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

# 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 과학영재학교 학생들의 연구 문제 도출 과정과 과학적 실행 탐색

## - 행위자-네트워크 이론(ANT) 기반 사례 연구 -

2022년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과(지구과학전공)

최 종 근

# 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 과학영재학교 학생들의 연구 문제 도출 과정과 과학적 실행 탐색

- 행위자-네트워크 이론(ANT) 기반 사례 연구 -

지도교수 김 찬 종

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함

2022년 5월


서울대학교 대학원

과학교육과(지구과학전공)

최 종 근


최종근의 박사 학위논문을 인준함

2022년 7월

위 원 장 서 기 원 (인)

부위원장 김 찬 종 (인)

위 원 윤 혜 경 (인)

위 원 오 필 석 (인)

위 원 Sonya N. Martin (인)

# 국문초록

우리는 수많은 정보가 창의적이고 혁신적인 지식과 융합하여 새로운 가치를 창출하는 지식정보화사회에 살고 있다. 이러한 사회에서는 과학기술 기반의 산업사회에서 유용했던 문제해결력과는 다른 새로운 범위의 문제해결력이 필요하며, 최근 이를 함양하기 위한 주요 방안으로 방대한 데이터 중 의미 있는 데이터를 수집하고 활용할 수 있는 능력인 데이터 리터러시가 주목받고 있다.

과학 교육 현장에서 과학 탐구 경험의 중요성이 인식되면서 학생이 주체가 되어 과학자의 탐구 과정을 경험할 수 있는 R&E(research & education) 프로그램이 확산되고 있으나 이러한 교육 방법에 익숙하지 않은 학생들은 연구 주제 도출 과정에서부터 다양한 어려움을 겪을 수 있다. 본 연구에서는 데이터 리터러시를 학생들이 R&E 프로그램에서 겪는 문제들을 스스로 해결할 수 있도록 하는 방법으로 활용하기 위해 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하였다. 이후 개발한 R&E 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 행위자-네트워크 이론(이하 ANT)의 관점에서 살펴봄으로써 데이터 리터러시가 학생들이 연구자로 성장하는데 어떤 기여를 할 수 있는지 알아보았으며, 이를 통해 학생들의 과학 지식 생산 과정에 대한 새로운 시각을 제공하고자 하였다.

본 연구의 연구 참여자는 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 과학영재학교 1학년 학생 4명이며, 연구자는 학생들의 지도교사로 참여하면서 문서, 면담, 관찰, 시청각 자료를 수집하였다.

ANT에서는 과학 지식의 구성 과정을 인간과 비인간 행위자들 사이

의 동맹으로 구축되는 이종 네트워크로 설명하며, 비인간 행위자도 능동적으로 지식을 구성하는 행위자로 존재할 수 있다. 이러한 관점에서 학생들이 R&E 프로그램에서 보인 연구 주제 도출 과정을 이종 네트워크의 구성으로 보고, 문제제기, 관심끌기, 등록하기, 동원하기로 이루어진 번역의 4단계로 다양한 행위자들의 역동적인 상호 작용을 분석하고자 하였다. 이를 위해 연구 주제 도출 과정에 등장하는 주요 행위자들을 판별하고 번역의 단계에 따라 이들의 상호 작용이 변화하는 모습을 분석하였다. 이 같은 과정을 거쳐 연구 주제 도출에 나타난 데이터 리터러시의 작용을 파악하고, 비인간 행위자인 데이터가 연구 주제 도출 네트워크에서 어떤 행위력을 발휘할 수 있는지 알아보았다. 문제제기 단계에서는 지도교사가 연구 주제 도출을 목표로 하여 학생, 과학자, 데이터를 네트워크의 주요 행위자로 끌어들이면서 '연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 활용하는 것'을 의무통과점이 되도록 하였다. 학생들은 스스로의 힘으로 연구 주제를 도출하는데 어려움을 겪었으며, 이러한 경험은 데이터를 활용할 수 있는 능력의 필요성을 인식하게 되는 중요한 계기가 되었다. 관심끌기 단계에서는 지도교사가 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정에 참여할 것을 제안하였고, 학생들은 이 과정에 참여함으로써 데이터 생성, 조직, 관리, 활용, 분석 능력과 데이터에 기반한 의사소통능력을 키울 수 있었다. 이때 지도교사가 제안한 데이터 리터러시 함양 과정은 학생들에게 '관심끌기 장치'로 작용하였다. 등록하기 단계에서는 학생들이 데이터 리터러시 함양 과정에서 키운 데이터 활용 능력을 통해 연구 주제 도출에 성공하는 모습을 보여주었다. 마지막으로 동원하기 단계에서 학생들은 연구 목표를 이루기 위해 연구 설계와 수행 절차에 돌입하였으며, 이러한 과정의 대부분은 연구 노트에 기록되었고, 연구 노트는 연구 계획서의 형태로 치환되었다.

연구 주제 도출 네트워크의 구성은 학생과 데이터를 중심으로 한 다양한 상호 작용에 의해 이루어졌으며 특히 학생들의 데이터 리터러시 함양이 활발한 데이터 리터러시 요소의 등장을 이끌었음을 파악하였다. 이때 데이터 리터러시는 네트워크 내에서 매개자의 역할을 함으로써 학생들이 데이터를 번역하고 데이터와 상호 작용하여 연구 주제를 도출하는데 기여하였다. 이는 비인간 행위자인 데이터가 행위력을 발휘하여 연구 주제 도출 네트워크의 다른 행위자들의 행위를 변화시킬 수 있음을 알려준 사례였다. 또한 연구 주제 도출 과정에서 어려움이 발생하였을 때 다양한 우회가 나타났으며, 이러한 우회들은 지도교사, 과학자와 같은 인간 행위자와 더불어 데이터와 같은 비인간 행위자에 의해 발생할 수 있음이 파악되었다. 이를 통해 연구 주제 도출 과정이 단순히 선형적이지 않으며, 다양한 행위자에 의해 구성되는 이종 네트워크의 형태를 띠고 있음을 알 수 있었다.

과학자의 지식 생산 과정인 과학적 실행은 다양한 행위자가 얽힌 이종 네트워크로 볼 수 있으며, 과학자들은 기입 활동을 통해 지식을 구성하고 행위자들을 연결한다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 학생들이 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여하면서 나타낸 과학적 실행의 과정과 특징을 살펴보고자 '기입'에 주목하였다. 우선, R&E 프로그램에 나타난 여러 기입을 연대기 순으로 나열하고 연구의 진행에 중요한 역할을 한 주요 기입을 정하였으며, 주요 기입을 중심으로 발생한 행위자 간의 상호 작용과 이에 따른 기입의 변화를 살펴보았다. 그 결과 과학적 실행은 학생들이 기입을 통해 과학적 사실을 구성하고 확산하는 과정임을 알 수 있었다. 또한 각각의 실행 목록을 근거로 학생들이 과학적 실행에 참여하였는지를 판단하기보다는 과학적 실행을 R&E 프로그램 과정 중 발생한 관찰 가능한 다양한 학문적 리터러시 이벤트들과 이들을 연결하는 기입들에 의해 형성된 네트워크의 형태로 인식해야 함을 파악하였다.

학생들의 과학적 실행에는 학생들과 상호 작용하면서 새로운 현상을 구성한 기입과 기입 장치와 같은 비인간들의 역할이 매우 중요했다. 학생들은 R&E 프로그램에서 적절한 기입과 기입 장치를 활용함으로써 연구 목표를 달성할 수 있었고, 이는 비인간이 인간과 협력하면서 인간의 인식과 행위를 변화시키고 새로운 현상을 창출하는 행위 능력을 보여준 사례였다. 더불어 과학적 실행 네트워크를 강화하기 위한 다양한 네트워크가 구성되는 모습이 나타났다. 표층 수온 예측, 책상 배치, 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유의 예는 처음부터 효과적으로 연구를 수행하고자 하는 목적을 갖고 계획적으로 구성한 네트워크가 아니었지만 이러한 네트워크들은 과학적 실행 네트워크를 구성하고 강화하는 기능을 하였다.

본 연구의 결과는 데이터 리터러시 함양이 학생들이 스스로 지식을 구성하는 과학자 활동 경험에 기여했음을 알려준다. 이러한 결과는 자기 주도적 연구 환경에서 과학자로서의 역량을 함양할 수 있도록 하는 하나의 방법으로 데이터 리터러시를 인식하고, 교육 분야에 데이터 리터러시를 효과적으로 적용하기 위한 구체적인 연구가 이루어질 필요가 있음을 시사한다. 특히 현대 사회가 기술의 발달로 데이터의 양과 종류에도 큰 변화가 일어나 능력만 갖추고 있으면 누구나 시간과 장소를 불문하고 데이터를 활용할 수 있는 환경이라는 점은 데이터 리터러시 함양에 대한 필요성을 더욱 강조하고 있다.

또한 본 연구에서는 비인간들이 행위력을 발휘하여 과학적 실행 네트워크의 구성에 큰 역할을 하는 과정을 보여주었다. 이는 과학 교육 현장에서 사물의 역할을 확대하고 주목함으로써 그간 미처 인식하지 못했던 다양한 학습의 요인들을 파악하고자 하는 시도가 있어야 함을 시사한다. 이를 위해서는 행위자 사이의 관계나 상호 작용에 대한 경험적이고 기술적인 연구가 면밀하고 풍부하게 이루어져야 한다. 더 나아가 이러한 연구 결과를 누적하

고 그 논의들을 바탕으로 다양한 교육 프로그램에 적용함으로써 인간, 자연, 사회, 사물과 같은 다양한 행위자들이 어우러진 종합적인 교수-학습 방안의 효과에 대해 알아보는 시도가 필요할 것이다. 더불어 학생들이 과학적 실행을 이뤄나가는데 적절한 기입을 생산할 수 있는 능력을 함양하는 방법에 대한 다각적인 연구도 필요하리라 생각된다.

주요어 : R&E 프로그램, 행위자-네트워크 이론(ANT), 데이터, 데이터 리터러시, 과학적 실행, 기입
학 번 : 2007-30419

# 목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
1. 연구의 배경 및 필요성 ····· 1
2. 연구 문제 ····· 8
3. 용어의 정의 ····· 9
가. R&E(research & education) 프로그램 ····· 9
나. 데이터(data)와 데이터 리터러시(data literacy) ····· 9
다. 과학적 실행(science practices) ····· 10
라. 기입(inscription) ····· 11
마. 학문적 리터러시 이벤트(disciplinary literacy event) ··· 12
4. 연구의 제한점 ····· 13

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 15
1. 미래 과학자 양성을 위한 연구 중심 교육 프로그램 ··· 15
가. R&E 프로그램의 특징 ····· 15
나. R&E 프로그램에 대한 선행 연구와 시사점 ····· 18
다. R&E 프로그램과 과학적 실행 ····· 23
2. 지식정보화사회와 데이터 활용 ····· 27
가. 데이터의 의미와 구분 ····· 27
나. 데이터 리터러시 ····· 31
다. 데이터 리터러시에 대한 교육 연구 ····· 35
3. 행위자-네트워크 이론 ····· 41
가. 행위자-네트워크 이론의 주요 개념 ····· 44
나. 행위자-네트워크 이론과 교육 연구 ····· 50
다. 행위자-네트워크 이론과 과학 교육 ····· 57

Ⅲ. 연구 방법 및 절차 ····· 67
1. 연구 맥락 및 연구 참여자 ····· 68
가. 연구 맥락 ····· 68
나. 연구 참여자 ····· 69
2. 연구 절차 ····· 74
가. 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램의 개발 ·· 76
나. 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램의 적용 ·· 86
3. 자료 수집 ····· 88
4. 자료 분석 ····· 90
가. 자료 분석 ····· 90
나. 분석 결과의 신뢰성 확보 ····· 98

Ⅳ. 연구 결과 및 논의 ····· 100
1. 연구 주제 도출 네트워크 구성 ····· 100
가. 문제제기 ····· 100
나. 관심끌기 ····· 113
다. 등록하기 ····· 126
라. 동원하기 ····· 135
2. 연구 주제 도출 네트워크의 특징 ····· 137
가. 학생 및 데이터를 중심으로 한 상호 작용 ····· 137
나. 네트워크의 구성을 위한 우회 과정 ····· 147
3. R&E 프로그램에서 관찰된 학생들의 과학적 실행 과정 ····· 152
가. 기입을 통한 사실의 구성과 확산 ····· 153
나. 기입에 의한 학문적 리터러시 이벤트들의 연결 ····· 167

4. R&E 프로그램에서 관찰된 학생들의 과학적 실행 특징 ····· 176
가. 인간과 비인간의 협력에 의한 기입의 생성 ····· 177
나. 새로운 네트워크의 구성 ····· 187

Ⅴ. 결론 및 제언 ····· 193
1. 요약 및 결론 ····· 193
2. 토의 ····· 195
3. 제언 ····· 198

참고문헌 ····· 202
부록 ····· 214
[부록 1] 데이터 수집 도구 소개 자료(일부) ····· 214
[부록 2] 라즈베리파이로 데이터 수집하기 실습 자료(일부) ····· 215
[부록 3] 기상 데이터 시각화 및 예측 실습 자료 ····· 216
Abstract ····· 225

# 표 목 차

<표 Ⅱ-1> 과학적 소양 모형의 세 가지 차원(교육부, 2019) … 16

<표 Ⅱ-2> 과학 및 공학적 실행의 종류 …… 25

<표 Ⅱ-3> 데이터 구분에 따른 수집 도구의 예 …… 29

<표 Ⅱ-4> 데이터 리터러시의 범주(배화순, 2019) …… 34

<표 Ⅱ-5> Callon의 번역의 4단계(조인성, 2021) …… 48

<표 Ⅲ-1> 연구 참여자의 특징 …… 72

<표 Ⅲ-2> 데이터 리터러시 함양 과정의 내용 및 전략 … 79

<표 Ⅲ-3> 번역의 각 단계에 나타나는 주요 특징 …… 91

<표 Ⅲ-4> 번역의 각 단계에 나타난 상호 작용의 예 …. 93

<표 Ⅲ-5> 데이터 리터러시의 범주와 세부 요소 …… 95

<표 Ⅲ-6> 번역의 각 단계에 나타난 데이터 리터러시 요소의 예 …… 96

<표 Ⅳ-1> 데이터 리터러시 함양 과정의 단계별 학생과 교사 활동 ……115

<표 Ⅳ-2> [사례1]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소 ……139

<표 Ⅳ-3> [사례2]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소 ····· 140
<표 Ⅳ-4> [사례3]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소 ····· 142
<표 Ⅳ-5> 학문적 리터러시 이벤트와 주요 기입 ····· 167
<표 Ⅳ-6> 학생들이 달성한 과학적 실행 목록 ····· 174

# 그 림 목 차

<그림 Ⅱ-1> R&E 교육의 기대효과(이선길, 2006) ····· 19

<그림 Ⅱ-2> 데이터 리터러시의 상호 작용(Redrawn from Bhargava et al., 2015) ····· 33

<그림 Ⅱ-3> 과학 데이터 분석 탐구 모형(손미현, 2020) ·· 40

<그림 Ⅱ-4> 과학적 실행의 구성 요소(Redrawn from Stroupe, 2015) ····· 61

<그림 Ⅲ-1> 연구 절차 ····· 75

<그림 Ⅲ-2> 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램 ··· 77

<그림 Ⅲ-3> 온라인 플랫폼의 활용 ····· 87

<그림 Ⅳ-1> 지도교사와 과학자의 대화 ····· 104

<그림 Ⅳ-2> 승현이가 제시한 유튜브 영상 ····· 106

<그림 Ⅳ-3> 인성이가 제시한 오존(좌) 및 이산화질소(우) 시각화 자료 ····· 109

<그림 Ⅳ-4> 문제제기와 관련이 있는 행위자들과 그들의 목표 ····· 113

<그림 Ⅳ-5> 데이터베이스 접속(좌)과 데이터 수집(우) ··· 118

<그림 Ⅳ-6> 학생들의 데이터 관리 ····· 119

<그림 Ⅳ-7> Orange3를 활용한 미세먼지와 오존 농도 변화 경향성 파악 ····· 121

<그림 Ⅳ-8> Orange3를 활용한 변인 간 상관관계 분석(좌) 및 계절 변동을 제거한 미세먼지 농도 변화 경향성(우) ····· 121

<그림 Ⅳ-9> 문제 발견 과정에서 학생들이 도출한 연구 주제들 ····· 124

<그림 Ⅳ-10> 승현이가 제시한 IPCC 제6차 보고서의 그림 ·· 128

<그림 Ⅳ-11> 도윤이가 제시한 두 지점의 시간에 따른 표층 수온 변화 그래프 ····· 132

<그림 Ⅳ-12> 연구 주제 도출에 대한 과학자의 조언들 ··· 133

<그림 Ⅳ-13> 학생들이 작성한 연구 노트(상)와 연구 계획서 일부(하) ····· 136

<그림 Ⅳ-14> 연구 주제 도출을 위한 우회 과정 ····· 151

<그림 Ⅳ-15> 학생들이 검색을 통해 찾은 논문 일부 ···· 155

<그림 Ⅳ-16> 학생들이 시각화한 수온 연직 분포. 2월(좌), 3월(우) ····· 156

<그림 Ⅳ-17> 기입의 변화 ····· 157

<그림 Ⅳ-18> 관찰 가능한 얼음의 부피 변화.

실험 시작(좌)과 3시간 후(우) ····· 159

<그림 Ⅳ-19> 수집된 데이터 ····· 159

<그림 Ⅳ-20> 얼음의 무게 변화를 시각화한 데이터 ····· 160

<그림 Ⅳ-21> 학생들이 작성한 발표 자료 일부 ····· 161

<그림 Ⅳ-22> 학생들의 발표 ····· 165

<그림 Ⅳ-23> 지구과학 수업의 유인물 자료 ····· 169

<그림 Ⅳ-24> R&E 프로그램에서 구성된 학문적 리터러시

네트워크 ····· 172

<그림 Ⅳ-25> 연구 노트에 작성한 실험 계획 ····· 178

<그림 Ⅳ-26> 실험 데이터를 처음 시각화한 그래프 ····· 179

<그림 Ⅳ-27> 학생들이 제작한 비닐 통로와 이때 물의 움직임 ··· 182

<그림 Ⅳ-28> 2020년 1월의 실제 표층 수온(좌)과 예측값(우) ··· 188

<그림 Ⅳ-29> 학생들의 토의 과정 ····· 189

<그림 Ⅳ-30> 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유의 예 ··· 190

# Ⅰ. 서 론

## 1. 연구의 배경 및 필요성

미래 사회를 이끌어나갈 창의적 인재 육성에 진정한 과학 탐구 경험이 중요하다는 것을 인식하면서 학생들이 과학자의 연구에 직접 참여하여 다양한 형태의 지식을 경험하는 교육 방법이 세계적으로 확산되는 추세이다(이민주, 2016; Hunter et al., 2007; Hsu et al., 2010). 이와 같은 맥락에서 국내 영재교육기관에서는 국가의 미래를 견인하고 사회변화에 유연하게 대처할 수 있는 창의 융합형 인재를 양성하고자 다양한 형태의 교육을 진행하고 있으며, R&E(research & education) 프로그램은 이러한 교육의 대표적 형태 중 하나라고 할 수 있다. R&E 프로그램은 독립적인 탐구 중심 교육 활동 영역으로 연구와 교육이 상보적인 관계에서 병행되는 특징이 있으며(최호성, 2003), '연구 중심 교육'을 통한 미래 연구자 양성을 목적으로 한다. R&E 프로그램에 참여하는 학생들은 연구자가 겪을 수 있는 다양한 경험들을 미리 체험하고, 그 과정에서 발생하는 문제들을 해결해가며 한 단계씩 연구 목표를 달성함으로써 연구자 역량을 키워나가게 된다.

R&E 프로그램을 통한 교육은 과학고와 과학영재학교, 과학 중점학교는 물론 일반계 고등학교에 이르기까지 활발하게 이루어지고 있다(이민주, 2016). 특히 초·중등교육법 대신 영재교육 진흥법의 적용을 받아 독자적 교육과정 운영이 가능한 과학영재학교에서는 R&E 프로그램을 정규 교육과정에 포함시켜 과학 영재교육의 효과를 극대화하고자 하였다

(김경대와 심재영, 2008). 이러한 R&E 프로그램은 연구 주체에 따라 교수나 전문 과학자의 연구실에서 연구 관련 경험을 하게 되는 '사사 중심 R&E 프로그램'과 학생 스스로 주체적 입장이 되어 연구의 전 과정을 팀원 간 합의로 결정하게 되는 '학생 주도 R&E 프로그램'으로 구분할 수 있다(이민주, 김희백, 2019).

R&E 프로그램에 대한 많은 관심은 다양한 관련 연구로도 이어졌다. 과학고등학교나 과학영재학교를 대상으로 이루어진 연구에서는 주로 설문조사나 면담을 통해 획득한 R&E 프로그램의 효과, 문제점, 발전 방안에 대한 연구 결과가 제시되었다. 이후 R&E 프로그램이 과학중점학교를 비롯한 일반계 고등학교로까지 확대되면서 학생들의 프로그램 참여 과정, 탐구 문제 도출 과정 등에 대한 연구와 같이 보다 다양한 각도에서 R&E 프로그램을 바라보는 연구가 이루어지게 되었다(이민주, 김희백, 2019).

R&E 프로그램의 기본 모형은 과학자 연구에 참여하는 것에 중점을 둔 사사 중심 R&E 프로그램에 가깝지만, 실제로 학교에서 운영되는 R&E 프로그램은 과학참여 연구의 성격을 포함하면서도 자기주도적으로 연구를 수행하는 것을 더 강조하고 있다(정현철 외, 2012). 이는 미래의 과학자를 꿈꾸는 학생들이 스스로 탐구의 주체가 되는 것의 중요성을 알려주며 자율성이 확보된 R&E 프로그램을 운영하면 학생들이 느끼는 어려움이 커지지만, 타율적으로 운영된 R&E 프로그램에 비해 효과성과 학생 만족도가 높아진다는 연구 결과와 일맥상통한다(강성주 외, 2009; 최호성, 박경희, 2015; 류경윤, 2017). 그러나 개방적 탐구 활동에 익숙하지 않은 학생들은 탐구 문제 도출과 탐구 설계를 어려워하고, 그 어려움을 스스로 해결하는 방법에 대해 잘 모르기 때문에 자율성이 부여되더라도 R&E 프로그램을 통한 탐구 경험 축적과 과학자 소양 함양이 효과적이

지 못할 수 있다는 연구 결과도 있다(양현주, 2005; 유준희, 김종숙, 2012). 이와 유사한 맥락으로 최종근과 김찬종(2022)은 과학영재학교 졸업생들을 대상으로 한 연구에서 졸업생들은 영재학교 재학 당시 R&E 프로그램의 주체가 되어 자신이 관심 있는 분야의 연구를 진행하지 못했을지라도 인지적, 정의적 측면에서 모두 사사 중심 R&E 프로그램이 학생 주도 R&E 프로그램보다 연구자로 성장하는데 더 긍정적으로 작용하였다고 생각한다는 결과를 제시하였다. 이러한 선행 연구의 결과들은 학생들이 연구에 익숙하지 않은 것이 결과보다는 교과 통합적 지식의 구성 과정에서 습득하는 과학적 소양에 주목하는 R&E 프로그램의 본래 목적을 달성하는 것을 어렵게 하는 주요 원인이 될 수 있음을 나타낸다. 또한 학생들이 R&E 프로그램에 자율성을 갖고 참여하면서 효과적으로 자기주도적 학습 역량을 신장하고 창의적 탐구 활동을 촉진할 수 있는 방안 탐색이 필요함을 시사한다. 이 같은 관점에서 R&E 프로그램에서 학생들이 맞닥뜨리는 구조화되지 않은 열린 문제 상황을 해결할 수 있는 방안으로 최근 기술의 발달에 따라 새롭게 주목받고 있는 데이터 리터러시(data literacy)는 상당한 가능성을 갖는다.

디지털화된 수많은 정보가 창의적이고 혁신적인 지식과 융합하여 새로운 가치를 창출하는 사회를 지식정보화사회라고 한다. 그리고 기존에 사람과 사람의 연결만을 중시하던 사회에서 사람과 사물, 사물과 사물, 데이터와 데이터 등 우리가 생각할 수 있는 모든 것의 연결이 중시되는 사회를 초연결사회(hyper-connected society)라고 한다(정용재, 2020). 두 개념을 합쳐 '초연결 지식정보화사회'라는 용어가 사용되기도 하는데, 기술의 발전으로 현재 우리는 이 같은 특징을 가진 사회에 살게 되었다. 이러한 사회에서는 지식과 정보의 취득이 신속해지고 어디에서든 풍부한 자료를 접할 수 있기 때문에 목적에 맞게 데이터를 가공하고 이용할 수

있는 능력을 갖춘 사람에게는 다른 사람들이 쉽게 지나칠 수 있는 작은 데이터도 유의미하게 사용될 수 있다. 반대로, 데이터의 바다에서도 유의미한 정보를 획득하지 못하는 사람들은 사회의 빠른 변화에 적응하지 못할 것이다. 이러한 시대적 상황은 과학기술 기반 산업사회에서 필요했던 문제해결력과는 다른 새로운 범위의 문제해결력을 요구하며, 최근 이를 함양하기 위한 주요 방안으로 데이터 리터러시가 주목받고 있다.

데이터 리터러시는 방대한 데이터 중에서 의미 있는 데이터를 선별하고, 이를 이해하고 활용할 수 있는 능력을 의미한다. Athanases et al. (2013)은 데이터 리터러시가 질문을 생성하고, 체계적으로 데이터를 수집·구성하고, 조사 결과를 분석하고 나타내기 위해 적절한 도구를 사용하며, 결론을 도출하는 일련의 과정을 포함한다고 하였다. 이 같은 데이터 리터러시의 특징은 지식정보화사회를 살아가는 우리들에게 데이터 리터러시가 새로운 문제해결력 함양의 방법론이 될 수 있음을 알려준다. 최근 이에 주목하는 연구가 점차 증가하는 추세이며 특히, 교육 분야에서 이루어진 관련 연구의 방향은 주로 데이터 리터러시의 중요성과 학습의 필요성을 언급하는 것과 함께 리터러시 함양을 위한 프로그램을 개발하는 것이었다(배화순, 2019; 김석전, 김태영, 2017; 홍지연, 김영식, 2020; Vahey et al., 2012; Qin & D'Ignazio, 2010). 이와 함께 실제 데이터를 활용한 새로운 형태의 교수-학습 방안을 제시함으로써 데이터 활용을 과학적 문제해결력 및 과학적 소양 함양의 주요 방법으로 제안한 연구도 있다(손미현, 2020; Martin & Howell, 2001; Brogan et al., 2016).

본 연구에서는 시대적 흐름에서 점차 중요하게 받아들여지고 있는 데이터 리터러시를 인식하고, 이를 학생들이 자율성이 확보된 R&E 프로그램에서 겪는 문제들을 해결할 수 있는 방안으로 활용한다. 이를 위해 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고, 데이터 리터러시 함

양의 효과를 행위자-네트워크 이론의 관점에서 살펴보고자 한다.

학습의 주체성 및 사물에 대한 인식 전환을 이야기함으로써 첨단 과학기술을 바탕으로 연결의 의미가 재정의되는 초연결사회에서 더욱 중요시되는 이론 중 하나가 바로 행위자-네트워크 이론(actor-network theory, 이하 ANT)이다. 1980년대 Latour, Callon, Low 등에 의해 제안되고 정립된 ANT는 사물을 포함한 다양한 종류의 행위자 네트워크 중심의 세계관으로 지식과 사회를 해석한다(정용재, 2020a). ANT에서는 과학 지식의 구성 과정을 인간 중심적 요인으로 설명하는 대신 인간과 비인간 행위자들 사이의 동맹으로 구축되는 이종 네트워크로 설명한다. 즉, 과학 학습 역시 하나의 이종 네트워크라고 할 수 있으며, 실험 도구와 같은 비인간 행위자도 인간 및 다른 비인간과 상호작용하며 능동적으로 과학 지식을 구성하는 행위자로 존재할 수 있다. 이러한 관점에서 ANT는 데이터와 같은 비인간 행위자의 도입으로 인해 새롭게 구성된 학습의 과정을 이해하는데 기여할 수 있을 것이다.

R&E 프로그램은 학생들이 스스로 탐구의 주체가 되어 과학자의 지식 생성 과정인 '과학적 실행'을 경험할 수 있는 좋은 방법이라고 할 수 있지만, 개방적인 탐구 활동에 익숙하지 않은 경우 탐구 문제 도출과 탐구 설계 단계부터 어려움을 겪을 수 있다(양현주, 2005; 유준희, 김종숙, 2012; 최종근, 김찬종, 2022). 연구의 시작 단계에서 겪는 어려움은 연구에 대한 학생들의 흥미를 떨어뜨리고 원활한 연구 수행을 방해하는 요인으로 작용함으로써 학생들이 R&E 프로그램에 성공적으로 참여하지 못하게 되는 결과를 가져올 수 있다. 이 같은 부분에 주목하여 본 연구에서는 학생들이 연구 주제 도출 과정에서 느끼는 어려움들을 극복하는 방법으로 데이터 리터러시를 활용한다. 이때 연구 주제 도출 과정을 네트워크 내부에서 일어나는 번역의 과정으로 인식하고, 다양한 행위자들의

역동적인 상호작용을 분석함으로써 연구 주제 도출에 나타난 데이터 리터러시의 작용을 살펴본다. 이를 통해 비인간 행위자인 데이터가 연구 주제 도출 네트워크에서 어떤 행위력을 발휘할 수 있는지 파악할 수 있을 것이다.

또한 연구 주제 도출에 대한 학생들의 이러한 경험이 이어지는 연구의 과정과 어떻게 연결되는지, R&E 프로그램 전체에 걸쳐 과학적 실행을 달성하는데 어떠한 역할을 하는지, 그리고 어떠한 새로운 네트워크를 만들어내는지 파악해본다. 학생들의 과학적 실행 네트워크는 다양한 네트워크의 상호작용으로 구성되며, 연구 주제 도출을 포함하는 보다 큰 규모의 네트워크이므로 네트워크에 등장하는 행위자들의 복잡한 상호 작용을 분석하기보다는 R&E 프로그램 과정에서 나타나는 기입들에 주목하고자 한다. 과학자들이 세계의 질서를 구성하고 표현하는데 사용하는 것이 '기입(inscription)'이며, 과학자들은 기입 활동을 통해 다른 행위자들과 연결된다(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 70; Tang, 2019; 김환석, 2005). 이러한 관점에서 R&E 프로그램에 참여하는 학생들이 만들어내는 기입들이 과학적 실행 네트워크의 구성과 연결에 어떠한 역할을 하는지 살펴봄으로써 과학자의 역할을 충실하게 경험하고 습득해가는 학생들의 모습을 파악한다.

비인간 행위자의 역할을 중요하게 인식하는 ANT는 인간에 대한 관심만이 아닌 새로운 문제 해결 방식을 제안함으로써 국내외에서 주목받고 있지만, 특히 국내 과학 교육 현장에서는 아직 생소한 편이다(이종혁 외, 2021). 최근 들어 ANT의 적용 가능성이나 ANT의 주요 관점을 교육의 맥락에서 간접적으로 소개하는 연구, ANT의 관점에서 과학 학습을 재해석하는 연구와 같이 과학 교육 분야에서 ANT의 적용 가능성이나 함의를 제공하는 연구는 점차 그 범위를 넓혀 학생들에게 실제적 적

용이 가능한 다양한 방법을 제안하는 연구들(Nespor, 2011; Tang, 2019; 김영민, 2019)로 이어지고 있으나, 이러한 적용과 그 효과에 대해 양적인 면에서 풍부하면서도 심도 있는 연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다. 이 같은 관점에서 인간과 비인간 행위자가 함께 구성하는 네트워크의 모습과 구성 과정을 면밀하게 살펴보는 본 연구의 시도는 그간 교육 현장에서 상대적으로 덜 주목받아왔던 비인간 행위자에 대한 새로운 관심을 이끌고, 학생이 다른 인간 및 비인간 행위자들과 어떤 상호 작용을 통해 학습 목표와 관련한 네트워크를 구성해가는지에 대한 시사점을 제공할 수 있으리라 판단한다. 더 나아가 과학과 교육과정, 교수-학습 방법, 교구 개발 등 과학 교육 현장에 직접 적용할 수 있는 구체적인 방법에 대한 단초를 제공할 수 있다.

본 연구는 초연결사회에 효과적으로 적응하고 다양한 가치를 누릴 수 있는 인간을 양성하기 위해서는 교육을 바라보는 방식의 변화가 있어야 함을 전제로 한다. 전통적 교육에서 사람과 사람 사이의 단방향성 정보 전달과 분야별 전문성을 강조했다면 앞으로 다가올 미래에는 사람과 사람의 연결뿐 아니라 사람과 사물, 데이터 등이 연결되어 양방향, 다방향 정보 전달과 창의적 융합 전문성이 강조될 것이다. 이러한 관점에서 본 연구는 지식정보사회의 새로운 문제해결력 함양 방안으로서 '데이터 리터러시'에 주목하여 데이터 리터러시가 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 미래 과학자로 성장하는데 어떠한 기여를 할 수 있는지를 ANT 렌즈를 이용해서 파악하고자 한다. 이 같은 연구는 미래 사회와 교육의 변화에 대응하고자 하는 새로운 시도로 받아들여질 수 있다는 시사점을 제공함과 더불어 '비인간 행위자'에 대한 관심 제고를 이끌 수 있을 것이다.

## 2. 연구 문제

본 연구는 R&E 프로그램에 참여하는 학생들이 자기 주도적 연구 환경에서 과학적 탐구 능력, 창의적 문제해결력과 같은 과학자로서의 소양을 효과적으로 함양할 수 있는 방안을 모색하는데 궁극적 목적이 있다. 본 연구에서는 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 느끼는 어려움을 극복하기 위한 방안으로 데이터 리터러시에 주목한다. 이에 따라 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고, 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 행위자-네트워크 이론의 관점에서 살펴본다. 이를 통해 비인간 행위자인 데이터가 학생들의 미래 과학자로서의 소양 함양에 어떤 기여를 할 수 있는지 알아봄으로써 학생들의 과학 지식 생산 과정에 대한 새로운 시각을 제공하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 설정한 연구 문제는 다음과 같다.

과학영재학교 학생들이 참여한 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 행위자-네트워크 이론의 관점에서 살펴보았을 때,

1. 연구 주제 도출을 위한 이종 네트워크는 어떻게 구성되며, 네트워크 구성 과정에서 드러난 특징은 무엇인가?
   가. 연구 주제 도출을 위한 이종 네트워크는 어떻게 구성되는가?
   나. 연구 주제 도출 과정에서 드러난 이종 네트워크의 특징은 무엇인가?

2. 학생들이 생성한 기입은 과학적 실행 과정에서 어떠한 역할을 하며, 기입을 중심으로 볼 때 나타난 과학적 실행의 특징은 무엇인가?
   가. 학생들이 생성한 기입은 과학적 실행 과정에서 어떠한 역할을 하는가?
   나. 기입을 중심으로 볼 때 나타난 과학적 실행의 특징은 무엇인가?

## 3. 용어의 정의

### 가. R&E(research & education) 프로그램

R&E 프로그램은 과학 교육에서 지향하는 참 탐구를 위한 프로젝트형 탐구 활동 중 특히 과학영재 학생을 위한 프로그램으로 시작되었고, 학생들에게 과학자들의 탐구 활동 경험을 제공하고자 개방적인 형태를 갖는다(곽혜정, 2020; 최호성, 2003; Hofstein & Lunetta, 2003). 기본적으로 과학자 사사의 연구 교육에 기초하는 R&E 프로그램은 현재 정규 교육 과정에 포함되어 있는 과학영재학교뿐만 아니라 과학고등학교는 물론 일반계 고등학교에서도 학생들의 자발적인 과학 탐구 동아리나 과제연구 등의 다양한 형태로 운영되고 있으며, 운영 방식에 따라 '사사 중심 R&E 프로그램'과 '학생 주도 R&E 프로그램'으로 구분할 수 있다(이민주, 김희백, 2019; 최종근, 김찬종, 2022). 사사 중심 R&E 프로그램에서는 과학자가 자신의 실험실에서 학생들에게 연구 방법을 지도하는 가운데 학습과 연구 참여가 이루어지는 반면, 학생 주도 R&E 프로그램에서는 학생이 주체가 되어 스스로 학습과 연구의 주요 과정을 이끌어가게 된다. 본 연구에서는 자기 주도적 연구 환경에서 학생들이 겪는 연구 경험에 초점을 맞추고자 R&E 프로그램을 학생 주도 R&E 프로그램으로 의미를 한정한다.

### 나. 데이터(data)와 데이터 리터러시(data literacy)

데이터는 현실 세계의 어떠한 사실, 개념, 명령 또는 과학적인 실험이나 관측 결과로 얻은 수치나 정상적인 값 등 실체의 속성을 숫자, 문자, 기호 등으로 추상화하여 표현한 것이다. 종종 데이터와 정보를 구분하지 않고 사용하기도 하지만 일반적으로 데이터(data)를 바탕으로 정보

(information)가 추출되며, 이러한 정보가 모여서 지식(knowledge)이 형성된다는 점(Liew, 2007)에서 데이터는 정보와 구분될 필요가 있다.

최근 과학기술의 발달로 다양한 곳에서 데이터를 획득할 수 있게 됨에 따라 실험 결과, 실시간 측정값과 함께 사회 관계망 자료, 사진, 음성 및 동영상 자료 등 우리가 주변에서 무의식적으로 경험하고 있는 모든 형태의 '정보 재료'가 데이터로 간주될 수 있다. 그러나 목적과 맥락에 따라 다양한 의미가 부여되고 이용될 수 있는 데이터의 특성을 고려하여 본 연구에서는 데이터를 실세계에서 측정된 실제적 데이터(authentic data)로 한정한다. 본 연구에서는 R&E 프로그램에 참여한 학생들이 실세계(real world) 맥락에서 인식한 문제들을 스스로 획득한 실제적 데이터를 활용하면서 해결해나갈 수 있기를 기대하기 때문이다.

이와 더불어 본 연구에서는 데이터 리터러시를 실시간으로 생산되고 있는 방대한 데이터 중 의미 있는 데이터를 선별하여 수집하고, 이해하고, 활용할 수 있는 능력으로 정의한다. 이러한 정의에는 데이터를 읽고 해석하는 차원을 넘어 데이터를 변형하여 표현하는 능력, 데이터에서 질문을 생성하고 이를 비판할 수 있는 능력, 데이터를 활용한 타인과의 의사소통 능력까지 포함되어 있다.

### 다. 과학적 실행(science practices)

미국의 차세대 과학교육표준(NGSS)에서는 과학 교육 분야에서 꾸준히 강조해 온 탐구를 기존과는 다른 방식으로 설명하면서 기능(skill)이나 과정(process)이라는 용어 대신 실행(practice)이라는 용어를 사용하였다. 차세대 과학교육표준은 과학적 실행을 (1) 질문하기 및 문제 규정하기, (2) 모델 개발 및 사용하기, (3) 탐구조사 계획 및 수행하기, (4) 자료 분석 및 해석하기, (5) 수학 및 전산적 사고 활용하기, (6) 설명 구성

하기 및 해결책 설계하기, (7) 증거에 입각하여 논증하기, (8) 정보 수집과 평가 및 소통하기의 8가지 특징으로 제시하며 탐구의 의미를 설명한다(National Research Council, 2013). 그러나 제시된 과학적 실행의 특징은 과학자의 실제 활동에서 나타나는 특징들을 추출한 것이지만 역으로 그 특징들을 합한다고 과학적 실행의 전체가 되는 것은 아니며, 그 이유는 과학적 실행이 갖는 불확실성, 복잡성, 다양한 존재자들의 혼종성 때문이다(이종혁 외, 2021). 따라서 학생들이 과학적 실행을 배우기 위해서는 과학이라는 학문적인 활동에 핵심적인 역할들을 총체적으로 체험해 보면서 과학적 주장의 구성자와 비평자가 되어보는 것이 중요하다(오필석, 2020; Ford & Forman, 2006). 이러한 관점에서 본 연구에서는 학생들의 과학적 실행을 과학 탐구 맥락에서 지식과 기능을 통합적으로 활용하여 문제를 해결하는 가운데 학생 스스로 과학 지식을 구성하는 과정으로 인식하고 R&E 프로그램에 참여하는 학생들을 이해하고자 하였다. 특히, 과학 지식의 구성과 확산 과정으로서의 과학적 실행을 인간 및 비인간 행위자들의 상호작용으로 설명하고자 한 ANT의 관점에 주목하여 데이터나 실험 도구와 같은 비인간 행위자가 학생들의 과학적 실행에 기여하는 바를 분석하고자 하였다.

### 라. 기입(inscription)

기입은 어떤 실체가 기호, 기록, 문서, 논문, 흔적 등으로 구현되면서 겪는 모든 종류의 변형들을 가리키는 용어로, 네트워크를 건설하는 행위자는 기입을 생산함으로써 다른 행위자들에게 역할을 부여할 수 있다(김환석, 2005; 홍성욱, 2010, p. 27). 특히 과학자는 자신의 주장을 정당화하기 위해 끊임없이 기입을 생산하고 이 기입들에 의해 만들어진 과학적 사실을 외부의 누군가에게 설득함으로써 사실의 확산을 도모하는 존재이다

(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 118). 이러한 기입은 이동이 쉽고, 이동하는 동안 그 속성이 변하지 않으며, 결합이 가능하고, 다른 형태의 기입의 생산을 가능하게 하는 특징이 있다(Roth & McGinn, 1998). 본 연구에서는 학생들이 과학적 실행을 경험하는 과정과 그 특징을 탐색하기 위해 R&E 프로그램에 등장한 기입들에 주목하였으며, 학생들이 연구 활동을 진행하는데 중요한 역할을 했다고 판단되는 기입을 '주요 기입(key inscription)'으로 정하였다. 주요 기입의 예로는 연구 지역의 표층 수온 데이터, 그래프, 연구 노트, 연구 계획서, 연구 결과 보고서 등이 있다.

### 마. 학문적 리터러시 이벤트(disciplinary literacy event)

인간의 인지적, 정신적, 심리적인 문제로 국한해서 접근했을 때 리터러시는 여러 교과목 속에서 만나는 내용 영역에 대응하여 활용되기를 기대하는 일반적 도구로서의 읽기 및 쓰기 능력인 내용 영역 리터러시(content area literacy)를 의미하였다. 그러나 이러한 리터러시의 일반화된 관점이 전문적인 텍스트 이해에 도움이 되지 않는다는 반성으로 어떤 특정한 맥락에서 전문가가 해당 분야의 작업에 참여하기 위해 사용하는 고유한 도구(unique tool)에 주목한 개념이 바로 학문적 리터러시이다(김영란, 2019; Tang, 2019). 즉, 학문적 리터러시는 특정한 학문 분야에서 요구하는 읽기, 쓰기, 사고하기, 비판하기, 논리 전개하기 등의 능력을 나타내는 개념이다. 이러한 관점에서 Tang(2019)은 학문적 리터러시 이벤트를 사람들이 말하고, 듣고, 읽고, 쓰고, 그림을 그리거나 언어가 사용되는 여러 활동과 같이 구체적이고 관찰 가능한 맥락화된 상황으로 정의하였다. 본 연구에서는 주요 기입 사이에 발생한 학생들의 관찰 가능한 활동을 학문적 리터러시 이벤트로 범주화하고, 리터러시 이벤트들과 기입들 간의 상호 관계를 분석함으로써 과학적 실행과 그 특징을 파악할 수 있도록 하였다.

## 4. 연구의 제한점

본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다.

첫째, 본 연구는 소수의 과학영재학교 학생을 대상으로 한 질적 사례 연구이다. 따라서 연구 결과를 모든 과학영재 학생에 대한 결과로 일반화하는데 한계가 있다. 따라서 연구 결과를 일반화하는 것에 목적을 두기 보다는 현상을 심층적으로 이해하고 이를 구체적으로 설명하는데 초점을 두었다. 이를 위해 학생들이 R&E 프로그램에서 경험하는 구체적 사례와 연구자가 이 사례를 분석하는 과정을 상세히 기술하고자 하였으며, 면담 자료, 관찰일지, 연구 노트, 보고서와 같은 학생 산출물, 학생 간 대화 내용 등 다양한 자료를 수집, 분석하여 연구의 타당도와 신뢰도를 높이고자 하였다.

둘째, 본 연구에서는 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고, 이를 학생들에게 적용하여 데이터 리터러시가 학생들의 미래 과학자로서의 소양 함양에 어떤 기여를 할 수 있는지 알아보았다. 연구에 참여한 학생들은 다소 수준이 높은 데이터 리터러시 함양 과정에도 어려움 없이 참여할 수 있었는데, 이는 학생들이 수과학 분야에 탁월한 능력을 갖춘 과학영재이며 어려운 내용에 대해서도 빠르게 학습이 가능했기 때문이라고 판단된다. 따라서 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 일반 학생에게 적용했을 때 동일한 효과를 얻을 수 있다고 판단하기 어렵다.

셋째, 학생들이 주도하는 R&E 프로그램은 재료를 투입하고 그에 따

른 결과를 얻어내는 선형적 절차가 아니었기 때문에 R&E 프로그램과 관련한 네트워크 형성에 영향력을 행사한 행위자는 매우 다양했다. 이중 인간 행위자는 지도교사, 과학자, 학생으로 비교적 쉽게 한정할 수 있었으나, 비인간 행위자는 지면에 모두 기술하기 어려울 정도로 다양하게 등장했다. 그러나 본 연구에서는 데이터 리터러시 함양이 데이터 행위자가 다른 행위자들과 상호 작용하면서 학생들의 연구 역량 향상에 어떤 기여를 할 수 있는지를 파악하고자 하였기 때문에 비인간 행위자 중 주요 행위자를 데이터로 판단하고 이에 대한 분석만을 행하였다. 예를 들면, 학생들이 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 목적 중 일부는 대학 진학에 도움이 되는 가시적인 성과를 얻기 위함이었다. 이러한 부분은 데이터와는 관련이 없는 환경적 요인, 구체적으로는 '입시제도' 행위자와 관련이 있으나 본 연구에서는 이를 분석하지 않았으며, 이러한 미시적 행위자가 포함되었을 경우 본 연구의 결과와는 다른 서술과 이해가 나타날 수 있을 것이다.

# Ⅱ. 이론적 배경

## 1. 미래 과학자 양성을 위한 연구 중심 교육 프로그램

### 가. R&E 프로그램의 특징

교육부(2015)는 2015 개정 과학과 교육과정에서 학생들이 기본 개념의 통합적 이해와 탐구 경험을 통해 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력 등의 핵심역량을 함양하도록 하였다. 또한 4차 산업혁명 시대를 이끌어 나갈 창의융합형 인재 양성을 위해 제시된 가이드 라인인 미래세대 과학교육표준(교육부, 2019)에서는 과학적 소양을 역량 차원, 지식 차원, 참여와 실천 차원의 세 가지 차원으로 구분하였으며, 역량의 요소로 과학적 탐구력, 과학적 사고력, 의사소통과 협업 능력, 정보처리와 의사결정능력, 초연결사회 대응과 평생학습 능력을 제시하였다(표 Ⅱ-1). 이러한 과학 역량은 자기 주도적 탐구 활동에서 얻는 과학적 의문 해결 과정을 통해 길러질 수 있으며(최호성, 박경희, 2015; 이민주, 김희백, 2019), 이는 학생이 탐구를 경험할 수 있는 환경의 중요함을 알려준다. 과학 탐구는 실제로 연구를 수행하면서 문제를 해결해가는 활동이라는 점(Watson et al., 2004; 이선길, 2006)에서 R&E 프로그램은 이러한 환경 중 대표적인 예라 할 수 있다.

<표 Ⅱ-1> 과학적 소양 모형의 세 가지 차원(교육부, 2019)

| 차원 | 요소 |
|---|---|
| 역량<br>(competence) | · 과학적 탐구력<br>· 과학적 사고력<br>· 의사소통과 협업능력<br>· 정보처리와 의사결정능력<br>· 초연결사회 대응과 평생학습능력 |
| 지식<br>(knowledge) | · 규칙성과 다양성<br>· 에너지와 물질<br>· 시스템과 상호작용<br>· 변화와 안정성<br>· 과학과 사회<br>· 지속가능사회를 위한 과학기술 |
| 참여와 실천<br>(participation and action) | · 과학 공동체 활동<br>· 과학리더십 활동<br>· 안전사회 기여<br>· 과학문화 향유<br>· 지속가능사회 기여 |

R&E 프로그램은 과학 교육에서 지향하는 참 탐구를 위한 프로젝트형 탐구 활동 중 특히 과학영재 학생을 대상으로 한 프로그램으로 시작되었고, 학생들에게 과학자들의 탐구 활동 경험을 제공하기 위한 개방적인 형태를 갖는다(곽혜정, 2020; 최호성, 2003; Hofstein & Lunetta, 2003). 프로젝트 학습은 단순한 지식을 습득하는 것이 아니라 실제적인 문제 상황에서 협력을 통해 주제를 깊이 탐구하고 문제를 해결하는 고도의 사고 능력을 개발하는 교수-학습 방법을 의미한다. R&E 프로그램은 과학 탐

구가 포함된 프로젝트 학습이기 때문에 기본적으로 실생활 문제와 관련이 있고, 학생들이 동료와의 상호작용을 통해 능동적으로 지식을 구성하도록 하는 프로젝트 학습 고유의 특징을 갖고 있다. 이와 더불어 R&E 프로그램은 과학영재를 대상으로 하는 만큼 연구의 수준이 높아야 하고, 단편적 지식이 아니라 교과 통합적 지식을 구성해야 하며, 학생들이 산출하는 결과보다 과정에서 습득하는 소양에 주목해야 한다는 특징이 있다(이선길, 2006).

기본적으로 과학자 사사의 연구 교육에 기초하는 R&E 프로그램은 미래 과학자 양성을 목표로 과학영재들이 연구 중심의 자기 주도적 학습을 통해 과학적 탐구 능력과 창의적 문제해결력을 신장시키고, 과학자와 학생 간의 친밀하고 지속적인 만남으로 과학자의 연구 윤리와 태도, 품성 및 자질을 함양하도록 한다(류경윤, 2017; Zion & Mendelovici, 2012). 더불어 R&E 프로그램을 통해 학생들이 탐구에 주체적으로 참여함으로써 과학적 지식의 구성 과정으로서의 과학 탐구를 경험하게 하는데 목적이 있다(이민주, 김희백, 2019).

외국의 경우 R&E 프로그램은 주로 영재교육기관에서 학생들의 mentorship 활동의 일환으로 시행되고 있으며, 학생들은 전문가들로부터 개별화된 맞춤식 교육을 통해 연구 주제를 설정하여 연구와 활동 중심의 교육을 받는다. 우리나라에서는 2002년 영재학교 재학생을 대상으로 시범 운영된 후 2003년부터 본격적으로 운영되기 시작했으며(이선길, 2006), 현재는 R&E 프로그램이 정규 교육과정에 포함되어 있는 과학영재학교뿐만 아니라, 과학고등학교 및 일반계 고등학교에서도 학생들의 자발적인 과학 탐구 동아리나 과제연구 등의 다양한 형태로 운영되고 있다.

R&E 프로그램은 운영 방식에 따라 '사사 중심 R&E 프로그램(이하 사사 중심 R&E)'과 '학생 주도 R&E 프로그램(이하 학생 주도 R&E)'으

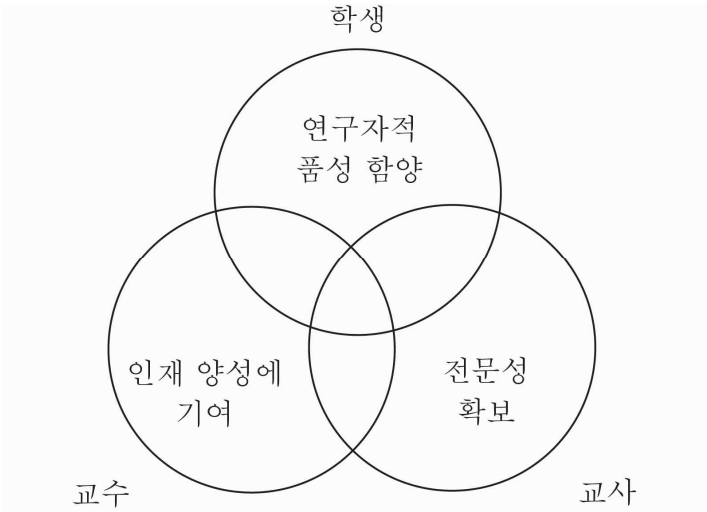
로 구분할 수 있다. 사사 중심 R&E에서는 일반적으로 과학자나 지도교수가 연구 주제를 결정하게 되며, 자신의 실험실에서 학생들에게 연구 방법을 지도하는 가운데 학습과 연구 참여가 이루어지는 형태가 나타난다(Davis & Rimm, 2004). 반면 학생 주도 R&E에서는 학생이 주체가 되어 스스로 학습과 연구의 주요 과정을 결정하고 이끌어가게 된다. 이때 연구 활동의 내용 선정, 연구 방법 선택, 탐구의 실행과 같은 주요 과정은 지도교사와 학생의 합의에 의해 결정되며, 지도교사는 학생의 활동을 최대한 보장하고 지원하는 역할을 맡는다(이민주, 김희백, 2019). 이러한 부분에서 사사 중심 R&E와 학생 주도 R&E는 모두 학생들의 과학자 소양 함양을 목적으로 운영된다는 점은 동일하지만 학생들이 R&E 프로그램에 참여함으로써 발생하는 탐구 역량의 변화 정도나 범위에서 차이가 날 수 있음을 예상할 수 있다(최종근, 김찬종, 2022).

### 나. R&E 프로그램에 대한 선행 연구와 시사점

학생들이 과학자의 연구에 직접 참여하여 다양한 형태의 지식을 경험하는 교육 방법이 세계적으로 확산되는 추세이다(이민주, 2016; Hunter et al., 2007; Hsu et al., 2010). 이에 따라 연구 중심 교육 프로그램에 대한 연구도 활발하게 일어나게 되었으며, 연구 중심 교육 프로그램이 갖는 특징, 프로그램 참여자에게 나타나는 효과, 프로그램에 대한 개선 사항 제안 등 다양한 주제의 연구가 이뤄졌다.

Houseal et al.(2014)은 학생 - 교사 - 과학자 간 파트너십(Student-Teacher-Scientist Partnership, STSPs)이 학생들에게 진정한 과학 경험을 통한 과학 학습을 제공할 수 있는 가장 좋은 방법이라 보고, STSPs를 통한 교육적 효과에 주목하였다. 이 연구에서는 STSPs가 교사들과 학생들에게 과학적 탐구에 대한 이해를 높이고 과학과 과학자

에 대한 태도를 개선하는 경험을 제공할 수 있는 유망한 방법이 될 수 있음을 주장하였다. 비슷한 맥락에서 연구 참여의 경험은 학생이 과학에 대한 흥미와 태도를 바꾸게 하는 계기나 과학자가 되어가는 전문적 사회화 과정 또는 특정 영역의 과학 내용 지식을 심화시킬 수 있는 기회로 작용하였다는 결과가 보고되기도 하였다(Hunter et al., 2007; Comeaux & Huber, 2001). 또한 STSPs에 참여한 교사와 과학자의 경우 과학 연구 결과를 전파하기 위해 학생들을 지도하는 과정에서 보다 효과적인 교수 전략을 얻을 수 있었다는 연구 결과도 있다(Caton et al., 2000). 이러한 결과들은 연구 중심 교육 프로그램이 학생뿐 아니라 교사나 과학자에게도 긍정적 효과가 나타남을 의미하며, R&E 프로그램을 수행하였을 때 전체적으로 기대되는 효과를 학생, 교사, 교수의 측면에서 제시한 이선길(2006)의 연구 내용과 유사하다.




<그림 Ⅱ-1> R&E 교육의 기대효과(이선길, 2006)

한편, 학생들이 단순히 과학자 곁에서 사사 경험을 얻는 것을 넘어 효과적인 조언을 해줄 수 있는 멘토의 역할을 강조한 연구도 있다. Brown et al.(2006)은 아직 과학 지식과 기술이 발달하지 않은 과학도들이 자신

의 연구 영역을 찾고 의미 있는 성취를 이루기 위해서는 완전하고 개방적인 탐구를 지향하기보다는 그 영역에서의 전문 지식 제공과 더불어 실습 및 지도, 조언, 피드백해줄 수 있는 멘토가 필요함을 강조하였다. 이러한 연구는 학생과 과학자 간의 의미 있는 멘토십이 필요함을 나타낸다(이민주, 2016).

우리나라에서도 R&E 프로그램을 비롯한 연구 중심 교육 프로그램에 대한 많은 관심이 이어져 다양한 관련 연구가 수행되었다. 과학고등학교나 과학영재학교를 대상으로 이루어진 연구에서는 주로 설문조사나 면담을 통해 획득한 R&E 프로그램의 효과, 문제점, 발전 방안에 대한 연구 결과가 제시되었다. 이후 R&E 프로그램이 과학중점학교를 비롯한 일반계 고등학교로까지 확대되면서 학생들의 프로그램 참여 과정, 탐구 문제 도출 과정 등에 대한 연구와 같이 보다 다양한 각도에서 R&E 프로그램을 바라보는 연구가 이루어지게 되었다(이민주, 김희백, 2019).

강성주 외(2009)는 R&E 프로그램을 경험한 과학영재들을 대상으로 R&E 프로그램에 대한 이해, 연구 주제 도출 과정, 프로그램의 장단점, R&E 프로그램에 반영된 과학자의 연구 및 사고 과정을 조사해봄으로써 효과적인 R&E 프로그램의 운영 방안 제시와 체계적인 영재 교수학습 전략 수립에 기여하고자 하였다. 이 연구는 결론으로 학생들이 생각하는 R&E 프로그램의 장점이 '예비 과학자로의 자질 함양'이나 '탐구 수행 능력 신장' 등과 같이 R&E의 운영 목적과 유사함이 나타났으나, 타율적 참여나 전문가의 해결책 제시에 익숙해지면 R&E 프로그램의 의미가 퇴색된다는 점도 함께 제시하면서 R&E 프로그램이 기술적 도제에 머무르는 것이 아닌 교수-학생 간 상호작용을 통해 과학적 사고 과정의 가시화를 꾀할 수 있는 적절한 교육 프로그램으로 발돋움할 수 있도록 효과적인 프로그램 개발이나 보완을 촉구하였다. 최호성과 박경희(2015)는

과학영재학교 재학생 및 졸업생을 대상으로 한 자율탐구활동(R&E) 프로그램 인식 조사 연구에서 프로그램 계획 단계에서 R&E 사전 교육의 중요성을 언급하였으며, 주제 도출 및 연구 과정 등 R&E 프로그램 수행 전반에 걸쳐 학생들의 자율성이 확보된 경우 참여율과 만족도가 높게 나타났다는 연구 결과를 제시하였다. 또한 과학고등학교 학생들의 R&E 프로그램에 대한 인식을 연구한 류경윤(2017)은 학생들이 프로그램에 참여하면서 느끼는 어려움을 연구 주제 도출, 실험 설계 및 수행, 자료해석 및 결론도출, 보고서 작성의 4단계로 구분하여 조사하였고, 지도교수나 교사의 도움 없이 프로그램을 주체적으로 운영할 때 학생들이 더 큰 어려움을 느꼈음을 결과로 제시하였다. 최종근과 김찬종(2022)은 기존의 R&E 프로그램에 대한 인식 연구와는 다르게 R&E 프로그램을 운영 방식에 따라 사사 중심 R&E와 학생 주도 R&E로 구분하고, 두 운영 방식에 대한 과학영재학교 졸업생들의 인식 차이를 분석하였다. 연구 결과는 졸업생들이 사사 중심 R&E보다 학생 주도 R&E에서 더 큰 자율성을 갖고 활동에 임할 수 있었으나 이러한 자율성이 활동에 어려움으로 작용하기도 하였음을 알려준다. 또한 졸업생들이 연구 주제 탐색과 도출을 어려워하며 어려움을 해결하기 위한 주요 방법으로 인터넷 또는 문헌 조사를 활용하였음을 제시하였고, R&E 프로그램의 주체가 되어 자신이 관심 있는 분야의 연구를 진행하지 못했을지라도 인지적, 정의적 측면에서 모두 사사 중심 R&E가 연구자로 성장하는데 더 긍정적으로 작용하였다고 생각한다는 결과를 제시하였다. 이는 상대적으로 자율적인 분위기에서 검색이나 조사에 크게 의존하게 되는 학생 주도 R&E에서 학생들이 어려움을 효과적으로 해결하고 연구에 적극적으로 참여하는 계기를 만드는 것에 인터넷 또는 문헌 조사가 제 역할을 다하지 못했음을 방증한다. 이러한 바는 연구 주제를 도출하는 과정에서부터 학생들이 자율성을 확보할 수 있다

하더라도 R&E 프로그램을 통한 탐구 경험과 과학자 소양 함양은 효과적이지 못할 수 있다는 점을 알려줌과 더불어 학생 주도 R&E 프로그램의 효과를 극대화할 수 있는 방법의 탐색이 필요함을 나타낸다. 또한 자율적 연구 능력을 갖춘 영재 학생은 스스로 새로운 기회를 만들고 주변을 변화시키면서 자신의 목표를 이뤄나가는 특성이 있으므로, 과학영재의 잠재능력 개발을 위한 교육적 목적과 필요성을 바탕으로 과학영재들의 자율성 향상을 위한 프로그램 개발에 대한 노력이 필요하다는 연구들도 있다(이효녕, 조현준, 2008; Betts & Neihart, 1988).

한편, 초기 양적 연구에서 다양한 시선으로 R&E 프로그램을 바라보려는 시도가 점차 늘어나고 있다. R&E 프로그램에서 학생들의 문제 구성 과정 시 발생하는 과학 실천의 양상과 특징을 분석하거나 자유탐구 활동에서 학생들이 드러내는 인식적 목표와 인식적 이해 및 인식론의 전환 맥락을 탐색하는 연구, R&E의 각 단계에서 드러나는 학생의 인식적 행위 주체성 탐색을 통해 학생의 연구 활동 참여에 대한 심층적 이해를 시도한 연구 등은 R&E 프로그램 이해에 대한 지평을 넓히는 시도로 볼 수 있다(곽혜정, 2020; 윤현정, 김희백, 2018; 이민주, 김희백, 2019).

