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

교육학박사학위논문

생태계 주제의 협력적 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고 이해

Understanding of system thinking in representational activities about ecosystem of high school students

2022년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 생물전공

이경현

생태계 주제의 협력적 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고 이해

Understanding of system thinking in representational activities about ecosystem of high school students

지도교수 김 희 백

이 논문을 교육학 박사학위논문으로 제출함
2021년 10월

서울대학교 대학원
과학교육과 생물전공
이 경 현

이경현의 박사 학위논문을 인준함
2021년 12월

위 원 장 _____ 강 호 선 _____ (인)

부위원장 _____ 김 재 근 _____ (인)

위 원 _____ 김 남 일 _____ (인)

위 원 _____ 장 지 은 _____ (인)

위 원 _____ 김 희 백 _____ (인)

국문초록

시스템은 과학의 전 분야에서 통용되는 통합적 개념(cross-cutting concept)으로 최근 과학교육에서 강조되고 있다. 학생들이 시스템을 잘 이해하기 위해서는 개별 요소에 관한 지식뿐만 아니라 시스템 사고가 필요하다. 본 연구에서는 생태계를 주제로 한 외적 표상화 활동에서 고등학생들의 시스템 사고가 어떻게 나타났는지 파악하고, 높은 수준의 시스템 사고가 발휘된 맥락을 과제의 특성 및 학생들에게 조성된 인식론과 관련지어 탐색하였다.

이를 위해 개인 활동지, 소집단이 만든 그림, 비디오 녹화본, 관찰 노트, 사후 인터뷰 자료를 수집하였다. 연구자는 수집된 자료를 통해 '생태계'를 주제로 한 수업 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고를 분석하였으며, 특히 과제의 어떠한 측면이 고등학생들의 높은 수준의 시스템 사고를 촉진했는지 조사하였다. 아울러, 학생들의 인식론에 기반한 그들의 인식론적 메시지의 공유 및 시스템 사고를 분석하여 그들의 생태계 학습양상이 어떻게 나타났는지 이해하고자 하였다.

연구 결과, 고등학생들은 생태계 학습 과정에서 다양한 수준의 시스템 사고를 드러냈다. 학생들이 어떤 맥락에서 높은 수준의 시스템 사고를 어떻게 드러낼 수 있었는지를 제시하면 다음과 같다. 학생들은 외적 표상화 과정을 통해 자신의 사고를 시각화했고, 생성된 표상을 반성하는 과정에서 그들의 메타인지가 촉발되었다. 또, 학생들은 그 속성이 잘 드러날 수 있도록 소집단 그림에서 요소의 위치를 조정하는 등 그림을 인지적 도구로 활용하며 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있었다. 또한, 생태계 학습 과제에서 다루는 시스템을 구성하는 요소가 가시적인 경우, 학생들은 해당 요

소들의 관계들을 발판으로 삼아 시스템의 속성을 탐색해 나갔다. 교사가 제시한 과제 질문의 특징은 학생들의 시스템 사고에 영향을 주는 또 하나의 요소였다. 과제 질문의 특징이 개방적이거나 참신한 것일 때, 다양한 학생들이 가진 생각이 표현되어 생태계를 이루는 요소 사이의 관계가 더욱 확장되는 경향이 나타났다. 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있었던 맥락을 과제 맥락에서 고찰함으로써, 고등학생들의 '생태계' 주제 학습에서 외적 표상화 활동 강화, 과제의 특징을 고려하여 제시하는 것의 필요성을 논의하였다.

학생들의 인식론은 그들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 데 영향을 주는 요인이었다. 고등학생들이 가진 인식론은 사회적 상호작용 속에서 인식론적 메시지로 모둠원들에게 전달되어 서로의 인식론에 영향을 미쳤다. 소집단 내에서 다른 학생들의 타당한 반론이 출현했을 때, 더욱 생산적인 인식론적 메시지가 출현할 수 있었다. 또한, 그들은 생산적인 인식론적 메시지를 수용하게 되면서, 서로 더욱 생산적인 인식론을 공유하였다. 그렇게 되면서 학생들은 생태계를 더욱 시스템적인 측면에서 고려할 수 있었고, 구체적으로 생태계의 역동성, 순환, 공간적 규모 파악을 할 수 있었다. 연구 결과를 바탕으로, 연구자는 학생들의 생산적인 인식론이 그들의 인식적 실행과 긴밀하게 얽혀 있음을 밝혔다.

주요어 : 시스템 사고, 생태계 교육, 표상, 인식론적 메시지
학 번 : 2014-30512

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경과 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적과 연구 내용 ····· 5
3. 용어의 정의 ····· 6
4. 연구의 제한점 ····· 11

Ⅱ. 이론적 배경
1. 시스템 사고
1.1. 시스템 ····· 12
1.2. 시스템 사고 ····· 13
1.2.1. 시스템 사고의 정의 및 생태계 교육에서의 필요성 ····· 13
1.2.2. 시스템 사고 분석방법 ····· 15
1.2.3. 학생들이 시스템 사고를 할 때 겪는 어려움 ····· 18
1.2.4. 시스템 사고 촉진을 위한 교육적 개입 ····· 19
2. 생태계 교육
2.1. 생태계를 보는 관점 ····· 22
2.2. 생태계 학습에서 학생들이 겪는 어려움 ····· 25
2.3. 생태계 학습에서 학생들의 개념과 시스템 사고 분석 ····· 27
2.4. 학생들의 생태계 학습을 조력하기 위한 교육적 개입 ····· 32
3. 표상
3.1. 표상의 정의 및 교육적 중요성 ····· 36
3.2. 표상화 활동이 학생의 메타인지에 미치는 영향 ····· 37

3.2.1. 메타인지 ····· 37
3.2.2. 표상화 과정과 메타인지의 관계 ····· 39
3.3. 표상화 활동을 통한 학습과 학생의 인식론의 관계 ····· 39
3.4. 표상을 활용한 교육이 생태계 학습에 미치는 영향 ····· 40
4. 인식론적 메시지
4.1. 인식론 ····· 43
4.1.1. '인식론적 메시지' 개념의 등장 ····· 43
4.1.2. 실행에서의 인식론 ····· 44
4.2. 인식론이 학습에 미치는 영향 ····· 46
4.2.1. 학습 과정에서 인식론적 메시지의 영향 ····· 49
4.3. 인식론 연구방법 ····· 49
4.3.1. 인식론적 프레이밍의 생산성 분석 ····· 50
4.3.2. 인식론적 메시지 분석 ····· 52
4.4. 인식론과 메타인지의 관계 ····· 54

Ⅲ. 시스템의 외적 표상화 활동 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고
1. 서론 ····· 58
2. 연구방법 ····· 60
2.1. 연구 참여자 ····· 61
2.2. 수업 과정 및 과제 설계 ····· 62
2.2.1. 수업 과정 ····· 62
2.2.2. 과제 설계 ····· 67
3. 자료 수집 ····· 71
4. 자료 분석
4.1. 질적 접근방법 ····· 72

4.2. 자료 분석방법 ····· 73
5. 연구 결과
5.1. 과제의 속성이 다를 때 나타난 고등학생들의 시스템 사고 ····· 77
5.2. 학생들의 수준 높은 시스템 사고 수행에서 외적 표상화의 역할 ····· 83
5.2.1. 사고의 외적 표현을 통한 학생들의 반성 촉진 ····· 83
5.2.2. 정보처리 도구로 구성 중인 표상의 활용 ····· 86
5.2.3. 시스템의 공간적 측면을 강조하여 순환 관계 파악 촉진 ····· 94
6. 논의 ····· 97

Ⅳ. 생태계에 관한 협력적 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 인식론적 메시지와 생태계 학습양상의 관계

1. 서론 ····· 103
2. 연구방법
2.1. 연구 참여자 ····· 105
2.2. 수업 과제 ····· 106
3. 자료분석방법 ····· 107
4. 연구 결과 ····· 115
4.1. 협력적 표상화 활동에서 나타난 인식론적 메시지 공유 과정 ····· 116
4.1.1. 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락 ····· 117
4.1.2. 소집단에서 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락 ····· 122
4.2. 공유된 인식론적 메시지에 따른 생태계 학습양상 ····· 125

4.2.1. 비생산적인 인식론적 메시지 공유에 따른 생태계 학습 양상 ····· 128
4.2.2. 생산적인 인식론적 메시지 공유에 따른 생태계 학습양상 ····· 131
5. 논의 ····· 141

Ⅴ. 결론 및 제언
1. 결론 ····· 150
2. 연구의 함의와 교육적 시사점 ····· 153
3. 후속 연구 제안 ····· 155

참고문헌 ····· 157

Abstract ····· 214

표 목 차

[표 Ⅱ-1] 시스템 사고 수준별 구성요소 ····· 17
[표 Ⅱ-2] 통합과학적 개념을 반영한 시스템 사고 분석틀 ····· 18
[표 Ⅱ-3] 생태계를 보는 주요 관점들의 특성 ····· 23
[표 Ⅱ-4] 먹이관계를 시스템으로 보는 관점 ····· 24
[표 Ⅱ-5] 학생들의 생태계 학습에서 나타난 어려움 ···· 26
[표 Ⅱ-6] '식물 생장에 필요한 에너지'에 대한 이해수준 분석틀의 일부 ····· 29
[표 Ⅱ-7] 탄소변형 과정에 관한 학습발달과정 ····· 30
[표 Ⅱ-8] 탄소순환과 기후변화의 상호관계에 관한 학생의 모형 기반 설명 분석틀 ····· 32
[표 Ⅱ-9] 메타인지의 범주별 속성 ····· 38
[표 Ⅱ-10] 학생들의 실행에서의 인식론에서 다루는 인식적 고려사항 ····· 46
[표 Ⅱ-11] 비생산적 인식론적 프레이밍과 생산적 인식론적 프레이밍의 특성 ····· 51
[표 Ⅱ-12] 모형 구성 맥락의 실행에서의 인식론에서 다루는 인식론적 고려사항 ····· 53
[표 Ⅱ-13] 메타인지를 개인적 인식론으로 보는 관점들 56
[표 Ⅲ-1] 초점집단 학생의 특징 ····· 62
[표 Ⅲ-2] 수업 차시별 학습주제 및 수업 내용 ····· 64
[표 Ⅲ-3] 위계적인 시스템 사고(STH) 모형의 구성요소 ····· 67
[표 Ⅲ-4] 시스템 사고 분석틀 ····· 74
[표 Ⅲ-5] 메타인지 분석틀 ····· 76

[표 Ⅲ-6] 수업 차시 별 과제의 속성과 학생들의 시스템 사고 특성 ····· 82
[표 Ⅳ-1] 초점집단 학생의 특징 ····· 106
[표 Ⅳ-2] 시스템 사고 분석틀 ····· 108
[표 Ⅳ-3] 물질순환에 관한 학습발달과정 ····· 112
[표 Ⅳ-4] 인식론적 메시지 분석틀 ····· 114
[표 Ⅳ-5] 수업 차시에서 학생이 제시한 영양소 순환 관련 개념 ····· 126

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-1] 다양한 외적 표상의 기능 ····· 37
[그림 Ⅱ-2] 인식론과 과학 학습 사이의 관계 ····· 48
[그림 Ⅲ-1] 육지 생태계의 영양소 순환 ····· 63
[그림 Ⅲ-2] 개발한 과제의 세부활동 별 활동 내용 ····· 68
[그림 Ⅲ-3] 수업 과정 동안의 소집단 그림 ····· 78
[그림 Ⅲ-4] 수업 과정 동안 시스템 사고 수준별 아이디어 수 ····· 78
[그림 Ⅲ-5] 외적 표상화 활동이 학생들의 반성을 촉진하는 모습 ····· 84
[그림 Ⅲ-6] 학생들이 표상을 활용하며 시스템에서 중요한 요소를 찾는 모습 ····· 88
[그림 Ⅲ-7] 관계를 조직화하는 인지적 도구로써 표상의 활용 ····· 91
[그림 Ⅲ-8] 표상을 통한 공간적 측면에서 관계 파악 구체화 ····· 95
[그림 Ⅲ-9] 외적 표상화 활동을 통해 학생들이 수준 높은

시스템 사고를 하는 과정 ····· 102
[그림 Ⅳ-1] 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락 ····· 118
[그림 Ⅳ-2] 비생산적인 인식론적 메시지 공유과정 ····· 120
[그림 Ⅳ-3] 생산적인 인식론적 메시지 공유과정 ····· 123
[그림 Ⅳ-4] 과제마다 학생들이 나타낸 시스템 사고의 속성별 빈도 ····· 127
[그림 Ⅳ-5] 수업 과정 동안의 소집단 그림 ····· 127
[그림 Ⅳ-6] 비생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습 양상 ····· 129
[그림 Ⅳ-7] 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습 양상(3차시) ····· 133
[그림 Ⅳ-8] 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습 양상(6차시) ····· 136
[그림 Ⅳ-9] 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습 (6차시) ····· 139
[그림 Ⅳ-10] 협력적 표상화 활동 과정에서 나타난 고등학생들의 생태계 학습 과정 ····· 148

부 록

[부록 1] 수업 활동지 ····· 182
[부록 2] 사후 인터뷰 질문 ····· 209

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경과 필요성

최근의 교육과정에서는 교과 사이의 통합을 요구하며 이러한 요구에 따라 통합과학적 개념(cross-cutting concept)을 중심으로 교육과정을 개편하고 있다(교육부, 2015; NGSS, 2013; NRC, 2007). 통합과학적 개념 중 하나는 시스템이며(지영래와 송진웅, 2017; Goldstone & Wilensky, 2008), 생명과학에서 시스템은 세포(Verhoeff, Waarlo & Boersma, 2008)에서부터 인체(Hmelo-Silver, Holton & Kolodner, 2000), 생태계(Mambrey, Schreiber & Schmiemann, 2020)까지 이르는 다양한 수준의 개념에 적용된다.

시스템을 주제로 하는 학습에는 관련 개념 학습뿐만 아니라 시스템이라는 통합과학적 개념을 이해하는 데 필요한 사고방식이 요구된다(Assaraf & Orion, 2005a; Sweeney & Sterman, 2000). 이때 필요한 사고방식이 시스템 사고이며(Assaraf & Orion, 2005b), 이는 시스템을 구성하는 부분들이 전체적으로 어떠한 관계를 맺으며 연관되는지에 관한 사고를 의미한다(Kali, Orion & Eylon, 2003). 특히, 생태계는 살아있는 생물 집단 및 그들과 상호작용하는 주변 환경 집단으로 구성된 시스템 복합체이다(Tansley, 1935). Tansley의 정의에 따르면, 생태계는 생물 요소 및 비생물 요소 사이에서 이루어지는 복잡한 상호작용과 그것으로 인한 역동성 등 시스템으로서의 특성이 두드러지는 주제이므로 이를 이해하기 위해 시스템 사고가 반드시 필요하다. 그러나, 학생들의 생태계 학습 과정에서 수준 높은 시스템 사고를 하도록 조력하고, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 탐색한 연구는 드문 현실이다.

선행연구에서는 적절한 교육적 개입을 통해 학생들의 시스템 사고를 촉진할 수 있음을 밝혀왔다(Assaraf & Orion, 2005b, 2010; Assaraf & Orpaz, 2010; Hogan & Thomas, 2001; Jordan, Hmelo-Silver, Liu &

Gray, 2013; Westra, 2008). 이러한 스캐폴딩 전략 중 대부분은 표상을 활용하는 것이다. 학생들이 시스템을 주제로 학습할 때 시스템의 행동이 어떻게 드러나는지 설명하는 시스템의 표상을 단순화하여 만드는 과정을 하면서, 그들은 적은 요소들로 시스템 행동을 조절하고 해석할 수 있기 때문이다(Hogan & Thomas, 2001). 표상을 활용한 교육전략은 학생들의 시스템 사고를 촉진하며(Shen & Confrey, 2007; Verhoeff *et al.,* 2008), 학생들의 시스템 사고 수준을 파악하는 데에도 도움이 되는 것으로 제시되어왔다(이효녕과 김승환, 2009; Assaraf & Orion, 2005b, 2010).

아울러, 학생들이 과학지식을 구성하는데 적용하는 인식론적인 생각은 학생들의 과학적 실행에 영향을 미친다(Sandoval, 2005). 인식론은 지식의 본성과 그것의 생성에 관해 개인이 갖는 일련의 신념들을 일컬으며(Hofer & Pintrich, 2002; Perry, 1970), 학생들의 인식론적 이해에 영향을 받아 그들의 탐구 실행이 달라질 수 있다(Sandoval, 2005). 실행에서 나타나는 학생들의 인식론은 맥락에 따라 다르게 나타날 수 있다(Hammer & Elby, 2002).

시스템을 주제로 하는 학습은 과학에 관한 생산적인 인식론(Hutchison & Hammer, 2010)을 필요로 한다. Jiménez-Aleixandre(2014)는 겉으로 보기에는 옳은 인식론이라도 맥락에 따라 옳지 않게 작용할 수 있으므로, 인식론은 옳고 그름보다는 생산적인지 여부로 구분하는 것이 필요함을 주장했다. 학생의 생산적인 인식론은 그들의 인식적 실행을 생산적인 방향으로 안내한다(Hutchison & Hammer, 2010). 예컨대, Hutchison and Hammer에 따르면 생산적인 인식론을 가진 학생은 '어떤 현상이 왜, 어떻게 일어났는지 설명하고 스스로 지식을 평가하며 구성한다'라는 믿음을 갖고, 그러한 믿음에 걸맞은 인식적 실행을 하는 특성이 있다. 생산적인 인식론을 나타내는 추가적인 사례로 지식을 분리된 절편으로 보지 않고, 긴밀하게 연결되어 구성된 완전체로 보는 관점이 있다(Hammer, 1994). 이를 바탕으로 추론하면, 생산적인 인식론이 공유되지 않을 때, 학생들이 지식을 '시스템을 이루는 개별 구성요소나 과정'으로, 지식을 생성하는 것은 '개별 구조들을 단순히 암기하는 것'이라 여길 수 있으며,

학생들이 이러한 인식론을 가지고 시스템을 학습한다면 시스템 구조가 유기적으로 연결되지 않은 채 “섬과 같은 지식(Assaraf & Orion, 2005b, p.554)”으로 남아 그들의 시스템 이해가 제한될 수 있다(Kali *et al.,* 2003; Verhoeff *et al.,* 2008).

학생의 인식론은 학습 과정 동안 학생의 발화에서 ‘인식론적 메시지’로 암묵적으로 표현되며, 학생들의 인식론 조성에 영향을 미칠 수 있다(Russ, 2018). Ke and Schwarz(2021)는 교사가 수업 과정에서 학생활동 중에서 어떠한 측면의 인식론적 고려대상에 주의를 기울이는지에 따라 학생에게 인식론적 메시지를 암묵적으로 전달한다고 설명했다. 그들의 연구 결과로부터 사례를 들면, 교사가 증발과 응결에 관해 학생들에게 가르치면서 “아침 잔디에 어떻게, 왜 이슬이 생기는가?”, “차가운 캔 표면에 어떻게, 왜 물이 나타나는가?”라고 지속적으로 말하는 경우 학생들은 자신이 구성할 과학적 설명의 인식적 목표를 ‘현상이 어떻게, 왜 일어나는지 설명하기’로 받아들일 수 있었다. 이러한 연구를 바탕으로, 소집단 담화에서 학생들이 주고받는 인식론적 메시지가 학생의 생산적인 인식론을 조성하고, 그에 따라 생산적 실행이 일어나는 맥락을 촉진할 수 있음을 알 수 있다.

이상에서 볼 수 있듯, 시스템은 통합과학적 개념으로써 과학교육에 중요하며, 시스템을 이해하기 위해 시스템 사고가 필수적이지만, 생물 교육에서 학생들의 시스템 사고를 촉진하는 맥락에 관해서는 활발히 연구되지 않았다. 더욱이, 생태계는 환경과 생물로부터 유래한 다양한 구성요소와 그들 사이의 복잡한 상호작용을 다루고 개별 구성요소로부터 드러나지 않는 특성이 시스템 수준에서 나타난다(Eilam, 2002, 2012; Jacobson & Wilensky, 2006). 이러한 생태계의 특성으로 인해, 생태계는 시스템의 대표적 사례로 언급되며, 생태계를 이해하는 과정은 다양한 요소 사이의 상호연관 관계를 다루는 시스템 사고가 필수적이다(Westra, 2008). 그러나, 생물교육에서 시스템 사고 연구는 다양한 교육참여자들의 시스템 사고 수준을 판별하는 데 초점을 두거나(권용주 등, 2011; Evagorou, Korfiatis, Nicolaou & Constantinou, 2009; Lee, Jones & Chesnutt,

2019) 장기간의 야외수업이나 실험 활동(Eilam, 2002; Manz, 2012)이 필요했다. 이러한 이유로 인해, 해당 수업설계를 실제 학교 현장에 적용하기에는 한계가 있었다. 또한, 선행연구(Eilam, 2012)에서는 학생들의 시스템 사고 촉진에 관한 설명도 양적인 서술이 주를 이루어 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 구체적으로 다루기에는 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 생태계를 주제로 학생들의 시스템 사고를 촉진하기 위해 외적 표상화 활동을 포함하는 과제를 개발하고, 이러한 과제가 학생들의 시스템 사고에 영향을 미치는 과정을 학생에게 주어진 과제의 특성 및 외적 표상화와 관련하여 분석하였다. 그리고, 사회적 상호작용 중 학생이 공유한 인식론이 서로 다를 때 학생들의 인식적 실행이 어떠한지 비교하여 분석하였다. 본 연구는 이와 같은 연구 결과를 토대로 시스템 사고에 중점을 두어 생태계 학습을 하는 것에 대한 시사점과 교육적 의의를 논의하고자 한다.

2. 연구의 목적과 연구 내용

본 연구는 생태계 교육에서 학생들의 시스템 사고를 조력하는 방안을 외적 표상화 활동과 관련지어 제공하고 고등학생이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 학생들의 인식론과 관련지어 이해하고자 하였다. 아울러, 본 연구 결과를 바탕으로 생태계 교육을 개선하기 위해 학생들의 시스템 사고 함양을 위한 시사점을 제공하고자 하였다. 이와 같은 연구 목적을 달성하기 위한 연구문제는 다음과 같다.

연구 Ⅰ. 시스템의 외적 표상화 활동 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고

연구문제

(1) 외적 표상화 활동으로 구성된 생태계 수업 과정이 진행되는 과정에서 고등학생들은 어떠한 시스템 사고를 나타냈는가?

(2) 외적 표상화 활동이 고등학생들의 시스템 사고 변화에 영향을 미치는 과정은 어떠한가?

연구 Ⅱ. 생태계에 관한 협력적 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 인식론적 메시지와 생태계 학습양상의 관계

연구문제

(1) 생태계를 주제로 협력적 표상화 활동을 하는 동안 고등학생들의 인식론적 메시지가 공유되는 맥락은 어떠한가?

(2) 소집단에 공유된 인식론적 메시지는 고등학생들의 생태계 학습 양상과 어떠한 관계에 있는가?

3. 용어의 정의

본 연구에 나오는 주요 용어들은 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

가. 시스템

시스템은 서로 다른 요소들이 다양한 단계에서 상호작용하는 전체이며, 그것을 구성하는 요소 사이의 상호작용을 합한 것을 넘어서는 총합적 행동을 하는 것을 특성으로 갖는다(Hmelo-Silver & Azevedo, 2006). 지영래(2016)는 과학교육과정에 제시된 시스템의 특징을 비교하며 시스템을 정의할 수 있는 특성으로 '부분들(parts)', '과정들(processes)', 이들의 '상호작용들(interactions)'이 있다고 제시한 바 있다. 본 연구에서는 선행연구와 교육과정들에 정리된 시스템의 공통된 특성을 반영하여 시스템을 '사물과 과정의 상호작용을 통해 창발적인 행동과 기능을 하는 집합체'로 정의한다.

나. 시스템 사고

시스템은 구성요소들의 상호작용 총합 이상의 현상을 나타내므로(Hmelo-Silver & Azevedo, 2006), 외면에서 보이는 시스템의 특성은 개별 구성요소의 특성만으로는 파악할 수 없다(Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004). 따라서, 시스템을 이해하기 위해서는 시스템의 속성을 파악하기에 알맞은 사고가 필요하다. O'Connor and McDermott(1997)는 시스템을 이해하기 위해 시스템을 이루는 부분, 이러한 부분들 사이의 연결, 그리고 전체로서의 시스템 모두를 이해할 수 있어야 한다고 주장했다. 본 연구에서는 이러한 선행연구의 의견을 반영하여, 시스템 사고를 '시스템을 이루는 부분들 사이의 관계를 종합하여 전체로서의 시스템이 갖는 특성을 파악하는 데 요구되는 인지과정'이라고 정의한다. 아울러, 생태계는 시스템의 일종으로 상호작용하는 수많은 요소로 이루어져 복잡성을 띠

며, 이러한 복잡성을 해결하는 방안은 시스템 사고로, 그것은 현상을 단순화하고 생태계의 패턴을 파악하는 인지과정을 의미한다(Westra, 2008). 본 연구에서는 시스템을 다루는 인지과정이 생태계 교육에 반드시 필요하다는 주장에 기반을 두어 '생태계 교육맥락에서의 시스템 사고'를 다룬다.

다. 표상화 활동

표상은 대상의 특정한 측면을 고려하여 추상적인 생각이나 현상을 구체화하기 위해 만들어진 이미지의 구체적이거나 단순화된 형태(Chang, 2018)이며, 표상화 활동은 표상을 만드는 활동을 의미한다. 표상은 내적 표상과 외적 표상으로 나눌 수 있다. 내적 표상은 개인이 특정한 현상에 관해 형성한 정신모형으로 외부로 드러나지 않은 채 개인 내에 존재한다(Johnson-Laird, 1983). 반면, 외적 표상에서는 특정한 현상에 관한 개인의 설명이 비유, 은유, 시각화, 담화 등의 형태로 외부로 드러난다(Tsui & Treagust, 2013). 외적 표상에 속하는 사례로 말이나 글과 같은 언어적 표상과 그림, 그래프, 표와 같은 시각적 표상이 있으며(윤혜경, 2020), 이러한 외적 표상은 학생들의 사고를 외부로 표출하여 학생들의 학습 수준을 파악하고 교육하는 데 활용도가 높다(Wu & Puntambekar, 2012). Wu and Puntambekar에 따르면, 외적 시각표상으로 나타낸 이미지는 청각 정보에 비해 기억하기 쉬우므로 학생들에게 외적 시각표상 구성과정이 의미가 있음을 알 수 있다. 본 연구는 이러한 선행연구의 주장을 근거로 하여, 표상화 활동의 정의를 '외적 시각표상을 만드는 활동'으로 제한하여 사용한다.

라. 인식론적 메시지

학습자의 생산적인 학습을 위한 인식론의 중요성을 다루는 선행연구는 지식과 학습에 관해 학생이 가진 생각들이 학생들의 인식적 실행에서의

목표를 설정하거나, 인식적 활동이 무엇인지 이해하는 데 큰 영향을 미치게 된다는 것을 밝혔다(Berland, Schwarz, Krist, Kenyon, Lo & Reiser, 2016). 개인의 인식론은 발화나 행동에 내포되어 청자에게 전달되는데, 이렇게 인식론을 전하는 메시지를 인식론적 메시지라고 한다(Russ, 2018). 인식론은 그것이 안내하는 인식적 실행의 속성에 따라 생산적 인식론과 비생산적 인식론으로 구분할 수 있다(Hutchinson & Hammer, 2010; Jiménez-Aleixandre, 2014). 예를 들어, 생산적인 인식론은 지식의 근원은 다양하며 지식을 스스로 구성할 수 있다는 믿음을 포함하는 반면, 비생산적인 인식론은 지식의 근원은 교과서 속 문장처럼 고정된 것이며 지식은 인식적 권위자로부터 전달되는 것으로 믿는다(Berland *et al.*, 2016). 인식론적 메시지도 청자에게 미치는 영향을 바탕으로 하여 생산적인 실행을 안내하는 것과 그렇지 못한 것으로 구분할 수 있다(Ke & Schartz, 2021). 이러한 점으로 미루어볼 때 생산적인 인식론적 메시지는 청자에게 생산적인 인식론을 조성하는 데 기여할 것으로 판단할 수 있다. 학습이 사회적 상호작용을 통해 이루어진다는 입장에서(Roth, Boutonné, McRobbie & Lucas, 1999) 학생들에게 생산적인 인식론을 조성하는데 기여하는 교사나 동료의 메시지는 학생의 인식적 실행 양상을 결정하는 방향타 역할을 할 수 있다(Ke & Schartz, 2021). 이에 본 연구에서의 인식론적 메시지는 '지식과 학습의 본성에 관한 화자의 의견을 내포하며, 청자의 행동을 통해 청자에게 전달되었다고 유추되는 메시지'로 정의를 제한하여 사용한다.

마. 반성

반성(reflection)은 개인의 지식이나 신념을 검증하고 정당화하는 과정을 의미한다(Mezirow, 1990). 학습이란 개인이 기존에 가진 아이디어들에 새로 도입된 지식을 통합하는 과정이라 할 수 있으며(Davis, 2006), 이러한 과정에서 개인이 가진 지식과 신념을 검증하는 일이 수반되기에 반성은 학습에 필수적인 요소로 볼 수 있다. 개인이 반성 과정에서 하는

사고를 반성적 사고라 한다. 반성적 사고는 비판적 사고, 창의적 사고, 메타인지적 사고 같은 다른 측면들의 사고와 밀접히 관련되어있다(Wilson & Jan, 1993).

반성 중의 일부는 메타인지를 통해 이루어진다. 구체적으로, 반성은 직관적으로 이뤄질 수도 있고 메타인지를 통해 이뤄질 수 있다. 단순히 자신이 사용한 개념의 옳고 그름만을 판별하는 것은 직관적인 반성이라 할 수 있다. 반면, 학생들이 자신의 사고과정에 관해 반성하는 것은 메타인지이다(Skemp, 1971).

위에 제시한 선행연구들의 내용을 바탕으로 하여, 본 연구에서의 반성은 '비판적 사고, 창의적 사고, 메타인지적 사고 중의 하나 이상의 요소를 포함하여, 학생들의 실행에서 자신의 사고에 관해 타당성을 점검하는 것'으로 의미를 제한하여 사용한다.

바. 메타인지

메타인지는 개인이 자신의 인지과정에 대해 자각하고 반성하는 것이며, 학습자는 메타인지를 통해 학습 과제에서 자기조절을 하거나 다른 사람과 협력할 수 있다(Flavell, 1979). Flavell에 따르면, 메타인지는 메타인지적 지식과 메타인지적 경험을 포함한다. 메타인지적 지식은 '어떤 요인이 어떤 방식으로 인지적 수행과정과 그 결과에 영향을 미치는가에 대해 개인이 가지고 있는 지식이나 신념'을 의미한다. 메타인지적 경험은 '인지적 작업을 수행하는 중에 이루어지는 인지적, 감정적 경험 중에서 의식적인 것'을 의미한다. 본 연구에서는 Flavell의 정의에 기반을 두어 메타인지를 '학생들이 과제를 수행하는 중에 과제나 전략에 관해 생각하거나 특정한 느낌을 갖는 과정'으로 재정의하여 사용하였다.

사. 생태계 학습

생태계는 수많은 요소와 그들 사이의 관계, 시간에 따른 변화 등으로

인해 개별 구성요소로부터는 관찰할 수 없는 특성들을 표출하는 시스템이다(Jacobson & Wilensky, 2006). 생태계의 이러한 특성을 고려할 때, 학생들의 생태계 학습 과정에서 시·공간에 따른 생물 분포와 비생물적 요소 사이의 관련성, 생태계의 에너지와 물질의 흐름에 관여하는 생물의 영향을 파악할 필요가 있다(Hjorth, 2002). 이러한 접근은 생태계를 시스템으로 보는 관점에 의한 것이다. 생태계를 시스템으로 보는 관점은 환경과 생물 사이의 관계 파악을 강조하기 때문이다(Hogan & Thomas, 2001).

이러한 관계들을 파악하는 과정은 개별 지식뿐만 아니라 시스템에 관한 특별한 인지과정을 포함한다. 즉, 학생들은 생태계의 서로 다른 수준에 있는 구조들을 관련성에 기반을 두고 조직화하는 인지과정을 수행할 필요가 있으며(Hogan, 2000; Verhoeff *et al.,* 2008), 이러한 인지과정은 시스템 사고라는 용어로 제시되어 왔다(Kali *et al.,* 2003; Sweeney & Sterman, 2000).

생태계를 시스템으로 인식하는 것의 중요성은 지속적으로 강조되어왔으며, 생태계를 시스템으로 다룬다는 의미 역시 다음과 같이 정립되어왔다(Eilam, 2012; Hogan & Thomas, 2001; Verhoeff *et al.,* 2008; Westra, 2008); 첫째, 환경과 생물 사이의 관계를 긴밀히 조직화하는 것, 둘째, 비가시적·가시적 규모를 달리하며 일어나는 현상과 요소를 파악하는 것, 셋째, 생태계의 시·공간에 따른 역동성을 인식하는 것이다. 선행연구들에 따르면 학습자가 이러한 사고와 실행을 할 수 있을 때 생태계 학습을 보다 의미 있게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 생태계 학습의 의미를 '위에 제시한 3가지 특성 중 하나 이상의 사고를 하고 그에 기반한 실행을 하는 것'으로 정의하여 사용하였다.

4. 연구의 제한점

본 연구의 제한점은 다음과 같다.

본 연구는 질적 사례연구로 생태계 맥락에서 시스템 사고를 촉진하기 위해 설계한 과제를 수행하는 동안 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하며 생태계 학습을 의미 있게 수행하는 맥락을 탐색하고자 했다. 따라서 본 연구의 목적은 관찰된 사례에서 보이는 학생들의 사고과정과 사회적 상호작용에 관한 이해를 높이는 것에 제한한다.

본 연구에서 다루는 시스템은 생태계에 국한된다. 시스템은 통합과학적(cross-cutting) 개념으로 생명과학뿐만 아니라, 지구과학, 물리학, 화학에도 적용되는 개념이지만 생태계가 가진 시스템으로써의 속성이 다른 과학 분야, 혹은 같은 생명과학 내에서도 내용 영역에 따라 다른 주제와 구분될 수 있다. 따라서 본 연구에서 생태계를 주제로 탐색한 시스템 사고를 다른 교과나 내용 영역으로 확대하기에는 제한점이 있다.

아울러, 본 연구에서는 학생들의 시스템 사고 발달과정을 학생들의 표상화 활동 참여와 학생들이 드러낸 인식론을 통해 분석하였다. 그러나, 학생들의 시스템 사고 발달에 인식론과 표상화 활동 외의 다른 요소가 영향을 미칠 수 있다. 하지만 그러한 요소에 관해서는 본 연구에서 다루지 않았다. 그렇기 때문에 본 연구를 통해 학생들의 시스템 사고가 발달하는 데 기여하는 그 외의 요소들에 관해서 설명하지 못했다는 제한점을 가진다.

또한, 본 연구에서 학생들의 인식론은 소집단 활동에서 나타난 인식론적 메시지를 통해 분석하였다. 그러나 발화나 행동으로 표현하지 않은 채 학생에게 내재되어 있는 다른 인식론이 존재할 수 있으며, 이것이 학생들의 인식적 실행이나 인지과정에 영향을 미쳤을 수 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 학생들의 인식론이 실제 그 학생이 가진 모든 인식론을 다루지 못했다는 제한점이 있다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 시스템 사고

1.1. 시스템

최근 과학교육에서는 과학의 핵심 아이디어를 통합하고 자연 현상을 이해하기 위해 다양한 과학지식을 통합해 나가는 것을 강조한다(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015; NGSS, 2013). 통합과학적 개념(cross-cutting concept)은 과학 학습에 근본적인 개념일 뿐만 아니라, 학생들에게 생산적이며 통찰력 있는 사고방식을 함양하는 기회를 제공한다(NRC, 1996). 예를 들어, 통합과학적 개념은 서로 분리된 개념들을 연결하여 다양한 현상을 설명할 수 있도록 한다(지영래, 2016).

통합과학적 개념이 강조됨에 따라, 과학교육에서는 시스템을 주제로 하는 교육의 중요성이 강조되고 있다. 지영래와 송진웅(2017)은 국내·외 교육과정을 분석하여 통합과학적 주제로 일관되게 시스템이 제안되었음을 제시한 바 있다. 더욱이, 우리 사회에서 사람들이 점차 역동적이며 스스로 적응하고 조직화되는 복잡계에 의해 영향을 받는다는 현실을(Jacobson & Wilensky, 2006) 감안하면, 시스템을 이해하고 시스템에 관해 추론하는 것은 과학적 소양을 갖춘 시민 양성에도 필요한 요소이다(Sabelli, 2006).

시스템은 부분들이 상호작용하는 전체이며(Hmelo-Silver *et al.,* 2000; Kali *et al.,* 2003), 그것의 개별적인 구성요소들로는 분명히 드러나지 않는 양상과 속성을 드러내는 것으로 정의된다(Hmelo-Silver & Azevedo, 2006). 대부분의 시스템은 그것의 하부 시스템 내에서는 인과관계가 분명한 것처럼 보여도, 전체로서의 시스템은 그것과 다른 창발적인 속성이 드러나므로 복잡계(complex system)[1]에 속한다(윤영수와 채승병, 2005).

---

1) 복잡계(complex system)와 시스템은 서로 다른 구성요소들이 다양한 수준에

Goldstone and Wilensky(2008, p.467)는 복잡계에 관한 선행연구를 정리하며 복잡계가 가지는 공통적 특성에 대해 다음과 같이 제시하였다; 첫째, 자연에 존재하는 많은 시스템은 그것을 이루는 독립된 하부 시스템 수준에서도 작동한다. 둘째, 시스템을 구성하는 요소들은 비선형적인 상호작용을 주고받으며, 그 사례에는 양성피드백이나 음성피드백이 있다. 셋째, 시스템을 이루는 개별 요소 사이에 존재하는 단 하나의 상호작용이라도 전체로서의 시스템이 갖는 특성에 중요하게 작용할 수 있고, 시스템의 패턴을 이해하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 넷째, 시스템 수준에서 드러나는 패턴은 구성요소들의 상호작용에 기인하여 자체 조직화되어 발생할 수 있다. 다섯째, 다양한 영역에서 시스템의 같은 패턴이 발견될 수 있으며, 이에 기반을 두어 서로 다른 시스템을 일반화하여 설명할 수 있다.

세포, 기관계, 개체, 군집, 생태계 등 생물교육에서 다루는 많은 현상과 구조들은 복잡계에 해당하므로(Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007) 생물교육에서 시스템 교육에 관한 세심한 주의가 필요하다. 복잡계를 이해한다는 것은 개별 구성요소들이 다양하고 비선형적 방식으로 상호작용함을 추론하고, 개별 구성요소 사이의 상호작용들로부터 시스템 수준에서 관찰되는 패턴까지 인식할 수 있음을 의미하기 때문이다(Sweeney & Sterman, 2007).

1.2. 시스템 사고

1.2.1. 시스템 사고의 정의 및 생태계 교육에서의 필요성

시스템 사고는 시스템을 구성하는 부분 간의 상호 연결을 인식하고 이

서 상호작용하여 구성요소들의 상호작용 합을 넘어서는 총합적 행동을 한다는 속성을 공유한다(Hmelo-Silver & Azevedo, 2006). 또한, 세포, 기관, 개체, 생태계 등 생명과학 교과에서 다루는 대부분의 시스템은 복잡계에 속한다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007). 따라서 본 연구에서 다루는 시스템은 복잡계와 같은 의미를 갖는 것으로 정의하여 해당 용어를 사용한다.

를 전체로서 통합된 관점으로 종합하는 데 중점을 둔 사고방식이다(Assaraf & Orion, 2005b). 또한, 시스템에서 패턴과 상호관계를 인식하고, 이러한 상호관계를 보다 효과적이고 효율적인 방법으로 구조화하는 방법에 관한 사고를 포함한다(Senge, 1990). 학생들은 시스템 사고를 통해 여러 설명을 할 수 있고, 무질서 안의 구조를 찾을 수 있으므로, 시스템 사고는 학생들에게 생산적인 사고방식이라 할 수 있다(Resnick, 1987).

학습자들은 복잡계 현상을 탐구하기 위한 방법을 알 필요가 있기 때문에(Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Jacobson & Wilensky, 2006) 과학교육에서 시스템 사고의 중요성이 강조되고 있다(Assaraf & Orion, 2005b, 2010; NRC, 2007, 2012; Sweeny & Sterman, 2000). 시스템 사고는 학습자에게 전통적인 교수법에 비해 문제 상황이나 사건에 대한 전체적인 관점을 제공하므로(Lee *et al.,* 2019) 과학교육에 기여할 수 있다. 또한, 일상이 수많은 정보가 존재하는 복잡계 상황임을 고려하면, 시스템 사고는 개인적 · 사회적 · 전문적 직업 생활의 모든 측면에서 문제를 해결하는 데에도 중요하다(Hogan, 2000).

