록체인, 빅 데이터, 인공지능(AI), 로봇공학, 로봇공학, 첨단소재, 자율 주행 자동차, 나노 기술, 가상현실, 증강현실, 드론' 등 여러 분야에서 이뤄지고 있는 기술 혁신을 주축으로 하고 있음을 제안하였다. 4차 산업혁명은 물리적, 디지털, 생물학적 영역 사이의 경계가 흐려지는 기술들의 융합이 특징이다(Schwab, 2018). 4차 산업혁명에 대응하기 위한 국내 교육과정의 개편도 이루어지고 있다. 2015 교육과정 부분 개정에서는 초·중등교육과정에 코딩교육이 도입되었고, 2019년부터 초등학교에서 17시간 코딩교육이 실제로 시행되었다(교육부, 2015). 2022 개정 교육과정에서는 미래세대 핵심역량으로 디지털 기초 소양 강화 및 정보교육 확대의 내용을 담고 있다(교육부, 2021). 교육부에서는 제4차 과학교육 종합계획(2020~2024)을 통해 학생 스스로 호기심이나 실생활 문제를 과학적 방법으로 해결하는 첨단 과학기술(IoT, 빅데이터, AI, 5G, AR/VR 등)을 기반한 프로젝트형 탐구 프로그램 개발과 보급을 지원하고, 자율탐구 공간에 디지털 과학탐구 도구(IoT 기반 센서 등)를 비치하고 운영 프로그램을 개발 및 보급하는 계획을 담았다(교육부, 2020). 이처럼 교육과정과 관련된 여러 문서가 다양한 디지털 테크놀로지의 중요성을 반영하고 있으며, 교육현장에서 디지

1) 스말로그(smalogue)는 smart와 analogue를 결합한 교육으로 스마트교육과 대면 교육을 결합한 형태의 교육이다(박남기, 2021).

털 테크놀로지를 유용하게 사용할 수 있도록 해당 플랫폼과 물리적 교육환경을 구축하고, 관련된 교사 연수도 제공하고자 하는 움직임이 일어나는 중이다.

이에 본 연구에서도 이러한 사회적 교육적 패러다임 변화를 수용하고 디지털 테크놀로지의 중요성에 공감하면서, 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육을 시도하고자 한다. 디지털 테크놀로지(IoT, 센서 등)를 활용한다면 학생들은 시민과학에 필요한 데이터를 간접적인 방법이 아니라 직접 측정하고 얻을 수 있다. 자신이 직접 수집한 데이터라는 특징은 학생들에게 결괏값에 대한 주인의식과 흥미를 높여, 학생들 삶과 밀접한 주제에 대한 문제의식을 고취하고 해결을 위한 의지를 다질 수 있게 돕는다. 즉, 학생들이 주체적인 탐구 활동을 진행할 수 있게 된다. 아울러 디지털 테크놀로지의 도입은 시민과학 활동이 생태나 천문 등과 같이 일반인의 접근이 용이한 주제에 국한되는 경향을 넘어, 시민과학 활동의 확장 가능성을 크게 할 것이다. 특히 대기 환경 주제와 관련된 자료를 수집하고 변환하는 등 일반 시민들이 직접 자료를 수집, 조작, 해석하는 것을 손쉽게 가능하게 해준다. 이에 본 연구에서는 디지털 테크놀로지를 시민과학 교육에 활용하여 학생들이 삶 속에서 문제를 해결하는 데 테크놀로지를 적시 적소에 활용할 수 있도록 프로그램을 준비하고 적용하고자 하였다. 학생들은 본 수업을 통해 자기 삶과 관련된 실질적인 사회 과학적 문제를 인식하고, 이를 해결하기 위해 직접 의사결정을 하고 스스로 개인적 · 사회적 행동을 실천함으로써, 민주시민으로서 역할과 책임감을 느낄 수 있을 것이다.

그러나 이러한 가능성과 중요성에도 불구하고 아직 학교에서는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육은 거의 이루어지지 않고 있다. 예측 불가능한 미래사회가 필요로 하는 인재를 양성하기 위해서는 학교 과학교육에 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육방식을 도입할 필요가 있음에도 불구하고 이와 관련된 선행연구 역시 미비한 실정이다. 시민과학 혹은 디지털 테크놀로지를 활용한 교육 주제에 관한 각각의 연구들은 있으나 비인간 행위자는 후경에 두고 인간 행위자를 전경에 둔 연구가 대다수였다. 디지털 테크놀로지와 관련된 선행 연구에서는 인간의 여러 가지 내재적 요인

혹은 역량이 테크놀로지를 활용한 학습에 미치는 영향 혹은 테크놀로지를 활용한 수업이 학습자에게 미치는 영향을 탐색했다(권성연, 2018; 김상홍, 2019; 김세련 외, 2015; 박종선, 2015; 이인숙, 2003; 정인철 외, 2007; Horzum et al., 2015; Yilmaz, 2017). 또한, 에듀테크에 관한 교사와 학생의 인식을 조사하기도 하였다(서향희, & 박주희, 2021; 유금복, & 강은희, 2020; 장진아, & 정용재, 2017). 시민과학과 관련된 선행 연구에서는 시민과학 프로그램이 학생들에게 미치는 영향과 시민과학 교육에 대한 인식 혹은 정의적 특성을 탐색했다(김가형, & 이현주, 2017; 신정윤, & 박상우, 2020; 윤지연 외, 2015; Means et al., 2001; Penuel et al., 2016). 즉, 교사, 학생 인간 행위자만 고려한 인본주의적 관점의 선행연구가 대다수이며, 교수 설계 시 비인간은 인간의 의도대로 행동하는 도구로써 바라보고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 디지털 테크놀로지와 관련된 교육내용이 초등학교 수준에서부터 이미 적용되고 있지만, 관련된 선행 연구가 대부분 중등학교 학생 혹은 성인을 대상으로 하고 있다는 점에서 초등학생을 대상으로 한 연구가 필요한 실정이다.

본 교육 프로그램은 여러 인간과 비인간이 함께 네트워크를 형성하는 프로그램이다. 예를 들어, 디지털 테크놀로지는 자료 수집과 변환 및 소통을 위한 행위성을 발휘하면서 시민과학 활동을 가능하게 그리고 원활하게 하는 비인간 요소이다. 이처럼 여러 인간과 비인간 사이의 네트워크로 구성된 프로그램 특성상 그 실행 과정을 심도 있게 분석하기 위해서는 인간과 비인간 모두를 분석의 대상으로 포괄하는 방법이 필요하다. 또한, 해당 교육을 실행하고 정착시키기 위해서는 그동안 간과해 왔던 여러 비인간 행위자의 행위성도 함께 이해해야 할 필요성이 있다. 비인간과 인간이 형성하는 네트워크의 중요성을 강조하는 행위자-네트워크 이론(Actor-Network Theory, 이후 ANT)은 그동안 잊혔거나, 과소평가 되었을 수 있는 인간과 비인간 행위자를 균형있게 살펴볼 수 있도록 하여 현상에 대한 이해의 폭과 심도를 확장하고 새로운 관점을 가질 수 있게 한다. 따라서 본 연구에서는 인간뿐만 아니라 비인간의 행위성을 인정하며, 인간과 비인간이 형성해가는 네트워크 과정에 초점을 두고 있는 ANT 이론을 사용하여 학습 현상을 새롭고 종합적으로 살펴보고자 한다. 학습 현상 중 비인간과 인간 행위자들의 네트워크 형성을 과정에 주목

하고자 하면서 후경에 머물러 있던 비인간 행위자가 교육에서 인간과 비인간에게 어떤 행위성을 발휘하는지 밝힐 수 있을 것이다. 또한, 수업을 준비하고 실행하는 과정에서 비인간 행위자를 함께 고려한 교수ㆍ학습 네트워크가 어떻게 형성되는지 탐색함으로써 수업을 준비하고 실행하는 과정에서 어떠한 전략을 세울 수 있을지 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 그리고 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업뿐만 아니라, 비인간을 전면에 내세운 수업, 시민과학 수업, 일반적인 수업사례를 개선하고 발전시키기 위해 비인간 행위자를 고려한 논의를 가능하게 할 것이다.

제 2 절 연구 문제

본 연구는 미래사회의 불확실성에 대응할 수 있는 기본적인 역량인 디지털 기초소양 및 민주시민 역량 등을 갖추는 것을 목표로 한 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 수업을 준비하고 이를 교육현장에서 잘 실행하는 것을 목표로 한다. 수업 프로그램은 비인간 행위자를 적극적으로 포섭한 프로그램으로 일반적인 과학 수업형태보다는 개입된 비인간 행위 주체가 뚜렷하며, 비인간 행위자가 개인과 집단의 행위성 및 새로운 네트워크를 형성하는 데 미치는 영향이 강할 것으로 추측할 수 있다. 또한, 수업 과정에는 기존 교수·학습 네트워크에서 만날 수 없었던 다양한 인간(교사, 연구자, 보조교사, 학교 밖 행위자)과 비인간(디지털 테크놀로지)이 결합하며 인간-인간, 인간-비인간, 비인간-비인간 네트워크를 형성할 수 있다. 따라서 본 연구는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육을 준비하고 실행하는 과정에서 인간-비인간의 예측하지 못했던 네트워크가 어떻게 만들어졌고, 그것이 어떻게 행위자들에게 지속적 영향을 주며 그 관계를 지속하거나 해체하는지 종합적으로 살펴보고자 한다. 또한, 교수·학습 상황에서 예측 불가능한 네트워크를 기술함으로써, 네트워크를 효과적으로 구성할 수 있는 교육전략을 성찰하고 계획해 볼 수 있을 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위한 연구 문제는 다음과 같다.

1. 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 프로그램을 초등학교에서 실행할 때 나타나는 네트워크 구성과정은 어떠한가?

2. 이 프로그램의 소집단 활동에서 구성되는 네트워크와 변화과정은 어떠한가?

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 시민과학 교육

1. 시민과학(Citizen Science)의 개념

1) 시민과학의 태동

시민과학에 대한 개념은 사전, 정책, 연구자마다 다양하게 정의한다. 그러나 공통적으로 시민과학을 '비전문가인 시민이 자발적으로 과학적 과정에 참여하는 것'이라고 정의하고 있다(Davies et al., 2016; Eitzel et al., 2017; Miller-Rushing et al., 2012; Morzy, 2015). 시민과학이라는 용어가 사용된 것은 최근이며, 국내에서는 정책적으로 그 용어를 공식화하여 사용하고 있지 않다(고재경 외, 2019). 시민과학(Citizen Science)이 무엇을 의미하는지 알기 위해서는 통상적으로 사용되고 있는 단어인 과학(Science)에 왜 '시민'이라는 명사가 덧붙여졌는지 그 이유를 생각해 볼 필요가 있다. 시민은 과학을 하는 주체로서의 의미일까, 아니면 과학이 도움을 제공하는 대상으로서의 시민일까? 시민과학의 의미를 살펴보기 위해서 먼저 시민과학이 태동하게 된 배경과 시민의 의미를 미국과 유럽으로 나누어 살펴보고자 한다.

먼저, Irwin(1995)은 Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development라는 책에서 유럽에서 시민과학이 어떻게 태동하였고, 시민의 의미가 어떻게 변화하게 되었는지 다음과 같이 설명하였다. 19세기 유럽에서 대중은 상대적으로 과학에 대해 무지한, 계몽되어야 할 대상으로 보는 관점이 지배적이었다. 과학은 전문적인 연구 활동을 하는 과학자의 전유물이며, 시민들은 경제적 · 사회적 진보 및 사회질서를 유지하기 위해서 과학에 대한 이해를 증진할 필요가 있는 대상으로 생각되었다. 이를 위해 대중들을 위한 과학 프로그램 개설, 과학책 출판 등의 노력이 있었다. 즉, 과거에는 과학이 지식의 원천이며 시민들은 과학 지식의 수혜자이자 계몽해

야 할 대상으로 바라보는 전통적인 입장에서 시민과 과학의 관계를 정립하고 있었다.

그러나 이러한 시민과 과학의 관계는 점차 변화하였다. 실험실 안에서 과학이 행해지더라도 실험실 밖의 사회적 맥락에서 과학은 다양한 형태로 응용되어 존재한다. 과학이 기술과 결합하면서 사물로 재생산되기도 하며 정치적 입장을 띈 정부, 기업, 소비자, 생산자 등과 여러 이해관계를 맺는다. 과학은 여러 행위자와 복합적인 과정을 거쳐 얽히면서, 원인을 규명하기 어려운 지구온난화, 미세먼지, GMO(유전자 변형 식품), 광우병(소해면상뇌증)과 같은 문제를 만들어낸다. 즉, 시민의 편의를 위한 과학발전이 오히려 과학자뿐만 아니라 일반 대중들을 위협하거나 위험성을 내포하는 다른 문제를 유발하고 있다. 위험사회에서는 과학이라는 확실성의 언어(Irwin, 1995)가 모든 문제를 해결할 수 있다는 인식이 무너지고 있다. 이처럼 과학이 더는 완전 무결성의 위치를 유지할 수 없게 되면서, 시민과 과학이 맺는 관계도 달라졌다.

시민들은 위험과 직접적인 연관이 있는 실제 경험과 전문성을 갖고 있으며(Irwin, 1995), 더는 비합리적인 집단이라고 할 수 없다. 시민은 합당한 전문성이 결여된 수동적인 존재 혹은 과학적 주장을 지켜보는 목격자에서 탈피하고 있다. 시민에 의해 구성된 능동적 지식이 불완전하고 부수적인 속성을 띌 수 있지만, 전문가 지식만큼 견고하고 충분한 정보에 입각한 것일 수 있다. 즉, 기술적 전문성과 일상적 전문성 중 어떤 것이 더 우위에 있는지에 대한 고정관념은 허물어지고 있다(Irwin, 1995). 이는 시민들의 지식이 과학지식보다 반드시 더 우월하다는 의미가 아니라, 좀 더 대칭적인 형태의 분석과 정책 토론이 필요함을 의미한다. 연구가 덜된 영역에서 과학적 이해가 갖는 한계를 인정해야 하며, 무엇을 합당한 지식으로 정의할지 고민해야 한다. 이는 과학과 관련하여 여러 위험이 부상되는 오늘날 과학에서 민주적으로 참여하는 것이 무엇인지 중요한 함의를 제공한다. 이제는 기성의 과학처럼 시민과 공식적이며 전문적인 과학을 분리하는 것이 아닌 대중의 편에 서서 과학을 바라볼 필요가 있다. 이러한 관점에서 유럽의 시민과학은 태동 되었다(Irwin, 1995).

그러나 Irwin(1995)은 여러 사례를 통해 과학적 유능함을 갖춘 집단의 의견

과 실제 응용된 과학을 사용하는 대중이 경험에서 피력한 의견을 비교하였을 때 전자가 우위에 있는 경우가 많음을 보여주었다(Irwin, 1995). 한 예로 1980년경 2, 4, 5-T 제초제[2]를 둘러싼 영국 규제 당국과 대중적으로 알려진 유해특성(기형아, 자연유산, 암)과의 논쟁을 소개하면서 시민과 과학이 불균형했던 관계의 모습을 보여주었다. 농약을 사용하는 농장노동자들은 실제로 여러 피해를 보았고, 농약의 안전성 문제를 여러 번 제기했음에도 불구하고 농약자문위원회에서는 제초제와 유해특성과의 인과관계가 불충분하다고 결론 지었다. 이와 유사하게 국내에서는 가습기 살균제의 독성에 대한 시민들의 의문과 문제 제기와 달리 대학기관에서 도출한 가습기 살균제가 인체에 커다란 악영향을 미치지 않는다는 조작된 연구 결과가 재판에서 유리한 증거로 사용된 사례가 있다(공혜정 외, 2016). 연구가 부족한 영역에서의 과학적 이해가 가지는 한계, 사회적 맥락에서의 과학이 관련 부처의 독립성과 능력 등과 관련된 복잡한 문제임에도 불구하고 시민과 과학이 맺는 관계는 불평등한 관계인 경우가 많다(Irwin, 1995).

이에 유럽의 시민과학은 과학, 사회, 자연이 맞물려 함께 변화하는 변증법적인 관계에서 과학과 일반 시민의 수평적 관계를 위한 시민 지향적인 과학을 제안한다(Irwin, 1995). 구제역, 원자력발전소, 방사능 문제, 지구온난화, 산성비와 같은 SSI 문제들은 수많은 매개변수가 결합해 있으며, 생태학적 예측의 복잡성과 연관된 불확실성을 지닌다. 사회적 위협의 부상과 위험사회에 대응하기 위해서는 전문가위원회만이 위해 문제에 대해 자문할 자격이 있는 유일한 기구라는 관념을 버리고, 기구가 독립성, 중립성, 객관성, 과학의 전문성을 지닌 완벽한 존재인지 재고해야 한다. 전문가 역시 어쩔 수 없이 비과학적 요인들에 의존하며, 전문성은 사회 제도적 조건에 따라 형성된다는 것을 간과하지 말아야 한다. 이에 유럽에서는 더 민주적인 구조에서의 대안적인 접근방식으로 그리고 폭넓은 대중들의 논쟁 가능성을 확대해 실용적인 의사결정방법으로서의 시민과학이 태동하였다.

한편, 유럽에서 시민과학이 태동하게 된 배경과 달리, 미국에서는 시민들이 전문 과학자와 협력하여 대량의 자료를 수집, 제출, 분석하는 활동으로부터

2) 1940년대부터 생산된 2,4,5-트리클로로페녹시 초산 제초제는 베트남전에서 고엽제로 사용되기도 하였다.

시민과학이 발달하기 시작하였다. 과학 연구에 대한 대중들의 참여는 시민과학이라는 용어가 사용되기 이전부터 있었다. 그러나 1995년 코넬대학교 조류학 연구소(Cornell Lab of Ornithology)에서 새의 종류를 체계적으로 관찰하는 시민참여 활동을 시민과학으로 명명하고, 오랜 기간 대표적인 시민과학 프로젝트를 지속해 운영하면서 그 용어가 활발히 사용되기 시작하였다(Bonney, 1996; Bonney et al., 2016). 이 프로젝트는 조류학 및 생태학 연구에 아마추어 시민들이 참여하여, 참여자와 과학적 소통 및 교육 요소를 결합하는 것이 목적이었다. 이후에 수백만 명의 참가자가 자료를 수집, 처리하는 데 참여하는 수천 개의 프로젝트가 전 세계에서 생겨났다(Bonney et al., 2016). 이후 1990년대에 중반부터 시민과학이라는 용어가 자주 사용되었다(Bonney et al., 2016; 김지연, 2018).

이처럼, 미국에서의 시민과학은 유럽의 대안적 전문성을 위한 시민과학의 유형보다는 주로 일반 시민으로부터 생태학, 환경보전 영역에서 과학적인 정보를 제공받는 연구 방법으로써 활용되며 주로, 대규모 자료 수집 활동(Bonney et al., 2009b)을 위해 사용되었다([표 1-1]). 영국에서도 미국과 같이 1932년 출범했던 영국조류협회(BTO, British Trust of Ornithology)에서는 대규모 자원자를 기반으로 한 새 관찰 프로젝트를 시행했었다(김지연, 2018). 빅 데이터를 통한 많은 과학 연구들을 통해 과학 지식의 발전은 성공적이었으며 대중이 과학적 조사에 의미 있는 대규모 기여할 수 있다는 생각이 확장되었다.

이처럼 미국은 과학자의 연구를 위해 시민들이 자료 수집을 돕는 협력적 형태의 시민참여와 교육적인 측면을 강조하는 전통적 시민과학 활동에 조금 더 초점을 두었다면(Bonney et al., 2009), 유럽은 시민과학이 지향하는 목적에 따라 시민과학의 개념을 포괄적으로 정의하며, 시민의 전문성을 인정하며 사회과학 분야에서 과학적 담론과 정책 결정 과정에 대중의 관점과 지식을 결합하는 과학의 민주화를 강조하는 철학적 의미를 내포하는 시민과학에 초점을 두고 있다(Irwin, 1995).

[표 1-1. 유럽 및 미국 초기 시민과학의 태동, 영역, 목적]

	유럽	미국
태동	과학의 한계를 극복하고자 시민의 권리를 대등하게 인정하기 시작하며 시민들이 참여함	대규모 자료 수집 활동에 시민들이 함께 참여하는 형태로부터 시작
영역	과학적 담론, 정책 결정 과정에 대중의 관점과 지식을 결합하는 영역	생태학, 환경보전 영역
목적	위험과 관련된 문제에 관한 대화와 의사 결정에 대중을 깊이 참여시키기 위한 것	과학자를 돕기 위한 자원봉사의 목적

2) 시민과학 개념의 확장

시민과학이라는 용어는 한동안 volunteer environmental monitoring, student field research, research-based education, collaborative research, popular science 등으로 불리기도 하였다(Jacobson et al., 2005). Irwin은 1994년에 일반인이 전문지식을 기술하는 맥락에서 ‘Citizen Science’라는 용어를 최초로 사용한 사람 중 한 명이다(Follett & Strezov, 2015). 그 후, 2000년대 후반부터 시민과학 연구자들과 실행 기관 간의 학문적 교류가 활발해지면서 ‘Citizen Science’로 부르는 경향이 더 두드러지고 있다(Clark & Illman, 2001; Jacobson et al., 2005).

시민 과학에 대한 정의와 개념은 점점 확장되었다. ‘전통적인 시민과학(classic citizen science)’은 기존의 전문 과학의 프레임을 유지한 채 대중들이 과학 연구에 참여하는 프로젝트들을 의미한다(김지연, 2018). 19세기 후반 이전까지는 과학은 자료를 수집하고 분석하는데 시간과 재정적 여유가 있는 고학력의 고소득 계층 남성으로부터 발전되어왔다(Haklay, 2013). 즉, 소수의 시민이 과학을 하는 제한된 형태의 과학이 이루어졌다. 그러나 추후 19세기 후반과 20세기 동안 급여를 받으며 과학 연구만을 전문적으로 하는 과학자라는 직업으로서의 전문성과 정체성이 뚜렷이 발전하면서(Silvertown, 2009),

시민과 과학자는 구별되기 시작하였다. 이후 전통적인 시민과학에서 '과학자'와 '시민'의 경계는 명백해졌고, 유럽에서는 시민과학이 과학자 주도로 다양한 계층의 시민을 계몽하고 교육하는 데 초점을 두었다(Irwin, 1995). 미국에서는 조류학, 고생물학, 천문학, 대기 과학 영역 등에서 시민들이 자원봉사자의 형태로 과학자를 돕는 형태의 시민과학이 이루어졌다(Bonney et al., 2009b).

그러나 오늘날 점차 시민과학에서 과학자와 시민과의 경계가 모호해지고 있으며, 참여 목적, 방식, 참여수준, 참여 성격 등이 다양해지고 있다(Bonney et al., 2016; English et al., 2018; Haklay, 2013; Wiggins & Crowston, 2011). 시민들은 과학자의 보조자가 아니라, 적극적인 과학지식 생산자가 되기도 한다(김지연, 2018). 과학자 주도의 대중적 연구 프로젝트, 계몽적인 관점은 대중들을 균질적이고 수동적인 행위자로 전제한다(김지연, 2018). 그러나 대중은 성격은 다양하며, 과학기술에 대한 대중의 반응도 수동적이지 않다. 시민들이 과학자를 위해 자료를 수집하는 역할 외에도, 직접 과학 주제를 설정하고 문제 해결을 위해 자료를 수집하고 해석하기, 연구 결과를 대중들에게 알리고 문제를 해결하기 위한 행동하기 등 과학자 대신 여러 영역에서 주도적인 역할을 맡아서 하는 사례가 증가하고 있다. 또한, 성인 외에도 학생들이 시민과학에 참여하기도 하며, 현장에서부터 온라인 기반 가상환경까지 다양한 환경에서 시민과학 활동이 이루어지는 등 시민과학을 수행하는 주체와 물리적 환경도 다양해지고 있다.

이처럼 시민과학이 더 활성화되고 확장될 수 있었던 이유에는 과학과 관련된 교육을 받은 인구수의 증가, 근로시간 단축으로 인한 여가활동 시간 증가가 바탕이 된다(Haklay, 2013). 또한, 과학기술의 발달로 인해서 시민과학 참여의 편의성이 증가하여 시민의 역할이 확장되기도 하였다(Morzy, 2015). 중등 교육을 받은 사람들은 시민과학 프로젝트에 효과적으로 참여할 수 있는 충분한 기초적인 과학 지식을 갖추고 있으며, 시민과학 원칙에 대한 기본적인 이해를 하고 있음을 가정할 수 있다(Haklay, 2013). 과거에는 시간과 재정적 자원이 풍부했던 소수의 남자만이 과학 활동에 참여할 수 있던 반면, 오늘날 많은 시민이 선진국화로 인해 해당 조건을 충족하며 과학 활동에 참여할

수 있게 되었다. 스마트폰, 온라인플랫폼, 센서와 같은 도구(Toolkit) 등 여러 네트워크와 정보기술의 발전을 가져온 기술은 시민들이 시민과학 활동에 쉽게 참여하고, 수집된 자료 결과를 공유 및 논의할 수 있게 한다(Jacobson et al., 2005).

이에 오늘날 시민과학의 핵심적인 특성에 대한 정의 및 그 개념이 확장되었다. 시민과학 프로젝트는 양과 규모에서 빠르게 성장하고, 실천의 차원에서 점점 더 일반 대중의 역할을 더 강조하는 방향으로 변화하고 있다. 전통적 시민과학처럼 시민들의 필요와 관심사에 도움을 주는 과학에서 시민들이 발전시키고 규정하는 과학의 형태로 변화하고 있다(Irwin, 1995). 시민과학은 그 사람의 배경, 형식적인 교육을 받은 유무, 정치적 신념과 상관없이 전문적인 훈련을 받지 않은 시민(교사, 학생 등을 포함)이 자발적으로 자원하여 과학 연구의 관찰, 측정과 같은 일부 과정 혹은 발견, 통찰(insight), 질문, 문제해결, 결과의 확산 등의 과학 연구의 모든 과정에 함께 참여하는 것을 지칭한다. 때론, 이러한 활동 과정에 과학자를 포함하지 않기도 한다(Irwin, 1995). 이러한 활동을 통해 대중의 지성, 배경 지식, 도구나 자원이 과학에 적극적으로 기여하며 집단 지성을 통해 문제를 해결할 수 있다(고재경 외, 2019; Bonney et al., 2009b; Jacobson et al., 2005). 즉, 오늘날 시민과학은 보다 넓은 의미로써 전문 과학자와 아마추어 시민 간에 파트너십을 형성하고, 시민들이 과학기술을 둘러싼 논의와 의사결정과정에 참여하는 것으로 확장되었다(Miller-Rushing et al., 2012).

그러나 이처럼 시민과학의 정의가 변화하고 있고, 국내에서도 시민과학 활동이 이루어지고 있음에도 불구하고 이에 대한 대중의 인식이 크지 않은 편이다(고재경 외, 2019).

3) 시민과학의 의의

시민과학은 시민, 과학 연구자, 과학, 정책 입안자, 지역사회 등 모두에게 이득을 가져다주며 다음과 같은 긍정적인 영향을 미친다.

첫째, 시민들은 시민과학에 참여함으로써 새로운 교육의 기회를 얻는다.

이전에 불편했을 수 있는 과학의 세계로 한걸음 디디면서 과학에 대한 지식과 이해를 높이고 문제 해결 능력 및 과학적 소양을 함양할 수 있다. 시민과학 활동을 통해 일상에서 채워지지 않던 과학과 관련된 관심사를 탐구할 기회를 얻을 수 있고, 과학과 관련된 자신의 취미에 대한 의미를 부여받을 수 있다. 그리고 그 과정에서 과학 과정에 대한 이해와 과학 연구의 본질을 이해할 수 있다. 그 외에도 과학과 관련된 긍정적인 가치와 태도를 함양 가능해 정책 과정에 적극적으로 참여하게 된다. 시민들은 연구자와 참여자들과 상호작용을 통한 성찰 및 사회적 학습을 할 수 있으며 리더십을 강화할 수 있다(고재경 외, 2019; Bonn, 2016; Bonney et al., 2009a; Bonney et al., 2016; Jenkins et al., 2015; Kimura, & Kinchy, 2016; Thompson, 2007; McKinley et al., 2017; Newman et al., 2012; Stepenuck, & Green, 2015).

둘째, 시민들의 참여는 과학 연구자들과의 협력을 촉진하며, 전문가와 비전문가 사이의 수준을 평평하게 만든다. 지역에 존재하는 시민과학자들은 과학자들에게 지역사회 문제를 처리하는 지역 전문가가 있다는 것을 인식하게끔 하여 과학자들이 지역사회를 위한 일을 해결하게 만들면서, 과학자와 지역 시민과학자의 불평등이 감소할 수 있다(English et al., 2018). 또한, 시민들이 동등한 참여자로서 의제를 설정하고 과학 연구 과정에 전반적으로 참여하고, 과학자와 정부에게 대안적인 정보를 제공하면서 과학자와 정부에 대한 견제와 균형의 기능을 할 수 있다. 시민과학을 통해 시민과 과학자, 정부는 서로 상호 신뢰와 존중을 바탕으로 대화에 임할 수 있도록 과학 참여를 민주화할 수 있게 된다(Bonney et al., 2016; Kimura, & Kinchy, 2016; MacClune et al., 2018).

셋째, 시민들의 광범위한 참여는 이전에는 가능하지 않았던 큰 규모와 세분화되고 정확한 수준의 정보 수집 연구를 가능하게 하며, 새로운 과학적 지식을 발견하고 생산하는 데 기여한다. 또한, 시공간의 제약을 극복하여 과학에 더 많은 아이디어를 제공하여 과학 연구 비용을 절약한다(MacClune et al., 2018). 이외에도, 지역적이면서 시민들의 필요와 관심에 근거한 자료들은 지역적 맥락에서 사용 가능한 지식을 생산할 수 있다. 시민들의 자발적인 참여와 과학자와의 쌍방의 관점 교환과정에서 지식의 공동 생산이 가능해지며

이 과정에서 예상하지 못한 새로운 지식을 생산하면서 흥미로운 통찰을 가능하게 하며 과학의 진전에 기여한다(Bonn et al., 2016; Bonney et al., 2009b; Kimura, & Kinchy, 2016; MacClune et al., 2018; McMinley et al., 2017).

넷째, 사회에 관한 관심을 가진 일반 시민들의 참여는 정부의 정책변화 및 문제 해결에 중요한 기여를 할 수 있다(고재경 외, 2019; Kimura, & Kinchy, 2016; MacClune et al., 2018). 시민들은 과학이 해결하지 못했던 분야에 대한 적절한 질문을 제기하고 전문가나 정책 입안자가 얻기 어려웠던 자료를 수집하고 해답을 제공하면서 과학의 적실성을 높이며 문제를 해결할 수 있다(Bonn et al., 2016). 또한, 현장성과 시의성 측면에서 적절한 해결책을 제공하여 증거기반의 정책 결정을 촉진한다(고재경 외, 2019; Border et al., 2017). 이에 시민과학은 사회문제 해결에 사회, 정책, 과학을 연결하고 확장하는 기회를 제공하는 사회혁신 수단으로 인식되기도 한다(Bonn et al., 2016). 시민과학은 시민들이 입법과 정책 행동에 관심을 가지도록 이끌면서 시민들이 긴급한 사회적 문제에 대한 중요한 정보를 정책결정자들에게 제공할 수 있다. 이러한 과정에서 자료 수집부터 의사 결정까지 걸리는 시간을 줄이고 정책에 관해 더 나은 의사 결정을 할 수 있다(Kimura & Kinchy, 2016). 이를 통해 과학정책 결정 과정에서 시민참여와 영향력을 확대해 과학지식의 불확실성을 보완하고 과학기술의 민주화를 가져오게 한다(Clark, & Illman, 2001).

다섯째, 시민과학은 지역사회의 발전을 가져올 수 있다(Jenkins et al., 2015). 지역 환경 의사 결정에 대중들의 발언권을 줌으로써 시민과학이 다루고 있는 지역사회 문제에 영향을 미치는 등 사회 복지에 긍정적으로 기여할 수 있다(Bonney et al., 2016). 즉, 시민참여를 통한 지역사회 정책에 파급효과가 생긴다(고재경 외, 2019). 또한, 과학이 해결하지 못하거나 관심을 두지 않았던 지역사회 문제를 제기하고 연구주제의 영역을 확장함으로써 과학의 사회적 적실성을 높여준다(고재경 외, 2019). 그동안 전문가들을 중심으로만 이루어진 과학 활동에 대한 비판과 성찰을 시민과학은 대중적인 의제로 만들어내며, 공식적이며 표준적인 과학적 해석을 거부하고 다양한 대안적 이해를 제안한다(김지연, 2018). 이에 그동안 해결하지 못했던 문제에 대한 통찰력을 제공할 수 있다.

2. 시민과학의 유형

시민과학의 개념이 점차 확장되어 가는 것과 더불어 시민과학 활동 역시 다양해지고 있다. 이에 학자들은 다음과 같이 시민과학 활동을 여러 기준으로 분류하였다.

Bonney et al.(2009a)는 과학 연구 단계를 세분화하여서 시민들이 참여하는 정도에 따라서 '기여모델(contributory), 협력모델(collaborative), 공동연구모델(co-created)' 세 가지 유형으로 분류하였다. 기여모델은 시민이 주로 자료 수집에 참여하며, 자료 분석과 결과 배포 과정에 산발적으로 참여하는 단계이다. 협력모델은 자료를 수집하고 분석하기도 하지만, 연구 설계하고, 자료 분석, 자료 해석, 결론 도출, 결과 확산 과정에 부분적으로 참여하는 단계이다. 공동연구는 협력모델에서의 활동뿐만 아니라 연구 질문 정의, 정보 수집, 가설 설정, 결과에 관한 토론하기 등을 포함한 과학 연구 전 과정에 참여하는 단계이다. 기여형에서 공동연구모델로 갈수록 시민의 참여 정도는 적극적인 형태이다.

Bonney et al.(2016)은 이후 시민들이 참여하는 활동의 성격에 따라서 '자료수집형 프로젝트(Data Collection Projects), 자료 처리형 프로젝트(Data Processing Projects), 커리큘럼 기반 프로젝트(Curriculum-based Projects), 지역사회 과학 프로젝트(Community Science Projects)' 네 가지로 분류하였다. 각 유형은 어느 것도 배타적이지 않다. 자료수집형 프로젝트는 광범위한 참여자가 자료를 수집하는 프로젝트를 의미한다. 자료 처리형 프로젝트는 자료를 수집하지 않지만, 관리할 수 없는 양의 정보를 표기, 분류, 관리, 해석함으로써 과학 발견에 기여하는 유형이다. 허블 우주 망원경에 의해 포착된 천체의 이미지를 분류하기, 인간 뇌의 뉴런 지도화하기 등 많은 데이터를 처리하는 프로젝트들이 이에 해당한다. 커리큘럼 기반형 프로젝트는 학생들의 교육 목표 달성을 위해 의도적으로 설계된 프로그램이자 방과 후 프로그램이기도 하다. 학교 또는 비형식 교육 프로그램으로 청소년을 대상으로 한다. 지역사회 과학 프로젝트는 지역적이거나 지역적 문제를 연구 중심에 두는 유형이다.

Haklay(2013)는 시민들의 참여수준에 따라서 ‘크라우드소싱(Crowdsourcing), 분산 지능(Distributed Intelligence), 참여과학(Participatory Science), 확장 시민과학(Extreme Citizen Science)’으로 분류하였다. 크라우드소싱 단계는 시민들의 인지적인 참여가 가장 낮은 단계로 시민들에게는 제한된 자원이 제공된다. 시민들은 과학자의 센서로서 역할을 담당하는 등 인지적 능력을 최소화한 채 과학자의 간단한 작업을 도와주는 활동을 한다. 분산 지능 단계는 시민들의 인지적 능력을 사용하기 시작하는 단계이다. 기본적인 교육을 받은 후 자료를 수집하거나 간단한 해석 활동을 수행한다. 전통적인 시민과학 활동이 이 단계에 해당한다. 참여과학 단계는 시민들이 직접 문제를 정의하고 과학자와 전문가들과 협의하여 자료 수집 방법을 고안하고, 그 후 자료를 직접 수집하거나 결과를 해석하는 데 전문가의 도움을 받는 단계이다. 시민들은 수집한 정보로 새로운 연구 질문을 제시할 수 있으나, 과학자 수준의 결론을 추론하는 데 필요한 지식수준의 부족으로 인해 상세한 분석에는 관여하지 않는다. 확장 시민과학 단계는 시민들이 데이터의 분석, 결과의 출판 및 활용까지도 참여하는 단계이다. 과학자들은 전문가로서 역할 외에 조력자 역할도 수행하며, 때로는 전문가 없이 시민들이 특정 목표를 달성하기 위해 모든 과정을 수행하기도 한다. 크라우드소싱 단계에서 확장 시민과학 단계로 갈수록 시민들의 참여수준은 높아지는 형태이다.

English et al.(2018)도 시민들의 참여수준에 따라 ‘크라우드소싱, VGI(Crowdsourcing and volunteered geographic information), 제한된 참여 연구(Limited participatory research), 확장 시민과학(Extreme citizen science)’로 분류하였다. 크라우드소싱 단계는 정보를 수집하는 단계로 시민들의 능동적인 자료 수집과 전송 활동 외에도, 수동적인 자료 수집도 포함한다. VGI는 지리 정보제공에 특화된 것으로 웹 기반 매핑(Web-based mapping) 플랫폼에 주석 달기, 자료 업로드, 소셜 미디어를 사용해 사진, 비디오로 지리적 위치에 태그를 다는 활동 방법이다. 제한된 참여 연구 단계는 정보 수집 이외에도 문제를 정의하는 활동도 포함하는 단계이다. 확장 시민과학 단계는 문제 정의, 자료 수집, 분석 및 해석, 연구 결과의 발표, 대중을 위한 행동을 모두 행하는 단계이다. 크라우드소싱 단계에서 확장 시민과학

단계로 갈수록 시민들의 참여수준은 높아지는 형태이다.

Wiggins & Crowston(2011)은 시민과학 활동의 목적과 참여하는 물리적 환경에 따라 '실천지향 프로젝트(action-oriented project), 보전 프로젝트(conservation project), 조사 프로젝트(investigation project), 과학 중심의 가상 프로젝트(science-oriented virtual project), 교육 프로젝트(education project)'로 분류하였다. 실천지향 프로젝트는 지역 하천 수질 개선과 같은 지역사회 문제에 대한 개입을 장려하기 위한 목적을 가진다. 전문 연구자를 조력자의 위치에 두고 시민들이 직접 프로젝트를 계획하고 지역 문제에 대한 장기적인 참여를 한다. 보전 프로젝트는 생태 자원관리를 목적으로 한다. 시민들은 정보를 수집하는 활동에 집중하고, 주로 명시적인 교육목표나 내용을 포함한다. 특정 지역의 식물의 수명에 대한 장기적인 모니터링 프로젝트 등이 이에 해당한다. 조사 프로젝트는 특정한 물리적 환경에서 자료를 수집해야 하는 과학 연구를 목적으로 한다. 시민들의 정원에서 수집한 벌들의 활동자료가 꽃가루 매개자 종의 다양성 연구를 위해 수집된 해바라기 프로젝트가 이에 해당한다. 과학 중심 가상 프로젝트는 Galaxy Zoo[3]와 같이 정보통신기술을 활용하여 온라인상에서 참여자 간 상호작용 및 협업을 통해 과학적 연구 목표에 도달하는 프로젝트이다. 교육 프로젝트는 과학 교육과정의 일부로 교실이나 학교 운동장에서 진행되는 프로젝트로 학습을 지원하는 것을 목표로 한다.

Eitzel et al.(2017)은 시민과학이 지향하는 목적에 따라서 '방법론으로서의 시민과학, 운동으로서의 시민과학, 사회적 역량으로서의 시민과학'으로 분류하였다. 방법론으로서의 시민과학은 전통적인 과학 연구를 대규모로 진행할 수 있게 도와주는 도구, 방법, 형태로 시민과학을 정의하는 것이다. 이러한 도구적 관점은 시민과학을 전통적, 위계적 과학 및 정책 결정 맥락 속에서 바라보며, 대중의 과학적 소양을 높이는 수단으로 이해한다. 운동으로서의 시민과학은 과학에 대한 대중의 신뢰 회복, 과학적 지향을 사회문제로 전환하고 과학의 민주적 거버넌스를 구축하는 등 과학 연구 과정을 민주화하는

3) 해당 프로젝트에서는 은하의 형성과정을 이해하기 위해서 은하의 모양을 시민들이 온라인 공간에서 분류하는 활동을 한다. 해당 프로젝트는 약 10년 동안 이루어졌으며 활동이 진행되는 가상 공간은 다음과 같다. https://www.zooniverse.org/projects/zookeeper/galaxy-zoo/

(Irwin, 1995) 운동으로 접근하는 것이다. 과학 및 정책 결정의 엘리트주의를 비판하고 전문가와 시민이 함께 연구 의제를 설정하는 권리와 책임을 가지고 정책 과정에 폭넓게 참여해야 한다고 보며, 이는 데이터의 개방과 공유, 협력 연구, 연구 성과 확산 등 연구의 전 과정을 개방적으로 전환하는 오픈 사이언스 운동과도 유사하다. 사회의 지식 창출 역량, 증거기반 의사 결정 경로로서의 시민과학은 지역의 문제를 정의하고 결과를 공유하며 정책담당자가 문제 해결을 위한 행동을 취하도록 함으로써 과학 연구를 통해 커뮤니티의 역량을 강화한다. 전문가와 아마추어 참여자들이 협력하여 사회 변화를 위한 연구, 교육, 실행 과정을 진행하는 참여적 실행 연구(Participatory Action Research)와 유사하다.

한편, 김지연(2018)은 Eitzel et al.(2017)의 유형을 참고하여 1982년~2018년에 국내에서 실행된 시민과학 활동을 네 가지 유형인 ‘교육으로서의 시민과학, 운동으로서의 시민과학, 연구플랫폼으로서의 시민과학, 거버넌스로서의 시민과학’으로 분류하였다. 교육으로서의 시민과학은 과학적 소양, 대중의 과학 이해, 과학의 대중 이해를 목적으로 한다. 운동으로서의 시민과학은 과학 민주주의, 과학 연구 과정의 민주화를 목적으로 한다. 연구플랫폼으로서의 시민과학은 시민과학이 연구 협력의 도구, 방법론, 형식으로써 과학과 시민을 중재하여 과학 연구와 문제 해결을 지원하는 것을 목적으로 한다. 거버넌스로서의 시민과학은 사회의 지식과 생산 역량의 증대와 증거기반 의사 결정을 목적으로 하며 하나의 경로이자 시민 합의회 방식을 의미한다. 전자 두 가지 유형은 국내에서 주로 볼 수 있는 시민과학이며, 후자 두 가지는 거의 시도된 바 없었는 유형이나 최근에 이르러서 시도되고 있다.

앞서 기술한 바와 같이 시민과학의 유형은 점점 다양해지고 있으며 시민의 역할도 변화하고 있다. 그러나 시민과학의 유형에 따라 그 우위를 가릴 수 있는 것은 아니며, 한 프로젝트가 오직 하나의 범주로만 분류되는 것도 아니다(Haklay, 2013). 본 연구에서는 초등학생들이 자기 주변의 대기 환경 문제에 관한 탐구 주제를 고안하고, 탐구 과정을 설계하여 자료를 수집하고 해석한 후 그 결과를 활용해 학교 안팎으로 영향을 미치는 시민과학 활동을 하고자 한다. 이는 학생을 대상으로 하는 시민과학으로서 커리큘럼 기반형 프로젝

트, 교육 프로젝트, 교육으로서의 시민과학에 해당하기도 하지만, 학생들이 직접 과학의 전 과정을 수행하고 수집한 자료 결과를 활용해 지역사회 공동체와 사회에 영향을 미치는 행동을 하는 단계까지 수행하도록 수업을 설계하였으므로 Haklay(2013)와 English et al.(2018)의 확장 시민과학의 형태에 해당하기도 한다.

3. 교육맥락에서의 시민과학

시민과학은 과학, 교육, 지역사회 등 다양한 영역에서 점점 더 널리 받아들여지고 있다. 시민과학은 앞서 기술되었듯이 참여자들에게 여러 긍정적인 영향력을 미칠 수 있으며, 과학과 교육 사이의 연결고리를 만들 수 있다는 장점이 있다(Newman et al., 2012). 또한, 공식적인 교실 맥락에서 시민과학 활동에 노출하는 것은 학생들에게 자신들을 과학자로서 보게끔 장려하고, 과학을 하는 과정에 관한 기술을 발전시킬 기회를 허용한다는 측면에서 훨씬 긍정적인 영향력을 미친다. 이외에도 학생들은 주어진 학습지를 사용하는 방관자가 아니라 직접 과학탐구 과정에 참여하게 된다(Jenkins et al., 2015).

선행문헌에서도 시민과학에 참여한 학생들의 긍정적인 변화를 탐색할 수 있었다. Thompson(2007)은 조류에 대한 시민과학 프로젝트에 참여한 학생들은 조류 생태에 관한 지식이 증가하였으며, 의사소통 기술이 향상됨을 발견하였다. 또한, 프로젝트에 참여한 학생들의 가설은 더욱 정교해졌으며 학생들은 과학탐구의 주요 특징과 과학 연구의 본성에 대한 향상된 이해를 보여주었다. 대체로 학생들은 교육과정을 즐기고, 앞으로도 새와 관련된 연구를 하고 싶다고 응답하였다. Butler, & MacGregor(2003)는 GLOBE(Global Learning and Observation to Benefit the Environment) 프로젝트라는 전 세계 학생, 교사, 과학자, 시민들이 네트워크를 이루어 그들의 지역 환경에 대한 과학적 조사를 하는 프로젝트에 참여한 학생들이 환경에 대한 과학적 개념 이해, 과학에 관한 흥미에 긍정적인 변화가 있음을 발견하였다. 또한, 학생들은 관찰, 측정 및 협력 기술, 데이터 해석 능력 등 탐구 역량, 과학 개념 적용 능력, 의사 결정 시 데이터를 사용하는 역량, 자연 세계에 대한 과학 기반

추론 능력이 향상되었다. Jenkins et al.(2015)은 환경교육 시민과학 프로젝트와 학교가 연계된 학교 시민과학 프로그램인 GSMIT(Great Smoky Mountains Institute at Tremont)에 관해 연구하였다. 프로그램에 참여한 6학년에서 8학년까지의 학생들은 지역사회와 환경에 대한 깊은 인식 발달, 과학에 대한 흥미를 고취, 과학적 소양 함양 등 긍정적인 변화가 있었다.

그러나 이러한 연구는 국가의 후원을 받는 대규모 시민과학 프로젝트의 일환으로서 학교 맥락으로 침투하는 형태이거나, 기존 시민과학 프로그램을 학교와 연계하여 학교 내에서 프로그램을 수행한 것이었다. 또한, 학교 맥락에서 시민과학 교육 사례에 관한 질적인 측면보다 양적인 측면에서 시민과학 프로젝트에 참여 후 프로그램에 대한 만족감, 과학적 지식이나 환경에 대한 인식과 기술 변화 등의 긍정적인 학습효과 측정에 초점을 두고 연구가 이루어졌다는 한계가 있다. 그리고, 이러한 학교 맥락에서 시민과학 실행의 긍정적인 영향력에도 불구하고 시민과학은 여전히 성인을 대상으로 하거나, 학교 맥락 밖에서 시행되는 경우가 대다수이다(고재경, & 예민지, 2020; Follett & Strezov, 2015). 1997년부터 2014년까지 이루어진 시민과학에 대해 문헌연구를 한 Follett & Strezov(2015)는 생물과 관련된 연구가 해당 기간에 이루어졌던 시민과학 연구의 주제의 70% 이상을 차지했음을 발견하였다. 또한, 교육의 범주에서 이루어진 시민과학은 7%로 가장 낮은 비율을 차지하고 있었다. 시민과학의 오랜 역사에 비해, 많은 교육자는 시민과학에 대해 익숙하지 않다(Jenkins et al., 2015). 게다가 학교 맥락에서 시민과학이 시행되더라도 초등학생을 대상으로 한 연구는 거의 없었다. 특히, 본 연구가 지향하고 있는 확장 시민과학 프로그램을 초등학교에서 적용한 사례 연구는 드문 실정이다.

한편, 초등학생을 대상으로 확장 시민과학 프로그램을 수행한 연구가 있었지만(Pate et al., 2005), 이 연구 역시 프로그램 참여 후 학생들에게 어떤 긍정적인 변화가 있는지 그 결과를 중심에 두고 연구가 이루어졌다는 한계가 있었다. 초등학교 5, 6학년을 대상으로 수행된 시민과학 프로그램인 SAYS(Systems Academy of Young Scientist)에 참여한 학생들은 지역사회의 문제를 탐색하고 결과물을 부모님과 지역사회 관계자를 대상으로 발표하는 활동을 하였다. 그러나, 이 프로그램은 시스템 사고 전문가 2인, 로봇공학

전문가 2인, 석유공학 전문가 2인 등 각 분야의 전문가 6인이 참여한 비형식 교육 프로그램으로서 형식적 교육기관에서 확장 시민과학 프로그램을 실행할 때의 모습을 이해하는 데는 한계가 있었다.

국내에서도 최근 시민과학의 교육적 목적과 효과에 주목하며 학교 맥락에서 진행한 시민과학 프로그램에 관한 연구들이 이루어지고 있다(김가형 & 이현주, 2017; 나서하, 2022; 박창미, 2022; 엄혜진, 2020). 그러나 국내에서 진행된 연구 역시 시민과학이 학생들의 지식 함양, 인성적 태도 및 가치관에 미치는 교육적 효과를 탐색하거나, 프로그램 개발, 교사의 행위주체성 성취 과정, 학생들의 정체성 변화과정, 학생의 탐구 과정 및 사회적 전이 경험에 주목하고 있었다. 이는 인본중심의 관점에서 일부 행위자에 초점을 두고 탐색한 연구들로 여러 인간-비인간 행위자가 복잡하게 얽히면서 일어나는 교수·학습 현상을 이해하기에 제한점이 있다. 즉, 확장 시민과학 프로그램을 초등학교에서 실행하는 전체적인 과정에 관한 깊고 종합적인 이해를 하기에는 제한점이 있었다.

한편, 교육환경을 기반으로 한 시민과학을 실행할 때에 여러 어려움도 존재한다. 생태 모니터링을 수행하는 시민과학 기관과 초중등학교와의 협업 시민과학 프로그램을 운영할 때는 학교, 과학자, 교육 연구자, 외부 기관 간의 협력을 위한 자원 부족 및 학교 교육의 지배적인 목적, 구조, 규범 및 관행이 시민과학과 상충하는 등의 어려움이 존재하였다(Fazio, & Karrow, 2015). 또한, 시민과학 교육 프로그램은 학교 환경에서 수행되는 과정에서 다른 교육과정과 경쟁해야 하며, 교사들은 이 프로그램을 준비할 시간을 따로 내기 어려웠다(Butler, & MacGregor, 2003).

앞서 시민과학이 학교 맥락에서 가져올 수 있는 이득을 생각해보면 이제는 시민과학 교육을 국내 학교 맥락에서도 많이 실행하고 연구해야 한다. 특히, 실질적으로 다양한 학교 내에서 시민과학 교육 사례에 관한 질적 연구가 필요하며, 인간과 비인간을 모두 행위자로서 바라보며 이들이 구성해가는 네트워크를 탐색해 학습 현상을 새롭게 이해할 필요가 있다. 또한, 연구자뿐만 아니라 과학 교육자들은 시민과학을 더 적극적으로 수용해야 할 필요가 있다.

4. 시민과학과 테크놀로지

기술의 발전으로 시민과학은 신진 기술과 자연스럽게 연결되다(Newman et al., 2012). 테크놀로지에는 IoT(Internet of Things, 이하 IoT), 개인용 컴퓨터, GPS 수신기, 휴대전화, 센서, 모바일 어플리케이션, VR/AR, 홈페이지, 카메라, 디지털 나침판, 마이크, 와이파이, 블루투스, 인터넷, 저장 비용이 감소 된 클라우드, 데이터 간 전송을 용이하게 하는 기술, 소형화된 기기 등이 있다. 2000년대 중반 이후부터 2010년 전후까지 스마트폰, 디지털 플랫폼 등을 통해 자료 수집 및 분류방법이 다양해지고 시민들이 동시에 참여할 수 있는 프로젝트가 증가하면서, 시민들의 참여도 및 기여도가 증가되면서 시민과학 프로젝트가 빠르게 확산하였다. 이에 시민과학과 관련된 연구도 급격히 발전하였다(Bautista-Puig et al., 2019; Follett & Strezov, 2015). 이처럼 새로운 테크놀로지가 도입되면서 시민과학을 실행하는 전 과정 혹은 일부 과정에서 여러 긍정적인 영향을 가져왔다(Cohn, 2008; Haklay, 2013; Newman et al., 2012; Silvertown, 2009).

웹의 성장, GPS의 보편화, 컴퓨팅 능력의 고도화, 센싱 기능이 뛰어난 스마트폰, 오픈소스 데이터베이스, 디지털 플랫폼 등 개방성과 빠른 연결성에 의해 시민들이 공간적, 시간적 제약을 받지 않고 대규모로 과학 프로젝트에 참여할 수 있는 환경이 조성되면서 시민과학이 이전과는 다른 양상으로 변모, 확대되고 있다(Bonney et al., 2009). 즉, 테크놀로지의 발전으로 인해 새로운 방식으로 많은 시민을 참여시키는 것이 가능해졌다. 개인용 컴퓨터, 웹의 성장, 오픈소스 데이터베이스, 디지털 플랫폼 등의 발달은 시민들이 시공간적 제약을 받지 않고 언제 어디서든 시민과학에 참여할 수 있는 환경을 제공하였다(Clery 2011; Morzy, 2015; Newman et al., 2012). 예를 들어 웹사이트를 통해 운영되는 Zooniverse 프로젝트는 전 세계의 백만 명 이상의 시민들이 여러 주제의 프로젝트에 함께 참여할 수 있어 대중의 참여 경계가 확장되었다.

GPS 수신기, 스마트폰, 센서, 모바일 애플리케이션, Wi-Fi, 블루투스, 인터넷 등의 테크놀로지는 시민들에게 집과 실외에서의 자유로운 동영상, 이미지

파일을 송수신하는 것을 가능하게 하였으며, 이를 통해 즉각적인 상호작용이 가능해졌다. 시민들은 이러한 과정을 쉽게 자료를 측정하고 이를 공유하여 자료를 관리, 분석, 해석하기 편리해졌다. 모바일 장치를 이용해서 환경 자료를 수집했던 '스마트 시민 프로젝트(Smart Citizens project)', 매달 1,000만 마리 이상의 조류를 관찰하여 북미 조류의 종 다양성을 기록하는 '이버드(eBird)'가 이에 해당한다(Bonney et al., 2009b). 코넬 대학교의 조류학 연구소에서는 Citizenscience.org와 같은 시민과학 플랫폼을 통해 시민과 과학자가 만나서 서로 질문을 하고 답하며 만날 수 있도록 설계하였다. 데이터베이스에 데이터가 입력되면, 이에 접속하여 누구나 다양한 데이터 정보를 탐색할 수 있다(Bonney et al., 2009b). 이 과정에서 집단 자본의 형성이 쉬워져 과학 연구 및 과학적 지식 생산에 대한 기여도가 높아질 수 있다. 또한, 이러한 과정에서 시민들의 동기유발과 동기 유지 및 학습이 잘 이루어지게 된다(Cohn, 2008; Cooper et al., 2010; Newman et al., 2012; Van Den Berg et al., 2009).

센싱(sensing) 기능이 뛰어난 스마트폰, IoT(Internet of Things), 디지털 나침판, 마이크, 카메라, 소형화 · 저비용화 · 정교화된 기기는 자료 수집의 범위, 속도를 개선하고, 자료의 품질 향상을 가져왔다(Haklay, 2013; Kelling et al., 2009; Lwin, & Murayama, 2011; Newman et al., 2012). 즉, 시민들이 생산한 데이터를 분석하는 기능의 확대로 모델링 결과의 혁신 촉진 및 데이터의 과학적 무결성을 유지가 가능했졌다. 즉, 테크놀로지를 활용한 시민과학에서 데이터의 정확성과 신뢰성을 높일 수 있게 되었다(Darg et al., 2011; Kelling et al., 2009).

이외에도 테크놀로지를 통해 쉽게 시민과학 자료를 시각화하여 정책 결정에 도움을 제공하거나, 의사 결정 속도를 향상시킬 수 있다(Danielsen et al., 2010; Newman et al., 2012). 프로젝트 관리자들은 시민과학을 준비하는 데 있어 기술을 활용한다면 정보를 중앙집중적으로 통합하고, 협업을 촉진하며, 커뮤니티를 만드는 능력을 향상해 시민과학 집단을 확장할 수 있다(Hoffmann, 2008). 또한, 네트워크화된 조직, 협회, 사이버 인프라로 구축된 공식화된 시민과학은 과학 연구와 공공의 교육을 발전시킬 수도 있다

(Newman et al., 2012).

테크놀로지가 시민과학 과정에 미치는 여러 긍정적인 영향으로 인해 많은 연구자는 ‘테크놀로지를 활용한 네트워크화되고 개방적인 과학’과 ‘다양한 디지털 테크놀로지의 방법을 사용하는 것’이 시민과학에서 중요하다고 하였다. 또한, 미래 시민과학 프로그램에서 새로운 기술을 활용하는 데 개방적일 것을 권장하였다(Newman et al., 2012).

한편, Morzy(2015)는 교육용 시민과학 프로젝트는 획기적인 연구를 수행하기 위한 것이 아니라, 참가자들이 과학적 소양을 향상하는 데 초점을 맞추고 있어 수집된 자료와 발견된 결과의 과학적 타당성에 대한 강조보다, 과학 과정에 대한 이해와 비판적 사고 능력을 향상하고 일반 청중에게 잘 다가가는 것에 관심을 두어야 한다고 하였다. 교육 프로젝트는 대부분의 데이터 분석과 결과 해석이 훈련되지 않은 시민이 참여하는 경향이 있으며, 많은 단계가 가상화 또는 표준화되어야 하므로 정보통신 기술에 대한 도전 문제도 있다. 또한, 시민들이 과학 과정의 모든 단계에 참여할 것으로 예상하기 때문에, 참여자에 따라 맞춤형 구성 요소가 필요하다. 예를 들어, 어린이를 대상으로 하는 교육 프로젝트는 게임과 같은 방식으로 설계되고 상당히 단순화된 환경이 필요하다.

이에 본 연구에서는 데이터를 수집하고, 관리 및 분석하는 과정에서 디지털 테크놀로지를 사용하되, 교육현장에서 활발히 사용되기 시작한 코딩 프로그램을 포함하여 아두이노 보드, 대기 환경 측정 센서, LTE 모듈 등의 디지털 테크놀로지를 초등학생 수준에 적절하도록 준비하였다. 학생들은 수업을 통해서 실제 자기 주변 대기 환경질을 측정하면서 학생들의 학습 동기를 높이고, 과학적 사고력 증진, 과학의 본성에 대한 이해 등을 도모할 수 있을 거라 기대하였다. 또한, 데이터를 직접 제어하는 경험과, 이를 분석하고 해석하는 과정에서 과학의 본성에 대한 이해도 높아질 것이다. 그리고 디지털 테크놀로지를 통해 교사와 학생, 학생과 학생이 의사소통을 원활하게 할 수 있을 것이라 기대하였다.

한편, 여러 디지털 테크놀로지가 교육현장에서 활용되고 있는 오늘날, 교육의 방향성에 대한 깊은 성찰과 고민이 없이 기술을 활용하게 된다면 인간과

비인간이 쳐나가는 무수한 네트워크의 물결에 휩쓸려가기 쉽다. 디지털 테크놀로지는 어떻게 가르쳐야 할지 그 방향성에 대해서 홍선주 외(2020)는 디지털 테크놀로지를 도구로써 바라보며 학습하는 관점과 학습할 내용으로 바라보는 관점으로 나누었다. 현재 상용화되는, 혹은 상용화될 테크놀로지는 언젠가 소멸하거나 대치될 수 있는 것들로 과학기술이 발전함에 따라 계속 변화하고 새롭게 생겨나고 있어 모든 새로운 테크놀로지를 습득하기란 불가능에 가깝다. 또한, 단순히 테크놀로지 내용을 학습하는 것만으로 미래 인재가 될 자질을 갖추기에, 충분한 조건을 만족한다고 보기 힘들다. 이에 연구자는 테크놀로지를 학습해야 할 내용으로 바라보는 관점 대신, 도구적 관점을 채택하여 기본적인 테크놀로지는 익히되 미래 인재에게 필요한 것이 무엇인지 살펴 삶 속에서 문제를 해결하고 필요한 테크놀로지를 적시 적소에 활용할 수 있도록 하는 관점을 취하고자 한다.

전 세계적으로 교육과정의 변화 방향도 미래사회가 필요로 하는 인간상을 탐색하고, 산업사회의 대량생산 방식 특성인 표준화, 규격화, 정형화된 교육을 탈피하여 개개인의 다양성, 창의성, 유연성 등과 같은 역량을 키워나갈 수 있는 교육으로의 변화를 꾀하고 있다. 2015 개정 교육과정 방향도 미래사회가 요구하는 창의 융합형 인재 양성, 핵심역량 함양, 산업형 인재가 아닌 개인의 발전을 위한 교육을 지향하고 있다(교육부, 2015). 2022 교육과정에서도 기존 교육과정에서 추구하는 인간상과 교육목표를 공유하되 개인과 사회의 지속가능성 및 생태 감수성을 목표에 반영하여 지속가능한 사회를 위한 생태전환 교육 및 민주시민 교육을 전 교과에 반영하고 있다(교육부, 2021).

이러한 변화의 물결 속에 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육은 4차 산업혁명뿐만 아니라 COVID-19와 같이 예측 불가능한 미래사회가 필요로 하는 인재를 키우기 위한 한 방법이 될 수 있다. 또한, 확장 시민과학 활동에 디지털 테크놀로지를 활용하는 것이 역량을 갖춘 인재를 양성하는 데 도움이 될 것으로 판단하였다. 이에 본 연구에서는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 실행하고자 하였다.

제 2 절 행위자-네트워크 이론(ANT)

1. 행위자-네트워크 이론의 개관

행위자-네트워크 이론(Actor-Network Theory, 이하 ANT)은 1980년대 초 과학 사회학 및 과학기술학 분야(Science and Technology Studies, 이하 STS) 연구를 바탕으로 세 명의 학자인 브루노 라투르(Bruno Latour), 미셸 칼롱(Michel Callon), 존 로(John Law)가 중심이 되어 발전시킨 이론이다. 이 이론은 프랑스 포스트 구조주의 철학(Foucault, Deleuze, Serres)와 기호학(Greimas), STS의 영향을 받았다(김환석, 2011). 여러 사회과학의 이론과 달리 ANT는 잘 짜인 뚜렷한 체계가 없어 인문과학, 자연 과학, 정치학, 경제학 등 여러 분야에서 다양하게 적용되어왔다. ANT를 사용한 연구는 사례에 관한 경험적 연구 그 이상도 이하도 아니다. 그래서 일반화나 미래에 대한 예측을 추구하지 않는다. 모든 네트워크는 각기 다른 특이성을 갖고 있으며, 예측할 수 없는 방식으로 변화하기 때문이다(홍성욱, 2010). 다만, 네트워크가 성공하지 못하는 경우를 분석하면 그 이유에 대한 일반적인 설명은 가능하다.

ANT는 실증주의적 과학관, 사회적 · 기술적 결정론, 환원주의를 거부하며 근대적 사회과학에 도전한다(홍성욱, 2010). 외부에 존재하는 사회적, 경제적, 정치적 요소에 의한 네트워크의 형성과 같은 사회학적인 설명을 거부한다. 위계를 설정하고, 큰 것 작은 것을 구분하지 않는다. 단지, 연결이 안정적이거나 그렇지 못한 것으로 관계를 상정한다. ANT는 기존 이분법적인 인식론을 거부하며 사회/자연, 가치/사실, 주관/객관, 거시/미시 등의 경계를 구분 짓는 것을 거부한다. 세상은 이종적(heterogeneous)으로 구성된 것이다. 비인간의 적극적인 행위성을 인정하며 사회는 더는 비인간과 분리될 수 없는 인간-비인간의 복합체(collective)로 바라본다. 인간이 비인간을 통해서 여러 문제를 해결할 수 있지만, 그 과정에서 새로운 문제에 직면하고 문제를 해결하기 위해 또 다른 비인간을 동원한다. 결국, 비인간과 연결되지 않은 순수한 인간이란 존재하지 않는다. 인간이든 비인간이든 동일한 분석적 틀을 채택해야 한다. 또한, 행위자는 곧 네트워크(network)로 행위자의 행위능력은 네트워크

로 연결된 숱한 행위자들의 상호작용에 비롯된 관계적 효과로 본다. 행위자는 홀로 행위능력을 발휘할 수 없다(홍성욱, 2010).

2. 행위자-네트워크 이론의 주요 개념

1) 행위자(Actor)

ANT 이론이 무엇인지 살펴보기 위해서는 이론의 명칭을 통해 그 뜻을 찾아볼 수 있다. ANT 이론에서 Actor(행위자)는 인간과 비인간(non-human)을 모두 포함한다. 비인간은 용어 그대로 인간 행위자(human)가 아닌 행위성을 지닌 다른 모든 행위자를 지칭한다. 비인간은 기술, 자연, 인공물, 동물, 바이러스, 교육과정, ZOOM, 교실, 모둠, 지식이나 가치, 제도, 총, 텍스트, 돈, 건물, 생물체 등 인간이 아닌 것을 포함한다. 비인간이 어떻게 행위능력을 가질 수 있는지에 대한 논란에 ANT 학자들은 인간-비인간의 행위성(agency)에 대해서 다음과 같이 설명한다. 어떤 행위자가 의도나 의지, 동기를 갖추고 어떤 행동을 하는 것을 행위성이라고 하는 것이 아니라, 다른 행위자의 행동을 변화시키거나 상황을 바꿀 수 있는 등 다른 행위자에게 영향을 미친다면 행위성을 지닌 행위자라고 설명한다(Latour, 1990; Latour, 1987). 스스로 행위를 하든, 타자에 의해 행위성이 부여되든 간에 행동의 원천으로 인정받는 것은 무엇이든 행위성을 가진 행위자로 볼 수 있다(Callon, & Latour, 1981,). 또한, 행위능력을 인정받는 존재가 행위자가 될 수 있다. 예를 들어 과속방지턱이라는 비인간도 어떤 생각이나 의도를 가지지 않지만, 인간 행위자들은 과속방지턱을 보고 차량의 속도를 줄이게 된다. 즉 과속방지턱이 인간 행위자인 교통경찰이 만들어 낼 수 있는 세계의 변화와 다르지 않은 결과를 보이므로 비인간 행위자 역시 행위성을 가진다고 볼 수 있다. 또 다른 예로 2019년도 하반기부터 확산한 코로나 바이러스라는 비인간 행위자는 교육을 그동안 상상만 해왔던 모습으로 변화시켰다. 전 세계적으로 유례없는 대면-비대면 하이브리드형 교육환경이 나타났으며, 이러한 교육환경을 뒷받침하기 위해 국가, 지역, 단위 학교, 학급에서 기존의 교육과정을 대폭 수정ㆍ변경하였다.

하이브리드형 교육환경은 교사와 학생, 학생 간의 상호작용 방법뿐만 아니라 교육의 질적인 측면도 바꾸었다. 교육이라면 빠질 수 없었던 교실, 칠판, 책상, 의자를 없애버렸다. 그동안 단단히 고정되어 있어 그 안을 들여다보기 위해서는 별도의 노력을 기울여야 했던 '교육 블랙박스'는 코로나 바이러스라는 행위자로 인해 열렸다. 코로나 바이러스는 다른 인간-비인간 행위자 그 누구보다도 크나큰 행위성을 가진 존재가 되었다.

이처럼 ANT는 다른 이론과 달리 비인간의 행위성을 인정하며 인간과 비인간을 차별하지 않고, 동일한 위치의 상호 대칭적인 존재로서 바라보는 '인간-비인간 행위자의 일반화 된 대칭성(generalized principle of symmetry)' 관점을 유지한다. 이 관점은 사물/인간, 거시/미시, 주체/객체, 인간/비인간, 자연/사회, 과학/사회와 같이 이분법적인 존재를 거부한다. 인간이라는 주체와 대상이라는 객체가 항상 서로의 특성을 맞바꾸면서 새로운 집합체를 만들기 때문에, 인식하는 주체와 인식 대상인 객체 사이에는 뚜렷한 경계를 지을 수 없다(류재훈 외, 2016). 이분법적으로 존재를 바라보는 관점은 한쪽의 우위를 전제하며, 존재의 풍부한 의미를 간과하게 만든다. 인간과 비인간을 차별하지 않으며, 이분법적인 존재를 해체했을 때야 비로소 그동안 간과되었던 존재들의 풍부한 의미를 포착할 가능성이 열릴 수 있다(신현정 외, 2022). 과학지식의 구성과정을 보더라도 인간행위자의 동맹으로만 이루어지는 것이 아니라, 실험실, 실험장비, 논문, 등 여러 비인간이 동등한 존재로서 합작하여 만들어진다. 이제는 논제를 이해하고 해결할 때 이분법적인 잣대로 판단하고 해결하는 것이 아니라, 인간과 비인간 행위자의 일반화 된 대칭성의 관점에서 바라보아야 한다.

Latour(1987)는 사회가 여러 이질적인 행위자들의 혼종성과 집합성으로 이루어져 있으며 이러한 특징에 주목해서 사회를 이해해야 한다고 하였다. 마찬가지로 교육도 오랜 시간 동안 이질적인 행위자들로 구성되어왔으며, 교육을 이해하려면 교육 내에 존재하는 여러 이질적 행위자들이 전체적인 네트워크 건설에 어떤 영향을 미치는지 탐색할 필요가 있다. 한편, ANT에서 행위자와 행위소(actant)를 구분하기도 하는데, 행위자는 행위소에 네트워크 효과로 인한 여러 속성이 덧붙여진 존재를 의미한다(홍성욱, 2010). 행위자는 고정된

주체가 아니라 네트워크와의 관계 속에서 정의되며 끊임없이 주체화와 탈주체화의 과정 그 자체가 된다(박경환, 2013).

2) 네트워크(Network)

네트워크는 통상적으로 컴퓨터 네트워크, 방송통신망 네트워크, 전력 네트워크, 지역사회 네트워크와 같이 기술적인 특성을 띠고 있거나 사람과 사람 사이의 사회적 관계를 나타내는 것으로 사용된다. 그러나 ANT에서 네트워크는 인간 행위자뿐만 아니라 비인간 행위자를 포함한 이질적인 연결망 개념으로 확장하고 있다. 즉, 네트워크는 인간-비인간 행위자 간의 연결망으로 물질적 실체를 의미한다. 인간과 비인간 행위자가 만들어내는 관계적 속성은 행위자, 행위성보다 선행한다(박경환, 2013).

인간-비인간 행위자는 홀로 존재할 수 없으며 수많은 행위자와의 관계 속에서 비로소 존재하게 된다. 제임스 웹(James Webb Space Telescope) 우주망원경처럼 고도로 집약된 과학기술의 성취물도 과거부터 축적되어 온 여러 지식 기술과 수많은 과학자, 재정적 지원, 다른 우주 프로젝트, 홍보용 전시회 등이 공조적 네트워크를 형성함으로써 성취 가능한 것이다. 한 개인의 행위 능력도 자신과 네트워크로 연결된 여러 행위자의 상호작용에서 비롯된 관계적 효과로 볼 수 있다. 들뢰즈와 가타리는 존재들은 리좀(Rhizome)[4]의 형태로 연결이 되어있다고 주장한다. 리좀의 관점에서 네트워크를 형성하는 인간과 비인간은 나란히 늘어놓고 보아야 하는 분리된 두 영역이 아니라, 하나의 유기체에서 함께 뻗어가는 두 갈래의 가지이다(Latour, 2012). ‘얽힌’ 존재들은 반드시 한쪽의 변화가 다른 한쪽의 변화를 일으킨다는 점에서 단순한 ‘연결’과 다르다(Daugbjerg et al, 2015; 신현정 외, 2022). 2차원의 면이나

4) 리좀(Rhizome)은 들뢰즈와 가타리의 공저 《천 개의 고원》에 등장하는 은유적 용어 혹은 철학 용어이다. 지하경(땅속줄기)이다. 이는 땅 속에 있으면서 땅 위로 줄기를 분지시키거나, 땅 속에서 잎만을 땅 위로 나게 하는 줄기이다. 들뢰즈와 가타리는 리좀이라는 용어를 수목으로 표상되는, 이분법적인 대립에 의해 발전하는 서열적이고 초월적인 구조와 대비되는 ‘내재적이면서도 배척적이지 않은 관계들의 모델’을 설명하기 위해 사용하였다. 수목모델에서 리좀모델로 전환한다는 것은 경직된 조직이미지에서 유연한 조직이미지로의 이동을, 다수성의 지배체제에서 복수성의 지배체제로의 이동을 의미한다(Deleuze & Guattari, 1980).

3차원의 구 대신, 마디들은 그것이 가진 연결의 수만큼 많은 차원을 가진다(홍성욱, 2010). 사회는 섬유 모양의 실과 같은 끈 같은 성격을 가진다고 인식해야만 사회를 충분히 기술할 수 있다고 본다(홍성욱, 2010). 네트워크 외에는 아무것도 없으며, 네트워크들 사이에는 아무것도 없다.

네트워크의 성질에 대해서 홍성욱(2010)은 다음과 같이 이야기하였다. 1) 멀고 가까움: 가까이 있지만 연결되지 않은 요소는 멀리 있지만 연결된 요소보다는 훨씬 멀다. 예를 들어 지하철의 바로 옆에 앉은 낯선 사람과는 거리적으로 가까울지 모르나, 멀리 고향에 계시는 어머니와 나는 더 긴밀히 연결되어 있다. 지리적인 근접성으로 ANT 네트워크 연결을 설명하지 못한다. ANT에서는 관계의 관념으로 네트워크를 바라보아야 한다. 2) 크고 작음: 미시, 중시, 거시와 같은 모델로 네트워크를 설명할 수 없다. 한 네트워크는 결코 다른 네트워크보다 더 큰 것은 아니다. 단지 더 길거나 강하게 연결되어 있다. 상층부와 하층부 위계관계로 사회를 설명하지 않는다. 네트워크는 선험적인 위계관계를 가정하지 않는다. 하나의 요인의 연결을 통해서 왜 그 요인이 전략적으로 중요해지는지, 그 요인이 어떤 연결을 잃을 때 어떻게 그 중요성을 잃는지 추적한다. 이는 ① 수업에서 어떤 요인이 전략적으로 중요해지는지, 그때 형성된 네트워크는 무엇인지 ② 한 요인이 어떤 연결을 잃을 때 그 중요성을 잃게 되는지 ③ 그동안 미시/거시 구조가 교육 관련 행위자들의 행위성을 지배하고 있다는 사고를 다시 생각해보게 한다.

이러한 네트워크는 완성된 결과이기보다는 사회적 궤적이며 끝없는 과정이다(Latour, 2005). 네트워크는 항상 유동적이며 수행적인(performative) 상태에서 존재한다(박경환, 2013). 네트워크는 역동적이며, 불안정하고, 소멸하기 쉽다(홍성욱, 2010). 행위자는 다른 행위자와 상호작용을 하는 과정인 네트워크 형성과정(이종적 요소들의 중첩과정)에서 끊임없이 자신의 구성 요소를 재규정하고 변형시킬 수 있다. 즉, 네트워크라는 관계 속에서 존재의 의미가 결정된다. 예를 들어, 동일한 교육과정이 전국에서 운영되더라도 교사가 근무하는 학교의 물리적 특성, 학급의 학생이 어떤 환경에 처해 있는지 등에 따라 수많은 교육과정이 파생된다. 관계 속에서 존재적 의미가 결정되므로, 다른 비인간-인간 행위자와의 관계 속에서 교육과정의 존재적 의미가 결정되

는 것이다. 한편, 이 세계 속의 모든 존재는 자신이 맺는 관계에 따라 존재의 속성이 달라지는 역동성을 갖게 되므로 개방적이고 복잡하고 우연적인 성격을 가진다(김환석, 2020). 네트워크를 유지하고 확산하기 위해서 다양한 전략이 필요하며, 이러한 전략을 잘 작동시킨 행위자는 다른 행위자에 비해 더 큰 권력을 얻게 된다(홍성욱, 2010).

그동안 교육 연구에서 인간-인간 관계만을 생각해왔다면, 본 연구에서는 인간-기술이 관계를 맺음으로 존재의 변화를 확장해서 생각할 수 있다. 또한, 개별적으로 존재하는 인간 행위자가 디지털 테크놀로지라는 비인간과 시민과학이라는 새로운 교수법 등과 관계를 맺으며 새로운 가능성을 가진 존재로 바뀔 수 있다(류재훈 외, 2016).