R&E 프로그램의 기본 모형은 과학참여 연구에 중점을 둔 사사 중심 R&E 프로그램에 가깝지만, 실제로 학교에서 운영되는 R&E 프로그램은 과학참여 연구의 성격을 포함하면서도 자기주도적으로 연구를 수행하는 것을 더 강조하고 있다(정현철 외, 2012). 이는 미래의 과학자를 꿈꾸는 학생들이 스스로 탐구의 주체가 되는 것의 중요성을 알려주며, 자율성이 확보된 R&E 프로그램을 운영하면 학생들이 느끼는 어려움이 커지지만 타율적으로 운영된 R&E 프로그램에 비해 효과성과 학생 만족도가 높아진다는 연구 결과와 일맥상통한다(강성주 외, 2009; 최호성, 박경희, 2015; 류경윤, 2017). 그러나 개방적 탐구 활동에 익숙하지 않은 학생들

은 탐구 문제 도출과 탐구 설계를 어려워하고, 그 어려움을 스스로 해결하는 방법에 대해 잘 모르기 때문에 자율성이 부여되더라도 R&E 프로그램을 통한 탐구 경험 축적과 과학자 소양 함양이 효과적이지 못할 수 있다는 연구 결과도 있다(양현주, 2005; 유준희, 김종숙, 2012; 최종근, 김찬종, 2022), 이러한 결과들은 학생들이 R&E 프로그램에 자율성을 갖고 참여하면서 효과적으로 자기 주도적 학습 역량을 신장하고 창의적 탐구 활동을 촉진하는 방안 탐색이 필요함을 시사한다.

### 다. R&E 프로그램과 과학적 실행

과학 교육에 있어서 탐구의 중요성은 오랫동안 강조되어 왔으나 과학적 탐구가 가진 개념의 포괄성으로 인해 이를 한 마디로 규정하는 것은 매우 어려우며, 탐구 요소에 대한 이해의 범위도 점차 변화해왔다(유은정 외, 2021).

1960년대 미국에서 개발된 Science: A process approach(SAPA)는 과학 교육에서 기능과 과정을 중심으로 탐구를 가르치고자 하였다. 이는 당시 과학 지식 전달 중심의 과학 교육에 대한 대안이었으며, 학생들이 관찰, 명료화, 측정, 추론, 예측과 같은 구체적이고 근본적인 과정을 배움으로써 과학적 사고 양식을 계발시키고자 하는 목적을 갖고 있었다(Bybee, 2011). 이 교육과정은 과학적 탐구 과정을 기초 과정(basic processes)과 통합 과정(integrated processes)으로 나누어 제시하고 이를 학생들이 익힐 수 있도록 하였다. 구체적으로는 기초 과정에 관찰하기, 분류하기, 수 사용하기, 측정하기, 시공간 관계 사용하기, 의사소통하기, 예상하기, 추론하기가 포함되고, 통합 과정에는 조작적 정의하기, 가설 설정하기, 데이터 해석하기, 변인 통제하기, 실험하기가 포함된다(Sanderson & Kratochvil, 1971). 이 같은 시도는 암기 중심의 교육 실

태를 혁신적으로 바꾸고자 하는 의지의 산물이었으나 과학 탐구에 대한 기능 중심 접근의 특징으로 내세운 위계성, 전이성 또는 일반화 가능성과 발견을 통한 학습에 대한 한계를 인식한 것을 계기로 비판받게 되었으며, 이러한 한계를 넘어 과학의 탐구 과정에서 사용되는 기능들이 내용 특이적이며 맥락 의존적이라는 점을 고려한 새로운 관점이 필요하게 되었다(오필석, 2020).

미국의 과학교육표준은 탐구가 과학적 문제 제기하기, 문제에 대한 답을 구성하기 위한 증거 수집하기, 문제의 답으로서의 설명 구축하기, 구축한 설명을 과학적 배경지식과 연결하기, 과학적 생각을 소통하기의 다섯 가지 필수 요소로 구성되어 있음을 제시하였다(강남화, 이은미, 2013; National Research Council, 2000). 이러한 입장에서 과학적 탐구는 과학자가 연구를 통해 얻은 다양한 증거에 바탕을 두고 자연 세계를 설명하는 방법을 제시하는 것이며, 더불어 학생이 자연 세계에 대한 과학자들의 연구 방법을 이해하고 과학적 개념에 대한 이해와 지식을 증진하는 활동을 의미하기도 한다(정하나, 전영석, 2012).

이후 교육 분야에서 과학 탐구의 중요성을 점차 크게 인식하게 됨에 따라 이를 실천하기 위한 다양한 방법들이 존재하게 되었다(National Research Council, 2012). 이에 따라 필연적으로 탐구라는 용어의 의미가 불분명해지는 현상이 발생하였으며, 미국 과학교육표준과 차세대 과학교육표준(NGSS)에서는 보다 다양하고 확장적 개념을 갖는 과학 및 공학적 실행(science and engineering practices)의 개념을 제시(표 Ⅱ-2)하면서 과학 지식의 구성 과정의 다양성과 비형식성을 강조하고, 과학자의 지식 생성 과정을 이해하는 것이 과학에 대한 이해의 기초가 된다고 역설하였다(National Research Council, 2013).

<표 Ⅱ-2> 과학 및 공학적 실행의 종류(National Research Council, 2013)

| 과학 및 공학적 실행(science and engineering practices) |
|---|
| 질문하기 및 문제 규정하기<br>(Asking question and defining problems) |
| 모델 개발 및 사용하기<br>(Developing and using models) |
| 탐구조사 계획 및 수행하기<br>(Planning and carrying out investigation) |
| 자료 분석 및 해석하기<br>(Analyzing and interpreting data) |
| 수학 및 전산적 사고 활용하기<br>(Using mathematics and computational thinking) |
| 설명 구성하기 및 해결책 설계하기<br>(Constructing explanations and designing solutions) |
| 증거에 입각하여 논증하기<br>(Engagement in argument from evidence) |
| 정보 수집과 평가 및 소통하기<br>(Obtaining, evaluation and communication information) |

이때의 과학적 실행은 이전의 탐구 활동에서 간과되었던 조사나 토론 같은 활동도 강조하였으며(National Research Council, 2012; 강남화와 이은미, 2013), 현대 사회를 살아가기 위한 필수 지식으로서 공학적 실행이 함께 이루어져야 함을 제시하였다(National Research Council, 2013). 이는 과학적 실행이 단순히 과학 지식을 적용하여 문제에 답하거나 특정한 기능을 연마하여 문제를 해결하는 것 이상의 활동이라는 것을 의미하

며, 탐구가 함축적인 명제로 정의되거나 단계적 절차로 제시되기보다 그 의미가 확장되어야 한다는 의도가 반영된 것이다(오필석, 2020). 또한 과학적 실행을 실제 맥락에서 직접 경험하지 않고는 이를 이해할 수 없으며, 나아가서는 과학적 지식의 본질을 완전히 이해할 수 없다는 인식에 따른 결과이다(National Research Council, 2013).

한편, '과학적 실행'이라는 용어는 우리나라에서 2015 개정 과학과 교육과정의 '기능'으로 반영되었으며, 기능은 문제 인식, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집, 분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통의 8가지로 이루어져 있다(교육부, 2015). 미국 차세대 과학교육표준에서 '기능' 대신 '실행'이라는 용어를 사용한 것과는 달리 2015 개정 과학과 교육과정에서는 기술이나 기법을 의미하는 '기능'을 지속적으로 사용하는 것에 대한 비판도 있으나(오필석, 2020), 과학적 실행이 과학자의 실제 활동의 특징들을 나타낸 것이며 과학과 교육과정이 이러한 과학자 활동의 본질, 즉 과학적 탐구 방법이 특정 절차가 정해져 있지 않고 매우 다양하다는 것을 인식하고 있다는 점(교육부, 2015)에서는 미국 차세대 과학교육표준과 크게 다르지 않다.

최근에는 급격하게 일어나는 사회적 변화에 대응하고 학생들의 탐구 활동 참여와 실생활 적용을 촉진하기 위한 과학적 실행의 방안으로 능동적인 과학 탐구 참여와 함께 민주 시민으로서의 실천 활동을 강조하는 움직임이 있다. 미래세대 과학교육표준(KSES)에서는 과학적 소양의 세 차원 중 하나를 참여와 실천 차원으로 제시하고 과학적 탐구 역량에 기반한 과학 공동체 활동, 과학 리더십 발휘, 사회 발전에 기여하는 미래세대의 인간상을 강조하였다. 이때의 실천(action)은 실행(practice)을 포함하여 개인이 민주시민으로서 과학적이고 인간적인 삶을 영위하는 과정에

서 벌어지는 실천을 의미하는 좀 더 종합적인 개념이다(교육부, 2019).

앞서 기술한 바와 같이 과학적 실행이 실제 맥락에서 직접 경험함으로써 지식을 구성하는 과학자 활동의 특징을 나타낸 것으로, 지식을 생산하고, 평가하고, 주장하고, 정당화하는 과정과 넓게는 사회적 실천까지 포함할 수 있는 행위라고 할 때 R&E 프로그램은 학생들이 과학적 실행에 능동적으로 참여할 수 있는 좋은 기회가 된다. 학생들은 R&E 프로그램에서 연구 문제를 제기하고, 이를 스스로 해결할 수 있도록 연구 과정을 설계하고 수행하며, 결과 분석과 결론 도출의 과정을 거쳐 연구 결과 보고서와 같은 산출물을 생산한다. 이러한 과정에는 단계적으로 처방된 과학적 방법을 적용할 수 없으며, 학생들은 실제 과학자가 연구를 진행할 때처럼 불확실성과 비선형성, 복잡성을 경험하는 과정에서 능동적으로 지식을 구성하고 과학적 탐구 능력과 창의적 문제해결력을 신장시킬 수 있는 기회를 얻게 된다.

## 2. 지식정보화사회와 데이터 활용

### 가. 데이터의 의미와 구분

사전적 의미로 데이터는 재료·자료·논거라는 뜻인 'datum'의 복수형으로, 넓은 의미에서 의미 있는 정보를 가진 모든 값을 뜻한다. 구체적으로는 현실 세계의 어떠한 사실, 개념, 명령 또는 과학적인 실험이나 관측 결과로 얻은 수치나 정상적인 값 등 실체의 속성을 숫자, 문자, 기호 등으로 추상화하여 표현한 것이며, 데이터 자체는 단순히 어떠한 재료에 불과하지만 특정한 목적에 따라 가공이 되면 중요한 정보가 될 수 있다(두산백과). 데이터의 개별 요소들을 속성(attribute)이라 하는데, 예를 들어 책의 경우 저자, 제목, 주제, 분야, 출판사, 가격 등의 속성을 갖게 된

다(Kelleher & Tierney, 2018/2019, p. 49). 보통 데이터는 행과 열로 정리, 저장될 수 있으며, 행에는 항목, 열에는 그 항목의 속성을 표현함으로써 요약된 테이블 형태로 우리에게 전달된다(김진영, 2016, p. 40).

종종 데이터와 정보를 구분하지 않고 사용하기도 하지만 일반적으로 데이터를 바탕으로 정보(information)가 추출되며, 이러한 정보가 모여서 지식(knowledge)이 형성된다는 점(Liew, 2007)에서 데이터는 정보와 구분될 필요가 있다. Kelleher와 Tierney(2018/2019, p. 64)는 데이터 - 정보 - 지식 - 지혜로 이어지는 위계와 그 특징에 대해 다음과 같이 정리하였다.

· 데이터는 세계에 대한 추상화 또는 측정을 통해 생성된다.
· 정보는 처리하고, 구조화하거나, 맥락을 만들어 인간에게 의미가 있게 된 데이터이다.
· 지식은 인간이 해석하고, 이해할 수 있으면서, 필요하면 그에 의지해 행동할 수 있는 정보이다.
· 지혜는 그에 따라 행동하는 것이 합당한 지식이다.

이러한 관점에서 데이터 과학도 위계에 따라 데이터 수집, 전처리와 결합을 통한 데이터 생성, 데이터의 이해와 탐색, 패턴 발견과 기계학습을 이용한 모델 창출, 데이터 주도 모델을 현실에 적용하여 의사결정을 돕는 것 순서로 설명할 수 있다(Kelleher & Tierney, 2018/2019, pp. 64-65).

최근 일어난 기술과 삶의 변화는 수집되는 데이터의 양과 종류에도 큰 변화를 일으켰으며, 이러한 이유로 데이터를 특정 기준에 따라 구분하는 것이 필요하다. 데이터는 그 형태의 정형성에 따라 정형 데이터(structured data)와 비정형 데이터(unstructured data)로 나눌 수 있다.

쉽게 저장할 수 있고 정돈, 검색, 재정렬이 가능해 다른 데이터와 결합 및 분석이 쉬운 데이터를 정형 데이터라 하고, 반면 데이터 세트의 각 행이 자체 내부 구조를 갖추고 있어 다른 데이터와 결합이 쉽지 않은 데이터를 비정형 데이터라고 한다(표 Ⅱ-3). 정형 데이터는 데이터 과학 분석을 하기가 비교적 쉬운데, 이미 분석 기록으로 변환, 적용하기 적합한 포맷으로 정의되어 있기 때문이다. 이메일 내용, 트윗, 텍스트 메시지, 인터넷 게시글, 웹소설, 뉴스 기사, 이미지, 음성, 음악, 영상 등의 비정형 데이터는 정형 데이터보다 훨씬 흔하지만 자연 상태로는 분석이 어려우므로 인공지능 등의 기술을 활용해 비정형 데이터에서 정형 데이터를 추출하기도 한다(Kelleher & Tierney, 2018/2019, pp. 57-58).

<표 Ⅱ-3> 데이터 구분에 따른 수집 도구의 예

| 구분 | | 데이터 수집 도구 | 수집처 |
|---|---|---|---|
| 정형 데이터 | (예시)<br>측정 데이터<br>공공 데이터 | · 컴퓨터, 휴대폰, 마이크로컨트롤러(아두이노, 라즈베리파이, 할로코드 등), MBL 장치 등<br>· 온도 센서, 이산화탄소 센서, 미세먼지 센서 등 | · 학교, 집 등 연구 장소<br>· 기상청 기상자료개방포털, 한국환경공단, 서울시 열린데이터광장, 네이버 데이터랩, 캐글, 깃허브 등 |
| 비정형 데이터 | (예시)<br>소셜 데이터<br>신문 기사<br>면담<br>설문조사 | · 컴퓨터, 휴대폰 등<br>· 면담지, 설문지 등 | · 네이버, 다음, 구글, 카카오톡, 페이스북, 트위터, 인스타그램, 유튜브 등<br>· 연구 참여자 |

Hug와 McNeil(2008)은 데이터를 출처에 따라 1차 데이터와 2차 데이터로 구분하였다. 1차 데이터는 실험이나 조사를 통해 직접 수집한 데이터를 의미하고, 2차 데이터는 비용이나 위험성 등을 이유로 직접 수집하지는 않았지만 주어진 문제 해결에 도움이 되는 다양한 출처를 가진 데이터를 의미한다.

최근 과학기술이 발달함에 따라 다양한 곳에서 데이터를 획득할 수 있게 되었다. 따라서 실험 결과, 실시간 측정값과 함께 사회 관계망 자료, 사진, 음성 및 동영상 자료 등 우리가 주변에서 무의식적으로 경험하고 있는 모든 형태의 '정보 재료'가 데이터로 간주될 수 있다. 그러나 목적과 맥락에 따라 다양한 의미가 부여되고 이용될 수 있는 데이터의 특성상 어떤 분야에서 고려되는 구체적인 데이터의 의미와 그 범위에 대해 알 필요가 있으며, 이러한 관점에서 과학 교육에서의 데이터가 어떠한 의미를 갖고 있는지 살펴보고자 한다. 과학 교육에서 과학 탐구와 관련한 연구의 데이터는 주로 설계한 실험을 수행하는 과정에서 얻게 되는 실험 결과, 시간의 흐름에 따라 측정되는 실시간 데이터와 같이 과학적 관찰, 조사, 측정을 통해 얻은 값을 의미하였다(Qin & D'Ignazio, 2010; Schultheis & Kjelvik, 2020; 박경애, 손유미, 2020). 또한 실세계 데이터를 이용한 학습에 주목하고자 데이터의 의미를 '디지털 탐구 도구를 활용하여 측정한 값'이나 '실세계에서 얻을 수 있는 환경을 측정한 값'으로 한정하기도 하였다(정은주, 손정우, 2019; 손미현, 2020). 이러한 연구 결과들은 데이터가 측정을 통해 얻은 값이라는 것을 의미한다.

본 연구에서는 학생들이 실세계(real world) 맥락에서 인식한 문제들을 R&E 프로그램을 통해 해결해나감으로써 과학자 역량을 키워나갈 수 있기를 기대한다. 이때 문제 해결을 위해 학생들이 수집하는 데이터들은 특정 패턴이나 결과, 해석을 드러내기 위해 조작된 데이터가 아니라 실

제 현장에서 수집된 데이터이다. 따라서 본 연구에서 의미하는 데이터는 실세계에서 측정된 실제적 데이터(authentic data)이다. 이러한 실제적 데이터는 대부분 정형 데이터의 형태를 갖고 있어 문서나 영상 자료 등과 같은 비정형 데이터에 비해 상대적으로 결합, 분석, 변형이 쉽다. 또한 과학자, 시민 과학자, 센서 등의 자동화된 프로세스, 모델링 및 시뮬레이션 등 다양한 방식을 통해 생성될 수 있다(Schultheis & Kjelvik, 2020).

### 나. 데이터 리터러시

초연결 지식정보화 사회에서는 실시간으로 생산되고 있는 방대한 데이터 중 의미 있는 데이터를 선별할 수 있는 능력, 데이터를 이해하고 활용할 수 있는 능력을 갖춰야 하며, 이러한 능력을 데이터 리터러시(data literacy)라고 한다. 그러나 데이터를 활용하는 대상이나 개인의 역할에 따라 데이터 리터러시에 대한 정의가 달라질 수 있으므로(Mandinach & Gummer, 2013a), 데이터 리터러시의 정의와 그 변화에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

Shields(2005)는 데이터 리터러시를 데이터에 접근하고 조작하고 요약하는 능력으로 정의했으며, 수치 데이터를 다루는 학문 분야에서 데이터 리터러시와 통계 리터러시가 정보 리터러시의 구성 요소가 된다고 결론지었다.

이와 유사하게 Otto(2012)는 데이터 리터러시를 통계 리터러시 및 정보 리터러시의 기초로 보고 데이터 수집, 처리, 분석 능력으로 정의하였으며, Carlson et al.(2011)은 데이터 리터러시를 그래프와 차트를 적절하게 읽는 방법, 데이터에서 올바른 결론을 도출하는 방법, 데이터가 오해의 소지가 있거나 잘못된 용도로 사용될 때 인식하는 방법을 포함하여

데이터를 이해하는 것으로 정의하였다.

Qin과 D'Ignazio(2010)는 과학 탐구에서 데이터 리터러시의 중요성을 파악하고 이를 강조하고자 과학 데이터 리터러시(science data literacy, SDL)라는 용어를 사용하였다. 또한 과학 데이터 리터러시를 과학 탐구를 위한 데이터 수집, 처리, 관리, 평가, 사용으로 정의하고 정보 리터러시, 디지털 리터러시와 어떠한 차이점이 있는지 제시함으로써 리터러시 함양을 위한 교육 방법의 차이를 언급하였다.

이러한 관점들은 데이터 리터러시를 통계 활용 능력으로 보는 입장으로, 기존의 정보나 컴퓨터 교과에서 이루어진 데이터 과학 교육이 취한 입장과 일맥상통한다(송유경, 2021). 반면, 이와는 달리 데이터의 활용, 평가, 해석, 의사소통에 초점을 맞추어 데이터 리터러시를 정의한 연구도 다수 존재한다.

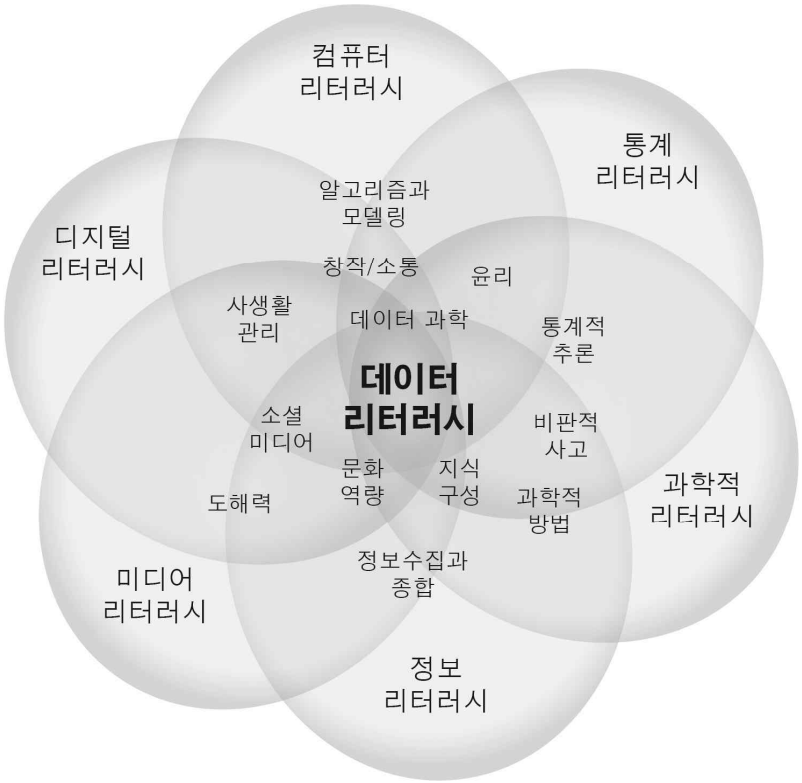
Mandinach와 Gummer(2013b)는 데이터 리터러시를 의사결정에 대한 정보를 제공하기 위해 데이터를 효과적으로 이해하고 사용하는 능력으로 정의하고, 데이터 식별, 수집, 조직, 분석, 요약, 우선순위 지정에 대한 노하우를 포함하였다.

Athanases et al.(2013)은 데이터 리터러시가 최첨단 네트워크 시대에 데이터의 확산을 관리, 이해, 비판할 수 있는 능력이라고 설명하였고, 정보 리터러시, 통계 리터러시 등과 관련이 있지만 질문을 생성하고, 체계적으로 데이터를 수집·구성하며, 조사 결과를 분석하고 나타내기 위해 적절한 도구를 사용하며, 결론을 도출하는 일련의 과정을 포함한다고 하였다.

Bhargava et al.(2015)은 과거에 데이터 리터러시가 데이터를 읽고, 사용하고, 분석하고, 논쟁하는 능력을 의미했다면 이제는 데이터 리터러시가 데이터를 통해 사회의 구성원으로 참여하려는 욕구와 능력으로 새롭

게 정의되어야 하며, 데이터 리터러시 교육은 시대에 뒤떨어질 수밖에 없는 어떤 플랫폼이나 기술 언어를 가르치기보다는 적응 능력과 회복력을 기르는데 초점을 맞추어야 한다고 하였다. 또한 데이터 리터러시는 정보 리터러시, 과학적 리터러시, 미디어 리터러시, 통계 리터러시, 컴퓨터 리터러시, 디지털 리터러시의 6가지 접근 방식 모두와 상호 작용하고 조합하면서 이루어진다고 하였다(그림 Ⅱ-2).

이러한 정의들에 따르면 데이터 리터러시는 데이터를 단순히 읽고 해석하는 차원을 넘어서 데이터를 기반으로 표현해낸 각종 표, 그래프 등의 시각화 자료를 해석할 수 있는 능력까지를 포함한다고 할 수 있으며(배화순, 2019), 이와 함께 데이터의 효과적인 전달과 이를 통해 의사소통할 수 있는 능력까지 아우른다.




<그림 Ⅱ-2> 데이터 리터러시의 상호작용(Redrawn from Bhargava et al., 2015)

최근 국내에서도 데이터 리터러시 연구의 필요성이 인식되면서 관련 연구가 다수 진행되었으며, 특히 데이터 리터러시를 교육에 도입하고자 국내외 연구의 데이터 리터러시 구성 요소 또는 역량을 상세하게 구분하는 연구 또한 이루어졌다(배화순, 2019; 한상우, 2020).

배화순(2019)은 사회과 데이터 리터러시 교육의 함의를 도출하고자 시민 교육 차원에서 데이터 리터러시 교육의 목적 및 방향 등을 제시하면서 다양한 선행연구들에 포함된 데이터 리터러시 구성 요소를 정리하였다. 이를 통해 데이터 리터러시의 요소를 범주화하여 '데이터 생성 및 조직', '데이터 활용 및 분석', '데이터 기반 의사소통 및 데이터 윤리'의 세 부분으로 구분하였다. 이를 구체적으로 나타내면 <표 Ⅱ-4>와 같다.

<표 Ⅱ-4> 데이터 리터러시의 범주(배화순, 2019)

| 데이터 리터러시의 범주 | 세부 요소 |
|---|---|
| 데이터 생성 및 조직 | · 데이터의 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터 관리 및 조직<br>· 데이터 시각화 |
| 데이터 활용 및 분석 | · 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터의 정보 추출<br>· 데이터 활용<br>· 데이터 분석<br>· 데이터에 기반한 추론 및 설명<br>· 데이터 판단 및 비판 |
| 데이터 기반 의사소통 및 데이터 윤리 | · 데이터를 활용한 의사소통<br>· 데이터 인용 및 활용 관련 윤리 |

한상우(2020)는 인문학의 주요 교육 내용을 데이터 리터러시와 결합하는 모형을 설계하기 위해 국내외 관련 연구들을 분석하여 데이터 리터러시의 정의를 정리하고, 세부 역량을 종합하였다. 총 26개의 역량 중 가장 빈도가 높게 나타난 세부 역량은 data discovery(collection, acquisition)이었으며, evaluating and ensuring quality of data and source, basic data analysis, data interpretation, data visualization, presenting data 역시 빈도가 높게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 이 연구에서는 데이터 리터러시의 핵심 요소를 비판적 사고, 분석 및 해석, 데이터의 심층적 이해, 상황에 맞는 평가, 데이터의 처리, 효과적인 전달과 소통, 윤리적 사용으로 구분하였다.

이 같은 연구 결과들을 정리하면, 기본적으로 데이터 리터러시는 데이터를 수집, 관리, 조직하는 활동을 시작으로 데이터를 시각화하여 표현하고, 기존 데이터를 가공하여 정보를 추출하는 활동을 포함하고 있다. 더불어 데이터를 분석하는 과정에서 질문을 생성하거나 질문에 답을 하고 추론하고 설명하는 고차원적 활동 및 데이터 이용 시 필연적으로 발생하는 타인과의 의사소통 과정, 관련 윤리 문제에 대한 의식 등 데이터 리터러시의 범위에 포함될 수 있는 요소는 개인적 차원부터 사회적 차원까지 광범위하다고 할 수 있을 것이다.

### 다. 데이터 리터러시에 대한 교육 연구

Martin과 Howell(2001)은 과학적 소양을 얻기 위해서 전통적인 과학 학습 과정과 함께 학제간 기술을 배워야 한다고 하였다. NOAA(national oceanic and atmospheric administration)의 기후 데이터 세트를 활용하는 것이 이러한 학제간 기술이 될 수 있으며, 이 데이터들을 활용하여 수업하는 것은 학생들이 자연 현상 관찰, 데이터 해석, 데이터를 기반으

로 한 결과 예측 및 추론, 가설 설정, 아이디어 공유와 같은 과학자처럼 생각하는 법을 배울 수 있는 좋은 기회가 된다고 하였다.

Qin과 D'Ignazio(2010)는 새로운 종류의 정보 자원을 관리하는 것의 중요성 및 이러한 이슈에 대해 STEM 교수진의 인식 변화를 촉구하고자 대학생과 대학원생을 대상으로 2년 간 과학 데이터 리터러시(science data literacy, SDL) 교육을 실시하였으며, 교육 전후에 이루어진 설문조사를 통해 데이터 수집, 선별, 처리, 활용, 평가에 대한 역량 변화를 살펴보았다. 이 연구는 각 학기의 시작과 종료 시점에 이루어진 설문조사의 결과를 분석한 후 결론부에 학생들을 데이터 관리와 사용에 대한 확실한 이해와 기술을 갖춘 미래의 과학 인력으로 양성하기 위해 STEM 교육에서 과학 데이터 리터러시를 통합한 학제간 프로젝트의 지원이 필요함을 강조하였다.

Vahey et al.(2012)은 TWD(thinking with data) 프로젝트를 개발하고, 이를 학생들에게 적용해봄으로써 이 프로젝트가 데이터 리터러시를 함양할 수 있음을 제시하였다. TWD는 학생들로 하여금 사회 모듈을 시작으로 수학, 과학, 영어 모듈을 거치게 하면서 '물 자원 분배'에 대한 다양한 부분에 대해 학습하게 한다. 이때 사회 모듈에서는 물 자원 분배와 관련한 국가 간 갈등과 UN(United Nations) 결의안과 같은 실제 맥락을 소개하고, 학생들이 인구 통계학적 데이터 및 물 가용성 데이터 등을 표현하도록 함으로써 데이터 분포를 이해할 수 있게 한다. 이어지는 수학 모듈에서는 '비례'의 개념을 활용하여 물 상황과 유사한 크기가 다른 그룹에게 토큰을 공정하게 할당할 수 있는 방법에 대해 학습하게 하고, 과학 모듈에서는 각 나라의 강수량과 지리학적 특성 분석을 통해 어떤 나라에 더 많은 물이 공급될 수 있는지 파악한 후, 담수를 활용하기 위한 방법을 배우게 한다. 이후 영어 모듈에서는 앞서 학습한 내용을 바탕으로 데

이터를 활용한 논쟁을 연습하게 한다. 이 연구는 데이터를 중심으로 여러 교과가 융합된 형태의 프로젝트를 제시함으로써 데이터 리터러시가 단순한 데이터 수집과 분석 능력이 아니라 실제 발생하고 있는 사회 현상을 탐구하고 해석한 결과를 동료들과 의사소통하는데 활용하는 능력까지 포괄하고 있음을 제시하였다.

Brogan et al.(2016)은 소규모 유역에서 실시간 환경 모니터링 데이터와 이미지를 사용자가 언제 어디서나 접속하여 확인할 수 있는 환경을 구축하고, 이러한 시도가 학생들이 수문학 개념을 배우는 데 도움을 주었다는 연구 결과를 보고하였다. 학생들은 특정 장소의 유량, pH, 용존 산소량, 산소 환원 전위, 탁도, 비전도도, 수온, 강수량, 풍속, 기온, 기압, 습도를 지속적으로 관찰하고 해석하면서 평소 경험했던 여러 자연 현상들을 설명하기도 하였으며, 연구에서는 이러한 변화의 주요 원인으로 데이터에 즉각적으로 접근할 수 있는 환경을 제시하였다.

국내에서도 최근 들어 데이터 리터러시에 대한 교육 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이재윤(2015)은 도서관의 입장에서 데이터 사이언스를 주도적으로 수용하고자 데이터 리터러시 활용에 대한 필요성을 제시한다. 특히 문헌 정보학의 관점에서 데이터 리터러시를 연구 데이터 리터러시, 통계 데이터 리터러시, 실무 데이터 리터러시로 구분하고, 정보 전문가의 기본 소양으로서 데이터 리터러시의 함양을 강조하고 있다.

교육과정 차원에서 데이터 리터러시와 관련한 부분을 포함하고 있고, 교과서 내에서도 표, 그래프 등의 데이터 제시와 분석 과정을 주요 학습 요소로 활용하고 있는 사회과에서도 데이터 리터러시의 중요성에 대해 주목하고 있다. 배화순(2019)은 사회과에서 데이터 리터러시 교육은 기술적, 수학 및 통계적 차원에서 이루어지기보다는 시민 역량 함양의 관점에서 이루어져야 하며, 데이터 수집과 활용을 넘어서 의사소통을 위해

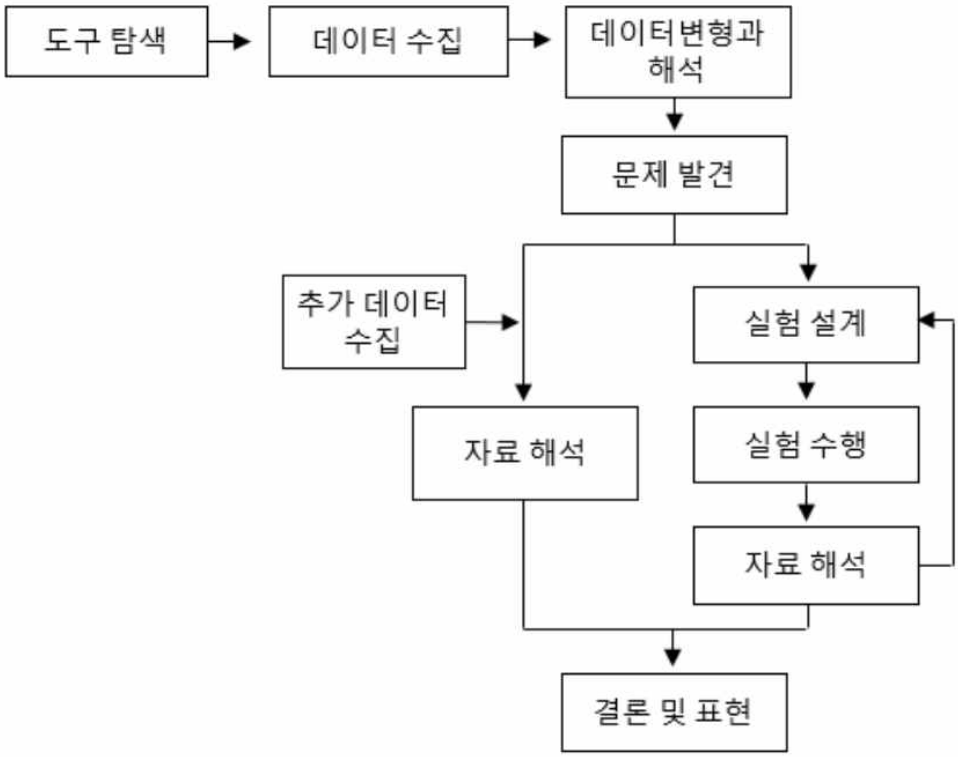
이루어져야 한다고 주장하였다. 이를 위해 학생들이 일상생활에서 데이터가 갖는 의미를 교과 교육 차원에서 탐색할 수 있도록 교육과정, 교과서, 교수·학습 방법에 대한 방안 모색을 촉구하였다.

데이터 리터러시 함양을 위한 교육 프로그램 개발에 관심을 가진 홍지연과 김영식(2020)의 연구에서는 AI(artificial intelligence, 인공지능) 소양과 함께 데이터 리터러시를 현대 사회에 필요한 주요 역량으로 규정하면서, 초등학생의 데이터 리터러시를 키워줄 수 있는 AI 데이터 과학 교육 프로그램을 개발하고 이를 실험반에 적용한 결과를 제시하였다. 구성주의 관점을 고려하여 총 32차시로 개발된 프로그램은 데이터 수집, 분석, 활용, 시각화 등 데이터 리터러시 함양에 필요한 다양한 과정이 포함되어 있으며, 사전-사후 대응 표본 t-test를 통해 학생들의 데이터 이해, 수집, 분석, 표현 역량이 향상되었음을 제시하였다.

데이터 리터러시에 기반한 수업 모형을 제안하는 연구들은 사회의 급격한 변화에 따른 교육과정과 교육 내용의 필연적 변화에 대응하기 위해 기존의 방식과는 다른 방안을 모색한다. 김석전과 김태영(2017)은 데이터 리터러시를 CT(computational thinking)의 하위 학습 요소인 자료수집, 분석, 표현 자체로 인식하고 CT 기반 문제 해결 수업 설계 연구를 수행하였다. 이 연구에서 설계한 수업에서는 통제집단에는 데이터 리터러시가 필요 없는 구조화된 문제를 제시하고, 실험집단에는 데이터 리터러시가 필요한 열린 문제를 제시함으로써 문제 인식과 분석 과정에 차별성을 부여한다. 문제풀이식 정보교육이 아닌 학생들의 실질적인 사고력 향상 교육을 지향하고자 문제 제시부터 학생들의 사고력을 활용할 수 있는 수업 모형을 제시하였기 때문에 실제 현장에 적용되었을 때 결과가 주목된다.

손미현(2020)은 과학 교육의 목적이 과학적 문제해결력 및 과학적 소

양의 함양이라 할 때, 지식정보사회화 된 현재는 데이터와 관련된 문제들을 대상으로 하는 새로운 형태의 문제해결력이 필요하다는 인식 하에 자원 기반 학습을 토대로 학습맥락, 자원, 도구, 스캐폴딩의 4가지 주요 요소를 포함하여 데이터 기반 과학 탐구를 효과적으로 수행할 수 있는 모형과 수업전략을 개발하였다. 과학 데이터 분석 탐구 모형(exploratory scientific data analysis inquiry model, ESDA)이라 명명된 이 모형은 과학적 맥락의 지식정보처리역량을 함양하는 데 목적이 있으며, 데이터를 탐색적으로 분석하여 문제를 발견하는 것이 가장 큰 특징이다. 연구자가 탐구 모형과 수업전략에 있어서 유지하고자 한 개발 방향은 '지식정보처리역량의 3가지 요소인 정보 수집, 분석, 활용 과정이 구체적인 활동의 형태로 포함되어야 할 것', '데이터의 누적 생산이 가능한 디지털 탐구 도구를 활용하여 탐구를 진행할 수 있을 것', '방대한 양의 데이터를 변형하여 의미를 찾을 수 있도록 정보 수집과 분석 요소를 반복할 수 있을 것'이었다. 이 모형은 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데(그림 Ⅱ-3), 도구 탐색을 바탕으로 데이터를 수집하여 문제를 발견하기까지 탐색적으로 데이터를 분석하는 과정과 발견된 문제를 바탕으로 귀납 또는 연역 탐구를 진행하는 과정이다. 이 모형은 문제를 인식하는 것에서 출발하는 일반적인 과학 탐구 모형과는 달리 도구를 먼저 탐색하고 데이터를 수집하여 문제를 찾는 독특한 구조를 갖는다. 연구자는 모형이 이러한 구조를 갖는 이유로 학교와 교사의 여건을 고려하여 도구를 먼저 선정하고 생활 속의 데이터를 수집하는 경험을 제공할 수 있는 현실적 측면, 우리 주변의 익숙한 데이터를 활용하는 과정에서 느낄 수 있는 과학에 대한 흥미 고양이라는 과학적 측면, 데이터 과학의 탐색적 데이터 분석 과정을 가져옴으로써 데이터 통찰력을 키울 수 있다는 학문적 측면의 3가지를 제시하였다.




<그림 Ⅱ-3> 과학 데이터 분석 탐구 모형(손미현, 2020)

또한 모형의 각 단계에 맞추어 도구 탐색의 원리, 실생활 데이터 수집의 원리, 데이터 변형의 원리, 데이터 해석의 원리, 문제 구체화의 원리, 문제 해결의 원리, 표현과 공유의 원리의 7가지 전략을 개발, 제시함으로써 학교 현장에서의 적용성을 확보하였다. 이 연구는 데이터 기반 과학 탐구에서 데이터를 다루는 과정이 있고, 데이터에서 의미 있는 결과를 도출한다는 점에 착안하여 이 특징을 과학 탐구에 적용해봄으로써 학생들의 지식정보처리역량 강화를 도모하였다는데 큰 의미가 있다고 판단된다.

이외에도 교사와 학생 간 중요한 매개체로 활용되는 교과서에 주목한 연구도 있었다. 박경애와 손유미(2020)는 지구 표면의 70% 이상을 차지하고 있는 해양의 정보를 시각화하여 정보를 제공하는 6종의 교과서를

분석하고, 시각화 자료 활용을 통한 학생들의 비판적 분석, 의미탐색, 의사결정, 문제 해결 및 책임 있는 행동을 위해 시각화 자료가 실제 데이터가 내포하고 있는 의미를 잘 전달할 수 있게 구성되어야 한다고 주장하였다. 이 연구의 흥미로운 점은 학생들이 능동적으로 프로그램이나 수업에 참여하여 데이터 리터러시를 함양해가는 과정에 주목하기보다는 기존 교과서 자료의 시각화 자료에 내포된 정보를 적절하게 전달하는지 분석해봄으로써 자료 제작 시 정확한 정보 전달을 위한 면밀한 검토가 이루어져야 한다고 주장하는 과정을 통해 기존 시각화 자료들에 대한 재고를 촉구하였다는데 있다.

이처럼 교육 분야에서 데이터 리터러시와 관련한 연구의 방향은 주로 데이터 리터러시의 개념 정의와 중요성, 학습의 필요성을 언급하는 것과 함께 데이터 리터러시 함양을 위한 프로그램 개발, 또는 데이터 리터러시를 활용한 새로운 형태의 교수-학습 방안 제시로 구분할 수 있다. 러한 연구의 결과들은 데이터 리터러시가 어떤 한 학문이나 교과에서 기를 수 있는 능력이라기보다는 여러 학문과의 융합적 접근을 통해 함양할 수 있는 학제적 성격을 갖고 있으며, 데이터 리터러시 함양을 통해 데이터가 교육적 목표를 달성할 수 있는 주요한 학습의 도구로 활용될 수 있음을 나타낸다.

## 3. 행위자-네트워크 이론

포스트휴먼적 인식론은 인간을 세상의 중심에 놓고 인간만이 인식의 주체가 될 수 있다는 인본주의적 세계관을 반대하면서 인간이 세상의 수많은 다양한 존재와 네트워크를 구성하여 상호의존적으로 공생하는 관계에 놓인 한 행위자에 불과하다고 본다. 따라서 인간의 학습을 이해하기

위해서는 포스트휴먼 학습자가 어떤 존재인지에 대한 논의와 포스트휴먼 학습의 성격을 이해하여야 한다(박휴용, 2021).

학습의 주체성 및 사물에 대한 인식 전환을 이야기함으로써 첨단 과학기술을 바탕으로 연결의 의미가 재정의되는 초연결사회에서 더욱 중요시되는 이론 중 하나는 바로 행위자-네트워크 이론(actor-network theory, 이하 ANT)이다. 1980년대 Latour, Callon, Low 등에 의해 제안되고 정립된 ANT는 사물을 포함한 다양한 종류의 행위자 네트워크 중심의 세계관으로 지식과 사회를 해석하는 이론이다(정용재, 2020a). Latour는 서구의 근대주의가 지닌 모순을 폭로하고 그것이 하이브리드라 불리는 과학기술적 산물의 무한한 증식을 낳아 오늘날의 생태 위기가 도래했다고 주장한다(Latour, 2010/2012, p. 10). Latour의 관점에서는 모든 실체들은 물질적인 동시에 사회적이고 또 언어적인 성격을 지니고 있기 때문에 순종이 아니라 잡종(하이브리드)임에도(김환석, 2005), 근대주의에서 머리로는 사물과 인간, 자연과 사회와 같은 이분법적 존재론을 믿으면서도 하이브리드를 양산한 것이 이러한 위기를 초래했다고 보고 새로운 존재론과 행위 원칙인 '비근대주의'를 주장한다. 근대주의 관점의 예로 이종혁 외(2021)는 대량 학살 무기, 핵폐기장, 프리온과 광우병, 신종박테리아, 지구온난화, GMO(genetically modified organism), 나노기술, 줄기세포, 감시 기술을 들면서 온전히 과학적이거나 사회적이라고 말할 수 있는 것이 없으나 근대적 관점은 일상에서 무의식적으로 과학과 사회를 구분한다고 하였다. Latour는 현대 사회에서 쉽게 마주하는 논제에는 정치, 사회, 경제, 문화, 과학, 기술, 환경 등의 다양한 영역이 복잡하게 얽혀있음에도 논제를 이해하는 방식, 해결하는 방식에 여전히 이분법적인 잣대를 들이대는 현실을 비판하며 문제 해결을 위해 이분법적 사고를 해체할 수 있는 새로운 관점을 제시한다.

자신의 지식과 다른 지식들 사이의 대칭성을 인정하면서도 모든 지식의 가치를 동등하게도 보지 않는 이 이론은 진리 구축의 과정에서는 모든 진술이 취약한 주장들로서 시작하지만 이 진술이 참된 지식의 지위에 오르는 경우는 교과서, 입문 강의, 논문과 저서 등에 스며들고 실험장비와 기술 장치에 각인 및 체화되는 등 단단한 연결망을 구축하는 과정을 통할 수 있을 때라고 본다. 네트워크는 보다 강하고 광범위할수록 진리 주장을 단단하게 만들 수 있기 때문에 과학자는 강한 네트워크 구성을 통해 진술을 과학적 사실로 인정받도록 노력해야 하며 이러한 네트워크에는 표상이나 텍스트뿐 아니라 실험장비, 검사 대상, 통계치와 같은 비인간 구성 요소도 포함되어 있다(김환석, 2005). 이처럼 ANT는 종래의 구성주의 접근들과 같이 인간 중심적 요인으로 과학지식의 구성 과정을 설명하지 않고, 이를 인간과 비인간 행위자들 사이의 동맹으로 구축되는 이질적 연결망에 의해 설명하고자 한다.

기구나 실험기기를 사용하지 않는 과학이 거의 없는 예에서 비인간이 없는 과학은 생각하기 힘들다. 자연의 비밀은 인간만이 기여하여 밝힌 과학이 아닌 인간과 비인간의 합작품으로 볼 수 있다. ANT는 과학과 기술의 경계가 흐려짐에 따라 발생하는 복합체(과학기술)를 테크노 사이언스라고 명명하였다. 테크노 사이언스는 인간 행위자가 비인간 행위자를 이해하고, 조정하며, 네트워크의 일원으로 포함시키는 수단이다(홍성욱, 2010, p. 10).

비인간 행위자도 능동적으로 과학 지식을 구성하는 행위자로 존재할 수 있다는 점이 과학지식사회학과 가장 큰 차이를 나타내는 ANT는 주요 개념인 행위자, 번역, 네트워크를 토대로 현실을 설명한다.

### 가. 행위자-네트워크 이론의 주요 개념

1) 행위자(actor)

‘행위자(actor)’는 다양한 행위력(agency)을 발휘함으로써 세계에 어떤 변화를 가져오는 모든 실체를 의미한다(김환석, 2005; 이종혁 외, 2021). 주로 인간에 적용되는 용어이지만 ANT의 맥락에서 행위자는 인간과 비인간 모두에게 적용되며, 어떤 인간, 사물 등의 구성 요소들이 자신의 행위력을 깨닫고 실제로 네트워크의 다른 부분에 영향을 미치기 시작할 때 비로소 행위자가 될 수 있다(Carroll, 2018). 여기서 행위력이란 의도를 갖고 선택을 할 수 있고 다른 행위자의 행위를 바꿀 수 있는 능력을 의미하므로 ANT에서는 비인간에 적극적인 역할을 부여하고 있다는 점을 알 수 있고, 인간과 비인간을 차별하지 않는 이러한 특징을 ‘일반화된 대칭성(generalized symmetry)’이라 한다(홍성욱, 2010, p. 22). 이때 행위자로서의 비인간은 단지 눈앞에 보이거나 실제로 만질 수 있는 객체만을 의미하는 것은 아니다. 개인도 그 개인에게 연결되어 있는 숱한 인간 행위자, 비인간 행위자의 이종적인 네트워크 자체임을 인식한다면(홍성욱, 2010, pp. 22-23), 다양한 행위자들의 네트워크로 만들어진 단체나 국가와 같은 조직, 지식이나 가치, 사회 제도 역시 행위력을 갖춘 행위자가 될 수 있다(김환석, 2005). 그렇다면 비인간이 갖고 있는 행위력이라는 것은 어떤 것일까? ANT 이론에서는 비인간 행위자인 과속방지턱이 운전자가 자발적으로 자동차의 속도를 줄이게끔 함으로써 인간 행위자인 교통 경찰이 만들어낼 수 있는 세계의 변화와 다르지 않은 결과를 보인다는 점을 예로 들면서 비인간 행위자의 행위력을 설명한다(이종혁 외, 2021).

2) 네트워크(network)

행위자는 홀로 존재할 수 없으며 수많은 행위자와의 관계 속에서 비로소 존재하게 된다. 한 개인의 행위능력이란 그 자신과 네트워크로 연결되어 있는 여러 행위자들의 상호작용에서 비롯된 '관계적 효과'로 볼 수 있다(홍성욱, 2010, pp. 22-23). 네트워크는 인간과 비인간의 이질적 실체들을 함께 묶는 역할을 함으로써 행위자와 서로를 지속적으로 재규정하고, 하나가 다른 하나에 의존한다(김환석, 2005). 이러한 네트워크는 특별한 실체를 갖고 있기보다는 지속적인 구성 과정을 거치면서 변화하는 관계를 나타낸 것이며, 특히 이종 네트워크(heterogeneous network) 개념은 인간과 비인간과 같이 다양한 종류의 요소로 구성되어 서로 관계를 맺고 있는 상태를 강조하고 싶을 때 사용된다. 또한 ANT는 인간과 비인간, 자연과 사회의 구분 없이 다양한 종류의 요소로 구성된 이종 네트워크 개념을 사용하여 사회, 조직, 사건 등 모든 것들이 이종 네트워크임을 강조한다(정용재, 2020a).

행위자는 연결되어 있는 다른 행위자들에 의해 네트워크를 통해 지속적으로 재규정되기 때문에 이종 네트워크 자체라고 봐도 무방하다(Law, 1992). 홍성욱(2010, p. 23)은 이러한 예로 자동차를 들고 있다. 니콜라우스 오토(Nicolaus Otto)와 같은 발명가, 카르노 싸이클을 비롯한 열역학 지식 및 이 지식을 만든 과학자들, 연료 주입을 가능하게 한 빌헬름 마이바흐(Wilhelm Maybach)와 다이믈러(Daimler) 같은 발명가, 자동차 대량 생산을 가능하게 한 헨리 포드(Henry Ford) 등 오랜 시간 동안 형성된 복잡하고 이종적인 네트워크들이 접혀져(folding) 있기 때문에 우리가 지금의 양산 자동차를 만날 수 있다는 것이다. 즉, 자동차는 오랫동안 만들어졌던 수백 개의 이종 네트워크가 집적되어 만들어낸 개체이다.

그러나 우리는 행위자나 네트워크를 거의 인식하지 못하고 있다. 이는

네트워크의 단순화 때문인데, 모든 현상은 이종적 네트워크의 산물이지만 우리는 세분화된 네트워크를 직접 대하지 않기 때문이다(Law, 1992). ANT에서는 이종 네트워크가 하나의 행위자나 대상으로 축약되는 것을 결절(punctualization)이라고 부르고, 이렇게 해서 하나의 대상으로 만들어진 네트워크를 블랙박스라고 부르며(홍성욱, 2010, p. 23), 블랙박스가 실제로 어떠한 과정을 통해 구성되는지 치밀하게 묘사함으로써 그 블랙박스를 여는 것을 추구한다(김환석, 2005).

한편, 네트워크는 ANT에서 아주 중요한 개념이지만 종종 오해를 받는데, 그 중 첫 번째는 네트워크라는 단어 자체의 일상적 용법과 그 속에 담긴 함의 때문이다. 통상 네트워크를 이야기할 때 컴퓨터 네트워크와 같은 기술적 네트워크를 의미하지만, 이러한 기술 네트워크는 엔지니어의 관점에서 볼 때 ANT 네트워크의 최종 형태이다. 즉, ANT의 네트워크는 국소적 또는 필수적 경로가 없거나 전략적 위치의 노드가 없는 등 기술 네트워크의 많은 것이 결여되어 있다. 따라서 안정하지 않다. 두 번째는 ANT의 네트워크가 사회적 네트워크로 인식되기 때문이다. ANT는 사회의 본질을 기술할 목적도 갖고 있지만, 그렇다고 해서 인간의 '사회적' 관계 - 빈도, 분배, 동질성, 근접성 등 - 에만 관심을 갖는 것이 아니라 비인간, 비개인적 존재에까지도 관심을 확장한다(Latour, 1990).

3) 번역(translation)

국립국어원 표준국어대사전에 의하면 번역은 '어떤 언어로 된 글을 다른 언어의 글로 옮김'이라는 의미를 갖는다. 즉 번역은 어떤 두 언어가 독립적으로 존재하고, 하나의 언어에서 다른 언어로 변환하는 작업을 통해 두 언어를 동등하게 만드는 작업인 것이다. 그러나 번역의 과정을 거친다 해도 어떠한 두 언어도 같아질 수 없으며 오히려 번역을 통해 두

언어는 새로운 차이가 발생한다(이종혁 외, 2021).

이처럼 번역은 같이 만드는 동시에 차이를 창조해내는 과정이라고 할 수 있고, 이와 같은 관점에서 ANT에서는 번역의 핵심이 한 행위자의 이해나 의도를 다른 행위자의 언어(이해나 의도)로 치환하기 위한 프레임을 만드는 행위인 것이라고 말한다. 따라서 행위자들의 의도가 결코 완벽하게 같아질 수 없고, 같아지는 순간에 다시 또 차이를 만들어내므로 번역은 끝없는 네트워크 건설 과정이다(홍성욱, 2010, p. 25). 번역이 한 행위자가 다른 행위자의 강점을 빌려옴으로써 두 행위자가 연관되는 과정이기 때문에 번역에 성공하면 한 행위자는 다른 행위자를 대변해서 행동하게 되며, 이러한 경우 공고한 네트워크가 구축되었다고 볼 수 있다(정용재, 2020a). 한편, 같은 네트워크 내에서도 권력을 가진 행위자는 그렇지 못한 행위자보다 더 많은 행위자들과 튼튼하게 연결되어 있으므로 더 큰 네트워크를 동원할 수 있다(홍성욱, 2010, p. 25).

ANT는 측정이나 확립된 분석의 연구 방법론이라기보다는 일종의 인식론적 입장이자 인간-비인간의 혼종(하이브리드)에 대한 존재론적 이론이다(조인성, 2021). 그럼에도 불구하고 네트워크의 건설과 지식의 생산 과정을 추적하고 해석하기 위한 몇 가지 접근 방식이 있으며, 그 중 Callon(1984)은 '번역의 4단계' 과정을 제시함으로써 이종 네트워크의 구체적 형성 과정을 더 깊이 이해할 수 있게 해준다. 번역의 4단계는 문제제기(problematization), 관심끌기(interessment), 등록하기(enrollment), 동원하기(mobilization)로 구성되어 있다(표 Ⅱ-5). 즉, 특정 네트워크의 구성은 어떠한 문제를 해결하기 위해 다양한 행위자들의 관심을 이끌어내고, 이를 통해 행위자들의 역할을 규정함으로써 다양한 행위자에 대한 지지를 유지시키는 동맹군을 동원하는 단계로 이루어진다는 것이다.

<표 Ⅱ-5> Callon의 번역의 4단계(조인성, 2021)

| 단계 | 질문 | 행위 |
|---|---|---|
| 문제제기 | 어떻게 필수 불가결한 요소가 되는가? | 행위자들의 상호정의 의무통과점(OPP)의 정의 |
| 관심끌기 | 어떻게 동맹들을 적당한 자리에 놓을 것인가? | 행위자의 정체성을 다른 방법으로 정의하고자 하는 모든 다른 실체들과 행위자 사이에 둘 수 있는 장치를 조립하기 |
| 등록하기 | 어떻게 역할을 조정하고 정의할 것인가? | 힘의 위치와 책략 등을 구성하여 묘사하기 |
| 동원하기 | 대변인이 대표성을 갖는가? | 각자의 사례가 대표성과 대변인으로 역할을 하는지 서술 |

Callon(1984)의 첫 번째 번역 단계는 문제제기(problematization)이다. 이 단계는 한 행위자가 문제를 제시함과 동시에 다른 행위자들이 반드시 거쳐야 하는 의무통과점(obligatory passage point)을 확립시킴으로써 다른 행위자들의 정체성을 그 문제와의 관계 속 정체성으로 정의하게 되는 단계이다(정용재, 2020b). 어떤 행위자가 문제의 해결을 자신의 자원으로 하자고 제안하는 과정에 해당하며, 이에 성공하면 그 행위자는 해당 네트워크에서 의무통과점이 된다(김환석, 2005). 여기서 의무통과점이란 모든 행위자들이 한 상황 또는 하나의 문제를 다루고 있음에 있어 반드시 만나게 되거나 통과하게 되는 지점으로서의 행위자를 말한다(김영민, 2019). 오늘날 정보 시스템은 가장 대표적인 의무통과점으로 간주될 수 있는데, 예를 들어 일부 항공사들은 여행사들로 하여금 자신의 예약 시스템을 사용하도록 강요하고 있다. 이들 항공사는 여행사들이 비행기표를 구매하기 위해서 반드시 통과해야 할 의무통과점으로 자신들의 정보 시스템을 전환하는 것에 성공한 것이다(김환석, 2005).

번역의 두 번째 단계는 관심끌기(interessement)로, 어떻게 동맹들을 적당한 자리에 놓을 수 있는지 질문한다(Callon, 1984). 관심끌기는 문제제기를 통해 행위자들과 의무통과점의 정체성(목표, 계획, 지향, 동기, 이해관계 등을 포함)이 규정된 후 일어나는 행위자들의 정체성을 강제하고 안정화시키려는 행동들의 집합이다(김환석, 2005; Callon, 1984). 행위자들의 정체성을 강제하고 안정화시키기 위해서는 이를 방해하거나 방해할 가능성이 있는 연결들을 끊어야한다(정용재, 2020b). 앞서 이루어낸 행위자 간 동맹들은 잠정적으로만 암시되고 있기 때문에 또 다른 행위자들의 문제제기에도 일시적으로 관련되어 있다. 이러한 연결들을 모두 잘랐을 때 잠재적으로 경쟁하는 모든 연합들을 가로막고, 자신만의 동맹 체계를 완성할 수 있다(Callon, 1984). 따라서 행위자들에 대한 '관심끌기'는 해당 의무통과점의 정당성에 도전할 수 있는 다른 동맹이나 간섭의 가능성을 막는 다양한 수단으로 이루어진다. 관심끌기 과정을 통해 행위자의 속성이 공고화되거나 재규정되며, 이 과정이 성공적이면 문제제기와 그에 따른 동맹의 타당성이 확인된다(김환석, 2005).

번역의 세 번째 단계는 등록하기(enrollment)로 어떻게 행위자들의 역할을 정의하고 조정할지 질문한다(Callon, 1984). 관심끌기만으로 곧바로 공고한 동맹이 결성되는 것은 아니다. 네트워크 내에서 각 행위자에게 역할이 부여되고 이를 각 행위자가 받아들여야 비로소 동맹이 실현되는 것이다(김환석, 2005). 등록하기는 일련의 상호 관련된 역할을 정의하고 그 역할을 행위자들에게 그들의 속성으로 부여하는 장치를 말하며, 이전 단계인 관심끌기가 성공적으로 이루어졌다면 관심끌기는 등록하기를 성취하게 된다(정용재, 2020a). 그러므로 등록하기를 묘사하는 것은 관심끌기에 수반되며 관심끌기를 성공할 수 있게 해주는 다각적인 협상, 힘의 대결과 책략의 집합을 묘사하는 것이다(Callon, 1984).

번역의 마지막 단계는 동원하기(mobilization)로 대변인이 대표성을 갖는지 질문한다(Callon, 1984). 이 단계에서는 어떤 행위자가 자신이 대표한다고 주장하는 집단들의 대변인이 되며, 이러한 대변인의 정당성을 결정하게 된다. 어떤 프로젝트가 성공하려면 동원하기가 반드시 성공적으로 이루어져야 한다. 어떤 네트워크에 실제로 포함되는 것은 소수의 행위자들이지만 이들 각각은 자신이 속한 집단의 대표라 간주되기 때문에 이 소수의 행위자들을 대표하는 대변인이 됨으로써 곧 전체 관련 집단들의 대변인이 될 수 있기 때문이다(김환석, 2005). Callon(1984)은 그의 연구에 제시한 예에서 가리비, 어부, 전문가들이 처음에는 모두 분산되어 있었고 접근이 쉽지 않았지만, 계속적인 대변인의 임명과 일련의 등가물의 정착을 통해 가리비가 스스로 부착하는 종으로, 숫자와 표로, 그리고 그래프로 치환되는 것처럼 모든 행위자가 치환되어 특정 장소와 시간에 다시 모였고, 결국 문제제기를 한 세 명의 연구원은 행위자들을 대변하여 이야기할 수 있게 된다고 하였다(정용재, 2020b).

이러한 과정을 거쳐 동원하기 단계에 이르면 강제적이고 구속력 있는 관계의 네트워크가 구성된다.

### 나. 행위자-네트워크 이론과 교육 연구

최근 4차 산업혁명이나 인공지능과 같은 용어들이 많은 관심을 받고 있는 것에서 알 수 있듯이 오늘날 과학기술은 그 발전 속도가 매우 빠르고, 이러한 급격한 변화는 인간의 소통 방법, 삶의 질, 생활 방식, 직업 등과 관련한 사회적 환경에도 커다란 영향을 미치고 있다. 특히 기술이 발전함에 따라 기술적 도구들이 전면에 등장하는 상황들이 점차 증가하는 것은 인간과 도구들의 관계성을 근본적으로 변화시킨다. 이러한 상황에서 과거의 교육 방식에만 머무르지 않고 현대 사회에서 학생들이 겪는

경험과 학습을 이해하고 시대에 걸맞은 효과적 교육 방법을 고민하는 연구들은 위와 같은 변화에 대응하고자 하는 필연적인 움직임일 것이다.

학습자에 대한 관점과 학습 이론의 변화를 살펴보기 위해 학습 이론을 크게 두 가지로 구분하면, 인본주의적 학습 이론과 포스트휴먼 학습 이론으로 나눌 수 있다(박휴용, 2021). 이중 인본주의적 학습 이론은 개별적이고 주체적이며, 온전한 능동성과 지기 주도성을 갖춘 학습자를 지향하며, 대표적으로 행동주의, 인지주의, 구성주의 학습 이론이 있다(Snaza et al., 2014; Nagowah & Nagowah, 2009). 행동주의 이론은 인간의 심리를 객관적 관찰을 통해 이해할 수 있고, 규칙이나 훈련에 의해 행동을 통제할 수 있다고 보는 학습 심리 이론이고, 인지주의는 학습자의 내면에서 일어나는 학습에 보다 집중한다. 구성주의는 학습자가 외부 자극이 갖는 의미를 탐색하면서 능동적으로 지식을 구성한다고 보는 입장으로, 세 이론 모두 학습자의 주체성, 능동성, 맥락화된 의미, 지식의 내면화 등을 강조한다는 점에서 인본주의적 특징을 내포한다고 할 수 있다(박휴용, 2021).