특히, 학생들이 생태계 분야를 학습할 때, 과학 개념과 원리를 이해하기 위해 시스템 사고는 반드시 필요하다(Grotzer & Basca, 2003). '생태계를 시스템으로 이해하고 있는가?'와 '생태계 구성요소와 그들 사이의 관계 및 과정을 어떻게 표현하는가?'를 측정함으로써 학생의 생태계 학습을 분석할 수 있으므로(Westra, 2008), 생태계 학습에 시스템 사고가 반드시 필요하다고 판단할 수 있다. 아울러, 학생들이 생태계를 학습할 때 시스템 사고를 잘하지 못하는 상황이므로(Evagorou *et al.,* 2009) 생태계 교육에서 시스템 사고가 더욱 강조될 필요가 있다. 예를 들어, 박지영과 김희백(2003)이 고등학생들을 대상으로 생태계 개념 평가를 실시한 결과, 학생들은 먹이사슬에서 하나의 생물 종의 개체 수가 변하는 경우 그 생물 종의 피식, 포식 동물의 증감을 주로 고려하며, 상호작용이나 피드백에 관해 고려하지 못하는 경향이 있었다. 이러한 모습은 고등학생들이 시스템 사고를 제대로 하지 못하는 상황을 보여준다.

이처럼 생태계 교육에서 시스템 사고의 중요성이 강조된 바 있으며, 학생들의 시스템 사고가 반드시 필요한 분야가 생태계 학습이라는 점에 기반을 두어 본 연구에서는 생태계 교육맥락에서 시스템 사고를 다루기로 하였다.

1.2.2. 시스템 사고 분석방법

선행연구에서는 시스템 사고의 다양한 형태와 수준을 여러 가지 모형으로 제시하였다(Assaraf & Orion, 2005b, 2010; Hmelo-silver *et al.,* 2000, 2007; Lee *et al.,* 2019). Tripto, Assaraf, Snapir and Amit(2016)은 선행연구에서 시스템 사고를 파악하기 위한 분석틀이 크게 다음의 두 가지로부터 유래했다고 구분한 바 있다.

첫 번째, 구조(Structure)-행동(Behavior)-기능(Function)(SBF) 사고 모형(Goel, Rugaber, & Vattam, 2009; Hmelo-Silver *et al.,* 2007)이 있다. SBF 모형의 구조(S) 부분은 시스템의 구성요소나, 시스템의 구성요소와 구성요소 사이의 관계를 의미한다. 행동(B)은 시스템 안에서 발생하는 인과관계를 의미한다. 기능(F)은 시스템과 그것의 하부 시스템에서 나타나는 행동이 시스템 유지에 어떠한 도움이 되는지에 관한 설명을 의미한다(Goel *et al.,* 2009). 예를 들어, 호흡을 구조-행동-기능(SBF) 사고 모형으로 분석하면, 구조(S)로는 폐를 사람의 호흡계를 구성하는 요소로 인식하는 것, 행동(B)으로는 호흡 시 폐나 늑골의 움직임을, 기능(F)으로는 들숨 시 폐를 통해 공기로부터 체내 필요한 산소를 공급받는 것을 인식하는 것을 들 수 있다(Assaraf & Orion, 2005b).

두 번째, STH(Systems Thinking Hierarchy) 모형이 있다(Assaraf & Orion, 2005b). Assaraf and Orion은 선행연구들을 리뷰하여 사람들이 시스템에 대해 생각하고 이해하는 방식을 8개의 특성으로 분류했다. 그들은 STH 모형을 이루는 특성 8개를 시스템 사고가 발달되는 순차적인 3단계, 즉, '시스템의 구성요소 분석, 시스템의 구성요소 종합, 적용'으로 구분할 수 있다고 주장했다. 이 모형에서 각 단계의 시스템 사고요소들

이 위계적인 특성을 가지므로 앞 단계의 시스템 사고 수행은 뒷 단계의 시스템 사고를 하기 위한 요구 조건이 된다. STH 모형을 구성하는 3단계 중에서 분석 단계는 '시스템의 구성요소 및 과정 식별'이라는 특성을 포함한다. 종합 단계는 '시스템 구성요소 간의 간단한 관계 식별', '시스템 내에서 동적 관계 식별', '관계틀 내에서 시스템의 구성요소, 과정 및 상호작용을 조직화', '시스템 내 물질 및 에너지 순환 식별'이라는 특성을 포함한다. 그리고 적용 단계는 '시스템의 감추어진 차원 인식(예: 쉽게 볼 수 없는 패턴과 상호관계를 통해 현상 이해)', '시스템에 대한 일반화 및 패턴 식별(예: 위계적 구조, 항상성 및 역동성-물질변환 파악)', '시간적 사고(예: 회고와 예측)'라는 특성을 포함한다.

서로 다른 시스템을 이해하기 위한 인지과정이 다르기 때문에, 선행연구에서는 학습주제에 따라 서로 다른 시스템 사고 분석틀을 사용해왔다(황윤식, 한문현과 김희백, 2016; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004). 구조-행동-기능(SBF) 사고 모형은 주로 세포나 기관, 기관계 등 다소 작은 규모의 시스템을 대상으로 하는 연구에 사용되었다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007). 이러한 주제들은 시스템의 작은 규모로 인해 학생들이 역동적 피드백을 파악하기에는 한계가 있기 때문에(Hmelo-Silver *et al.,* 2000) 상대적으로 단순한 틀인 구조-행동-기능(SBF) 사고 모형으로 분석하기에 적합하다고 판단된다.

반면, 물의 순환, 탄소 순환 같이 큰 규모의 시스템에서 일어나는 현상에 관한 인지과정은 STH 모형으로 분석되어왔다(Assaraf & Orion, 2005b, 2010). 큰 규모의 시스템 학습은 더욱 많은 인지과정을 요구하고, 세분화된 분석틀에 따라 학생들의 시스템 사고 발달을 파악하기에도 용이하기 때문이다.

그러나 STH 모형은 학생들의 사고를 지나치게 세분화하여 학생들의 시스템 사고를 기술하기에 복잡한 측면이 있다. 이러한 단점을 극복하여 연구자들은 STH 모형을 연구 맥락에 맞게 수정하여 활용하기도 하였다(오현석, 이기영, 박영신, 맹승호와 이정아, 2015; Lee *et al.,* 2019).

첫 번째 사례로, 오현석 등(2015)은 Assaraf and Orion(2005b)의 시스

템 사고 분석틀(STH 모형)에서 공통된 시스템 사고 구성요소를 묶어 시스템 사고 분석틀을 더 간단히 범주화시켰다(표 Ⅱ-1).

<표 Ⅱ-1> 시스템 사고 수준별 구성요소(오현석 등, 2015, p.596)

수준	시스템 사고 구성요소 (오현석 등, 2015)	STH 모형 (Assaraf & Orion, 2005b)
1	시스템의 구성요소들을 파악, 분류	1. 시스템을 이루는 요소와 과정들을 식별
2	시스템의 구성요소들 사이의 관계 이해	2. 간단한 관계들을 파악 3. 역동적 관계들을 파악 4. 시스템 구성요소들, 관계, 그들 사이의 상호작용을 조직화 5. 순환을 파악
3	시스템에서 발생하는 관계들을 패턴으로 일반화	6. 시스템의 감추어진 측면 인식 7. 일반화 8. 시간적 사고
4	통합적인 관점으로 해당 시스템을 하부 시스템들을 포함하여 표상화된 모형으로 구성	

또한, 이 분석틀에는 STH 모형에서 '통합적인 관점으로 해당 시스템을 하부 시스템들을 포함하여 표상화된 모형으로 구성'하는 단계가 추가되었다. 학생들이 시스템을 모형으로 표상화하는 과정은 학생들에게 시스템에 대해 알고 있는 개별 개념들을 통합하는 기회를 제공하므로 시스템의 구성요소 파악이나 구성요소 사이의 관계짓기, 관계틀 내에서 구성요소들을 배열하고 조직하는 과정을 촉진할 수 있다(Assaraf & Orion, 2010). 시스템을 표상화된 모형으로 구성하는 과정은 시스템의 규모나 비율, 변화에 관한 깊이 있는 사고를 요구하므로(Assaraf & Orion, 2005b), STH모형의 최상위단계보다 더 높은 수준의 시스템 사고에 해당한다고 볼 수 있다(오현석 등, 2015). 이러한 연구 결과에 기반을 두어 본 연구과제는 시스템에 관한 통합된 표상을 만드는 것을 궁극적으로 의도하였다.

두 번째 사례로, Lee, *et al.*(2019)은 통합과학적 개념이 시스템 사고 발달과 맺는 밀접한 관계를 반영하도록 STH 모형을 수정하였다(표Ⅱ-2).

<표Ⅱ-2> 통합과학적 개념을 반영한 시스템 사고 분석틀(Lee *et al.,* 2019, p.150)

시스템 사고 수준	수준 설명
초보자(수준0)	응답이 없거나 알지 못한다고 설명한다.
인식(수준1)	하나의 구성요소 또는 과정을 식별하거나 시스템에서 패턴을 식별한다. 그러나 구성요소나 과정 간의 관계에 대한 설명이 없다.
입문(수준2)	적어도 두 개의 구성요소 또는 과정을 식별한다. 그러나 단방향의 원인과 결과만 제시한다(예: A가 B를 야기한다). 또는 두 구성요소 간의 상호작용을 인식한다.
중간(수준3)	3개 이상의 구성요소 또는 과정을 식별한다. 상호작용 식별에는 적어도 2개 이상의 구성요소 또는 여러 상호작용에 관한 인식이 포함된다.

그들의 연구에서는 시스템 사고를 이루는 '구성요소, 하부 시스템의 구성요소와 과정 사이의 상호작용' 및 NGSS(2013)의 통합과학적 개념인 '구조 및 기능, 원인 및 결과, 시스템 모형'을 기반으로 시스템 사고를 분석하기 위한 틀을 구성하였다. 이러한 점을 바탕으로 해석하면, Lee *et al.*(2019)의 분석틀은 시스템 사고와 함께 통합과학적 개념에 관한 학습을 동시에 탐색할 필요성을 강조한 것이라 볼 수 있다. Lee *et al.*의 제언에 기반을 두어 본 연구에서는 학생들의 생태계 학습을 분석할 때, 그들의 시스템 사고와 통합과학적 개념으로써의 시스템 학습(즉, '구조 및 기능')을 동시에 탐색하였다.

1.2.3. 학생들이 시스템 사고를 할 때 겪는 어려움

과학교육에서 시스템을 강조하고 있으며, 시스템을 의미 있게 학습하기 위해서 시스템 사고가 중요하다. 그러나 선행연구의 결과를 바탕으로 판단하면 학생들이 낮은 수준의 시스템 사고를 하는 경향이 있으며, 추가적으로 학생들이 시스템 사고를 할 때 어떤 부분을 어려워하는지가 제시되어왔다(박지영, 민진선과 김희백, 2003; Eilam, 2012; Evagorou *et al.,* 2009; Goh, Yoon, Wang, Yang & Klopfer, 2012; Hmelo-Silver *et al.,* 2007; Hogan & Fisherkeller, 1996; Leach, Driver, Scott & Wood-Robinson, 1996).

시스템의 구성요소 파악 측면에서 보면, 학생들은 시스템 내 하부 시스템들의 존재를 파악하기 어려워한다(박지영, 민진선과 김희백, 2003; Evagorou *et al.,* 2009). 또한, 가시적인 요소에만 주의를 기울이는 등 시스템 사고를 잘하지 못하는 경향이 있다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007; Hogan & Fisherkeller, 1996; Leach *et al.,* 1996).

시스템 내 관계 파악 측면에서 보면, 학생들은 시스템 구성요소들 사이의 관계들을 선형적으로 파악하는 경향이 있다(Hogan, 2000; Sweeney & Sterman, 2007). 또한, 특정 구성요소들에 의해 시스템이 조절된다고 인지하며, 시스템 내 관계들로부터 나타나는 창발적인 특성을 파악하지 못하는 경향이 있다(Goh *et al.,* 2012). 결국, 시스템 사고의 부족으로 인해 학생들은 하부 시스템 사이의 연결을 어려워한다. 예를 들어, Assaraf and Orion(2005b, 2010)의 연구에서 초등학생, 중학생, 고등학생은 물의 순환을 이루는 과정들 사이의 관계 파악이나 물의 순환과 다른 지구 하부 시스템 사이의 연결을 어려워 했다. Kali *et al.*(2003)의 연구에서도 중학생들은 암석 순환을 관련 없는 부분이나 지식 조각들로 구성된 시스템으로 설명하며, 시스템의 역동성에 관한 이해 부족을 드러냈다.

1.2.4. 시스템 사고 촉진을 위한 교육적 개입

최근에 초등학교 저학년 학생이나 미취학 아동 등 어린 학생들도 시스템 사고와 시스템의 특성을 파악하는 데 필요한 추론을 할 수 있다는 주장이 제기되고 있다(e.g. 한문현, 2019). 또한, Hokayem and

Gotwals(2016)의 연구는 초등학교 학생들의 시스템적 추론이 나이와 관계가 별로 없음을 밝혔다. 아울러, Gotwals and Songer(2010)는 학생이 맥락 의존적으로 먹이그물에 관한 추론을 하는 사례를 제시했다. 위의 사례는 학생들에게는 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있는 잠재력이 있으며, 어떠한 맥락에서 그들이 그러한 잠재력을 발휘하는지 연구할 필요성을 제기한다.

선행연구들은 학생들이 시스템 사고를 하는 데 겪는 어려움을 극복하기 위한 교육적 개입에 관해 제안해왔다(e.g. Assaraf & Orion, 2005b, 2010; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Jacobson & Wilensky, 2006). Kitano(2002)는 생물학에서 시스템의 중요성을 강조하며 시스템 관점에서 생물학에 관한 접근방식의 목표는 시스템의 구조와 역동성 파악이 되어야 함을 주장했다. 시스템의 구조와 역동성 파악을 촉진하기 위한 전략으로 주로 사용된 것은 컴퓨터 시뮬레이션의 활용이다(Jordan *et al.,* 2013). 선행연구는 학생들이 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 시스템에 관한 과학적 모형구성활동에 참여하며 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있음을 보여주었다(Wilensky & Reisman, 2006). 예를 들어, Evagorou *et al.*(2009)은 초등학생들이 컴퓨터 시뮬레이션 활동으로 습지 생태계를 학습한 결과, 시스템의 시·공간적 경계, 하부 시스템, 시스템의 특정 요소가 다른 요소나 시스템 전체에 미치는 영향, 특정한 패턴이 나타나기 위해 필요한 변화를 식별하는 정도가 향상되었다고 설명했다. 컴퓨터 시뮬레이션 활동은 학생들이 시스템을 이루는 일부 요소의 변화가 야기하는 복잡한 영향 등을 가시적으로 경험하게 하여 구성요소들 사이의 역동적 상호관계 파악을 촉진하는 것으로 보였다(Westra, 2008).

시스템 교육에서 다루는 과제의 주제 선정에 대한 제안도 있었다(Assaraf & Orion, 2005b). 이러한 연구에서는 학생들에게 일상생활 소재로 시스템 사고를 도입할 필요성을 제기하였다. 예를 들어, Hogan and Thomas(2001)의 연구에서 피자 배달 같이 일상생활에서 겪는 시스템 모형 구성 활동을 포함한 것은 학생들이 복잡하거나 추상적인 과학 개념들을 다루는 부담을 경감시켰던 것으로 볼 수 있다. 이러한 선행연

구의 결과에 기반을 두어 본 연구의 과제에서도 일상생활 소재의 시스템 사고 도입 활동을 포함시켰다.

시스템 교육 방법에 관해서 학생들로 하여금 동료와 협업하고, 토론 및 반성을 하도록 촉진할 필요성이 제시된 바 있다(Jacobson & Wilensky, 2006). 이 외에도 여러 연구에서는 시스템 학습 설계 원리로써 학생들이 복잡계를 경험하게 할 것, 시스템의 속성을 분명히 인식하도록 이끌 것, 협력·논의와 반성을 강조하고 이론과 모형을 사회적으로 구성하도록 도울 것, 학생들이 시스템의 심도 있는 이해에 도달하도록 여러 지도 전략을 사용할 것을 제안하고 있다(Evagorou *et al.,* 2009; Hmelo-silver *et al.,* 2000).

표상을 활용한 교육전략을 사용하거나 실제 환경 문제를 다루는 시스템 상황을 주제로 선정하여 학생들의 시스템 사고를 촉진할 수 있다(Zangori, Peel, Kinslow, Friedrichsen & Sadler, 2017). Assaraf and Orion(2005b)은 중학생 대상으로 통합과학적 개념과 실제 현상을 다루는 기사로 구성된 수업 과제를 개발하고 적용한 후, 학생들이 시스템의 구성요소와 과정 식별, 구성요소들 사이의 관계 식별, 시스템 내 물질의 변형에 대한 이해 등 시스템 내 역동적인 관계를 식별하거나 일반화시키는 측면에서 시스템 사고가 향상되었음을 관찰했다. 연구 결과를 기반으로 하여 Assaraf and Orion은 시스템을 교육할 때, 학교급에 맞는 수준으로 시스템 사고를 도입할 것과 탐구기반 학습에 초점을 둘 것, 학습 과정에 지식통합 활동을 사용할 것 등을 제언하였다. 이러한 제언에 기반을 두어, 본 연구에서 과제는 교육과정을 분석하여 학교급에 맞는 수준의 시스템 사고 도입 활동을 포함했으며, 학생들이 탐구하며 지식을 통합할 수 있는 활동(예: 그림그리기)으로 구성되었다.

2. 생태계 교육

2.1. 생태계를 보는 관점

생태계는 세포, 한 개체, 군집과 비생물계 등 다양한 수준에서의 구성요소와 생명 현상을 포함하는 거대한 생명시스템이다(Westra, 2008). 생태계의 특성은 개인이 생태계를 보는 관점에 따라 다르게 파악할 수 있다. 생태계를 보는 관점으로는 전체론적, 인공두뇌적, 역동적, 카오스적 관점이 있다(De Jong, 2002; Westra, 2008에서 재인용). <표 Ⅱ-3>에 제시되었듯이, 전체론적 관점과 인공두뇌적 관점은 시스템의 안정적인 평형이 존재한다고 여기는 경향이 있다. 반면, 역동적 관점과 카오스적 관점은 시스템의 발달 방향을 예측할 수 없다고 주장하기에 생태계의 역동성과 복잡성을 더욱 많이 반영한 것으로 보인다. 이 중에서 과학교육에서는 생태계의 역동성과 복잡성을 반영하여 보는 관점이 강조되고 있다(Westra, 2008). 생태계의 역동성은 시스템 수준에서 생태계를 정의하는 중요한 특성이기 때문이다(Hogan & Thomas, 2001).

생태계를 보는 관점으로 생태계의 역동성을 파악하기에 용이한 관점이 강조되므로(Demetriou, Korfiatis & Constantinou, 2009), 생태계 교육에서 학생들이 생태계의 역동성을 다루기에 용이한 접근을 사용할 필요가 있다. 예를 들어, 학생들이 먹이그물에 상향식(bottom up)으로 접근할 경우 먹이그물을 구성하는 개별관계들이 시·공간에 따라 변할 수 있음을 파악하기 용이하므로(Hunter, 2001) 생태계의 역동성에 접근하기 더 쉬울 것으로 보인다. 이는 학생들이 생태계의 역동성을 파악하기 위해서는 상향식으로 학습하는 것이 유용함을 시사한다(Demetriou *et al.,* 2009).

본 연구에서도 학생들이 생태계의 시스템적인 특성을 파악하도록 조력하는 과정에서 역동성을 중요하게 다루었다. 그리고 학생들이 처음에는 생태계를 이루는 개별 요소로부터 시작하여 생태계 내 관계를 점진적으로 다루도록 의도하여 생태계의 역동성 학습에 갖는 학생들의 인지적 부하[2)]를 감소시키고자 하였다.

<표 Ⅱ-3> 생태계를 보는 주요 관점들의 특성
(Westra, 2008, p.50)

관점 / 특성	전체론적	인공두뇌적	역동적	카오스적
생태계 개념을 가리키는 비유	생물처럼 발달하는 것	기계	우연적 현상, 끊임없는 움직임	이동식: 정지, 갑자기 이동
시스템의 본성	열린계	닫힌계	열린계	열린계
발달	단순한 것으로부터 복잡한 것으로 방향성이 있다: 낮은 다양성에서 높은 다양성.	하나의 평형에 도달하고 유지되며, 이때 피드백 기작이 중요한 역할을 한다.	예상할 수 없고, 발달의 방향이 없다.	분명히 안정되어 보이는 상황도 갑자기 예측 불가하게 사라지고, 새로운 안정된 상황이 발생될 수 있다.
평형	복잡한 상황이 안정된다.	평형 근처에서 제한적으로 진동한다. 피드백으로 인한 회복 탄력성이 크다.	일시적이다. 장기적으로 진화와 같은 발달로 교란된다. 회복 탄력성이 적다.	일시적이며, 환경에서의 변화가 없는 상황조차(단기적) 교란될 수 있다. 회복 탄력성이 약하다.
인간의 위치	외부	외부	생태계의 일부	생태계의 일부

2) 인간의 의식적 정보처리는 작동기억에서만 이루어진다(Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). 그러므로, 학생이 복잡한 과제에 노출될 경우, 제한된 작동기억 용량으로 인해 쉽게 인지과부하가 일어나 학습이 잘 일어나지 않을 수 있다(시지현, 2016). 여기에서 '과제의 복잡성이 높다'라는 의미는 '학습 요소의 수가 많고 이 요소 간의 상호작용이 활발해, 이 요소들을 분리하여 학습할 경우 성공적인 학습이 일어나기 힘들다'를 뜻한다(Sweller & Chandler, 1994).

관리와 통제	사람은 생태계에 피해를 주거나, 생태계를 재건하고 관리할 수 있다(예: 포식자를 제거하는 것).	사람은 피드백 기작의 작동을 자극시키거나 늦출 수 있다. 사람이 평형을 유지하는 책임을 갖는다.	모니터한다: 사람은 좋은 상황을 만들 수 있지만, 이는 특정한 사건의 결과라 장담할 수 없다.	모니터한다: 사람은 좋은 상황을 만들 수 있지만, 이는 특정한 사건의 결과라 장담할 수 없다.

생태계를 보는 관점으로 시스템으로 접근하는 관점(생물과 비생물 사이의 상호작용을 중시함)의 타당성이 강조되므로(Hogan & Thomas, 2001), 생태계의 시스템적인 특성에 관한 교육이 필요하다. 생태계를 시스템으로 보는 관점의 사례로써, Eilam(2012)은 선행연구들을 종합하여 먹이관계를 시스템으로 보는 관점을 정리한 바 있다(표 Ⅱ-4).

<표 Ⅱ-4> 먹이관계를 시스템으로 보는 관점(Eilam, 2012)

구성요소	사례
관찰된 것을 광대한 맥락에서 분석	먹이사슬에서 먹이를 먹는 생물이 환경 내·외로 물질과 에너지를 전달한다.
시스템의 속성이 구성요소의 속성과 다르다는 것을 파악	먹이그물의 속성(예: 평형)이 먹이그물 내 개별 생물의 속성과 다르다.
한 변수에서의 변화가 많은 다른 것들에서의 변화를 초래할 수 있음을 인식	한 구성요소의 멸종이 먹이그물의 극적인 변화를 초래할 수 있다.
다양한 인과관계들을 고려함	생산자의 양이 영양단계의 수에 영향을 미칠 수 있다.
시스템의 기능을 미시적·거시적 수준에서 이해	식물 세포 수준의 광합성에 포함된 화학반응이 먹이그물의 구조와 환경의 물질과 에너지에 영향을 미친다.
현재의 행동에 의한 장기적 결과 패턴을 예측하고 시간에 따른 변화를 이해	진화적으로 결정된 생물의 소화계 구조에 따라 먹이사슬의 상위단계를 예측하거나, 그것의 구성요소 내에서 진화적인 변화로 인한 먹이그물의 변화를 예측한다.

<표 Ⅱ-4>를 바탕으로 추론하면, 먹이관계를 시스템으로 보는 학생들은 먹이관계를 통해 가시적인 현상으로부터 규모를 달리하며 본다. 또한, 그들은 미시적 수준의 물질이 이동함을 알 수 있고, 그것을 광대한 맥락에서 분석하여 시스템으로써 나타내는 창발적 특성을 파악하며, 시·공간에 따른 생태계의 변화를 예측할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서도 수업 과정의 목표 설정에서 학생들이 생태계를 시스템으로 보는 관점에서 접근하는 것을 목표로 하였다.

2.2. 생태계 학습에서 학생들이 겪는 어려움

생태계 학습에서 학생들이 어려워하는 부분은 주로 시스템 사고와 관련되며, 시스템 사고 부족은 학생들의 생태계 개념 이해를 제한하는 주요한 요인으로 작용할 수 있다고 제안되어왔다(박지영, 민진선과 김희백, 2003; 한진아와 최도성, 2013; Eilam, 2012; Evagorou *et al.,* 2009; Webb & Boltt, 1990).

일례로, Eilam(2002)은 생태계를 시스템으로 접근하는 관점에서 실험 탐구 프로젝트를 설계한 후, 이 프로젝트에 참여한 중학생들의 담화와 서면 응답을 질적으로 분석하여 생태계 학습에서 학생들이 어려워하는 부분을 4가지 측면으로 범주화하여 제시하였다(표 Ⅱ-5). 그 연구 결과는 각 측면에서 학생들이 겪는 어려움이 서로 관련되고, 관련된 측면들은 학생들이 생태계 먹이관계의 복잡성에 관한 지식을 구성하는 데 중요하다고 강조한다.

Eilam(2002)은 학생들의 어려움과 그것의 상호관련성에 관해 각 측면에서 다음과 같이 4가지로 주장하였다; 첫 번째, 거시적 측면에서의 어려움은 실험 탐구 프로젝트를 한 학생들에게서는 거의 발견되지 않았다. 그러나 개념을 분리하여 이해하거나, 예상되는 특정 결과를 도출하기만을 기대하는 전통적인 수업에 참여한 학생 일부는 먹이관계를 순환 구조로 인식하거나 분해자가 최고차 소비자로부터만 영양을 얻는다고 파악했다.

<표 Ⅱ-5> 학생들의 생태계 학습에서 나타난 어려움(Eilam, 2002)

범주	내용
거시적인 측면	먹이사슬을 구성하는 요소, 그들의 순서 및 특정 역할, 먹이관계에 관해 분명히 드러난 사실
미시적인 측면	생태계 안에서 이동하는 물질과 에너지에 대한 분자적이거나 미시적인 접근
공간적인 측면	한 공간에서 많은 현상이 동시에 발생하며 생물이 어느 시점에서든 여러 역할을 수행할 수 있는 능력에 관한 인식
시간적인 측면	생태계에서 발생하고 먹이 관계에 영향을 미치는 일시적이거나 장기적인 과정

두 번째, 미시적 측면에서의 어려움은 많은 학생에게서 나타났다. 예를 들어, 학생들은 분자가 분해되고 다시 만들어진다는 역동적인 개념을 파악하지 못했기에 광합성 산물이 직접 제공되지 않는 먹이사슬을 이해하기 어려워 했다. 미시적 수준 파악은 생태계에서 높은 수준의 이해 여부를 판가름할 수 있는 중요한 요소이다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007). Hmelo-Silver *et al.*의 연구에서 수족관 생태계의 특징에 관해 초보자들이 작성한 설명에서 물고기, 바위와 같은 가시적 요소를 주로 강조한 반면, 산소, 질소, 박테리아와 같은 비가시적 요소들은 거의 언급하지 않는 한계가 나타났던 사례에서도 이러한 측면을 볼 수 있다.

세 번째, 시·공간적 측면에 관한 어려움도 학생들에게서 광범위하게 나타났다. 학생들은 특정 공간에서 동시에 많은 활동이 발생하고, 한 생물이 어떤 시점에서 여러 역할을 수행할 수 있음을 이해하기 어려워한다. 또한, 학생들은 광범위하고 장기간의 사건들이 생태계 먹이관계에 영향을 미치는 것에 대한 인식이 부족하다. 시·공간적 측면에 관한 어려움은 미시적 측면에서의 어려움과 관련되어 학생들이 생물 내 분자변형을 파악하지 못하게 함으로써 물질순환에 대한 이해를 저해할 수 있다. 또한, 학생들이 먹이관계를 단일한 방향으로만 파악하게 하여 먹이그물 이해를 제한할 수 있다.

학생들이 시·공간적 측면에서 갖는 어려움은 중학생과 고등학생들에게 공통으로 발견되는 사항이다. 예를 들어, 학생들이 먹이사슬 내에서 단편

적인 관계만을 고려하는 모습이 선행연구들을 통해 나타났다. Webb and Boltt(1990)의 연구에서 중학교 고학년 학생이나 고등학생들이 한 군집에서의 변화는 직접적으로 관련된 다른 군집에만 영향을 미친다고 생각하는 것으로 보였다. 유사한 사례는 국내 고등학생 대상으로도 관찰된 바 있다(e.g. 박지영과 김희백, 2003).

시·공간 측면에서 생태계 내 과정들을 이해하는 것은 생태계의 역동성을 파악하는 근간을 이룬다(Thompson & Townsend, 2003). 이러한 점으로 미루어볼 때, 학생들은 생태계의 역동성에 관한 인식이 부족한 것으로 보인다. 학생들은 다양한 물질이 생태계에서 순환되는 과정이 생태계의 비생물적·생물적인 요소들의 관계나 생물 안의 비유기적·유기적 요소들의 관계로 이루어진다고 해석하기 어려워한다(Eilam, 2012).

또한, 학생들이 순환을 제대로 인식하지 못하는 것은 생태계의 기능과 구조에 대한 이해를 방해하는 것으로 보인다(Eilam, 2013). 예를 들어, 박지영과 김희백(2003)은 고등학생들이 질소순환에 관한 평가 문항에 응답한 것을 분석하며 그들이 생태계 내의 다양한 상호작용이 한 현상에 함께 영향을 미친다는 것을 인식하지 못하고 부분에만 초점을 맞추는 경향이 있음을 발견했다.

학생들이 생태계를 학습할 때 가지는 어려움을 극복하도록 조력하기 위해, 본 연구의 수업 과정은 학생들이 시·공간에 따라 영양소의 이동을 탐색하는 과정에서 생태계의 역동성(예: 순환)을 파악할 수 있도록 과제에 개념적·인식적·인지적·사회적 지원을 했다. 아울러, 교사나 활동지의 질문으로써 학생의 사고를 촉진하고자 했다. 그리고, 수업 과정에 참여하는 학생들이 생태계 학습과 관련된 어려움(예: 미시적 측면, 혹은 역동성 파악의 어려움)을 극복하는 맥락에 주의를 기울였다.

2.3. 생태계 학습에서 학생들의 개념과 시스템 사고 분석

생태계 교육에서 역동성 등 시스템의 특성에 관해 다루는 기회의 제공이 부족하며, 생태계 학습에서 겪는 학생들의 어려움도 시스템 사고의 부족과 관련되었음을 위에서 다루었다. 이러한 인식을 바탕으로 학생들

의 생태계 학습 수준을 조사하는 선행연구들에서는 생태계 개념과 더불어 시스템 사고를 함께 분석해왔다(Eilam, 2012; Goh *et al.,* 2012; Mohan, Chen & Anderson, 2009; Schramm, Jin, Keeling, Johnson & Shin, 2018; Zangori *et al.,* 2017).

학생들의 생태계 개념 및 시스템 사고 분석방법으로 사용된 도구 중 하나는 설문지이다. 설문지는 많은 수의 학생들을 대상으로 조사할 수 있으므로 양적 연구나 혼합연구의 도구로 주로 활용되어 결과의 신뢰성을 높이는 데 기여해 왔다.

설문지법을 사용한 연구사례 중에서 첫 번째, Eilam(2012)은 먹이관계를 주제로 하는 수업에 참여한 중학생을 대상으로 먹이관계를 시스템으로 이해하는지 알아보기 위한 사전·사후 검사를 실시하였다. 이후, Eilam은 학생 응답에 대해 시스템을 기술하는 특성 53개를 기준으로 분석하였다. 이러한 연구방법은 사전·사후 검사 설문을 분석할 때 시스템을 기술하는 특성을 많이 반영하여 학생들의 시스템 사고를 다양한 측면에서 구체적으로 분석할 수 있다는 강점이 있다.

두 번째, Goh *et al.*(2012)은 중·고등학생을 대상으로 새로운 생물의 유입이 기존 생태계에 어떠한 변화를 일으키는지에 대한 설문조사를 시행하여 복잡계 이해 측면에서 학생들의 학습발달과정을 탐색했다. 이 연구에서 학생들의 응답에서 복잡계 이해를 분석하기 위한 코딩 범주로 동인(agent)이 이끄는 결과, 한 행동이 주는 영향, 서로 연결된 상호작용, 다양한 원인, 순서, 과정의 총 6개 범주를 사용하였다. 이 연구는 설문지에 관한 학생 응답을 바탕으로 복잡계에 관한 아이디어를 학생들이 쉽다고 여기는 것부터 어렵다고 판단하는 것까지 순차적으로 탐색했다는 의의가 있다.

세 번째, Schramm *et al.*(2018)은 시스템 주제의 선행연구에서 밝힌 학습 발달과정에 기반을 두어 교육과정을 설계했다. 그리고 이 교육과정에 참여한 중·고등학생들을 대상으로 광합성, 호흡, 생합성 같은 탄소 변형과정에 관한 추론을 평가하였다. 이 연구에서 학생들의 서면 응답은 연구자들이 선행연구를 바탕으로 작성한 루브릭에 기반을 두어 코딩되었

다. 이들은 각 문항별 루브릭에 문항에서 다루는 개념과 시스템 사고를 바탕으로 학생의 이해수준을 4개로 나누어 구체적으로 기술하였다(표 Ⅱ-6).

<표 Ⅱ-6> '식물 생장에 필요한 에너지'에 대한 이해수준 분석틀의 일부(Schramm *et al.,* 2018)

수준	내용(사례)
4	식물을 위한 유일한 외부 에너지원으로 빛을 식별한다("빛은 식물의 에너지원이며, 토양의 영양물질은 에너지를 써서 만들어진 것이다.").
4수준의 응답은 빛을 유일한 에너지 자원으로 설명하지만, 3수준은 종종 다른 것들을 에너지 자원으로 포함시킨다.	
3	물질과 에너지를 구별하며 식물이 광합성을 통해 자신의 에너지를 만든다는 것을 식별하거나 에너지 변환에 대해 작업하나, 옳지 않다("공기와 빛은 광합성을 위한 에너지원이며, 토양의 영양물질은 식물의 에너지 생성에 기여하지 않는다.").
3수준의 응답은 물질과 에너지에 관해 광합성에서의 역할을 통해서 구별하기 시작하지만 2수준은 그렇지 않다.	
2	서로 다른 물질들이 서로 다른 식물 기능을 어떻게 지지하는지 설명하거나, 어떤 감추어진 기작에 기반을 두어 식물에게 필요한 것을 구분하거나, 포도당이나 광합성에 관한 설명 없이, 식물이 스스로 먹이를 만든다고 설명한다("비타민을 포함해야만 식물의 에너지원이 되므로 공기는 에너지원이 아니다.").
2수준의 응답은 성장에 대한 핵심요소로써 보이지 않는 기작 일부를 설명한다. 반면, 1수준은 어떻게 물질이 식물 생존을 돕는지에 초점을 둔다.	
1	사람과 유사한 점을 비유하여 성장을 설명하거나 일반적으로 성장, 생존을 위한 식물의 요구에 초점을 둔다("식물은 물, 빛, 공기, 영양소를 필요로 하므로 사람과 비슷하다.").

<표 Ⅱ-6>의 평가 루브릭은 학습발달과정과 일치하는 수준의 설명이 무엇인지 명시했다. 또한, 평가자가 인접한 두 수준 사이를 구별하는 기준이 무엇인지 기술하고, 수집된 학생 응답에서 선택한 예시 응답을 포함을 포함하여 평가의 신뢰성을 높였다는 의의가 있다.

Mohan *et al.*(2009)은 초등학생, 중학생, 고등학생을 대상으로 하여 탄소변형과정을 다루는 문항 평가와 인터뷰를 실시한 후, 탄소변형 주제에 관한 학습 발달과정을 제시한 바 있다. 이 연구는 탄소변형과정을 유기체 생성, 유기체 안의 탄소변형, 유기체의 탄소 산화의 세 가지로 나눈 후 해당 범주에서 학생들의 이해가 점차 진보되는 과정을 1수준부터 4수준까지 파악했다(표Ⅱ-7).

<표Ⅱ-7> 탄소변형 과정에 관한 학습발달과정(Mohan *et al.,* 2009)

1수준	· 동·식물 및 죽은 생물에서 일어나는 거시적 현상을 서로 분리하여 기술함. · 생물과 무생물을 서로 분리된 존재로 인식함(예: 식물의 무게는 잎으로부터 유래하며, 나무가 자랄 때 잎이 커지므로 무게가 커진다.).
2수준	· 사건에 관한 감추어진 기작을 포함하며, 인과적 설명을 함. · 시스템 안팎의 관찰 가능한 현상에 주로 초점을 두지만, 감추어진 부분이나 기작을 인정함(예: 식물의 무게는 토양과 비료로부터 유래한다.).
3수준	· 관찰된 현상에 관한 화학변화로 기작을 설명함. · 관련 지식이 부족하거나 질량 보존 법칙을 적용하지 못함. (예: 식물의 무게는 물로부터 유래하며, 식물이 빛을 받아 물에 반응이 일어나 포도당이 생성되어 커진다.)
4수준	· 관찰된 현상에 관한 화학변화로 기작을 설명하며, 질량 보존 법칙을 적용함(예: 식물의 무게는 공기 중의 이산화탄소부터 유래한다. 그 화합물 내 탄소가 포도당 생성을 위해 사용된다.).

Mohan *et al.*(2009)에 따르면, 탄소변형에 관한 개념 발달과정은 학습과정 초기에 학생들이 일상적인 경험에서 탄소변형을 포함하는 현상을 기술하는 것으로부터 시작한다. 반면, 탄소변형에 관한 학습발달과정의 상위단계에 해당하는 학생들은 서로 다른 수준의 시스템을 화학변화를 통해 연결하는 데 중점을 두었다고 한다. Mohan *et al.*은 중간단계의 구분을 학생들이 해당 개념을 사용하면서 어떠한 추론을 했느냐를 기준으

로 2단계로 나누었다. 그것을 통해 <표Ⅱ-7>과 같이 탄소변형에 관한 학습발달과정을 의미하는 4단계를 설명하였다. <표 Ⅱ-7>의 분석틀은 학생들이 거시적 구성요소만을 파악하는지, 혹은 감추어진 측면도 파악하는지에 따라 1수준과 2수준이 나뉜다. 또한, 학생들이 화학변화로 기작을 추론하는 데까지 도달하면 3수준, 현상에 해당하는 기작을 옳은 과학적 개념 및 법칙으로 파악하면 4수준에 해당한다고 설명한다. Mohan *et al.*의 연구는 탄소변형에 관한 학생들의 생태계 학습 수준이 어느 단계에 위치하는지 바로 판별할 수 있는 분석틀을 제시했다는 의의가 있다. 아울러, 이는 탄소의 변형 및 이동과 공통점을 갖는 물질순환 주제에 적용 가능하다는 장점이 있다.

그러나 위의 선행연구들에서는 학생들이 설문조사에서 작성한 서면 응답만을 대상으로 하여(Eilam, 2012; Goh *et al.,* 2012; Schramm *et al.,* 2018), 학생들이 그러한 응답을 하기까지의 사고과정을 구체적으로 분석하지 못했다는 점에서 한계가 있다.

설문조사의 한계를 극복하는 사례로, Zangori *et al.*(2017)은 탄소 순환과 기후변화를 주제로 사회 속 과학 쟁점(SSI) 기반 수업을 설계하여 시행하고, 참여한 중학생들의 추론을 분석하여 모형 기반 추론의 발달과정을 탐색하였다(표 Ⅱ-8). 그들의 연구에서는 학생들의 활동 중 담화와 그림, 사후 인터뷰를 자료로 수집하고 이 자료를 대상으로 양적 분석과 질적 분석을 혼합하였다. <표 Ⅱ-8>의 평가 루브릭은 교육과정에 제시된 탄소 순환에 대한 학생 이해의 표준, 선행연구에서 인용한 모형 기반 설명, 기후변화 소양에 대한 원리를 바탕으로 구성되었다. Zangori *et al.*은 생태계 개념과 모형기반설명이 갖추어야 하는 추론방식을 혼합했고, 양적 분석뿐만 아니라 질적 분석도 추가하여 깊이 있는 결과를 도출하고자 하였다. 그러나 탄소 순환과 기후변화가 다양한 개념을 포함하는 데 비해, 분석틀의 '설명 과정'에서는 학생들의 개념을 '관련 지식이 (약간) 있거나 없다'라는 단순한 범주로 분석하여 학생들의 생태계 학습을 구체적으로 탐색하는 데에는 한계가 있는 것으로 보인다.