그렇다면 네트워크가 줄 수 있는 교육적 의의는 무엇일까. 교육이라는 세계는 인간과 비인간 행위자들의 집합체로 구성된다. 이들의 이질적이고 혼종적인 행위자들의 접속과 부딪힘이 교육세계의 네트워크를 만들고 허물고 다시 건설하기를 반복한다. 네트워크는 도구적으로 건설되거나 목적론적으로 예정되어지는 존재가 아니다(김진택, 2012). 또한, 인간의 역량은 그들이 구축한 네트워크에 따라 달라지므로, 학생이 인간 또는 비인간 행위자를 자신이 가진 네트워크에 편입시켜 얼마나 더 강력한 네트워크를 구축하였는가에 따라 학생들의 학습 역량이 달라질 수 있다(이중원, & 홍성욱, 2008).

본 연구에서도 수업을 계획하고 준비하지만, 행위자들이 어떤 네트워크들을 만들고 허물고 다시 건설할지 알 수 없다. 디지털 테크놀로지를 사용한다고 해서 기대했던 목표를 달성하지 못할 수도 있다. 행위자들이 어떻게 관계를 맺는지에 따라 속성이 달라지므로 예측할 수 없기 때문이다.

3) 연구에 활용된 그 밖의 주요 개념

ANT 이론과 관련하여 교육 현상을 기술하기 위해서 본 연구에 사용된 주요 개념은 다음과 같다.

• 기입(Inscription)

기입 기기들을 거친 물질들과 실체들은 논문 위에 숫자와 그림과 도표, 도식과 그래프로 변형되어 인간이 이해하고 파악할 수 있는 정보로 변하고 이제 이 정보들은 다른 연구자와 다른 실험실로 입력되는 실체들로 존재하며 유통되고 운반된다(김진택, 2012). ANT 분석가들은 과학자의 기입 활동과 그 결과로 만들어진 텍스트에 주목한다(홍성욱, 2010). 화면으로 보이는 것, 컴퓨터 프린트 아웃, 실험실 노트 등이 해당된다. 기입들은 토론, 해석, 동원을 가능하게 만든다. 기입은 주어지는 것이 아니라, 획득되고 만들어지며 제조되는 것이다. 도구에 의해 생산되는 기입은 자의적 기입이 아니다. 기입은 어떤 실체와 관련되면서 그 실체에 이름이 주어지고 정체성이 부여되며 행위 형태가 귀속되도록 하는 것은 담론의 매개를 통해서 이루어진다. 세계-기입물-담론이 상호교직되어 연결망을 이룬다(Callon et al., 2009).

• 결절(Punctualizaion)

이종적인 네트워크가 하나의 행위자나 대상으로 축약되는 것(홍성욱, 2010)이다. 불안정하고 가변적이며 단순화적인 특성을 띤다. 대개 평상시 상황에서는 세분화 된 네트워크를 직접 대하지 않으므로 보이지 않는다.

예시) 텔레비전, 건강한 신체(몸이 아파야 내부 장기들의 네트워크들이 보임.

• 블랙박스(Black-box)

이종적 네트워크가 하나의 행위자나 대상으로 축약되면서 하나의 대상으로 만들어진 네트워크이다. 블랙박스화되면 블랙박스 안의 원래의 네트워크를 보지 못하게 된다. 축약된 네트워크에 무관심해질수록 사람들이 손쉽게 그 블랙박스를 사용할 수 있게 된다(홍성욱, 2010).

예시) 교육현장: 교육이라는 것은 몇백 년이 넘는 기간 동안 만들어졌던 수백 개의 이종적 네트워크가 집적되어서 만들어진 블랙박스이다. 단순화된 지점을 블랙박스라고 하나, 단순화된 존재 자체는 여전히 네트워크이기도 하다(Callon et al., 1986).

• 매개자(Mediator)

서로 다른 행위자들의 협상에는 이들을 중재하는 요소가 있는데, ANT는 중재 과정에서 자신도 변화하는 중재자를 매개자로, 자신은 변하지 않고 중재만을 담당하는 것을 중간자(intermediary)로 구별해서 사용한다(홍성욱, 2010).

• 등록(Enrollement)

행위자-네트워크 세계 안에 의해 정의된 분배된 역할은 고정되고 미리 설정된 것이 아님. 또한, 반드시 다른 사람들에 성공적으로 부과되지도 않는다(Callon et al., 1986).

3. 행위자-네트워크 이론과 번역

ANT에서 한 행위자가 다른 행위자의 상호관계 속에서 새로운 네트워크를 건설하는 과정을 '번역(translation)'이라고 칭한다(Law, 1992; 김안영, & 신유진, 2017; 류재훈 외, 2016). 번역은 네트워크의 탄생과 변화를 설명할 수 있는 핵심적인 개념이자 ANT의 근간이라고 할 수 있는 핵심개념으로 학자마다 번역의 과정을 다르게 해석하고 있다. 번역은 부드럽고 평화로운 소통이 아니라 사고와 일탈을 근원적으로 동반하는 강렬한 충돌이자 파열이 동반된 접속이며, 존재들의 생성과 확장의 다른 이름이다(김진택, 2012).

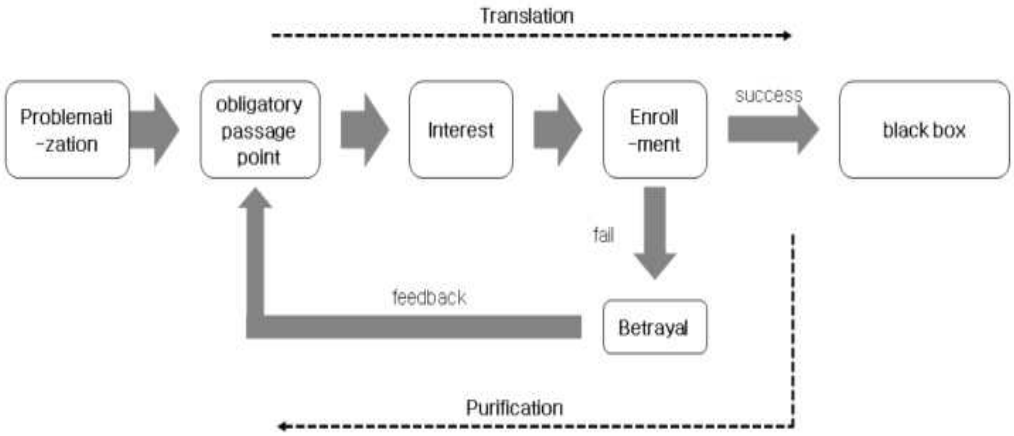
번역은 질서를 만드는 과정이다. 성공적인 번역 과정은 권력을 획득하는 과정이다. 권력이 많을수록 더 큰 네트워크를 동원하는 위치에 있다. 더 큰 네트워크란 지리적 개념이 아닌, 더 많은 행위자가 더 튼튼하게 연결되어 있는 네트워크를 말한다(홍성욱, 2010). 또한, 권력은 한 행위자가 자신이 바라는 대로 다른 행위자를 움직일 수 있는 힘을 의미한다. 권력은 이종적 네트워크 건설의 결과로 생겨난 것으로 인간들 사이의 관계에서만 발생하지 않았다는 점이 중요하다. 권력을 수반하는 조직들은 네트워크 건설을 방해하는 저항세력을 무력화하고, 이를 장기적으로 지속시키며, 네트워크에 복속된 다수 행위자를 잘 대변하며, 미래의 네트워크 변화 가능성을 예측함으로써 권력을 유지 및 강화시킨다(홍성욱, 2010). 어떤 연결망이 다른 것보다

더 권력이 있는지보다는 ‘어떤 결합이 다른 결합보다 더 강한지’ 여부를 살펴야 한다. 권력은 원인이 아니라 그것을 구성하는 결합들의 효과이기 때문이다(김환석, 2011; Latour, & Woolgar, 1986).

본 연구에서는 네트워크에서 어떻게 동맹을 형성하고, 그 과정에서 나타나는 갈등과 분열을 어떻게 조정하고 타협하는지, 종국적으로 동맹이 어떻게 견고화되거나 깨지게 되는가를 포착하고자 한다(박경환, 2013).

1) Callon의 번역 과정

번역의 과정은 연구자들에 따라서 다양한 단계와 다른 방식으로 정의된다. 그중에 번역 과정을 4단계로 나눠서 설명한 대표적인 학자인 Callon(1986)의 연구는 가장 빈번하게 인용되고 있다. 칼롱은 불안정하고 변덕스러운 네트워크의 구성과정을 가리비 양식 사례를 통해서 비교적 도식적이며 단계적으로 설명한다는 특징이 있다[그림 1-1].



[그림 1-1. 정화와 번역 과정 (김철민 & 최충익, 2017 p.45)]

ANT의 탄생과 변화를 설명할 수 있는 핵심적인 단계로 문제제기, 관심끌기, 등록하기, 동원하기가 있다. 먼저, 문제제기(problematizaiton)는 특정 행위자가 기존 네트워크에 의문을 제기하며 변화의 필요성을 주장하는 단계이다. 즉, 새로운 네트워크 구성의 필요성을 제기하며, 각자의 목적을 이루기

위한 의무통과점(Obligatory Passage Point, 이하 OPP)을 설정한다. 교란된 네트워크를 재정비하는 과정에서, 모든 행위자가 어떤 점(목표나 기준점)을 마치 의무적으로 통과하게 만들려는 노력과 합의를 하게 되는데, 이 지점을 OPP라고 한다. OPP를 정의하면서 다른 행위자들의 정체성을 규정한다. OPP를 관통하면서 동맹을 형성한다.

두 번째는 관심끌기(interessement) 단계이다. 이는 행위자들의 이해관계(목적)에 대한 해석을 바탕으로, 기존 네트워크에서 행위자들을 분리하면서 행위자들의 흥미를 끌기 위한 일련의 행동들의 집합을 이야기한다. 즉, 관심끌기와 등록하기를 성공적으로 할 수 있게 해주는 다각적인 협상, 힘의 대결과 책략의 집합이다. 또한, 행위자의 정체성을 다른 방법으로 정의하고자 하는 모든 다른 실체들과 행위자 사이에 둘 수 있는 장치를 조립하여 행위자들의 정체성을 안정화시키려는 행동들의 집합이다. 문제제기 단계에서 형성된 행위자들의 동맹은 각 행위자의 정체성과 이해관계에 따라 해당 동맹을 공고히 할 수도 있지만, 다른 경쟁적 연결망에 결합할 수도 있다는 점에서 불안정하고, 잠정적이다(김연수 외, 2019). 이에 관심끌기 단계에서 잠정적으로 구축된 동맹을 보다 공고하게 만들기 위해, 동맹에 참여한 행위자들을 이전에 속한 연결망에서 떼어내고 이들이 다른 경쟁 관계의 연결망에도 결합하지 않도록 지속적인 관심을 유발해야 한다(김연수 외, 2019).

예를 들어서 국내에서 2010년쯤부터 스마트폰을 사용하는 것이 현대 사회의 필수적인 의무통과점이 되기 시작했지만, 이를 이용하는 더 많은 행위자를 확보하기 위해서 스마트폰을 잘 활용할 수 있게 하기 위한 생태계를 구축하는 등(예: 무선통신망 안정화 및 확장, 사용할 수 있는 애플리케이션 생태계 형성 등) 네트워크 안정화 작업도 같이 촉진되었다. 이렇게 여러 통신회사와 스마트폰 회사가 행위자들이 기존에 사용되던 피처폰, 유선전화기 등의 네트워크로 관심을 돌리며 재결합하는 것을 막기 위해서 지속적인 관심끌기 행위를 하였다. 이를 통해서 각 실체의 정체성을 강제하고 고정하면서 동맹체계를 확립하고자 하였다(김안영, & 신유진, 2017; Callon, 1986).

세 번째는, 등록하기(enrollment) 단계이다. 행위자들 사이의 새로운 역할을 정의하고(협상하고) 조정하여 재정의하는 것이다. 이때, 미리 확립된 역할

을 내포하지도 배제하지도 않는다. 다만 관계를 가진 역할을 정의하고, 이를 수락하는 행위자들의 속성으로 만들어진다. 관심끌기 장치를 통해 성공적으로 동맹을 맺고 등록으로 이어질 수도 있지만, 항상 등록되는 것은 아니다.

마지막으로는 동원하기(mobilization) 단계이다. 대표성을 가진 행위자가 생성되는 과정으로 그 행위자는 새로운 네트워크에 편입되어 다른 영역으로 확장된다. 이 단계에서는 하나의 행위자가 치환되어 출현하여 블랙박스화된다.

칼롱은 생브리외 만(Saint-Brieuc Bay)이라는 지역의 가리비 양식장에서 가리비 번식을 증대시키기 위한 세 명의 연구원의 노력과 연구 과정을 번역 4단계로 살펴보았다. 연구원들은 가리비가 생브리외 만 지역 바다에 잘 부착되어 번식하는 것을 OPP로 확립시켰다. 연구자는 정의된 생브리외 만의 어부, 과학자 동료, 가리비 행위자의 목적을 달성하고, 정체성을 안정화시키기 위해서 유생들이 자랄 수 있는 수집기(collector)를 도입하고, 가리비와 관련된 상황을 그래프로 설명하는 회의를 열었다. 연구원들은 가리비가 효율적으로 번식하기 위해 최적의 위치를 찾아주었고, 가리비는 연구원들이 지속해서 관심을 가지도록 유생의 영역으로 유인하였다(유금복 외, 2022). 그러나 이러한 관심끌기 장치를 사용했음에도 불구하고 가리비의 부착에 방해하는 해류, 기생충 등의 방해물이 동맹을 방해하였다. 결국, 가리비를 둘러싼 여러 행위자와의 협상의 실패와 더불어 가리비는 네트워크에 등록되어 동원되기를 거부하며 네트워크 구축은 실패로 돌아갔다.

이처럼 번역된 네트워크는 고정적이거나 최종적인 것이 아니다. 또한, 반역에 직면 가능하며 각 단계는 분리되어 있거나 순차적으로 진행되는 것이 아니고 복합적으로 진행된다. 만일 번역의 과정이 성공적으로 이어진다면 연결망 내의 행위자들은 새롭게 구축된 네트워크 안에서 역할이 조정되고 등록되어(enrollment) 새로운 관계를 구축한다. 반대로 행위자들의 관심유발이나 이익 발생에 실패한다면 배반(betrayal)으로 넘어가면서 OPP 지점으로 회귀하려고 한다(Callon, 1986). 본 연구에서는 칼롱의 4가지 번역 과정을 통해 네트워크 형성과정을 살펴보며, 배반으로 회귀하려는 과정과 이를 막고자 하는 노력을 중점적으로 탐색하고자 한다.

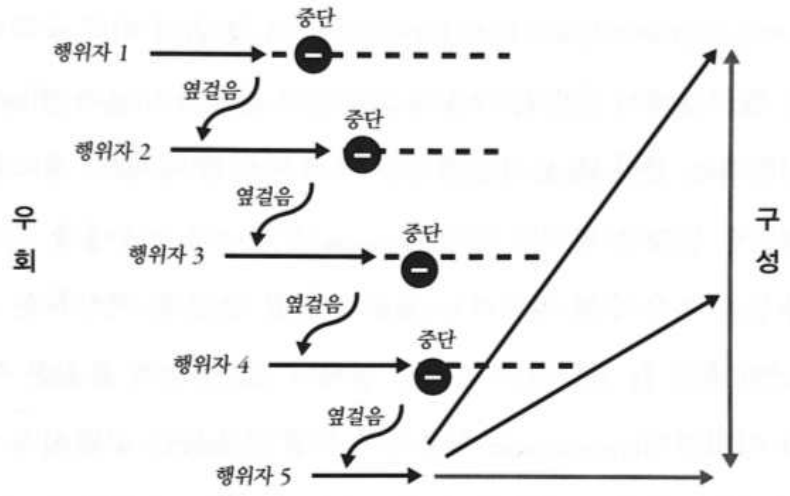
앞서 Callon(1986)의 번역 과정 4단계를 중점적으로 살펴보았다. 이에 [그림

1-1]의 번역 4단계를 역행하는 과정인 정화(purification)의 개념으로 조금 더 살펴보고자 한다. 새로운 질서가 자신에게 이익이 있다고 판단하는 행위자는 역할등록이나 조정을 통하여 안정된 네트워크를 구축하려는 번역 과정으로 이어진다. 반대로, 신질서 구축에 관심이 없거나, 이익이 없다고 판단하는 행위자들은 배반이라는 과정을 거쳐 기존 관계를 복원하려고 하는데 이러한 퇴행적 자기보호 과정을 정화과정이라 한다(김철민, & 최충익, 2017). 즉, 행위자들이 대응하고 충돌하는 번역의 과정에서 다른 행위자와의 잡종적 합체와 분열을 받아들이며 일어나는 사고와 일탈을 감내하기보다는 그것을 거부하고 폐쇄적으로 통제하려는 네트워크상의 움직임이 발생하는 데 그것을 정화라고 한다(김진택, 2012). 번역이 만들어내는 새로운 해석과 의미의 생산에 거부감을 보이며 자신의 메커니즘의 질서와 체제에로만 행위자들 간의 만남을 환원하려는 정화의 움직임(예: 새로운 프로그램 대신 기존 수업 체제로 돌아가는 학생들)은 매우 단단하게 경화되어가는 퇴행적 자기보호에 지나지 않는다(김진택, 2012).

정화과정으로 넘어간 행위자는 배반이라는 과정으로 이동하면서 기존에 자신이 가졌던 영향력을 회복하기 위하여 이전 관계를 회복하려고 노력함과 동시에 OPP를 다시 설정하려고 한다. 이렇게 정화과정으로 넘어간 행위자들은 자신의 기대이익이 만족할 때까지 환류(feedback) 과정을 반복한다(김철민, & 최충익, 2017). 정화는 끊임없이 네트워크의 변화를 추구하는 번역이라는 행위와 충돌할 수밖에 없다. 정화의 경화된 자기보호와 경직된 환원의 움직임은 잡음과 사고가 항상 일어나는 우연적인 잡종적 집합체로서의 행위자들이 네트워크를 횡단하는 번역의 과정에서 충돌하고 부딪힌다. 만일 포섭에 실패하면 번역의 과정은 더 진전되지 못하고 정화과정으로 전환된다. 결국, ANT는 네트워크 내에서 행위자들의 번역· 정화 행위가 사물이나 제도의 발전과 변화에 미치는 영향을 살펴보고자 하는 것이다(김진택, 2012). 본 연구에서는 흔들리는 네트워크 안에서 인간과 비인간이 어떻게 작용하고 행위를 하는지, 다양한 행위자를 네트워크 안으로 포섭해 동맹을 공고히 해나가는 과정에서 번역 과정은 어떻게 이루어지는지, 또한 등록에 실패하고 배반과 환류하는 과정에서 OPP가 어떻게 변경되는지를 기술(description)하고자 한다.

2) Latour의 번역 과정

Latour(2010/2012)는 특정한 행위 경로(번역)의 과정을 우회(detour)와 구성(composition), 중단(coupure)으로 설명하였다([그림 1-2]). 목표달성을 위한 과정 중에 중단이 발생하고, 이를 우회하여 구성하는 일련의 행위 자체가 바로 번역이라고 하였다. 한 행위자는 자신의 목적을 달성하기 위한 행위 경로에서 중단이 발생할 수 있다. 그런 경우 자신의 목표를 달성하기 위해 다른 행위자를 활용한다. 우회는 중단, 옆걸음, 나아가기 행위들이 합쳐진 것이다. 즉, 번역의 과정에서 중단이 일어나면 자신의 목표를 달성하기 위해 다른 행위자를 활용하는 우회의 과정이 필요하다. 이러한 우회의 과정이 반복되고 누적되면서 한 행위자가 할 수 없는 일을 다른 행위자의 힘을 빌려서 할 수 있는 구성이 일어난다. 번역이란 이런 연쇄들로 엮인 것이다. 여기서 행위자는 인간뿐만 아니라 비인간도 될 수 있으며 번역의 과정에서 인간-비인간 행위자를 포함한 다양한 전략이 필요하다.



[그림 1-2. 번역 과정(Latour, 2012)]

예를 들어 전문 의료진이 환자를 치료하는 과정에서 신체의 구성 요소들이 드러나게 된다. 또한, 그 구성 요소들을 치료하기 위한 다양한 비인간 행위자들이 들어온다. 물리적인 수술 요법, 화학 요법, 방사선 치료, 레이저 치료,

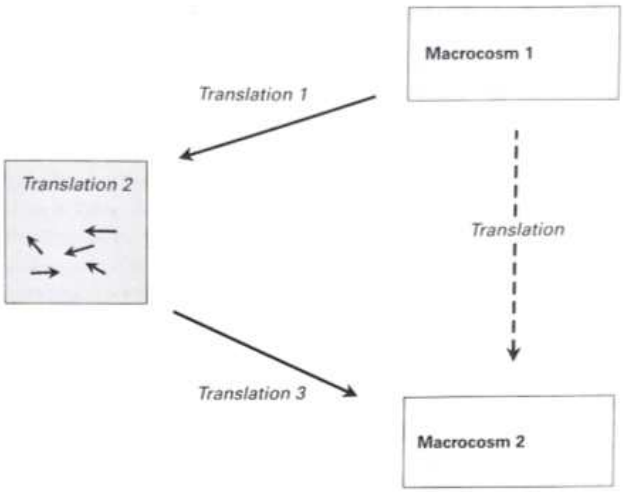
호르몬 요법, 유전자 요법 등 하나씩 비인간들이 차례로 들어오며 치료하게 된다. 그 과정에서 환자를 치료하고자 하는 처음 목적을 잊지 않고 우회와 구성의 과정, 즉 번역의 과정이 이루어진다.

또 다른 예로는 수업 중 컴퓨터가 고장 나거나 와이파이 접속 안 되는 경우 행위 경로가 중단된다. 이런 경우 업무지원센터를 경유하게 된다. 그러나 지원센터도 해결 못 하면 행위 경로가 중단된다. 지원센터의 직원은 다른 부서의 직원에게 전화하면서 해결하기 위한 과정을 거친다. 이렇게 우회와 구성의 과정에서 그동안 몰랐던 컴퓨터와 관련된 다중적인 장치와 프로그램들이 드러나 보인다. 단순히 기술적인 문제에서 사회 · 기술적인 문제로 드러나게 된다.

교육과정도 평소에는 블랙박스화되어 있어 그 안에 얽히고설켜 있는 행위자들을 들여다보기 힘들다. 본 연구에서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 적용하는 과정에서 여러 우회와 구성의 과정을 거쳐서 이루어지는 번역 과정을 들여다보면서, 얽히고설켜 있는 다양한 인간-비인간 행위자들의 균열을 볼 수 있을 것이다.

3) Callon의 확장된 번역 과정

칼롱과 동료들은 ANT의 초기 모델을 확장한 것으로 보이는 번역의 모델을 제시하였다(Callon et al, 2009) ([그림 1-3]).



[그림 1-3. 번역의 3단계와 세계의 변화(Callon et al., 2009, p.69)]

번역의 과정은 세 단계를 포함하며 첫 번째로는 거시세계(the macrocosm)를 미시세계(the microcosm)로 축소하는 단계이다. 바깥 세계의 일부가 실험실 장소로 이동(운송)되며, 실험실 안에 무엇인가 새로운 것이 추가되는 변형이 일어난다. 즉, 거시세계가 실험실의 미시세계에 의해 대체된다. 기술과학 연구는 거시세계를 장악하고, 실험실에서 방해 없이 조작할 수 있도록 단순화, 간결화, 재구성한다. 연구자는 연구를 위해 축소된 정화되고 단순화된 세계를 연구, 묘사, 분석, 해석 가능해진다. 만일 일을 잘 수행하면 바깥 세계와 여전히 연결될 수 있다. 거시세계에서 연구자는 태풍, 화산, 지진, 해일에 무력한 약자였다면, 실험실에서는 센서, 모델, 시뮬레이션, 위성사진, 프린트아웃으로 거시세계를 다룰 수 있는 강자로 바뀐다. 두 번째는 제한적인 연구집단을 형성해 도구와 능력의 집중을 통해 기술과학 지식 혹은 기계를 고안하고 탐색하는 단계이다. 실험실의 미시세계에서 번역에 참여하는 이질적 행위자들을 연구집합체(research collective)라고 부른다. 기입들의 생산과 해석에 필요한 일군의 능력을 불러 모으고 조정하는 것이 연구집합체이다. 실험을 직접 수행하는 비인간-인간 행위자 요소뿐만 아니라, 연구 결과의 토론에 참여하는 모든 실험실 안의 비인간-인간 행위자도 포함한다. 기입을 만들어 내고 실체가 말할 수 있도록 기입을 해독하는 일이 번역 2이다. 셋째, 거시세계로의 복귀인데 형성된 동맹이 구체적으로 드러나며, 실험실의 미시세계에서 생산된 지식과 기계의 생존능력이 테스트 되는 것이 번역 3을 통해서 이루어진다. 실험실의 미시세계에서 생산된 지식과 기계가 거시세계에서 생존 불확실성은 매우 크다. 만일 성공적으로 생존한다면 거시세계는 원래 상태에서 새로운 상태로 변화할 것이다. 즉, 거시세계의 부분적 재편성이 일어날 수 있다. 번역은 이러한 과정의 연속적인 단계이다(김환석, 2011).

4. 행위자-네트워크 이론과 교육

관계적이며 과정 중심의 사회학으로 불리는 ANT는 과학기술뿐만 아니라 예술, 인문학, 사회학, 정치학, 지리학, 철학, 생태학 등 여러 분야에서 주목받고 있다(홍성욱, 2010). 그러나 교육 분야에 ANT에 대한 주목도는 다른 분야

에 비해서 아직 낮은 편이며 최근에서야 교육 분야와 관련된 연구들이 등장하고 있다. ANT와 관련된 교육 문헌들을 연구한 하윤희 외(2022)는 ANT 관련 교육 연구들을 다음과 같이 세 가지 범주로 분류하였다. ‘교육 방법 또는 새로운 교육과정을 구성하기 위해 ANT의 인식론적 관점을 활용하는 연구’, ‘교육 장면에서 비인간의 행위성을 인식하는 렌즈로서 ANT의 존재론적 관점을 활용하는 연구’, ‘교육 현상 연구를 위한 도구로 ANT의 방법론적 원칙을 활용 또는 제안하는 연구’다.

첫 번째 범주의 연구는 과학학습의 범위를 과학적 실행 능력, 과학적 사고, 지식 습득을 넘어서 인간과 비인간이 얽힌 복잡한 이종적 네트워크를 이해하고 이를 교육 활동에 활용하거나 지향해야 할 목표 중 하나로 삼을 것을 제안하고 있다. 두 번째 범주의 연구는 교육에서 특정 비인간을 중심으로 구성되는 네트워크를 탐색하거나 여러 비인간-인간이 얽힌 전반적인 네트워크를 탐색하고 있다. 세 번째 범주의 연구는 교육 연구 방법론이나 분석 관점으로 이론을 연구하거나 교육 개혁이나 정책 실현 등 교육 현상을 시공간적으로 탐색하였다.

선행 연구 중 본 연구와 관련된 두 번째 범주에 해당하는 연구를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 특정 비인간을 핵심적 행위자로 상정하고 교육 장면을 살핀 연구에서는 ‘디지털 사진, 심장박동 모니터, 교육과정, 교사의 교수 기준(teaching standard), 미디어’와 같은 비인간이 어떻게 행위자들과 교육현장을 변화시키며, 다른 행위자들과 다중적으로 얽히고, 균열하고, 불안정한 순환적 과정에서 교육이 실현되는지 탐색하였다(동풀잎, 2019; 문현진, 2019; Edwards, 2011; Esmonde, 2019; Mulcahy, 2011). 비인간 행위자가 가진 물질성과 힘을 중심으로 보되, 이러한 비인간이 어떻게 교육현장의 인간과 비인간 행위자들과 얽혀서 현상을 만들어내는지 바라보고 있다. 본 연구에서는 특정 비인간을 핵심적 행위자로 상정하고 교육현장을 바라보는 것보다는, 인간과 비인간이 얽혀있는 교육현장에서의 네트워크 전체를 상세히 탐색하고자 하였다.

한편, 류재훈 외(2016)는 ANT 관점에서 교육은 오랜 시간 형성된 복잡하고 이종적인 네트워크가 집적되어있는 개체라고 설명하였다. 그렇다면 ANT 관

점에서 교육, 학습, 학습자, 학습을 잘하는 학생, 지식 등을 어떻게 설명할 수 있을까? 류재훈 외(2016)와 박휴용(2021)은 ANT 관점에서 교육을 어떻게 볼 수 있는지 논의하고 있다.

[표 1-2. 교육공학의 철학적 관점에 따른 개념 비교(류재훈 외, 2016, p.17)]

구분	실증주의를 기반으로 한 교육공학	구성주의를 기반으로 한 교육공학	ANT를 기반으로 한 교육공학
존재론적 측면	• 실재는 학습자의 외부에 존재	• 실재는 정신/인식의 산물로 개인의 경험에 따라 내적으로 구성	• 실재는 관계적 실천으로부터 창발
인식론적 측면	• 지식은 학습자와 별개로 존재 • 절대적인 진리가 있음 • 학습은 외재적 진리를 습득하는 것	• 지식은 학습자에 의해 구성 • 진리는 맥락적임 • 학습은 개인이 자신의 이해를 증진하기 위한 노력의 일환으로 의미를 절충하는 것	• 지식은 네트워크 속에서 인간 행위자와 비인간 행위자에 의해 구성 • 진리는 존재가 아니라 생성 • 학습은 번역의 과정
가치론적 측면	• 합리성과 최적화에 관련된 기술에만 관심, 도덕적인 가치에 무관심	• 기술적인 것과 도덕적인 것을 구별, 기술적인 것을 도덕적인 것을 위한 수단으로 활용	• 기술적인 것과 도덕적인 것을 구별하지 않음, 기술적인 것이 곧 도덕적인 것
방법론적 측면	• 주로 양적 연구	• 주로 질적 연구(先 기술 後 분석의 민족지적 방법 등)	• 질적 연구(네트워크 형성을 설명하기 위한 기술과 처방의 모순 통합적 민족지적 방법)

ANT 관점에서의 교육은, 인본주의 관점에서 많이 논의되었던 행동주의, 실증주의, 구성주의에서 보는 교육과는 다르다. 존재론적 측면에서 ANT에서 학습의 실재는 인간과 비인간의 관계적 실천으로 창발되는 것으로, 인간과 비인간 집합체들은 상호작용을 통해서 학습한다. 학습이라는 것은 행위자 간의 관계로 좌우되며 네트워크를 건설하는 과정에서 일어난다고 볼 수 있다. 인간과 비인간 존재들은 상호의존성에 기반한 복잡한 관계망 속에서 그러한 존재들과 공생과 공존을 모색하며 탐색하고 경험하며 성장해나간다. 지식은 특정 행위자에게 머물러 있지 않고 네트워크를 형성하는 행위자들의 관계를 통하여 이동하고 변화되며, 그런 가운데 행위자들 간의 학습 활동이 발생하게 된다(배을규, 2007). 지식은 네트워크의 효과이며, 학습은 네트워크

를 건설하는 과정이다. 새로운 네트워크를 구성하고, 기존의 네트워크가 변화하는 과정에서 지식이 획득되고, 학습이 일어난다. 이는 번역을 통해 설명되어진다(류재훈 외, 2016). 학습은 하나의 네트워크이며, 행위자들은 자신과 네트워크의 이해관계에 맞추어 다른 행위자들을 이해시키고 설득하는 과정에서 학습이 일어난다.

ANT 관점에서는 학습자를 독립적, 이성적, 자율적, 개별적인 존재로 보는 것이 아닌, 연결망 속의 한 단위로서 바라본다. 또한, 특정한 학습 목표를 수행하기 위해 관계망 속의 다양한 인간-비인간을 활용하여 보다, 생산적인 학습을 수행하는 것을 지향하는 존재라고 설명한다. 이러한 학습 관계망 안의 모든 존재는 주변의 다른 존재들과의 상호작용 속에서 힘의 균형을 유지한다. 어떤 것도 독자적으로 약하거나 강한 것이 아니라, 상호작용하는 다른 존재들과의 조합을 통해서 역량이 발휘된다. ANT에서의 교수학습 연구는 교육 정체성을 따라 어떤 행위자들이 동맹 관계를 형성하는지 깊이 있는 기술(description)을 할 수 있어야 하며, 기술이 곧 처방이 될 수 있는 질적 연구 방법을 사용해야 한다고 하였다.

ANT는 첨단기술이 교육에 유입되어 적극적으로 활용되고 있는 현시점에서 기술을 포함한 비인간에게 인간과 동등한 지위를 부여함으로써 새로운 관점을 제공한다(류재훈 외, 2016). 학습 대상(주체)은 인간 행위자에 국한되는 것이 아닌, 인간과 기술을 포함한 비인간의 집합체(collective)라는 새로운 행위자로 확장할 수 있다(류재훈 외, 2016). 본 연구에서도 학생이라는 인간 행위자에 국한되는 것이 아니라 디지털 테크놀로지라는 비인간과 인간 행위자가 결합한 집합체로서의 확장된 행위자의 관점에서 바라보고자 한다.

ANT를 기반으로 교육 연구에서는 ‘학습환경의 설계’는 교수 매체(instructional media)와 같은 기술(technology)을 중심으로 한 비인간 행위자와 교사, 학습자, 교수 설계자 등과 같은 인간 행위자가 특정한 네트워크를 구성하고 질서를 부여하는 총체적인 디자인 과정으로 이해할 수 있다. 즉, ANT에서 학습 환경 설계는 당면한 학습문제(수행 향상을 포함하는 비구조화된)의 합리화나 최적화 과정이 아니라, 구성주의와 마찬가지로 참가자의 다양한 가치와 관점이 대화를 통해 문제해결과정에서 통합되는 역동적인 학습

과정을 추구한다(Checkland, 1999). 하지만 이 과정에서 참가자의 범위가 그간 소외된 기술, 법률, 자연 등 비인간 행위자까지 확대되고 이들이 적극적으로 관여함으로써 교육의 문제가 교육 외적으로 확장된다는 점에서 차이가 있다.

그동안 교육을 하나의 계란판과 같은 교실 현장에서 교사와 학생들 사이에서 발생하는 것으로 이해하려는 입장이었다. 그러나 ANT를 통하여 교육 현상에서 학생과 교사에 더하여 비인간까지 행위자로 인식하게 되면서, 학습에 직접 활용되는 디지털 테크놀로지 뿐 아니라 인터넷 플랫폼, 외부 조직과 제도까지도 때로는 교육에 참여하여 교실의 벽이 네트워킹의 장애물이 아니었음을 보여줄 것으로 기대된다.

제 3 장 연구 방법

제 1 절 연구 맥락

1. 연구 과정

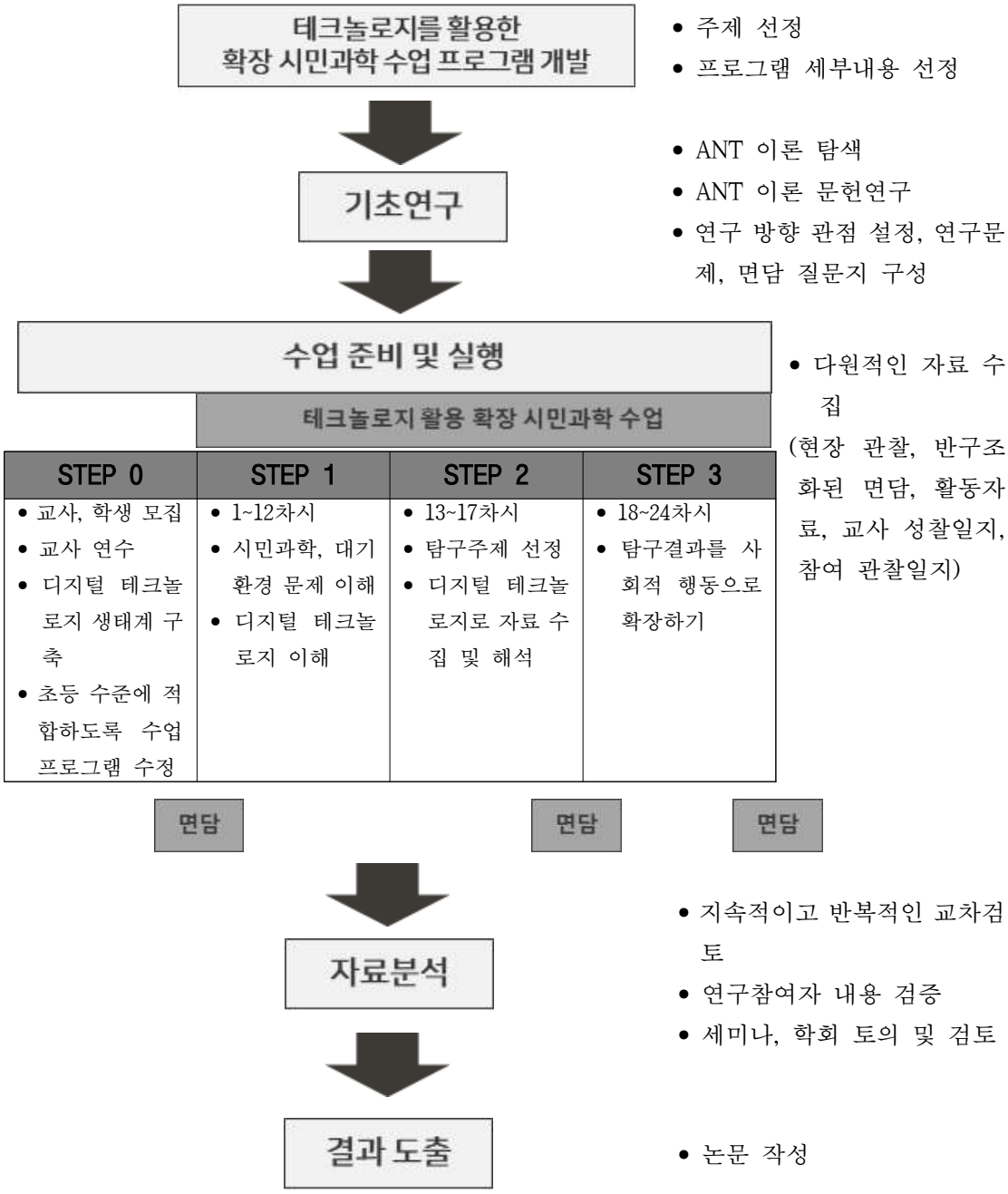
이 연구는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 초등학교에서 적용하기 위해 해당 수업을 준비하고 실행하는 과정에서 어떤 인간-비인간 네트워크가 구성되었는지 살펴보고, 개인 및 소집단 활동에서 구성되는 네트워크 구성과정의 특성과 변화과정은 무엇인지 살펴보기 위해 다음 [그림 2-1]과 같은 연구 과정을 거쳤다.

먼저, 선행연구를 기반으로 하여 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 프로그램을 개발하였다. 개발에 참여한 연구자는 과학 교육학 석사과정 3인, 과학 교육학 박사과정 3인, 과학 교육학 전공 박사 1인, 과학교육과 교수 1인이다. 박사 1인, 박사과정 1인, 교수 1인을 제외한 나머지 연구진들은 초·중등교사이기도 하다. 프로그램은 연구진 회의를 통해 지속해 수정 및 보완되어 개발되었다.

이후 연구자는 본 프로그램을 실행하는 사례를 자세히 들여다보기 위한 이론적 렌즈인 ANT 이론을 탐색하였다. 이론과 관련된 문헌을 읽고 이를 기초하여 연구의 방향과 관점을 설정하고 연구문제와 면담 질문지 등을 구성하였다. 그러나, 연구 프로그램을 개발하는 과정에 행위자-네트워크 이론을 적용하지 않았다.

연구자는 이후 수업을 준비하는 단계인 STEP 0에서 수업에 참여할 초등학교 교사와 학생들을 모집하고자 하였으며, 수업에 관해 관심을 보이는 교사 3명 중 가장 적합하다고 판단되는 H 초등학교 5학년 담인 교사인 강 교사(가명)를 선정하였다. 연구자는 수업이 시작되기 전 총 4회 동안 강 교사와의 만남을 통해 디지털 테크놀로지 연수를 제공하고, 초등 수준에 적합한 확장 시민과학 수업 프로그램을 재구성하기 위한 논의를 함께 하였다. 또한, A

학급에서 디지털 테크놀로지 생태계가 구축될 수 있도록 준비하였다. 초기에 재구성한 수업 프로그램은 총 20차시 분량이었다.



[그림 2-1. 연구 과정]

이후 수업이 실행되는 STEP 1에서는 학생이 간략히 시민과학과 대기 환경 문제에 대한 개념을 이해한 후, 디지털 테크놀로지와 관련된 소프트웨어(SW)와 하드웨어(HW)를 중점적으로 익히는 단계로 총 12차시 동안 개별활동 형태로 진행되었다. STEP 2는 탐구 주제를 설정하고 디지털 테크놀로지를 활용하여 직접 자료를 수집 및 해석하는 과학적 탐구 활동 단계로 총 5차시 동안 모둠 활동 형태로 진행되었다. STEP 3은 탐구결과 내용을 사회적으로 확장시켜 널리 알리고자 사회적 행동을 하는 단계로 총 7차시 동안 모둠 활동 형태로 진행되었다. STEP 2, 3에서는 모둠별로 진행 상황이 달라 같은 차시에 STEP 2와 STEP 3을 하는 모둠이 동시에 존재하기도 하였다. 수업이 진행되는 과정에서 연구자는 보조교사의 조언을 구하고, 강 교사와의 논의를 거쳐 지속해서 수업 프로그램을 수정 및 보완하였다. 기존에 계획했던 20차시 수업이 STEP 1에서 2차시, STEP 3에서 2차시가 추가되어 총 24차시 동안 진행되었다.

연구 자료를 수집하는 과정은 약 6개월간 이루어졌으며 자료 수집과 자료 분석을 함께 시작하였다. 수업이 진행되는 동안 연구 참여자의 반구조화된 면담, 활동자료, 교사 성찰일지, 참여 관찰일지, 수업 동영상 자료 등을 수집하였다. 학생 면담은 총 3번 이루어졌으며 연구 참여자가 선정된 이후에 학생 21명을 대상으로 사전 면담이 진행되었고, STEP 1과 STEP 3이 끝나고 각각 면담이 진행되었다. 교사는 STEP 0~4 과정에서 총 7회의 반구조화된 면담이 진행되었다. 수집된 자료는 ANT의 번역 과정과 핵심개념을 중심으로 질적인 연구 방법으로 분석하였으며, 지속적이고 반복적으로 검토되었다(Glaser & Strauss, 1967). 또한, 연구 참여자의 내용 검증과 세미나, 학회 검토를 통해서 분석결과의 신뢰도와 타당도를 높이고자 하였다. 이후 논문으로 작성하여 결과를 도출하였다.

2. 방법론적 맥락

이 연구는 질적 연구로, 초등학교에서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장

시민과학 수업이라는 특정한 교육 프로그램을 준비하고 적용하는 맥락에서 인간과 비인간의 여러 행위자 간에 복잡하게 얽혀있는 네트워크를 심층적으로 이해하고 탐색하는 것을 목적으로 하는 단일 사례 연구(case study)이다.

사례 연구는 질적 연구 방법의 하나로 특정 사례가 가지는 복잡성에 대해 충분히 이해하고자 할 때 혹은 시간에 따른 현상의 변화과정을 볼 때 적절한 연구형태이다(Merriam, 1998). 사례 연구는 특정한 사례에 대한 종합적인 이해를 시도하며, 이를 통해서 구체적이고 맥락 의존적인 유형의 지식을 생산할 수 있어 주어진 문제와 그 결과의 심층적인 원인을 밝히는 것으로 통찰력을 제공할 수 있다(Denzin & Lincoln, 2011; Merriam, 1998). 또한, 충분한 분석과 서술을 동원한다면 독자의 경험을 확장 시켜줄 수 있으며, 해당 사례와 비슷한 사례와 경험을 이해하는 데 있어 의미 있는 시사점을 제공할 수 있다. ANT는 사용한 연구들은 대체로 민족기술지 연구 방법을 사용하고 있었다(박경환, 2013).

사례는 ‘제한된 맥락 안에서 일어난 현상, 구체적이고, 복잡하며, 현재 진행형의 것, 사례로 전환될 수 있는 개인, 행위와 상호작용, 행위를 통해 산출된 인공물, 행위가 일어나는 환경, 사건, 집단의 산출물’ 등으로 개념화할 수 있다(Brewer & Hunter, 1989; Miles, & Huberman, 1994; Stake, 1995) 이에 본 연구에서는 제한된 ‘초등학교 맥락에서 실행된 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 프로그램’을 사례로 두고 연구하였다. 본 수업 프로그램은 초등학교 맥락에서, 새로운 형태의 수업이 실행된다는 점에서 다른 사례와 구분된다.

본 연구는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업이라는 특정한 교육 프로그램을 초등학교에서 실행한 연구로 탐색적 초기 연구에 가깝다. 또한, 네트워크가 형성되는 과정은 수업을 실행하는 맥락에 따라 고유한 특성을 띤다는 점에서 맥락 의존적 경향이 뚜렷하다고 볼 수 있다. 이에 사례 연구 접근을 취하는 것이 초등학교 맥락에서 본 수업 프로그램을 실행하는 과정에서의 맥락적 지식을 창출하는데 적절하다고 판단하였다. 즉, 사례를 심도 있게 서술하여 본 수업 프로그램 구현 과정에 존재하며 서로 영향을 미치고 있는 인간-비인간 행위자들과 이들의 네트워크를 이해하는 데 도움을

받는 등 해당 사례에 대한 맥락적이고 구체적인 이해와 통찰력을 가질 수 있을 것이라 기대하였다. 또한, 자신의 경험을 연구상황에 대입해 연구 결과를 해석함으로써, 단순히 사례에 대한 지식을 얻는 것이 아닌 일반적인 형태의 지식을 형성할 수 있도록 도울 수 있을 것이라고 기대한다(Stake, 1981).

한편, 과학적 사실이 단 한 번의 연구를 통해서 일반화할 수 없듯이, 단 하나의 사례 연구를 통해서 일반화를 기대할 수 없다. 인간 문제에 관한 연구에서 예측이론과 일반적인 원리의 적용은 불가능하다. 실제 상황 맥락에서 구체적인 사례의 풍부하고 상세한 지식이 더 가치가 있다(Denzin & Lincoln, 2011). 사례 연구를 통해서 해당 사례를 진단하고 사례에 대한 심층적인 이해를 도울 수 있다. 또한, 사례 연구를 통해서 문제점이 발생할 때 어떻게 처치할 수 있는지 통찰을 얻어갈 수 있으며 추후 비슷한 사례를 실행하기 위한 방향성을 제시할 수 있다.

3. 학교 맥락 및 수업 프로그램

1) 학교 맥락

서울에 소재한 H 학교는 2011년에 개교한 학교로 상대적으로 최근에 지어진 학교에 속한다. 이에 VR 스포츠 실과 같이 각종 최신 학교 시설이 상대적으로 잘 구비되어있는 편이다. 각 학급에는 공기청정기 외에도 이산화탄소 수치를 내리고 미세먼지를 정화할 수 있는 천장형 공기 환풍기 시설이 설치되어있다. 그러나, 작동 시에는 교수·학습 활동을 방해할 정도로 큰 소음을 발생해 교실에서 실질적으로 사용되지 않았다. 한편, H 학교는 2019년도에 제3기 서울형 혁신학교로 지정되면서 스마트 우선망 구축 사업의 일환으로 와이파이(Wi-Fi)가 학교에 설치되어있다. 와이파이는 잘 작동하는 편이나 비밀번호가 있어 학생들이 자유롭게 사용할 수 없다. 학생들이 사용할 수 있는 노트북과 마우스, 이를 충전, 보관 및 운반할 수 있는 패드 뱅크(padbank 3 notebook)도 2019년에 구매된 상태이다. 그러나, 본 연구 수업이 시작되기 전인 2021년 10월까지는 아직 H 학교 내 수업에서 노트북이 사용된 적이

없었다. 학교에는 과학 실무사와 전산 실무사가 각각 1명씩 상주하고 있으며 과학 활동과 관련된 준비물, 노트북, 무선랜 등을 관리하고 있다.

본 연구가 진행된 2021년에는 교육부에서 COVID-19와 관련하여 학생 등교에 관한 정책을 지속해서 변경했던 시기다. 특히, 수업이 처음 진행된 2021년 2학기에는 정부에서 단계적 등교확대를 추진하고 있었으나, 9월 수도권에는 초등학생들은 1/2만 등교할 수 있었다[5]. 이로 인해 여러 가지 교육적 제약 상황이 많았는데, H 학교 학생들은 주 2회만 등교하였으며 등교 요일은 학년별로 번갈아 가면서 진행되었다. 5학년은 목요일, 금요일만 등교하였다. 본 연구의 특성상 대면 수업의 형태로 진행되어야 했으므로 5학년 학생들의 등교일인 금요일에 주로 수업이 진행되었다. 대개 등교일에는 주로 전담 교과 시간이 운영되거나 수행평가가 진행되었다. 학생들은 점심 식사 후 바로 집으로 갈 수 있도록 쉬는 시간의 간격을 5분으로 축소하는 등 수업 일정이 조정되었다. 이는 COVID-19로 쉬는 시간에 학생들이 이야기를 나누는 시간을 최소한으로 줄이고자 하는 일환이기도 하였다. 운동장에서 놀기, 친구 집에 놀러 가기, 방과 후 교실 등은 지양되었다. 담임 교사는 매일 학생들의 체온을 점검하고 아픈 학생이 있는지 보건 교사에게 보고해야 했다. 학생들은 사물함, 쓰레기통, 학급문고를 사용하지 못하는 등 교육 활동에 사용되는 여러 물리적 도구 사용에 관한 제약도 많았다. 과학 교과의 실험은 교사의 대표 실험이나, 동영상으로 대체되면서 학생들이 1년 동안 실제로 직접 실험을 해볼 기회는 0~1회에 그쳤다. COVID-19로 인해 학생과 담임 교사의 피로도는 높았다. 추후, 정부에서 코로나와 공존하는 위드 코로나(with Corona) 정책을 시행하면서 학생들은 11월 22일부터 전면 등교가 가능해졌다[6].

그러나 위드 코로나 이후, H 초등학교에서는 COVID-19에 감염되는 학생들이 점차 증가하였고 관리자는 12월경 다시 전면 등교를 철회하고 일부 요일은 온라인 수업을 운영하는 것으로 변경하였다. 학급에서도 COVID-19 감염자와

---

5) 교육부. 「2학기 학사운영 방안 -단계적 등교확대를 통한 교육회복-」, 보도자료(2021.8.9.) https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&boardSeq=85257&lev=0&searchType=null&statusYN=W&page=67&s=moe&m=020402&opType=N

6) 교육부. 「교육분야 단계적 일상회복 추진방안」, 보도자료 (2021.10.29.) https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=294&boardSeq=89438&lev=0&searchType=null&statusYN=W&page=55&s=moe&m=020402&opType=N

의 밀접접촉, COVID-19 직접 감염, 대회 출전을 위해 COVID-19 감염 대비 결석 등 학생들의 등교에 지장을 주는 사례가 많았다.

COVID-19로 인해 대면 수업이 가능한 일수가 적어 교사가 본 수업을 위한 수업 재구성이 힘든 상황이었다. 또한, 수업 중 COVID-19로 인한 등교 정책의 변화와 같이 예측하지 못한 상황으로 인해 수업 일정은 계속 변경되고 지연되었다. 다음은 COVID-19 상황과 관련된 교사의 어려움을 드러내는 면담이다.

> 교사: 코로나만 아니면 참 좋은데. **사실 허덕이고 있어서. 모든 게 시간 부족이야. 숨넘어가 진짜. 차라리 매일 등교면 하기 편할 텐데,** 모르겠어. 어떻게 될지. 위드 코로나 되어야 시간이 많을 듯해.
>
> (수업 전 교사와 수업 재구성에 관한 이야기 중)

다행히 H 학교의 관리자는 평소 교사가 하는 활동을 긍정적으로 바라보고 지원해주는 편이라, 강 교사가 연구에 참여하는 것을 흔쾌히 동의해주었다.

2) 수업 프로그램 및 진행

본 수업 프로그램은 2021년 9월부터 2022년 2월까지 총 6개월간 서울 H 초등학교 5학년 강 교사(가명)의 A 학급 총 21명의 학생(남 10, 여 11명)을 대상으로 진행되었다. 본 연구에서 진행된 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업은 초기에 총 20차시로 구성되었지만, 이후 COVID-19 등과 같이 예측하지 못했던 상황으로 인해 24차시로 늘어났다. 수업은 두 차시 분량을 묶어 블록 수업형태로 운영되었고, 대면 수업이 가능한 금요일 1, 2교시에 주로 운영되었다. 하나의 블록 수업은 총 90분가량 운영되었고 수업의 주제는 대기 환경(이산화탄소, 미세먼지, 온습도)과 관련되어 있다. 수업주제는 초등학교 2015 개정 교육과정 과학과 5~6학년의 온도와 열, 날씨와 우리 생활, 여러 가지 기체 단원과 연관된다. 디지털 테크놀로지와 관련된 내용은 실과과 5~6학년 기술 시스템, 기술 활용 단원과 연관된다. 본 수업은 정규 교육과정에 편성된 수업이 아니므로, 교사가 자율동아리, 창의적 체험 활동 시간, 과학 교과 시간 등을 재구성하여 주제통합형 수업으로 진행하였다.

본 연구에서 진행한 수업 프로그램은 중등교사이자 과학교육 석사과정 3인, 과학교육 박사과정 3인, 과학교육 전공 박사 1인, 과학교육과 교수 1인으로 구성된 연구진 회의를 통해 만들어졌으며, 중·고등학교에 연구진들이 직접 수업에 적용해보면서 계속 수정·보완되었다. 추후 연구자는 해당 프로그램을 선행연구와 D 고등학교에서 연구를 진행하였던 3명의 연구진, 강 교사와의 사전 회의를 통해서 초등학교 수준에 적합하게 수정하였다. 또한, 수업이 진행되는 과정에서도 지속해서 수정·보완하였다. 수업에 사용되었던 PPT 자료와 활동지는 해당 수업을 중·고등학교에서 먼저 실행했던 나서하(2022), 엄혜진(2022), 박창미(2022)의 자료를 참고하여 초등학교 맥락에 적합하도록 개발하였다.

연구자는 세 명의 보조 교사에게 초등학교 수준에 적절한 수업을 재구성하기 위한 자문을 구하였다. 이를 통해서, D 고등학교의 프로그램과 H 초등학교 프로그램은 다음과 같이 차별화되었다.

먼저, STEP 0, 1 에서 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하기 위해 다음과 같이 수정·보완하였다. 첫째, 초등학생 과학과 교육과정을 고려하여 사용할 센서를 세 가지로 축소하였고, Wi-Fi 모듈 대신 LTE 모듈만 사용하였다. 둘째, 초등학생이 엠블럭 프로그램의 확장 블록을 설치하는 과정을 학습할 필요가 없다고 판단하여 연구자와 보조교사가 미리 확장 블록을 노트북에 설치해두었다. 셋째, D 고등학교에서 하나의 구글 계정을 사용하여 동시 접속하였을 때 로그인이 불가한 상황이 생겼으므로, A 학급 21명을 위한 공용계정 3개를 미리 생성하였다. 넷째, 바탕화면에 수업과 관련된 SW를 큰 아이콘으로 내려받아서 가시성과 접근성을 높였다. 즉, 프로그램 자체를 수정한 것이 아니라 D 고등학교에서 HW, SW 오작동에 대한 경험, 초등학교 교육과정, 학습 목표 등을 고려하여 학생들이 만나야 하는 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자의 수를 줄이고 이들과 네트워크를 형성하는 과정에서의 어려움을 최소화하도록 하였다.

다음으로 STEP 2, 3단계에서 초등학생들이 주제를 잘 선정하여 과학적 탐구와 사회적 행동을 잘 진행할 수 있도록 다음과 같이 수정·보완하였다. 첫째, 주제를 선정할 때의 조건을 학교 환경에서 측정 가능한 주제로 제한하

며, 센서를 최소한으로 사용해서 측정하도록 하는 것으로 안내하였다. 둘째, 과학적 탐구와 사회적 행동과 관련된 다양하고 풍부한 예시자료를 보여주었다. 이러한 변화는 COVID-19 정책에 따른 교육환경 변화와 A 학급의 교육과정 재구성 가능 시간 등을 고려하여 변경하였다.

한편, 수업 과정은 STEP 1, 2, 3으로 나눌 수 있다. STEP 1에서는 디지털 테크놀로지를 익히는 단계이며, STEP 2는 과학탐구 활동을 하는 단계, STEP 3은 사회적 행동을 하는 단계이다. [표 2-1]은 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업의 단계별 차시와 세부 활동 내용이다.

[표 2-1. 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 수업 세부내용*]

단계	차시	활동 내용
STEP 1 디지털 테크놀로지에 대한 이해	1-2	• 대기 환경 문제와 시민과학에 대한 이해 • 디지털 테크놀로지에 대한 간단한 소개
	3-4	• 디지털 테크놀로지 관련 기초 배우기 (아두이노 우노 연결, 엠블럭, 허큘러스 사용법 익히기)
	5-6	• 대기 환경 관련 3가지 센서 연결 및 측정하기 (온습도, 미세먼지, 이산화탄소 센서를 아두이노 우노, 컴퓨터에 연결한 후 해당 농도 측정 및 확인하기)
	7-8	• LTE 모듈 연결 및 띵스보드 프로그램으로 측정하기 (대기 환경 농도 그래프로 확인하기) • 과제: 집에서 측정하기
	9-10	• 복습 (특이점: 7~8차시 이후 다음 수업까지 4주간 공백이 발생. 연구자 없이 교사 혼자서 9~10차시 수업 진행)
	11-12	• 복습
STEP 2 과학적 탐구	13-14	• 대기 환경 관련 과학탐구 계획 세우기 (모둠 역할 나누기, 탐구 주제 설정, 가설 설정, 탐구 계획 세우기)
	15-16	• 대기 환경 관련 과학탐구 계획 수정하기 • 측정하기
STEP 3	17-18	• 대기 환경 관련 과학탐구 계획 수정 · 보완하기 • 측정과 결과 해석 및 보고서 작성 • 측정 결과를 토대로 사회적 행동 계획 세우기 (사회적 활동 대상, 방법, 내용, 방법 기록하기)

사회적 행동	19-20 21-22	• 피드백을 반영하여 과학탐구 계획 수정 · 보완하기 • 사회적 행동 계획 수정 및 보완하기 • 사회적 행동준비 및 실행 (포스터 만들기, 건의하는 글 올리기 등)
	23-24	• 사회적 행동 결과 발표 및 마무리

* 수업 단계 중 STEP 2와 STEP 3의 차시를 대략 구분하였음. 모둠별로 각기 다른 진도대로 진행된 편임.

STEP 1은 Ga et al.(2021)이 개발한 피지컬 컴퓨팅 및 사물인터넷 기술 기반의 DIY 측정 장치를 바탕으로 과학교육전문가 7인의 협의 과정을 통해서 개발되었다. 해당 단계를 통해 학생들은 디지털 테크놀로지를 익히고 활용하여 온습도, 미세먼지, 이산화탄소와 관련된 대기 환경의 질을 측정할 수 있음을 목표로 한다. 이를 위해 먼저 아두이노 우노 보드를 노트북과 연결하여 엠블럭을 이용한 간단한 블록코딩을 학습한다. 그 후 대기 환경 관련 세 가지 센서를 연결하여 직접 대기 환경질을 측정하고 허큘러스를 이용하여 측정된 농도를 수치로 확인한다. 이후 학교 밖에서도 자유롭게 측정할 수 있도록 LTE 모듈을 추가로 연결하고, 측정값을 띵스보드를 통해 그래프로 확인한다. 배운 내용을 활용해 집에서 직접 측정해보는 것을 과제로 수행한다. 한편, STEP 1은 총 10차시로 계획되었으나, STEP 1 수업 중 4주간 공백이 발생하는 시기에 교사가 자율적으로 2차시를 추가로 더 진행하였다.

수업에서 활용된 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간은 [표 2-2]와 같다. 먼저, 하드웨어(HW)와 소프트웨어(SW)로 분류하면 다음과 같다. 하드웨어(HW)는 아두이노 우노 보드(Arduino Uno), 그루브 쉴드(Grove Shield), 아두이노 USB 케이블, 세 가지 센서(미세먼지, 이산화탄소, 온습도), 그루브 케이블(Grove Cable), LTE 모듈, 노트북, Wi-Fi 등이 있으며, 소프트웨어로(SW)는 구글 클래스룸, 엠블럭(mBlock), 띵스보드(ThingsBoard), 허큘러스(Hercules), 미리 캔버스(miricanvas) 등이 있다. 해당 비인간은 독립성, 저비용, 친숙함, 이동성을 기준으로 선정되었다(Ga et al., 2021).

[표 2-2. 수업에서 활용된 디지털 테크놀로지 및 이와 관련된 비인간*]

분류	명칭	사진	기능
하드웨어 (HW)	아두이노 우노 보드 (Arduino Uno)		HW/SW 연결
	온습도 센서 (DHT 11)		온습도 측정
	미세먼지 센서 (ZH03B)		미세먼지 측정
	이산화탄소 센서 (MH-Z16)		이산화탄소 측정
	LTE 모듈 (SIM7000G)		LTE 데이터를 사용할 수 있는 통신 모듈
	그루브 쉴드 (Grove Shield)		아두이노 우노 보드에 그루브 케이블을 쉽게 연결하도록 도움
	그루브 케이블		보드와 센서를 연결하는 전선
	아두이노 USB 케이블		보드에 전원을 공급하고 컴퓨터와 연결함

소프트웨어 (SW)	엠블럭 (mBlock)		블록형 코딩이 가능한 프로그램
	띵스보드 (ThingsBoard) 플랫폼		측정한 값을 그래프 화해서 볼 수 있는 플랫폼
	허큘러스 (Hercules)		측정한 값을 수치화해서 볼 수 있는 프로그램
	구글 클래스룸		교사와 학생, 연구자 양방향 소통 프로그램

* 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간으로 노트북, 노트북 충전함, Wi-Fi, 미리 캔버스 등이 있음.

STEP 2는 모둠별 과학탐구 활동으로 학생들이 대기환경과 관련하여 일상의 삶 속에서 궁금했거나 문제의식을 느꼈던 것을 주제로 삼아 탐구 계획을 세운다. 그 후 디지털 테크놀로지로 대기 환경을 측정하고 측정 결과를 해석하여 보고서를 작성한다. COVID-19 상황이어서 방과 후에 학생들끼리 모이

는 것을 지양하고 있었으므로 탐구 주제는 학교 내에서 측정할 수 있는 것으로 제한하였다. 학생들은 온습도를 제외한 미세먼지와 이산화탄소와 관련된 탐구 문제를 선택하였다. 각 모둠에서 선택한 주제는 [표 2-3]와 같으며 탐구 주제는 측정 이후에도 계속 수정ㆍ변경되었다.

[표 2-3. 모둠별 탐구 주제 및 사회적 행동*]

모둠	탐구 주제	사회적 행동
1	환기한 교실과 하지 않은 교실의 미세먼지 변화 비교	포스터(교내)
2	마스크 안과 교실의 이산화탄소 차이 비교	건의하는 글 회사에 게시
3	도서관과 교실의 이산화탄소 비교	1. 포스터 2. 제안하는 글 (국민신문고, 교육감 홈페이지, 교육부, 학교 복도): 최종
4	1. 운동장과 엘리베이터 미세먼지 비교 2. 운동장과 VR실 이산화탄소 비교 3. 창문을 열었을 때와 닫았을 때 이산화탄소 비교: 최종	1. 영상 학교 커뮤니티 게시 2. 포스터(교내): 최종
5	천장형 공기 환풍기를 틀었을 때와 환기할 때의 미세먼지와 이산화탄소 변화 비교	1. 영상형 PPT 2. 제안하는 글 (국민신문고, 교육감 홈페이지): 최종

* 모둠에 따라 계획한 탐구 주제와 사회적 행동은 변화하기도 하였으며, 최종적으로 선정된 탐구 주제와 사회적 행동에 ‘최종’이라고 표기함.

STEP 3 역시 모둠 활동으로, 사회적 활동을 계획하고 직접 실천하는 활동을 한다. STEP 2에서 탐구한 결과를 바탕으로 어떻게 사회적 행동을 수행할지 고민하고 계획한 다음, 직접 학급 밖에서 문제를 해결하기 위한 행동을 한다. 학생들이 수행한 사회적 행동은 교내에 포스터 붙이기, 건의하는 글을 회사 홈페이지에 작성하기, 제안하는 글을 국민신문고, 교육감 홈페이지, 교육부에 작성하고 학교 복도에 붙이기가 있었다. 사회적 행동에 대한 답변 혹은 반응을 수업 중에 확인할 수 있었던 모둠도 있었고, 종업식 이후 답변이 와서

확인하지 못한 모둠도 있었다. STEP 2와 STEP 3은 대략적으로 [표 2-1]와 같이 차시를 구분하였지만, 모둠별로 각기 다른 진도대로 진행된 편이다. STEP 3 과정에서 활동을 위한 시간이 더 필요하다고 판단한 강 교사는 2차시를 추가하여 진행하였다.

4. 연구 참여자

1) 연구자

연구자는 과학교육을 연구하는 연구자이자 경력 6년 차 초등학교 교사로 기존 학교현장에서 안정화되어 있는 블랙박스인 …교사-학생-학교-관리자-업무-학부모-동료 교사-교실-칠판-인디스쿨-나이스-테크놀로지… 네트워크는 이미 익숙한 편이다. 한편, 본 수업 프로그램을 경기도 D 고등학생 2학년을 대상으로 수행한 연구에 참여한 경험이 있으며, 지역사회 방과 후 활동의 일환으로 초등학교 5~6학년을 대상으로 디지털 테크놀로지를 이용한 과학탐구 활동을 지도한 경험이 있다. 즉, 연구자는 교사, 학생, 디지털 테크놀로지, 확장 시민과학 각각에 대한 직간접적인 경험은 있었다. 그러나 실제 초등학교 현장에서 …-초등학생-디지털 테크놀로지-과학탐구-컴퓨터-교사-관리자-학부모-Wi-Fi-사회적 행동-교육과정-… 이 모든 행위자가 한꺼번에 연결되는 상황에 대해서는 아직 아는 것이 풍부하지 않은 상태였다. 연구자는 본 연구를 위해 초등학교에서 수업이 가능한 교사를 섭외해야 했으며, 친분이 있는 네 명의 교사와 과학교육 전문가에게 소개받은 한 명의 교사에게 연락을 취하면서 본 연구와 관련된 새로운 네트워크를 형성하기 위한 첫 발걸음을 내디뎠다. 그 중, 연구 참여자로 결정된 강 교사와는 이미 라포르(rapport)가 잘 형성되어 있는 편이어서, 수업을 준비과정에서 소통이 활발히 이루어질 수 있었다.

2) 디지털 테크놀로지

디지털 테크놀로지를 이루고 있는 비인간 행위자들은 앞서 [표 2-2]에서 기술되었듯이 대략 하드웨어(HW)와 소프트웨어(SW)로 구분할 수 있다. 디지털 테크놀로지 행위자는 본 연구의 STEP 1뿐만 아니라 STEP 2, STEP 3에서도 중요한 역할을 하지만, 초등학교 교수·학습 상황이 낯선 비인간 행위자이다. 디지털 테크놀로지는 연구자, 학생, 교사와의 네트워크에서 언제나 침묵하며 관계를 유지해왔고, 그들의 침묵이 연구자, 학생, 교사를 힘들게 하거나 기쁘게 할 수 있다는 사실 자체에도 침묵하는 행위자이다. 이에, 단지 보조적인 도구의 위치에 놓여있다고 판단되기도 한다. 그러나 그들이 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 프로젝트가 운용되는 교실 환경에서 잘 활용된다면 본 수업에 적합한 결과물들을 산출해낼 것이며, 산출된 결과물은 사회적 행동을 하는 데 직접적으로 사용될 것이다. 이는 추후 사회를 변화시킬 수 있을 것이라 기대할 수 있다. 즉, 그들은 교사나 학생, 연구원에게 숫자, 그래프 등의 산출된 결과물이라는 기호로 말을 하게 되는 행위가 될 것이다.

3) 강 교사

강 교사(가명)는 연구에 참여할 당시 H 초등학교 5학년 담임 교사이자 9년차 30대 교사다. 2019년도에는 과학정보복지부장이었으며, 부장업무 중 하나로 노트북과 관련된 스마트 우선망 구축 사업을 계획하고 진행하였다. 강 교사는 교육대학교에서 윤리교육을 전공하였으나, 고등학교 때까지는 과학 쪽으로 흥미가 많아서 자연계 반이었다. 또한, 컴퓨터 게임을 많이 하는 편이라 컴퓨터를 능숙하게 잘 다루며 이해도가 높은 편이다. 코딩, AI와 관련된 연수를 들은 경험이 있으며, 평소에 과학이나 정보 분야에 지속해 관심이 많은 편이다. 강 교사는 학교 내의 수학·과학 영재학급을 3년 동안 지도하면서 과학에 관한 관심이 더욱 높아졌었다. 그러나 코딩과 같이 디지털 테크놀로지와 관련된 6학년 실과 수업은 COVID-19로 인해서 제대로 실행한 경험은 없었다. 또한, 확장 시민과학 수업을 해본 경험은 없었다.

강 교사는 본 연구 참여를 통해 자신의 역량을 키울 수 있으며 학생들에게 좋은 교육경험 기회를 제공할 수 있을 것이라 기대하였다. 그리고 본 연구가 미래사회에 실질적으로 필요한 교육이 될 수 있다는 점에 대해 공감하였다. 교사는 수업 전 연구자를 만나 3차례 사전 연수를 받으며 디지털 테크놀로지와 관련된 기본 지식을 습득하고 원리를 이해하려고 노력하였다. 또한, 확장 시민과학과 관련된 수업 자료를 통해서 확장 시민과학이 무엇인지 이해한 후에 수업을 진행하려고 노력하였다. 수업이 진행되는 과정에서도 연구자와 지속해 소통하면서, 필요한 교육 자료를 재구성하거나, 연구자가 제안하는 교수학습방법을 수정·보완하는 등 활발히 교류하며 소통하였다.

COVID-19 상황으로 인해 컴퓨터실은 가정에서 온라인 수업을 들을 수 없는 환경의 다른 학년의 학생들이 사용하고 있어서, 창의적 체험활동 시간에 컴퓨터를 배울 수 없었다. 이에 교사는 A 학급 학생들과 함께 컴퓨터와 관련된 수업을 한 경험이 없었으며, 학생들의 컴퓨터 기기 관련 사전 수준을 파악하지는 못하고 있었다. 또한, 과학탐구 실험 수업은 교사 대표 실험 혹은 동영상으로 진행되고 있었다. 강 교사는 A 학급 학생의 장점과 특징이 본 수업을 참여하기에 적합하다고 이야기하며 수업에 대한 자신감을 보이기도 하였지만, 때로는 학생들이 본 연구 수업을 잘 따라와 줄 수 있을지 걱정하는 모습을 보이기도 하였다. 한편, 교사는 COVID-19 상황이라 A 학급 학생들과 대면으로 교류할 기회가 다른 해에 비해서 상대적으로 부족해 아쉬워하였다.

4) 학생

서울에 있는 H 초등학교는 교육복지 우선지원 거점학교로, 지역사회 교육전문가가 학교에 상주해 있다[7]. 학교 주변에는 임대아파트가 많이 있다. 그러나, 강 교사 학급에는 동학년의 다른 학급과 달리 총 21명 중 교육복지대상자가 한 명도 없었으며, 다문화 가정 학생 두 명만 있었다. 연구 참여에 동의한 학생은 총 21명이다. 방과 후 부진 학습 프로그램인 키다리 샘에 참여한 학생

7) 거점학교 지정기준은 법정 저소득학생 40명 이상이 되어야 한다. 서울특별시 서부교육지원청 자료(http://sbedu.sen.go.kr/CMS/openedu/openedu06/openedu0601/openedu060102/index.html).

은 1명이었다. 강 교사는 이러한 학급 특성을 이야기하면서 9년 동안 같은 H 학교에서 근무하는 동안, 다른 해에 지도했던 학급에 비해 분위가 매우 좋은 편이라고 하였다. A 학급 아이들은 성별에 무관한 친구를 친한 친구로 이야기한 사례가 많았으며, 수업시간에 스스럼없이 서로를 잘 도와주는 편이었다. 또한, 학생들은 사전 면담에서 학교에서 친구들과 함께 하는 활동에 열심히 참여하는 편이며(16명), 다른 사람들에게 도움을 주는 사람이 되고 싶다(17명)고 응답한 학생이 매우 많았다. 학생들은 질의응답을 활발하게 잘 하고 적극적인 편이었다. COVID-19로 인해서 등교할 수 있는 이틀 동안을 매우 즐거워했으며, 밀접접촉자가 나오면서 A 학급의 등교 제한이 걸렸던 상황에 우는 학생도 나왔다. 강 교사는 면담에서 '나도 내가 애들 (특성을 고려하면) 잘할 것 같으니까, 또 이 프로젝트에 잘할 것 같아서 선뜻 한 것도 있는 것 같아. 좀 자신 없었으면 나도 얘네들이 이거 할 수 있을까? 이랬으면 은 좀 그랬을 수도 있는데…' 라고 하며 긍정적이며 적극적인 학급 학생들의 특성이 뒷받침되어서 이 연구에 선뜻 참여할 수 있다고 했다.

학생들은 면담에서 실험하고 탐구하는 것이 즐겁고 학교에서 친구들과 함께 하는 활동에 열심히 참여하는 편이라고 응답한 학생이 많았는데, 그럼에도 불구하고 COVID-19로 인해 4학년 때부터 과학실험 혹은 탐구 활동 및 모둠 활동 등 관련된 활동을 거의 해보지 못하였다. 또한, COVID-19로 인하여 학급 내 여러 친구와 서로 교류를 활발히 많이 해보지 못했다는 특징이 있었다.

모둠을 구성할 때는 강 교사는 다음과 같은 사항을 고려해서 학생들을 배치하였다. 먼저, OPP의 변경으로 한 모둠에 최소 1명의 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성한 학생이 있도록 배치하였다. 둘째, 상성이 맞지 않을 것 같은 학생은 분리하였다. 예를 들어 의견이 심하게 대립 될 것 같은 학생들은 분리하였다. 그러나 교사는 COVID-19 상황에서 학생들이 다양하게 교류하는 모습을 많이 보지 못해서 학생들의 모둠 활동을 완벽히 예측하는 것은 어려운 측면이 있다고 이야기하였다. 셋째, 리더 역할을 할 수 있는 사람을 모둠에 한 명씩 배치하였다. 리더의 기준은 측정을 완성할 수 있는지, 적극적으로 자기 의사를 잘 표현하는지가 기준이 되었다. 모둠을 구성하는 과정에서 교사가 개입하게 된 이유를 교사는 다음과 같이 설명하였다.

교사: 우리가 제대로 된 환경이었으면… 이게 약간 좀 일반적이지 않은 환경이니까 그런 점도 고려를 해야 할 것 같아요. **시간도 많이 부족하고 그런 조건 하에서 할 수 있게 교사가 그냥 이 상황에서 할 수 있는 것을 최대로 이제 고려해서 할 수밖에 없었어요.**

(교사 심층 면담 중)

구성된 모둠에서 모둠원들은 총 네 가지 역할로 분담하여 모둠 활동을 하였다([표 2-4]). 모둠 내 역할은 총 네 가지로 이끔이, 측정이, 기록이, 꾸밈이이며, 모둠에서 토의를 거쳐 자율적으로 역할을 정하였다.

[표 2-4. 모둠 내 역할*]

모둠 내 역할	활동
이끔이	모둠의 리더 역할. 다른 모둠원들을 도와주면서 전체적으로 활동을 진행하고 이끄는 역할
측정이	디지털 테크놀로지로 대기 환경 농도를 측정하는 역할
기록이	계획서, 보고서 등을 기록하는 역할
꾸밈이	활동물을 꾸미고 만드는 역할

* 1~4 모둠: 4명으로 구성된 모둠, 5 모둠: 5명으로 구성된 모둠
* 교사는 하나의 역할을 맡아서 하되, 자신의 역할만 수행하는 것이 아니라 다른 역할도 함께하라고 안내함.

5) 보조교사

이 연구에서는 3명의 보조교사가 참여하였다. 보조교사는 모두 중등 지구과학 교사이며, 당시 연구자와 같은 대학원 석사과정에 재학 중이었으며, 같은 연구 프로젝트 참여자였다. 보조교사들은 이 연구의 자료 수집 이전에 경기도 D 고등학교 자율동아리 학생들을 대상으로 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육 프로그램을 실행을 계획하고 연구한 경험이 있었다. 당시 연구자는 보조교사로 참여하였다. 따라서 보조교사들은 모두 이

프로그램의 개발과 실행에 대한 경험이 풍부하고 연구 맥락에 대한 이해가 깊었다.