반면, 인간 경험의 변화에 맞게 지식과 학습에 대한 새로운 이론적 기반의 필요성이 인식됨에 따라 발전한 포스트휴먼 학습 이론은 인간을 포함하는 모든 존재들을 평등하게 보고 상호의존성에 기반한 인식론을 바탕으로 학습을 설명한다. 즉, 인본주의 학습 이론이 기술을 이해하고 지배해야 할 대상으로 보는 이원론적 관점이라면 포스트휴먼 학습 이론은 기술을 대등한 행위자로 간주하면서 서로 결합하여 공동 세계를 이루어 나갈 동반자로 인식하는 것이다(김환석, 2017). 박휴용(2021)은 앞서 기술한 행동주의, 인지주의, 구성주의에 대응한 포스트휴먼 학습 이론으로 각각 포스트휴먼-행동주의, 연결주의, 관계주의 학습 이론을 제시하였다. 이를 통해 존재론적 구별 없이 일원론적 관점에서 학습을 이해하는 것,

학습의 사회적이고 네트워크적인 성격을 이해하는 것, 학습이 외부 세계에 대한 지식 형성 과정이 아니라 학습자가 외적 존재와 공존을 모색하며 상호 관계를 유지하는 과정임을 이해하는 것을 강조하고자 하였다. 이러한 관점은 인본주의적 학습 이론이 오늘날 지식 생태계에서는 적합하지 않다는 문제 인식 과정에서 비롯되었으며, 교육에서 지식의 구조화나 체계화, 연계성을 강조하는 것이 아닌 융통성이나 개별성에 주목해야 함을 나타낸다.

이러한 포스트휴먼 학습 이론의 관점은 합리적이고 객관적인 과학적 탐구를 통해 지식을 구성할 수 있다는 기존의 실증주의적 인식과는 달리 인간 중심적 관점을 벗어나 '있는 그대로를 묘사'하는 태도를 요구하며, 이러한 관점의 인식론적 기반 중 하나가 바로 ANT이다(Krarup & Blok, 2011).

ANT는 현재 이 이론의 출발점이었던 과학기술학(science and technology studies) 뿐 아니라 철학, 사회학, 조직이론, 리더십 연구, 금융이론, 정보기술론, 지리학, 위험연구, 생태학, 예술이론과 같은 여러 분야에서 연구되고 있으며(홍성욱, 2010, p. 17), 최근 교육 분야에서도 활발한 연구가 이어지고 있다. 본 절에서는 ANT를 교육 현장에 활용한 몇 가지 선행연구 사례를 들어보고자 한다. 이러한 연구들은 학습을 네트워크의 일종으로 보고 학습 네트워크 내에서 발생하는 행위자들의 상호 작용을 통해 지식이 생성되는 과정에 주목하였으며, 인간과 비인간의 행위 능력을 동등한 위치에 놓고 교육 현장에서 비인간 행위자에 대한 제고가 필요함을 역설한다.

Wong과 Tatnall(2010)은 많은 고등 교육기관이 전통적인 대면 전달과 온라인 교육 자원을 결합하는 교육 및 강의 콘텐츠 전달 방식을 혼합하고 있는 것에 주목하였다. 통신 기술의 발달로 인해 전통적 방식으로는

변화하는 지식 및 통신 기반 사회가 요구하는 고차원의 학습 경험과 결과에 대한 요구를 만족시킬 수 없다는 인식은 우리 사회가 현재 맞이하고 있는 변화이며 이 변화는 블렌디드 러닝에 대한 관심을 일으킬 수 있다. 이러한 관점에서 연구자는 ANT의 번역의 4단계를 활용하여 학생, 교수, 코스 코디네이터, 대학 정책 등이 어우러진 회계 과목 네트워크에서 e-learning 패키지가 어떻게 작동하는지를 연구하였으며, e-learning 패키지에 로그인해있는 시간과 학업 성취도 향상과의 연관성을 보임으로써 온라인 교육과 대면 교육의 적절한 균형점을 제시하였다. 이 연구는 비인간 행위자인 온라인 학습 시스템이 학생의 학업 성취도에 긍정적 영향을 미치는지 ANT 이론을 통해 분석해봄으로써 학업 성취도에 비인간 행위자의 역할이 중요할 수 있음을 주장하였다는데 큰 의의가 있으며, 더불어 전통적 교수학습 방법과 함께 활용하여 학습의 효과를 극대화할 수 있는 '기술(technology)'의 효과를 인식하고 블렌디드 러닝에 대한 연구의 필요성을 강조한다.

Nespor(2011)는 기술자나 교사 등 중간급 인력이 시작한 조직적 혁신에서 장치(device)의 역할을 조명하기 위해 연구하였다. 대학교 과정에 제공되는 대화형 비디오 모듈과 지체된 미취학 아동을 위한 의사소통 장치의 두 가지 연구를 진행하였고, 이에 대한 결과로 장치가 매개한 변화는 미리 정의된 결과나 명시적 목표를 중심으로 조직된 활동 시스템이 아닌 '지속적으로' 생성되는 비선형 프로세스의 효과라고 주장하였으며 학습자, 교수자를 비롯한 여러 관계자가 참여하여 생성한 변화를 ANT의 관점에서 해석하고자 하였다.

쟁점 기반 과학 교육에 ANT를 도입하기 위한 시도도 있다. Elam et al.(2019)은 쟁점 기반 과학 교육에 논쟁 매핑(controversy mapping)을 활용하여 개방적 탐구의 인프라로서 디지털 소양과 디지털 도구, 그리고

사용 방법을 포함한 교수법에 대한 우려를 감소시키고자 논쟁 매핑이 과학 소양과 과학의 본질에 대한 지식을 어떻게 대체하는지에 초점을 맞추고 연구하였다. ANT는 과학과 기술, 사회를 지속적으로 분석하고 효과적으로 공동 생산의 역학을 포착하기 위한 논쟁에 초점을 맞춰왔으며, 논쟁 매핑은 ANT를 디지털화한 것으로서 웹상의 논쟁을 관찰하고 시각화할 수 있다. 교육을 위한 ANT로서의 논쟁 매핑은 논쟁이 일반적으로 결론이 정해져 있지 않고 과학적, 정치적으로 해석이 열려있는 상태이기 때문에 어떤 논쟁의 대상이 과학, 기술, 사회에 의해 공동으로 형성되는 과정을 탐색하고 시각화하기 위해 디지털 기술을 활용하는데 관심이 있으며, 따라서 연구자들은 논쟁 매핑을 통해 학제간 프로그램이 학생들에게 효과적일 수 있는지 연구할 수 있었다. 쟁점 기반 과학 교육에 논쟁 매핑을 활용하는 것의 효과성은 연구 참여자에게 논란의 여지가 되었지만, 디지털 소양을 함양할 수 있는 기회라는 것에 대해서는 큰 동의를 얻었다는 점에서 학생의 디지털 소양을 개발하기 위한 학교 역할 강화의 필요성 또한 제기되었다. 논쟁 매핑 구성에 참여한 학생들은 논쟁거리를 공유하고, 설명하고, 해석하고, 대표할 수 있는 논쟁의 중재자 역할을 하도록 요청받음으로써 당면한 문제에 더 자유롭고 창의적인 생각을 할 수 있게 되었다. 이 연구는 SSI 교육이 학생들이 사회에서 합리적인 자율적 의사결정자로 활동할 수 있도록 하기 위한 기능적인 과학 소양을 갖추는 준비를 시킨다면 논쟁 매핑은 과학 소양을 유도하는 대신 디지털 소양을 개방적 탐구의 현대적 기초로 간주하여 개인이 스스로 생각과 성찰에 대한 역량을 계속 개발할 수 있도록 한다는 점을 반복적으로 강조한다. 이러한 점에서 ANT의 디지털화는 기존의 개별 사례 연구를 통해 과학, 기술, 사회의 공동 생산을 입증하는 것이 아닌, 훨씬 더 광범위한 논쟁 환경을 묘사할 수 있는 데이터 마이닝 및 시각화 시도이며, 이러한 방법

은 디지털 방식으로 모니터링하고 시각화할 수 있게 함으로써 과학, 기술, 사회를 훨씬 더 가까운 곳에서 관찰할 수 있게 한다는데 큰 의의가 있다.

국내에서도 ANT를 교육 현장에 적용하기 위한 시도가 있었다. 김영민(2019)은 고등학교 과학 논의 수업에서 학생 상호작용을 탐색하기 위해 담화분석과 ANT를 활용하였다. 연구자의 가설과 자유 코딩을 기반으로 선정된 11개의 행위자를 바탕으로 학생들의 과학 논의에서 어떤 행위자가 영향을 미치는지에 대해 분석한 결과 '사전 정보', '수업 도구', '논의 진행'의 세 가지를 중심으로 학생들의 논의가 진행되었다. 이를 통해 연구자는 전체 차시를 아우르는 행위자를 여러 방안으로 선정하고, 이에 대한 타당도와 신뢰도를 높여 나간다면 수업 컨설팅, 전문적 교사 공동체, 교사 연구회 등에서 수업을 개선하고자 하는 시도를 할 때 중요한 기준이 될 수 있을 것이라 결론지었다. 이 연구는 학생 논의 수업에 나타나는 발화와 아이디어에 등장하는 모든 요소들을 행위자로 결정하고, 행위자와 아이디어를 소시오그램으로 그려냄으로써 네트워크 내에서 중요하게 활동하는 행위자들을 도식화하였다는 특징을 지니고 있다. 소시오그램을 통해 행위자의 존재, 행위자의 빈도, 아이디어와 행위자 간의 연결 강도, 의무통과점을 확인하고 분석할 수 있었으며, 이러한 연구 결과는 행위자에 대한 지속적인 선택과 발굴을 통해 과학 교육 현장 연구에 행위자를 상호정의하고 의무통과점을 설정하는 것이 가능할 것이라는 의미를 내포한다.

정용재(2020b)는 교육실습에 이종 네트워크 관점이 줄 수 있는 함의를 탐색하고자 하였다. 초연결사회의 도래와 그에 따른 교육의 변화에 대응하기 위한 시도로 교육실습 안내 책자에 사용된 용어의 빈도수를 분석해 인간 행위자와 비인간 행위자를 구분하였으며, 이를 통해 인간 행

위자에게 초점이 맞춰진 교육실습의 내용을 제시하면서 비인간 행위자의 전면적 인식을 역설한다. 교육실습을 다양한 행위자들의 네트워크로 인식해야 하며, 따라서 실습 중에 발생하는 여러 번역 과정에 주목하고 행위자들의 정체성과 그들 사이의 관계에 대한 경험적이고 기술적인 연구가 필요하다는 결론을 맺음으로써 다양한 교육실습 프로그램 개발의 필요성을 촉구하였다.

조인성(2021)은 학생들의 지역 정체성을 함양하기 위해 ANT의 번역의 네 단계를 바탕으로 실행 연구를 수행하였다. 지역 정체성을 함양하지 못한 것에 대해 문제화하기, '수양개 유적'의 가치로 관심끌기, 수양개를 위한 나의 역할 인식하기, 실천 활동 및 지속성 확보를 목표로 지역 정체성 함양하기의 4단계로 구성된 15차시의 수업 프로그램을 운영하였으며, 이 과정에서 학생들의 지역 정체성 내면화 과정을 탐색하였다. 이 연구는 학습자가 지역 정체성을 함양해나가는 과정을 번역의 과정으로 인식하고 정체성 함양을 위한 수업 프로그램에 Callon이 제시한 번역의 4단계를 녹여내 실행하였다는데 그 의의가 있다.

ANT에서는 세계에 대한 우리의 인식이 인간 중심 세상에서 인간과 비인간이 함께 얽혀있는 네트워크로 바뀌어야 함을 요구한다. 이는 첨단 과학의 발달과 그에 따른 사회적 환경의 변화가 가속화되고 있는 현재 중요한 시사점을 제공하며, 또한 교육 현장에서 다루어지고 있는 지식이나 학습 방법에 대한 고민이 필요함을 의미한다. 이러한 관점에서 앞서 제시한 연구 결과들은 학습 네트워크 내에서 비선형적으로 발생하는 지식 생성의 과정과 실험 도구나 디지털 기기와 같은 비인간 행위자의 역할에 주목함으로써 교육 현장에서 새로운 문제 해결 방식을 제안하고 있다.

### 다. 행위자-네트워크 이론과 과학 교육

과학지식은 자연의 단순한 반영이 아니며 행위자에 의한 능동적 구성물이라고 보는 것은 구성주의에서 일관된 입장이었다고 볼 수 있지만, 이때 과학지식을 구성하는 행위자가 누구인가에 대해서 상호작용하는 인간집단으로서의 사회에서 인간과 비인간의 네트워크로 크게 그 입장이 바뀌어 왔다(김환석, 2005). ANT의 이종 네트워크는 인간 행위자와 비인간 행위자가 서로 뒤얽혀 구성되어 있고, 그것을 이루고 있는 구성원들이 서로 분리되어 있지 않은 채로 관계에 의해 존재하며, 번역을 통해 새로이 구축되거나 변화한다는 특징을 갖고 있다(정용재, 2020a). 그렇다면 과학 교육과 ANT는 어떠한 연관성이 있을까?

2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)에서 '과학'은 모든 학생이 과학의 개념을 이해하고 과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르기 위한 교과이며, 기본 개념의 통합적인 이해 및 탐구 경험을 통하여 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력 등의 과학과 핵심역량을 함양하도록 한다. 또한 미래세대 과학교육표준(KSES)에서는 추구하는 인간상을 '과학적 소양을 갖추고 더불어 살아가는 창의적인 사람'으로 설정하였다. 여기서 과학적 소양은 '과학 관련 역량과 지식을 지니고 개인과 사회의 문제 해결에 민주시민으로서 참여하고 실천하는 태도와 능력'을 말한다. 과학적 소양은 역량 차원, 지식 차원, 참여와 실천 차원의 세 가지 차원으로 이루어져 있으며, 이러한 과학적 소양을 활용하여 개인과 사회의 다양한 문제들을 해결할 수 있어야 한다(교육부, 2019).

4차 산업혁명 시대를 맞이하여 다양한 정보통신 기술과 스마트 기술이 널리 보급되면서 세상은 빠르게 초연결사회로 진입하고 있고, 이에

따라 우리의 과학 교육 환경 역시 근본적이고 급격한 변화에 직면하였다(교육부, 2019). 이러한 변화는 과학학습에서 무엇에 주목해야 하느냐에 대한 고민의 폭을 좀 더 다양한 요소와 행위자들을 포함하는 고민으로 넓히고 있으며(정용재, 2020a), 이에 상응하는 하나의 예로 미래세대 과학 교육 표준에서는 미래세대가 지녀야 할 역량 중 하나로 다양한 행위자와 존재자를 아우르는 폭넓은 유연한 관계를 맺고 능동적인 평생학습을 수행할 수 있는 능력인 '초연결사회 대응과 평생학습 능력'에 주목하기도 하였다(교육부, 2019).

이러한 관점에서 미래 사회에 대응하기 위한 방법으로 인간뿐만 아니라 사물을 포함하는 다양한 행위자들과의 연결, 클라우드나 사이버 공간, 인공지능 활용 등 학습 방법의 다양화, 학습의 주체성에 인식과 사물을 포함하는 비인간적 행위자들에 대한 인식 전환을 들 수 있으며, ANT는 과학 학습도 이종 네트워크로 보고 과학 학습에서 나타나는 비인간 행위자, 학생이 지닌 '결절'된 개념을 해체적으로 파악하여 이종 네트워크의 구성과 관계를 밝히는 과정, 과학 학습이 익숙함과 익숙하지 않음의 경계에서 끊임없는 상호작용을 통해 새로운 관계를 공고히 해나가는 과정이라는 점에 주목하기를 독려한다(정용재, 2020a).

과학자의 실제 활동으로 특징지어질 수 있는 과학적 실행은 불확실하고 복잡한 과정이다. 이러한 과학적 실행을 과학 교육에 어떻게 하면 실제적으로 적용할 수 있을까를 고민할 만한 시간이 충분하지 않았으나(오필석, 2020; 이종혁 외, 2021), 과학적 실행의 혼종성, 복잡성, 역동성과 더불어 본 연구에서 살펴보고자 한 R&E 프로그램은 학생들이 과학자의 연구 과정을 경험하는 것에 주요 목적이 있다는 점을 고려하면 ANT의 관점에서 과학적 실행을 바라보는 것은 좋은 시도가 될 것으로 판단한다.

차세대 과학교육표준(NGSS)에서는 과학 탐구에 참여하는 것은 일반

기술뿐 아니라 해당 분야에 특정한 인지, 사회 및 인식론적 실행을 필요로 하며, 과학적 실행이 과학적 행동의 규칙이나 규범에 의해 결정되는 일련의 고립된 활동이 아니라는 점을 강조한다. 그러나 차세대 과학교육표준(NGSS)은 단순하고 고립적이며 규범적인 행동 결과의 집합(표 Ⅱ-2)으로서 과학적 실행을 설명하는 한계가 있으며, 이는 과학의 본질을 충분하고 정확하게 묘사하지 못한다. 구체적으로는, 과학적 실행에 참여할 때는 그에 필요한 특정 지식이 요구되므로 그 특징이 일반적인 기능과는 다르며, 과학적 실행들은 상호 연관되어 있을 뿐 아니라 사회적 성격을 띠기 때문에 고정된 규칙들과 단계적으로 처방된 과학적 방법과도 다르다(Ford, 2015). 미국 차세대 과학교육표준(NGSS)이나 2015 개정 과학과 교육과정의 과학적 실행은 과학자의 실제 활동에서 나타나는 특징들을 추출한 것이지만, 만들어지고 있는 과학(science in the making)이 갖는 불확실성과 복잡성, 다양한 존재자들의 혼종성이 섞여 있기 때문에 그 특징들을 합한다고 과학적 실행의 전체가 되지 않는 것이다(이종혁 외, 2021). 그렇기 때문에 차세대 과학교육표준에서 제시하는 과학적 실행의 종류는 넓은 의미에서는 과학적 실행이 아니라 운영 수준에서 정의된 성과나 활동으로 볼 수 있고, 따라서 어떤 실행이 과학적 실행에 해당하는지를 알기 위해서는 다른 실행들과 어떻게 상호작용하는지를 살펴봐야 한다(Ford, 2015). 이는 과학적 실행이 선형적 절차로 이루어지지 않는다는 것과 함께, 개념적 혹은 절차적 오류와 실패의 과정을 반복하고, 다양한 경로로 진행되며, 도구의 협력을 통해 항상 성공적이지만은 않은 여러 방법적 시도들로 이루어진다는 것을 의미한다(이종혁 외, 2021).

최근 이 같은 인식을 바탕으로 과학적 실행을 기존의 관점과 다르게 제시하면서 이를 과학 교육에 통합시키려는 연구들이 늘어나고 있으며

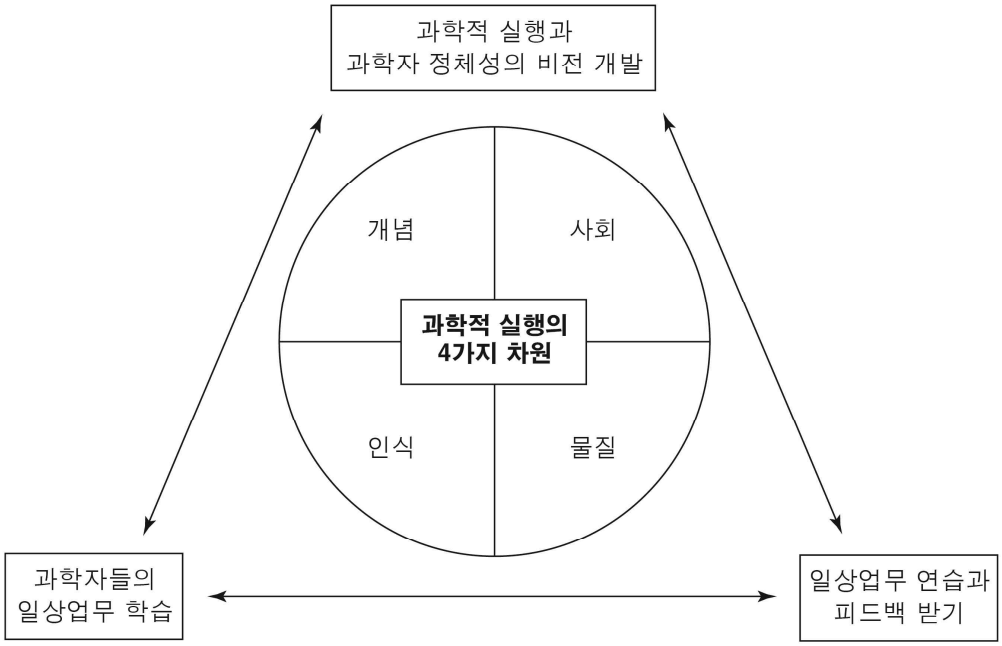
이러한 시도는 과학 교육에서 과학적 실행이 갖는 의미와 교수-학습 방법에 대해 새롭게 인식하는 계기를 제공하였다(Erduran, 2015).

Mody(2015)는 과학적 실행이 지저분하고, 모순적이고, 때로는 추론에 의지하는 과학자의 행동 방식을 나타내기 때문에 과학 교육에서 학생들에게 좋은 모델로 인정받지 못할 수 있지만, 실제 과학 지식이 만들어지는 과정을 학생들에게 정확하게 인식시킨다는 측면에서 유용하게 받아들여져야 한다고 하였다. 이러한 시도가 학생들이 비현실적으로 정형화되어 있는 과학적 방법을 무조건 수용하지 않고 과학을 수행하는 자신만의 방법을 찾고 즐기도록 할 수 있다고 생각하였기 때문이다. 이 같은 측면에서 과학 교육자는 학생들이 과학적 실행을 교실에서 경험할 수 있도록 과학자가 주변과 네트워크를 이루는 일상적 방식으로서의 토론, 쓰기, 읽기, 듣기와 같은 과학적 의사소통 방법에 대해 배울 필요가 있음을 제시하였다. 더불어 스스로 도구와 장치를 만들어 아이디어를 빠르게 테스트하는 과학자 양식을 고려하여 학생들에게 DIY 운동(do it yourself movement)과 같은 실천 지향적 과학 교육을 도입해야 한다고 하였다.

Stroupe(2015)는 과학적 실행을 '사람들이 실험실, 현장, 교실과 같은 특정 장소에서 시간이 지남에 따라 명시적, 또는 암묵적으로 개발하는 학문적 작업의 학습 가능하고 가치 있는 차원'이라고 정의하면서 교육 환경에서 과학적 실행을 중심으로 하는 학습 기대를 재구성하기 위해서는 교수-학습에서 두는 우선순위의 근본적 변화가 있어야 한다고 하였다. 이때 등장하는 차원들은 개념적 차원, 사회적 차원, 인식적 차원, 물질적 차원으로, 이러한 차원들의 존재는 과학적 실행이 어떤 맥락의 사회적, 정치적, 문화적 측면에 의해 영향받는 더 큰 활동의 네트워크에서 나온다는 것을 의미한다(그림 Ⅱ-4). 학생들은 이 같은 차원으로 이루어진 과학적 실행에 참여함으로써 과학자로서의 정체성을 구축하고, 과학

자들의 일상 업무에 참여하는 방법을 배울 수 있으며, 과학에 참여하려는 자신들의 노력이 어떻게 진행되고 있는지에 대한 피드백을 얻을 수 있다(Stroupe, 2015).

**[초보자가 과학적 실행을 학습하는 방법]**




<그림 Ⅱ-4> 과학적 실행의 구성 요소(Redrawn from Stroupe, 2015)

더불어 연구자는 실험실이나 실제 현장과 같은 전형적인 과학 환경에서 일어나는 과학적 실행의 세 가지 특징을 제시하면서 교육 환경의 변화를 촉구하였는데, 이는 각각 맥락과 가치가 고려되는 과학적 실행, 공동체가 공적(public)으로 생산하는 과학적 실행, 선형적이고 통제되기 보다는 지속적으로 변화하는 과학적 실행이다(Stroupe, 2015).

Tang(2019)은 과학적 실행을 시간과 공간에 걸쳐 인간과 비인간 행위자에게 분산된 학문적 리터러시 이벤트(disciplinary literacy event)들의 행위자-네트워크로 개념화하였다. 현재 리터러시에 대한 연구는 내용 영역 리터러시(content area literacy)에서 점차 학문적 리터러시

(disciplinary literacy)로 이동하고 있다. 이때 내용 영역 리터러시는 여러 교과목 속에서 만나는 내용 영역에 대응하여 활용되기를 기대하는 일반적 도구로서의 읽기 및 쓰기 능력을 의미하는 반면, 학문적 리터러시는 기존 리터러시의 일반화된 관점이 전문적인 텍스트 이해에 도움이 되지 않는다는 반성으로 어떤 특정한 맥락에서 전문가가 해당 분야의 작업에 참여하기 위해 사용하는 고유한 도구(unique tool)에 주목한다(김영란, 2019; Tang, 2019). Tang(2019)에 의하면 학문적 리터러시 이벤트는 사람들이 말하고, 듣고, 읽고, 쓰고, 그림을 그리거나 언어가 사용되는 여러 활동과 같이 구체적이고 관찰 가능한 상황을 나타내며, 따라서 맥락화되어 있다. 이러한 관점에서, 예를 들어 과학실에서 온도계를 읽고 보고서에 이를 기록하는 행위는 학문적 리터러시 이벤트에 해당한다고 할 수 있으며, 보고서는 리터러시 이벤트들을 연결하여 네트워크를 형성하는데 기여하는 기입의 역할을 하게 된다.

실제 과학적 실행은 과학자들이 현실 세계에서 수행하는 종류의 일이며, 과학자들은 이러한 실행을 통해 끊임없이 도구와 리터러시 장치(literacy device)를 만들어낸다(Mody, 2015). 과학자들이 지속적으로 만들어내는 리터러시 장치의 하나는 '기입(또는 기록하기, inscription)'으로(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 70), 연구실 샘플에 대한 메모, 인쇄된 그래프, 보조금 제안서 또는 논문에 이르기까지 그 형태가 다양하다. 세계의 질서를 구성하고 표현하거나 이를 통해 구성원들의 상호작용을 지원하는데 사용되는 기입은 이동 가능하고 이동하는 동안 속성이 변하지 않으며, 다른 기입과 쉽게 비교가 가능하다. 또한 결합이 가능하고, 적은 비용으로 기존의 기입을 재생산하거나 다른 형태의 기입을 가능하게 하는 속성을 갖고 있다(Roth & McGinn, 1998).

Latour와 Woolgar(1986/2018)는 과학자가 자신의 주장을 정당화하기 위

해 끊임없이 기입을 생산하고 이 기입들에 의해 만들어진 과학적 사실을 외부의 누군가에게 설득함으로써 사실의 확산을 도모하는 존재라고 하였다(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 118). 이때 과학자의 논문에 나타나는 진술의 유형을 추측이나 사변을 나타내는 유형 1에서 사실을 나타내는 유형 5의 5단계로 구분하고 과학자가 실험실에서 만들어진 기입들(그림, 수치, 논문 등)을 이용하여 자신의 지식을 추측에서 사실로 변화시켜가며 독자들을 설득한다고 하였다(Latour & Woolgar, 1986/2018, pp. 103-116). 이러한 관점에서 보면 실험실에서 과학적 지식이 구성되는데 기입이 중요한 역할을 담당한다는 것을 알 수 있다.

번역의 과정으로서의 기입이 이루어질 때 번역 과정의 정당성을 지원하기 위한 동맹이 형성되는데, 동맹 네트워크가 더 큰 과학 공동체에까지 확장되는 것이 가능한 경우, 즉 많은 독자들을 설득할 수 있다면 더 많은 동맹들을 동원할 수 있게 되고 결국 과학적 사실로 받아들여지게 된다(Tang, 2019). 이때 행위자 간 상호작용 결과의 기록인 기입이 활발하게 일어나기 위해서는, 따라서 행위자-네트워크가 안정적으로 유지되기 위해서는 네트워크 내의 주요 속성을 파악하는 것이 중요하며(Paledi & Alexander, 2017), 이것이 ANT에서 이야기하는 과학자의 실행에 따른 과학 지식의 생산 과정이다.

이종혁 외(2021)는 Latour가 제안한 '순환하는 지시체(circulating reference)' 개념을 사용하여 과학적 실행을 살펴보고자 하였다. 일반적으로 기호는 구체적이고 실재하는 대상, 즉 지시체를 지시하며, 이 관점을 그대로 과학에 가져오면 과학은 '구체적 대상의 진리를 발견하여 언어, 수학 등의 추상적 기호로 표현하는 작업을 수행하는 학문'으로 정의된다. 그러나 Latour는 지시의 단계, 지시의 방향, 지시에 따른 속성의 증감 측면에서 재고할 필요가 있음을 보이며(Latour, 1999/2018, pp. 124-125),

순환하는 지시체의 특징을 제시하였다. 기호에 의해 지시된 사물은 지시체이자 뒤이어 등장할 지시체를 위한 또 다른 기호이기도 하다. 기호와 지시체가 서로 만나고 변화하고 치환되는 과정에서 사물은 다양한 속성이 감환 또는 증폭되는 교환이 이루어진다(이종혁 외, 2021). 이처럼 지시체의 특징은 무한한 지시, 가역적 지시, 교환되는 지시로 정리될 수 있고, 이는 과학이 객관적인 지식을 향해 선형적이고 일정한 절차를 거치는 방법론을 따라 지식을 생산한다는 관념을 해체한다. 따라서 앞서 기술한 미국 차세대 과학교육표준이나 2015 개정 과학과 교육과정에서 제시한 '과학적 실행' 요소가 발생했는지 여부가 과학적 실행이 일어났는지를 판단하는 절대적 근거로 받아들여지기보다는 과학적 실행을 어떤 특정한 인식적 목적을 달성하기 위한 행위라는 것에 주목하여 종합적인 시각에서 파악해야 한다. 구체적으로 정리하면, ANT의 관점에서 순환하는 지시체에 대한 고찰은 과학적 실행을 교육적 상황에 적용하고자 할 때 다음의 세 가지 시사점을 제공한다. 첫째, 과학적 실행은 학습자가 객관적으로 존재하는 과학 지식을 자신의 추상적 세계에 잘 내면화하는 것이 아니라 주변의 기호와 사물에 연쇄적인 관계 맺기를 해나가면서 경험하는 지식 획득의 과정에 있다. 따라서 정해져 있는 답변이 아닌 질문에 초점을 둔다. 이는 과학적 실행에 기반한 과학 학습은 학습자가 미지의 과학 세계를 탐험하면서 그들 나름대로 이해를 만들어가는 '창조'의 과정임을 의미한다. 둘째, 행위력이 있는 인간이 이론과 같은 추상적이고 보편적인 기호를 생성하기 위해 구체적인 실험 도구와 같은 비인간을 활용한다고 여기는 것과 같이 도구를 이론이나 가설을 검증하기 위한 종속적인 존재로 인식하는 것이 아니라 이러한 도구가 이론만큼이나 과학적 실행에 중요한 역할을 한다. 순환하는 지시체 관점에서는 우리가 사물이라 인식했던 것이 어느 순간 기호로 추상화되거나 반대로 기호가 어느 순간

사물로서 구체화되기도 하는 것처럼 순수한 사물 또는 순수한 기호가 아닌 하이브리드의 존재를 긍정하게 되기 때문이다. 이러한 관점에서 보면 교육 현장에서 인간 행위자만큼이나 비인간 행위자의 역할에 주목할 필요가 있다. 셋째, ANT는 어떤 과학 지식이 다양한 행위자들을 서로 관계시켜 크고 강건한 네트워크를 형성했을 때 비로소 우리에게 성공적 과학지식으로 받아들여진다고 본다. 즉, 과학 교육의 관점에서 학습자가 학습 목표를 얼마나 달성했는지, 구성한 개념이 얼마나 정확한지가 중요한 것이 아니라 과학학습을 통해 자신의 일상적 경험 상황에서 얼마나 주위의 인간 또는 도구, 표준, 제도 등과 '협력'할 수 있는지가 중요하다는 것이다. 따라서 평소 과학 교육에서 간과되어 온 암묵적 지식에도 주목할 필요가 있으며, 지식이 실제로 활용되는 상황에서의 유용성에 관심을 두어야 한다(이종혁 외, 2021).

앞서 살펴본 바와 같이 ANT는 과학적 실행을 일련의 규칙에 따라 이뤄지는 성취의 목록이라기보다는 어떤 목적을 달성하기 위한 사회적 행동들의 종합으로 보며, 이는 과학적 실행을 그 맥락에서 목적에 맞는 행위들의 상호 작용 네트워크로 인식해야 한다는 것을 의미한다. 이러한 과학적 실행 네트워크의 구성에는 인간과 더불어 환경이나 물질과 같은 비인간 행위자도 함께 참여하게 되며, 과학적 실행 네트워크를 통해 생성된 과학적 지식은 미리 정해져 있던 지식이 아닌 행위자들의 상호작용에 따른 결과이다.

또한 ANT에서는 과학 학습도 하나의 이종 네트워크로 보고 인간 행위자뿐 아니라 사물을 포함하는 다양한 행위자들과의 연결, 학습 방법의 다양화에 초점을 맞춘다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 초연결사회의 도래로 이전까지 사용하기 어려웠던 첨단 기술을 포함한 교육 프로그램이 학생들의 과학 소양에 어떠한 긍정적 영향을 미칠 수 있는지 ANT의

관점에서 살펴보고자 하였다. 구체적으로는 우리가 주변에서 쉽게 획득할 수 있는 다양한 ‘데이터’에 주목하여 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램이 학생들의 연구 역량 향상에 어떠한 기여를 할 수 있는지, 과학적 실행이 어떻게 나타나는지 ANT의 관점에서 살펴보고, 더불어 기입이나 도구와 같은 ‘비인간 행위자’에 대한 관심 제고를 이끎으로써 미래 사회와 교육의 변화에 대응하고자 하였다.

# Ⅲ. 연구 방법 및 절차

본 연구는 R&E 프로그램에 참여하는 학생들이 자기 주도적 연구 환경에서 과학자로서의 소양을 효과적으로 함양할 수 있는 방안을 모색하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서는 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 느끼는 어려움을 극복하기 위한 방안으로 데이터 리터러시에 주목하였다. 이에 따라 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고, 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 행위자-네트워크 이론의 관점에서 살펴보았다. 이를 통해 데이터 리터러시가 학생들의 미래 과학자로서의 소양 함양에 어떤 기여를 할 수 있는지 알아봄으로써 학생들의 과학 지식 생산 과정에 대한 새로운 시각을 제공하고자 하였다.

양적 연구가 어떠한 집단의 특성을 밝히거나 이론을 검증하기 위해 통계 처리를 이용하는 연구 방법이라면, 질적 연구는 가정, 세계관, 가능성이 있는 이론적 렌즈의 활용, 연구 문제들을 가지고 사회 문제나 인간 문제로부터 기인하는 의미 있는 개인이나 집단을 조사하는 방법이다(Creswell, 2007/2013, p. 61). 이를 구체적으로 풀어보면 질적 연구는 연구자가 연구 참여자 맥락에서 자료를 수집하고, 면접, 관찰, 문서 등 다양한 형태의 자료를 활용하며, 귀납적 자료 분석 과정을 거친다는 것이다. 또한 연구 과정이 유연하고 연구 참여자 맥락에 맞는 이론적 렌즈를 사용하며, 연구 문제를 총체적으로 해석하고자 하는 특징도 포함하고 있다.

본 연구는 학생들이 주도하는 R&E 프로그램에서 학생과 데이터가 어떻게 상호작용하는지 살펴보고, 그 과정에서 학생들이 보여주는 과학

적 실행을 탐색하기 위한 연구이므로 연구 참여자와 연구 맥락에 대한 구체적인 모습을 살펴보아야 한다. 따라서 이에 적합한 질적 사례 연구 방법으로 연구를 수행하였다. 연구가 수행된 구체적인 상황과 자료수집 및 분석의 방법은 다음과 같다.

## 1. 연구 맥락 및 연구 참여자

### 가. 연구 맥락

본 연구는 2021년 5월부터 2022년 2월까지 총 10개월에 걸쳐 수도권 소재의 한 과학영재학교에서 수행되었다. 이 과학영재학교는 매년 수·과학 분야에서 우수한 성취를 보이는 학생들을 경쟁 시험을 통해 선발한다. 선발된 학생들은 기본적으로 매우 우수한 학업 능력을 보유하고 있으며, 미래를 이끌어나갈 창의융합인재로 성장하기 위해 학교 교육 방침에 따라 수·과학 지식의 내용 학습과 더불어 인문학적 상상력과 예술적 감성이 조화된 교육을 받는다. 이 학교의 정규 교육과정 내에는 R&E 프로그램이 포함되어 있으며, 1학년 때 학생 주도 R&E, 2학년 때 사사 중심 R&E 프로그램이 운영된다. 학생들은 1학년 때 연구 활동을 주도하면서 과학 연구에 대한 기초 지식과 기본 소양을 쌓는 경험을 할 수 있으며, 2학년 때에는 이러한 경험을 바탕으로 대학교의 교수나 주변 연구소의 과학자가 주축이 되는 사사 중심 R&E에 참여하여 과학자 소양을 함양하게 된다. 학생들은 4인 이내의 연구팀을 꾸려 R&E 프로그램에 참여할 수 있고, 일과시간에 운영되는 정규 교육과정으로서의 R&E와는 다르게 자신의 관심 분야에 대한 호기심 해결과 대회 참여, 논문 투고 등을 목적으로 별개의 R&E 연구팀을 추가로 꾸리기도 한다. 따라서 학생들은 2년에 걸쳐 R&E 프로그램을 다양하게 경험하게 된다.

이 학교에서 1학년 대상의 정규 교육과정으로 운영되거나 학생 개별적으로 실행하는 R&E 프로그램은 학생 주도 R&E의 형태에 가까우며, 일반적으로 4명 이하의 학생과 1명의 지도교사가 한 팀을 이루어 수학, 물리, 화학, 생명과학, 지구과학, 정보, 융합 분야의 연구를 진행하게 된다. 학생이 주도하는 연구이기 때문에 연구 주제의 특성이나 수준에 따라 관련 분야의 전문가를 자문가로 위촉하여 연구에 대한 자문을 받기도 한다. 반면 2학년 대상의 정규 교육과정으로 운영되는 R&E 프로그램은 사사 중심 R&E의 형태를 띤다. 4명 이하의 학생, 지도교사, 지도교수 및 조교가 한 팀을 이루어 연구를 진행하게 되며, 학년 초 지도교사가 대학교나 연구소의 전문가를 섭외하고, 전문가가 제시한 주제를 보고 학생들이 선택하여 연구를 진행하는 과정을 거친다. 섭외된 전문가의 연구실에서는 이미 진행 중인 연구가 있거나 전문가의 연구에 적합한 연구 장비 등이 설치가 되어 있기 때문에 학생들이 직접 연구 주제를 제안하고 주도적으로 연구를 수행하기에는 현실적인 어려움이 있다.

본 연구는 참여 관찰 및 심층 면담을 포함한 질적 연구로, 학생들이 자기 주도적 연구 환경에서 과학자로서의 소양을 효과적으로 함양할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 따라서 사사 중심 R&E보다 연구 활동에 상대적으로 학생들의 자율성이 보장되는 학생 주도 R&E에 집중하였다.

### 나. 연구 참여자

본 연구는 수도권 소재의 한 과학영재학교에서 이루어진 R&E 프로그램을 대상으로 하였다. 해당 R&E 프로그램은 1학년 학생 4명이 한 팀을 이뤄 학생 주도 R&E의 형태로 운영되었으며, 정규 교육과정으로서 운영된 R&E 프로그램이 아닌 학생들이 개별적인 흥미와 목적을 갖고 진행한 연구이다. 과학과 정보 분야에 관심이 있으면서 본 연구에서 개발한

데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 학생은 총 9명이었다. 이 중 연구 참여자가 되는 것을 수락한 4명의 학생에 대한 자료를 수집하고 분석하여 연구를 수행하였다.

이 학교의 학생들은 기본적으로 과학자가 되기를 희망하고 있으며, 경쟁 시험을 통해 선발되었기 때문에 학습 능력이 매우 우수하다. 또한 수·과학 지식 습득의 속도가 빠르고, 배움에 대한 열정과 성실함을 두루 갖추고 있다. 본 연구에 참여한 4명의 학생도 이러한 과학영재의 특징을 갖추고 있었으나 대부분 중학생 때까지 직접 수행한 R&E 연구의 경험이 없었기 때문에 학생 주도의 과학적 탐구 활동에 대한 이해가 부족한 상태였다. 본 연구의 R&E 프로그램과 관련이 있는 과학과 정보 영역의 학업 성취도는 관련 교과에서의 평가 점수로 판단하였으며. 성취도가 높은 경우와 낮은 경우가 모두 나타났다. 사전 면담을 통해 파악한 연구 참여자의 참여 초기 특성은 <표 Ⅲ-1>과 같다.

승현이는 과학 분야의 학업 성취도는 중간 정도이지만, 정보 분야의 성취도는 매우 낮았다. 스스로 정보 실력에 약점이 있다고 판단하고 있었고, 자신의 약점을 보완하는 방법으로 데이터 리터러시를 키우고자 R&E 프로그램에 참여하였다고 했다. 또한 영재학교에 입학하여 다양하고 흥미로운 수업 내용을 접하는 가운데 생명과학과 지구과학에도 흥미가 생겼다고 하였다. 승현이는 중학생 때까지 R&E 프로그램에 참여한 경험이 전혀 없었다.

민수는 과학 분야의 학업 성취도는 상위권이었고, 정보 분야의 성취도는 중간 정도에 위치해 있었다. 물리 과목에 대한 본인의 실력에 자신감을 갖고 있었으며, 또한 학업 성취도와는 별개로 정보 분야의 실력도 높다고 생각하고 있었다. 평소 물리에 대한 흥미가 높았으나 학교에 입학한 후 인공지능을 비롯한 첨단 정보 영역에 대해 알게 되면서 정보 분야

에 대한 흥미 또한 높아졌다고 하였다. 민수는 중학생 시절 과학영재교육원에서 운영한 교육과정의 일환으로 R&E 프로그램을 경험해보았으며, 약 일주일 정도의 짧은 기간이었지만 친구들과 R&E 프로그램에 참여하면서 연구 결과를 산출해보기도 하였다. 연구자가 추가로 파악한 민수는 주변 현상에 대한 관심과 궁금증이 많고, 이를 해결하고자 적극적으로 행동하는 성격을 가진 학생이었다.

도윤이는 과학과 정보 분야의 학업 성취가 높고, 특히 정보 분야에서 탁월한 모습을 보여주었다. 평소 정보에 대한 관심이 많았지만 잘하지는 못했었는데, 학교에 입학하고 점차 많은 것을 알게 되어 스스로 해보는 경험이 누적된 것이 정보 분야의 학업 성취가 높은 이유로 생각하고 있었다. 도윤이의 R&E 프로그램에 대한 참여 경험은 과학영재학교에 입학하기 전까지 없었다.

인성이의 과학과 정보 분야의 학업 성취도는 모두 중간 이하였다. 중학생 때까지 정보에 대한 관심이 많았지만 점차 어려워지는 내용을 경험하면서 다른 세 명이 정보에 대한 관심이 점차 증가한 경우와는 반대로 오히려 과학영재학교에 입학하여 정보에 대한 흥미가 감소하였다. 그 대신 인성이는 화학 관련 동아리 활동이나 수업에서 첨단 기기 등을 사용한 연구를 경험하면서 화학 분야에 대한 관심이 늘어났다고 언급하였다. 인성이 역시 R&E 프로그램에 대한 참여 경험은 과학영재학교에 입학하기 전까지 없었다.

<표 Ⅲ-1> 연구 참여자의 특징

| 이름 | 성별 | 과학, 정보 관련 특성 | R&E 경험 |
|---|---|---|---|
| 승현 | 남 | · 과학 분야의 학업 성취도는 중간 정도<br>· 정보 분야의 학업 성취도는 낮음<br>· 스스로 정보 실력이 부족하다고 생각<br>· 생명과학, 지구과학에 높은 흥미 | 없음 |
| 민수 | 남 | · 과학 분야의 학업 성취도는 높은 편<br>· 정보 분야의 학업 성취도는 중간 정도<br>· 물리와 정보 분야에서 자신의 실력에 대한 자신감을 갖고 있음 | 중학생 때 영재교육원에서 일주일간 친구들과 연구 |
| 도윤 | 남 | · 과학, 정보 분야에서 학업 성취도가 높음<br>· 정보 분야에서 친구들이 인정하는 실력을 갖추고 있음 | 없음 |
| 인성 | 남 | · 과학, 정보 분야의 학업 성취도가 중간 이하임<br>· 학교 입학 후 정보에 대한 관심 감소<br>· 화학 분야에 대한 높은 흥미 | 없음 |

※ 학생 이름은 가명을 사용하였음.

연구가 수행된 과학영재학교는 모든 학생들이 기숙사 생활을 하며, 약 2~3주에 1회 주말 기간을 이용해 귀가를 한다. 이러한 학교 운영의 특성으로 인해 학생들이 학교에 있는 시간이 많기 때문에 연구 시간을 확보하거나 동료들과 의사소통을 하는데 제약이 덜 한 편이다. 앞서 기술하였듯, 학생들이 참여한 R&E 프로그램은 정규 교육과정으로서 운영된

R&E 프로그램이 아닌 학생들이 개별적인 흥미와 목적을 갖고 진행한 연구였기 때문에 수업 시간을 이용한 연구 활동이 이뤄질 수는 없었지만, 학생들은 저녁 식사 이후 시간이나 주말 여유 시간을 활용하여 연구를 진행할 수 있었다.

연구자는 이 학생들과 R&E 프로그램에 함께 참여하는 지도교사의 역할을 맡았다. 연구자는 사범대학을 졸업한 경력 11년 차의 지구과학 교사로, 대학과 대학원에서 과학 교육을 전공하였다. 학생 연구 지도와 관련해서는 대학원 재학 시절 2년 동안 대학교 부설 과학영재교육원에서 조교로 활동하면서 간접적으로 영재 교육과 연구 지도를 경험하였으며, 교사로 임용된 후 일반계 고등학교에 부임하여 과학전람회, 발명 대회 등에 참여하면서 연구 지도 경험을 쌓았다. 본격적인 지도는 학생의 연구 활동이 활발하게 진행되는 과학영재학교에 부임하면서 이루어졌으며, 연구자는 과학영재학교 재직 6년 동안 학생들이 참여하는 R&E 프로그램과 각종 연구 관련 대회의 지도교사를 맡으면서 지도 경험을 얻을 수 있었다. R&E 프로그램의 효과적 운영에 대한 많은 선행 연구가 있으나 실제 학교 현장에서는 정해진 공통 교육과정이 존재하지 않고, 상황에 맞추어 변경되는 부분이 많기 때문에 지도교사의 지도 방향과 수준, 학생들의 노력 정도, 학교 상황 등에 따라 프로그램의 효과가 크게 달라질 수 있다. 이러한 점이 지도교사에게 큰 부담으로 작용하기도 하며, 연구자는 경험을 통해 매번 변하는 지도 상황에 효과적으로 대처하기 위해서는 지도 과목에 대한 깊은 이해를 기본으로 하고, 더불어 학생들의 연구에 활용할 수 있는 첨단 기기나 최신 기술에 대한 소양도 갖추고 있어야 한다고 생각하고 있다. 연구자는 이러한 생각을 실천하기 위한 노력의 일환으로 물리 교과, 정보 교과 등과의 협업이 필요한 융합 프로젝트를 진행하거나 창의융합 주제 관련 연수에 참여하면서 지구과학과 융합할

수 있는 다양한 방법을 배우고자 노력하고 있으며, 특히 아두이노, 할로코드와 같은 마이크로 컨트롤러, 빅데이터, AI 등 최근 주목받고 있는 새로운 장비나 기술들을 교육 현장에 어떻게 접목할 수 있을지에 대해 고민하고 있다. 연구자는 학생 주도 R&E의 경우 철저하게 학생이 이끄는 형태가 되어야 하며, 지도교사는 학생들에게 연구와 관련한 모든 것을 알려주고 시키는 존재가 아니라 학생들이 연구 진행 과정에서 어려움을 겪고 있을 때 적절하고 효과적인 도움을 제공하는 조언자의 역할을 해야 학생들의 과학자로서의 소양 함양에 기여할 수 있을 것이라 생각하고 있다. 연구자는 학생들의 R&E 프로그램 진행 과정을 면밀히 관찰하고 기록함으로써 해당 사례에 대한 충분한 접근성을 확보하고자 하였으며, 이를 바탕으로 수집된 자료를 자세히 분석할 수 있었다.

## 2. 연구 절차

본 연구는 R&E 프로그램에 참여한 과학영재학교 1학년 학생을 대상으로 학생들이 주도하는 R&E 프로그램에서 학생과 데이터가 어떻게 상호작용하는지 ANT의 관점에서 살펴보고, 그 과정에서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 탐색하기 위한 질적 사례 연구이다.

본 연구는 <그림 Ⅲ-1>과 같은 절차로 이루어졌다. 우선 문헌 분석을 통해 연구 문제를 정립하고 학생 주도 R&E에 참여하는 학생들이 어려움을 느끼는 부분과 그 원인을 파악하고자 하였다. 이후 데이터 리터러시 함양 과정이 포함된 R&E 프로그램을 개발하고 타당화 과정을 거쳐 학생들에게 적용하였다. 연구자는 학생들의 R&E 프로그램에 지도교사로 참여하면서 연구 산출물을 비롯한 문서와 기록, 참여 관찰 자료, 활

동을 담은 영상과 음성 자료, 면담 자료와 같은 다양한 질적 자료를 수집하고 이를 분석함으로써 학생과 데이터의 상호작용, 학생들의 과학적 실행을 탐색하고자 하였다.

| | |
|---|---|
| 문헌 연구 및<br>연구 문제 정립 | · R&E 프로그램, 데이터와 데이터 리터러시, ANT 관련 선행연구 탐색<br>· 연구 문제 정립 |

▼

| | |
|---|---|
| R&E 프로그램 개발 | · 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램 개발 |

▼

| | |
|---|---|
| 연구 참여자 선정 | · 연구 참여자 모집 및 선정 |

▼

| | |
|---|---|
| R&E 프로그램 적용<br>및 자료수집 | · 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램 적용<br>· R&E 프로그램 전 과정에 걸쳐 자료수집<br>· 문서와 기록, 참여 관찰 자료, 영상과 음성 자료, 면담 자료 |

▼

| | |
|---|---|
| 자료 분석 | · 수집한 자료 분석 및 검토 |

▼

| | |
|---|---|
| 결론 도출 및 연구 보고 | · 논문 작성 |

<그림 Ⅲ-1> 연구 절차

### 가. 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램의 개발

최근 일상이나 교실 환경에서 문제 해결을 위한 중요한 방법으로 데이터 리터러시를 제시하고 있는 여러 연구가 있다(김석전, 김태영, 2017; 손미현, 정대홍, 2018; 홍지연, 김영식, 2020; Qin & D'Ignazio, 2010; Brogan et al., 2016). 또한 R&E 프로그램의 효과나 이에 대한 학생의 인식을 연구한 선행 연구(강성주 외, 2009; 최호성, 박경희, 2015; 류경윤, 2017; 최종근, 김찬종, 2022; Brown et al., 2006)의 결과에 근거하여 본 연구에서는 자율성이 부여된 학생 주도의 R&E 프로그램에서 학생들이 스스로 문제를 도출하고 연구 주제를 선정한 후 주도적으로 연구를 진행할 수 있는 역량을 키워나가는데 중요한 요소로 데이터 리터러시에 주목하여 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하였다.

본 연구의 데이터 리터러시 함양 과정과 이를 포함한 R&E 프로그램은 손미현(2020)의 데이터 기반 과학 탐구 모형의 일부를 기초로 개발되었다(그림 Ⅲ-2). 데이터 리터러시 함양 과정은 학생들이 경험하는 R&E 프로그램 중에 운영되는 형태로 구성되어 있다. 이는 학생들이 학생 주도 R&E 프로그램에서 느끼는 문제 도출 및 연구 주제 선정에 대한 어려움을 인식하고 이를 해결하고자 데이터를 활용한 문제 도출 과정을 경험하게 한 후, 여기서 길러진 데이터 리터러시를 바탕으로 R&E 프로그램의 궁극적인 목적인 과학적 문제해결력 및 연구자 소양을 함양할 수 있도록 하기 위함이다.

| | | |
|---|---|---|
| 탐색 | · 관심 분야의 데이터 수집 | 학생 주도 |
| ⇩ | | |
| 연구 주제 도출 | · 연구 문제 도출<br>· 연구 주제 도출 | |
| ⇩ | | |
| 연구 설계 | · 연구 계획 수립<br>· 연구 설계 | |
| ⇩ | | |
| 데이터 리터러시 함양 과정 | · 데이터 수집 도구 탐색<br>· 데이터 수집<br>· 데이터 변형과 해석<br>· 연구 문제 도출 연습 | 교사 안내 |
| ⇩ | | |
| 탐색 | · 관심 분야의 데이터 수집 | 학생 주도 |
| ⇩ | | |
| 연구 주제 도출 | · 연구 문제 도출<br>· 연구 주제 도출 | |
| ⇩ | | |
| 연구 설계 | · 연구 계획 수립<br>· 연구 설계 | |
| ⇩ | | |
| 연구 수행 | · 연구 수행<br>· 데이터 수집<br>· 자료 분석 및 결과 정리 | |
| ⇩ | | |
| 결론 도출 | · 결과 해석 및 결론 도출 | |
| ⇩ | | |
| 과학적 의사소통 | · 연구 내용 발표<br>· 반성<br>· 후속 연구 토의 | |

<그림 Ⅲ-2> 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램

일반적인 R&E 프로그램의 과정은 탐색 - 연구 주제 도출 - 연구 설계 - 연구 수행 - 결론 도출 - 과학적 의사소통의 단계를 거친다. 그러나 본 연구에서는 우선 학생들이 연구 초기 단계에 해당하는 탐색과 주제 도출, 연구 설계 과정을 경험한 후 데이터 리터러시 함양 과정에 돌입하게 된다. 데이터 리터러시 함양 과정은 데이터 수집 도구 탐색, 데이터 수집, 데이터 변형과 해석, 연구 문제 도출 연습의 내용을 포함하고 있으며 학생들이 데이터를 활용해 문제를 도출할 수 있도록 한다. 이후 학생들은 다시 일반적인 R&E 프로그램의 전 과정을 경험하게 되며, 구체적인 특징은 다음과 같다.

R&E 프로그램에서 학생들은 우선 주도적으로 탐색과 연구 주제 도출 및 연구 설계 과정을 경험한다. 학생들이 자신의 관심 영역을 바탕으로 다양한 데이터를 수집하고 토의해가며 연구가 가능한 문제를 도출한다. 도출한 문제는 한 가지가 아닐 수도 있으며 이를 바탕으로 연구할 가치가 있다고 판단되는 문제를 연구 주제로 선정한다. 더불어 선정한 문제를 연구 가능한 가설로 진술해봄으로써 연구 결과를 예측해 본다. 이후 선행연구 조사 내용을 기초로 연구 내용과 범위를 결정하고 연구를 설계한다. 이 단계에서는 학생들이 관심 영역 정리, 선행연구 탐색 및 내용 정리, 관련 데이터 수집, 연구 문제 도출, 주제 선정, 가설 설정, 연구 계획 수립 및 설계의 모든 과정을 주도적으로 수행해야 하며, 교사는 학생들이 도움을 필요로 할 때만 제한적으로 참여한다.

학생들은 R&E 프로젝트 학습의 대표적인 문제점으로 자신들의 연구에 대한 안목 부족과 적절한 연구 문제를 찾는 것이라고 생각하고 있기 때문에(이선길, 2006), 이에 대한 해결 방안으로 데이터 리터러시 함양 과정을 R&E 프로그램 단계의 일부로 추가하였다. 이 과정은 데이터를 활용한 연구 문제 도출에 초점을 맞추고 있으며 데이터 수집 도구 탐색,

데이터 수집, 데이터 변형과 해석, 연구 문제 도출의 순서로 이루어져 있고, 교사가 안내하게 된다(표 Ⅲ-2).

<표 Ⅲ-2> 데이터 리터러시 함양 과정의 내용 및 전략

| 구분 | 내용 및 전략 |
|---|---|
| 데이터 수집 도구 탐색 (4차시) | · **데이터 수집을 위한 도구 탐색**<br>- 다양한 데이터(변인)를 측정할 수 있는 데이터 수집 도구를 탐색할 수 있도록 한다.<br>- 익숙하고 간단한 형태로 데이터가 산출되는 데이터 수집 도구를 선택할 수 있도록 한다.<br>- 공작실의 기기를 활용하여 데이터 수집 도구를 직접 제작할 수 있음을 안내한다.<br>· **데이터 수집 도구 사용법**<br>- 생소한 데이터 수집 도구의 경우 기본적인 사용법은 교사가 안내하되, 응용법은 학생 스스로 탐색할 수 있도록 한다.<br>- 데이터 수집 도구 사용 시 유의 사항과 제한 사항을 안내한다. |
| 데이터 수집 (4차시) | · **데이터의 종류**<br>- 데이터의 다양한 종류에 대해 안내한다.<br>· **데이터 수집 방법 및 수집처**<br>- 데이터에 따른 다양한 수집 방법 및 수집처를 안내하고, 수집 방법을 연습시킨다.<br>· **도구 설치 및 데이터 수집**<br>- 주변 환경 상황에 따른 도구 설치 방법이 달라질 수 있음을 인식시킨다.<br>- 자신의 관심 영역에 대한 기초과학지식을 학습하게 하고, 관련 데이터가 무엇인지 살펴보게 한다.<br>- 도구를 설치하고 데이터를 수집할 수 있도록 지도한다. |

| | |
|---|---|
| 데이터<br>변형과 해석<br>(6차시) | · **데이터 전처리 방법**<br>- 데이터가 목적에 맞게 수집되었는지 확인하고, 데이터 정리, 오류 검사, 불필요한 부분 삭제 등의 작업을 안내한다.<br>· **데이터 변형 및 시각화 방법**<br>- 데이터를 그래프 및 도표로 변형할 수 있는 프로그램의 사용법을 연습시킨다.<br>- 다양한 그래프의 예시와 쓰임새를 제시한다.<br>· **머신러닝의 적용**<br>- 머신러닝의 원리와 방법에 대해 가르치고 예제를 활용하여 연습시킨다.<br>· **데이터 해석**<br>- 변인 간의 관계를 설명할 수 있게 하고, 이를 기존 지식과 연관 지을 수 있게 한다.<br>- 실제 수집한 데이터를 이용한 통계, 그래프 등을 활용하여 데이터에서 의미를 찾을 수 있게 연습시킨다. |
| 연구 문제<br>도출 연습<br>(2차시) | · **문제 도출 연습 및 연구 문제 구체화**<br>- 데이터 해석 과정에서 발생한 질문들의 목록을 작성하고 인터넷 검색, 문헌 조사 등을 통해 연구 문제로 선정 가능한 것을 선별하게 한다.<br>- 연구 문제를 구체적으로 서술할 수 있도록 한다.<br>· **연구 문제에 대한 토의 및 발표**<br>- 새롭게 알게 된 사실을 통해 도출한 연구 문제에 대해 공유하게 한다.<br>- 적절한 연구 문제가 도출되었는지 토의할 수 있도록 안내한다. |

<표 Ⅲ-2>에서 전략의 일부는 손미현과 정대홍(2020)에 제시된 ESDA 탐구 모형의 단계에 맞춘 교수 전략을 참고하여 본 연구의 목적과 과정에 맞게 수정하였다. 본 연구의 지도교사는 학생들이 원활한 활동을 할 수 있도록 유도하는 상황에 맞는 질문 및 응답, 시범, 추가 자료 제시를 통해 과정별 문제 해결 과정을 돕는다.

데이터 리터러시 함양 과정에서 학생들은 우선 관심 영역의 데이터를 수집해야 하는데, 이때 데이터를 수집하는 도구를 탐색할 수 있다. 데이터 수집 도구는 기존의 것을 이용하거나 학생들이 제작할 수 있으며, 교사는 사용법, 원리, 유의 사항, 제한 사항 등에 대해 안내해줄 필요가 있다. 학생들은 자유롭게 검색할 수 있는 환경이 구성되어 있어야 하며, 다양한 데이터 수집 도구 중에 자신들의 목적을 충분히 충족시킬 수 있는 도구를 선택하거나 여러 도구에서 획득한 데이터들을 병합하여 이용할 수 있는 기술이 필요하다. 교사는 데이터가 어떻게 구분되는지, 데이터 수집 도구에는 어떤 것들이 있는지를 학생들에게 안내하고, 필요한 경우 컴퓨터, 마이크로컨트롤러, MBL 실험 장치 등을 학생들이 능숙하게 사용할 수 있도록 지도한다.

데이터 수집 도구 탐색이 완료되면 학생들은 특정 장소에 데이터 수집 도구를 설치한 후 데이터 수집 단계에 돌입한다. 학생들이 선택한 도구 및 주변 환경 상황에 따라 데이터 수집 도구 설치 방법이 달라질 수 있으므로 이에 대한 유의 사항은 교사가 미리 안내할 수 있도록 하고 문제 도출을 위해 직접 측정을 해 수집할 수 있는 데이터, 공공 기관에서 제공하는 데이터, 데이터 속에서 획득된 데이터인 메타 데이터 등에 대해 학생들이 원활하게 수집할 수 있는 방법을 제공한다. 특히 연구 기관에서 제공하는 공공 데이터의 경우 연구 목적에 따라 해외 자료가 더 유용한 경우가 있으므로 이에 대한 정보를 제공할 수도 있다.