<표 Ⅱ-8> 탄소 순환과 기후변화의 상호관계에 관한 학생의 모형 기반 설명 분석틀(Zangori *et al.,* 2017)

범주	내용 및 세부수준
구성요소	단어, 숫자, 물체 등 모형 구성에 사용하는 요소
관계	시·공간적 경계에서 발생하는 결과를 만드는 인과관계
설명 과정	학생들이 원인과 결과를 연결하는 방식, 혹은 관계를 이루는 기본적 기작 파악 다음과 같은 세부수준으로 나누어진다:
	0점 - 탄소 순환과 기후변화에 대한 지식이 없다.
	1~2점 - 탄소 순환에 대해 약간의 지식이 있으나 기후변화에 대한 지식은 없다.
	3~4점 - 탄소 순환에 대한 지식과 기후변화에 대한 지식이 모두 있다.

위에서 다룬 연구들로부터 얻은 함의를 바탕으로, 본 연구에서는 학생들의 생태계 학습을 개념과 시스템 사고로 동시에 분석하였다. 이때, 생태계 내용에 관한 면밀한 검토를 통해 수업 과정 주제인 영양소 순환을 이루는 핵심과정들과 그것을 충분히 설명할 수 있는 개념들을 교육과정에 기반을 두어 기준으로 정했다. 더 나아가 학생들의 전반적인 학습 수준을 파악하기 위해 탄소변형에 관한 학습발달과정(Mohan *et al.,* 2009)을 연구 맥락에 맞게 수정하여 활용하였다. 따라서 연구자는 본 연구에서 학생들의 관련 개념을 옳게 파악했는가와 함께 시스템 사고를 분석하여 학생들의 생태계 학습양상을 설명하도록 의도했다.

2.4. 학생들의 생태계 학습을 조력하기 위한 교육적 개입

생태계를 보는 관점 중에서 사람과 환경 사이를 포함한 생물과 비생물 사이의 상호작용을 중시하는, 즉, 시스템으로 접근하는 관점이 더욱 강조되고 있다(Hogan & Thomas, 2001). 생태계를 보는 관점이 평형으로부터 비평형적인 관점으로, 관계의 일방성에 주로 주목하는 데에서 상호조절과정에 초점을 두는 것으로, 인과성의 원인을 단일한 측면에서 찾는

것에서 다양한 경로에서 찾는 것으로 이동한 사례로부터도 생태계에 시스템적으로 접근하는 방식이 강조됨을 알 수 있다(Pickett *et al.,* 1994).

그러나, 학생들은 시스템 사고를 어려워하고 낮은 수준의 시스템 사고를 보이는 경향이 있다(박지영과 김희백, 2003; 한진아와 최도성, 2013; Eilam, 2002, 2012; Evagorou *et al.,* 2009). 이러한 상황을 반영하여, 생태계 교육에서 생태계 개념과 관련된 아이디어 중에서 시스템 사고에 유래된 것에 더욱 초점을 둘 필요성이 제안된 바 있다(Westra, 2008). 국내에서도 생태계 교육이 주로 기본 개념이나 용어에 초점을 맞추어 제시되어 시스템으로서의 생태계의 특성을 다루는 데는 한계가 있었다. 따라서 학생들에게 단순히 생태계 지식을 전달하기보다는 생태계와 관련되는 다양한 요인을 고려할 기회를 제공하는 것이 중요하다는 연구(e.g. 박지영과 김희백, 2003)가 제기되고 있는 실정이다.

생태계 교육에서 시스템적인 측면을 강조한 수업설계에 관한 선행연구(Assaraf & Orpaz, 2010; Eilam, 2002; Verhoeff *et al.,* 2008; Westra, 2008)에서 주로 먹이 관계를 주제로 다루는 경향이 있었다. 먹이관계는 어떠한 생태계에서도 필수적이고 두드러진 모든 요소를 온전히 포함하며, 이 주제로 수업할 때 학생들이 가진 생태계의 구조와 기능에 대한 이해가 잘 드러나는 경향이 있기 때문이다(Eilam, 2002). Eilam(2012)은 먹이 관계를 시스템으로 접근하는 관점에서 설계한 수업을 중학생들에게 실험 탐구 프로젝트 형태로 운영하였다. 그 결과, 생태계 내 상호작용에 관한 학생들의 이해가 향상되고, 학생들이 생물을 통한 에너지와 물질의 이동으로 먹이관계의 본질을 정의하는 경향을 나타냈다. 이러한 연구 결과는 학생들이 일상경험을 통해 쉽게 접근하는 먹이관계에서 시스템적인 특성을 파악할 수 있다는 가능성을 제시한다는 의의가 있다.

미니생태계 구성 활동으로 실제 생태계를 경험하는 기회를 제공하는 것의 가치가 제안되기도 했다(Lee & Brown, 2011). 이러한 연구에서는 미니생태계가 실제 생태계에 비해 축소된 시·공간적 규모만을 포함하고, 격리된 생태계이므로 인접한 생태계로부터 받는 영향을 충분히 반영할 수 없다는 단점을 인정한다. 그러나 미니생태계는 실제 생태계 관찰자의

활동 범위를 넘는 광대한 시·공간적 규모를 가지므로, 관찰 결과의 불확실성을 극복할 수 있으며 실험을 위한 조작이 가능하므로 학교 교육에서 미니생태계 활용 수업이 효과가 있음이 제시된 바 있다(이승준, 2017).

이 외에도, 생태계 교육에서 교사가 학생들에게 적절한 스캐폴딩을 제공할 때 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있음을 보인 사례들이 있다. 예를 들어, 시스템 사고에 익숙하지 않은 학생들에게 명시적으로 시스템 사고를 가르칠 필요성이 제안된 바 있다(Assaraf & Orpaz, 2010).

생태계 교육에서 학생들의 시스템 사고를 촉진하기 위한 활동은 소집단 활동으로 구성될 때 더 큰 효과가 있을 것으로 예상된다. 생태계의 시스템적인 측면을 학습하는 데 있어서 소집단 활동이 갖는 구체적인 장점이 있기 때문이다. Eilam(2002)은 학생들이 모둠 단위로 학습하게 될 때, 각 개인이 처음에 가진 것의 총합을 능가하는 이해를 할 수 있고, 협동적으로 생태계에서 일어나는 현상에 대한 이해를 구성하게 되므로, 복잡하고 장기적인 과제를 할 때 학생 개인이 갖는 인지적인 부하가 감소하는 것으로 보인다고 주장한 바 있다.

생태계 교육에 관한 선행연구에서는 소집단 표상화 활동을 주로 포함하였다(Evagorou *et al.,* 2009; Westra, 2008). 학생들이 생물학적 시스템에 대한 표상을 발달시키는데 시스템 사고를 사용하는 경향이 있기 때문이다(Verhoeff *et al.,* 2008). 학생들이 생태계를 표상화하는 과정에서 시스템이 단순화되고, 생태계의 감추어진 주요 과정들과 기작들이 가시적으로 되어 학생들이 시스템을 다룰 수 있다(Zangori & Forbes, 2015). 예를 들어, Manz(2012)는 초등학생들이 야생 뒤뜰을 학습하는 과정에서 표상화 활동을 통해 뒤뜰을 재기술하며 새로운 관계들을 더해 나가고, 이는 역으로 새로운 표상을 만드는 데 필요한 질문들을 촉발함을 보였다. 과학적 모형구성활동에 표상화 활동을 포함시킬 경우, 학생들이 생태계처럼 복잡하거나 눈으로 볼 수 없는 생물학적 과정의 역동성과 생물 시스템의 위계적 구조를 시각화할 수 있다(Verhoeff *et al.,* 2008). 이러한 선행연구들에서 제시된 바를 바탕으로 하여 본 연구의 수업 과정 설

계는 학생들에게 시스템에 관한 분명한 도입을 하고, 미니생태계를 구성하게 하며 생태계 교육에 표상을 적극 활용하는 방향으로 이루어졌다.

3. 표상

3.1. 표상의 정의 및 교육적 중요성

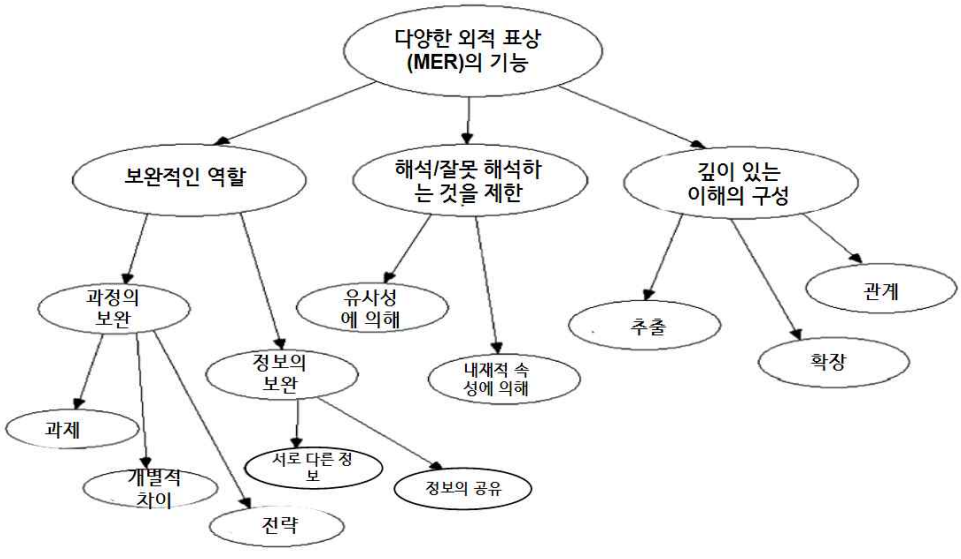
과학교육에서 표상은 “과학적 아이디어나 개념을 상징하거나, 비유하며, 언어적 설명, 문자, 도표, 그래프, 시뮬레이션 같은 형태(Tang, Delgado & Moje, 2014, p. 306)”로 나타낼 수 있다.

Lemke(1998, p.87)는 “과학을 읽고 쓰기 위해, 과학을 말하기 위해, 과학을 하기 위해 담화, 수학적인 표현, 그래프 등 시각적으로 표상하는 방법을 결합할 필요가 있다”라며 과학교육에서 표상의 중요성을 강조한 바 있다. 과학교육에서 표상으로 자신의 생각을 시각화하는 것의 중요성은 과학 개념 이해 과정에서도 강조되고 있다(Gilbert, 2005). 선행연구들에서는 표상의 활용이 과학교육에 미치는 긍정적인 영향을 조사해왔다. 첫 번째, 표상은 학생들이 서로 과학 개념을 의사소통하는 데 중요하다(Mathewson, 1999). 학생들이 표상을 공개적으로 공유할 때 표상을 보며 서로의 아이디어가 지닌 명확성, 일관성, 내용을 비판하는 맥락이 조성되기 때문이다(Linn, Lee, Tinker, Husic & Chiu, 2006). 두 번째, 학생들은 시각적 표상을 통해 글자들의 연결로 이루어진 정보를 더욱 잘 기억할 수 있다(Peeck, 1993). 세 번째, 표상은 학생들의 문제 해결 능력을 개선하고, 학생들이 기존지식에 새로운 지식을 통합시키는 것을 촉진한다(Bowen, Roth & McGinn, 1999).

과학은 그래픽, 다이어그램, 모형, 시뮬레이션 등의 형태로 외적으로 시각화될 수 있다. 외적 시각화는 현상이 시각화되어 나타나는 형식에 따라 서로 다른 영역의 기호 시스템을 포함한다. 이러한 점에서 외적 표상화는 서로 다른 기호들로부터 유래한 다양한 의미를 가진다(Frederiksen & Breuleux, 1988). 이처럼 학생들이 다양한 형태의 외적 표상을 만드는 활동에 참여할 때, 현상에 대한 서로 다르거나 부분적인 이해의 발달이 촉진될 수 있기 때문에(Greeno & Hall, 1997) 학습자들이 하나 이상의 외적 표상을 활용하여 학습하는 경우 그 효과가 더 크다

(Tsui & Treagust, 2013). 예를 들어, 과학적 현상에 관한 학습에서 언어적 표상과 시각적 표상을 함께 활용할 때 다중 표상의 이점이 증대된다. 언어적 표상과 함께 거시적, 미시적, 상징적 표상 등의 다양한 수준으로 시각적 표상을 변환하면서 설명할 수 있는 능력을 기르면 학습 효과가 더 커진다(Kozma, 2003).

Ainsworth(1999, 2006)는 다양한 외적 표상(Multiple External Representation)이 학습에서 갖는 기능을 <그림 Ⅱ-1>과 같이 정리한 바 있다. <그림 Ⅱ-1>로부터 미루어볼 때, 다양한 외적 표상은 과정이나 정보를 상호보완적으로 인식할 수 있게 하고, 해석을 지원하며 깊이 있는 이해 구성을 촉진하는 등 학생들의 학습에 기여할 수 있다는 것을 알 수 있다.



<그림 Ⅱ-1> 다양한 외적 표상의 기능(Ainsworth, 1999, p.134)

3.2. 표상화 활동이 학생의 메타인지에 미치는 영향

3.2.1. 메타인지

메타인지는 자신의 학습을 모니터링, 통합 및 확장하는 과정을 의미한다(Gunstone & Northfield, 1994). Flavell(1979)은 메타인지를 개인의 인지를 대상으로 하는 지식, 인지적 과제에 대한 지식, 다른 과제들의 해결에 적용될 수 있는 전략들에 대한 지식, 그리고 개인의 인지적 활동 중에 발생하는 경험으로 범주를 나누어 설명했다(표 Ⅱ-9).

<표 Ⅱ-9> 메타인지의 범주별 속성(Flavell, 1979)

범주			속성(사례)
메타인지적 지식	개인 변인	개인(내적)	자신의 관심, 태도, 성향에 대한 지식 및 신념(“나는 듣는 것보다 그리는 것을 통해 더 잘 학습한다.”)
		개인(사이)	사람들 간의 차이를 아는 것(“내 친구는 사물을 세심하게 관찰하는 경향이 있다.”)
		보편적	인간의 인지나 사고의 보편적인 측면에 대해 알고 있는 지식 및 신념(“사람은 특정 현상을 이해하지 않고 외울 경우에 잘 기억하지 못한다.”)
	과제 변인		과제의 성질과 처리 방법에 대한 지식(“이 과제는 정확한 관측값을 산출하는 것이 중요하다.”)
	전략 변인		목표에 도달하기 위한 절차나 인지적 전략에 대한 지식(“소집단에 제시된 의견을 평가하고 타당성을 검증해야 한다.”)
메타인지적 경험			어떤 인지적 작업을 수행하는 중에 발생하는 인지적, 감정적 경험 중 의식적인 것(“내 친구가 내 의견에 무조건 반론하니 기분이 나쁘다.”)

Flavell(1979)에 따르면, 인지적 전략들은 개인이 지식을 구성하는 데 있어 발전할 수 있도록 해주는 반면, 메타인지적 전략들은 개인이 이해를 평가하고 새로운 상황들에 지식을 적용시킴으로써 자신의 발전을 모니터링하고 향상시킬 수 있도록 해준다는 점에서 서로 구별된다.

3.2.2. 표상화 과정과 메타인지의 관계

사고를 외부로 표출하는데 다양한 표상의 중요성이 강조되고 있다(Wu & Puntambekar, 2012). 학생들은 표상화 과정에서 과학을 그래픽, 다이어그램, 모형, 시뮬레이션 등의 형태로 외적으로 시각화하게 된다(Frederiksen & Breuleux, 1988). 그런데 학생이 시각화하는 것은 메타인지, 즉 어떤 사람의 생각에 대한 사고 능력을 수반한다(Adey & Shayer, 1994).

또한, 학생들이 표상을 구성하거나 조정, 인식하는 역량에 메타인지가 작용한다(Griffard, 2013). Griffard는 표상과 메타인지 사이의 밀접한 관계를 제안했다. 그의 연구에 따르면 학생들은 표상의 세부사항과 단서를 인식하고 그림에서 표상 요소의 의미를 생성하기 위해, 그리고 그들의 가설을 평가하기 위해 사전 지식을 전이하고 적용한다. 이때, 학생들은 어떤 정보가 빠졌는지 아는 것을 포함하는 메타인지를 하게 된다. 따라서 메타인지는 표상 구성에 필요하다고 볼 수 있다.

3.3. 표상화 활동을 통한 학습과 학생의 인식론의 관계

표상을 활용한 교육은 학생들의 인식론과 서로 영향을 주고받는 것으로 보인다. Griffard(2013)는 표상과 인식론 사이의 관계를 제안한 바 있다. 그의 연구에 따르면 학생들이 표상을 구성하거나 조정, 인식하는 데 있어 인식적 목표가 그 과정을 안내하는 역할을 했으며, 인식적 목표는 학생들이 표상 구성에 관해 가진 인식론에 따라 다르게 설정되었다. 학생들이 어떠한 활동을 하는데 갖는 인식적 목표는 그들이 하는 활동에 관한 인식적 이해를 안내하는 기준이 된다(Berland *et al.,* 2016). 이러한 점에서도 학생의 인식론은 그들의 표상 구성과정에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 예컨대, 표상에 관한 학생들의 인식적 이해는 그들이 역동적 표상을 사용하는지 여부에 영향을 미칠 수 있다는 가능성이 제시된 바 있다(Chang, 2018).

Olander, Wickman, Tytler and Ingerman(2018)은 학생들이 표상을 해석하는 의미가 표상이 직접적으로 드러내는 의미가 아니라 활동의 목적과 관련된다고 주장했다. 그들은 이러한 사례로 어린이들이 기관계와 물질대사에 관한 특정 표상을 만들고, 교사의 요구에 따라 그것을 설명하는 사례를 들었다. 그때, 학생들은 반복하여 목표를 바꾸어 설정하는 가운데 그들이 표상을 해석하는 방법이 일상적인 기술에서 벗어나 점차 과학적인 기술로 변환되었다. 이러한 결과로부터 학생들의 표상화 활동은 학생이 그 활동에 관해서 설정한 인식적 목표의 영향을 받을 것이라고 예측할 수 있다. 활동의 인식적 목표는 '실행에서의 인식론(Berland *et al.,* 2016)'에서 중요하게 다루어진다. 그리고 활동의 인식적 목표는 학생이 활동하는 방식을 안내하는 등 학생의 인식적 실행 양상을 결정하는 중요한 요소이다.

학습에서 학생의 실행을 중시하는 관점에서 그림의 가치는 "인식적 매개자(Magnani, 2013, p. 303)"라는 용어로 주장된 바 있다. Magnani에 의하면, 그림 그리기를 통해 학생들이 추측에 근거한 사고를 외부로 표현한 다음 아이디어를 통합하고 발전시킬 수 있다. 이 과정에서 학생들의 인지과정이 메타인지 과정과 공동으로 촉발되며, 생산적인 인식론도 조성되는 경향이 있다. 예를 들어, 학생들의 그림 그리기가 그들의 메타인지를 촉진하는 과정에서 학생들이 생산적인 인식론을 가졌을 때 나타나는 실행과 같은 특성이 나타난다(Collins & Ferguson, 1993). 이러한 점에서도 인식론과 표상화 활동 사이의 밀접한 관계를 추론할 수 있다.

3.4. 표상을 활용한 교육이 생태계 학습에 미치는 영향

시스템은 여러 상호 관련된 수준들로 구성되며 그 수준들은 역동적으로 상호작용하기 때문에 복잡하고 이해하기 어렵다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007). 과제에서 학습해야 할 요소들이 활발히 상호작용하는 중이며, 학생이 이해하지 않고서는 개별적으로 처리할 수 없다면, 그 수업 과제는 학생에게 많은 인지적 부하를 가중하게 된다(Sweller & Chandler, 1994).

이런 경우에 외적 시각표상을 활용하면 학생들이 시스템을 학습할 때 추상적이고 인식할 수 없는 속성과 관계들을 다루는 데에서 겪는 어려움을 극복하도록 도울 수 있으며(Hung, 2008), 학생들에게 비선형적으로 조직된 생물학적 현상을 교육하는 데 도움이 된다(Buckley & Boulter, 2000). 또한, 외적 표상화 활동을 통해 관련 개념들 사이의 다양한 관계를 탐색하고 지식을 통합할 수 있으므로 시스템 사고 교육에 적합하다(Clement, 2000).

표상화 과정은 학생들이 시스템에 관해 더 잘 이해하도록 촉진하며, 교사가 학생들의 시스템 이해를 파악하는 데에도 도움이 된다. 이러한 의견에 기반을 두어 추론하면, 시스템 주제의 교육에서 교사가 학생들에게 개념 및 개념 간의 상호관계를 외적 표상으로 나타내도록 지원할 필요가 있다. 이러한 연구사례로, Hmelo-Silver *et al.*(2007)은 중학생, 중등교사 및 수계를 다루는 전문가들을 대상으로 종이에 수족관과 인체 내 호흡계를 그리게 하면서 미시적·거시적, 혹은 구조에서 원리·기능으로 범주를 달리하여 시스템을 설명하도록 유도하는 연구를 했다. 이를 통해, Hmelo-Silver *et al.*은 학생들이 시스템의 구조-기능-행동(SBF)적인 측면을 다루는 표상 구성에 참여하게 했다. 연구 결과, 그들은 과학교육에서 표상을 학생들의 복잡계 이해를 위한 인지적 도식으로 활용할 수 있다고 제안한 바 있다.

시스템 이해를 위한 표상의 활용은 학생들이 미시적인 과정과 공간 규모를 파악하는 데에도 도움이 된다. 예를 들어, Schramm *et al.*(2018)의 연구에서 학생들은 탄소변환과정을 다루는 탐구학습에서 물질과 에너지를 구분하게 하고 공간적 규모를 로그함수 규모로 변환하여 비교하도록 촉진하는 시각적 추론 도구를 반복 사용하였다. 그 과정에서, 학생들은 탄소변형과정에 관한 오개념을 적게 사용하게 되고 광합성과 호흡을 더 잘 이해할 수 있었다.

시스템은 여러 상호작용하는 요소들을 포함하므로 시스템을 그림으로 나타내는 것은 학생들로 하여금 인지적 부하를 야기할 수 있다(Sweller & Chandler, 1994). 그러나, 시스템을 주제로 그림그리기의 어려움은 단

계적인 표상화 활동으로 극복될 수 있을 것으로 판단된다. 학생들이 시스템을 구성하는 요소와 관계들을 그림으로 종합하기 전에 표 작성과정에서 중요한 관계를 선별하여 표상화하는 요소의 수를 감소시킨다면 시스템의 복잡성이 감소하게 되어 학생들에게 인지적 부하가 과다하게 부과될 가능성을 줄일 수 있을 것이다. 표상을 변환시키는 활동은 또 다른 교육적 의미도 있다. Tsui and Treagust(2013)의 연구에 따르면, 학생들의 표상 변환과정에서 실제 세계의 물체들과 행동에서부터 인간의 언어에 이르기까지 그들이 다루는 대상의 추상성이 증가하게 된다고 한다. 또한, 그들은 표상의 연속성에 따라 표상 방식을 수평적으로 변환(horizontal translation across modes of representations: HTM)시키는 것을 통해 학습이 발생할 수 있다고 주장한다. Tsui and Treagust는 이 주장을 뒷받침하는 사례로 학생들이 생태계 학습이 일어나는 과정에서 시각화할 수 있는 구체적인 물체(예: 눈신토끼와 스라소니)에서부터 근본적 개념(예: 피식-포식 관계)에 이르기까지 좀 더 추상적인 방식에 의해 표현되는 방식으로 HTM이 이뤄질 수 있으며, 이 과정에서 학습이 이뤄진다고 주장했다. 따라서 표상을 변환시키는 활동 자체가 학생들의 학습을 유도하며, 학생들이 그림그리기에 바로 진입할 때 겪게 되는 인지적 장벽을 낮추어줄 것으로 판단할 수 있다.

표상화 활동은 학생들의 개념 이해에도 기여하는 것으로 보인다. 학습자는 다양한 표상으로 된 정보를 선택, 조합 및 조직화해서 설명을 구성한다(Sandoval & Millwood, 2005). 예컨대, 물질을 원자와 분자 수준에서 표상화하고 특정한 물질을 관찰 가능한 현상에 연결하는 것은 학생들이 물질에 대한 통합된 이해를 발달시키는 데 중요하다(Linn *et, al.,* 2006; NRC, 2007). 특히, 학생들이 소집단 표상화 활동을 하면 동료와 상호작용하면서 용어나 상징적 표상들의 의미를 협상하게 된다. 이 과정에서 학생들은 자신의 추론을 명료화하며, 다양한 맥락에서 어떤 것이 증거로 고려되는지 명료화할 수 있다. 그리고, 이는 결과적으로 학생들의 지식 구성을 지지하는 것으로 보인다(Asterhan & Schwarz, 2007).

4. 인식론적 메시지

‘인식론적 메시지(Russ, 2018, p.99)’는 교육학에서 개인의 인식론을 심리학적 관점으로 보는 연구(e.g. Perry, 1970)의 연장선에서 최근에 제시된 용어이다. 인식론적 메시지의 정의를 깊이 있게 이해하기 위해서는 교육학에서 인식론이란 무엇을 의미하는지를 관련되는 여러 개념과의 관계선 상에서 파악하고, 그것이 학생들의 학습에 어떠한 의의를 가지며, 어떻게 연구할 수 있는지 풍부하게 탐색할 필요가 있다. 본 절에서는 ‘인식론적 메시지’라는 개념이 도입되기까지의 배경을 이루는 이러한 측면을 살펴보며 인식론적 메시지의 의미를 더욱 명확히 하고자 한다.

4.1. 인식론

4.1.1. ‘인식론적 메시지’ 개념의 등장

인식론은 지식의 본성과 기원, 학습 방법, 정당화의 근거에 관해 연구하는 철학의 일부 분야이다(Hofer, 2000). 과학철학자들은 과학의 인식론적 특징(즉, 논리적이고 이성적인 것에 근거하여 과학적 주장들은 발전되고 진보한다)에 초점을 두었는데, 이러한 주장은 과학적인 지식과 과학지식의 구성과정이 다른 형태의 지식이나 학습과는 잠재적으로 다르다는 것을 내포한다(Sandoval, 2005). 교육학 맥락에서 인식론은 심리학적 접근에서 다루는 의미인 ‘지식과 학습에 관해 가진 학생들의 생각(Hofer, 2001; Hofer & Pintrich, 1997b; Perry, 1970)’으로 해석되었다.

특히, 과학교육에서 인식론을 다루는 연구는 학생이 가진 인식론에 따라 그들의 학습이 다른 양상으로 진행됨을 제시해왔다(이정화와 김희백, 2021; 이차은과 김희백, 2016; Shim & Kim, 2018). 구체적으로, 학생이 지식과 학습에 관해 생산적인 인식론을 갖는 경우, 그들의 의미 있는 학습이 촉진되었다(Hutchinson & Hammer, 2010).

학생의 인식론이 맥락에 따라 특이적으로 활성화되는 인식론적 자원들

로 구성된다는 관점이 제기된 이후(Hammer & Elby, 2002), 과학교육에서 인식론을 다루는 연구는 학생들에게 생산적인 인식론을 조성하는 맥락을 고찰해왔다. 이러한 연구 대부분은 교사가 학생들의 생산적인 인식론 조성을 지원하는 방안에 관한 연구들이었다(하희수와 김희백, 2017; Kang & Anderson, 2015; Pierson, 2008). 교사가 학생의 인식론을 조성하는 것을 다루는 연구의 연장선에서 교사가 학생들의 사고에 주의를 기울일 필요성이 제시되었다(Hutchison & Hammer, 2010; Windschitl, Thompson & Braaten, 2011).

교사가 학생들에게 생산적인 인식론을 갖게 하는 방안으로 '학생에게 주의를 기울이기'를 다루는 연구가 지속적으로 이루어지는 가운데, Russ(2018)는 '인식론적 메시지'라는 개념을 도입했다. 그에 따르면, 인식론적 메시지는 '수업에서 지식과 앎의 본성이라는 측면에서 학생들에게 전달하는 메시지'로, 학생들에게 실제로 해석되는 메시지(Roth, Garnier, Chen, Lemmens, Schwille & Wickler, 2011)를 의미한다. 인식론적 메시지는 청자가 화자의 발화를 대하는 태도나 행동 등 비언어적인 측면도 포함하며, 발화를 통해 직접 전달될 수도 있다. 인식론적 메시지가 화자로부터 청자에게 전달된다는 측면으로 미루어볼 때, 인식론적 메시지는 개인 사이의 상호작용으로 인식론을 조성하는 과정을 보다 구체적으로 다룰 수 있다는 강점을 갖는다고 판단할 수 있다.

현재까지는 '인식론적 메시지'라는 개념이 도입된 지 얼마 지나지 않은 상황이므로 직접적으로 인식론적 메시지를 다룬 연구는 드문 상황이다(이경현과 김희백, 2021; Ke & Schwarz, 2021; Russ, 2018). 그러나, 위에 제시했듯이 과학교육에서 인식론이 갖는 중요성을 다루거나, 개인이 갖는 인식론에 따라 학습이 어떠한 양상으로 진행되는지를 다루는 연구는 지속적으로 진행되어왔다.

4.1.2. 실행에서의 인식론

학생들의 인식론에 관한 깊이 있는 분석은 학생의 실행에서 나타난 인식

론을 바탕으로 이루어져 왔다(이정화와 김희백, 2021; Berland *et al.,* 2016, Shim & Kim, 2018). 실행적 인식론(practical epistemologies)은 학생들이 '과학을 학습하는 사람으로서 자신이 어떤 사람인가'에 관해 가진 신념을 의미하며, 학생들이 자신의 실행을 안내하는 데 사용하는 특정한 인식론적인 생각들에 국한된다(Sandoval, 2005). Sandoval이 제시한 실행적 인식론의 사례로 다음의 두 가지를 들 수 있다. 첫째, '나는 과학지식을 구성한다'가 있다. 이러한 실행적 인식론을 가진 학생들은 창의성을 발휘하여 이론적 아이디어를 발전시키리라 예측할 수 있다. 둘째, '과학지식은 사실이기에 수용되는 것이 아니라, 과학지식의 가치를 설득하는 과정에서 수용된다.'라는 실행적 인식론이 있다. 이러한 실행적 인식론을 가진 학생들은 과학지식이 사회적으로 구성됨을 알고 또래와의 협동이나 협력, 혹은 경쟁을 통해 가장 타당한 과학지식을 구성할 것으로 예상된다. 학생의 실행에서 인식론을 고찰하는 연구들과 맥락을 같이 하며, Berland *et al.*은 학생의 활동을 안내하는 인식적 아이디어들은 아이디어와 행위의 조합에서 비롯된다는(Sandoval, 2014) 점에 기반을 두어 '실행에서의 인식론(Epistemologies in Practices, 이하 EIP로 표현)' 틀을 제시하였다(표 Ⅱ-10).

EIP 분석틀은 지식 구성 활동에 대한 학생들의 인식적 목표와 그 목표를 달성하는데 유용한 정보의 종류에 관한 인식적 이해로 구성되므로, 학생들이 실행에 참여하는 다양한 양상을 단순화하여 설명할 잠재력이 있다. Berland *et al.*(2016)에 따르면, 학생들은 과학 공동체에서 나타나는 지식 구성 활동에 관한 목표와 동일한 목표를 가질 때 과학적 실행에 의미 있게 참여할 수 있다. 아울러, 인식적 이해는 학생들이 다루는 인식적 고려사항을 통해 해석할 수 있고, 이러한 고려사항은 맥락에 따라 역동적으로 변할 수 있다. 기존의 인식론 연구와 다른 점으로, EIP 분석틀은 학생들의 지식 구성 활동에서 가진 인식적 목표를 이해할 필요성을 강조하며, 기존 연구들이 인식론에 관해 가진 넓은 관점을 학생들의 지식 구성 활동에서 바로 사용 가능한 인식적 고려사항으로 범위를 좁혔다는 데 의의가 있다.

<표 Ⅱ-10> 학생들의 실행에서의 인식론에서 다루는 인식적 고려사항(Berland *et al.,* 2016, p.1090)

인식적 고려사항	학생들의 고려사항 범위
지식산출물은 어떤 종류의 답을 제공해야 하는가? (본성, nature)	· 우리의 지식산출물은 무슨 일이 일어났는지 상세하게 기술해야 한다. · 우리의 지식산출물은 무엇이 어떻게, 또는 왜 일어났는지 설명해야 한다. 즉, 단계적 기작을 분명히 다루어야 한다.
지식산출물은 다른 과학 현상과 아이디어에 어떻게 관련되는가? (일반성, generality)	· 특정 과학 현상은 서로 연결되지 않으므로, 지식산출을 하면서 각 현상에 대한 개별적 특성을 설명해야 한다. · 일반화된 과학 아이디어는 특정 경험이나 현상과 거의 관련되지 않으므로, 지식산출을 하면서 이러한 사고방식으로 연결짓지 않아도 된다. · 우리의 지식산출물은 다양한 현상에서 창안되고 이를 설명해야 하므로, 지식산출물에 이러한 관련성이 나타나야 한다.
지식산출물에서 아이디어는 어떻게 정당화되는가? (정당화, justification)	· 우리는 다른 사람들이 포함해야 한다고 말한 정보를 지식산출물에 포함시킨다(따라서 이것을 정당화할 필요는 없다). · 우리는 가용한 정보(데이터, 과학 이론, 개인 경험 등)에 대해 해석을 함으로써 지식산출물을 구성, 평가, 정당화한다.
지식산출물을 누가 어떻게 사용하는가? (청중, audience)	· 지식산출물은 우리의 이해를 평가하는 교사를 위한 것이다. · 우리는 청중과 함께 협력적으로 지식산출물을 구성하고 사용한다.

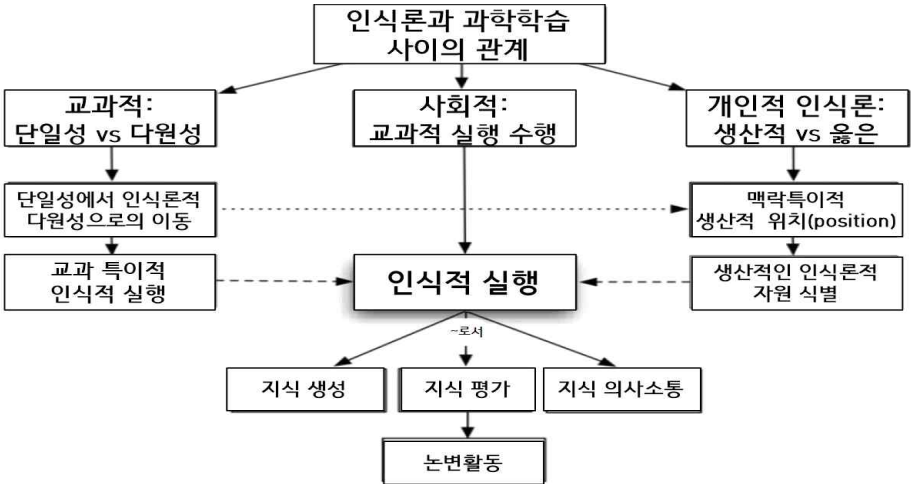
4.2. 인식론이 학습에 미치는 영향

선행연구들에서는 생산적인 인식론을 가진 학생이 깊이 있는 학습을 하는 사례를 지속적으로 제시해왔다(이정화와 김희백, 2021; 이차은과 김희백, 2016; Berland *et al.,* 2016; Hofer & Pintrich, 1997a; Ke &

Schwarz, 2021; Shim & Kim, 2018). 이 연구들에서의 학습은 인식적 실행 관점에서 다루어졌다. 인식적 실행이란 “학문 틀 내에서 공동체의 구성원들이 지식 주장을 제안하고, 정당화하고, 평가하는 특정한 방법들(Kelly, 2008, p.99)”을 의미하며, 학생들은 인식적 실행과정을 통해 지식을 구성할 수 있다. 구성주의 관점에서 학습은 개인의 능동적인 지식구성과정을 의미하므로 학생의 인식적 실행은 의미 있는 학습을 이끌 수 있는 잠재력을 가진다고 볼 수 있다.

탐구기반 과학교육에서 학생들이 인식론에 대해 이해해야 하는 필요성으로는 그들이 탐구의 인식론적 틀에 대해 이해하면 탐구를 더 잘할 수 있다는 점, 그리고 과학교육에서 학생들이 과학적인 방법에 대해 가진 신념이 과학 이해의 중요한 측면이기에 촉진되어야 한다는 점이 제시된 바 있다(Sandoval, 2005).

또한, 학생이 과학 학습을 할 때 개인적 인식론과 학습의 교과적, 사회적 측면이 상호보완적으로 관련된다(Kelly, McDonald & Wickman, 2012). 여기에서, 교과적인 측면은 과학 학습에서 이론 변화나 개념 변화를 고려하기 위한 과학의 철학에 의존하며, 사회적 실행 관점은 자료 표현이나 담화 참여처럼 학습맥락에서 교과와 관련하여 실행되는 방법을 고려한다. 그리고, 개인적 인식론 측면은 학생들의 개인적 인식론이 학습에 영향을 미치는 방식에 관련된 것들을 의미한다. Kelly *et al.*은 이러한 관점들이 상호 관련되어있고 인식론의 특정 차원들에 강조점을 둔다고 본다. <그림 Ⅱ-2>은 논변 활동 맥락에서 이 관계들을 나타낸 것이다(Jiménez-Aleixandre, 2014, p.468). 이 그림에서 인식론이 다양한 구성요소로 이루어진다는 점은 개인적 인식론의 맥락 의존성을 강조하는 것과 관련된다. 또한, 인식론의 교과 특이적 속성과 생산적인 인식론적 자원들이 있다는 관점은 동시에 인식적 실행에 영향을 미친다. <그림 Ⅱ-2>는 논변 활동 맥락에서 제시되었지만, 지식을 생성하고, 지식을 평가하며, 지식을 가지고 의사소통하는 인식적 실행 측면이 포함되는 다른 사례에도 적용할 수 있을 것이라 판단된다.



<그림 Ⅱ-2> 인식론과 과학 학습 사이의 관계
(Jiménez-Aleixandre, 2014, p.468)[3)]

특히, 학생들이 시스템을 주제로 학습할 때, 생산적인 인식론을 가진 경우 시스템 학습이 촉진되리라 판단된다. 시스템의 중요한 특성이 인식론적 특성의 한 요소로 범주화된다는 점에서 이를 추론할 수 있다. 예를 들어, Hammer(1994)는 물리학 수업에서 학생들의 인식론적 특성을 범주화하며 '조각(Piece) vs. 일관성(Coherence)' 요소의 관점에서 학생들의 지식 구성과정을 설명한다. 이는 물리학 지식을 독립된 조각의 모음으로 보는지, 이를 하나의 큰 완전체로 보는지에 따른 관점을 의미한다. 물리학에서 시스템의 특성을 가진 주제(예: 역학적 시스템 등)의 학습에서 물리학 지식을 '서로 분리된 조각'으로 여기는 경우에는 물리학 지식이 "섬과 같이 분절화된 지식(Assaraf & Orion, 2005b, p.554)"으로 남아 학생들의 시스템 이해를 제한시킬 수 있다.

3) 맹승호(2018)는 '인식적'이라는 용어는 지식 구성과정에 대한 생각인데 비해, '인식론적'은 지식 또는 지식 구성에 관한 이론을 다루는 상황의 특징을 포괄하는 것으로 구분하고 있다. 이러한 의미에 기반을 두어 보면, <그림 Ⅱ-2>에서 인식론적 다원성은 인식론이 단일한 것이 아니라 여러 차원으로 구성된다고 믿는 상황의 특징을 포괄하는 것이다.

4.2.1. 학습 과정에서 인식론적 메시지의 영향

학생들의 인식론을 조성하는 방법으로 인식론적 메시지를 강조하는 관점은 교사가 학생들의 학습 과정에 주의를 기울이는 유형의 다양성을 수용한다(Russ, 2018). Russ에 따르면 인식론 조성방안으로 인식론적 메시지를 강조하는 관점에서는 교사가 학생에게 인식론을 포함하여 전하는 주의 중에서 비생산적인 인식론을 내포하는 것도 과학적 실행의 목표와 일치될 수 있다며 가치를 인정하기 때문이다. 인식론의 역동성과 맥락의존성에 기반을 두어 보면, 학습맥락에 따라 적절한 인식론적 메시지를 전달하는 것은 그것의 수용자로 하여금 지식 구성에 적극적으로 참여하도록 촉진할 수 있다.