보조교사들은 H 학교에서 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하는 것을 돕고, 수업 중 교사, 연구자와 함께 학생의 문제 해결을 도와주는 보조적인 역할을 하였다. STEP 0, 1 에서는 2~3명이, STEP 2, 3 에서는 1명의 보조교사가 번갈아 가면서 참여하였다. 보조교사들은 D 고등학교에서 수업 프로그램을 시행하면서 여러 시행착오를 경험하였다. 이에 연구자는 앞서 <3장. 1절. 3. 2) 수업 프로그램 및 진행>처럼 강 교사와 논의할 수 없는 부분은 보조교사들을 통해 조언을 구하기도 하였다. 연구자는 맥락과 상황이 다르더라도 수업과 관련된 복잡한 네트워크를 구축하고, 해체되고, 새롭게 생겨나는 과정을 경험한 보조교사를 H 학교 맥락에 포섭하여 네트워크의 안정적인 네트워크 구축을 시도하고자 하였다.

제 2 절 자료 수집 및 분석

1. 자료 수집

본 연구는 단일 사례 연구로 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 준비부터 실행 과정까지 여러 행위자 간에 복잡하게 얽혀있는 네트워크를 심층적으로 이해하고 탐색하고자 질적 연구 방식을 사용하고자 한다. 질적 사례 연구를 위해서는 다양한 형태와 내용의 자료를 최대한 심층적으로 수집하고 활용할 것을 권장한다(Creswell, 2007; Schwandt, 2001). 이에 본 사례의 네트워크 구성의 특성을 고려하여 연구자는 2차시를 제외한 모든 수업에 참여하여 관찰하였으며, 교사와 학생을 대상으로 수업 전, 중, 후에 이루어진 반구조화된 심층 면담(semi-structured interview) 자료, 교사 성찰일지, 수업 동영상 녹화 및 녹음자료, 학생들의 학습 결과물, 연구자의 참여 관찰일지를 수집하였다([표 2-5]).

[표 2-5. 수집한 자료]

유형	대상	수집 형태	수집 시기(횟수)
참여 관찰	학생, 교사, 비인간	녹화 및 녹음, 사진, 연구자 관찰일지	STEP 1, 2, 3 (총 10회)
교사 성찰일지	교사	자유롭게 수정할 수 있는 양식에 서술형으로 기록	STEP 1, 2, 3 (총 9회)
심층 면담	학생	녹음, 면담 메모	STEP 0, 1, 3 이후 (총 3회)
	교사	녹음, 면담 메모	STEP 0, 1, 2, 3 이후 (총 7회)
활동 산출물	학생	구글 클래스룸 게시글, 포스터, 청원하는 글, 모둠 활동지	STEP 1, 2, 3
그 외 자료	학교 홈페이지(학교 현황, 학교 연혁 등)		

먼저, 학생과 교사 면담은 일대일로 진행되었으며 반 구조화된 형식으로 진행되었다. 사전 프로토콜 문항들은 과학교육 전문가 3인과 협의하여 수정 과정을 거쳐 최종 개발되었다. 면담을 통해서 학생들의 개인적인 특성, 감정의 변화, 직면한 어려움, 어려움을 극복하기 위한 전략, 모둠 활동 과정, 수업 단계별 흥미도 등을 탐색하고자 하였다. 이를 통해서 학생들이 수업 참여 과정에서 인간과 비인간과 어떻게 네트워크를 형성하는지, 어떻게 학습이 이루어지는지, 정체성과 감정, 생각, 행동 등의 변화는 무엇인지 등을 파악하고자 하였다. 단계별 구체적인 면담 과정과 질문 프로토콜을 살펴보면 다음과 같다.

사전에는 학생들의 개인적 특성과 본 수업과 관련된 경험 및 관심도를 파악하고자 수업 전 비어있는 미술실에서 15분 내외로 면담을 진행하였다[표 2-6].

[표 2-6. 사전 면담 질문지 프로토콜]

범주	질문 문항
사전 경험	• 컴퓨터 혹은 코딩을 배운 경험이 있나요? • 시민과학을 들어본 경험이 있나요?
과학 흥미도	• 과학 수업을 좋아하나요? • 과학 수업에서 실험과 탐구 활동을 좋아하나요?
컴퓨터 흥미도	• 컴퓨터를 잘 다루는 편인가요? • 직접 만지고 조작하는 활동을 좋아하나요?
사회적 행동	• 사회에서 일어나는 문제에 관심이 있나요? • 문제가 생기거나 궁금한 점이 생기면 어떤 방법으로 정보를 수집하고 해결하나요?
개인적인 특성	• 학교에서 친구들과 함께 하는 활동을 좋아하는 편인가요? • 좋아하는 과목과 장래희망은 무엇인가요? • 내가 친한 친구는 누구인가요?

STEP 1 이후 진행된 면담은 13~14차시 후 방과 후 시간에 진행되었고 미술실에서 15분 내외로 진행되었다([표 2-7]). 두 번째 면담을 통해서는 STEP 1과 관련된 전반적인 내용으로 가정에서의 디지털 테크놀로지 사용 환경, 가정에서 디지털 테크놀로지를 활용하여 과제를 수행하는 과정 및 감정 변화, 학교에서 디지털 테크놀로지 수업 참여 경험과 감정 변화를 파악하고자 하였다.

[표 2-7. STEP 1 수업 후 면담 질문지 프로토콜]

범주	질문 문항
가정에서 디지털 테크놀로지 사용 환경	• 집의 컴퓨터(노트북 등) 사용 시간은 어떻게 되나요? • 온라인 줌(zoom) 수업은 어떤 기기를 사용해서 듣나요?
가정에서 디지털 테크놀로지 경험 및 감정	• 과제에서 어디까지 수행했나요? 그때의 감정은 어땠나요? • 어떤 어려움이 있었나요? • 그 어려움을 극복하기 위해서 어떻게 노력을 했나요?
학교에서 디지털 테크놀로지 경험 및 감정	• 어떤 과정이 가장 쉬웠나요? 어려웠나요? • 측정에 성공했나요? 그때의 감정은 어땠나요? • 측정하는 과정에서 도움을 받았나요? 누구에게?

STEP 3 이후 진행된 마지막 면담은 23~24차시 수업 이후 방과 후 시간 동안 미술실에서 진행되었으며 30분 내외로 진행되었다[표 2-8]. 세 번째 면담을 통해서는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 참여의 전반적인 경험과 감정의 변화, 사회적 행동 참여와 감정의 변화를 파악하고자 하였다. 추후, 데이터 분석에 자료가 더 필요하다고 판단되는 학생은 심층 면담을 추가로 시행하였다.

[표 2-8. STEP 3 수업 후 면담 질문지 프로토콜]

범주	질문 문항
디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 참여 경험 및 감정	• 프로젝트 수업은 어땠나요? 이유는 무엇인가요? • 수업 활동별 난이도는 어땠나요? • 각 활동에서 어려운 부분은 무엇이며 어떻게 극복했나요? • 각 활동 중 어떤 단계가 가장 흥미로웠나요? • 활동하면서 좋았던 점은 무엇인가요? • 수업을 통해 생각의 변화가 있나요? • 수업 중 예측하지 못했던 일이 생겼나요? • 수업 중 자신에게 결정적인 영향을 미친 것은 무엇인가요? • 모둠 활동과 개인 활동 중 어떤 것을 더 선호하나요?
사회적 행동 및 감정	• 내가 하고 싶었던 사회적 행동은 무엇이었나요? • 실제 사회적 행동을 계획하고 해보니 어떤 감정이 들었나요? • 주변에서 답변을 들었을 때 어떤 감정이 들었나요? • STEP 1 수업이 STEP 2 활동 참여에 영향을 미쳤나요?

다음으로, 교사의 면담을 통해서는 교육환경, 학생 특성, 학교 및 학급 특성, 교육과정 운영 상황, 교사 업무, 교육 활동에서 드러나는 학생 특징, 모둠별 특징, 수업 과정에서 예측하지 못했던 상황 및 어려움, 수업 준비과정에서 필요한 것, 수업 전반적인 과정에 관한 생각 등을 탐색하고자 하였다. 이를 통해서 교사가 수업에 참여하는 과정에서 인간 및 비인간을 어떻게 포섭하고 네트워크를 형성하는지, 어떻게 교수 활동을 하는지, 학생들의 네트워크는 어떻게 형성되고 있는지 등을 파악하고자 하였다. 면담은 주로 A 학급에서 방과 후 시간 혹은 전화 통화를 통해 진행되었다. 이 외에도 디지털 테크놀로지 연수 과정 및 수업 준비과정에서도 자유롭게 면담이 이루어졌다. 면담은 30분 내외로 진행되었다.

일반화된 대칭의 원리에 따라 비인간 행위자 역시 분석적 기반에 두고 본

연구문제와 관련한 비인간 행위자들을 따라가면서 자료를 수집하였다. Latour(2005)는 현장에서의 물질적 인공물, 코드, 기호 등을 포함한 모든 행위자의 목소리를 기록할 것을 강조하였다. 이에 본 수업의 중심 행위자인 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 관련된 자료를 수집하였다. 특히, 비인간 행위자들의 행위성을 포착하기 위해서 교사와 학생의 면담 및 교사의 성찰 일지에서 드러나는 비인간 행위자들을 추적하였으며, 기입물이자 또 다른 비인간인 그래프, 수치, 제안하는 글, 포스터 등을 중심에 두고 어떠한 네트워크들이 만들어지는지 살피고자 하였다. 또한, 연구자의 현장 관찰을 통해서 수업 중 실시간으로 마주하는 비인간들을 포착하고, 비인간을 둘러싸고 어떠한 네트워크가 형성되는지 포착하고자 하였다. 모든 면담자료는 사전 동의를 거쳐 녹음되었으며 녹음된 자료는 모두 전사되었다.

한편, ANT의 관점에서는 다각적인 자료를 수집하는 것은 측정하고자 하는 현상을 오차 없이 정확히 측정하여 신뢰도를 높이기 위함만은 아니다. 신뢰도를 높이기 위한 것 이외에도, 네트워크가 시간에 따라 접히고 펼쳐지면서 하나의 객체가 어떤 다른 객체와 연결되면서 다중적으로 관계와 의미를 만들어가는지 파악하면서 이와 관련된 현상을 자세히 들여다보기 위함이다(하윤희, 2022; Bleakley, 2012).

2. 자료 분석

연구자는 수업을 준비하고 실행하는 과정에서 네트워크가 어떻게 형성되기 시작하였으며 어떻게 안정화되면서 블랙박스화되었는지, 혹은 어떻게 해체되었는지를 인간 행위자와 비인간 행위자를 판별하고 그들의 네트워크 궤적을 기술(description)함으로써 네트워크를 재구성할 수 있다(홍성욱, 2010). 그러나 앞서 기술되었듯이 네트워크를 기술하는 방법은 학자마다 다르며, 본 연구에서는 연구문제의 성격에 따라서 다음과 같이 다른 분석방법을 사용하고자 하였다. 각 연구문제에 대한 자료 분석방법은 다음에서 상세히 기술하고자 한다.

1) 프로그램 준비 및 실행 단계에서 행위자-네트워크 구성과정 분석

연구자는 첫 번째 연구문제와 관련한 자료는 번역 과정을 체계화하여 분석한 대표적인 학자인 Callon(1986)의 번역 과정 4단계를 사용해서 분석하고자 하였다. 연구자가 연구 문제를 설정하는 것부터 다른 행위자를 포섭하여 연구를 진행하는 전체 과정에서의 번역을 보여준 칼롱의 가리비 연구 사례는, 본 연구에서 연구자가 문제의식을 느끼고 다른 행위자들을 포섭하여 수업을 준비하고 실행하는 과정 전체와 비슷하다. 이에 수업을 준비하고 참여자를 포섭하고 수업을 실행하는 전 과정에서의 번역을 칼롱의 번역 4단계를 분석틀로 활용하여 분석하였다. 자료를 수집하고 분석하여 연구 결과를 제시하는 과정을 자세히 기술하면 다음과 같다.

네트워크를 기술하기 위해서는 먼저 행위자를 식별해야 한다. 그러나 네트워크에 포함되는 인간과 비인간은 무수히 많으며, 네트워크가 안정된 형태를 갖추기 전에 출현했다 사라지는 행위자를 모두 다 식별할 수 없다(김환석, 2011). 이에 주요 행위자를 추적하면서 그들의 눈을 통해 연결망 구성의 과정을 해석해야 한다(김환석, 2011). 따라서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업의 필요성을 인식하고 이를 준비하기 시작한 연구자를 중심 행위자로 두고, 연결망 구축자인 디지털 테크놀로지, 교사, 학생 행위자를 주요 행위자로 식별하여 이들을 둘러싼 연결망 구성의 과정을 해석하는 것으로부터 분석을 시작하였다.

다음으로 네트워크를 구축하기 시작하는 문제제기 단계에서 문제의식을 느낀 중심 행위자가 누구인지 식별하고 중심 행위자로부터 어떤 행위자가 모집되었는지 탐색하였다. 또한, 행위자가 모집되는 과정에서 중심 행위자가 어떠한 전략을 사용해서 다른 행위자를 포섭하였는지 그 방법을 탐색하였다. 만일, 포섭된 행위자로부터 추후 다른 행위자들이 모집되었다면 그 과정도 함께 살펴보았다. 한편, 문제제기와 관련하여 의무통과점과 행위자들의 목적 혹은 이해관계가 규정된다. 먼저 주요 행위자인 연구자, 디지털 테크놀로지, 교사, 학생이 본 수업에 참여함으로써 원하는 것(목적)이 무엇인지 면담을 통해서 탐색하였다. 반면 이야기를 할 수 없는 비인간 행위자는 연구자가

다른 문헌들을 바탕으로 그 목적을 기술하였다. 이후 주요 행위자들이 해당 목적을 달성하기 위해서 꼭 통과해야 하는 지점을 식별하였다.

관심끌기 단계에서는 주요 행위자를 정의하려고 하는 다른 모든 실체가 무엇인지 식별하고, 주요 행위자와 실체 사이를 끊어내기 위한 전략 혹은 장치를 탐색하였다. 관심끌기 행위는 중심 행위자인 연구자만 행하는 것으로 한정 짓지 않았으며, 각 행위자별로 어떤 관심끌기 행위를 하는지 분류하여 탐색하였다. 또한, 그러한 행위가 수업의 어느 단계에서 작동하고 있는지 분류하여 분석하였다.

등록하기 단계에서는 조정된 각 행위자의 역할이 무엇인지, 관심끌기의 노력에도 불구하고 행위자가 네트워크에 등록되지 못하고 배반하는 사례가 무엇인지 살펴보았다. 배반이 일어나는 사례는 수집된 자료에서 어려움의 형태로 드러났으며, 어려움을 극복하기 위한 여러 방법과 전략들을 통해 우회, 중단, 구성의 과정을 탐색할 수 있다.

동원하기 단계에서는 성공적으로 등록된 행위자가 하나의 행위자인 것처럼 블랙박스를 형성하는 것이 무엇이 될 수 있는지 살펴보았다.

2) 프로그램의 개인 및 소집단 활동에서 구성되는 행위자-네트워크 및 변화과정 분석

연구자는 두 번째 연구문제와 관련한 자료를 특정한 학자의 번역 틀을 사용하여 분석한 것은 아니다. 수업 실행 과정에서 인간과 비인간 행위자들의 만남에 따라서 행위자들 간에 형성된 네트워크의 특성이 달라지며 객체의 변화도 생겨난다. 그러나 이러한 과정은 복잡 미묘하며, 짧은 시간에 순식간에 발생하기도 하며 장시간에 걸쳐 천천히 일어나기도 한다. 시간의 흐름에 따라 네트워크가 접히고 펼쳐지는 무수한 변화과정을 섬세하게 포착해서 기술하고 도식화하기에는 하나의 네트워크 도식에 다 드러낼 수 없다는 한계가 있다. 이에 연구자는 이를 극복하여 시간의 변화에 따른 행위자-네트워크 변화를 가시화시켜보려고 시도하였다. 경제학 연구에서 사용되는 네트워크 도식과 ANT 연구에서 사용된 네트워크 도식을 일부 참고하여 변용하였다.

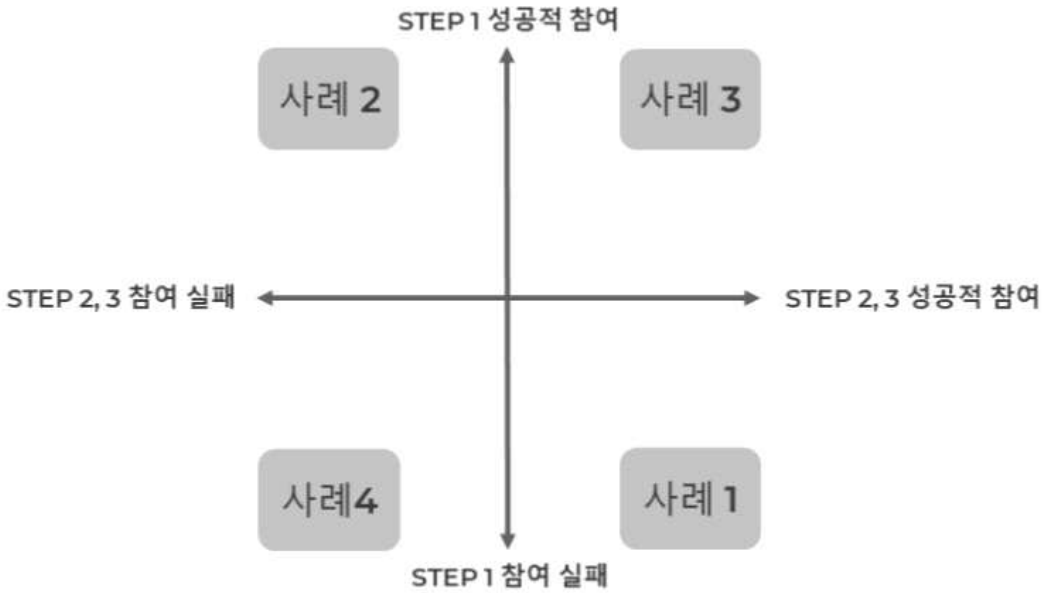
따라서, 본 연구의 <5장. 2절. 1. [그림 4-2]>와 같이 비인간과 인간 행위자의 네트워크 형성과정을 시간의 변화에 따라 상세히 기술하는 단계별 도식을 제안하고자 한다.

두 번째 연구 문제와 관련하여 본 연구에서는 개인과 소집단 활동의 비인간과 인간의 얽힘과 특성을 네 가지 사례로 기술하고자 하였다. 수업 프로그램은 STEP 1, 2, 3 세 단계로 구성되어 있으며 각 단계의 활동 내용은 다르다. STEP 1에서는 디지털 테크놀로지를 익히고 활용하여 온습도, 미세먼지, 이산화탄소와 관련된 대기 환경의 질을 측정하는 활동을 하며, STEP 2에서는 대기환경과 관련된 탐구 문제를 설정하고 디지털 테크놀로지를 활용해 관련 대기 질 자료를 수집하고 해석하는 활동을 한다. STEP 3에서는 사회적 활동을 준비하고 실천하는 단계로 탐구 활동 결과물을 바탕으로 포스터, 제안하는 글 등을 만들어 학급 밖으로 나가 사회를 변화시키는 활동을 한다. 이에 각 수업 단계별로 만나는 인간-비인간 행위자들은 달라지며, 행위자들 간에 구성하는 네트워크 역시 변화할 것으로 판단하였다. 따라서 인간-비인간 행위자들이 각 수업 단계별로 어떻게 다르게 등장하며, 각 행위자 간에 어떤 네트워크를 형성하는지 기술하고 도식화하고자 하였다.

먼저 수업 단계별로 등장한 행위자들은 다음과 같았다. STEP 1에서는 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자, 교사, 연구자, 보조교사, 학생, 과제와 관련된 행위자들이 등장한다. STEP 2에서는 모둠원, 모둠 내 역할, 보충수업, 측정 장소, 대기 환경, 디지털 테크놀로지, 기입물, 인터넷 자료, 노트북, 연구자, 교사 등이 등장한다. STEP 3에서는 모둠원, 모둠 내 역할, 기입물, 제안하는 글, 포스터, 교사, 연구자, 교육청, 회사 등의 행위자들이 등장한다. 각 개인 혹은 모둠이 수업 단계에서 ‘마주한 인간-비인간 행위자’는 조금씩 다르지만 대체로 비슷한 편이었다. 그러나, 학생별, 모둠별로 ‘연결된 비인간-인간 행위자’는 달랐으며 이로 인해 각기 다른 객체의 변화가 발생하였다.

다음으로 연결된 인간-비인간 행위자를 통해 구축한 네트워크의 특성과 변화과정을 수업 단계별로 범주화하여 [그림 2-2]와 같이 두 가지 축으로 나누었다. 세로축은 STEP 1에서 초기에 설정한 OPP 통과 여부를 기준으로

성공적 참여 여부를 설정하였다. 만일 초기 OPP를 통과하게 된다면 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 학생 행위자가 블랙박스 형성에 성공하였음을 의미한다. 가로축은 STEP 2, 3의 소집단 활동에서 과학탐구와 사회적 행동을 준비 및 실행하는 과정에 자발적이며 적극적인 행위성을 보이는 유무에 따라 성공적 참여 여부를 설정하였다. STEP 2와 STEP 3은 활동 내용은 다르나, 모둠 활동으로 진행된다는 점은 동일하며 STEP 2와 STEP 3은 동시다발적으로 행해졌으므로 STEP 2와 STEP 3에서의 객체변화는 경계의 구분 없이 일어났다고 가정하였다. 다만 네트워크의 형성과정은 분석적으로 분리하여 살펴보았다.



[그림 2-2. 수업 단계별 네트워크 구성 분류]

이를 위해 먼저, 수집된 데이터를 활용하여 초기 OPP를 통과한 학생과 그렇지 못한 학생을 먼저 식별하였다. 그 후 STEP 2, 3 활동에 성공적으로 참여한 학생과 그렇지 못한 학생을 분류하였다. 수집한 자료를 통해 활동 단계에서의 네트워크 과정이 명확히 보이는 학생, [그림 2-2]의 서로 다른 면에 위치하는 학생을 선정하였다. 이후 각 사례 학생을 다음과 같이 수업

단계별 네트워크 구성과 변화과정을 탐색하였다.

STEP 1은 디지털 테크놀로지에 대한 이해를 하는 단계이므로, 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자를 중심에 두고 네트워크를 살펴보았다. 총 12차시 동안 시간에 따라 네트워크의 변화과정을 기술하고자 행위자들이 어떻게 연결되었으며 그 관계가 점차 안정적으로 변화하는지 혹은 불안정하게 연결되는지 탐색하였다. 이 과정에서 학생이 디지털 테크놀로지와 관계를 안정적으로 구축하기 위해 전략적으로 관계를 맺은 것은 무엇인지, 그리고 그 전략이 기존 학습 네트워크와는 어떻게 다른지 비교해서 탐색하였다. 만약 학생이 디지털 테크놀로지와의 관계가 불안정하게 바뀌었다면 관계 변화에 영향을 미친 행위자 혹은 네트워크가 무엇인지 탐색하여서 순차적으로 기술하였다. 또한, 가정에서도 해당 단계 수업을 위한 과제 활동이 이루어졌으므로 가정환경에서 어떻게 네트워크를 구성했는지 탐색하였다. 이후, 가정환경의 네트워크가 추후 학생-디지털 테크놀로지와의 관계에 어떤 영향을 미치는지 탐색하였다.

STEP 2는 모둠에서 디지털 테크놀로지를 활용하여 과학적 탐구를 하는 과정으로, 모둠원, 디지털 테크놀로지, 모둠 역할, 기입물, 대기 환경이 공통으로 포함된다. 이에 모둠원들의 모둠 내 역할은 무엇이며, 모둠 내 역할과 관련된 행위자와의 관계는 어떠한지 먼저 탐색하였다. 그 후 모둠원들끼리 어떠한 관계를 이루면서 탐구 활동이 이루어지는지 살펴보기 위해서 측정이가 수집한 기입물을 모둠원들이 함께 만나는지 탐색하였다. 기입물을 만나기 전과 후의 모둠 내 탐구 과정의 변화가 생겼다면 그 과정을 자세히 탐색하였으며, 변화가 생기지 않았다면 그 과정 역시 탐색하여 기술하고자 하였다. 즉, 모둠 활동은 모둠원들 간의 상호작용이 중요하므로 탐구 활동 과정에서 상호작용이 어떻게 이루어지는지 행위자들을 둘러싼 관계를 잘 포착하고자 하였다.

STEP 3은 모둠에서 수집된 데이터를 활용해서 사회적 행동을 준비하고 실행하는 단계로 기입물, 모둠원, 모둠 내 역할, 사회적 행동을 위한 기입물(제안하는 글, 포스터), 학급 밖 행위자들이 공통으로 포함된다. 이에 각 모둠에서 모둠원들이 어떤 역할을 맡고 있는지, 모둠의 역할과 관련된 행위자와

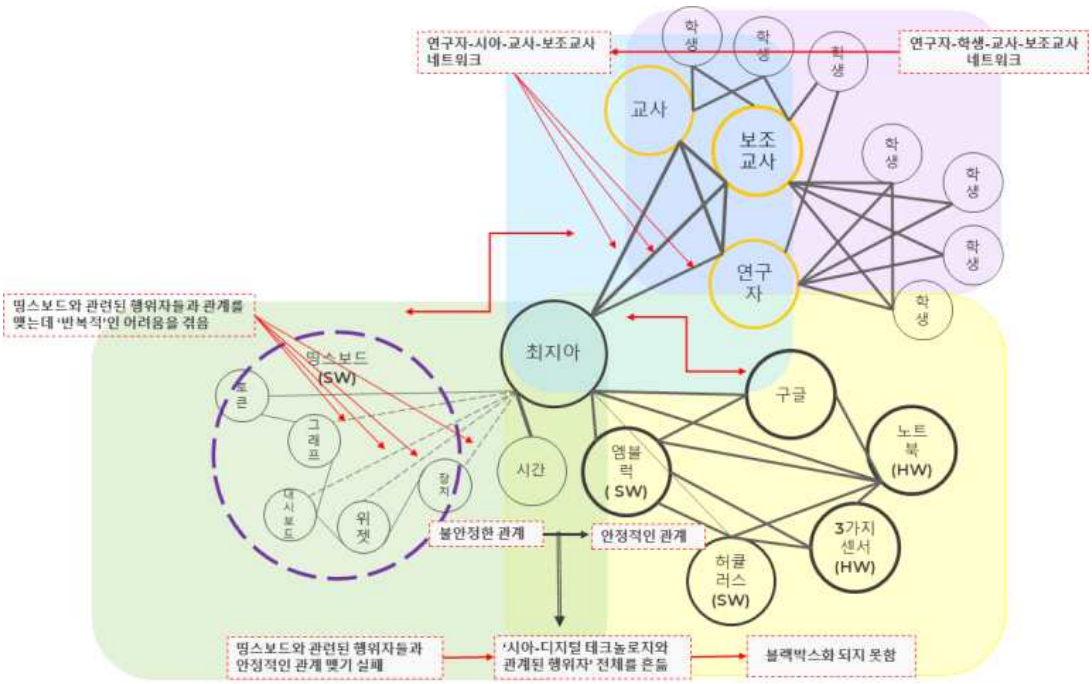
의 관계는 어떠한지 먼저 탐색하였다. 그 후 사회적 행동을 위한 기입물과 관계를 이루는 모둠원은 누구인지 탐색하였다. 기입물을 둘러싸고 모둠원들끼리 상호작용이 이루어진다면 그 관계를 잘 포착하고자 하였다. 또한, 네트워크를 배반하는 사례가 있다는 배반을 하고 다른 어떤 행위자와 연결되었는지, 그 과정이 자발적인지 혹은 다른 행위자와 네트워크로 인한 영향인지 탐색하였다. 마지막으로 학급 밖 행위자들과 학생들이 만나는 과정을 자세히 들여다보면서 사회적 행동을 하는 과정을 탐색하였다. 또한, 해당 활동을 통해서 받은 답변과 의견들에 대한 반응을 살펴 결과물과 어떻게 연결되는지 탐색하였다.

이를 위해서 연구자는 교사가 독립적으로 진행한 2차시 분량의 수업을 제외한 나머지 수업에 모두 참여하여 외부자의 시선(etic)에서 포착되는 인간과 비인간 행위자 및 네트워크를 관찰하고 기록하였다. 또한, 연구 참여자와의 면담을 통해서 내부자의 시선(emic)에서 포착되는 인간과 비인간 행위자 및 네트워크를 관찰하고 기록하였다. 외부자의 시선과 내부자의 시선에서 포착하는 인간-비인간 행위자와 이들이 구성하는 네트워크 과정은 다를 수 있다. 이에 면담뿐만 아니라 학생들의 활동자료, 교사 성찰일지, 참여 관찰 일지, 선행연구 등을 다각적으로 수집하여 지속적인 교차분석을 실행하고자 하였다. 즉, 연구자는 이러한 과정을 거쳐 추출된 에믹코드와 에틱코드를 순환적이며 지속적으로 비교하여 개방 코드(opnen coding), 축 코드(axial coding), 선택 코드(selective coding)를 구성하였다(Strauss, 1987). 자료의 분석과 해석은 연구가 종료되는 시점까지 지속적-순환적으로 이루어졌다.

한편, ANT에서 네트워크는 인간과 비인간을 동등한 평면에 두고 분석하며, 결과가 아닌 끊임없이 변화하는 과정이다. 또한, 인간이나 사물의 본성은 정해져 있는 것이 아니라 어떻게 배치되는지에 따라 다르게 발현된다. 주요 행위자인 연구자, 디지털 테크놀로지, 교사, 학생들은 다른 수업 단계의 상황에 놓일 때마다 각기 다른 존재로 발현되었다. 즉, 네트워크는 시간에 따라 계속 변화하여 이를 통시적인 관점에서 살펴볼 필요가 있다. 그러나 네트워크의 역동적인 변화 모습을 지면에 보여주기에 힘들다는 한계가 있다. 이에 다음과 같은 방법으로 결과가 아닌 인간-비인간 네트워크를 변화과정 과정을

도식화하고자 하였다.

먼저, [그림 2-2]에서 각 유형에 해당하는 대표적인 학생 사례를 식별한다. 그 후 각 수업 단계에서 교수학습과 관련된 인간-비인간 행위자를 식별하고, 인간-비인간 행위자 사이의 관계를 나타내는 선을 그려 관계망을 도식화한다.



[그림 2-3. 사례 1 STEP 1 네트워크 구성과정 도식 중 일부]

행위자끼리 연결될 때는 실선(———, solid line)으로, 처음에 연결되었던 관계가 끊어졌을 때는 1점 쇄선(— · — · —, dash-single dotted line)으로 표현하였다. 행위자 사이에 관계가 시간에 따라 연결되거나 끊어지는 것을 반복할 때에는 파선(— — —, dashed line)으로 나타냈다. 행위자들이 연결되는 것은 ANT에서 네트워크가 형성되는 시작지점이므로 의미 있게 바라보아야 할 지점이다. 또한, 행위자 사이에 연결이 끊기거나, 끊어졌다 연결되는 것을 반복하는 것은 네트워크가 단절되거나, 연결되었다 단절되는 것을 의미하며, 이는 네트워크 변화를 보여줌으로써 의미 있게 바라보아야 할 지점이다.

행위자 사이에 연결된 네트워크가 지속적이고 안정적일수록 실선의 굵기를 더 굵게 변화시켜(———, ———, ———) 표현했다. 즉, 시간의 흐름에 따라 행위자 사이의 연결이 지속적이고 안정적일 때는 굵게, 그렇지 못할 때는 가늘게 변화시켰다. 행위자 사이에 연결된 선의 굵기가 굵어지거나 가늘어지는 '변화'로 인해서 행위자의 존재가 변화하거나 혹은 행위성 발현될 가능성이 커진다. 예를 들어 [그림 2-3]에서 시간이 지날수록 지아와 띵스보드(SW)와 관련된 행위자와의 네트워크가 불안정해지면서 지아와 다른 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자 네트워크 전체를 흔들어버리는 행위성을 발현하였다. 즉, 행위자 사이에 연결된 관계가 불안정해지는 것이 해당 네트워크의 행위성이 작아진다는 것을 의미하는 것이 아니다. '네트워크의 변화'로 인해서 반복적으로 행위성을 성취할 수도 있으며, 반대로 행위성이 약해질 수도 있다. 한편, 행위자를 둘러싼 원의 크기는 사례로 선정된 학생 행위자와의 관계가 지속적이고 안정적일수록 크고 굵게 표현하였다.

도식에서 색깔로 영역화되어 있는 부분은 다양한 인간-비인간 행위자를 포함한 하나의 단위로서 행위성을 발현하는 하나의 행위자이자 네트워크로 설명할 수 있다. 진분홍색 영역은 기입과 관련된 네트워크이다. 빨간색 점선(⟶)과 사각형 형태(⬚)는 네트워크의 관계를 설명하는 도식이다. 한편, 인간과 비인간은 동등한 존재에 위치하므로 동일한 원의 형태로 나타냈다. STEP 1에서 행위자를 둘러싼 원의 색깔이 주황색이면 문제를 해결하기 위한 전략으로서 관계를 맺는 대상이다. STEP 2, 3에서 주황색 원은 감정, 정체성에 직접 영향을 주는 행위자이다. 초록색 원은 다른 행위자에게 제약을 미치는 행위자이다.

3. 연구 신뢰도 및 타당도 확보 방안

질적 연구에서는 분석된 결과의 타당도와 신뢰도를 높이기 위한 전략이 학자마다 조금씩 다르다. 본 연구에서는 분석된 결과의 신뢰도와 타당도를 높이기 위해서 다음과 같은 방안을 활용하였다.

먼저, 현상을 살펴보기 위해 면담, 관찰, 활동지 등의 다원화된 자료 수집을

이용한 삼각검증법을 활용하여 분석의 타당성을 높이고자 하였다(Denzin, 1970). 연구자가 현상을 심층적으로 이해할 수 있는 단서인 자료가 풍부할수록, 그리고 자료가 왜곡 없이 수집되었을 때 해석의 신뢰도를 높일 수 있다(Yin, 2003). 이를 위해 연구자는 매 수업에 참여하여 수업을 관찰하였으며, 수업 전, 중, 후에 이루어진 반구조화된 심층 면담자료, 교사 성찰일지, 수업 동영상 녹화 및 녹음자료, 학생들의 학습 결과물, 연구자의 참여 관찰일지 등을 수집하였다. 수집된 다양한 자료는 서로 순환적이고 지속적으로 비교하여서 내용이 일치하는지 확인 및 검증하였다. 또한, 다음의 방법으로 얻은 해석과도 비교를 통해서 검증하는 작업을 거쳤다.

둘째, 연구 참여자 확인법(member check)을 활용하였다. 분석한 초안은 연구 참여자인 강 교사가 내용 검증을 하여 연구자가 외부자적 시선과 내부자적 시선으로 바라보는 데 있어 해석의 오류가 발생하지 않도록 연구 결과를 수정하여 불일치를 줄여갔다. 또한, 연구자의 표현이 정확하고 참여자의 견해를 빠트리거나 임의로 추가된 것은 없는지 확인하였다.

셋째, 동료 검토법(peer examination)을 활용하였다. 과학교육 전문가, 과학교육 전공 대학원생, 과학교사로 구성된 연구 그룹 세미나에서 발표 및 토의 과정을 거쳐 범주화한 자료를 반복적으로 비교하여 자료 해석을 누적적으로 검토해 분석의 타당도와 신뢰도를 높이고자 하였다. 과학교육 전문가 집단세미나에서 연구 개요 및 결과에 대해 4회 발표하여 질의응답과 토의 과정을 거쳐 분석을 정교화하고 연구 결과의 신뢰도와 타당도를 높였다. 또한, ANT를 기반으로 하여 교사 수업 실행을 연구한 하 연구자와 함께 연구 결과를 검토하였다.

제 4 장 프로그램 준비 및 실행 단계에서의 네트워크 구성과정

본 장에서는 ANT의 관점에서 Callon(1986)이 제시한 번역의 4단계(문제제기, 관심끌기, 등록하기, 동원하기)를 중심으로 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 준비하고 실행하기까지의 과정을 기술하였다([표 3-1]). 이를 위해 연구자가 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 참여자를 모집하고 준비하는 단계부터, 과학적 탐구, 사회적 행동을 하는 과정까지의 인간-비인간의 네트워크 형성과정을 살펴보았다.

[표 3-1. 수업 단계별 번역 과정]

<table>
<tr><th>STEP 0</th><th>STEP 1</th><th>STEP 2, STEP 3</th></tr>
<tr><td colspan="3">←---문제제기---→
1) 연구자 → 5명의 교사
(1명의 강 교사 선정)
2) 강 교사 → 21명의 학생</td></tr>
<tr><td colspan="3">←-----------관심끌기----------→
1) 연구자 (교사, 보조교사와 함께) → 교사, 학생, 디지털 테크놀로지
2) 디지털 테크놀로지 → 학생
3) 교사 → 학생, 디지털 테크놀로지, 연구자</td></tr>
<tr><td></td><td>등록하기</td><td>등록하기</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>동원하기</td></tr>
</table>

* 번역의 네 단계는 항상 선형적으로 일어나는 것은 아님.

* 번역의 네 단계는 분리된 것이 아님.

제 1 절 문제제기

1. 문제제기

문제제기는 번역의 첫 번째 단계로, 네트워크상의 한 행위자가 기존 네트워크에 의문을 제기하며, 네트워크의 수정과 변화의 필요성을 제기하면서 기존 네트워크를 교란하는 단계이다. 인간 행위자인 연구자는 4차 산업혁명 시대와 급변하는 미래사회를 대비하기 위한 인재를 양성하기 위해 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육이 필요함을 인식하였다. 이에 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육이 초등학교 현장에서 잘 실행되기를 희망하면서 기존 교수·학습 네트워크를 교란하고자 하였다. 기존 네트워크란 교육부에서 제정한 초등학교 교육과정에 따라 교육현장에서 이루어지고 있는 비교적 안정적인 교수학습 네트워크를 의미한다. 연구자는 문제제기를 통해 기존의 교수학습 수업이 유일한 모델로 치환되는 것, 즉 블랙박스화된 것을 환기하고 제동을 하는 행위를 하였다(김진택, 2012). 이를 위해 연구자는 교사에게 기존 교수·학습 방법이 아닌 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육이라는 새로운 형태의 수업이 필요함을 제안하면서 문제제기를 수행하였고, 번역은 시작되었다.

연구자가 예비 연구 참여자들에게 문제제기를 할 시기는 1학기 수업이 끝날 무렵으로 이미 국가, 교육부, 교육과정, 교사, 학생, 학교, 관리자, 학부모, 학습 교구, 학년 학습 계획 등이 서로 접속하여 비교적 안정된 네트워크를 구축한 상태였다. 연구자는 다양한 교수·학습 맥락을 가지는 H, M, O, P, R 학교의 교사에게 연락하였다([표 3-2]). 연구자는 각 교사에게 문제제기를 위해 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업이 학교현장에서 실행될 필요성과 본 수업을 통해서 교사가 얻을 수 있는 이점 등에 관해 이야기하였다. 연구자의 이야기는 모든 교사의 관심을 끄는 데 성공하지는 못하였지만, H 초등학교 강 교사, M 초등학교 김 교사, O 초등학교 권 교사의 관심을 끄는 데 성공하였다. 세 명의 교사는 수업에 관심을 가지며 해당 수업에 참여하고자 하는 의사를 비쳤다. 그러나 D 고등학교에서 진행된 연구에서 교수·

학습 과정 중 번역에 실패하는 데 주된 영향을 미쳤던 비인간들 (예: COVID-19, 결석, 학생 수 등)을 고려하였을 때, H 초등학교가 교수 · 학습을 하는 데 가장 적합하다고 판단하였다. D 고등학교에서 실시한 연구에서는 학생 수가 많아 디지털 테크놀로지를 익히는 단계 혹은 탐구 활동 과정에서 학생이 직면하는 어려움을 해결하기 위한 도움을 많이 제공해주기 힘들었다. H 초등학교는 학생 수가 총 21명으로, 관심을 보인 세 학교의 학급 중 가장 인원이 적고 학생들이 배움에 적극적이고, 활발한 특징을 가지고 있어서 가장 적합하다고 판단하였다. 또한, 프로젝트형 수업을 준비하고 재구성하여 실행할 때 시간과 노력이 많이 소요된다는 것을 고려할 때 H 학교 교사의 업무가 상대적으로 적고, 전담 교사가 아니라 담임 교사가 직접 과학 수업을 하고 있어 수업을 진행하기에 가장 적합하다고 판단하였다.

이에 연구자는 H 초등학교의 강 교사를 해당 수업의 관계망에 확실히 들어올 수 있도록, 강 교사의 관심을 끌기 위한 지속적인 노력을 하게 된다. 이는 번역의 두 번째 단계인 관심끌기에서 자세히 기술된다.

[표 3-2. 관심끌기 대상 목록 및 학교별 교수 · 학습 상황]

초등학교 및 교사	교수 · 학습 상황
H 초등학교 강 교사	• 교사: 배움에 열정적인 편 • 학생: 21명 • 학교: 혁신학교. 담임 교사가 과학 수업을 함. 업무전담 교사가 있어서 담임 교사는 수업 준비를 중점적으로 하면 됨.
M 초등학교 김 교사	• 교사: 석사학위 소지. IT 교육에 적극적임. 부장교사 • 학생: 26명. 다문화 학생이 다수
O 초등학교 권 교사	• 교사: 교육학과 대학원 졸업 학기 • 학생: 28명
P 초등학교 이 교사	• 교사: 본인이 해당 수업을 직접 하는 것에 대한 부담감이 큼 • 학생: 28명 • 학교: 메이커 선도학교로 3억 지원을 받고 있음. 동 학년에서 코딩교육을 시도했다가 너무 어려워서 포기한 상태임.
R 초등학교 박 교사	• 교사: 학년 부장과 기능부장을 겸임 • 학생: 6명 • 학교: 학년별 1학급의 소규모 학교. 과학 교과는 전담 교사가 진행.

한편, 본 수업에서 디지털 테크놀로지라는 비인간 행위자가 시민과학을 위한 데이터를 측정, 수집, 저장, 수치화, 그래프화 해서 제공한다는 측면에서 주요한 행위자가 된다. 이에 연구자는 본 프로그램의 준비단계에서부터 실행 단계까지 디지털 테크놀로지를 적극적으로 교수·학습 상황에 끌어들였다. 디지털 테크놀로지라는 비인간 행위자는 하나의 행위자로 보일 수 있으나 디지털 테크놀로지를 이루고 있는 비인간 행위자들은 <3장. 1절. 3. 2) 수업 프로그램 및 진행>에 기술되어 있듯이 매우 다양하다. 디지털 테크놀로지 행위자는 본 연구의 STEP 1뿐만 아니라 STEP 2, 3에서도 중요한 역할을 하지만, 초등학교 교수·학습 상황이 낯선 비인간 행위자이다.

연구자는 교사와 디지털 테크놀로지를 대상으로 문제제기를 하였지만, 학생을 대상으로 문제제기를 하지 않았다. 연구자의 문제제기는 강 교사에게 성공적으로 이루어졌고, 강 교사는 연구자를 대신하여 학생들을 해당 수업에 참여하도록 수업 프로그램의 목적과 취지 등에 대해 홍보하며 자신의 학급 학생들을 수업에 참여시켰다. 즉, 연구자로부터 시작된 문제제기는 강 교사를 포섭하였고, 강 교사는 담임 교사이자 문제제기에 다음과 같이 공감한 행위자로서 해당 수업과 기존 수업과의 차별성을 이야기하며 학생들에게 문제제기를 한 것이다.

교사: 그리고 코딩이라는 게 또 중요하잖아. 애들이 또 알고 부모들도 아니까. 미래에 이제 필요한 거라는 걸 다 알고는 있을 거야. 요즘에 워낙 (교육과정이나 교과서 등에서) 나오니까...

교사: 애들한테 솔직히 엄청나게 이거 되게 좋은 기회지. 사실 다른 애들은 컴퓨터를 만져보지도 못하고 올해 COVID-19 때문에...

(전화 면담 중)

강 교사는 코딩의 위치가 교사뿐만 아니라 학생과 학부모님도 인정할 만큼 중요해짐을 이야기하면서 해당 수업의 필요성에 대해서 공감하였다. 이에 강 교사는 연구자처럼 인간 행위자와 비인간 행위자를 한자리에 모으고 포섭하는 중요한 행위자로서 임무를 수행하였다. 행위자를 가능한 한 많이 포섭

해 해당 프로그램의 교수·학습 상황의 지지기반을 확충하는 문제제기의 과정이 연구자로부터 시작되었지만, 강 교사에 의해서 확장되어 행해졌다. 네트워크를 건설하는 행위자가 연구자에서 강 교사로 위임되었다. 이러한 과정을 거친 문제제기가 강 교사의 학급에서 기존에 형성된 교수·학습 관계망에 침투하기 시작하면서 그들의 네트워크는 조금씩 흔들리기 시작하였다. 일반적인 수업 혹은, 교육 연구에서는 대개 교사가 주축이 되어서 행위자들을 포섭하고자 문제제기를 한다. 그러나, 본 연구에서는 연구자에서 시작된 문제제기가 강 교사로 이동하였고 둘이 함께 동맹을 맺으며 행위자들을 포섭하기 위해 문제제기를 위해 노력했다는 특징을 지닌다. 두 행위자는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업에 참여하고자 하는 주요 행위자들에게 성공적으로 문제제기를 하였다.

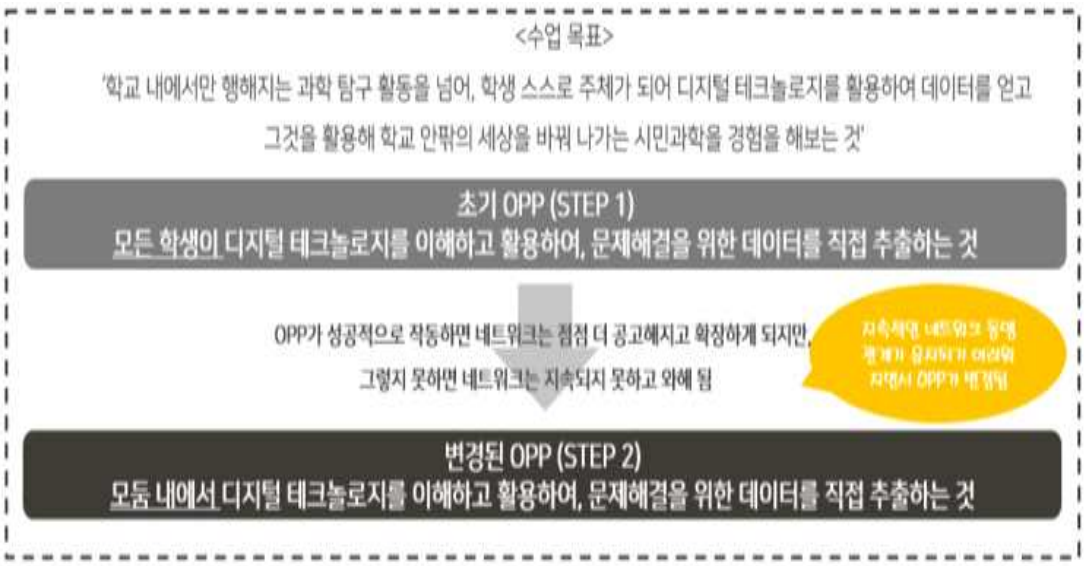
2. 의무통과점 설정

한편, 교란된 네트워크의 질서 재정비를 위해서 네트워크의 행위자들이 특정한 행위 지점을 마치 의무적으로 통과하게 만들어 네트워크를 만들려고 노력하게 된다. 그 지점을 ANT에서는 의무통과점(point de passage obligé 혹은 obligatory passage point)이라고 한다. 기존의 네트워크를 교란하여 다른 행위자를 자신의 네트워크에 포섭하는 과정에서 OPP를 만드는 일이 번역 과정의 핵심이며, 관련된 행위자들은 새로운 질서를 수립하기 위한 목표나 기준점인 OPP를 중심으로 동원되고 방향이 정해진다(김진택, 2012; 장대익, 2014). 네트워크의 행위자들은 각각의 이해관계를 지니고 있으므로 쉽게 순종하기보다는 까다롭게 저항한다(김환석, 2011). 이에 OPP를 둘러싼 그들의 동맹이 각자에게 이익을 줄 수 있다는 것을 인식해야 한다.

본 연구에서 문제제기에 성공한 연구자와 강 교사는 '학교 내에서만 행해지는 과학탐구 활동을 넘어, 학생 스스로 주체가 되어 디지털 테크놀로지를 활용하여 데이터를 얻고 그것을 활용해 학교 안팎의 세상을 바꿔 나가는 시민과학을 경험해보는 것' 을 수업의 목표로 수립하였다([그림 3-1]). 이에 본 연구의 OPP를 '모든 학생이 디지털 테크놀로지를 이해하고 활용하여 문제

해결을 위한 데이터를 직접 추출하는 것’으로 설정하였다. 즉, ‘모든 학생’이 디지털 테크놀로지를 이해하고 활용해 문제 해결을 위한 데이터를 직접 추출하는 것이, 각 행위자의 이익 혹은 목표달성을 위해 필수적으로 통과해야 할 의무통과점이 되었다. 연구자는 이를 중심으로 디지털 테크놀로지, 교사, 학생, 연구자가 공고히 네트워크를 형성할 것이라 기대하였다.

2015 개정 교육과정에서는 초등학교 5~6학년을 대상으로 실과 과목의 ICT 단원(12시간)에서 소프트웨어(코딩)에 관한 기초교육을 시행하는 것이 추가되었다. 2019년부터 학생들은 코딩 프로그래밍을 체험할 수 있으며, 학생들이 정보 윤리 의식을 함양하도록 하는 것이 주요 개편 방안이 되었다. 그러나 본 연구에서는 교육부에서 디지털 테크놀로지에 대한 내용 지식만을 얻거나 경험해보는 것을 목표로 하는 것과는 다르다. ‘시민과학 활동을 하기 위하여’ 디지털 테크놀로지를 수단으로써 학습하고 활용할 것이라는 점에서 차이점을 지닌다. 본 연구에서는 수업의 방향성과 목적을 잘 고려하여 OPP를 설계하고, 각 행위자가 OPP를 지나도록 설계되었으며, OPP를 지나야 각 행위자가 원하는 이익을 얻을 수 있음을 인식하게 하여 행위자들이 OPP를 둘러싼 동맹을 맺을 수 있도록 하였다.



[그림 3-1. 수업 목표, 초기 OPP, 변경된 OPP]

연구자, 디지털 테크놀로지, 교사, 학생 행위자 모두가 OPP를 통과하면서 네트워크의 행위자로 포섭되며 동맹을 구성하게 된다. 모든 행위자가 교수학습 네트워크에서 적절히 위치하고 역할을 수행할 경우 네트워크에 행위자가 등록되지만, 특정 행위자가 네트워크에 연결되는 것이 약해지는 경우 이를 안정시키기 위한 추가적인 포섭과정이 필요하다. 중심 행위자인 연구자와 교사는 교수ㆍ학습 과정에서 지속적으로 행위자들의 수행에 따른 다양한 방식으로의 네트워크 행위자 간 재연결을 시도하였다.

그러나 본 연구에서는 의무통과점이 성공적으로 작동하여 네트워크가 점점 더 공고해지고 확장하게 되는 것이 아니었다. 여러 가지 방법으로 행위자 간의 재연결을 시도하기 위한 관심끌기 장치가 행위자의 관심을 지속적으로 끄는 데 실패할 위기에 직면하였다. 즉, 의무통과점이 성공적으로 작동하지 않으면서 네트워크가 지속되지 못하고 와해 될 위기에 처했다.

여러 배반의 사례로 인하여 디지털 테크놀로지, 연구자, 교사, 학생이 회의감을 드러내기 시작하였다. 연구자와 강 교사는 디지털 테크놀로지와 학생의 의심이 커지고 있다는 사실에 대처해야 했다. 또한, 강 교사 스스로도 자신에게 의구심이 드는 것을 해결해야만 했다. 각 행위자는 많은 어려움을 극복하고 계속 이 수업을 해나가는 것이 나에게 그만한 가치가 있는 것인가(교사), 실패를 반복하며 흥미를 느끼지 못하는 이 활동을 지속해서 측정에 꼭 성공해야만 하는가(일부 학생), 학교 밖에서 내가 편하게 잘 사용되고 머무를 수 있는 공간에서 학교라는 공간에 굳이 들어와서 사용되어야 하는가(디지털 테크놀로지) 라는 의문을 가지고 있었다. 이에 연구자와 강 교사는 초기에 설정한 OPP를 수업 실행 과정 중에 변경하였다. 초기에 설정한 OPP는 강 교사의 주도하에 변경되었으며 STEP 1에서 STEP 2로 넘어가는 과정에서 변경되었다.

교사: 일단은 4명은 완벽 마스터했는데… 너무 손을 들어서 혼자 감당이 안 되더라고. (모두 다 말고) 최소 10명만 완벽하게 측정할 줄 알면 좋겠어. 탐구 주제 정하고 토의하고 그러는 건 애들이 잘할 것 같아. 그런데 디지털 테크놀로지 다루는 게 최대 난관이야.

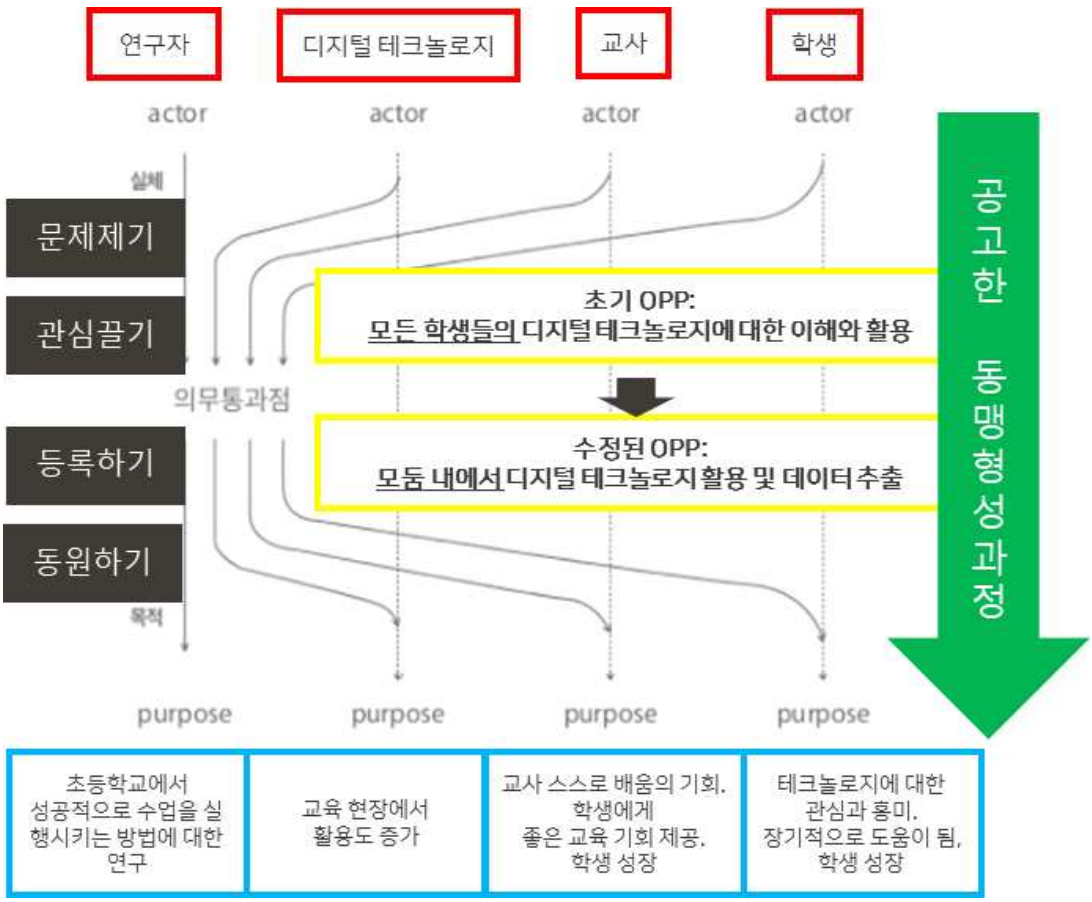
(7-8차시 이후 교사 면담)

STEP 1에서 디지털 테크놀로지를 둘러싼 행위자와 학생 행위자 간에 동맹 관계를 맺는 데 어려움을 겪는 사례가 많았으며, 디지털 테크놀로지가 자칫 애물단지로 전락할 수 있는 상황에서 학생뿐만 아니라 교사와의 동맹도 흔들리기 시작하였다. 이에 수업의 목표는 그대로지만, OPP는 '모둠 내에서 디지털 테크놀로지를 이해하고 활용하여 문제 해결을 위한 데이터를 직접 추출하는 것'으로 수정되었다. OPP가 변경되면서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 관계 맺기에 실패한 학생들이 디지털 테크놀로지 기기를 다루지 못하면 다음 단계로 넘어갈 수 없는 의미 없는 존재로 머무르지 않게 되었다. 디지털 테크놀로지를 잘 다루지 못 하더라도 모둠 내에서 시민과학을 위해 나(학생)도 어떤 특정 역할 수행을 할 수 있고 기여할 수 있는 존재감을 지닌 구성원으로 치환되었다. 수업에 참여하는 것 자체가 학생들에게 더는 부담스럽거나 네트워크에서 배반하고 싶어지는 어려운 공간으로 다가가지 않을 수 있게 되었다. 또한, 교사에게도 '모든' 학생이 기기를 잘 다룰 수 있도록 시간을 더 많이 할애해야 한다는 부담을 줄여주면서, 다음 STEP 2로 나아갈 수 있도록 해주었다. 연구자 역시 의무통과점을 행위자들이 지나가면서 순조롭게 등록하기 위해 어떤 노력을 더 해야 할지, 추가적인 관심끌기 전략을 사용해야 할지 고민해야 할 부담이 줄어들었다. 또한, 디지털 테크놀로지가 교육환경에서 영역적 확장을 할 수 있도록 하였다. 이러한 점들은 새로운 의무통과점이 보장하고 변화시킨 것들이다([그림 3-1]). 변경된 OPP는 주요 행위자들이 쉽게 통과할 수 있는 지점으로, 행위자들 간에 지속적인 동맹 관계를 유지할 수 있도록 하였다. 그러나, 실제 모둠 안에서 구성된 네트워크 양상은 상이했다. 이는 추후 5장에서 다룰 예정이다.

한편, 네트워크를 둘러싼 주요 행위자인 연구자, 교사, 학생, 디지털 테크놀로지가 변경된 OPP인 '모둠 내에서 디지털 테크놀로지를 이해하고 활용하여 문제 해결을 위한 데이터를 직접 추출하는 것'을 통과하고, 각 행위자와 동맹 관계를 맺는 것이 자신에게 유의미한 이익 혹은 이해관계를 제공할 수 있음을 인식해야 한다. 각 행위자의 서로 다른 입장과 기대이익은 다음 [그림 3-2]와 같았다.

먼저, 연구자는 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 초등학

교에서도 성공적으로 실행할 방안에 대한 지식을 증대하는 것을 목적으로 하였다. 즉, 이전에 연구되지 않았던 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 적용함으로써 이에 대한 유용한 지식을 향상하고 싶었다. 이를 통해서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 교육에 대한 전문가가 될 기회를 얻을 수 있다고 기대하였다. 또한, 교사로서도 앞으로 수업 현장에서 관련 수업을 어떻게 적용하고 도입할지에 관한 경험적 지식을 얻을 것이라고 희망하였다.



[그림 3-2. 각 주요 행위자들과 행위자들의 목적, OPP의 변경 및 번역 과정]

디지털 테크놀로지는 초등 교육현장에 잘 정착되어 자신의 영역을 확장할 기회를 얻고자 하는 것을 목적으로 삼을 것으로 판단하였다. 2015년 개정

교육과정에서 소프트웨어 교육이 의무화되면서 코딩교육이 학습의 주제 중 하나로 포함되었고, 2022년 8월 22일 교육부가 발표한 디지털 인재 양성 종합 방안에는 2025년부터 초등학교와 중학교에서 코딩교육을 필수화하기로 하였다. 이처럼 최근에는 디지털 테크놀로지와 관련된 여러 교육 정책들이 발표되고 있으며 교육현장에서도 도입되는 중이다. 그러나 이는 최근의 움직임으로 기존에는 코딩, AI, 빅데이터와 같은 디지털 테크놀로지는 개발자, IT 전문가, 공학 전문가, 과학자 등 학교 밖 여러 분야에서 주로 사용되어왔다. 이에 디지털 테크놀로지는 학교 밖이 아닌 학교 안에서도 활발히 사용되기를 원할 것이다. 이에 디지털 테크놀로지가 도입되는 시작점인 초등학교 과학 수업에서 자신이 빈번하게 잘 사용된다면 그 목적을 달성한다고 볼 수 있다. 교사와 학생들과의 네트워크에서 디지털 테크놀로지는 침묵하며 관계를 유지하지만, 디지털 테크놀로지를 통해 얻은 결괏값이 교수·학습 상황에서 유의미한 데이터로써 잘 사용되는 여러 긍정적 사례를 통해 말을 하는 행위자가 될 수 있다. 그 값을 통해서 디지털 테크놀로지가 교육현장에서 사용되기 용이한 존재가 될 수 있는지 평가받게 되는 기회를 얻을 수 있다. 이를 통해 학교 밖에서 학교 안으로 자신의 역할과 영역을 확장할 기회를 얻는다.

다음으로, COVID-19로 인한 하이브리드형 교육의 도입과 같이 교육 혁신의 물결 속에 위치한 강 교사는 연구에 참여함으로써 교육현장에서 새롭게 도입되고 있는 코딩 수업, 시민교육 등 교육계에서 지향하는 방향의 수업을 직접 경험해볼 수 있다는 것을 기대한다. 또한, 이 과정에서 연구자의 도움을 통해 자신의 배움의 기회를 조금 더 쉽게 얻을 수 있다고 기대하였다. 학생들에게는 그동안 사용해보지 않았던 디지털 테크놀로지를 이용한 시민과학 수업이라는 새로운 형태의 교육 기회를 제공할 수 있음을 기대했다. 단기적으로는 학생들이 다양한 경험을 쌓을 기회를 제공하고, 장기적으로는 디지털 테크놀로지를 활용한 과학적 탐구 활동에 그치지 않고 시민과학자로 성장할 기회를 제공하기를 기대하였다.

마지막으로 학생의 목적은 다른 행위자처럼 처음부터 뚜렷하지는 않았다. 담임 교사가 운영하는 수업이므로, 중·고등학교 자율동아리처럼 학생이 주체적이면서 뚜렷한 목적을 가지고 프로젝트 수업에 참여한 것은 아니었다.

그러나 첫 수업에서 15명의 학생은 앞으로 디지털 테크놀로지와 관련된 하드웨어를 직접 만져볼 수 있다는 것에 관심과 흥미를 보이며 손을 들었다. 시민과학을 경험한 적이 없고, 시민과학의 의미를 모르는 학생들이 시민과학과 관련된 목적을 가지기보다는 단기적이며 일차적인 목표지만 새롭게 접하게 되는 디지털 테크놀로지 기기들을 직접 만지고 배워보고 싶은 것을 선행 목적으로 삼을 수 있겠다고 판단하였다. 또한, 장기적으로 보았을 때 학생들은 수업을 통해서 최근 교육에서 활발히 도입되고 있는 디지털 테크놀로지에 대해서 학습할 기회뿐만 아니라, 시민과학을 직접 경험하고 시민과학자가 되어보는 기회를 얻어 성장을 도모할 수 있다고 판단할 수 있다. 학생들은 기존 과학 수업이라는 진로를 벗어나 더 많은 관심을 끄는 디지털 테크놀로지 비인간 행위자가 있는 수업으로 포섭되었으며 면담에서 한 명을 제외한 학생들이 모두 기존 과학 수업보다 재미있다고 응답하였다.

이처럼 행위자의 서로 다른 입장과 기대이익에 따라 행위자의 관심이 유발된 정도가 달라지며, 포섭에 성공하는지 혹은 실패하는지 그 여부가 달라진다. 만일 포섭에 성공하게 된다면, 네트워크 안에서 강력한 정체성과 역할을 부여할 수 있다(김철민, & 최충익, 2017).

제 2 절 관심끌기

관심끌기 단계는 ‘그들의 정체성을 다르게 정의하고자 하는 다른 모든 실체들 사이에 배치될 수 있는 장치를 만드는 것’(Callon, 1986)이다. 즉, 행위자들의 이해관계(목적)에 대한 해석을 바탕으로 행위자들의 관심을 끌기 위한 일련의 행동들의 집합을 관심끌기로 본다(Latour, 2001/2012). 본 연구에서는 수업을 준비하는 과정부터 수업이 실행되는 과정까지 행위자들의 정체성을 다르게 규정하기를 원하는 다른 실체들과 그 행위자들 사이를 가로막는 관심끌기 장치 혹은 전략을 구축할 필요가 있었다(김환석, 2005). 이에 다음에는 각 행위자가 수업 단계에서 어떤 관심끌기 전략을 사용하였는지 기술하고자 한다.

1. 연구자의 관심끌기 전략

연구자는 다양한 장치를 사용해서 행위자들이 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 네트워크에 흥미를 느낄 수 있도록 하며, 행위자가 가지는 다양한 연결 중에서 ‘디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 활동 네트워크’에 행위자를 연결하고 다른 연결들은 끊어내도록 할 필요가 있었다. 이를 위해 연구자는 다음과 같이 관심을 끌기 위한 전략을 사용하였다.

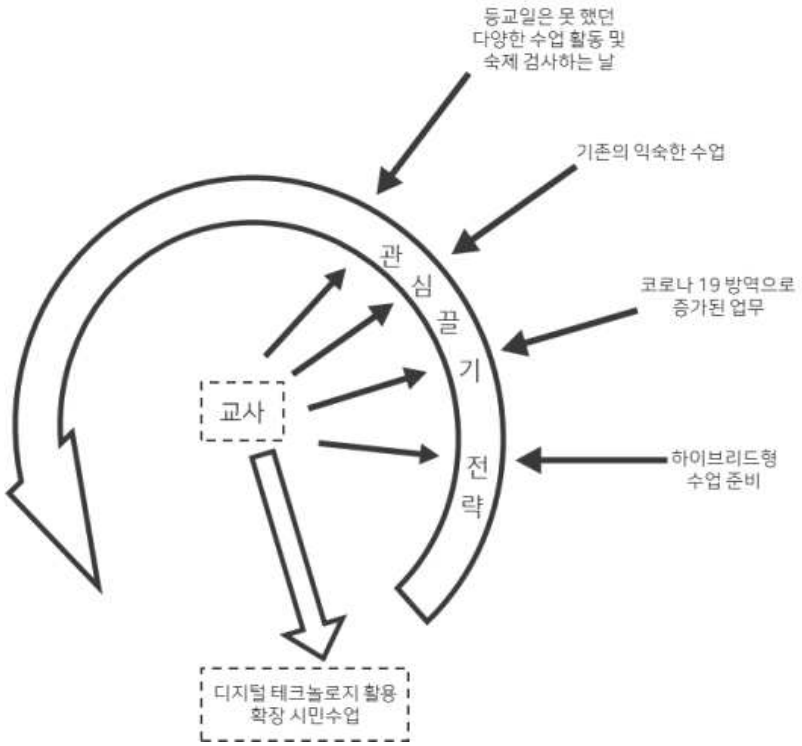
1) 디지털 테크놀로지 생태계 준비 및 구축 (STEP 0, 1)

STEP 0: 학생과 교사는 아직 해당 교수ㆍ학습 네트워크에 강하게 연결된 상태가 아니었다. 이에 학생들과 교사의 흥미를 끌기 위해서 연구자는 보조교사와 함께 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하였다. 특히 교사는 디지털 테크놀로지를 어떻게 사용하고 활용할 수 있는지 사전에 연구자에게 3차례 이상 연수를 들었지만, 수업에 필요한 하드웨어(HW)와 소프트웨어(SW)를 준비하는 것은 전적으로 다른 문제이다. 특히 성인이 아닌 20명 이상의 초등학생이 수업시간에 사용할 디지털 테크놀로지 하드웨어와 소프트웨

어 환경을 구축하는 것은 고려할 것이 많은 미묘하고 복잡한 문제이다. 이에 연구자는 디지털 테크놀로지 생태계 구축의 범위를 어디까지 설정해야 할지 경험이 있는 보조교사 세 명과 함께 선행적으로 논의한 후 강 교사와 최종적으로 초등학교 학생의 수준을 고려하여 결정하였다.

강 교사는 문제제기를 직접 한 행위자이기도 하나, 연구자가 목적을 이루기 위해서는 번역 과정에서 이탈되지 않고 교수 활동을 해야 하므로 교사의 관심을 끌기 위해 연구자의 노력이 지속적으로 필요했다. 이를 위해 먼저, 연구자는 수업에 필요한 디지털 테크놀로지 HW 기능을 보조교사와 함께 사전에 점검하고 학생들의 디지털 테크놀로지 HW 사용이 쉽도록 HW를 시중에 판매되는 교구용 키트(kit)와 비슷한 형태로 제작하였다. 또한, 연구자와 보조교사는 디지털 테크놀로지 SW를 사전에 학생들이 사용할 노트북에 설치해둠과 동시에 HW가 한꺼번에 조립된 상태에서 노트북과 연결이 잘 되는지, 여러 SW와도 데이터를 교환하고 잘 작동하는지 점검하였다. 이외에도 어린이들이 스스로 생성하기 힘든 구글 로그인 계정을 미리 생성하여 교사와 학생이 수업 과정에서 시간을 오랫동안 소요하지 않고 편하게 로그인할 수 있도록 하였다. 학생들은 미성년자이므로 부모님의 동의 없이 계정을 만들기 힘들고, 학생이 여러 개의 아이디로 개인별 접속을 하게 되면 교사가 엠블럭, 띵스보드에서 학생들이 하는 활동을 점검할 수 없다. 이에 D 고등학교 연구에서 한 아이디에 동시접속이 가능한 인원을 파악한 것을 근거로 총 3개의 구글 계정을 생성하였다. 연구자와 보조교사는 이처럼 많은 행위자를 설득하는 과정을 거쳤다.

이러한 행위는 교사가 수업을 연구하고 준비하는 시간 외에, 디지털 테크놀로지와 관련된 HW, SW 장치를 미리 점검하고 준비해야 하는 수고를 덜어주어 교사가 다른 곳에 관심을 둘 가능성을 줄일 수 있다([그림 3-3]). 또한, 교사가 본 수업에서 HW와 SW의 학습적 측면보다는 HW, SW 설치와 작동 문제를 해결하기 위한 부수적인 부분에 집중하지 않도록 도와주어 교사가 본 수업 네트워크에 잘 연결되도록 노력하였다.



[그림 3-3. 관심끌기 전략을 통해 교사는 기존 동맹을 끊고
본 수업 프로그램과 연결됨]

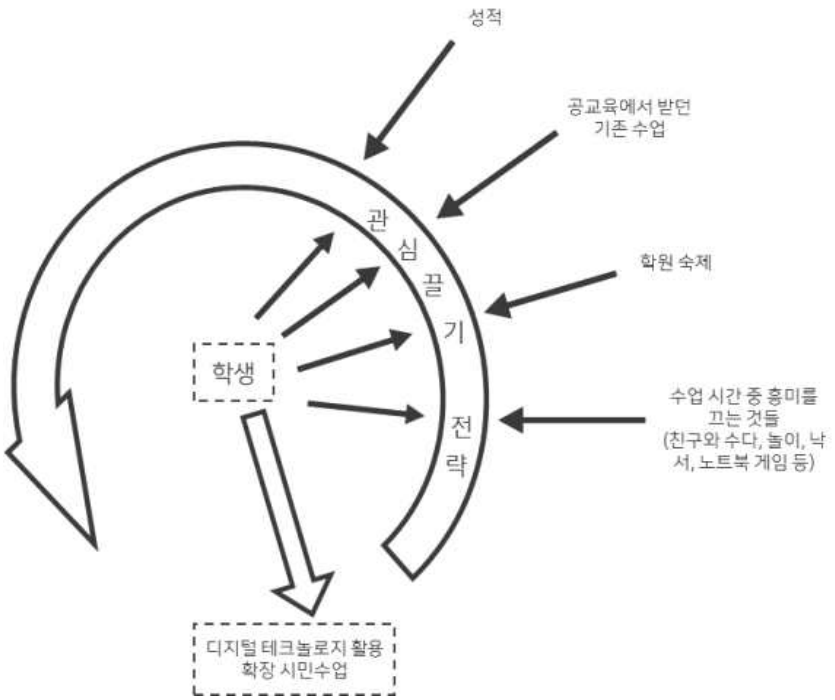
[그림 3-3]에는 교사, 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 수업, 기존 교육환경에서 교사와 연결되어 있던 존재들이 있다. 교사는 기존 교육환경에서 존재하는 '기존의 익숙한 수업, 등교일에는 그동안 못 했던 교사가 원하는 다양한 수업 활동하고 싶은 욕구, COVID-19 방역으로 증가 된 보건과 위생 업무, 하이브리드형 수업 준비' 등과 연결되어 있다. 그러나 연구자의 디지털 테크놀로지 생태계 준비 및 구축, 다양한 비인간-인간 행위자를 포섭하는 행위 등과 같은 관심끌기 전략들은 교사와 기존에 연결된 여러 실체 사이에 들어가면서 교사를 유혹한다. 기존의 교육환경에 존재하였던 것들은 등록하기를 시도하다가 탈락한다. Law(1986)는 이러한 관심끌기 전략은 흥미의 매개체를 통해서도 작동하기도 하지만, 힘, 명백한 필연성, 사랑, 의무, 뇌물, 물리적 사실, 뛰어난 정보통제, 영성 등을 통해 작동될 수도 있다고 하였다. 연구자의 관심끌기 전략에 의해 교사는 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민수업과 연결

될 수 있었다.

STEP 1: 학생들에게는 정리된 키트 형태로 제공된 디지털 테크놀로지는 쉽게 잘 활용될 수 있었으며, 학생들의 관심을 더 유발해 수업시간에 집중하여 학습에 참여할 수 있게 도왔다. 또한, 수업시간에 반복적으로 사용되는 디지털 테크놀로지 HW가 키트 형태로 제공되었을 때, 학생들이 각 HW의 명칭을 이해하고, 사용한 후 보관하는 데 도움을 주었다. 이외에도 학생들은 수업시간 중 사용할 SW 프로그램을 설치하거나, 구글 아이디를 생성하는 데 따로 시간을 소비하지 않고 수업 활동에 바로 집중할 수 있었다. 그외에도, 사전에 점검한 HW들은 최대한 오류 없이 바로 작동되어 학생들이 디지털 테크놀로지 행위자들과 관계망을 쉽게 형성할 수 있도록 도왔다. 이러한 관심끌기 전략은 학생들이 학원숙제, 낙서, 그림 그리기, 친구와의 잡담, 기존 수업에의 관심 등 과거의 동맹 관계를 끊게 만들어 본 활동에 더 집중할 수 있게 하였다([그림 3-4]). 이로써 학생이 가질 수 있는 다른 관심사를 사전에 제거하여 새로운 형태의 디지털 테크놀로지에 관심을 더하여 네트워크에 잘 연결될 수 있도록 꾀하였다. 학생들에게 관심끌기 전략이 성공적일수록, 교사와 디지털 테크놀로지 역시 네트워크에 잘 연결되었다. 교수·학습망에 교사와 학생은 항상 연결된 관계이므로 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업과 학생의 연결이 교사와의 연결에도 영향을 미친다.

한편, 연구자는 수업이 진행되는 동안에도 디지털 테크놀로지 생태계가 잘 유지될 수 있도록 노력하였다. 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자가 네트워크 안의 다른 행위자와 연결을 강화하기 위해서, 연구자는 보조교사와 함께 잘 작동되지 않는 HW를 수업 중 수리를 하거나 새로운 HW로 교체하였다. 미리 생성해둔 구글 아이디 세 개 중 하나가 예상과 달리 수업시간 중 작동이 되지 않아, 급히 다른 아이디를 생성하기도 했다. 또한, 갑자기 노트북이 10분 이상 윈도우 업데이트를 진행해서 사용할 수 없게 되는 일이 생겨 노트북을 교체해주기도 하였다. 즉, 비인간 행위자들이 교수학습 상황에서 적합한 행위를 하도록 조치하여, 디지털 테크놀로지를 이해하고 활용해 데이터를 추출하는 과정이 안정적으로 진행되도록 하여 행위자가 네트워크

에 등록되도록 하였다. 이로써 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자는 교실 환경에 안착하기 쉬워졌다.