이후 학생들은 수집한 데이터를 변형하고 해석하여 데이터 속에서 새로운 의미를 찾는 시도를 하게 된다. 데이터 수집이 끝나면 보통은 분석 과정에 즉각 사용할 수 있는 데이터를 얻게 된다고 생각하기 쉽지만 실제로는 수집된 원본 데이터를 분석이 가능한 형태 또는 분석을 효율적으로 할 수 있는 형태로 변환해야 한다. 데이터가 분석에 편리한 형태로 되어 있지 않으면 훨씬 더 많은 노력이 필요할뿐더러 데이터 자체에 문제가 있는 경우 처음부터 분석 과정을 다시 해야 하기 때문에 데이터를 정리하고, 오류를 검사하고, 원본 데이터에서 필요한 부분을 선택하는 과정이 반드시 필요하다(김진영, 2016). 이러한 데이터 전처리 과정은 수집한 데이터를 규격화된 테이블 형식으로 변환하는 것이 첫 번째 단계이며, 테이블의 행은 항목(예를 들면 도서 제목)으로 이루어지고, 열은 속성(예를 들면 저자, 출판사, 가격)으로 이루어진다. 수집된 데이터가 적절한 테이블 형식으로 변환된 후 속성을 변환하거나 추가하는 데이터 변형 작업이 필요한 경우가 있는데, 이는 데이터 속성들의 단위를 변경하거나 간단한 연산에 의해 추가된 새로운 속성을 분석하는 것이 더 효과적일 때가 있는 등 다양한 이유가 존재한다. 데이터 변형 과정까지 완료되면 이를 도표나 그래프 등으로 시각화하여 속성 간의 관계를 파악하고 해석한다. 시각화 도구는 학생이 편하게 그릴 수 있는 손 그림에서부터 컴퓨터를 활용해 표현하는 프로그램까지 다양하나 본 연구에서는 연구자가 시각화 도구로 활용할 수 있는 프로그램인 엑셀, Power BI, Orange3, Matlab을 학생들도 활용할 수 있도록 하였다. 머신러닝을 적용하여 데이터를 해석하는 방법도 도입하였다. 통계를 이용해 문제를 해결하는 대표적인 방법이 분류와 예측이라면, 머신러닝은 분류와 예측 기능을 프로그램화하여 주어진 데이터를 자동으로 계산해 정보를 제공할 수 있다. 학생들은 머신러닝의 원리와 종류를 간단하게 학습하고 이를 데이터에 적

용해봄으로써 데이터 테이블에서는 볼 수 없었던 새로운 의미를 찾게 된다. 학생들은 이러한 활동을 통해 '데이터'에서 '정보'가 도출되는 과정을 경험할 수 있으며, 데이터의 중요성과 가치를 인식할 수 있다. 또한 어떤 현상에 대해 애매하고 불명확한 느낌만을 갖고 있다가 구체적인 정보를 접하고 이를 이해함으로써 현상에 대한 비판적인 시각을 가질 수 있다. 더불어 데이터를 해석하고, 이해하고, 예측하고, 추론하면서 발생한 궁금증을 질문화하여 문제를 발견할 수 있는 토대를 마련할 수 있다. 이후 학생들은 스스로 연구 문제를 찾아내고 이를 구체화할 수 있는 연구 문제 도출 과정에 진입한다. 앞서 거쳐온 과정은 학생들이 자신이 관심을 갖고 찾아낸 데이터에서 의미 있는 정보를 도출하는데 목적이 있었다면, 문제 도출 과정은 획득한 정보에서 새로운 문제를 도출하고 구체화하는데 목적이 있다. 이렇게 생성된 연구 문제는 동료 및 교사와의 토의 과정을 거치면서 타당성을 검토받게 되며, 이를 통해 기각될 수도 있고 동료에게서 좋은 의견이 제시되어 더 적절한 연구 문제로 수정될 수도 있다. 또한 적절한 연구 문제로 판단된 경우에는 이 연구 문제가 R&E 프로그램의 연구 주제로 발전할 수도 있다.

데이터 리터러시 함양 과정을 거친 학생들은 다시 연구 주제 도출을 위한 탐색 과정을 시작한다. 교사는 학생이 도움을 필요로 할 경우에만 제한적으로 참여하며, 학생들은 자신의 관심 영역을 바탕으로 데이터를 수집하고 토의를 통해 연구가 가능한 문제를 발견한다. 이 과정은 데이터 리터러시 함양 과정을 거치지 않았을 때의 과정과 거의 비슷하지만 가장 큰 차이점은 데이터 리터러시 함양 과정에서 수집한 데이터를 활용하여 도출한 문제를 이용할 수 있다는 점이다. 학생들은 데이터를 수집하고, 변형하고, 시각화하는 과정을 거쳐 데이터 속에서 의미 있는 정보를 발견하고 그 가운데 문제를 도출하였다. 이렇게 도출한 문제는 앞서

도출한 문제와 질적으로 큰 차이를 보이게 되며, 따라서 데이터 리터러시 함양 과정을 거친 후 도출된 문제가 학생들의 R&E 활동 전반에 걸친 연구 주제로 발전할 수 있다. 이후 학생들은 직접 도출한 연구 주제를 연구 가능한 가설로 진술해보고, 연구 내용과 범위를 결정하는 설계 과정을 경험한다. 연구 수행 과정에서는 연구를 수행하면서 데이터를 수집, 분석하여 결과를 정리한다. 결론 도출 과정에서는 분석한 자료의 결과를 종합하여 해석하고, 발견한 것에 대한 토의를 통해 결론을 도출한다. 이후 과학적 의사소통 과정에서는 연구 결과 보고서를 작성하고, 연구 내용을 발표하고, 전체적인 연구 활동에 대한 반성과 후속 연구에 대한 토의를 진행한다.

본 연구에서는 학생들이 학생 주도 R&E 프로그램에서 문제 발견 및 연구 주제 도출에 대한 어려움을 경험해보고 이후 교사의 안내에 따라 데이터 리터러시 함양 과정에 참여한 후 탐색, 문제 인식, 주제 도출 과정부터 다시 도전하게 되는 R&E 프로그램을 개발하였다. 개발 목적은 학생들이 데이터 리터러시를 바탕으로 과학적 문제해결력을 비롯한 과학자 소양을 함양하는데 있다. 특히 학생들이 효과적으로 데이터 리터러시를 함양할 수 있도록 교사의 적절한 코칭과 스캐폴딩을 포함시킴으로써 연구 수행 능력과 사고 능력을 발전시키고, 궁극적으로 창의적인 문제해결력 신장에 도움이 될 수 있도록 하였다.

개발한 R&E 프로그램의 타당도를 검증하기 위해 전문가에게 검토를 의뢰하였다. 본 연구에 참여한 전문가는 영재교육 전문가 1인과 정보교육 전문가 1인이며, 각각 일대일 면담을 통해 연구를 소개하고 개발된 R&E 프로그램에 대한 의견을 수렴하였다. 이후 전문가의 검토를 바탕으로 프로그램의 최종 모형을 개발하였으며, 제시된 의견이 프로그램에 제대로 반영되었는지 확인하는 과정을 거쳤다.

본 연구에서 개발한 프로그램에 대한 검토 부분에서 교육 현장의 상황을 잘 이해하고 있는 현장 전문가의 역할이 중요하다고 판단하였기 때문에 교육 경력이 풍부한 관련 전문가에게 검토를 받고자 하였다. 영재교육 전문가는 물리 전공의 교육 경력 20년인 교사로, 영재 교육 박사 학위를 소지하고 있다. 이 전문가는 과학고등학교 및 과학영재학교에서 오랫동안 과학영재 학생들을 대상으로 수업, R&E 프로그램 지도, 동아리 지도를 맡은 경험이 있으며, 인근 대학교에서 학부생이나 대학원생을 대상으로 한 영재 교육 관련 강의를 꾸준히 진행하고 있다. 또한 발명 지도에도 조예가 깊어 학생들이 연구하는데 필요한 물품을 제작하거나 실용적인 아이디어를 산출하는데 결정적인 조언을 해줄 수 있는 능력도 갖추고 있다. 정보 교육 전문가는 교육 경력 20년 이상인 교사로, 정보보안 관련 석사 학위를 소지하고 있으며 초등학생부터 대학생에 이르기까지 빅데이터, 인공지능 관련 강의 경험이 매우 풍부하여 데이터 리터러시 함양 과정을 개발하는데 실질적인 자문을 구할 수 있었다.

영재교육 전문가는 R&E 프로그램 모형에서 학생과 교사가 주도하여 진행하는 부분이 명확하게 드러나지 않음을 이야기하면서 그림에 학생과 교사의 역할에 대한 표현을 제안하였다. 또한 데이터 리터러시 함양 과정은 학생을 제대로 교육할 수 있는 지도교사의 데이터 관련 소양도 중요해 보이므로 추가로 교사 대상 교육 프로그램의 개발을 제안하기도 하였다. 정보교육 전문가는 데이터 리터러시 함양 과정의 데이터 변형과 해석에 머신러닝 관련 내용이 포함되어야 할 것 같다는 제안을 하였다. 데이터를 시각화해보는 시도도 중요하지만, 머신러닝이 분류와 예측 기능을 프로그램화하여 주어진 데이터를 자동으로 계산해 정보를 제공함으로써 데이터 테이블에서는 볼 수 없었던 새로운 의미를 찾게 할 수 있다는 이유에서였다. 이러한 전문가들의 의견을 검토하여 데이터 리터러시

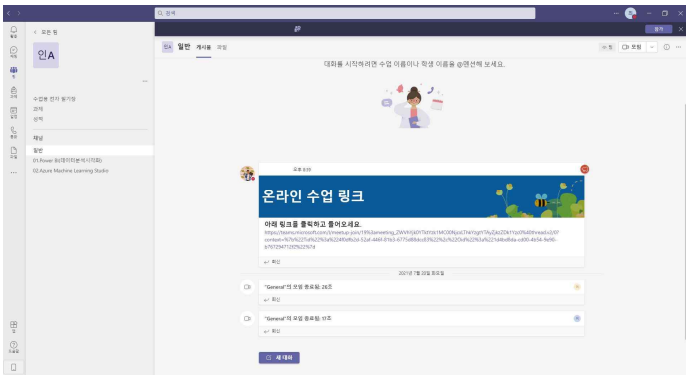
를 강화한 R&E 프로그램을 수정하였다. 우선 R&E 프로그램의 단계에 해당하는 학생과 교사의 주도적 역할을 구분하였다. 예를 들어 데이터 리터러시 함양 과정은 교사가 안내하고, 탐색이나 연구 주제 도출은 학생이 주도적으로 진행한다는 정보를 모형에 포함하였다. 또한 데이터 변형과 해석에 머신러닝의 내용을 포함함으로써 학생들이 데이터를 해석할 수 있는 추가적인 방법을 제시하였다. 지도교사의 데이터 관련 소양을 함양할 수 있는 교사 대상 교육 프로그램 개발은 추후 연구를 통해 수행하기로 하였다.

### 나. 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램의 적용

개발된 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 학생들에게 적용하였으며, 이는 2021년 10월부터 약 4개월간 이루어졌다. 해당 R&E 프로그램에 참여할 학생들을 모집하고자 학교의 게시판에 모집 공고를 하였고, 참가 의사를 밝힌 학생은 총 9명이었다. 앞서 기술하였듯, 연구자가 속한 학교의 학생들은 전원 기숙사 생활을 하고 있기 때문에 연구 시간 확보에 용이하다. 연구자는 학생들과의 첫 모임을 포함한 R&E 프로그램의 전 과정을 평일 저녁 식사 이후 시간이나 주말 여유 시간을 활용하여 운영하였으며, R&E 프로그램이 진행된 기간 동안 최소 일주일에 2회 이상은 함께 모여 연구를 진행하였다. 학생들에게 특별한 일이 없을 경우 보통 평일에는 19시 20분부터 23시 30분까지, 주말에는 9시부터 16시까지 R&E 프로그램이 이루어졌으며, 학생들은 개인적으로 수행할 수 있는 부분에 대해서는 각자의 시간을 할애하여 연구에 기여하는 노력을 보이기도 하였다. 학생들과 함께한 첫 모임에서 연구자는 모집 공고문에 적혀있었던 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램의 운영 목적에 대해 다시 한 번 알려주었고, R&E 프로그램 운영 일정, 방법, 예산 범위

등에 대해 구체적으로 안내하였다. 이후 연구자는 학생들에게 흥미 분야에 따라 자발적으로 팀을 구성할 것을 요청하였으며, 이에 따라 학생들은 4명, 3명, 2명이 각각 한 팀을 이루게 되었다. 이때, 4명이 이룬 팀은 지구과학 분야, 3명이 이룬 팀은 정보 분야, 2명이 이룬 팀은 물리 분야에 흥미를 갖고 있었으며, 각 팀마다 흥미를 갖고 있는 분야에 해당하는 연구 주제 탐색에 돌입하였다. 다만 9명의 학생들 중 지구과학 팀의 학생들만이 연구 참여자가 되는 것을 수락하였기 때문에 이 학생들에 대한 자료만을 수집하고 분석하여 연구를 수행하기로 하였다.

연구자는 학생들이 연구 주제를 탐색하고 도출할 수 있도록 충분한 시간을 부여했으며, 약 2주라는 짧지 않은 시간이 주어졌음에도 학생들이 연구 주제 도출에 지속적으로 곤란함을 겪고 있음을 파악한 후 학생들을 데이터 리터러시 함양 과정에 참여시켰다. 이 과정은 데이터 수집 도구 탐색(4차시) - 데이터 수집(4차시) - 데이터 변형과 해석(6차시) - 연구 문제 도출 연습(2차시)의 단계로 이루어져 있으며, 연구자의 주도로 진행되었다. 정해진 시간 동안 많은 내용을 안내하고 실습해야 했기 때문에 학습 자료나 실습 재료들을 철저하게 준비할 필요가 있었으며, 효율적인 학습을 위해 온라인 플랫폼을 활용하여 학생들이 자료를 미리 확인하고 준비할 수 있도록 하였다(그림 Ⅲ-3).




<그림 Ⅲ-3> 온라인 플랫폼의 활용

또한 학습의 분절이 효과를 감소시키는 원인이 될 수 있다고 판단해 최대한 각 단계가 하루 동안에 이루어질 수 있도록 계획하였다. 예를 들어 데이터 변형과 해석의 단계는 학생들이 총 6차시에 참여하여 학습해야 하는데, 이를 주말 시간에 배치함으로써 효과를 극대화하고자 하였다. 이러한 시간 구성은 학생들이 데이터 변형과 해석 단계 학습이 종료된 후 주말 여유 시간을 활용하여 자발적으로 연습할 수 있는 시간을 제공하는 등의 추가적인 효과를 보이기도 하였다.

이후 연구자는 데이터 리터러시 함양 과정을 완료한 학생들에게 R&E 프로그램에 돌아와 연구 주제 탐색과 도출 절차부터 다시 시작할 수 있도록 안내하였다. 연구자는 학생들이 도움을 필요로 할 때만 제한적으로 연구에 참여하였으며, 학생들은 R&E 프로그램 전 과정을 거치면서 연구 결과를 도출하였고 연구 결과 보고서와 발표 자료 산출을 끝으로 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 마칠 수 있었다.

## 3. 자료 수집

본 연구에서는 연구 결과의 타당도와 신뢰도를 확보하기 위해 다양한 출처의 자료를 수집하고자 하였다. 이를 위해 학생과 학생의 부모님에게 동의를 얻는 과정을 거쳤으며, 연구 산출물을 비롯한 문서와 기록, 참여 관찰 자료, 활동을 담은 영상과 음성 자료, 면담 자료를 수집하였다.

우선 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 작성한 연구 계획서, 연구 결과 보고서, 발표용 포스터 등의 연구 산출물을 수집하였고, 그 외에도 연구 과정에서 학생들이 작성한 연구 노트와 온라인 메신저를 통해 나눈 대화 기록도 포함하였다. 이러한 연구 산출물들은 작성 시기가 다른 경우가 있기 때문에 연구 주제 도출 과정과 연구 진행 상황의 변화를

파악하는데 크게 도움이 되었다. 지도교사로 참여한 연구자는 학생들이 작성하는 연구 산출물에 대해 되도록 깊은 관여를 하지 않으려 노력하였으며, 작성 시 유의 사항이나 보고서에 포함되어야 하는 필수 내용, 보고서 형식 등에 대한 지도만 하였다. 따라서 연구 산출물의 경우 대부분 학생들이 연구한 내용을 스스로 작성한 것이다.

또한 연구자는 학생들에 대한 참여 관찰 자료를 수집하였다. R&E 프로그램이 이루어지는 기간 동안 연구자는 연구 참여자들의 지도교사로서 학생들이 수행한 모든 활동에 함께 참여하였다. 연구 주제를 탐색하는 과정에서부터 프로그램을 마무리하며 연구 결과 보고서를 작성하고 이에 대해 발표를 하는 활동까지 연구의 전 과정에 참여하면서 학생들의 연구 활동을 관찰하고 이를 기록하였다. 특히 학생들이 보이는 언어적, 비언어적 행위들을 주의 깊게 살피고자 하였으며 이를 자세하게 기록하여 학생들 사이뿐 아니라 학생과 실험 도구와 같은 사물 사이에 발생하는 상호작용을 파악하고자 노력하였다. 또한 기록 내용을 보완하고자 학생들의 모든 활동을 녹화하였고, 대화 내용을 녹음하였다. 동영상 녹화 자료와 음성 녹음 자료는 모두 전사되어 관찰 일지와 함께 연구의 주요 분석 자료로 활용되었다.

또 다른 유형의 수집 자료는 연구 참여자들과의 면담 자료들이다. 우선, R&E 프로그램을 시작하기 위한 첫 모임에서 집단 면담이 이루어졌다. 이때는 학생들의 간단한 자기소개와 R&E 연구 경험, 관심 분야 등에 대한 내용이 주를 이루었으며, 이후에도 연구의 진행 과정 점검이나 반성 등이 이루어질 수 있도록 연구자와 학생들이 함께 할 수 있는 시간을 확보하고자 노력하였다. 다만 학생들이 형식적인 면담으로 인식하지 않도록 연구자는 개입을 최소화하였으며, 학생들의 이야기에 주목하였다. 개별 학생들과 수행한 면담은 학생들이 R&E 프로그램에서 데이터 리터

러시 함양 과정을 마쳤을 때와 R&E 프로그램이 완전히 종료되었을 때 실행되었다. 면담은 취미나 흥미와 같은 개인적인 부분에서 R&E 프로그램의 경험에 이르기까지 다양한 부분에서 이뤄졌으며, 상호적인 대화가 이루어질 수 있도록 연구 참여자의 답변에 따라 추가적인 질문을 하는 등의 시도도 이루어졌다. 연구자는 연구 문제와 관련한 주요 질문을 구성하였고, 질문을 통해 학생들이 데이터 리터러시 함양 과정을 거치면서 데이터에 대한 인식이 어떻게 변화하였는지, 데이터 리터러시 변화가 어떻게 일어났고 그에 따라 어떤 형태로 과학적 실행이 일어났는지 살펴보고자 하였다. 이러한 면담 내용은 학생들의 동의하에 모두 녹음되었으며, 전사되었다.

## 4. 자료 분석

### 가. 자료 분석

본 연구는 수도권의 한 과학영재학교에서 이루어진 질적 사례 연구로, 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 ANT의 관점에서 살펴보고자 하였다. 분석 방법은 학생들이 생성한 문서와 기록, 참여 관찰 자료, 활동을 담은 영상과 음성 자료의 전사본, 면담 기록을 반복 관찰하여 공통적 범주와 속성을 탐색하고 도출하는 지속적 비교분석법(Charmaz, 2014; Corbin & Strauss, 1990)을 사용하였다.

#### 1) 연구 주제 도출 네트워크의 구성 과정 분석

1차적으로 개방 코딩(open coding)을 진행하면서 수집한 자료들을 전체적으로 정리하고, 자료의 내용을 개인, 데이터 활용과 인식, R&E 프로

그램 과정(탐색, 연구 주제 도출, 연구 설계, 연구 수행, 결론 도출, 과학적 의사소통)의 커다란 범주로 코딩하였다. 이후 연구자는 R&E 프로그램에서 학생들이 연구 주제 도출 네트워크를 구성해나가는 과정과 특징을 살펴보기 위해 연구 주제 도출과 관련 있는 자료들을 Callon(1984)이 제시한 번역의 4단계로 범주화하고자 하였다. 이를 위해 ANT와 관련한 문헌들을 연구하였으며, 번역의 각 단계의 특징을 정리하고 이를 자료의 범주화에 활용하였다(표 Ⅲ-3).

<표 Ⅲ-3> 번역의 각 단계에 나타나는 주요 특징

| 단계 | 특징 |
|---|---|
| 문제제기 | · 어떤 행위자가 특정한 문제를 제기함<br>· 제기된 문제를 해결하고자 하는 행위가 나타남<br>· 문제 해결에 새로운 방법이 필요함을 인식함 |
| 관심끌기 | · 관심끌기 장치가 등장함<br>· 관심끌기 장치를 통해 문제를 해결할 수 있음을 인식함 |
| 등록하기 | · 관심끌기 장치를 통해 문제를 해결하고자 함<br>· 제기된 문제가 해결됨 |
| 동원하기 | · '기입'의 과정이 나타나고 그 결과로 산출물이 생산됨<br>· 문제를 해결한 방법이 폭넓게 활용되는 모습이 나타남 |

또한 수집된 자료에 나타난 다양한 행위자들 중 서로 상호 작용하면서 연구 주제 도출 네트워크 구성에 기여한 주요 행위자를 파악하였다. 우선, 주제 도출 과정에 등장하는 모든 행위자를 기록하고 행위자들의 상호 작용이 연구 주제 도출에 영향을 주었는지를 자세히 살펴봄으로써 주요 행위자를 판별하였다. 이러한 과정을 통해 밝혀진 주요 행위자 중 인간 행위자는 학생, 지도교사, 그리고 과학자였으며, 특히 학생들은 주

도적으로 연구 주제를 도출해야 하는 위치에 있으면서 가장 적극적으로 다른 행위자들과 상호 작용하였다.

비인간 행위자는 인간 행위자와는 다르게 매우 다양하게 나타났으나 이를 크게 구분하면 환경 및 도구 유형의 행위자들과 데이터로 나눌 수 있었다. 이중 환경 유형에 해당하는 행위자는 연구 시간, 연구 장소, 활용 가능한 예산, 정기 고사와 같은 학사 일정, 입시 제도, 학칙 등이었으며, 도구 유형에 해당하는 행위자는 토의에 활용된 칠판과 보드 마커, 검색이나 문서 작업에 필수적으로 사용된 노트북 컴퓨터, 프로젝터, 온라인 메신저, 연구 노트 등 연구 주제 도출을 위해 활용된 일반적인 도구를 포함한다. 데이터 행위자는 연구 주제 도출 과정에서 데이터 수집 도구를 통해 획득된 실제적 데이터이다. 행위력을 갖춘 행위자가 네트워크의 구성에 영향을 줄 수 있음(김환석, 2005)을 고려하여 연구 주제 도출 과정에 기여한 행위자를 판단하기 위해 연구자는 반복적으로 자료를 검토하면서 연구 주제 도출에 영향을 준 상호 작용과 그 주체를 파악하고자 하였으며 또한 상호 작용의 빈도도 조사하였다. 그 결과 데이터가 인간 행위자와 지속적이고 주도적으로 상호 작용하면서 연구 주제 도출에 그 행위력을 발휘하였음을 파악하였고, 이에 따라 주요 비인간 행위자로 선정할 수 있었다. 반면 환경 행위자와 도구 행위자는 상호 작용의 빈도가 낮게 나타났을 뿐 아니라 연구 주제 도출에 상대적으로 큰 영향을 미치지 못했다고 판단하여 주제 도출을 위한 네트워크 구성의 주요 행위자로 선택하지 않았다.

이 같은 자료의 범주화와 행위자 파악 과정을 거쳐 번역의 각 단계에서 나타나는 인간 행위자 및 비인간 행위자들 간 상호 작용의 양상을 분석하여 단계를 거치면서 변화하는 상호 작용과 그 특징을 살펴보았다. <표 Ⅲ-4>는 연구 주제 도출 네트워크 구성 과정에서 번역의 단계에

따른 상호 작용의 예를 나타낸 것으로, 연구 주제 도출 네트워크의 구성에 기여한 것으로 판단되는 단계별 상호 작용과 이때 등장한 주요 행위자를 기록하였다. 예를 들면, 아두이노와 같은 데이터 수집 도구나 엑셀, Power BI, Orange3, Matlab과 같은 데이터 변형 도구는 학생들이 실제적 데이터를 다른 형태로 변환시켜주는 기능을 하였기 때문에, 그리고 그래프, 도표, 연구 계획서와 같은 산출물은 학생들이 데이터와 상호 작용한 결과물로서의 기입이었기 때문에 학생과 데이터 행위자의 상호 작용으로 파악하였다(표 Ⅲ-4).

<표 Ⅲ-4> 번역의 각 단계에 나타난 상호 작용의 예

| 단계 | 상호 작용 | 주요 행위자 |
|---|---|---|
| 문제제기 | · 지도교사 - 학생들에게 연구 주제를 제시해주지 않을 것임을 주지시킴 | 지도교사, 학생 |
| | · 학생 - 데이터를 효과적으로 탐색해야지만 주제 도출이 가능할 것임을 인지하고 주제 탐색 돌입(데이터 활용) | 학생, 데이터 |
| 관심끌기 | · 지도교사 - 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정 제안 | 지도교사, 학생 |
| | · 학생 - 엑셀을 익숙하게 활용하지 못하고 학습하는 과정에서 생성한 그래프가 그래프의 필수 요소를 갖추지 못함 | 학생, 데이터 |
| 등록하기 | · 학생 - 외국 데이터베이스에 접속하여 연구 주제 도출을 위한 데이터를 획득 | 학생, 데이터 |
| | · 과학자 - 학생들에게 빙하 면적에 영향을 줄 수 있는 또 다른 물리량이 무엇인지 탐색해 볼 것을 조언 | 과학자, 학생 |
| 동원하기 | · 학생 - 그린란드 데이터 해석을 토대로 실험 설계 내용을 결정 | 학생, 데이터 |
| | · 학생 - 연구 계획서 작성 | 학생, 데이터 |

이러한 범주화와 구분 과정을 통해 행위자들의 상호 작용이 변화하는 양상을 파악할 수 있었다. 한가지 사례로, 관심끌기 단계에서 학생과 데이터 간 상호 작용의 결과로 산출된 그래프와 동원하기 단계에서 학생과 데이터 간 상호 작용의 결과로 산출된 연구 계획서 내 그래프는 모두 학생들이 생산해낸 산출물이라는 점은 동일했지만 질적인 부분에서 현저한 차이를 보였다.

2) 연구 주제 도출 네트워크의 특징 분석

참여 관찰 일지와 녹화 및 녹음 자료의 전사본을 주요 자료로 활용하여 연구 주제 도출에 대한 네트워크 구성에 데이터와 같은 비인간 행위자가 어떻게 기여하는지, 학생들의 데이터 리터러시 양상이 번역의 단계에 따라 어떻게 달라지는지 분석하여 네트워크 구성 과정에서 나타나는 특징들을 파악하고자 하였다. 이를 위해 관련 연구들을 망라하였을 뿐 아니라 이를 통해 데이터를 읽고 해석하는 협의의 리터러시를 정의하기보다는 보다 넓은 범위에서 현대 사회에 필요한 추론, 비판적 사고, 의사소통의 과정을 데이터 리터러시의 구성 요소에 포함한 배화순(2019)의 데이터 리터러시의 범주를 분석 기준으로 하되, 일부 중복되거나 유사한 세부 요소의 내용을 통합하고 수정하여 활용하였다(표 Ⅲ-5).

<표 Ⅲ-5> 데이터 리터러시의 범주와 세부 요소

| 데이터 리터러시의 범주 | 세부 요소 |
|---|---|
| 데이터 생성 및 조직 | · 데이터의 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터 관리 및 조직<br>· 데이터 시각화 |
| 데이터 활용 및 분석 | · 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터에 기반한 추론 및 설명<br>· 데이터 평가 |
| 데이터 기반 의사소통 및 데이터 윤리 | · 데이터를 활용한 의사소통<br>· 데이터 인용 및 활용 관련 윤리 |

이러한 분석 기준을 바탕으로 데이터 리터러시 요소에 따른 범주화 과정을 수행하였다. 이 과정에서는 학생들에게 나타나는 데이터 러티러시 요소를 번역의 단계와 관련이 있는 것들끼리 묶어 각각의 범주로 정리하고, 이 범주를 다시 하위 범주로 분류하여 전체적으로 자료를 구조화하는 분석의 과정이 이루어졌다. 이후 번역의 각 단계에서 나타난 데이터 리터러시 요소가 어떠한 차이를 보이는지 분석하였다. 예를 들면, 문제제기 단계에서 학생 행위자는 어떠한 데이터를 주로 사용하였고, 이때 나타난 데이터 리터러시의 요소가 무엇인지, 네트워크가 점차 구성이 되어가는 등록하기 및 동원하기 단계에서 학생들이 연구 주제 도출에 성공하면서 연구 주제 도출 네트워크가 공고해지는 과정과 이때 나타나는 데이터 리터러시 요소는 앞서 나타난 그것들과 어떠한 차이를 보이는지를 연대기적으로 분석하였으며, 각각의 범주 내에서 추가적인 변화가 있을 경우 이에 대한 목록을 작성하였다. 이 과정에서 데이터 리터러시 요

소의 다양한 정도와 수준이 번역의 단계에 따라 차이가 있음을 파악할 수 있었다(표 Ⅲ-6).

<표 Ⅲ-6> 번역의 각 단계에 나타난 데이터 리터러시 요소의 예

| 단계 | 학생 활동 | 리터러시 요소 |
|---|---|---|
| 문제제기 | · 자율주행 로봇 제작 주제 제안 및 관련 영상 시청 | · |
| | · 한국환경공단 에어코리아 접속 후 데이터 수집 | - 데이터의 형식 및 데이터 소개<br>- 데이터 수집 |
| 관심끌기 | · 기상정보포털 접속 후 데이터 수집 | - 데이터의 형식 및 데이터 소개<br>- 데이터 수집 |
| | · 기상 데이터를 시각화 프로그램을 사용하여 변형 | - 데이터 시각화 |
| | · 파일명에 정보 포함 시키기 | - 데이터 관리 및 조직 |
| 등록하기 | · IPCC 제6차 평가보고서 내용 공유 및 토의 | - 데이터 수집<br>- 데이터 분석 및 해석<br>- 데이터를 활용한 의사소통<br>- 데이터에 기반한 질문 및 응답 |
| | · 데이터를 활용하여 시간에 따른 표층 수온 그래프 작성 및 토의 | - 데이터 시각화<br>- 데이터 분석 및 해석<br>- 데이터에 기반한 추론 및 설명<br>- 데이터를 활용한 의사소통 |
| 동원하기 | · 실험 계획 설계 및 연구 계획서 작성 | - 데이터 시각화<br>- 데이터 평가<br>- 데이터를 활용한 의사소통 |

3) 과학적 실행 분석

이어지는 과정으로 학생들에게 나타나는 과학적 실행을 살펴보고자 하였다. Ford(2015)는 차세대 과학교육표준(NGSS)에서는 과학자의 과학 활동으로 일컬어지는 과학적 실행을 실제 과학적 실행보다는 운영 수준

에서 정의된 성과나 활동으로 표현하고 있으며, 따라서 어떤 실행이 과학적 실행인지를 판단하고자 할 때 다른 실행들과의 상호 작용을 살펴봐야 한다고 하였다. 이에 본 연구에서는 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램이 학생들의 연구 역량 함양에 어떤 기여를 할 수 있는지 알아보기 위해 ANT의 관점으로 학생들의 과학적 실행을 탐색하였다. 먼저 개방 코딩을 통해 정리된 자료를 전체적으로 살펴보면서 네트워크 구성의 주요 증거가 되는 '기입' 과정에 주목하였다. 어떤 실체가 기호, 기록, 문서, 논문, 흔적 등으로 구현되면서 겪는 모든 종류의 변형을 가리키는 용어가 '기입'이며, 과학적 실행은 이러한 번역의 과정을 통해 유지되고 조정된다(김환석, 2005; Tang, 2019). 이에 R&E 프로그램에 나타난 여러 기입을 연대기 순으로 나열하고 '기입' 과정을 중심으로 발생한 학생들의 행위를 정리하면서 행위자 간의 상호 작용과 기입의 결과물을 서로 관련이 있는 것들끼리 묶어 하나의 범주로 분류하였다. 이를 통해 점차 기입의 형태가 변하는 것이 파악되었는데, 예를 들면 R&E 프로그램 초기에는 학생들이 직접 구성한 것이 아닌 과학자의 논문이나 보고서, 기사, 데이터와 같은 기입이 많이 등장하였으나 시간이 흐르면서 이러한 기입들은 학생들이 새롭게 생성한 연구 노트와 같은 텍스트 형태의 기입으로 변환되었고, 이후 실험 데이터, 실험 데이터를 시각화한 그래프, 연구 결과 보고서와 발표 자료의 순으로 변화하였다.

더불어 학생들이 만들어낸 연구 계획서, 연구 결과 보고서와 같은 기입에 나타난 진술 유형의 변화 양상을 파악하여 과학자가 지식을 구성하고 확산하는 것과 같은 과학적 실행 과정이 발생하였는지 살펴보았다. 이때 학생들이 연구 활동을 진행하는데 중요한 역할을 했다고 판단되는 기입을 '주요 기입(key inscription)'으로 정하고, 이러한 기입과 기입 사이에 발생한 학생들의 활동을 '학문적 리터러시 이벤트'로 범주화하여 리

터러시 이벤트들과 기입들 간의 상호 관계를 분석함으로써 과학적 실행의 과정과 그 특징을 파악할 수 있도록 하였다. 주요 기입으로는 IPCC 제6차 평가 보고서, 그린란드 수온 데이터, 학생들이 찾은 논문, 연구 노트, 연구 계획서, 실험 데이터, 그래프, 연구 결과 보고서, 발표 자료였으며, 이에 따라 구분된 리터러시 이벤트는 탐색, 연구 주제 도출 및 연구 설계, 실험 수행, 데이터 처리, 결과 분석 및 결론 도출이었다.

연구자는 이상의 방법으로 분석된 연구 결과들을 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램 과정에서 나타난 구체적 사례와 함께 Ⅳ. 연구 결과 및 논의에 상세히 기술하였다.

### 나. 분석 결과의 신뢰성 확보

Lincoln과 Guba(1985)는 연구의 신뢰성(trustworthiness)을 확보하기 위한 방안으로 자료원, 방법, 연구자의 다원화(triangulation)와 같은 기법을 제안하였다(Creswell, 2007/2013, p. 281). 이에 연구자는 자료 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. 우선 연구자는 학생들이 수행한 모든 활동에 함께 참여하면서 그들의 연구 활동을 관찰하였고, 특히 이를 자세하게 기록하고자 노력함으로써 시간이 지나면서 일어날 수 있는 정보의 소실이나 왜곡을 최대한 방지하고자 하였다.

두 번째는 연구 맥락과 연구 참여자에 대해 최대한 상세하게 기술(thick description)함으로써 다른 연구자들의 충분한 이해와 접근이 가능하도록 하였다. 연구에 대한 상세한 기술은 다른 연구자들로 하여금 연구의 과정 및 결과와 같은 정보를 다른 연구 맥락에 적용할 수 있는지 결정을 내릴 수 있도록 한다.

세 번째로 실제 R&E 프로그램에서 나타난 학생들의 말과 행동, 참여 관찰 기록, 면담 전사본, 연구 산출물 등의 문서 자료와 같은 다양한 출처의

자료에서 공통적으로 발견된 내용을 중심으로 각각의 자료를 분석하는 삼각 검증(triangulation)을 실시하여 단일 자료에서 생길 수 있는 해석의 실수를 방지하고자 하였다. 예를 들어, 번역의 3번째 단계인 '등록하기'에서 나타나는 학생과 데이터 간의 상호 작용이 앞서 나타난 단계에서의 상호 작용과 어떻게 다른지 판단하기 위해 각 단계에서 학생들이 산출한 결과물들을 비교해봄과 동시에 이러한 상호 작용의 차이가 면담에서 수집된 자료나 참여 관찰 기록 등의 다른 자료에서도 나타나는지 확인하였다.

더불어 연구자와 함께 여러 과학 교육 전문가들이 함께 연구 주제, 연구 설계, 연구 수행, 분석 과정, 연구 결과에 대해 논의하고 공유함으로써 연구자가 자의적으로 해석한 것은 없는지 지속적으로 검토하는 과정(peer debriefing)을 거쳤다. 구체적으로는 과학 교육 전문가, 과학 교육 석·박사 과정생 10인 이상이 참여한 세미나에서 수 차례 연구 계획, 연구 진행 상황과 분석 결과 등을 공유하고 이에 대한 피드백을 받으면서 연구자가 생각하지 못한 연구 설계나 수행 부분 및 분석의 오류에 대해 개선할 수 있었으며, 특히 과학 교육 전문가 1인과 지속적이고 긴밀하게 소통함으로써 자료 분석에 대한 개선이 점증적으로 이루어질 수 있었다.

# Ⅳ. 연구 결과 및 논의

본 연구에서는 연구 문제 도출에 초점을 둔 ‘데이터 리터러시 함양 과정’이 포함된 R&E 프로그램을 개발하고, 이를 거치면서 나타나는 참여 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 ANT의 관점에서 살펴봄으로써 행위자들의 상호작용, 이러한 상호작용을 통해 서로에게 영향을 주는 인간 행위자와 비인간 행위자, 견고한 네트워크 구성에 성공하는 과정 및 성공에 담긴 함의를 알아보고자 하였다.

## 1. 연구 주제 도출 네트워크의 구성

과학적 사실과 지식은 인간과 비인간 등 다양한 종류의 행위자가 네트워크를 이루면서 생성된 산물이다(Latour, 1987/2016, p. 512). 이러한 관점에서 본 연구에서는 R&E 프로그램의 연구 주제 도출 과정 또한 하나의 이종 네트워크로 간주하여 이 네트워크에 참여하는 실체가 누구이며 무엇을 원하는지를 알아보고 네트워크 구성 및 지식의 생산이 어떻게 일어나는지 살펴보았다. 본 절에서는 학생들의 연구 주제 도출에 대한 이종 네트워크 구성 과정을 Callon(1984)이 제시한 번역의 4단계를 이용하여 파악하고자 하였다.

### 가. 문제제기

번역의 첫 번째 단계는 ‘문제제기’이다(표 Ⅲ-3). R&E 프로그램에 참여하는 4명의 학생들과 지도교사는 한 팀을 이루어 좋은 결과를 얻고자 노력

하였다. 지도교사는 학생들이 교사에게 너무 의존하지 않고 스스로 좋은 연구 주제를 찾아 연구를 수행하기 원하고 있었다. 지도교사는 이제까지의 경험을 통해 학생들은 연구 주제 도출을 시작으로 하는 R&E 프로그램의 전 과정에 걸쳐 생각대로 연구 수행이 잘 이루어지지 않거나 중간 결과가 좋지 않으면 지도교사에게 의존하고자 하였으며, 이런 경우 연구 역량 증진이라는 R&E 프로그램 본래의 목적 달성이 어려울 것이라고 생각하고 있었다. 이를 방지하기 위해 지도교사는 도움이 반드시 필요한 부분에만 제한적으로 참여해야 한다고 인식하고 있고, 이러한 관점에서 학생들이 주제 도출 과정에서부터 주변에서 직접 획득할 수 있는 데이터 또는 온라인상에서 쉽게 수집할 수 있는 데이터를 조금 더 잘 이용해 자신들이 관심 있고 잘 할 수 있는 연구를 생각해 내고 발전시켜야 한다고 생각했다. 지도교사는 자신의 생각을 반영하여 R&E 프로그램의 첫 시간에 학생들에게 '교사를 비롯한 누군가가 연구 주제를 제시해주지 않을 것'임을 주지시킴과 더불어 연구 주제 도출을 위해 직접 측정하거나 온라인상에서 수집 가능한 데이터들을 효과적으로 활용하도록 안내하였다. 또한 교사는 구체적인 주제 영역을 한정 짓지 않았으며 다만 3일의 시간을 주고 '환경'이라는 커다란 범위 안에서 학생 자신이 관심을 갖고 수행할 수 있을 것 같은 연구 주제를 탐색하고, 다음 시간에 간단한 연구 방법을 포함하여 발표할 수 있도록 준비시켰다.

연구의 시작을 연구 주제 탐색과 도출이라고 했을 때 지도교사는 네트워크 구성 과정의 첫 번째 단계에서 "학생들이 성공적인 연구를 이끄는 연구 주제를 도출할 수 있을까?"와 같은 문제를 제기하였다. 이를 통해 지도교사는 학생을 성공적인 연구 주제 도출을 목표로 하는 네트워크의 주요 행위자로 끌어들였으며, 주제 도출에서 교사의 도움을 배제함으로써 학생들이 스스로 탐색을 통한 연구 주제 도출을 할 수 있도록 유도하였다. 이러한 지도교사의 의도는 학생들이 주변에서 다양한 방법으로 수집할 수 있는 데이

터들 중 주제 도출을 위한 양질의 데이터들을 수집하고자 하는 행위로 나타났다.

학생 행위자는 R&E 프로그램에 참여하여 좋은 연구 경험과 연구 결과를 얻고자 하였다. 좋은 연구 결과에는 스스로의 연구 역량을 발전시킬 수 있는 계기, 관련 분야에 대한 지식 획득도 있지만 이와 더불어 연구논문 투고, 연구대회 참여 및 수상 등 대학 진학에도 영향을 미칠 수 있는 가시적인 성과도 포함되어 있으며 이러한 성과를 내기 위해서는 동료 및 지도교사와의 협업이 중요함을 인식하고 있었다. 1명을 제외하고는 중학생 때까지 연구 경험이 없었던 학생들은 지도교사가 연구 주제를 제시하지 않을 것임을 깨닫고 익숙하지는 않지만 자신이 알고 있었던 방법들을 최대한 활용하여 연구 주제를 탐색하고자 하였다.

승현: 주제 어떻게 잡지? 이런 거 혼자 해본 적 있어?

민수: 나 있어. 중학교 때.

승현: 음. 주제 잡을 때 검색 뭐로 해?

민수: 우선 네이버나 다음에서 키워드 검색이나 기사 검색하고, 관련 내용 연구된 거 있는지 구글 스칼라나 디비피아 이런 데서 알아보는 거지.

(2021.10.27. 20:00)

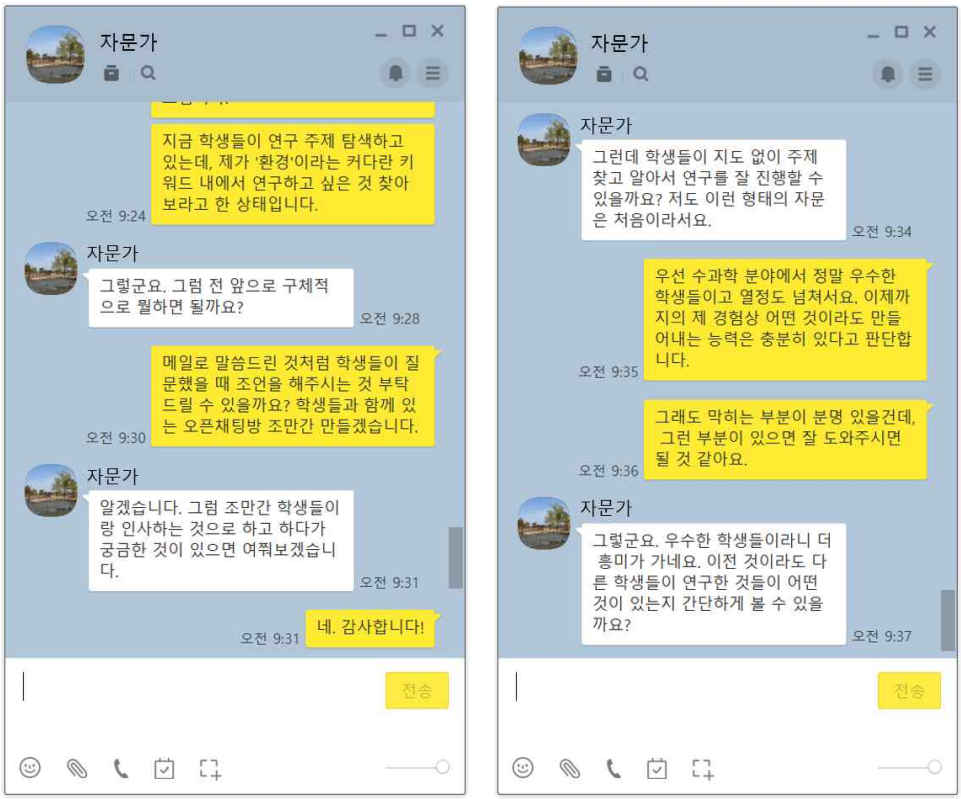
문제제기 단계에서는 질문을 단순화하고 체계화하는 과정이 일어나지만, 더불어 연구 주제 도출과 관련한 관계의 네트워크에서 권력을 갖는 행위자들을 정하고 주요 행위자가 의무통과점으로 확립됨으로써 전략적 위치를 차지하게 된다. 이때 의무통과점이 된 행위자는 행위자들간의 동맹을 가능하게 하고 행위자가 자신의 목표를 달성하는데 필요한 자원을 통제하고 관

리한다(김환석, 2005). 이러한 관점에서 지도교사는 '연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터' 또는 '학생들이 연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 활용하는 것'을 의무통과점으로 확립시키고 네트워크에서 필수 불가결한 것이 되도록 하였다.

R&E 연구에서는 학생들이 경험한 현상에 대한 작은 의문이 점점 커져 근사한 연구 주제로 성장하게 되는데, '의문'에서 '연구 주제'로 도약하는 과정에 존재하지만 필수적임에도 잊혀질 수 있는 데이터 검색, 수집, 활용 및 분석 같은 구체적 부분을 주목한다면 데이터는 이 네트워크의 주요한 행위자가 된다. 지도교사는 학생들이 주도적으로 연구 주제를 탐색하고 정해야 하는 상황을 제시함으로써 데이터를 네트워크에 끌어들였다. 이 네트워크에서 다른 행위자들과 상호작용하는 데이터는 실세계에서 측정된 실제적 데이터(authentic data)를 의미하며 실험이나 조사를 통해 학생들이 직접 측정하여 수집할 수 있는 1차 데이터와 함께 학생들이 직접 측정하지는 않지만 다양한 출처를 통해 수집된 2차 데이터가 포함된다.

지도교사가 이 네트워크에 의도적으로 끌어들이고자 한 또 하나의 행위자는 과학자였다. 지도교사는 과학자에게 연구 주제 도출 과정에 적극적으로 개입하기보다는 학생들이 어떠한 사항에 대해 질문하였을 때 과학자의 입장에서 학생들을 도와줄 수 있는 답변을 할 수 있는 자문가의 역할을 요청했다. 이에 따라 과학자는 학생들의 연구에 깊게 관여하는 것을 지양하고 주로 모바일 메신저를 활용하여 학생들의 궁금증이나 어려움에 대한 조언을 하는 역할을 수행하였다. 지도교사는 과학자와 이메일 또는 모바일 메신저를 통해 소통하였다. 과학자는 자문에 대한 약간의 자문비를 받게 되었지만, 섭외 과정에서 주고받은 이메일의 내용과 메신저를 통한 대화에서 느껴진 바는 학생들이 미래 과학자로 성장하는데 기여할 수 있을 뿐 아니라 기존의 과학 연구 결과나 수집한 데이터를 바탕으로 학생 수준에서 어떠한

연구 주제를 도출할 수 있으며, 더 나아가서는 연구 과정을 거쳐 획득된 결과가 어떻게 될지에 대해 흥미를 갖고 있다고 여겨졌다.




<그림 Ⅳ-1> 지도교사와 과학자의 대화

지도교사는 행위자들에게 네트워크 내에서 정체성을 부여하면서 행위자들에게 네트워크 내의 자원을 활용하여 연구 주제 도출 과정을 무사히 마칠 것을 제안하였다. 지도교사는 학생들이 R&E 프로그램에서 좋은 연구 성과를 얻기를 원한다면, 과학자가 학생들이 훌륭한 과학자로 성장하고 그 과정에서 과학적으로 의미 있는 새로운 결과가 도출되기 원한다면 '연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터'를 활용해야 한다고 주장한 것이다. 이는 "학생들이 성공적인 연구를 이끄는 연구 주제를 도출할 수 있을까?"라는 질문의 답을 알아야 한다는 의미이며, 이 질문과 관련된 네트워크상의 동맹이 행위자인 지도교사, 학생, 과학자, 데이터 각각에게 유의미한 이익을 줄

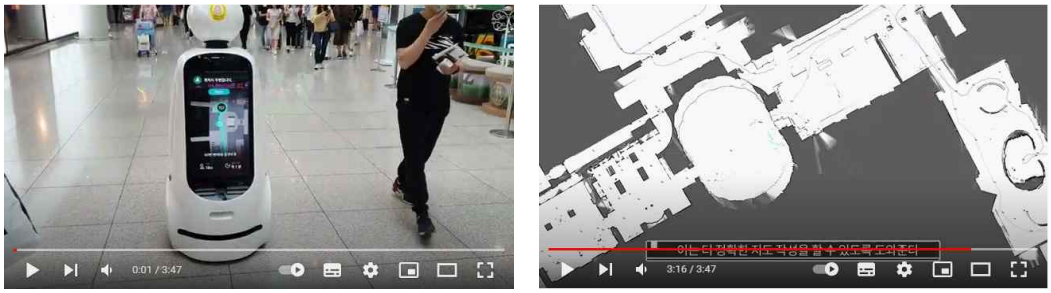
수 있다는 것을 인식하는 과정이다.

지도교사가 한정한 '환경' 범위에서 학생들은 자신의 관심 영역을 반영하여 연구 주제 탐색에 돌입하였다. 학생들은 익숙하지 않은 상황임에도 불구하고 자신들이 활용할 수 있는 범위 내에서 최대한 객관적으로 데이터를 수집하고자 노력하였으며, 결정한 연구 주제를 동료들과 지도교사에게 발표하였다.

**[사례1]** 이 사례는 2021년 10월 28일부터 3일 간 학생들이 연구 주제 도출을 위해 활동한 내용의 일부를 시간 순으로 작성한 것이다. 이 기간 기록된 참여 관찰 일지와 녹화 및 녹음 자료의 전사본을 주요 자료로 활용하였으며, 필요한 경우 면담 자료도 포함하였다.

승현이는 '자율주행 로봇 제작'이라는 주제로 자신이 조사한 바를 발표하였다. 과거 방문했던 박람회에서 경험했던 기억을 토대로 자율주행 로봇에 관심이 생겨 관련 데이터를 검색하고 이를 발표하는 것이라 밝혔다. 미리 한정한 '환경'의 테두리 안에서 탐색했다고 하기에는 조금 모호한 부분이 있었을 뿐 아니라 구체적인 연구 목적이 포함되어 있지도 않았으며 과학 분야의 연구라기보다는 기술 분야와 관련 있는 주제였음에도 불구하고 최근 주목받고 있는 키워드가 등장했기 때문인지 다른 학생들의 관심을 받았다. 특히 정보 과목에 관심이 많았던 도윤이는 다른 친구들에 비해 더 큰 관심을 보였다. 승현이는 이후 자율주행 로봇을 소개하는 유튜브 영상을 제시하여 학생들의 관심을 배가시켰다(그림 Ⅳ-2). 유튜브 영상은 정보 전달의 목적과 더불어 시청자의 눈과 귀를 즐겁게 하기 위해 의도적으로 제작된 것이 분명했지만 지도교사가 보기에 영상 속 자율주행 로봇의 역할에는 분명 학생들이 연구에 도전해 볼 만한 내용이 담겨 있었다. 다만 교사는 영상이 학생들의 흥미만을 끌고 더 생산적인 역할을 하지 못할 것을 우려하

여 학생들에게 목적이 확실한 연구 주제를 도출할 수 있도록 주제 도출을 위한 데이터 탐색 및 토의 시간을 더 부여했다.




(출처: https://www.youtube.com/watch?v=mJRn41eIkLI)

<그림 Ⅳ-2> 승현이가 제시한 유튜브 영상

학생들은 새롭게 부여된 시간을 적극적으로 사용하여 연구 주제 도출을 하고자 노력했다. 자율주행 로봇의 다양한 용도를 검색해보고 참고 영상에서 힌트를 얻은 후 이 로봇이 우리 주변 어느 곳에 필요할지 토의하면서 학생들은 자신의 경험을 토대로 의견을 제시하였으며 간단한 토의의 결과 '사람을 도와주는 자율주행 로봇'을 만들어보자는 의견이 합의되었다.

민수: 우리 저번에 과학 행사 갔을 때 있던 안내 로봇.

승현: 맞아. 나도 기억나. 내가 화장실 어디 있는지 물어봤었어. 그런데 말을 알아듣는 것은 아니더라고. 터치식이던데.

도윤: 그러면 자율주행 안내 로봇 쪽으로 생각해보자. 학교 안내 로봇 어때? 우리 학교 구조가 엄청 복잡하잖아.

승현: 말도 알아듣게 하자.

(2021.10.29. 21:00)

학생들은 '자율주행 학교 안내 로봇'이라는 새로운 주제를 수립하고 이 주제로 연구를 수행했을 때 연구 결과가 도출될 수 있을지, 자율주행 로봇

은 어떻게 제작해야 하는지, 관련 분야의 지식은 어떤 것이 필요한지에 대해 계속 검색을 해나갔다. 그러나 학생들의 활동은 주로 네이버, 다음, 구글과 같은 포털 사이트에서 키워드 검색을 통해 과학 칼럼이나 뉴스 기사를 읽는 것, 관련 영상을 찾아보는 것에 한정되었고 이는 연구 가능성을 알아보고 나아가 연구 계획을 수립하는데 큰 한계점으로 작용하였다. 학생들은 '자율주행'과 '로봇'이라는 신선하고 첨단 기술을 포함하고 있는 키워드에 매료되었으나 그것을 이루기 위한 구체적인 방법을 찾지 못했다. 연구 주제 도출에서 연구 계획 수립으로 이어지는 일련의 과정에 데이터가 크게 활용되지 못했음은 승현이와의 면담에서도 드러난다.

승현: 어떻게든 자율주행으로 사람을 도와보자라고 해서 자율주행 학교 안내 이런 걸 생각했었어요. 근데 이제 학교 내에서의 위치를 알려면 GPS를 어떻게든 사용을 해야 되는데 저희가 사용하는 GPS가 그렇게 막 세밀한 GPS를 쓸 수는 없잖아요. 그게 그래서 그런 기술적 한계도 있었고...

(2022.01.14. 14:00)

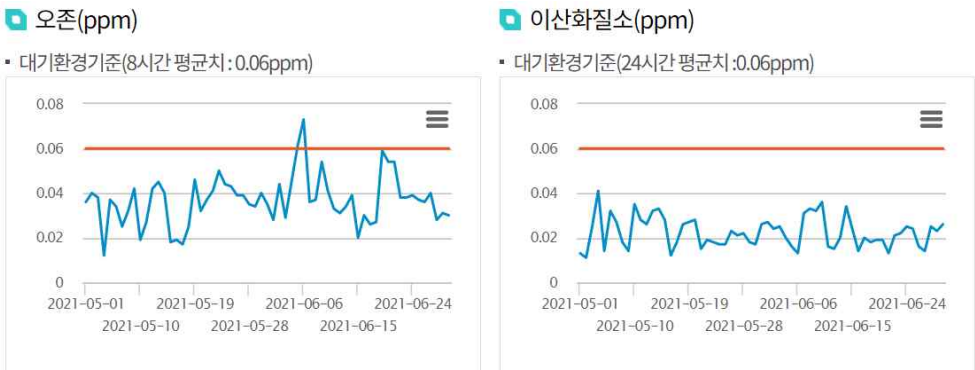
승현이는 이후에 이뤄진 면담에서 학생 수준에서 활용할 수 있는 기술의 한계로 연구 주제를 실현할 수 없었다는 이야기를 하였다. 이는 실제 학생들 전체의 생각을 대변한 것으로 학생 수준에서 학교 내에서 자유롭게 돌아다니는 자율주행 로봇을 구현하기 어렵다고 생각한 것이다. 그러나 현장에서 승현이의 발표를 들었던 지도교사나 진행 상황을 모바일 메신저로 공유받은 과학자의 생각은 달랐다. 우선 실내에서 움직이는 자율주행 로봇의 경우 GPS를 사용하지 않고도 자신의 위치를 파악할 수 있는 기술이 상당히 발달해있음을 알고 있었다. 또한 학생 수준에서 이루어진 자율주행 로봇

연구 사례가 있는 것도 알고 있었기 때문에 학생들이 자율주행, 위치 인식, 매핑 기술 등의 관련 지식을 열심히 공부한다면 의미 있는 연구 결과가 도출될 수 있을 것으로 생각하였고, 실제로 학생들이 구체적인 계획을 통해 연구 주제를 발전시키기를 원했다. 지도교사는 학생들에게 실내에서 작동하는 자율주행 로봇에 활용된 기술 현황이나 다양한 매핑 기술의 사례와 장단점, 성능 등을 구체적으로 살펴본 연구를 찾아보라는 조언을 하기도 하였다. 이처럼 지도교사와 과학자는 학생들이 조금 더 깊이 있는 데이터 활용 시도를 통해 연구 주제를 지속시켜 나가기를 응원했으나 학생들은 '자율주행 로봇 영상'과 '자율주행 로봇 제작' 사이의 간극을 스스로 채울 수 없다고 판단하여 '자율주행 학교 안내 로봇'이라는 주제로 연구를 진행하는 것을 포기했다.

**[사례2]** 이 사례는 2021년 11월 1일부터 3일 간 학생들이 연구 주제 도출을 위해 활동한 내용의 일부를 시간순으로 작성한 것으로, 이 기간 기록된 참여 관찰 일지와 녹화 및 녹음 자료의 전사본을 주요 자료로 활용하였다.

승현이의 주제 발표와는 별개로 인성이는 '도로 위 자동차의 수와 오존과의 관계 연구'라는 연구 주제를 제안하였다. 인성이는 지구과학 수업 시간에 학습한 대기오염물질과 오존에 대한 기억을 토대로 우리나라의 지표상에서 생성되는 오존의 양을 찾아보는 것으로 연구 주제 탐색을 시작했으며, 동료들과 지도교사에게 한국환경공단의 에어코리아에서 제공하는 오존과 이산화질소 데이터를 시각화하여 관심을 끌었다(그림 Ⅳ-3). 또한 한국조세재정연구원에서 발행한 '국내 오존 농도 현황과 정책적 시사점'이라는 보고서를 찾아 자신의 연구 주제 도출 이유를 뒷받침하고자 하였다. 학생들은 보고서에서 차용된 국내 오존 현황, 오존의 폐해, 오존의 2차 생성의 원

인이 되는 오염물질들, 오존 감소를 위한 정책 현황을 나타낸 글, 그래프, 도표를 보고 처음에는 큰 관심을 갖지 않았으나 인성이의 발표가 진행되면서 오존을 생성하는 주요 물질인 질소산화물이 도로 이용 오염원에서 가장 많이 배출된다는 것을 알고 도로 위 자동차의 수량과 오존 농도가 갖는 관련성을 생각하게 되었다.




<그림 Ⅳ-3> 인성이가 제시한 오존(좌) 및 이산화질소(우) 시각화 자료

지도교사는 학생들이 R&E 연구를 통해 연구 역량을 함양하는 것이 가장 큰 목표이며, 이 목표를 달성하기 위해서는 학생 스스로 데이터 탐색 도구를 활용하여 좋은 연구 주제를 찾는 것부터 시작해야 한다고 생각하고 있었다. 따라서 지도교사는 인성이가 제시한 오존 데이터들이 다른 학생들을 적극적으로 연구에 끌어들일 수 있을 것이라 판단하였다.

학생들은 인성이가 제시한 잠정적인 주제를 조금 더 구체적이고 의미 있는 연구가 될 수 있도록 고민했다. 오존과 자동차, 도로 등을 키워드로 뉴스나 과학 기사를 검색했고 각자 모은 정보를 공유하고, 이를 토대로 토의한 결과 '도로 위 차량 흐름 제어를 통한 오존 농도 감소 연구'라는 조금은 어렵지만 흥미로워 보이는 연구 주제를 도출해냈다. 학생들은 연구 주제를 구체화한 후 연구 수행 가능성과 연구 방법에 대해 탐색하였다. 2차 오염물질로서의 오존이 어떤 원인에 의해 생성되는지, 연중 또는 하루 중 언제 가

장 많이 생성되는지 파악하고, 오존 농도를 측정하기 위한 측정 도구를 결정했을 뿐 아니라 자신들이 정한 일정 기준을 충족하는 연구 장소로서의 도로도 선택하였다.

지도교사는 학생들이 앞선 [사례1]의 경우와는 달리 구체적인 연구 주제 도출에 이어 다양하게 데이터를 활용하여 연구 계획을 수립하는 것을 관찰하면서 데이터가 학생들의 연구 주제 도출에 기여했음을 파악했으며, 연구 주제와 관련이 있는 과정 설계가 이어지는 모습을 보고 싶어 했다. 반면, 과학자는 학생들이 도출하고자 한 주제에 대해 약간은 회의적인 시각을 갖고 있었다. 학생들은 도로 근처에서 측정한 시간별 오존 농도를 분석하고, 신호등 조절과 전광판 신호로 밀집된 차량 흐름을 해소함으로써 도로 주변에 쌓여 인체에 나쁜 영향을 줄 수 있는 오존의 농도를 감소시키는 아이디어를 도출하고 이를 발표하였다. 이에 과학자는 질소산화물이 지표상 오존을 생성하는 주요한 전구물질이며, 국내 배출총량 중 30% 이상 자동차와 같은 도로이동오염원에서 배출되는 것은 맞지만 질소산화물이 가장 많이 배출되는 시각과 오존 생성이 가장 많이 일어나는 시각이 서로 다른데 차량 흐름 조절이 즉각적으로 오존 농도 변화를 일으킬 수 있는가에 대한 의문을 제기하였다. 과학자는 현재 상태의 연구 주제를 진행하기에는 문제가 있음을 지적하면서 도로 위 차량의 흐름과 오존 농도가 즉각적으로 연관될 수 있는 방법을 찾거나 연구 주제의 방향을 약간 변경하는 것은 어떨지 제안했다.

승현: 얘들아. 질소산화물이랑 오존 생성 관계 그래프 어디 있었지?

도윤: 여기 보고서, 여기. 근데 왜?

승현: 어, 교수님께서 자동차 신호등 조절해서 오존 농도 변화 알아보는게 가능할 것 같은지 찾아보라고 하셨잖아.

도윤: 그러게. 우리가 자동차 많이 지나다니는거랑 오존 증가를 너무

직접적으로 생각한 것 같음.

민수: 뭘 더 알아볼까?

(2021.11.03. 19:30)

일정 시간이 지난 후 학생들은 더 이상 데이터 수집으로 좋은 연구 주제를 생각해내기 어렵다는 이유로 추가적인 오존 농도 관련 연구 주제 탐색을 포기했다. 과학자는 조언을 통해 학생들이 대안을 탐색하고 연구 주제의 방향을 개선하는데 도움을 주고자 하였으나 결과는 그와 반대로 나타났다.