Ke and Schwarz(2021)는 '인식론적 메시지'(Russ, 2018)와 '실행에서의 인식론(EIP)' 관점(Berland *et al.,* 2016)을 통합하여 교사의 발화가 내포하는 인식론적 고려사항이 무엇인지 범주화했다. 그 연구에서는 교사의 발화가 내포하는 인식론적 고려사항에 영향을 받아 학생들이 소그룹 토의에서도 인식론적 메시지를 주고받았고, 이것이 소집단에서의 학습을 변화시키는 맥락이 되었다. 즉, 소집단 학생들의 발화에서 다양한 속성의 인식론적 메시지가 내포되어 있고 이것이 소집단에서의 협력적 지식 구성에 영향을 미칠 수 있다는 가능성이 나타난 것이다. 그들의 연구에 적용한 '실행에서의 인식론(EIP)' 관점에서, "인식론은 고립된 개인의 것이 아니라 사회적으로 공유되는 개인의 참여와 관련된 것(Wickman, 2004, p. 327)"이다. 이 관점에서는 학생들이 인식적 실행과정에서 서로 사회적으로 상호작용하며 어떠한 인식론적 메시지를 공유하여 지식 구성을 해가는지에 관심을 둔다. 이러한 연구들에 기반을 두어 판단하면, 학생들이 주고받는 인식론적 메시지는 학생들의 사고와 추론에 영향을 미치는 맥락이 될 수 있다.

4.3. 인식론 연구방법

최근 과학교육 개혁의 주요 목표는 모든 학생이 과학 실행을 통해 지식 구성과정에 참여하는 것이다(NGSS, 2013). 이러한 개혁이 성공하려면 학생들이 과학지식을 구성하기 위해 의미를 형성하는 담화에 참여할 때, “사실을 단순히 수용하는 사람이 아니라 지식을 능동적으로 구성하는 사람(Miller, Manz, Russ, Stroupe & Berland, 2018, p. 1057)”이 되어야 하며, 교사는 학생이 스스로 학습의 본성을 인식하도록 교육할 필요가 있다(Olson & Bruner, 1997). 이러한 목표를 달성하기 위해서 학생이 지식과 학습에 관한 자신의 생각을 형성하는 과정 및 학생의 인식론이 변화하는 과정을 이해할 필요성이 제안되어왔다(이정화와 김희백, 2021; Shim & Kim, 2018).

학생들의 인식론은 그들의 실행을 안내하는 데 사용하는 특정한 인식론적인 생각들에 국한하여 탐색할 필요가 있다(Sandoval, 2005). 이러한 주장에 근거하여, 학생들의 인식론 연구는 실제 학생들의 산출물과 더불어, 탐구과정에서의 담화, 그리고 학생들이 자신의 실행을 반성하는 맥락에서 드러난 학생들의 인식과 이해에 관해 깊이 있게 분석하는 방향으로 진행되어 왔다(이정화와 김희백, 2021; 이차은과 김희백, 2016; Berland *et al.,* 2016; Hofer & Pintrich, 1997a; Ke & Schwarz, 2021; Rosenberg, Hammer & Phelan, 2006; Shim & Kim, 2018). 이번 절에서는 인식론의 맥락의존성과 역동성에 기반을 두어 학생 주도적 실행으로부터 나타나는 인식론을 연구할 때의 인식론 분석방법에 관해 알아보고자 한다.

4.3.1. 인식론적 프레이밍의 생산성 분석

Elby and Hammer(2010)는 학생이 특정 시점에 가진 인식론의 구성요소들이 독립적으로 나타나기보다는 네트워크의 형태로 활성화되며, 이것이 주로 ‘인식론적 프레임’으로 관찰된다고 주장했다. 이러한 관점에서, 지식과 앎에 관해 “여기서 무슨 일이 일어나고 있는가?”에 대한 개인의 인식이나 기대는 인식론적 프레이밍이라 할 수 있다(Redish, 2004, p.32).

학생들의 인식론적 프레이밍을 분석한 사례로 Lising and Elby(2005)

의 연구가 있다. 그들은 학생들이 광학 수업에서 자신이 하는 활동을 '교실 게임classroom game'으로 프레이밍 하는 경우, 자연 현상을 이해하려고 시도하기보다는 '벡터'와 '편광' 같은 정확한 과학용어를 사용하는 데 몰두하는 것을 관찰했다. 반면, 학생들이 자신이 하는 활동을 '현상 이해'로 프레이밍하는 경우, 일상적인 용어를 사용하여 자연 현상을 설명하는 경향이 나타났다. 이 사례에 제시된 '교실 게임' 프레이밍과 '현상 이해' 프레이밍은 각각 비생산적인 인식론적 프레이밍, 생산적인 인식론적 프레이밍을 나타내는 전형적인 사례에 해당한다. 이 관점에서, Hutchison and Hammer(2010)는 예비 초등 교사를 대상으로 한 물리학 수업 과정 중 그들의 담화에서 나타나는 인식론적 프레이밍의 특성에 따라 생산적인 인식론적 프레이밍과 비생산적인 인식론적 프레이밍을 범주화한 바 있다(표 Ⅱ-11).

<표 Ⅱ-11> 비생산적 인식론적 프레이밍과
생산적 인식론적 프레이밍의 특성(Hutchison & Hammer, 2010)

	비생산적 인식론적 프레이밍	생산적 인식론적 프레이밍
활동 목표	학교 수업에서 성공하는 것.	자연 현상을 이해하고 그에 관한 설명을 구성하는 것.
특성	• 지식은 교사나 교과서로부터 정보가 제시되어 전달받는 것으로 기대함. • 지식은 권위에 의해 인정될 때 옳은 것으로 여김. • 교사나 교과서에 사용되는 형식적인 과학적 용어를 이해 없이 사용함.	• 지식은 일상경험 등 어디에서나 올 수 있는 것으로 기대함. • 지식은 자신이 알거나 믿는 것과 부합되어야 가치 있다고 여김. • 스스로 지식을 구성하고 타당성을 평가함.

<표 Ⅱ-11>의 내용으로 미루어 판단할 때, 학생들이 생산적인 인식론적 프레이밍을 나타낼 때는 스스로 능동적인 지식 구성과정에 참여하고 다양한 추론을 통해 지식의 정당성을 평가하는 데 초점을 둘 것으로 예

상할 수 있다. 반면, 학생들이 비생산적인 프레이밍을 나타낼 때는 교사나 교과 성취수준이 높은 학생의 말을 무조건 수용하면서 활동지나 과제를 완성하는 데 초점을 둘 것으로 예상할 수 있다.

인식론적 프레이밍 관점은 교사가 학생들의 학습에 어떤 행동이 생산적인지 판단할 때, 그 활동에서 드러난 학생들의 인식론에서 나타나는 전반적 패턴이 생산적인지에 관해 주의를 기울일 필요성을 제기한다. 특정 행동에 관련된 인식론의 구성요소가 여러 가지 인식론적 프레임에 포함될 수 있기에, 인식론의 구성요소를 분리하여 고찰하는 것만으로는 학생들의 인식론적 프레이밍을 판단할 수 없기 때문이다(이정화와 김희백, 2021; Elby & Hammer, 2010).

4.3.2. 인식론적 메시지 분석

최근의 연구에서 학생들의 생산적인 인식론 조성과 생산적인 인식적 실행을 위해서는 학생들 사이에서도 상호작용을 통해 서로의 사고를 이해해야 한다는 목표가 제시되었다(Alvarado *et al.,* 2014). 이러한 목표를 달성하기 위해서는 학생은 자신의 지식을 드러내고, 교사는 학생들이 그것을 서로 가치 있게 여기는지에 관한 측면에서 활발한 담화적 상호작용을 하도록 조력하며, 학생의 상호작용을 깊이 있게 분석할 필요가 있다.

인식론적 메시지는 '여기서 사용하기에 적절한 지식의 근원은 무엇인가?' 또는 '지금 이 순간에 지식을 구성하기 위해 내가 참여하는 활동은 어떤 유형의 활동인가?'라는 질문들에 대한 암묵적인 답을 제시할 수 있다(Russ, 2018, p.99). Ke and Schwarz(2021)는 인식론적 메시지(Russ, 2018)와 실행에서의 인식론(EIP) 관점(Berland *et al.,* 2016)을 통합하여 과학적 모형 구성 맥락에서 교사의 발화가 인식론적으로 고려하는 사항을 범주화하였다(표 Ⅱ-12).

<표 Ⅱ-12> 모형 구성 맥락의 실행에서의 인식론에서 다루는 인식론적 고려사항(Ke & Schwarz, 2021, p340)

인식론적 고려사항	내용
지식산출물(모형)은 어떤 종류의 답을 제공해야 하는가? (설명의 본성)	• 지식산출물(모형)은 무슨 일이 일어났는지 설명해야 한다. • 지식산출물(모형)은 어떻게 혹은 왜 어떤 일이 일어났는지 설명해야 한다. 즉, 단계별 기작을 명확히 해야 한다.
지식산출물(모형)에서 아이디어는 어떻게 정당화되는가? (정당화)	• 우리는 다른 사람들이 우리에게 포함하라고 말하는 정보를 우리의 모형에 포함시킨다(그래서 그것은 정당화될 필요가 없다.). • 우리는 이용할 수 있는 정보(예: 수집된 자료, 개인적 경험 등)를 해석함으로써 모형을 구성하고 평가하며 정당화한다.
지식산출물(모형)을 누가 어떻게 사용하는가? (청중)	• 지식산출물(우리의 모형)은 우리의 이해를 평가하는 교사를 위한 것이다. · 우리는 청중과 함께 협력적으로 지식산출물(우리의 모형)을 구성하고 사용한다.
지식산출물(모형)은 다른 과학 현상과 아이디어에 어떻게 관련되는가? (일반화)	• 특정 과학 현상은 서로 연결되지 않으므로, 지식산출을 하면서 각 현상에 대한 개별적 특성을 설명해야 한다. • 일반화된 과학 아이디어는 특정 경험이나 현상과 거의 관련되지 않으므로, 지식산출을 하면서 이러한 사고방식으로 연결짓지 않아도 된다. • 우리의 지식산출물(모형)은 다양한 현상에서 창안되고 이를 설명해야 하므로, 지식산출물에 이러한 관련성이 나타나야 한다.

<표 Ⅱ-12>의 각 범주에서 위에 있는 내용이 상대적으로 비생산적인 인식론, 아래에 있는 내용이 상대적으로 생산적인 인식론을 의미한다. 이 분석틀은 그동안 다양한 측면에서 다루어진 인식론의 분석을 큰 범주 4개로 통합하여 단순화하고, 이것을 학생들이 실행에서 고려하는 내용을

통해 연구자가 바로 분석할 수 있게 했다. 이에 따라 사회적 상호작용 속에서 역동적으로 변하는 인식론을 분석하기에 적합하다고 판단된다.

4.4. 인식론과 메타인지의 관계

학생들이 자신의 학습을 반성하는 과정에서 메타인지를 통해 학습에 관한 인식론적 신념이 '고정된 정답 찾기'가 아니라 '일상 소재의 근거를 비판적으로 검토하며 타당한 설명 구성하기'로 변환되는 경향이 나타난 바 있다(조한빛, 하희수와 김희백, 2019). 이러한 사례는 메타인지와 인식론이 일부 측면을 공유하는 모습을 보여주는 것이다(Muis, 2007; Winne & Hadwin, 1998).

이처럼 인식론은 메타인지와 관련되어 학생들의 학습을 촉진할 수 있다. 예를 들어, Hammer and Elby(2003)는 학생들이 힘을 주제로 학습하면서 자신의 지식을 확인할 필요성을 인지하고 그것이 이해되는지 판단함을 보였다. 여기에서 학생들이 '학습 과정에서 지식을 확인해야 한다'라는 인식론을 나타낼 때, 메타인지도 함께 작용하는 것을 볼 수 있다. Hammer and Elby는 이 사례를 근거로 개인의 인식론이 메타인지가 촉진되도록 돕거나, 개인의 인식론을 관리하기 위해 메타인지적인 활동에 참여하도록 학생을 안내할 수 있다고 주장했다.

메타인지는 인지에 대한 지식과 기술로 구분된다(Flavell, 1979). 메타인지 지식은 과제나 개인, 전략 등의 특정 변인이 어떤 방식으로 인지적 수행과정과 결과에 영향을 미치는지에 관해 개인이 가진 지식이나 신념을 의미한다(Flavell, 1979). 그리고 메타인지 기술은 실행적, 자기조절과정이라 볼 수 있다(Veenman, 2012).

선행연구에서는 개인적 인식론[4]이 메타인지의 어떠한 측면과 관련되는지 제안해왔다(Hofer, 2004; Kitchener, 1983; Kuhn, 2000; Muis, 2007). Barzilai and Zohar(2014)는 선행연구들을 리뷰하며 개인적 인식론이 메타인지적 지식, 메타인지적 기술과 어떻게 관련되는지 정리하였

4) 개인적 인식론이란 '개인이 지식과 학습에 관해 가진 생각들'을 의미한다(Hofer, 2001).

다(표 Ⅱ-13). Barzilai and Zohar에 따르면, Kitchener(1983)의 '인식적 인지'는 지식과 앎에 대한 가정과 관련된 인지 및 메타인지적 측면을 모니터링하는 과정에 영향을 미친다. 또한, Kuhn(2000)이 제시한 meta-knowing은 지식과 앎에 대한 일반적인 지식을 포함하며, 개인이 인지 작업에 참여할 때 지식과 앎을 개념화하는 방법과 관련된다. 그리고 Hofer(2004)가 제시한 '인식적 메타인지(epistemic metacognition)'는 기존 메타인지 범주가 확장된 것으로, 메타인지적 지식과 기술을 모두 포함하는 개념이다. 마지막으로, Winne and Hadwin(1998)은 컴퓨터 교육 분야의 연구를 통해 자기조절학습(SRL) 모형에서 인식적 신념이 메타 수준에서 학습 기준 설정에 영향을 미친다고 설명했다.

이러한 연구들에서 주장한 바(표 Ⅱ-13)에 기반을 두어 판단하면, 인식론은 메타인지적 지식 및 메타인지적 기술을 포함하거나(Hofer, 2004; Kitchener, 1983), 지식과 학습의 본성에 관한 반성을 안내하여 학생들의 학습에 변화를 이끌 수 있거나(Kuhn, 2000), 학습의 목표로 작용하는 기준에 영향을 주는 요소로 투입되어 반성을 촉진할 수 있다(Muis, 2007). 그렇기 때문에 인식론은 메타인지와 밀접히 관련된다고 판단할 수 있다.

인식론이 메타인지와 관련된다고 주장하는 연구들은 주로 인식론과 메타인지, 자기조절학습 등의 구성요소 사이의 관계를 파악하는 데 초점을 두는 경향이 있다(e.g. Richter & Schmid, 2010). 예를 들어, 김수진과 정영란(2015)은 고등학생의 학업성취도와 인식론적 신념, 메타인지, 과학탐구능력(통합탐구능력 분야) 사이의 관계를 대규모 설문조사 방법으로 분석하여 구조 방정식 모형으로 제시한 바 있다. 그 결과, 고등학생들의 인식론적 신념은 메타인지를 통해서 학생들에게 간접적인 영향을 미치는 경우가 많았다.

그러나, 학생들의 인식론을 설문지 방식으로 조사하는 경우에 그것이 실제 학생들의 실행에서 드러나는지에 관한 파악이 제한되는 한계가 있으며(윤혜경, 강남화와 김병석, 2015), 양적인 분석은 학생들의 인식론이 다른 요소들에 미치는 영향을 구체적으로 설명하지 못한다는 지적이 제시되어 왔다(Elby & Hammer, 2001; Hofer & Pintrich, 2002; Louca,

<표 Ⅱ-13> 메타인지를 개인적 인식론으로 보는 관점들(Barzilai & Zohar, 2014, p.18)

	메타인지적 지식	메타인지적 기술
Kitchener (1983): 인식적 인지(Epistemic cognition)	• 앎의 한계 및 확실성과 앎의 기준에 대한 지식 • 문제의 본질, 다양한 유형의 문제에 대한 적절한 해결 전략의 형태, 문제 해결 전략의 한계에 대한 지식	• 문제의 인식적 본성과 대안적 해결책의 진실-가치를 모니터링하는 과정
Kuhn (2000): 인식론적 메타-앎(Epistemological meta-knowing)	• 지식과 앎의 일반적·추상적인 본성에 관한 메타인지적 앎의 한 측면 • 자신의 지식에 대한 지식 또는 다른 사람의 지식에 대한 지식으로 나뉜다.	
Hofer (2004): 인식적 메타인지(Epistemic metacognition)	• 지식의 본성에 대한 믿음: • 지식의 확실성에 대한 암묵적 신념 • 지식의 단순성에 대한 암묵적 신념 • 어떤 것을 아는 자(knower)로서 자신은 어떠한 신념을 갖는가?	• 앎의 본성에 대한 믿음: 인식적 메타인지 • 지식의 근원 평가 • 앎의 정당화 여부 결정 • 지식 구성 중 인지 조절
Muis (2007): 인식적 신념과 자기-조절 학습(Epistemic beliefs and self-regulated learning)	• 인식론적 신념은 자기조절 학습의 인지 조건 일부이고 학습 기준에 영향을 미치는 지식의 일부인, '지식과 앎에 대한 일반적인 아이디어'다.	

Elby, Hammer & Kagey, 2004). 또한, 개인 사이의 조절과정은 개인 내에서 일어나는 메타인지와는 다른 특징을 갖지만, 학생들의 사회적 상호작용 속에서 메타인지를 분석한 연구는 많이 이루어지지 않은 실정이다(Whitebread & Cárdenas, 2012). 이는 학생들의 실행에서 메타인지가 그들의 인식론과 상호작용하며 학생의 인식적 실행 및 개념 학습에 영향을 미치는 맥락에 관한 질적인 분석이 이뤄질 필요성을 나타낸다.

Ⅲ. 시스템의 외적 표상화 활동 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고[5)]

1. 서론

최근 과학교육은 과학적 방법, 과학적 의사소통, 서로 관련되는 개념들의 유기적 연결을 강조한다(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015). 복잡계(complex system)는 여러 구성요소의 상호작용으로 인해 작은 변동도 시스템 전체로서의 큰 반응을 이끄는 특성이 있으므로(윤영수와 채승병, 2005) 학생들이 과학적 의사소통을 하고 과학적 방법을 실행하는 과정에서 관련 개념들 사이의 긴밀한 관계를 파악하기에 적합한 주제라 할 수 있다. 생물교육에서 다루는 많은 구조는 복잡계에 해당하며(Hmelo-Silver *et al.,* 2007), 그중에서 생태계는 다양한 구성요소들 사이의 역동적인 상호작용과 인과적으로 연결된 관계를 통해 외부환경의 변화에도 스스로 적응하는 등 복잡계로서의 속성이 두드러지는 주제이다(윤영수와 채승병, 2005). 복잡계를 이해한다는 것은 다양한 수준의 시·공간에서 동시에 발생하는 다양한 구조의 연관 관계로 인해 자연 세계에서 특정한 행동이 나타남을 인식하는 것을 의미하며(Jacobson & Wilensky, 2006), 시스템 사고를 통해 이러한 인식을 함양할 수 있다.

시스템 사고란 시스템을 구성하는 부분들 사이의 전체적 관계에 대한 사고를 의미한다(Kali *et al.,* 2003). 시스템은 그것의 하부구조에서 일어나는 과정들로 인해 개별 구성요소만으로는 관찰할 수 없는 복잡한 속성을 보이므로(Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004), 시스템을 이해하기 위해서는 시스템의 부분들을 서로 연결해 나가며, 그것들을 전체로서의 시스템

---

5) 본 절은 '생태계의 단계적 외적 표상화 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고 발달(이경현, 한문현과 김희백, 2016)'이라는 제목으로 생물교육 44권 3호에 게재된 논문을 재구조화하여 제시하였음. 또한, 본 연구의 일부를 Ⅱ. 이론적 배경, Ⅴ. 결론 및 제언에 재구조화하여 제시하였음.

관점에서 통합해 나갈 필요가 있다(Assaraf & Orion, 2005b). 시스템 사고는 이러한 연결과 통합과정을 포함하므로 학생들이 시스템의 속성을 이해하기에 적합한 사고 양식이라 볼 수 있다. 선행연구에서는 시스템 사고가 포함하는 사고요소들을 역동적 과정을 인식하는 사고, 시스템 구성요소 사이의 상호작용을 이해하는 사고, 시스템 내 피드백 과정을 발견하고 표상화하는 사고, 순환과 흐름 관계를 구분하는 사고 등으로 제시해왔다(Frank, 2000; Sweeny & Sterman, 2000). 학생이 복잡계를 이해하기 위해 시스템의 역동성이나 피드백, 혹은 순환 등을 파악할 수 있어야 한다는 점을 고려할 때(Goldstone & Wilensky, 2008), 시스템 사고는 학생들이 복잡계를 이해하는 데 요구되는 인지과정이라 볼 수 있다.

선행연구에서도 학생들에게 시스템을 이루는 과정이나 개념에 대한 지식이 있어도 시스템의 역동성, 순환성 등에 대한 인식이 낮은 경우에는 시스템 이해가 제한되므로, 시스템 학습에는 과학지식뿐만 아니라, 시스템에 대한 인지능력이 필요함을 강조한 바 있다(Sweeney & Sterman, 2000). 그러나 학생들은 간단한 선형적 관계와 가시적 요소에만 초점을 맞추려 하는 등 시스템 사고를 잘하지 못하는 경향이 있다(Hmelo-Silver *et al.,* 2007; Hogan, 2000; Leach *et al.,* 1996).

하지만, 초등학교 저학년 등 어린 학생들도 시스템 사고와 시스템의 특성을 파악하는 데 필요한 추론을 할 수 있다(한문현, 2019; Hokayem & Gotwals, 2016; Inagaki & Hatano, 2013). 이는 학생들에게 적절한 맥락이 제공된다면 그들이 수준 높은 시스템 사고를 할 수 있음을 의미한다. 이러한 점에 기반을 두어 교사의 스캐폴딩을 통해 학생의 시스템 사고를 촉진하려는 연구가 진행되어왔다(Assaraf & Orpaz, 2010). 선행연구에서 다루었던 스캐폴딩은 교사가 학생들의 시스템 사고를 촉진하기 위한 과제 설계에 관한 것이 대부분이었다. 예컨대, 학생들을 야외 조사나 실험에 참여하게 하거나(Assaraf & Orion 2005b), 학생들이 적절한 컴퓨터 시뮬레이션 활동에 임하게 하는 과제가 있다(Jordan *et al.,* 2013). 과제는 학생들이 생각하는 방법에 영향을 미치므로(Stein & Lane, 1996) 적절한 과제를 제공하여 학생들의 시스템 사고를 지원할 필

요가 있다. 그러나 선행연구들에서 적용한 과제들은 장기간의 시간을 요구하거나, 다량의 컴퓨터를 필요로 하는 등 학교의 일반 수업시간에 수행하기 어려운 한계가 있었다.

학생들에게 개념과 그들 사이의 상호관계를 시각적 표상으로 나타내는 기회를 제공함으로써 학생들의 시스템 사고를 촉진할 수 있다(Zangori *et al.,* 2017). 시각적 표상 중에서, 그림은 학생들의 시스템 사고를 촉진할 수 있는 표상이다. 학생들이 그림을 그리면서 특정한 과학 현상에 관해 가진 개념이 더 명확해지므로 그들이 더 깊은 수준의 사고를 하는 데 도움이 된다(Brooks, 2009). 학생들의 그림을 통해 자연 현상에 대한 그들의 이해와 과학적 의견을 식별할 수 있고(Kalvaitis & Monhardt, 2011), 종합적인 사고과정을 볼 수 있으므로, 그림은 시스템 사고 분석에도 유용하다(Assaraf & Orion, 2005b).

생명과학 교육과정(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015)은 시스템을 다루는 많은 주제를 포함하므로 학교의 일반 수업에서 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 탐색할 필요가 있다. 학생들이 시스템의 외적 표상을 만드는 활동은 학교의 일반 수업상황에서도 가능한 활동으로, 학생들이 시스템 사고를 하도록 촉진하는 방안이 될 수 있다. 아울러, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락에 탐구과제의 어떠한 측면이 도움이 되는지 분석한다면 교사가 시스템을 주제로 수업을 구성하거나 과제를 설계하는 데 대해 제언할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 고등학생들의 생태계 학습을 돕는 탐구과제를 개발하여 학교의 일반 수업에 적용했다. 그리고 고등학생들이 과제 맥락에 따라 나타내는 시스템 사고는 어떠한지 알아보고자 하였다. 이를 통해 소집단 활동 과정에서 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 나타내는 맥락에 대한 정보를 제공하고, 교사가 시스템을 교육할 때, 학생의 시스템 사고를 촉진하는 방안을 모색하여 과학교육에 함의를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구방법

본 연구는 일반계 고등학교 정규 수업에서 학생들이 생태계의 시스템적인 측면을 학습하기 위해 설계한 협력적 표상화 활동에 참여하며 수준 높은 시스템 사고를 하는 맥락을 이해하고자 진행되었다. 자료를 수집한 교실 맥락과 자료를 수집하고 분석한 방법을 설명하고자 한다.

2.1. 연구 참여자

수도권 소재 인문계 고등학교 자연계열 1개 학급 학생 35명(남학생 29명, 여학생 6명)과 교사 1명이 연구에 참여하였다. 연구 당시 참여학교는 비평준화 고등학교였다. 참여학교 학생 구성의 특징은 중학교 성적 기준으로 학업성취 수준은 중하위권인 학생들의 비율이 높으며, 사교육을 받는 학생들의 비율은 낮은 편이었다. 또한, 학업성취수준 상위권 학생들과 중·하위권 학생들의 성적이 크게 차이나는 편이었다.

참여교사는 본 연구의 연구자로서 학부 및 석사 과정 중 생물교육을 전공하고, 중학교와 고등학교에서 8년간 학생들을 지도한 경력이 있었다. 참여교사의 수업 방식은 주로, 평소 수업에서 모둠 수업이나 질문법 등을 활용하여 학생들의 사고와 수업참여를 촉진하는 활동이었다. 참여 학급 학생들의 생명과학Ⅰ 성적은 낮은 편이었으나, 학생들은 생명과학 교과에 대한 흥미와 호기심이 많고, 평소 자신의 생각을 질문이나 발표를 통해 표현하는 데 적극적이었다. 연구자는 소집단 구성 기준으로 생명과학Ⅰ 성적 및 친밀도를 고려하여 소집단을 9개를 구성하였으며, 각 소집단은 학생 3~4명으로 이루어졌다. 학생 면담을 통해 소집단에서 학생들 사이의 친밀감을 느끼도록 모둠 구성원을 선정했고, 소집단에 생명과학Ⅰ 성취수준이 상・중・하위권인 학생들이 가급적 골고루 섞이도록 배치하였다. 학생들의 생명과학Ⅰ 성취수준은 이전 학기 생명과학Ⅰ 성적을 기준으로 누적 30%까지를 상위권, 30~70%까지를 중위권, 그 이하를 하위권으로 판별하였다. 학생들의 활발한 상호작용을 위해 소집단 토의가 원활히 전개될 수 있도록 리더십이 강한 학생을 1명 이상 각 모둠에 배치하였다.

연구 참여 학급은 대다수 남학생으로 구성되었으므로 친밀도를 고려한 소집단 구성의 결과 여학생들로만 구성된 소집단이 1개 있었고, 다른 소집단들은 주로 남학생으로만 구성되었다. 여학생으로만 구성된 소집단에서 학생들은 의견을 제시하는 데 있어 불안감을 적게 갖는 경향이 있고(Guzzetti & Williams, 1996) 이는 학생의 소집단 활동 참여 양상에 영향을 미칠 수 있다. 그러나, 본 연구의 초점집단 학생들은 소집단에서 모둠원의 의견제시에 공통적으로 포용적인 성향을 보여 소집단 활동마다 서로 협력적으로 추론하는 경향이 나타났기에(이경현, 윤선미와 김희백, 2012a), 연구자는 성별로 인한 참여 차이는 거의 없다고 판단하였다.

본 연구는 생태계의 시스템적인 측면을 교육하기 위해 설계한 외적 표상화 활동이 학생들로 하여금 높은 수준의 시스템 사고를 하는 데 어떠한 영향을 미치는지 탐색하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서 일련의 외적 표상화 활동으로 구성된 생태계 수업 과정에서 시스템 사고의 수준이 역동적으로 변했던 소집단 1개를 초점집단으로 선정하였다. 소집단을 구성하는 학생들의 성별 및 특성은 <표 Ⅲ-1>과 같다.

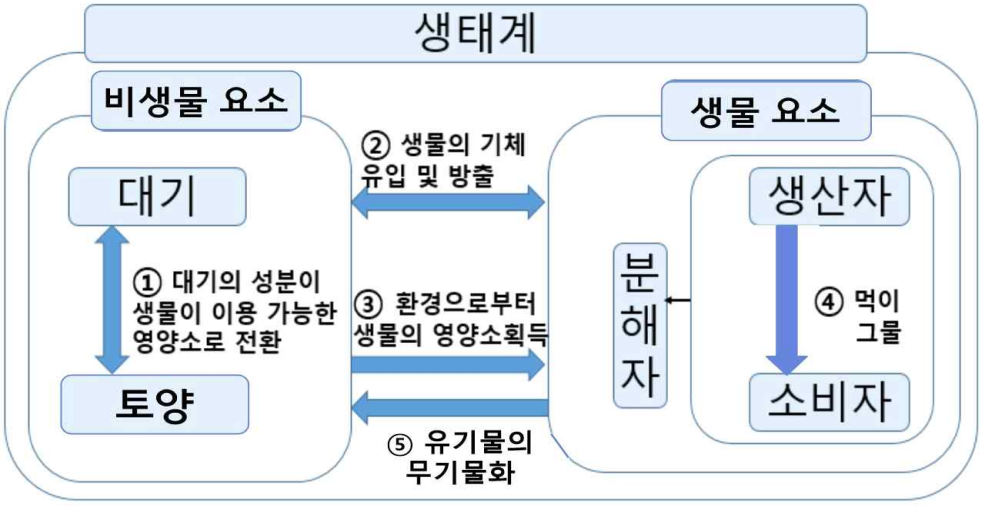
<표 Ⅲ-1> 초점집단 학생의 특징

이름(가명)	성별	성취수준	특성
A	여	중위권	희망진로로 생명과학 교사를 지망하는 학생으로 생명과학에 대한 흥미가 높음.
B	여	상위권	중상위권 학생으로 성실하며 활발함.
C	여	하위권	그림그리기를 즐겨 함.
D	여	중위권	조용한 편이나 의문이 생기면 적극적으로 해결하려 함.

2.2. 수업 과정 및 과제 설계

2.2.1. 수업 과정

수업 과정은 이경현 등(2016)의 연구와 동일하게 총 6차시 수업으로 구성되었고, 그중에서 1차시는 시스템 사고 도입 수업, 나머지 5차시는 생태계 수업이었다(표 Ⅲ-2). 6차시로 구성된 수업 과정의 주제는 생명과학 '자연 속의 인간'의 소단원 '생태계의 구성과 기능'에 제시된 '생태계의 물질순환'이었다(교육과학기술부, 2011). 학생들은 탄소화합물 · 질소화합물에 초점을 두어 생태계의 물질순환을 학습하였다. 영양소 순환은 물질이 유기물과 무기물 사이를 변환되는 것뿐만 아니라 여러 요소와 과정을 포함하며, 하부생태계 안팎의 생물적·비생물적 요소 사이의 과정들이 영양소의 흐름을 이끈다(Hogan & Fisherkeller, 1996; Likens, 2013). 그러한 선행연구를 바탕으로 연구자는 참여 학생들이 6차시 수업 과정 동안 학습할 내용을 <그림 Ⅲ-1>과 같이 선정하였다(이경현 등, 2016). 생태계 학습 과정에서 시·공간에 따른 비생물적 요소들의 구조, 모든 생물군집의 구조와 생태계 내 에너지와 물질의 흐름에 관한 영양학적 구조를 파악하는 것은 중요하고(Hjorth, 2002), 교육과정에서도 강조되는 내용이므로(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015) 물질순환을 수업 주제로 선정하였다.



<그림 Ⅲ-1> 육지 생태계의 영양소 순환

<표 Ⅲ-2> 수업 차시별 학습주제 및 수업 내용

수업 차시 (활동 유형)	학습주제	수업 내용
1차시 (소집단 활동)	시스템 사고 도입 활동: 복잡한 시스템을 이해한다는 것은?	<나도 대박 PC방 사장님!> 1) 시스템 사고의 필요성 인식 2) 시스템 사고의 구성요소 학습 3) 일상 관련 예시를 이용한 연습 활동
2차시 (강의식 수업)	생물과 환경의 상호작용	<생물과 환경의 상호작용> 1) 생태계의 구성요소 학습 2) 생물과 환경 사이, 생물들 사이의 상호작용 학습
3차시 (소집단 활동)	탄소 순환	<생물들은 어떻게 영양소를 얻어 에너지를 만들까?> 1) 카드를 활용하여 생태계에서 영양소 이동에 관한 관계정리표 작성 2) 생태계 영양소 순환 그림그리기 3) 학급 전체 발표 후 반성
4차시 (강의식 수업)	물질순환과 에너지 흐름	< 생태계를 통해 이동하는 것은?> 1) 물질순환 : 탄소 순환 학습 2) 에너지 흐름 학습
5차시 (소집단 활동)	질소 순환	<생태계에서 질소의 여행> 1) 카드를 활용하여 생태계 내 질소의 이동에 관한 관계정리표 작성 2) 생태계 내 질소의 이동 그림 그리기 3) 학급 전체 발표 후 반성
6차시 (소집단 활동)	생태계의 구조와 기능	<미니생태계 설계하기> 1) 모둠별로 미니생태계 설계하기 2) 미니생태계에서 일어나는 현상에 대한 그림 그리기 3) 학급 전체 발표 후 반성

1차시에서는 학생들에게 시스템 사고를 도입하는 수업이 이루어졌다.

이 활동은 선행연구에서 일상생활 소재로 설계한 시스템 사고 도입 활동(Evagorou *et al.,* 2009)을 참고로 재구성한 것이다. 선행연구를 바탕으로 본 연구에서도 1차시에 일상생활 소재의 시스템 사고 도입 수업을 진행하였다. 1차시 수업에서 학생들은 시스템 사고의 필요성을 알아보았다. 그리고, 학생들은 소집단에서 PC방의 구성요소 사이에 어떤 관계가 있는지 관계정리표에 정리하고, 표에 작성한 내용을 바탕으로 PC방의 운영과정을 나타내는 그림을 그렸다. 연구자는 1차시 수업을 통해서 학생들이 PC방이라는 시스템이 운영되는 과정을 파악하기 위해서는 PC방을 이루는 다양한 구성요소와 그들 사이의 관계를 긴밀하게 조직화할 필요가 있음을 인식하도록 의도하였다. 학습주제에 대한 친밀도나 지식 정도는 다양한 학생들이 소집단의 담화를 이끌어가도록 결정할 수 있는 요인이므로(이경현, 윤선미와 김희백, 2012b), 연구자는 학생들에게 친밀한 일상생활 소재의 과제로 시스템 사고를 도입하였다. 이로 인해 연구자는 학생들이 외적 표상화 활동에 적극적으로 참여하도록 촉진하였다. 아울러, 연구자는 일상생활 소재의 시스템 탐구과정에서 학생들이 수행한 시스템 사고가 향후 생태계 학습에도 사용될 수 있는 자원으로 자리매김하도록 의도하였다.

2차시 및 4차시 수업에서 교사는 생태계의 물질순환과 에너지 흐름에 관한 내용이나 생태계의 구성요소 등을 강의하였다. 생태계 학습에서 관련 지식의 부족은 학생들의 추론 수준을 제한하여 그들을 낮은 수준의 개념 이해에 머물게 할 수 있다(한문현과 김희백, 2012). 따라서 강의식 수업을 통해 학생들이 생태계 지식을 학습하도록 지원하였다.

3차시 동안 수행된 생태계 주제의 소집단 탐구활동(3·5·6차시)은 단순한 시스템 구성으로부터 더욱 복잡한 시스템으로의 점진적인 접근을 권하는 선행연구(Hung, 2008)에 따라 시간이 지날수록 학생들이 더욱 많은 요소를 다루는 시스템을 구성하도록 설계하였다. 연구자는 3차시에서는 생태계의 영양소 순환에 대해 학생들이 가진 초기의 생각들을 끌어내는 데 초점을 두었다. 연구자는 5차시에서는 영양소를 구성하는 원소 중에서 질소를 지목하여 '생태계에서 질소의 이동과정(질소순환)'을 다루었

다. 질소는 생태계의 생산성에 가장 제한적인 영양소로(Stanley *et al.*, 2000), 교육과정에서도 질소화합물의 변형과정을 포함하여 질소의 순환과정을 다루고 있으므로(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015) 학생활동도 질소화합물의 변화를 고려하여 활동하도록 설계하였다. 연구자는 6차시 과제로 학생들에게 생태계의 예비 구성요소 목록을 제시하고, 학생들이 그중 일부를 선택하여, 선택된 요소들로만 유지되는 미니생태계를 구성하도록 하였다. 이때 교사는 학생들에게 생태계 구성요소들과 관계들을 다양한 관점에서 파악하고 표상화하도록 요구하였다.

소집단 활동이 포함된 차시(1·3·5·6차시)에서 학생들은 시스템 사고 촉진을 위해 설계한 표상화 활동과제를 수행하였다. 과제 진행방식은 다음과 같다. 해당 수업의 도입부에서 교사는 학생들이 다양한 측면에서 생각할 수 있도록 질문하며(예:[다양한 생물이 영양소를 얻는 방법을 질문하며] 우리는 먹고…. 그러면 다른 생물을 잡아먹지 않고 사는 생물도 있을까?) 다양한 학생들이 참여할 수 있는 분위기를 조성했다. 교사는 그 이후 과제수행 방식을 안내한 뒤, 학생들에게 소집단에서 그려야 할 그림에 특정한 답이 있지 않음을 여러 차례 강조하였다. 교사는 그로 인해 학생들이 과제를 수행할 때 '특정한 답을 제시해야 한다'라는 부담을 갖지 않고 과제에 접근하여 그것을 수행하도록 조력했다. 한 차시에서 그 이후 시간 대부분은 학생들이 모둠에서 협력적 표상화 활동을 하는데 주어졌다. 차시의 마무리 단계에서 교사는 학생들이 소집단에서 완성한 그림들을 모두 큰 화면으로 띄워 학급 전체에 발표하게 하였다. 그리고 학생들이 소집단 그림을 평가하도록 질문했다. 교사는 모둠 순회지도나 평가 및 반성 과정에서 직접적인 평가를 최대한 지양하고 학생들이 자유롭게 의견을 표현하고 스스로 지식을 구성하는 분위기를 조성하려 노력하였다.

교사는 강의식 수업에서도 학생에게 개별적으로 개념을 전달하기보다는, 학생이 스스로 시스템 구성요소 사이의 관계를 연결하도록 질의응답하며 학생들을 조력하였다. 수업 진행장소는 수업 활동에 따라 달랐다. 수업이 강의식인 경우에는 학급에서, 소집단 활동을 포함하는 경우에는

과학실에서 진행되었다. 수업의 장소나 진행방식은 다르지만, 참여교사는 매 수업 차시마다 이전 차시의 내용을 상기시키고 반성하는 등 연계성을 갖추려 노력했다.

2.2.2. 과제 설계

학생의 시스템 사고를 촉진하는 과제는 STH 모형(Assaraf & Orion, 2005b)에 해당하는 시스템 사고요소들을 촉진하는 세부활동을 포함하도록 설계하였다. Assaraf and Orion은 선행연구를 정리하며 시스템 사고를 구성하는 사고들을 위계적인 순서 8개로 정렬했다(표 Ⅲ-3).

<표 Ⅲ-3> 위계적인 시스템 사고(STH) 모형의 구성요소 (Assaraf & Orion, 2005b)

범주	세부구성요소
구조	1. 시스템을 이루는 요소와 과정들을 식별
종합	2. 간단한 관계들을 파악
	3. 역동적 관계들을 파악
	4. 시스템 구성요소들, 관계, 그들 사이의 상호작용을 조직화
	5. 순환을 파악
적용	6. 시스템의 감추어진 측면 인식
	7. 일반화
	8. 시간적 사고

STH 모형은 시스템을 이루는 다양한 구조 사이에서의 역동적 관계와 순환에 대한 사고를 포함하므로 물의 순환, 탄소의 순환, 생태계 내 식물과 관련된 관계를 다루는 선행연구에서 활용되어왔다(e.g. Evagorou *et al.,* 2009; Lee *et al.,* 2019; Zangori & Forbes, 2015). 이에 연구자는 STH 모형을 바탕으로 학생들의 시스템 사고를 촉진할 수 있는 과제(그림 Ⅲ-2, 부록1)를 설계하였다. 그리고, 학생들이 그 과제를 수행하는 과정에서 어떠한 속성의 시스템 사고를 나타내는지 이해하고자 하였다.