[그림 3-4. 관심끌기 전략을 통해 학생은 기존 동맹을 끊고 본 수업 프로그램과 연결됨]

[그림 3-4]는 관심끌기 전략을 통해서 학생 행위자가 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 수업과 연결되는 과정을 보여주고 있다. 학생은 기존 교육환경에서 '공교육 수업, 학원숙제, 성적, 수업시간 중 흥미를 끄는 것' 들과 연결되어 있었다. 그러나 연구자의 디지털 테크놀로지 생태계 준비 및 구축, 다양한 비인간-인간 행위자를 포섭하는 행위 등과 같은 관심끌기 전략들이 학생과 기존에 연결된 여러 실체 사이에 들어가면서 학생을 유혹한다. 기존의 교육환경에 존재하였던 것들은 등록하기를 시도하다가 탈락한다. 연구자의 관심끌기 전략에 의해 학생은 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민수업과 연결될 수 있었다.

2) 다양한 인간-비인간 행위자 포섭을 통한 네트워크 확장 및 안정화 도모 (STEP 0, 1, 2, 3)

새롭게 동맹을 맺어야 할 행위자들은 기존 교수ㆍ학습 네트워크가 주는 이익보다 본 수업의 네트워크가 주는 이익 발생을 더욱 크게 생각해야 한다. 문제는 관심끌기 단계가 안정화된 강한 네트워크 구축으로 이어질 것인지에 대한 고민이 필요하다는 점이다. 이에 연구자는 학생들이 해당 네트워크에서 흥미를 잃고, 이탈하지 않도록 다른 여러 관심끌기 장치들을 상황에 적절히 대응하여 사용하고자 하였다. 연구자는 교사와 학생, 디지털 테크놀로지가 네트워크에 안정적으로 결합할 수 있도록 다양한 인간-비인간 행위자를 포섭해 교수ㆍ학습 상황에 가져 왔다.

STEP 0: 앞서 연구자는 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하기 위해서 보조교사를 포섭하였다. 연구자는 해당 수업을 이미 경험해본 보조교사와 함께 논의를 거쳐서 사전에 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하였다.

STEP 1: 먼저, 연구자는 자신을 연구자가 아닌 보조교사라는 또 다른 위치에 서서 학생들이 수업에 잘 참여할 수 있도록 여러 도움을 제공하였다. 포섭한 다른 인간-비인간 행위자에 비해, 연구자 스스로는 자신의 목적을 명확히 인지하고 있었으므로 자신의 위치와 역할을 변경하여 새로운 보조교사라는 정체성을 가진 존재로 포섭되어 활동하는 것은 쉬운 편이었다.

STEP 1에서는 디지털 테크놀로지를 직접 만지고 익히는 활동이 많고, 단계별로 활동이 진행된다는 특성이 있다. 그래서 다음 단계로 넘어가기에 앞서 모든 학생이 해당 단계를 성취하고 넘어갔는지 확인할 필요가 있었다. 그러나 제한된 시간에 교사 홀로 많은 학생의 질문에 답변하고, 문제 해결에 도움을 제공하기에는 힘든 상황이었다. 학생들 역시 생소한 디지털 테크놀로지를 익히기 위해서 일반적인 수업시간에 비해 질문하는 빈도가 높았다. 한 단계를 넘어가지 못하면 다음 단계로 넘어가기 힘든 제약조건으로 인해, 학생들

이 진도를 제대로 따라가지 못하면 흥미를 잃고 학생 행위자를 둘러싼 네트워크가 약화 될 가능성이 컸다. 이에 네트워크를 안정시키기 위한 추가적인 전략으로 연구자는 보조교사의 위치에 서서 학생의 질문을 해결하는 데 적극적인 도움을 제공했다. 또한, 어려움을 해결하는 데 도움을 제공하는 것뿐만 아니라 학생들이 네트워크를 확장하고 안정화할 수 있도록 아래와 같이 다른 비인간 네트워크와 접속할 수 있도록 명시적으로 조언을 제공하기도 하였다.

연구자: VR 실에서 한 번 더 측정해보면 좋을 것 같은데?
지아, 영훈 (4모둠): 오! VR 실에서 측정해도 돼요?

(13~14차시 수업 중)

교사: 걔네 웃기게 뭔지 알아? … 애들이 너무 잘해서 VR 실에 데려가서 체육을 했는데, 영훈이는 자기네들 (체육 활동 말고) **미세먼지 측정해야 한대. 공부하려고 하는 거니까 하게 해줬는데… 현진이가 (영훈이한테) 너네 재미있어서 그거 하는 거지?** 라고 하면서 싸울뻔했어…

(13~14차시 수업 후 교사 면담)

정규 수업시간에 다른 활동을 하는 것은 거의 허용되지 않는다. 그러나 연구자의 조언을 받은 4 모둠 학생은 VR 실에서 탐구 활동을 할 수 있는지 교사에게 미리 양해를 구하고 측정 활동을 하였다.

교사는 이러한 연구자의 보조교사 역할에 대해 미리 동의한 상태였다. 교사의 성찰 일지에서도 볼 수 있듯이 수업 중 연구자의 보조 역할에 대한 교사의 만족도는 높은 편이었다. 또한, 학생들 역시 연구자가 보조하는 역할에 대해서 만족하는 반응을 보였다. 이를 통해 연구자의 전략 장치가 학생들의 네트워크를 강화하고 안정화하는 좋은 장치가 되었음을 알 수 있었다.

한편, 연구자는 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와 연결망을 형성하는 데 어려움을 겪는 학생들을 위해 ‘구글 클래스룸’과 ‘보충 수업’이라는 비인간 네트워크를 제공하였다. 모든 학생은 아니지만, 자발적으로 디지털 테크놀로지와 관련된 문제를 해결하고 싶거나, 디지털 테크놀로지를 익히고 싶은 학생들은 구글 클래스룸과 보충 수업이라는 비인간과 관련된 연결망을 활용하였다. 연구자는 교사에게 먼저 구글 클래스룸 개설과 학생들에게 언제

든 보충 수업을 제공해 줄 수 있음을 제안하였고, 교사는 이에 대해 흔쾌히 동의하였다.

학생: 여기다(구글 클래스룸) 글 올려도 돼요?
교사: 구글 클래스룸에 (궁금한걸) 올리면 (보조) 선생님들이 설치하는 데 도움글을 남겨 주실 거야.

교사: (과제를 주면서) 만약에 안 되면 (구글 클래스룸) 게시판에 글 올려주세요.
(7~8차시 수업 중)

[그림 3-5. 구글 클래스룸에서 학생, 교사, 연구자의 교류]

교사는 7~8차시 수업이 끝난 후 학생들이 집에서 직접 디지털 테크놀로지 SW를 설치하고, 집에서 대기 환경 데이터를 측정해보는 과제를 내주었다. 총 14명의 학생이 집에서 과제를 수행하려고 노력하였지만, 실제로 측정에 성공한 학생은 3명이었다. 그 중 구글 클래스룸을 이용하여 과제를 수행하는 과정에서 발생한 문제를 해결하려고 노력한 학생은 2명이었다([그림 3-5]).

김태우 학생은 엠블럭에 아두이노 보드를 연결할 수 있는 장치를 찾을 수 없다며 SW와 HW의 연결에 관한 문제를 질문하였고, 임주하 학생은 띵스보드 프로그램을 실행 과정에서의 문제를 질문하였다. 임주하 학생은 구글 클래스룸을 통한 질의응답의 과정을 거쳐서 문제를 해결할 수 있었지만, 다른 문제가 발생해 최종적으로는 과제를 완수할 수 없었다. 아래 주하의 면담에서 볼 수 있듯이, 해결할 수 없었던 문제는 구글 클래스룸을 통한 질의가 어려운 문항이어서 해결할 수 없었다고 답변하였다.

연구자: 질의응답이 도움이 되었구나?
임주하: 네
연구자: 그런데 왜 (측정에) 실패한 거야?
임주하: 뒤에 또 문제가 생겨서요. 그거는 질문을 어떻게 올려야 하는지 잘 모르겠었어요.

(2차 면담 중)

반면, 김태우 학생은 질의응답과정에서 문제를 해결하지는 못했지만, 스스로 우회의 과정(USB 드라이버 설치의 문제로 집 컴퓨터로 블록코딩을 하지 못했지만, 학교에서 완성했던 키트로 측정해 띵스보드에서 바로 그래프를 확인함)을 거쳐서 문제를 해결하고 측정하는 데 성공하였다. 디지털 테크놀로지는 다양한 비인간 행위자가 결합해 있다는 특징 때문에, 두 명의 학생 모두 구글 클래스룸의 게시판을 통해서 문제를 완벽히 해결하기는 힘들었다. 그러나, 방과 후에도 학생들은 구글 클래스룸이라는 망을 이용해 연구자와 교사와 접속할 수 있었고 문제를 해결하고자 하는 데 도움을 받았다. 이에 학생들이 집에서도 디지털 테크놀로지에 관한 문제를 해결하는 데 있어서 도움을 받을 수 있으며 이는 학생의 관심을 끄는 데 일부 도움을 제공하였다고 판단할 수 있다.

한편, 방과 후 보충 수업에 자발적으로 참여한 학생은 두 명이었다. 특이한 점은 교사와 연구자가 보충 수업에 자발적으로 참여하고 싶어 할 것이라 예상했던 학생이 아닌, 다른 두 명의 학생이 참여하였다는 점이다. 김영훈 학생은 누나를 따라서 과학고등학교에 진학하기를 희망하며 과학을 매우 좋아하는

학생으로, 수업시간에 항상 적극적으로 질문과 발표를 하며 과학적 지식이 많은 학생이었다. 연구자뿐만 아니라 강 교사 역시 이런 영훈이가 보충 수업에 참여하는 이유에 대해서 의문을 표했다. 이준서 학생은 수업시간에 교사나 보조교사의 도움을 적극적으로 구하지 않고 교사가 나누어준 프린트물을 활용해 문제를 해결하려고 하는 등 눈에 띄지 않는 조용한 학생이었다. 두 학생 모두 방과 후 보충 수업을 통해서 데이터를 측정하는 데 성공하였다.

준서는 보충 수업 후 면담에서 '친구들은 측정하는 데 성공했는데 나는 그동안 한 번도 성공하지 못해서 그냥 기분이 그냥 그랬다.' 라고 답변하였다. 그러나 보충 수업에서 처음으로 측정에 성공하였고, 성공한 것에 아래와 같이 매우 기쁜 감정을 드러냈다. 또한, 시간이 빨리 가는 것처럼 느껴질 만큼 수업이 재미있다고 표현할 정도로, 보충 수업 한 번을 통해 성공한 경험이 준서의 관심끌기에 매우 성공적이었음을 알 수 있다.

준서: (연구자) 선생님이 없었으면 어려웠을 것 같아요… 드디어 성공한 것에 팔짝 뛸 정도로 좋았어요!

(보충 수업 후 준서와의 면담 중)

준서: 수업을 하면 시간이 무척 빨리 가요. 빨리 가는 것은 재미있어서 빨리 가는 것 같아요. 기계를 다루는 것이 재미있어요.

(3차 면담 중)

그동안 준서에게 투입되었던 학습지와 같은 비인간보다 보충 수업을 통한 성공의 경험이 준서에게는 더 큰 관심끌기 전략이 되었다. 추후 준서는 STEP 2에서 측정이 역할을 하였고 모둠원에게 필요한 데이터를 얻어주니 기분이 좋다고 답변하였다.

김영훈 학생은 수업 중 측정에 성공하기도, 실패하기도 해서 안정적인 측정을 위해 보충 수업에 참여하였다고 했다. 영훈이와 준서는 보충 수업에서 인간 행위자인 연구자에게 의존적으로 관계를 맺은 게 아니라, 활동지를 보면서 스스로 문제를 해결하다가 막히는 것이 있으면 영훈이와 준서가 서로 도와주거나 연구자에게 물어보는 등 다양한 행위자를 포섭하면서 문제를 해결하려고 하였다. 또한, 우연히 남아있던 효진이가 옆에서 연구자 대신 도움

을 제공하기도 하였다. 준서와 영훈이는 디지털 테크놀로지를 활용해 측정에 성공하자, 기쁨을 표현하며 자기 모둠이 정한 주제를 직접 측정하러 갔다. 이후 측정값이 모둠원이 예상했던 값과 다르게 나타나자(가설과 일치하지 않음), 모둠의 주제를 바꾸는 행동으로 이어졌다. 보충 수업과 관련된 네트워크는 다음과 같다.

…-보충 수업-효진-연구자-영훈-준서-모둠 주제-학습지-디지털 테크놀로지-…

이러한 관심끌기 전략은 학생 행위자가 우연히 나타난 인간 행위자, 학습지, 같이 배우는 친구, 모둠 주제 등과 결합해 네트워크를 확장하게 했으며 이는 본 교수ㆍ학습 네트워크와의 연결이 강화되는 것으로 이어졌다. 또한, 이 과정에서 비인간 행위자인 디지털 테크놀로지가 교수ㆍ학습 네트워크에 연결되는 것을 강화하였다. 비인간 행위자 역시 STEP 1에서 해당 네트워크에 약하게 연결된 상태였다. 추출된 데이터가 시민과학 활동에 잘 활용되는 것으로 연결되면, 행위자 간의 연결이 더 강화되어 안정된 네트워크가 구성되면서 동원하기 단계로 넘어갈 수 있다. 그러나 그 이전에 교사와 학생 행위자를 포섭하기 위한 여러 관심끌기 활동이 선행되어야 했다.

한편, 연구자는 STEP 0뿐만 아니라 STEP 1, 2, 3에서도 보조교사를 포섭하여 교사, 학생, 디지털 테크놀로지가 확장된 네트워크를 구축할 수 있도록 도왔다. 보조교사는 <3 장. 1절. 4. 연구 참여자 5) 보조교사>에 소개된 행위자들이다. 보조교사는 연구자의 보조교사 역할과 마찬가지로 수업시간 중 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 연결망을 형성하는 데 어려움을 겪는 학생들을 도와주었다. 연구자처럼 학생들의 질문에 답을 해주기도 하고, 앞서 언급했듯이 예측하지 못했던 디지털 테크놀로지 행위자를 둘러싼 문제가 생기면 문제점을 찾아서 해결해주면서 디지털 테크놀로지 생태계를 유지하는 데 도움을 주었다. 이에 대해서 교사와 학생 모두 다음과 같이 만족도가 높았다.

수업 시 도움이 된 인적자원은 보조 선생님. 보조 선생님을 많이 투입하여 프로그램 실습 시 학생들에게 개별 지도를 한 것이라는 것이 차별화된 점이다.

(3~4차시 교사 성찰일지)

교사에게는 기술적인 문제 해결의 시간보다는 온전한 수업 준비 시간을 많이 갖는 것이 더 의미 있을 것이다. … (보조) 선생님들을 각 분단 별로 배치하여 피드백이 빨라졌고, 지난 시간보다 조금 더 효율적인 수업이 이루어졌다.

(5~6차시 교사 성찰일지)

개별 피드백을 충분히 할 수 있는 상황과 환경이면 학생들이 더 잘 해낼 수 있을 것 같다. … 임 선생님과 보조 선생님들께서 구글 로그인 인증 문제를 해결해주셨다. 이 작업을 혼자 하기에는 시간이 너무 많이 소요되었을 것이다.

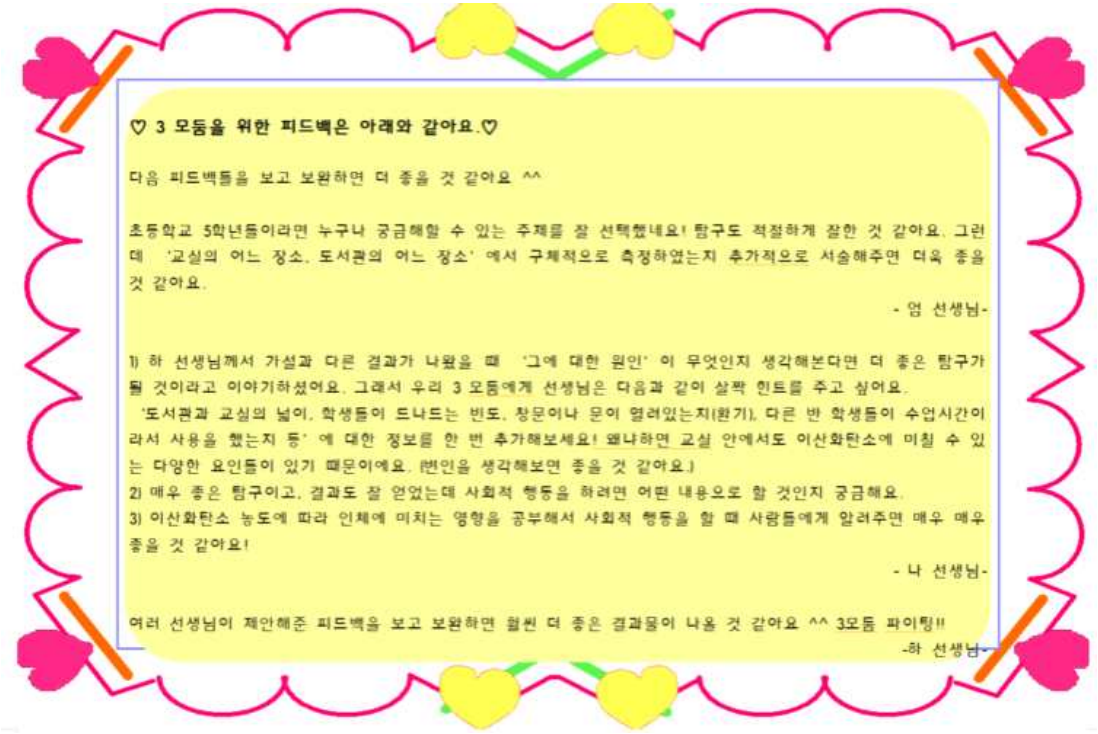
(9~10차시 교사 성찰일지)

보조교사는 학생이 네트워크를 확장하고 안정화하는 데 도움을 주었지만, 교사의 네트워크 안정화로도 이어졌다. 또한, 연구자의 관심끌기 행동은 STEP 2의 네트워크 전체의 안정화로 이어졌다. COVID-19로 인한 결석, COVID-19 검사를 위해 지각, 현장체험 학습 등으로 결석하는 학생에게도 보조교사가 개별 피드백을 제공하여 교사는 수업에 계속 집중할 수 있게 도왔으며, 학생이 단계별 진도를 놓치지 않고 따라가면서 네트워크를 잘 형성할 수 있도록 도왔다. 다음은 연구자가 네트워크의 확장과 안정화를 위해 여러 인간-비인간 행위자를 포섭한 네트워크다.

… 구글 클래스룸-카카오 톡-교사-연구자-보조교사-질의 응답-학생-HW-SW-출석-COVID-19-보충 수업-시간-과제-하이클래스-학부모 …

이외에도, STEP 3에서 보조교사와 연구자는 각 모둠이 사회적 활동을 준비하고 실행하는 과정에서 어려움을 겪는 모둠과 함께 토의하거나, 모둠 내 갈등을 같이 해결하는 등 교사의 역할을 보조적으로 도왔다.

연구자는 이외에도 STEP 2, STEP 3 준비 및 실행을 위해 아래와 같이 학교 밖 인간-비인간 행위자를 기입물을 통해 학교 안으로 들어오게 하거나, 매개물을 통해 학생들이 학교 밖 행위자와 직접 연결될 수 있도록 도왔다. 연구자는 학교 밖 인간-비인간 행위자와의 연결을 통해서 여러 행위자가 확장 시민과학 프로젝트에 호의적인 입장에 서게 하여 동맹군으로서 네트워크에 동원시키고자 하였다.



[그림 3-6. 과학교육 연구자들의 편지]

자유 탐구 활동을 직접 경험해본 것은 교사, 학생, 디지털 테크놀로지 행위자 모두 처음이었다. 이에 STEP 2 과정에서 과학탐구를 수행하는 과정에서 여러 가지 어려움이 드러났는데, 이를 해결하기 위한 수업시간은 제한적이었다. 각 모둠에서 탐구를 준비하고 수행하는 과정이 상이했으며, 탐구 주제도 달랐다. 각 모둠에서 각기 마주한 문제도 상이하였다. 모둠 주제 선정과정에서 어려움을 겪는 모둠, 가설과 다른 결과를 해석하는 데 어려움을 겪는 모둠, 측정한 그래프를 어떻게 과학적으로 해석하고 작성해야 하는지 어려움을 겪는 모둠, 변인 통제에 어려움을 겪는 모둠, 엄밀한 측정을 어떻게 해야 하는지 모르는 모둠, 과학탐구와 사회적 행동을 어떻게 연결해야 하는지 모르는 모둠 등 과학탐구를 정교화시키는 작업이 필요했다. 이를 위해 연구자는 교육경험이 풍부한 과학교사이자 과학교육 연구자들을 포섭하여 해당 연구의 진행 과정에 대해서 간략히 설명한 후 학생들에게 전달할 의견을 모아 학생들에게 편지형식으로 제공하였다([그림 3-6]).

한편, STEP 3의 사회적 실천 활동은 교육계에서 지향하고 있는 교육적 목적을 달성하기에 좋은 방법임에도 불구하고 교사와 학생 모두에게 친숙하지 않은 활동이다. 학생들은 사회적 행동을 한 경험이 없다고 모두 응답하였으며, 교사 역시 사회적 행동을 구체적으로 어떻게 지도해야 하는지 어려워하였다. 일반적인 시민과학 활동뿐만 아니라 확장 시민과학, 즉 주변 대중들에게 알리는 사회적 실천 행동을 포함한 시민과학은 더욱 친숙하지 않았다. 교사는 특히 확장 시민과학의 의미에 대해서는 연구자의 설명을 듣고 어느 정도 인식을 하게 되었으나, 해당 활동을 구체적으로 실행하는 방법에 대해서 혼란스러워했다.

교사: 나도 잘 몰라. 사실 안 해 봐서. 너(연구자)한테 배워야 해… 그 (사회적 실천 활동) 예시자료가 있으면 좋겠어. 초등 수준에 맞게.

교사: 사회적 행동이라는 게 뭐야?

(STEP 2 준비과정에서의 대화)

교사는 확장 시민과학 활동을 직접 해본 경험이 없었지만, 연구자는 2019년에 초등학교에서 이루어지는 사회적 실천지향 SSI 수업을 연구한 경험이 있었다(임성은 외, 2021). 그 당시 연구자도 강 교사처럼 초등학교에서 사회적 행동을 어떻게 할 수 있으며, 초등학생들이 어디까지 행동할 수 있을지에 대한 구체적인 지식과 경험이 부족했었다. 그러나 연구 과정 동안 직접 수업을 보면서 경험한 것을 토대로, 초등학생 수준에서 제한된 시간 안에 어떤 방법으로 어느 정도의 시간을 투자하여 사회적 행동을 할 수 있는지에 대한 이해도가 높아졌다. 또한, 사회적 행동을 하는 청소년 기후행동 학생들을 인터뷰하고 연구하면서(신현정 외, 2022) 학생들도 충분히 사회적 행동을 할 수 있으며, 그 가능성과 파급력과 의의에 대해서 인지하고 공감하는 상태였다.

연구자는 반복적으로 확장 시민과학 활동을 어떻게 해야 하는지 물어보는 교사에게 실제 초등학생들이 수행한 예시자료를 제공했다. 또한, 모둠별 주제에 맞춰서 어떤 활동이 가능하며, 모둠에서 관계를 맺을 수 있는 인간, 비인간 행위자들이 무엇인지 교사와 학생에게 소개해주었다. 연구자는 사회

적 행동 방법으로 ‘SNS 챌린지, 학교 복도에 포스터 게시하기, 탐구 주제와 관련된 내용 및 제안 글을 유튜브 영상으로 게시하기, 교육청, 교육감, 관리자에게, 관리자에게 편지쓰기, 회사에 건의 글 올리기, 교내 캠페인 혹은 교내 방송하기’ 등을 소개했다. 그러나 학생들은 연구자와 교사의 사회적 실천 방안에 대한 소개만으로는 쉽게 학교 밖 인간-비인간 행위자의 망과 연결되지는 못하는 특징을 보였다. 3 모둠의 학생들은 면담에서 교육부, 유튜브, SNS를 활용하고 싶다고 응답하였으나, 수업시간에는 포스터 형식으로만 게시하는 활동을 할 것이라고 답하였다.

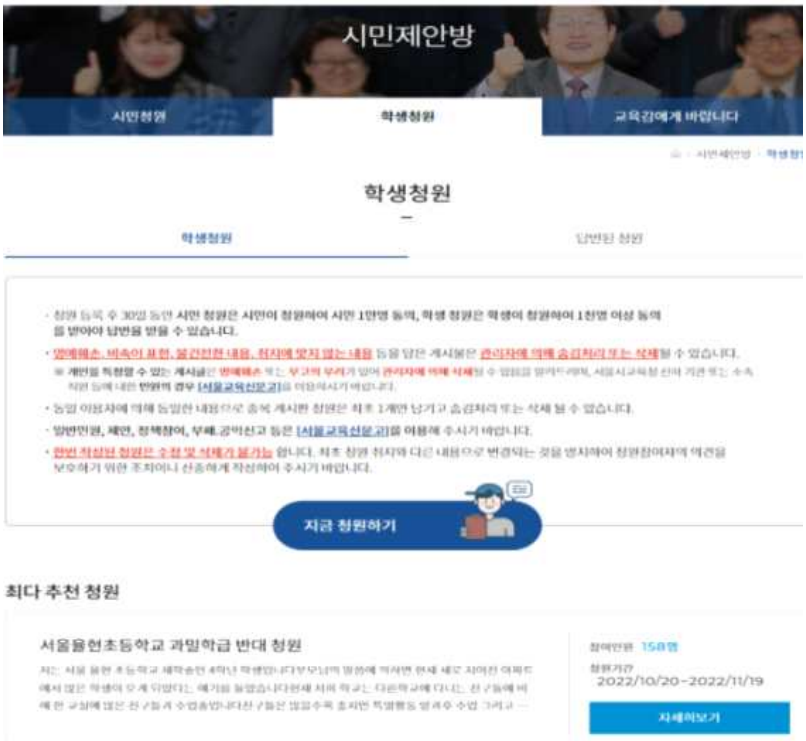
연구자: 이거(글)는 어디 어디 올릴 거예요?
이소영: 일단은 교장 선생님한테 이야기를 해야 하는데. 포스터를 할거예요.
연구자: **교장 선생님이랑 또 다른 데 할거예요?**
3모둠: **.....**

(19~20차시 수업 중)

소영: 교육부에 원래 하려고 했는데, 교육부에다 **어떻게 할지도 갑자기 생각이 안 나고, 그리고 애들이 그냥 교육부 말고 학교에다 붙이자고 해서, 다시 의견을 내서는 했었어요.**

(2차 개인 면담 중)

3 모둠 계획서에는 학교뿐만 아니라 ‘교육청’에도 편지형식으로 모둠이 탐구한 내용을 알릴 것이라고 기록되어 있었으며, ‘서울특별시 교육관님에게 이산화탄소 저감장치를 설치해달라고 제안(할 것)’이라고 기록되어 있었다. 연구자는 이를 참고하여 서울특별시 교육감 홈페이지를 노트북으로 직접 검색해 학생들에게 보여주었고, 제안하는 글을 올리는 장소를 직접 안내하고 알려주었다([그림 3-7]). 상기 소영이와의 면담에서 어떻게 사회적 행동을 해야 할지 몰라서 계획을 바꾸었다고 답변한 것을 고려한다면, 학생들에게 사회적 행동 예시만 안내하는 것이 아니라 직접 해볼 수 있는 구체적인 연결 방안을 제시하거나 도와주는 것이 학생들의 네트워크 구성에 도움이 되었음을 알 수 있다.



[그림 3-7. 학생들도 청원 글을 올릴 수 있는 서울시 교육감 홈페이지]

학생들은 교육청과 교육청에서 일하는 교육감을 대상으로 한 확장 시민과학 활동을 하고 싶어 했지만, 어떤 식으로 교육청과 네트워크를 맺어야 할지 아이디어를 떠올리지 못하였다. 연구자의 직접적인 개입으로 학생들의 제안 글이 교육감 홈페이지에 올라가자 학생들은 놀란 반응을 보였다. 이는 학생들의 긍정적인 감정으로 이어졌고, 관심끌기를 성공할 수 있는 전략이 될 수 있었다. 이어서 교육청과 교육감이 운영하는 홈페이지가 다름을 인지하고 연구자와 학생들은 함께 교육청 홈페이지에서 국민신문고로 넘어가 글을 올렸다. 국민신문고에서는 교육감 홈페이지와 달리 성인의 로그인이 필요해 교사와 연구자가 도움을 제공하였다. 미성년자가 아닌 일반 성인만 시민으로 보는 사회에서(임성은 외, 2021), 연구자는 적극적으로 개입하여 학교 밖 행위자들과 학생들을 연결해줄 수밖에 없었다. 이러한 모습을 본 교사는 다른 모둠에서 학생들을 대신하여 제안 글을 올리는 데 도움을 제공하였다.

2. 비인간의 관심끌기 전략

한편, 인간 행위자인 연구자뿐만 아니라 비인간 역시 행위자들의 관심을 끌기 위한 행위를 하였다.

1) 기입(Inscription)이 만들어내는 감정 (STEP 1, 2)

기입은 어떤 실체가 기호, 기록, 문서, 논문, 흔적 등으로 구현되면서 겪는 모든 종류의 변형을 가리키는 용어로, 네트워크를 건설하는 행위자는 기입을 생산한다(Latour, 1987). 본 수업에서 디지털 테크놀로지 행위자는 우리 주변에 항상 존재하고 있지만, 보이지는 않는 대기 환경이라는 실체를 기호로 변환시켜주었다. 실제 물질을 디지털 테크놀로지가 받아들인 후 그것을 인간이 이해할 수 있는 정보인 숫자나 도식, 그래프 등과 같은 기호로 변형하여 기입하였다. 이렇게 생성된 기입물들은 또 다른 행위자로서 행위를 하게 되었다. 비인간의 존재가 가시적으로 드러나면서 학생들의 흥미도는 높아졌다.

태준: 어 (수치가) 변했어!! (기쁨의 목소리) 24도야!
현진: **아 더 하고 싶은데?**
영훈: **어 이거 맨날 했으면 좋겠다! 이거(키트) (집에) 갖고 가면 안 돼요?**

(5~6차시 수업 중)

연구를 시작하고, 미세먼지, 이산화탄소 등 **직접 센서로 측정한 데이터가 눈앞에 그래프로 나타나니 흥미를 느끼는 모습이 인상적이었다.**

(13~14차시 교사 성찰일지)

지아: (교실 내 온습도를 그래프로 확인한 후) 교실과 복도의 온습도 **차이가 궁금해요.**

(9~10차시 수업 중)

아린: **코딩은 재미있고, 그래프 나올 땐 신기했어요!**

(1차 심층 면담 중)

태준: 이산화탄소는 내 입김을 불어 넣어야겠어! 야 입김을 불어 넣었는데 5,000이 나왔어! 왜 이렇게 높아?!

(친구들이 입김을 불어 넣기 시작함.)

예빈: 야 1,900이었는데 5,000으로 올라갔어!

지현: 5,000이 최대인가 봐요!

현진: 어 3,900! 안 돼! 힘내!

(5~6차시 수업 중)

지아: 선생님 손으로 가렸더니 다 0이 되었어요. 먼지가 차단 되었나봐.

(5~6차시 수업 중)

시민과학 활동은 학생들의 참여를 이끌어내고, 교육적 효과와 만족감 등을 제공하여 지속해서 동기를 유발하는 것이 필요하다(장진아, 2018; 신정윤 & 박상우, 2020). 이에 본 수업에서도 학생들에게 지속적인 동기유발과 참여 의지를 끌어내고자 했다. 대기 환경이라는 그 자체로는 학생들의 목적인 흥미를 지속해서 유지하게 시킬 수 있는 행위자가 되지 못하였다. 그러나 위의 면담처럼 학생들이 처음으로 자신이 측정한 대기 환경질을 수치로 확인하였을 때 기쁨을 드러내며 ‘계속 이 활동을 하고 싶다, 맨날 (이 수업을) 하고 싶다, 집에서도 하고 싶다’ 등의 반응을 보였다.

대기 환경질을 숫자로 확인했을 때 학생들이 기뻐했지만, 숫자를 그래프로 변화해서 확인하였을 때 그 효과는 배가 되었다. [그림 3-8]은 처음 그래프를 확인한 날 학생들의 모습이다. 현진이는 남학생 중 처음으로 대기 환경의 질을 그래프로 측정해내는 것에 성공하였다. 그러자 나머지 학생들도 현진이의 컴퓨터에 몰려들어서 그래프를 확인하기 시작하였고, 현진이는 신이 나서 복도에 있는 신발장의 미세먼지를 확인하러 밖으로 나갔다. 신발을 털었음에도 수치 변화가 없자 창문에 근처에 있는 미세먼지 수치를 확인하러 갔다. 급격하게 수치가 천 단위로 증가하자 다른 학생들도 놀라며 창가에서 측정하던 현진이에게 다양한 방법으로 측정하자고 하였다. 학생들을 측정된 그래프를 보고 다시 감탄하였다.

[그림 3-8. 처음으로 미세먼지 값을 그래프로 확인한 날]

태준: 현진아~ 너 나간 곳 미세먼지 대박이야.
현진: 야 밖에 나가보자. 머리카락을 털어보자. 야 안 올라가.
(태준이가 측정 장치를 들고 밖으로 측정하러 나감.)
현진: (그래프를 보다가) 야 갑자기 올랐어! (태준이 있는 곳으로 감)
태준: (그래프를 보다가) 현진아 여기 해보자! (둘 다 사라짐)
(현진, 태준, 태우 돌아옴)
현진: 야 여기 미친 듯이 올랐어‼
(그래프가 **역동적으로 변화할 수 있는 먼지 많은 곳을** 찾아다님.)
현진: 야! 또 올랐어.
현진: 야 이거 뭐야! 821! 821! 선생님! 선생님! 저기 창문에 먼지 터니까 821 이 나왔어요!
보조교사: 와 진짜~?
태준: 야 이거 뭐야 진짜.
현진: 야 821이야.
태우: 야 859야 지금 야 1000! 1000! 얘들아 1000 나왔어‼
학생들: 뭐?
태준: 최고 수치를 넘겼어!
소영: 선생님 얘네들 난리에요
교사: 1000이 최대예요?
학생들: 1200까지 나오는 것 같은데? 저쪽 미세먼지를 측정해보자‼
(창가 쪽으로 가서 미세먼지를 찾음)

(9~10차시 수업 중)

학생들이 그래프라는 기입물을 통해서 큰 폭의 감정 변화가 생기면서, 아래 대화처럼 자연스럽게 대기 환경에 관한 사고로 이어졌다. 또한, 기입물이 STEP 2 과학적 탐구 활동에 적극적으로 참여하게 만드는 관심끌기 장치가 되기도 하였다.

(교사가 학생들이 그래프를 보며 감탄하며 측정하는 모습을 찍은 사진을 보여주면서 학생들의 관심을 유발함)

현진: 창틀 미세먼지 측정하니 1000까지 막 올라갔어요! 7이었는데 맨 끝까지 올라갔어요! 1000이요!

교사: 그러면 우리 교실에도 공기청정기가 있는데 미세먼지가 높을 수 있다는 거잖아.

(11~12차시 수업 중)

디지털 테크놀로지도 자신들이 교육현장에 들어오기 위해서는 초등학교 학생들이 실제로 자신을 이해하고 데이터를 잘 얻어낸다면, 교육현장에 쉽게 들어갈 가능성이 커진다. 이에 그래프 혹은 숫자 기입물은 학생의 관심을 끄는 것과 동시에 디지털 테크놀로지와 동맹을 쉽게 맺을 수 있도록 도와주는 비의도적인 관심끌기 전략이 되었다.

2) 비인간 행위자라는 존재 자체의 관심끌기 (STEP 0, 1, 2)

H 초등학교에서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 실행할 때 디지털 테크놀로지는 주요 행위자이기도 했지만, 교사, 학생, 연구원 등의 행위자들에게는 디지털 테크놀로지 행위자 존재 자체가 매력적인 관심유발의 대상이 되기도 하였다. 또한, 다른 행위자들이 디지털 테크놀로지를 만나는 과정 자체가 관심유발의 과정이 되기도 하였다. 연구자는 본 수업 참여에 대한 학생들의 관심을 끌기 위해서 아래와 같이 수업에서 디지털 테크놀로지 키트를 설명하며 보여주었다. 학생들은 수업에서 처음 마주한 디지털 테크놀로지 키트를 보면서 많은 관심과 흥미를 표현하였으며, 수업이 다 끝나고 난 이후에도 수업 중 가장 좋았던 점은 기계와 센서를 다룰 때라고 이야기하는 학생들이 있었다. 교육현장에서 디지털 테크놀로지를 접할 수 있는

것은 방과 후 교실이나 6학년 실과 수업에서 잠시 만날 수 있는 것으로 학생들이 쉽게 잘 마주할 수 없다. 학생들은 집에 가져가서 해도 되는지 물어볼 정도로 디지털 테크놀로지에 큰 흥미를 느끼고 있었다.

연구자: 선생님들이 이렇게 키트를 제작했어요. (키트를 보여줌)
학생들: **우와~!**
연구자: … 모두가 하나씩 다 만지고 다뤄볼 수 있도록 준비했어요.
태준: 그거 쓰는 거예요?
연구자: 여기 있는 센서를 활용해서 이산화탄소나 (센서 보여주기) 미세먼지나 온습도를 측정할 수 있어요. … 나는 이런 거 만지는 거 좋아하는 사람 손 들어볼까요?

(15명 이상 손을 듦)

(1~2차시 수업 중)

연구자: 수업을 하면서 **가장 좋았던 점은** 무엇이에요?
태우: **기계와 센서를 다뤄본 점이요.**

(3차 심층 면담 중)

학생들은 자신이 **직접 컴퓨터와 아두이노, 엠블럭 등을 조작하는 것에 많은 흥미를 느꼈다.**

(3~4차시 교사 성찰일지)

코딩하는 방법을 금세 익혔으며, **자투리 시간에 다른 블록코딩을 시도하는 학생들이 있었다.**

(5~6차시 교사 성찰일지)

태준: **선생님 블록코딩 프린트물 집에 가져가도 될까요?**

(5~6차시 수업 중)

교사: 현진이는 **드라이버 되고 나서는 엄청나게 흥미로워하면서… 그만하라고 하니까 아 이것만 하겠다고… 또 수업 안 하고 계속 이거 했으면 좋겠다고 다른 애들이 이야기하기도 하고…**

(교사 심층 면담 중)

한편, <3장. 1절 4. 연구참여자 3) 강 교사>에서 기술하였듯이 교사는 과학과 정보와 관련된 부분에 흥미를 느끼고 있어, 새로운 도구인 디지털 테크놀로지가 교사의 관심을 끄는 장치도 되기도 하였다.

한편, 디지털 테크놀로지 이외의 비인간 존재 자체가 학생들의 관심을 유발하는 사례가 있었다. 교실 내 천장에 설치된 기계식 환기 설비, 학생들이 사용하는 노트북, 연구를 위해 설치되었던 액션캠 등이 이에 해당한다. 교실 내 기계식 환기 설비 장치는 교실 내에 항상 존재하고 있던 존재였으나, 어느 행위자와도 관계를 맺지 않고 있어 행위성이 없는 존재였다. 기계식 환기 설비 장치를 틀면 수업에 방해될 정도로 시끄러워 학생들은 교실 내에서 환기 장치가 켜져 있는 모습을 본 경험이 없었다. 그러나 탐구 주제를 정하기 전에 보여준 뉴스에서 기계식 환기 설비 장치가 이산화탄소와 미세먼지를 감축시켜줄 수 있다는 것을 확인한 후, 학생들은 기계식 환기 설비 장치에 관심을 가지기 시작하였고 교실 내 비인간과 관계를 맺기 시작하였다([그림 3-9]).

태준: (손가락으로 가리키며) 어 저거 아니야?
교사: 우리도 있어.
현진: (위의 공기 순환기계 장치를 보며) 저거는 나오나? 안 나오는 것 같은데.
(13~14차시 수업 중)

[그림 3-9. 수업 중 기계식 환기 설비 장치를 가리키는 태준]

학생들과 관계를 맺기 시작한 기계식 환기 설비 장치는 행위성을 가질 수 있었고, STEP 2에서 학생들은 해당 장치를 활용한 탐구 주제를 선정하였다. 즉, 처음에는 관심을 끌지 못했던 비인간이, 뉴스를 매개하여 학생들과 관계를 맺는 행위자가 되었고, 더 나아가 탐구 활동을 위한 관심끌기 장치로 이어졌다.

노트북 역시 학생들의 수업 참여에 관심을 끄는 장치가 되었다. 교실에서 노트북이 있다는 것 자체만으로도 아래와 같이 학생들의 엄청난 관심을 끌 수 있었다. 초등학교에서 컴퓨터를 사용하기 위해서는 모든 학년이 사용하는 컴퓨터 실에 가야 하는 경우가 많다. 여러 학년의 많은 학생이 사용해 고장난 비율이 높은 공용 컴퓨터실의 컴퓨터 대신, A 학급 학생들은 개인별로 새 컴퓨터를 사용할 수 있었다. 이 점은 학생들의 관심을 끌기에 충분히 매력적이었다. 또한, H 학교에는 노트북을 사용할 수 있는 환경이었지만, A 학급 학생들은 처음으로 노트북을 접한 상황이었다. 학생들 개개인별로 노트북이 제공되었고, 한 번도 사용되지 않은 노트북은 A 학급에서만 지속해서 사용되었다.

교사: 자 그럼 컴퓨터(노트북)를 뒤에서 가져옵시다.
학생들: **엥? 컴퓨터? 헐! 우와~! 말도 안 되잖아. 컴퓨터가 있다는 거는. 어 진짜 있어! 와 진짜 노트북이네? 대박! 우리 집에도 있었는데. 신기해.**

(3~4차시 수업 중)

연구자: 왜 과학 수업보다 이 수업이 재미있었어?
태준: **노트북으로 신기한 경험을 해서요.**

(3차 심층 면담 중)

연구자: 왜 과학 수업보다 이 수업이 재미있었어?
지영: 과학 수업은 조금 지루하지만 이건 각자 역할이 있고**, 노트북을 활용해서 재미있었어요.**

(3차 심층 면담 중)

한편, 액션캠은 학생들에게 수업이 시작되는 첫날부터 학생들의 관심을

끄는 장치였다. 물론 일부 학생들에게는 액션캠이 호기심의 대상이자 장난치는 도구가 되기도 하였다. 그러나 일부 학생들에게는 액션캠을 활용하여서 사회적 행동을 준비할 때 영상을 촬영하고 기록하는 매개물로 사용하고 싶은 대상이 되기도 하였다. 즉, STEP 3 과정을 흥미롭게 참여할 수 있도록 하며 학생들의 참여 동기를 유발하는 관심끌기의 존재가 되었다. 다음 대화처럼 일부 학생들은 STEP 3 과정에 참여하기도 전에 카메라를 사용하기를 희망하였다. 또한, STEP 2에서 학생들이 모둠의 탐구 활동을 하는 모습을 촬영하는 등 학생들의 학습 활동에 적극적으로 활용하는 모습을 보이기도 하였다.

예지: 선생님 이거 카메라 이용해도 되나요?
교사: 물론이죠. 이걸로 여러분이 촬영해도 되고요.
지영: **야 이걸로 브이로그 같은 거 찍어서...**

지아: 선생님 저 이거(액션캠) 사용해도 되나요?
연구자: 나중에 사회적 행동할 때?

(11~12차시 수업 중)

위 사례에서 디지털 테크놀로지, 기계식 환기 설비, 노트북, 액션캠 등의 비인간이 학생들의 수업 참여 및 활동에 관심을 유발하는 모습을 확인할 수 있었다. 그러나 어떤 비인간의 존재가 행위자들의 관심을 끌 수 있는지는 예측하기 힘든 부분이다. 중심 행위자인 연구자는 디지털 테크놀로지가 교사와 학생들이 수업 참여에 어느 정도 관심을 끌 수 있으며, 본 수업에 동원되는데 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상하였다. 그러나, 기계식 환기 설비와 액션캠, 노트북 등이 학생들의 학습 및 활동에 영향을 미치는 관심끌기 장치가 되리라 예측하지 못하였다. 이처럼 연구자가 의도하지 않더라도 비인간의 존재가 다른 행위자의 관심을 끌 수 있는 행위성을 발휘하는 모습을 발견할 수 있었다.

3. 교사의 관심끌기 전략

한편, 교사는 연구자가 관심을 유발하는 대상이기도 하였으나, 관심을 유발

하는 행위자가 되기도 하였다. 즉, 연구자뿐만 아니라 인간 행위자인 교사 역시 행위자들의 관심을 끌기 위한 전략을 사용하였다.

1) 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축 (STEP 0)

앞서 연구자는 관심끌기 전략으로 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하기 위해 노력하였다. 그러나 연구자의 이러한 노력 외에도 디지털 테크놀로지 생태계를 구축하기 위한 교사의 노력도 있었다. 디지털 테크놀로지 생태계를 만드는 데 가장 중요했던 비인간 행위자는 학생들이 사용할 수 있는 노트북(혹은 컴퓨터)이었다. 즉, 디지털 테크놀로지가 행위성을 가지기 위해서는 노트북 혹은 컴퓨터는 핵심적인 비인간이다. 그러나 COVID-19 상황으로 학년별 등교일이 상이해 5학년 등교일에 타 학년 일부 학생들이 원격 수업을 컴퓨터실에서 듣는 상황이었다. 결국, 본 연구 수업 시간에 컴퓨터실을 사용할 수 없어 강 교사는 학교에 구비 된 학생용 노트북을 사용하기로 하였다. 하지만 H 학교에서 노트북이 사용된 적은 한 번도 없었으며 강 교사 역시 학생용 노트북을 단 한 번도 사용해본 경험이 없었다. 강 교사는 이를 사용하기 위해서 여러 행위자와 동맹 관계를 맺었어야만 했다.

> … 과정에서 **과학부장님과 전산 실무사님께** 학생들이 교실에서 노트북을 사용하기 용이하도록 **와이파이 설정, (노트북) 충전함 설치 등 노트북 세팅을 부탁드렸다.**
>
> (1~2차시 교사 성찰일지)

> 교사: 윈도우 업데이트해야 하는 데 전산 실무사님이 **자기는 비밀번호를 모른대…. 전산 실무사님이 곧 바뀌실 거라서 일을 안 하려고 하시네…**
>
> (수업 시작 전 전화 면담 중)

강 교사가 노트북을 준비하기 위해서 만났던 인간-비인간 행위자들은 다음과 같다.

…-COVID-19-컴퓨터실-노트북-노트북 충전함-비밀번호-윈도우 업데이트-Wi-Fi 비밀번호-구글 아이디-전산 실무사-과학 실무사-과학부장-…

강 교사는 디지털 테크놀로지 생태계를 조성해 가는 과정에서 교사와 연구자가 미처 예측하지 못했던 행위자와 관계망을 형성하였다. 강 교사와 학생들은 컴퓨터 실을 사용할 수 없었지만, 다행히 강 교사는 자신이 과학부장을 했던 2019년도에 학교에서 노트북을 한 학급 분량을 구매하였음을 떠올리고 연구자에게 노트북을 사용할 것을 제안하였다. 연구자는 이때 강 교사와 노트북을 둘러싼 네트워크가 어떻게 복잡하게 형성될지 예상하지 못했다. 노트북을 빌리기 위해서는 과장부장과 전산 실무사를 통해서 승인을 받아야 했으며, 전산 실무사를 통해 한 번도 사용하지 않았던 노트북을 사용할 수 있도록 윈도우를 업데이트를 하는 작업이 필요했다. 그러나 전산 실무사는 자신의 업무에 적극적이지 않았고 상기 면담처럼 윈도우 업데이트를 위해 필요한 노트북 비밀번호를 모른다고 하며 문제 해결을 적극적으로 하지 않았다. 이에 연구자는 실무사 대신 윈도우 업데이트, 프로그램 설치 등을 직접 준비하겠다고 교사에게 제안하였다. 다행히 본 수업이 시작되기 전 새로운 전산 실무사가 발령 나서 비밀번호를 풀고 윈도우 업데이트 및 와이파이 설정 등을 해주었다. 노트북만 있으면 디지털 테크놀로지 생태계를 바로 준비할 수 있다고 생각했던 연구자의 생각과 달리, 노트북을 준비하는 과정에서 어려움을 마주하면서 노트북과 관련된 블랙박스가 깨졌고 학교라는 상황에서 노트북을 둘러싼 여러 관계망이 드러났다.

연구자는 최대한 디지털 테크놀로지 생태계를 잘 구축하여 강 교사가 편히 수업을 진행하면서 익숙했던 기존 수업 네트워크로 재결합하는 것을 막고자 노력했었다. 그러나 디지털 테크놀로지 생태계를 잘 구축하기 위해 강 교사만이 준비할 수 있었던 부분이 있었고, 이 과정에서 강 교사는 기존 네트워크로 결합할 위험이 커졌다. 다행인 것은 강 교사는 여전히 자신이 달성하고자 하는 목적을 명확하게 인지하면서 스스로 해당 네트워크를 둘러싼 행위자들을 하나씩 포섭해가는 노력을 했다. 이로 인해서 디지털 테크놀로지 생태계를 보다 안정적으로 구축할 수 있게 되었다.

2) 네트워크 확장 및 안정화 도모 (STEP 1, 2, 3)

교사는 교육에서 빠질 수 없는 인간 행위자이다. 교사는 대개 교수·학습에 존재하는 행위자들에게 미치는 영향력이 큰 편이다. 먼저, 교사는 행위자들이 네트워크에 잘 등록될 수 있도록 학생들이 기존 수업에서는 만나보지 못했던 보조 선생님 혹은 연구자와의 만남을 매시간 반복적으로 장려하였다. 학생들이 친구들과 함께 동료학습을 하는 것은 빈번하게 교실에서 일어나는 일이다. 그러나 아직 국내에서는 1수업 2교사제 제도는 정착되지 않았다. 교사와 A 학급 학생들 역시 공교육 수업에서 여러 보조교사와 연구자가 함께 하는 수업 경험은 처음이었다. 앞서 D 고등학교에서는 보조교사들이 STEP 1 과정에서 학생들에게 도움을 주려고 기다렸지만, 교사가 학생들에게 보조교사의 도움을 받을 수 있다고 안내하지 않았다. 이에 보조교사는 수업에 함부로 개입하는 것을 조심스러워하며 학생들을 언제 도와줘야 하는지, 도와줘도 되는지 혼란스러워했다. D 고등학교 학생들은 대체로 교사에게만 질문하였다. 이에, 연구자는 강 교사에게 사전에 연구자는 교사를 보조하는 역할이 가능하며, 보조교사도 필요하다면 섭외할 수 있다고 제안하였다. 강 교사는 이에 보조교사와 연구자의 역할을 적극적으로 활용하면서, 학생들의 네트워크 확장 및 안정화를 도모하기 위한 관심끌기 전략 중 하나로 사용하였다. 이를 위해 매시간 적극적으로 학생들이 보조교사와 연구자가 학생들이 문제를 해결하기 위해서 도움을 제공할 수 있는 행위자임을 상기시켰다. 교사는 새롭게 등장한 보조교사들과의 동맹을 통해서 교사, 학생, 연구자, 디지털 테크놀로지의 안정적인 네트워크가 형성되기를 희망하였다.

교사: 안 되는 친구들은 손을 들면 **바로바로 (보조) 선생님들께서 도와주실 거야.**

(5~6차시 수업 중)

보조 선생님을 많이 투입하여 프로그램 실습 시 학생들에게 개별 지도를 하는 것이 (기존 수업과의) 차별화된 점이다.

(5~6차시 교사 성찰일지)

교사: 손을 들면 **(보조) 선생님들께서 도와주실 거야.**

(7~8차시 수업 중)

물론 그 외에 동료학습이 활발히 잘 이루어지도록 진도를 나간 학생이 다른 친구들을 도와줄 수 있도록 장려하기도 하였다. 강 교사는 홀로 STEP 1 과정에서 학습 진도가 다른 학생들의 질문을 모두 해결해주기는 불가능하다고 생각하면서, 보조교사와 연구자를 적극적으로 포섭할 뿐만 아니라 동료학습 방법도 적극적으로 활용하였다. 학생들이 STEP 1 과정에서 등록되지 못하고 네트워크를 배반하지 않도록 교사는 반복적으로 친구들끼리 서로 도움을 줄 것을 상기시켰다.

교사: 완성한 친구들 손 들어보세요. 그러면 옆에 친구들 다 했나 같이 봐주세요.
교사: 업데이트 완료된 사람 주변 친구들 도와주세요.

(3~4차시 수업 중)

교사: 돌아다니면서 도움이 필요한 친구들을 도와주세요. 다 된 사람들은 도우미로 해주세요.
교사: 모든 친구들이 다 잘 될 때까지 도와주세요.

(7~8차시 수업 중)

한편, 교사는 평소 과학 수업 혹은 다른 교과 수업을 본 수업과 연계하려고 노력하였으며, STEP 1과 STEP 3 과정에서 자발적으로 추가적인 수업을 더 진행하였다. 이는 교사 개인적으로 결정하고 실행한 것으로 연구자와 의견을 나눈 이후에 진행한 것이 아니다. 연구자는 교과 수업과 본 수업을 연계 및 통합하는 전략을 사용함으로써 학생들이 본 수업에 더 관심을 가지고 학습할 수 있도록 희망하였다. 또한, 수업을 추가적으로 더 진행하여 학생들이 시간 부족으로 인해 STEP 1과 STEP 3 과정에서 탈락하거나 배반하는 학생들이 한 명이라도 더 줄어들기를 바라였다.

건습구온도계를 활용하여 습도를 측정하는 원격 과학 수업에서 …**학생들에게 본 수업 전에 온습도 센서에 대한 흥미를 자극**… 온도계 측정을 기다리는 10분간 온습도 센서를 아두이노에 연결하고, 코딩하고 측정하는 모습을 보여주며 이야기를 나누었기 때문에 본 수업에서 학생들의 이해 속도가 빨랐을 것이다. …

(5~6차시 교사 성찰일지)

한편, 교사는 학생들에게 모둠 내에서 수행할 역할을 이끔이, 꾸밈이, 측정이, 기록이로 나누어서 부여하고자 하였다. H 학교에는 학급 내 반장 제도가 없었으며, 평소에도 강 교사는 학급 운영 시 학생들의 역할을 나누는 것을 선호하지 않는 편이었다. 그러나 본 수업에서 OPP를 변경한 이후 학생들에게 STEP 2, STEP 3 과정에서 모둠 내 역할을 나눠서 활동할 수 있도록 안내하였다.

교사: 코딩할 때 잘못하던 아이들 자신감이 떨어지다가, **'맞는 역할'을 찾아서 신나 해.** 힘을 합쳐서 같이 하니까 훨씬…

(13-14차시 후 전화 면담 중)

모둠 내 역할을 부여하면 STEP 1에서 디지털 테크놀로지와 연결되지 못한 학생들이, STEP 2와 STEP 3에서 디지털 테크놀로지로 측정하는 측정이 역할을 제외한 다른 역할을 맡아서 수행 가능할 수 있다는 장점이 생긴다. 강 교사는 이러한 전략을 활용해 STEP 1에서 네트워크를 배반한 학생들이 STEP 2와 STEP 3에서 흥미, 관심, 자신감 등을 가지고 다시 적극적으로 포섭되고 등록되기를 기대하였다.

제 3 절 등록하기

등록하기 단계는 네트워크를 강화하면서 연구자, 디지털 테크놀로지, 교사, 학생 행위자들 사이의 역할을 조정하여 재정의하는 단계이다. 만일 관심끌기가 성공적이라면 등록하기를 달성할 수 있다. 그러나 항상 성공적으로 동맹을 맺고 등록으로 이어지는 것은 아니다.

1. 각 행위자의 역할

주요 행위자들의 역할을 조정하여 재정의하면 다음과 같다.

1) 연구자

연구자의 역할은 ‘연구가 끝까지 잘 수행될 수 있도록 교수ㆍ학습 과정에 포함된 행위자들이 직면한 어려움을 돕는 역할’을 맡았다. 교사와 학생, 디지털 테크놀로지가 직면한 어려움을 돕고 설득하여 동맹을 맺는 구성원으로서 머물도록 노력해야 했다. 연구자가 본 네트워크를 설계하고 행위자들을 포섭한 중심 행위자이므로 네트워크 밖에서 머무는 것은 불가능하다. 연구자는 디지털 테크놀로지 생태계 구축 및 안정화, 보충 수업 제공, 클래스룸 개설, 키트 제공, 구글 계정 생성, 다양한 비인간-인간 행위자 포섭하기 등 여러 관심끌기 전략을 활용하며 일반적인 연구자의 역할을 확대하였다.

2) 디지털 테크놀로지

디지털 테크놀로지는 ‘학교 교육환경에서 교사와 학생들에게 빈번하게 활용되고 살아남아야 하는’ 역할이었다. 본 연구에서는 초등학교 교육현장에서 거의 실행되지 않던 새로운 형태의 수업을 진행하며, 디지털 테크놀로지가 평소에 경험하지 못한 환경에서 살아남기를 강요했다. 디지털 테크놀로지 기기를 대변하여 디지털 테크놀로지가 역할을 잘 수행했는지 확인하기

위해서는, 디지털 테크놀로지를 활용해 성공적인 시민과학 활동을 실행하였는지의 여부를 통해 알 수 있다. 이는 디지털 테크놀로지를 통해 도출된 기입물인 숫자와 그래프를 활용하여 작성된 글(제안하는 글, 포스터 등) 혹은 이와 관련된 담화 등을 통해서 확인할 수 있다.

3) 교사 역할

교사의 역할은 '수업 준비 및 실행 과정에서 여러 예측하지 못한 갈등상황 및 장애물(예: 로그인 불가, 인터넷 작동 불가, 해당 수업을 위한 시간 부족 등)을 계속 해결하면서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 끝까지 포기하지 않고 성공적으로 완수해야 하는 것'이다. 9년 차 교사에게는 기존 교육과정의 수업을 할 때 마주할 수 있는 장애물을 해결할 역량은 충분히 컸다. 그러나, 본 연구에서는 일반적인 교육환경에서의 교수·학습 상황과 동맹을 끊고 새로운 동맹을 맺음으로써 교사에게 **새로운 역할을 강제**했다. 교사는 지금까지 다년간 쌓은 교육경험으로 어느 정도 예측 가능했던 교육과정 운영 방향, 수업 중 학생들의 반응, 예측 가능한 학생들의 성취도 수준을 더는 알 수 없었다. 이에 경력교사가 아닌 초임교사 역할처럼 예측하기 힘든 위험한 교육상황을 마주 보고 해결해야 하는 새로운 역할이 부여되었다. 학생들의 성취 정도(성취 수준, 성취 결과 등)를 예측할 수 없어 수업 활동의 난이도를 결정하고 어떤 활동을 구성해야 하는지 끊임없는 고민이 필요하였고, 예측 불가능한 상황의 발생으로 상시적인 교육과정 재구성이 필요했다. 이 과정에서 디지털 테크놀로지, 연구자, 보조교사와도 새롭게 관계를 구성하기 위한 노력이 필요하였다. 이러한 과정에서 연구자에게 일정 부분 의존할 수밖에 없는 상황도 생겼다.

4) 학생 역할

학생의 역할은 다른 행위자들과 달리 OPP의 변경으로 인해 변화한 특징이 있다. '모두'가 디지털 테크놀로지를 잘 이해하고 활용해서 얻은 데이터를

활용해 확장 시민과학 활동을 해야 했으나 실제로는 ‘일부의 학생들만’ 디지털 테크놀로지 테크놀로지를 잘 이해하고 활용하는 역할에 호응하였다. 이에 강 교사의 주도하에 OPP는 변경되었고 학생들은 ‘모둠 전체’ 에서 디지털 테크놀로지를 통해 얻은 데이터를 활용해서, 시민과학 활동을 성공적으로 완수해야 하는 변화된 역할을 부여받았다. 변화된 역할로 인해 모두가 디지털 테크놀로지를 활용할 필요가 없었으며 각자 모둠에서의 개인별 역할(이끔이, 꾸밈이, 기록이, 측정이)을 부여받고 그 역할을 수행했다.

2. 배반(Betrayal)

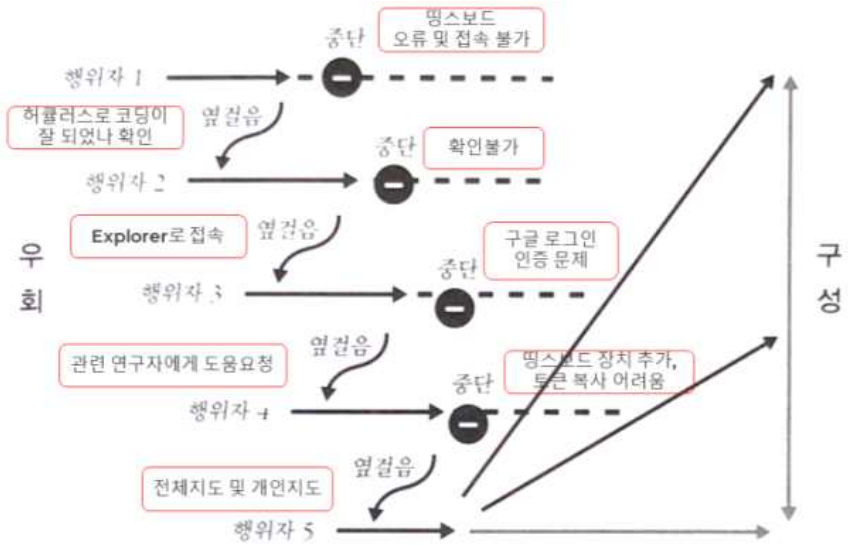
중심 행위자인 연구자는 상기 기술된 것처럼 각 주요 행위자들 각자의 역할을 잘 달성하면서 등록되기를 원하였다. 또한, 주요 행위자들 역시 동맹 관계를 통해서 자신의 목적을 달성할 수 있으므로 다른 행위자들이 자신의 역할을 잘 달성하며 등록되기를 원한다. 이를 위해 관심끌기 전략을 통해 행위자들을 등록시키고자 하였으나, 행위자들은 끊임없이 배반하고 탈출을 시도하였다. 관심끌기가 행위자에게 매력적으로 작용할지라도 이는 네트워크 구성의 성공을 담보하지는 않는다(유금복 외, 2022). 다양한 이익집단이 자신의 이해관계를 충족시키지 못하면 기존의 정체성을 유지하기 위해 관계를 맺었던 다른 행위자들과 다시 관계를 맺으며 도망가는 모습을 보였다. 즉, 다른 경쟁적 연결망으로부터 성공적으로 배제시키지 못하는 모습도 생겨났다.

한 행위자의 번역 과정이 실패하는 경우 어느 단계에서든 번역의 또 다른 얼굴(단계)인 배반의 과정이 침투하게 된다. 앞서 교사는 디지털 생태계를 준비하는 과정에서 예상하지 못했던 행위자들을 만날 때 혹은 STEP 1에서 모든 학생이 OPP를 통과하지 못하여 동맹을 맺기 어려울 것 같은 위기를 마주할 때 등 네트워크를 탈출하고 싶기도 하였다. 교사는 계획된 틀 안에서 수업이 진행되는 것을 좋아하는 편인데, 변수가 많은 프로젝트 수업이라 힘들기도 하였다. 그러나 교사는 본 수업에 참여함으로써 얻고자 하는 목적을 상기하면서 네트워크에서 탈출하지 않았다. 디지털 테크놀로지 역시 수업환경에서 다른 행위자와 동맹을 맺기 힘든 위기를 마주하였다. 외부 환경에서

네트워크를 안정적으로 구축하며 자유롭게 사용되던 디지털 테크놀로지는 초등학교 교육현장에서 여러 인간-비인간을 만나는 것을 힘들어했다. 상황 맥락에 따라서 비인간 행위자들은 다른 형태로 치환되며 각 상황에 존재한 행위자들과 연결된다. 이미 학교 밖 행위자들과 연결되는 것에 익숙한 디지털 테크놀로지 행위자도 학교에 들어오기 위해서는 자신의 모습을 치환하거나 변경해야 했다. 그러나, 아직 디지털 테크놀로지는 준비가 많이 필요한 듯이 보였다.

동맹자들의 요구나 기대를 충족시키기 위해서, 혹은 관심을 얻기 위해 연구자와 교사는 관심끌기 전략을 수정하였다. 또한, 학생들이 교수학습 네트워크에서 연결이 불안정해지고 약화 된 경우, 학생의 참여를 강화시키기 위해 (유금복 외, 2022) 참여를 촉진할 수 있는 여러 가지 관심끌기 장치를 활용하였다. 즉, 특정 행위자가 네트워크에 연결이 불안정하고 약해지는 경우 이를 안정시키기 위한 추가적인 포섭과정을 사용하였다(유금복 외, 2022). 그럼에도 학생 행위자들은 네트워크를 탈출하는 사례가 종종 생겨났다.

학생의 배반은 수업 단계가 전환되는 STEP 1, 2, 3 에서 각기 다르게 나타났으며 5장에서 학생들이 배반하는 모습이 일부 드러난다. 그러나 본 절에서는 비인간을 중심에 두고 각 수업 단계에서 어떻게 우회와 구성, 배반이 생겨났는지 그 과정을 살펴보고자 한다.



[그림 3-10. STEP 1 번역 과정에서 우회 및 중단]

학생들은 수업 초반에 처음 접해보는 디지털 테크놀로지를 조작해볼 수 있다는 기대감이 컸었다. 그러나 STEP 1에서 특히 디지털 테크놀로지와 관련하여 수많은 우회와 중단과정이 발생하였다. 게다가 학생마다 경험한 중단과 우회의 과정은 각기 달라서 학생과 교사 모두가 이를 해결하는 데 어려움을 겪었다. 이로 인해서 많은 시간이 소요되고, 수업이 지연 되면서 다음 차시에 영향을 미치기도 하였다. 우회와 중단과정을 반복적으로 겪은 학생일수록 네트워크에 등록되지 못하고 배반하는 사례가 많았다.

[그림 3-10]은 11~12차시 수업 과정에서 일어났던 우회와 중단과정을 도식화한 것이다. 11~12차시는 그동안 배웠던 디지털 테크놀로지에 대해 처음부터 끝까지 복습하는 시간이었다. 이전 차시와 해당 차시 간에 공백이 생겨 학생들은 처음부터 복습하는 시간을 가졌다. 그러나, 유독 해당 차시에서 학급 전체가 진도를 잘 나가지 못하였다. 학생들은 디지털 테크놀로지를 통해 대기 환경을 측정하고 이를 그래프로 나타내는 번역 활동을 하였다. 그래프를 확인하기 위해서 학생들은 띵스보드 프로그램에 접속하려고 하였으나, 학급 전체가 접속 불가능한 오류가 발생하였다([그림 3-11]).

[그림 3-11. 오류가 난 띵스보드 화면]

이에, 교사는 허큘러스 프로그램에서 먼저 접속하여 엠블럭에서 작성한 코딩이 잘되었는지 확인부터 하라고 옆걸음질 쳤다. 그러나 LTE 모듈이 추가

되면서 새롭게 작성한 코딩은 허큘러스에서 확인할 수 없다는 문제가 생겼다. 이에 띵스보드 프로그램을 Google Chrome 웹 브라우저 대신 Internet Explorer에서 접속해서 확인해볼 것을 제안하였다. 그러나 Google Chrome 대신 Internet Explorer에 접속되는 과정이 너무 느려 웹사이트가 뜨지 않는 컴퓨터가 많았다. 웹사이트에 접속 한 일부 학생들은 구글에서 자동 로그인 되도록 기록되어 있지 않아서 본 수업 공용계정 아이디와 비빌 번호를 입력하고 로그인을 인증해야 하는 작업을 거쳐야만 했다. 이에 연구자는 해당 프로그램을 사용하고 관리하는 연구자에게 도움을 요청하였다. 긴 우회의 과정을 띵스보드에 접속한 학생도 있었고, 결국 기존 방법대로 돌아가 띵스보드에 접속한 학생들이 있었다. 또한, 그 과정에서 길을 잃고 결국 번역에 실패한 학생들도 생겨났다. 전혀 예측할 수 없었던 상황에 직면하자 교사와 학생, 연구자 모두 당황하였으며, 그 상황에서 반복되는 중단과 우회의 과정을 거치면서 모두가 지쳐갔다.

이렇게 STEP 1에서는 중단과 우회의 과정이 반복적으로 생겨났으며, 학생별로 중단되는 상황과 그 문제를 우회하여 해결하거나 혹은 해결하지 못하는 상황들이 생겼다.

상술 된 사례 외에도, STEP 1에서 번역 중 중단이 일어난 사례도 있었다. 먼저, 학생들의 컴퓨터가 자동으로 업데이트되는 경우가 종종 있었는데, 소요 시간은 10분 이상이었다. 학생들은 본인 컴퓨터에 블록코딩 내용을 저장해두거나 로그인 자동접속 기록이 남아있으며, 확장 블록도 저장되어 있어 다른 컴퓨터로 교체하는 우회 과정을 쉽게 선택할 수 없었다. 이에 노트북을 교체하는 우회의 과정을 선택할 수 없었다. 아래 태준이는 노트북이 업데이트되는 시간에는 아무 활동에도 참여할 수 없었다. 또한, 업데이트가 완료되고 나서도 처음 보는 화면들이 나타나서 오랜 시간 동안 기다린 후에야 수업에 참여할 수 있었다([3-12]). 수업시간에 열정적으로 참여하는 태준이를 방해하는 비인간이 등장한 것이다.

태준: 선생님 잠시만요. (컴퓨터) 업데이트 중이에요. 파란창이 떠요. (보조교사가 가서 도와주려고 해도 딱히 방법이 없어서 태준이는 기다림.)

(교사가 진도를 계속 나감)

태준: 선생님! (다급하게 손을 들면서)
교사: 태준이 왜?
태준: (제 컴퓨터는) 업데이트 작업 중이에요.
교사: 태준이 조금 기다리세요.
(10분가량 계속 업데이트 중이라고 떠서 수업에 참여하지 못함)
태준: (당황하면서) 업데이트되고 나서 이상한 게 뜨는데요?

(7~8차시 수업 중)

[그림 3-12. 컴퓨터 업데이트 중 수업이 계속 진행되어
다급히 손을 드는 태준]

그 외에도, 영어 타자를 입력하는 것이 능숙하지 않거나, 복사와 붙여넣기 단축키(ctrl+c, ctrl+v) 사용법에 익숙하지 않은 학생들이 대다수였다. 그러나 태준이 사례와 마찬가지로 우회할 방법은 딱히 없었다.

한편, 우회의 방법을 사용하였지만, 오히려 그 과정에서 더 혼란스러움이 가중되는 사례도 생겨났다. 학생들의 진도 상황을 확인하기 위해서는 엠블럭과 띵스보드에서 공용계정을 사용할 필요가 있었다. 그러나 학생들은 코딩하는 것보다 로그인하는 것과 로그인 과정에서 인증받는 것을 더 어려워했다. 공용계정 아이디를 3가지로 만들었고, 약 8명 단위로 하나의 아이디와 비밀번호를 사용하도록 안내하였다. 그러나 그 중, 한 개의 아이디로는 갑자기 접속 불가능했다. 이를 해결하기 위해서 다른 아이디를 사용하라고 안내하였지만 이미 아이들은 혼란에 빠지기 시작하였다. 또한, 로그인하는 과정에서

인증작업이 필요했고 인증작업을 위해서 몇 가지 방법을 선택할 수 있었지만, 학생들은 교사가 안내해준 방법을 사용하지 않고 제각기 다른 방법을 선택하여서 다시 어려움에 직면하게 되었다. 추후 아이디를 새롭게 만들어 다시 8명 단위로 하나의 아이디를 사용할 수 있게 하였지만, 학생들은 다시 새로운 아이디로 로그인하는 과정에서 어려움을 경험하였다. 즉, 우회를 통해 번역 과정을 돕고자 하였지만 오히려 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성을 보장하지 못하였다. 예측하지 못한 상황의 발생과 중단과 및 우회의 과정에서 또 다른 중단과정이 생겨나는 상황이 STEP 1에 수업시간을 더 많이 할애하게 한 하나의 요인이 되기도 하였다.

연구자는 보조교사와 함께 수업이 시작하기 전 STEP 0, 1에서 디지털 테크놀로지 생태계를 준비하고 구축하여 행위자들이 네트워크에서 이탈하지 않기 위해 노력하였다. 그러나 상기 기술된 것처럼 관심끌기의 전략과 무관하게 누구도 예측하지 못했던 비인간과 인간의 관계가 형성되어 나타났으며, 이러한 과정에서 네트워크를 배반하는 사례도 생겨났다. 중단과 우회 과정에서 번역에 실패하면서 부정적인 감정이 생겨나기도 하였다. 띵스보드에서 대기 환경질을 그래프로 출력하는 과정이 아이들에게 즐거움을 제공하며 관심끌기의 전략이 되기도 하였지만, 번역에 실패한 학생들에게는 오히려 재미없는 과정이었다.

태준: 오오! 또 내려가!!! 또 내려간다!
현희: 나는 왜 안 되는거야!
민지: 아이 나도 하고 싶은데.
태준: 재미있다!
현희: **재미있긴 뭐가 재미있어? 돼야 재미있지.**

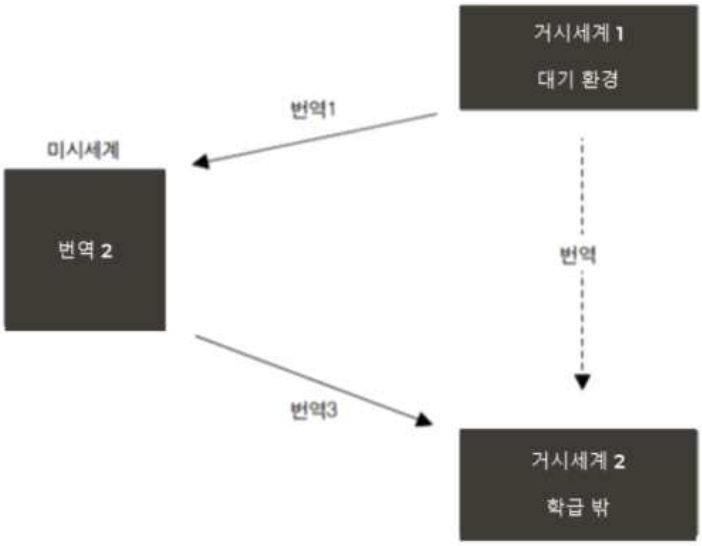
(9~10차시 수업 중)

학생의 관심을 끌기 위해서 디지털 테크놀로지 기기가 필요했지만, 이러한 종류의 전략이 ‘모든’ 학생에게는 유효하지 않은 것으로 증명되었다. 이에 지속적이고 새로운 포섭과정이 필요했다. 그러나, 교사와 연구자의 계획을 훼방하고, 학생들이 기기를 통해 데이터를 얻는 데 방해하는 적군이 많았다.

예를 들어, 초반과 달리 디지털 테크놀로지에 대한 흥미를 잃고 떨어져 나가는 학생들이 생기기 시작했다. 예측하지 못한 장애물과 이를 우회하는 과정이 누적되며 중단을 경험한 학생들은 학습 수준에 차이가 생기면서, 배반하는 경우가 증가하였다. 이에 더는 디지털 테크놀로지가 학생 행위자들을 유혹하는 장치로 작동하지 않은 것이다. 학생들은 학원 문제집을 풀거나 친구들과 잡담을 하는 경우가 생겨났다. 시간에 따른 여러 가지 관심끌기 전략이 잘 작동하지 않기도 하였다. 결국, 배반하는 학생이 늘어나 OPP를 변경하게 되었다.

제 4 절 동원하기

동원하기 단계에서는 대표성을 가진 행위자가 생성되는 과정으로 그 행위자는 새로운 네트워크에 편입되어 다른 영역으로 확장된다. 새로운 행위자가 네트워크 동맹에서 안정화된 번역의 중심으로서 대표성과 권위를 확보하고 '불변의 가동물(immutable mobile)'에 의한 '기록'과 '처방'을 통해 행위자 네트워크를 지배, 재생산하는 단계이다(박경환, 2013).