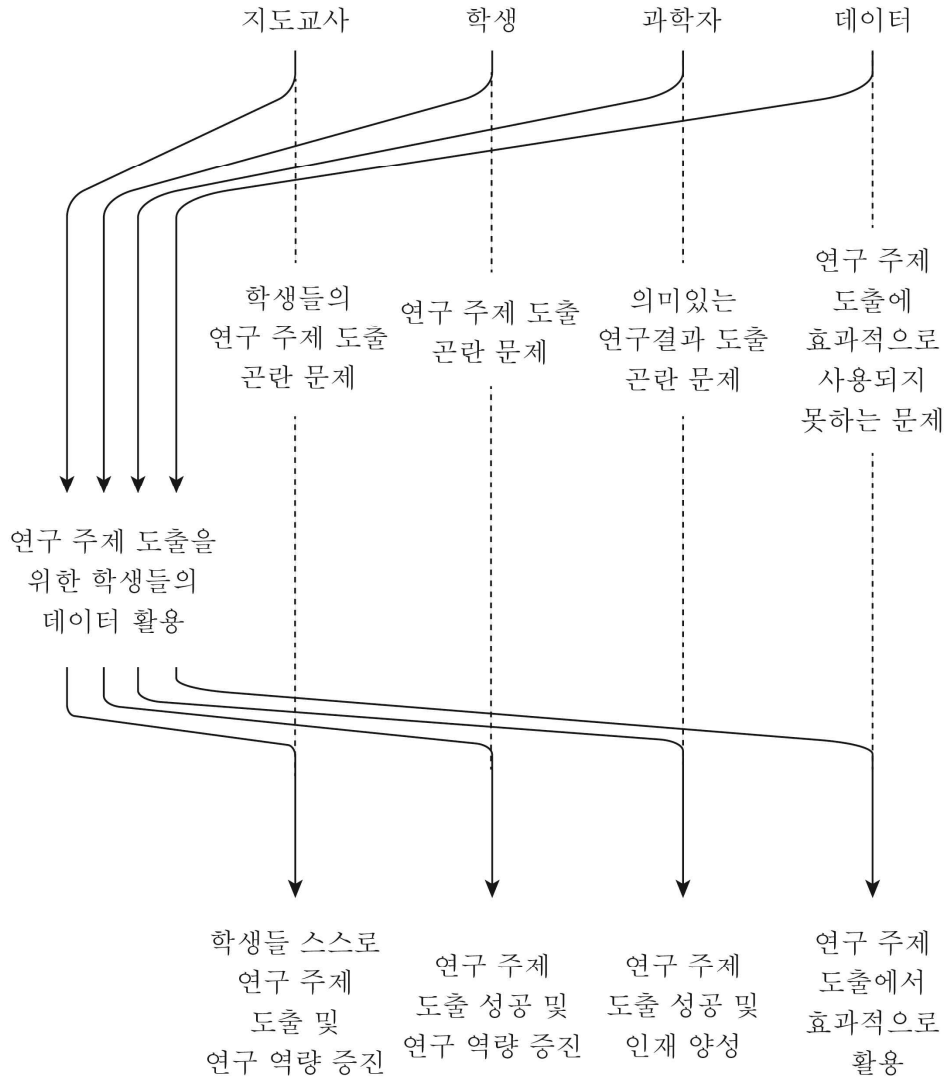
[사례1], [사례2]의 경우에서 학생들은 연구 주제 도출에 어려움을 겪었다. 특히 [사례2]의 경우 지도교사와 과학자는 조금만 개선하면 좋은 연구 주제가 도출되어 학생들이 재미있게 연구를 할 수 있겠다고 생각하였지만, 학생들의 입장에서는 교사와 과학자가 요구한 '약간의 개선'을 이루어내는 것이 매우 어려웠다. 앞서 기술했던 바와 같이 지도교사는 "학생들이 성공적인 연구를 이끄는 연구 주제를 도출할 수 있을까?"와 같은 문제를 제기하면서 학생들을 이 네트워크의 주요 행위자로 끌어들였다. 이를 통해 학생들은 성공적인 연구를 수행하기 위해 자신의 흥미를 자극하면서도 좋은 연구 거리가 될만한 아이디어와 소스를 스스로 찾고자 하였으며, 특히 [사례1]과 [사례2]의 경험을 통해 연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 찾아내고 활용할 수 있는 능력의 필요성을 인식하게 되었다.

승현: 저희가 이제 어떻게든 자력으로 해결하려면 일단 아무래도 구글링을 굉장히 많이 해야 되잖아요. 여러 사람들이 한 것도 보고 어떤 전문가가 한 얘기도 보고 논문도 찾고 하는데 이 문제 상황에 딱 들어맞는 걸 찾지 못하는게 계속 되니까 엄청

답답했어요. 어떻게 해결해야 하는지 모르겠으니까 선생님이나 교수님 힘을 빌려서 해결하려고도 했었고...

(2022.01.14. 14:00)

이 시점에 행위자들이 받아들여야 하는 움직임과 우회는 <그림 Ⅳ-4>와 같다. 이 그림은 지도교사, 학생, 과학자, 데이터라는 행위자가 각각 원하는 것을 현재 상황에서 스스로 성취할 수 없음을 의미하는 것으로, 때문에 성취를 위해서는 동맹에 속박되어야 함과 의무통과점을 지나야 함을 나타낸다. 각각의 행위자는 어떠한 장애물로 가로막혀 있는데, 가령 학생의 경우에는 지도교사나 과학자가 연구 수행에 좋은 연구 주제를 제공해주지 않기 때문에 자신의 흥미를 자극하면서도 좋은 연구 거리가 될만한 아이디어와 소스를 스스로 찾지 못한다면 성공적인 연구를 수행할 수 없을 것이다. 과학자는 학생들이 연구 주제 도출을 못 하는 경우 학생들이 도출한 새로운 연구 결과를 알 수 없게 되며, 나아가서는 인재 양성이라는 목표에서 멀어진다. 데이터의 입장에서는 학생들이 연구 주제 도출에 도움이 될 수 있는 정보 재료로 활용되지 못하면서 의미 없는 데이터로 전락하게 된다. 이러한 행위자들의 모든 관계는 앞서 제기된 문제인 “학생들이 성공적인 연구를 이끄는 연구 주제를 도출할 수 있을까?”와 연관된다.




<그림 Ⅳ-4> 문제제기와 관련이 있는 행위자들과 그들의 목표

### 나. 관심끌기

번역의 두 번째 단계는 '관심끌기'이다. 문제제기 단계에서 지도교사, 학생, 과학자, 데이터는 각각의 실체를 갖고 있으면서 서로 관계를 맺게 되었으나, 문제는 이 관계가 아직 견고하지 않다는데 있었다. 왜냐하면 문제제기 과정에서는 행위자 간 동맹이 잠정적으로만 암시되기 때문에 각각의 행

위자들은 다른 경쟁적 네트워크의 영향을 받지 않으면서 자신의 정체성을 유지해야 했기 때문이다. 구체적인 예를 들면, 지도교사나 과학자가 복잡한 과정을 거치지 않기 위해 학생들에게 미리 생각해둔 연구 주제와 방법을 제공하고, 학생들은 많은 고민 없이 어느 정도 연구 성과가 보장된 연구 주제와 방법을 받을 수 있다는 점 때문에 지시를 따르게 된다면 앞서 제기된 "학생들이 성공적인 연구를 이끄는 연구 주제를 도출할 수 있을까"라는 문제를 해결하기 위한 필수 장치인 의무통과점을 거치지 않게 되기 때문에 각자의 정체성이 변하게 되는 것이다.

이처럼 각 행위자는 처음 계획과 목표에 따라 동맹을 견고하게 만들 수도 있고, 약하게 만들 수도 있다. 따라서 관심끌기는 어떤 행위자가 문제제기를 통해 정의된 다른 행위자들의 정체성을 강제하고 안정화시키려는 행동들의 집합이다(Callon, 1984).

1) 학생들의 데이터 리터러시 함양 과정 참여

학생들은 주도적으로 연구 주제 도출 및 연구 설계를 위해 노력하였으나 학생들과 지도교사, 과학자 모두가 만족하는 좋은 연구 주제를 도출할 수 없었다. 이 과정에서 학생들은 자신이 제시한 연구 주제와 연구 설계 과정의 부족한 부분과 그렇게 된 원인을 일부 깨달을 수 있었으며, 이때 지도교사는 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정에 참여할 것을 제안하였다. 학생들은 데이터 수집 도구 탐색, 데이터 수집, 데이터 변형과 해석, 연구 문제 도출 연습의 과정을 거쳐 데이터 리터러시를 함양하였다. 2021년 11월 4일부터 5일간 주중 저녁 시간, 주말 자유 시간에 집중적으로 이루어진 이 과정은 데이터를 활용한 문제 도출에 초점을 맞추고 있었으며, 지도교사는 학생들이 원활한 활동을 할 수 있도록 상황에 맞는 질문 및 응답, 시범, 추가 자료 제시를 통해 과정별 문제 해결 과정을 도왔다.

<표 Ⅳ-1>은 데이터 리터러시 함양 과정에 나타난 학생과 교사 활동 일부를 간략하게 정리한 것이다. 학생들은 우리나라 기상 관측소에서 측정하는 기상 데이터에 관심을 갖고 날씨와 관련한 데이터를 제공하는 기상 데이터베이스에 접속하여 주요 기상 요소 데이터를 내려받았다. 이후 지도교사의 도움을 받아 데이터 전처리, 데이터 변형, 데이터 해석 과정을 거쳤고, 이를 바탕으로 하여 연구 문제 도출에 다다를 수 있었다.

<표 Ⅳ-1> 데이터 리터러시 함양 과정의 단계별 학생과 교사 활동

| 단계 | 활동 |
|---|---|
| 데이터 수집 도구 탐색 | · 교사가 다양한 데이터 수집 도구에 대해 안내하고, 간단한 사용법 및 사용 시 유의 사항을 알려줌.<br>· 학생은 교사가 제시한 예시 영상을 활용하여 MBL 장치와 센서, 아두이노, 엑셀 등의 도구 사용법의 기초를 익힘. |
| 데이터 수집 | · 교사가 데이터의 다양한 종류를 안내함.<br>· 학생이 우리나라 기상 관측소 데이터에 관심을 갖고, 기상 요소 데이터 수집을 하고자 함.<br>· 교사가 서울시 열린 데이터 광장과 기상자료개방포털을 알려주고 연도별, 관측소별 기상 요소 데이터를 엑셀 파일 형태로 내려받을 수 있게 안내함.<br>· 학생은 열린 데이터 광장에서 1998년부터 현재까지 서울시 월별 평균 대기오염도 정보를 내려받고, 기상자료개방포털을 이용해 1972년부터 현재까지 우리나라 모든 관측소의 위도, 경도, 기온, 해면기압, 이슬점, 상대습도, 강수량의 월별 평균값을 내려받음. |
| 데이터 변형과 해석 | · 교사와 학생이 함께 데이터가 목적에 맞게 수집되었는지 확인하고, 데이터 정리, 오류 검사, 불필요한 부분 삭제와 같이 기상 요소 데이터의 전처리 과정을 실습함.<br>· 학생은 데이터를 그래프와 도표로 변형할 수 있는 엑셀, Power BI, Matlab, Orange3 등의 시각화 프로그램 사용법 |

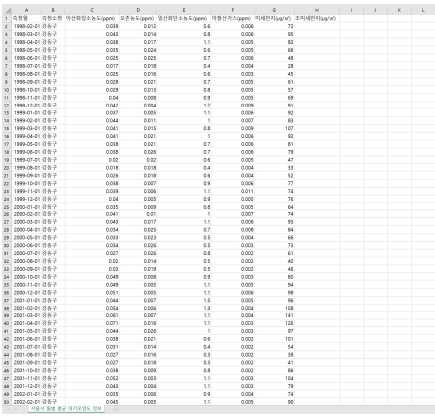
| | |
|---|---|
| | 을 익히고 기상 요소 데이터를 변형함.<br>· 학생은 실습을 통해 다양한 형태의 그래프의 예시와 쓰임새를 파악함.<br>· 학생은 머신러닝의 원리와 방법, 데이터 분석에서의 의미에 대해 학습하고, 머신러닝 도구인 Orange3를 활용하여 기상 요소 데이터를 변형함.<br>· 학생은 그래프, 도표, 통계자료를 활용해 기상 요소 간의 상관관계를 파악해보고 이를 자신이 알고 있는 기존의 지식과 연관 지어 봄.<br>· 학생은 데이터를 시각화하는 과정과 머신러닝을 이용해 특정 기상 요소의 경향성을 파악하고 미래를 예측해봄으로써 데이터에서 새로운 의미를 찾아냄.<br>· 교사는 학생의 질문에 답하고, 어려워하는 변형, 해석 과정에 도움을 줌. |
| 연구 문제 도출 연습 | · 학생은 데이터 변형과 해석 과정에서 알아낸 기상 요소의 경향성이나 기상 요소 간의 관계를 통해 예측되는 결과에서 흥미 있는 문제를 도출함.<br>· 학생은 문제들의 목록을 작성하고 인터넷 검색, 문헌 조사 등을 통해 연구 주제로 도출 가능한 것들을 선별함.<br>· 학생은 선별한 연구 주제에 관한 자료를 제작하여 구체적으로 이에 대해 설명할 준비를 함.<br>· 학생은 자신이 준비한 연구 주제에 대해 동료 및 교사와 함께 토의하는 과정을 거쳐 연구 주제의 적절성을 판단함. |

2) 데이터 리터러시 함양 과정을 통한 학생들의 변화

학생들은 데이터 리터러시 함양 과정에 참여한 후 진행한 면담에서 데이터 리터러시 함양 과정을 통해 자신이 연구 주제 도출 과정에서 부족했다고 판단한 부분을 보완할 수 있었다고 언급하였으며, 특히 몰랐던 것을 알

게 된 후 다양한 방식으로 응용할 수 있었기 때문에 더 좋은 결과를 도출할 수 있었다고 답하였다. 구체적으로 학생들이 데이터 리터러시 과정을 통해 함양한 부분은 다음과 같다.

첫째, 학생들은 데이터를 생성, 조직하고 관리하는 능력을 기를 수 있었다. 학생들은 연구 주제 도출과 관련한 데이터 검색에 주로 국내 포털 사이트를 활용하였다. 뉴스 기사나 과학 칼럼, 블로그 게시글 등에만 집중하면서 문제 도출이나 해결을 위해 중요하게 활용될 것으로 예상되는 데이터를 어디에서 구할 수 있는지 파악하지 못하고 있었으며, 이는 구체적인 연구 문제 도출에 큰 한계로 작용하였다. 교사는 데이터 리터러시 함양 과정에서 데이터 수집 도구, 데이터의 다양한 종류와 수집처를 알려주고 학생들이 이를 활용할 수 있도록 하였다. 학생들은 교사가 제시한 예시 영상을 활용하여 MBL 장치와 센서, 아두이노, 엑셀 등의 데이터 수집 도구 사용법을 학습했으며, 도구를 통해 수집할 수 있는 데이터의 형태를 확인하였다. 또한 양질의 과학 데이터를 내려받을 수 있는 국내외 데이터베이스의 존재를 알게 되었으며, 데이터베이스에 접속하여 자신의 목적에 맞는 데이터를 수집하는 방법을 학습하였다. 이러한 과정을 통해 학생들은 데이터의 형식과 데이터베이스의 존재를 알게 되었고, 스스로 데이터베이스에 접속하여 특정 지역의 대기오염도 정보를 CSV 파일의 형태로 수집해보는 모습을 보여주었다(그림 Ⅳ-5).



<그림 Ⅳ-5> 데이터베이스 접속(좌)과 데이터 수집(우)

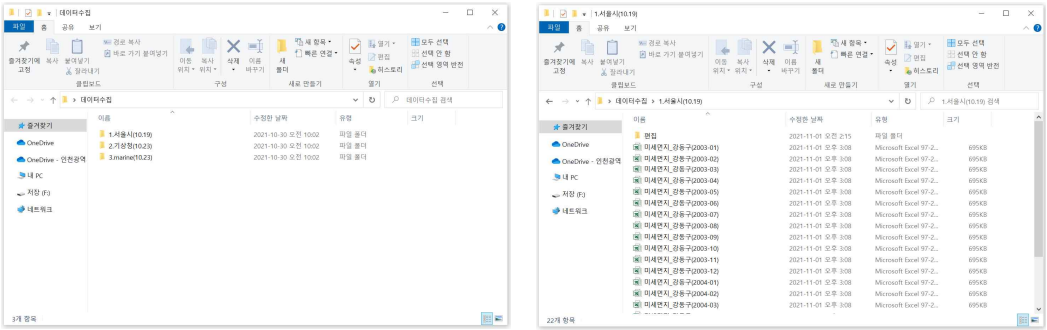
처음 데이터 수집에 나선 학생들은 주로 자신이 관심을 갖고 있는 키워드를 검색하거나 키워드와 관련한 내용을 찾아보는 수준에서 벗어나지 못했으나 이후 데이터 리터러시 함양 과정을 거침에 따라 과학 지식이나 과학 데이터를 내려받을 수 있는 데이터베이스를 검색하는 활동이 많이 이루어졌으며, 이렇게 변화된 이유에 대해 인성이는 '앎과 모름의 차이'라고 답하였다.

인성: 우선 알고 모르고의 차이가 무척 큰 것 같아요. 특히 외국 사이트 같은 경우엔 우선 영어로 되어 있으니까 잘 안 찾아보게 되고... 영어로 되어있는 거 까지는 괜찮은데, 우리나라 사이트랑 형태나 형식이 다르니까 데이터를 어떻게 받는지 잘 모르는 경우가 많았어요.

(2021.11.09. 22:00)

학생들은 데이터를 수집하고 조직하는 과정에서 데이터의 양이 많아짐에 따라 적절한 데이터 관리 방법이 필요하다는 것을 인식했다. 노트북 바탕화면에 국내외 데이터베이스에서 내려받은 데이터 파일들이 받은 순서대로

저장되어 있는 것을 주요 키워드를 이름으로 한 폴더 내에 넣어 정리했으며, 파일을 나중에도 쉽게 구분하고 찾을 수 있게 파일명에 간단한 정보가 포함되도록 하였다(그림 Ⅳ-6).



<그림 Ⅳ-6> 학생들의 데이터 관리

둘째, 학생들은 데이터를 활용하고 분석하는 능력을 기를 수 있었다. 교사는 6차시에 걸친 데이터 변형과 해석 단계에서 학생들에게 데이터 전처리 방법, 데이터 변형 및 시각화 방법, 머신러닝 활용 방법, 데이터 해석 방법에 대해 안내하였다. 우선 데이터가 목적에 맞게 수집되었는지 확인하고 데이터에 오류는 없는지, 데이터가 기록되지 않은 부분은 없는지 살펴보게 하였다. 또한 불필요한 부분을 포함하고 있는 데이터를 처리할 때 소요되는 시간과 불필요한 부분을 정리한 데이터를 처리할 때 소요되는 시간을 비교해봄으로써 효율적인 데이터 분석을 위한 과정으로 데이터 전처리가 매우 중요함을 인식시켰다. 이를 통해 학생들은 데이터를 어떻게 처리하느냐에 따라 자신의 목적에 맞는 데이터가 획득되거나 획득되지 않을 수 있음을 깨달았으며, 데이터 수집만큼 데이터 전처리의 중요성도 알게 되었다.

민수: 일단 데이터를 보는 방법, 그러니까 내가 필요한 데이터들을 골라내고 이제 그걸 어떻게 변형시키고 필요 없는 데이터들은 어떻게 빼야 되는지... 그런 것들에 대해서 배우기 전에는 아예

그런 생각을 못하고 있었거든요. 데이터를 (목적에 맞게) 내가 원하는 대로 가공해야겠다는 거 자체를...

(2021.11.08. 22:00)

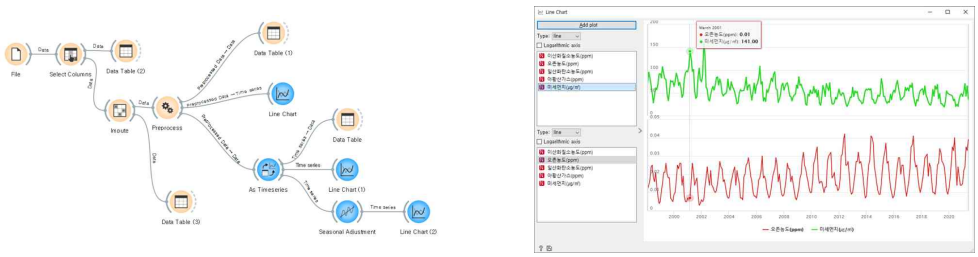
이후 학생들은 교사의 안내에 따라 데이터 변형 및 시각화 방법을 학습하였다. 수집한 데이터를 그래프 및 도표로 변형할 수 있는 엑셀, Power BI, Orange3, Matlab에 대해 간단한 사용법을 익힘으로써 각각의 장단점을 파악하였다. 이 과정에서 특이한 부분이라 판단된 두 가지는 과학영재로서 이미 다양한 과학 활동을 경험한 학생들이었지만 연구자가 대중적이라 생각했던 엑셀과 같은 스프레드시트 프로그램도 익숙하게 사용하지 못하는 모습을 보였다는 점과 학생들이 생성한 그래프가 형식적으로 맞지 않거나 누락된 부분이 많아 시각화를 통한 정보 전달이 원활하지 못했다는 점이다. 이에 주목하여 교사는 학생들에게 다양한 그래프의 예시와 쓰임새를 알려줌과 함께 그래프의 형식 및 그래프가 담고 있어야 하는 정보에 대해 알려주고자 하였으며, 학생들은 특정 상황을 가정하고 이에 맞는 그래프가 어떤 것이 있는지 토의해봄으로써 그래프의 종류와 활용에 익숙해질 수 있었다. 이후 이뤄진 면담에서 도윤이는 데이터 리터러시 함양 과정을 통해 알게 된 지식과 시각화 프로그램에 대해 다음과 같은 이야기를 하면서 다양한 프로그램을 배우는 입장에서 접근하기 어렵다고 느껴지면 아무리 좋은 프로그램이라도 점차 사용하지 않게 된다고 하였다.

도윤: Power BI라는 새로운 걸 배우면서 거기 있는 걸 하나하나씩 설명을 들으면 거기는 UI로 굉장히 쉽게 나타나 있었잖아요. 그래가지고 어느 정도 내가 할 수 있는 막대 그래프나 선 그래프 이런 것만이 아니라 거기서 박스 플롯, 원형 그래프 이런 것까지 되게 고루고루 여러 데이터 분석 방법을 배운 게 좋았

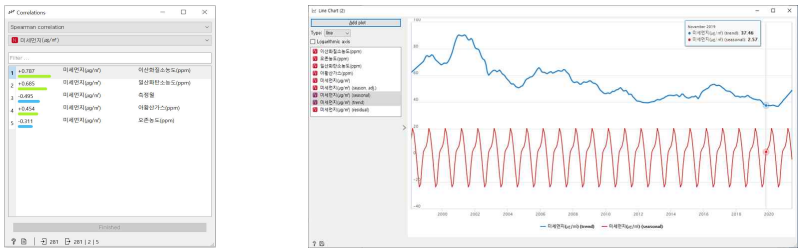
던 것 같아요. 어려우면 안하게 되니까.

(2021.11.09. 21:00)

학생들은 앞서 학습한 데이터 시각화 프로그램인 Orange3를 활용하여 미리 내려받은 특정 지역의 미세먼지 농도의 변화 경향을 파악해보고자 하였다. 교사는 미세먼지 데이터와 함께 받은 이산화질소, 오존, 일산화탄소, 아황산가스 농도 간의 관계를 설명하고, 이를 기존의 지식과 연관 짓는 활동을 학생들이 직접 할 수 있도록 지도함으로써 실제 데이터에서 관찰되는 현상을 과학 지식으로 설명할 수 있도록 했다. 처음 분석을 시도한 학생들은 데이터 분석의 충분한 재료가 있음에도 불구하고 시간에 따른 경향성을 파악하는 정도에 그쳤으나 Orange3를 활용하여 변인 간의 상관관계를 분석하고, 계절 변동을 제거한 미세먼지 농도를 시각화해봄으로써 심도 있는 데이터 분석 과정을 경험할 수 있었다.




<그림 Ⅳ-7> Orange3를 활용한 미세먼지와 오존 농도 변화 경향성 파악



<그림 Ⅳ-8> Orange3를 활용한 변인 간 상관관계 분석(좌) 및
계절 변동을 제거한 미세먼지 농도 변화 경향성(우)

학생들은 변인 간 상관관계 분석을 통해 미세먼지 농도와 가장 높은 상관관계를 보이는 변인이 이산화질소 농도임을 파악하고, 두 변인 사이의 연관성을 과학적으로 탐색하기 시작했다. 또한 계절 변동을 제거한 시간에 따른 미세먼지 농도 변화를 분석하는 과정에서 특정 지역의 미세먼지 농도만 점차 감소하고 있는 특별한 원인이 무엇인지에 대해 궁금증을 가지게 되었다. 이러한 궁금증은 궁금증 해결을 위한 전략 수립으로 이어졌는데, 이 전략은 데이터가 잘못되지 않았는지 점검하기, 주변 지역의 미세먼지 농도 경향성과 비교해보기, 미세먼지 농도 저감 효과에 대한 기사 검색하기 등이었다.

이와 같은 경험은 학생들이 데이터를 활용하고 분석하는데 자신감을 갖게 된 계기가 되었다. 또한 데이터가 어떤 정보를 전달해주고 있는지 알 수 있는 통찰력, 필요한 데이터를 선별할 수 있는 데이터 선별 능력, 데이터를 통해 현상을 객관적으로 평가할 수 있는 증거 기반 사고 능력을 키울 수 있는 기회로 작용하였다.

승현: 데이터를 이렇게 나타내는 방법을 배운 거잖아요. (중략) 통찰력을 좀 기른 것 같고요. 그러니까 데이터를 보면서 흐름이나 양상 이런 걸 파악하는데 많은 도움이 된 것 같고, 안 접해봤을 때랑 차이가 있는 것 같아요.

(2021.11.08. 21:00)

민수: 정보라는 것에 대해서 관심을 많이 가지게 된 것 같고, (중략) 시각화를 해보면서 이게 뭘 뜻하는지를 판단하는 그런 활동을 했었는데 친구들은 어려워하는데 저는 어려움 없이 수월하게 했던 것 같고...

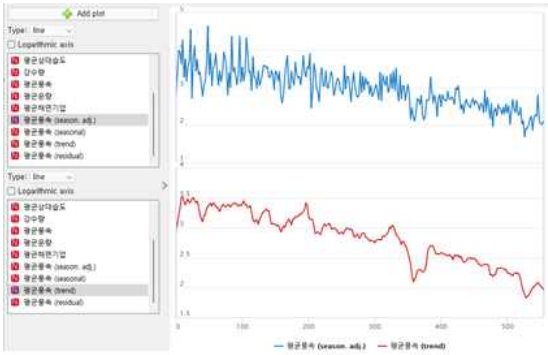
(2021.11.08. 22:00)

도윤: 나에게 필요한 데이터를 선별하는 능력을 키울 수 있었고, (중략) 어떤 인터넷에서 그냥 기사를 보는 것보다 더 직접 하니까 객관적으로 평가할 수 있을 것 같고 데이터끼리의 상관관계 같은 거를 예측하거나 어떤 식으로 상호작용하는지를 파악할 수 있을 것 같아요.

(2021.11.09. 21:00)

셋째, 학생들은 데이터에 기반한 의사소통 능력을 키울 수 있었다. 학생들은 데이터 변형과 해석 과정을 거쳐 연구 문제 도출 연습 단계에 도달하였다. 이 단계에서 교사는 학생들이 데이터 해석 과정에서 발생한 질문들의 목록을 작성하고 인터넷 검색, 문헌 조사 등을 통해 연구 문제로 도출 가능한 것을 선별하도록 지도하였고, 이를 발표하고 토의할 수 있는 환경을 조성하였다. <그림 Ⅳ-9>는 학생들이 문제 도출 연습 과정에서 제시한 연구 주제 중 일부를 나타낸 것이다. 스스로 검색하여 내려받은 기상 데이터를 변형하고 해석하여 승현이는 '속초의 평균 풍속이 연간 오징어 어획량에 미치는 영향 탐구', 민수는 '우리나라 강수량 변화가 식생 분포에 미치는 영향 분석'이라는 주제를 도출했다. 연구 주제를 도출하는 과정에서 학생들은 과학자의 이야기, 전공 서적이나 보고서의 내용, 뉴스 기사에서만 봐왔던 그림들을 스스로 데이터 시각화 과정을 통해 만들어보았다는 것에 큰 의미를 두었으며, 지역적, 시기적 차이에 의해 실제 예상과 다른 결과를 나타내는 기상 요소 변화 경향을 찾아내면서 자신이 알고 있었던 일반화된 지식이 실제 자연을 온전히 설명하지 못할 수도 있음을 인식하였다.

승현



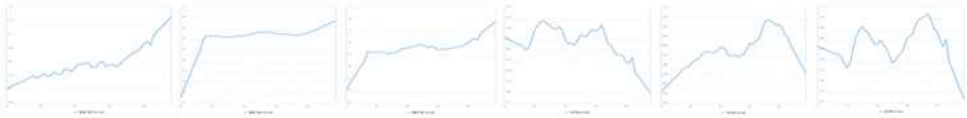
**속초의 평균 풍속이 연간 오징어 어획량에 미치는 영향 탐구**

최근 우리나라의 오징어 어획량이 계속 감소하고 있다는 기사를 본 후, Orange3에서 속초에 위치한 관측소의 데이터를 활용하여 시간에 따른 평균 풍속과 평균 온도를 그래프로 표현해 보았다. 그 결과 평균 풍속이 그림과 같이 지속적으로 감소하는 모습을 보였고, 기온도 동일한 양상을 나타냈다.

페루에서는 강한 남동무역풍으로 연안용승이 일어나 차가운 바닷물의 많은 무기염류와 용존 산소량 증가로 인해 물고기가 많이 잡히는 어장이 형성된다. 이와 비슷하게 편서풍이나 계절풍에 의해 속초의 평균 풍속이 크면 동해 연안에 에크만 수송에 따른 찬 바닷물이 용승하여 오징어가 많이 잡힐 것이라는 가설을 세웠다.

민수

**우리나라 강수량 변화가 식생 분포에 미치는 영향 분석**



- 언론과 연구 보고서 등 다양한 출처를 통해 지구 온난화로 인해 우리나라 전 지역의 강수량이 크게 변화하고 있다는 것을 알게 됨.
- 이를 직접 알아보고자 Orange3를 이용해 제주도, 서울, 광주의 50년 간 7월 평균 기온과 강수량을 표현.
- 세 지역 모두 기온은 급격히 올랐고, 강수량은 급격히 감소했음을 알게 됨.
- 따라서 강수량 변화에 따른 식생 분포 변화가 일어났을 것으로 예상하고 연구주제를 이와 같이 설정함.

<그림 Ⅳ-9> 문제 발견 과정에서 학생들이 도출한 연구 주제들

연구 주제에 대한 발표 및 토의 과정에서 승현이와 민수는 자신들이 데이터를 활용하면서 인식한 문제들을 시각화하여 다른 학생들에게 제시하였으며, 이러한 데이터 분석과 평소 자신이 갖고 있던 관심 부분을 엮어 연구 주제로 발전시켜가는 과정을 보여주었다. 인성이는 데이터 해석에서 비롯한 문제 발견 및 연구 문제 구체화 과정을 어떻게 표현해야 동료들이 더 잘 이해할 수 있을지를 고민했으며, 이러한 고민 과정이 데이터를 활용하는 폭을 넓히는데 도움이 되었다고 언급하였다.

인성: 데이터를 활용할 때 데이터를 정리하고 자기가 이 데이터를 어떤 그래프로 그렸을 때 조금 더 사람들이 이해하기 쉬울지 그런 거를 좀 알아보는 데 고민한 것이 많이 도움이 될 것 같아요.

(2021.11.09. 22:00)

이와 같이 학생들은 데이터 리터러시 함양 과정에 참여하여 데이터 생성, 조직, 활용, 분석, 의사소통 면에서 향상을 이루었다고 생각하였다. 이 과정을 요약하면, 연구 주제 도출을 위한 임시적인 네트워크에서 지도교사, 학생, 과학자, 데이터 간의 동맹을 견고하게 유지시키기 위해 지도교사는 데이터 리터러시 함양 과정을 제시하였고, 이에 학생들이 적극적으로 참여함으로써 연구 주제 도출에 대한 자신의 정체성을 확립하였다. 관심끌기가 어떤 행위자가 문제제기를 통해 정의된 다른 행위자들의 정체성을 강제하고 안정화시키려는 행동들의 집합이라는 것을 생각하면, 데이터 리터러시 함양 과정은 학생 행위자에게 관심끌기 장치로 작용하였다고 판단된다. 관심끌기 장치는 기존의 네트워크를 유지시키기 위해 어떤 행위자의 정체성을 다른 방법으로 정의하고자 하는 모든 실체들과 행위자 사이의 연결을 자르거나 약화시키는 기능을 하는 것을 말한다. 구체적으로 데이터 리터러

시 함양 과정은 학생 행위자가 연구 주제 도출을 위한 방법으로써 데이터를 활용하는 것 이외의 실체들과 연결되는 것을 약화시켰다.

### 다. 등록하기

번역의 세 번째 단계는 '등록하기'로, 네트워크상에 존재하는 한 행위자가 다른 행위자들의 역할을 정의하고 조정하는 단계이다. 이때 역할을 부여한 행위자는 다른 행위자들이 자신에게 부여된 역할을 잘 수행할 수 있도록 독려하고 격려해준다(조인성, 2021). 여기서 앞선 관심끌기 단계에서 부여된 역할을 각 행위자가 기꺼이 받아들인다면 동맹이 형성될 수 있지만 관심끌기 단계에서 이루어진 장치가 설득력 있게 작용했다 하더라도 그것이 반드시 '등록'으로 이어지지는 않는다는 것이 중요하다.

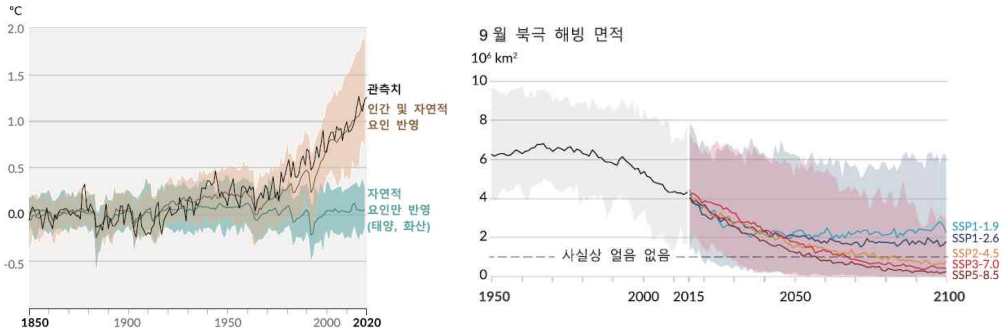
**[사례3]** 이번 사례는 2021년 11월 9일부터 14일까지 학생들이 연구 주제 도출을 위해 활동한 내용의 일부를 시간순으로 작성한 것이다. 이 기간 기록된 참여 관찰 일지와 녹화 및 녹음 자료의 전사본을 주요 자료로 활용하였다.

학생들은 데이터 리터러시 함양 과정에 참여한 후 다시 자신들의 문제로 돌아와 연구 주제 도출을 시도했다. 지도교사는 이전의 경우와 마찬가지로 학생들이 자신들의 힘만으로 좋은 연구 주제를 찾아 연구 활동을 수행했으면 하는 바람을 갖고 있고, 이 과정을 통해 학생들이 과학 소양과 연구 역량 증진을 이뤄냈으면 좋겠다고 생각하고 있었다. 다만 데이터 리터러시 함양 과정을 경험한 학생들이 주제 도출 과정에서부터 주변에서 직접 데이터를 획득하거나 온라인상에서 수집할 수 있는 데이터를 조금 더 효과적으로 활용하여 자신들이 잘 할 수 있는 연구를 진행하기를 바라게 되었다. 이러한 약간의 인식 차이는 학생들이 연구 주제 도출에 어려움을 겪은 사례가

우리 주변에 존재하는 다양한 형태의 데이터를 의미 있는 정보로 변환시키지 못한 것이 원인이라고 생각했기 때문이며, 지도교사는 자신의 생각을 반영하여 학생들에게 관심을 갖고 수행할 수 있을 만한 연구 주제를 탐색하되, 데이터 리터러시 함양 과정을 통해 알게 된 데이터 수집, 변환, 분석 방법을 적극적으로 활용할 것을 주문했다.

학생들은 정해진 연구 수행 기간 중 약 2주 정도를 연구 주제를 도출하는데 소비하였기 때문에 연구 결과를 잘 얻을 수 있을까에 대한 약간의 불안감을 갖고 있었음에도 불구하고 연구 주제 도출에 대단히 신중하고 조심스럽게 많은 시간을 들여 접근하고자 하였다. 주제 도출에 곤란함을 겪은 경험을 통해 면밀한 탐색 과정을 거치지 않고 도출된 연구 주제는 금세 폐기될 수 있음을 파악하였기 때문이다. 학생들은 성공적인 연구 주제 도출을 위해 서로 격려를 해가며 주제 도출을 위한 업무를 분배하였고, 의욕적으로 연구에 참여하였다.

학생들은 교사의 지도에 따라 다시 한번 연구 주제를 탐색하였다. 먼저 민수는 '기후변화'를 키워드로 유튜브 영상을 검색해 몇 가지 다큐멘터리를 시청했고, 북극곰, 산호, 미세먼지와 같은 최근 이슈화되고 있었던 환경 관련 문제를 제시하였으며 다른 학생들이 관심을 갖자 자신이 본 영상을 공유하여 영상 콘텐츠를 같이 감상하였다. 이 과정 이후 서로의 생각을 평가하는 과정에서 승현이와 인성이는 빙하, 민수와 도윤이는 산호의 백화 현상에 관심을 갖고 각자 팀을 이뤄 검색에 돌입하였다. 일정 시간이 흐른 후 승현이는 동료들에게 기상청 기후정보포털에서 찾은 IPCC 제6차 평가 보고서를 공유하였다. 승현이는 2050년 이전 최소 한 번 이상 9월 중에 북극 해빙이 거의 다 녹을 가능성이 있다는 내용을 읽고 관련 그래프를 제시함으로써 동료들의 흥미를 끌었으며, 내용이 어려우니 시간을 들여 같이 읽어보자고 제안하였다(그림 Ⅳ-10).




(출처: IPCC 제6차 평가 보고서)

<그림 Ⅳ-10> 승현이가 제시한 IPCC 제6차 보고서의 그림

약 30분 후 학생들은 서로 보고서에서 파악한 내용을 이야기하며 연구 주제 수립을 위한 준비를 해나갔다.

승현: 이거 봐. 7페이지 이거는 인간의 영향에 의한 기후 온난화 그림...

도윤: 많이 보던 거네.

인성: 그래도 더 자세히 보니깐 기온 많이 올랐네.

승현: 어. 그렇지. 이거랑 16페이지 온난화랑 $CO_2$ 배출량 그림 시나리오.

민수: 이거 좀 좋은 거 같아. 온도 엄청 오르네.

승현: 그리고 아까 내가 얘기한 거 20페이지 북극 해빙 사라진다는 거. 근데 남극 해빙은 아직 덜 연구됐나봐.

도윤: 이거 관련 있는 그림 있어?

민수: 29페이지. 여기서 a가 표면온도, b가 북극 해빙 면적, c가 산성도, d가 해수면 변화야.

(2021.11.09. 23:00)

서로 알게 된 지식과 정보를 공유하고 평가하는 과정을 거치면서 빙하와 관련된 물리량 사이의 관계를 유추해보기도 했으며, 도윤이는 잠정적으로

‘지구 표면 온도와 북극 해빙 면적 사이의 관계 연구’라는 연구 주제를 제시하였다. 인성이는 도윤이의 의견에 덧붙여 지구 표면 온도가 1℃ 오를 때 빙하 면적이 얼마나 감소하는지 알아보는 연구를 하는 것은 어떠한지 의견을 제시하였으나 나머지 학생들은 보고서 29페이지의 그림을 제시하며 이미 결과가 나와 있는 사항을 연구하는 것은 큰 의미가 없을 것 같다는 이유를 들어 도윤이와 인성이의 의견을 기각하였다.

이 시점에서 지도교사는 학생들이 지구 규모의 연구 주제에 주목한다는 것에 약간의 우려가 있었으나 데이터 리터러시 함양 과정을 통해 데이터 활용 능력을 키운 학생들이 ‘빙하’라고 하는 의미 있는 연구 대상을 통해 어떤 연구 주제를 구현해 나갈 수 있을지 관심이 생겼다. 학생들은 ‘빙하’를 대상으로 연구를 하고자 하는 합의점에 다다랐지만 구체적인 연구 주제를 잡는데 어려움을 겪었다. 그러나 포털 사이트에서 뉴스 기사, 칼럼, 이미지 검색 등을 통해 빙하와 관련된 이슈나 물리량 변화에 주목하면서 주제의 범위를 점차 좁혀나갔다.

민수: 이런 건 어때? 지구온난화 얘기하니까 범위가 너무 크고, 구체적이지 않은 거 같아서 수온 변화랑 빙하랑 (관계를) 알아보는 거는.

인성: 표층 수온.

민수: 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소.

인성: 조금 다듬을 필요가 있을 듯... 예를 들면 빙하 면적 변화 알아보는 게 지구 전체? 아니면 어느 지역?

승현: 어떻게 생각해?

도윤: 나는 이거 지역 한정해서 했으면 좋겠다. 그린란드 같은데.

승현: 저번 지구과학 수업에서 빙하 형성 지역?

도윤: 어. 그래야 그 주변의 수온도 쉽게 알 수 있고 그럴 거 같은데.

범위가 좁으니까.

민수: 찬성. 그러면 정리해볼게. 그린란드 주변 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소 연구.

(2021.11.10. 19:30)

앞서 제시되었던 '지구 표면 온도와 북극 해빙 면적 사이의 관계 연구'라는 주제는 '그린란드 주변 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소 연구'라는 주제로 조금 더 명확하고 구체적으로 변경되었다. 학생들은 이후 연구 주제가 적절하게 도출되었는지 판단하고 주제에 맞는 연구 과정을 설계하기 위해 데이터 수집의 주요 경로였던 포털 사이트를 벗어나 국내외 과학 데이터베이스에 접속하여 데이터를 수집해보는 시도를 했다. 이중 학생들에게 가장 중요했던 데이터 수집의 출처는 데이터 리터러시 함양 과정에서 경험했던 Copernicus Marine Service였다. 유럽 연합(EU)의 대표 프로젝트인 Copernicus Programme은 위성 빅데이터를 활용하여 환경이나 사회 문제를 해결하고자 하는 목적을 갖고 있으며, 대기, 해양, 토지, 기후, 에너지, 보안 영역의 발전을 위해 고부가가치 및 고해상도 데이터를 전 세계에 무료로 제공한다. Copernicus Marine Service는 이러한 Copernicus Programme을 통해 획득한 엄청난 가치를 지닌 데이터베이스에 접속할 수 있는 사이트이고, 이를 활용해 전 세계 과학자들이 많은 가시적 성과를 내고 있다. 이 사이트의 특징은 연구 목적과 연구 지역 등 데이터 수집의 목적과 방향에 따라 자신이 데이터를 선택할 수 있다는 점과 프로젝트가 진행되어 온 동안 누적된 데이터를 모두 이용할 수 있다는 것이다. 이러한 관점에서 학생들이 Copernicus Marine Service를 이용하는 것은 전공 서적, 논문 등에서 얻을 수 있는 데이터와는 다르게 자신들의 연구 목적을 고려하여 데이터를 직접 수집하고, 변형하고, 해석하여 연구에 활용할 수 있다

는 장점이 있다.

학생들은 그린란드 주변 지역의 위·경도 범위를 설정하고 2003년부터 현재까지의 월별 평균 표층 수온 데이터를 내려받았다. 이때 학생들에게 연구 주제가 폐기될 수도 있는 큰 사건이 발생하였다. 도윤이는 Copernicus Marine Service에서 수집한 데이터를 변형하여 테이블 형태의 시간에 따른 표층 수온 데이터를 얻을 수 있었으나 데이터상에서 약간의 이상한 점을 발견할 수 있었고, 자신의 생각이 맞는지 확인하기 위해 이를 시각화해보았다. 데이터 시각화 시도 이후 학생들이 느낀 당황스러움은 대화에서 잘 드러난다.

도윤: 이거 봐. 2003년부터 2016년까지.

승현: 음. 수온 내려가는 것 같은데...

민수: 어, 그러네. 표층 수온 내려가네.

승현: 근데 아까 인성이가 준 것, 그거 혹시 잘못된 거 아냐? 데이터 섞였다거나...

인성: 그래서 다시 한번 봤는데 이상 없던데.

승현: 그래? 그럼 다른데 한두 군데 찍어서 다시 그려볼까? 그러면 확실하게 알 수 있을 것 같은데...

민수: 괜찮은 방법이다. 그러는게 좋을 듯... 인성아, 바로 해줄 수 있어?

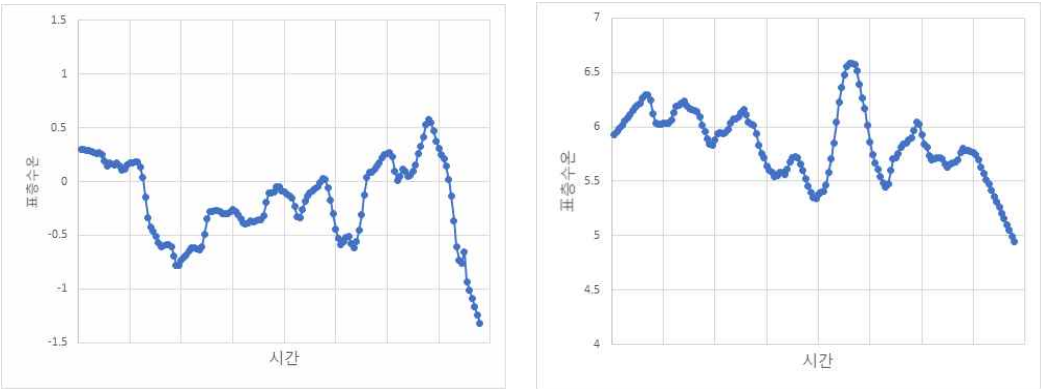
인성: 알았어.

도윤: 거의 비슷한데 아까보다 온도 변화가 작긴 한데, 그래도 계속 감소하고 있는 거 같은데.

민수: 어 추세선 대략 보니깐 1년에 0.05도, 0.01도 정도... 이 정도씩 감소하는 것 같은데, 생각했던 거랑 완전 달라.

(2021.11.12. 22:00)

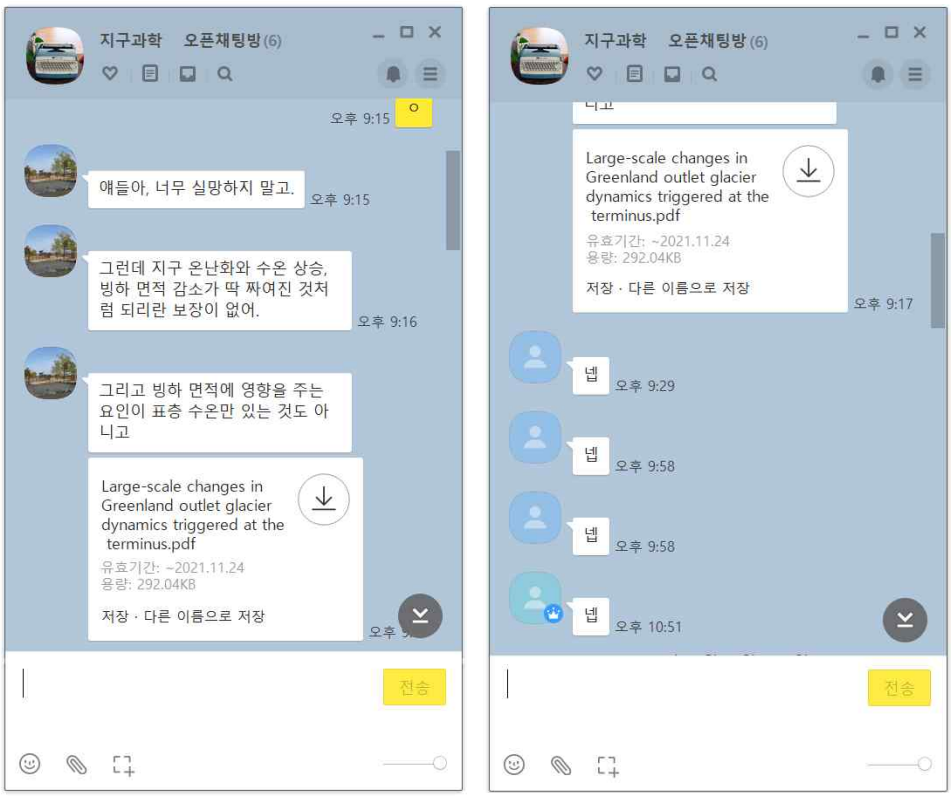
<그림 Ⅳ-11>은 도윤이가 데이터 테이블에서 문제를 인식하고 시각화하여 다른 학생들에게 제시한 그래프이다. 그림은 그래프로서의 올바른 형식을 모두 갖추고 있지는 않았으나 학생들이 표층 수온 변화의 경향을 파악할 수 있는 충분한 정보를 제공해주었으며, 이는 학생들로 하여금 뉴스 기사나 보고서 자료 등을 통해 확신하고 있었던 '지구온난화로 인한 표층 수온 증가'가 최소한 그린란드 앞바다의 두 지역에서는 옳지 않음을 인식하게 해주었다. 이 과정에서 학생들은 '그린란드 주변 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소 연구'라는 연구 주제를 지속시킬 수 없음을 깨달았으며, 또한 우리가 알고 있는 자연에 대한 지식이 항상 모든 지역에 동일하게 적용되지 않을 수 있음을 알게 되었다. 따라서 잠정적이기는 했지만 '거의' 결정되어 있었던 연구 주제는 수정이 불가피해졌다.




<그림 Ⅳ-11> 도윤이가 제시한 두 지점의 시간에 따른 표층 수온 변화 그래프

학생 중 일부는 자율주행 로봇의 사례에서와 비슷하게 주제 탐색의 한계를 느끼고 이제까지 구성해왔던 빙하에 주목한 연구 주제 도출 과정을 중단하고자 하였다. 그러나 다른 학생들과 지도교사, 과학자는 제시된 자료를 토대로 기존의 주제보다 더 의미 있는 연구 주제를 찾을 수 있을 것이라고 생각했다. 지도교사는 전체적인 기온이나 수온의 상승이 있어도 그것이 국

지적인 지역에까지 동일한 양상이 나타나는 것을 보장해주지는 않으며, 특히 그린란드와 같이 빙하가 녹고 있는 지역은 빙하가 녹아서 생긴 물이 바다로 흘러들어가 표층 수온을 급격하게 낮출 수도 있다는 사실을 알려주었다. 과학자는 지도교사가 설명한 것과 같은 이유로 단순하게 표층 수온과 빙하 면적의 관계를 살펴보는 것에 주목하지 말고 빙하 면적에 영향을 줄 수 있는 또 다른 물리량이 무엇인지 알아보는 것도 좋은 시도가 될 수 있을 것이라는 작은 '힌트'를 제공했다(그림 Ⅳ-12).




<그림 Ⅳ-12> 연구 주제 도출에 대한 과학자의 조언들

학생들은 서로 간의 토의, 지도교사, 과학자의 응원과 격려로 다시 빙하를 대상으로 한 연구 주제 도출을 위해 데이터 탐색을 시작하였다. 이후 민수는 구글 이미지 검색을 통해 찾아낸 그린란드 주변 해역의 연직 수온 분포에서 평소 알고 있던 '깊이에 따라 감소하는 수온 양상'과 달리 깊어질수

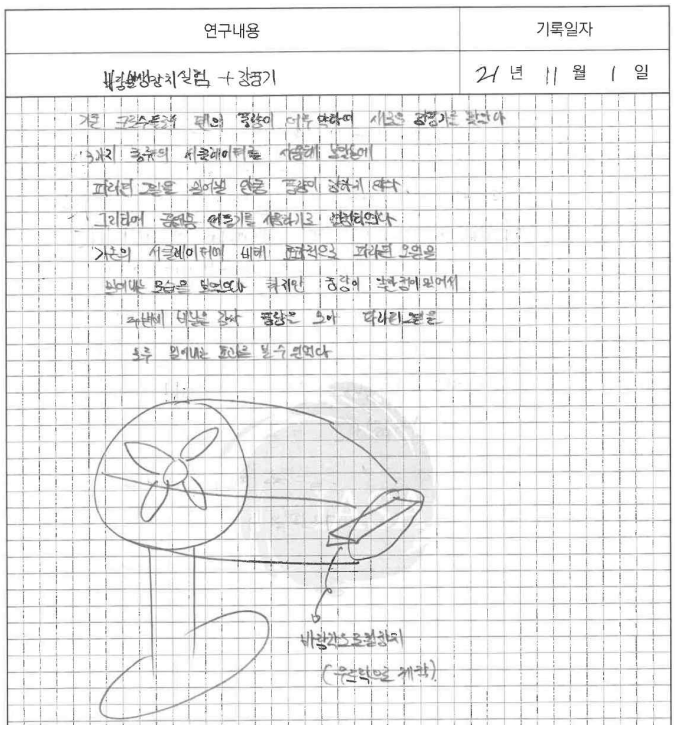
록 수온이 증가하는 부분이 나타난다는 것을 알게 되었다. 민수는 그림의 본래 출처였던 논문을 찾아 읽고 200~400m 깊이에 위치한 따뜻한 물은 아열대에서 북상한 난류이며, 이 난류가 용승하여 그린란드 빙하 융해에 상당한 영향을 미칠 가능성이 있다는 연구 결과를 파악하였다. 이후 학생들은 공유된 논문의 내용을 읽고 토의를 진행했다. 논문에서는 그린란드 해안가에 부는 바람이 에크만 수송에 의한 따뜻한 물의 용승을 일으켜 지상의 빙하를 더 빨리 녹게 할 수 있는 가능성에 대해 그린란드 지역 위성 데이터 일부를 사용하여 제기하고 있었다. 학생들은 이러한 가능성을 구체적으로 살펴보는 것에 흥미를 느껴 연구 주제를 명확히 하고 연구 설계에 돌입하였다. 이 같은 과정은 지도교사와 과학자가 한 조언의 효과가 학생들의 데이터 리터러시에 의해 발휘되어 연구 주제 도출 실패 위기를 극복할 수 있었던 사례라 할 수 있다. 이 시점에서 학생들이 도출한 연구 주제는 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'이다.

이러한 과정에서 알 수 있는 점은 등록하기가 행위자에게 역할이 부여되고 이를 수행할 수 있도록 격려해주는 단계라 할 때 지도교사는 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정에서 키운 데이터 활용 능력을 통해 스스로 연구 주제를 도출해나가는 역할을 부여한 것이 되며, 학생들 역시 자발적으로 이러한 역할에 등록되어 데이터를 활용하여 연구 주제를 도출하는 데 노력을 기울였다는 것이다. 또한 지도교사와 과학자는 학생들이 그린란드 주변 해역의 표층 수온 변화 경향을 살펴보다가 자신의 지식과 실제 데이터가 불일치한다는 것을 깨달았지만, 주제를 포기하지 않고 그린란드 빙하와 관련된 더 깊이 있는 데이터 활용 시도를 통해 연구 주제를 지속시켜 나가기를 응원하는 행위자였다.

### 라. 동원하기

번역의 마지막 단계는 '동원하기'이다. 이 단계에서는 한 행위자가 다른 행위자들을 대변하면서 자신의 네트워크로 포함시키는 과정이 일어난다(홍성욱, 2010, p. 26). 동원하기 단계에서는 모든 행위자가 치환되고 특정한 장소와 특정한 시간으로 옮겨질 수 있다. 그렇다면 빙하를 대상으로 한 연구 주제를 도출하는 네트워크 내에서 행위자들을 대변하는 활동은 어떻게 일어났을까?

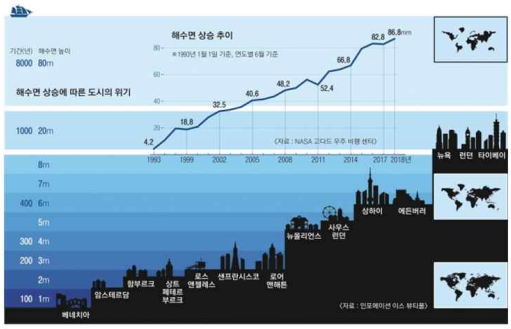
학생들은 난류의 용승과 빙하 면적 감소 현상 간의 연관성과, 선행 연구가 위성 데이터를 바탕으로 이루어졌으며 논문을 작성한 연구자가 이 결과를 확증하지 않았다는 점에 주목하여 빙하 환경을 축소한 수조 모형 제작과 실험을 계획하였다. 학생들은 그린란드 주변의 연직 수온 구조의 특별함을 구현하기 위해 아두이노와 열선 장치가 포함된 수조를 설계하였으며, 바람에 따른 따뜻한 물의 용승 현상이 얼음을 얼마나 빨리 녹일 수 있는지 관찰하기 위해 필요할 것이라고 판단한 선풍기, 적외선 카메라, 수온 센서, 얼음 등을 연구 노트에 적어두기도 하였다. 연구 노트에는 연구에 필요한 준비물 외에도 도출된 연구 주제에 따른 계획과 예상 결과 등이 기록되었다. 이는 기입을 통해 학생들을 연구 노트의 내용으로 치환된 것을 의미하고, 따라서 연구 노트는 학생들을 대변해 말할 수 있는 권한을 부여받게 된 것으로 볼 수 있다. 학생들은 토의 과정을 거쳐 연구 노트의 내용을 계속 수정해나갔으며, 이 모든 것들은 연구 주제, 연구의 필요성 및 목적, 연구 내용 및 방법, 예상 결과로 이루어진 연구 계획서로 변형되었다(그림 Ⅳ-13).




## 2. 연구주제 선정

### □ 연구주제의 선정 과정

빙하의 융해는 지구의 환경문제 중 가장 심각한 문제 중 하나이다. 빙하가 해빙되면 해수면이 상승할 뿐만 아니라 빙하를 필요로 하는 생명체들의 개체 수도 감소하는 등 여러 문제를 일으킨다. 미국 오하이오주립대 연구팀은 최근 급격한 지구온난화로 그린란드 빙하 유실 속도가 2003년 이후 4배나 빠르게 진행되고 있다고 미국립과학원회보에 연구 결과를 발표했다. 남극 대륙에서 사라지는 빙하의 양이 지난 40년 사이에 6배나 급증했다는 연구 결과에 이어 과학계에 큰 충격을 줬다. 빠른 속도로 빙하가 유실되면서 해수면 상승이 본격적으로 일어났는데, 미국 인구의 절반이 해안에서 80km 이내, 아시아와 유럽, 아프리카 등 전 세계 인구의 40% 정도가 해안 지역에 거주하고 있기 때문에 해수면 상승은 인간에게 생존의 문제로 다가왔다. [그림 1]은 해수면 상승에 따른 도시의 위기를 인포그래픽으로 나타낸 것으로, 8000년 후에는 해수면 높이기 80m나 상승해 많은 도시가 물에 잠기게 됨을 알려준다. 또한 [그림 2]와 같이 남극 빙하가 현재 추정하고 있는 것보다 더 빨리 줄어들 가능성이 있다는 연구 결과가 최근 제기된 경우도 있다. 이에 본 연구팀은 이를 해결하기 위한 방안이 무엇이 있을까 생각하다가 해결책을 찾아내려면 근본적인 원인부터 알아야 한다고 생각하여 빙하 융해와 융해를 가속화시키는 원인에 대한 구체적인 연구를 진행하고자 한다.




[그림 1] 해수면 상승에 따른 도시의 위기(서울신문, 2019)

<그림 Ⅳ-13> 학생들이 작성한 연구 노트(상)와 연구 계획서 일부(하)

데이터는 학생들에 의해 다큐멘터리 영상, 빙하 면적 감소 그래프, 표층 수온 변화 도표 및 그래프 등으로 치환되었으며, 연구 계획서에서 연구의 필요성, 이론적 배경의 주요 내용으로 활용되었다.

이러한 과정을 거쳐 연구 주제 도출 네트워크에서 기입의 결과로 최종 생산된 연구 계획서는 학생, 지도교사, 과학자, 데이터 행위자를 대변할 수 있게 됨으로써 연구 주제 도출 네트워크를 연구 설계, 연구 수행 단계로 이어지는 더 큰 규모의 R&E 프로그램 네트워크와 연결할 수 있게 해주었다.

## 2. 연구 주제 도출 네트워크의 특징

본 연구에서는 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 학생들이 데이터 리터러시를 함양하고 스스로 연구 주제를 도출해보면서 궁극적으로는 과학적 문제해결력 및 연구 역량을 키울 수 있는 환경을 제공하고자 하였다. 이 과정에서 학생들은 어려움을 겪기도 하였으나 결국 스스로 연구 주제 도출을 해낼 수 있었으며, 이는 적극적으로 연구에 참여하는 모습으로 이어졌다. 이제 ANT의 관점으로 연구 주제 도출을 위한 이종 네트워크가 구성되는 과정에서 행위자들의 상호작용을 통해 드러난 특징들을 살펴보고자 한다.

### 가. 학생 및 데이터를 중심으로 한 상호 작용

1) 각 사례에 나타난 데이터 리터러시 요소

<표 Ⅲ-5>에 제시한 바와 같이 본 연구에서는 데이터 리터러시의 범주를 데이터 생성 및 조직, 데이터 활용 및 분석, 데이터 기반 의사소통 및 데이터 윤리로 구분하고 그 세부 요소를 정하였다. 이를 활용하여 본 연구의 사례들에 나타나는 데이터 리터러시 양상과 그 변화에 대해 분석하였으

며 결과는 다음과 같다.

[사례1]에서 승현이는 '자율주행 로봇 제작'이라는 주제를 제시하였다. 승현이는 일상의 경험을 연구 주제의 소재로 갖고 옴과 동시에 유튜브에서 찾은 관련 영상을 보여주면서 다른 학생들의 흥미를 끌었다. 이후 연구 주제를 구체화할 수 있는 시간이 주어졌을 때 학생들은 포털 사이트에서 키워드 검색을 하고 관련 영상과 과학 칼럼 등을 찾아보았으며, 자신의 경험을 토대로 한 토의를 진행하면서 주제를 '자율주행 로봇 제작'에서 '사람을 도와주는 자율주행 로봇'으로, 이후 '자율주행 학교 안내 로봇'으로 조금씩 변화시켜나갔다. 그러나 앞서 기술했던 바와 같이 '자율주행 학교 안내 로봇'이라는 연구 주제는 결국 구체적인 연구 계획으로 발전하지 못했다. 포털 사이트에서 이뤄진 검색 활동 이후에 관련 데이터를 수집하고 해석하고 의사소통하는, 연구 주제 도출과 계획의 구체화를 위한 일련의 과정이 원활하게 일어나지 않았기 때문에 연구 주제가 흥미 수준에서 발전을 할 수 없었다. 지도교사는 자율주행 로봇 관련 기술 현황이나 사례, 장단점, 성능 등을 구체적으로 살펴본 연구 등을 검색하면서 데이터를 수집하고 이를 연구 주제로 발전시키는 방향을 조언했으나 학생들은 결국 연구 주제를 포기했다. <표 Ⅳ-2>는 자료 분석 과정을 통해 나타난 [사례1]의 데이터 리터러시 요소이며, 연구 주제 변경 과정 전반에 걸쳐 데이터 리터러시 요소가 희박하게 등장하였음을 알 수 있다.