세부 활동	구성요소 카드 분석		관계정리표 작성		구성요소·관계 연결		그림 그리기
활동 내용	· 시스템의 행동과 관련된 특성 파악	→	· 시스템의 행동과 관련하여 한 요소가 다른 여러 요소와 맺는 관계 파악	→	· 구성요소들의 관계를 시간 순서대로 연결하여 이야기 만들기: 여러 상황으로 반복	→	· 시스템의 행동을 하부 시스템과 그들 사이 관계를 포함시킨 그림으로 표현

<그림 Ⅲ-2> 개발한 과제의 세부활동 별 활동 내용

학생들이 표상화 활동을 하며 높은 수준의 시스템 사고가 촉진되었다는 사례는 선행연구에서 제시된 바 있다(Hogan & Thomas, 2001; Zangori *et al.,* 2017). 특히, 표상화 활동의 한 종류인 그림그리기는 학생들의 추론과 밀접히 관련되며(Hmelo-Silver *et al.,* 2007; Tytler, Prain, Aranda, Ferguson & Gorur, 2020) 그림을 그리는 과정에서 자료의 통합이 일어나므로(Clement, 2000) 학생들의 시스템 사고 함양에 기여할 수 있다. 그러나 그림그리기는 여러 요소의 조직화를 요구하여 학생들에게 인지적 부하가 증대될 수 있다(Chandler & Sweller, 1991). 또한, 학생들의 선개념 부족은 그들의 표상화 활동을 저해할 수도 있다(Tytler *et al.,* 2020). 따라서 연구자는 생태계 학습에서 학생의 시스템 사고를 촉진하기 위한 과제에서 생태계 구성요소의 특성을 적은 카드를 제공하여 개념적 지원을 하였다. 또한, 연구자는 표상화 과정 절차를 단계별로 나누어 학생들이 요소 간의 관계를 표로 작성하게 한 뒤, 표를 다시 그림으로 나타내는 단계적인 표상화 활동을 구성하여 학생들의 인지적 부하를 최소화하고자 했다.

구체적인 표상화 활동 내용은 Sweeney and Meadows(2010)의 'Postcard stories'를 바탕으로 재구성하였다. 'Postcard stories'는 학생들이 서로 다른 요소의 사진을 나누어 갖고, 서로의 사진 중에서 관련되는 것을 선택하며, 선택한 요소 사이에서 맺는 관계를 글로 쓰는 활동을 포

함한다.

소집단 활동을 포함하는 차시(1·3·5·6차시)에서 교사는 도입 후 학생들에게 시스템의 구성요소 카드를 학생별로 갖는 구성요소가 서로 다르게 제공하였다. 3·5차시의 구성요소 카드는 두 부분으로 구성되었다. 카드의 왼쪽 칸에는 대상의 특성이, 오른쪽 칸에는 그 대상과 다른 요소와의 관계를 질문하는 문항이 적혀 있었다. 카드에 제공된 구성요소 중 하나라도 없으면 시스템으로서의 속성 파악이 어려우므로, 이러한 배분을 통해 소집단의 모든 학생이 과제에 필요한 지식을 가지고 추론하면서 공동의 과제를 수행하기 위해 서로에게 책임감을 느끼도록(Zimmerman & Weible, 2018) 지원하였다.

카드의 설명에는 과학적으로 옳지만, 과제수행과는 크게 상관없는 내용도 포함시켜 학생들이 과제에 필요한 설명을 선별하는 인지과정에 참여하도록 지원하였다(Berland & McNeil, 2010). 문제해결과정의 첫 단계는 문제가 요구하는 바를 정확히 표상하여 문제와 관련 없는 정보보다는 관련된 정보에 초점을 두는 것이다(김태훈, 민병미와 손연아, 2004). 그러므로, 연구자는 구성요소카드의 문항을 푸는 과정에서 학생들에게 시스템에 필수적인 요소나 과정에 관련된 정보를 선별하는 기회를 제공했다.

이후에, 학생들은 자신이 구성요소 카드의 질문에 답한 내용을 보면서 하나의 구성요소가 다른 여러 구성요소와 어떠한 관계를 맺는지 관계정리표에 작성하였다. 학생들은 표를 작성하는 과정에서 관련된 정보를 더욱 명확히 인식하고, 정보의 패턴과 규칙성을 인식하게 된다(Ainsworth, 2008). 이어서 학생들은 작성한 관계정리표의 내용들을 모두 종합하여 수많은 요소 사이에서 주고받는 영향을 파악하였다. 종합하면, 본 과제는 학생들이 관계정리표를 작성하면서 하나의 구성요소가 다른 여러 구성요소와 맺는 관계들을 파악하고, 관계정리표의 내용을 종합하여 시스템을 이루는 여러 구성요소의 관련성을 파악하도록 의도하였다.

관계정리표 작성을 마친 뒤, 학생들은 소집단 안에서 구성요소 카드를 시간 순서대로 배열하고, 카드에 적힌 요소 사이의 관계에 관해 설명하였다. 이 활동은 학생들이 구성요소들 사이에서 시간의 흐름에 따라 일

어나는 역동적 관계를 파악하도록 조력하기 위해 설계된 것이다.

이후 활동은 소집단 학생들이 시스템의 구성요소와 그 구성요소 사이의 관계를 긴밀하게 조직화하여 시스템에 관한 그림을 그리는 것이다. 연구자는 학생들의 생각을 더 상세히 파악하기 위해 그림그리기와 함께 글쓰기를 조합한 과제(Rennie & Jarvis, 1995)를 제공하였다. 표상에서 지식이 조직되는 방식이 나타나므로(Piaget, 1962) 학생들은 자신이 만든 표상을 보며 지식의 조직화 과정을 파악할 수 있다. 특히, 학생들이 그림그리기 활동에 참여할 때, 자신의 생각에 대한 시각적 표상을 만들어 그 생각에 대해 논의하거나 개선하는 과정에서 메타인지적 과정에 참여할 수 있다(Brooks, 2009). 이처럼 연구자는 소집단 논의 과정에서 학생들이 시스템 내 단편적인 관계의 의미를 상호관계 관점에서 해석하도록 서로 질의응답하며, 그들의 시스템 사고를 촉진하도록(Assaraf & Orpaz, 2010) 의도하였다. 교사는 학생들이 소집단 활동을 할 때 소집단을 순회 지도하며, 학생들이 자신의 그림에서 부족한 점을 개선하도록 격려하였다. 이후에 학생들은 소집단에서 그린 그림을 학급 전체에 발표하고 그것을 평가하는 과정에서 자신의 그림을 반성하였다. 이러한 세부활동은 선행연구들에서 제안한 복잡계 학습의 설계원리에 따라 학생들 사이의 협동과 논의, 그리고 반성을 촉진하는 절차나 질문들을 포함하였다(Evagorou *et al.*, 2009; Hmelo-Silver *et al.,* 2000; Jacobson & Wilensky, 2006).

고등학생들에게 논변 활동 같은 인식적 실행을 촉진하기 위해서는 개념적, 인식적, 인지적, 사회적 측면 등 다방면에서의 스캐폴딩을 제공하면 효과적이다(정주혜, 2010). 개념적·인지적·인식적·사회적 측면은 논변 활동 외의 모든 과학 활동에서 추구하는 목표 영역이다(Osborne, Erduran, Simon & Monk, 2001). 본 연구의 소집단 활동과제의 특성도 이러한 네 가지 측면에서 고등학생들을 지원하였다. 앞서 제시한 복잡계 학습 설계원리와 관련하여 이를 설명하면 다음과 같다.

첫째, 학생들 사이에서 협동이 이루어지도록 하였다. 본 연구의 과제에서 학생들에게 제공한 사회적 지원으로는 학생들이 서로 다른 생태계 구

성요소 카드를 맡아서 그 요소에 대한 관계를 파악하게 한 것이 있다. 시스템을 이루는 한 요소라도 그에 대한 관계 파악을 잘못하면 전체로서의 시스템에 영향을 미치게 된다(Sommer & Lücken, 2010). 그렇기에 구성요소 카드 배분을 통해 소집단 학생 모두 공동의 지식 구성에 책임감을 갖고 참여하도록 의도하였다.

두 번째, 소집단 학생들 사이에서 활발한 논의가 이루어지도록 하였다. 시스템의 외적 표상화 과정에서 학생들의 논의는 '시스템에서 파악한 구성요소들이 옳은가'와 '그것들을 어떻게 조직화할 것인가'로 주로 이루어진다. 이를 위한 개념적 지원으로 학생들에게 구성요소 카드를 제공하여 구성요소의 특성에 관해 파악하도록 지원하였다. 이러한 지원은 3차시(탄소 순환 주제)와 5차시(질소순환 주제)에 제공하였다. 해당 주제는 미시적인 화합물과 그들의 화학적 변형을 포함한다. 그렇기에 관련 개념의 부족으로 인한 학생들의 참여 저하(한문현, 2019; Hogan, 2000)를 방지하고자 하였다. 아울러, 시스템 구성요소를 긴밀하게 연결하는 것은 시스템에서 중요한 것이 무엇이며, 이 활동에서 어떻게 그것을 드러내야 하는지에 관한 인식적 이해가 중요하다. 학생들이 이러한 인식적 이해를 하도록 조력하기 위한 인식적 지원으로 학생들에게 시스템·시스템 사고의 정의와 시스템 사고의 필요성에 관한 일상생활 소재의 도입 활동(Hogan & Thomas, 2001)을 하였다.

셋째, 학생들 사이에서 반성이 촉진되도록 하였다. 본 연구에서 인지적 지원으로는 학생들에게 안내된 그림그리기를 통해 자신의 사고에 관한 반성이 촉진되도록 하였다(강훈식, 김보경과 노태희, 2005).

개발된 과제의 내용은 경력 30년 이상의 과학교육 전문가와 생물교육 박사과정 재학 중인 경력 10년 이상의 교사와의 지속적인 상호 협의를 거친 뒤 수업에 활용하였다.

3. 자료 수집

이 연구에서 학생들의 시스템 사고 변화에 관해 보는 관점에 따르면,

학생들은 맥락에 따라 시스템 사고를 달리하는 경향이 있으므로 본 연구 결과는 특정 맥락 안에서 해석되어야 한다. 또한, 본 연구는 하나의 사례에 집중함으로써 그 사례를 특징짓는 주요 인자들의 상호작용을 발견하는 것을 목적으로 한다는 점에서 질적 사례연구로 연구하기에 적합하다고 판단하였다(Cronbach, 1975). 연구자는 질적 사례연구의 신뢰성과 타당성을 높이기 위해 다양한 종류의 자료를 수집, 분석하였다(Merriam, 1998).

본 연구의 수업 과정은 2014년 10월 중하순 경부터 약 2주간 진행되었으며, 수도권 소재의 인문계 고등학교 2학년 자연계열 학급 1개에서 시행되었다. 본 연구의 계획 단계에서 서울대학교 생명윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받았으며, 연구 참여자에게는 연구 참여에 동의하는지 통신문을 배부하여 자신의 희망에 따라 참여 여부를 결정하도록 하고 서명을 받았다. 연구 진행 과정에서도 연구 참여자의 의사를 존중하며 수업 과정 이내, 혹은 수업 과정 이후의 연구 자료를 수집하였다. 본 연구에서 수집된 자료로는 협력적 표상화 활동 동안의 소집단 담화 녹음, 녹화본과 소집단 그림과 학생 활동지, 연구자(참여교사)의 필드노트, 수업 과정이 마친 후 초점집단 학생들을 대상으로 실시한 사후 인터뷰(부록2) 활동지와 그것의 담화 녹음 전사본이 있다.

4. 자료 분석

4.1. 질적 접근방법

본 연구는 질적 접근방법을 채택하여 소수의 참여자를 대상으로 하였으므로 적은 자료로 인해 발생할 수 있는 해석의 오류를 극복하고 자료 분석의 타당도를 확보하기 위하여 Lincoln and Guba(1989)가 제시한 검증방법 가운데 다음의 방법을 활용하였다.

첫 번째, 모든 분석 자료는 그와 관련된 자료 출처나 이론적 배경 두 가지 이상을 바탕으로 삼각검증(triangulation)이 이루어질 수 있도록 하

였다. 예를 들어, 학생들의 시스템 사고 분석을 위해 소집단 담화 전사본과 소집단 그림, 개인 활동지, 인터뷰 질문에 대한 응답 등 다양한 자료를 바탕으로 비교하는 과정을 반복했다.

두 번째, 연구자인 동료의 검증을 받는 방법(peer review)을 사용하였다. 연구자와 생물교육전공의 박사과정 중에 재학 중인 교육경력 10년 이상의 과학교사 1인, 경력 30년 이상의 과학교육 전문가 1인이 연구주제 구체화, 학습환경 설계 등을 개발하는 과정에 참여하였다. 그리고 연구 결과 분석을 각자 독립적으로 수행하여 얼마나 일치하는지 확인하고 일치하지 않는 부분은 지속적으로 논의하며 합의에 이르는 과정을 반복하였다.

세 번째, 근거이론(grounded theory)을 활용하며 자료를 지속적으로 해석하며 의미를 찾는 과정을 반복하여 실시하였다. 즉, 저자는 지속적이고 반복적으로 자료를 수집하고 비교하면서 나타나는 다양한 의미들을 찾았다. 그리고 관찰한 것, 관련 선행연구, 결과의 해석을 끊임없이 반복하며 자료들로부터 의미를 구성하였다.

마지막으로 연구상황과 참여자에 대해 상세한 기술(thick desctription)을 하였다. 연구자는 이러한 과정을 수행함으로써 연구문제에 대한 자세한 설명을 제공하고자 하였으며, 독자들이 다른 연구상황에 정보를 전이할 수 있는지 결정할 수 있도록 했다.

4.2. 자료 분석방법

자료의 분석은 외적 표상화 활동으로 구성된 수업 과정에서 학생들의 시스템 사고가 맥락에 따라 어떻게 나타났는지를 파악하고, 학생들이 시스템 사고를 하는 맥락을 과제의 속성(예: 외적 표상화)이 미치는 영향과 관련지어 알아보는 두 가지 주요 단계로 이루어졌다.

첫 번째 단계인 수업 과정에서 학생들이 어떠한 맥락에서 어떠한 시스템 사고를 하는지 분석하기 위해 협력적 표상화 활동으로 구성된 매 수업 차시가 진행됨에 따라 초점집단 학생들(표 Ⅲ-1, 학생 A~D로 구성)

의 시스템 사고 수준을 분석하였다. 연구자는 STH모형(Assaraf & Orion, 2005b)과 이를 재구성한 Lee *et al.*(2019)의 분석틀을 바탕으로 본 연구에서 나타난 학생들의 시스템 사고를 귀납적으로 범주화하여 이경현과 김희백(2021)의 시스템 사고 분석틀을 만들었다. 그리고 이를 일부 수정하여 위계적인 시스템 사고 분석틀(표 Ⅲ-4)을 도출하여 사용하였다.

<표 Ⅲ-4> 시스템 사고 분석틀

시스템 사고 수준	시스템 사고 구성요소(내용)
입문	시스템의 작동 기작과 거의 관련 없는 시스템 구성요소를 파악함. (시스템을 이루는 일부 과정 및 요소, 혹은 두 구성요소 사이의 관계 일부를 식별할 수 있다.)
	예) (PC방에) 책걸상이 없어도 (사람이) 서서 컴퓨터를 사용할 수 있다(지극히 예외적인 사건)
초급	(입문 내용에 더하여) 시스템의 작동 기작에 관련된 시스템 구성요소와 과정, 혹은 간단한 관계를 파악함. ([입문 내용에 더하여] 시스템과 맺는 관계의 중요성을 근거로 하여 과정 및 요소를 파악하거나, 두 구성요소가 맺는 단방향성 관계를 식별할 수 있다.)
	예) 고객은 컴퓨터를 사용한다.
중급	(초급의 내용에 더하여) 시스템 구성요소와 과정 사이의 더욱 복잡한 관계를 파악함. ([초급의 내용에 더하여] 구성요소 둘 이상과 관련된 과정, 혹은 둘 이상의 여러 구성요소 사이에서 맺는 관계를 식별할 수 있다.)
	예) 참새는 사마귀, 잠자리, 해당화 등을 먹는 최상위포식자이다.
고급	(중급의 내용에 더하여) 순환적 사고나 적용, 혹은 감추어진 측면이나 시ㆍ공간적 사고를 파악함. ([중급의 내용에 더하여] 비가시적인 과정, 혹은 시ㆍ공간의 흐름에 따른 구성요소 사이의 역동적 관계나 순환을 설명할 수 있다.)
	예) 대기에서 질소는 공중방전을 통해 토양으로 가거나 질소고정과정을 통해 토양으로 간다.

연구1의 시스템 사고 분석틀(표 Ⅲ-4)은 학생들의 시스템 사고 수준이 높아지는 단계 4개로 구성된다. <표 Ⅲ-4>의 근간을 이루는 STH모형(Assaraf & Orion, 2005b)은 물질순환 주제에 관한 학습에서 시스템 사고를 분석한 방대한 선행연구를 리뷰하여 구성된 것이다. 따라서 물질순환 주제에서 학생들의 시스템 사고를 탐색할 수 있는 일반화된 시스템 사고 모형이라 볼 수 있다. 이에 의거하여 본 연구에서 학생들의 시스템 사고 수준 분석은 객관성을 높이는 방향으로 주의 깊게 이루어졌다.

학생들이 본 연구의 수업 과정 주제인 물질순환에서 순환적 관계를 인식하려면 광합성·분해자의 의미 등 '감추어진 측면 파악'이나 생태계에서 물질이 시간에 따라 어떻게 이동하는지에 대한 '시간적 관계 파악' 등 STH모형(Assaraf & Orion, 2005b)의 적용 수준 일부에 해당하는 시스템 사고를 할 수 있어야 한다. 이러한 점을 반영하여 순환적 관계 인식을 STH모형(Assaraf & Orion, 2005b)의 적용 수준에 해당하는 사고와 함께 고급 수준으로 범주화하였다.

학생들의 시스템 사고는 소집단에서 한 담화 분절에서 표현한 아이디어를 단위로 분석하였다. 예를 들어, 광합성에 관한 의견을 나누는 담화 분절에서 제시된 학생들의 발화가 "식물의 광합성에 물이 필요하다", 이후에 "식물의 광합성에 이산화탄소가 필요하다", "식물이 광합성하기 위해 빛이 비쳐야 한다"가 순서대로 나왔다. 이 경우에는, 학생 의견 중에서 앞의 첫 문장은 두 요소 사이에서 맺는 간단한 관계(초급)로, 뒤의 두 문장은 여러 요소 사이에서 맺는 관계(중급)로 코딩하였다. 연구자는 모든 발화를 분석하였으며, 분석의 신뢰도를 확보하기 위해 시스템 사고를 연구 중인 경력 10년 이상의 과학교사 1인이 자료의 약 25%에 해당하는 학생 발화를 독립적으로 코딩하였다. 연구자는 두 평가자 사이의 독립적 코딩의 결과 일치 비율로 평가자 간 신뢰도를 계산하였다. 두 평가자 사이에서 코딩의 신뢰도는 91.2%였고, 불일치는 논의를 통해 해결하였다. 그 후에 연구자는 4개의 소집단 표상화 활동에서의 모든 발화를 다시 확인하였다.

과제가 시스템 사고의 발달에 미치는 영향은 근거이론(Corbin &

Strauss, 1990)을 기반으로 소집단 활동의 비디오 녹화본, 담화 녹음, 면담 전사본에서 수집한 자료들을 활용하여 귀납적으로 분석되었다. 그 후에 선행연구(Assaraf & Orion, 2005b; Clement, 2000; Hmelo-Silver *et al.,* 2000, 2007; Hogan & Thomas, 2001; Hung, 2008)를 검토하여 과제가 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 조성하는 과정에 영향을 미칠 수 있는 요인을 추출했다. 이 과정에서, 면담자료와 연구자의 필드노트를 분석함으로써 자료 분석의 타당성을 높이고자 하였다.

학생의 메타인지는 그들이 수준 높은 시스템 사고를 하는 맥락에 지속적으로 작용했다. 이에 연구자는 선행연구(Flavell, 1979)의 분석틀을 일부 수정하여, 본 연구에 참여한 학생들의 메타인지를 바탕으로 귀납적으로 도출된 분석틀(표 Ⅲ-5)로 학생들의 메타인지를 보다 구체적으로 조사하였다.

<표 Ⅲ-5> 메타인지 분석틀

범주		설명(사례)
메타인지적 지식	과제 변인	과제의 성질과 처리 방법에 관한 지식 (“과제는 다양한 관계들을 포함해 복잡하므로 관계를 단순하게 정리해야 한다”)
	전략 변인	목표 도달을 위한 절차나 전략에 관한 지식 (“나는 과제에 포함된 구성요소들의 관계가 가까운 것일수록 가까이 위치시키면 더욱 단순히 표현될 수 있음을 깨달았다.”)
메타인지적 경험		어떤 인지적 작업을 하는 중 발생하는 인지적·감정적 경험 중에서 의식적인 것 (“나는 이 주장이 타당하지 않다는 생각이 들었다.”)

학생들의 메타인지는 <표 Ⅲ-5>와 같이 과제 변인이나 전략 변인의 메타인지적 지식과 메타인지적 경험으로 구분하였다. 학생의 메타인지는 소집단 담화에서 나타나는 학생들의 발화나 행동을 대상으로 분석하였다. 예를 들어, 어떤 학생이 소집단에서 만든 그림을 보며 걱정하는 말

투로 “이거 너무 복잡한데…. 다른 모둠은 안 그런데….”라고 한 경우에는 이를 ‘과제를 해결하는 방법이 무엇인가 잘못되었다’라는 의미로 해석하여 메타인지적 경험으로 코딩하였다.

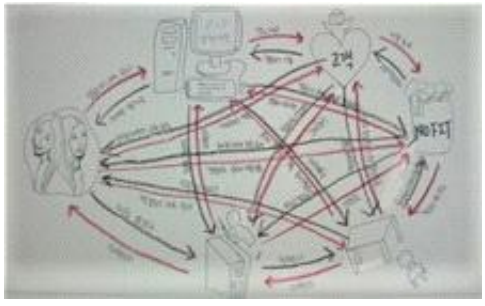
학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락 및 이에 영향을 미치는 요인의 분석은 연구자와 과학교육연구 30년 이상의 과학교육전문가 1명, 생물교육 박사과정에 재학 중인 경력 10년 이상의 교사 1명과 초기에 분석틀을 선정하는 단계부터 코딩하는 단계까지 지속적으로 논의하여 연구의 타당성 및 신뢰성을 확보하였다.

5. 연구 결과

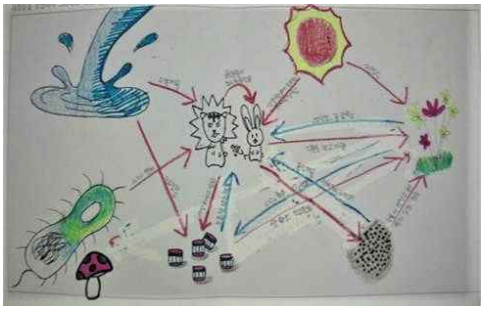
본 연구의 결과에서는 생태계를 외적으로 표상화하는 활동을 수행하는 과정에서 고등학생들이 어떠한 시스템 사고를 했는지 과제의 영향과 관련지어 제시하고자 한다. 6차시로 구성된 생태계 수업 과정에 참여하면서 학생들은 소집단 표상을 의사소통의 도구로 활용하며 모둠원의 사고에 관한 평가 및 반성을 하였고, 학생들의 시스템 사고는 맥락에 따라 입문단계에서 고급단계까지 다양한 수준으로 나타났다. 연구 결과에서는 소집단 활동 녹화·녹음본과 소집단 그림, 학생 활동지, 연구자의 필드노트에 근거하여 다음과 같은 연구문제를 고찰하고자 한다. 첫 번째, 수업 과정 동안 과제의 맥락에 따라 나타난 고등학생들의 시스템 사고를 기술하고 두 번째, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 과정을 과제요소 중 외적 표상화가 미치는 영향과 관련지어 설명하고자 한다.

5.1. 과제의 속성이 다를 때 나타난 고등학생들의 시스템 사고

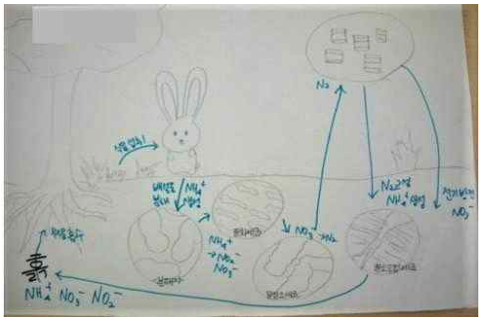
수업 과정에서 학생들의 시스템 사고가 어떻게 나타나는지 알아보기 위하여 수업 과정 중의 학생 담화와 그림(그림 Ⅲ-3)에 나타난 시스템 사고의 수준을 시스템 사고 분석틀(표 Ⅲ-4)에 따라 분석하였다(그림 Ⅲ-4).



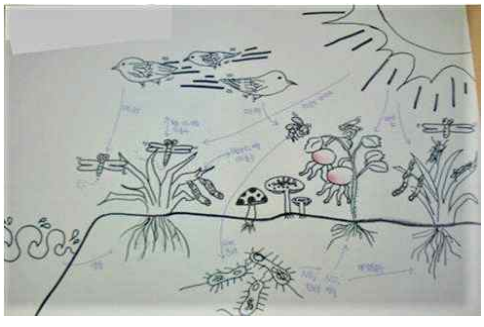
A. PC방 운영(1차시)



B. 탄소 순환(3차시)

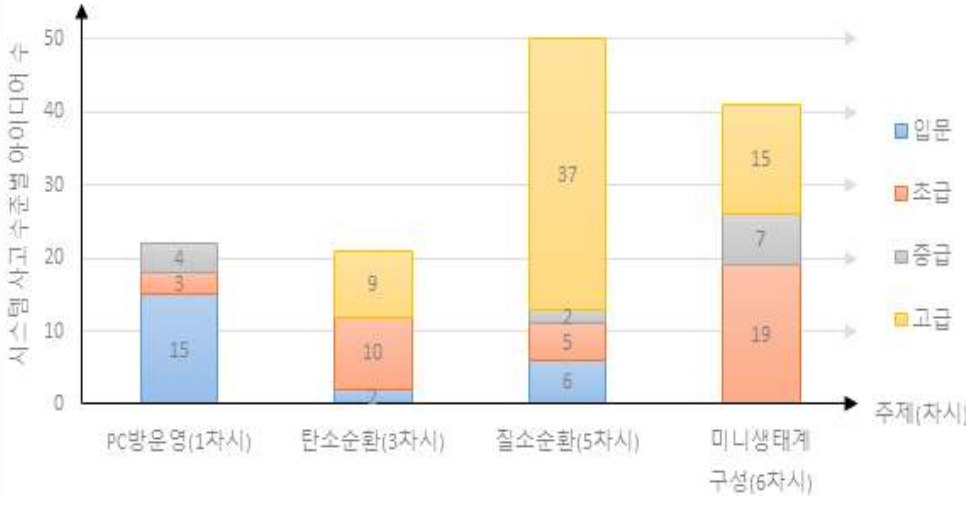


C. 질소순환(5차시)



D. 미니생태계 구성(6차시)

<그림 Ⅲ-3> 수업 과정 동안의 소집단 그림(이경현 등, 2016)



<그림 Ⅲ-4> 수업 과정 동안 시스템 사고 수준별 아이디어 수

본 연구의 과제(부록1)는 차시별로 속성이 달랐다. ‘PC방 운영과정(1차시)’은 학생들이 일상에서 자주 접하는 소재였으며 주로 가시적인 구성요소와 과정들로 이루어졌다. ‘미니생태계 구성하기(6차시)’는 탐구방법으로 학생들이 스스로 미니생태계를 구성하는 요소를 선정하게 했고, 과제에 제시된 요소 중에서 가시적인 구성요소의 비율이 높았으며, 과제의 질문도 미니생태계 유지 원리에 관해 묻는 등 개방적인 편이었다. ‘탄소순환(3차시)’과 ‘질소순환(5차시)’은 이전 학년에서 학습한 내용(교육과학기술부, 2011)이었으며, 미시적인 구성요소들의 비율이 많은 과제였다. 이 중에서 ‘질소순환(5차시)’ 과제의 질문은 ‘생태계에서 질소의 여행은?’이었다. 이는 학생들이 쉽게 접할 수 있는 익숙한 질문의 문제였다. 반면, ‘탄소 순환(3차시)’에서 과제의 질문은 ‘생물은 어떻게 영양소를 얻고 에너지를 낼까?’로, 학생들에게 익숙하지 않은 형식으로 기술되었다.

이처럼 속성이 서로 다른 과제를 할 때 학생들의 시스템 사고도 달리 나타나는 것으로 보였다. 1차시(PC방 운영)에 학생들은 일상경험에서의 다양한 지식에 기반을 두어 PC방을 이루는 거시적인 구성요소와 그들 사이의 관계를 다수 파악했다. 그러나 학생들은 시스템이라는 개념에 익숙하지 않아 과제를 하는 방법을 제대로 파악하지 못하는 모습을 보였다. 그 결과, 학생들은 두 요소 사이에서 간접적으로 맺는 관계들을 직접 연결하거나, 영향을 미치는 대상과 받는 대상을 바꾸어 파악하는 등(예: 책걸상은 이윤에게 구입하는 영향을 미친다) 잘못 파악한 관계의 비율이 높았다. 또한, 학생들이 파악한 관계의 내용도 PC방 운영과정에 크게 기여하지 않는 것들이 다수 포함되었다. 이러한 특성으로 인해 1차시 학생들의 시스템 사고는 입문 수준에 주로 머물렀다(그림 Ⅲ-4).

이후에 시스템 표상화 활동이 더 이루어진 후 학생들은 과제에 대한 이해도가 높아지는 것으로 보였다. 학생들이 비슷한 속성의 과제를 수행할 때, 그 과제의 복잡성이 더 높았음에도 불구하고 그들이 더 높은 수준의 시스템 사고를 나타냈기 때문이다. 예를 들어, 6차시 과제는 ‘미니생태계 구성’으로 가시적이거나 일상에서 경험 가능한 요소들의 비율이 높았으며 과제의 질문도 개방적이었다. 이때, 학생들은 일상에서 경험한

생물 사이의 관계에 기반을 두어 구성요소들 사이의 다양한 관계를 식별했다(예: 고사리는 포자로 번식하므로 종자식물과 함께 생태계에 포함되어야 한다, 꽃의 번식을 위해 나비가 생태계에 포함되어야 한다). 또한, 여러 요소와 과정 사이에서 맺는 관계를 동시에 고려하는 모습이 더욱 많이 나타났다(예: 식물의 광합성과 동물의 호흡으로 인해 공기에서 호흡 기체의 순환이 이뤄진다). 과제의 속성이 가시적이고 일상생활에서 경험하기 쉬웠던 1차시 'PC방 운영'과제와 비교했을 때, 6차시에 학생들이 파악한 생태계 요소나 과정들은 모두 생물의 영양, 번식, 생태계 안정성과 관련되는 등 생태계 유지와 밀접하게 관련된 것이었다. 또한, 다양한 생물 요소 사이의 관계 파악이 두드러져, 6차시 학생들의 시스템 사고에서 초급, 중급과 고급 수준의 시스템 사고가 고르게 많이 나타났다(그림 Ⅲ-4). 이는 학생들이 과제에 대한 이해도가 높을 때 구성요소가 가시적이며 일상에서 경험 가능한 과제, 그리고 질문의 속성이 개방적인 과제가 학생들로 하여금 높은 수준의 시스템 사고를 하도록 촉진함을 보여준다. 비록, 학생들은 6차시에 분해자와 생산자의 역할을 파악하지 못했고, 이는 고급 수준의 시스템 사고가 나타나는 것과는 거리가 있었다. 하지만 과학적 의미형성 과정은 학문적 실행 맥락 안에서 다른 사람과의 담화적 상호작용을 통해, 시스템의 요소들 사이에서 다중적이고 정합적인 관계들을 발달시키는 것을 포함하며(Thagard, 2008), 이는 높은 수준의 시스템 사고를 하는 데 필수적이다. 따라서 6차시에 다양한 학생들이 일상에서 경험한 다양한 요소와 관계들을 기반으로 시스템의 유지 원리를 탐색한 것은 의미가 있다.

5차시 '질소순환' 과제는 미시적인 화합물이나 화학반응을 다수 포함하고, 과제의 질문도 '생태계에서 질소의 여행'으로 제시되어 학생들이 흔히 접해보았을 법한 과제였다. 학생들은 이 과제를 할 때, 구성요소 카드에 적힌 내용을 꼼꼼히 살펴보며 미시적인 요소와 과정들을 찾았고 그들 사이의 관계를 순환이 되도록 이어나갔다. 그러나 학생들은 질소순환과정을 완성하는 데 필요한 최소한의 관계만을 파악했고, 그것을 자신의 일상생활에 연결하지 못했다. 이때 학생들의 시스템 사고는 고급 수준이

가장 많았다(그림 Ⅲ-4). 이는 질소순환 과정에 포함되는 요소와 과정들은 대부분 생태계에서 보이지 않는 측면에 해당하기 때문이다. 그러나 학생들은 질소순환과정에 포함되지 않는 요소와 과정에는 주의를 기울이지 않았다. 그 결과, 학생들의 시스템 사고에서 입문·초급·중급 수준의 시스템 사고는 거의 나타나지 않는 한계가 나타났다(그림 Ⅲ-4).

3차시 '탄소 순환' 과제는 미시적인 화합물과 화학반응을 포함한다는 점에서 5차시의 과제와 공통점을 갖는다. 그러나, 3차시 과제의 질문은 '생태계 생물들이 영양소를 얻고 에너지를 내기까지'라는 새로운 용어로 구성되었다. 그러한 상황에서 다양한 학생들이 의견을 제시했다. 예컨대, 학생들은 일상의 경험을 바탕으로 동물 사이의 관계에 관한 다양한 의견을 제시했다(예: 세균은 인체 내 서식하며 사람의 건강을 해친다). 또한, 미시적인 과정(예: 광합성, 분해자의 사체 및 배설물 분해)과 구성요소 일부를 설명했다. 그리고, 학생들은 서로 다른 하부 시스템들(예: 생물권·기권·수권 등) 사이에서 양방향으로 맺는 관계 일부를 제시했다(예: 물은 생물을 깨끗하게 하지만 동물은 물을 오염시킨다). 그 결과, 3차시에서 나타난 학생들의 시스템 사고는 초급과 고급이 거의 비슷한 빈도로 많은 것을 알 수 있다. 그러나 학생들은 환경과 생물 사이에서 유기물과 무기물의 변환을 파악하지 못했다. 또한, 학생들은 관계를 파악할 때 여러 요소를 동시에 고려하지 못했다.

수업 과정 중에서 학생들이 과제에 따라 서로 다른 시스템 사고를 한 이유는 과제의 속성과 관련지어 해석할 수 있다. 수업 과정에서 제시된 과제의 속성과, 그러한 과제가 주어졌을 때 학생들이 나타낸 시스템 사고는 <표 Ⅲ-6>과 같다.

<표 Ⅲ-6>에 제시된 내용에 기반을 두었을 때, 학생들이 일상에서 쉽게 접하는 가시적인 요소들로 구성된 과제는 학생들이 다양한 관계를 파악하는 맥락이 되는 것으로 판단할 수 있다. 시스템을 구성하는 요소 사이의 관계를 파악하는 것은 그 관계를 조직화하여 시스템의 패턴을 탐색하는 발판이 된다(Assaraf & Orion, 2005b). 예를 들어, 6차시 과제에 제시된 시스템은 이전 차시에 비해 더욱 많은 구성요소와 관계를 포함했지

<표 Ⅲ-6> 수업 차시 별 과제의 속성과 학생들의 시스템 사고 특성

		PC방 운영 (1차시)	탄소 순환 (3차시)	질소순환 (5차시)	미니생태계 구성(6차시)
과제의 속성		· 일상생활 소재 · 가시적인 구성요소의 비율이 높음. · 과제 질문이 개방적인 편(답이 하나로 수렴하지 않음).	· 화합물의 화학적 변형에 관한 내용 지식을 요구함. · 새로운 용어로 문제를 구성함. · 미시적인 요소와 과정을 포함함.	· 화합물의 화학적 변형 등에 관한 내용 지식을 요구함. · 과제 질문이 폐쇄적임. · 주로 미시적인 구성요소로 이루어짐.	· 과제 질문의 개방성이 높음(답이 하나로 수렴하지 않음). · 가시적인 구성요소의 비율이 높음.
시스템 사고	잘한 점	· 다양한 관계를 파악함.	· 생물 사이, 혹은 생물과 환경 사이에서 맺는 비교적 다양한 관계를 파악함.	· 미시적인 요소와 과정을 옳게 파악함. · 파악한 관계를 시간 순서대로 연결함.	· 생물 사이의 관계를 다양하게 파악함.
	부족한 점	· 적은 시간 규모의 단일한 인과관계만 나열함.	· 순환을 이루는 일부 관계의 의미를 파악하지 못함(예: 분해자, 생산자)	· 과제 해결에 필요한 최소한의 관계만 파악함.	· 환경의 무기물이 생물의 유기물로 전환되는 관계 파악이 부족함.

만, 학생들은 일상에서 경험 가능한 관계들을 파악하면서 이들 사이의 다양한 관계를 조직화할 수 있었다. 이러한 모습은 개방되어 있고, 새로운 용어로 표현한 질문, 즉 반성과 이해를 요구하는 질문이 학생들에게 배운 아이디어들의 재구성, 적용, 또는 확장과 같은 심층적인 아이디어 처리 과정을 하도록 안내한다는 선행연구(Chin & Osborne, 2008)의 결과와 궤를 같이한다. 또한, 특정 주제에 대한 많은 경험을 한 학생들은 복잡하지만 친숙한 과제를 쉽게 다루며, 교사가 일상에서 경험 가능한

소재로 과제를 설계하면 학생들이 상대적으로 높은 수준의 사고를 하도록 촉진할 수 있다는 선행연구(Von Aufschnaiter, Erduran, Osborne & Simon, 2008)의 결과와도 맥락을 같이 한다.

반면, 시스템의 구성요소들이 미시적인 것은 학생들이 시스템 사고를 하는 데 소극적인 태도를 보이는 맥락으로 작용했다. 5차시에서 학생들이 다양한 관계들을 적극적으로 파악하지 않고, 구성요소 카드에 제공된 내용 중에서 질소순환을 이루는 관계들만을 제한적으로 제시했다. 이는 학생들이 시스템의 미시적인 부분을 다루기 어려워한다는 선행연구(Lee *et al.,* 2019)의 결과와 궤를 같이하는 것이다.

5.2. 학생들의 수준 높은 시스템 사고 수행에서 외적 표상화의 역할

수업 과정 동안 학생들은 소집단 활동 차시마다 관계정리표를 작성하고, 그림을 그리는 활동을 하며 개념뿐만이 아니라 자신의 사고를 시각화하였다. 본 연구에서 외적 표상화는 수업 차시 별 과제의 질문과 상관없이 학생들에게 주어진 과제의 맥락이다. 따라서, 본 연구의 수업 과제가 가진 특성 중에서 외적 표상화와 관련지어 학생들의 시스템 사고를 고찰하는 것은 보다 구체적인 설명을 제공한다고 볼 수 있다. 이러한 이유로 인해, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 과정도 수업 차시마다 공통적인 맥락인 외적 표상화의 영향을 중점으로 살펴보고자 한다. 결과를 구체적으로 서술하면 다음과 같다.

5.2.1. 사고의 외적 표현을 통한 학생들의 반성 촉진

수업 과정 초반, 학생들은 과제를 어떻게 해야 하는지 잘 알지 못하는 모습이었다. 이때, 학생들은 활동지의 질문에 모두 대답하는 데 집중했다. 이러한 과제 해결 전략이 옳지 않다고 학생들에게 일깨워준 것은 학생들이 완성되어가는 자신의 소집단 그림을 반성하면서부터였다. 1차시에서 학생들이 PC방 운영과정에 관한 관계정리표 작성과 그림그리기를

하는 과정의 담화에서 이러한 모습이 드러난다(그림 Ⅲ-5).