[그림 3-13. 이 수업에서의 번역과 세계의 변화]

[그림 3-13]은 본 수업 전체 번역 과정을 비인간에 초점을 두어 들여다본 것이다. 즉, 대기 환경(이산화탄소, 미세먼지, 온습도)과 관련된 문제가 사회적 행동으로 이어지기까지의 과정을 설명한다. 먼저 보이지 않던 학생 주변의 대기 환경의 물질(거시 세계1)을 번역 1을 통해 교실 내 수업시간으로 축소하여 옮겨온다. 즉, 대기 환경이라는 거시세계를 통제된 교실 환경이라는 미시세계로 축소한다. 교실 환경 내에서 새로운 이해관계에 따른 이질적인 행위자들의 집합체가 형성된다. 대기의 질을 측정해서 자료를 보내주는 충실한 센서, 컴퓨터에서 자료 수치를 그래프로 변환시켜주는 띵스보드 프로그램, 이와 관련된 여러 하드웨어와 소프트웨어 프로그램 덕분에 교실 안

디지털 테크놀로지가 만들어내는 결괏값을 바탕으로 생활 주변의 대기를 이해하고 예측할 수 있게 된다. 대기 환경은 디지털 테크놀로지를 통해 숫자나 그래프라는 기입물로 번역되면서 가시적인 '사물'이 되었다. 즉, 대기 환경은 교실에서 번역되어 관리 가능한 규모로 축소된다. 연구집합체들은 번역 2에서 대기 환경으로부터 시작된 기입물을 만들어내고 해독한다. 이후, 거시세계로 복귀하기 위해서 기입물은 한 번 더 생산된 지식이 정교화되는 작업을 거쳐 새로운 기입물(포스터, 제안하는 글, 담화 등)로 변환된다. 더 이상 대기 환경 자체는 중립적이지 않게 된다. 만일 연결망이 아주 많이 커지고 안정화된다면 포스터와 제안하는 글과 같은 기입물은 행위자들로부터 독립적인 것으로 보이게 된다. 일반적으로 학교 내 수업은 번역 2단계까지만 실행하며, 번역 3을 위한 준비 혹은 거시세계로 다시 나가지 않는 편이다. 그러나 본 연구에서는 번역 2 이후, 최종 기입물을 거시세계로 복귀시키면서 최종 기입물이 거시세계에서 생존하길 희망한다. 학급 밖의 회사, 교육청, 학교 내 복도, 국민신문고, 교육감 홈페이지와 같은 거시세계 2로 새로운 기입물이 나갔다. 즉, 교육청 관계자, 회사, 교육감 등 다른 사람들에게 유통되고 운반되는 과정(번역 3)을 거치게 된다. 이를 통해 거시세계의 부분적인 재편성이 일어나길 기대한다. 또한, 피드백, 댓글, 답변 등을 통해 세계가 변화하는 것을 직접 경험할 수 있기를 기대하였다.

학생들은 이러한 과정을 통해 힘을 얻을 수 있다. 즉, 학교에서의 활동이 다수 대중의 삶에 들어갈 힘을 가지게 되었다. 학생들은 제안하는 글 또는 포스터를 만들면서, 대기 환경에 대한 대변자가 되어서 대기 환경 문제에 대해서 잘 모르거나 관심이 없는 성인들(교육관계자, 회사), 학교 동료 학생들에게 자신의 프로젝트에 호의적인 입장에 서게 하여 자신들의 동맹군으로서 네트워크에 동원시키고자 하였다([그림 3-14]). 이러한 과정은 확장 시민과학 교육과 관련하여 중요한 의미가 있다. 번역의 핵심 매개물이라고 할 수 있는 불변의 가동물은 먼 거리를 쉽게 이동하면서 번역의 중심 지배력을 유지하는 데 활용된다(박경환, 2013). 학교 안에서 이루어지는 탐구 활동의 결과물들이 불변의 가동물을 통해서 학교 밖 새로운 네트워크로 유통되고 운반되면서 네트워크를 확장시킨다. 또한, 학교 밖 행위자들을 동원시켜 자신의 세력을

공고히 할 수 있다. 즉, 기입물이자 불변의 가동물이 대중들의 삶으로 들어가 사회를 바꾸어나가는 실질적인 행동이 가능해진다. 마치 파스퇴르의 불변의 가동물이자 기입물이었던 실험 결과 논문이 프랑스 전역에 돌아다니며 큰 영향력을 미쳤던 것(Latour, 1987)과 유사해진다.

수동적인 학습자로 성장한 어린이들은 자신이 무엇을 할 수 있을지, 자기의 의견이 받아들여질 수 있는지 의문을 가지고 있다(임성은 외, 2021; 장진아, 2018). 어린이는 사회적인 행동을 할 수 없는 존재로 스스로 위치 지으며 STEP 3 활동의 무가치성에 대해서 이야기하는 모습은 다음과 같이 A 학급에서도 볼 수 있었다.

> 지영: 이 활동을 굳이 해야하나 싶어가지고… 아니 글 쓴 사람이 두 명이 있다치면 **한 명은 아무것도 모르는 초등학생들이** 글 쓴 글이고, 한 명은 또 좀 알고 조사를 다 하고 측정을 완벽하게 끝낸 (성인) 사람들이 쓴 글이면요, 초등학생이 쓴 글하고 어른이 쓴 글 비교하면 당연히 조사를 한 사람 글을 믿겠죠. 누가 초등학생 글을 믿어요?
>
> (3차 심층 면담 중)

그러나 불변의 가동물이 학급 밖 사회로 나가 먼 거리를 쉽게 이동하면서 번역의 중심 지배력을 유지하는 데 활용되는 모습을 보게 된다면, 학생들은 네트워크에서 권력을 가질 수 있는 연약한 존재에서 강한 존재로 변화할 수 있음을 깨달을 수 있다. 이는 지속적인 동기유발과 참여 의지를 끌어낼 수 있으며 추후 학생들이 연속적으로 사회 과학적인 문제에 관한 관심을 고취시키며, 자기 주도적인 학습을 이끌어낼 수 있는 원동력이 될 수 있다.

CHARMZONE

한정수량 카이 엽서 증정 EVENT

마스크 속 이산화탄소 보안 해주세요

작성일 2022-01-28 조회 213

안녕하세요 입니다.

그림입니다. 원본 그림의 이름: mem000036280001.jpg 원본 그림의 크기: 가로 500pixel, 세로 586pixel

다름이 아니라 저희가 학교에서 과학 이산화탄소 수치 실험을 한 결과 마스크 안 이산화탄소 수치가 너무 높게 나와 마스크에 보안이 필요할 것 같다는 생각이 들어 연락을 드렸습니다. 마스크 안 이산화탄소 수치는 10초만에 최대 수치 5000ppm이 나왔고 계속 떨어 지지 않았습니다. 하지만 사람들이 많이 있는 교실 안 이산화탄소 수치는 1분 동안 1000ppm에서 1400ppm밖에 되지 않았습니다. 2000ppm이상 올라가게 되면 졸음과 인지 능력 저하로 학습 집중력이 떨어질 수 있고 심하면 두통을 유발할 수 있다는 기사가 있었습니다. 학교 교실에 이산화탄소 수치는 1000ppm을 초과하는 일이 빈번하고 때로는 3000ppm을 초과하기도 합니다. 물론 이산화탄소 수치가 높다고 건강에 해롭지 않지만 사고력이나 의사 결정을 상당히 손상 시키기 때문에 수능을 앞둔 학생의 공부 환경을 잘 조성해줄 필요가 있다고 합니다.하지만 마스크를 착용하지 않고 있는데도 어지럼증이 반복적으로 발생하면 질환으로 인식하고 병원을 찾아야 한다고 합니다.마스크 안 이산화탄소 수치가 낮아질수 있도록 보안 해주시면 좋겠습니다.긴글 읽어주셔서 감사 드리고 답변 부탁드립니다.

댓글 1

참존 2022.02.03 10:54:07

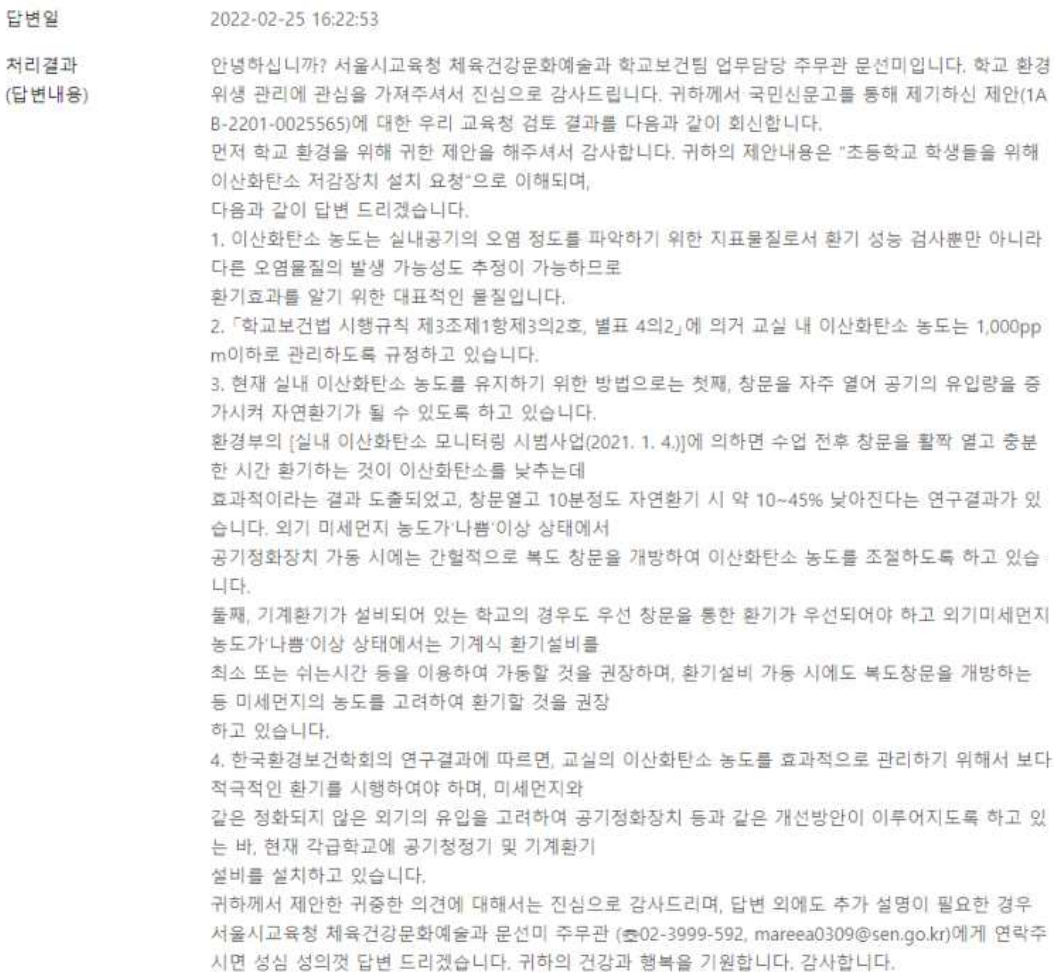
안녕하세요 참존입니다.
참존을 찾아 주셔서 감사합니다.

수정 삭제

문의하여 주신 내용은 유관부서 전달하도록 하겠습니다.
감사합니다^^

[그림 3-14. 마스크 회사에 게시한 제안하는 글 및 답변]

그러나 학생들이 사회적 행동을 한 후 모든 수업이 끝나기까지 일주일가량의 시간밖에 없었다. 게다가 사회적 행동을 한 후 바로 설 연휴가 시작되어 학교에 부착된 포스터에 답변이 달리지 않았다. 또한, 교육감 홈페이지의 학생 청원 동의 기간은 한 달 동안으로 수업이 끝날 때 청원의 결과를 확인할 수 없었다. 이외에도 교육부에 올린 글은 불채택되었으며, 교육청에 올린 글에 대한 답변은 모든 수업이 마무리되고 3주 후에 달렸다([그림 3-15]). 회사에 올린 글에 대해서는 다음과 같이 형식적인 답변이 달렸다([그림 3-14]).



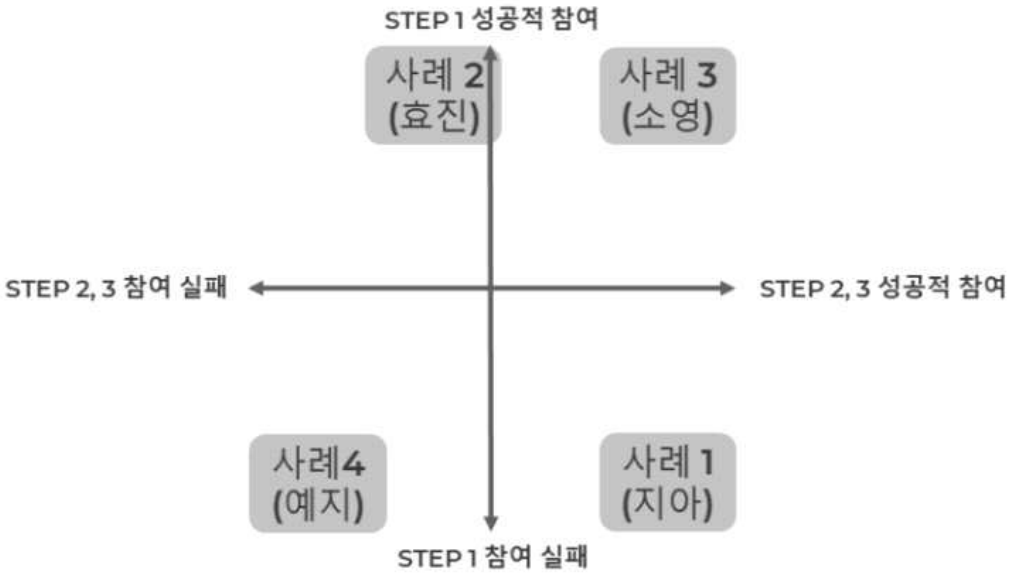
답변일	2022-02-25 16:22:53
처리결과 (답변내용)	안녕하십니까? 서울시교육청 체육건강문화예술과 학교보건팀 업무담당 주무관 문선미입니다. 학교 환경위생 관리에 관심을 가져주셔서 진심으로 감사드립니다. 귀하께서 국민신문고를 통해 제기하신 제안(1AB-2201-0025565)에 대한 우리 교육청 검토 결과를 다음과 같이 회신합니다. 먼저 학교 환경을 위해 귀한 제안을 해주셔서 감사합니다. 귀하의 제안내용은 "초등학교 학생들을 위해 이산화탄소 저감장치 설치 요청"으로 이해되며, 다음과 같이 답변 드리겠습니다. 1. 이산화탄소 농도는 실내공기의 오염 정도를 파악하기 위한 지표물질로서 환기 성능 검사뿐만 아니라 다른 오염물질의 발생 가능성도 추정이 가능하므로 환기효과를 알기 위한 대표적인 물질입니다. 2. 「학교보건법 시행규칙 제3조제1항제3의2호, 별표 4의2」에 의거 교실 내 이산화탄소 농도는 1,000ppm이하로 관리하도록 규정하고 있습니다. 3. 현재 실내 이산화탄소 농도를 유지하기 위한 방법으로는 첫째, 창문을 자주 열어 공기의 유입량을 증가시켜 자연환기가 될 수 있도록 하고 있습니다. 환경부의 [실내 이산화탄소 모니터링 시범사업(2021. 1. 4.)]에 의하면 수업 전후 창문을 활짝 열고 충분한 시간 환기하는 것이 이산화탄소를 낮추는데 효과적이라는 결과 도출되었고, 창문열고 10분정도 자연환기 시 약 10~45% 낮아진다는 연구결과가 있습니다. 외기 미세먼지 농도가'나쁨'이상 상태에서 공기정화장치 가동 시에는 간헐적으로 복도 창문을 개방하여 이산화탄소 농도를 조절하도록 하고 있습니다. 둘째, 기계환기가 설비되어 있는 학교의 경우도 우선 창문을 통한 환기가 우선되어야 하고 외기미세먼지 농도가'나쁨'이상 상태에서는 기계식 환기설비를 최소 또는 쉬는시간 등을 이용하여 가동할 것을 권장하며, 환기설비 가동 시에도 복도창문을 개방하는 등 미세먼지의 농도를 고려하여 환기할 것을 권장 하고 있습니다. 4. 한국환경보건학회의 연구결과에 따르면, 교실의 이산화탄소 농도를 효과적으로 관리하기 위해서 보다 적극적인 환기를 시행하여야 하며, 미세먼지와 같은 정화되지 않은 외기의 유입을 고려하여 공기정화장치 등과 같은 개선방안이 이루어지도록 하고 있는 바, 현재 각급학교에 공기청정기 및 기계환기 설비를 설치하고 있습니다. 귀하께서 제안한 귀중한 의견에 대해서는 진심으로 감사드리며, 답변 외에도 추가 설명이 필요한 경우 서울시교육청 체육건강문화예술과 문선미 주무관 (☎02-3999-592, mareea0309@sen.go.kr)에게 연락주시면 성심 성의껏 답변 드리겠습니다. 귀하의 건강과 행복을 기원합니다. 감사합니다.

[그림 3-15. 교육청 답변 사항]

결국, 본 수업 과정에서 생산된 제안하는 글, 포스터들이 학급 밖 거시세계로 나가긴 했지만 제대로 생존하였는지 학생들은 확인하지 못하였다. 또한, 학생들의 종업식이 끝나고 연구자가 확인한 답변들은 불변의 가동물이 제대로 생존하지 못했음을 확인할 수 있었다. 즉, 회사와 교육관계자, 학급 밖 사람들 등 다른 이질적 행위자를 끌어당기는 매력적인 불변의 가동물로서 작동하지 못하게 되었다. 마지막 차시에서 A 학급 학생들은 ‘H 초 팔방이들’ 이라고 명명되면서 본 수업이 블랙박스화되기 시작됨과 동시에 수업이 갈무리 되었으며 아쉽게도 수업이 끝나고 일주일 뒤 종업식이 진행되면서 본 수업과 관련된 비인간, 인간 행위자는 흩어졌다.

제 5 장 개인 및 소집단 활동에서 구성되는 네트워크 및 변화과정

이 장에서는 수업을 실행하는 과정에서 네트워크 구성과 변화과정을 수업 단계별로 분류하였다([그림 4-1]). STEP 1에서는 초기 OPP를 통과하는지 여부, STEP 2, 3에서는 활동에 자발적이며 적극적인 행위성을 보이는지에 따라 기준을 설정하였다. 그 후 각각의 분류기준에 해당하는 사례를 선정하여 해당 사례의 네트워크의 형성과정의 특성과 변화를 시간의 순서에 따라서 살펴보았다.



[그림 4-1. 수업 실행 단계별 네트워크 구성 분류 사례]

첫 번째 사례는 초기에 설정한 OPP를 통과하지 못하여 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 학생 행위자가 블랙박스를 형성하지 못하였지만, STEP 2, 3에서는 성공적인 참여가 이루어졌다. 두 번째 사례는 초기 OPP를 통과하여 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 학생 행위자가 블랙박스를 형성하였지만, STEP 2, 3에서는 참여 실패에 가까웠다. 세 번째 사례는 초기 OPP를 통과하여 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 학생

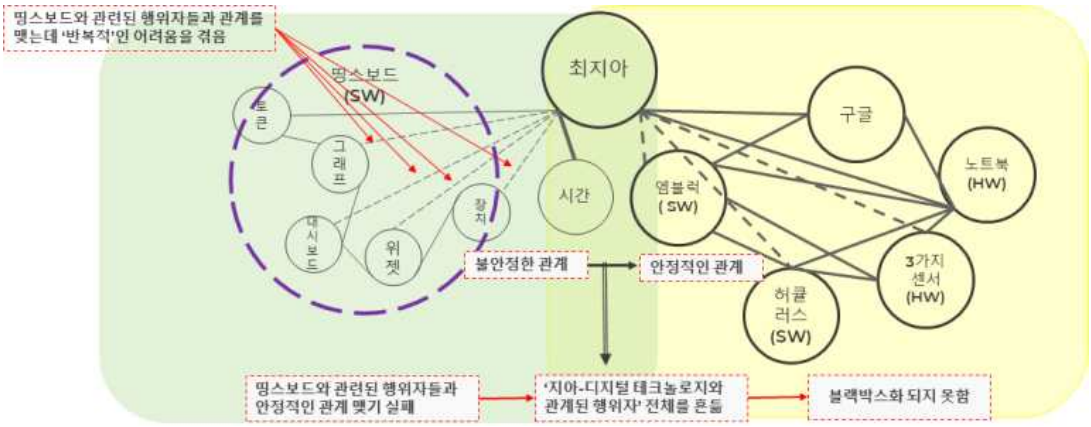
행위자가 블랙박스를 형성하였고, STEP 2, 3에서도 성공적인 참여가 이루어졌다. 마지막 사례는 초기에 설정한 OPP를 통과하지 못하여 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 학생 행위자가 블랙박스를 형성하지 못하였고, STEP 2, 3에서도 참여에 실패했다.

제 1 절 지아를 둘러싼 네트워크 사례

1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 실패과정

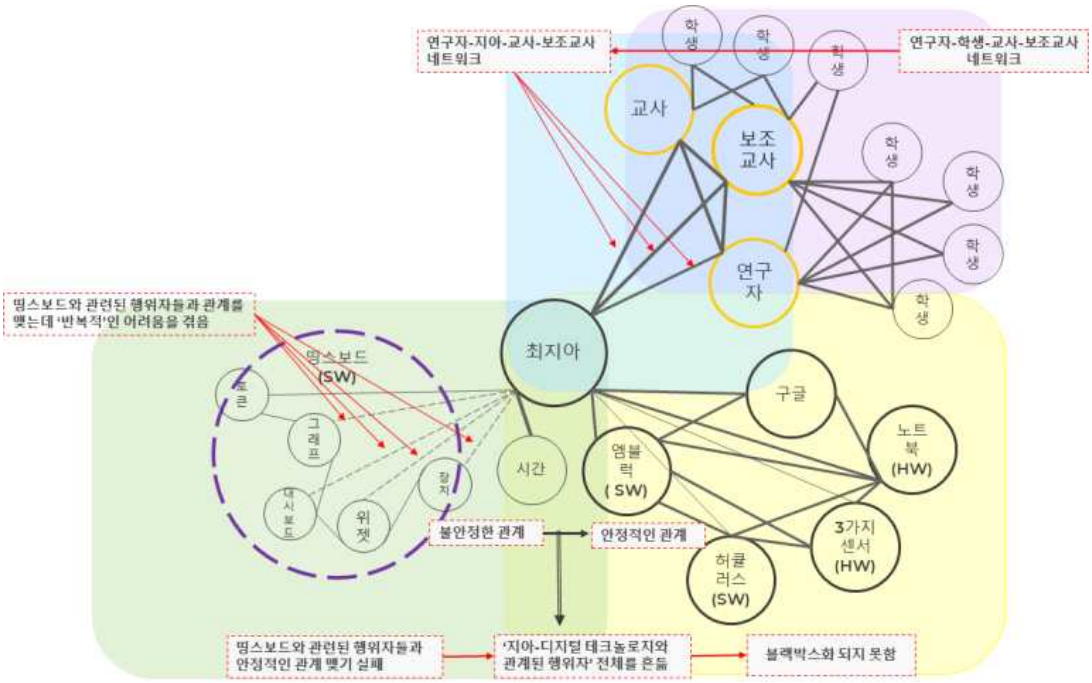
다음 [그림 4-2]는 디지털 테크놀로지 비인간 행위자와 지아가 STEP 1에서 학습 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다. 학습 과정 즉 번역 행위를 보려면 '시간에 따른 네트워크 변화과정'을 중심에 두고 해석할 필요가 있다. 이에 이를 최대한 도식화하여 표현하고자 하였다. 행위자와 행위자 사이 네트워크의 관계는 선의 형태와 굵기로 표현되었다. 또한, 학생과의 관계가 지속적이고 안정적인 행위자일수록 행위자를 둘러싼 원이 크고 굵게 표현되었다. 지표와 관련된 부분은 <3장. 2절. 2.자료 분석>에 상세히 기술되어 있다.

실선(▬▬): 연결됨
파선(- - -): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨
주황색 원: 문제 해결을 위해 관계 맺는 대상
바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크



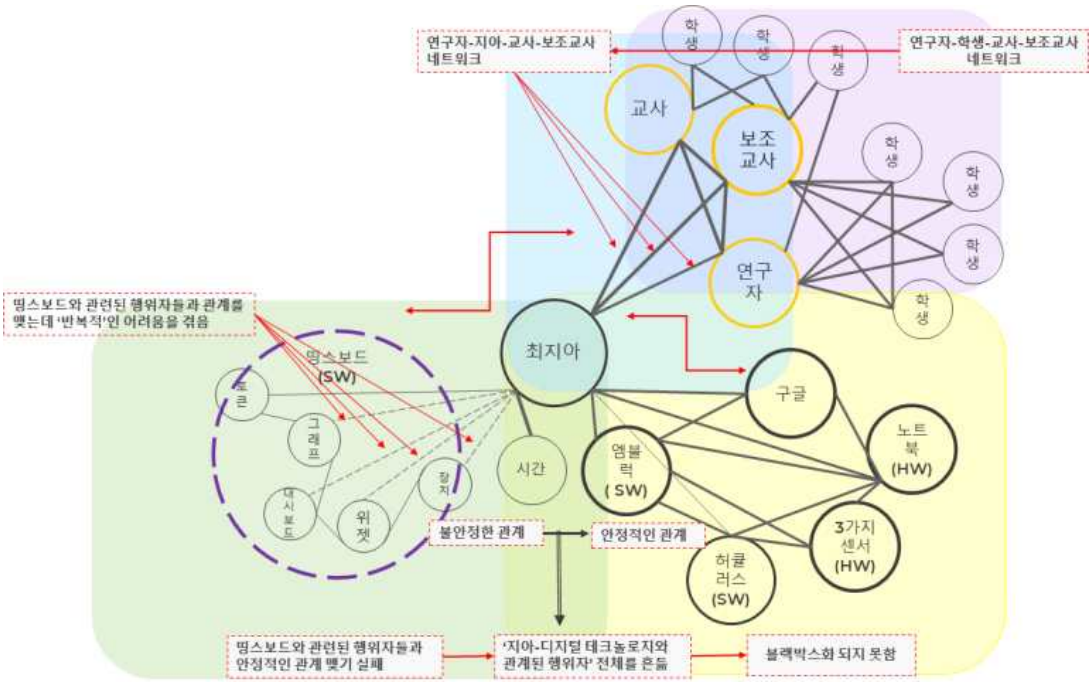
a. 띵스보드와 관련된 행위자들과 관계 맺기의 어려움으로 인해 다른 네트워크가 흔들림. 지아-디지털 테크놀로지와의 블랙박스화 실패

↓

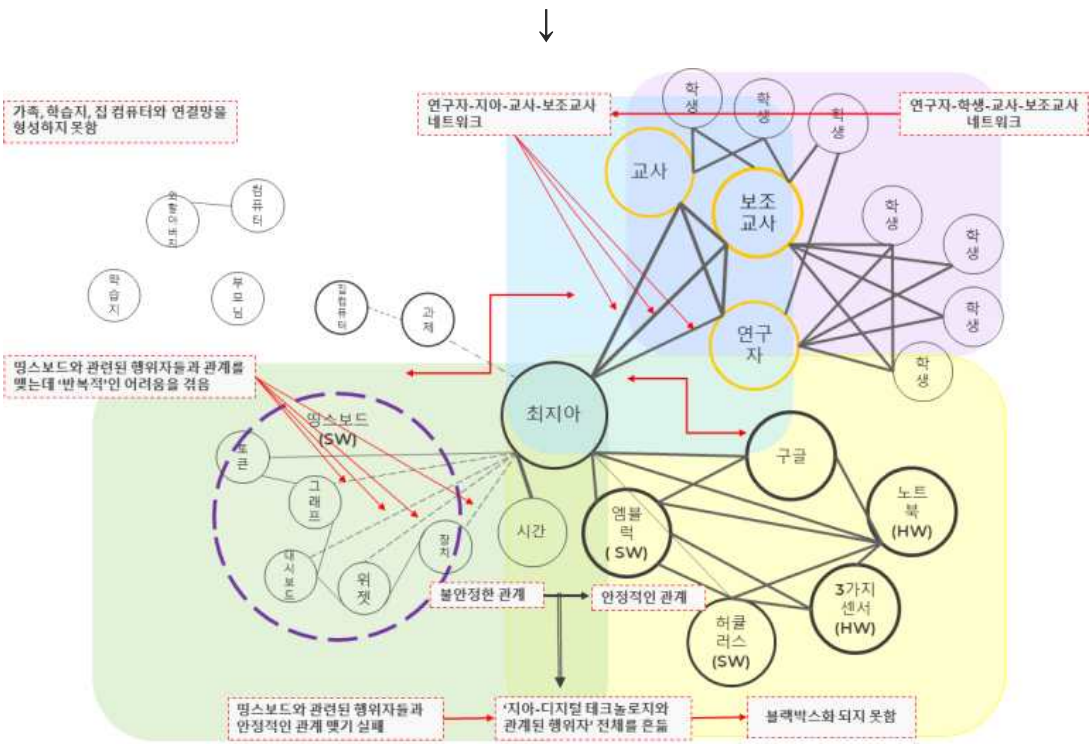


b. 다른 행위자들의 관계망 영향으로 이전에 잘 시도하지 않았던 교사, 보조교사, 연구자와 네트워크 형성

↓



c. 변증법적인 네트워크 관계



d. 과제를 통해 디지털 테크놀로지와의 관계를 안정화하는 데 실패

[그림 4-2. ‘지아-디지털 테크놀로지’ 블랙박스 형성 실패과정]

[그림 4-2]는 STEP 1 학습 과정에서 디지털 테크놀로지-지아 블랙박스 형성 실패과정을 시간에 따라 순차적으로 보여주고 있다. 그러나 이는 분석적으로 분리(analytical separation)하고자 한 결과물이며 실제로는 a, b, c, d의 과정이 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 서로 상보적이며 복합적으로 작용하여 일어났다.

먼저, 지아는 STEP 1 수업에 참여하면서 점차 디지털 테크놀로지 관련 행위자인 ‘엠블럭(SW), 3가지 센서(HW), 허큘러스(SW), 노트북(HW), 구글’과의 관계가 비교적 안정적으로 변화하였다(노란색 영역). 반면, ‘띵스보드(SW)’와 관련된 비인간 행위자인 초록색 영역 안의 비인간 행위자들과의 연결은 시간이 지나도 안정적으로 변화하지 못하였다. 띵스보드 역시 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자이다. 노란색 영역의 비인간 행위자들을 자세히

들여다보면 띵스보드처럼 다양한 비인간과의 네트워크로 구성되어 있지만[8], 지아와의 네트워크가 안정적으로 연결되어 있어 하나의 결절된 행위자로 보인다. 반면 띵스보드처럼 지아와 관계망을 형성하는 데 어려움을 겪게 되면, 띵스보드-지아라는 두 행위자만 인식되는 것이 아닌, 띵스보드라는 블랙박스가 해체되면서 그 안에 있는 것들이 드러나게 된다(초록색 영역). 띵스보드 안의 토큰, 그래프, 대시보드, 위젯, 장치 등의 행위자를 따라가야 띵스보드를 작동할 수 있게 되며 문제를 해결할 수 있게 되므로 블랙박스화되어 있던 띵스보드 안의 행위자와 네트워크가 드러나게 된다. 띵스보드는 노란색 영역의 다른 비인간 행위자들보다 더 다양한 비인간 행위자들의 네트워크로 구성되어 있어 자료를 측정, 전송, 수집, 시각화하는 행위자들이 같이 유기적으로 연합해야 하나의 블랙박스로서 작동할 수 있다. 그러나 지아는 띵스보드의 그래프, 대시보드, 위젯, 장치 등의 행위자와 관계를 맺는데 '반복적'으로 어려움을 겪으면서 매우 불안정하게 연결되었다.

지아: (센서 꽂는 건) 딱히 안 어려웠고, 엠블럭에 코딩하는 것은 쉬웠어요.… **띵스보드 전송이 어려워서** 허큘러스로 봤어요.

(1차 심층 면담 중)

지아: 아니 센서를 아두이노에 꽂아서 연결하는 건 쉬웠는데, **띵스보드로 그래프 보기까지가 너무 복잡했어**요…귀찮기도 하고 어렵기도 해서...

지아: 맞다. 그래프. **그래프 출력이 안 돼서** 그래서 다시 접속하다가 시간이 다 가버렸어요.

(3차 심층 면담 중)

주목할만한 점은 띵스보드와 관련된 행위자들과 안정적으로 관계를 맺는데 반복적으로 실패한 것이 '지아-디지털 테크놀로지와 관련된 행위자' 관계망 전체를 흔들어 놓았다는 점이다. 이는 사슬의 강도는 가장 약한 연결고

8) 노란색 영역과 초록색 영역 모두 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자들을 나타내고 있다. 그러나 마우스, Wi-Fi, 노트북 충전함 등과 같은 모든 비인간을 도식의 가독성을 위해 생략하였다. 학생들이 관계를 맺는데 최소 1~2회 이상의 어려움을 겪은 행위자를 위주로 도식화하고자 하였다.

리만큼 강하다는(Latour, 1987)는 선행 연구와 일치한다. 띵스보드-시아와의 불안정한 연결이 '디지털 테크놀로지와 관련된 행위자-지아' 전체 네트워크를 안정도를 결정지었다. '디지털 테크놀로지와 관련된 행위자-지아' 네트워크는 결국 블랙박스화되지 못하였고, 이로 인해서 지아는 다음 면담처럼 STEP 1에서 흥미를 잃은 모습을 보였다.

지아: 아니요. **저는 측정 그거 두 번 다시 하고 싶지 않아요**. 너무, 너무 어려워요. 너무 어려워요.

(1차 심층 면담 중)

한편, 지아는 처음부터 띵스보드를 제외한 모든 디지털 테크놀로지 행위자와 관계가 안정적인 것은 아니었다. 지아는 STEP 1에서 '지아-디지털 테크놀로지와 관계된 행위자' 관계망을 안정적으로 구축하기 위해서 평소 학습 네트워크에서 사용하지 않았던 전략을 사용하였다. 지아는 문제를 해결하기 위해 잘 포섭하지 않았던 교사, 보조교사, 연구자(파란색 영역)와 관계 맺기의 전략을 써서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과의 관계를 점차 안정적으로 변화시키고자 하였다.

평소에 지아는 발표는 잘하는 편이었으나, 질문을 잘하는 편은 아니었다. 면담에서도 '평소에 문제를 해결하기 위해서는 네이버 검색을 통해 혼자 문제를 해결하는 편이에요.' 라고 응답하였다. 면담에서 궁금한 점이 있어도 '(과학 수업에서는) 선생님이 다른 친구들 것도 대답해주고 도와줘야 할 것 같으니까, 여쭤보지 못했던 거 같아요.' 라고 하며 교사에게 적극적으로 질문하지 않았던 학생이었음을 밝혔다. 즉, '평소의 교수ㆍ학습 형태의 수업 블랙박스' 안에 고착된 관계 속에서 지아의 호기심 혹은 머릿속 질문들은 지아를 쉽게 움직이게 만들지는 못했다.

이러한 지아가 새로운 학습전략을 사용하도록 영향을 미친 요인은 두 가지였다. 먼저, 기존의 학습전략만으로는 새로운 형태의 수업에서 처음 만나는 여러 비인간-인간 행위자들과 네트워크를 구축하기 힘듦으로써 느껴지는 위기가 기존 블랙박스를 깨버리게 했다. 즉, 지아는 교사, 보조교사, 연구자를 포섭하지 않고서는 학습 상황에서 직면한 문제를 해결하기 어렵다고 생각하

게 된 것이 새로운 교수 전략 행위로 이어졌다. 다음으로는, 행위자 간에 구성된 다른 네트워크가 하나의 행위자 단위로서 작동하며 지아의 네트워크 형성에 영향을 미쳤다. 다른 학생들이 교사, 보조교사, 연구자와 네트워크를 망을 적극적으로 구축하며 문제를 해결하는 모습(보라색 영역)이 지아가 교사, 보조교사, 연구자와 관계를 맺으며 네트워크를 형성하면서 문제 해결을 하기 시작하도록 행위성을 발휘한 것이다(파란색 영역).

지아: 진짜 **너무 어려워서** 안 여쭤보면 못할 것 같기도 하고, **애들 다 물어보니까 나도 해도 되겠다 싶어서 여쭤봤어요.**

(1차 심층 면담 중)

새로운 행위자들의 등장과 다른 행위자들 간의 네트워크가 지아에게 영향을 미쳤고, 지아는 교사, 보조교사, 연구자를 적극적으로 포섭하는 전략을 사용하게 되었다. 추후 지아는 교사, 보조교사, 연구자에게 질문하는 것을 거리낌 없어 하는 모습을 보였으며, 이를 통해 지아의 새로운 학습전략 네트워크가 안정화되었음을 알 수 있었다.

지아: 선생님과 친해져 도움을 많이 얻고 무언가를 물어볼 때도 거리낌이 없어졌어요.

(3차 심층 면담 중)

학습 네트워크 안에서 여러 비인간-인간 행위자의 등장이, 그리고 행위자 간에 형성한 네트워크가 지아의 예상치 못한 학습 네트워크 변화를 불러일으켰다. 이는 행위자와 행위자 간의 연결이 어떤 행위성을 발현하며 다른 행위자 혹은 네트워크에 영향을 미칠지 예측할 수 없음을 보여준다. 또한, 하나의 행위자가 다른 행위자에게 영향을 미칠 수도 있지만, 네트워크 단위 자체가 행위자가 되어 다른 행위자에게 영향을 미칠 수 있음을 보여주기도 한다.

한편, 관계망끼리 서로 변증법적인 영향을 미치며 학습이 이루어졌다. 지아는 교사, 보조교사, 연구자를 통해서(파란색 영역) 노란색 영역 내의 디지털 테크놀로지 관련 행위자들과 연결망을 안정적으로 구축해 나가는 데 도움을 얻었지만, 초록색 영역 내 띵스보드와 관련된 행위자들과는 관계 맺기에 여

전히 어려움을 겪었다. 반대로 초록색 영역 내 행위자와의 관계가 불안정할수록 파란색 영역과의 관계가 더 지속해서 유지되었다.

한편, 지아는 평소에 과제를 성실히 잘 해오는 편이었으나 본 수업 과제는 완수하지 못하였다. 지아는 집에 있는 단 한 대의 느린 컴퓨터 때문에 기본적인 프로그램인 엠블럭(SW)을 설치하는 데 어려움을 겪었다. 이로 인해 다음 답변처럼 다른 디지털 테크놀로지와 조우할 수 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 전원 다시 켜기, 아이디 재입력하기 등의 노력을 하였지만, 문제는 해결되지 않았으며 다른 해결방안 혹은 전략을 찾지 못하였다. 교사가 나누어준 학습지는 학교에 있었으며, 가족 중 컴퓨터에 대해서 유일하게 잘 알고 있는 할아버지에게는 개인적인 사정으로 질문하지 못하였다.

지아: 엠블럭이 설치가 안 돼서. 근데 그게 **(컴퓨터가) 느려서 때문인지** 하루 뒤에 다시 되더라고요. 하루 뒤에. 그래서 지금 컴퓨터 창 파일 안에 엠블럭이 설치돼 있어요. … 엄청 느리더라고요. 설치되는 게 안 돼서 뭔가 해결해보려고 이것저것 해봤어요. **전원도 껐다 켜보고, 아이디도 다시 쳐봤는**데 처음엔 안 되다가 나중에 하루 지나서 다시 되더라고요.

연구자: 그때 기분이 어땠어?

지아: 되게 머리에 돌덩이 맞은 것 같았어요. 갑자기 뜬금없이 하늘에서 돌이 날아와서 머리에 맞은 기분. 되게 어이없었어요.

연구자: 그럼 (프로그램) 설치되고 나서는 다시 시도는 안 해봤어요?

지아: 키트가 없으니까요. 근데 출력은 해봤어요. 코딩 기본적인 거. 뭐 없어도 할 수 있는 걸 처음에 배웠었잖아요. 그거 해봤는데 되더라고요. **학습지는** 들고 갔는데 어디에 뒀는지 까먹어 버려서...

(1차 심층 면담 중)

지아: 엄마랑 아빠는 잘 모르시는데 의외로 외할아버지께서 많이 하세요. 컴퓨터를. 저희 할아버지께서 생각보다 많이 아세요. …요즘에 할아버지께서 일을 나가시는데 많이 피곤하시다고 해서 …

(1차 심층 면담 중)

지아는 학교보다 집에서 디지털 테크놀로지와 관계를 맺는 데 더 큰 어려움을 겪었음을 알 수 있다. 학교에서는 성공적으로 관계를 맺었던 노란색 영역

안의 비인간과도 집에서는 쉽게 관계를 형성하지 못하였는데, 이는 비인간과 관계 맺기를 돕기 위해 여러 관심끌기 전략 장치(예: 디지털 테크놀로지 생태계 준비 및 구축)를 학교라는 공간에 배치한 것이 유효했던 것으로 보인다. 비록 지아는 STEP 1에서 흥미를 잃고 디지털 테크놀로지로 대기 환경을 측정하는 것을 더는 하고 싶지 않다고 하였지만, STEP 2, 3에서는 전혀 다른 모습을 보였다.

2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

앞서 STEP 1이 개인 활동 형태로 진행되었던 것과 달리 STEP 2는 모둠 활동의 형태로 진행되었다. 지아가 속해있는 4 모둠 구성원은 유빈, 영훈, 우진이며 [표 4-1]과 같이 모둠 내 역할을 나누었다.

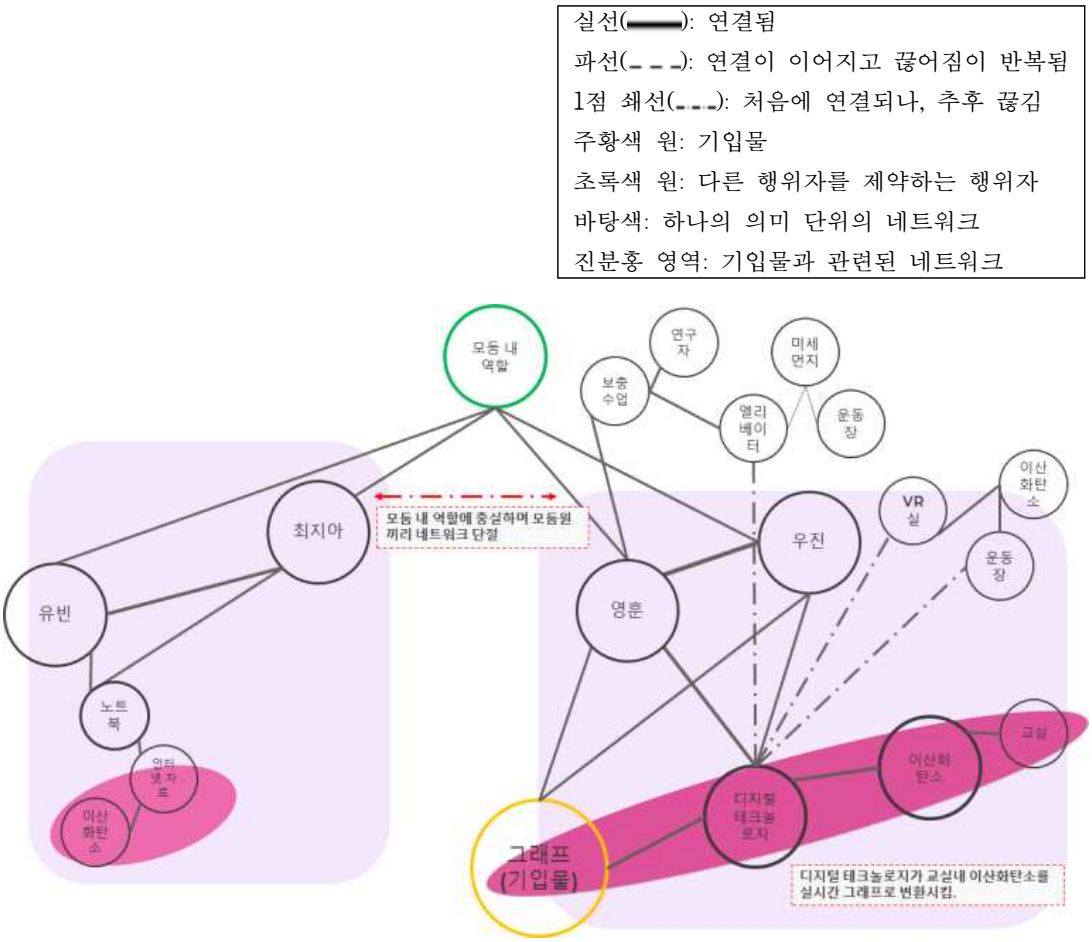
[표 4-1. 4 모둠 학생의 모둠 내 역할]

이름	지아	유빈	영훈	우진
첫 역할	이끔이, 꾸밈이	꾸밈이	기록이	측정이
변한 역할	-	-	측정이	기록이
실제로 주되게 한 역할	이끔이	이끔이 보조	측정이	기록이

초기에 정해진 역할은 활동이 진행되는 과정에서 일부 변화하였다. 지아는 첫 역할인 이끔이 역할을 변함없이 수행하면서 검색, 기록, 측정, 만들기 등의 활동을 하였다. 유빈이는 꾸밈이의 역할이었으나 기록이를 도와서 운동장에 측정하러 가기, 연구 계획서 작성을 위해 검색하고 기록하기, 포스터를 만들 때 옆에서 돕기 등 이끔이를 돕는 보조적인 역할을 하였다. 영훈이는 기록이었지만 모둠 내에서 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성한 학생으로 우진이를 대신하여 측정이 역할을 맡게 되었다. 그리고 측정이 역할 이외에도 사회적 행동을 위해 자료를 같이 검색하기도 하였다. 우진이는 측정이 역할을 자원하였지만, 측정을 완수하지 못해 기록이로 역할이 바뀌었으며 측정

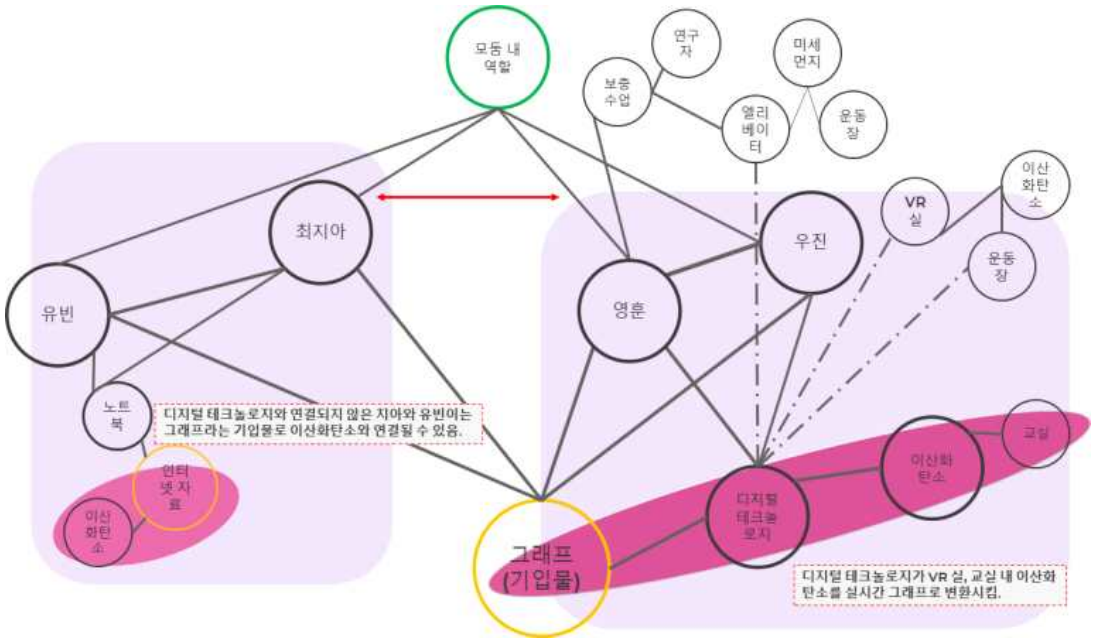
후 도출된 데이터를 보고 작성하는 역할로 바뀌었다.

[그림 4-3]은 기입물과 지아, 지아를 포함한 4 모둠원이 STEP 2에서 네트워크 형성과정을 차례대로 도식화한 것이다. 그러나 이는 [그림 4-2]와 동일하게 분석적으로 분리하고자 한 결과물이며 실제로는 a, b, c, d의 과정이 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 서로 상보적이며 복합적인 과정에서 생겨났다.



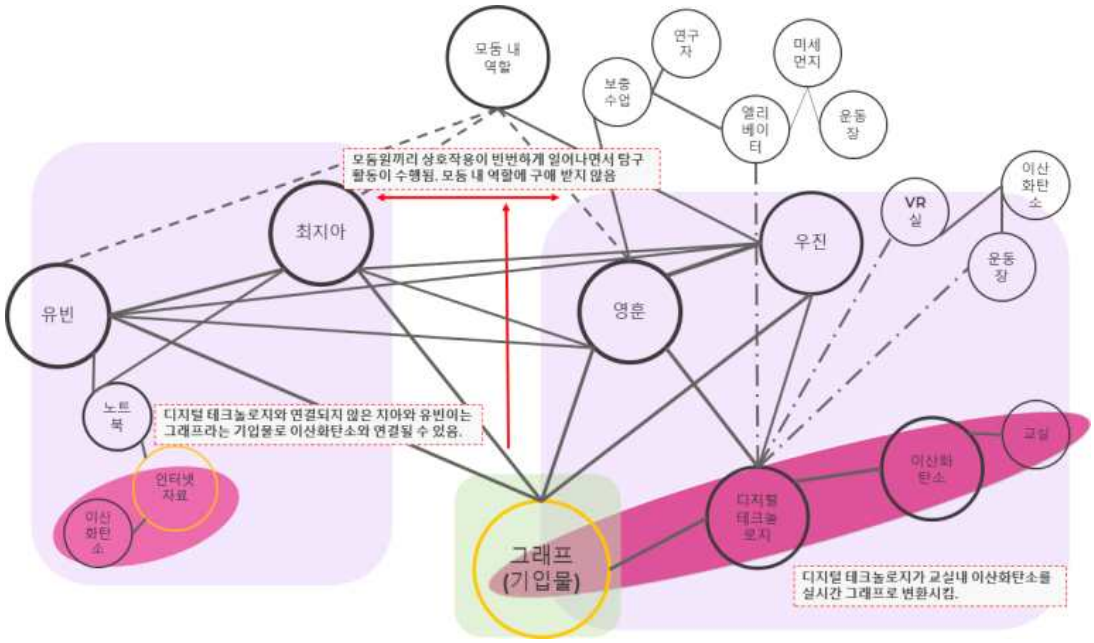
a. 모둠 내 역할 수행 및 모둠원과 서로 단절된 네트워크

↓



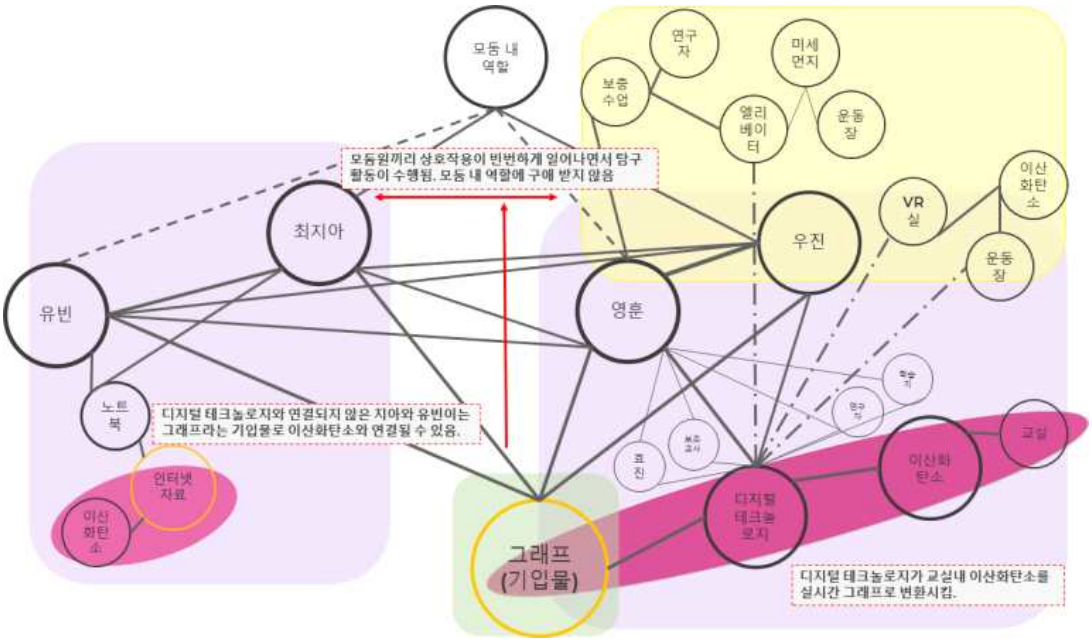
b. 그래프라는 기입물을 통한 모둠원 전체의 이산화탄소와 만남

↓



c. 기입물을 통해 모둠 역할에 제약되지 않고 활발한 상호작용 및 탐구 활동 수행

↓



d. 예상하지 못한 탐구 활동 이후 반복된 탐구 주제의 변경

[그림 4-3. '기입물, 지아, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정]

STEP 1에서 지아, 유빈이는 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와의 네트워크를 안정화시키지 못했지만, 영훈이와 우진이는 디지털 테크놀로지와 상대적으로 안정적인 네트워크를 형성하고 있었다. 영훈이는 측정에서 성공과 실패를 반복했으나, 연구자가 제공한 보충 수업(<4장. 2절. 1. 2)>에 자세히 기술되어 있음)을 통해 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와 안정적으로 네트워크를 구성할 수 있게 되었고 이들과 블랙박스를 형성한 상태였다. 영훈이는 모둠 내에서 디지털 테크놀로지와 가장 강력하게 연결된 행위자였으며 디지털 테크놀로지에 대해서 흥미와 자신감을 느끼고 있었다. 그러나 우진이는 디지털 테크놀로지와의 관계에서 마지막 단계인 띵스보드를 활용해 그래프를 도출해가는 과정에서 반복적인 실패를 경험한 상태였다.

한편, 4 모둠 내에서 디지털 테크놀로지와 연결이 안정적인 영훈이뿐만 아니라, 그렇지 못한 다른 모둠원 모두가 STEP 2 네트워크 안에서 서로 비슷한 크기의 권력[9]을 가지고 있었다. STEP 1 에서는 디지털 테크놀로지와 연결

9) 권력은 곧 자신의 의도대로 무엇인가 할 수 있는 행위성을 의미하기도 한다.

이 안정적일수록 큰 권력을 가질 수 있는 행위자가 되었던 반면, STEP 2에서는 디지털 테크놀로지와의 관계가 불안정하거나 연결되지 못하더라도 권력을 가진 행위자가 될 수 있었다. 디지털 테크놀로지와 연결이 불안정하거나 끊긴 학생도 권력을 가질 수 있는 이유는 다음에서 기술된 네트워크 형성과정을 통해 이해할 수 있다.

[그림 4-3]에서 보라색 두 영역은 모둠원들이 각 모둠 내 역할과 관련된 행위자들과 연결된 네트워크를 영역화한 것이다. 지아와 유빈이는 STEP 2에서도 여전히 디지털 테크놀로지와 연결되지 못하였다. 지아와 유빈이는 탐구계획서를 작성하기 위해 노트북으로 이산화탄소와 관련된 자료를 찾았다. 지아와 유빈이는 이 과정에서 이산화탄소라는 대기 물질을 '인터넷 기사 및 자료'라는 기입물을 통해서 마주하였다(왼쪽 보라색 영역). 반면, 영훈이와 우진이는 '영훈-디지털 테크놀로지-우진을 둘러싼 네트워크'를 통해 VR 실, 운동장 내에 존재하는 이산화탄소를 측정하였다. 이 과정에서 이산화탄소를 기입물인 그래프로 변경시켰다(오른쪽 보라색 영역). 지아와 유빈이, 영훈이와 우진이는 모둠 내 역할에 충실하였으며 모둠원들끼리의 네트워크는 단절된 상태였다.

그러나, 모둠원 전체가 VR 실에서 함께 측정하고 '그래프가 실시간 변화하는 모습'을 확인하는 과정에서 네트워크에서 변화가 생겨났다. 지아와 유빈이는 영훈이와 우진이를 매개로 하여 VR 실의 이산화탄소 변화를 인터넷 기사와 자료가 아닌 '실시간 변화하는 그래프값'으로 마주할 수 있었다. 인터넷 자료와 그래프라는 기입물은 대기 중 이산화탄소라는 물질을 변환시켜 드러내고 있다는 점은 동일하나 질적으로 다른 존재다. 인터넷 자료로 변환된 이산화탄소는 검색을 통해 언제든 만날 수 있는 가까운 거리에 있는 물질이지만, 이산화탄소 존재는 지아와 유빈이와 실제로 마주하지 않는 멀리 떨어진 존재이다. 반면, 실시간 그래프로 변환된 이산화탄소는 영훈이와 우진이를 매개해야 만날 수 있지만, VR 실의 4 모둠 학생들 주변을 둘러싸고 있으며 직접 마주하는 (그러나 볼 수 없는) 가까운 존재이다. 인터넷 자료와 그래프는 서로 다른 기입물일뿐만 아니라 질적으로도 다른 존재로, 두 기입물을 마주할 때 학생들이 보이는 변화는 달랐다. 두 보라색 영역이 각자의

모둠 역할에 충실한 서로 분리된 네트워크였다면, 그래프라는 기입물이 등장하면서 두 보라색 영역 간에 상호작용이 빈번하게 일어나기 시작하게 되었다.

VR 실에서 그래프의 변화를 다 같이 확인하기 전에는 모둠 내 역할이 학생들의 행위를 제약하고 있었다. 아래 대화처럼 꾸밈이는 탐구 활동 초기에는 꾸미는 활동이 없어 의견을 나누는 과정에서 제외되었다. 이에 꾸밈이 유빈이는 적극적으로 참여하지 않고 모둠원들의 대화를 지켜보기만 하였다. 또한, 모둠원들은 기록이의 역할을 부여받은 학생만이 연필과 종이를 만날 수 있다고 생각하며 기록이가 아닌 학생이 기록하는 행동을 제지하기도 하였다.

지아: 너(유빈)는 꾸밈이니까 지금은 안 끼어도 돼. 너는 편집이나 해~

(11~12차시 수업 중)

영훈: (지아가 모둠 연구 계획서 작성하는 것을 보고) 근데 그거 기록이가 할 일 아니야?

지아: 그러네?

(13~14차시 수업 중 VR 실 측정 전)

측정이는 측정 준비를 완료한 후에는 다른 활동은 할 필요가 없다고 인식하는 모습도 볼 수 있었다. 즉, 모둠원들은 아래 대화처럼 모둠 내 역할에 따라서 특정한 활동을 해야 하거나, 하지 않아도 되다고 인식하고 있었다.

지아: 운동장 놀이터쯤에서 측정할까?

영훈: **나는 측정만 하면 되니까** 니들이 알아서 하슈.

보조교사: 영훈이는 이거 해석하는 건 (같이) 안 해?

영훈: **네 전 (측정이라) 안 해요.**

(13~14차시 수업 중 VR 실 측정 전)

그러나 VR 실에서 이산화탄소가 ‘실시간’ 기입물로 변환되어 산출되면서 모둠 내 역할에 제약되지 않고 이산화탄소 그래프를 **모둠원 ‘전체’가 다 같이 확인하고 그 의미를 해석하며 과학적 생각을 나누는 탐구 활동이**

자연스럽게 이루어졌다.

유빈: (모니터 화면을 가리키며) **얘(그래프)가 갑자기 떡락했어!** 올라가다가 떡락했어! 얘들아! 갑자기 엄청 떡락했어! **지아야 이거 봐봐! 엄청 올라갔다가 갑자기 내려갔잖아.**

지아: **어, 문을 여니까 그런가 봐!**

우진: 창문을 여니 농도가 낮아졌다. (기록함.)

지아: 그러면 창문을 여니까 엄청 내려가네. 엄청 떡락하네. 엄청 내려가네. **농도가 낮아 농도가 낮아져 창문을 여니 낮아진다.**

유빈: 조금씩 높아지기도 하고 내려가기도 하고 내려가기도 하고 올라가기도 하고 근데 내려가는 게 되게 심했어. (그러니) 내려간다고 그러면 나을 것 같아.

(13~14차시 VR 실에서 측정 중)

VR 실에서는 모둠원들이 자신의 역할에 제한되지 않고 그래프를 보면서 놀라는 감정을 드러내거나 그래프가 변화하는 이유를 함께 추측하고 해석하는 모습을 보였다. 또한, 처음에 계획하지 않았던 탐구 활동도 그래프를 만나고 난 이후에 자연스럽게 추가로 수행하기 시작하였다. 다음 모둠 활동 상황처럼 이산화탄소의 성질을 고려하여 측정기의 높낮이를 변화시키거나 공기청정기의 위치를 고려하여 측정자의 위치를 변화시키고, VR 실의 창문을 여닫는 등 여러 변인을 달리하여 탐구 활동을 진행하였다([그림 4-4]). 이러한 과정에서 과학적 사고가 활발히 일어났다.

[그림 4-4. 창문을 연 후 급격히 감소하는 이산화탄소
(계획에 없던 탐구 활동)]

지아: 너가 움직이니까 떨어졌어 유빈아. **움직이니 떨어지고 신기하다!**
우진: 움직이면 떨어진다. (기록)
지아: 측정자가 움직이면 떨어진다. 측정자가 움직이면 농도가 떨어진다.
(13~14차시 VR 실에서 측정 중)

유빈: **밑에가 이산화탄소가 제일 많을 것 같거든?**
영훈: 아니지 산소가 무거우니까[10].
지아: **그래 그럼 위로 올려.**
(13~14차시 VR 실에서 측정 중)

우진이는 기록이로 측정값과 관련된 기록을 하는 역할에서 크게 벗어나지는 않았지만, 아래 대화처럼 방과 후 활동에서 배웠던 코딩 수업과 STEP 2 활동을 비교하면서 '디지털 테크놀로지와 결합하여 실시간으로 대기 환경을 측정하여 그래프로 확인할 수 있는 본 활동의 가치성'을 긍정적으로 평가하며 감정의 변화를 드러냈다.

우진: (변화하는 그래프를 보고 감탄하면서) 뭔가 **이 시대에 태어나서 좋다! 진짜 좋은 걸** 배우고. **아 컴퓨터실에서 배웠던 코딩이랑 진짜 다르다!**
(13~14차시 VR 실에서 측정 중)

이처럼 VR 실에서는 모둠원 전체가 자발적이며 적극적으로 탐구 활동에 참여하면서 서로의 네트워크와 연결되는 모습을 보였다. 보라색 영역의 관계망들이 서로에게 유기적으로 긍정적인 영향을 미치고 연결되면서 전체적인 네트워크를 강하게 연결하였다. 이를 통해, 행위자와 다른 행위자 사이가 직접적으로 연결되지 않더라도, 각 행위를 둘러싼 관계망끼리 서로 강하게 연결되는 것이 전체적인 네트워크에 긍정적인 영향을 미침을 알 수 있다.

VR 실에서 측정이 끝난 이후에도 모둠원들은 모둠 내 역할과 상관없이 그래프 자료에 관해 같이 해석하고 토의하였다. 11~12차시에서 꾸밈이는 편

10) 학생들은 아직 이산화탄소의 성질에 대해서 배우지 않은 시기이므로 과학적으로 오류가 있는 이야기를 하기도 하였다.

집만 하면 되니 가만히 있어도 된다고 했던 지아는 유빈이에게도 그래프와 관련된 내용을 질문하면서 계획서를 작성해나갔다. 유빈이도 이에 대해서 자기 생각을 공유하고 모둠원 전체에게 질문하는 것으로 이어졌다. 실시간으로 변화하는 그래프라는 기입물을 만난 이후 유빈이와 지아는 '모둠 내 역할'과 공고했던 관계에서 벗어난 모습이었다. VR 실에서 측정하기 전에는 모둠 내 역할이 인간 행위자를 제약하였다면, VR 실에서 측정한 후에는 기입물이 학생들에게 모둠 내 역할을 잊고 활동할 수 있게 하는 행위자로서의 행위성을 발휘하였다. 이로써 모둠원들을 둘러싼 관계망은 전체적으로 안정적으로 변화하였다. 즉, 4 모둠의 모둠원들은 자신의 역할에만 국한되어 활동하는 것이 아니라, 자신이 맡은 역할 이외의 탐구 활동에도 언제든 적극적으로 참여하며 전체적인 학습 네트워크를 안정화하는 특징이 있었다.

지아: 예상되는 결과?
유빈: 내 생각에는 VR 실이 더 더럽지 않을까? 얘들아, 얘들아. VR 실이랑 운동장에**서 뭐가 더 더럽.. 이산화탄소가 더 많을까?**
영훈, 우진: (지아를 쳐다보면서 생각함)

(13~14차시 수업 중)

추후 4 모둠은 본 수업시간 이외에도 VR 실에서 체육을 하는 동안 자발적으로 측정을 이어서 수행하기도 하였다. 처음 계획했던 것과 달리 여러 변인을 달리하여 새롭게 탐구하는 과정에서 모둠원 모두에게서 참 탐구가 일어났다. 그러나 우연적인 탐구 상황에서 촉발된 여러 탐구 활동과 이로 인해 도출된 결과물들이 점점 복잡해지면서 추후 학생들은 자료를 종합, 해석 및 정리하는 과정에서 어려움을 겪게 되었다. 4 모둠은 결국, 17~18차시에 측정 장소를 교실로 변경하여 창문을 열어 환기할 때와 하지 않을 때의 이산화탄소를 비교ㆍ측정하는 것으로 주제를 변경하였다. 그래프라는 기입물이 만들어낸 우연성이 학생들의 탐구를 촉진하기도 하였지만, 반대로 학생들에게는 어려운 도전을 만들어내기도 한 것이다.

이전에도 4 모둠의 탐구 주제는 한 번 바뀌었었는데, 보충 수업에 참여한 영훈이가 그래프를 보는 데 성공한 후 기쁨을 표현하며 모둠의 탐구 주제를

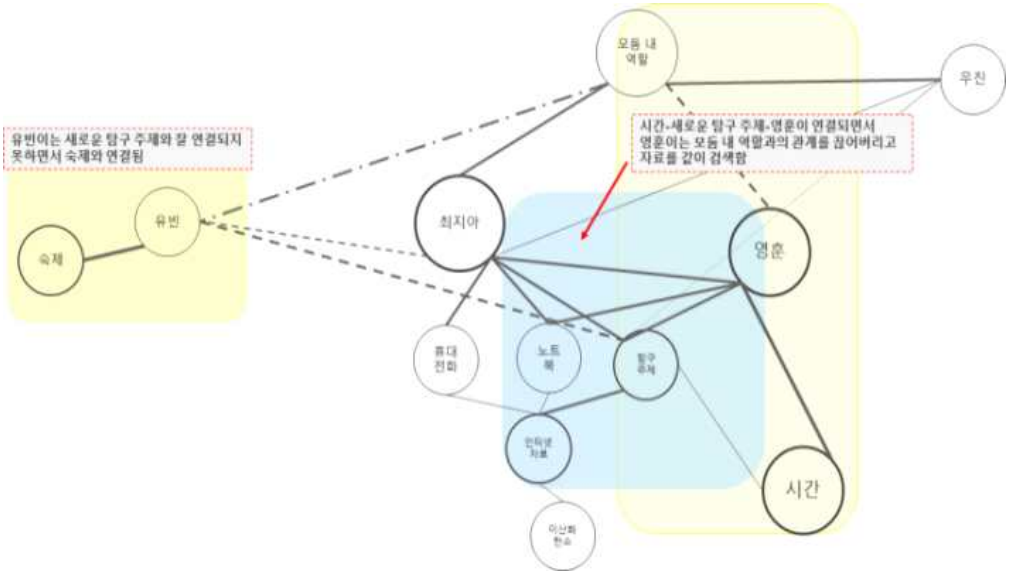
미리 측정하는 과정에서 가설과 다름을 확인했기 때문이었다(노란색 영역). 모둠에서 처음 정한 주제는 엘리베이터 안(밀폐된 공간)과 운동장(열린 공간)의 미세먼지 차이를 탐구하는 것이었다. 그러나 영훈이는 엘리베이터를 타기 전과 엘리베이터를 탄 후의 미세먼지 값의 차이가 없음을 확인하였다. 추측했던 것과 실제 농도 값은 달랐다. 이에 학생들이 밀폐된 공간에서 몸을 쓰며 활동을 많이 하는 장소인 VR 실과 운동장의 이산화탄소를 비교하는 것으로 주제가 변경되었다. 그러나 VR 실에서 이산화탄소를 측정하는 과정에서 예상치 못하게 변인을 달리하여 측정하게 됨으로써 측정된 값을 종합해 해석하는 과정에서 어려움을 겪으면서 다시 한번 더 주제를 변경하게 되었다. 최종적으로 4 모둠은 교실의 창문을 열어서 환기할 때와 창문을 닫을 때의 이산화탄소 수치를 비교하는 것으로 결정하였다.

앞서 지아는 반복적으로 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와 네트워크를 형성하는 것에 실패하면서 측정에 흥미를 잃고 부정적인 감정을 드러냈었다. 그러나 STEP 2에서 반복된 가설 검증 과정과 가설 변경 과정을 거쳤음에도 불구하고 지아를 포함한 4 모둠 전체 네트워크는 안정적으로 구축되었다. 이는 ‘실시간으로 변화를 확인할 수 있었던 그래프’라는 기입물이 모둠원들과 모둠 내 역할과의 연결을 끊어내거나 약화시키면서 역할과 상관없이 과학적 사고와 탐구 활동을 하는 행위성을 발현할 수 있게 하는 촉매제 역할을 한 것 때문으로 판단할 수 있다. 이를 통해 모둠원들끼리 네트워크가 연결되면서 전체의 네트워크가 안정적으로 변화되는 결과로 이어졌다고 판단할 수 있다.

3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

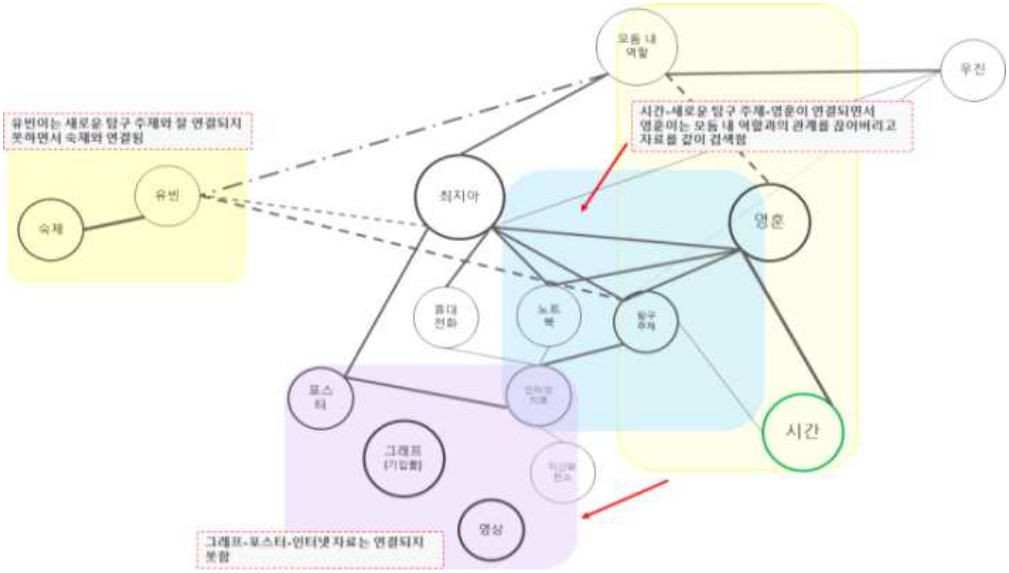
STEP 3 역시 모둠 활동 형태로 진행되었다. [그림 4-5]는 사회적 행동을 위해 제작된 포스터, 지아, 지아를 포함한 4 모둠원을 둘러싼 행위자들이 STEP 3에서 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다.

실선(▬▬): 연결됨
파선(– – –): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨
1점 쇄선(–·–·–): 처음에 연결되나, 추후 끊김
초록색 원: 다른 행위자를 제약하는 행위자
바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크



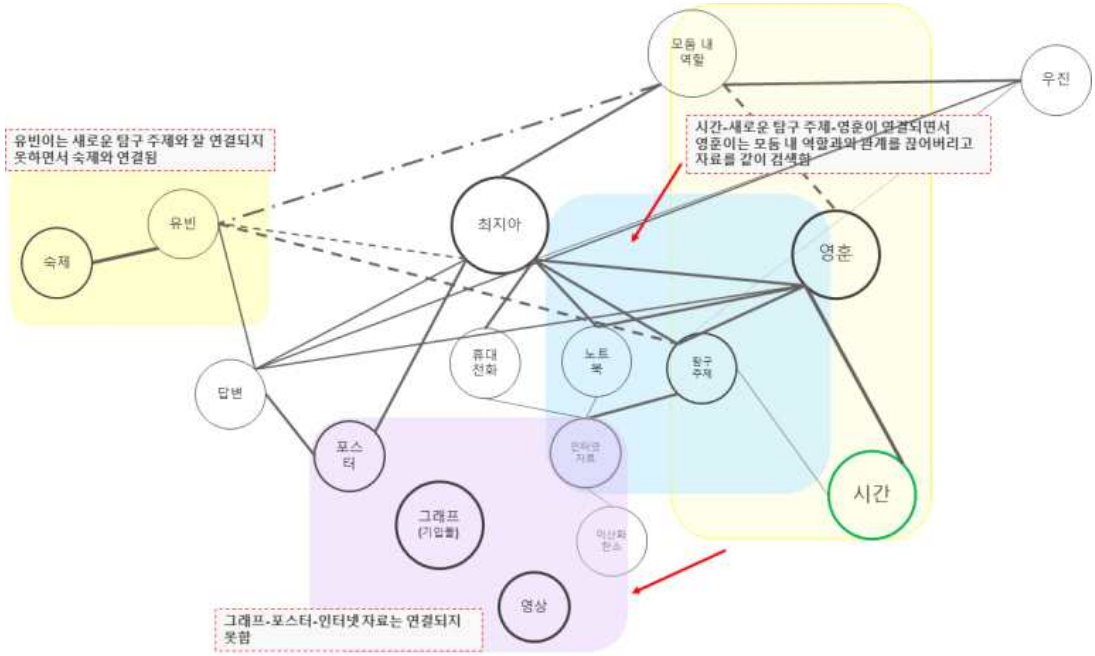
a. 새로운 탐구 주제 선정으로 네트워크를 배반하거나,
모둠 내 역할과 관계를 끊고 활동을 확장하는 모둠원

↓



b. 시간적 제약으로 포스터만 생성. 기입물, 인터넷 자료는 포스터와 연결되지 못함

↓



c. 포스터에 대한 답변과 모둠원들의 연결

[그림 4-5. '포스터, 지아, 모둠원, 시간'을 둘러싼 네트워크 형성과정]

4 모둠은 다른 모둠과 달리 사회적 행동을 준비하는 과정이 시작되는 17~18 차시에 탐구 주제를 새롭게 변경하였다. 최종 탐구 주제가 뒤늦게 결정되면서 탐구 활동과 사회적 행동을 위한 준비가 동시에 진행되었다. 영훈이와 우진이는 다시 측정을 준비하고 측정을 시작하였다. 지아와 유빈이는 노트북과 휴대전화를 활용하여 이산화탄소와 관련된 자료를 검색하면서 관련 내용을 작성하기 시작하였다.

그러나 아래 대화처럼 유빈이는 뒤늦은 탐구 주제 변경에 대해서 처음부터 반대하는 의견을 가지고 있었다. 유빈이는 새로운 탐구 주제와 관련된 그래프를 더는 확인하지 않았으며 새로운 탐구 주제와 잘 연결되지 못하는 모습을 보였다. 유빈이는 어느 순간 인터넷 자료를 통한 이산화탄소와의 만남에 흥미를 잃고 학원숙제에 더 큰 관심을 보이며 종종 탐구 주제와의 연결을 끊고 네트워크를 탈출하였다(왼쪽 노란색 영역). 이후 유빈이는 이끔이인 지아가 시키는 활동을 간헐적으로 수행하는 수동적인 모습을 보였다. 반면, 영훈이

와 지아는 부족한 시간 내에 주제를 또 변경하게 된다면 처음부터 다시 측정을 시작해야 하는 부담감이 있음을 인지하고 있었지만, 유빈이와 달리 적극적으로 주제 변경을 제안하였다.