<표 Ⅳ-2> [사례1]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소

| 연구 주제 변경 과정 | 데이터 리터러시 요소 |
|---|---|
| 자율주행 로봇 제작 | · |
| ↓ | |
| 사람을 도와주는 자율주행 로봇 | · |
| ↓ | |
| 자율주행 학교 안내 로봇 | · 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |

[사례2]에서 인성이는 지구과학 수업 시간에 학습한 대기오염물질과 오존에 대한 기억을 토대로 '도로 위 자동차의 수와 오존과의 관계 연구'라는 주제를 제시하였다. 인성이는 이 같은 주제를 제시하기 위해 포털 사이트에서 기사나 칼럼을 찾아보고, 관련 논문을 읽어보면서 주제를 구체화하는 과정을 거쳤으며, 에어코리아에서 제공하는 공공 데이터를 활용하여 오존과 이산화질소 데이터를 시각화하고 이를 분석함으로써 다른 학생들의 관심을 끌 수 있었다. 이러한 과정에서 인성이는 공공 데이터를 제공하는 데이터베이스를 경험하고 데이터베이스의 자료가 도표의 형태를 띠고 있는 것을 알게 되었으며, 이 데이터를 변형해 시각화하여 다른 학생들을 불러 모았다. 또한 '국내 오존 농도 현황과 정책적 시사점'이라는 보고서의 텍스트, 그래프, 도표에서 정보를 추출하여 다른 학생들에게 도로 위 자동차의 수량과 오존 농도의 연관성에 대한 내용을 제공하였다. 학생들은 주제를 구체화하고 적절한 연구 방법에 어떤 것이 있을지 알아보기 위해 포털 사이트에서 오존, 자동차 등의 키워드로 검색한 후 내용을 정리했고, 연구 주제는 '도로 위 차량 흐름 제어를 통한 오존 농도 감소 연구'로 변경되었다. 이후 연구 주제를 바탕으로 한 계획을 구성하기 위해 학생들은 지표상 오존 생성 원

리 학습, 오존 농도 측정 도구 선택, 연구 장소 탐색 등의 활동을 진행하였다. 그러나 과학자가 제시한 도로 위 차량의 흐름을 조절하여 즉각적인 오존 농도의 감소를 이룰 수 없을 것이라는 의견이 이 연구 주제를 계속 진행할 수 없었던 결정적 요인으로 작용하여 학생들은 더 이상의 과정을 지속하지 않았다. <표 Ⅳ-3>은 [사례2]의 연구 주제 변경 과정과 이 과정에서 활용된 데이터 리터러시의 요소를 정리한 것이다.

<표 Ⅳ-3> [사례2]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소

| 연구 주제 변경 과정 | 데이터 리터러시 요소 |
|---|---|
| 도로 위 자동차의 수와 오존과의 관계 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터 시각화<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |
| ↓ | |
| 도로 위 차량 흐름 제어를 통한 오존 농도 감소 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |

[사례1] 및 [사례2]와는 달리 [사례3]에서는 데이터 리터러시 요소가 훨씬 다양하고 활발하게 등장하였다. 학생들은 다른 사례들과 마찬가지로 연구 주제 탐색을 간단한 검색으로 시작하였다. 영상 공유 후 IPCC 제6차 평가 보고서의 텍스트, 그래프를 보면서 정보를 추출하였고 잠정적으로 주제 관련 키워드를 '빙하'로 정했다. 이후 IPCC 제6차 평가 보고서의 내용을 토

대로 알게 된 지식과 정보를 공유하는 단계를 거쳐 빙하와 관련된 물리량 사이의 관계를 유추하면서 연구 주제는 '지구 표면 온도와 북극 해빙 면적 사이의 관계 연구'로 변화했다. 그러나 이 주제는 결과가 이미 도출된 것임을 증명하는 그래프가 금세 제시됨으로써 기각되었다. 학생들은 주제를 구체화하고 공고화하기 위해 빙하와 관련된 여러 물리량에 대한 탐색 활동을 진행하였으며, 연구 주제는 '그린란드 주변 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소 연구'로 변화했다. 이후 학생들은 주제와 이에 따른 연구 계획의 구체화를 위해 위성 측정 데이터를 제공하는 데이터베이스에 접속하여 그린란드 주변 데이터를 수집하였고, 수집한 데이터를 시각화하고 해석한 결과 연구 주제 자체를 크게 수정해야 한다는 것을 깨달았다. 이 과정에서 그린란드 주변 바다의 표층 수온이 2003년부터 지속적으로 내려가고 있다는 사실을 믿을 수 없었던 학생들은 데이터에 대한 판단을 유보하고 데이터 수집이나 조직 과정에서 잘못된 부분은 없었는지, 그린란드 주변 데이터도 비슷한 양상을 보이는지 알아보는 등의 비판적 자세를 보이기도 하였다. 앞선 사례의 경우처럼 폐기될 수도 있었던 연구 주제는 지도교사와 과학자의 조언 이후 학생들이 이미지 검색에서 일반적이지 않은 수온의 연직 분포 그림을 찾아내었고, 그림의 출처였던 해외 논문을 자세히 검토하면서 극적으로 살아남을 수 있게 되었다. 학생들에 의해 최종적으로 결정된 연구 주제는 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'이며, <표 Ⅳ-4>는 [사례3]의 연구 주제 변경 과정과 이 과정에서 활용된 데이터 리터러시의 요소를 정리한 것이다.

<표 Ⅳ-4> [사례3]의 연구 주제 변경 과정과 데이터 리터러시 요소

| 연구 주제 변경 과정 | 데이터 리터러시 요소 |
|---|---|
| 빙하 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |
| ↓ | |
| 지구 표면 온도와 북극 해빙 면적 사이의 관계 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |
| ↓ | |
| 그린란드 주변 표층 수온 증가에 따른 빙하 면적 감소 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |
| ↓ | |
| 난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구 | · 데이터 형식 및 데이터베이스 소개<br>· 데이터 수집<br>· 데이터 관리 및 조직<br>· 데이터 시각화<br>· 데이터에 기반한 질문 및 응답<br>· 데이터 분석 및 해석<br>· 데이터에 기반한 추론 및 설명<br>· 데이터 평가<br>· 데이터를 활용한 의사소통 |

앞서 [사례1], [사례2], [사례3]을 통해 연구 주제 도출 과정과 이때 나타난 데이터 리터러시 요소를 살펴보면서 다음과 같은 것들이 파악되었다. [사례1]과 [사례2]의 경우에는 학생들이 연구 주제 도출을 위해 다양한 정보를 포함하고 있으면서 접근하기 쉬운 유튜브 영상이나 포털 사이트 검색 등에 치중하면서 실제 주변 현상을 설명하는 데이터와 잘 연결되지 않았음을 파악할 수 있었다. 반면 [사례3]에서는 앞선 두 사례와 마찬가지로 영상이나 기사 검색과 같은 활동으로 주제 도출 과정을 시작하였으나 더불어 그린란드 주변 수온 분포와 같은 데이터들을 함께 활용함으로써 성공적으로 연구 주제를 도출할 수 있었다. [사례3]의 경우에는 [사례1], [사례2]보다 데이터 리터러시 요소가 많이 반복되고 다양하게 나타났다. 또한 데이터를 기반으로 다양한 질문을 만들어내고, 데이터를 바탕으로 정보를 추출하고 분석하며, 추론과 설명을 하는 것 같은 고차 사고력을 요하는 리터러시 요소가 더 많이 나타났다. 이러한 차이는 학생들의 데이터 리터러시가 연구 주제 도출의 성공과 실패를 가르는 원인으로 작용할 수 있음을 알려준다.

학생들은 [사례1]과 [사례2]의 경우처럼 연구 주제 도출에 곤란함을 겪기도 했지만 이러한 경험과 데이터 리터러시 함양 과정을 겪으면서 [사례3]과 같이 주제를 도출할 수 있었다. 이와 같이 학생들이 스스로 연구 주제를 탐색하고 구체화해나가는 과정은 지도교사, 과학자, 데이터와 함께 한 번역의 과정이었고, 지도교사나 과학자가 학생들에게 연구 주제를 '정해서' 알려주는 형태가 아니었기 때문에 이 네트워크에서 의무통과점(그림 Ⅳ-4)은 '학생들이 연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 활용하는 것'이었다.

다만 학생들의 연구 주제 도출 성공에 데이터 리터러시만이 기여했다고 확언하기는 어렵다. [사례3]에서 학생들은 기본적으로 지구온난화와 이에 따른 표층 수온 상승에 대해 알고 있었으며, 이러한 부분이 주제 도출 초기에 빙하 면적 감소에 대한 관심을 이끌면서 IPCC 제6차 평가 보고서를 찾

을 수 있었다. 또한 연구 지역의 범위를 지구 전체에서 빙하 형성 지역 중 한 곳인 그린란드로 한정하였고, 그린란드 데이터를 수집하고 해석하는 과정에서 그린란드 주변 해역의 표층 수온이 자신들이 알고 있었던 것과 다르게 하강하고 있다는 것을 인식하고 이러한 현상이 나타나는 원인을 찾는 시도를 하였다. 이후 표층 수온 상승이 아닌 에크만 수송에 의한 난류의 용승이 그린란드 빙하의 면적 감소를 유발하는 원인이 될 수 있음을 깨닫고 빙하 환경을 실험실에서 구현하여 용승에 의한 빙하 면적 감소가 일어날 수 있는지 직접 실험해보고자 하였다. 이 같은 내용에 따르면 학생들은 연구 주제 도출 과정에서 기존에 알고 있던 관련 지식들을 직간접적으로 활용하였으며, 데이터 리터러시는 학생들의 지식과 함께 작용하면서 연구 주제 도출에 기여했음을 알 수 있다. 따라서 학생들이 알고 있는 지식이나 이론의 분야나 수준에 따라 데이터 리터러시의 작용이 달라질 수 있음이 예상되며, 학생들이 갖춘 지식이나 이론의 차이가 구체적으로 어떠한 결과의 차이를 만들어내는지에 대한 세심한 논의가 이루어진다면 데이터 리터러시의 작용 메커니즘을 더 잘 이해할 수 있으리라 생각된다.

2) 데이터 리터러시의 역할에 따른 데이터의 행위력 발휘

앞서 연구 주제 도출을 위한 학생들의 연구 과정을 [사례1], [사례2], [사례3]으로 나누고, 이때 학생들이 데이터 리터러시 함양 과정을 거침에 따라 각 사례에 나타나는 데이터 리터러시 요소의 변화가 어떻게 일어나는지를 기술하였다. 이러한 변화는 학생들과 데이터 간의 상호 작용 양상이 변화했음을 의미하는데, 이를 ANT의 관점에서 해석해보고자 한다.

네트워크는 네트워크를 이루는 행위자들 간의 연결이 단단해질수록 견고하게 구축된다. 연결을 위한 행위자들의 협상 과정에서 이들을 중재하고 매개하면서 행위자들에게 질서를 부여해주는 요소를 매개자라고 하는데(김환

석, 2001), 이러한 매개자는 자신이 운반하는 대상을 번역하거나, 재정의, 재전개하거나 배신할 수도 있는 능력을 부여받는다. 반면, 중개자(또는 중간매체)는 실체들 사이에 존재하면서 실체의 힘을 수송하고, 운반하고, 전달하는 단순한 역할밖에 못 하는데, Latour는 행위자들을 네트워크에 연계시키고 해당 네트워크를 규정하는 고리로서 매개자의 역할을 중요시하였다(Latour, 1991/2009, pp. 206-209). 이러한 부분을 염두에 두고 학생들이 연구 주제를 도출해나가는 과정을 살펴본다면, 데이터 리터러시가 연구 주제 도출 네트워크를 규정하는 고리로 작동하면서 네트워크 내 행위자들의 동맹이 유지되는데 큰 기여를 했음을 알 수 있다. [사례1], [사례2]의 경우에 학생들은 R&E 프로그램에 익숙하지 않은 상태에서 연구 주제 도출 과정에 돌입하였고, 데이터 수집을 통해 연구에 적합한 주제를 도출하고자 노력하였으나 대부분 영상이나 기사 검색 수준을 벗어나지 못하거나 데이터에 접근했을지라도 연구 주제 도출에 가까워질 수 있는 의미 있는 정보를 획득하지 못하였다. 이러한 부분은 [사례1]과 [사례2]의 경우 데이터 리터러시 요소가 적게 나타난 것에서 확인할 수 있다(표 Ⅳ-2, 표 Ⅳ-3). 행위자의 행위 능력이 네트워크로 연결되어 있는 행위자들의 상호작용에서 비롯된 '관계적 효과'이며(홍성욱, 2010), 연구 주제 도출 네트워크에서 주요 행위자로 학생과 데이터를 생각해본다면 이는 연구 주제 도출이라는 목표 달성을 위한 네트워크 내에서 학생과 데이터 행위자의 연결이 잘 일어나지 않았다고 표현할 수 있다. 행위자들은 다양한 매개자를 통해 서로 의사소통하며, 자신의 의도를 매개자로 치환한다. 이러한 상호작용의 결과 번역의 주체와 번역의 대상이 모두 변화하게 되고 데이터 리터러시가 데이터를 선별, 이해, 활용할 수 있는 능력임을 고려할 때, [사례1]과 [사례2]에서 데이터 리터러시는 매개자보다는 중개자의 역할을 한 것이다.

[사례3]의 경우는 학생들이 지도교사가 제시한 데이터 리터러시 함양 과

정에 참여한 후 연구에 적합한 주제를 다시 도출하는 과정을 나타낸 것이었다. 앞선 경우와는 달리 학생들은 연구 주제 도출 과정에 데이터의 활용도를 높였으며, 데이터를 변형하고, 시각화하고, 분석하는 과정을 거쳐 적합한 연구 주제를 도출할 수 있었다. 이때 데이터는 학생들이 정한 연구 주제와 관련한 흥미 위주의 키워드를 구체적이고 명확한 연구 대상과 주제 수준으로 높이는데 기여하였다. 또한 데이터는 실제 세계를 나타냈기 때문에 연구 주제 도출 과정에서 정해진 답이 있는 지식 습득의 과정이 아니라 예상하지 못한 새로운 문제를 제시함으로써 학생들이 데이터에 기반한 과학적 증거를 찾으려 하고, 추가적인 과학적 질문을 생성했으며, 이를 위해 동료들과 의사소통 과정을 거치는 등의 활동을 하는 원인이 되기도 했다. 이러한 부분은 [사례3]에 나타난 데이터 리터러시 요소가 [사례1], [사례2]와는 달리 훨씬 다양하고 반복적으로 나타났으며, 고차 사고력을 요하는 리터러시 요소 또한 많이 등장하였다는 점에서 파악할 수 있다(표 Ⅳ-4). 이는 ANT의 관점에서 학생 행위자가 데이터 리터러시를 매개자로 데이터를 번역함으로써 성공적으로 연구 주제 도출 네트워크를 구성하였음을 나타낸다. 학생들이 데이터를 번역하는데 데이터 리터러시가 중요하게 작용하면서 데이터는 학생 행위자와 연결되었다. 이러한 과정 속에서 데이터는 텍스트가 그림으로, 도표가 그래프로 변화하는 것과 같이 그 형태를 달리하면서 학생 행위자와 상호작용함으로써 행위력을 발휘하였다. 또한 학생들은 데이터 리터러시를 갖춘 행위자로서 다양한 데이터를 수집하고 활용하는 모습을 보여주었으며, 이를 통해 데이터와 함께 지도교사, 과학자와도 상호작용함으로써 연구 주제 도출 네트워크를 구성했다(그림 Ⅳ-10, 그림 Ⅳ-11, 그림 Ⅳ-12, 그림 Ⅳ-13).

정리하면, 지도교사가 의도적으로 끌어들인 데이터는 연구 주제 도출 네트워크에서 자신의 행위력을 통해 네트워크에 영향을 끼쳤고 이때 행위자

들을 연결한 데이터 리터러시는 처음에는 중개자의 역할에 그쳤으나 점차 매개자의 역할을 차지하게 됨으로써 새로운 형태의 데이터를 창조하고 학생 행위자의 정체성을 다시 정의할 수 있는 힘을 갖게 되었다.

### 나. 네트워크의 구성을 위한 우회 과정

학생들은 [사례1]과 [사례2]에서 좋은 연구 성과를 얻으려는 목표 달성을 위해서는 연구 주제를 잘 도출해야 할 필요성을 느껴 데이터 수집과 토론을 비롯한 여러 노력을 하였으나 결국 주제 도출을 하지 못했고, 더 이상 어떠한 방법을 사용해야 좋은 연구 주제를 도출할 수 있는지 모르는 상태가 되었다. 이것은 ANT의 입장에서 보면 연구 주제 도출을 위한 네트워크 구성이 원활하게 일어나지 못한 것이다. 네트워크 구성 과정은 번역이며, 번역이 어떤 행위자가 다른 행위자를 대변할 수 있는 권력을 갖는 과정임을 생각할 때 연구 주제 도출을 위한 네트워크 내에서 학생, 과학자, 데이터 행위자는 권력 획득에 실패했고, 이에 따라 목표를 달성할 수 없었다. 그렇다면 이러한 사례는 학생들에게 연구 주제 도출을 제대로 못 했다는 실패 경험으로만 남았을까?

[사례1]과 [사례2]의 경험 이후 학생들은 '연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 어떻게 찾을 수 있을까?'를 고민하게 되었다. 이후 지도교사는 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정을 제안함으로써 학생들의 걱정에 새로운 번역을 안내하였다. 즉, 지도교사는 학생들에게 연구 주제를 도출하는데 도움이 되는 데이터를 활용하는 우회 과정(Latour, 2010/2012, p. 42)을 거쳐야 연구 주제 도출이라는 목표에 도달할 수 있을 것이라고 제안한 것이다. 이러한 우회는 어떤 행위자가 목표에 도달하기 위해서 반드시 통과해야 하는 전략적 방법이라는 점에서 의무통과점과 상통한다. '우회'라는 단어는 목적지까지 도달할 수 있는 최단 경로를 거치는 것 대신 특정 지점을

경유하여 돌아간다는 의미와 함께 목적지까지 도달하지 못하거나 예상한 것보다 늦게 도달할 가능성을 내포한다. 학생들은 데이터 리터러시 함양 과정을 거치는 것이 자신들의 문제 해결에 도움이 될 수 있을지 걱정하기도 하였다. 그러나 주제 도출에 어려움을 겪었던 것을 반성하는 것과 더불어 데이터 리터러시 함양 과정에 참여하는 시간이 지나면서 이러한 생각은 긍정적으로 변화하였다.

학생들은 [사례1]과 [사례2]의 연구 주제 도출 과정을 뒤돌아보면서 스스로 데이터 수집과 조직, 분석 등의 부분에서 많은 한계를 느꼈다. 그러면서도 실패를 부정적으로 인식하지 않았는데, 이는 주제 도출에 어려움을 겪는 과정에서 어떠한 부분이 부족했는지 반성하고, 데이터 리터러시 함양 과정을 통해 부족한 부분을 채울 수 있었다고 생각했기 때문이다. 학생들은 면담에서 연구 주제가 도출되는 과정에 대해 다음과 같이 평가하였다.

승현: 괜찮은 주제로 변한 것 같아요. 원래 그러니까 기존에 했던 연구를 바탕으로 이제 좀 발전을 시켜서 한 거잖아요. 그러니까 너무 주제가 아예 심오하거나 그러지도 않고 약간 좀 접근하기 쉬운 그런 주제가 도출이 된 것 같고요. 약간 교과 활동에서 하는 거랑 겹치는 부분이 좀 있어가지고 뭔가 이 연구를 할 때나 아니면 공부를 할 때나 둘 다 서로 도움이 된 것 같아요.

(2022.01.14. 15:00)

도윤: 저는 주제가 좋게 바뀌었다고 생각하는 편인데, 원래 저희가 처음에 어떤 주제를 했다가 그거에 조금 더 원인이 되는 부분을 실험하고자 했으니까 저는 좀 더 좋게 주제가 이렇게 변형되는 과정이었다고 생각해요.

(2022.01.15. 19:00)

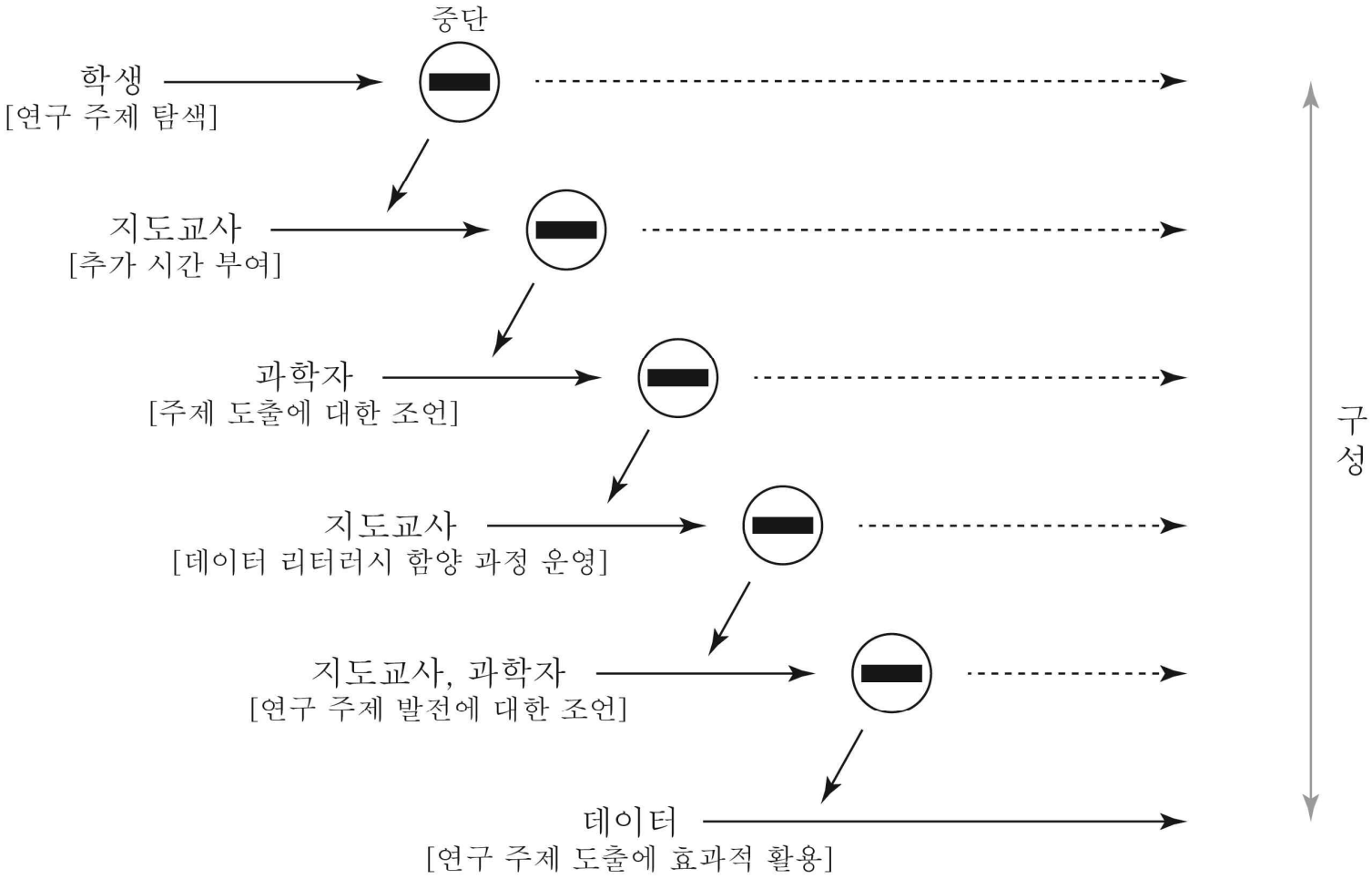
승현이는 ‘자율주행 로봇 제작’이라는 주제를 제시했었고, 영상으로 본 로봇에 대한 흥미를 실제 자율주행 로봇 구현 계획으로 발전시키지 못해 동료들에게 기각된 기억이 있다. 이러한 경험을 통해 승현이는 흥미만으로 연구 주제를 제시한 것이 동료들에게 피해를 주었음을 깨닫고, 기존에 알고 있던 지식과 데이터 분석을 하면서 새롭게 알게 된 사항을 잘 조합하여 연구 주제를 발전시켰다는 것에 만족하였다. 도윤이 역시 연구 주제 도출에 곤란함을 겪었던 경험을 좋은 연구주제 수립 과정의 일부라고 생각하고 있었다.

앞서 기술한 바와 같이 학생들은 연구 주제 도출의 어려움과 더불어 주제 도출이 불가능했던 이유가 막연하지만 자신의 부족한 부분 때문이었다는 것을 깨달으면서 연구 주제 도출에 어려움을 겪었던 과정을 헛되이 시간을 낭비한 것으로 생각하지 않았다. 이러한 과정이 오히려 자신에게 도움이 되었다고 생각한 것은 이 같은 경험 이후 데이터 리터러시 함양 과정에 참여했기 때문이었다. 이는 학생들에게 실패 경험이 항상 부정적으로만 작용하지 않는다는 점을 나타냄과 동시에 실패 경험이 긍정적으로 작용할 수 있으려면 반성의 기회와 어떠한 부분이 부족한지 깨달을 수 있는 새로운 피드백이 주어지는 것이 중요할 것임을 알려준다(김현욱, 2020; Clifford, 1984).

학생들이 연구 주제 도출이라는 목표를 달성하기 위해 노력하는 과정에서 지도교사는 학생들에게 연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 활용하는 우회 과정을 제시하였으나 이러한 것만이 우회의 경우가 된 것은 아니다. [사례1]에서 지도교사가 연구 주제 도출을 위해 학생들에게 데이터 수집을 위한 추가 시간을 부여한 것, [사례2]에서 과학자가 학생들이 잠정적으로 정한 연구 주제에 대해 이의를 제기하며 다른 방향으로 연구 주제 검

토를 제안한 것, [사례3]에서 지도교사가 그린란드 주변 표층 수온이 감소한 원인으로 빙하가 녹은 물이 바다로 유입되었을 가능성을 제기하고 과학자가 기온이나 수온 이외에 빙하 면적에 영향을 줄 수 있는 다른 변인을 찾아보라고 제안하면서 학생들이 연구 주제를 더욱 발전시킬 수 있도록 유도한 것 등도 학생들이 연구 주제 도출 과정이 중단되었을 때 발생한 우회의 과정이었다. 즉, 학생들이 연구 주제 도출이라는 목표를 가지고 움직이는 행위 경로에서 중단이 발생했을 때 이를 해결할 수 있는 우회는 다양하게, 그리고 지속적으로 발생하였다. 이러한 우회의 과정을 도식화하면 <그림 Ⅳ-14>와 같으며, 이 그림은 연구 주제 도출 과정에서 일어난 모든 우회를 포함하고 있지는 않으나 주요 우회 사례를 표시함으로써 목표를 향하는 행위 경로가 완성되어 가는 흐름과 행위자들의 행위에 의한 네트워크의 구성을 보여준다.

이러한 관점에서 학생들이 어려움에 부딪혔을 때 이를 성공 경험으로 이끌 수 있는 적절한 우회가 매우 중요할 것이며, 필요한 경우 교사는 학생들이 어려움을 느끼는 상황 또는 목표 중단 과정을 면밀하게 관찰하여 적재적소에 우회로를 제공할 수 있도록 하는 것이 중요할 것이라 판단된다.




<그림 Ⅳ-14> 연구 주제 도출을 위한 우회 과정

본 연구에서는 번역이 행위자-네트워크를 건설하는 과정(홍성욱, 2010, p. 25)임을 염두에 두고 Callon(1984)이 제시한 번역의 4단계를 이용하여 학생들이 연구 주제를 도출하는 과정을 살펴보았으며, 이를 통해 연구 주제 도출 네트워크 내에 나타나는 다양한 행위자들의 역동적인 상호 작용을 파악할 수 있었다. 이때 데이터 리터러시는 네트워크 내에서 매개자의 역할을 담당함으로써 학생들이 데이터를 번역하고 데이터와 상호 작용하여 연구 주제를 도출하는데 기여하였다. 이와 같은 사례는 비인간 행위자인 데이터가 행위력을 발휘하여 연구 주제 도출 네트워크의 다른 행위자들의 행위를 변화시킬 수 있음을 알려준 증거라 할 수 있다. 또한 연구 주제 도출을 목표로 한 네트워크에서 목표 달성을 위해 일어난 다양한 우회 과정을 제시하고 이러한 우회의 과정이 지도교사, 과학자와 같은 인간 행위자와 더불어 데이터와 같은 비인간 행위자에 의해 발생할 수 있음을 나타냄으로써 연구 주제 도출 과정이 단순히 선형적이지 않으며, 다양한 행위자에 의해 구성되는 이종 네트워크의 형태를 띰을 파악하였다(그림 Ⅳ-14).

정리하면, 연구 주제 도출에 대한 네트워크는 인간과 비인간의 협력을 통해 구성되었으며, 정해진 결과에 도달하는 경로가 아닌 비선형성을 특징으로 한 우회들이 포함된 과정이었다. 이후 연구 주제 도출에 성공한 학생들은 이어지는 R&E 프로그램의 과정을 진행하기 위해 연구 계획서와 같은 기입을 생성하였다.

## 3. R&E 프로그램에서 관찰된 학생들의 과학적 실행 과정

데이터 리터러시 함양 과정이 포함된 본 연구의 R&E 프로그램은 학생들이 과학자의 지식 생산 과정인 과학적 실행을 경험하면서 연구 역량을 함양하기를 기대한다. 이때 학생들의 과학적 실행 역시 연구 주제 도출과

마찬가지로 다양한 행위자가 얽힌 이종 네트워크로 볼 수 있을 것이다.

과학자의 실제 활동으로서의 과학적 실행은 선형적 절차로 이루어지지 않고, 개념적 혹은 절차적 오류와 실패의 과정을 반복하고, 다양한 경로로 진행되며, 도구의 협력을 통해 항상 성공적이지만은 않은 여러 방법적 시도들로 이루어진다(이종혁 외, 2021). 이때 과학자들이 세계의 질서를 구성하고 표현하는데 사용하는 것이 '기입(inscription)'이며, 과학자들은 기입 활동을 통해 다른 행위자들과 연결된다.

본 연구에서는 학생들을 비롯한 여러 행위자에 의해 구성된 연구 주제 도출 네트워크가 다른 행위자들과 어떻게 연결되는지, 과학 지식 생산 과정에 어떻게 작용하는지, 또 어떠한 새로운 네트워크를 만들어내는지 살펴보고자 R&E 프로그램에 나타나는 다양한 기입에 주목하였다.

### 가. 기입을 통한 사실의 구성과 확산

과학적 실행의 과정을 살펴보기 위해 R&E 프로그램에 나타난 여러 기입을 연대기 순으로 나열하고, 이를 분석하는 과정을 거치면서 학생들이 연구 활동을 진행하는데 중요한 역할을 한 주요 기입(key inscription)을 파악하였다. 주요 기입으로는 IPCC 제6차 평가 보고서, 그린란드 수온 데이터, 학생들이 찾은 논문, 연구 노트, 연구 계획서, 얼음의 무게 변화 데이터, 얼음의 무게 변화 그래프, 연구 결과 보고서, 발표 자료였으며, 본 절에서는 이러한 주요 기입을 중심으로 학생들이 주도적으로 진행한 R&E 프로그램을 기술하고자 한다.

Latour와 Woolgar(1986/2018)는 과학자의 실험실 활동을 '기입을 통한 설득의 조직화'로 묘사하고 과학자는 실험실에서 만들어진 과학적 사실을 외부의 누군가에게 설득함으로써 사실의 확산을 도모하는 존재로 설명하였다(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 118). 이때 과학자가 생산한 기입과 관

련된 진술의 유형을 유형 1에서 유형 5의 5가지로 구분하고, 유형의 변화를 살핌으로써 진술이 주장에서 사실로 변화하는 과정을 포착할 수 있다고 하였다. 유형 1은 논문 말미나 사적 토의에서 흔하게 나타나는 어떤 관계에 대한 추측 또는 사변을 나타내는 진술 유형이고, 유형 2는 쟁점이 되는 관계의 가치를 밝혀줄 수도 있는 잠정적 제안의 형태를 띤다. 유형 3은 어떤 양상을 포함하고 있는 진술이며, 유형 4는 유형 3의 진술에서 양상을 제거한 진술이다. 예를 들어 "○○의 구조는 X인 것으로 보고되었다."는 양상이 포함된 유형 3의 진술 유형이고, "○○의 구조는 X이다."는 유형 4의 진술이다. 일반적으로 과학 교과서와 같은 교육용 문헌을 통해 퍼져 있는 지식은 이러한 유형 4의 형태를 띠고 있으며, 과학자들은 실험실에서 생산하는 기입들을 통해 유형 4의 진술들을 가능한 한 많이 창조하는 것을 목표로 삼는다. 유형 5의 진술은 과학자의 토론에서 좀처럼 등장하지 않는 '당연하게 받아들여지는 사실'이다(Latour & Woolgar, 1986/2018, pp. 103-116). 과학자는 실험실에서 만들어진 기입(그림, 수치, 논문 등)을 통해 자신의 지식을 독자가 사실로 받아들일 수 있도록 진술을 점차 변화시켜가며 설득한다. 이러한 관점에서 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 만들어낸 기입과 그와 관련한 진술들을 살펴보고 이를 과학적 실행과 연결 지은 결과는 다음과 같다.

학생들은 연구 주제 도출에 어려움을 겪었으나 데이터 리터러시 함양 과정을 거치면서 결국 만족할만한 연구 주제를 도출할 수 있었다. 이때 연구 주제 도출에 이르는데 중요한 역할을 한 기입은 IPCC 제6차 평가 보고서(그림 Ⅳ-10), 그린란드 수온 데이터, 학생들이 검색을 통해 찾은 논문(그림 Ⅳ-15)이었다. 학생들은 이 기입들을 직접 생산하지는 않았으나 이들을 이용하여 <그림 Ⅳ-11>에서처럼 그래프와 같은 새로운 형태의 기입들을 구성했으며, 기존의 기입들과 더불어 새롭게 만들어진 기입들에 대해 의견을

나누면서 연구 주제 도출에 성공할 수 있었다.

LETTERS
PUBLISHED ONLINE: 14 FEBRUARY 2010 | DOI: 10.1038/NGEO764
nature geoscience

**Rapid circulation of warm subtropical waters in a major glacial fjord in East Greenland**

Fiammetta Straneo[1]*, Gordon S. Hamilton[2], David A. Sutherland[1†], Leigh A. Stearns[2†], Fraser Davidson[3], Mike O. Hammill[4], Garry B. Stenson[3] and Aqqalu Rosing-Asvid[5]

**The recent rapid increase in mass loss from the Greenland ice sheet[1,2] is primarily attributed to an acceleration of outlet glaciers[3–5]. One possible cause of this acceleration is increased melting at the ice-ocean interface[6,7], driven by the synchronous warming[8–10] of subtropical waters offshore of Greenland. However, because of the lack of observations from Greenland's glacial fjords and our limited understanding of their dynamics, this hypothesis is largely untested. Here we present oceanographic data collected in Sermilik Fjord, East Greenland, by ship in summer 2008 and from moorings. Our data reveal the presence of subtropical waters throughout the fjord. These waters are continuously replenished through a wind-driven exchange with the shelf, where they are present all year. The temperature and renewal of these waters indicate that they currently cause enhanced submarine melting at the glacier terminus. Key controls on the melting rate are the volume and properties of the subtropical waters on the shelf,**

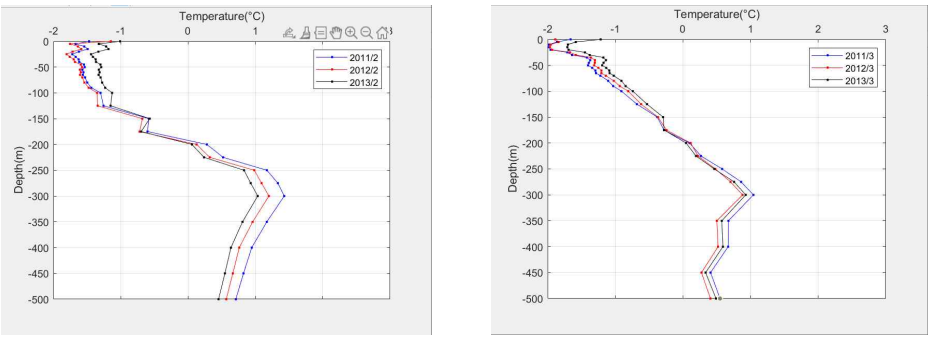
no direct evidence that it comes into contact with glaciers. The lack of adequate fjord measurements from the period before the glaciers' acceleration, in particular, means that we need to rely on our understanding of the processes that control the properties and circulation within the fjords (and hence the heat transport to the glaciers' termini) to infer past conditions and assess the ocean's role in triggering the acceleration of Greenland's glaciers. At present, the mechanisms governing the circulation of STW on the shelf and inside Greenland's glacial fjords are unknown.

The 100-km-long Sermilik Fjord (66° N, 38° W) connects Helheim Glacier with the Irminger Sea (Fig. 1b). In 2003, Helheim Glacier retreated several kilometres and almost doubled its flow speed[3,4]. Warm STW has recently been observed outside the fjord on the shelf[16] but there are no records of ocean properties within the fjord itself. We collected 38 temperature and salinity profiles, together with bathymetric and current data, in and just offshore of Sermilik Fjord during two surveys in July and September,

<그림 Ⅳ-15> 학생들이 검색을 통해 찾은 논문 일부

학생들은 연구 설계 과정에서 난류의 용승에 의해 그린란드 빙하가 녹을 수 있다는 선행연구 결과를 뒷받침하고 자신들의 연구를 구체화하기 위해 외국 데이터베이스에서 내려받은 그린란드 수온 데이터에서 이러한 증거를 찾고자 하였다. 해안가에 부는 바람에 의해 발생한 에크만 수송으로 수심 약 300m에 위치한 난류가 용승하는 모습을 데이터에서 찾는 것이 쉽지 않았으나 학생들은 그린란드 주변 해역의 월별 연직 수온 분포를 시각화하고 이에 대해 토의하는 과정을 거쳐 난류의 용승을 관측 데이터에서 확인할 수 있었다. 이는 학생들이 스스로 만들어냈던 "그린란드 주변 해역의 표층 수온이 지속적으로 감소하고 있음에도 불구하고 빙하 면적이 줄어드는 이유는 무엇일까?"에 대한 나름대로의 해답을 찾아가는 과정을 나타낸 것이며, 이 같은 과정을 통해 학생들은 선행 연구의 결과를 뒷받침하고 자신들의 연구의 근거로 사용할 수 있는 재료를 얻을 수 있었을 뿐 아니라 실험

실에서 그린란드 환경을 비슷하게 구현하기 위해 필요했던 구체적 데이터도 획득할 수 있었다(그림 Ⅳ-16).




<그림 Ⅳ-16> 학생들이 시각화한 수온 연직 분포. 2월(좌), 3월(우)

인성: 두 개 차이 좀 봐봐. 알 수 있는 사람?

도윤: 그 논문에서 봤던 모양이랑 똑같이 나왔다.

인성: 용승하는거 찾아야 하는데.

민수: 어? 이런 것도 증거로 될 수 있나? 한 300미터 쯤에서 12년 2월 그림은 11년이랑 13년 사이에 있는데 12년 3월 그림은 온도가 제일 낮잖아. 12년 2월에 난류의 용승이 있었다.

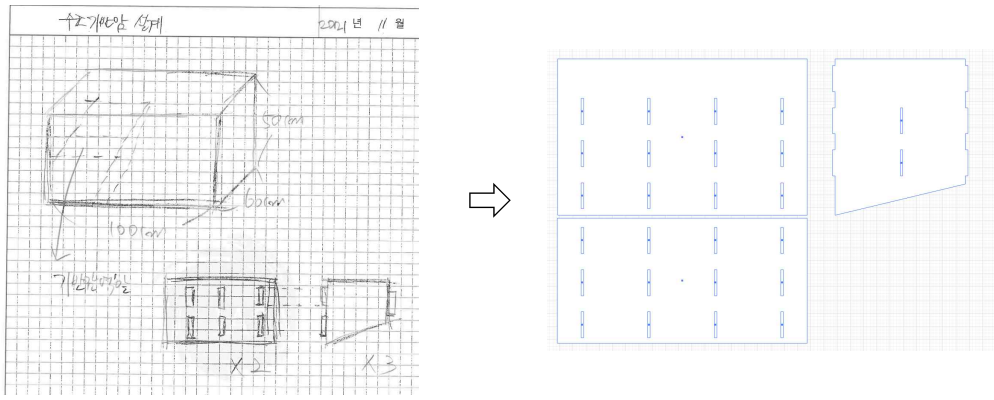
인성: 다른 시기에도 똑같을까?

(2021.11.16. 21:00)

이는 그린란드 수온 데이터를 학생들이 새로운 형태로 변형하여 기입하고 이에 대해 의견을 교환한 사례이며, 이러한 기입은 학생들에게 이전까지 이루어졌던 연구 주제 도출에 대한 내용과는 다른 새로운 정보를 제공해줌으로써 R&E 프로그램의 다음 과정을 안내할 수 있었다.

이후 학생들은 빙하 환경 축소 모형 제작 및 수조 실험을 계획하고 풍속과 수온에 따라 얼음이 녹는 속도를 비교하기 위한 실험을 설계하였다. 이

과정에서도 기존의 기입이 새로운 형태의 기입으로 변화하여 연구 진행에 기여한 사례가 있었다. 학생들은 연구 설계 과정에서 계획한 수조 속 얼음 받침대(실제 환경에서는 기반암)를 만들기 위한 설계도를 연구 노트에 거칠게 표현하였으나 이를 바탕으로 연구 수행 과정에서 설계 프로그램을 활용하여 정교하게 설계하는 모습을 보여주었다(그림 Ⅳ-17). 이처럼 간단한 실험 과정과 필요한 실험 도구 등이 연구 노트에 기록되었으며, 이러한 내용이 종합되어 연구 계획서로 치환되었다(그림 Ⅳ-13).




<그림 Ⅳ-17> 기입의 변화

이때 학생들이 작성한 연구 계획서에 대표적으로 나타난 진술 유형은 유형 2였다. 연구 계획서에 이러한 진술이 많이 나타난 이유는 앞서 기술한 바와 같이 유형 2의 진술이 잠정적 제안의 형태를 띰으로써 쟁점이 되는 관계의 가치를 밝혀줄 수 있는 탐구의 가능성을 제안하기 때문이라고 판단하였다. 구체적으로는, 학생들은 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'라는 연구 주제를 정한 후 이에 따라 연구 계획서의 내용을 연구 동기 및 배경, 연구 목적, 연구 방법 및 절차, 예상 결과 및 기대 효과 등의 순서로 작성하면서 자신들의 연구를 통해 얻을 수 있는 결과와 그것이 의미하는 가치를 주장한 것이다. 연구 계획서에 나타난 유형 2의 진술들의 예는 다음과 같다.

빙하의 틈을 막았을 때가 틈을 막지 않았을 때보다 빙하가 녹는 속도가 더딜 것이다. 또한 바람이 불 때가 불지 않을 때보다 빙하의 녹는 속도가 증가할 것이다.

빙하 모형을 통해 빙하가 녹는 과정에 해양과 대기가 어떠한 영향을 미치는지에 대해 파악할 수 있을 것이다.

(연구 계획서 중)

또한 연구 계획서에는 유형 3의 진술도 나타났는데, 이러한 유형은 주로 연구 동기 및 배경, 관련 선행연구 부분에 등장했다. 유형 3의 진술 유형은 학생들이 자신들의 문제 인식과 이를 통한 연구 의의를 밝히는데 주요한 방법으로 활용되었으며, 진술에 활용된 참고문헌은 학생들이 제기하는 문제 상황에 대해 논쟁이 덜 일어나는 방향으로 작용하였다.

미국 오하이오주립대 연구팀은 최근 급격한 지구온난화로 그린란드 빙하 유실 속도가 2003년 이후 4배나 빠르게 진행되고 있다고 미국립과학원회보에 연구 결과를 발표했다.

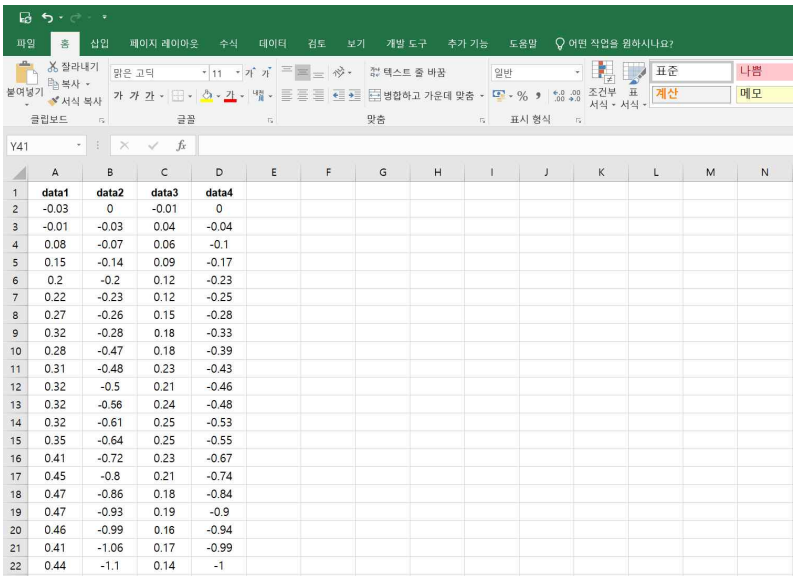
이 논문에서는 에크만 수송으로 인해 난류가 상승하여 빙하와 닿는 면적이 넓어져 빙하 융해 속도가 증가했다고 하였다(Straneo et al., 2010).

(연구 계획서 중)

이후 학생들은 연구 노트와 연구 계획서를 바탕으로 실험 수행 과정에 돌입하였다. 학생들은 풍속과 수온에 따라 얼음이 얼마나 빨리 녹게 되는지

얼음의 부피와 무게 변화를 측정하여 알아보고자 한 연구 계획에 따라 실험을 구성하고 이를 수행하였다. 이를 ANT의 관점에서 구체적으로 서술하면 실험 수행 과정은 연구 노트와 연구 계획서와 같은 문서로 이루어진 기입으로부터 학생들이 얼음의 무게 변화를 측정하기 위해 직접 몸을 움직이는 실험을 거쳐 시간이 지남에 따라 부피와 무게가 감소하는 모습이 관찰 가능한 얼음으로(그림 Ⅳ-18), 이후 이러한 현상이 데이터 수집 도구에 의해 수치로 표현된 데이터 테이블(그림 Ⅳ-19)로 번역되었다.

<그림 Ⅳ-18> 관찰 가능한 얼음의 부피 변화. 실험 시작(좌)과 3시간 후(우)

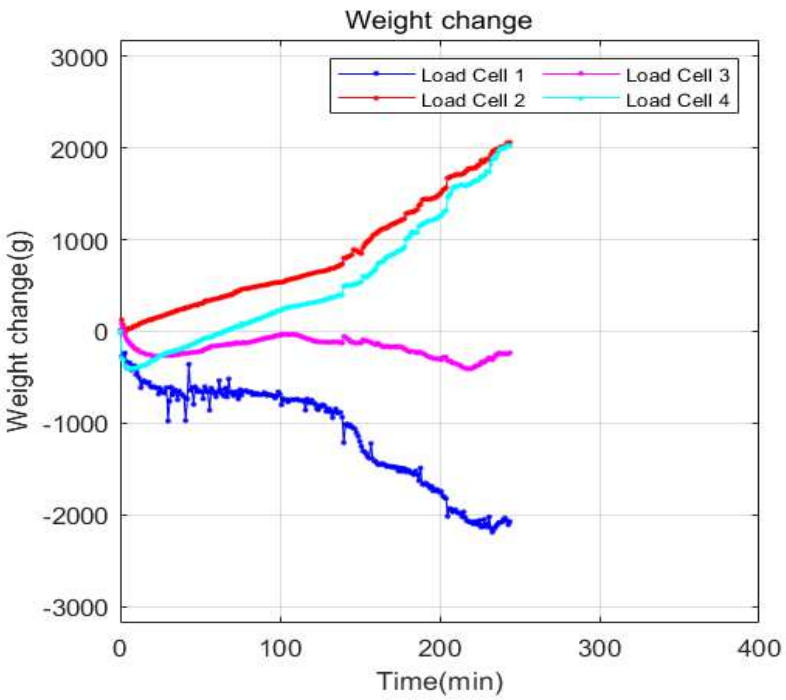


| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | data1 | data2 | data3 | data4 |
| 2 | -0.03 | 0 | -0.01 | 0 |
| 3 | -0.01 | -0.03 | 0.04 | -0.04 |
| 4 | 0.08 | -0.07 | 0.06 | -0.1 |
| 5 | 0.15 | -0.14 | 0.09 | -0.17 |
| 6 | 0.2 | -0.2 | 0.12 | -0.23 |
| 7 | 0.22 | -0.23 | 0.12 | -0.25 |
| 8 | 0.27 | -0.26 | 0.15 | -0.28 |
| 9 | 0.32 | -0.28 | 0.18 | -0.33 |
| 10 | 0.28 | -0.47 | 0.18 | -0.39 |
| 11 | 0.31 | -0.48 | 0.23 | -0.43 |
| 12 | 0.32 | -0.5 | 0.21 | -0.46 |
| 13 | 0.32 | -0.56 | 0.24 | -0.48 |
| 14 | 0.32 | -0.61 | 0.25 | -0.53 |
| 15 | 0.35 | -0.64 | 0.25 | -0.55 |
| 16 | 0.41 | -0.72 | 0.23 | -0.67 |
| 17 | 0.45 | -0.8 | 0.21 | -0.74 |
| 18 | 0.47 | -0.86 | 0.18 | -0.84 |
| 19 | 0.47 | -0.93 | 0.19 | -0.9 |
| 20 | 0.46 | -0.99 | 0.16 | -0.94 |
| 21 | 0.41 | -1.06 | 0.17 | -0.99 |
| 22 | 0.44 | -1.1 | 0.14 | -1 |

<그림 Ⅳ-19> 수집된 데이터

얼음의 무게 변화에 대한 데이터 수집에 성공한 학생들은 이 데이터를 활용하여 실험 결과를 분석하고자 하였다. 테이블 형태로 저장된 데이터는

그 자체로 정보를 전달하기 어렵기 때문에 전처리를 거친 후 시각화되는 과정이 이루어졌으며, 이렇게 만들어진 그래프 형태의 기입은 학생들이 실험 결과를 분석할 수 있는 정보를 제공해주었다(그림 Ⅳ-20).



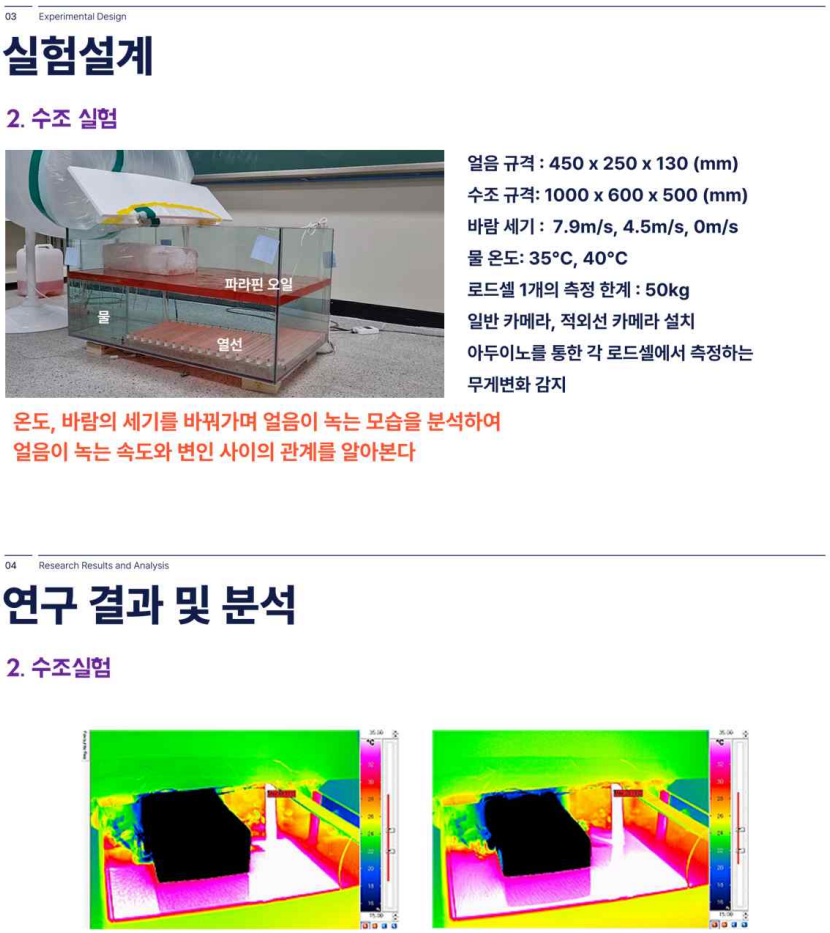

<그림 Ⅳ-20> 얼음의 무게 변화를 시각화한 데이터

이후 학생들은 변수를 달리하며 수행한 실험의 결과인 그래프들을 해석하였고, 그 결과를 연구 노트에 기록하고 문서 파일의 형태로 저장하였다. 학생들은 그래프 해석을 통해 획득한 실험 결과를 실제 그린란드에서 깊은 곳에 위치한 난류가 상승하여 빙하를 녹일 수 있다는 선행연구 결과와 연결 지음으로써 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'의 결론을 내릴 수 있었다. 이러한 과정은 학생들이 스스로 지식을 구성하는 모습이라 볼 수 있으며, 학생들은 기입 행위를 통해 이 지식을 연구 결과 보고서 및 발표 자료로 변환하였다.

바람에 의해 차가운 오일이 밀려나 따뜻한 물이 상승할 수 있게 설계한 수조 실험을 통해 바람에 의해 얼음이 더 빨리 녹게 됨을 파악하였고, 이를 통해 에크만 수송으로 인하여 깊은 곳에 위치한 난류가 상승해 빙하 융해 속도가 증가한다는 가설을 실험적으로 증명할 수 있었다.

(연구 결과 보고서 중)

결과 보고서와 발표 자료에는 연구에서 얻은 결론의 정당성을 뒷받침하기 위해 이전에 생성되었던 다양한 기입(실험 사진, 그래프 등)이 포함되었다(그림 Ⅳ-21).




<그림 Ⅳ-21> 학생들이 작성한 발표 자료 일부

앞서 구체적으로 기술한 바와 같이 지도교사와 과학자의 조언과 지도가 포함되었지만 학생들은 연구의 전 과정을 주도적으로 운영해나갔으며 데이터 리터러시를 바탕으로 한 학생들의 주도성은 자신들의 연구에 대해 깊게 이해할 수 있는 토대가 되었고, 이는 R&E 프로그램의 말미에 이르러 연구 결과 보고서의 형태로 축약되었다. 연구 결과 보고서에는 계획서에서 볼 수 없었던 유형 4의 진술 유형이 나타났다.

<Fig. 22>~<Fig. 27>의 수조 내 질량 분포 변화를 나타낸 그래프를 통해 40℃에서 진행한 실험에서 얼음은 바람이 없을 경우보다 바람이 있는 경우에 200분 이상 더 빠르게 녹는 것을 확인할 수 있었으며 바람이 강할 때(약 7.9m/s)가 약할 때(약 4.5m/s)보다 15분 이상 빠르게 녹는 것을 확인하였다.

모든 실험에서 시간이 지남에 따라 얼음이 녹는 속도가 증가하는 경향성을 확인할 수 있었다.

<Fig. 19>에서와 같이 바람이 불어오는 윗부분의 얼음이 먼저 녹아 비스듬한 모습이 나타나는 것을 보아 바람이 얼음을 직접적으로 녹였음을 알 수 있다.

(연구 결과 보고서 중)

연구 결과 보고서는 수많은 기입들, 기입의 생성에 활용된 도구들이 포함되는 네트워크에서 창조된 기입의 결과물 중 하나이다. 학생들은 유형 4의 진술을 통해 자신들이 도출한 연구 결과를 알렸고, 이러한 연구 결과들은 <그림 Ⅳ-18>, <그림 Ⅳ-20>과 같이 연구 보고서에 함께 포함된 그림,

그래프, 수치 등에 의해 학생들이 임의로 주장하는 것이 아닌 객관적 '사실'이 될 수 있었다. 정리하면, 학생들은 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'라는 주제와 관련한 자신들의 주장을 사실로 만들기 위해 일련의 과정을 통해 다양한 형태의 기입을 생산하였다. 이때 만들어진 기입에 대한 학생들의 진술은 유형 2와 같이 주장에 가까운 형태에서 유형 4와 같은 연구 주제에 대한 사실의 표현으로 변화하였다.

과학자가 실험실에서 구성된 과학적 사실을 외부의 누군가에게 설득함으로써 사실의 확산을 도모하는 존재임을 고려한다면(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 118), 이 보고서는 어떤 과학적 사실을 밝히는 결과물로서만 존재하는 것이 아니라 학생들이 다른 행위자들과 상호작용하면서 구성한 기입이자 지식(보고서 내의 글, 그래프, 수치, 그림 등)을 스스로 표현하고 발표함으로써 이를 네트워크 바깥에 있는 누군가에게 확산시키는데 더 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 학생들의 이러한 지식 구성과 확산의 모습은 다음의 사례에서도 잘 나타난다. 학생들은 평소 빙하 면적 감소 현상이 지구온난화에 따른 표층 수온 상승에 의해서 발생할 것이라고 단순하게 생각해왔으나 연구 과정을 거치면서 지구에 일어나는 변화는 지구 시스템의 관점에서 다양한 변수가 복합적으로 작용하여 발생할 수 있다는 것을 깨닫게 되었으며, 이를 연구 결과 보고서의 결론에 잘 표현하였다.

> 연구의 전 과정을 통해 살펴보면 결국, 빙하 융해는 단순히 표층 수온 변화에 의해서만 조절되는 것이 아니라 바람과 같은 다른 요인들에 의해서도 영향을 받을 수 있는 현상으로 보고, 지구온난화나 빙하 감소라는 우리가 당면한 문제를 인식하고 해결하는데 지구 시스템의 관점에서 복합적으로 이해할 수 있어야 한다는 결론을 내릴 수 있다.
>
> (연구 결과 보고서 중)

과학 교육에서 학생들에게 과학적 실행을 강조하는 이유는 과학 지식의 구성이 과학자의 실제 탐구 과정에서 이뤄지기 때문에 학생들이 과학자의 과학적 실행을 경험하면서 어떤 정해진 결과를 학습하는 것 대신 스스로 문제를 해결하고 과학 지식을 구성할 수 있도록 하는데 있다. 본 연구에서는 데이터 리터러시 함양 과정이 포함된 R&E 프로그램에 참여한 학생들이 스스로 연구 주제를 도출하고, 나아가 연구 결과를 도출하기까지의 과정에 걸쳐 어떠한 모습으로 과학적 실행을 이루는지 살펴보았다. 이 과정에서 학생들이 R&E 프로그램에서 연구 결과 보고서를 작성한 것까지의 과정을 구체적으로 기술하면서 연구자는 학생들을 과학 지식을 구성하고 확산하는 존재로 표현하였다. 그렇지만 본 연구에서 나타난 학생들의 과학적 실행은 과학자의 실제적 과학적 실행과는 다른 양상을 보이기도 하였으며, 이는 실제 과학적 지식을 구성하는 과학자와, 이러한 과학자의 지식 구성 방식을 경험하고 배우는 학생의 입장에 따른 당연한 차이였다고 판단된다.

ANT의 관점에서 과학적 실행은 불확실성과 복잡성을 포함한 과학자의 실제 활동을 통해 과학 지식이 생성되는 과정이다. 과학자들은 과학적 실행 과정에서 기입과 같은 리터러시 장치를 만들어내고 행위자들과 상호작용함으로써 지식을 구성하고(Mody, 2015; Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 70), 이러한 기입은 네트워크의 유지에 큰 역할을 한다(Paledi & Alexander, 2017). 또한 좋은 과학 지식일수록 영향력이 확산되는 것이 아니라 어떤 과학 지식이 다양한 행위자들을 서로 관계시켜 크고 강건한 네트워크를 형성했을 때 비로소 우리에게 성공적 과학 지식으로 받아들여진다(이종혁 외, 2021).

과학자가 과학적 사실을 구성하고 확산하는 존재이며 지식의 확산이 다양한 행위자들이 연결된 네트워크의 형성으로 나타난다고 할 때, 학생들의

과학적 실행과 과학자의 과학적 실행의 가장 큰 차이는 '과학 지식의 확산과 영향력'이었다고 생각된다. 과학자는 실험실에서 구성한 지식을 확산시키기 위한 노력으로 논문을 생산하며, 이 논문에는 자신이 구성한 지식을 지원하기 위한 다양한 기입들이 포함된다. 이러한 시도는 수많은 과학자에게 검증받는 과정을 통해 과학적 지식으로 인정받을 수 있는지에 대한 시험을 받게 되고, 시험을 무사히 통과하면 다른 과학자의 논문에서 이론적 배경 부분에 인용되는 예와 같이 과학적 지식으로 인정받게 되는 것이다. 즉, 과학자의 과학적 실행에서는 증거에 기반한 지식의 '구성'과 엄정한 검증의 절차를 포함하는 지식의 '확산' 모두 중요한 과정이라고 볼 수 있다.

그러나 학생들의 과학적 실행은 과학자의 경우와는 조금 다른 양상을 보였다. R&E 프로그램에 참여한 학생들은 연구 결과 보고서와 발표 자료를 만들었지만 이 같은 기입은 생산된 과학 지식의 지위를 인정받기 위한 과학자들의 검증 과정에 투입되지 않았다. 구체적으로는, 학생들은 교내 발표 행사를 통해 연구 내용 및 결과를 다른 학생들과 공유하는 기회를 얻음으로써 서로의 연구 내용에 대해 파악하고 평가할 수는 있었으나 이것은 과학자가 함께한 엄밀한 검증 시간은 아니었다(그림 Ⅳ-22).

<그림 Ⅳ-22> 학생들의 발표

또한 학생들은 자신들의 연구 결과에 대해 학회에 논문을 투고하거나 발표하는 시도 또한 하지 않았기 때문에 과학자와 네트워크를 형성할 기회가 없었다. 즉, 학생들의 과학적 실행은 지식의 확산보다는 '구성'에 더욱 초점이 맞추어져 있었다.