순번	발화자	발화	표상의 활용	시스템 사고	메타인지
1	D	[활동지를 가리키며] A야, 이거 아무거나 막 쓰면 돼?	과제 절차 확인		
2	A	[표를 가리키며] 응, 이거 여기 순서, 여기 순서대로 쓰면 돼.	과제 절차 확인		
3	A	[표에 작성된 내용을 가리키며] 그럼 저거 그림 다 그리고 합치기만 하면 돼.	과제 절차 확인		
4	B	[표에 빈칸을 가리키며] 그거 여기서 여기도 해야 해.	과제 절차 확인		
5	A	[표에 빈칸을 가리키며] 여기서 여기도 하고 저기서 저기도 하고 이거 다 해야 해.	과제 절차 확인		
6	C	야, 그러면 너무 복잡하지 않아?			경험
7	A	아니, 그렇게 해야 해.			
8	B	이렇게 해야 해.			
9	D	자기 자신만 빼고 다 하는 거 아니야?			
10	A	어, 방향은…. 방향은 상관없어. B야, 그냥 아무렇게나 하면 돼.			
11	C	[그림을 보며] 아, 완전 헷갈려.	반성의 대상		경험
12	B	[그림을 보며] 야, 완전 복잡해.	반성의 대상		경험
		…중략…			

<그림 Ⅲ-5> 외적 표상화 활동이 학생들의 반성을 촉진하는 모습[6)]

6) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 학생들의 행동을 나타낸다.

<그림 Ⅲ-5>의 소집단 담화에서 학생들은 관계정리표의 빈칸을 모두 채우고자 하였다. 이때 학생들의 시스템 사고는 관계정리표 작성에 요구되는 '한 요소가 다른 요소들과 맺는 관계 파악'에 편중되었다. 이 과정에서 표상의 활용은 과제의 절차를 설명하는 보조자료에 머물렀다. 학생들은 수업시간 내에 모든 요소 사이에서 맺는 관계를 찾으려다 보니 표면적으로 드러나는 구조들에만 초점을 두어 미시적인 구조를 거의 식별하지 못하였다. 학생들은 파악한 관계들을 서로 연결하여 관계를 확장하려는 시도를 거의 하지 않았다. 학생들은 수업 주제도 고려하지 않은 채 두 요소 사이의 어떠한 관계라도 있는 대로 찾는 데에만 급급해하는 등(1~2번째 발화) 입문 수준의 시스템 사고를 주로 보였다. 또한, 학생들은 관계정리표에 작성한 내용을 옮겨 그림을 그리면 된다고 여겨서(3번째 발화) 서로 다른 표상으로 변환하는 과정에서 시스템 사고 수준의 차이가 나타나지 않았다.

수업 과정 동안 일부 학생들은 소집단에서 만든 그림을 반성하며 '과제수행이 무언가 잘못되었다'라는 의미를 나타내 메타인지를 표현했지만 이러한 인식은 수업 후반부에 공유되었다. 예를 들어, 수업 초반 C는 관계정리표에 적은 모든 관계를 그림에 옮기면 그림이 복잡해진다는 의견을 내며 '과제 해결 전략이 그게 아닌 것 같다'는 메타인지적 경험을 표현했다(6번째 발화). 그러나 처음에 다른 학생들은 이에 주의를 기울이지 않았고(7~9번째 발화), 소집단 그림은 관계정리표의 내용을 그대로 복사한 것일 뿐이었다. 학생들은 그림을 그리면서 관계의 방향도 고려하지 않았다(10번째 발화). 이러한 이유로 인해 학생들의 그림에는 관계 맺는 방향이 잘못 표시된 관계들도 많이 포함되었다. 결국, 소집단 그림은 많은 관계가 무질서하게 누적되어 무엇을 그렸는지 잘 알아볼 수 없을 정도로 복잡해졌다. 그제야 학생들은 그림을 보며 자신들의 과제전략이 잘못되었다는 메타인지를 공유하게 되었다(11~12번째 발화). 이후 모든 소집단에서 그림을 학급에 발표하고 이를 평가하는 과정에서, 학생들은 적은 요소와 관계들로 PC방 운영을 설명한 그림이 가장 우수하다고 평가했다(<그림 Ⅲ-6>의 26~27번째 발화).

5.2.2. 정보처리 도구로 구성 중인 표상의 활용

1) 시스템의 특성 파악 과정에서 표상을 정보처리 도구로 활용

1차시 소집단 그림 평가로 자신의 그림에서 무엇이 잘못되었는지 반성한 이후, 3차시에 학생들은 수업 주제와 활동지의 질문에 집중하며 시스템의 행동 기작에 중요한 요소들에 주목하였다. 시스템에 중요한 요소를 선정하는 과정에서 학생들은 소집단에서 구성하는 표상을 자신의 과제 해결 전략을 수행하는 도구(정보처리 도구)로 활용했다. 학생들이 관계 정리표를 작성한 후 그림을 그릴 때 나눈 담화에서 그러한 모습을 볼 수 있다(그림 Ⅲ-6).

수업시간 초반부터 학생들은 소집단에서 파악하는 관계의 수가 많으면 안 된다는 것과 수업 주제와 관련된 관계들만 선별하는 것을 강조했다(15~16번째 발화). 이러한 상황의 원인으로는 1차시 활동에 대한 메타인지를 뽑을 수 있다. 학생들은 소집단의 1차시 그림이 무척 복잡했던 점을 반성하며, 과제를 해결하는 전략으로 그림을 복잡하지 않게 그리고자 하였다(17~18번째 발화). 학생들이 1차시에 가장 잘했다고 평가한 소집단 그림에 포함된 관계의 수가 적어 간단했던 점도(26~27번째 발화) 학생들의 과제 해결 전략 변화에 영향을 미친 것으로 보인다.

그러나 학생들은 이때 중요한 것을 선별해야 한다는 말은 반복했지만, 어떠한 요소나 관계가 어떠한 이유에서 중요한지 제대로 설명하지 못했다(15번째 발화). 학생들은 무엇이 어떠한 이유로 시스템에서 중요한지에 대해 깊이 생각하지 않았다. 그보다는, 가장 과제를 잘한 소집단 그림과 자신의 소집단 그림에서 표면적으로 드러나는 차이점만 비교했다. 학생들은 같은 현상을 서로 다른 표상으로 다룰 때 이들 간의 관계를 이해하기 어려워하거나(van der Meij & de Jong, 2006), 내재된 과학적 원리보다는 표면적인 특징에 집중하는 경향이 있다(Ainsworth, 2006). <그림 Ⅲ-6>의 소집단 담화에서 학생들이 관계정리표를 작성한 후 그림으로 그리기 어려워한 것, 다른 모둠의 우수사례를 보고 생태계의 영양소 순

순번	발화자	발화	표상의 활용	시스템 사고	메타인지
13	B	뭐라고? (과제를 어떻게 하는지) 다시 한번 말해줄 수 있어?			
14	A	[구성요소 카드를 가리키며] 이 오른쪽에 '정리해보자'에 있는 질문…. 질문에 맞는 답을 특징에 맞추어 옆에 적는 거야.	과제 절차 확인		
15	A	없으면 굳이 안 써도 돼. 그때 우리 했었잖아. 그런데 그렇게 복잡하게 안 써도 돼. 중요한 거 쓰면 돼.			
16	A	네가 생각했을 때 잘 모르겠다 굳이 안 써도 돼.			
17	A	우리 그때 그림 그렸을 때 이상한 거 다 했다가 망했잖아. 복잡해서…. 중요한 거만 써도 될 거야 상관없을걸?			
18	D	또 복잡하게 되면 안 되지? …중략….			
19	A	그거 해야할 걸? 자리도 중요한 게 가운데 오고 이런 거 있어야 하지 않나?			
20	C	뭐가 중요한지…. 뭔가 모든 것과 연관 있는 걸 가운데 놓자.			
21	A	그러니까 모든 것과 연관 있는 거. [일동 모두 한 요소가 다른 요소와 맺는 관계 수를 센다] …중략….	정보 처리 도구	중급	
22	A	[표에서 한 요소가 다른 요소와 맺는 관계 수를 세며] 왜 이렇게 태양이 없냐? 아니야 태양이 있을걸? 왜 없어?	정보 처리 도구	중급	전략
23	D	[표에서 한 요소가 다른 요소와 맺는 관계 수를 세며] 그런데 어떻게 태양이 하나도 안 나와…?	정보 처리 도구	중급	전략
24	A	[그림을 보며] 야. 이거 너무 또 복잡해졌어. 화살표가 이상하게 가면서…. 큰일 났다.	반성의 대상		경험
25	B	[그림을 보며] 그러게. 또 복잡해졌네……. 그래, 태양 다시 하자.	반성의 대상		경험, 전략

		…중략…		
26	C	그런데 저번에 E(지난 차시 가장 우수한 그림으로 뽑힌 소집단의 학생)네 꺼 보니까		
27	B	걔네는 몇 개 안 했어. 그냥 간단하게….		
28	C	[그림을 보며] 우리도 몇 개 안 해도 돼.		
29	B	[그림을 보며] 우리도 몇 개 안 했어.	반성의 대상	전략
30	A	[그림을 보며] 그런데 우리 몇 개 안 했는데 지금 벌써 복잡해졌잖아. 그런데 몇 개가 중요한 게 아니라 사실 이게 구조가 되게 중요한데….	반성의 대상	경험, 전략
		…중략…		

<그림 Ⅲ-6> 학생들이 표상을 활용하며 시스템에서 중요한 요소를 찾는 모습[7)]

환에 관한 과학적 원리보다는 관계의 수가 적은 표면적 특징에 초점을 맞춘 것은 위 선행연구와 궤를 같이하는 것이다.

3차시에서 학생들은 시스템의 행동(영양소 순환)과 관련되는 내용만을 선별하였다. 그 결과, 학생들은 이전의 소집단 활동 차시(1차시)에 비해 그림그리기로 조직화할 관계 수를 감소시킬 수 있었다. 이로 인해 학생들의 과제 해결 전략이 1차시의 '가능한 관계를 모두 찾기'에서 '관계들의 조직화'로 발전하는 발판이 마련되었다. 예컨대, 1차시에 학생들은 관계정리표에 정리한 수많은 관계를 조직화하는 것에 관해 어려움을 토로하면서 이에 대한 논의를 지속하지 못하였다. 하지만 과제에서 다루는 정보의 양이 줄어들자, 학생들은 과제를 수행하는 데 대한 어려움을 거의 토로하지 않았다. 그리고 학생들은 소집단에서 선별한 정보들을 조직화하려는 시도를 지속하였다.

학생들은 구성요소들을 관계틀 내에서 조직화하는 전략으로 그림을 구상할 때 중요한 요소를 파악하여 가운데 위치시키고, 다른 요인들을 주

7) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 학생들의 행동을, ( )는 의미이해를 위해 연구자가 추가한 내용을 나타낸다.

변에 놓는 것을 취했다(19번째 발화). 학생들은 중요한 요소를 파악하기 위해서 관계정리표에서 한 요소가 다른 요소와 직접적으로 맺는 관계 수를 세었다(20번째 발화). 그리고 학생들은 어떤 요소가 직접 맺는 관계의 수가 더 많은지 비교하였다. 이 과정에서 A와 D는 생태계에서 태양의 중요성에 비해 태양과 다른 요소들이 맺는 관계의 수가 적은 것에 의문을 표현했다(22~23번째 발화). 이 발화는 한 요소가 다른 요소들과 맺는 관계의 수를 기준으로, 그 요소가 생태계에서 중요한 정도를 판단하는 데 대한 문제의식을 제기한 것으로, 다른 과제 해결 전략이 필요하다는 메타인지를 내포한다. 그러나 이러한 문제 인식은 소집단에 공유되지 못했다.

그 결과, 학생들은 다른 요소와 직접 맺는 관계의 수가 가장 많았던 동물을 그림의 중앙에 위치시키고, 주변에는 다른 요소들을 임의로 배치하였다. 그리고 관계정리표에 정리해두었던 관계를 계속하여 그림으로 옮겼다. 그 결과, 학생들이 다루는 관계 수가 감소했음에도 불구하고, 관계의 방향을 나타내는 화살표가 서로 엉키면서 소집단의 그림은 복잡해졌다(24번째 발화). B는 '태양의 위치를 다시 정하자'라고 하며 현재의 과제 해결 전략이 잘못되었음을 인식하는 메타인지를 보였다(25번째 발화). 자신의 그림에 포함된 관계의 수가 적었기에(29번째 발화), 학생들은 다른 과제 해결 전략의 필요성을 인식하고 그것이 무엇인지 탐색했다. 이처럼 자신의 표상을 보며 메타인지를 표현한 결과, 학생들은 중요한 요소를 판별하는 기준으로 '관계의 수'보다는, '관계들이 어떻게 연결되어 시스템 전체가 어떠한 구조를 드러내느냐'가 중요함을 인식하게 되었다(30번째 발화).

<그림 Ⅲ-6>의 소집단 담화 초반에 학생들이 어떠한 요소가 중요한지 파악하지 못했던 것에서 드러나듯이, 3차시 소집단 활동에서 학생들이 생태계가 시스템으로써 갖는 특성을 표상화하는데 어려움을 보였다. 하지만 많은 요소와 관계들을 포함하는 과제를 해결하는 과정은 많은 인지적 부하를 유발한다는 점을 미루어볼 때(Chandler & Sweller, 1991), 이러한 어려움은 당연한 것이라 볼 수 있다. 이러한 측면에서 볼 때, 해

당 소집단 활동(3차시)에서 학생들이 활동 목표를 시스템에서 중요한 요소와 관계를 파악하는 것으로 설정하여 소집단 그림에 포함되는 관계의 수를 제한했다는 것은 의미 있게 볼 수 있는 점이다.

학생들은 소집단에 표현된 메타인지에 기반을 두어 과제에서 중요한 것을 탐색하고, 소집단에서 구성 중인 표상을 인지적 도구로 활용하여 과제 해결 전략을 수행했다. 이러한 측면은 <그림 Ⅲ-6>의 소집단 담화에서 학생들이 작성한 표에서 한 요소가 다른 요소와 직접 맺는 관계의 수를 세면서 생태계에서 중요한 요소를 찾고자 했던 점에서 드러난다. 학생들은 관계의 수를 기준으로 중요한 요소를 판단하여 그린 그림을 반성한 결과, 학생들은 한 요소가 다른 요소와 맺는 관계의 수보다 관계의 가까움에 초점을 두게 되었다.

2) 구성요소 간의 관계 조직화에서 표상을 인지적 도구로 활용

3차시의 반성에도 불구하고(그림 Ⅲ-6, 30번째 발화), 여전히 학생들은 관계들을 어떻게 연결해서 시스템의 전체적인 작동방식을 드러내야 하는지 알 수 없었다. 이러한 의문을 해결하기 위해 학생들은 자료를 그림으로 조직화하는 시도를 되풀이하는 과정에서 그림에서 요소의 위치를 조정하였다. 5차시에 학생들이 질소순환에 관한 그림을 그리며 나눈 담화에서 이러한 모습을 볼 수 있다(그림 Ⅲ-7).

학생들은 요소들의 위치를 재조정하면서 간단하게 그리기를 시도하였다(47~48번째 발화). 학생들은 색, 위치, 상징 등 표상적 규칙 conventions[8]을 활용하는 과정에서 구성요소들 사이의 위상적인 관계들을 고려하게 되므로(Larkin & Simon, 1987) 시스템 사고가 촉진될 수 있다. 학생들은 표상에서 요소의 위치를 조정하는 과정에서 더욱 밀접한 관계를 맺는 요소들과, 이와 대비되게 여러 단계를 거쳐 간접적인 관계

8) 표상적 규칙(representational conventions)이란, 표상에서 의례적인 표현으로 일정한 해석을 하게 하는 규칙들을 의미한다. 예를 들어, 혈관 그림에서 동맥은 붉은색, 정맥은 푸른색으로 표시하는 것이 있다(Cheng & Gilbert, 2015).

순번	발화자	발화	표상의 활용	시스템 사고	메타인지
31	B	야, 그러면은 분해자가 애(동물)로부터 똥을 받아서		중급	
32	A	그게 아니라 지금 질소.		고급	
33	B	맞잖아. 분해자가.			
34	A	맞아. 그건 맞는데 그건 생태계 순환이고 우리는 질소순환을 해야 하는 거야. 이 질소의 관점에서 봐야 해.			
35	B	흙이 식물로부터[그림을 가리키며] 이거(암모늄)를 받아.	정보처리도구	고급	
36	A	암모늄?			
37	B	그러니까 NH_4나 NO_3^-를 받아서….		고급	
38	A	어어.			
39	B	그다음에….			
40	A	받아서? 여기 이어봐. …중략….			
41	A	그럼 그냥 문장 여러 개 만들어서 이렇게 이으면 되겠다. 원 모양.			
42	A	어, 아마 그게 좀 여러 개 나올걸?			
43	C	여러 개 그려?			
44	B	그럼 이렇게 할까? 이런 식으로(한 요소에 영향을 주는 것끼리 같이 표시) 해서….			
45	C	몇 개를 묶으면…. 흙으로 주는 걸 묶어. …중략….		중급	
46	A	[소집단 그림을 보며] 너무 복잡해진다. …중략….	반성의 대상		경험
47	B	[소집단 그림을 보며] 위치를 봐.	정보처리도구		전략
48	A	그래 위치를 좀 다르게 하면….	정보처리도구		전략

<그림 Ⅲ-7> 관계를 조직화하는 인지적 도구로써 표상의 활용[9)]

를 맺는 요소들을 구분했다. 더 나아가, 학생들은 가까운 관계에 있는 요소들끼리 가까이 배치했을 때 그림이 간단명료해짐을 인식하게 되었다. <그림 Ⅲ-7> 이후 이어진 다음의 소집단 담화본(49~57번째 발화)에서 이러한 모습을 볼 수 있다.

49 C [그림에서 위치를 조정하며] 물, 토끼, 똥, 세균….
50 B 아, 그러면 되겠네. 이렇게…. 그러니까 세균들은 각자 다 하는 일이 다르잖아.
51 A 어, 그렇지.
52 B 그러니까 세균을 다 각자 따로 배치해서 두면 되잖아.
53 A 그래, 세균을 다 따로 배치해서…. 식물, 토끼, 그러니까…. 흙, 식물, 토끼, 세균(분해자), 옆에 세균(질화세균), 옆에 세균(탈질소세균), 그다음에….
54 C 그다음에 흙….
55 A 아, 그래? 아, [그림을 가리키며] 여기가 흙이야? 미안, 그러면 [그림을 가리키며] 여기 세균, (다른 역할을 하는) 세균, (다른 역할을 하는) 세균, 이렇게 세 개 나란히 있고….
56 C 공기.
57 A 그다음 공기, 위로…. 어, 위로 이렇게 해서…. (질소 기체가) 이렇게 올라가서….
…중략…

* 단, 담화본에서 [ ]안의 문장은 발화자의 행동을 의미하며, ( )안의 문장은 의미 파악을 위해 연구자가 추가한 내용이다.

위에 제시된 소집단 담화 중 B는 세균들이 하는 역할이 다르므로 다른 위치에 그리자는 의견을 제시했다(50·52번째 발화). 그러한 의견을 수용하여 A는 그림에 토끼의 배설물 속 질소화합물을 변형시키는 생물 순서대로 분해자, 질화세균, 탈질소세균을 그리자고 제안했다(53번째 발화). 이 의견은 소집단에서 수용되어 학생들은 식물-동물-환경(토양, 공기)을 잇는 질소순환 과정 일부를 그림으로 간단하게 그릴 수 있었다(그림 Ⅲ-3, C).

9) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 학생들의 행동, ( )는 의미이해를 위해 연구자가 추가한 내용이다.

<그림 Ⅲ-7>과 위에 제시된 소집단 담화에서 관찰된 모습은 학생들이 직접적으로 관계를 맺는 요소(즉, 관계가 긴밀하게 연결된 요소)와 간접적인 관계에 있는 요소(즉, 거리가 먼 요소)들을 구별하면서 높은 수준의 시스템 사고를 하는 모습을 보여준다. 이후에 학생들은 두 요소 사이의 관계가 밀접할수록 가까이 배치하고, 이들 사이의 관계를 화살표로 적는 과정을 단계적으로 되풀이하였다. 그 결과, 학생들은 질소순환에서 미시적인 요소와 과정, 그리고 순환적 관계를 파악하는 모습을 보여 고급 수준의 시스템 사고를 할 수 있었다(그림 Ⅲ-4).

학생들이 그림 그리기를 통해 학습할 때 필요한 정보들을 선별한 후, 이를 활용하여 자신의 시각적 표상을 내적으로 형성하며, 이를 그림으로 표현하고 반성하게 된다(강훈식 등, 2005; Edens & Potter, 2003). 또한, 학생들이 스스로의 학습을 반성할 때, 인지적인 측면에서는 어떠한 개념들을 비교, 평가, 수정하는 과정이 이뤄질 수 있고, 메타인지적인 측면에서는 어떠한 인지 전략이나 활동전략이 효과적인지에 대해 생각하는 과정이 나타날 수 있다(Ho, 1997). 그리고 이러한 과정은 학생들의 학습능력 향상에 필수적이다(Dewey, 1933). 위의 소집단 담화에서도 그러한 과정이 나타났다. 예를 들어, 학생들이 '생태계에서 태양이 중요하다'라는 근거에 기반을 두어, 소집단에서 '동물이 가장 중요하다'라고 내려진 판단을 부정한 것은(그림 Ⅲ-6, 22~23번째 발화) 반성의 인지적 측면에 관한 것이며, 이는 관계의 수만으로 생태계에서 중요한 요소를 선정할 수 없다는 주장을 이끌었으므로(그림 Ⅲ-6, 30번째 발화) 반성의 메타인지적 측면에 관한 과정을 유도했다고 볼 수 있다. 이때, 학생들은 소집단 그림에서 시스템 구성요소들 사이의 연관 관계에 관해 그들이 파악한 사고를 가시적으로 만들었다. 이는 학생이 모둠원의 사고에 더욱 쉽게 접근하는 맥락을 조성함으로써 학생들이 자신의 사고를 반성하는 맥락을 제공하였다. 그리고, 학생들은 과제 해결 전략에 관한 메타인지를 드러낸 후에 소집단에서 구성 중인 표상을 조정하면서 과제 해결 전략을 수행하는 맥락에서 더 수준 높은 시스템 사고를 하는 모습을 보였다.

학생들이 시스템에서 중요한 구조와 관계를 파악하고, 그들 사이의 관

계를 바탕으로 구성요소들을 연결할 수 있었다고 하더라도, 순환적 관계를 파악하는 것은 그들에게 여전히 도전적이었다. 예를 들어, 5차시에 학생들은 질소의 순환을 표상화할 때, 질소순환에 포함되는 각각의 관계를 따로 그리거나(41~43번째 발화), 구체적인 방법을 언급하지 않은 채 관계를 연결하자고 제안하였다(44~45번째 발화). 이로부터 학생들이 시스템 내 수많은 관계로부터 어떻게 순환적 관계를 파악해야 하는지 알지 못하는 상황임을 알 수 있다. 결국, 학생의 그림은 복잡해졌다(46번째 발화). 학생들은 소집단 그림이 복잡한 것을 반성했고, 소집단 그림에서 요소들의 위치를 다시 조정하기 시작하였다(47~48번째 발화). 학생들은 여러 번의 시도 후에 생태계 구성요소 사이에서 가까운 관계를 맺는 경우, 그들을 가까이 배치하면서 간단명료하게 순환적 관계를 파악할 수 있었다. 순환적 관계를 파악하는 사고는 시스템 사고에서 필수적이므로 (Assaraf & Orion, 2005b) 학생들이 순환적 관계를 식별하게 된 것은 그들이 시스템 사고의 중요한 본성에 접근했음을 의미한다고 볼 수 있다.

5.2.3. 시스템의 공간적 측면을 강조하여 순환 관계 파악 촉진

학생들은 소집단 그림을 그리는 과정에서 자신이 파악했던 관계에서 공간적 측면을 인식하였다. 예를 들어, 학생들은 '생물에는 물이 필요하다'라는 관계를 파악한 상황에서 소집단 그림을 그렸다. 학생들이 소집단 그림에 공기에 서식하는 생물을 그린 후, 그들은 이전에 파악한 물과 생물의 관계를 공간적 측면에서 더욱 구체화하여 '공기에 서식하는 생물에도 물이 필요하다'라는 관계로 다시 파악하였다. 이는 학생들이 물의 상태가 변화되며 다양한 장소에 존재할 수 있음을 인식하는 계기가 되었다. 6차시 과제(미니생태계 구성)의 그림그리기 과정에서 나타난 <그림 Ⅲ-8>의 소집단 담화에서 이러한 모습을 볼 수 있다.

<그림 Ⅲ-8>의 소집단 담화 상황에서 학생들은 생태계에서 순환 관계 파악이 중요함을 인식하고 있었지만, 호흡 기체의 순환만을 파악한 상황이었다(59번째 발화). 이 상황에서 B는 '가까운 관계에 있는 요소는

그림에서도 가까운 위치에 놓아야 한다'라는 과제 해결 전략을 취했다. 그리고 B는 공기 중에 있는 생물과 물이 멀리 위치한 상황에 문제 인식을 드러냈다(61번째 발화). 이러한 의견은 '요소 사이에서 맺는 관계가 필수적인가'를 기준으로 표상에서 요소 사이의 거리를 정한다는 점에서 학생들의 과제 해결 전략이 반영된 것이다. 하지만, 학생의 발화에서 물은 생물 근처에 위치한 상황에서만 생물로 유입된다는 인식이 나타나, 학생들이 순환적 관계 파악을 제대로 하지 못한 상황을 나타낸다.

순번	발화자	발화	표상의 활용	시스템 사고	메타인지
58	C	야, 동물이 있으니까 네가 선택한 동물들이 식물이랑 해서 이어지게 하는 거야.		중급	
59	A	그러면 우리가 이제 동그라미로 그걸(순환) 다 만들어야 해. 그러면 우리가 이제 공기의 순환을 먼저 할 거야.		고급	
60	D	또 순환?			
		...중략….			
61	B	[그림을 가리키며] 야, 그런데 우리 물을 너무 여기다(참새에서 멀리) 한 거 아니야? 얘네(참새)가 있으려면 물이 필요한데.	공간적 사고 촉진	초급	전략
62	D	그런데…. 비 그리면 안 돼? 비?			
63	A	비?			
64	C	갑자기?			
65	A	아니야 그런데 수분이 올라가서 구름이 생기면 비가 내리는 거 아니야?	공간적 사고 촉진	고급	과제
66	B	그런가?			
67	C	좋았어.			
		...중략….			

<그림 Ⅲ-8> 표상을 통한 공간적 측면에서 관계 파악 구체화[10)]

10) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 학생들의 행동, ( )는 의미이해를 위해 연구자가

그러자 D는 비를 그리면 생물과 물이 멀리 위치한 상황에서도 생물이 살 수 있다고 주장하였다(62번째 발화). A와 C는 활동지에 제공되지 않은 요소인 비를 도입하자는 의견에 바로 부정적인 견해를 보였다(63~64번째 발화). 이러한 학생들의 의견은 물이 시간의 흐름에 따라 서로 다른 공간에 걸쳐 형태를 달리하며 순환한다는 사실을 인식하지 못한 상황을 반영한다. 또한, 학생들이 과제를 할 때 제시된 자료만을 활용해야 한다고 인식하는 상황을 드러내며, 이는 활동지에 주어진 정보만을 활용해야 한다는 다소 비생산적인 인식론[11]을 나타낸다. 그러나, 이내 A는 물의 순환을 근거로 들어 생물이 물로부터 먼 거리에 위치해도 살 수 있다고 주장했다(65번째 발화). 이러한 주장은 과제에 제시된 구성요소를 그대로 쓰지 않고 해당 구성요소가 상태변화를 거쳐 변형된 형태를 활용해도 된다는 의미이다. 그렇기에, 과제와 전략에 관한 메타인지임과 동시에, 생산적인 인식론[12]을 드러낸다. 이 의견에 다른 학생들도 동의하였다(66~67번째 발화). 이는 학생들이 물이 외부에서 새로 유입되지 않아도 순환하기 때문에 다양한 장소에서 생물이 생존 가능함을 인식하게 했다.

이러한 모습은 5차시에 학생들이 활동지의 질문에만 초점을 두어 질소

추가한 내용을 나타낸다.

11) 학생이 수업에서 하는 활동의 의미를 '학교과제'로 인식하는 경우에는 다른 친구들과의 견해 차이에 관심을 두기보다 교사가 학급에게 지시한 것에 더 관심을 두는 경향이 있다(Berland & Hammer, 2012). 위의 소집단 담화에서 학생들은 활동지에 제시된 요소만을 정확히 옮겨 과제를 완성하려 한다는 점에서(그림 Ⅳ-8, 63~64번째 발화) 자신이 하는 활동을 '학교과제'로 인식하고 있음을 알 수 있다. 자신이 하는 활동을 '학교과제'로 인식하는 것은 그것을 '교실게임'으로 인식하는 것과 같은 의미이므로 비생산적인 인식론을 반영한다(Hutchison & Hammer, 2010).

12) <그림 Ⅳ-8>의 65번째 발화에서 A는 활동지에 제시되지 않은 '비'라는 요소가 어떻게 과제에 포함될 수 있는지를 타당한 근거로 정당화하고 있다. 이는 자신이 하는 활동을 지식을 구성하고 평가하며 정당화하는 것으로 이해한다는 점에서 생산적인 인식론을 반영한다고 볼 수 있다(Hutchison & Hammer, 2010).

순환 파악에만 초점을 두었던 것과 비교할 때 학생들이 다양한 순환을 식별하는, 높은 수준의 시스템 사고를 하는 모습을 의미한다. 그리고, 학생들이 활동지에 제시되지 않은 정보도 현상을 설명하는 데 적합하다고 판단하면 증거로 채택하는 '생산적인 인식론'을 갖추었음을 나타낸다. 이 사례는 시스템 사고를 하는 데 있어서 학생들의 인식론이 관여할 수 있음을 나타낸다.

6. 논의

본 연구에서는 고등학생들이 생태계를 주제로 한 외적 표상화 활동에 참여하는 동안 수준 높은 시스템 사고를 하는 맥락을 과제와 관련지어 탐색하였다. 과제는 관계정리표와 그림으로 학생의 사고를 드러내도록 설계되었다. 학생들은 과제를 할 때 한 요소가 다른 요소와 어떠한 관계를 맺는지 관계정리표로 정리한 후, 관계를 이어나가 최종적으로 생태계의 시스템으로써의 특성을 잘 나타내는 그림을 표상화하도록 안내되었다. 학생들은 매 차시의 마무리 단계에 소집단에서 완성한 그림을 학급 전체에 발표했고, 어떠한 그림이 가장 우수하며, 그 이유는 무엇인지 평가하였다. 그 결과, 6차시의 수업 과정 동안 학생들은 과제에 따라 서로 다른 시스템 사고를 보였으며, 수업 후반부에 낮은 수준의 시스템 사고는 적게 나타내고 높은 수준의 시스템 사고를 많이 표현하는 경향이 나타났다(그림 Ⅲ-4). 연구 결과로부터 학생들이 수준 높은 시스템 사고를 하는 맥락을 과제의 특성과 관련지어 제시할 수 있다. 이 절에서는 연구 결과로부터 얻을 수 있는 의미에 대해 논의하겠다.

첫째, 본 연구의 결과는 학생들이 외적 표상화 과정을 통해 메타인지가 촉발되는 과정을 구체적으로 제시하며, 이것이 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락으로 작용할 수 있음을 보였다. 외적 표상화로 인한 사고의 시각화는 모둠원들의 사고에 관한 접근을 용이하게 하여 이에 관한 반성을 촉진했다. 이는 과제에서 중요한 것이 무엇이며, 그렇게 중요한 것을 수행하기 위한 절차는 어떠해야 하는지에 대한 학생들의 메

타인지를 이끄는 것으로 보였다.

연구 결과로부터 사례를 들자면, 학생들은 소집단에서 구성하는 그림을 반성의 대상으로 활용하였다. 예를 들어, 소집단 그림을 보며 “너무 복잡한데….”라는 발화는 소집단 그림이 과제에 제시된 문제를 제대로 해결하지 못하는 상황을 나타내는 메타인지적 경험의 표현이라 볼 수 있다. 이러한 메타인지는 소집단에서 공유되었고, 이내 과제에서 중요한 것은 무엇이며, 그것을 하기 위해서 어떠한 과제전략을 취해야 하는지에 관한 고민을 이끌었다.

이러한 모습은 학생들이 자신의 학습을 평가하고 반성할 때, 과제의 목적을 이해하고 문제를 다루는 전략 기술을 이해하는 과정이 촉진된다는 선행연구(Kind, Kind, Hofstein & Wilson, 2011)의 맥락과 일치한다. 예를 들어, 학생들이 과제에서 중요하다고 여기는 것은 수업 초반에 ‘적은 요소로 간단하게 그림 그리기(1차시 후반, Ⅲ-5)’와 ‘중요한 요소를 가운데 놓아 강조하기(3차시 초반, 그림 Ⅲ-6)’에서 이후 ‘그림에서 생태계가 시스템 전체로써 나타내는 특성을 그림의 구조로 드러내기(3차시 후반, 그림 Ⅲ-6)’로 변했다. 이러한 변화는 학생들이 표현한 메타인지가 시스템 학습에 적합하게 정교화되는 과정을 나타낸다.

학생들은 소집단에서 과제 변인의 메타인지적 지식이 높은 수준으로 표현되자, 그에 맞추어 과제 해결을 위한 전략 변인의 메타인지를 드러냈다. 예를 들어, 학생들은 ‘그림에서 생태계가 시스템 전체로써 나타내는 특성을 그림의 구조로 드러내기’ 위한 전략으로 ‘그림에서 순환 나타내기’를 삼았다. 이러한 모습에서 알 수 있듯이, 학생들은 이전보다 전략 변인의 메타인지적 지식이 한층 발전한 모습을 보였다. 학생들이 이러한 전략을 수행하는 것은 순환적 관계 파악 같은, 수준 높은 시스템 사고가 출현하는 맥락이 되었다(그림 Ⅲ-8).

이처럼 학생들은 스스로 만든 표상이 과학적으로 타당한가를 반성하면서 가장 좋은 표상을 만들기 위해 합의하게 되었다. 이때, 학생들이 과학 현상에 관한 동료들의 사고방식에 접근하여 그러한 사고를 과제에 어떻게 적용해야 하는지에 대한 메타인지적 지식을 발휘하는 모습(e.g.

Eldar, Eylon & Ronen, 2012)을 본 연구 결과에서도 볼 수 있었다.

둘째, 본 연구의 결과는 학생들이 외적 표상화를 포함한 과제(예: 표 작성하기, 그림그리기)를 하는 과정에서 그들이 구성 중인 표상이 인지적 도구로 어떻게 활용되는지 보여준다. 본 연구에서 학생들이 구성 중인 표와 그림은 그들이 자신의 사고를 반성하는 대상, 의사소통을 돕는 도구뿐만 아니라 과제 해결을 위한 인지적 절차를 수행하는 도구 역할을 했다. 예를 들어, 본 연구에서 학생들은 소집단 그림을 정보처리도구로 활용하여 소집단 논의 과정 중에 그림에서 생태계 구성요소의 위치를 조정하며 소집단 그림을 발전시켜갔다(그림 Ⅲ-7).

과제 해결 전략 수립 도구로써 그림의 역할은 수업 과정 후반부로 갈수록 두드러졌다. 수업 과정 후반에 제시된 과제일수록 더욱 많은 구성요소와 관계를 다루었기에, 학생들은 소집단 활동 차시가 진행되면서 '점점 어려워진다'라고 말하는 등 자신이 겪는 인지적 부하를 표현했다. 그러나, 학생들은 소집단에서 만든 표상을 적극적으로 활용하면서 어려움을 극복하는 모습을 보였다. 학생들은 우선 표 작성과정에서 중요한 요소를 먼저 선별했고, 이를 통해 시스템에 포함시킬 구성요소들이 줄어들자 그림그리기 과정에서는 적극적으로 구성요소 사이의 관계를 조직화하는 모습을 보였다. 이에 따라 학생들은 과학적으로 옳은 구성요소와 관계만을 선정하여 파악했고, 시간의 흐름에 따라 이들 사이에서 맺는 관계를 연결하며 역동적 관계를 파악하는 등 수준 높은 시스템 사고를 할 수 있었다. 이때, 학생들의 소집단 그림은 학생들의 담화적 상호작용을 매개하면서 그들에게 알려지지 않은 지식을 탐구하는 기회를 제공했다(Kelly, 2016).

셋째, 본 연구의 결과는 학생들의 시스템 사고를 촉진하는 과제의 특성에 관한 정보를 제공한다. 본 연구의 수업 과정에서 소집단 활동은 모두 동일하게 외적 표상화 활동으로 이루어졌다. 하지만, 과제 질문이나 소재의 속성인 가시성, 일상경험 가능성, 개방성 등은 학생들의 시스템 사고에 영향을 미치는 추가적인 요소로 보였다.

예를 들어, 6차시의 '미니생태계 구성' 과제는 학생들이 일상경험에서

접할 수 있는 다양한 생물 요소를 포함했다. 이때, 다양한 학생들이 자신의 경험에 기반을 두어 다양한 관계를 파악하는 경향이 나타났다. 그 결과, 학생들은 물질순환뿐만 아니라 시·공간적 측면을 아우르는 다양한 요인(예: 꽃의 수분, 식물의 생활사, 동물의 번식 등)을 고려하여 생태계가 유지되는 원리를 다양한 측면에서 설명하는 경향을 보였다(그림 Ⅲ-3, D). 이를 기반에 두어 판단하면, 인식적 실행 맥락에 학생들을 참여시키기 위한 과제 설계에서 학생의 내용 특이적 경험의 범위와 특성을 고려할 필요성이 있음(Von Aufschnaiter *et al.,* 2008)을 알 수 있다.

아울러, 과제의 개방성은 학생들로 하여금 타당한 설명을 끊임없이 탐색하게 함으로써 학생들이 다양한 시스템 사고를 드러내고, 그것 중에서 타당한 것을 평가하는 맥락을 조성했다. 예를 들어, 6차시 과제 질문인 '생태계 유지를 설명하라'는 다양한 설명이 가능한 질문이다. 이때 학생들은 '모든 생물에 물이 필요하다'라는 주장으로부터 시작하여 '물은 공기 중에 서식하는 생물에게 제공될 때 순환과정을 거친다'는 높은 수준의 시스템 사고를 표현했다(그림 Ⅲ-8). 이는 개방적 질문이 학생으로 하여금 더 깊은 사고를 촉발할 수 있다는 선행연구의 결과(Pierson, 2008)와 맥락을 같이 한다.

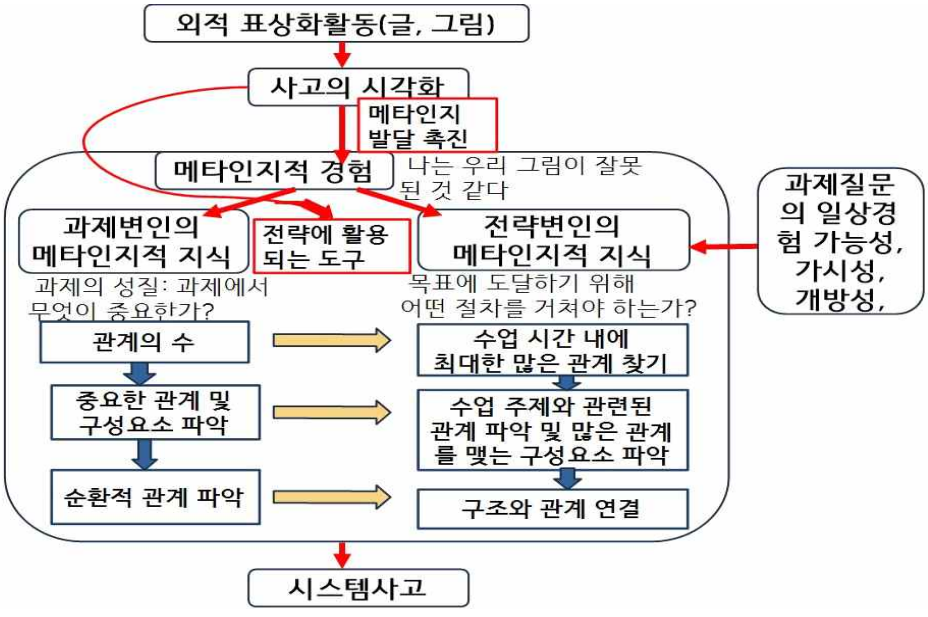
반면, 과제에서 다루는 내용에 미시적인 요소의 비율이 높은 경우에는 학생들의 시스템 사고가 제한되는 경향이 나타났다. 예를 들어, 5차시 학생들은 질소순환 과제를 수행할 때 질소순환을 이루는 최소한의 관계만을 파악하고 이를 시간 순서대로 이어 맞추는 경향을 보였다(그림 Ⅲ-7). 학생들에게 시스템을 이루는 요소의 변화가 복잡한 영향을 야기하는 과정을 가시적으로 경험하게 하는 경우, 학생들이 구성요소들 사이의 역동적 상호관계 파악을 더 잘할 수 있다(Jordan *et al.*, 2013; Westra, 2008). 따라서 학습 주제가 미시적인 내용이라 하더라도 그것을 가시적으로 표현하여 학생들이 접근하기 쉽게 제시할 필요가 있다.