교사: 시간이 얼마 안 남아서 **시간 안에 못 하면** 남아서 시간을 더 들여서 해야 하는 데 괜찮아?
지아: 괜찮아요. **진짜. 너무 좋아요.**
교사: 영상이나 편지까지 완성해서 다시 측정하고, 다시 결과… 이 모든 것을 다 해야 하는 거야. 무리 아닐까?
지아: **빨리하면 돼요.**
영훈: **빨리하면 될 것 같은데요.**
유빈: **아니 애들아 이건 무리야.**

(17~18차시 수업 중)

이 과정에서 시간이라는 비인간의 행위성이 드러나게 되었다. 인간과 비인간 행위자가 만들어내는 관계적 속성은 행위성보다 선행한다(박경환, 2013)는 선행연구처럼, 주황색 신호등이라는 비인간 행위자가 운전자와 연결되면 운전자를 과속하게 만들 수도 있지만, 운전자를 멈추게 만들 수도 있다. 주황색 신호등은 관계를 맺은 운전자에 따라 발현할 행위성은 달라진다. 본 교수·학습 상황에서 시간이라는 비인간 행위자도 만난 학생에 따라 학생의 학습을 제약하거나 촉발하는 행위성을 발현하였다. STEP 3에서 시간이라는 비인간 행위자는 영훈이와 만나면서 영훈이의 학습을 촉진하는 행위성을 발휘하였다. 주어진 시간이 촉박하다는 것을 인지하고 있는 영훈이는 측정을 마친 후, 역할에 상관없이 사회적 행동준비를 위해 필요한 이산화탄소와 관련 자료를 노트북으로 찾기 시작하였다. 영훈이는 STEP 2에서는 모둠 내 역할에 걸맞은 활동을 할 것을 종종 이야기하였는데, 본 차시에서는 스스로 모둠 역할을 끊어버리는 행위성을 발현하였다. 비록 포스터를 만드는 과정에서는 다시 측정이 역할을 고수하는 모습을 보였지만, 영훈이가 모둠 내 측정이라는 역할과 관계를 끊고 열심히 조사하는 과정에서 학습은 이루어졌다. 즉, 유빈이의 네트워크 탈출, 새로운 주제, 시간 등이 연결되면서 영훈이는 주도적으로 측정이 역할과의 관계를 끊어버리고 조사에 참여하며 학습을 하

게 되었다(오른쪽 노란색 영역). 영훈이는 면담에서 평소에 검색하는 활동을 즐겨 하지 않았지만, STEP 3 과정에서 자신의 과학지식을 활용하여 주제와 관련된 근거자료를 적극적으로 검색하였고 그 과정에서 재미를 느꼈다고 응답하였다. 또한, STEP 3 과정에서 측정 단위인 ppm의 의미부터 이산화탄소의 성질, 내가 어떤 곳에서 공부하는지, 내가 있는 곳의 이산화탄소량 등에 대해서도 잘 알게 되어서 기뻤다고 응답하였다.

반면, 유빈이와 우진이는 주체적으로 의견을 나누기보다는 지아나 영훈이가 이야기하는 것을 받아적거나 이끔이 지아가 시킨 활동을 수동적으로 수행하는 편이었다. STEP 2와 달리 STEP 3에서는 모둠원들 사이에서는 많은 교류가 없었으며 네트워크는 단순해진 편이었다.

한편, 4 모둠 지아와 영훈이는 11~12차시부터 사회적 행동으로 영상을 만들어서 유튜브나 학교 커뮤니티에 올리고 싶어 했다. 그러나 17~18차시에 급하게 탐구 주제를 변경하면서 포스터만 제작할지 포스터와 영상을 함께 제작할지에 대한 논의가 이루어졌다. 포스터라는 한정된 크기의 용지에는 그동안 조사한 내용을 다 기입할 수 없다는 단점이 있었다.

교사: 근데 포스터도 만들고 있었는데 어떤 방식으로 제안할 거야?
지아: 포스터가요 이거(이산화탄소 관련 검색 자료)를 **다 담기에 너무 작아요 …** 아니면 목소리만 녹음해서요. 영상 같은 걸로...

지아: 아니면 포스터 말고 영상 만들래? **이게 (검색한 결과물이) 다 못 들어가.**
(19~20차시 수업 중)

지아: 막바지 사회적 행동을 할 때는 **포스터를 만들었으니까 수치를 다 담을 수가 없더라고요.** 그래서 조금 아쉬웠는데 영상 찍으려고 하니까 시간도 오래 걸리고...
연구자: 영상 찍었으면 이런 것들 다 담았을 수 있을 것 같아?
지아: 그랬을 수 있겠죠.
(3차 심층 면담 중)

자료를 열심히 찾은 영훈이는 자신이 찾은 자료가 최종 기입물에 기입되지

못한다는 사실을 알고 있음에도 불구하고, 한정된 시간 안에 측정과 검색 활동을 하였던 영훈이는 고민 끝에 영상제작을 더는 희망하지 않았다. 결국, 4 모둠은 최종적으로 포스터만 제작하였다.

영훈: **야 포스터만 하자. 나 이제 힘들어. 이제 그만할래~**
지아: 야 니가 포스터 만드는데 뭐를 했다고.
영훈: 내가 자료 다 찾았다고.
지아: **야 그러면 니가 찾은 자료를 포스터에 못 넣어.**
영훈: **그래?**
지아: 니가 고생해서 찾았는데.
영훈: **시간이....**
(5분 이상 생각을 하다가)
영훈: **야 우리 포스터만 하고 끝내자!**

(19~20차시 수업 중)

즉, 한정된 시간이 영훈이가 모둠 내 역할을 끊고 노트북, 이산화탄소와 관련된 자료와 연결되게 만들었지만, 이번에는 오히려 한정된 시간이라는 행위자가 영상 만들기를 거부하도록 촉발하는 행위자로 변화하였다(보라색 영역). 우진이와 유빈이도 네트워크에 불안정하게 연결되어 있어 지아도 더는 영상 만들기를 진행하지 않았다.

한편, 최종적으로 제작된 포스터에는 그동안 조사했던 이산화탄소와 관련된 내용과 기입물인 그래프가 제대로 들어있지 않는 특이점을 보였다([그림 4-6]). 4 모둠이 STEP 2에서 탐구 활동을 자발적이며 매우 적극적으로 했다는 것을 알고 있던 교사와 연구자는 사회적 활동 결과물인 포스터에 4 모둠의 탐구 과정과 결과물들이 제대로 담기지 못한 것을 보고 안타까움을 표현했다.

연구자: 선생님은 4 모둠 학생들의 활동이 만족스러우세요?
교사: **애들 한 만큼 안 나왔는데. 더 잘할 수 있었는데,** 어쩔 수 없지. (속상한 표정으로) **시간이 안 됐으니까.**

(21~22차시 수업 후 교사 심층 면담 중)

[그림 4-6. 학교에 부착한 포스터]

4 모둠의 포스터는 학교의 각 층 복도와 엘리베이터 앞에 부착되었다. 그러나, 포스터에 대한 의견 혹은 답변을 받기 위한 기간은 일주일이었으며 설명절도 있던 기간이라 피드백을 받지 못하였다. 불변의 가동물인 포스터는 학급 밖으로 나갔으나 A 학급 외 다른 행위자들과 관계를 맺지 못하면서 행위성을 발휘하지 못하였다. 이에 교사는 A 학급 학생들이 모둠 결과물에 서로의 의견을 기록할 수 있는 시간을 마련하였다. 4 모둠 포스터에는 '왜 아침과 저녁 시간에는 환기하면 안 되나요?', '왜 퇴근 시간에는 환기하면 안 되나요?' 라는 답변이 달렸다.

산출된 결과물을 통해 교사와 연구자, 그리고 학생들이 느낀 감정은 달랐다. 교사와 연구자는 불변의 가동물에 4 모둠의 탐구 과정과 기입물이 잘 기록되지 않았으며 교실 밖 다른 행위자들과도 연결되지 못한 상황에 안타까워했던 반면, 4 모둠 학생들은 포스터라는 결과물을 만들고 붙이는 활동, 학급 학생들에게 답변을 받는 활동에서 긍정적인 감정을 느끼고 있었다. 지아는 '결과물이 보이니 뿌듯했다. 답변을 받으니 우리가 인정받은 거 같아 뿌듯하다. 우리 모둠에서는 자료 준비와 결과물이 잘 되었다.' 라고 이야기하였고 유빈이도 '이런 수업을 처음 해봐서 과학 수업보다 재미있었다. 의

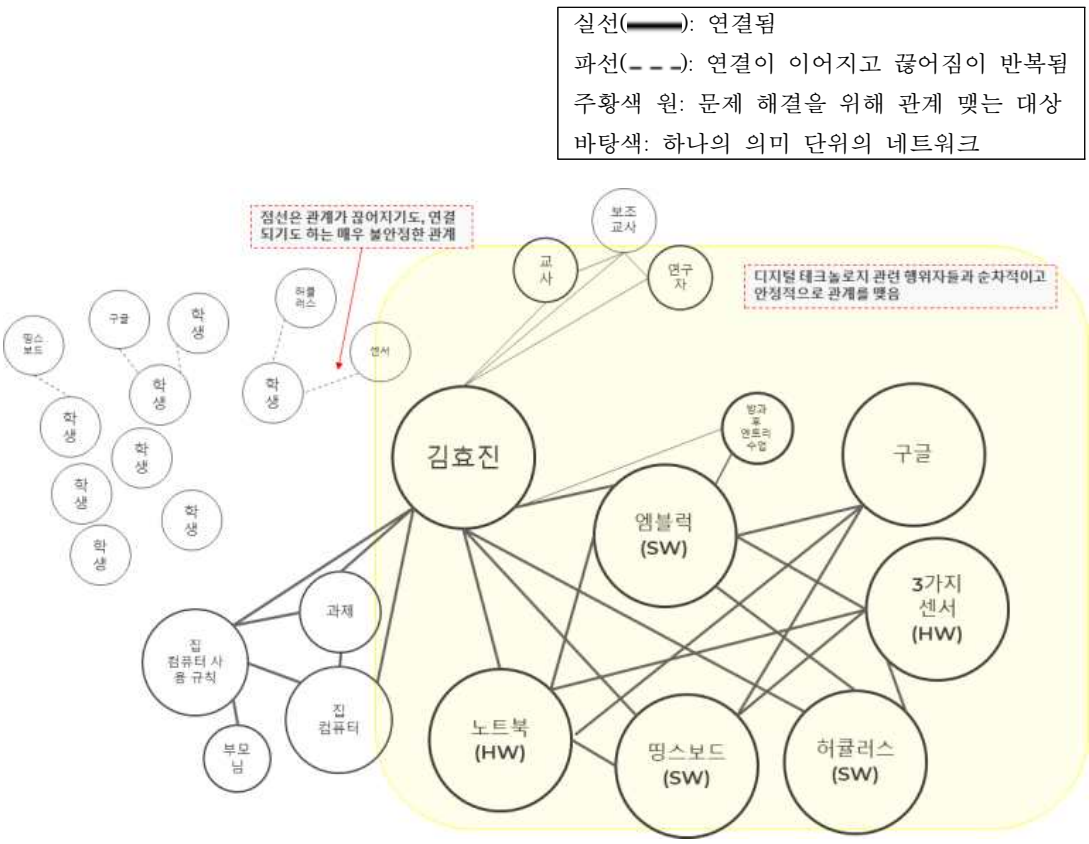
견을 들으니 기분이 좋다. 계획하고 실천하는 것이 좋았다.’ 라고 응답하였다. 영훈이는 ‘질문에 답변을 주고 싶다.’ 라고 응답하였다. 즉, 학생들은 불변의 가동물이 학급 밖 다른 행위자와 관계를 맺는 여부와 상관없이, 혹은 학급 내 행위자들과 관계를 맺는 것으로 그쳐도 학습의 과정을 즐기고 결과물에 대해서도 자부심을 느끼고 있었다. 반면, 교사와 연구자는 마지막으로 산출된 불변의 가동물에 기입물이 담긴 여부 혹은 학급 밖 행위자와 연결된 유무를 통해 해당 활동을 평가하는 경향이 있는 것으로 판단할 수 있다.

물론 본 수업에서 불변의 가동물이 최종적으로 학급 밖 행위자들과 만나 사회의 변화를 만들어가는 것을 지향하고 있으나, 학생들은 불변의 가동물에 대한 평가보다는 전체적인 활동 과정에 대해 평가를 하는 차이를 보였다. 즉, 새로운 탐구 주제-시간-모둠원이 연결된 네트워크에서 기입물과 포스터와의 단절이 생겨났고, 포스터는 학급 밖이 아닌 학급 내 다른 모둠 학생들과 조우하는 것으로 그쳤지만, 학생들은 그것과 상관없이 해당 활동 과정에 대해서 평가를 하였다. 이에 결과물(불변의 가동물)을 통해 교수학습 활동의 성패를 가르는 것을 지양해야 하며, 전체적인 활동 과정에서 학생들은 어떻게 다른 행위자들과 관계를 맺고 어떤 감정을 느끼며 학습하는지 정의적 영역에서의 변화를 확인할 필요가 있음을 시사한다.

제 2 절 효진을 둘러싼 네트워크 사례

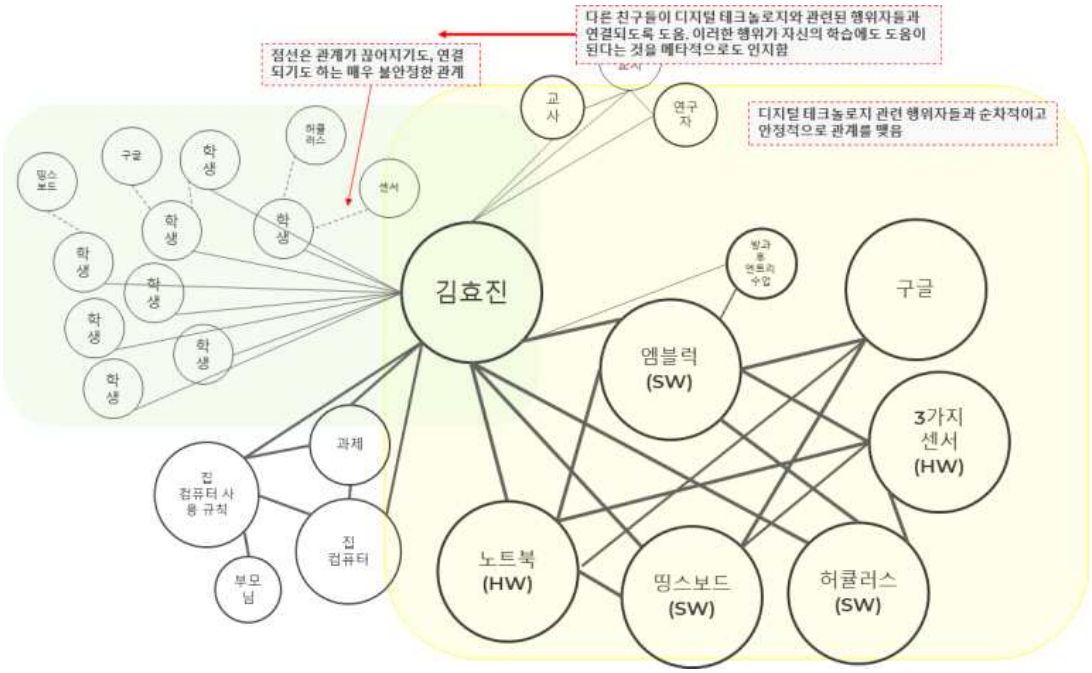
1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 성공과정

학습 관계망 안의 모든 존재는 주변의 다른 존재들과의 상호작용 속에서 힘의 균형을 유지한다. 또한, 상호작용하는 다른 존재들과의 조합을 통해서 역량이 발휘된다. [그림 4-7]은 김효진 학생이 STEP 1에 참여하면서 구성한 학습 네트워크다. 네트워크 형성과정은 분석적으로 분리하고자 한 결과물이며 실제로는 a, b, c, d, e 과정은 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 서로 상보적이며 복합적으로 작용하여 일어났다.



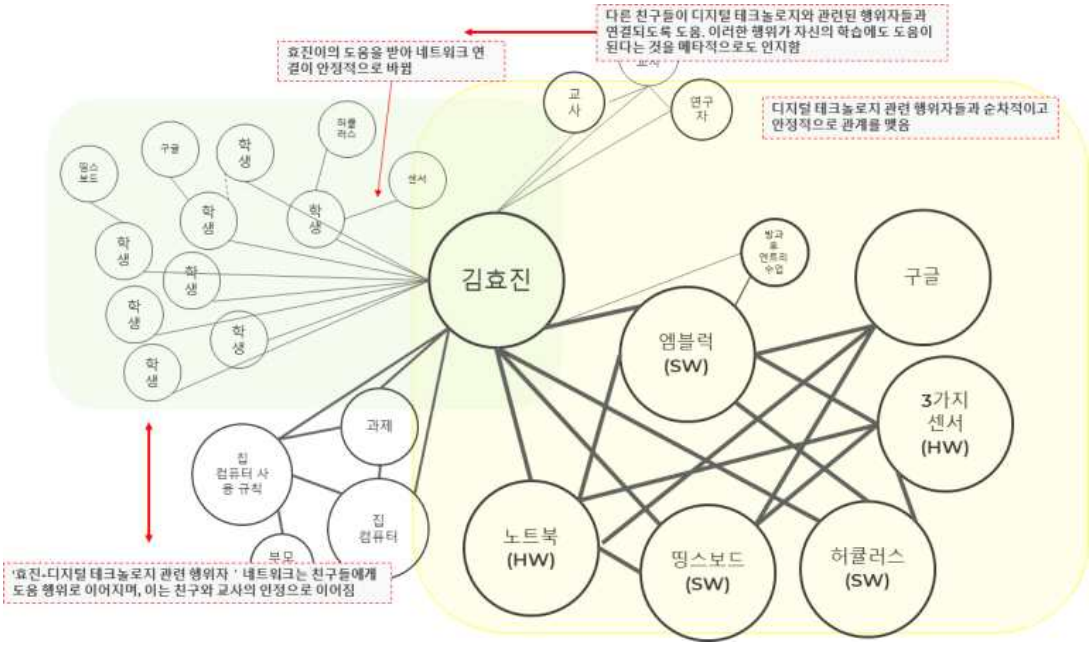
a. 디지털 테크놀로지 관련 행위들과 안정적으로 관계를 맺는 효진이와 그렇지 못한 학생들

↓



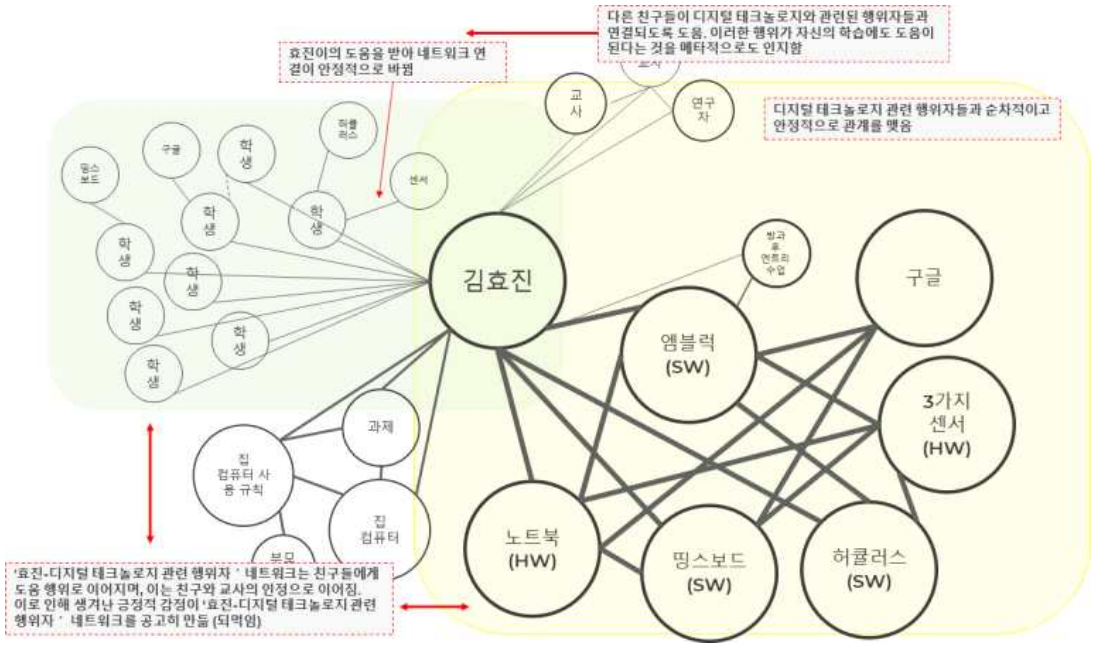
b. 친구들이 디지털 테크놀로지와 안정적으로 연결될 수 있도록 도움

↓



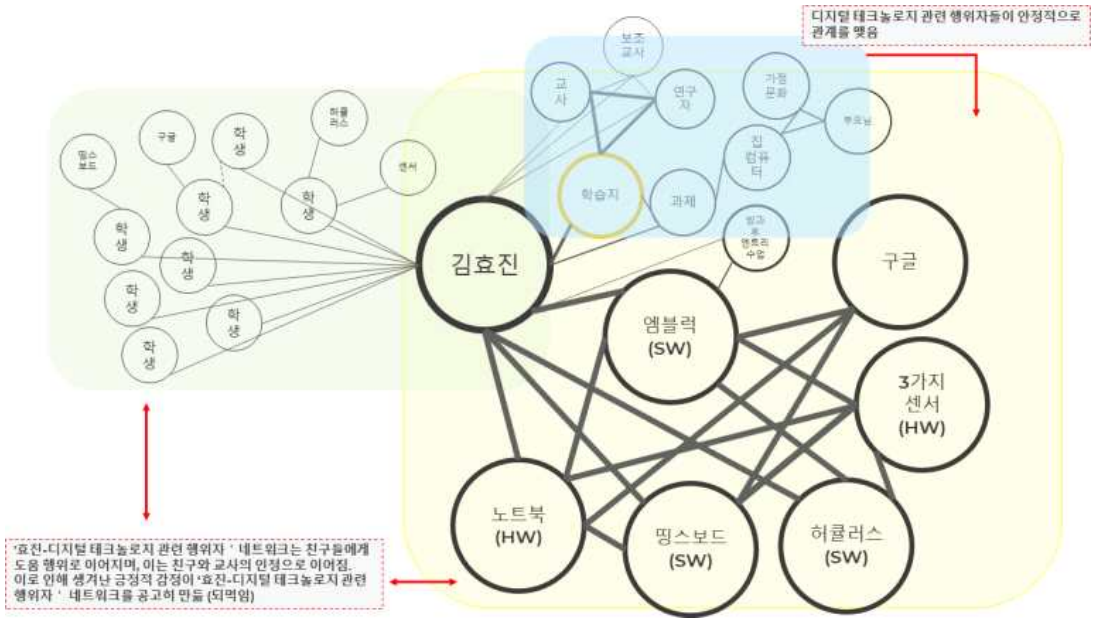
c. 돕는 행위는 교사, 연구자, 보조교사, 친구들의 인정으로 이어지면서 긍정적인 감정 형성

↓



d. 돕는 행위와 긍정적 감정의 연쇄 작용은
효진-디지털 테크놀로지 네트워크를 더 안정화함

↓



e. 학습지를 활용한 효진-디지털 테크놀로지 네트워크 안정화 및
'효진-디지털 테크놀로지' 블랙박스화 성공

[그림 4-7. '효진-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 성공과정]

효진이는 STEP 1 과정에서 차례로 나타난 디지털 테크놀로지와 관련된 많은 비인간 행위자와 순차적이고 안정적으로 관계를 맺었다(노란색 영역). 시간이 갈수록 노란색 영역 안의 네트워크가 안정화되고 지속 되어 관련된 행위자 간의 연결선이 점점 굵어졌다. 효진이는 학급에서 처음으로 띵스보드를 활용해 대기 환경을 그래프로 치환하는 것에 성공했고 이에 뿌듯함을 느꼈다. 이처럼 '…-효진-센서-엠블럭-허큘러스-띵스보드-노트북-구글-…' 행위자가 합쳐진 안정된 네트워크는 효진이에게 강한 권력을 부여하였다. 이에 효진이는 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자들과 매우 안정적이고 지속적으로 결합하면서 큰 행위성을 가진 행위자로서 존재감을 드러내기 시작하였다. 효진이가 가진 권력은 많은 친구를 돕는 행위로 이어졌다([그림 4-8]).

[그림 4-8. 친구들을 돕는 효진 (빨간 원)]

효진이는 교사와 보조교사, 연구자가 인정할 정도로 디지털 테크놀로지의 원리를 이해하고 익히는 능력이 우수했는데, 효진이 자신도 자신의 강점을 인지하고 있었다. 그러나 효진이는 자신의 강점을 이용해 혼자 학습하고 끝내는 것이 아니라 다른 학생들을 적극적으로 도왔다. 또한, 아래 면담처럼 효진이는 친구들을 돕는 행동이 어떻게 자신의 학습에도 도움이 되는지 메타적으로 인지하고 있었다.

효진: 제가 습득력이나 뭐 이제 이해하는 게 빠르거든요. 뭐를 이제 하는 걸 외우고

이제 어떻게 하는지 방식을 익히는 게 좀 빨라요. 그러다 보니까 처음에 코딩을 배울 때 이제 그냥 종이(학습지) 한 번 보고서 알 수 있으니까, 그런 거 다른 친구들한테 알려줄 수도 있고 저 혼자는 이제 완벽하게 알았으니까. 근데 이게 저 혼자만 하는 것보다 남한테 설명을 해주고, **한 번 더 해보면서 이제 하는 게 더 도움이 되거든요. 제 머릿속에 완벽하게 외워지기도 하고.**
(3차 심층 면담 중)

한편, 다른 친구들을 돕는 행동은 효진이의 학습에 도움이 되기도 하였지만, 친구들과 교사, 연구자, 보조교사, 친구들로부터 효진이의 능력을 '인정' 받게 되는 계기가 되기도 하였으며, 친구들에게 '고마운 존재, 꼭 필요한 존재'로 인정받을 수 있는 계기가 되었다. 이는 다시 효진이에게 긍정적인 감정을 불러일으켰다. 다음 면담처럼 효진이는 친구들을 도우면서 쾌감을 느끼고, 자신이 쓸모 있는 사람이 된 것 같다고 하였다. 또한, 일반 과학 교과 수업에서는 친구들에게 도움을 줄 기회가 많지 않았는데 본 수업에서는 도울 기회가 많아 재미있고 좋았다고 하였다.

효진: (난 너무 빨리 성공해서) 남을 도와줬는데, 남**의 걸 성공하면 쾌감이 생겼어요. 유능해진 기분이 들었어요. …일반 과학 수업보다 재미있어서 더 열심히 하게 돼요.**

효진: 그러니까 제가요 도와주면서 귀찮다 귀찮다 이런 식으로 하잖아요. (웃음) **내심 좋단 말이에요. 뭔가.**
연구자: 아 그래? 어떤 점이 좋은 것 같아?
효진: 뭔가 **하나를 해결했을 때 그거에 대한 쾌감**도 있고, **뭔가 제가 쓸모 있는 사람이라는 게 그냥 그게 좋아요.**
연구자: 그런 감정이 들었구나? 그러면 평소에 그냥 수업할 때 보다 이번 프로젝트 활동에서 더 많이 뭔가 그런 감정을 느꼈던 것 같아요?
효진: 네
연구자: 왜 그런 것 같아요?
효진: …교**과서 이제 그냥 일반적인 수업에서는 교과서 수업을 하는데 거기서는 제가 돕거나 그런 게 없잖아요.** 애들도 다 잘하고, 교과서 **수업의 특성상 이제 다른 게 도울 게 없어가지고.**

(3차 면담 중)

즉, 효진이는 상대적으로 안정된 디지털 테크놀로지와의 네트워크를 통해 친구들을 도왔고, 이는 효진이의 학습을 돕기도 하며 친구, 교사, 연구자, 보조교사의 인정을 불러일으키기도 하였다. 또한, 그 과정에서 효진이는 쾌감, 유능함, 재미 등을 느끼며 다시 STEP 1 수업에 열심히 참여하여 디지털 테크놀로지와의 네트워크를 더욱 안정화하는 모습을 보였다. 효진이는 자신을 둘러싼 네트워크를 확장하고 확장된 네트워크를 통해 다시 '효진-디지털 테크놀로지와 관련된 행위자' 네트워크를 안정시키는 되먹임 과정이 생겨났다. 효진이는 이러한 과정에서 '효진-디지털 테크놀로지와 관련된 행위자'와 블랙박스를 형성하였다.

한편, 효진이는 집에서 과제를 해결하는 과정에서 교사가 제공한 디지털 테크놀로지와 관련된 학습지 자료를 활용하여 문제를 해결했다. 즉, 학습지는 '효진-디지털 테크놀로지 관련 행위자'와의 네트워크를 안정적으로 연결하는 것을 돕는 비인간 행위자였다. 효진이의 아버지는 컴퓨터를 매우 잘 다루는 편이지만, 효진이는 아버지의 도움을 받지 않고 학습지 자료를 보면서 혼자서 과제를 해결했다고 응답하였다. 집에서 혼자 과제를 성공적으로 해결하여 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와 연결되니 시원한 기분이 들었다고 답하였다. 효진이는 과제뿐만 아니라 학교에서도 학습지를 활용해 혼자서 문제를 해결하였으며, 이는 교사의 성찰 일지에서 드러난 학습지의 중요성이 실제로 효진이에게 유의미했음을 알 수 있었다.

학생들에게 유의미한 학습 시간이 충분히 주어지도록 **블록코딩 프린트물과 같은 적절한 자료 투입이 중요**하다고 생각된다.

(5~6차시 교사 성찰일지)

효진이가 이처럼 과제를 성공적으로 수행할 수 있었던 것은 효진이 가정의 네트워크와도 관련이 있다고 판단한다. 효진이는 과제를 성공한 학생 중 한 명으로 집에서는 자유롭게 컴퓨터를 쓸 수 있었다. 집에는 노트북 4대, 컴퓨터 1대가 있어 가족들이 컴퓨터를 사용하거나 컴퓨터에 오류가 생기더라도

다른 컴퓨터를 사용할 수 있는 환경이었다. 효진이의 부모님은 자녀에게 공부에 대한 압박과 스트레스를 주지 않는 편이며, 오히려 학원을 굳이 다닐 필요가 없다고 이야기하며 자유로운 가정환경 분위기를 조성하고 있었다. 이에 효진이는 자유롭게 컴퓨터 과제를 할 수 있었다. 효진-부모님-가정 내 문화-집 컴퓨터-… 네트워크가 효진-과제-디지털 테크놀로지와 관련된 행위자의 네트워크를 보다 안정적으로 연결하게 도왔다(파란색 영역). 이로써 효진-디지털 테크놀로지와 관련된 행위자 네트워크는 최종적으로 블랙박스가 되었다.

한편, 효진이는 2~3학년 방과 후 활동에서 했던 엔트리 수업(블록코딩 수업)이 STEP 1 활동에 조금은 도움이 된다고 하였다. 그러나 방과 후 활동에서 배운 코딩 프로그램은 엠블럭 프로그램과 완전히 동일한 것은 아니었으며, 블록코딩과 관련이 없는 다른 디지털 테크놀로지 행위자들과의 연결을 돕는 데에는 한계가 있을 것으로 판단하였다. 또한, 방과 후 코딩 수업을 배운 경험이 있는 다른 8명의 학생 중 STEP 1 활동에 영향을 미쳤다고 응답한 학생은 효진이를 포함해 2명밖에 없었다. 즉, 방과 후 활동이 블록코딩을 하는 프로그램인 엠블럭 SW와 관계를 맺을 수 있지만, 다른 디지털 테크놀로지 행위자들과는 연결되어 있지 않다고 판단하였다.

2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

효진이가 속한 5 모둠 학생은 총 5명으로 다른 모둠에 비해 한 명이 더 많다는 특징이 있다. 모둠 내 역할을 정할 때 모둠 내 역할보다 모둠원 수가 더 많아 많은 시간이 소요되었다. 효진이를 포함한 5 모둠 학생인 지영, 예지, 승준, 정혁이가 모둠에서 맡은 역할은 [표 4-2]와 같았다. 5 모둠에서는 ‘모둠 역할’이라는 비인간 행위자는 학생들의 활동에 많은 영향을 미쳤다. 5 모둠 학생들은 모둠원들이 공평하게 각자 자신의 몫을 해내야 한다고 생각하고 있었다. 자신의 몫은 모둠 내 역할과 연결되어 있었다. 아무것도 하지 않은 학생은 수행평가 태도 점수에서 좋은 점수를 받을 수 없다는 의견도 나왔다. 그러나 주어진 모둠 역할은 모둠원 수보다 적었고, 역할이 겹치는

부득이한 상황이 생겼다. 모둠 역할이 모둠원 수보다 적어서 자신이 해야 하는 몫이 없어지는 상황이 생겼다.

[표 4-2. 5 모둠 학생의 모둠 내 역할]

이름	효진	지영	예지	승준	정혁
첫 역할	이끔이	측정이	기록이 (+영상 편집)	측정이	꾸밈이
변한 역할	-	기록이	-	-	?
실제로 주되게 한 역할	이끔이	기록이	기록이	측정이	-

지영, 승준: 더 중요한 건 **정혁이가 할 게 없다는 거야.**
지영: 다른 모둠은 4명이라서 가능한데 우리 모둠은...
효진: 이끔이가 도와주는 역할이야 우리는 근데 한 명 더 있으니 **한 역할당 두 명이서 해야 해. 그러다 보니 얘(정혁)가 할 게 없어져.**

(13~14차시 수업 중)

모둠원들은 무엇인가 해야 한다는 생각을 했지만, 효진이를 제외한 모둠원들은 특히 '정해진 역할' 만큼은 책임감 있게 '잘' 수행해야 한다는 암묵적인 생각을 하고 있었다. 이에 효진이를 제외한 모둠원들은 정해진 모둠 역할만을 철저히 수행하는 모습을 보였다. 아래의 면담에서 효진이를 제외한 모둠원들은 각자 자기의 역할만 수행하고 있으며, '모둠 내 역할' 이 학생들의 행위성에 많은 영향을 미치는 모습을 알 수 있다.

효진: 선생님 다시 생각해보니 **모둠원들이 자기 할 것만 했었네요.**

(중략)

연구자: 효진이가 측정도 하고, 기록도 하고, 이끔이 역할도 다 했던 거네요?
효진: 네. 그래서 저는 모둠 역할이 필요 없다고 생각했는데, 제 것(역할)만 생각했네요. **저희 모둠원들은 생각해 보니 자기 것(역할)만 했는데.**
연구원: 왜 애네들은 다 자기 것(역할)만 한 것 같아요?
효진: **역할이 정해져 있으니까요?**

연구원: 차라리 역할이 없었으면 나았을 것 같아?

효진: **역할이 없었으면 더 다양한 거를 해볼 수 있었을 것 같아요.** 어떤 애들 다른 애들도 뭔가 지금 생각하면은 지영이는 이제 측정 관련된 거를 한 번도 안 했고, 승준이는 기록 관련된 거를 안 했거든요. 자료 찾거나 뭐 하는 거. 우리가 이제 이거를 안 정하고 했었으면은 이제 같이하면서, 다 같이 자료도 찾아보고 다 같이 측정도 해보고 더 여러 경험이 쌓였을 것 같아요.

(3차 심층 면담 중)

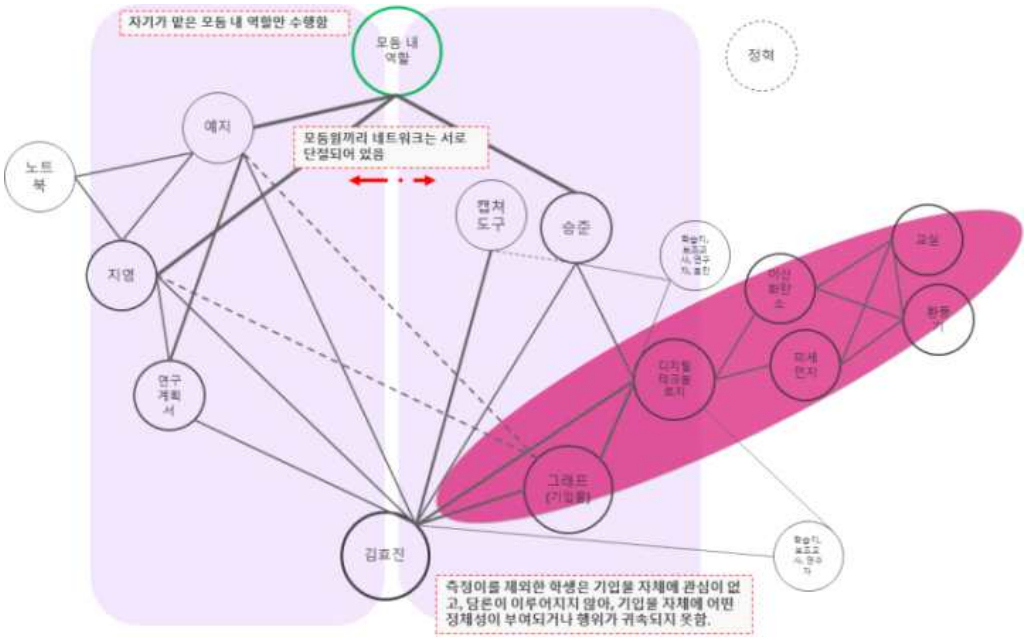
모둠원들과 달리 효진이는 역할과 상관없이 모든 활동에 참여하였으며 모둠 내 역할에 제약되지 않는 모습을 보였다. 효진이는 교사가 이야기한 이끔이의 역할인 다른 역할을 보조하는 것(측정, 기록 등)을 기능적으로 잘 수행하였지만, 이끔이라는 정체성을 인식하면서 행동한 것은 아니었다.

효진: 이렇게 모둠별로 나눈다는 것 자체가 (저 개인적으로는) 의미가 없었던 것 같아요. **그런 거를 별로 신경 안 쓰고 했던 것 같은데** 대부분 …**그 역할이 없었어도 그냥 다 똑같이 (활동) 했을 것 같아요.**

(3차 심층 면담 중)

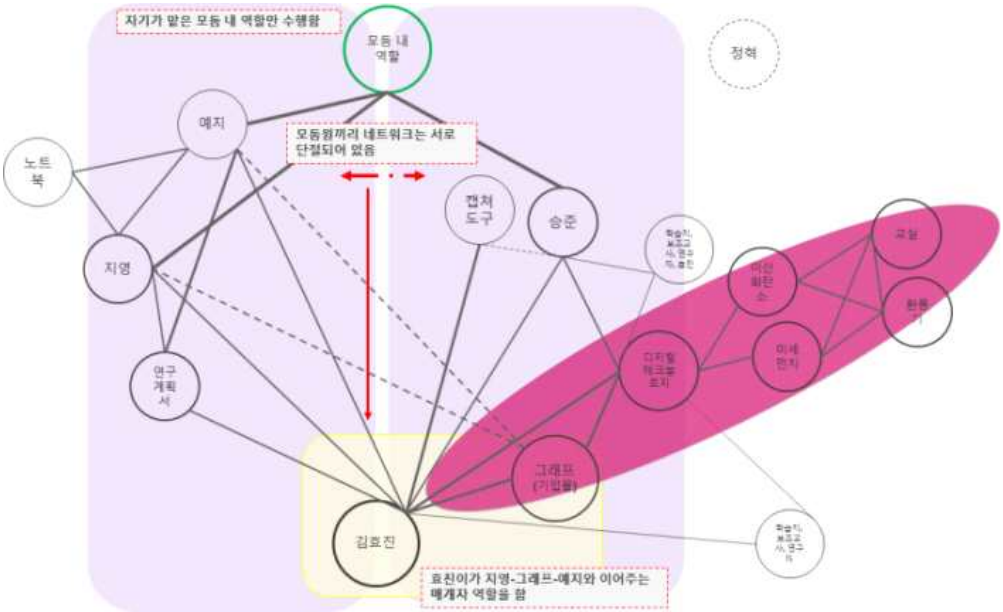
효진이를 제외한 모둠원들이 ‘정해진 모둠 내 역할만은 책임감 있게 잘 수행해야 한다는 암묵적인 생각’은 전체 네트워크에 영향을 미쳤다. 이는 다른 모둠과 차별되는 지점이었다. 이와 관련해서 [그림 4-9]에 모둠 내 역할, 기입물, 효진이, 효진이를 포함한 5 모둠원이 STEP 2에서의 네트워크 형성과정을 도식화해서 보여주고 있다. a, b, c의 과정은 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 상호 복합적인 과정에서 생성되었으며 분석적으로 분리된 것이다.

실선(▬▬): 연결됨
파선(– – –): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨
초록색 원: 다른 행위자를 제약하는 행위자
바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크
진분홍 영역: 기입물과 관련된 네트워크



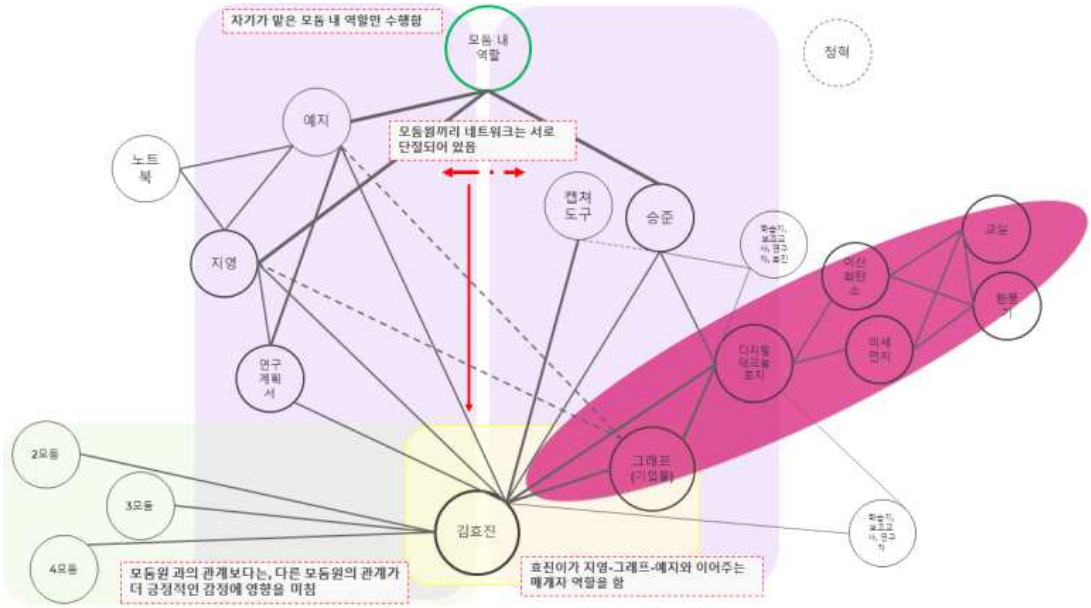
a. 모둠 내 역할 수행과 및 모둠원과 서로 단절된 네트워크

↓



b. 효진이를 통해 기입물을 만나는 기록이들과 효진이에게 의존하는 측정이

↓



c. 모둠원끼리 지속적 네트워크 단절 및 효진-다른 모둠원과의 관계 형성

[그림 4-9. ‘모둠 내 역할, 기입물, 효진, 모둠원’을 둘러싼 네트워크 형성과정]

[그림 4-9] 보라색 두 영역 네트워크인 ‘지영-연구 계획서-예지-효진’(왼쪽 보라색 영역), ‘승준-디지털 테크놀로지-기입물-효진’(오른쪽 보라색 영역)은 분리되어 있다. 학생들이 모둠 내에 자신의 역할만 수행하게 되면서 서로 간에 소통은 단절되었으며 이는 모둠 전체의 네트워크 형성에 영향을 미쳤다.

앞서 4 모둠에서는 디지털 테크놀로지와 연결되지 못했던 학생들이 측정이를 매개하여 기입물의 형태로 이산화탄소를 만남으로써 탐구 활동이 활발히 이루어졌었다. 그러나 5 모둠의 지영이와 예지는 다른 모둠과 달리 그래프라는 기입물과 매우 약하게 연결되어 있다. 기록이인 예지와 지영이는 측정이와 이끔이가 측정하고 산출해낸 그래프를 보면서 무엇을 측정하였는지, 그래프값의 변화가 나타내는 의미가 무엇인지 다음 사례와 같이 정확히 인지하지 못하고 있었다. 기입물인 그래프와 기록이 예지, 지영이와의 단절은 그래프

자료를 연구 계획서에 거꾸로 붙이는 모습에서 드러났다. 지영이는 계획서에 붙인 그래프 자료가 거꾸로 붙여진 것인지조차 인지하지 못하고 있었다.

효진: (연구 계획서를 보면서) 애들아 **(그래프 자료를) 거꾸로 붙여버리고, 이 평균을 가려버리면 어떡해. 얘들아.** 그래프를 뽑아낸 의미가 없는데 이러면? 떼서 다시 붙여야지.
지영: **어떻게 붙이라는 거야?**
효진: 지금 평균이 이걸 가렸잖아. 이거 가렸고. 이거 거꾸로 붙여서 평균 이게 안 보이잖아. 이게 (그래프값이) 내려가는 것처럼 보이잖아.
승준: 평균을 가리게 붙이면 어떡해?
지영: **아 거꾸로 붙인 거야?**

(15~16차시 수업 중)

또한, 다음 대화처럼 기록이 예지는 연구 계획서에 적힌 탐구 주제와 관련된 내용을 연구자가 질문하였을 때 답변하지 못하였다.

연구자: (기록이가 작성하는 연구 계획서를 보면서) 환풍기를 작동했을 때... 그럼 어디에 있는 환풍기를 쓰는 거예요?
예지: **몰라요.**
연구자: (당황하면서) 왜 모르는 거야?
예지: **저는 기록이어서....**

(13~14차시 수업 중)

측정이 승준이는 측정과 관련된 내용을 아래와 같이 기록이 지영이에게 질문하였지만, 지영이는 본인은 측정 활동을 하지 않아 모른다고 다음과 같이 답변했다. 이처럼 **모둠 내 역할이** 다른 역할의 활동을 전혀 이해하지 않아도 되거나, 같이하지 않아도 되는 것을 정당화시켜주는 비인간으로써 행위성을 발현하고 있었다. 다른 모둠에서도 모둠 내 역할에 대한 비슷한 인식을 드러낸 담화가 있었지만, 5 모둠과 달리 상황에 따라서 모둠 내 역할은 유동적으로 변하기도 하는 차이가 있었다.

승준: (지영이를 바라보며) 평균 안 써도 되는 거야?

지영: 평균? 그걸 왜 써.

승준: 아씨 헷갈려.

지영: **몰라. 나는 저거(측정) 안 해서 어떻게 하는지 몰라.**

승준: **효진아. 평균을 써야 되는 거야, 안 써야 되는 거야?**

(13~14차시 수업 중)

다른 모둠에서는 측정이를 제외한 모둠원들이 디지털 테크놀로지와 직접 만나지 못하더라도 기입물과 접속하게 되면서 대기 환경을 만날 수 있게 되고, 이후 활발히 탐구 활동에 참여하였다. 그러나 5 모둠에서는 측정이, 이끔이만 디지털 테크놀로지 및 기입물과 안정적으로 만나는 특징이 있었다(노란색 영역). 5 모둠에서는 그래프라는 기입물이 모둠원 전체와 안정적으로 연결되지 못함으로써 기입물은 네트워크에서 큰 행위성을 가진 행위자가 되지 못하였다. 기입이 어떤 실체와 관련되면서 그 실체에 이름이 주어지고 정체성이 부여되며 행위 형태가 귀속되도록 하는 것은 담론의 매개를 통해서 이루어진다(Callon et al., 2009). 그러나 5 모둠에서는 측정이와 이끔이를 제외한 다른 학생은 기입물 자체에 관심이 없었으며, 기입물과 관련된 담론이 제대로 형성되지 않았다. 이에, 기입물 자체에 어떤 정체성이 부여되거나 행위성이 귀속되지 못하였다.

문제는 기록이 지영이와 예지는 효진이를 통해서 연구 계획서에 필요한 이산화탄소와 미세먼지를 만나고자 한 것이다. 기입물이 기록이와 잘 연결되지 못하면서 이산화탄소와 미세먼지를 만나기 위해 거쳐야 하는 존재는 효진이었다. 효진이를 통해서 이산화탄소와 미세먼지 기입물을 만날 수 있게 됨으로써 효진이는 다시 STEP 1에서처럼 모둠 내에서 권력을 가진 행위자가 되었다. 그러나, 이러한 권력이 효진이에게 STEP 1에서 유능함을 느끼게 하였다면, STEP 2에서는 오히려 부정적인 감정을 발생시켰다. 모둠 활동에서 빈번하게 자신을 통해서 이산화탄소와 미세먼지를 만나려고 하는 기록이들의 질문에 효진이는 짜증을 내며 답하였다.

지영: 야 효진아 **효진아 나 물어볼 거 하나 있어가지고.. (목소리가 작아짐)**

연구자: 그러면 지금 작동결과가 어떻게 나왔어?

지영: 어.....

연구자: 효진이랑 같이 결괏값 해석해봐요.

예지: **그거 저희가 하래요. (효진이한테 물어보니까) 그거 너희가 해야지! 라고 했어요.**

(15~16차시 수업 중)

또한, 승준이 역시 효진이에게 의존하는 모습을 종종 보였다. 앞선 사례처럼 승준이는 기록이들과 대화가 불가능해지자 효진이에게 바로 질문하는 모습을 보였다. 승준이는 디지털 테크놀로지와 관계를 맺고 있지만, 교사가 뽑은 모둠 내 디지털 테크놀로지를 잘 활용하는 학생 5인 중에는 해당하지 않았다. 즉, 승준이는 효진이 만큼 완벽히 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성하지는 못하였다. 이에, 승준이는 디지털 테크놀로지로 측정하는 데 어려움을 겪으면 학습지, 보조교사, 연구자, 효진이를 통해서 다시 블랙박스를 형성하고자 노력하였다. STEP 1에서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자와 매우 안정적인 관계를 맺었던 효진이는 STEP 2에서 측정이인 승준이에게 그 역할을 완전히 위임할 수 있었던 것이 아니었다. 또한, 5 모둠에서 탐구 주제는 두 가지 센서(이산화탄소, 미세먼지)와 관련되어 있어서 승준이뿐만 아니라 효진이는 다른 센서를 활용한 장치를 두 가지 만들어 측정해야 했다.

즉, 모둠원들끼리는 약한 관계망을 형성하며 **측정이와 기록이인 승준, 지영, 예지 모두 효진이에게 계속 의존하는 상황이었다.** 아래 사례처럼 효진이는 기록이들에게 무엇을 검색하고 적어야 하는지 알려주었다. 또한, [그림 4-10]처럼 효진이를 중심으로 좌우에 앉은 모둠원들은 효진이에게 도움을 계속 요청하였다. 시간이 지나자 효진이는 모둠에서 이끔이를 하는 것에 **대해 부정적인 감정을 표현하였다.**

효진: (지영이와 예지에게) 실내공기 오염의 가장 효과적인 해결책은 환기다 이거랑 환풍기의 효능 **이거 검색하면 돼.**

효진: 얘들아, 얘들아, **10시 되면은 여기 평균값을 여기다 기록해 주면 돼.**

(15~16차시 수업 중)

[그림 4-10. 효진이를 중심으로 도움을 요청하는 친구들]

특히, 효진이의 이러한 감정은 다른 모둠과 비교했을 때 5 모둠 활동 진도가 상대적으로 많이 뒤처지는 것을 인식하는 것으로부터 시작되었다. 효진이는 아래의 면담처럼 부정적인 감정의 시작은 다른 모둠과의 진도 차이에서부터 유발되었다고 하였다. 효진이가 속한 5 모둠은 다른 모둠과 비교했을 때 모둠 역할 정하기, 주제 정하기에 소요된 시간이 많았다. STEP 2에서는 '효진-디지털 테크놀로지과 관련된 행위자'의 관계보다는 모둠원 수, 기입물, 탐구 주제 등 다른 행위자들과의 관계가 학생들에게 미치는 영향이 더 커졌다.

효진: 다른 모둠들이 다 했는데 **저희는 뭔가 좀 늦어지니까** 이거를 다 같이 해 가야 할 생각을 해야 하는데, 그냥 **앞뒤 생각 없이 짜증을 냈어요.**

효진: 그게 **저희가 너무 뒤처지는 것 같아 가지고** 좀 짜증이 났어요.

(3차 심층 면담)

효진: (3 모둠에 가서 하소연하면서) 분명 애들한테 조사를 하라고 했는데 아무것도 해 온 애가 없어.

(15~16차시 수업 중)

효진: (연구자에게) 저희 모둠 포기하기로 했어요. 저희 모둠은 글렀어요. **시간이 너무 많이 지났어요.**

(17~18차시 수업 중)

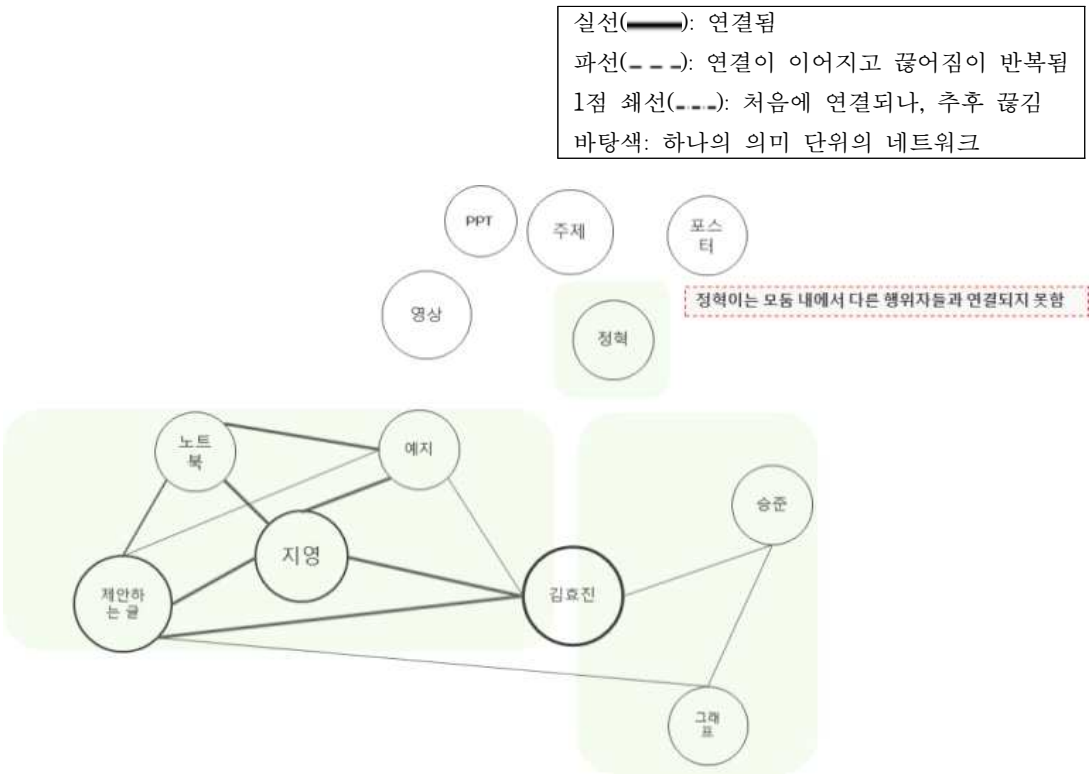
결국, 모둠 역할 및 주제 선정, 이로 인해 늦어진 진도, 측정이와 기록이 모두 효진이에게 계속 의존하는 것 등이 복합적으로 네트워크를 이루게 되면서 효진이의 감정은 부정적으로 변화하였다. 효진이에게 의존하는 예지, 지영, 승준이에게는 효진이가 STEP 1에서처럼 STEP 2 활동과 관련된 비인간 행위자들과 많이 연결된(디지털 테크놀로지, 대기 환경, 기입물, 캡쳐 도구, 노트북, 검색 등) 권력을 가진 행위자로 보일 수 있지만, 권력이란 당사자가 원하는 대로 다른 행위자를 움직일 힘이라는 점을 고려한다면 효진이가 정말 권력다운 권력을 가지게 되었는지 생각해 볼 필요가 있다.

[그림 4-11. 다른 모둠의 측정을 도와주는 효진 (빨간 원)]

한편, 효진이는 [그림 4-11]처럼 종종 다른 모둠의 측정도 도와주었다. STEP 2 에서 탐구 주제와 관련된 측정 활동이 진행되어 디지털 테크놀로지와 안정적인 관계를 맺고 있는 효진이를 다른 모둠에서 불러 도움을 요청하거나, 효진이가 다른 모둠에 놀러 갔다 자발적으로 도움을 제공하기도 하였다. 효진-디지털 테크놀로지와의 관계는 여전히 STEP 2에서도 인정받고 있었다. STEP 1에서 효진-디지털 테크놀로지 관계는 효진이에게 권력을 제공하였고, 타인에게 인정받으며 스스로 유능한 존재임을 확인받을 기회를 제공하였다. 효진이는 디지털 테크놀로지와의 관계에서 얻을 수 있는 이러한 감정을 좋아했다. 이에 효진이는 자기의 뜻대로 흘러가지 않는 불편한 5 모둠의 공간보다는 다른 모둠의 공간에서 도움을 제공하고 받을 수 있는 감정이 더 긍정적이었기에 다른 모둠에 자주 방문하고 관계를 맺은 것으로 판단한다.

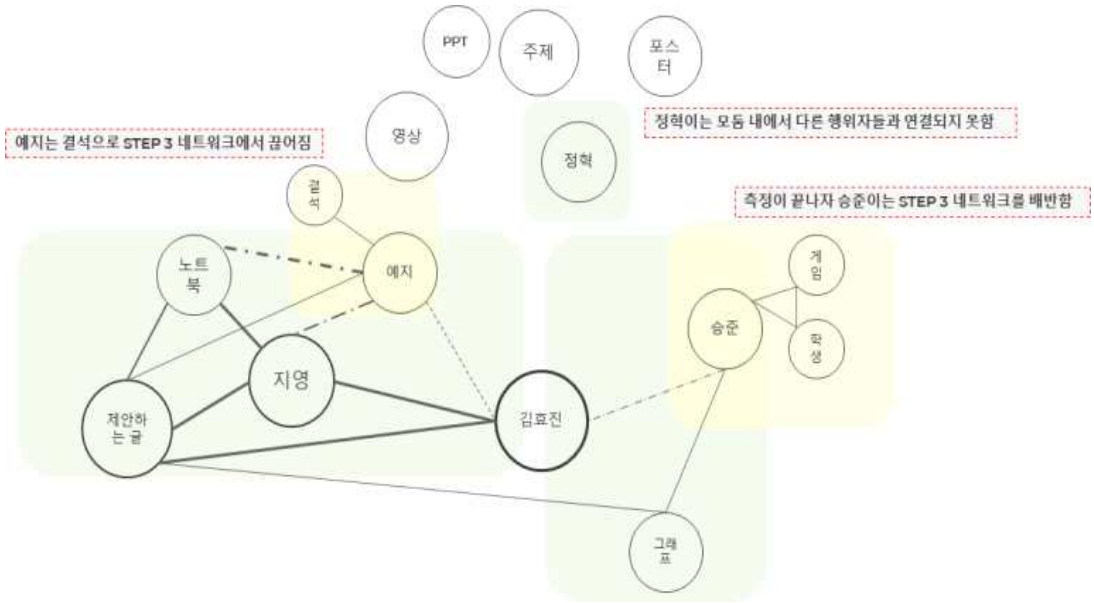
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

[그림 4-12]는 제안하는 글, 효진, 모둠원을 둘러싼 비인간-인간 행위자들이 STEP 3에서 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다. STEP 2에서부터 STEP 3까지 정혁이를 둘러싼 갈등이 있었다. [그림 4-12]에서 모둠원들은 모둠 내 역할과 관련된 행위자들과 네트워크를 형성하여 초록색 영역에 각각 위치하고 있다. 그러나 정혁이는 다른 어떤 행위자도 연결되지 못하고 고립되어 있었다. 즉, 정혁이는 STEP 2와 STEP 3에 거쳐 인간-비인간 행위자와 연결이 단절되어 있었다.



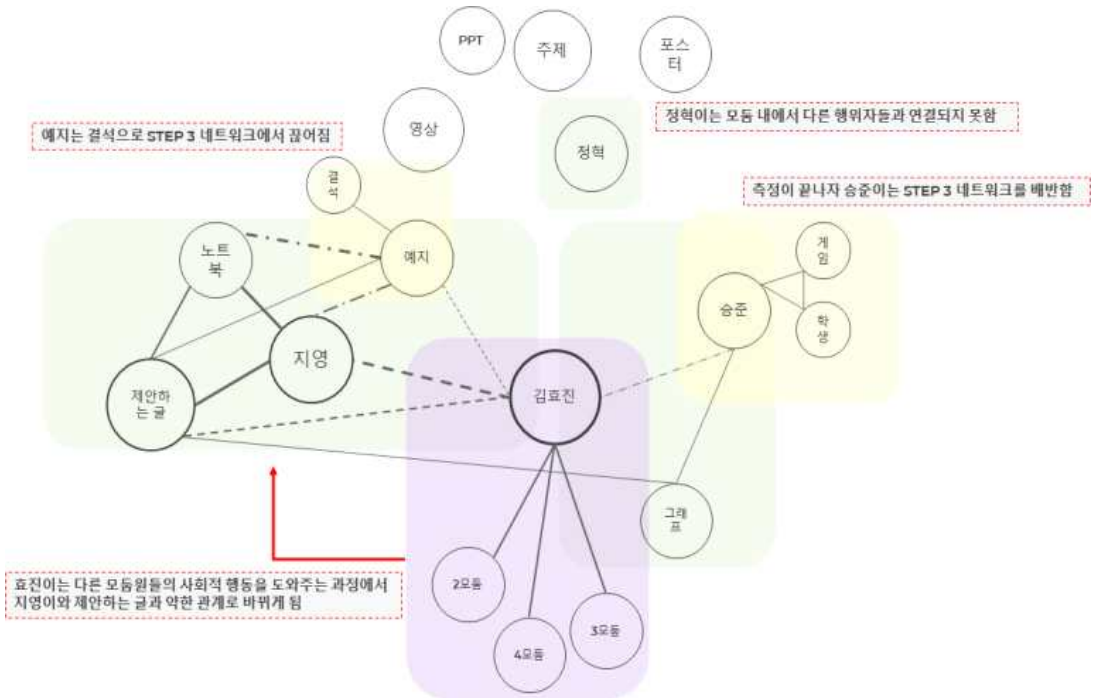
a. 모둠 내에서 다른 행위자와 연결되지 못한 정혁

↓



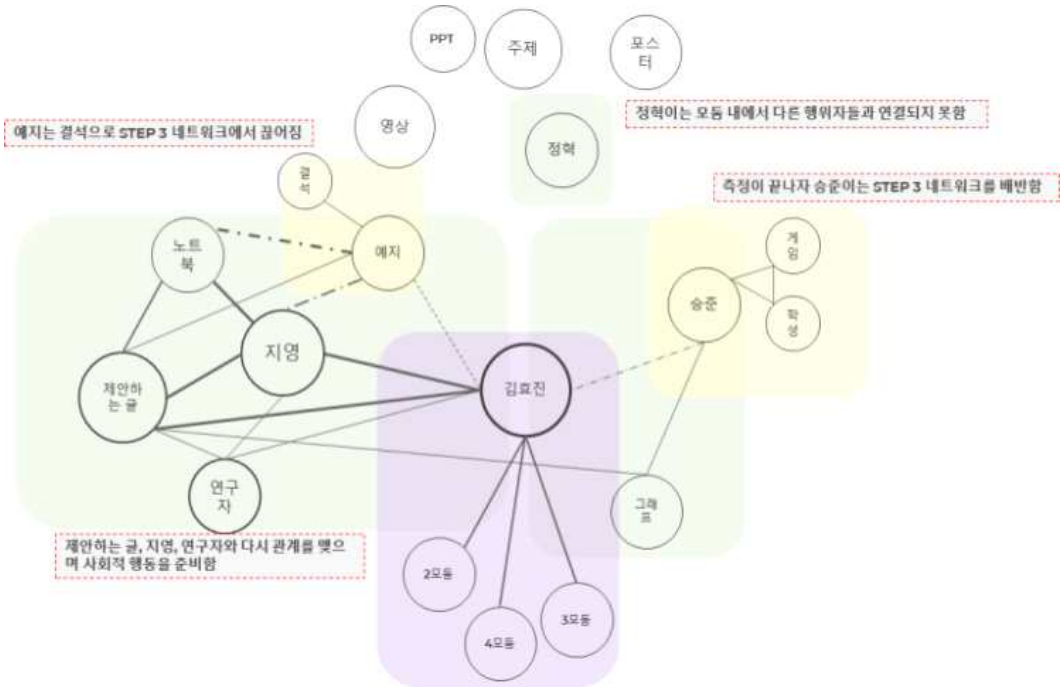
b. 측정 후 네트워크를 배반한 승준 및 결석으로 네트워크와 연결이 끊어진 예지

↓



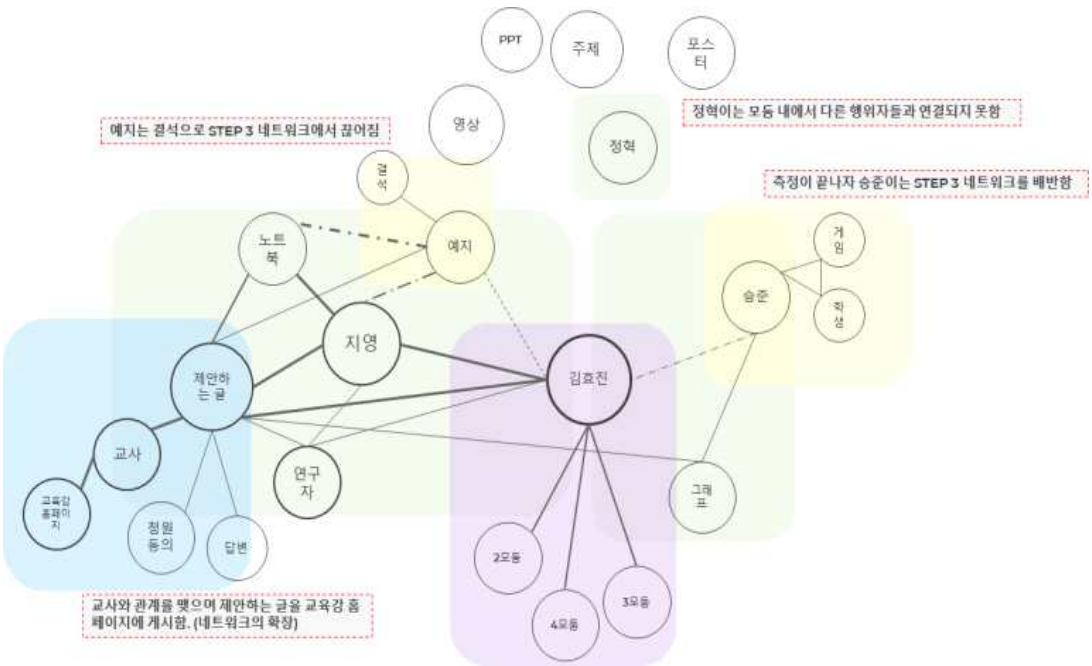
c. 다른 모둠과 관계 형성으로 제안하는 글과 연결이 약해진 효진

↓



d. 제안하는 글, 지영, 효진, 연구자가 관계를 맺으며 사회적 행동을 준비

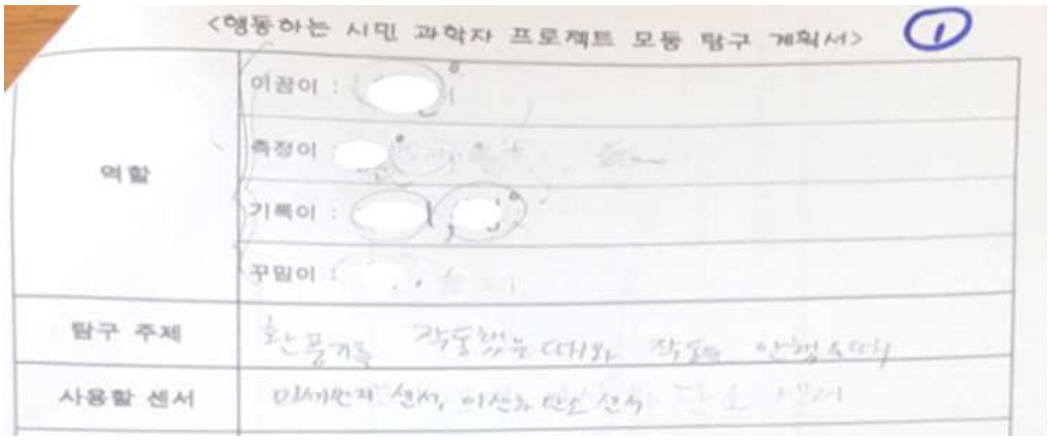
↓



e. 교사와 관계를 맺으며 제안하는 글이 학교 밖으로 연결됨 (네트워크의 확장)

[그림 4-12. '제안하는 글, 효진, 모둠 내 역할, 모둠원'을 둘러싼 네트워크 형성과정]

STEP 2가 시작되는 13~14차시 수업에서 학생들은 모둠 내 역할을 정하고 탐구 주제 및 사용할 센서, 탐구방법, 사회적 행동 계획 등을 작성해야 했다([그림 4-13]). 탐구 주제와 사용할 센서는 토의 후 결정되었지만, 사회적 행동을 위한 결과물을 포스터, 영상, PPT 중 어떠한 방식으로 제작할지 오랫동안 논의가 이어졌다. 처음에는 포스터로 제작하려다 포스터에는 본 탐구 내용을 다 담기에는 적절하지 않은 형식이라고 판단해, 글이나 그래프를 촬영하여 영상으로 제작한 후 PPT에 담는 것으로 계획을 변경하였다. 포스터를 제작할 때는 꾸밈이의 역할이 확실히 존재했지만, 영상제작과 PPT를 만드는 과정에서는 꾸밈이 정혁이가 할 수 있는 역할이 모호해졌다. 특히, 꾸밈이 역할이 아니더라도 영상 편집을 할 수 있는 학생이 영상 편집을 할 수밖에 없어 기록이 예지가 해당 역할을 담당할 수밖에 없게 되었다. 영상 편집을 할 줄 모르는 정혁이는 '꾸밈이'라는 역할에서 할 수 있는 것이 없어지게 되었다.



[그림 4-13. 역할을 지우고 다시 쓰는 과정이 반복된 계획서]

효진: (교사를 보며) **영상을 만들기로 했는**데 영상을 좀 할 줄 아는 애가 해야 해서 (예지) 애가 하기로 했는데, 근데 그렇게 되면 **정혁이가 할 수 있는 게 없어지잖아요.**

지영: 애(정혁)가 **꾸밈이를** 하고 싶다고 했는데, **글이나 포스터로 하기로 했어요.** 근데 포스터를 어떻게 나눠서 하나, 힘들어 가지고 영상을 하기로 했는데. (13~14차시 수업 중)

강 교사는 ‘모둠 역할’을 안내할 때, 맡은 역할을 중심적으로 하되 다른 역할도 도우면서 함께 해야 한다고 설명했었다. 그러나 영상을 제작하게 되면 ‘활동 결과물을 꾸며야 하는 꾸밈이 정혁이’가 중심적으로 할 수 있는 활동이 없다고 모둠원들은 판단하였다. 이에 모둠원들은 모둠 역할과 결과물 종류에 대해 긴 시간 동안 논의하였다. 디지털 테크놀로지와도 단절된 정혁이에게 이끔이 효진이는 기록이의 역할을 제안해보았지만, ‘글씨체를 타인이 이해할 수 있을 정도로 반듯하게 쓰며, 모둠원의 이야기를 알아듣고 빨리 쓸 수 있어야 하는 기록이의 역할’에는 정혁이가 부합하지 않는다고 판단한 다른 모둠원(지영)에 의해 무산되었다.

효진: 기록이를 **예지랑 너랑(정혁) 둘이서 해도** 괜찮지 않을까? …
지영: **너의 글씨체를 알아볼 수 있고, 너가 우리가 하는 말을 알아듣고 빠르게 쓸 수 있어야 기록이를 하는 거야.** 4명이면 딱 맞는데, 지금 5명이라서.
(13~14차시 수업 중)

모둠 인원, 모둠 역할, 활동 결과물, 반복되는 논의, 많은 시간이 결합하여 모둠 활동에서는 균열이 생기기 시작하였다. 다른 모둠은 이미 주제를 정하고 측정 준비를 하고 있었으며 일부 모둠은 이미 지난 차시부터 측정을 시작했다. 이러한 모습을 본 효진이는 3차시 동안 여전히 모둠 역할과 활동 결과물 종류 선정에 대한 논의가 이루어지자 아래 **면담처럼 짜증 나고 화가 난 감정이 들었다고 하였다.** 이는 앞서 STEP 2 과정에서 효진이가 부정적인 감정을 느끼는 것과 관련되어 있다.

효진: 저희가 모둠 활동 처음 할 때, 그때 저희가 **다른 모둠에 비해서 뭔가 느려지**고 하다 보니까, **조금 짜증도 내게 되고** 애들 이야기를 잘 못 들어줬어요.
(3차 면담 중)

4 모둠 학생: (여전히 모둠원과의 역할 분배, 주제에 관해서 이야기하는 5 모둠을 보며) 지영아 끝났어? 우리 (측정 다) 끝났다~
(14차시 중)

효진이는 글씨도 잘 쓰며 디지털 테크놀로지를 잘 활용하고, 영상 편집도 잘할 수 있는 역량이 있었다. 그러나 효진이는 모둠 활동 시 혼자서 측정이와 기록이, 이끔이의 역할을 다하는 것은 **'독재자'와 같은 것이**며 혼자서 모든 활동을 다 하는 것은 자신에게는 오히려 쉽고 편한 방식이 될 수 있지만, 모둠원에게는 부정적으로 비칠 수 있음을 인지하고 이를 경계하고 있었다. 이에 정혁이에게 모둠 활동에서 무엇인가 할 수 있는 것을 줘야 한다는 생각이 있었다. 그러나 정혁이가 할 수 있는 포스터 형식은 탐구 내용을 담기에는 적절하지 않다는 생각이 충돌하면서 갈등이 생겼다. 추후 효진이는 정혁이가 역할을 완벽히 수행하지 못하더라도 기록이 역할을 하거나, 시간이 오래 걸리더라도 포스터를 만들고 자기가 도와줘도 된다고 생각을 바꾸었다.

효진: 뭔가 이제 측정하고 별로 쓸 게 없었거든요. 그냥 측정만 하면은 그러니까 (측정 결과를) 베끼기만 하면 되는 정도였는데, 뭔가 제가 측정을 다 하고 뭐 기록도 다 하고 하면, 애들이 저한테 뭔가 좀 그런 감정을 느끼지 않을까? **애들도 뭐 하고 싶은데 저 혼자만 다 하고. 그런 뭔가 독재하는 느낌?** 그것 때문에 애들이 아무것도 안 하면. **그게 저한테는 배려일 수 있지만. 걔네들은 싫을 수 있잖아요.** 그래서 아무것도 안 하는 것보다는 걔네한테 뭔가를 해주는 역할을 제공... 뭐라 해야 될지. **아무튼 걔네들도 뭔가 하는 게 있어야 되겠다 해 가지고 그냥 넘겼던 것 같아요.**

(3차 심층 면담 중)

효진이는 정혁이가 어떤 역할이든 잘 수행하지 못하게 되더라도 부족한 부분은 자신이 돕겠다고 반복해서 이야기했지만, 다른 모둠원들은 이에 대해서 어떤 긍정이나 부정의 의견도 비치지 않았다. 결국, 효진이는 모둠 역할을 신경 쓰지 않고 활동할 것을 제안하였고 모둠 역할 정하기가 흐지부지되고, 결과물을 어떤 형태로 만들지 결정하지 못한 채 측정 준비와 계획서 작성이 시작되었다.

정혁이는 어떤 결과물을 만들지 확정하지 않은 상태에서 꾸밈이라는 역할에서 자신이 무엇을 할 수 있는지 명확히 인지하지 못한 채 다음 [그림 4-14]와 같이 모둠원 주변을 맴돌았다. 효진이를 제외한 모둠원 사이에서 '맡은 역할을 중심으로 잘 활동' 해야 한다는 암묵적인 생각은 정혁이가 꾸밈이라

는 자신의 역할을 잘 수행하지 않고 아무것도 하지 않는다는 생각으로 이어졌다. 이는 5 모둠 활동 전체에 예상치 못한 부정적인 영향을 미쳤다.

[그림 4-14. 아무것도 하지 않는 정혁 (제일 왼쪽)]

연구자와의 면담에서 어떤 활동을 해야 할지 모르고 가만히 있는 정혁이에 대해 모둠원들이 불만을 토로하거나, 사회적 행동을 위해 작성된 글에 정혁이의 이름을 빼기도 하였다. 정혁이는 측정이 곁에 계속 있는 모습을 보였지만, 디지털 테크놀로지, 종이, 노트북 등과 연결되지 못한 정혁이는 아무것도 하지 못하였다. 다만, 친구들이 필요로 하는 물건들을 가져다주는 활동을 하였다. 추후 사회적 행동을 위해 최종적으로 제안하는 글 작성하기가 결정되었고, 글씨를 잘 쓰고 친구들의 말을 빨리 알아듣는 기록이 지영이, 효진이가 글을 작성하였다. 이 과정에서도 꾸밈이 정혁이가 할 수 있는 일은 없었다. 정혁이는 모둠 내 다른 행위자와 연결된 것이 없어 모둠원들과의 관계도 끊겼다. 정혁이는 초록색 영역에 홀로 존재하고 있는 것을 볼 수 있다.