연구자는 이러한 차이가 나타나는 원인을 과학자와 학생들이 수행하는 과학적 실행의 목적이 다르기 때문으로 판단하였다. 과학자가 과학 지식의 구성과 확산을 통해 세상과 네트워크를 구성하는 존재라면 학생들은 과학자 역량을 키워나가야 하기 때문에 증거가 담보된 지식을 갖고 누군가를 설득함으로써 지식을 확산하는데 초점을 맞추기보다는 과학자의 추론이나 행동 방식과 같은 실험실에서 일어나는 다양한 과정을 경험하면서 미래 과학자로서의 자격을 갖추어 가는데 집중해야 한다. 이러한 관점에서 학생들의 연구 결과가 과학자가 구성한 지식으로 세상에 기여하는 것과 같은 역할을 하지 못하거나 때로는 연구 과정에 있어서 관련 지식이나 기술의 부족으로 과학자와 같이 명백한 증거를 제공하지 못하는 경우가 있더라도 이것이 과학적 실행이 아니라고 단정 지어서는 안 될 것이다.

이에 따라 연구자는 다시 한번 학생들이 생산한 기입들에 주목할 것을 강조한다. R&E 프로그램 과정을 거치며 만들어간 기입들을 통해 주장을 사실로 변화시키고, 또한 연구 결과 보고서와 같은 기입을 생성하면서 지식의 확산 절차를 경험한 학생들의 모습은 비록 완벽하게 같은 모습은 아닐지라도 지속적으로 연구 관련 질문을 해결해나가고 개인의 수준을 넘어 연구 자료, 논문, 보고서, 구두 발표 등의 기입 형태로 자신이 생성한 과학 지식을 안내하는 과학자의 지식 확산 과정과 유사했다. 따라서 본 연구에서는 학생들이 이룬 일련의 과학적 사실의 구성 과정을 R&E 프로그램과 관련한 과학 지식 생성 네트워크의 구성과 확산의 과정이라고 판단하였다.

### 나. 기입에 의한 학문적 리터러시 이벤트들의 연결

사실의 구성과 확산에 기입이 중요한 부분을 담당한다면 이 기입이 구체적으로 R&E 프로그램에 나타난 학생들의 과학적 실행 과정에서 어떻게 작용하는지 탐색해볼 필요가 있다.

Tang(2019)은 말이나 글, 그림, 신체의 움직임, 기구, 사물, 표본 등의 사용을 통해 관찰 가능하고 상호적으로 구성된 학문적 리터러시 이벤트로 과학적 실행을 설명하며, 기입에 의한 이벤트의 연결을 추적함으로써 이러한 실행의 상호작용적이고 상호의존적인 특성을 파악할 수 있다고 하였다. 이러한 연구 관점을 활용하고자 학생들이 R&E 프로그램을 진행하는데 중요한 역할을 한 주요 기입(key inscription) 사이에 발생한 학생들의 활동을 탐색, 연구 주제 도출 및 연구 설계, 실험 수행, 데이터 처리, 결과 분석 및 결론 도출의 5가지 학문적 리터러시 이벤트로 범주화하였다(표 Ⅳ-5).

<표 Ⅳ-5> 학문적 리터러시 이벤트와 주요 기입

| 이벤트 | 설명 | 주요 기입 |
|---|---|---|
| 탐색 | · 학생들이 연구 주제 도출을 위해 탐색 과정을 거침 | · IPCC 제6차 평가 보고서<br>· 그린란드 수온 데이터<br>· 학생들이 찾은 논문 |
| 연구 주제 도출 및 연구 설계 | · 학생들이 연구 주제 도출을 하고 주제에 따른 연구 설계를 함 | · 연구 노트<br>· 연구 계획서 |
| 실험 수행 | · 학생들이 연구 계획서에 따라 실험을 수행하고 실험 데이터를 수집함 | · 실험 데이터 |
| 데이터 처리 | · 학생들이 수집한 데이터를 전처리하고 시각화함 | · 그래프 |
| 결과 분석 및 결론 도출 | · 학생들이 그래프 해석 과정을 통해 실험 결과를 분석하고 결론을 도출함 | · 연구 결과 보고서<br>· 발표 자료 |

이 같은 과정을 통해 주요 기입이 학문적 리터러시 이벤트 과정에서 생성되었음을 파악하였다. 예를 들면, 연구 주제를 탐색하는 과정에서 IPCC 제6차 평가 보고서, 그린란드 수온 데이터, 학생들이 찾은 논문과 같은 기입이 주요 기입으로 나타났고, 실험 수행 이벤트에서 얼음의 무게 변화 데이터가 만들어졌다. 이러한 분석 과정을 통해 학문적 리터러시 이벤트와 그 다음에 이어지는 리터러시 이벤트, 그리고 기입 간의 상호 관계를 파악할 수 있었으며 분석에서 드러난 점은 다음과 같다.

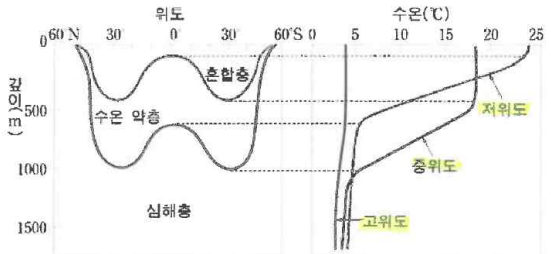
첫째, 시간이 흐름에 따라 학문적 리터러시 이벤트는 연속적으로 일어났다. 어떤 이벤트도 독립적으로 존재하지 않았으며, 먼저 일어난 이벤트는 뒤이어 일어난 이벤트의 발생과 그 내용에 절대적인 영향을 끼쳤다. 예를 들면, 연구 주제 도출 및 연구 설계 이벤트와 이를 통해 생성된 기입인 연구 계획서에 의해 다음 실험 수행 이벤트가 등장할 수 있었으며, 만약 연구 주제 도출 및 연구 설계 이벤트에서 작성한 연구 계획서에 기록된 실험 내용이 시간에 따른 얼음의 무게 변화를 측정하는 것이 아니었다면 실험 수행 이벤트의 내용은 기존과 달라졌을 것이다.

둘째, 이러한 학문적 리터러시 이벤트의 연결에 기입이 매우 중요한 역할을 하였다. 리터러시 이벤트들은 연속적으로 일어났으나 시공간적으로 분리되어 있었다. 이는 학생들이 여러 단계를 거쳐 연구 결과를 도출해야 하는 R&E 프로그램의 특성 때문에 발생한 필연적 결과였다. 그러나 연구 계획서, 실험 데이터, 그래프 등의 기입은 이전의 이벤트에서 발생한 결과들을 이후 이벤트에 전달하는 기능을 함으로써 분리 문제를 원활하게 조정할 수 있었다.

셋째, 학문적 리터러시 이벤트들 간의 연속성은 주요 기입에 의해서만 일어나는 선형적인 형태가 아니었음이 파악되었다. 리터러시 이벤트들을 연결한 주요 기입은 다양한 형태의 새로운 기입으로 변환되기도 하였다. 앞서 기술한 바와 같이 그린란드 수온 데이터는 연직 수온 분포 그래프(그림 Ⅳ

-16)로, 연구 노트의 설계 그림은 정교한 설계도(그림 Ⅳ-17)로 그 형태를 달리하였으며, 이러한 변환은 학생들에게 새로운 정보를 전달해줌으로써 학문적 리터러시 이벤트의 연결을 촉진하였다. 또한 학생들이 지구과학 시간에 학습한 유인물 자료, 과학자가 학생들에게 연구 주제에 대한 힌트를 주고자 제시한 논문, 연구 노트에 쓰인 여러 기록들, 실험 사진 및 동영상 등은 비정기적이고 여러 이벤트에 중복되어 활용되었으나 학생들의 연구 활동이 원활하게 진행되는데 기여하였다. 예를 들어 앞서 기술한 연구 주제 도출에서 민수가 그린란드 주변 해역에서 깊이가 깊어질수록 수온이 증가하는 부분이 이상하다고 인식했던 것은 민수가 극지방 연직 수온 분포에 대해 지구과학 수업 시간에 학습한 내용 때문이었다(그림 Ⅳ-23).

2021년 지구과학 - OCEANOGRAPHY




㉠ 저위도에서 고위도로 갈수록 표층 수온이 낮아진다.
↳고위도로 갈수록 입사하는 태양복사 에너지가 감소하기 때문

㉡ **열적도** : 수온이 최대인 곳을 연결한 선으로 5°N 근처에 위치하며 여름철에는 북상하고 겨울철에는 하강한다.

㉢ 위도에 관계없이 심해층의 수온은 일정하다.
↳심해층은 태양복사 에너지를 거의 흡수하지 않기 때문

㉣ **적도 해역** : 혼합층의 두께가 얇다.
↳바람 약함(적도 무풍대)

㉤ **중위도 해역** : 혼합층의 두께가 두껍다.
↳바람 강함(편서풍)

㉥ 위도 60° 이상의 고위도에서는 해수의 층상 구조가 나타나지 않는다.
↳지표면에 도달하는 태양복사 에너지의 양이 적어 해수면이 거의 가열되지 않기 때문

<그림 Ⅳ-23> 지구과학 수업의 유인물 자료

수업 시간에 학습한 내용과 검색을 통해 찾은 그림이 차이가 있다는 이 같은 인식은 그린란드 주변 해역의 연직 수온 분포와 빙하와의 연관성을 나타낸 논문을 발견하고 이와 관련한 R&E 프로그램의 연구 주제를 도출하는데 중요한 역할을 하였다. 이는 학문적 리터러시 이벤트들의 연결이 단순히 주요 기입에 의해 달성되는 선형적인 형태보다는 다양한 기입에 의해 달성되는 네트워크의 형태를 띤다는 것을 의미한다(그림 Ⅳ-24).

넷째, 학생들이 기입을 만들어내는데 데이터 리터러시가 중요한 역할을 하였다. 과학자의 실험실은 다양한 잡음이 넘쳐나는 무질서의 공간이며 정보의 어떤 패턴도 나타나지 않는 것처럼 보이는데, 이때 과학자는 누적된 자료들에서 나오는 재료를 선별적으로 제거하고 변환하여 의미를 찾아내고 이를 진술함으로써 무질서에서 질서를 만들어낸다(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 324). 이러한 과학자의 과정을 학생들의 경험에 연결 지으면 다음과 같이 기술할 수 있다.

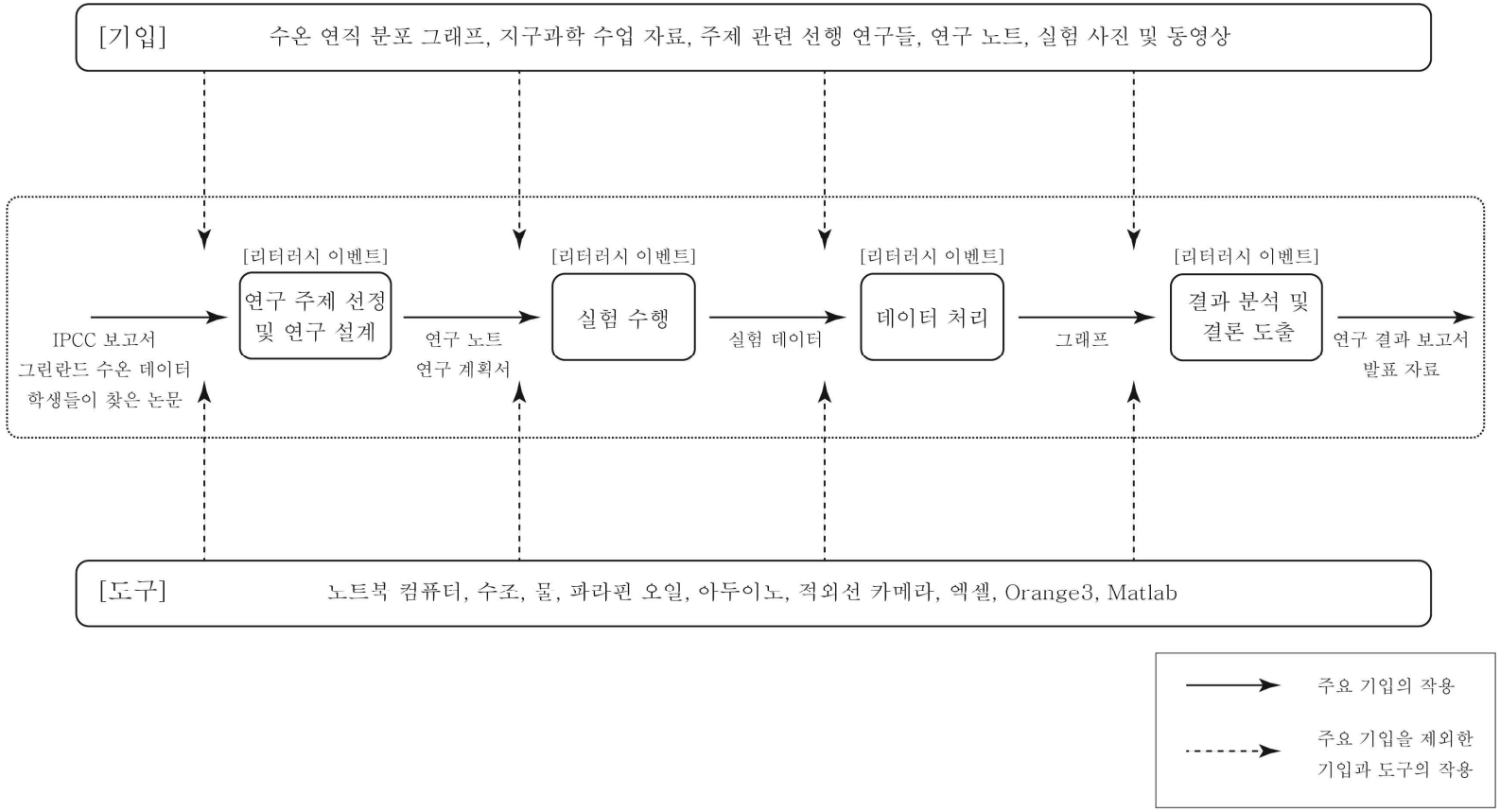
학생들은 R&E 프로그램 전 과정에 걸쳐 다양한 형태의 기입을 생산하였다. 과학자의 논문, 보고서, 수온 데이터와 같은 기입은 그래프로 변환되어 연구 계획을 세우는데 기여하였고, 연구 계획서에 작성된 절차에 따라 실험이 수행되었으며 이를 통해 실험 데이터가 획득되었다. 실험 데이터는 데이터 처리 과정을 거쳐 그래프의 형태로 변환된 후 결과 분석 및 결론 도출 과정에서 연구 결과 보고서와 발표 자료와 같은 형태의 기입으로 나타났다. 즉, R&E 프로그램에서 생산된 다양한 기입들은 학생들의 데이터 수집, 조직, 시각화, 해석, 데이터에 기반한 설명 및 의사소통의 과정을 거치면서 만들어졌으며, 이는 데이터 리터러시가 무질서한 자료 속에서 의미를 찾는 기입을 통한 질서 짓기 과정에 기여하였다고 판단할 수 있는 근거가 된다. 이러한 부분은 학생과의 면담에서도 드러났는데, 승현이는 면담에서 연구 수행 과정을 통해 획득한 데이터를 활용하고 분석하여 새로운 정

보를 얻어내고 이를 바탕으로 연구 목표에 부합하는 결론을 도출하는데 데이터 리터러시 함양 과정이 기여를 했다고 응답했다.

승현: 일단 결론 도출에서 좀 도움이 된 것 같아요. 이게 약간 직접적으로 도움이 됐다기보다는 데이터 분석하는 방법이나 이런 걸 아니까 똑같은 프로그램을 써도 이거는 이렇게 하고 이렇게 하면 되겠다... 이런 감을 익히는 측면에서 결론 도출할 때는 그게 도움이 됐던 것 같고요, 저희가 (데이터) 분석하는 방법만 배우는 게 아니라 활용하는 방법에 따라서 달라지는 결과도 보고 하니까 어떻게 활용하고 해석해야 되는지 이런 것도 배워서 도움이 됐어요.

(2022.01.14. 15:00)

<그림 Ⅳ-24>는 R&E 프로그램에서 일어난 학문적 리터러시 이벤트들이 기입에 의해 어떻게 연결되는지 간단하게 표현한 모식도이다. 이 그림에서 주요 기입은 실선 화살표(→)로, 주요 기입은 아니지만 리터러시 이벤트들을 연결하고 네트워크를 구성하는데 기여한 여러 기입들과 기입의 생성에 활용된 도구들의 작용은 점선 화살표(⇢)로 표현하였다. 이러한 화살표들의 배치는 기입 및 도구에 의해 연결되는 학문적 리터러시 이벤트들의 모습을 나타내기 위한 것이며, 또한 선행한 학문적 리터러시 이벤트와 다양한 기입들이 후속하는 학문적 리터러시 이벤트의 발생과 내용에 중요한 영향을 끼쳤음을 설명한다. R&E 프로그램에서 발생한 다양한 학문적 리터러시 이벤트들과 기입들이 나타내는 복잡성을 모두 시각화하는 것은 불가능하기 때문에 단순화되었으나, 이 그림은 앞서 제시한 이벤트와 기입의 상호관계와 특징들을 파악하는데 유용하게 활용될 수 있다.




<그림 Ⅳ-24> R&E 프로그램에서 구성된 학문적 리터러시 네트워크

본 연구에서는 학생들이 과학자의 지식 생성 과정을 이해하고 실제 맥락에서 과학자의 활동을 경험할 수 있는 R&E 프로그램에 참여함으로써 과학적 실행을 어떻게 이루어가는지를 살펴보고자 하였으며, 이를 위해 ANT의 관점에서 기입, 그리고 기입에 의해 연결되는 학문적 리터러시 이벤트들에 주목하였다.

미국 차세대 과학교육표준(NGSS)은 과학적 실행을 질문하기 및 문제 규정하기, 모델 개발 및 사용하기, 탐구조사 계획 및 수행하기, 자료 분석 및 해석하기, 수학 및 전산적 사고 활용하기, 설명 구성하기 및 해결책 설계하기, 증거에 입각하여 논증하기, 정보 수집과 평가 및 소통하기의 8가지로 목록화하여 제시하였다(National Research Council, 2013). 이를 먼저 기술했던 학문적 리터러시 이벤트와 연관지어 서술하면, 학생들은 R&E 프로그램의 체계적 절차를 따라가면서 순차적으로 <표 Ⅳ-5>에 제시한 바와 같은 리터러시 이벤트들을 만들어갔다. 탐색 - 연구 주제 도출 및 연구 설계 - 실험 수행 - 데이터 처리 - 결과 분석 및 결론 도출로 이어지는 이벤트들과 이때 생성된 여러 기입들을 평가해보면 학생들은 차세대 과학교육표준의 과학적 실행 목록 중 질문하기 및 문제 규정하기, 탐구조사 계획 및 수행하기, 자료 분석 및 해석하기, 수학 및 전산적 사고 활용하기, 설명 구성하기 및 해결책 설계하기, 증거에 입각하여 논증하기를 달성하였다. 또한 결과 분석 및 결론 도출 이벤트 과정에서 만들어진 발표 자료는 과학적 실행 목록의 정보 수집과 평가 및 소통하기를 달성하기 위한 기입이었다(표 Ⅳ-6).

<표 Ⅳ-6> 학생들이 달성한 과학적 실행 목록

| 이벤트 | 설명 | 달성한 과학적 실행 목록 |
|---|---|---|
| 탐색 | · IPCC 제6차 평가 보고서 내용 분석 및 토의<br>· 그린란드 수온 데이터 시각화 및 분석<br>· 논문 내용 분석을 통한 연구 주제 수정 | · 질문하기 및 문제 규정하기<br>· 자료 분석 및 해석하기<br>· 수학 및 전산적 사고 활용하기<br>· 정보 수집과 평가 및 소통하기 |
| ↓ | | |
| 연구 주제 도출 및 연구 설계 | · 연구 목표 수립 및 연구 설계<br>· 연구 계획서 작성 | · 질문하기 및 문제 규정하기<br>· 탐구조사 계획 및 수행하기<br>· 정보 수집과 평가 및 소통하기 |
| ↓ | | |
| 실험 수행 | · 수조 실험 장치 구성<br>· 실험 수행 및 데이터 수집, 저장 | · 탐구조사 계획 및 수행하기<br>· 모델 개발 및 사용하기<br>· 수학 및 전산적 사고 활용하기 |
| ↓ | | |
| 데이터 처리 | · 데이터 전처리 및 시각화 | · 자료 분석 및 해석하기<br>· 수학 및 전산적 사고 활용하기 |
| ↓ | | |
| 결과 분석 및 결론 도출 | · 데이터 분석 및 토의<br>· 결론 도출<br>· 연구 결과 보고서 및 발표 자료 작성 | · 자료 분석 및 해석하기<br>· 수학 및 전산적 사고 활용하기<br>· 설명 구성하기 및 해결책 제시하기<br>· 증거에 입각하여 논증하기<br>· 정보 수집과 평가 및 소통하기 |

이처럼 학생들이 연구 과정에서 수행한 다수의 과학적 실행 목록에 해당하는 바를 학문적 리터러시 이벤트와 연결 지어 봄으로써 파악한 바는 다음과 같다. 앞서 기술한 것과 같이 연속적으로 일어난 모든 학문적 리터러시 이벤트들은 독립적으로 존재할 수 없었으며, 먼저 일어난 이벤트의 내용이 다음 이벤트의 발생과 그 내용에 큰 영향을 주었다. 이러한 특징은 학생들이 달성한 과학적 실행 목록에서도 나타났다. 예를 들면, 연구 주제 도출 및 연구 설계 이벤트에서 학생들이 연구 문제를 규정하고 이에 따라 연구 계획을 수립함으로써 과학적 실행 목록 중 질문하기 및 문제 규정하기, 탐구조사 계획 및 수행하기를 달성하였다. 이후 이어진 실험 수행 이벤트에서는 계획서의 내용이 기반이 되어 수조 실험 장치가 구성되고 실험이 수행되었으며, 데이터 수집이 이루어짐으로써 탐구조사 계획 및 수행하기, 수학 및 전산적 사고 활용하기가 달성되었다. 데이터 처리 이벤트에서 학생들은 수집된 데이터를 전처리 및 시각화함으로써 자료 분석 및 해석하기, 수학 및 전산적 사고 활용하기를 달성하였다. 이는 리터러시 이벤트를 통해 나타난 탐구조사 계획 및 수행하기와 같은 과학적 실행 목록 또한 독립적으로 등장할 수 없으며, 연속성과 상호의존성에 따라 연쇄적으로 조정된다는 것을 의미한다. 즉, R&E 프로그램에서 과학적 실행 목록은 개별적으로 나타난 것이 아니라 학생들이 정한 연구 주제와 그에 따른 연구 목표의 달성을 위한 커다란 흐름 내에서 그 시기와 맥락에 맞게 등장한 것이라 할 수 있었다.

본 연구의 결과는 과학적 실행이 과학자의 실제 활동에서 나타나는 특징들을 추출한 것이지만 이 특징들의 합이 과학적 실행의 전체가 될 수 없으며(이종혁 외, 2021), 과학적 실행이 독립되어있는 과학적 수행이 아니라 수행 체계 내부에서 일어나는 수행들의 상호작용으로 봐야 함을 나타낸다(Ford, 2015). 따라서 어느 순간에 발생한 각각의 실행 목록을 근거로 학생

들이 과학적 실행에 참여하였는지를 판단하기보다는 과학적 실행을 학생들이 경험한 연속적인 리터러시 이벤트의 네트워크로 인식해야 한다.

학생들은 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여하여 다양한 기입을 생성하였다. 이 기입들은 연구와 관련한 학생들의 주장에 증거로 작용함으로써 과학적 사실을 구성하고 확산하는 과학적 실행 과정을 이끌었다. 또한 과학적 실행 네트워크에서 행위자들을 연결하고 연쇄적으로 조정하는 역할을 담당함으로써 과학적 실행 목록이 달성되는데 기여하였으며, 이를 통해 과학적 실행 과정의 연속적이고 상호의존적인 특징을 드러내기도 하였다. 이러한 점은 학생들의 과학적 실행이 기입에 의한 과학 지식의 구성 과정이었다는 것과 함께 연구 목표 달성을 위한 학생들의 시도 내에서 이루어지는 상호적인 수행의 집합이었음을 나타낸다. 이처럼 R&E 프로그램의 전 과정에 걸쳐 등장한 다양한 기입들이 중요한 역할을 함으로써 과학적 실행이 이루어진 것을 고려하면, 학생들의 과학 지식 구성과 과학자 역량 함양을 목표로 하는 과학 교육 현장에서 탐구 과정이나 수업 과정에서 만들어지는 기입에 주목할 필요가 있다고 판단된다. 또한 본 연구에서 강조한 데이터 리터러시가 학생들이 새로운 기입을 만들거나 기존의 기입을 변환하는데 중요한 역할을 함으로써 과학적 실행 네트워크가 구성되는데 기여하였다는 점도 주목할만하다.

## 4. R&E 프로그램에서 관찰된 학생들의 과학적 실행 특징

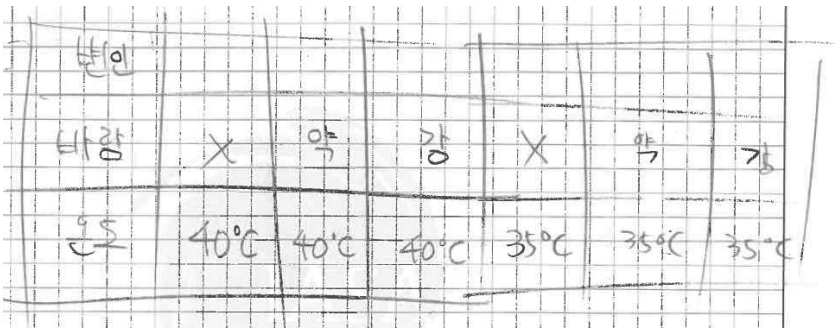
과학적 실행이 과학자가 실행하는 특정한 절차나 기능만이 아니라 다양한 행위자가 함께 하는 네트워크 형태의 복잡한 과정이라면, ANT의 관점에서 학생들이 참여한 R&E 프로그램에서 나타난 과학적 실행의 특징을 살

펴보는 것은 기존의 접근 방식과는 다른 의미를 제공할 수 있을 것이다.

### 가. 인간과 비인간의 협력에 의한 기입의 생성

학생들은 지식을 구성하고 확산하는 과학자의 과학적 실행 과정을 경험하였다. 그러나 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 경험한 과정과 결과들은 상황에 맞는 기입이나 도구들이 없었다면 얻을 수 없었던 것이었다(그림 Ⅳ-24).

R&E 프로그램에 나타난 다양한 형태의 기입들은 학생들의 진술 유형을 변화시키면서 과학적 사실의 구성과 확산에 중요한 부분을 담당하였다. 또한 R&E 프로그램과 관련한 학문적 리터러시 이벤트의 발생과 연결에 기여함으로써 학생들이 연구 목표를 달성하는데 도움을 주었다. 과학적 실행에서 기입이 작용하는 과정을 구체적으로 살펴봄으로써 파악한 특징은 R&E 프로그램에 나타난 학생들의 의사소통이 대부분 기입에 대해 일어났다는 것이었다. 이를 구체적으로 살펴보면, 학생들은 IPCC 보고서, 그린란드 수온 데이터, 그리고 관련 논문에 대해 소통하면서 연구 주제를 도출할 수 있었고, 스스로 작성한 연구 노트와 연구 계획서의 내용을 공유하면서 실험을 수행하였다. 이후 실험 수행을 통해 획득한 데이터를 그래프의 형태로 시각화하고 이에 대한 분석을 함께 진행하면서 연구의 결론을 내릴 수 있었다. 즉, 연구 결과를 얻기 위한 학생들의 의사소통 과정에 그 시점에 생성되었던 기입이 중심을 차지하고 있었던 것이다. 이 같은 의사소통의 특징은 R&E 프로그램 전반에 걸쳐 다양하게 발견되었으며, 그 예는 다음과 같다. 학생들은 연구 계획서를 작성하기 위해 그전에 작성했던 연구 노트의 내용을 공유하면서 실험 계획을 구체적으로 수립하였다(그림 Ⅳ-25).



| 변인 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 바람 | X | 약 | 강 | X | 약 | 강 |
| 온도 | 40°C | 40°C | 40°C | 35°C | 35°C | 35°C |

<그림 Ⅳ-25> 연구 노트에 작성한 실험 계획

승현: 변인이 바람이랑 수온이고, 바람은 없을 때, 약, 강, 이렇게 세 개로 나눠서?

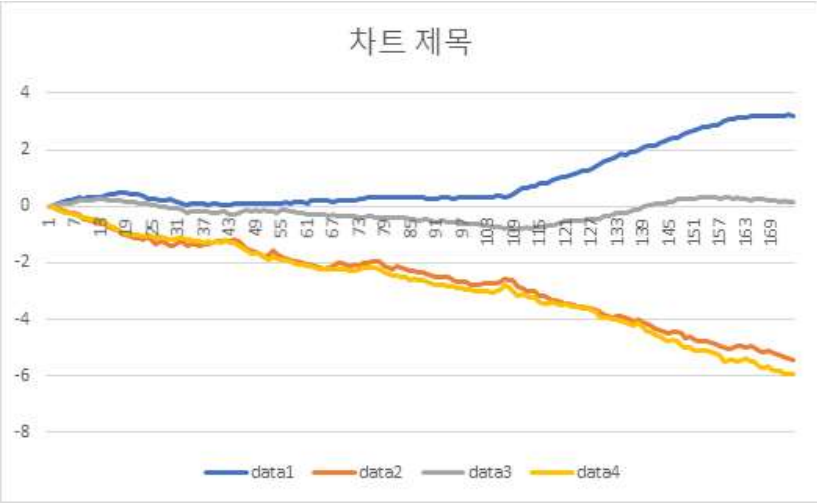
도윤: 어.

승현: 온도는 40도랑 35도네. 그럼 실험은 총 여섯 번.

도윤: 근데 몇 번씩 해봐야 하지 않을까?

(2021.11.14. 20:00)

기입에 대한 의사소통의 모습은 데이터 수집과 시각화 과정에서도 볼 수 있었다. 학생들은 예비 실험 이후의 본격적인 첫 번째 수조 실험에서 얼음이 점차 녹음으로 인해 발생하는 무게 변화에 대한 데이터를 얻을 수 있었다. 도윤이는 수집한 데이터를 시각화하고 이를 동료들에게 공유하면서 실험 결과를 분석해보고자 하였다(그림 Ⅳ-26).




<그림 Ⅳ-26> 실험 데이터를 처음 시각화한 그래프

도윤: 이거 봐. 아까 다운받은 거 그래프로 대충 그렸어.

민수: 오. 얼음 전체 다 녹는데 몇 시간 걸렸어?

도윤: 4시간 정도. 시간 표시 안했네.

승현: 그래도 딱 보이는 거 같은데. 파란색이랑 회색이 얼음이랑 먼 쪽인가?

도윤: 그렇지. 위 두 개가 얼음이랑 먼 쪽이고, 아래 두 개가 얼음이랑 가까운 쪽이야.

승현: 그래. 네 개 다 기울기 커지는 거 같은데? 이거 실험1이지?

(2021.12.18. 11:00)

Latour와 Woolgar는 기입의 중요성에 주목함으로써 과학 정보의 의사소통이 공식적 경로보다는 비공식적 경로를 통해 우세하게 일어난다는 여러 연구 결과들과는 대조되는 모습을 보여준다(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 72). 이때 비공식적 의사소통은 인간관계를 기반으로 일상적인 접촉을

통해 정보나 감정을 주고받는 개인 간의 의사소통을 의미하는데(김미현, 2020), Latour와 Woolgar는 학술지 논문이나 측정값을 기록한 종이, 발표를 위한 슬라이드와 같은 기입을 고도로 구조화되고 양식화된 공식적 의사소통의 실체로 두고 과학자들을 관찰한 결과 가장 비공식적 의사소통의 순간에도 계속 공식적 의사소통의 실체에 초점을 두는 모습을 볼 수 있었다고 하였다(Latour & Woolgar, 1986/2018, pp. 72-73). 즉, 공식적이거나 비공식적인 의사소통의 모든 순간에 과학자들은 자신의 주장을 정당화하기 위해 공식적 실체인 기입을 활용하게 되기 때문에 공식적 의사소통의 역할에 대해 재고할 필요가 있다는 것이다.

이러한 부분에 비추어 보면 학생들이 R&E 프로그램에서 활용한 여러 기입들은 연구 목표 달성을 위한 의사소통의 과정에서 핵심적인 역할을 담당하였다고 판단할 수 있다. 그렇다면 탐색의 과정에서 활용한 IPCC 제6차 평가 보고서로부터 학생들이 직접 구성한 연구 결과 보고서에 이르는 과정 안에서 일어난 기입의 연쇄적 변환은 어떻게 발생하였을까? 이를 설명하기 위해 실험 수행 중 학생들이 예상하지 못한 문제에 직면하는 과정과 이 상황을 극복하는데 중요한 역할을 한 도구에 대한 사례를 기술하고자 한다.

학생들은 실험 설계 단계에서 빙하 환경을 실험실에서 최대한 비슷하게 구현하기 위한 그린란드 주변 해역의 수온 분포 분석을 통해 깊이에 따라 수온과 염분이 서로 다른 두 층의 해수로 구분하였다. 이후 학생들은 조사한 정보를 이용하여 실제 빙하 환경을 구현한 수조 실험을 수행하고자 하였으나 그 시도는 실패로 끝났다. 그린란드 해역의 환경 구현을 위해서는 온도가 높은 물이 하부에 위치해야 하지만 물에 소금을 용해시켜 물의 밀도를 크게 해도 상부에 위치해야 할 차가운 물과 밀도 차이가 크게 나지 않아 두 층의 물이 계속 섞였기 때문이었다. 수온과 염분을 달리해가며 몇 차례 수조 실험을 한 후 학생들은 물의 밀도를 조절하여 두 층을 명확히

구분하는 것은 어려울 것으로 판단하고, 토의를 통해 물보다 밀도가 작고 물과 섞이지 않는 액체를 찾기로 결정했다. 이후 물과 색깔이 달라 잘 구분되어야 하고 물과 점성이 비슷해야 한다는 조건이 추가되어 최종적으로 실험에 사용하기로 한 액체는 빨간색 파라핀 오일로 결정되었으며, 예비 실험에서 수온 조건을 그린란드 주변과 비슷하게 하여 수조의 하부에는 따뜻한 물을, 상부에는 차가운 빨간색 파라핀 오일을 넣었을 때 바람이 강하게 부는 경우에도 두 액체가 서로 섞이지 않음을 확인할 수 있었다.

수조 실험의 목적이 바람에 의해 상부의 차가운 파라핀 오일이 밀려나면서 하부에 있는 따뜻한 물이 상승해 얼음을 얼마나 빨리 녹이는지 관찰하는 것이었기 때문에 파라핀 오일을 밀어낼 수 있을 만한 바람을 내는 실험 도구 마련이 중요했다. 그러나 학생들이 준비한 선풍기들은 오일을 밀어내는 역할을 거의 해내지 못했으며, 날개 크기 약 80cm의 산업용 선풍기 역시도 비슷한 결과를 나타내 새로운 방향으로 물을 밀어낼 수 있는 방법을 고민해야 함을 인식했다. 학생들은 동영상 촬영을 통해 바람이 수조에 담긴 파라핀 오일에 전체적으로 영향을 미치고 있음을 파악하고 여러 방향으로 퍼지는 선풍기의 바람을 한 곳으로 집중시킬 수 있는 방법에 대해 연구하였고, 여러 차례의 토의 과정 끝에 선풍기를 감싸는 비닐 통로를 만들고 바람이 나오는 곳의 면적을 최소로 하여 오일 쪽에 집중시키는 방법을 생각해냈다. 이는 즉시 실행되어 실험으로 이어졌으며, 꼼꼼하게 제작된 비닐 통로를 선풍기에 부착하고 바람에 의한 오일과 물의 움직임을 관찰한 결과 눈으로도 확인이 가능할 정도로 오일이 밀려나면서 물이 상승하는 현상을 확인할 수 있었다(그림 Ⅳ-27). 즉, 학생들은 유체가 넓은 곳을 통과하면 느려지고 좁은 곳을 통과하면 빨라진다는 간단한 물리 법칙을 기억하고 이 법칙을 녹여낸 실험 도구를 만들었으며, 이를 통해 실험 수행을 가능하게 하였다.

<그림 Ⅳ-27> 학생들이 제작한 비닐 통로와 이때 물의 움직임

이후에도 학생들은 실험 과정 중에 발생하는 예상하지 못한 문제들을 하나하나 해결해나가면서 실험을 진행했다. 수조 하부에 있는 따뜻한 물이 차가운 오일과 접촉하는 시간이 길어지면서 온도가 점차 낮아지는 현상을 관찰하고 물이 일정 온도를 유지할 수 있도록 수조 바닥에 열선을 설치한다든지, 바람에 의해 따뜻한 물이 상승하는 모습을 조금 더 쉽게 관찰하기 위해 적외선 카메라를 활용해 물의 움직임을 파악하는 것 같이 실험의 목적을 달성하기 위해 기존에 있던 실험 도구를 활용하거나 새로운 실험 도구를 제작하는 등의 다양한 방법을 통해 계획 단계에서 예상치 못했던 문제들을 극복할 수 있었다. 이러한 극복의 과정을 통해 실험 데이터가 생성될 수 있었으며, 이 실험 데이터가 기입의 기능을 하며 리터러시 이벤트들을 연결함으로써 R&E 프로그램이 진행될 수 있었다.

Latour와 Woolgar는 도구에서 나오는 자료의 안정화가 신뢰할 수준에 도달되는 지점에서 사실 구성이 이루어지며, 도구에의 의존 없이 특정 과학적 사실을 탐구하기도, 주장하기도 곤란하다고 하였다(Latour & Woolgar, 1986/2018, pp. 9-10). 이때 실험실에서 어떤 재료 물질을 우리가 직접 사용할 수 있는 수치 또는 도표로 변환시켜주는 도구와 장치를 기입 장치(inscription device)라고 하는데, 수조 실험 장치가 바람과 난류에 의해 일

어나는 얼음의 무게 변화를 학생들이 직접 변형하고 분석할 수 있는 데이터 테이블 형태의 기입(그림 Ⅳ-19)을 제공해주었다는 점을 상기하면 수조 실험 장치는 학생들의 R&E 프로그램에서 기입 장치로 작용하였음을 알 수 있다.

수조 실험 장치라는 기입 장치와 이 기입 장치가 만들어낸 기입에 주목하면서 한 가지 중요한 특징을 발견할 수 있었는데, 이는 바로 어떠한 복잡한 과정을 거쳤다 하더라도 기입이 생산되면 이 기입이 토론의 초점이 되며 반면 기입을 생산하기 위한 절차는 더 이상 참여자의 의사소통 대상이 되지 않았다는 것이었다. 학생들이 우여곡절 끝에 완성한 수조 실험 장치는 다양한 도구들이 합쳐져 만들어진 집합적 장비였으며, 제작 과정에서는 연구 목표에 맞는 온전한 데이터를 수집할 수 있는지에 대한 많은 시험 절차가 이뤄졌고 이에 따라 변경, 개선되었다. 앞서 기술한 파라핀 오일의 사용, 비닐 통로 제작, 열선 설치와 같은 예는 수조 실험 장치를 개선하기 위한 시도였다. 그러나 수조 실험 장치가 완성되고 연구 목적에 맞는 데이터를 제공할 수 있음이 판명되면서 학생들의 관심은 수조 실험 장치의 구성 과정이 아니라 장치가 생산한 데이터로 옮겨갔다. 즉, 수조 실험 장치는 블랙박스화되었다.

기입과 기입 장치가 나타내는 이러한 특징은 기입이 만들어지는 과정을 숨김으로써 이 기입을 연구를 처음 시작하면서 수립한 연구 목표나 어떤 연구 대상에 대한 직접적인 지시자로 보이게 한다. 이는 최소한 학생들이 수조 실험 장치에서 얻은 데이터를 의심하지 않는다는 의미가 있으며, 이 데이터를 이용해 자신들의 주장을 사실로 변화시키고 연구 결과 보고서에 사실의 형식을 갖춘 진술을 할 수 있게 하였다. 기입 장치의 블랙박스화는 이 기입 장치를 더욱 쉽게 사용할 수 있게 되었음을 의미하는데, 이는 반대로 기입 장치가 없다면 그 특수한 맥락에서 어떤 현상도 설명할 수 없음을

알려준다. 즉, 이러한 사례는 학생들이 어떠한 실험 도구를 선택하고 활용하느냐에 따라 그 결과가 크게 달라질 수 있다는 것을 의미하며, 이는 이 실험 도구가 어떤 현상을 드러나게 하는 수동적 존재라기보다는 인간과 관계를 맺으며 새로운 현상을 구성함으로써 그들의 인식과 행위를 변화시키는 행위 능력을 보여줄 수도 있음을 나타낸다.

따라서 과학적 실행이 독립된 탐구 기능이나 활동이 아니라 비인간 행위자를 인식하고 인간, 비인간 행위자를 많이, 그리고 강하게 연결하는 활동을 통해 과학적 지식을 견고하게 구축하는 것을 의미한다면, 기입이나 도구가 단순히 이론이나 가설을 검증하기 위한 존재보다는 인간과 긴밀하게 협력하면서 영향력을 행사하는 하나의 행위자로 인식되어야 한다(이종혁 외, 2021).

이러한 관점에서 기입, 기입 장치와 같은 비인간들이 행위력을 발휘하여 과학적 실행 네트워크의 구성에 큰 역할을 하는 과정을 보여준 본 연구의 결과는 교육 현장에서 학습의 주체를 학생으로만 한정하지 말고 비교적 관심을 적게 가져왔던 비인간들에게도 주목해야 함을 시사한다. 이는 현재와 같이 인간과 인간만의 연결이 아닌, 인간과 사물, 사물과 사물의 연결도 중요시 되고 있는 초연결사회라는 시기적 상황과 함께 기구나 실험 도구를 사용하는 것이 일상화되어 있는 과학 교육 현장에서 더욱 중요한 일일 것이다. 이 같은 점에 주목하여 학생들이 교육 현장에서 과학자의 지식 생성 과정을 경험하고 미래 과학자로서의 역량을 키워나가는데 어떠한 인식과 준비가 필요한지에 대해 연구자가 제언하는 바는 다음과 같다. 우선 과학 교사는 교육에서 사물이나 도구와 같은 비인간의 역할을 이해하고 새롭게 등장하는 다양한 기술과 도구들을 활용할 수 있는 능력을 키우는 노력을 해야 한다. 또한 이러한 기술과 도구가 학생들에게 어떤 실행을 가능하게 하는지, 기존의 방법과 어떠한 차이를 만들어내는지 면밀하게 관찰하여 도

구들을 적재적소에 활용할 수 있는 역량을 키워야 할 것이다. 이는 학생들이 과학적 실행 과정에서 난관에 부닥쳤을 때 교사가 기존의 방식과는 다른 새로운 해결책을 조언해줄 수 있는 방법이 되며, 이를 통해 학생들은 어려움을 극복하고 문제를 해결할 수 있는 실마리를 발견하게 된다. 이때 교사는 학생들에게 당장 원했던 결과가 나오지 않는다는 사실에 대해 과학자가 실험실에서 경험하는 과학적 과정들이 투입에 따른 산출과 같은 명확한 과정이 아님을 인식시키고 주변에서 발견할 수 있는 다양한 기술, 사물, 도구들을 활용하여 난관을 극복할 수 있도록 지도해야 한다.

특징적인 부분은 본 연구에서 데이터를 R&E 프로그램의 목표를 달성하는데 활용한 것과 같이 최근 과학 교육 분야에 기존에 익숙하게 볼 수 있었던 것이 아닌 기술과 도구들이 많이 포함되고 있다는 것이다. 액체의 열팽창을 온도 변화로 표현하는 알코올 온도계를 사용하는 것에서 온도 센서가 포함된 디지털 온도계를 사용하는 것으로의 변화, 카메라의 추적 기능을 활용하여 바닥으로 떨어뜨린 공의 중력 가속도를 측정하는 것, 학교 옥상에 설치한 기상관측장비에서 측정하는 기온 데이터를 교실에 앉아 확인하면서 지구과학 수업에 활용하는 것, 인터넷에 접속하여 자바로 만들어진 실험 시뮬레이션을 해보는 것과 같은 예는 과학 수업에 과학과 더불어 기술, 공학, 수학 등의 다양한 분야가 융합되어 활용되고 있다는 것을 단적으로 나타내며, 시간이 지남에 따라 이러한 현상은 더 많이 나타나게 될 것이다. 때문에 과학 교사는 자신의 전공 분야와 함께 다양한 분야의 기술과 도구를 활용할 수 있는 능력을 지속적으로 계발해나가야 할 것이다. 이를 위해 유튜브나 포털 사이트, 국가나 기관이 운영하는 데이터베이스와 같은 온라인 환경을 이용하거나 다양한 교사 집단이 모일 수 있는 교사 연구회, STEAM 연수에 참여하는 방법도 능력 계발의 주요한 수단이 될 수 있을 것이라 생각된다.

더불어 과학 교육 연구 분야에서는 사물의 역할을 확대하고 주목함으로써 그간 미처 인식하지 못했던 다양한 학습의 요인들을 파악하고자 하는 시도와 함께 교육 환경에서 인간과의 상호 작용을 통해 특정한 실행을 가능하게 하는 다양한 사물이나 도구와 같은 비인간들을 활용할 수 있는 방법이나 이들을 배치하는 방법, 새로운 도구를 도입하거나 기존에 있던 도구를 개선하여 교육적 효과를 증진시키는 방법에 대한 심도 있는 연구들이 이루어져야 할 것이다.

이와 함께 인식을 변화시키고 새로운 행위를 창출할 수 있는 기입에 초점을 맞춰 기입의 형태에 따른 교육적 효과와 학생들이 과학적 실행을 이뤄나가는데 적절한 기입을 생산할 수 있는 능력 함양 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 학생들의 과학적 실행이 과학 지식의 구성 과정이었으며 이때 기입이 네트워크에서 행위자들을 연결하는 중요한 역할을 하였음을 보였다. 학생들이 만들어낸 기입은 도표의 형태를 가진 측정 데이터, 그래프, 문서 형태의 연구 노트, 연구 계획서, 연구 결과 보고서, 발표 자료 등의 다양한 형태를 나타냈으며 이러한 기입이 과학적 실행 네트워크를 연결하고 지속시켰다는 점을 고려한다면, 학생들이 과학적 실행 맥락에 맞는 기입을 생성할 수 있는 능력을 갖추는 것이 매우 중요할 것이라 판단된다. 본 연구의 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램은 데이터 수집, 변형, 해석에 대한 소양 함양에 초점을 맞추었으며 이에 따라 학생들은 데이터를 수집하는 방법을 알고, 데이터를 수집하여 도표 형태로 나타낼 수 있게 되었으며, 이를 그래프 형태로 변형하고 해석할 수 있게 됨으로써 다양한 기입을 생성할 수 있었다. 그러나 과학자의 과학 지식 생성 과정으로서의 과학적 실행은 기입을 생산하고 정교화하는 더 넓은 범위의 방법이 필요할 것이다. 예컨대 실험 오차 발생을 줄일 수 있는 정확한 실험 기기 사용법이나 자신이 구성한 과학 지식을 명확하게 전달할 수 있는 과학적

글쓰기 방법은 과학적 실행 과정에서 생성되는 기입을 더 의미 있고 정교하게 만들어줄 수 있다. 따라서 학생들이 과학적 실행을 이뤄나가는데 적절한 기입이 무엇인지, 그러한 기입을 생산할 수 있는 능력을 함양할 수 있는 방법은 어떤 것이 있는지에 대한 다각적인 연구가 필요하며, 또한 이 같은 방법을 학생들에게 적용할 수 있는 구체적인 프로그램 개발도 이루어져야 할 것이라고 생각된다.

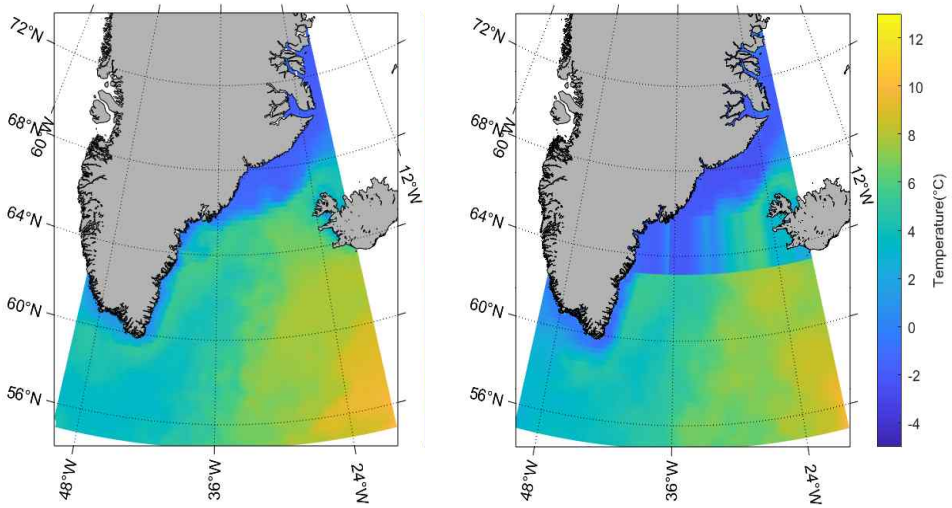
### 나. 새로운 네트워크의 구성

학생들이 R&E 프로그램에서 구성한 과학적 실행 네트워크는 '난류의 용승에 의한 빙하 면적 감소 현상 연구'라는 주제를 중심으로 한 연속적이고 다양한 행위들의 집합으로 표현할 수 있었다. 그러나 이러한 과정에서 예상하지 못했던 여러 이종 네트워크가 등장하였으며, 처음에는 이러한 네트워크가 학생들의 연구 목표 달성과는 연관이 없어 보이기도 했다.

이 같은 네트워크의 첫 번째 예로 '그린란드 주변 해역의 표층 수온 예측을 위한 머신러닝 네트워크'를 들 수 있다. 학생들이 자율적으로 운영한 R&E 프로그램이었기 때문에 초기에 달성하고자 했던 목표 - 예를 들면 빙하 환경을 실험실에서 구현하고, 따뜻한 물의 상승에 따른 얼음의 융해 현상을 관찰하는 것 - 이외에도 R&E 과정에서 다양한 목표가 수립되었으며, 학생들은 이 목표들을 달성하고자 노력하였다. 이러한 예로, 학생들은 최근 그린란드 표층 수온 변화 경향을 바탕으로 미래를 예측해보는 추가 목표를 세우고 머신러닝을 활용한 표층 수온 예측 모델을 만들었다. 이 모델이 적절하게 미래를 예측할 수 있는지 알기 위해 학생들은 과거의 데이터를 예측 모델에 넣어 현재의 수온을 예측하고 실제 관측값과 비교해봄으로써 모델의 정확도를 판단해보았다(그림 Ⅳ-28).

이러한 학생들의 시도는 자신들의 모델이 유용성을 갖고 있는지를 절차

에 맞게 검증하고 판단하는 과정이라는 점에서 데이터에 대한 학생들의 비판적 태도를 볼 수 있는 구체적 사례였으며, 또한 학생들은 이 같은 경험을 통해 초기에 설정하였던 목표 이외에 추가적으로 설정한 목표를 달성함으로써 R&E 프로그램에서 자신들만의 지식을 구성할 수 있었다.




<그림 Ⅳ-28> 2020년 1월의 실제 표층 수온(좌)과 예측값(우)

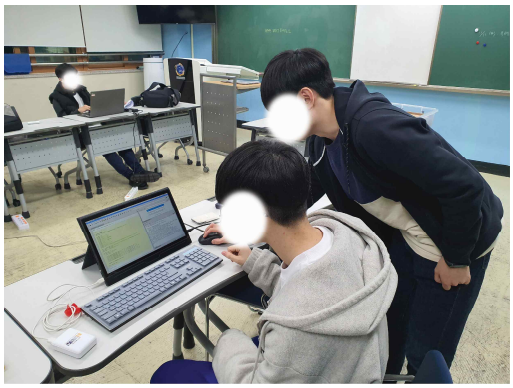
학생들은 이와 같은 절차를 거쳐 그린란드 주변 해역의 표층 수온을 예측하고 관련 내용을 연구 결과 보고서에 작성하였다.

머신러닝으로 그린란드 주변 해역의 표층 수온을 예측해 지구온난화가 지속되고 있음에도 이 지역의 표층 수온이 앞으로 지속적으로 감소할 것이라는 결과를 도출하였다.

(연구 결과 보고서 중)

학생들이 R&E 프로그램 참여 과정에서 구성한 다양한 지식이 상황에 맞게 응용된 사례도 존재한다. 연구 주제 도출을 위한 탐색 과정에서부터 여러 차례 토의를 경험했던 학생들은 자신들의 연구에서 중요하게 결정되

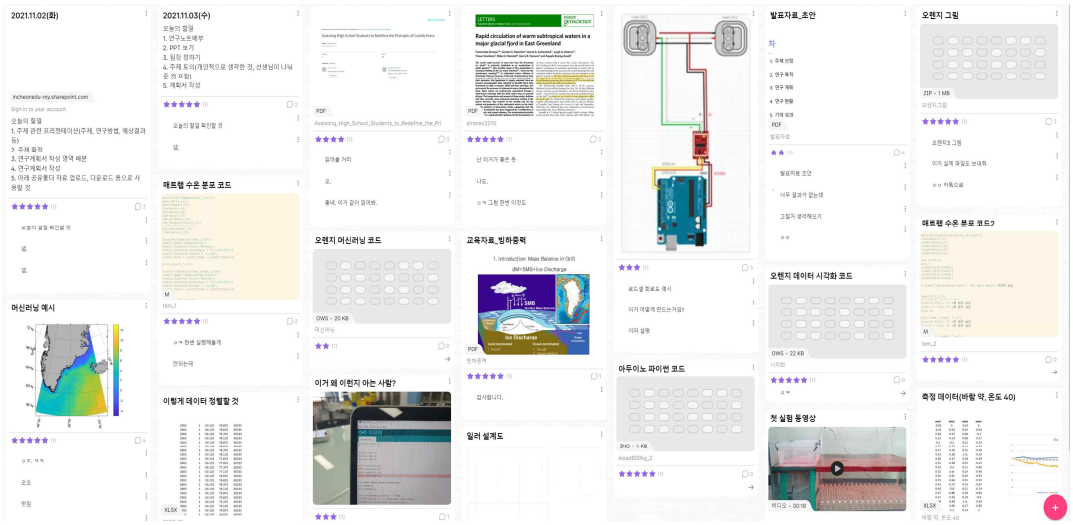
어야 할 사안들에 대해서는 꼭 토의 과정을 거쳤다. 보통 연구가 수업을 듣기에 적절한 책상 배치가 되어 있는 교실에서 진행되었기 때문에 학생들은 칠판을 바라보는 방향으로 배치된 책상에 앉아야 했고, 이는 서로 의견을 교환하는데 불편함을 느끼는 원인으로 작용했다. 문제를 해결하기 위해 학생들은 4명이 모두 만날 수 있을 때는 항상 책상 배치를 변경하여 서로의 얼굴을 마주 보고 연구할 수 있는 환경을 만들고자 하였으며(그림 Ⅳ-29), 이러한 책상 배치는 학생들의 원활한 의사소통에 도움을 주었다.



<그림 Ⅳ-29> 학생들의 토의 과정

또한 효율적인 연구를 진행하고자 그날의 수행 목표를 공정하게 나누어 각자 준비하고 일정 시간 후에 한 명씩 자신의 자료를 발표하는 나름대로의 규칙을 만들어 적용하기도 하였다. 개별 발표 후 학생들은 서로의 자료를 평가하고, 병합하고, 개선해가면서 수행 목표를 달성해나갔다. 이를 간단히 정리하면, 학생들은 그날의 목표 달성을 위해 수행 과제 분배 - 개별 수행 - 발표 - 토의 - 자료 병합 및 개선의 과정을 거친 것이다. 이 같은 과정이 지속적으로 진행되었고 의미 있는 결과가 조금씩 도출되었으나 문제점 역시 일부 노출되었는데, 이는 바로 개별 학생이 조사하거나 연구한 자료를 발표하는 시간이 매우 오래 걸렸다는 점이다. 그 이유는 4명 모두의 자료가 병합되고 개선되기 위해서는 먼저 한 학생의 발표가 다른 학생들에

게 이해될 필요가 있었기 때문이다. 이러한 문제점을 인식한 학생들은 서로의 자료를 공유하기 위해 온라인 플랫폼을 적극적으로 활용하였다. 학생들이 주로 활용한 온라인 플랫폼은 카카오톡과 패들렛이었으며, 이 방법은 PC와 모바일에서 모두 사용 가능하고, 다자간 정보 교환을 가능하게 했기 때문에 각자가 연구한 자료를 발표 전에 공유함으로써 서로의 자료를 미리 살펴보고 토의에 참여할 수 있다는 장점이 있었다. 이 같은 온라인 플랫폼을 활용하는 방법이 익숙해지자 학생들의 수행 목표 달성 과정은 수행 과제 분배 - 개별 수행 - 온라인 공유 - 발표 - 토의 - 자료 병합 및 개선으로, 앞선 과정보다 단계가 늘어났으나 전체적인 소요 시간은 감소하게 되었다. 이후 학생들은 이러한 방법을 R&E 프로그램 과정 동안 적극적으로 활용하였다(그림 Ⅳ-30).




<그림 Ⅳ-30> 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유의 예

그린란드 주변 해역의 표층 수온을 예측해보는 것, 토의를 위한 책상 배치, 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유는 연구 목표를 달성하기 위한 R&E 프로그램에서 미처 예상하지 못했던 네트워크가 나타난 사례였으나 학생들의 과학적 실행 네트워크에서 서로 관계 맺는 행위자로 활동하면서 네트워

크를 더 튼튼하게 하는 역할을 담당하였다. 예를 들어 학생들이 예측한 미래의 그린란드 주변 해역의 수온 분포는 앞서 제시한 바와 같이 연구 결과 보고서에 지구온난화가 심화되고 있음에도 그린란드 주변 해역의 지속적인 표층 수온 감소가 예상된다는 결과로 제시되었고, 이는 학생들의 실험 결과와 함께 종합되어 빙하 면적 감소의 원인을 다각도에서 살펴보는 방안이 필요하다는 결론을 이끌 수 있었다. 즉, 머신러닝을 통한 수온 예측은 수조 실험을 통한 연구 결과를 지원하기 위한 수단으로 작용하였다. 또한 토의를 원활하게 하기 위한 책상 배치와 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유도 R&E 프로그램에 참여하면서 경험한 문제를 해결하기 위해 학생들이 비인간과 상호 작용하여 구축한 이종 네트워크였다. 이 같은 학생들의 시도는 효과적인 연구를 수행하고자 하는 목적으로 연구 수행 절차를 확립하는 일종의 전략이었으며, R&E 프로그램에 참여하는 가운데 경험적으로 완성되었다.

과학자의 과학 지식 생산 활동이 예상되는 성취를 향해 정해진 연구를 선형적으로 수행하는 것이라기보다는 상황에 따라 역동적으로 직조되는 과정임을 인식한다면(Latour & Woolgar, 1986/2018, p. 313), 초기에 달성하고자 했던 목표는 아니었지만 표층 수온 예측이라는 새로운 목표를 수립하여 이를 달성하는 과정이나 명시적으로 표현하긴 어렵지만 경험적으로 터득하여 효율적인 책상 배치를 구현하고 연구 과정을 전략화한 학생들의 경험은 처음부터 구조화되어 있는 것은 아니었을지라도 이러한 사례들이 학생들의 연구에서 과학적 실행 네트워크를 구성하고 강화하는 과정이었음을 알려준다.

이러한 점에 비추어 보면 과학적 실행 네트워크를 통해 학생들이 생성한 과학 지식은 미리 정해져 있던 지식이 아닌 행위자들의 상호작용에 따른 결과라 볼 수 있으며, 다음과 같은 시사점을 제공해줄 수 있을 것

이다. 우선 어떤 정해진 목표를 달성했는지, 학습자가 구성한 개념이 얼마나 정확한지를 보고 학습의 성공과 실패를 가늠하기보다는 주변의 인간, 비인간과 상호 작용하여 그 맥락에 맞는 네트워크를 구성하였는지에 초점을 맞추고자 하는 인식이 필요하다. 이는 교과서에 제시된 학습 목표와 다른 실험 결과를 얻었을 때 이를 실험의 오류나 실험 조건의 불안정성으로 치부하기보다는 이에 대한 새로운 질문을 생성하는 계기로 받아들일 필요가 있다는 견해와 일맥상통하며(김기향 외, 2019; 이종혁 외, 2021), 더욱더 과학 지식 생산의 비선형성과 복잡성을 강조하게 된다.

또한 이처럼 결과보다는 과정에 주목하는데 관심을 둔다면 학생들의 변화를 짧은 시간 안에 파악하고자 하기보다는 과학적 실행 과정에 나타나는 학생의 실행 과정을 추적하고, 이를 통해 무엇을 알고 있는가와 함께 무엇을 하고 있는가를 판단하기 위한 기준이 필요할 것이라 생각된다.

# Ⅴ. 결론 및 제언

## 1. 요약 및 결론

본 연구에서는 데이터 리터러시를 학생들이 R&E 프로그램에서 겪는 문제들을 스스로 해결할 수 있도록 하는 방법으로 활용하기 위해 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하였다. 이후 개발한 R&E 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 행위자-네트워크 이론(ANT)의 관점에서 살펴봄으로써 데이터 리터러시가 학생들이 연구자로 성장하는데 어떤 기여를 할 수 있는지 알아보았으며, 이를 통해 학생들의 과학 지식 생산 과정에 대한 새로운 시각을 제공하고자 하였다.

먼저 학생들이 R&E 프로그램에서 보인 연구 주제 도출 과정을 이종 네트워크의 구성으로 보고 이를 번역의 4단계로 파악하고자 하였다. 문제제기 단계에서는 지도교사가 연구 주제 도출을 목표로 하여 학생, 과학자, 데이터를 네트워크의 주요 행위자로 끌어들이면서 '연구 주제 도출에 도움이 되는 데이터를 활용하는 것'을 의무통과점이 되도록 하였다. 이 과정에서 학생들은 스스로의 힘으로 연구 주제를 도출하는데 어려움을 겪었으며, 이러한 경험은 데이터를 활용할 수 있는 능력의 필요성을 인식하게 되는 중요한 계기가 되었다. 관심끌기 단계에서는 지도교사가 학생들에게 데이터 리터러시 함양 과정에 참여할 것을 제안하였고, 학생들은 이를 통해 데이터 생성, 조직, 관리, 활용, 분석 능력과 데이터에 기반한 의사소통 능력을 키울 수 있었다. 이때 지도교사가 제안한 데이터

리터러시 함양 과정은 학생들에게 '관심끌기 장치'로 작용하였음을 파악하였다. 등록하기 단계에서는 학생들이 데이터 리터러시 함양 과정에서 키운 데이터 활용 능력을 통해 연구 주제 도출에 성공하는 모습을 보여주었다. 마지막으로 동원하기 단계에서 학생들은 연구 목표를 이루기 위해 연구 설계와 수행 절차에 돌입하였으며, 이러한 과정의 대부분은 연구 노트에 기록되었고, 연구 노트는 연구 계획서의 형태로 치환되었다.