넷째, 본 연구는 시스템을 주제로 하는 과제 설계에서 고려해야 할 점을 인식적·인지적·사회적·개념적 차원에서 제시한다. 본 연구의 과제를 설계할 때 학생들을 개념적·인지적·사회적·인식적으로 지원하였다. 이러

한 지원은 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 발판이 되었다. 예컨대, 학생들에게 구성요소 카드로 개념적 지원이 주어졌을 때(3·5차시), 학생들은 그것을 보고 구성요소들의 관계를 즉각 파악할 수 있었다. 그 이후, 학생들이 시스템을 구성하는 관계에 기반을 두어 관계의 조직화를 시작하는 경향이 나타났다(Hogan & Thomas, 2001). 그리고, 학생들에게 그림그리기 과제로 인지적 지원이 주어졌을 때, 그들은 그림으로 드러난 자신의 사고를 반성하여 메타인지를 하는 경향이 나타났다(Edens & Potter, 2003). 또한, 학생들에게 시스템을 이루는 서로 다른 요소를 배분하여 사회적 지원을 하자, 그들은 각자 맡은 요소가 다른 요소와 어떤 관계가 있는지 파악하며 참여하는 모습을 보였다. 아울러, 수업 과정 첫 차시를 일상생활 소재의 시스템 사고 도입 활동으로 시작하자, 학생들은 인지적 부하를 느끼지 않고 시스템의 속성과 시스템 사고를 탐색하는 것으로 보였다. 이러한 네 가지 영역의 지원은 서로 밀접하게 연결되어 있었다. 이는 시스템을 주제로 교육할 때의 과제 설계에서 이러한 측면들에 관한 지원의 필요성을 나타낸다.

이처럼 학생들이 그리는 표상은 과제 해결 전략을 실행하는 과정에서 메타인지를 촉발하기도 하고 과제 해결 전략을 수행하는 도구로도 활용되었다. 학생들은 자신의 그림을 보며 반성하기도 하고 그림에서 요소의 위치를 조정하며 사고를 조직화하기도 했다. 아울러, 과제에서 다루는 질문의 일상경험 가능성, 개방성, 가시성은 다양한 학생들이 일상경험을 토대로 다양한 요소와 관계를 파악하고 그것을 연결하도록 촉진했다(그림 Ⅲ-9).

그 결과, 학생들은 개별 요소보다는 전체로서의 시스템이 갖는 특성(예를 들어, 순환 등)을 파악하는 데 주목하게 되었고, 여러 요소와 관계를 조직화하며 수준 높은 시스템 사고를 할 수 있었다. 이러한 모습은 시스템을 주제로 하는 교육에서 표상은 학생들이 시스템 내 요소들 사이의 관련성에 초점을 맞추게 함으로써 학생들의 인지적·메타인지적 과정 사이를 연결한다는 선행연구의 결과(Liu & Hmelo-Silver, 2013; Reiser, 2004)와 맥락을 같이 한다.



<그림 Ⅲ-9> 외적 표상화 활동을 통해
학생들이 수준 높은 시스템 사고를 하는 과정

마지막으로, 본 연구의 참여 학생들은 미니생태계 구성 수업(6차시)에서 그림을 보고 생태계 요소들의 위치를 정하는 과정에서 활동지에 제시되지 않은 요소인 '비'도 '생태계 유지 원리 설명에 적합하다고 판단하여 채택'하였다. 이는 생산적인 인식론을 의미한다. 그런데, 이 과정에서 과제 해결 전략에 관한 메타인지도 나타났다. 이는 학생들의 성공적인 메타인지 과정 수행이 그들의 성공적인 인식적 과정 수행을 이끄는 등 서로 관련된다고 보는 선행 연구(Collins & Ferguson, 1993)와 맥락을 같이 한다. 이는 개인의 인식론이 학습자의 반성적인 추론(reflective reasoning) 능력에 영향을 미칠 수 있음을 보여주며(King & Kitchener, 1994), 이러한 주제에 대한 추가적인 연구가 이루어질 필요성을 제기하는 것이다.

Ⅳ. 생태계에 관한 협력적 표상화활동에서 나타난 고등학생들의 인식론적 메시지와 생태계 학습양상의 관계[13)]

1. 서론

생태계는 복잡하고 수많은 변수, 다양한 원인과 결과, 일반적으로 접근할 수 없는 시·공간 규모에 걸쳐 일어나는 창발적인 구조들을 포함한다(Jacobson & Wilensky, 2006). 생태계는 추상적인 집단들(예를 들어, 군집, 생산자, 소비자 등) 사이의 상호작용을 포함하는데 이러한 관계들의 형태나 양상이 결국 완전한 생태계를 결정하게 된다(Lawson & John, 1977). 시스템을 구성하는 부분들이 전체적으로 어떠한 관계를 맺으며, 관련되는지에 대한 사고를 '시스템 사고'라고 하며(Kali *et al.,* 2003), 이는 생태계를 포함한 다양한 시스템 학습에 필수적이다(Assaraf & Orion, 2005a; Assaraf & Orpaz, 2010).

생태계 교육에서 시스템 사고를 조사한 연구들은 학생들이 비가시적인 측면에 대한 이해가 부족함을 지적했으며(권용주 등, 2011; 한진아와 최도성, 2013; Lee *et al.,* 2019) 하나의 요소가 직접 관계를 맺는 요소에만 영향을 미친다고 생각하는 경향을 발견했다(Webb & Boltt, 1990). 시스템 사고의 부족은 초등학생부터 중등교사에 이르기까지 여러 대상에 걸쳐 나타나 생태계 개념 이해를 저해할 수 있는 요인으로 제기된 바 있다(권용주 등, 2011; 박지영, 민진선과 김희백, 2003; 한진아와 최도성, 2013; Eilam, 2012; Lee *et al.,* 2019).

---

13) 본 절은 "생태계'를 주제로 한 협력적 소집단 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 인식론적 메시지와 시스템 사고의 관계(이경현과 김희백, 2021)'라는 제목으로 생물교육 49권 2호에 게재된 논문을 재구조화하여 제시하였음. 또한, 본 연구의 일부를 Ⅱ. 이론적 배경, Ⅴ. 결론 및 제언에 재구조화하여 제시하였음.

반면, 최근의 연구 일부는 어린 학생들도 생물학적 현상에 대한 기계론적 추론 능력과 초보적인 시스템 사고를 발달시킬 수 있으며(한문현, 2019; Inagaki & Hatano, 2013) 초등학교 저학년 학생들조차 시스템의 속성 파악에 요구되는 추론을 할 수 있다고(Hokayem & Gotwals, 2016) 제안한다. 이러한 연구들은 학생들이 시스템 사고를 할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 그들이 그러한 잠재력을 발휘하는 맥락은 어떠한지 고찰할 필요성을 제기한다.

시스템 주제에 관한 학습은 과학에 관한 생산적인 인식론을 필요로 한다. 인식론은 지식의 본성과 그것의 생성에 관해 개인이 갖는 일련의 신념들을 일컬으며(Perry, 1970), 학생들의 인식론적 이해에 영향을 받아 그들의 탐구 실행이 달라질 수 있다(Sandoval, 2005). 이를 바탕으로 추론하면, 학생들이 지식을 조각처럼 절편화된 채 다른 지식과 연결되지 않은 것으로 여긴다면(Hammer, 1994), 시스템 구조가 유기적으로 연결되지 않은 채 시스템 이해가 제한될 수 있다(Assaraf & Orion, 2005b).

선행연구는 학생의 인식론 변화에 기여할 수 있는 여러 측면을 밝혀왔다. 첫째, 학생들이 어떤 과제에 참여하는지에 따라 그들의 인식론 변화에 영향을 미친다(Hofer & Pintrich, 1997a). 예를 들어, 학생들이 시스템 주제로 표상화 활동과제를 수행할 때, 그들이 수준 높은 시스템 사고를 할 수 있음이 제안된 바 있다(Assaraf & Orion, 2005b). 그러나 시스템 사고 교육에서 표상을 활용한 연구는 주로 개인의 시스템 사고 향상에 초점을 두거나(Eilam, 2012; Hmelo-Silver *et al.,* 2007; Zangori *et al.,* 2017), 소집단을 대상으로 하더라도 시스템 사고 수준에 대한 양적인 측정(Assaraf & Orion, 2005b; Evagorou *et al.,* 2009)이 주를 이루어 표상화 활동이 소집단 활동에 임하는 학생들의 시스템 사고를 향상시키는 과정에 대해 그들의 인식론과 관련지어 해석하지 못한 한계가 있었다.

둘째, 학생들의 인식론은 소집단 내 동료의 역할에 따라 역동적으로 변할 수 있다(이정화와 김희백, 2021; Shim & Kim, 2018). 사회적 구성주의 관점에서 학습은 학습자가 다른 사람과 상호작용을 하는 가운데 이루어지며(Roth *et al.,* 1999), 최근 과학교육에서는 학생의 능동적인 지식

구성을 강조하고 있다(González Howard & McNeill, 2020). 하지만 학생들이 구체적으로 어떠한 사회적 상호작용을 통해 생산적인 인식론을 가지며, 높은 수준의 시스템 사고를 하는지 밝혀낸 연구는 드문 실정이다.

최근 인식적 실행과 연관지어 학생들의 인식론적 메시지가 그들의 인식적 참여에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지에 대한 연구가 이루어지고 있다(e.g. Ke & Schwarz, 2021; Russ, 2018). 인식론적 메시지는 '지식과 앎의 본성 측면에서 학생들에게 보내는 메시지(Russ, 2018)'로, 화자의 발화와 행동 등을 통해 청자에게 전달된다. 일례로, Ke and Schwarz는 교사가 학생들에게 인식론적 메시지를 전하며, 그들의 인식적 실행을 어떻게 만들어가야 하는지를 안내하였음을 보여주었다. 예컨대, Ke and Schwarz는 교사가 학생들에게 ' 주장을 뒷받침하는 증거를 제공해.'라는 인식론적 메시지를 전달하여, 학생들이 자신의 모형을 정당화하는 근거를 제시하도록 촉진하였음을 설명하였다. 이처럼 인식론적 메시지는 발화자가 그 상황에서 가진 인식론을 알 수 있게 하며, 청자가 그러한 인식론을 갖도록 촉진하고, 과학 학습에서의 인식적 실행을 변화시키는 맥락으로 작용할 수 있다(Ke & Schwarz, 2021). 하지만 학생들의 인식적 실행과정에서 인식론적 메시지와 시스템 사고가 어떻게 얽혀져, 학생들의 능동적 지식 구성을 촉진하는지 밝힌 연구는 드문 실정이다.

이러한 연구의 필요성을 바탕으로 하여, 본 연구에서는 학생들이 생태계를 주제로 협력적 표상화 활동을 하는 동안 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락에 대한 정보를 과제 설계 및 학생의 인식론과 관련지어 제공하고, 학생들이 생태계의 시스템적인 속성을 학습하도록 조력하는 방안을 모색하여 과학교육에 함의를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구 참여자

본 연구는 고등학교의 일반 수업 맥락에서 생태계를 주제로 한 협력적

표상화 활동에 참여하는 소집단 학생들을 통해 학생의 인식론과 생태계 학습 사이의 관계를 탐색한 사례연구이다. 2014년 10월 중하순부터 2014년 12월 말까지, 약 2개월 반 동안 수도권 소재 일반계 고등학교 자연계열 학급 1개에 속한 2학년 학생 35명과 교사 1명이 연구에 참여하였다. 참여교사는 연구자로 학부 및 석사 과정 중 생물교육을 전공하고, 중학교와 고등학교에서 8년간 학생들을 지도한 경력이 있었다. 참여 학급 학생들은 총 9개의 소집단으로 구성되었으며 각 소집단은 3~4인으로 이루어졌다.

본 연구에서는 협력적 표상화활동 과정에서 학생들이 다양한 인식론적 메시지를 표현하고, 소집단에 공유된 인식론과 관련하여 생태계의 시스템적인 측면을 학습하는 과정이 잘 나타난 소집단 1개를 초점집단으로 선정하였다. 초점집단 학생의 특징은 <표 Ⅳ-1>과 같다(이경현과 김희백, 2021).

<표 Ⅳ-1> 초점집단 학생의 특징

이름 (가명)	성별	성취수준	특성
E	남	상위권	이전 학기 학급 반장, 전 교과를 통틀어 학업성취수준이 매우 뛰어나며 차분하고 성실함.
F	남	중위권	해당 학기 학급 부반장. 활발한 성격으로 그림 그리기를 즐겨함.
G	남	중위권	물리 교과를 좋아하지만, 평소 생명과학Ⅰ 수업에도 적극적으로 참여함.

2.2. 수업 과제

본 연구는 생태계를 주제로 한 협력적 표상화활동에서 고등학생들이 어떠한 인식론적 메시지를 공유하는지를 파악하고, 그때 생태계 학습양상이 어떻게 진행되는지를 탐색하였다. 본 연구에서 학생들에게 안내된 표상화 활동과제는 학생들이 이전 과학수업에서 배운 내용을 기반으로

소집단 학생들이 협력적으로 생태계의 물질순환을 글과 그림으로 표상화하도록 설계된 선행연구의 것(이경현 등, 2016)과 같다. 수업 과정 및 과제는 Ⅲ장의 연구에서 수행된 수업 과정(표 Ⅲ-2)과 외적 표상화활동 과제(그림 Ⅲ-2)와 동일하다.

3. 자료분석방법

연구자는 학생들의 생태계 학습양상을 고찰하기 위해 우선, 수업 과정 주제인 영양소 순환을 이루는 과정 5가지 범주(그림 Ⅲ-1)에 포함되는 개념들을 분석하였다. 연구자는 학생들의 그림과 활동지, 소집단 담화를 바탕으로 각 범주에 해당하는 개념들이 표현되었는지와, 그러한 개념들로 물질순환을 설명하기에 충분한지 분석하였다. 이후의 분석으로 연구자는 각 개념이 시스템 사고를 통해 긴밀하게 연결되는지와 학생들의 생태계 물질순환 학습 수준을 분석하였다.

본 연구에서는 학생들이 소집단에 제시한 생태계 개념들을 시스템 사고를 통해 긴밀하게 조직화하는지 더욱 깊이 있게 고찰하기 위해서 더욱 구체화된 시스템 사고 분석틀을 사용하였다(표 Ⅳ-2). <표 Ⅳ-2>의 시스템 사고 분석틀은 선행연구(권용주 등, 2011; Assaraf & Orion, 2005b)를 바탕으로 하여 본 연구 결과를 토대로 귀납적으로 도출된 이경현 등(2016)의 시스템 사고 분석틀을 일부 수정한 것이다. 연구자는 학생들의 시스템 사고를 구성하는 요소들을 더욱 세분화시켜 맥락에 따른 시스템 사고의 역동적 변화를 구체적으로 포착하고자 했다. 이를 위해 연구자는 시스템 사고 분석틀에서 우선 시스템 사고를 시스템의 구조와, 구조 사이의 관계라는 두 범주로 분류하였다.

연구자는 학생들의 시스템 사고 중에서 시스템 구조를 분석할 때, 학생들이 시스템을 이루는 구조(요소와 과정)로 파악한 것이 어떠한 것인지 알아보았으며, 추가적으로 학생들이 어떠한 시각적 속성을 가진 구조를 파악했는지 분석하였다. 예를 들어, 학생들이 표면적으로 드러나지 않는 미시적이거나 초거시적인 구조들까지 파악하는 경우에는 그들이 시스템의 보이지 않는 측면을 인식하고, 전체로서의 시스템이 가진 속성을

<표 Ⅳ-2> 시스템 사고 분석틀

구조	시각적 성질	거시적	눈으로 볼 수 있음(예: 참새)
		미시적	눈으로 보이지 않을 정도로 작음 (예: 질산염, 산소)
		초거시적	눈으로 볼 수 없을 정도로 광대함 (예: 군집, 생태계)
관계	관계대상의 수	단일함	시스템의 구성요소 하나가 다른 한 요소와 관계 맺음 (예: 토끼가 토끼풀을 먹는다.)
		다각적	시스템의 구성요소 하나가 여러 다른 요소들과 관계 맺음 (예: 식물은 물과 이산화탄소를 사용해 광합성한다)
	방향성	일방적	한 요소가 다른 요소와 맺는 방향이 단일함 (예: 참새가 메뚜기를 먹는다.)
		상호적	두 요소가 서로 영향을 미침(예: 눈신토끼와 스라소니의 먹이관계로 두 종의 개체 수가 조절된다.)
	역동성	정적	소규모의 시·공간적 측면만 고려한 경우. 장기적인 변화나 한 공간에서의 동시적인 사건에 대해 생각하지 못함(예: 참새가 독버섯을 먹고 죽는다.)
		동적	광범위한 시·공간적 측면을 모두 고려함 (독버섯을 먹는 참새 개체군은 독버섯에 죽지 않게 진화한다.)
	순환성	비순환적	순환을 이루는 일부 관계만이 제시됨(예: [호흡을 설명하지 않은 채] 식물은 광합성으로 산소를 방출한다.)
		순환적	다양한 하부 시스템을 포함하여 그들 사이의 상호작용이 닫힌 고리 형태로 순환함. (예: 질소순환을 이루는 모든 과정을 포함하여 닫힌 고리 형태로 표현한 것)

파악할 수 있기에 높은 수준의 시스템 사고를 한 것으로 판단하였다. 시

스템을 이루는 관계에 관해서는 관계의 다각성·방향성·역동성·순환성을 기준으로 분석하였다. 학생이 시스템을 구성하는 여러 요소 사이의 관계를 조직화하는 과정에서 여러 요소 사이에서 생성되는 다각적 관계, 광범위한 시·공간 흐름에 따라 이루어지는 역동적 관계, 서로 영향을 주고받는 상호적 관계와 전체로서의 시스템 수준에서 드러나는 순환적 관계를 파악할 수 있다. 이에 따라, 연구자는 이러한 네 가지 측면에서 시스템 내 관계에 관한 시스템 사고의 분석을 수행했다. 연구자는 시스템 관계 분석에 관한 각 범주에서 학생들이 다각적, 상호적, 동적, 순환적 관계를 파악하는 경우는 단일한, 일방적, 정적, 비순환적 관계를 파악하는 경우에 비해 시스템 사고 수준이 더 높다고 판별하였다.

<표 Ⅳ-2>의 시스템 사고 분석틀은 학생들의 인식론을 반영하는 측면이 있다. 첫째, <표 Ⅳ-2>의 분석틀에서 시각적 범위가 다양한 구성요소를 파악하는 것은 현상을 설명하려는 생산적 인식론과 관련된다. 학생의 생산적인 인식론을 나타내는 지표 중의 하나는 '인과적 기작을 포함하여 어떻게, 그리고 왜 특정 현상이 나타났는지 설명하고자 시도하는 것'이다(Ke & Schartz, 2021). 인과적 기작을 설명하는 데 사용하는 기계론적 추론은 인식적 heuristics[14]에 의해 암묵적으로 안내되며, 그것의 주요 내용은 서로 다른 규모 범위를 가로질러서 현상을 설명하는 것이다(Krist, Schwartz & Reiser, 2019). 이러한 내용은 <표 Ⅳ-2>의 시스템 사고 분석틀 중에서 '생태계를 이루는 가시적·비가시적 구조 파악 및 파악한 요소들의 관계 조직화'와 관련된다. 그리고, 이것은 인과적 기작에 사용되는 인식적 heuristics로 현상을 설명하려는 생산적 인식론을 반영한다. 둘째, 학생들이 여러 내용 영역에서 시스템의 역동적인 관계(예: 순환)를 파악하는 과정에서 다른 교과목에도 그 속성을 일반화하는 생산적 인식론과 관련된다. 시스템은 다른 교과목들에 공통적으로 적용되는 통합과학적 개념이다(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015). 따라서 생명과학 분야 외의 분야에서 시스템의 속성을 일반화하는 것은 '지식은 서

14) 인식적 휴리스틱은 실행을 안내하는 암묵적이고 전략적인 지식 단편들을 의미한다(Krist *et al.,* 2019).

로 다른 현상에 일반화될 수 있다'라는 생산적인 인식론을 반영한다. 셋째, <표 Ⅳ-2>의 분석틀은 구성요소 사이의 관계를 긴밀히 연결하는 것을 강조한다. Hammer(1994)에 의하면 '학생이 지식을 조각처럼 분절화된 것으로 보는지 아니면 긴밀하게 연결된 하나의 완전체로 보는지'는 개인의 인식론을 구성하는 요소 중의 하나이다. 따라서 <표 Ⅳ-2>의 분석틀에서 '관계를 긴밀하게 연결하는 것'은 학생들이 가진 생산적인 인식론을 반영한다고 볼 수 있다.

연구자는 시스템 사고의 분석 단위를 하나의 아이디어에 관한 추론이 마칠 때까지인 담화 분절로 하였다. 예를 들어, 시스템 사고를 나타내는 아이디어가 하나 나타난 후 다른 학생들이 그에 단순히 동조하는 경우에 시스템 사고는 첫 번째 아이디어에 내포된 것만을 분석대상으로 하였다. 아울러, 분석틀에 제시된 각 범주는 독립적이지 않다. 예를 들어, "참새는 피식자 3종의 생물이 모두 줄어들 때까지 먹은 후에 개체 수가 줄어들 거야" 라는 발화는 하나의 아이디어 속에 다각적(참새와 여러 피식자 사이의 관계를 고려함), 상호적(참새와 여러 종의 피식자가 서로의 개체 수에 영향을 미침을 고려함), 역동적(참새와 여러 종의 피식자 사이의 먹이관계가 장기적으로 그들의 개체 수에 어떠한 영향을 미치는지 고려함)인 아이디어가 포함된 것으로 코딩하였다.

연구자는 관계의 방향성을 분석할 때 두 요소 사이의 관계가 3개 이상 있는 경우, 그중에서 상호관계에 해당하는 것을 모두 인정하였다. 예를 들어, 3차시에 학생들은 '물이 동물에게 씻을 물과 체내 필요한 수분을 제공하며, 동물은 물을 오염시킨다'라는 관계를 파악하였다. 이러한 발화는 상호적 관계 2개(즉, '물은 동물에게 씻을 물을 제공하고 동물은 물을 오염시킨다', '물은 동물에게 체내 수분을 제공하고 동물은 물을 오염시킨다')를 포함하는 것으로 판단하였다. 관계의 역동성 분석에서는 학생들이 시간 순서대로 단편적인 관계들을 연결하며 계속하여 추론한 경우, 연결된 모든 관계를 역동적 관계로 판단하였다. 순환성을 분석할 때에는 여러 관계가 이어져 닫힌 고리 형태로 순환을 이루는 경우, 그것을 하나의 순환적 관계로 분류하였다. 예를 들어, 5차시에 학생들은 생태계 구성

요소 사이에서 질소화합물이 변형되며 이동하는 과정 10개를 연결하여 질소순환을 나타냈다. 이런 사례에서, 연구자는 시간 순서대로 연결된 관계 10개를 모두 역동적인 관계로 판별하였으며, 이 관계들이 더해져 하나의 순환을 이루므로 순환적 관계는 1개로 판단하였다. 연구자는 기타 범주로 학생들이 파악한 관계의 방향 등이 옳지 않은 경우 등을 분류하여 그들이 관계를 잘못 파악한 이유는 무엇인지 분석하였다.

연구자는 소집단 활동 과정에서 학생들이 나타낸 시스템 사고를 양적으로 분석하여 맥락에 따라 학생들의 시스템 사고가 어떠한 경향을 나타내는지 파악하였다. 동시에, 연구자는 학생들이 나타낸 시스템 사고의 내용과 수준에 대해 질적으로 분석하였다. 연구자는 이러한 분석을 통해 학생들이 파악한 관계들이 연결되어 전체로서의 시스템이 가진 특성이 나타나는지, 혹은 관계들이 서로 연결되지 않고 무질서하게 흩어져 있는지에 대해 파악하고자 했다.

소집단 담화에서 같은 내용의 발화라고 하더라도 맥락에 따라 다른 요소와 과정과 연결되어 높은 수준의 시스템 사고로 분석되기도 하고 그 반대의 상황도 존재한다. 따라서 시스템 사고의 분석은 소집단 담화와 활동지, 그림, 사후 인터뷰 및 연구자의 필드노트 등 다양한 질적 자료를 통해 이루어졌다. 연구자는 분석결과를 동료 연구자들과 지속적으로 논의하면서 연구 결과의 타당성을 높이는 과정을 지속적으로 수행했다(Corbin & Strauss, 2014). 학생들의 시스템 사고에 대한 분석은 연구 초기 분석틀 수립부터 분석과정에 이르기까지 경력 30년 이상의 과학교육전문가, 생물교육 전공 박사학위를 소지한 경력 10년 이상의 교사와 지속적인 논의를 하여 결과의 타당성과 신뢰성을 확보하고자 했다.

시스템 사고 분석에 덧붙여, 학생들의 생태계 학습 수준을 파악하기 위해서 Mohan *et al.*(2009)의 탄소변형과정에 관한 학습발달과정을 본 연구의 맥락에 맞게 수정하여 사용하였다(표 Ⅳ-3). <표 Ⅳ-3>의 분석틀은 Mohan *et al.*과 같이, 가시적인 현상에만 주목하는 것을 1수준, 가시적 현상 이면에 놓인 보이지 않는 측면에서 기작을 파악하는 것을 2수준, 화학변화를 바탕으로 기작을 파악하는 것을 3수준 이상이라 보았다.

반면, Mohan *et al.*의 분석틀에서는 3수준과 4수준의 차이점을 '질량 보존 법칙의 적용 여부'로 두었지만, <표 Ⅳ-3>의 분석틀에서는 '순환적 관계 적용'으로 달리 설정하였다. 이에 대한 이유로는, 연구과제 맥락이 Mohan *et al.*은 '사람의 체중 감소' 등 질량 변화 측면에서 접근할 것이 강조되지만, 본 연구에서는 순환적 관계 파악이 중요하기 때문이다. 순환에 대한 부족한 인식은 생태계의 기능과 구조에 대한 이해를 방해하기에 (Eilam, 2013), 생태계 학습에서 순환에 대한 이해는 필수적이다.

< 표 Ⅳ-3 > 물질순환에 관한 학습발달과정

1수준	· 동·식물 및 죽은 생물에서 일어나는 거시적 현상을 서로 분리하여 기술함 · 생물과 무생물을 서로 분리된 존재로 인식함 예) 물은 토양을 축축하게 한다(이후에 육상 식물의 물 흡수와 관련짓지 않음).
2수준	· 사건에 관한 감추어진 기작을 포함하며, 인과적 설명을 함 · 시스템 안팎의 관찰 가능한 현상에 주로 초점을 두지만, 감추어진 부분이나 기작을 인정함 예) 식물이 물을 먹고 체내 영양분을 만든다.
3수준	· 관찰된 현상에 관한 화학변화로 기작을 설명함 · 관련 지식이 부족하거나 순환적 관계를 적용하지 못함 예) 식물이 이산화탄소를 흡수해서 영양분을 만들고 생장한다.
4수준	· 관찰된 현상에 관한 화학변화로 기작을 설명하며, 순환적 관계를 적용함 예) 식물이 토양에서 암모늄염을 흡수한 후, 다시 질소고정 세균이 토양에 암모늄염을 제공하는 과정을 화학적 변화 단계별로 제시함.

연구자는 분석틀을 생물교육 박사학위를 가진 경력 10년 이상의 교사와의 지속적 논의를 바탕으로 수정, 보완하였다. 개선된 분석틀을 토대로, 연구자는 학생들의 그림과 소집단 담화를 모두 분석하였다.

인식론은 개인의 발화에 내포되어 인식론적 메시지로 표현되고, 모둠원들에게 공유되어(Ke & Schwarz, 2021) 그들의 시스템 사고를 촉진할

수 있다. 아울러, 학생의 인식론은 그들이 소집단에 제시한 개념들을 논리정연하게 조직화하는 계기로 작용할 수 있으므로 생태계 학습을 향상시킬 수 있다(Hammer, 1994). 이 관점에 기반을 두어, 학생들의 발화에 내포된 인식론적 메시지를 분석하였다. 연구자는 Ke and Schwarz와 Russ(2018)의 연구를 바탕으로 본 연구 결과를 통해 귀납적으로 도출하여 인식론적 메시지 분석틀(이경현과 김희백, 2021)을 만들었다. 연구자는 이후 분석과정에서 동료 검증을 통해 이경현과 김희백의 분석틀을 수정하여 <표 Ⅳ-4>의 인식론적 메시지 분석틀을 만들었다. 그리고 이 분석틀로 학생들이 소집단에서 나눈 담화 중 하나의 주제에 대해 나눈 담화 분절을 단위로 학생 발화에서 어떠한 속성의 인식론적 메시지가 내포되었는지를 알아보았다.

학생들의 인식론적 메시지를 분석한 단위는 소집단 담화 중에서 하나의 주제에 관한 담화 분절이었다. 같은 발화라도 맥락에 따라 그에 내포된 인식론 수준이 다를 수 있기 때문이다(Rosenberg *et al.,* 2006). 예를 들어, 학생의 “태양이 물을 증발시킨다.”라는 발화는 본 연구 3차시(탄소 순환 주제)에서는 탄소 순환에 포함된 다른 요소나 관계에 연결하려는 시도가 없는 맥락에서 제시되었기에 설명에 대한 비생산적인 인식론적 메시지가 공유된 사례로 해석되었다. 반면, 같은 내용의 발화가 6차시(미니생태계 구성 주제)에서는 ‘생태계를 유지하기 위해서는 지구상 모든 위치의 생물에게 물이 필요하다. 고도가 높은 환경도 물의 순환을 통해 물이 공급되므로 공기 중에 서식하는 생물은 물을 공급받는다’라는 담화 분절에서 나타났다. 이때에는 학생들이 스스로 생태계 유지 원리에 관한 설명을 구성하려 했다. 그리고, 학생들은 모든 서식지에 위치한 생물에서 물의 필요성과, 물의 순환을 토대로 물의 증발이 생태계 유지에 기여하는 바를 설명하였다. 그렇기에 지식이나 설명의 본성에 대한 생산적인 인식론적 메시지가 공유된 사례로 해석되었다.

또한, 교사의 인식론적 메시지는 학생의 인식론과 그들의 실행에 미치는 영향이 크다(Ke & Schartz, 2021). 그렇기 때문에 인식론적 메시지의 분석 대상은 교사의 영향이 최소화되었다고 판단되는 시점의 것으로 제

<표 Ⅳ-4> 인식론적 메시지 분석틀

범주	속성에 따른 내용(사례)	
우리의 생각을 나타내기 위해 포함해야 하는 지식의 종류는 어떠한가? (지식의 본성)	비생산적	• 지식은 고정된 것으로 인식적 권위자로부터 전달된다. (“(질소순환 과정에 대해)써보고 E(성취수준이 우수한 학생)한테 검사 맡아야 해.”)
	생산적	• 지식은 변화될 수 있으며 또래와의 협력으로 구성될 수 있다. (“그런데 지렁이, 질소비료가 바로 (미니생태계 구성요소로) 들어갈 필요는 없어 우리 집 화분에 저거 심어놓았는데 (없어도) 잘 자랐어”)
우리가 제공해야 할 응답의 종류는 어떠한가? (설명의 본성)	비생산적	• 무엇이 일어나는지 기술해야 한다. (“복잡하게 가자. (요소 간 관계 연결이) 되면 될수록 대박 나는 거니까.”)
	생산적	• 어떠한 현상이 왜, 어떻게 일어났는지 설명해야 한다. (“주제는 생물은 어떻게 영양소를 얻고 에너지를 얻을까? 그러면 생물을 넣고 환경을 넣고 어떻게 영양소를 얻는지를 쓰면 되겠지?”)
우리가 가진 생각에 관한 정당화는 어떠해야 하는가? (정당화)	비생산적	• 다른 이들이 포함하도록 요청하는 정보를 포함하면 된다(그래서 그것은 정당화될 필요가 없다.). (“[질소순환과정과 토양의 관계를 묻는 친구의 질문에] 아니구나, 여기(구성요소 카드에) 나와 있는 거 봐봐. 다 나와 있어.”)
	생산적	• 사용할 수 있는 정보를 활용하여 우리의 아이디어를 구성하고 평가하며, 정당화해야 한다.([먹이그물의 최고차 소비자인 참새의 개체 수 조절을 설명해야 함을 주장하며] “참새를 어떻게 처리해야 하는데…. 그런데 참새 넣는 게 제일 좋아.”)

우리의 생각은 다른 과학적 현상이나 과학적 아이디어와 어떻게 관련되는가? (일반화)	비생산적	• 지식이 분절화되어 완전히 연결되지 않는다. ([무기물과 유기물을 구분하지 못한 채] “분해자는 환경으로 영양소를 돌려줘”)
	생산적	• 하나의 내용 영역에 해당하는 아이디어들이 논리정연하거나, 한 아이디어가 서로 다른 내용 영역을 가로질러 연결된다. (“물이 순환하기 때문에 새도 물을 마실 수 있어[지구과학 영역에서 다루는 물의 순환과 생명과학에서 다루는 물질순환을 연결].”)

* 단, [ ]안의 내용은 발화 시 상황을 의미하며,
( ) 안의 내용은 이해를 돕기 위해 연구자가 추가한 내용임.

한하였다. 구체적으로는, 교사가 학생들에게 전한 인식론적 메시지가 없거나, 있어도 그것이 학생에게 수용되지 않았다고 판단되는 시점(학생들이 다른 인식론을 표현하는 시점 이후 등)만을 분석대상으로 하였다. 인식론적 메시지의 맥락 의존성을 바탕으로 연구자는 소집단 담화의 전체적인 맥락을 고려하여 학생들의 인식론적 메시지를 분석하였으며, 분석틀 수립부터 분석과정, 분석결과에 대한 해석을 동료 연구자들과 지속적으로 논의하면서 연구 결과의 타당성을 높이는 과정을 지속적으로 수행했다(Corbin & Strauss, 2014).

4. 연구 결과

본 연구의 결과에서는 협력적인 생태계 표상화 활동을 수행하는 과정에서 고등학생들의 생태계 학습양상을 그들이 나타낸 인식론적 메시지와 관련지어 제시하고자 한다. 연구 결과에서는 소집단 활동 녹화·녹음본과 소집단 그림, 학생 활동지, 학생 인터뷰 자료, 연구자의 필드노트에 근거하여 다음과 같은 연구문제를 고찰하고자 한다. 첫 번째, 소집단 활동에서 고등학생들의 인식론적 메시지 공유과정을 기술하고 두 번째, 학생들

이 생태계의 시스템적인 측면을 학습하는 양상을 소집단에 공유된 인식론적 메시지와 관련지어 설명하고자 한다.

4.1. 협력적 표상화 활동에서 나타난 인식론적 메시지 공유과정

소집단 담화에서 학생들은 인식론적 메시지를 표현했으며, 그중에서 특정한 인식론적 메시지를 공유하였다. 소집단 활동에서는 E의 인식론적 메시지가 주로 수용되는 경향이 나타났다. E는 성적이 무척 우수한 학생이었기에, 다른 학생들은 소집단 활동에서 모르는 정보가 있을 때 E에게 주로 질문하거나 E에게 답을 듣고자 했다. 예를 들어, 5차시 질소순환에 관한 내용을 표에 정리하며 F와 G는 “E가 다 하자”, “우리는 쓰고 E에게 검사받아야 해”라고 말했다. 이는 E가 가진 인식적 권위가 소집단 학생 중에서 높은 상황임을 드러낸다. 소집단 활동에 관해 제시된 우려 중 대표적인 것으로 성적이 우수한 학생에 의해 소집단 토론이 주도되며, 그들의 의견이 받아들여진다는 점이 있다(Bianchini, 1997). 그의 연구에 따르면, 성적이 우수한 학생이 소집단에서 갖는 지위가 높으며, 이에 따라 그 학생이 토의에 더욱 적극적으로 참여하게 된다. 선행연구에서 제시된 우려처럼, 본 연구에서도 성적이 우수한 학생(E)이 소집단에서 권위를 갖고, 소집단 학생들이 그 학생 의견의 타당성에 관한 평가도 제대로 하지 않은 채 그 학생의 의견을 수용하는 경향이 나타났다. 이는 다른 학생들이 ‘지식이란 교사나 성적이 우수한 친구로부터 전달되는 것이다’라는 비생산적인 인식론을 공유했기 때문으로 보인다. 그러나, 맥락에 따라 다른 학생들도 자신의 인식론적 메시지를 소집단에 지속적으로 표현했다. 이 경우에는 다양한 학생이 가진 다양한 인식론적 메시지가 표출되어 그것의 타당성을 검토한 후에야 가장 타당한 인식론적 메시지가 수용되었다.

소집단에 수용된 인식론적 메시지는 소집단 학생들에게 공유된 인식론 수준에 부합하는 인식적 실행을 안내하는 요소로 작용하였다. 즉, 소집단 학생들 사이에서 생산적인 인식론적 메시지가 공유된 경우에는, 학생들

이 생태계에서 물질순환을 스스로 설명하려는 생각을 바탕으로 하여 생태계의 역동성에 관한 추론을 지속하는 경향이 나타났다. 반면, 소집단 학생들 사이에서 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 경우에는 위와 정반대의 양상을 보였다.

그러므로, 소집단에 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락과 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락을 탐색할 필요가 있다. 왜냐하면, 학생들이 소집단 활동에서 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 상황을 피하고, 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 상황을 조성하기 위한 제언을 할 수 있기 때문이다. 따라서 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 사례와 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 사례에서 나타난 특징을 탐색하여 소집단에서 학생들의 상호작용으로 특정한 인식론적 메시지를 공유하는 과정을 깊이 있게 알아보고자 한다.

4.1.1. 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락

시스템 표상화 활동 과정은 초기에 요소들의 관계를 찾아 표를 작성하고, 이후는 표에 작성된 내용을 종합하여 그림을 그리는 순서로 진행되었다. 활동 초기, 학생들은 표의 행과 열에 있는 구성요소 사이의 관계를 탐색하면서 주로 지식의 본성이나 설명의 본성에 관해 비생산적인 인식론적 메시지를 공유하였다(그림 Ⅳ-1).

1차시 수업 도입부, 교사는 시스템과 시스템 사고의 개념을 설명하고 이를 적용하여 ‘PC방 운영과정을 그림으로 표상화하라’는 활동 목표를 제시했다. 그러나 여전히 학생들은 이 활동을 어떻게 해야 하는지 모르겠다며 막막해하는 모습을 보였다. <그림 Ⅳ-1>에서 1번째 제시된 F의 발화는 자신이 많은 요소와 관계들을 어떻게 조직화할지에 대한 어려움을 느끼는 상황임을 보여준다. 그러자 E는 “예시를 정확하게 주지 않았다”라며 정답에 관한 구체적인 예시 제공이 이 활동에 필요하다는 식으로 말했다(2번째 발화). 이 발화는 ‘지식은 모범답안 사례 같은 형태로 고정된 것이며 교사가 학생들에게 지식을 전달해야 한다’라는 의미를 포

순번	발화자	발화내용	인식론적 메시지 (속성)
1	F	[관계를 정리하다가 지친 듯이] 아, 너무 애매하다.	지식의 본성(비생산적) 설명의 본성(비생산적)
2	E	정확하게 안 줬어, 예시를.	
3	G	어, 선생님 예시 좀 주세요.	
4	F	[다른 반 그림 예시를 본 후] 길게는 안 보여주시네?	
5	E	저게 최대한 복잡하게 그려야 된다고.	
6	F	어.	
7	E	생태계처럼 그리는 거니까.	
8	F	그러니까 해화 자매(PC방 주인)가 다하는 거 같아.	
9	E	연결이 다 되어야 해.	
10	G	이윤 빼고.	
11	F	이윤이 얘(해화)한테 가고.	
12	E	복잡하게 가자. (관계 연결이) 되면 될수록 대박나는 거니까.	
13	F	알겠어, 알겠어.	
14	G	그리고…?	
15	F	요지는 복잡한 거니까.	
16	E	어.	
		…중략…	

<그림 Ⅳ-1> 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락[15]

함하여 지식의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지라 해석할 수 있다. 이러한 인식론적 메시지를 받아들여 G는 교사에게 다른 반 학생이 한 우수사례를 보여 달라고 요청했으며(3번째 발화), 교사가 그림을 잠시만 보여주자 F는 만족스럽지 않은 기색을 보였다(4번째 발화). 이러한 상황에서 알 수 있듯, E가 전한 인식론적 메시지(즉, '지식은 다른 학급의 모범사례처럼 고정된 것이며 교사로부터 전달된다.')는 바로 F와 G에게 공유되었다.