한편, 측정이 승준이는 측정을 다 끝나고 제안하는 글에 사용될 그래프 자료를 제공한 후에 다른 모둠원 친구와 보드게임을 하였다. 승준이는 더는 STEP 3 사회적 행동과 관련된 활동에 참여하지 않았다. 또한, 예지는 제안하는 글을 본격적으로 작성하는 시간에 결석하면서 모둠에서 무엇을 다시 측정하였으며, 어떤 방법으로 사회적인 행동을 진행하였는지 전혀 인식하지 못하고 있었다. 즉, 승준이와 예지는 STEP 3 네트워크에서 차례대로 탈출하거나 연결이 끊겼다.

지영: 애들이 **한 명 두 명은 그 얼음 조각 게임**인가 뭔가 그거 하고 있고, **또 한 명은 어디 가서 도와주고 있고, 한 명은 안 오고,** 저만 노트북에 저거 적고 있는데 애들이 다 놀고 있는 거예요. 효진이 빼고 효진이는 다른 애들 도와주고 있고. 그래서 갑자기 드는 생각인데 제가 좀 인내가 있는 것 같아요.

(3차 심층 면담 중)

한편, 효진이는 STEP 3에서도 다른 모둠과 관계를 맺었다(보라색 영역). STEP 1, 2와 마찬가지로 다른 모둠원들이 효진이에게 도움을 요청하기도 하였으며, 효진이가 자발적으로 다른 모둠에 놀러 갔다가 도움을 제공하기도 하였다. 효진이는 이러한 활동을 통해서 여전히 친구와 교사에게 인정받을 수 있었다. 교사는 본 활동의 처음부터 끝까지 어려움을 겪는 모둠을 도와주는 효진이의 공로를 인정하는 이야기를 하였으며, 다른 모둠원들은 효진이가 없었으면 안 되었을 것이라고 이야기하기도 하였다.

교사: (여러 모둠을 다 도와주는) 효진이한테 상 줘야 해 상.

(17~18차시 수업 중)

소영: 포스터 만들 때도 어디서 자료를 어디선가 퍼와가지고는, 좀 붙이는 것도 도와줬고, 글씨 바꾸는 거 하고, **이 부분을 삭제하고, 이렇게 더 만드는 것도 글 쓰는 것도 되게 많이 도와줬어요.** 어떻게 보면 **효진이가 이 모둠의 활동자였을까라는 생각도…**

(3차 심층 면담 중)

이처럼 효진이의 도움 행위가 STEP 3에서도 지속된 것은 친구들의 요청 이외에도, STEP 2부터 시작되어 지속적인 부정적인 감정, 예지, 승준, 정혁의 네트워크 배반 혹은 끊김, 모둠 내 의견 불일치 등이 복합적으로 연결되면서 인정 욕구를 채울 수 있는 등 긍정적인 감정을 취할 수 있는 공간인 다른 모둠으로 찾아가 도움을 제공한 것으로 판단한다.

한편, 예지, 승준, 정혁이가 네트워크와 끊어지고, 효진이는 다른 모둠을 돕고 있는 상황에서 지영이는 홀로 글을 작성해야 했다[그림 4-15]. 추후, 효진이와 연구자는 모든 모둠에서 활동이 다 마무리된 상황에서 혼자 남아

글을 작성하던 지영이를 도왔다.

[그림 4-15. 홀로 남아 글쓰기를 하는 지영]

작성된 글은 방과 후 교사를 통해 교육감 홈페이지에 게시되었다(파란색 영역). [그림 4-16]은 교육감 홈페이지에 게시한 글이다. 해당 게시글에 동의한 인원은 24명이었다. 그러나 학생 청원은 천명 이상의 동의를 받아야 답변을 받을 수 있어서 청원 기간이 끝나고 답변을 받지 못한 채 종료되었다.

[그림 4-16. 교육청에 올린 제안하는 글]

교사는 마지막 시간에 해당 글을 인쇄하여 A 학급에서 의견을 받는 시간을 가졌고 ‘식물을 놓고 환기를 시키면 더 좋지 않을까요?’, ‘환풍기가 (성능이) 좋아지면 환기할 때 보다 이산화탄소가 낮아질까?’와 같은 답변이 달렸다.

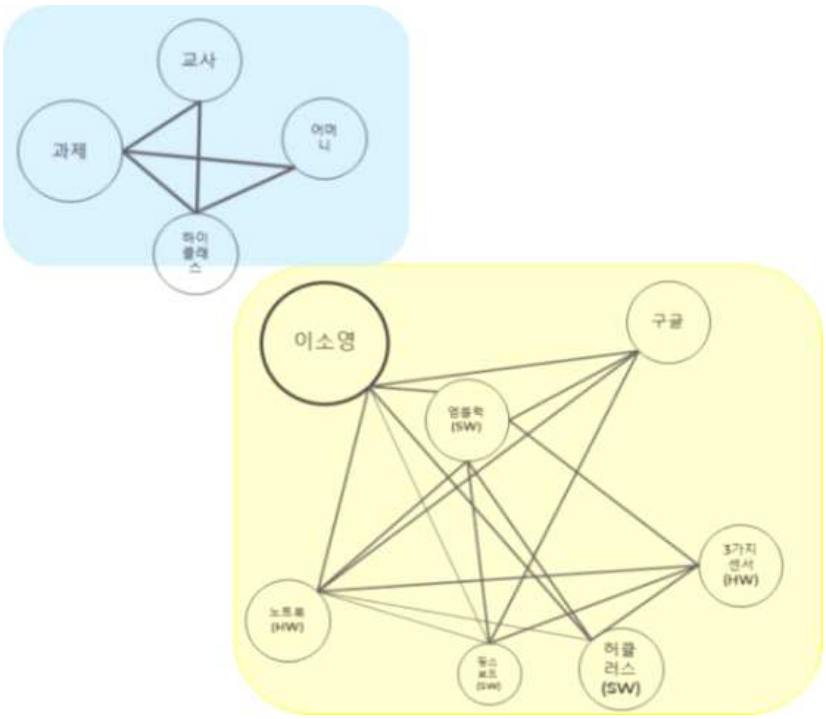
최종 결과물인 제안하는 글에는 STEP 2에서 했던 탐구 내용과 기입물이 잘 반영되어 기록되어 있었다. 또한, 제안하는 글인 불변의 가동물은 다른 행위자에게 어떠한 변화를 일으켰는지는 알 수 없었지만, 학교 밖 사회로 나갔다. 그러나, 5 모둠 학생들은 24명의 청원 동의와 학급 친구들에게 받은 답변에 긍정적인 감정의 변화를 보이지 않았다. 승준이와 예지, 정혁이는 ‘별생각이 안 났어요.’, ‘청원 동의 활동을 봐도 그게 어떤 의미인지 몰라서 그냥 그러려니 했어요.’라고 응답하였으며, 효진이는 ‘이제 끝난건가? 라는 생각을 했어요.’라고 답변하였고, 지영이는 ‘동의합니다(청원 동의)는 건성으로 답변한 것 같아 무시하는 것 같았다.’라고 응답하였다. 5 모둠의 제안하는 글은 지영이와 효진이만 연결되어 있으며, 결과물의 반응인 청원에 대한 동의와 학급 내 댓글에 모둠원 모두가 제대로 연결되지 못하는 모습을 보였다. 5 모둠의 불변의 가동물은 4 모둠의 불변의 가동물에 비해서 기입물을 잘 포함하고, 탐구 과정도 잘 드러나며 실제로 사회에 나가면서 일부 학교 밖 행위자들과 연결되는 모습을 보였지만 결과적으로 학생들의 정의적 영역에 긍정적인 영향을 미치지 못하는 모습을 보였다. 이는 4 모둠처럼 학생들은 불변의 가동물에 대한 단편적인 평가보다는, 소모둠 활동 전체 과정의 네트워크 형성과 구성과정에 집중하여 활동에 관해 평가하는 모습을 보이는 것과 유사하다.

제 3 절 소영을 둘러싼 네트워크 사례

1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 성공과정

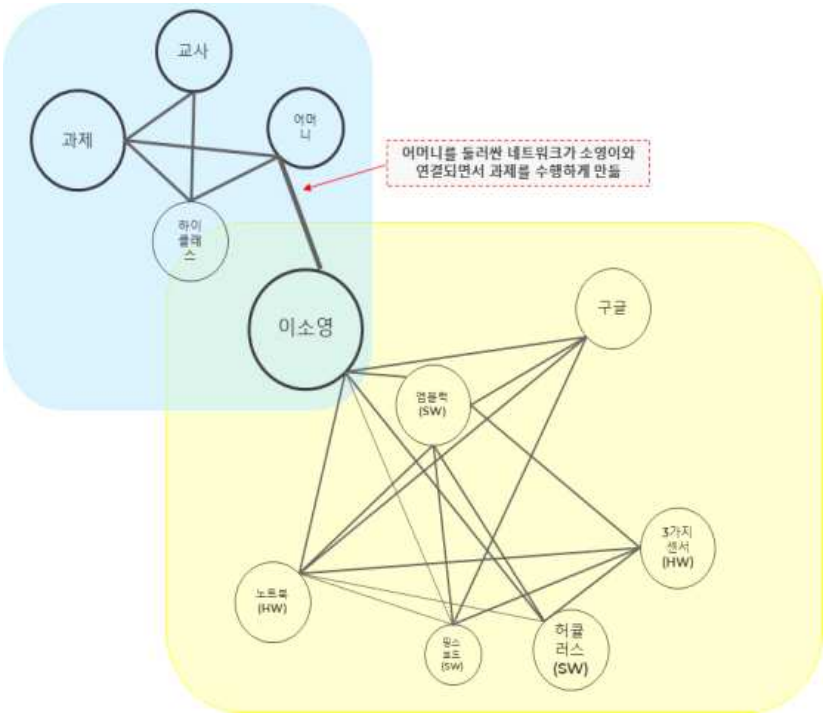
[그림 4-17]은 소영이가 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 STEP 1에서 학습 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다. 소영이는 STEP 1 수업에 참여하면서 노란색 영역 안의 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간 행위자와 네트워크를 안정적으로 구축하였는데, 그 과정에서 **다양한 행위자를 자신의 네트워크로 포섭하여** 이들과 네트워크를 안정적으로 구축했다는 특징이 있었다. **특히, 과제를 해결하는 과정에서** 다양한 행위자를 포섭하는 모습이 두드러졌으며 과제를 해결한 이후 디지털 테크놀로지 행위자들과 더욱 안정적으로 네트워크를 구성하며 본 수업에서 자신감 있는 모습을 보였다.

실선(▬▬): 연결됨 파선(– – –): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨 주황색 원: 문제 해결을 위해 관계 맺는 대상 바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크



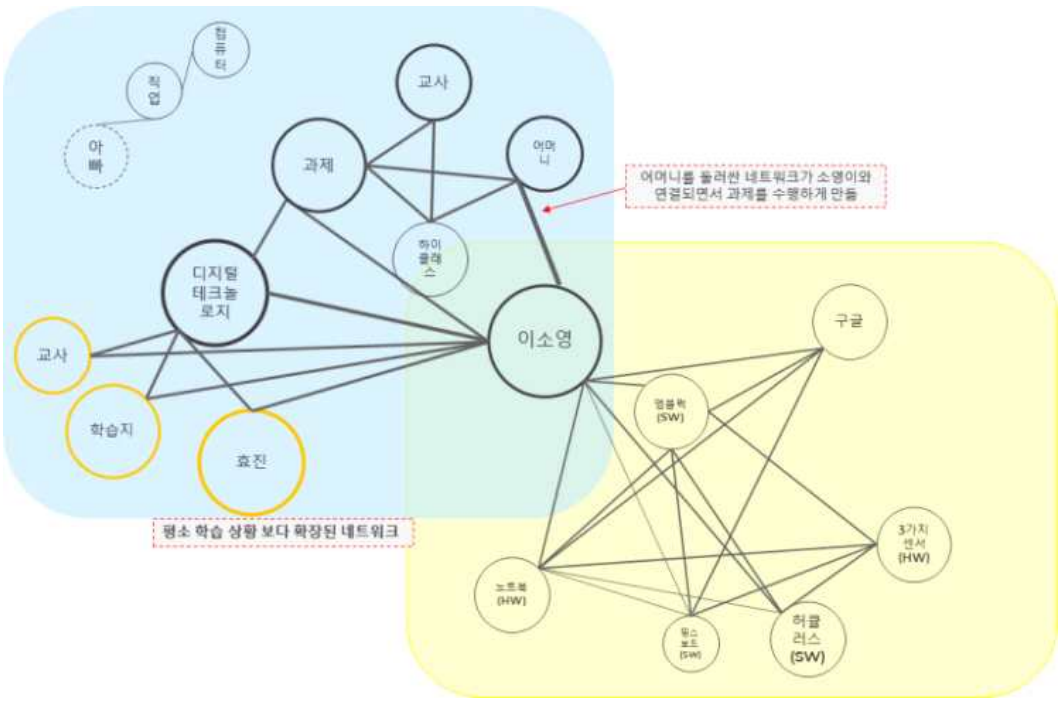
a. 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 연결된 소영

↓

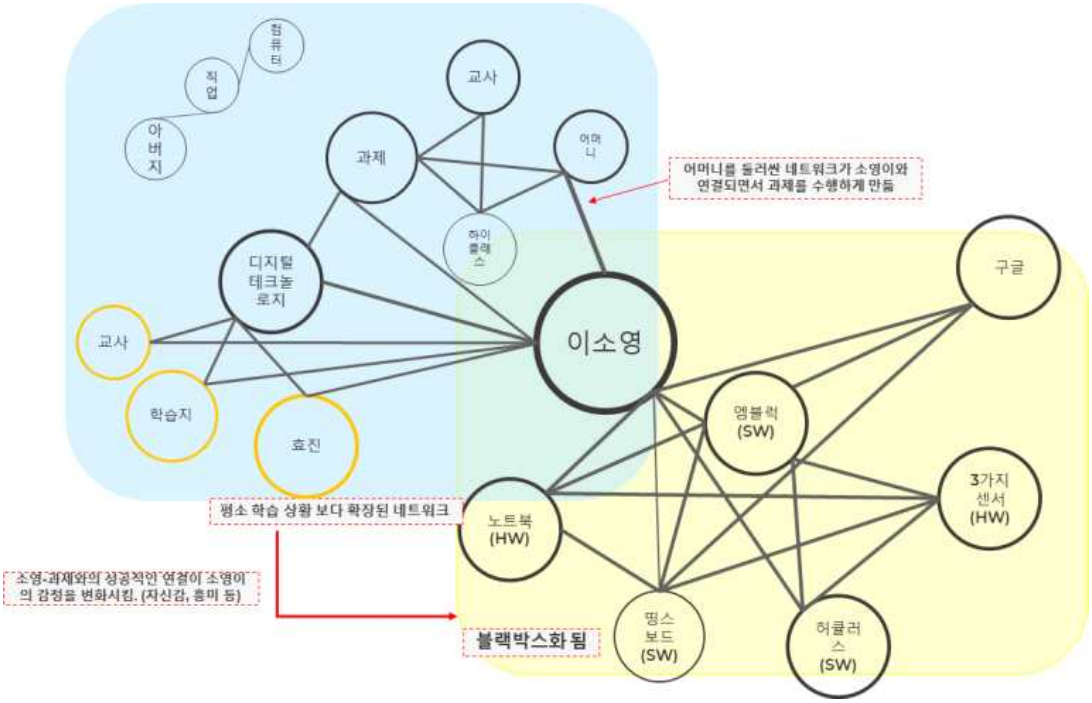


b. 어머니를 둘러싼 네트워크가 소영이와 연결되며 과제를 수행함

↓



c. 과제 해결 과정에서 다양한 인간-비인간 행위자를 포섭하여 문제를 해결함



d. 디지털 테크놀로지와 성공적인 연결 경험이 소영이와 디지털 테크놀로지와의 관계를 더욱 안정적으로 구축하도록 도움 및 블랙박스화 성공

[그림 4-17. '소영-디지털 테크놀로지' 블랙박스 형성 성공과정]

소영이는 과제를 자발적으로 한 것이 아니라, 어머니가 과제를 먼저 확인한 후 소영이에게 과제를 시키며 시작되었다. 어머니라는 인간 행위자는 소영이가 의도적으로 포섭한 행위자는 아니지만, 어머니의 행위성으로 인해 소영이가 영향을 받고 움직이게 되었다. 소영이 어머니는 평소 자녀의 학업에 관심이 있는 편이었으며, 교사와의 소통 창구인 하이클래스(hiclass)라는 온라인 수업 알림장 플랫폼을 통해서 그날의 과제 등을 잘 확인하는 편이었다. 교사가 제공한 본 수업과 관련된 과제는 어머니-하이클래스-과제-교사의 네트워크로부터 시작하여 소영이로 이어졌다(파란색 영역).

소영: 맨날 제가 숙제를 많이 안 해서 (엄마가 하이클래스를 잘) 확인해요. **원래 집에서 아두이노 안 하려다가 엄마한테 잡혀서 했어요.**

(2차 심층 면담 중)

소영이와 어머니의 단단하게 구축된 네트워크는 평소에도 안정적이었으며 소영-어머니를 둘러싼 네트워크로부터 소영이는 과제와 연결되었다. 이는 추후 소영-디지털 테크놀로지 네트워크에 긍정적인 영향을 미쳤다. 한편, 과제를 해결하는 과정에서 소영이는 평소에 쓰지 않았던 전략을 사용하며 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 안정된 네트워크를 구축하려고 노력하는 모습을 보였다. 소영이는 평소 문제를 해결하기 위해 어머니와 인터넷 검색을 통해서 해결했다고 응답하였는데 이와 달리, 과제를 수행하는 동안에는 '교사, 친구, 학습지'를 포섭하여 문제를 해결하였다. 즉, 소영이는 문제 해결을 위해서 다양한 행위자들을 자신의 네트워크로 포섭하면서 네트워크를 확장했다(파란색 영역).

소영: 배운 대로 **학습지 보고** 계속했어요.
연구자: 대단한데? 혹시 검색 같은 것도 해봤어요?
소영: 검색은 귀찮아서 안 했어요. 그리고 **효진이한테 모르는 건 잘 물어봤던 것** 같아요.

(2차 심층 면담 중)

소영: **선생님하고** 톡(메신저 연락) 해서 몇 번에 꽂아야 하는지 몰라서 물어봤었어요… **평소에 선생님한테 질문을 안 하는데,** 잘못 꽂았다가 뭔가 고장이 날 것 같아가지고 급해서 질문하게 만들었어요. (웃음)

(2차 심층 면담 중)

평소에 교사에게 질문하지 않는 모습은 앞서 지아 사례와 비슷하다. 또한, 학습지를 사용하여 문제를 해결하는 모습은 효진이의 사례와 비슷하다. 이는 학생마다 때로는 비슷하기도 하지만 때로는 다른 전략을 사용하여 문제를 해결하면서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과의 네트워크를 안정화하려고 노력한 것을 알 수 있다.

한편, 소영이는 컴퓨터를 매우 잘 다루는 편이라고 응답을 하였는데, 이는 소영이의 가정환경과도 연결이 되어있었다. 소영이 아버지는 컴퓨터와 관련된 사업을 하고 있어 소영이는 1학년 때부터 아버지에게 컴퓨터를 시간 될 때마다 배운다고 하였다. 그러나 과제를 하는 과정에서는 평소처럼 아버지에

게 도움받을 수 없었다.

연구원: 아버지한테는 도움 안 받았어?
소영: 근데 아빠는 코딩 쪽을 몰라서 **학습지를 보고 계속했어요.**

(2차 심층 면담 중)

아버지를 통해서 컴퓨터 잘 다루게 되었던 소영이는, 본 수업에서 사용되고 있는 디지털 테크놀로지와는 연결되지 못한 아버지에게는 도움받을 수 없었다(파란색 영역). 오히려 소영이는 친구, 교사, 학습지와 더 가까운 관계를 맺으며 문제를 해결하였다. 평소에는 컴퓨터와 관련된 문제를 해결하기 위해서는 아버지와 연결되면서 해결할 수 있었던 반면, 과제를 해결하는 상황에서는 아버지가 디지털 테크놀로지와 관계를 맺지 못한 아버지라는 존재로 변화하여 소영-아버지 관계는 끊겨버렸다. **즉, 새로운 교육 프로그램이 들어오자 소영이는 새롭게 학습 네트워크를 형성할 수밖에 없었다.**

소영이는 과제를 하는 과정에서 막히는 부분이 많이 있어서 화가 났지만, 그럼에도 불구하고 과제의 모든 단계를 끝까지 다 완수하였다. 이로써 과제를 성공한 학생 세 명 중 한 명이 되었다. 과제의 모든 단계를 잘 완수한 경험 자체가 디지털 테크놀로지 행위자들과의 연결을 더 강하게 연결해주었고, 소영이의 감정을 변화시켰다.

소영: **집에서 열심히 노력해서, 학교에서도 성공할 수 있었어요.** 그래서 좋았어요.

소영: 왜냐하면 이게 **막 맨 처음에 조작했을 때는 막 힘들고 안 되는 부분에서 막혀서 또 짜증 나고 했는데**, 이제 **계속 열심히 하니까 이제 계속할 수 있게** 되고 해서…

(2차 심층 면담)

소영이가 과제를 통해서 디지털 테크놀로지 행위자들과 관계 맺기의 성공 경험은 추후 학교에서도 디지털 테크놀로지-소영 네트워크의 성공적인 연결로 쉽게 이어졌다. 즉, [그림 4-17]의 '디지털 테크놀로지-과제-소영-어머니-…' 네트워크(파란색 영역)가 소영이가 자신감을 가질 수 있도록 변화를

일으키기 시작한 이후, ‘디지털 테크놀로지와 관련된 행위자-소영’ 과의 연결(노란색 영역)이 시간이 지날수록 점점 안정화되고 지속되면서 블랙박스를 형성하였다. 수업 첫날에는 하품하며 엎드려 있기도 했던 소영이는 STEP 1 과정에서 시간이 흐를수록 적극적으로 행동하기 시작하였다. 또한, 소영이는 학교에서의 누적된 측정 성공 경험으로 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 블랙박스화할 수 있었다.

교사: 소영이가 코딩도 막 따로 연습하고 이럴 정도로 적극성을 보였고…
(교사 심층 면담 중)

한편, 앞서 기술되었듯이 복잡한 네트워크로 구성된 띵스보드(SW)와 연결되는 것을 상대적으로 어려워했다. 그러나 ‘학교에서는 효진이 도움을 꽤 받았어요.’ 라고 이야기하며 학교에서 교사, 보조교사, 연구자, 학습지보다는 효진이의 도움을 통해 문제를 해결하는 모습을 보였다.

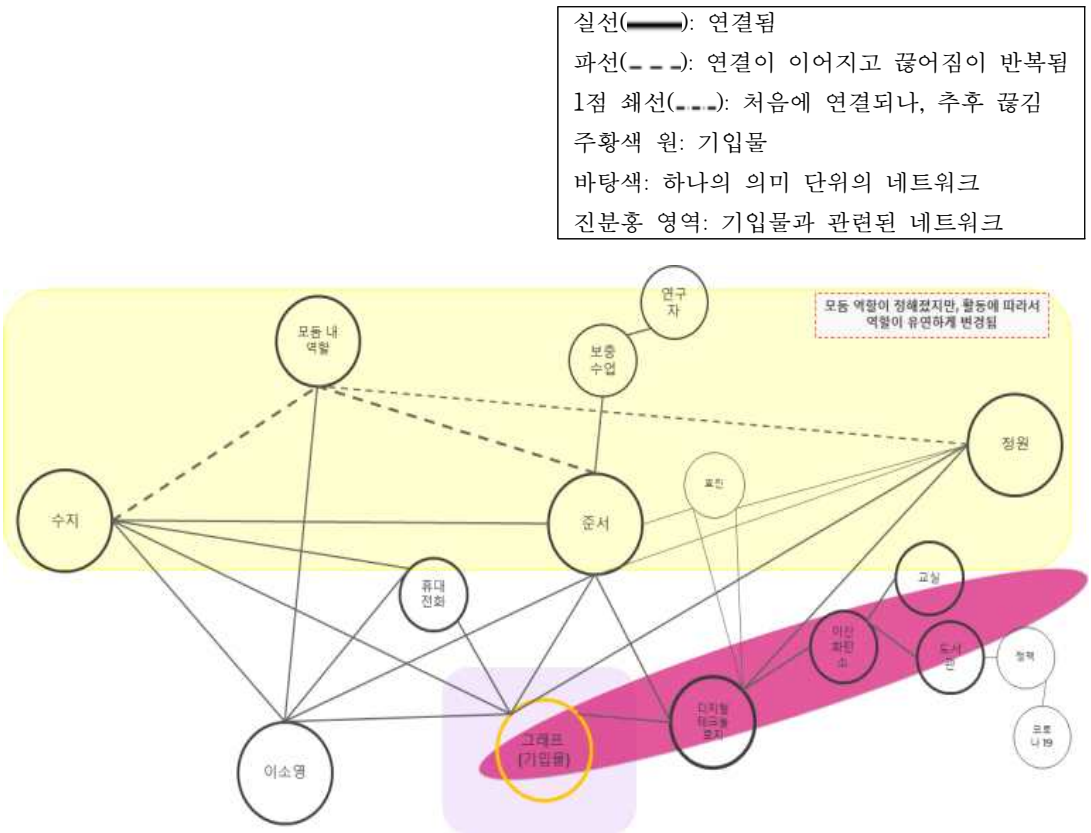
2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

소영이가 속한 3 모둠의 구성원은 수지, 준서, 정원이이며, 각 구성원의 모둠 내 역할은 [표 4-3]과 같다. 처음 정한 역할이 추후 변화한 학생은 준서 한 명이며, 나머지는 기존의 역할을 그대로 유지하였다. 교사는 각 모둠에서 최소한 한 명이 디지털 테크놀로지를 활용하여 데이터를 추출하는 것으로 OPP를 변경하면서 각 모둠에 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성한 학생을 한 명씩 배치하였다. 소영이는 교사가 선정한 학생 중 한 명이었으나 측정이 역할 대신 이끔이 역할을 맡았다. 정원이는 측정이를 자원하였으며 준서는 꾸밈이를 지원했다. 그러나 활동이 진행되면서 준서는 정원이보다 더 적극적으로 측정 활동을 하면서, 측정이 역할을 수행하였다. 수지는 기록이 역할을 맡았다.

[표 4-3. 3 모둠 학생의 모둠 내 역할]

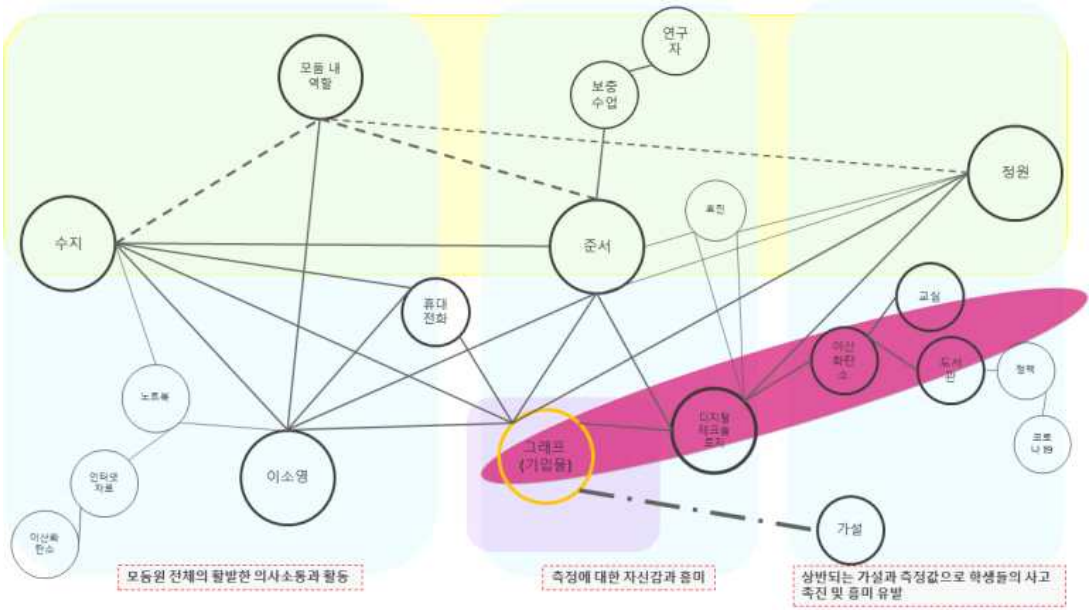
이름	이소영	오수지	이준서	이정원
첫 역할	이끔이, 꾸밈이	기록이	꾸밈이	측정이
변화 역할	이끔이	-	측정이	-
실제로 주되게 한 역할	이끔이	기록이	측정이	측정이

다음 [그림 4-18]는 기입물, 소영이, 모둠원을 중심으로 3 모둠의 STEP 2 네트워크 형성과정을 도식화한 것이다. a, b의 과정은 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 상보적이며 복합적인 과정에서 생겨났다.



a. 기입물과 모둠원 전체의 만남 및
모둠 내 역할에 제약되지 않고 함께 탐구 활동 수행

↓



b. 각 모둠원의 네트워크 형성이 모둠 전체의 네트워크를 안정화 시킴

[그림 4-18. ‘기입물, 소영, 모둠원’을 둘러싼 네트워크 형성과정]

소영이는 앞서 STEP 1에서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 안정적이고 지속해 연결되어 있었지만, STEP 2에서는 디지털 테크놀로지와 직접 연결되지 않고 네트워크를 형성했다는 특징이 있었다. 대신 측정이 준서와 정원이를 매개하여 교실과 도서관의 이산화탄소가 치환되어 생성된 그래프라는 기입물을 만났다. 수지는 디지털 테크놀로지와 연결되지 못한 학생으로 소영이처럼 그래프라는 기입물로 이산화탄소를 만났다. 준서와 정원이는 교사가 지정한 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성한 다섯 명의 학생에 포함되지 않았지만, STEP 2에서는 오히려 소영이보다 디지털 테크놀로지와 더 안정적으로 연결되어 있었다.

3 모둠은 다른 모둠에 비해서 STEP 2와 STEP 3에서 교사가 계획했던 활동을 단계별, 시기별로 잘 수행하였다. 소영이는 STEP 2, 3의 난이도가 STEP 1보다 어려웠다고 응답했는데, 어려움과 별개로 STEP 2, 3의 과정이 STEP 1보다 더 재미있고 흥미롭다고 답하였다. 또한, 수지도 STEP 1 활동보다는

STEP 2, 3의 활동이 더 재미있다고 응답하였다.

소영: 아두이노는 좀 쉬웠는데, **다른 거는 조사해야 할 것도 훨씬 더 많고 해서 (난이도가) 더 어렵다고 했어요.**

소영이는 STEP 1에서 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성하고 자신감을 비치며 적극적인 모습을 보이던 학생이었는데, 연구자의 예상과 달리 STEP 2, 3의 활동을 더욱 즐거워하고 적극적으로 참여하는 모습을 보였다.

연구자: 기대하지 않았는데 좀 잘하거나, 아니면은 기대했는데 잘 못 하거나 이런 반대의 모습들을 본 친구들이 있을까요?

교사: 소영이가 좀 잘하긴 했는데... 소영이는 근데 원래 적극적인 성격이었기 때문에 기대를 안 했다기보다는, **생각했던 것보다 더 잘했던 것 같고. 열심히. 모둠 활동도 자기가 모여서 하자고** 하고. **재미를 되게 보였던 것 같고요.** 코딩도 따로 연습하고 이럴 정도로 적극성을 보였고…

(교사 심층 면담 중)

소영이는 이 수업이 과학 수업보다 재미있다고 하였는데 '새로운 경험을 할 수 있으며', 'COVID-19로 할 수 없었던 협동 수업을 할 수 있기 때문'이라고 답변하였다. 모둠 활동은 기본적으로 모둠원들이 모두 함께 적극적으로 참여할 때 잘 진행될 수 있다. 3 모둠은 수업시간 이외에도 도서관에 모여 이산화탄소를 적극적으로 측정했다. 모둠원들은 모둠 내 역할과 상관없이 측정하는 활동에 다 같이 참여하였다. 도서관에서 함께 측정하는 과정에서 기입물(그래프)을 확인하였고, 다음 시간에 해당 수치를 모두가 기억하며 기입물이 나타내는 의미에 대해서 함께 토론하는 모습을 보였다. 기입물을 모둠원 전체가 만났으며, 기입물 대한 모둠원의 기억과 이해가 서로를 의사소통할 수 있게 하였다. 즉, 3 모둠은 모둠 역할과 상관없이 함께 측정하는 활동이 모두가 기입물을 자연스럽게 만날 수 있게 하였고, 이후 기입물에 대한 해석 과정도 같이 이루어지며 활발한 탐구 과정이 이루어졌다.

한편, 준서는 처음에 정해진 꾸밈이라는 모둠 내 역할이 아닌 측정이 역할을 성실히 수행하였는 모습을 보였다. 앞서 준서는 4 모둠 영훈이와 함께

연구자가 제공한 보충 수업을 함께 들었으며 보충 수업에서 측정에 성공하면서 큰 감정 변화(긍정적인 방향)를 보였던 학생이었다. 준서는 그림 그리는 것을 좋아해서 꾸밈이의 역할을 자원했지만, STEP 2에서 꾸미는 활동이 없자 준서는 정원이와 함께 자연스럽게 모둠 주제와 관련된 이산화탄소를 측정하는 행위를 하였다. 모둠원들도 정원이보다 준서가 STEP 2에서 아무런 도움 없이 혼자서 잘 측정했던 것으로 기억하고 있기도 했다. 이로써 추후 준서는 꾸밈이의 역할을 끊어내고 자연스럽게 측정이로 변경되었다.

준서에게 제공된 보충 수업은 STEP 1이 끝날 무렵으로 이후 바로 STEP 2가 진행되어 교사와 연구자는 단 한 번의 측정 성공 경험만으로 준서가 얼마나 안정적으로 디지털 테크놀로지와 관계를 맺을 수 있는지 알 수 없었다. 그러나 준서는 정원이를 대신하여 측정이 역할을 도맡아서 하였다. 준서는 수업 중 STEP 2 과정이 제일 재미있었다고 응답하였다. STEP 2 에서 해야 할 일은 많았지만 만지고, 직접 측정하고, 코딩하는 것이 제일 재미있다고 하였다. 또한, 예전에는 STEP 1이 어려웠지만, 지금은 쉽다고 이야기할 정도로 측정에 있어 자신감을 보이기도 하였다. 즉, 준서-보충 수업-디지털 테크놀로지와의 성공적인 연결은 준서를 모둠 내 역할과 상관없이 측정하는 활동에 참여하도록 촉발하였고, 이는 준서의 모둠 내 역할의 변경으로 이어졌다. 소영이가 측정을 준서가 거의 다 했다고 이야기할 정도로 준서는 성실히 STEP 2 활동에 참여하였다.

한편, 학생들은 교실보다 도서관의 이산화탄소가 높을 것으로 가설을 세웠다. 수업이 이루어지던 해는 COVID-19로 인한 관련 교육 정책이 시행되던 때로, 도서관에는 학생들의 거의 머무르지 않는 공간이었다. 이에 가설과 이산화탄소 그래프가 예상했던 것과 다른 결괏값을 보일 수밖에 없었다. 모둠원에서 세운 가설과 기입물의 결과가 상반된 것은 아래와 같이 학생들의 사고를 촉진하고 흥미를 유발하여 활동에 적극적으로 참여하게 했다. 가설과 결괏값이 상반된 것을 본 정원이는 ‘측정 결과가 너무 달라서 신기했어요.’라고 응답하였다. 정원이는 자신이 도서관에 직접 가서 다시 측정하며 가설과 그래프값이 정말로 차이가 있는지 재확인하였다. 그러나 여전히 결괏값은 가설과 반대였다.

연구자: 생각했던 가설이랑 똑같았어, 달랐어?
다 같이: 달랐어요!!
연구자: 그럼 달라졌다. 왜 달랐을까?

(15~16차시 수업 중)

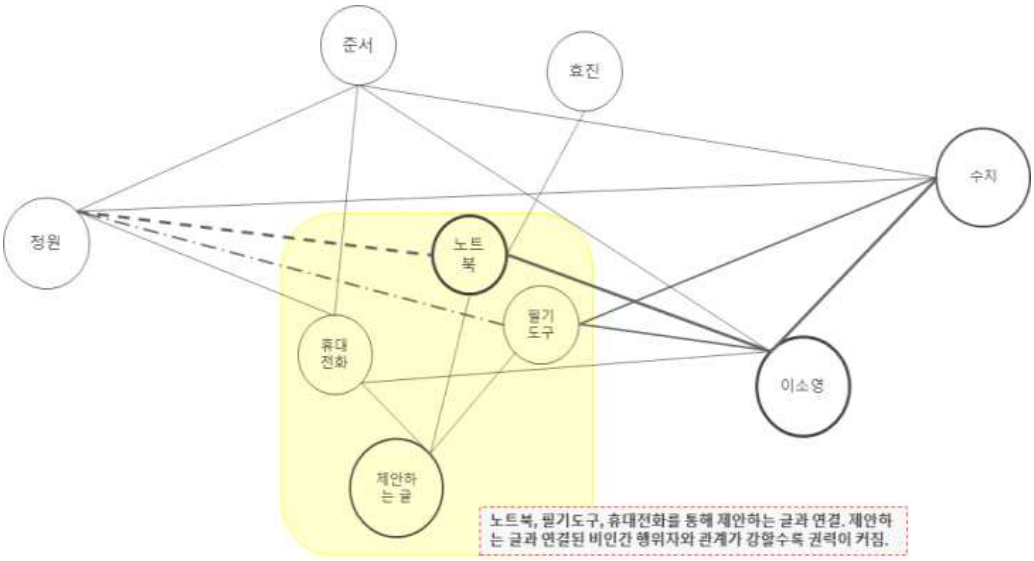
3 모둠에서는 모둠원 전체가 기입물과 만나면서 다 같이 모둠 내 역할과 상관없이 탐구 활동을 하는 모습이 나타나기도 했지만, 모둠 활동을 들여다보면 준서-보충 수업-디지털 테크놀로지-…네트워크가 안정적이어서 준서가 모둠 역할을 끊고 측정을 적극적으로 한 것, 정원-가설-측정값-디지털 테크놀로지… 네트워크가 정원이를 다시 측정하도록 움직인 것 등 모둠원들의 적극적인 활동 참여로 STEP 2 모둠 네트워크는 안정화되어갔다. 또한, 수지는 연구 계획서와 사회적 행동 계획서 등을 기록하는 역할이었으나 단순히 모둠원들이 이야기하는 것을 받아 적는 글씨체가 예쁜 기록이로서의 역할이 아니라, 자기 생각을 모둠원들과 이야기하고 공유하면서 계획서를 작성하였다. 이처럼 모둠원 각각의 네트워크와 전체의 네트워크가 서로에게 영향을 미치며 전체적인 네트워크는 안정되어갔다.

3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

[그림 4-19]은 제안하는 글, 소영, 모둠원, 모둠 내 역할, 노트북, 필기도구 등을 둘러싼 행위자들이 STEP 3에서 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다.

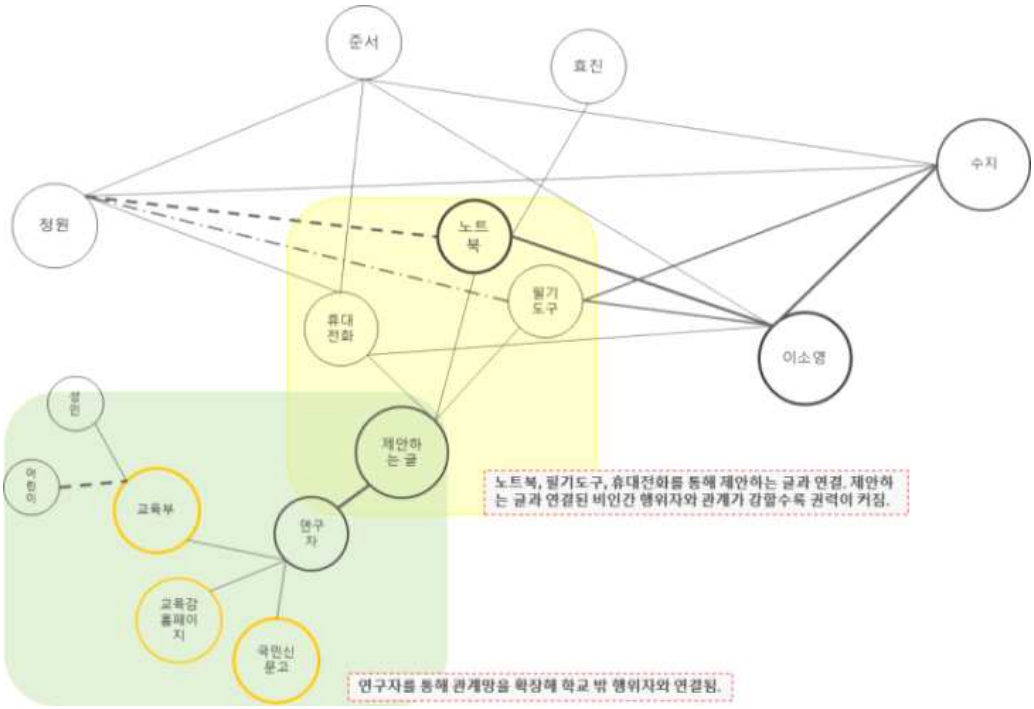
3 모둠은 15~16차시부터 STEP 3을 시작하였는데 해당 차시에서 수지가 결석해 총 3명의 학생이 활동하였다. 제안하는 글을 작성하기 위해 모둠원들은 모둠 내 역할에 상관없이 휴대전화와 노트북을 사용해 관련 자료를 검색하고 글을 썼다. 이끔이 소영이는 주도적으로 자료를 찾아보면서 계획서를 작성하는 편이었고, 준서는 이끔이 소영이를 도와 자신의 휴대전화를 꺼내 자료를 검색하였다. 정원이는 준서가 놀고 있을 때 준서의 휴대전화를 사용해 검색을 시도하거나, 소영이 대신 연필을 잡고 계획서를 쓰는 모습을 보였다. 이후 모둠원들은 각자의 휴대전화와 노트북을 꺼내서 검색하는 등 모두가 함께 활동에 참여하였다.

실선(▬▬): 연결됨
파선(– – –): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨
1점 쇄선(–·–·–): 처음에 연결되나, 추후 끊김
주황색 원: 학교 밖 행위자
바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크



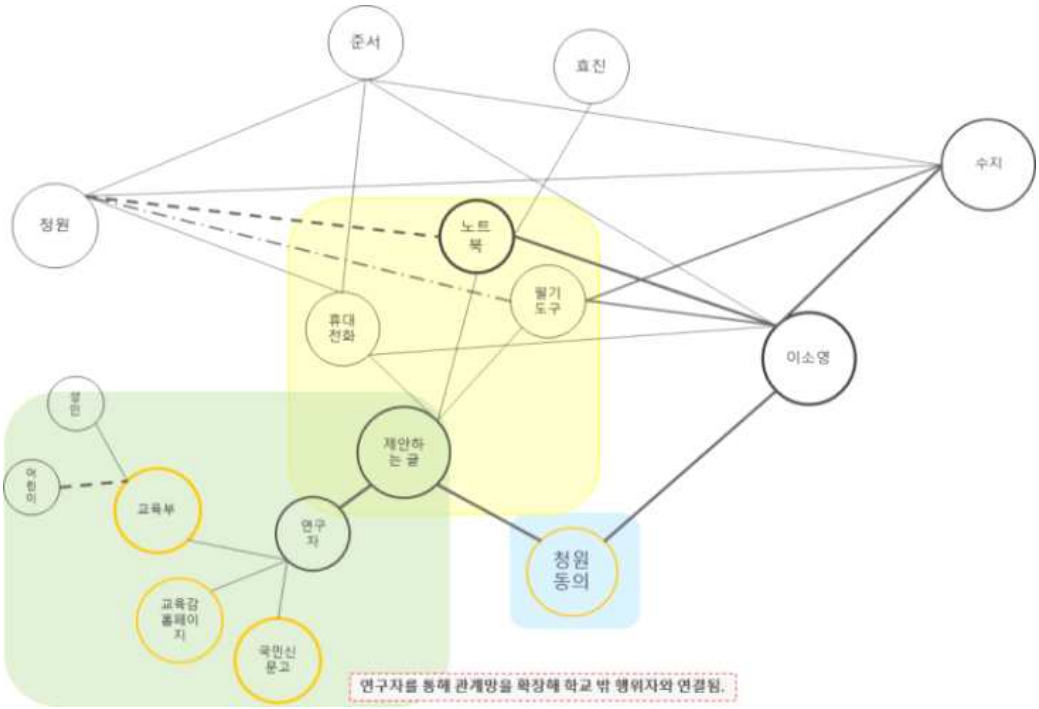
a. 비인간과의 연결이 약해진 정원. 비인간과 연결된 행위자가 모둠 내 권력을 가짐

↓



b. 연구자를 통해서 기입물이 학교 밖 행위자와 연결

↓



c. 청원 동의글의 답변과 학생들의 연결

[그림 4-19. '제안하는 글, 소영, 모둠원, 기록 활동과 관련된 비인간'을 둘러싼 네트워크 형성과정]

그러나 결석했던 수지가 17~18차시에서 등교하면서 모둠원과 비인간의 관계는 달라졌다. 글씨를 잘 쓰는 기록이 수지가 등장하면서 소영이는 수지가 글을 쓰도록 정원이가 잡고 있던 샤프를 빼앗아 수지에게 넘겨주었다([그림 4-20]). 15~16차시에서 볼 수 있듯이 정원이와 준서는 측정이라는 자신의 역할 이외의 활동에도 적극적으로 참여하려는 편이었다. 그러나 기록이의 등장에 정원이가 작성한 잘 알아보기 힘든 글씨체로 쓰인 글이 지우개로 지워졌고, 정원이는 샤프와 연결이 끊어졌다. 정원이와 준서는 지난 시간과 달리 기록 활동에 사용되는 비인간들과의 연결이 연결되었다 끊어졌다. 준서와 정원이는 작성되고 있는 글을 지켜보면서 이야기를 나누기도 했지만, 종종 집중력을 잃고 놀기도 하였다.

[그림 4-20. 계획서에 글을 쓰려는 정원이를 제지하며 샤프를 가져가는 소영]

소영이는 노트북을 가지고 와서 수지가 쓰고 있는 글을 옮겨서 작성하기 시작하였다. 정원이는 소영이와 수지가 이야기를 나누는 사이, 노트북을 가져가 대신 글을 쓰려고 시도하였다. 이를 제지하던 소영이는 결국, 정원이에게 노트북을 넘겨주었고, 이후 정원이는 활동에 적극적으로 참여하기 시작하였다([그림 4-21]). 정원이는 노트북에 글을 정리하면서, 수지와도 활발히 이야기를 나누기 시작하였다.

[그림 4-21. 노트북을 만난 이후, 보다 적극적으로 참여하기 시작한 정원]

그러나 어느 순간 노트북은 다시 소영이에게로 넘어갔고, 정원이는 이를 지켜보다가 결국, 모둠 활동에 흥미를 잃어버렸다([그림 4-22]).

한편, **준서**는 정원이가 노트북을 가지게 되었을 때 '내가 쓰고 싶은데. 아,

나 뭐 하라고.’ 라고 하며 불만을 표현하였다. 준서는 노트북 겉을 만지다가 옆에서 노래를 부르기 시작했다. 연구자는 모둠 주변을 배회하는 준서에게 같이 활동에 참여할 것을 권유했는데, 준서는 끼워주지 않는다고 이야기하였다. 모둠 내의 비인간들은 학생과 학생의 의사소통을 비대칭 형태로 이어주고 있었는데, 어떤 학생이 노트북, 휴대전화, 종이, 연필, 계획서를 만나는지에 따라서 그 비대칭의 형태가 드러났다. 모둠의 질서에 기여 하는 비인간은 학생들의 무의식과 행동에 영향을 미치고 있었다.

[그림 4-22. 노트북, 샤프, 종이 등과 연결이 끊기며 흥미를 잃은 정원]

이끔이 소영이는 모둠 활동과 관련된 비인간인 ‘노트북, 샤프, 계획서 등’과 안정적으로 연결되어 있었으며, 이끔이로서 다른 친구들이 비인간과 관계를 맺는 것을 때때로 통제하였다. 소영이의 이러한 권력은 이끔이라는 모둠 내 역할로부터 부여된 것으로 판단한다. 비인간을 만나지 못했던 혹은 만났다가 다시 관계가 끊긴 정원이와 준서는 STEP 3 활동에 참여하고 싶은 모습을 보였지만 결국, 의지와 상관없이 제대로 활동에 참여하지 못하게 되는 모습을 보였다.

인간과 비인간으로 이루어진 네트워크가 교수·학습을 구성하고, 교육이 가능하도록 해준다. 교사는 강단 앞에서, 학생은 교사를 바라보는 계단식 배열의 책상에 앉아 종이와 필기구를 가지고 프로젝터를 응시한다. 교실의 배치 형태와 프로젝트와 같은 교실 안의 물체들은 교사-학생의 의사소통을 비대칭적인 형태로 이어주고 있다. 학생은 교사가 이야기하는 것을 거의 듣

기만 하는 비대칭적 관계가 된다(홍성욱, 2010). 마찬가지로 이끔이, 기록이와 같은 모둠 내 역할이 학생의 행위성을 제약하는 등 영향을 미치기도 하기도 하지만, 노트북, 연필, 계획서와 같은 비인간이 학생들의 행위성에 영향을 미치며 전체적인 네트워크 형성과정에 영향을 미치고 있었다.

학생들이 비인간과 맺는 관계에 따라 STEP 3 활동에 대한 집중력에서 차이가 생겼으며 네트워크를 배반하기도, 네트워크와 연결이 약해지기도 하였다. 비인간과 관계를 안정적으로 맺고 있는 수지와 소영이는 STEP 3의 활동에 적극적으로 참여하였으며, STEP 3의 활동이 가장 재미있었었다고 답하기도 하였다. 한편, 5 모둠 효진이는 가끔 노트북에 적힌 3 모둠 글을 수정·보완해주는 등 준서와 정원이보다 때론 더 자주 노트북과 관계를 맺기도 하였다.

한편, 3 모둠에서 작성한 제안하는 글을 어디에 게시할지 논의가 이루어졌다. 교사가 SNS, 유튜브, 교내, 회사, 정부, 교장 선생님, 교육청 등을 대상으로 사회적 행동을 할 수 있음을 안내했음에도 불구하고, 학생들은 학교 밖 행위자들과 만나는 것을 꺼리거나 확신하지 못하였다.

정원: 근데 교육청에서, **교장 쌤이 (환풍기 설치) 안 해줄 게 뻔하잖아.**

(19~20차시 수업 중)

수지: **편지를 어따 올릴 건데?**
소영: 어디다가 올리겠지. 교육청에다가 올리고 그런거지.
수지: **진짜로 올리는 거야? 이힉!**
소영: 응

(19~20차시 수업 중)

소영: (처음에 사회적 행동 계획을 세울 때는) **사람들이 동의를 해줄까? 라는 생각을 했어요**

(3차 심층 면담 중)

정원이는 어른들은 학생의 말은 안 들어줄 거라 불신하고 있었으며 그러한 인식은 학생 행위에도 영향을 미쳤다. 어린이 스스로가 자신은 사회적 행동을 할 수 없는 존재로 위치를 짓는 사례를 다른 선행연구에서도 볼 수 있었다

(임성은 외, 2021). 정원이 역시 본 사회적 행동의 실현 불가능성을 이야기하며 학교 밖 행위자와 만나는 것이 무가치할 수 있다고 이야기하였다. 또한, 수지는 소영이에게 교육청에 올릴 계획을 듣고 놀란 반응을 보였다. 소영이도 교육청에 올릴 수 있다고 답변하였지만, 모둠의 사회적 행동이 과연 다른 행위자들의 변화를 일으킬 수 있는지, 즉, 제안하는 글이라는 기입물이자 불변하는 가동물이 학교 밖 거시세계로 다시 나가 사회를 변화시킬 수 있는지 확신하지 못하였다. 교사에게 학교 밖 행위자를 소개받는 것과 학생들이 직접 학교 밖 행위자를 만나고 관계망을 형성하는 것은 질적으로 다른 것이었다.

또한, 학생들은 어떤 학교 밖 행위자를 만날지 생각했지만, 정작 어떻게 학교 밖 행위자를 만날 수 있는지 그 방법을 구체적으로 인식하지 못하였다. 학교 밖 행위자와 만나는 과정이 성인에게는 별다른 제약이 보이지 않는 블랙박스화된 과정이라면, 어린이에게는 블랙박스가 깨진 채로 나타났다. 3 모둠은 교육부, 국민신문고, 교육감 홈페이지에 제안하는 글을 올렸다. 홈페이지에 글을 쓰려면 교육감 홈페이지를 제외하고는 본인인증 과정이 필요하였으며, 본인인증 과정은 14세 미만 어린이가 아닌 성인을 대상으로 하고 있었다. 시민의 의견을 개진하는 홈페이지이나, 어린이들이 쉽게 접근해서 의견을 낼 수가 없는 구조였다. 이는 ‘현존하는 시민(being citizen)’이 아닌 ‘되어가는 시민(becoming citizen)’으로 학생들을 바라보는 관점(남미자, & 장아름, 2020)이 홈페이지 구조에 내재해 있으며 학생들의 경험을 제약하고 있었다.

> 소영: 교육부에 올리려고 했는데 올리려면 **뭘 또 엄청 여러 개를 해야 해서.** 그 **로그인 같은 것도 해야 하고 성인 인증도 해야 하니까** 저희는 그게 안 되는 걸 알고 있어요. 어떻게 사기를 쳐서 들어가려고 해도 안 됐어요. (웃음)
> (3차 심층 면담)

블랙박스가 깨지면서, 학교 밖 사회 속에 위치한 학생을 둘러싼 네트워크가 드러났다. 3 모둠은 결국 학교 내 복도에만 제안하는 글을 붙이는 것으로 결정하였는데, 연구자는 학교 밖 행위자들과 만날 수 있도록 직접 그 방법을

안내하며 기입물이 학교 밖 행위자와 만나 관계를 형성할 수 있도록 도왔다.

연구자: 이거를 너희가 올려봐요.
소영, 수지: 진짜요? **(클릭) 오오오아!**
소영: (강 교사에게 가서) 선생님 저희 (글을) 올렸어요! (연구자) 선**생님이 글 쓴 거 아깝다고 글 올려줬어요. 어 충격적!**

연구자: 더 올려보자.
수지, 소영: 진짜 이제 계속 막 올리는 거예요?
연구자: 응. 청원해보자.
수지, 소영: **청원이요? 선생님, 충격적인데요. 선생님!**

연구자: 정원이랑 준서가 눌러봐요. 전송 눌러요. 이제 너희들이 진짜 교육부에 편지를 올리는 거야. 됐다. 신청된 거야. 매일 들어가서 봐봐.
3모둠 전체: 와~! 됐다!!

(19~20차시 수업 중)

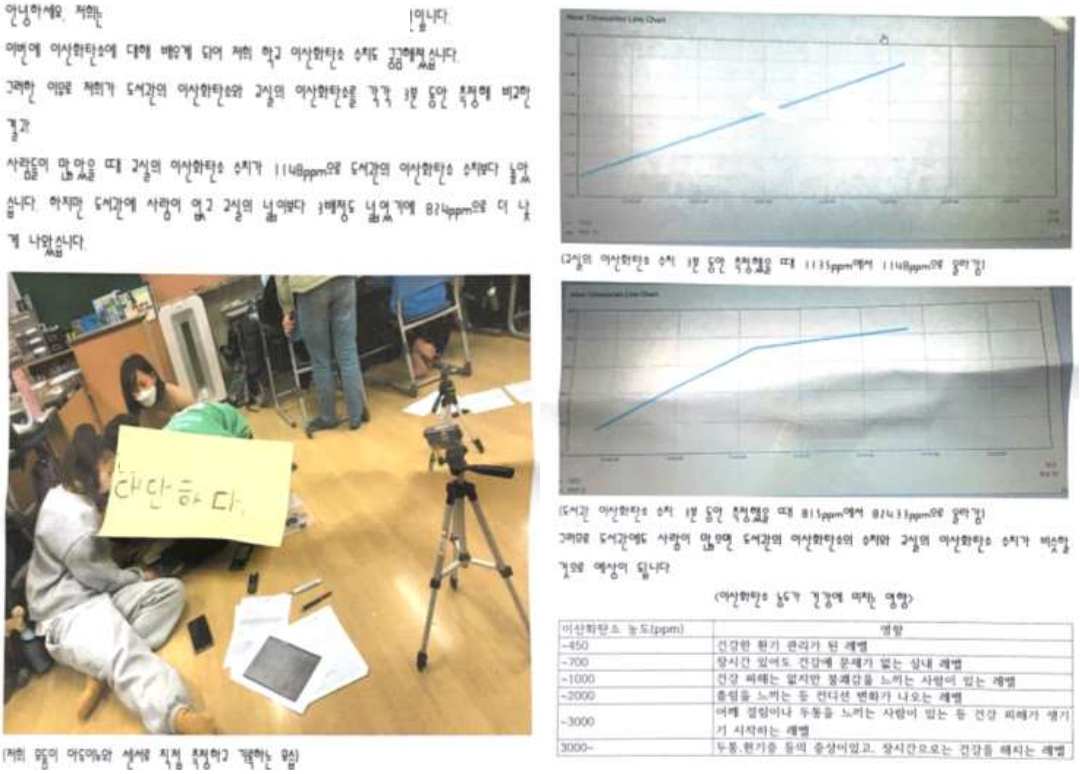
3 모둠 학생들은 연구자를 매개하여 학교 밖 행위자들과 만남으로써 긍정적인 감정 변화가 생겨났다. 관계망이 확장되고 난 이후 학생들은 충격적이거나, 놀라움, 기쁨의 감정을 표현했다. 소영이는 이후 추가로 다른 곳에도 더 글을 올리자고 적극적으로 반응하였다. 한 번의 경험이 다른 네트워크의 확장으로 이어질 가능성이 생긴 것이다.

소영: 선생님 그거 하면 안 돼요? 그거 막 투표 같은 거 있잖아요. 그거 해 가지고는, 부모님들 투표해서 하는 거. 분명히 엄마가 강아지 관련해서 투표하는 걸 봤어요. 청와대에서.

(19~20차시 수업 중)

불변의 가동물이자 기입물인 제안하는 글이 학교 밖 행위자들과 관계를 형성한 이후 3 모둠은 26명의 청원 동의 답변을 받았고, 학급 학생들에게는 ‘진짜 잘했다.’, ‘나도 이산화탄소를 줄이는 데 도움이 되는 저감 장치를 설치하면 좋겠다고 생각해.’, ‘대단하다.’라는 답변을 받았다([그림

4-23]). 이는 더욱 학생들에게 긍정적인 감정 변화를 가져왔다. 소영이는 '저희가 이거를 이제 열심히 조사한 게 인정받는 느낌이라 올리는 것이 되게 뿌듯했어요.' 라고 답변하며, 친구들의 답변 혹은 청원 동의 댓글을 보며 긍정적인 감정 변화가 생겨났음을 이야기하였다.



[그림 4-23. 학교에 부착한 제안하는 글]

추후, 3차 심층 면담에서 소영이는 ‘새로운 경험과 코로나 때문에 못 한 협동 수업을 해서 좋다.’ 고 답변하기도 하였으며, 디지털 테크놀로지와 블랙박스를 형성한 다섯 명 중 한 명이었음에도 ‘아두이노는 정답이 있는 활동이지만, STEP 2, 3은 계속 찾고, 학교에 붙이고 다른 곳에 올리고 하는 활동이 더 재미있다’ 라고 답변하며 STEP 2, 3 과정이 더 흥미로웠다고 답변하였다. 또한, STEP 2와 STEP 3을 통해서 자기의 일상적인 삶과 이산화탄소가 이어졌고, 관련된 문제를 개선하고 싶어 하는 소영이는 교과서 활동보다 같이 조사하고 활동하는 STEP 2, 3이 더 흥미롭다고 답하였다.

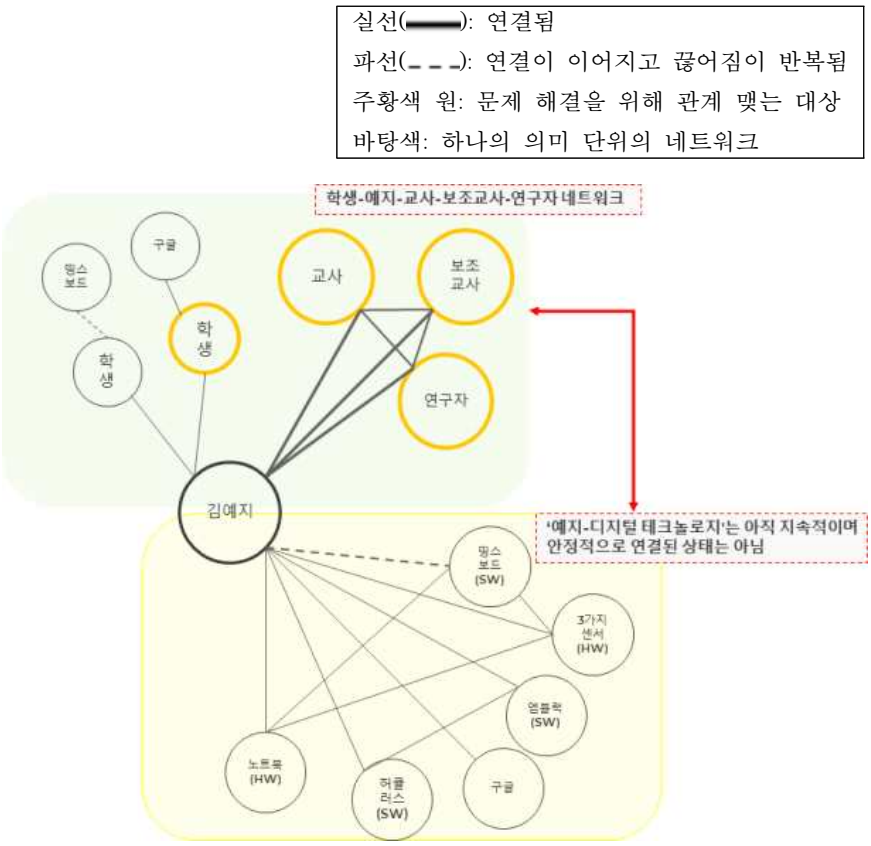
연구자: 그럼에도 불구하고 사회적 행동하는 게 제일 흥미가 높았네?
소영: **아두이노는** 똑같은, 이미 정답이 있는 거를 **저희가 계속 조사해서 그냥 하는 거지만,** 다른 거는 저희가 **직접 계속해서 이제 찾고,** 그다음에 그거를 **이제 만들어서 어떻게 학교에 붙이고 하는 게 훨씬 더 재밌었던 것 같아요.**
(3차 심층 면담 중)

3 모둠의 최종 기입물이자 불변의 가동물에는 그래프 기입물과, 탐구 과정이 잘 드러나 있었다. 그러나 불변의 가동물이 사회에 미치는 영향 혹은 불변의 가동물이 사회에서 또 다른 네트워크를 만드는 과정에 집중하기보다는 학생들은 전체적인 활동 과정 자체에서 흥미를 느끼고 있었다.

제 4 절 예지를 둘러싼 사례

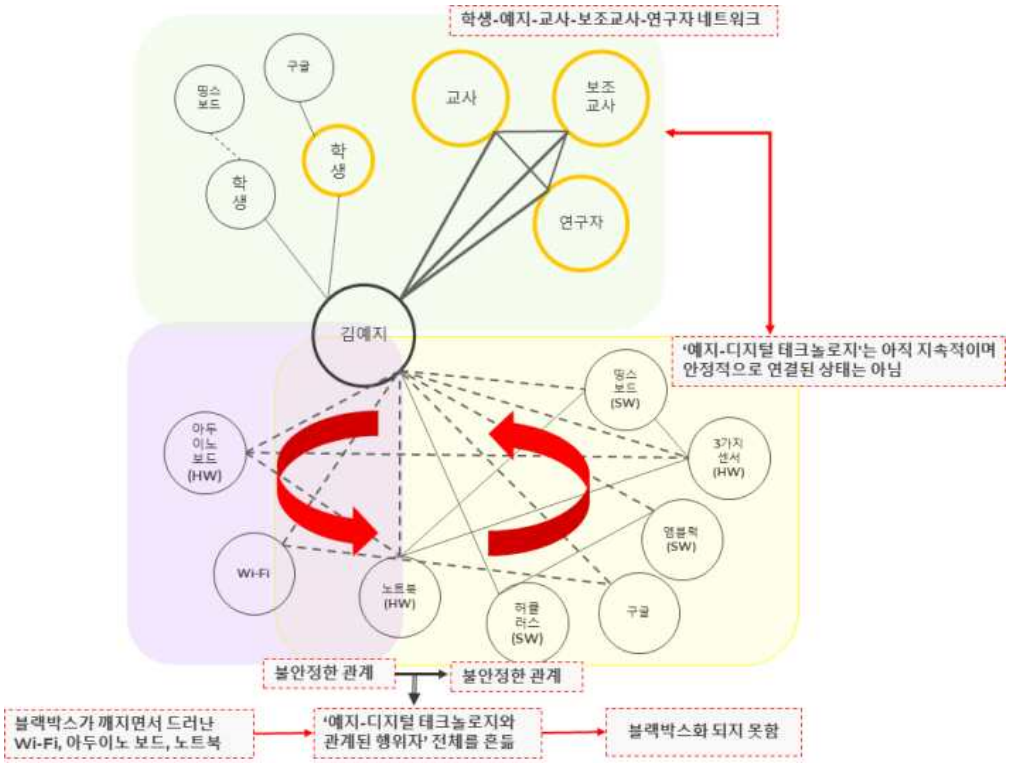
1. 디지털 테크놀로지와 블랙박스 형성 실패과정

[그림 4-24]는 디지털 테크놀로지 비인간 행위자와 예지가 STEP 1에서 학습 네트워크를 형성하는 과정을 도식화한 것이다. a, b, c의 네트워크 형성과정은 항상 순서대로 나타난 것은 아니며 서로 상보적이며 복합적으로 작용하여 일어났다.



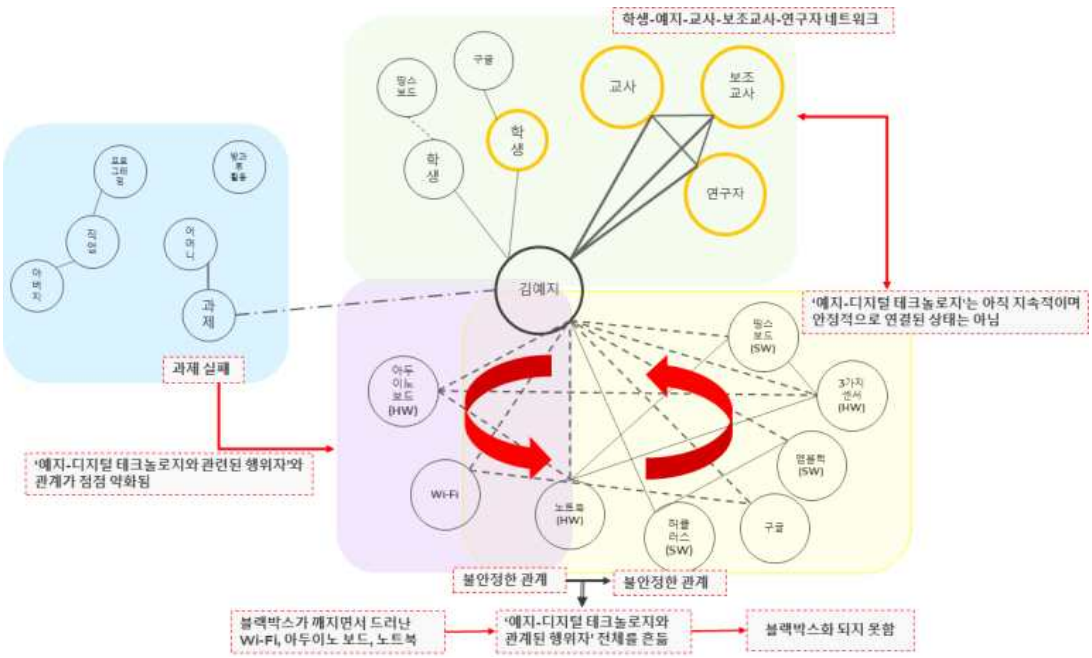
a. 문제 해결을 위해 교사, 보조교사, 연구자, 친구의 도움을 받음

↓



b. 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 예측하지 못했던 관계 맺기의 어려움 발생 및 누적된 어려움이 서로의 관계에 변증법적으로 영향을 미침

↓



c. 과제를 통해 디지털 테크놀로지와의 관계를 안정화하는 데 실패

[그림 4-24. ‘예지-디지털 테크놀로지’ 블랙박스 형성 실패과정]

예지는 STEP 1 중 1~6차시 동안 수업 과정을 잘 따라가는 편이었으며 적극적이며 씩씩하게 수업 활동에 참여하였다. 예지는 허큘러스(SW)에서 대기환경의 수치를 눈으로 확인하고 기뻐하였으며, 도움이 필요한 주변 친구들에게 자신이 아는 것을 잘 알려주었다. 또한, 도움이 필요하면 망설임 없이 손을 들고 질문하는 편이었으며, 짝꿍과 주변 친구들이 예지를 잘 도와주는 편이었다. 특히 예지는 친구들과의 교류뿐만 아니라, 교사, 보조교사, 연구자와도 관계를 맺으며 도움을 많이 받는 편이었다.

예지: … 근데 항상 선생님들이 도와주셨어요.

(3차 심층 면담 중)

그러나 7~8차시에서 LTE 모듈을 연결하여 띵스보드로 그래프를 보는 수업에서 예지의 질문 빈도가 갑자기 많이 증가하였다. 앞서 지아 사례에서 볼 수 있었듯이 띵스보드는 다양한 비인간의 네트워크로 구성되어 있어 띵스보드와 관련된 문제를 해결하기 위해서는 다양한 비인간을 따라가야만 했다. 예지는 많은 비인간이 등장하는 해당 차시에서 어려움을 겪었다. 이전 차시에서 만났던 비인간들과도 아직 네트워크를 안정화하지 못한 상태에서 예지는 디지털 테크놀로지와 관계를 맺는 것을 어려워하기 시작하였다.

이후, 그동안 배운 것을 다시 복습하는 9~10차시에서 예지의 디지털 테크놀로지에는 예상하지 못한 많은 오류가 발생하였다. 예지의 노트북은 Wi-Fi와 처음부터 불안정하게 연결되었다. 예지는 아두이노 보드와 센서를 연결하고 허큘러스로 수치를 확인하는 과정에서 오류가 생겨 확인할 수가 없었다. 문제의 원인을 발견하기 위해서 보조교사는 블록코딩부터 센서 연결까지 제대로 네트워크를 형성하고 있는지 순차적으로 확인하였고, 예상하지 못했던 아두이노 보드(HW)의 문제를 발견하였다. 아두이노 보드를 교체하고 난 후 예지는 다시 센서를 보드에 꽂고 컴퓨터와 소프트웨어 프로그램과 연결해야만 했다. 그러나 추후 노트북의 Wi-Fi가 완전히 끊겨서 노트북을 교체했다.

그러나 노트북에서 업데이트 작업이 걸리면서 10분 이상 아무것도 할 수가 없었다([그림 4-25]).

[그림 4-25. 노트북 업데이트로 인해 수업에 참여하지 못한 채 돌아다니는 예지]

교체한 노트북에는 구글 로그인 정보가 저장되어 있지 않아서 새롭게 아이디를 입력하고 인증하는 과정을 거쳐 단계별로 로그인을 해야 했다. 이러한 문제들이 누적되고 해결해가는 과정에서 시간이 너무 많이 지체되었다. 또한, 많은 문제가 집적되면서 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 불안정하게 연결되어 있던 예지는 더욱 그 관계가 흔들리게 되었다. <4장. 1절 3. 등록하기 나. 배반하기 [그림 3-10]> 같이 여러 중단과 우회의 과정이 예지에게만 개인적으로 발생하였다. 중단과 우회의 과정을 거쳐서 예지의 디지털 테크놀로지는 더는 오류가 없는 디지털 테크놀로지 행위자가 되었지만, 이미 '예지-디지털 테크놀로지 기기와 관련된 행위자'와의 관계망은 점점 약화되거나 끊어졌다. 결국 '예지-디지털 테크놀로지 기기와 관련된 행위자' 네트워크가 블랙박스화되지 못하였다.

예지가 수업시간에 만난 디지털 테크놀로지는 다른 학생이 만나고 있는 디지털 테크놀로지와 같지만, 질적으로 다른 존재이다. 다른 학생들은 디지털 테크놀로지와 만나는 일부 과정이 이미 블랙박스화되어 있어 보이지 않았던 Wi-Fi, 아두이노 보드(HW), 노트북, 구글 로그인 과정 등이 예지에게는 블랙박스가 깨지며 드러났다. 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들이 제대로 연결되지 못하고 작동되지 않는 과정에서 블랙박스가 깨지게 된 것이다.

한편, 예지는 방과 후 활동으로 코딩을 배우기는 했지만, 전혀 도움이 되지 않았다고 응답했으며 집에서 과제를 수행하는 것도 실패했다.

연구자: 예지야 이거 코딩을 배운 적이 있어요?
예지: 네 전학 오기 전에요.
연구자: **그럼 그게 도움이 됐던 것 같아?** 수업에서?
예지: **아니요. 달라서요. 전혀 달라서 도움이 안 됐어요.**

(2차 심층 면담 중)

과제를 하기 위해서는 프로그램을 설치했어야 했는데, 이를 본 어머니는 프로그램을 왜 설치해야 하는지 의문을 제기하면서 우호적이지 않은 시각으로 바라보았다. 이와 더불어, 예지는 프로그램을 받을 수 있는 하이클래스에 접속하는 방법을 몰라서 과제를 하기 위한 필수 프로그램인 엠블럭을 결국 설치하지 못하였다. 결국, 예지는 과제를 하지 못하였다. 예지는 집에서도 과제 수행에 실패하였고, 학교에서도 디지털 테크놀로지와 관련된 행위자들과 관계망을 형성하는 데 반복적으로 실패하여 짜증이 누적되어 있었다. 예지는 다음 면담처럼 디지털 테크놀로지 혹은 컴퓨터와 관련한 흥미를 잃게 되었다.

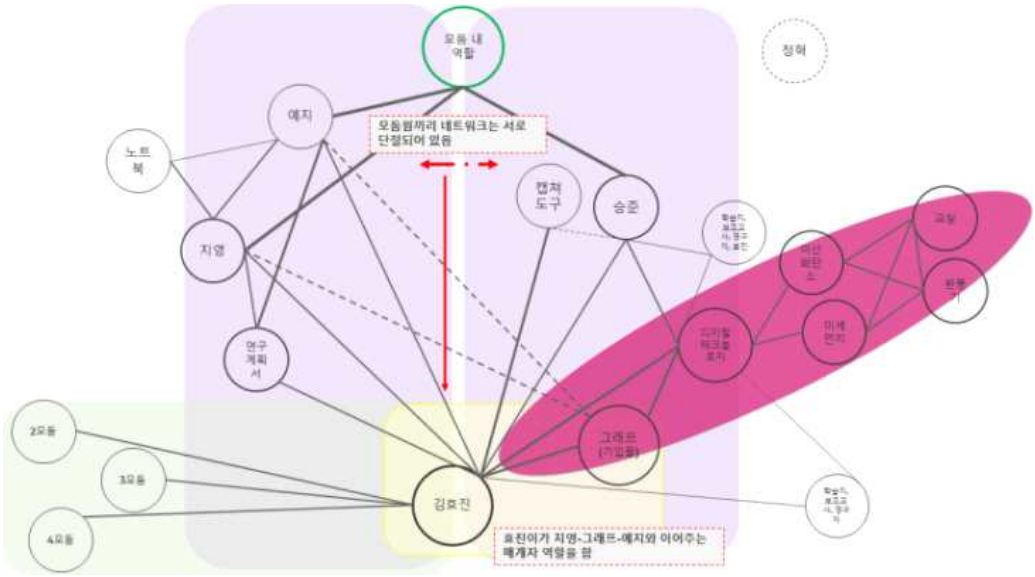
예지: 솔직히 이런 생각도 들었던 게 나는 컴퓨터 전공하지 말아야겠다고 생각했어요.