연구 주제 도출 네트워크의 구성은 학생과 데이터를 중심으로 한 다양한 상호 작용에 의해 이루어졌으며 특히 학생들의 데이터 리터러시 함양이 활발한 데이터 리터러시 요소의 등장을 이끌었음을 파악하였다. 이때 데이터 리터러시는 네트워크 내에서 매개자의 역할을 함으로써 학생들이 데이터를 번역하고 데이터와 상호 작용하여 연구 주제를 도출하는데 기여하였다. 이는 비인간 행위자인 데이터가 행위력을 발휘하여 연구 주제 도출 네트워크의 다른 행위자들의 행위를 변화시킬 수 있음을 알려준 사례였다. 또한 연구 주제 도출 과정에서 어려움이 발생하였을 때 다양한 우회가 나타났으며, 이러한 우회들은 지도교사, 과학자와 같은 인간 행위자와 더불어 데이터와 같은 비인간 행위자에 의해 발생할 수 있음이 파악되었다. 이를 통해 연구 주제 도출 과정이 단순히 선형적이지 않으며, 다양한 행위자에 의해 구성되는 이종 네트워크의 형태를 띠고 있음을 알 수 있었다.

학생들이 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여하면서 나타낸 과학적 실행의 과정과 특징을 살펴보고자 '기입'에 주목하였으며, 그 결과 과학적 실행은 학생들이 기입을 통해 과학적 사실을 구성하고 확산하는 과정임을 알 수 있었다. 또한 각각의 실행 목록을 근거로 학생들이 과학적 실행에 참여하였는지를 판단하기보다는 과학적 실행을 R&E 프로그램 과정 중 발생한 관찰 가능한 다양한 학문적 리터러시 이벤트들과 이들을 연결하는 기입들에 의해 형성된 네트워크의 형태로 인식해야 함을

파악하였다.

또한 기입을 중심으로 볼 때 과학적 실행에서 학생들이 활용한 여러 기입들은 연구 목표 달성을 위한 과학적 의사소통 과정에서 핵심적인 역할을 담당하였다. 이때 기입 장치를 거쳐 기입의 형태가 변환되었으며, 이러한 과정을 통해 학생들이 연구 목표와 관련한 의사소통을 지속할 수 있었다. 학생들은 R&E 프로그램에서 적절한 기입과 기입 장치를 활용함으로써 연구 목표를 달성할 수 있었고, 이는 비인간이 인간과 협력하면서 인간의 인식과 행위를 변화시키고 새로운 현상을 창출하는 행위 능력을 보여준 사례였다. 더불어 학생들이 R&E 프로그램의 목표를 달성해가는 과정에서 과학적 실행 네트워크 강화를 촉진한 예상하지 못했던 다양한 네트워크가 구성되는 모습이 나타났다. 머신러닝을 통한 표층 수온 예측, 학생들의 책상 배치, 온라인 플랫폼을 활용한 자료 공유의 예는 처음부터 효과적으로 연구를 수행하고자 하는 목적을 갖고 계획적으로 구성한 네트워크가 아니었지만 연구의 결과를 지원하여 더욱 의미있는 결론을 이끌어내거나 효율적인 연구 수행 절차를 확립하는 전략으로 작용함으로써 과학적 실행 네트워크를 구성하고 강화하는 기능을 하였다.

## 2. 토의

본 연구에서는 학생들의 연구 역량 함양을 목적으로 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고, 이 프로그램이 학생들이 과학자로 성장하는데 어떤 기여를 할 수 있는지 ANT의 관점에서 살펴보았다.

데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에서 연구 주제 도출 네트워크는 여러 행위자들의 상호 작용을 통해 구성되었으며, 이때 데이터 리터러시는 행위자들을 매개하여 네트워크를 구성하는데 중요한 역할을 하였다. 또

한 여러 기입의 생성에 활용되면서 R&E 프로그램과 관련한 네트워크가 만들어지고 확장할 수 있는 토대를 마련하기도 하였다. 이는 학생들이 R&E 프로그램에 참여하면서 스스로 지식을 구성하는 과학자 활동 경험을 통해 연구 역량을 함양하는데 데이터 리터러시가 기여했음을 의미한다. 따라서 이러한 결과는 자기 주도적 연구 환경에서 과학자로서의 역량을 함양할 수 있도록 하는 하나의 방법으로 데이터 리터러시를 인식하고, 교육 분야에 데이터 리터러시를 효과적으로 적용하기 위한 구체적인 연구가 이루어질 필요가 있음을 시사한다. 특히 현대 사회가 기술의 발달로 데이터의 양과 종류에도 큰 변화가 일어나 능력만 갖추고 있으면 누구나 시간과 장소를 불문하고 데이터를 활용할 수 있는 환경이라는 점은 데이터 리터러시 함양에 대한 필요성을 더욱 강조하고 있다.

또한 학생들에게 나타난 과학적 실행은 기입을 통해 과학적 사실을 구성하고 확산하는 과정이었으며, 다양한 리터러시 이벤트들과 이들을 연결하는 기입들에 의해 형성된 네트워크의 형태를 띠고 있었다. 이때 기입과 함께 이러한 기입을 생산한 기입 장치와 같은 비인간들이 행위력을 발휘하여 과학적 실행 네트워크의 구성에 큰 역할을 하였다. 이는 과학 교육 현장에서 학습의 주체를 학생으로만 한정하지 말고 비교적 관심을 적게 가져왔던 비인간들에게도 주목함으로써 그간 미처 인식하지 못했던 다양한 학습의 요인들을 파악하고자 하는 시도가 있어야 함을 시사한다. 구체적으로, 과학 교사는 교육에서 새롭게 등장하는 다양한 기술과 도구들을 활용할 수 있는 능력을 키워야 하며, 이러한 기술과 도구가 학생들에게 어떤 실행을 가능하게 하는지 면밀하게 관찰하여 도구들을 적절하게 활용할 수 있는 역량을 키워야 할 것이다. 더불어 과학 교육 연구 분야에서는 행위자 사이의 관계나 상호 작용에 대한 경험적이고 기술적인 연구가 면밀하고 풍부하게 이루어져야 한다. 더 나아가 이러한 연구 결과를 누적하고 그 논의들을 바탕으

로 다양한 교육 프로그램에 적용함으로써 인간, 자연, 사회, 사물과 같은 다양한 행위자들이 어우러진 종합적인 교수-학습 방안의 효과에 대해 알아보는 시도가 필요하다. 예를 들어 인간과의 상호 작용을 통해 특정한 실행을 가능하게 하는 다양한 사물이나 도구와 같은 비인간들을 활용할 수 있는 방법이나 이들을 배치하는 방법, 새로운 도구를 도입하거나 기존에 있던 도구를 개선하여 교육적 효과를 증진시키는 방법에 대한 심도 있는 연구들이 이루어져야 할 것이다. 추가적으로 인식을 변화시키고 새로운 행위를 창출할 수 있는 기입에 초점을 맞춰 기입의 형태에 따른 교육적 효과와 학생들이 과학적 실행을 이뤄나가는데 적절한 기입을 생산하는 능력을 함양할 수 있는 방법에 대한 다각적인 연구도 필요하리라 생각된다.

학생들이 능동적으로 지식을 구성할 수 있는 좋은 방법 중 하나로 R&E 프로그램이 주목받으면서 이와 관련한 많은 연구가 수행되었다. R&E 프로그램에 대한 학생들의 인식 조사와 이에 따른 제언(양현주, 2005; 유준희, 김종숙, 2012; 강성주 외, 2009; 최호성, 박경희, 2015; 류경윤, 2017; 최종근, 김찬종, 2022), R&E 프로그램에 참여한 학생들의 변화(이민주, 2016; 곽혜정, 2020; 윤현정, 김희백, 2018; 이민주, 김희백, 2019; Caton et al., 2000; Hunter et al., 2007; Comeaux & Huber, 2001; Houseal et a., 2014), 효과적인 R&E 프로그램 제안(이선길, 2006; 방승진, 최중오, 2010; 이창윤, 홍훈기, 2018; 설양환, 2019) 등과 같이 다양한 관점에서 이루어진 연구는 R&E 프로그램에 대한 이해의 폭을 넓혀주는 좋은 기회가 되었다. 그러나 미래 과학자 양성을 위한 효과적인 R&E 프로그램 개발이나 체계적 교수-학습 방법 연구의 필요성이 꾸준히 제기되고 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 많이 이루어지지 않은 편이며, 수행된 연구도 특정 분야나 방법을 활용한 R&E 프로그램 모형을 제안하였기 때문에 그 활용 범위에서 제한점이 존재한다. 이에 본 연구에서는 최근 지식정보화사회의 필수 소양

이라고 생각되는 데이터 리터러시에 주목하고, 이를 활용한 R&E 프로그램을 개발·적용하였다. 이러한 시도는 사회의 급격한 변화에 따른 교육과정과 교육 내용의 필연적 변화에 대응하고 기존의 방식보다 효과적으로 교육에 적용할 수 있는 방안을 모색한 결과라고 볼 수 있다.

또한 ANT의 관점에서 학생을 비롯한 주요 행위자가 R&E 프로그램에 관련된 네트워크를 구성하는 과정과 그 과정에서 일어나는 학생들의 과학적 실행을 살펴보았다. ANT는 기존의 구성주의 접근들에서 인간 중심적 요인으로 과학 지식의 구성을 설명하는 것과는 달리 이를 인간과 비인간 행위자들 사이의 동맹으로 구축되는 이종 네트워크에 의해 설명하고자 한다. 기구나 실험기기와 같은 비인간의 존재와 가치가 분명한 과학에서 비인간을 이해하고 조정하는 행위는 반드시 필요하며, 따라서 ANT의 관점에서 과학 활동을 해석하는 시도는 과학 지식의 구성 과정에 인간 행위자뿐만 아니라 비인간 행위자의 역할에도 조명할 수 있는 방법이 된다. 이러한 관점은 특히 사물, 클라우드나 사이버 공간, 인공지능과 같은 비인간 행위자와의 상호 작용이 증가하고 있는 현 시대에 더욱 필요하다고 할 수 있다.

이렇듯, 본 연구는 급격하게 변화하는 사회에 효과적으로 적응하고 다양한 가치를 누릴 수 있는 인간을 양성하기 위한 방법을 탐색하는 과정에서 기존의 방법과는 다른 새로운 교육 연구 방법을 제안하고자 하였다.

## 3. 제언

본 연구는 소수의 과학영재학교 학생을 대상으로 한 질적 사례 연구이기 때문에 연구 결과를 일반화하기에는 어려움이 있다. 그러나 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램을 개발하고 프로그램을 거치면서 나타나는 학생들의 연구 주제 도출 과정과 과학적 실행을 ANT의 관점에서 살펴봄

으로써 데이터 리터러시가 학생들이 과학자로 성장하는데 어떤 기여를 할 수 있는지 알아보았고, 이를 통해 과학 지식 생산 과정에 대한 새로운 시각을 제공하고자 하였다는데 그 의의가 있다. 이러한 연구의 제한점과 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에 참여한 학생들에 대한 종단적 연구가 필요하다. 본 연구에 참여한 학생들은 데이터 리터러시를 바탕으로 자신만의 지식을 구성하고 기입을 통해 이를 물상화함으로써 지식의 확산을 시도했다. 지식의 구성과 확산은 학생들이 다른 인간 행위자 및 비인간 행위자와 더 많은 상호 작용을 하면서 강한 네트워크를 형성시키는 과정이다. 따라서 데이터가 학생들이 과학자로 성장하는데 어떤 행위력을 발휘하였는지 더 명확하게 알아보려면 학생들에 대한 종단적 연구를 통해 R&E 프로그램 안에서 구성된 네트워크가 프로그램 밖의 더 큰 네트워크와 연결되는 과정을 살펴보는 것이 필요하다. 이러한 시도는 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램에서 상호작용한 인간 행위자와 비인간 행위자에 대한 심층적인 이해를 제공할 수 있을 것이다. 더불어 이 같은 이해를 바탕으로 다양한 수준의 학생들이 참여할 수 있는 R&E 프로그램 개발을 시도할 수도 있을 것이다. 본 연구의 데이터 리터러시를 강화한 R&E 프로그램은 과학영재학교 학생을 대상으로 개발되었기 때문에 내용이나 수준에서 모든 학생들에게 적용하기에는 다소 어려움이 있다. 과학영재학교 학생들이 아니더라도 R&E 프로그램을 통한 과학자 활동을 경험하면서 과학적 소양을 함양할 필요가 있으며, 또한 최근 기술이 발전함에 따라 데이터를 선별하고, 이해하고, 활용할 수 있는 능력인 데이터 리터러시가 주목받고 있는바, 많은 학생들이 이를 함양할 수 있는 기회가 제공되어야 할 것이다.

둘째, 번역의 단계를 구분할 수 있는 보편적인 방법을 살펴보아야 한

다. 본 연구에서는 학생들이 연구 주제 도출 네트워크가 구성되는 과정을 Callon(1984)이 제시한 번역의 4단계로 파악하고자 하였다. 새로운 네트워크를 만드는 번역의 과정은 ANT 연구자들에게서 비슷하게 나타나지만 그것을 구성하는 단계나 계기가 조금씩 다른 방식으로 정의되는 경우가 있다. 또한 ANT에서는 모든 네트워크가 서로 다른 특이성이 있고, 독특하며, 예측할 수 없는 방식으로 변화하기 때문에 일반화나 예측을 추구하지 않는다(홍성욱, 2010, pp. 26-29). 이러한 이유로 네트워크의 구성 과정의 단계를 명확하게 구분하기 어렵다. 그러나 학생이 다른 행위자들과 어떤 상호 작용을 하면서 네트워크가 구성되어 가는지, 그리고 단계에 따라 상호 작용의 형태와 양상이 어떻게 달라지는지에 대한 교육 분야의 연구가 더욱 많이 이뤄진다면 이제까지 상대적으로 주목을 덜 받아왔던 비인간 행위자의 행위력에 대한 새로운 인식과 더불어 번역의 단계에 맞는 교사의 적절한 처방이 어떤 것인지에 대한 판단도 가능할 것이다.

마지막으로, 과학 교사에게 새로운 기술이나 도구를 활용할 수 있는 능력을 키울 수 있는 기회가 제공되어야 한다. 구체적으로는 R&E 프로그램을 포함한 여러 교육 환경에서 새로운 기술과 도구들을 활용한 교육이 이뤄질 수 있도록 다양한 교사 연수 프로그램과 구체적 학습자료 개발에 관심을 가질 필요가 있다. Paledi와 Alexander(2017)는 네트워크의 안정적 유지를 위한 속성 중 하나로 네트워크를 구성하는 행위자들이 새로운 기술의 필요성을 인식하고 이에 대한 훈련을 이해하고 받아들일 수 있는 태도를 제시하였다. 또한 새로운 기술을 제시하는 입장에 있는 행위자는 새로운 기술에 대한 스스로의 불안을 줄이기 위해 항상 배워야 하며, 배움을 활용하여 다른 행위자가 그 기술을 활용할 수 있는 동기 부여의 전략을 수립하여야 한다고도 했다. 이러한 관점에서 볼 때, 교사는 급격히 변화하고 있는

현대 사회에 더 효과적으로 적응하기 위해서는 새로운 기술과 도구들을 익힐 필요가 있음을 학생들에게 지속적으로 인식시킴과 더불어 스스로 이러한 기술과 도구들을 활용할 수 있는 능력을 함양하는 훈련을 함으로써 이를 교육 환경에 체계적으로 적용할 수 있어야 할 것이다. 지식정보화사회, 초연결사회에서는 다양한 분야의 지식이 융합되는 사례가 나타나고 있으며, 이는 과학 교과 분야에서도 과학과 더불어 기술, 공학, 정보, 수학 등의 다양한 분야의 지식을 익힐 필요성이 있다는 것을 의미한다. 이에 적응하기 위한 시도로 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 등의 최신 기술과 데이터 과학, 설계, 공학 시뮬레이션 등 과목을 초월한 내용을 다루는 교사 연수나 연구회가 점차 활성화되고 있는 점은 고무적이지만, 일부 교과나 관심 있는 교사에 그 범위가 한정되어 운영되고 있어 이를 확산시키는 노력이 필요하다. 또한 이를 바탕으로 실제적이고 구체적인 학습자료 개발이 이루어져야 한다.

# 참 고 문 헌


강남화, 이은미. (2013). 2009 개정 과학교육과정에 따른 고등학교 물리 교과서 탐구활동 분석. **한국과학교육학회지, 33**(1), 132-143.

강성주, 김현주, 이길재, 권영식, 김명희, 김연숙, 김윤화, 신호심, 임희영, 하지희. (2009). R&E 프로그램에 대한 과학영재고등학생들의 인식 연구. **한국과학교육학회지, 29**(6), 626-638.

곽혜정. (2020). 과학영재의 R&E 문제 구성과 과학 실천에 대한 연구. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.

교육부. (2015). **2015 개정 과학과 교육과정**.

교육부. (2018). **제4차 영재교육진흥종합계획[2018~2022]**.

교육부. (2019). **미래세대 과학교육표준**.

김경대, 심재영. (2008). R&E 프로그램을 체험한 과학영재들의 사사교육 프로그램 효과에 대한 인식: KAIST 신입생을 중심으로. **한국과학교육학회지, 28**(4), 282-290.

김기향, 장하석, 백성혜. (2019). 2009 및 2015 개정 교육과정의 화학 교과서에서 모델 관련 내용 분석: 수용액 전기 분해를 중심으로. **대한화학회지, 63**(4).

김미현. (2020). 초등교사 간 비공식적 의사소통의 효과에 대한 연구. **초등교육연구, 33**(4), 217-243.

김석전, 김태영. (2017). 데이터 리터러시를 강조한 CT 기반 문제해결수업의 설계. **한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 21**(1), 3-8.

김영란. (2019). 학문적 리터러시(disciplinary literacy)의 의미, 전제, 도전. **한국리터러시학회 전국학술대회 자료집**, 107-113.

김영민. (2019). 고등학교 과학 논의 수업에서의 학생 상호작용 탐색: 담화 분석과 행위자 네트워크 이론의 활용. 한국교원대학교 대학원 석사 학위 논문.

김진영. (2016). **헬로 데이터 과학.** 한빛미디어.

김현욱. (2020). 학업적 실패에 대한 일고찰. **학습자중심교과교육연구, 20**(4), 873-892.

김환석. (2001). STS(과학기술학)와 사회학의 혁신: 행위자-연결망 이론(ANT)을 중심으로. **한국사회학회 사회학대회 논문집**, 387-409.

김환석. (2005). 행위자-연결망 이론(Actor-Network Theory)에 대한 이해. **한국과학기술학회 강연/강좌자료**, 137-157.

김환석. (2017). 인공지능 시대를 보는 이론적 관점들. **사회와이론**, 41-62.

두산백과. (2021년 8월 21일). 데이터. *NAVER 지식백과*. https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1082441&cid=40942&categoryId=32840

류경윤. (2017). 과학고등학교 학생들의 Research & Education(R&E) 프로그램에 대한 인식 조사 연구. 공주대학교 교육대학원 석사학위 논문.

박경애, 손유미. (2020). 전구 대양의 극저 해수면 온도 공간 분포와 지구과학 교과서 데이터 시각화 분석. **한국지구과학회지, 41**(6), 599-616.

박휴용. (2021). 포스트휴머니즘의 등장과 학습 패러다임의 변화. *Global Creative Leader: Education & Learning, 11*(1), 45-71.

방승진, 최중오. (2010). 수학 학문적 창의성 신장을 위한 멘토십 프로그램 모형 개발. **영재교육연구, 20**(1), 205-229.

배화순. (2019). 데이터 리터러시의 사회과 교육적 함의. **시민교육연구, 51**(1), 95-120.

설양환. (2019). 초등학생을 위한 프로젝트학습 지도안 모형 개발. **교육논총, 56**, 100-114.

손미현. (2020). 지식정보처리역량 함양을 위한 데이터 기반 과학탐구 모형 개발. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

손미현, 정대홍. (2018). 지식정보처리역량에 대한 과학 교사의 인식 조사. **한국과학교육학회지, 38**(5), 693-703.

손미현, 정대홍. (2020). 지식정보처리역량 함양을 위한 데이터 기반 과학탐구 모형 개발. **한국과학교육학회지, 40**(6), 657-670.

송유경. (2021). 데이터 리터러시 향상을 위한 데이터 기반 토론 수업 모형 개발. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

양현주. (2005). 중학생의 '개방적 탐구 계획하기' 활동에서 탐구 과정과 학생의 개념체계에 대한 사례 분석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

오필석. (2020). 과학 교육에서 기능 중심의 과학 탐구에 대한 비판적 고찰. **한국과학교육학회지, 40**(2), 141-150.

유은정, 변태진, 백종호, 심현표, 유금복, 이동원. (2021). 과학교육에서 탐구 관련 국외 연구 동향-탐구의 인식과 관점, 전략과 지원, 교사 전문성의 관점에서. **한국과학교육학회지, 41**(1), 33-46.

유준희, 김종숙. (2012). 중학생의 소집단 자유탐구활동 중 물리 영역 탐구 문제의 구성과 변인 추출 및 명료화 과정. **한국과학교육학회지, 32**(5), 903-927.

윤현정, 김희백. (2018). 자유탐구 활동에서 나타난 과학고등학교 학생들의 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성 탐색. **한국과학교육학회지, 38**(4), 페이지: 541-553.

이민주. (2016). R&E 프로그램을 통한 과학고등학교 학생의 실행공동체 참여 발달과 정체성 변화. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

이민주, 김희백. (2019). 학생 주도의 R&E 활동에서 드러나는 연구 활동의 주요 단계 및 학생의 인식적 행위주체성. **한국과학교육학회지, 39**(4), 511-523.

이선길. (2006). 고등학교 과학영재를 위한 사사 연구(R&E) 프로젝트 학습 모형의 개발과 적용. 이화여자대학교 대학원 박사학위 논문.

이재윤. (2015). 데이터 사이언스와 데이터 리터러시. **한국정보관리학회 학술대회 논문집**, 11-15.

이종혁, 유금복, 박정우, 윤혜경, 박형용, 이선경. (2021). 행위자-네트워크 이론으로 본 과학적 실행의 교육적 함의. **교과교육학연구, 25**(2), 133-150.

이지선, 김성원. (2018). 고등학교 과제 연구 수업에서 탐구 문제 도출 과정 탐색. **한국과학교육학회지, 38**(3), 319-329.

이진숙, 김은주, 김대현. (2017). 2015 개정 과학과 공통 교육과정에서의 핵심역량-교과역량, 교과역량-성취기준의 관계 분석. **통합교육과정연구, 11**(2), 1-25.

이창윤, 홍훈기. (2018). 메이커 활동에 기반을 둔 화학 탐구 R&E 프로그램의 사례연구. **학습자중심교과교육연구, 18(18)**, 131-154.

이효녕, 조현준. (2008). 과학영재 교육에서 자율탐구활동의 의미와 중요성에 대한 이론적 고찰. **과학교육연구지, 32**(2), 33-50.

정용재. (2020a). '설다'와 '익다'의 너나들이 -이종네트워크로서 과학학습-. **한국과학교육학회지, 40**(6), 631-648.

정용재. (2020b). 이종네트워크 관점이 교육실습에 주는 함의 탐색. **교육실습연구, 2**(1), 1-12.

정은주, 손정우. (2019). 데이터 기반 과학탐구에 대한 초등학생의 인식 조사. **과학교육연구지, 43**(2), 227-238.

정하나, 전영석. (2012). 우리나라와 싱가포르의 초등학교 과학 교과서에 제시된 물리 영역 탐구 활동의 특징 비교. **과학교육연구지, 36**(1), 139-152.

정현철, 류춘렬, 채유정. (2012). 과학고 및 영재고 Research and Education (R&E) 운영실태 분석 및 활성화방안 제안: R&E 운영담당자 면담사례를 중심으로. **영재교육연구, 22**(2), 243-264.

조인성. (2021). 행위자 네트워크론에 기초한 지역학습의 실천: 단양 지역을 사례. 서울교육대학교 교육전문대학원 석사학위 논문.

최유정. (2021). 실제적 데이터를 활용한 생명과학 수업이 고등학생의 데이터 리터러시와 그래프 능력에 미치는 영향. 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문.

최종근, 김찬종. (2022). R&E 프로그램의 운영 방식에 따른 과학영재학교 졸업생들의 인식 차이 연구. **학습자중심교과교육연구, 22**(8), 571-586.

최호성. (2003). 중등 영재 판별과 교육 프로그램의 비판적 검토. **영재교육연구, 13**(4), 1-28.

최호성, 박경희. (2015). 과학영재학교 자율탐구활동 (R&E) 프로그램에 대한 학생의 인식 분석. **학습자중심교과교육연구, 15**(2), 409-431.

한국교육개발원. (2019). **2019 영재교육 통계연보**.

한상우. (2020). 인문학 기반 데이터 리터러시 모형 설계에 관한 연구. **정보관리학회지, 37**(1), 179-195.

홍남인, 이경택, 최혁준. (2020). 예비교사를 위한 PBL 기반 과학· 기술 융합 프로그램 개발 및 적용. *Brain, Digital, & Learning, 10*(4), 431-442.

홍성욱 엮음. (2010). **인간·사물·동맹: 행위자네트워크 이론과 테크노사이언스.** 이음.

홍지연, 김영식. (2020). 초등학생의 데이터 리터러시 함양을 위한 AI 데이터 과학 교육 프로그램 개발. **정보교육학회논문지, 24**(6), 633-641.

Athanases, S. Z., Bennett, L. H., & Wahleithner, J. M. (2013). Fostering data literacy through preservice teacher inquiry in English language arts. *The Teacher Educator, 48*(1), 8-28.

Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The clearing house, 83*(2), 39-43.

Betts, G. T., & Neihart, M. (1988). Profiles of the gifted and talented. *Gifted Child Quarterly, 32*, 248-253.

Bhargava, R., Deahl, E., Letouzé, E., Noonan, A., Sangokoya, D., & Shoup, N. (2015). Beyond data literacy: Reinventing community engagement and empowerment in the age of data.

Brogan, D. S., McDonald, W. M., Lohani, V. K., Dymond, R. L., & Bradner, A. J. (2016). Development and classroom implementation of an environmental data creation and sharing tool. *Advances in Engineering Education, 5*(2), n2.

Brown, P. L., Abell, S. K., Demir, A., & Schmidt, F. J. (2006). College science teachers' views of classroom inquiry. *Science education, 90*(5), 784-802.

Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms: Understanding a framework for K-12 science education. *Science and Children, 49*(4), 10.

Callon, M. (1984). Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. *The sociological review, 32*(1), 196-233.

Carlson, J., Fosmire, M., Miller, C. C., & Nelson, M. S. (2011). Determining data information literacy needs: A study of students and research faculty. *portal: Libraries and the Academy, 11*(2), 629-657.

Carroll, M. (2018). Understanding curriculum: An actor network theory approach. *SiSAL Journal, 9*(2), 247-261.

Caton, E., Brewer, C., & Brown, F. (2000). Building teacher scientist partnerships: Teaching about energy through inquiry. *School Science and Mathematics, 100*(1), 7-15.

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory*. Sage.

Clifford, M. M. (1984). Thoughts on a theory of constructive failure. *Educational Psychologist, 19*(2), 108-120.

Comeaux, P., & Huber, R. (2001). Students as scientists: Using interactive technologies and collaborative inquiry in an environmental science project for teachers and their students. *Journal of Science Teacher Education, 12*(4), 235-252.

Corbin, J. M., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative sociology, 13*(1), 3-21.

Creswell, J. (2013). **질적 연구방법론 - 다섯가지 접근-** (조흥식, 정선욱, 김진숙, 권지성 역). 학지사. (Original work published 2007)

Elam, M., Solli, A., & Mäkitalo, Å. (2019). Socioscientific issues via controversy mapping: bringing actor-network theory into the science classroom with digital technology. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education, 40*(1), 61-77.

Erduran, S. (2015). Introduction to the focus on… scientific practices. *Science Education, 99*(6), 1023-1025.

Fenwick, T., & Edwards, R. (2011). Introduction: Reclaiming and renewing actor network theory for educational research. *Educational Philosophy and Theory, 43*(sup1), 1-14.

Ford, M. J. (2015). Educational implications of choosing "practice" to describe science in the next generation science standards. *Science Education, 99*(6), 1041-1048.

Ford, M. J., & Forman, E. A. (2006). Redefining disciplinary learning in classroom contexts. *Review of research in education, 30*(1), 1-32.

Furtak, E. M., & Penuel, W. R. (2019). Coming to terms: Addressing the persistence of "hands on" and other reform terminology in the era of science as practice. *Science education, 103*(1), 167-186.

Glaser, B. G. (1965). The constant comparative method of qualitative analysis. *Social problems, 12*(4), 436-445.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2003). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education, 88*(1), 28-54.

Houseal, A. K., Abd-El-Khalick, F., & Destefano, L. (2014). Impact of a student - teacher - scientist partnership on students' and teachers' content knowledge, attitudes toward science, and pedagogical practices. *Journal of Research in Science Teaching, 51*(1), p. 84-115.

Hsu, P. L., van Eijck, M., & Roth, W. M. (2010). Students' representations of scientific practice during a science internship: Reflections from an activity theoretic perspective. *International Journal of Science Education, 32*(9), 1243-1266.

Hug, B., & McNeill, K. L. (2008). Use of first hand and second hand data in science: Does data type influence classroom conversations?. *International Journal of Science Education, 30*(13), 1725-1751.

Hunter, A. B., Laursen, S. L., & Seymour, E. (2007). Becoming a scientist: The role of undergraduate research in students' cognitive, personal, and professional development. *Science education, 91*(1), 36-74.

Kelleher, J. & Tierney, B. (2019). **더 나은 의사결정을 위한 통찰의 도구 데이터 과학** (권오성 역). 김영사. (Original work published 2018)

Latour, B. (1990). On actor-network theory. A few clarifications, plus more than a few complications. *Philosophia, 25*(3), p. 47-64.

Latour, B. (2009). **우리는 결코 근대인이었던 적이 없다** (홍철기 역). 갈무리. (Original work published 1991)

Latour, B. (2012). **브뤼노 라투르의 과학인문학 편지** (이세진 역). 사월의 책. (Original work published 2010)

Latour, B. (2016). **젊은 과학의 전선 -테크노사이언스와 행위자-연결망의 구축** (황희숙 역). 아카넷. (Original work published 1987)

Latour, B. (2017). On actor-network theory. A few clarifications, plus more than a few complications. *Philosophical Literary Journal Logos, 27*(1), 173-197.

Latour, B. (2018). **판도라의 희망** (장하원, 홍성욱 역). Humanist. (Original work published 1999)

Latour, B., & Woolgar, S. (2018). **실험실 생활** (이상원 역). 한울아카데미. (Original work published 1986)

Law, J. (1992). Notes on the theory of the actor-network: Ordering, strategy, and heterogeneity. *Systems practice, 5*(4), 379-393.

Liew, A. (2007). Understanding Data, Information, Knowledge And Their Inter-Relationships. *Journal of Knowledge Management Practice, 7*(2), 1-16.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage.

Mandinach, E. B., & Gummer, E. S. (2013a). Defining data literacy: A report on a convening of experts. *Journal of Educational Research and Policy Studies, 13*(2), 6-28.

Mandinach, E. B., & Gummer, E. S. (2013b). A systemic view of implementing data literacy in educator preparation. *Educational Researcher, 42*(1), 30-37.

Martin, E. E., & Howell, P. D. (2001). Active inquiry, web-based oceanography exercises. *Journal of Geoscience Education, 49*(2), 158-165.

Mody, C. C. (2015). Scientific practice and science education. *Science Education, 99*(6), 1026-1032.

Nagowah, L., & Nagowah, S. (2009). A reflection on the dominant learning theories: Behaviourism, cognitivism and constructivism. *International Journal of Learning, 16*(2), 279-286.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas.* National Academies Press.

National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press.

Nespor, J. (2011). Devices and educational change. *Educational Philosophy and Theory, 43*, 15-37.

Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education, 25*(2), 177-196.

Otto, J. L. (2012). Assessing and improving data literacy: A study with urban and regional planning students. *PNLA Quarterly, 76*(4), 5-23.

Paledi, V. N., & Alexander, P. M. (2017). Actor network theory to depict context sensitive m-learning readiness in higher education. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 83(1), 1-26.

Qin, J., & D'Ignazio, J. (2010). Lessons learned from a two-year experience in science data literacy education. *International Association of Scientific and Technological University Libraries 31st Annual Conference*, 188-204.

Rod Watson, J., & McRobbie, C. (2004). Students' discussions in practical scientific inquiries. *International Journal of Science Education, 26*(1), 25-45.

Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. *Review of educational research, 68*(1), 35-59.

Sanderson, B. A., & Kratochvil, D. W. (1971). *Science--A Process Approach, Product Development Report No. 8.* Office of Program Planning and Evaluation. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 064066)

Schultheis, E. H., & Kjelvik, M. K. (2020). Using messy, authentic data to promote data literacy and reveal the nature of science. *The American Biology Teacher, 82*(7), 439-446.

Shields, M. (2005). Information literacy, statistical literacy, data literacy. *IASSIST quarterly, 28*(2-3), 6-6.

Snaza, N., Appelbaum, P., Bayne, S., Carlson, D., Morris, M., Rotas, N., Sandlin, J., Wallin, J., & Weaver, J. A. (2014). Toward a posthuman education. *Journal of Curriculum Theorizing, 30*(2), 39-55.

Stroupe, D. (2015). Describing "science practice" in learning settings. *Science Education, 99*(6), 1033-1040.

Tang, K. S. (2019). Scientific practices as an actor-network of literacy events: Forging a convergence between disciplinary literacy and scientific practices. In *Theorizing the Future of Science Education Research* (pp. 83-98). Springer.

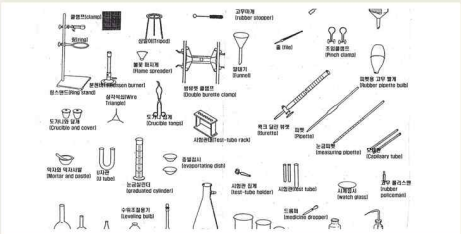
Vahey, P., Rafanan, K., Patton, C., Swan, K., van't Hooft, M., Kratcoski, A., & Stanford, T. (2012). A cross-disciplinary approach to teaching data literacy and proportionality. *Educational Studies in Mathematics, 81*(2), 179-205.

Wong, L., & Tatnall, A. (2010). Factors determining the balance between online and face-to-face teaching: An analysis using actor-network theory. *Journal of Information, Knowledge & Management, 5*.

Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science Education, 23*(4), 383-399.

[부록 1] 데이터 수집 도구 소개 자료(일부)

▣ 과학실 실험기구

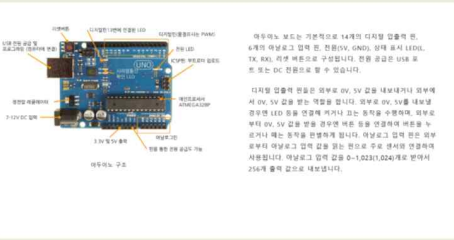


▣ MBL(Vernier)

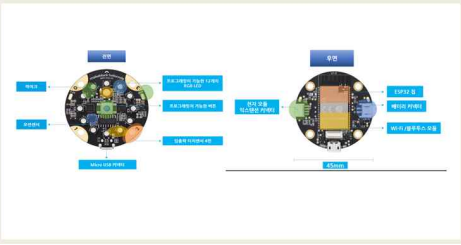
| | |
|---|---|
| 한글 데이터로거 인터페이스 | 힘 센서 |
| 한글 로거프로 LCD 프로그램 세트 | 편압 센서 |
| 풍속 센서 | pH 센서 |
| 기압 센서 | 거계 압력 센서 |
| 용존 산소 센서 | 차동 전압 센서 |
| 조도 센서 | 바이오 챔버 |
| 자기장 센서 | 마이크로폰 |
| 상대 습도 센서 | 포토게이트 |
| 토양 습도 센서 | 전문 센서 |
| 염도 센서 | 도르래 |
| 산소 센서 | 색도계 |
| 이산화탄소 센서 | 발광 계수기 |
| 운동 센서 | 산화-환원 센서 |

▣ 아두이노

▣ 아두이노

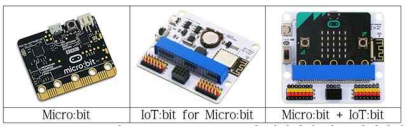


▣ 할로코드



▣ 할로코드

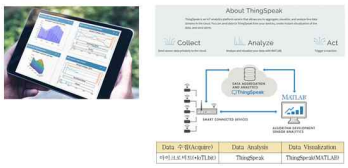
▣ 마이크로비트



| Micro:bit | IoT:bit for Micro:bit | Micro:bit + IoT:bit |
|---|---|---|

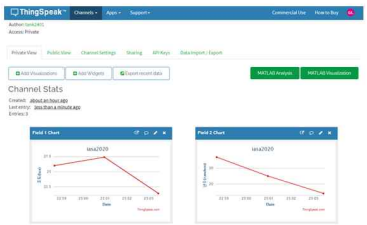
- Iot:bit for Micro:bit에는 ESP8266 wifi 모듈이 내장되어 있는 와이파이 확장 보드로서, 마이크로비트의 센서로 수집되는 데이터를 인터넷 환경에서 클라우드 시스템에 데이터 로깅을 가능하게 해주기 때문에 간단하게 IoT 시스템을 구현하는 데 효과적으로 활용할 수 있다.

▣ ThingSpeak




- ThinkSpeak(https://thingspeak.com/)는 클라우드에서 아두이노, 마이크로비트와 같은 디바이스를 통해 수집되는 데이터를 MATLAB을 이용해 분석하고 시각화 할 수 있는 툴을 제공한다.

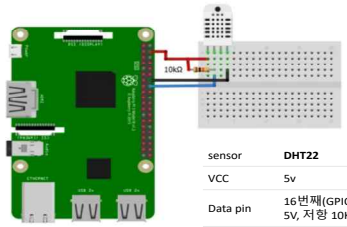
▣ ThingSpeak




▣ 노트북?

# [부록 2] 라즈베리파이로 데이터 수집하기 실습 자료(일부)

### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(온도, 습도)




| sensor | DHT22 |
|---|---|
| VCC | 5v |
| Data pin | 16번째(GPIO 23)<br>5V, 저항 10KΩ |
| GND | GND |

### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(온도, 습도)

DHT22 Library 설치

1단계: git에서 라이브러리 다운
  git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT.git

2단계: 폴더 이동
  cd Adafruit_Python_DHT

3단계: 필요한 모듈을 다운로드
  sudo apt-get install build-essential python-dev

4단계: 라이브러리 설치
  sudo python setup.py install

### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(온도, 습도)

```
import sys
import urllib2
import time
import Rpi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT as dht

writeAPI = '본인의 ThingSpeak write API Key'
baseURL = 'https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s' % writeAPI

def DHT22_data():
    humi, temp = dht.read_retry(dht.DHT22, 23)
    return humi, temp

while True:
    try:
        humi, temp = DHT22_data()
```

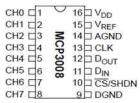
### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(온도, 습도)

```
        if isinstance(humi, float) and isinstance(temp, float):

            humi = '%.2f' % humi
            temp = '%.2f' % temp

            conn = urllib2.urlopen(baseURL + '&field1=%s&field2=%s'
            % (temp, humi))
            print conn.read()
            conn.close()
        else:
            print 'Error'
        sleep(20)
    except:
        break
```

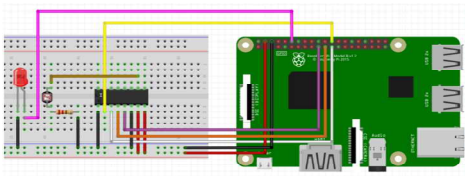
### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(조도)

아두이노 : 아날로그, 디지털 입력 가능
라즈베리파이의 GPIO : 디지털 입력만 가능

라즈베리파이는 ADC(Analog Digital Converter)가 없음.
라즈베리파이에서 아날로그 센서를 사용할 경우 ADC 연결해야 함.

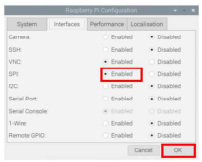



### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(조도)



### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(조도)

메뉴 – Perferences – Rasberry Pi Configration




sudo nano /etc/modules  #나노 편집기을 사용
마지막 줄에 spidev라고 추가

### 라즈베리파이 GPIO 사용하기(조도)

sudo apt-get install python-dev

cd py-spidev
sudo python setyp.py install

cd ~  #홈으로 이동

sudo nano mcp3008.py
#나노 편집기 열기

```
import spidev, time
import RPi.GPIO as GPIO

led = 18
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(led,GPIO.OUT)
spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)
spi.max_speed_hz=1350000

def analog_read(channel):
    r = spi.xfer2([1, (8+channel) << 4,0])
    adc_out = ((r[1]&3)<<8)+r[2]
    return adc_out

while True:
    reading = analog_read(1)
    voltage = reading * 3.3/1024
    print("Reading=%d\tVoltage=%f"%(reading, voltage))
    time.sleep(1)
    if reading < 100:
        GPIO.output(led,GPIO.HIGH)
        print("LED ON")
    else :
        GPIO.output(led,GPIO.LOW)
        print("LED OFF")
```

[부록 3] 기상 데이터 시각화 및 예측 실습 자료



1학년 (  )반 (  )번 이름: (  )

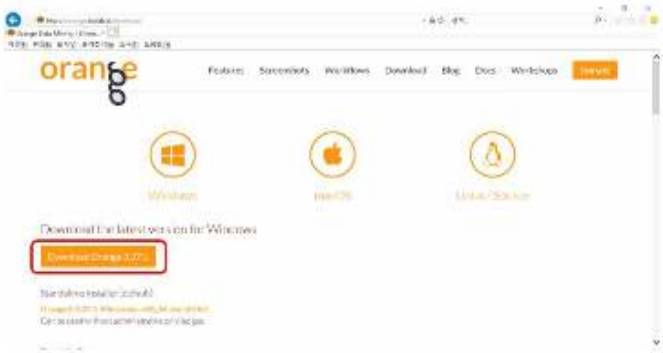
## Orange3를 이용한 기상 데이터 시각화 및 예측

■ 도입

- 지난 100년 동안 우리가 살고 있는 인천 지역의 기온은 어떻게 변해왔을까?
- 우리가 살고 있는 인천 지역의 기상 데이터를 어디서 얻고, 어떻게 시각화 시킬 수 있을까?
- 이미 관측된 기상 데이터(온도, 습도, 이슬점온도, 기압, 풍향/풍속, 강수량 등)로부터 미래의 기상 요소(온도)를 예측할 수 있을까?

■ 탐구1

① Orange3 PC 버전을 다운로드(https://orange.biolab.si/download/#windows > Download the latest version for Windows) 받고, 소프트웨어를 설치한다.

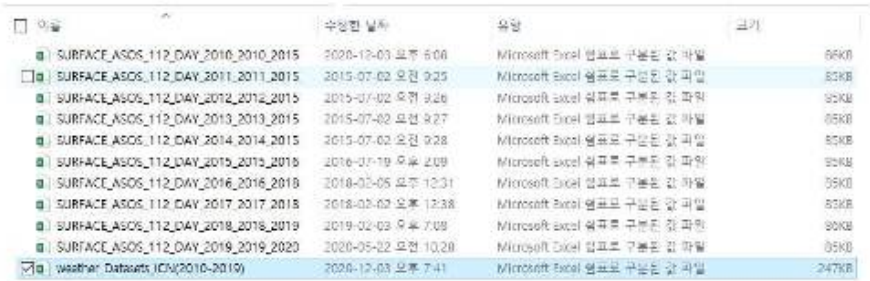



② 다운로드한 파일(Orange-3.27.x)을 설치한다. (이때 Miniconda 환경도 함께 설치가 진행됨)

1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)

③ 기상청의 기상자료개발 포털에서 인천 지역의 기상 데이터를 수집한다.
(https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRItmList.do?pgmNo=36&tabNo=1)
데이터 > 기상 관측 > 지상 > 종관기상관측(ASOS)

④ 과거 10년(2010-2019)의 기상데이터를 csv파일로 다운로드 받은 후(*로그인 필요함), 하나의 파일로 통합한다.



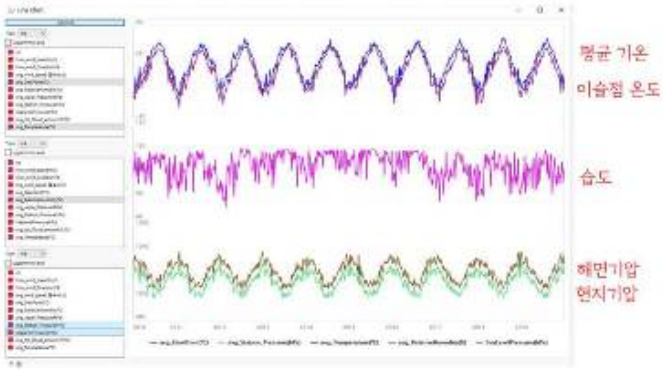
| 이름 | 수정한 날짜 | 유형 | 크기 |
|---|---|---|---|
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2010_2010_2015 | 2020-12-03 오후 6:06 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 66KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2011_2011_2015 | 2015-07-02 오전 9:25 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 63KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2012_2012_2015 | 2015-07-02 오전 9:26 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2013_2013_2015 | 2015-07-02 오전 9:27 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2014_2014_2015 | 2015-07-02 오전 9:28 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2015_2015_2016 | 2016-07-19 오후 2:09 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2016_2016_2018 | 2018-02-05 오후 12:31 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2017_2017_2018 | 2018-02-02 오후 12:38 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 63KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2018_2018_2019 | 2019-02-03 오후 7:09 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 90KB |
| SURFACE_ASOS_112_DAY_2019_2019_2020 | 2020-05-22 오전 10:28 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 65KB |
| weather Datasets (CSV(2010-2019)) | 2020-12-03 오후 7:41 | Microsoft Excel 쉼표로 구분된 값 파일 | 247KB |

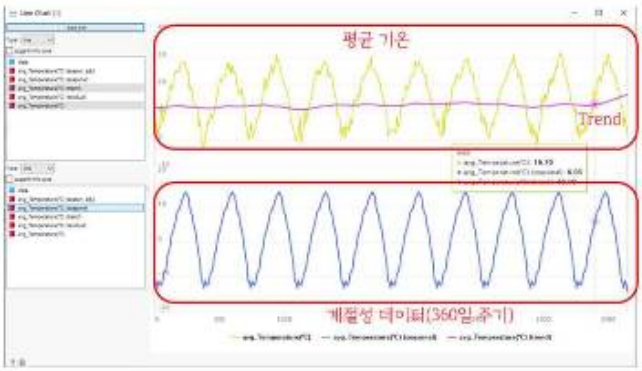
⑤ Orange 프로그램을 실행하고 기상데이터를 불러온다.

⑥ [Select Columns] 위젯을 이용해 시각화를 원하는 데이터(feature)를 선택하고, 시계열 데이터를 시각화하기 위해 [As Timeseries] 위젯을 배치하고, [Line Chart] 위젯을 이용하여 시각화 자료를 확인한다.

1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)

⑦ [Select Columns] 위젯을 추가하여 기온 데이터(feature)를 선택하고, 시계열 분석(Seasonality(계절성)과 Trend(추세)) 및 시각화를 위해 [As Timeseries]-[Seasonal Adjustment] 위젯을 연달아 배치하고, [Line Chart] 위젯을 이용하여 기온에 대한 시계열 분석 자료를 시각화하여 나타낸다.

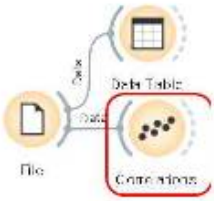


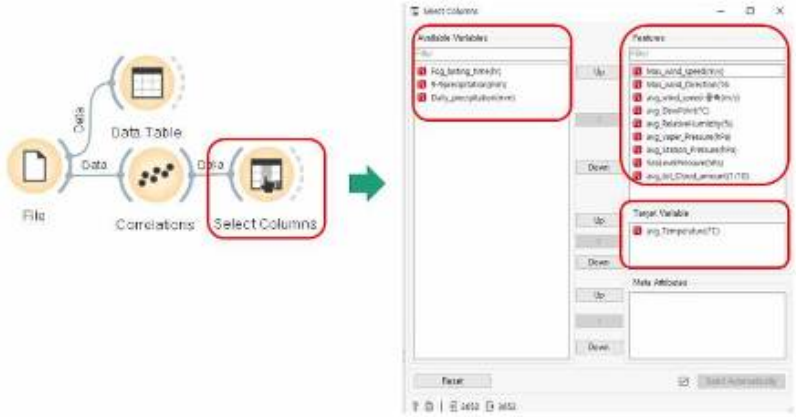
1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)

■ 탐구2

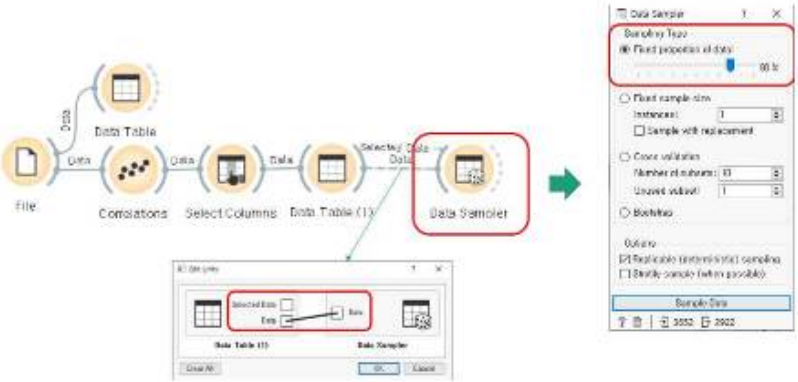
① Orange3에서 기상 관측 데이터셋을 불러온 후, 관측값들 사이의 상관관계를 파악한다.




② 데이터 테이블로부터 특징을 파악하기 위한 자료(Features)들과 목표값(Target Variable)을 설정한다.

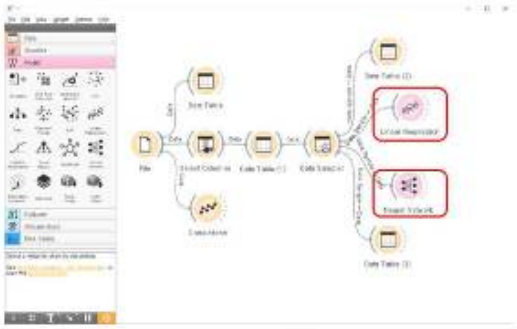



③ 모델 학습을 위해 데이터 샘플링(train datasets:80%, test datasets:20%)을 수행 한다.

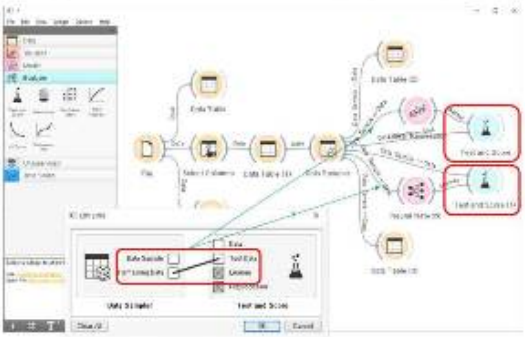


1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)

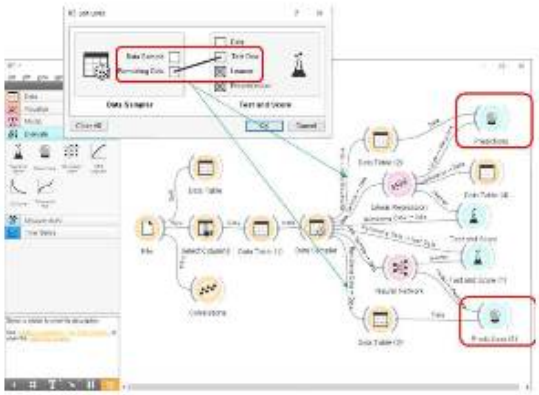
④ 머신러닝 모델을 선택하고, 훈련시킨다.



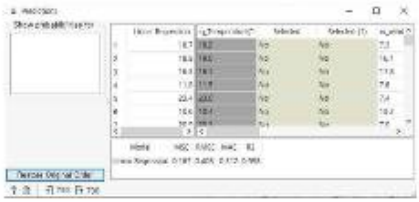
⑤ test datasets(Remaining Data)을 이용하여 모델 테스트 및 평가를 수행하고, 평가 결과 확인한다.



⑥ 새로운 데이터셋을 이용하여 학습된 모델로 기온을 예측해보고, 모델에 따른 예측 정확도를 확인한다.



1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)



■ **생각해보기**

1. 기상자료포털에서 과거 10년(2010-2019) 동안의 일(日) 종관기상관측 자료를 다운로드 받고, 하나의 파일(*.csv)로 합치는 과정을 설명하시오.

| 종관기상관측 자료 다운로드 방법 | 다운로드 받은 면단위 데이터를 연속적으로 합치고, 처리하는 방법 |
|---|---|
| | |

2. Orange3에서 기상자료의 측정값을 시각화하기 위한 과정을 서술하시오.

3. Orange3에서 기상 자료 중에서 기온에 대해 시계열 분석(Seasonality(계절성)과 Trend(추세)) 및 시각화하는 과정을 서술하시오.

4. 기상 자료 시각화를 통해 10년 동안의 기후 변화(평균 기온)의 경향성에 대해 설명하시오.

1학년 (  )반 (  )번 이름: (  )

5. 기상 데이터 시각화를 통해, 평균 기온과 가장 상관관계가 높다고 생각하는 데이터를 관성이 큰 것부터 순서대로 적으시오.

| 순번 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기상요소 | | | | | |

6. Orange3에서 기상 데이터셋의 기계학습을 통해 기온 예측[Prediction]을 위해 데이터를 학습, 평가, 예측하는 데 필요한 위젯을 캔버스에 배치하고, 작업 순서를 선으로 연결하여 작성하시오.

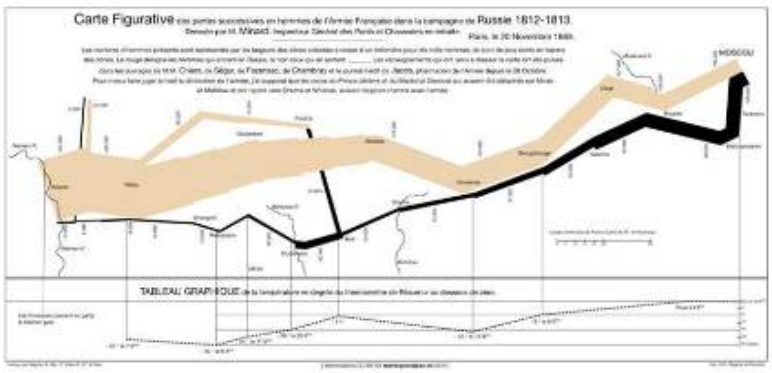
7. 선형 회귀(Linear Regression)모델에서 기계학습을 하는 알고리즘을 조사하고, 원리를 정리하여 서술하시오.

8. 신경망(Neural Network)모델에서 기계학습을 하는 알고리즘을 조사하고, 원리를 정리하여 서술하시오.

1학년 (　　)반 (　　)번 이름: (　　)

## 학생활동자료(프로젝트자료)

**프로젝트01** 아래는 역사상 가장 유명한 시각적 표현으로 샤를 조셉 미나르가(Charies Joseph Minard) 1812~1813년에 있었던 러시아 전투에서 프랑스군 사상자를 시각적으로 표현한 조형 지도이다. 이와 같은 데이터 시각화 자료를 조사하고 각 자료의 장단점에 대해 분석해 보시오.




**프로젝트02** 아래 사이트는 다양한 데이터 비주얼 도구를 소개하는 사이트이다. 이 사이트에서 소개하는 툴을 사용하여 데이터를 시각화 해보시오.

http://selection.datavisualization.ch/

1학년 (  )반 (  )번 이름: (  )

■ 다양한 데이터 수집처

- 기상청 기상자료개방포털: https://data.kma.go.kr/
- 한국환경공단: https://www.airkorea.or.kr/web
- 서울시 열린데이터광장: http://data.seoul.go.kr/dataList/datasetList.do
- 네이버 데이터랩: https://datalab.naver.com/shoppingInsight/sCategory.naver
- 캐글: https://www.kaggle.com/datasets

■ 인공지능과 연관있는 간단한 체험 사이트

- 내가 그린 그림을 일러스트로 변경: https://www.autodraw.com/
- 내가 그린 그림 인식: https://quickdraw.withgoogle.com/
- 내가 그린 일부의 그림을 완성: https://magenta.tensorflow.org/
- 업로드한 사진의 특징과 가장 잘 부합하는 미술작품을 선택하여 그림 완성: https://aiportraits.org/
- 업로드한 사진의 특징을 반영한 그림 완성: https://deepdreamgenerator.com/
- 워드 클라우드(Word Cloud)

Abstract

# A Case Study using Actor-Network Theory to Examine Science Gifted High School Students' Research Problem Development and Scientific Practices in an Research and Education Program focused on Data Literacy

Jong-keun Choi
Earth Science Education Major
Department of Science Education
The Graduate School
Seoul National University

We live in the knowledge and information Society where a great deal of information is fused with creative and innovative knowledge to create new values. In such a society, a new scope of problem-solving ability is required, that is different from abilities that were useful in industrial society, which were based on science and

technology. Recently, data literacy, which is the ability to collect and utilize meaningful data among vast amount of data, has been attracting attention as a major way to cultivate this ablity.

As the importance of scientific inquiry experience has been recognized in the field of science education, research and education(R&E) programs where students can take the lead and experience the research processes of scientists, have been expanding. However, students without experience in these programs may face various difficulties in the process of research problem development. In this study, an R&E program focused on data literacy was developed to utilize data literacy as a way for students to solve problems on their own in an R&E program. While students went through the developed R&E program afterwards, they were examined in terms of their research problem development process and their scientific practices from the perspective of actor-network theory(ANT). The intent was to determine how data literacy can contribute to students' growing up as scientists, which can lead to a new perspective on the students' scientific knowledge generation process.

The research participants were four 1st-year students at a science gifted high school who took part in an R&E program focused on data literacy. The researcher collected documents, interviews, observations and audio-visual data.

From the ANT perspective, the construction process of scientific knowledge is described as a heterogeneous network constructed as an alliance between human and non-human actors, and non-human

actors can also exist as actors actively constructing knowledge. From this point of view, I aimed to analyze the dynamic interaction of various actors in the four moments of translation - problematization, interessement, enrollment, and mobilization - by viewing the research problem development process shown by the students in the R&E program as a heterogeneous network construction. To accomplish this, the main actors appearing in the research problem development process were identified and their interactions changed according to the moment of translation and analyzed. Through this process, the action of data literacy in the research problem development was identified, and what kind of agency can be exerted by data, which is a non-human actor, in the research problem development network was investigated.

In the problematization, with the goal of developing a research problem, the mentor teacher identified students, scientist, and data as the principal actors of the network, making "using data which help develop a research problem" the obligatory passage point. Students had difficulties in developing a research problem on their own, and this experience became an important opportunity to recognize the need for the ability to utilize data. In the interessement, the mentor teacher suggested that students participate in a data literacy cultivation course, which allowed them to develop abilities to generate, organize, manage, utilize, and analyze data, and to improve data-based communication skills. It turned out that the data literacy cultivation course proposed by the mentor teacher served as an

“interessement device” for students. In the enrollment, the students successfully got to develop a research problem with the data utilization ability developed in the data literacy cultivation course. Finally, in the mobilization, students came up with their own research design and conducted it to achieve the research goal, with most of these processes being recorded in research notes, which was displaced into a research proposal.

The research problem develop network was created through various interactions centered on students and data, and it was found that, in particular, the cultivation of students′ data literacy led to the active emergence of data literacy elements. In this case, data literacy contributed to developing the research problem through translating and interacting with data by playing the role of a mediator within the network. This was a case that showed that data, which is a non-human actor, can exert agency to change the actions of other actors in the research problem development network. In addition, various detours appeared when difficulties occurred in the process of developing the research problem, and it was found that these detours could be caused by both non-human actors such as data and human actors such as a mentor teacher and a scientist. Through this, it can be seen that the process of developing the research problem is not simply linear, and it takes the form of a heterogeneous network constructed of various actors.

Scientific practices, the processes of knowledge generation by scientists, can be viewed as heterogeneous networks in which various

actors are intertwined, and scientists construct knowledge and connect actors through inscription activities. From this same point of view, in order to examine the process and characteristics of scientific practices that students showed while participating in the R&E program focused on data literacy, I paid attention to inscriptions. First, the various inscriptions appearing in the R&E program were listed in chronological order, and the key inscriptions that played an important role in the progress of the R&E program were determined. The interactions between actors that occurred mainly on the key inscriptions and the changes in the inscriptions were then examined. As a result, it was found that scientific practices are processes in which students construct and spread scientific facts through inscriptions. It was understood that scientific practices should be recognized in the form of a network formed by various observable disciplinary literacy events that occurred during the course of the R&E program and inscriptions connecting them.

In the students' scientific practices, the role of non-humans, such as inscriptions and inscription devices, which constituted new phenomena while interacting with the students, was very important. The students were able to achieve the research goal by using the appropriate inscriptions and inscription devices in the R&E program, which demonstrated the ability of non-humans to cooperate with humans to change human perceptions and behaviors and to create new phenomena. In addition, various networks were formed to strengthen the scientific practice network. Although the examples of

surface water temperature prediction, desk arrangement, and data sharing using an online platform were not planned with the purpose of conducting effective research from the beginning, these networks functioned to construct and strengthen the scientific practice network.

The results of this study indicate that the data literacy cultivation course contributed to the experience of scientists' activities in which students construct their own knowledge. These results suggest that it is necessary to recognize data literacy as a way to cultivate competence as a scientist in a self-directed research environment, and to conduct specific research to effectively apply data literacy in the field of education. In particular, the fact that modern society is an environment in which large changes in the amount and type of data that are available due to the development of technology has led to data being available to be utilized by anyone further emphasizes the need for cultivating data literacy.

keywords : Research and education(R&E) program, Actor-network theory(ANT), Data, Data literacy, Scientific practices, Inscription

*Student Number* : 2007-30419