(3차 심층 면담 중)

2. 탐구 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

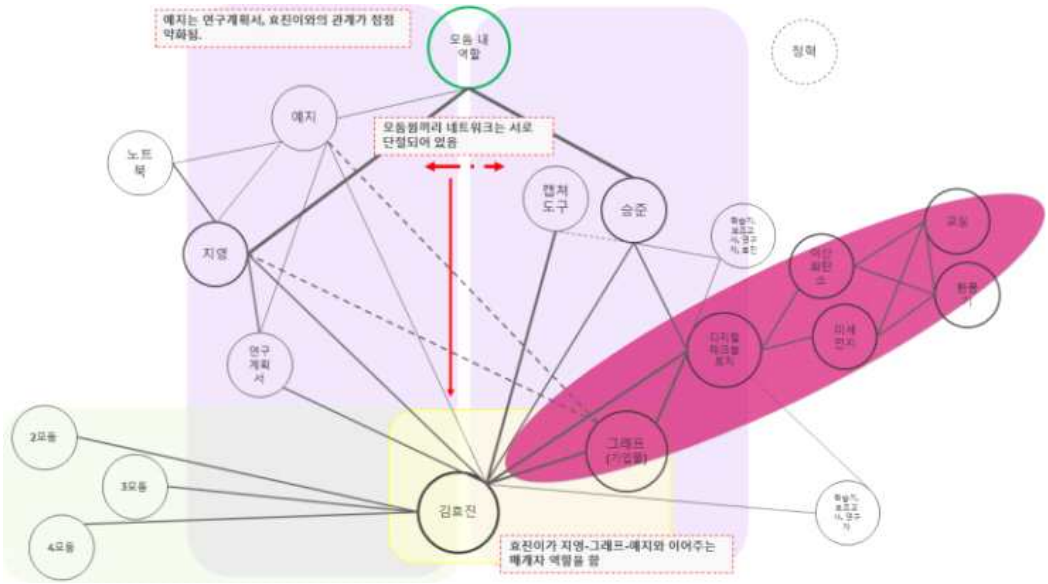
예지는 5 모둠으로 효진이와 같은 모둠이다. 5 모둠원은 [표 4-2]와 같은 역할을 맡았으며, 예지는 디지털 테크놀로지 행위자들과 연결되지 못해 이끔이와 측정이 역할 대신 꾸밈이와 기록이 역할만을 선택할 수 있었다. 다음 [그림 4-26]은 기입물, 예지, 모둠원을 둘러싼 STEP 2 학습 네트워크를 형성과정을 도식화한 것이다.

실선(▬▬): 연결됨
파선(– – –): 연결이 이어지고 끊어짐이 반복됨
초록색 원: 다른 행위자를 제약하는 행위자
바탕색: 하나의 의미 단위의 네트워크
진분홍 영역: 기입물과 관련된 네트워크



a. 효진이를 통해 기입물을 만나는 예지

↓



b. ‘기입물, 효진, 지영, 연구 계획서, 모둠 내 역할’과의 관계가 약화 된 예지

[그림 4-26. ‘기입물, 예지, 모둠원, 모둠 내 역할’을 둘러싼 네트워크 형성과정]

예지는 과학 수업에 참여하는 것 보다 본 수업에 참여하는 것이 더 어렵다고 답하였는데, 그 이유로 ‘디지털 테크놀로지를 사용하는 것’과 ‘검색하여 자료를 찾아보는 것’이 어려웠다고 답하였다. 특이한 점은 앞서 예지가 STEP 1 과정에서 다른 학생과 달리 네트워크 형성과정에서 개인적으로 더 복잡하고 어려운 과정을 마주했음에도 불구하고, 수업 과정에서의 흥미도를 STEP 1이 가장 높다고 응답하였다. 이는 제대로 활동에 참여할 수 없었다고 생각한 STEP 2와 STEP 3 과정이 오히려 예지에게 더 재미 활동으로 인식되었을 것으로 판단한다.

예지는 아래 면담처럼 STEP 2활동 중 어려움을 교사 혹은 효진이를 통해서 해결하였다고 답하였다. 그러나 효진이에게는 도움받는 것보다는, 효진이가 ‘직접 문제를 해결해주는 것’에 가까웠다.

예지: 제가 뭐였지 **기록이**었나, 아무튼 그거 해서 제가 검색을 다 저랑 지영이랑 검색했거든요. 그래서 **검색, 찾아보는 거 조금 어려웠던 것 같아요.**

연구자: 그러면 어려운 점을 어떤 식으로 해결했어요?

예지: 선생님께 말하거나 아니면 효진이가 해주거나 그 정도?

연구자: 그러면 선생님이 도와주거나 효진이가 얘기해 주는 게 도움이 됐어?

예지: 효진이가 얘기해 주는 거는 **효진이가 조금 짜증 내 하거든**요. 그게요 살짝 저희가 물어보면, ‘그냥 너네들끼리도 해야지!’ 이렇게 이런 식의 말투였던 것 같아서.. ‘야 이거 어떻게 해야 해?’ 했는데 ‘아 몰라 그냥 써’ 하고. 효진이가 (글 쓰고 난거) 보면 **‘내 말은 이게 아닌데’ 하면, ‘우리 보고 어떻게 하라는거지?’** …

(3차 심층 면담 중)

앞서 효진이 사례에서처럼 예지와 지영이는 효진이을 통해서 그래프라는 기입물을 만날 수 있었다. 즉, 기입물을 만나고 있는 존재이자 이끔이인 효진이가 모둠 내에서 권력이 큰 편이다. 그래프라는 기입물을 글이라는 또 다른 기입물로 치환하기 위해서는 그래프라는 기입물에 대한 이해가 선행되어야 한다. 그러나 지영이와 예지는 충분히 기입물에 대해 관계를 맺지 못하고 글을 작성하게 되었고, 기록이들이 작성한 글은 효진이에게 잘 받아들여지지

않았다. 이에 효진이가 종종 주도적으로 글을 직접 수정하며 문제를 해결했다.

STEP 1에서 예지는 교사, 보조교사, 연구자와 관계를 맺으며 능동적으로 문제를 해결하려고 하였다면, STEP 2에서는 수동적으로 문제를 해결하는 것에 가까웠다. 다른 모둠에서 기록이는 모둠원의 의견을 그냥 받아적는 것이 아니라 자유롭게 이야기하고 토론하는 과정에서 글을 작성하였다. 그러나 5 모둠 기록이는 충분히 교실 내의 이산화탄소와 미세먼지를 그래프를 통해서 만나지 못한 채로 관련 정보를 검색하고 작성하게 되었고 추후, 이끔이인 효진이는 작성된 글을 기입물과 관련되도록 수정하였다.

> 예지: 글 쓰는 거는 저희가 해야 되는 거라 저희가 하는데, **효진이가 또 아니라고 해서..** 거의 다 그래서 지영이한테 맡겼어요. 지영이는 좀 알아들어서 저는 잘 못 알아듣고
>
> (3차 심층 면담 중)

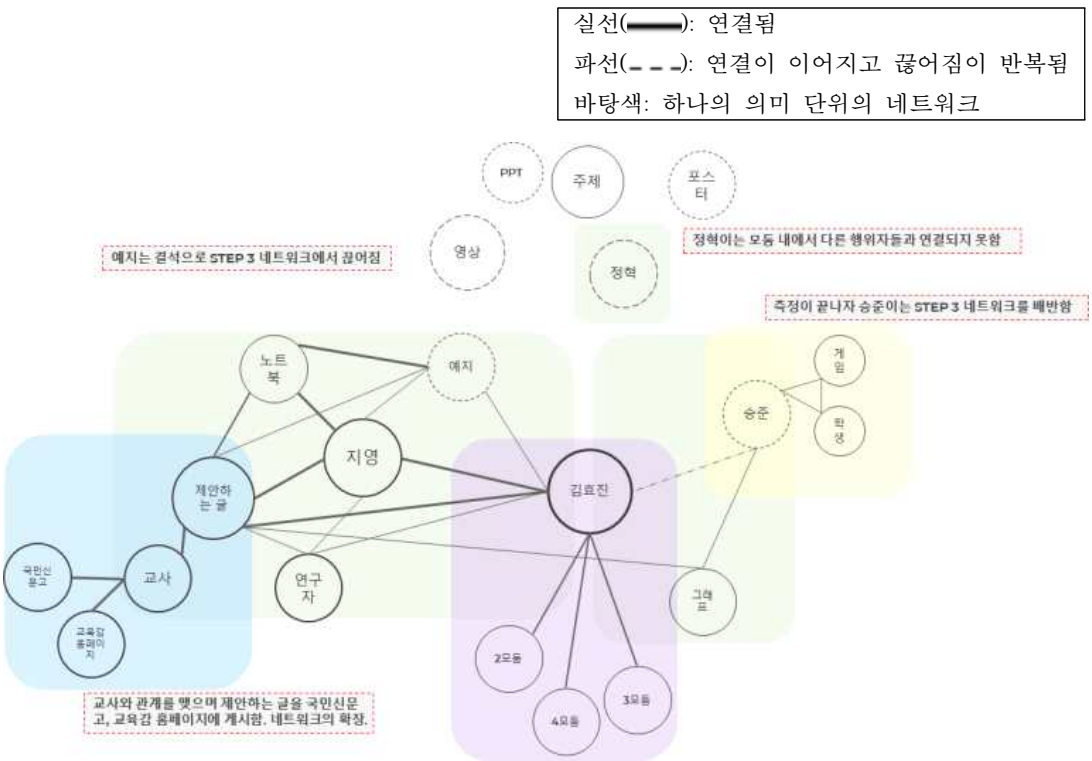
결국, 예지는 이산화탄소와 미세먼지와 관련된 자료들을 검색하고 활동에 참여하려고 노력하였지만, 효진이의 반복되는 수정과 부정적인 피드백으로 인해 지영이가 글을 작성하도록 맡기면서 연구 계획서와의 관계도 약화 되었다. 예지는 '효진이가 다 해서 제가 능력 못 발휘한 것도 있고 분위기가 저랑은 잘 안 맞았어요.' 라고 이야기하면서 모둠 내에서 기록이 역할을 수행하려고 했으나, 효진이로 인해서 기록이 활동에서 점점 멀어졌음을 이야기하였다. 결국, 예지는 기록이라는 모둠 내 역할과도 관계가 약화 되었다. 또한, 예지는 디지털 테크놀로지와 관계를 잘 맺었더라면 측정이가 아니었어도 잘 도와줄 수는 있었을 것이라고 답하며 모둠에서 활동을 적극적으로 하고 싶었으나, 제한적일 수밖에 없었음을 설명하였다.

모둠 활동을 하면서 모둠 내에서 갈등은 언제든 생길 수 있다. 예지는 '개인이 하는 거는(개인 활동) 그나마 책임이 엄청 무겁진 않잖아요. 모둠 활동에서는 나 하나 잘못하면 다…' 라고 하며 모둠 활동에서의 책임감을 느끼고 적극적으로 참여하려는 학생이었다. 그러나 이러한 태도와 관련 없이 지영이와 예지는 기입물을 통해서 교실 내 이산화탄소와 미세먼지를 잘 만나지 못하

였고, 결국 모둠 활동 네트워크와의 관계가 약화되었다. 이는 앞서 효진이 사례에서 기술되어 있듯이 모둠 활동은 복잡한 네트워크로 구성되어 있다는 점을 고려한다면, 그 원인은 단순히 효진이의 부정적인 피드백으로 귀결시킬 수 없었다.

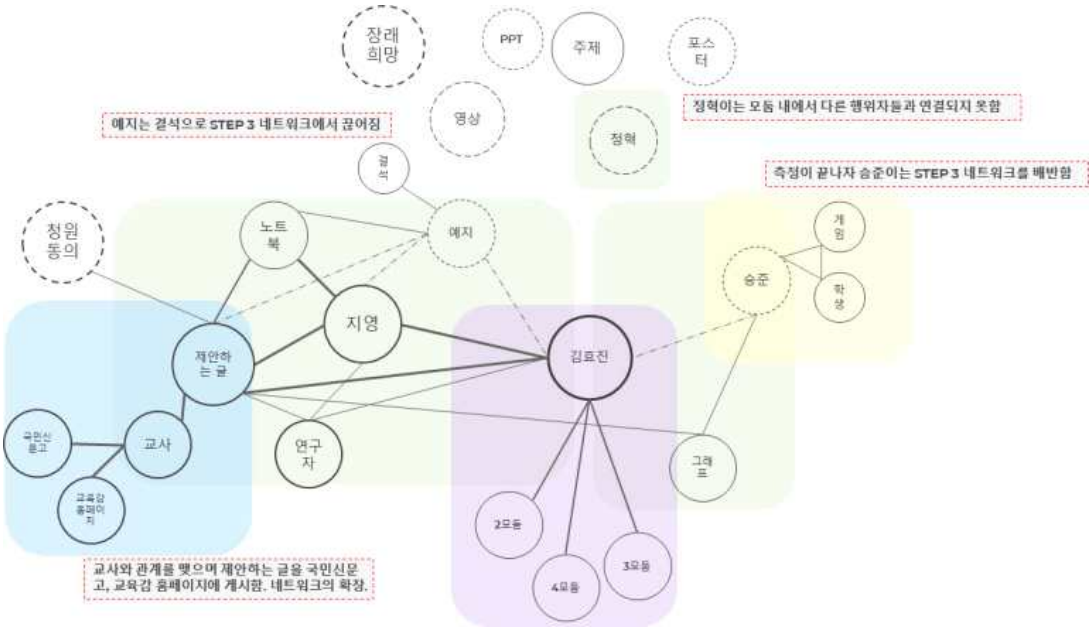
3. 사회적 행동준비 및 활동 과정에서 네트워크 형성과정과 특성

[그림 4-27]은 예지를 중심으로 5 모둠이 STEP 3에서 형성한 학습 네트워크를 도식화한 것이다. 앞서, STEP 2에서 기입물, 연구 계획서, 모둠 내 역할, 효진 등의 행위자들과 관계가 약해진 예지는 '그때 힘들었거든요. 의견이 좀 안 맞는 경우도 있고. 효진이가 이제 팀장인데 막 조금 힘들어해서 제가 말을 잘 못 건네겠는 거예요.' 라고 하며 STEP 2 모둠 활동에서 고착된 예지를 둘러싼 네트워크를 변화시키는 데 주저하는 모습이었다. 영상 편집을 잘하는 예지는, 사회적 행동으로 영상을 만들고 싶어 했으나 제안하는 글 쓰기 활동으로 최종 변경되었다.



a. 결석으로 인해 사회적 행동의 결과물인 제안하는 글과 연결이 끊긴 예지

↓



b. 제안하는 글의 답변과도 연결되지 못한 예지

[그림 4-27. ‘제안하는 글, 예지, 모둠 내 역할, 모둠원’을 둘러싼 네트워크 형성과정]

예지는 사회적 행동이 본격적으로 진행된 17~18, 19~20차시에 결석했다. 해당 차시에 5 모둠은 사회적 행동으로 제안하는 글을 작성하였다. 그러나 기록이인 예지는 결석으로 인해 다른 기록이인 지영이가 중심이 되어 글을 작성하였다. 이에 예지는 모둠에서 어떤 사회적인 행동을 하였으며, 어떤 결과물이 나왔는지 인지하지 못하고 있었다.

연구자: 그러면 (5 모둠에서) 완전히 새롭게 측정했는데 어떤 기분이 들었어?
예지: **새롭게 측정했어요?**

(3차 심층 면담 중)

21~22차시에서 교사는 3 모둠과 5 모둠에서 올린 청원하는 글에 대한 반응을 학급 학생들 전체에게 공유하였다. 3 모둠원들은 사람들이 청원하는 글에

청원 동의의 댓글을 달아준 것을 보고 기뻐하는 모습을 보였으나, 예지는 5 모둠의 사회적 행동인 청원하는 글을 올린 것과 이에 대한 댓글을 보고도 별다른 감정적 변화가 생기지 않았다.

연구자: 예지야 이거 결석하고 나서 애들이 다 막 여기저기 글 올리고 해서 놀랐지?
예지: ... 근데 사실 어디 올릴지는 결정을 못 했는데 결정하는 날에 내가 빠져가지고 **솔직히 그냥 그러려니 했어요.**

(3차 심층 면담 중)

5 모둠에서 사회적 행동을 했지만, 예지는 당사자가 아니었으므로 별다른 감흥이 생겨나지 못했던 것으로 판단한다. 즉, 예지는 청원하는 글과 관계가 끊겨, 답변(청원 동의)과의 관계망도 형성할 수 없었다고 판단할 수 있다. 또한, 국민신문고, 교육부에 제안하는 글을 올린다는 행위 자체가 어떠한 의미인지 잘 인식하지 못하는 것도 최종 기입물이자 불변하는 가동물과 관계망을 형성하는 데 영향을 미쳤다.

예지: 근데 사실 제가 청원이랑 막 국민신문고 올렸다는 거를 막 다른 애들 것도 막 봤고 그랬는데, 제가 그런 거를 잘 모르거든요. 그래서 **이게 좋고 얼마나 대단한 건지는 모르겠어요.**

(3차 심층 면담 중)

사회복지사가 장래희망이었던 예지는 1차 심층 면담 때 다른 사람들에게 도움을 주는 사람이 되고 싶은가? 라는 질문에 대해 매우 그렇다고 응답하였다. STEP 3은 과학기술과 관련된 자기 주변의 문제를 인식하고, 기입물을 활용하여 이를 학교 밖으로 영역으로 확장하여 실질적으로 문제를 해결해 타인에게 도움을 줄 수 있다는 점에서 예지의 개인적인 특성과 가장 잘 관련되어 있다. 그러나 모둠에서 불변의 가동물을 활용해 사회를 바꾸기 위한 활동을 실행하였지만, 예지의 장래희망과 사회적 활동과 연결되지 못하였고 다른 긍정적인 감정 변화도 나타나지 않았다.

교사: 평소에 굉장히 적극적이고 예의도 바른데 **그 수업에서는 되게 안 드러나더라**

고요. 원래 말도 되게 잘하거든 발표도 잘하고. 줌 수업하면 예지가 거의 이끌어 간다고 봐요. 왜 그런지 모르겠어요. 그거는 그 수업에서 왜 유독.. 인터뷰할 때 그런 거 말 안 하던가요?

연구자: 예지가 아두이노 그 부분이 너무 어려웠다고..

교사: 거기서 좀 이제 흥미를 잃어버린 것 같아요.

(3차 교사 면담 중)

제 6 장 결론 및 제언

제 1 절 결론

이 연구는 예측 불가능한 미래사회에 대비하기 위한 과학교육의 일환으로 디지털 테크놀로지 활용 확장 시민과학 교육의 필요성을 주장하면서, 해당 프로그램을 실행하고 탐색하였다. 수업 프로그램에는 디지털 테크놀로지, 학교 밖 다양한 비인간 행위자들이 등장하고 있어 그동안 인간을 전면에 내세웠던 인식론을 기반한 이론으로는 수업을 탐색하는 데 한계가 있을 것으로 판단하였다. 이에 인간과 비인간을 동등하게 배치하여 인간-비인간 행위자들 간에 만들어지는 즉흥적인 비선형 프로세스와 집합체가 무엇인지 탐색하는 ANT 이론을 토대로 수업을 살펴보았다. 수업을 준비하고 실행하는 과정과 개인 및 소집단 활동 내에서 네트워크 구성 및 특징, 변화과정을 질적 사례 연구 방법으로 탐색하였다. 이를 통해 향후 본 수업 프로그램을 확대 적용 및 준비하기 위한 시사점을 얻고자 하였다. 연구 결과는 다음과 같았다.

첫 번째 연구 결과를 통해서는 첫째, 새로운 교수 · 학습 프로그램을 도입할 때 주요 인간, 비인간 행위자들을 포섭하기 위해 프로그램을 통해서 얻을 수 있는 이익을 상기시킬 필요가 있음이 드러났다. 연구자는 다섯 명의 예비 참여자(교사)를 포섭하기 위해 수업으로 얻을 수 있는 이점에 대해서 동일하게 설명하였다. 그러나 각 교사의 이해관계는 각각 달랐으며 수업을 통해서 얻을 수 있을 것이라 기대하는 바가 달라 포섭된 행위자는 일부였다. 이는, 새로운 교육 프로그램을 도입하기 위해서는 교수 · 학습 과정에서 주요 행위자가 누구이며 그들의 이해관계가 무엇인지 파악해, 어떠한 관심끌기 전략을 사용 가능한지 고려해볼 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 주요 행위자가 수업에 참여해 얻을 수 있는 이득보다 의무통과점을 지나는 과정에서의 어려움이 크다면, 수업에 참여해 얻을 수 있는 이득을 포기하고 네트워크를 배반할 수 있음이 드러났다. 또한, 한 행위자가 배반하기 시작하게 되면 전체 행위자들의 동맹 관계가 흔들리게 되는 부정적인 결과를 가져올 수 있음을 알 수 있었다. 많은 학생 행위자가 초기 OPP를 통과하지

못하고 어려움을 겪으면서 배반의 사례가 생겨나자 주요 행위자들의 동맹 관계가 전체적으로 흔들리게 되었다. OPP를 변경한 이후에야 주요 행위자들은 OPP를 순조롭게 통과하면서 각자의 이익을 달성하고자 동맹 관계를 공고화하기 위한 노력을 하였다. 이는 새로운 교육 프로그램을 도입하는 과정에서 OPP를 설정할 때 수업에 참여해 얻을 수 있는 이득보다 주요 행위자들이 통과해야 해야 하는 과정이 너무 어렵지 않도록 고려해야 함을 시사한다. 또한, 만일 많은 행위자가 OPP를 통과하는 데 어려움을 겪게 된다면 OPP를 수정 및 변경하는 것을 주저하지 않아야 함을 시사하기도 한다.

셋째, 인간, 비인간 행위자들은 의도성 유무와 상관없이 관계를 통해 관심 끌기를 위한 행위성을 발휘하며 기존의 네트워크로 회귀하고자 하는 주요 행위자들을 새로운 교수ㆍ학습 네트워크와 연결되도록 하였음이 드러났다. 또한, 하나의 관심끌기 전략은 한 행위자에게 영향을 미치는 것뿐만 아니라, 다른 행위자들과 이들의 네트워크에도 영향을 미치는 등 긍정적인 효과가 파급되어 나타남을 알 수 있었다. 인간 행위자인 연구자와 교사는 의도적으로 다양한 장치와 전략을 설정하고 수정하면서 관심끌기 행위를 하였다. 이러한 장치와 전략은 모든 행위자를 동시에 효과적으로 포섭하지 않았지만, 여러 행위자의 각기 다른 수업 단계와 학습 맥락에서 네트워크를 안정적으로 형성하는 데 도움을 제공하였다. 즉, 학생들이 문제를 해결하고 목적을 달성하기 위해 포섭하는 행위자가 각기 다르듯이 행위자들이 교수ㆍ학습 네트워크를 구성하는 과정은 모두 다양해 여러 관심끌기 전략을 교수ㆍ학습 과정에 사용하는 것이 효과적인 것으로 드러났다. 한편, 비인간 행위자는 의도적이지 않지만 관심끌기 위한 행위성을 발현하였다. 대기 환경이 실시간으로 그래프로 변환되어 기입 된 기입물은 학생들의 흥미를 고취하고 지속적인 학습 동기유발 및 적극적인 참여 의지를 끌어내는 등의 행위성을 발현하였다. 또한, 비인간 존재 자체만으로도 학생들의 수업 참여에 대한 흥미를 끌어내기도 하였다. 이러한 관심끌기 전략들은 학생이 본 수업 프로그램과 안정적으로 관계를 형성하게 만들기도 하지만, 이로 인하여 교사, 연구자, 디지털 테크놀로지 행위자도 본 수업과 안정적으로 네트워크를 구성할 수 있도록 긍정적인 영향을 미치기도 하였다. 이러한 결과는 교수ㆍ학습 과정에서 여러 행위

자를 포섭하기 위해 다양한 인간, 비인간 행위자를 포섭하여 다양한 방법의 관심끌기 전략을 사용할 필요가 있음을 시사한다.

넷째, 교수·학습 과정에서 다양한 행위자들이 얽히는 과정에서 예측하지 못한 관계와 효과들이 나타나는 것이 드러났다. 상기 기술된 것과 같이 네트워크 형성과정에서 예상하지 못했던 긍정적인 효과가 나타나기도 했지만, 교수·학습 과정에서 예측하지 못했던 중지와 우회의 과정이 반복적으로 발생하면서 네트워크를 배반하는 행위자가 생기기도 하였다. 특히, 디지털 테크놀로지 생태계 준비 및 구축을 위해 연구자, 교사, 보조교사의 동맹과 노력이 있었음에도 불구하고, 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간을 둘러싼 예측하지 못한 효과로 인한 배반 사례가 다수였다. 이는 비인간이 인간이 원하는 방향으로만 움직이는 수동적인 존재가 아님을 시사한다. 교육현장에서 들어오고 있는 여러 디지털 테크놀로지들은 블랙박스화된 채로 그 유용성 혹은 예상되는 효과를 기대하며 적용하는 경우가 많다. 그러나 비인간 행위자의 존재 혹은 행위성은 관계 속에서 정의되는 것으로 교수·학습 상황에서 비인간 행위자를 둘러싼 네트워크에 대한 사례 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

다섯째, 최종 기입물이자 불변하는 가동물인 제안하는 글, 포스터 등이 거시세계인 사회로 복귀되는 과정에서 교육청 관계자, 회사, 교육감 등 학교 밖 행위자와 만나며 생존하길 희망하였으나 이러한 과정이 쉽지만은 않았음이 드러났다. 또한, 일부 학생들은 학생들이 생성한 불변하는 가동물의 행위성에 대해 불신을 드러내기도 하였으며, 불변하는 가동물의 행위성보다는 불변하는 가동물이 학교 밖 다른 행위자들과 연결된 것에만 집중하는 모습을 드러냈다. 이는 불변하는 가동물에 대한 학생들의 인식 변화가 필요함을 시사한다.

두 번째 연구 결과를 통해서는 첫째, 새로운 교수·학습 상황에서 학생들은 문제를 해결하고 목적을 달성하기 위해 포섭하는 행위자가 각기 다르다는 것이 드러났다. 또한, 새로운 교수·학습 상황에서 기존 학습 네트워크에서 관계를 맺지 않았던 행위자가 아닌 다양한 인간, 비인간을 포섭하여 문제를 해결하는 것이 드러났다. STEP 1의 학습 목표는 디지털 테크놀로지를 이해하

는 것으로 동일하였으나, 지아와 소영이는 문제를 해결하기 위해 그동안 관계를 맺지 않았던 이들과 적극적으로 네트워크를 구성하면서 문제를 해결하기 시작하였다. 지아는 교사, 보조교사, 연구자와 네트워크를 형성하였고, 소영이는 교사, 친구, 학습지 행위자와 관계를 형성하며 문제를 해결하고자 하였다. 한편, 효진이는 비인간 행위자인 학습지를 통해서만 문제 해결에 도움을 얻었고, 예지는 인간 행위자인 교사, 보조교사, 연구자, 친구들을 통해서 주로 도움을 얻었다. 이는 오늘날 디지털 테크놀로지가 교육현장에 도입된 이후의 교육적 효과에만 주목하는 선행연구들과 비교하였을 때, 디지털 테크놀로지를 학습하는 현상을 면밀하게 들여다보면서 추후 어떻게 교수·학습 상황을 도울 수 있을지 시사점을 제공한다.

둘째, 학습 네트워크를 형성하는 과정은 학생의 자발성 유무와 상관없이 우연히 이루어지기도 하며, 주변 네트워크에 영향을 받아 형성되기도 함을 알 수 있다. 지아는 연구자, 보조교사, 교사와 연결망을 구성하여 문제를 해결하는 친구들을 보며 평소 문제 해결 학습전략과 다른 전략을 사용해 학습하였다. 효진이는 친구들을 돕는 과정에서 형성된 예측하지 못한 네트워크가 효진이의 학습에 긍정적인 영향을 미쳤다. 소영이는 가정 내의 네트워크로 인해 비자발적이었지만 결과적으로 학습 네트워크에 도움을 받으며 안정적인 학습 네트워크를 구성하게 되었다. 반면, 예지는 예측하지 못했던 비인간 행위자들의 문제로 인해서 학습 네트워크 형성에 어려움을 겪게 되었다. 이는, 학습이라는 것이 온전히 학생 개인만의 역량 혹은 학생의 의지에 따른 것이 아님을 시사한다.

셋째, 디지털 테크놀로지 활용 능력이 부족한 학생들도 모둠 네트워크를 통해 실시간 변환되어 나타나는 기입물을 만나는 것으로도 충분히 시민과학 수업 참여가 가능하다는 것이 드러났다. STEP 1에서 모든 학생이 디지털 테크놀로지 비인간과 블랙박스를 형성하는 것에 실패했더라도, STEP 2에서 기입물인 그래프를 통해서 대기환경과 만날 수 있었고 이 과정에서 모둠 내 담화가 형성되었다. 그러나, 모든 모둠원이 기입물을 통해 대기 환경을 만났을 때만 각자의 연결망에 서로 유기적으로 연결되면서 활발히 교류가 이루어졌다. 기입물을 직접 만나지 않은 모둠원이 있는 모둠에서는 모둠원 간의

네트워크가 연결되지 못한 채 각자 자신의 모둠 역할에만 집중하는 단절된 모습을 보였다. 디지털 테크놀로지와 네트워크를 구성하지 않더라도 시민과학 학습이 가능하되, 기입물과 모둠원 전체가 관계를 맺으며 네트워크를 구성하는 것이 중요함을 보여주었다. 이는 일부 학생들이 디지털 소양(digital literacy)이 부족하거나 학생들 간에 정보격차가 존재하더라도, 수업에 기입물을 잘 활용하게 된다면 충분히 시민과학 수업이 가능함을 시사한다.

넷째, 다양한 인간-비인간 행위자들이 결합 된 STEP 3에서 모둠원 간의 네트워크 구성 양상은 매우 다양하고 복잡해졌음이 드러났다. 모둠원들의 배반, 학교 밖 행위자들과 네트워크 형성방법에 대한 인식 부재, 기입물에 대한 답변, 제한된 시간 등이 결합하여 모둠별로 다양한 형태의 네트워크 구성과정이 나타났다. 이는 학습 활동의 결과물은 단순히 인간 행위자의 역량이나 능력으로 인한 것이 아니며 여러 복잡한 네트워크 과정으로 발현되는 것임을 시사한다.

다섯째, 학생들의 사회적 행동을 위해서는 성인 행위자가 '기입물(불변의 가동물)-학생-학교 밖 행위자들'과 관계를 맺을 수 있도록 명시적이며 적극적인 개입이 필요함이 드러났다. 학생들은 자신들이 만든 기입물의 행위성에 대해 확신하지 못할뿐만 아니라, 어떻게 학교 밖 행위자들과 네트워크를 구성해야하는지 그 방법을 전혀 인식하지 못하고 있었다. 교사의 사회적 행동에 대한 소개와 비슷한 또래의 사회적 행동 예시자료를 보는 것만으로는 학생들이 학교 밖 행위자와 네트워크 구성을 하는 것에 한계가 있었다.

여섯째, 비인간 행위자는 교수ㆍ학습 네트워크를 흔들 정도로 큰 행위성을 가진 존재임이 드러났으며, 인간과 비인간을 편평하게 두고 인식해야 할 필요성을 뒷받침하였다. 여러 사례에서 디지털 테크놀로지, 기입물 등의 비인간 행위자가 어떤 행위자와 연결되는지에 따라서 발현된 행위성이 달라졌으며, 비인간의 블랙박스가 깨지면서 예측 불가능한 상황이 생기며 학습에 큰 영향을 미치기도 하였다. 이 과정에서 비인간 행위자는 교수학습 네트워크를 흔들 정도로 큰 행위성을 가진 존재임이 드러났다. 학생들은 비의지적으로 학습 네트워크를 확장하는 데 실패하기도 하였다.

오늘날 새롭고 다양한 비인간들이 교육현장에 들어오고 있으며, 학교의

울타리 안에 갇혀있던 전통적인 교과 중심의 교육 활동에서 학교의 경계를 넘나들며 자기 삶 주변의 주제를 직접 해결해보는 실천적이며 실용적인 미래 교육 활동이 확산하고 있다. 이에 이 연구는 초등학생들이 직접 자신의 삶과 관련된 주제를 다루면서, 과학적으로 탐구하고 이를 학급 밖으로 확장시키는 과정을 직접하는 과정까지 경험해보게 하는 프로그램을 실행하였다는 점에서 의의가 있다. 이는 초등학교 맥락에서도 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업이 가능하다는 것을 제시한다. 그동안 시민과학 혹은 디지털 테크놀로지와 관련된 선행연구에서는 프로그램의 준비, 효과성에 집중한 양적 연구가 대다수였다. 그러나 이 연구에서는 인본주의적 관점에서 벗어나 비인간의 행위성을 인정하면서, 수업을 실행하는 과정뿐만 아니라 수업을 준비하는 과정까지 포괄하여 이들의 네트워크 구성과정을 질적으로 면밀하게 탐색하였다는 점에서 의의가 있다. 이는 추후 해당 프로그램을 초등학교 맥락에서 적용하고 싶은 교육관계자들에게 통찰을 제공할 수 있다. 뿐만 아니라, 보다 세부적으로 개인 및 소모둠 활동에서의 학습이 구체적으로 어떻게 이루어지는지 다양한 사례를 중심으로 네트워크 형성과정을 상세히 기술하여 추후 교수·학습 네트워크를 어떻게 구성하는 데 도움을 제공할 수 있는지 구체적인 방법을 제공해줄 수 있을 것으로 본다. 이를 통해 초등학교에서도 확장 시민과학 활동을 확산시키고 정착시키는 데 기여할 것으로 전망한다.

제 2 절 논의 및 제언

1. 시사점

본 연구는 ANT를 바탕으로 디지털 테크놀로지 기반 확장 시민과학 교육이라는 새로운 교육 현상을 충실히 서술하여 이해하는 데 목적이 있다. 본 연구 결과는 다음과 같은 교육적 시사점을 주고 있다.

첫째, 교육 연구에서 연구자를 어떻게 위치시킬 것인지에 대한 이해를 확장하여 연구 관점의 지평을 넓히는 데 기여할 수 있을 것이다. 선행 연구에서는

대부분 새로운 프로그램이 도입될 때 프로그램이 교사와 학생에게 미치는 효과(인지적, 정서적, 역량 변화 등)와 어려움 등을 탐색한다. 그러나 새로운 프로그램을 도입하는 연구는 연구자로부터의 관심끌기 행위로 시작되는 경우가 많다. 즉, 선행 연구는 연구자를 배제한 채 교수학습 네트워크 구성과정만 드러낸다는 한계가 있다. 이는 마치 칼롱의 가리비 연구에서 가리비가 수집기에 부착되는 행위만 관찰하는 것과 같다. 실제로 수업이 이루어지기 위해서 연구자가 연구 참여자를 모집하고, 연구 참여자가 이탈하지 않도록 지속해 관심끌기의 행위를 해야 한다. 본 연구에서는 새로운 수업 프로그램과 관련된 네트워크를 구성하기 위한 중심 행위자인 연구자를 전면에 드러내 실제 교육 연구가 어떻게 이루어지는지, 어떻게 질서를 생성하는지 번역의 과정을 통해 자세히 기술하고 있다는 점에서 다른 연구와 차별성을 가진다. 이에 연구 결과를 통해서 교육 연구 시 그동안 고려되지 않았던 연구자의 위치와 역할에 대해서도 다시 생각해 볼 가능성과 필요성을 동시에 제공하는 의의를 지닌다.

둘째, 디지털 테크놀로지, 기입물, OPP와 같은 비인간이 교수학습 네트워크에 미치는 행위성을 확인함으로써, 앞으로 교수ㆍ학습을 바라보는 관점의 변화를 다음과 같이 가져올 수 있다.

① 학생의 학습결과물이 다른 이유를 비인간을 포함한 네트워크 관점에서 이해할 수 있도록 인식의 폭을 넓혀준다. 효진이 사례와 같이 인간 행위자의 어려움이 단순히 모둠원들과의 불화로 인한 것이 아니라, 모둠 내 역할과 연결된 모둠원, 기입물과 연결되지 못한 모둠원, 시간과 효진이 등 비인간-인간 네트워크가 중첩적으로 얽히면서 발생한 것임을 알 수 있었다. 또한, 학습 네트워크를 배반하는 학생은 항상 자발적이지 않았으며 디지털 테크놀로지의 블랙박스의 깨짐, 노트북, 필기도구와 이끔이라는 모둠 역할과 연결된 소영이 네트워크의 영향 등 비인간의 행위성 혹은 비인간과 연결된 네트워크로 인한 네트워크 효과였음을 알 수 있었다. 블랙박스화 되어 보이지 않던 디지털 테크놀로지와 관련된 비인간이 어느 순간 갑자기 작동하지 않으며 블랙박스가 깨지면서 촉발된 중단과 우회의 과정이 예상하지 못한 학생들의 배반으로 이어져 학습에 부정적인 결과로 이어졌다. 그러나 대다수의 선행

연구에서는 비인간의 위치는 인간 행위자의 의도대로만 행동할 것이라 전제하는, 즉 수동적인 존재의 관점에서 연구되어왔다. 본 연구 결과를 통해서 학습 과정에서 더는 비인간을 분리해서 생각할 수 없으며, 학생들의 학습결과는 단순히 학생의 능력, 적성 차이 등 정량적 특질의 차이로 인한 격차라고 생각해서는 안 된다(최고은 외, 2021). 학습결과의 원인을 살펴보는 과정에서 인간 행위자만 주목하는 것이 아니라 관련 비인간-인간 행위자들이 다중적으로 얽혀있는 모습에 주목함으로써, 그동안 해결하지 못했던 교수ㆍ학습문제를 새로운 관점에서 다시 접근해 볼 수 있게 한다. 즉, ANT의 관점에서 교수ㆍ학습을 인간과 비인간이 구성하는 복잡한 네트워크로 인식함으로써 학생들의 학습을 새로운 관점에서 이해할 수 있다.

② 학습환경을 설계할 때 비인간을 고려해야 하며, 어떠한 방법으로 비인간을 고려할 수 있을지 시사한다. 시민과학 교육 기회를 확대하기 위해서 디지털 테크놀로지를 도입하는 과정에서 디지털 테크놀로지가 적절한 행위성을 발휘하기 위해서 비인간을 둘러싼 다양한 요인을 고려해야 한다. 디지털 테크놀로지가 기입물을 생성해내고 이는 학생들의 시민과학 활동을 촉진할 수 있었다는 점에서 디지털 테크놀로지의 시민과학 교육에서의 도입의 긍정적인 측면을 보여준다. 그러나 디지털 테크놀로지 비인간은 대개 학교 밖의 여러 행위자와 네트워크를 형성하는 것이 익숙한 존재이며 이미 블랙박스화된 결과물을 본다. 우리는 비인간이 블랙박스화되어서 나타난 결과물에만 집중하여 비인간을 교육현장으로 초대한다. 그러나 본 연구와 같이 비인간을 교육현장에 등록시키기 위해서 사전에 많은 관심끌기 장치를 준비했어도, 익숙하지 않은 여러 행위자와 만나며 블랙박스가 깨지고 미처 예측하지 못한 관계가 형성되기도 하였다. 이에, 단순히 AI 교육, 코딩교육 등 비인간을 교육에 도입하자는 구호를 외치기 전에 어떤 준비가 필요하며 교육현장에서 어떤 네트워크가 형성될지 사전에 예측하고 대비할 필요성을 보여준다. 또한, 비인간 블랙박스가 어떻게 구성되어 있는지 들여다보면서 띵스보드와 같이 복잡한 네트워크로 구성된 프로그램은 초등학교에서 배제하거나 단순화시키는 방법을 사용해 교육환경에 적절한 비인간을 학습환경에 데리고 올 수 있다. 이처럼 본 연구 결과를 통해 교육환경을 준비하고 실행하는 데 있어, 어떻게

준비하고 지원할 수 있는지에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있다.

셋째, 비인간 행위자와 인간 행위자가 만나 형성하는 우연적이면서 즉흥적인 네트워크 과정이 바로 교수·학습이라는 측면에서 다음과 같이 교육 방법에 대한 지평을 넓힐 수 있다.

① 학생들에게 자신의 학습 과정을 이해하기 위해 네트워크 형성에 대해 가르치는 것이 중요함을 보여준다. 연구 결과에서 학생들의 학습 전략은 지아처럼 다른 행위자들이 네트워크를 형성하는 모습을 살핀 후 그 전략을 학습하면서 나타나기도 하였으며, 새로 등장한 인간-비인간 행위자와 적극적으로 관계를 맺으면서 나타나기도 했다. 또한, 효진이처럼 네트워크를 활용하는 것이 자신의 학습에 도움이 되는 것을 메타적으로 인식하면서 이를 통해 자신의 학습을 강화하는 전략을 사용하는 모습을 보이기도 하였다. 그러나 효진이와 다른 학생의 차이는 의식적으로 네트워크 전략을 구성했는지의 여부이다. 무의식적으로 전략을 사용하는 학생은 그러한 전략이 체화되고, 자신의 의지대로 사용하는 메타 인지 단계로 넘어가는 데 시간이 소요된다. 이미 선행 연구에서 메타인지가 학습에 미치는 효과성에 관한 연구들이 많다(이지혜, 2010). 결국, 학생들은 효진이처럼 자신의 필요에 따라 다양한 인간-비인간 행위자를 적절히 포섭하는 방법에 대해 메타적으로 인지하는 능력을 갖출수록 학습에 도움을 받을 가능성이 높아진다. 죽, ANT 관점에서 학습 과정에서 문제가 발생하였을 때 자신의 목적에 맞추어 어떤 행위자를 어떠한 방식으로 포섭하면 되는지, 네트워크를 어떻게 형성하여 문제를 해결하는지 스스로 메타적으로 이해하는 메타인지가 필요하다. 이러한 능력을 길러주기 위해 여러 행위자를 의식적으로 포섭해보는 경험을 직·간접적으로 할 수 있도록 지원해야 한다. 목적 달성을 위해 다양한 방법으로 인간-비인간을 포섭하는 방법을 인지한다면 학생들의 문제 해결 능력과 학습 능력을 키울 수 있을 것이다.

② 예비교사 교육 혹은 교사 교육을 할 때, 교사 역시 비인간-인간 네트워크에 대한 메타 인지를 할 수 있도록 교육할 필요성을 보여준다. 교사는 교수·학습이 비인간과 인간의 네트워크로 이루어지는 관점을 이해한다면, 학생들의 학습 결과물의 차이가 학생 개인만의 문제 혹은 교수자의 문제가 아닌

것을 이해하고 비인간과 인간의 네트워크 관점에서의 학생들을 도울 수 있는 해결책을 마련할 수 있을 것이다. 예를 들어 학생들의 학습을 돕기 위해서 다양한 인간-비인간 행위자들을 교육 네트워크에 소개하고, 다양한 교육 방법을 사용해 학습 과정에서 고착된 학생들의 학습 네트워크를 흔들 수도 있을 것이다. 또한, 학생들이 어떠한 전략을 사용해 네트워크를 안정화하는지, 혹은 그렇지 못한지를 자세히 들여다보면서 구체적인 학생 지도 방법을 모색할 수 있을 것이다. 또한, 사회적 행동 중 기입물이 교실의 벽을 넘는 과정에서 학생들의 네트워크 구축이 어떻게 이루어지는지를 탐색하면 앞으로 비인간을 포함하여 네트워크를 구성하는 전략을 어떻게 도울 수 있을지 모색할 수 있을 것이다.

2. 제언

이 연구는 ANT에 기반하여 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업 현장에서 여러 인간-비인간 행위자와 이들이 형성하는 네트워크와 우연적인 변화과정들이 중첩되어 발생하는 과정을 기술하였다. 물론 본 연구는 질적 연구 방법을 사용한 연구로 그 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 다만, 질적 사례 연구를 통해 나타난 독특하고 구체적인 사례의 가치, 그리고 독자는 연구 결과를 읽으면서 자신의 경험을 떠올리고 자신의 경험과 연구 결과가 융화되어 내재화하는 과정에서 그 의미를 찾아간다. 이러한 점을 고려할 때, ANT 관점을 기반으로 독특하며 우연적이며 예측하기 힘든 과정을 잘 기술하는 것은 의미 있는 작업일 것이다. 한편, 이 연구는 ANT라는 이론으로 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 들여다본 시론적 연구이다. 이에 후속 연구로 다음을 제안할 수 있다.

먼저, 비인간-인간 행위자가 만나면서 구성하는 네트워크로 인한 존재(entity)의 변화에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 존재론적 측면에서 실재는 관계적 실천으로부터 창발된다. 그러나 본 연구에서는 창발 된 실재에 대한 존재론적 측면보다는 비인간-인간관계의 형성과 사라짐, 중첩됨 등 그 과정을 기술하는 데 초점을 두고 있다. 네트워크의 구성과정뿐만 아니라 창발

된 실재에 관한 연구를 함께 함으로써 ANT에서 이야기하고자 하는 것을 더욱 깊게 탐색할 수 있을 것이다.

둘째, 확장 시민과학이라는 목표가 모든 학생에게 진정으로 공유되었을 때 네트워크 형성에 어떠한 차이가 있는지 탐색해볼 필요가 있다. 모든 학생의 이해관계가 처음부터 연구자와 교사처럼 확장 시민과학의 중요성에 공감하면서 참여한 것은 아니었다. 교사는 학생들에게 확장 시민과학자의 의의와 되는 것(being)을 반복적으로 강조해서 이야기하였지만, 그것이 학생들에게 진정으로 받아들여졌다고 할 수 없었다. 즉, 학생들이 단기적인 목표인 디지털 테크놀로지에 대한 흥미와 이를 배우는 것을 목표로 하는 것과 장기적으로 확장 시민과학의 중요성에 대한 공감하며 목표를 같이 공유하며 수업에 참여하는 것에는 차이가 있을 것이다. 그러나 본 연구에서는 교사와 연구자, 학생의 목표에 대한 차이로 인해서 네트워크에 어떤 영향을 미치는 구체적으로 살펴보지 않았다. 이에 대해서 코젠(cogenerative dialogue)(Tobin, 2006)과 같은 방법을 사용해 학생, 연구자, 교사가 모두 같이 진정한 목표에 대한 공유가 이루어질 때의 네트워크를 탐색할 필요가 있으며, 이를 통해 학생들의 확장 시민과학에 대한 목표에 대한 공감과 동의가 수업 전 선행되어야 하는지에 대한 논의로 이어질 수 있을 것이다.

셋째, 소집단 활동에서 세부적으로 STEP 2, 3에서의 참여 성공 여부를 나누어서 네트워크 구성과정을 살펴볼 필요가 있다. 이 연구에서는 두 번째 연구결과에서 네트워크 구성 유형을 나눌 때 STEP 2, 3 참여 성공 여부를 묶어서 범주화하였다. 그러나 세부적으로 STEP 2, 3에서의 참여 성공 여부를 나누어서 학생들을 바라본다면 교수학습에 대한 더 많은 이해를 가져 올 수 있을 것이다. STEP 2에서 활동에 잘 참여하더라도 STEP 3 활동에는 참여하지 않는 일부 모둠원들의 네트워크를 들여다보면 왜 그러한 현상이 발생하였는지 파악할 수 있을 것이다. 또한, 그러한 과정을 거쳐져 수업 프로그램에서 지향하는 확장 시민과학자가 되는 것을 어떻게 지원해줄 수 있는지 풍성하게 이해할 수 있게 될 것이다.

넷째, 초등학교에서 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 실행하는 과정에서 포섭해야 할 적절한 비인간-인간 행위자에 대한 추가적인

논의가 필요하다. 연구 결과 초등학교에서 수업 프로그램을 실행하는 데 어려움이 많았다. 특히 많은 학생이 네트워크에서 탈출하기도 하였는데 그 시점은 띵스보드 SW를 다룰 때였다. OPP를 변경하지 않았다면, 아마 STEP 2, 3 단계로 넘어가는 것 자체가 힘들어 학생들을 네트워크에 등록시키는 것이 불가능했을 것이라 추측한다. 이에, 해당 수준에 적절한 플랫폼이 필요함을 알 수 있었다. 초등학교에서 이 수업 프로그램을 실행하기 위해서 비인간이 복잡하게 얽혀 결절된 띵스보드 프로그램을 좀 더 단순화한 프로그램을 활용하거나, 교사가 학생들이 만나는 비인간 단계를 축약시켜주면 어떠한 네트워크 변화가 생기는지 연구할 필요가 있다. 이를 통해 초등학교에서 적절한 수준의 디지털 테크놀로지에 대한 논의를 이어갈 수 있을 것이다. 또한, 보조교사가 없는 상황이 일반적인 수업환경이므로 보조교사가 없는 상황에서의 디지털 테크놀로지를 활용한 확장 시민과학 수업을 전제하고, 적절한 디지털 테크놀로지와 인간 행위자 인프라가 무엇인지 고려한 연구가 필요할 것이다.

다섯째, 조금 더 여유로운 시간 속에서 수업 프로그램을 실행하면서 학생들이 답변을 확인하고, 대표성을 띈 행위자가 등록되는 모습을 보면서 존재 혹은 실재의 창발이 어떻게 이루어지는 후속 연구가 필요하다. 시민과학은 장기적인 지역사회 차원의 참여와 활동을 지향한다. 그러나 이 연구에서는 등록하기 단계에서 종업식이 바로 이어졌으며 학생들은 답변을 확인하지 않고 프로그램이 끝나버렸다. 또한, 이 과정에서 제안하는 글, 포스터 등은 살아남지 못하게 되었다. 이에 장기적인 연구 과정을 통해서 시간에 따른 학생들의 감정, 정체성, 행위성이 얽혀서 어떠한 변화가 이루어지는지 그리고 생산된 포스터와 제안하는 글들을 어떻게 생존하는지 확인하는 것이 어떠한 영향을 미치는지 확인해볼 필요가 있다. ANT의 철학적 배경에서 이러한 의미가 무엇이며 이를 기술하는 후속 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

고재경, & 예민지. (2020). 환경문제 해결을 위한 국내 시민과학 유형과 특성 연구. *환경정책연구, 28*(4), 181-213.

고재경, 김연성, & 예민지. (2019). 환경문제 해결을 위한 시민과학의 의미와 가능성. 경기연구원 기본연구, 1-288.

공혜정, 신연선, & 김옥주. (2016). 가습기 살균제 연구의 배후에 있는 재정적 이해상충에 대한 비판적 검토-미국대학의 경우와 비교를 통하여. *생명윤리정책연구, 9*(3), 1-43.

교육부. (2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 2015-74호 [별책 9].

교육부. (2020). 과학교육 종합계획 (2020~2024).

교육부. (2021). 2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안).

권성연. (2018). 성인학습자의 이러닝 학습환경에서 이러닝 준비도, 이러닝 학습전략, 만족도 간의 관계 분석. *학습자중심교과교육연구, 18*(18), 175-195.

김대식. (2017). 4차 산업혁명 시대 초등교육의 정체성과 역할. *교육사상연구, 31*(4), 23-45.

김가형, & 이현주. (2017). 지역사회연계 미세먼지 교육프로그램이 중학생들의 이슈에 대한 이해와 시민으로서의 인성과 가치관 함양에 미치는 효과. *한국과학교육학회지, 37*(6), 911-920.

김상홍. (2019). 스마트도구를 활용한 플립러닝 수업모형 개발. *학습자중심교과교육연구, 19*(10), 1021-1048.

김세련, 문은경, & 박인우. (2015). 온라인 수업환경에서 이러닝 준비도, 교수실재감, 학습자 참여 및 인지된 학업성취도에 대한 구조적 관계 분석. *교육정보미디어연구, 21*(4), 687-710.

김안영, & 신유진. (2017). 독일 청소년시설의 행위자네트워크분석을 통한 도심공간 이용유형에 관한 연구-청소년· 도시· 실험실 (Jugend· Stadt· Labor) 프로젝트 사례를 중심으로. *청소년시설*

환경, 15(1), 209-217.

김연수, 김선현, & 황진태. (2019). 행위자-연결망 이론으로 기후변화 적응의 공간을 번역하기: 서울시 수유동 빗물마을 사업을 사례로. *환경사회학연구 ECO, 23*(1), 159-196.

김지연. (2018). 한국의 시민과학이 전하는 메시지: 1982~2018. *과학기술학연구,* 18(2), 43-93.

김진택. (2012). 행위자 네트워크 이론(ANT)을 통한 문화콘텐츠의 이해와 적용: 공간의 복원과 재생에 대한 ANT의 해석. *인문콘텐츠,* (24), 9-37.

김철민, & 최충익. (2017). 행위자 네트워크 이론(ANT)을 통한 미세먼지 정책의 이해. *Crisisonomy, 13*(3), 43-53.

김환석. (2005). 행위자-연결망 이론 (Actor-Network Theory)에 대한 이해. *한국과학기술학회 강연/강좌자료*, 137-157.

김환석. (2011). 행위자-연결망 이론에서 보는 과학기술과 민주주의. *동향과 전망,* 83, 11-46.

김환석. (2020). 인간관계의 사회학에서 인간-비인간 관계의 사회학으로. *경제와 사회,* 266-273.

나서하. (2022). *아두이노를 활용한 시민과학 수업에서 나타나는 교사의 행위주체성 탐색.* 석사학위논문, 서울대학교.

남미자, & 장아름. (2020). 청소년 정치참여의 의미와 학교교육의 방향. *교육정치학연구, 27*(1), 31-60.

동풀잎. (2019). 유아 교실 속 디지털 사진이 구성하는 다양하고 예측 불가능한 관계와 의미: 행위자-네트워크 이론 중심으로. *교육인류학연구, 22*(3), 173-198.

류재훈, 최윤미, 김령희, & 유영만. (2016). 행위자 네트워크 이론(actor-network theory)을 기반으로 한 교육공학의 학문적 정체성 탐구. *교육공학연구, 32*(1), 1-27.

문현진. (2019). 미디어 생태학 관점에서의 초등 사회과 수업 연구. *사회과교육연구, 26*(4), 69-84.

박경환. (2013). 글로벌 시대 창조 담론의 제도화 과정: 행위자-네트워크 이론을 중심으로. *한국도시지리학회지, 16*(2), 31-48.

박남기. (2021). 포스트 코로나 시대 교육 새 패러다임 탐색. *한국초등교육, 32*(2), 17-32.

박종선. (2015). 사이버대학 성인학습자의 이러닝준비도가 학업성취에 미치는 영향에 대한 연구. *교육정보미디어연구, 21*(2), 289-307.

박창미. (2022). *테크놀로지 활용 탐구 기반 시민과학 프로그램 참여 학생의 과학 탐구와 사회적 전이 경험.* 박사학위논문, 서울대학교.

박휴용. (2021). 포스트휴머니즘의 등장과 학습 패러다임의 변화. *Global Creative Leader : Education & Learning, 11*(1), 45-71.

배을규 (2007). 일터 학습 이론의 한계와 방향: 세 가지 실천기반 학습이론의 관점에서. *교육의 이론과 실천, 12*(1), 189-208.

서향희, & 박주희. (2021). 학교현장에서 에듀테크(Edu Tech) 활용에 대한 예비교사의 인식 연구: Focus Group Interview를 중심으로. *학습자중심교과교육연구, 21*(23), 253-273.

성태제. (2017). 제4차 산업혁명시대의 인간상과 교육의 방향 및 제언. *교육학연구, 55*(2), 1-21.

신정윤, & 박상우. (2020). 시민과학 활동에 참여한 초등학생들의 과학 관련 정의적 특성 및 측정에 대한 인식 분석. *초등과학교육, 39*(2), 168-182.

신현정, 임성은, 강다연, & 김찬종. (2022). 청소년 기후 시위에 대한 현상학적 연구: 신유물론적 관점을 토대로. *환경교육, 35*(1), 82-109.

엄혜진. (2022). *아두이노를 활용한 시민과학 동아리 활동에서 나타나는 고등학생의 시민과학 정체성 탐색 : 행위력을 중심으로.* 석사학위논문, 서울대학교.

유금복, & 강은희. (2020). 스마트 도구 기반 수업 설계에서 초등 예비교사들의 도구 활용 특성 분석: 공유 및 커뮤니케이션 지원 도구를 중심으로. *현장과학교육, 14*(3), 389-400.

유금복, 이종혁, & 이선경. (2022). 행위자-네트워크 이론으로 본 과학적 실행의 현상 생성 사례. *교과교육학연구, 26*(2), 179-190.

이인숙. (2003). e-Learning 환경에서의 자기조절학습전략, 자기효능감과 e-Learning 학습전략 수준 및 학업성취도 관련성 규명. *교육공학연구, 19*(3), 41-68.

이중원, & 홍성욱 (2008). *필로테크놀로지를 말한다.* 서울: 북하우스.

이현주. (2018). *SSI 교육이란 무엇인가.* 서울:박영스토리.

임성은, 김종욱, & 김찬종. (2021). 사회적 실천지향 SSI 수업을 시행하면서 직면하는 초등 교사의 어려움 탐색-구조와 행위주체성 관점에서. *한국과학교육학회지, 41*(2), 115-131.

장대익. (2014). 라투르, 데닛을 만나다: 행위자 연결망과 지향계 이론. *과학철학, 17*(2), 57-82.

장진아. (2018). *시민과학기반 도시환경교육 프로그램의 개발과 적용.* 박사학위논문, 한국교원대학교.

장진아, & 정용재. (2017). 스마트 기기 도입이 과학탐구 활동을 어떻게 변화시킬 것인가?-교육대학원 초등과학 전공 교사의 인식 사례를 중심으로. *한국과학교육학회지, 37*(2), 359-370.

정인철, 김택수, & 황운구. (2007). 테크놀로지 활용수업에서 경험적 인식과 수학적 사고에 관한 연구-중학교 3학년 기하 단원을 중심으로. *한국학교수학회논문집, 10*(2), 207-219.

최종근. (2022). *데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 과학영재학교 학생들의 연구 문제 도출 과정과 과학적 실행 탐색 : 행위자-네트워크 이론(ANT) 기반 사례 연구.* 박사학위논문, 서울대학교.

하윤희. (2022). *행위자-네트워크 이론을 활용한 과학교사의 교육 정책 구현 및 수업 실행 이해.* 박사학위논문, 서울대학교.

하윤희, 임성은, & 김찬종. (2022). 행위자-네트워크 이론의 교육 분야 적용 연구 분석을 통한 과학교육 연구 기여 가능성 탐색. *한국과학교육학회지, 42*(3), 341-356.

홍찬숙. (2016). 울리히 벡. 서울: 커뮤니케이션북스.

홍선주, 조보경, 최인선, 박경진, 김현진, 박연정, 박정호, & 이영신. (2020). *학교 교육에서의 인공지능(AI) 활용 방안 탐색* (연구보고 RRI 2020-2). 한국교육과정평가원.

홍성욱. (2010). *인간 · 사물 · 동맹.* 강원: 이음.

Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a New Modernity* (Vol. 17). Thousand Oaks, CA: Sage.

Bautista-Puig, N., De Filippo, D., Mauleón, E., & Sanz-Casado, E. (2019). Scientific landscape of citizen science publications: Dynamics, content and presence in social media. *Publications, 7*(1), 12.

Bleakley, A. (2012). The proof is in the pudding: Putting Actor-Network-Theory to work in medical education. *Medical Teacher, 34*(6), 462-467.

Bonn, A. (2016). *Green Paper. Citizen Science Strategy 2020 for Germany. Projekt" Bürger schaffen Wissen-Wissen schafft Bürger"(GEWISS).*

Bonney, R. (1996). Citizen science: A lab tradition. *Living Bird, 15*(4), 7-15.

Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., & Wilderman, C. C. (2009a). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education.* A CAISE Inquiry Group Report.

Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009b). Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience, 59*(11), 977-984.

Bonney, R., Phillips, T. B., Ballard, H. L., & Enck, J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science?.

Public Understanding of Science, 25(1), 2-16.

Border, J. A., Newson, S. E., White, D. C., & Gillings, S. (2017). Predicting the likely impact of urbanisation on bat populations using citizen science data, a case study for Norfolk, UK. Landscape and Urban Planning, *162,* 44-55.

Borg, A. (2016, January 28). How will the Fourth Industrial Revolution affect economic policy? https://www.weforum.org/agenda/2016/01/how-will-the-fourth-industrial-revolution-affect-economic-policy/

Brewere, J., & Hunter, A. (1989). *Multimethod Research: A Synthesis of Styles.* Newbury Park, CA: Sage.

Butler, D. M., & MacGregor, I. D. (2003). GLOBE: Science and education. *Journal of Geoscience Education, 51*(1), 9-20.

Callon, M. (1986). *Some elements of a sociology of translation: Domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay.* London, England: Routledge.

Callon, M., & Latour, B. (1981). *Unscrewing the big Leviathan: how actors macro-structure reality and how sociologists help them to do so.* Boston: Routledge & Kegan Paul.

Callon, M., P. Lascoumes & Y. Barthe. (2009). Acting in an Uncertain World: An Essay on Technical Democracy. Cambridge, Mass: The MIT Press

Callon, M., Rip, A., & Law, J. (Eds.). (1986). *Mapping the dynamics of science and technology: Sociology of science in the real world.* Springer.

Checkland, P. (1999) Systems Thinking, Systems Practice. In: Currie, W.L. and Galliers, B., Eds., Rethinking Management Information Systems, Oxford University Press, Oxford, 45-56.

Clark, F., & Illman, D. L. (2001). Dimensions of civic science:

Introductory essay. *Science Communication, 23*(1), 5-27.

Clark, F., & Illman, D. L. (2001). Dimensions of civic science: Introductory essay," *Science Communication, 23*(1), 5-27.

Clery D. (2011). Galaxy Zoo volunteers share pain and glory of research. *American Association for the Advancement of Science,* 333, 173 - 175.

Cohn, J. P. (2008). Citizen science: Can volunteers do real research? *Bioscience, 58*(3), 192 - 197.

Cooper, S., Khatib, F., Treuille, A., Barbero, J., Lee, J., Beenen, M., Leaver-Fay, A., Baker, D., Popovic, Z., & Players, F. (2010). Predicting protein structures with a multiplayer online game. *Nature, 466*(7307), 756-760.

Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches (2nd ed.)*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Danielsen, F., Burgess, N. D., Jensen, P. M., & Pirhofer Walzl, K. (2010). Environmental monitoring: the scale and speed of implementation varies according to the degree of people's involvement. *Journal of Applied Ecology, 47*(6), 1166-1168.

Darg, D. W., Kaviraj, S., Lintott, C. J., Schawinski, K., Silk, J., Lynn, S., Bamford, S., & Nichol, R. C. (2011). Galaxy Zoo: Multimergers and the millennium simulation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 416*(3), 1745-1755.

Daugbjerg, P. S., de Freitas, E., & Valero, P. (2015). Mapping the entangled ontology of science teachers' lived experience. *Cultural Studies of Science Education, 10*(3), 777-801.

Davies, L., Fradera, R., Riesch, H., & Lakeman-Fraser, P. (2016). Surveying the citizen science landscape: an exploration of the design, delivery and impact of citizen science through the lens

of the Open Air Laboratories (OPAL) programme. *BMC ecology, 16,* 1-13.

Deleuze, G., & Guattari, F. (1980). *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia.* NY:Bloomsbury Publishing.

Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The Sage handbook of qualitative research* (4th ed). Thousand Oaks, CA: Sage.

English, P. B., Richardson, M. J., & Garzón-Galvis, C. (2018). From crowdsourcing to extreme citizen science: participatory research for environmental health. *Annual Review of Public Health, 39,* 335-350.

Eitzel, M., Cappadonna, J., Santos-Lang, C., Duerr, R., Virapongse, A., West, S. E., Kyba, C. C., Bowser, A., & Jiang, Q. (2017). Citizen science terminology matters: Exploring key terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, *2*(1), 1-20.

Elizabeth Pate, P., Guerrero, A., & Dobie, D. F. (2015). *Carrizo Springs, Texas—The Story of the Systems Academy of Young Scientists (SAYS). In EcoJustice, Citizen Science and Youth Activism (pp. 223-245).* Springer:Cham.

Edwards, R. (2011). Translating the prescribed into the enacted curriculum in college and school. *Educational Philosophy and Theory, 43*(sup1), 38-54.

English, P. B., Richardson, M. J., & Garzón-Galvis, C. (2018). From crowdsourcing to extreme citizen science: participatory research for environmental health. *Annual review of public health,* 39, 335-350.

Esmonde, K. (2019). Tracing the feedback loop: a Foucauldian and actor-network-theory examination of heart rate monitors in a physical education classroom. Sport, *Education and Society,* 24(7), 689-701.

Fazio, X., & Karrow, D. D. (2015). The commonplaces of schooling and citizen science. In *Ecojustice, Citizen Science and Youth Activism* (pp. 179-191). Springer: Cham.

Fenwick & Edwards. (2011). Introduction Reclaiming and Renewing Actor Network Theory for Educational Research. *Educational Philosophy and Theory, 43*(sup1), 1-14.

Follett, R., & Strezov, V. (2015). An analysis of citizen science based research: usage and publication patterns. *PloS ONE,* 10(11).

Ga, S., 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.

Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research.* Routledge.

Haklay, M. (2013). Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. *Crowdsourcing Geographic Knowledge,* 105-122.

Hoffmann, R. (2008). A wiki for the life sciences where authorship matters. *Nature Genetics, 40*(9), 1047-1051.

Horzum, M. B., Kaymak, Z. D., & Gungoren, O. C. (2015). Structural equation modeling towards online learning readiness, academic motivations, and perceived learning. *Educational Sciences: Theory & Practice, 15*(3).

Irwin, A. (1995). *Citizen science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development.* London, England: Routledge.

Jacobson, S. K., McDuff, M. D. & Monroe, M. C. (2005). *Conservation Education and Outreach Techniques.* Oxford University Press.

Jenkins, L. L., Walker, R. M., Tenenbaum, Z., Sadler, K. C., & Wissehr, C. (2015). Why the Secret of the great smoky

mountains institute at tremont should influence science education—connecting people and nature. In Ecojustice, citizen science and youth activism (pp. 265-279). Springer, Cham.

Kelling, S., Hochachka, W. M., Fink, D., Riedewald, M., Caruana, R., Ballard, G., & Hooker, G. (2009). Data-intensive science: a new paradigm for biodiversity studies. *BioScience, 59*(7), 613-620.

Kerson, R. (1989), "Lab for the Environment". *MIT Technology Review,* 92(1), 11-12.

Kimura, A., & A. Kinchy. (2016). "Citizen Science: Probing the Virtues and Contexts of Participatory Research", *Engaging Science, Technology, and Society, 2*:331-61

Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society.* Harvard University Press.

Latour, B. (1990). On actor-network theory. A few clarifications plus more than a few complications. *Philosophia, 25*(3), 47-64.

Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory.* Oxford: Oxford University Press.

Latour, B. (2007). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory.* Oxford University Press.

Latour, B. (2012). *브뤼노 라투르의 과학인문학 편지: 인간과 자연 과학과 정치에 관한 가장 도발적인 생각.* (이세진 역). 고양: 사월의 책. (Original work published 2010)

Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Knowledge.* NJ: Princeton.

Law, J. (1986). *The Heterogeneity of Texts. In Mapping the Dynamics of Science and Technology (pp. 67-83).* Palgrave Macmillan: London.

Law, J. (1992). Notes on the theory of the actor-network: Ordering,

strategy, and heterogeneity. *Systems Practice, 5*(4), 379-393.

Law, J. (2009). Actor network theory and material semiotics. *The New Blackwell Companion to Social Theory, 3,* 141-158.

Lwin, K. K., & Murayama, Y. (2011). Web-based GIS system for real-time field data collection using a personal mobile phone. *Journal of Geographic Information System, 3*(4), 382.

MacClune, K., Kanmani Venkateswaran, B., Wahab, S. P., Mani, N., & Kumar, B. (2018). Collaborative and Equitable Urban Citizen Science. The Urban Planet: Knowledge Towards Sustainable Cities, 239.

McKinley, D. C., Miller-Rushing, A. J., Ballard, H. L., Bonney, R., Brown, H., Cook-Patton, S. C., ... & Soukup, M. A. (2017). Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation, 208,* 15-28.

Means, B., Penuel, W. R., Crawford, V. M., Korbak, C., Lewis, A., Murphy, R. F., & Yarnall, L. (2001). *GLOBE Year 6 evaluation: Explaining variation in implementation.* Menlo Park, CA: SRI International.

Merriam, S. B. (1998). Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from" Case Study Research in Education.". Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104.

Merriam, S. B. (2009). *Qualitative Research: A Guide to Design and Implementation.* San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook.* Thousand Oaks, CA: Sage.

Miller-Rushing, A., Primack, R., & Bonney, R. (2012). The history of public participation in ecological research. Frontiers in Ecology

and the Environment, 10(6), 285-290.

Morzy, M. (2015). “ICT Services for Open and Citizen Science”, *World Wide Web,* 18(4): 1147-1161.

Mulcahy, D. (2011). Assembling the ‘accomplished’ teacher: The performativity and politics of professional teaching standards. *Educational Philosophy and Theory,* 43, 94-113.

Newman, G., Wiggins, A., Crall, A., Graham, E., Newman, S., & Crowston, K. (2012). The future of citizen science: Emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment,* 10(6), 298 - 304.

Pate, P. E., Guerrero, A., & Dobie, D. F. (2015). Carrizo Springs, Texas—The Story of the Systems Academy of Young Scientists (SAYS). In EcoJustice, citizen science and youth activism (pp. 223-245). Springer, Cham.

Penuel, W. R., Bienkowski, M., Gallagher, L., Korbak, C., Sussex, W., Yamaguchi, R., & Fishman, B. J. (2006). *GLOBE Year 10 evaluation: Into the next generation.* Menlo Park, CA: SRI International.

Schwab, C. (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. Retrieved February 1, 2016, from https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/?DAG=3&gclid=CjwKCAiAqt-dBhBcEiwATw-ggL_FsMpjyfC6KUMsOL8B-TUGFYvFAMqnqs6yYTTu_UUpgGa3lwsJwRoC5yEQAvD_BwE

Schwandt, T. A. (2001). *Dictionary of Qualitative Inquiry (2nd ed.).* Thousand Oaks, CA: Sage.

Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution, 24*(9), 467-471.

Stake, R. E. (1981). Case study methodology: An epistemological

advocacy. Case study methodology in educational evaluation. Minneapolis: Minnesota Research and Evaluation Center, 272.

Stake, R. E. (1995). *The are of Case Study Research*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Strauss, A. L. (1987). *Qualitative analysis for social scientists*. New York: Cambridge University Press.

Stepenuck, K. F., & Green, L. T. (2015). Individual-and community-level impacts of volunteer environmental monitoring: a synthesis of peer-reviewed literature. Ecology and society, 20(3).

Thompson, S. (2007) *BirdSleuth: Final Evaluation Report.* Ithaca, NY: Seavoss Associates.

Van Den Berg, H. A., Dann, S. L., & Dirkx, J. M. (2009). Motivations of adults for non-formal conservation education and volunteerism: Implications for programming. *Applied Environmental Education and Communication, 8*(1), 6-17.

Wiggins, A., & Crowston, K. (2011, January). *From conservation to crowdsourcing: A typology of citizen science.* In 2011 44th Hawaii international conference on system sciences (pp. 1-10). IEEE.

Yilmaz, R. (2017). Exploring the role of e-learning readiness on student satisfaction and motivation in flipped classroom. *Computers in Human Behavior, 70,* 251-260.

Yin, R. K. (2003). *Cast Study Research Design and Methods (3rd ed.).* Thousand Oaks, CA: Sage.

Abstract

An Exploration of the Implementation of a Citizen Science Education Program Using Digital Technology in an Elementary Classroom Using Actor-Network Theory

Sung-Eun Lim

Dept. of Science Education (Earth Science)

The Graduate School

Seoul National University

Recently, various forms of irreversible challenges, such as global warming and COVID-19, that have been difficult to control have emerged, and the results have become difficult to predict. To solve these problems, students need civic competencies with a scientific understanding of science- and technology-related issues and transformational capabilities geared toward the future to seek and practice direct solutions. Extreme citizen science education can enhance citizens' future capabilities by helping them explore science and technology-related topics directly related to real life,

seek solutions, and participate in the problem-solving processes through individual politicized actions. Therefore, this study focused on an extreme citizen science education program.

This study organized an extreme citizen science education class program using digital technology, focusing on the possibility that rapidly introduced digital technology can contribute to promoting extreme citizen science activities. In other words, digital technology was used in class programs because it made obtaining data for extreme citizen science activities related to the atmospheric environment easy and fulfilled the need for a technical platform that acquired, integrated, and converted data.

Extreme citizen science education programs which are using digital technology consist of human and non-human actor networks. For example, technology is a non-human actor that enables and facilitates extreme citizen science activities while facilitating data collection, transformation, and communication functions. In this way, due to the nature of a program that consists of networks between various humans and non-humans, it is necessary to include both humans and non-humans actors as objects of analysis to analyze the execution process in depth. Therefore, this study aimed to understand teaching and learning phenomena in a new and comprehensive way by focusing on Actor-Network Theory (ANT), which looks at behavior through human and non-human actor networks.

This study aimed to obtain implications for extreme citizen science education by analyzing the process of preparing and implementing extended extreme citizen education using digital technology from an ANT perspective. There were two specific research questions: What is the network construction process that

appears when implementing an extreme citizen science education program using digital technology in elementary schools? What are the network and the process of change that occurred as a result of the group activities of this program?

Participants in the study were one homeroom teacher and 21 students in the fifth grade of H Elementary School in Seoul. The program was developed by the researcher that was revised and supplemented for the level of elementary school students through discussions with assistant teachers and teachers. It consisted of 24 sessions in three step : Step 1 (understanding digital technology), Step 2 (scientific inquiry activities), and Step 3 (social action). The digital technology used in the class consisted of hardware and software involving devices that collected data about atmospheric environments and converted the collected data into numbers and graphs. Data from in-depth interviews with participants, the teacher's reflection journal, and the participation observation journal were collected and were analyzed by the Callon's (1986) four stages of translation to described the trajectory of the network. And the collected data was analyzed and described as the process of folding and unfolding networks between actors over time for each program steps. After that, the data were analyzed using a continuous comparative analysis method.

The results of the study are as follows. First, in the process of preparing and implementing an extreme citizen science education program using digital technology, the characteristics of the network construction process were examined. In the problematization stage, the behavior of disturbing the existing education network, which began with the researcher, led to the

teacher's interest, and the teacher continued and expanded by raising the problem to students on behalf of the researcher. However, more and more actors failed to pass the initial OPP(Obligatory Passage Point) set at the stage of raising the issue, causing the overall alliance to falter, resulting in cases of betrayal, which led to a change of the OPP. After that, the main actors began to try again to form alliances to achieve their respective interests while making the changed OPP mandatory. At the attention-grabbing stage, the researcher used various strategies and devices to continue to cause interest of teachers and students, and the teacher also discussed various strategic devices with the researcher and used various strategic devices to arouse students' interest. Non-human actors caused students' interest without intention. However, each actor had various positions and expected benefit, increasing the complexity of network construction and making it difficult to recruit. Due to these differences, there were various cases, such as successful registration, betrayal, and complex cases. After that, the stage of registration occurred briefly through the proposed articles and posters, but it ended without receiving a proper answer due to reasons such as the closing ceremony.

Second, during the process of implementing the extreme citizen science education program using digital technology, the network and change processes formed in small-group activities were examined. Students were able to confirm that new non-human and human actors entered the educational field and changed the existing network formation method, which had been fixed as a problem-solving strategy. The learning strategies used were different for each student, and the network was stabilized,

including various human and non-human actors. In addition, the results showed that even if the non-humanization of digital technology and student actor fails to make black box, a discourse can be formed through the inscription. Learning was more active in the group where members interacted organically with each other in their network than in the group where members have the limited role. The expressed behavior was different depending on which actor was connected to the non-human actor such as digital technology and the inscription. Unpredictable situations that occurred by broken black box greatly influenced learning. This process indicated that non-human actors were beings with agency large enough to disturb the teaching and learning network. In addition, results of learning activities appeared not to be due to the capabilities or abilities of the human actors, but to be due to various complex network processes. Connections by human actors unintentionally made the expansion of learning networks fail. In terms of social behavior, adult actors needed to intervene to actively relate to inscription-student-actors outside of school.

These research results have the following educational implications. First, to help with learning, it is necessary to use various methods to have multiple human and non-human actors. In addition, in order to develop meta recognizing ability of how to appropriately involve them according to their needs, we should help students to directly or indirectly experience to involve various actors. Second, in order for non-human actors to exhibit appropriate behavior in the educational field, support must be provided in consideration of various factors surrounding non-human actors. To this end, it is necessary to dismantle the black boxed non-human actor before introducing it into the

teaching and learning situation. Through this process, it will be possible to appropriately adjust the stage of meeting the actors who make up the non-human so that it is appropriate to the level of the students. Third, the design of teaching and learning should consider that knowledge is acquired and that learning occurs in the process of constructing networks with both non-humans and humans. In the process of examining the causes of learning outcomes, finding that human and related non-human actors are intertwined in multiple ways can allow new perspectives on teaching and learning problems that have not been solved. Fourth, education and learning also need to be understood as a result of human/non-human interaction. This is important because it can suggest looking at teaching and learning from a new perspective that breaks away from the humanistic perspective in educational research.

This study shows through case studies that learning involves a network composition that goes beyond the existing teaching and learning perspective, suggesting possibilities for how to prepare classes from a network perspective and how to help learning. The aim is for educational discussions to be continued from a new perspective by providing an opportunity to reconsider the roles and positions of non-humans that have heretofore been overlooked. In addition, this research aims to support the effective application of extreme citizen science education programs in the future by expanding understanding of the process of preparing and applying expanded extreme citizen science education using digital technology.

keywords : extreme citizen science education, Actor-Network

Theory(ANT), digital technology, elementary school, science education
Student Number : 2018-30076