E는 잠시 보았던 우수사례의 특징을 '복잡하고 구성요소 사이의 관계가 연결된 것'으로 여기고 그러한 우수사례를 따라 활동을 하자는 의향

15) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미하며, ( ) 안의 내용은 이해를 돕기 위해 연구자가 추가한 내용이다.

을 보였다(5번째 발화). 이는 E가 지식의 본성을 고정되고 전달되는 것으로 인식함을 드러내는 것이다. 구체적으로, E는 '구성요소 사이의 관계를 있는 대로 다 파악하고 연결하자'라는 의미를 전달했다(9번째 발화). 이러한 발화는 '현상을 있는 대로 모두 기술하자'라는, 설명의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지를 내포한다고 볼 수 있다.

한편, E가 말하는 동안에 F와 G는 PC방 운영과정을 이루는 관계들을 협력적으로 파악하고 있었다(8·10·11번째 발화). 그러나, 이내 F는 E가 표현한 '현상을 있는 대로 모두 기술하자'라는 인식론적 메시지를 받아들이고(13·15번째 발화) G와의 대화를 중단했다. 이러한 상황은 <그림 Ⅳ-1>의 담화 초반부에 학생들이 교사에게 우수사례를 전달받기를 원했던 것과 맥락을 같이 한다. 이미 소집단에는 '지식은 인식적 권위를 가진 교사, 혹은 성적이 높은 학생 등으로부터 전달된다'라는 인식론적 메시지가 공유된 상황이었다(2~4번째 발화). 그렇기에, 성적이 우수한 E의 발화가 다른 학생의 발화보다 파급력을 가진 것으로 보인다. G는 계속하여 F와 함께 PC방 운영을 이루는 관계를 파악하고자 했지만(14번째 발화), F는 E의 발화만 받아들인 채 G와의 대화를 중단했다(13·15번째 발화). 이러한 담화 사례로부터 E가 표현한 지식, 혹은 설명의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지가 F에게 공유된 것을 볼 수 있다(이후 담화에서 G도 이러한 E의 인식론적 메시지를 공유한다).

성적이 우수한 학생에게 의존하는 사례는 표상화 활동 초반 관계정리표 작성과정에서 공통적으로 나타났다. 학생들은 표상화 과정에서 표의 행과 열에 있는 두 요소의 관계 파악을 요구하는 등 단순한 절차를 요구할 때에는 주로 사실적 정보 확인에 초점을 기울이는 경향을 보였다. 이때, 사실적 정보를 많이 알고 있다고 기대되는, 성적이 우수한 학생(E)이 갖는 인식적 권위가 높아졌다. 그리고 '지식은 인식적 권위가 높은 사람으로부터 전달되는 것이다. 우리는 그 정보를 축적해서 활동지를 채우면 된다.'라는 비생산적인 인식론이 소집단에 조성되었다. 이는 소집단 활동 과제에 사실 정보의 확인 등 간단한 추론만을 포함하는 상황이 학생들로 하여금 비생산적인 인식론을 갖는 맥락이 됨을 나타내는 것이다.

아울러, 활동시간의 제한은 '지식은 고정된 것으로 인식적 권위자로부터 전달되는 것이다'라는 인식론적 메시지를 조성하는 추가적인 요인으로 판단되었다. 소집단 학생들이 적극적으로 의견을 제시하며 표상을 구상하던 상황에서도 활동시간이 얼마 남지 않은 경우에는 성적이 우수한 E의 의견을 최종적으로 수용했기 때문이다. 1차시 중에 PC방 운영을 설명하는 그림그리기를 마무리하는 단계에서 나타난 <그림 Ⅳ-2>의 소집단 담화에서 이러한 모습을 볼 수 있다.

순번	발화자	발화내용	인식론적 메시지 (속성)
17	G	[그림을 보며] 야, 너무 복잡한데?	정당화 (생산적)
18	F	[그림을 보며] 컴퓨터가 이윤이랑 두 개 놓았네?	
19	G	[그림을 보며] 우리가 너무 그렇게 생각해서 그래.	
20	F	[다른 소집단의 그림을 보며] 야, 재네 봐봐.	
21	G	어.	
22	F	이윤이 컴퓨터한테 이렇게 (직접 영향을) 미친다고 했는데 (우리 그림은) 이렇게, 이렇게 (간접적으로 영향을 미친다고) 되었잖아.	
23	G	우린 다 이렇게 (간접적으로 영향을 미친다고) 된 거잖아.	
24	E	그래, 우리는 해화자매 통해서 가는 거니까. 그래서 글은 짧은데 뭔가 복잡해 보이잖아.	정당화 (비생산적)
25	G	[불만스러운 듯이] 어, 간단해 보이는데. 어, 저거는….	정당화 (생산적)
26	E	아, 시각의 이중성을 노리는 거야.	정당화 (비생산적: 이후에도 지속)
27	F	야, G야, 가자.	
28	E	아, 이제 끝났다.	
		…중략…	

<그림 Ⅳ-2> 비생산적인 인식론적 메시지 공유과정[16)]

G는 그림에 수많은 관계가 복잡하게 있는 것을 보고 '무언가 잘못한 것'이라고 표현했다(17번째 발화). 이 발화는 소집단 그림을 보고 메타인지적 경험을 표현한 것이다. 이는 소집단 아이디어가 가시화되면 메타인지를 이끈다는 선행연구 결과(Edens & Potter, 2003)와 맥락을 같이 한다. G의 의견에 대한 설명을 찾으며 F는 자신의 그림에서 컴퓨터와 이윤이 PC방 주인을 통해 간접적으로 관계를 맺는 것이 의아하다고 말했다(18번째 발화). F의 의문 제시는 이에 대한 설명을 요구하는 인식론적 메시지로 볼 수 있다. 정당화의 필요성을 제안한 F의 메시지를 수용하여, G는 그 관계 표현이 잘못되어 다시 설명할 필요가 있음에 동의했다(19번째 발화). 이후 F와 G는 함께 다른 소집단 그림과의 차이를 발견하여(20~21번째 발화) 그것이 자신의 그림을 복잡하게 하는 요소라고 말했다. F와 G는 소집단 그림에서 '이윤이 증가할 경우에 PC방 주인이 컴퓨터를 구입한 것'이 잘못되었다고 파악했다(22~23번째 발화). F와 G의 반복되는 의문 제시는 복잡해 보이는 소집단 그림에 대한 타당한 설명을 요구하는 인식론적 메시지로 해석할 수 있다. 그리고, F와 G의 의문점 제시는 소집단에서 학생들이 '이윤이 PC방 주인에게 간 후 PC방을 구성하는 물질들의 보완을 계획하고 실행하도록 이끌어 고객을 유치하고 다시 이윤을 창출하는' 순환 패턴을 설명할 기회를 이끌 잠재력이 있었다.

이러한 사례로부터 추론하면, 그림그리기 과정이 시스템을 이루는 요소 사이의 관계 해석과 시스템의 종합적 행동 파악을 촉진한 것으로 보인다. 위의 소집단 담화(17~23번째 발화)에서 학생들이 반성한 것은 그림 전체에서 보이는 복잡한 패턴이 이상하다는 것이었기 때문이다. 이는 "지금 과제가 잘 진행되고 있지 않다"라는 메타인지적 경험에 해당한다. 이러한 메타인지를 바탕으로 학생들은 문제의 원인을 구체적으로 살피면서 복잡한 패턴을 야기한 관계를 파악할 수 있었다(22~23번째 발화). 이러한 문제의식은 학생들로 하여금 설명이나 정당화에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 제시하는 계기가 되었다. 이는 활동 초반의 표 작성

16) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미하며, ( ) 안의 내용은 이해를 돕기 위해 연구자가 추가한 내용이다.

하기 과정 동안 소집단 학생들이 두 요소 사이의 사실적 관계 확인에만 초점을 두면서, 사실적 관계에 관한 지식이 많은 E의 의견을 무조건적으로 수용하는 등 비생산적인 인식론적 메시지가 공유된 것(그림 Ⅳ-1)과 대비된다.

그러나, E는 '복잡하게 쓰는 게 좋다'고 말하며, 정당화의 필요성을 경시하는 인식론적 메시지를 표현했다(24번째 발화). G는 '간단하게 시스템 패턴을 설명해야 한다'라는 인식론적 메시지를 나타내며 반론했다(25번째 발화). 그러나, E는 '시각의 이중성'이라는 어려운 용어를 자세히 설명하지 않고 제시하며 자신의 주장을 고집했고(26번째 발화), F도 결국 E의 의견을 수용했다(27번째 발화). 이것은 수업시간 막바지에 이루어진 담화로써, 시간의 제약하에 F와 G의 정당화를 요구하는 인식론적 메시지가 소집단에서 충분히 공유되지 않은 채, 성적이 우수한 E의 의견을 수용하게 되는 모습을 보여준다.

4.1.2. 소집단에서 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 맥락

학생들이 과제에서 다루는 시스템 구성요소가 가시적이거나, 여러 가지 설명이 가능하다고 판단되는 과제를 할 때에는 소집단 학생들 사이에 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 경향을 보였다. 예를 들어, 사후 인터뷰에서 외래종 도입 전과 도입 후의 먹이그물에서 산소농도가 감소할 때 먹이그물의 안정성을 비교하는 과제(부록2, 2번째 질문)를 하면서 학생들이 소집단에서 나눈 담화에서 그러한 모습을 볼 수 있다(그림 Ⅳ-3).

<그림 Ⅳ-3>에서 소집단 학생들이 수행하는 인터뷰 과제는 외래종이 도입되기 전의 것에 해당하여 먹이그물이 상대적으로 복잡한 (가)와, 외래종의 도입으로 인해 먹이그물이 단순한 (나) 중에서 어떠한 먹이그물이 산소농도 감소에도 안정할지를 묻는 전형적인 유형의 문제였다. 이 문제에서 의도한 것은 '학생들이 환경 변화를 맞이할 때 시간에 따라 생태계 전체에 일어나는 변화를 시스템 사고를 통해 타당하게 추론할 것'이었다. 따라서 이 문제에 대한 학생 답변의 해석도 생태계 맥락에서 시

순번	발화자	발화내용	인식론적 메시지(속성)
29	G	[그림을 보며] (가)가 더 오래 지속되는 거 아니야?	정당화 (생산적) 설명의 본성 (생산적)
30	E	[그림을 보며] 아니야, (나)일 수도 있어.	
31	G	(생물 종이) 너무 많아서 산소 많이 써서 안 돼.	
32	F	뭔 소리야, 그게….	
33	E	[문제를 다시 읽으며] 음…음… 산소…. 식물….	
34	G	이건 모르겠는데? 헷갈리는데?	
35	F	그런데….	
36	E	[먹이그물의 생물 하나를 가리키며] 얜 뭐야?	
37	G	걔?	
38	F	해파리? 물벼룩 이런 거?	
39	E	[두 먹이그물을 구성하는 생물들을 비교하며] 얘는 얘고, 얘는 얘고, 얘는 없고…….	
40	G	[먹이그물의 생물 하나를 가리키며]이건 뭐지?	
41	F	뭐 새우 이런 거 아니야?	
42	G	[문제 그림을 보며] 새우, 해파리? 얘네가 더 오래 살 수 있지 않을까? …중략….	
43	G	식물성 플랑크톤도 광합성 하나?	
44	E	지금 그게 궁금해.	
45	G	얘네가 광합성하면은.	
46	E	물 중의 산소량이 지속적으로 줄어든다…. 얘도 결국 그거랑 연관지어서….	
47	F	그런데 뭔가 하나에만 연관되지 않고 다 연관되잖아.	
48	E	그거랑 연관지어야 할 거 같은데 산소량이 지속적으로 줄어들면은….	
49	F	호흡?	
50	E	먹이그물이 얼마나 빨리 끊기냐를 얘기하는 거 같은데? 내 생각에는….	
51	F	그러면 당연히 (가)잖아.	
52	E	(가)가 더 오래가겠지. 그런데 그걸 어떻게 멋지게 설명하느냐가 문제지.	
53	G	그러니까 사실 다양성이 더 높으니까 얘라고 말하고 싶은데 이유를…. 흠…. [문제 그림을 보며] 유충? 플랑크톤? …중략….	

<그림 Ⅳ-3> 생산적인 인식론적 메시지 공유과정[17)]

스템 사고를 어떻게 수행하느냐에 중점을 두었다.

학생들은 이 문제를 보자 근거 제시도 하지 않으며 즉시 답안이 '가'라고 주장했다(29번째 발화). 이러한 상황에서 E는 '나'가 답안이 될 가능성을 제안했고(30번째 발화), 이어 G는 먹이그물에 제시된 생물 종이 개체 수를 의미하는 경우 E가 제시한 주장이 실제 답이 된다며 근거를 제안했다(31번째 발화). 31번째 G의 발화는 먹이그물과 실제 생태계를 혼동한 것으로, 먹이그물에서 한 생물이 개체군을 표상하는 것을 인식하지 못한 데에서 기인한다. 그러나 학생들이 먹이그물을 볼 때 실제와 표상을 혼동하는 문제는 만연하므로(Weatra, 2008) 다른 학생들에게는 G의 설명이 그럴듯하게 여겨졌다. 그런 의미에서 31번째 발화는 '다른 답안의 가능성이 존재하므로 답이 (가)라는 주장이 무조건 수용될 수 없고, 문제의 답을 제시할 때 타당한 근거를 요구한다'라는 인식론적 메시지를 내포하는 것이라 볼 수 있다. 그리고 F는 G가 제시한 반론의 근거에 관심을 보이며 정당화에 관한 인식론적 메시지를 공유하는 것으로 보였다(32번째 발화). 이러한 사례에서 볼 수 있듯이, 학생들에게서 그럴듯한 반론이 제시되는 상황은 타당한 근거를 촉구하는 인식론적 메시지가 공유되는 맥락이 되었다.

이후 학생들은 문제의 먹이그물을 구성하는 생물들이 무엇인지 파악하려 했다(33~45번째 발화). 특히, 36번째 발화에서 E가 두 먹이그물을 비교하는 모습은 다른 학생들에게 문제 상황에 구체적인 근거로 정당화해야 할 필요성이 있음을 전하는 인식론적 메시지로 작용했다. 이는 F와 G에게 공유되고(37~42번째 발화), G는 문제에 제시된 먹이그물의 식물성 플랑크톤이 광합성을 한다면 수중환경의 산소농도에 영향을 미치므로 고려해야 한다고 제기하는 등(43·45번째 발화) 구체적 설명을 구성하려 시도했다. 이는 문제에서 주요 단서가 되는 요소인 산소농도에 맞추어 설명의 초점을 좁혔다는 점에서, 단순히 먹이그물의 생물 종을 비교하던 이전의 모습에 비해 '현상을 설명해야 한다.'라는 생산적인 인식론이 학

17) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미하며, ( ) 안의 내용은 이해를 돕기 위해 연구자가 추가한 내용이다.

생의 실행으로 더욱 구체화된 것으로 해석할 수 있다.

학생들은 문제를 다시 읽으며 이 문항을 산소농도 감소에 따른 생태계 변화를 먹이그물의 복잡성을 기준으로 판단하는, 전형적인 문제로 생각했다(46~50번째 발화). 하지만, 이때 학생들은 처음에 근거 없이 답만 제시하던 모습(29번째 발화)에 비해 생산적인 인식론을 나타냈다. 학생들은 전형적인 설명으로는 답안이 충분하지 않다고 여겼고, 이 문제에 제시된 자료를 바탕으로 구체적 근거를 들어 정당화해야 한다는 인식론을 공유한 채, 문제 해결 시도를 지속했다(52~53번째 발화).

4.2. 공유된 인식론적 메시지에 따른 생태계 학습양상

위에 제시된 바처럼, 학생들은 맥락에 따라 소집단에서 특정한 인식론적 메시지를 공유했다. 그리고, 공유된 인식론적 메시지는 학생들의 표상화 과정에서 서로 다른 시스템 사고 출현을 촉진하였으며 학생들이 생태계의 시스템적인 속성을 학습하는 데 영향을 미쳤다.

생태계와 같은, 시스템을 주제로 하는 학습은 시스템을 이루는 개별 요소와 과정뿐만 아니라 이들 사이의 전체적 연관 관계, 그로 인해 나타나는 시스템 전체로서의 속성 등을 포함해야 한다(Assaraf & Orion, 2005a; Sweeny & Sterman, 2000; Westra, 2008). 소집단 활동 동안 학생들이 제시한 개념들은 영양소 순환(그림 Ⅲ-1, ①~⑤)을 이루는 모든 범주에 걸쳐 있었으며 교육과정(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015) 수준에서 영양소 순환을 설명하기에 적합했다(표Ⅳ-5). 이후에, 연구자는 개념들 사이의 연결을 추가적으로 탐색하기 위해 과제 수행과정에서 나타난 시스템 사고를 분석했다(그림 Ⅳ-4). 그리고 연구자는 물질순환에 대한 학습수준(표 Ⅳ-3)을 분석했다.

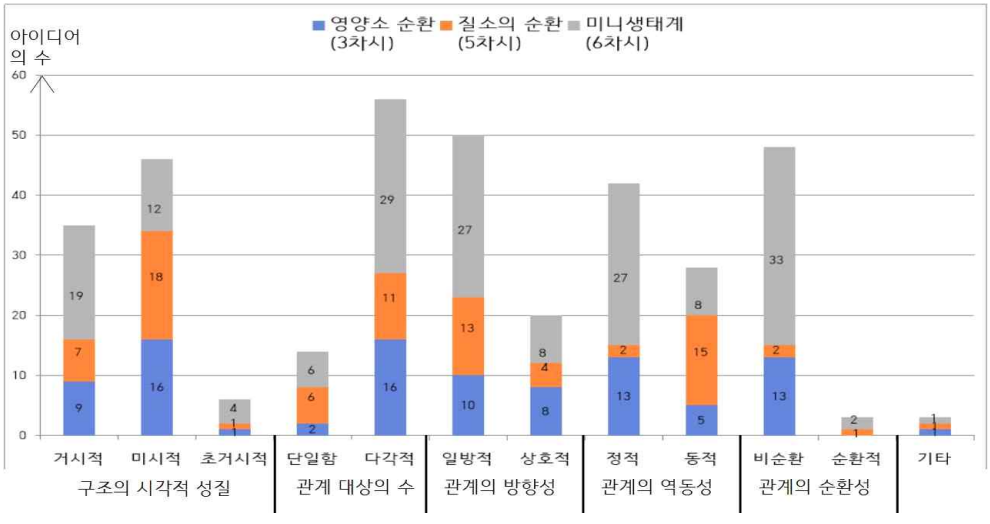
연구자는 생태계 소집단 활동 중에 학생들이 시스템 사고의 각 범주에 해당하는 구조·관계를 나타낸 수가 어떠한지 분석하였다(그림 Ⅳ-4). 학생들은 수업 과정 차시마다 다양한 속성의 시스템 사고를 표현했다. 학생들은 생태계 주제의 표상화 활동 과정 3차시(3·5·6차시) 모두에서 여

러 요소 사이의 관계를 연결하여 다각적 관계를 파악하는 경향을 보였지만, 이것이 역동적이거나 순환적 관계의 파악으로 발전되는 경우는 적었다. 수업 과정 동안 학생들은 그림에 시스템 구조들을 연결하여 순환적 관계를 이루는 일부 과정을 공통적으로 제시하였다(그림 Ⅳ-5). 예를 들어, 학생들은 생태계 주제의 표상화 활동(3·5·6차시) 모두에서 생물 요소 내에서, 혹은 생물에서 환경으로 이동하는 영양소에 대해 설명하였다(표 Ⅳ-5, 그림 Ⅳ-5).

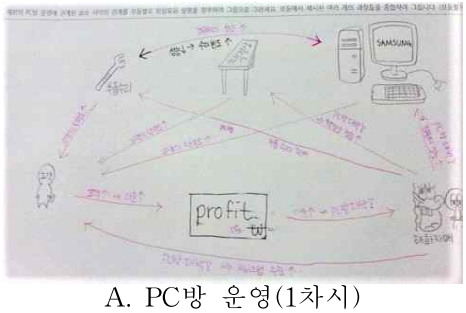
<표 Ⅳ-5> 수업 차시에서 학생이 제시한 영양소 순환 관련 개념

주제(차시) / 개념 범주	탄소 순환 (3차시)	질소 순환 (5차시)	미니생태계 (6차시)
환경에서 생물이 이용 가능한 양분으로 변환	광합성	공중방전, 질소고정, 질화작용	수증기의 응결, 물의 증발, 광합성
생물의 기체흡수·방출	광합성, 호흡, 발효	탈질소작용	광합성, 호흡
환경으로부터 생물로 영양분 획득	식물 뿌리의 무기물 흡수, 생물의 물 흡수	식물 뿌리의 무기물 흡수	식물의 물에 대한 적응
먹이그물	피식·포식	피식·포식	피식·포식, 생물군집의 개체 수 조절, 생물 다양성, 수분, 종자 산포
유기체의 무기물화	분해자의 활동	분해자의 활동	분해자의 활동
기타	토양의 물 정화·물 흡수, 식물의 지지 작용		동·식물의 이동성, 내성, 진화

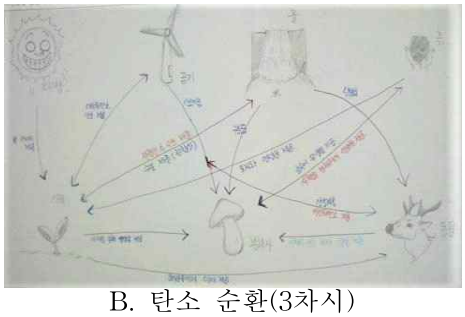
비록, 학생들이 생태계 표상화 활동에서 영양소 순환을 이루는 범주별 개념들을 제시했고(표 Ⅳ-5), 시스템 사고를 고르게 나타내어(그림 Ⅳ-4) 소집단 그림을 완성했더라도(그림 Ⅳ-5), 이것만으로 소집단 모든 학생



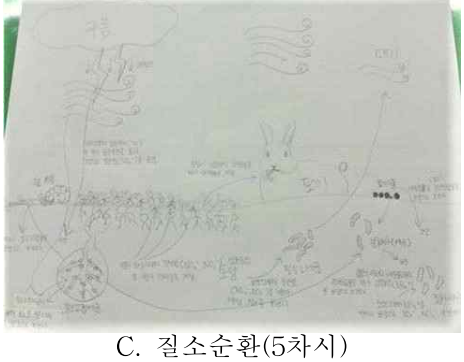
<그림 Ⅳ-4> 과제마다 학생들이 나타낸
시스템 사고의 속성별 빈도



A. PC방 운영(1차시)



B. 탄소 순환(3차시)



C. 질소순환(5차시)

D. 미니생태계 구성(6차시)

<그림 Ⅳ-5> 수업 과정 동안의 소집단 그림

이 영양소 순환 학습을 의미 있게 수행했다고 판단하기는 어렵다. 위의 자료만으로는 누구에게서 어떠한 의견이 제시되고 그러한 의견들이 어떻게 조직화 되었는지를 설명할 수 없기 때문이다. 따라서 학생들의 생태계 학습에 관한 탐색은 소집단 담화를 질적으로 주의 깊게 고찰함으로써 이루어졌다. 아울러, <표 Ⅳ-3>의 분석틀에 기반을 두어 학생들의 물질 순환 학습 수준에 관한 분석이 이루어졌다. 이때, 연구자는 하나의 아이디어 단위에 관한 학생들의 추론이 가시적인 현상의 기술에 그치는지, 가시적인 현상 이면의 감추어진 측면을 다루는지, 미시적 수준에서 옳은 과학 개념을 사용하여 화학적 변형을 설명하는지와 순환을 파악하는지에 따라 각 1~4수준으로 판별하였다.

분석결과, 소집단 학생들에게 공유되는 인식론적 메시지의 속성은 학생들의 시스템 사고, 그리고 이를 통한 개념의 연결과 밀접한 관계를 맺으며 학생들의 생태계 학습에 영향을 미치는 것으로 보였다. 결과에서는 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때와 생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때로 범주를 나누어 학생들의 생태계 학습양상을 기술하고자 한다.

4.2.1. 비생산적인 인식론적 메시지 공유에 따른 생태계 학습양상

비생산적인 인식론적 메시지가 소집단에 공유될 때에는 학생들이 낮은 수준의 시스템 사고를 하면서 생태계 학습이 제한되는 경향을 보였다. 예를 들어, 3차시 수업 초반에 학생들은 생태계를 구성하는 특정한 요소가 다른 요소들과 맺는 관계는 어떠한지를 표에 작성하며 두 요소 사이의 관계에 관한 사실적 정보만을 기술하였다. 이때, 학생들의 시스템 사고는 단일하고 일방적·정적 관계 파악에만 국한되었고, 학생들은 생태계에서 생물과 환경 요소가 맺는 관계를 인식하지 못했다(그림 Ⅳ-6).

<그림 Ⅳ-6>의 소집단 담화에서 학생들은 과제를 수행하는 방법은 어떠한 것인지에 관해 질문을 주고받았다(54~58번째 발화). E가 말한 “(활동지를 가리키며) 다 쓰래”, “없으면 안 써도 돼”라는 발화(55·63번

순서	말한 사람	발화내용	인식론적 메시지(속성)	시스템 사고
54	G	어떻게 하는 거래?	설명의 본성(비생산적)	
55	E	[활동지를 가리키며]다 쓰래.		
56	G	다 쓰래?		
57	E	어.		
58	F	[활동지를 가리키며] 그러니까 얘는 세 줄을 다 채워야 되는 거고 우리는 두 줄씩 채워야 하는 거고.		
59	E	[표를 작성하며] 태양이 공기한테 주는 거? 없는데….		
60	G	[표를 작성하며] 공기가 태양한테 주는 거….		
61	E	[표를 작성하며] 태양이 토양한테 주는 거? 땅을 따뜻하게 해준다.		단일한, 일방적 관계
62	G	너무 어렵다….		
63	E	없는 건 안 써도 돼.		
64	G	나 모르겠어.		
65	E	[표를 작성하며] 물이 태양한테 하는 거? 없어. 공기가 토양한테 하는 거? 없어. 물이 토양한테 하는 거…. 물이 토양? 물이 토양한테 뭘 해줘? 땅을 축축하게 해준다?		단일한, 일방적 관계
66	F	[표를 작성하며] 물이 토양한테 하는 거 뭐 있지? 뭔가 있을 것 같은데 생각이 안 난다. 토양이 공기한테 미치는 영향이 있나? 없지?		
67	G	[표를 작성하며] 공기도 토양한테 하는 게 없어.		
		...(중략)….		

<그림 Ⅳ-6> 비생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습양상[18]

째 발화), 이와 비슷한 의미의 F의 발화(58번째 발화)를 통해 추론할 때,

18) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미한다.

학생들은 '관계가 있는 대로 다 기술하라'라는, 설명의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지를 공유했다고 판단할 수 있다. 이는 학생의 인식적 실행에 영향을 준 것으로 보인다. 실제로, E(61·65번째 발화), F(66번째 발화), G의 발화(67번째 발화)로부터 학생들이 생태계 요소 사이에서 맺는 관계를 있는 대로 찾고 있으며, 유기 영양소의 이동에 초점을 두지 않는 상황임을 알 수 있다.

E가 전한 비생산적인 인식론적 메시지가 F, G에 공유된 이후, 학생들은 자신이 파악해야 하는 구성요소와 다른 요소 사이에서 어떠한 관계를 맺는지 주로 질문하며(59~67번째 발화), 구성요소 간의 관계를 탐색하였다. 예컨대, E는 시스템을 구성하는 두 요소 사이의 단일하고 일방적인 관계를 식별하는 등(61 · 65번째 발화) 시스템 사고를 드러내기도 했다. 그러나 이는 환경 요소 사이에서만의 관계 파악에만 머물렀고 생물과 환경 사이의 관계를 파악하는 것으로 확장되지 못했다. 예를 들어, '태양이 토양을 따뜻하게 한다'라는 발화는(61번째 발화) 토양 미생물에 미치는 영향을 고려하는 것으로 확장될 수 있었다. 이러한 생물과 환경 사이의 관계 파악은 생태계를 시스템으로 접근하여 학습하는 데 필수적이다(Hogan & Thomas, 2001). 그러나 학생들에게 공유된 비생산적인 인식론적 메시지로 인해, 학생들은 표에 제시된 두 요소 사이의 관계만을 파악하여 관계가 있는 대로 열거하는 데 머물렀다. 생물과 환경 사이의 관계를 파악하지 못하는 모습은 물질순환 학습의 가장 낮은 수준인 1수준(표 Ⅳ-3)에 해당한다. 그러므로 학생들의 물질순환 학습이 시스템의 속성을 거의 파악하지 못하는 수준임을 알 수 있다. 이는 학생들이 암석 순환에 대한 설명을 구성하는 동안 단지 '활동지를 채우는 것'으로 정보를 축적하는 데 초점을 맞출 때, 그들의 비생산적인 인식론이 학생들의 인식적 실행을 낮은 수준으로 이끌었다는 선행연구(Rosenberg *et al.,* 2006)의 결과와 맥락을 같이 하는 것이다.

<그림 Ⅳ-6>의 소집단 담화에서 학생들이 요소 사이의 간단한 관계를 파악한 것은 시스템 사고의 위계적인 속성을 감안하면 더 높은 수준의 시스템 사고 발휘를 위한 초석이 될 수 있다(Assaraf & Orion,

2005b). 하지만, 학생들에게 일상생활의 시스템 사고 도입 차시를 진행하여 과제 이해도를 높이고, 구성요소카드를 제공하여 환경과 생물 사이의 관계에 관한 개념적 지원을 했음에도 불구하고, 학생들은 자신이 파악한 관계를 생물과 환경 사이의 관계로 확장시키려 시도하지 않았다. 이러한 상황은 시스템 학습에서 학생들이 가진 인식론의 중요성을 강조한다.

종합하면, 학생들은 지식의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지를 공유할 때, 낮은 수준의 시스템 사고(예: 두 구성요소가 맺는 단일한 관계를 파악)를 할 수 있었다. 하지만, 학생들은 시스템의 행동방식에 관한 추가적인 연결 관계를 만들어 내지는 못했다. 그 결과, 학생들은 영양소 순환에서 '환경으로부터 생물이 영양소를 획득(그림 Ⅲ-1, ③)'하는 관계를 파악하지 못했다. 이에 따라, 학생의 학습 목표에 대한 개념 파악 양상은 지식들이 연결되지 못한 채 서로 분절화된 "지식의 섬(Assaraf & Orion, 2005b, p. 554)"으로 남게 되는 한계를 보였고, 물질순환 학습 수준도 가장 낮은 수준인 1수준(표 Ⅳ-3)에 머물렀다.

4.2.2. 생산적인 인식론적 메시지 공유에 따른 생태계 학습양상

생산적인 인식론적 메시지가 소집단에 공유될 때에는 학생들에게서 높은 수준의 시스템 사고가 나타나 심도 있는 생태계 학습이 촉진되는 경향을 보였다. 생태계 표상화 활동 과정에서 학생의 생산적인 인식론적 메시지는 주로 그림그리기를 시작하는 시점에 나타났다. 일례로, 그림그리기를 시작하며 소집단 학생들은 '현상(즉, 생태계의 물질순환)이 어떻게, 왜 일어나는지 설명해야 한다.'라는, 설명의 본성에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 공유했다. 이때, 학생들은 영양소 순환과 관련된 요소와 과정들을 추려냈으며, 그들 사이의 관계를 조직화하기 시작했다. 아울러, 학생들은 소집단에서 타당한 근거를 들어 정당화하려는 인식론적 메시지와 시스템의 속성으로 파악한 것을 다른 영역에 적용하여 일반화하려는 인식론적 메시지를 공유하여 생태계의 역동성을 다루는 추론을 지속했다. 이러한 과정에서 학생들에게 분절화되어 있던 생태계 개념들이 긴밀

한 관계 연결망으로 조직화되면서 학생의 물질순환 학습을 촉진하는 것으로 보였다. 그 과정을 구체적으로 탐색하면 다음과 같다.

1) 환경 요소가 물질순환에 미치는 관계 파악

학생들은 '과학적 현상이 어떻게 일어나는지 설명해야 한다'라는 인식론적 메시지를 공유하면서 환경 요소가 물질순환에 미치는 영향을 파악할 수 있었다. 환경 요소는 다양한 상태로 존재하여 사람의 눈에 보이지 않는 경우가 많다. 또한, 환경 요소 자체의 물질적 성질의 영향도 있지만, 에너지원으로 작용하여 생물에게 영향을 미치기도 한다. 학생들은 물질과 에너지를 구분하지 못하거나(Eilam, 2012) 보이지 않은 요소와 관계 파악을 잘하지 못하는 경향이 있다(권용주 등, 2011; 한진아와 최도성, 2013; Lee *et al.,* 2019). 이것은 생태계 이해를 제한하는 요인으로 작용할 수 있다. 본 연구에 참여한 학생들도 활동 초반에는 환경 요소가 생태계의 물질순환에 미치는 영향을 파악하기 어려워하는 모습을 보였으나, 생산적인 인식론적 메시지를 반복하여 나타내며 이러한 어려움을 극복하는 모습을 보였다. 3차시(영양소 순환 주제)에 학생들이 소집단에서 여러 구성요소 사이의 관계들을 탐색하는 소집단 담화에서 그러한 모습을 확인할 수 있었다(그림 Ⅳ-7).

G는 구성요소 사이의 관계 중에서 '생물이 영양소를 얻고 에너지를 내는 과정'에 관련된 것을 파악하려 했고(68 · 71번째 발화) 이에 대해 지속적으로 말하거나 다른 모둠원에게 질문하여 소집단에서 주의를 환기시켰다(74번째 발화). 이러한 G의 발화는 '생물이 영양소와 에너지를 얻는 과정에 환경 요소가 어떻게 관련되는지'에 대한 설명을 시도하는 인식론적 메시지로, 현재 진행 중인 활동의 초점을 변화시키고자 하는 것이었다.

다른 학생들이 수업 주제와의 관련성에 초점을 두지 않고, 생태계 구성요소 사이에서 맺을 수 있는 관계를 있는 대로 파악하려 하는 상황에서(69~70, 72~73번째 발화), G가 표현한 인식론적 메시지는 처음에는 소집단에 공유되지 않았다. 그러나, G가 계속하여 영양소의 이동과 환경

이 어떠한 관련이 있는지 설명하려는 인식론적 메시지를 표현하자 E는 영양소 합성과정의 에너지원으로써 환경의 역할을 설명하였다(77번째 발화). 이로 인해 G는 '태양'이라는 환경 요소가 생물에 미치는 영향을 에너지 측면에서 해석할 수 있음을 인식하였다.

순서	말한 사람	발화내용	인식론적 메시지 (속성	시스템 사고
68	G	[활동지를 보며] 영양소를 얻고 에너지를 얻는 과정….	설명의 본성 (생산적)	
69	F	[활동지를 보며] 땅을 어떻게 견고하게 하지?		
70	E	야, 그리자. 이것도 써야 해? 옆에는 번호 쓰고 이건 안 해도 될걸?		
71	G	[활동지를 보며] 영양소를 얻게 되는 과정이니까….		
72	F	이게 뭐야? 다 아니야?		
73	E	그거 그냥 여기 있는 거 쓰면 되는 거야. 안 써도 돼.		
74	G	야, 그런데 환경 요소가 영양소를 얻고 에너지를 낼 수 있어? 환경 요소…. 영양소를 얻고 에너지를 내는 과정이잖아.		
75	E	어.		
76	G	환경 요소는 다 못하지 않냐?		
77	E	에너지를 주잖아.		미시적 요소 파악, 단일한, 일방적 관계

<그림 Ⅳ-7> 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습양상(3차시)[19]

19) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미한다.

환경과 생물 사이 관계를 인식하는 것은 생태계를 시스템으로 접근하여 학습하는 것의 근간을 이룬다(Hogan & Tomas, 2001). 또한, Mohan *et al.*(2009)은 학생이 생물과 환경을 연결하여 인식하고 비가시적인 측면을 파악할 때 물질순환 학습 수준이 2수준에 해당한다고 제시한 바 있다(표 Ⅳ-3). 비생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때 물질순환 학습 수준이 가장 낮은 1수준에 머물렀음을(그림 Ⅳ-6) 염두에 두면, 생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때 물질순환 학습 수준도 향상되어 학생들이 생태계 학습에 더욱 의미 있게 임하는 것을 알 수 있다.

2) 생태계의 역동성을 반영하는 개념 파악

학생들은 소집단 활동 과정에 '생태계의 영양소 이동을 설명해야 한다'라는 생산적인 인식론적 메시지를 공유하며 임하는 동안, 개인이 혼자 설명할 수 없는 문제들에 직면하게 되었다. 이 상황에서 학생들은 정당화에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 공유하며, 다른 요소 사이에서 시간이 흘러가며 맺는 관계 파악 등 수준 높은 시스템 사고를 보여주었다. 이 과정에서 학생들에게 생태계의 역동성을 반영하는 개념에 관한 이해가 촉진되는 것으로 보였다. 6차시 수업 중에 학생들이 소집단에서 먹이그물의 최고차 소비자인 참새의 개체 수가 조절되는 방안을 논의한 담화에서 이러한 모습을 볼 수 있다(그림 Ⅳ-8).

<그림 Ⅳ-8>의 담화에서 학생들은 자신이 구성한 생태계에 참새의 포식자가 없음을 파악했다(78~79번째 발화). 이에 F는 참새의 포식자가 없으면 참새 개체 수가 점차 늘어나므로, 참새 개체 수가 조절되는 합당한 근거를 들어야 미니생태계에 참새를 넣을 수 있다는 의견을 표현했다(80번째 발화). 이러한 상황은 학생들이 생물의 영양단계에서 바로 위나 아래 수준에만 생물적 인과관계를 언급하는 경향이 있다는 선행연구의 결과(Hogan & Thomas, 2001)와 맥락을 같이한다. 그러나, 이 발화는 E와 G에게 참새를 포함하기 위해 참새의 개체 수 조절에 관한 근거를 들어 정당화하라는, 생산적인 인식론적 메시지로 전달되었다. 이에 따라,

순서	말한 사람	발화내용	인식론적 메시지 (속성	시스템 사고
78	E	[그림에서 참새의 먹이들을 가리키며] 아, 그러네. 참새가 얘네들도 먹을 거 아니야.	정당화 (생산적), 지식의 본성 (생산적), 설명의 본성 (생산적)	일방적, 다각적 관계
79	G	어, 다 먹지.		
80	F	그럼 참새를 누가 먹어? 네가 먹어?		일방적, 단일한, 정적 관계
81	G	아, 참새가….		
82	E	[웃으며] G가 먹는 거로….		
83	G	참새를 먹을 게 없네.		
84	F	아, 참새를 먹을 거 필요 없어.		
85	G	참새 독버섯 먹고 죽으래.		정적, 일방적, 단일한 관계
86	E	맞아, 맞아.		
87	F	선인장에 찔려죽던가 그런 거로 해라.		정적, 일방적, 단일한 관계
88	E	독버섯이랑 같이 가래. 아, 몇 년 지나면 독버섯에 대한 내성 생겨.		동적, 일방적, 단일한 관계
89	F	[그림에서 참새를 가리키며] 아, 맞아 얘도 진화하는 거 아니야, 그러면? …중략….		동적, 일방적, 단일한 관계
90	F	그런데 참새가 여기선 갑이네 제일 센데….		
91	E	참새를 어떻게 처리해야 하는데…. 그런데 참새 넣는 게 제일 좋아. …중략…		
92	F	'참새를 누가 잡아먹을까?'는 걱정 안 해도 돼. 동물들 간의 상호작용 그거 때문에….		상호적 관계
93	E	그래.		
94	F	스라소니랑 눈신토끼처럼 알아서 줄어들어.		동적, 상호적 관계
95	E	[그림에서 참새의 먹이들과 참새를 순서대로 가리키며] 얘들이 줄어들면 얘들도 줄어들 거야.		동적, 상호적 관계

96	F	개체 수가 조절돼.		동적, 상호적 관계
97	E	[그림에서 참새를 가리키며] 그런데 그렇게 따지기엔 얘가 너무 먹을 게 많아.		다각적 관계
98	G	다 먹어.		다각적 관계
99	E	다 먹잖아.		
100	F	아, 그러네. 아 그러네. 다 먹네.		다각적 관계
		[그림에서 참새의 먹이들을 가리키며] 그러면 셋 다 줄어들 때까지 먹고 줄어들어?		동적, 상호적 관계
		…중략….		

<그림 Ⅳ-8> 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습양상(6차시)[20]

소집단에서 학생들이 참새 개체 수 조절 방안을 탐색하게 되는 계기를 마련했다(81~83번째 발화). 이때부터 학생들은 최고차 소비자의 개체 수 조절에 관한 근거를 각자 들면서 협력적으로 이를 설명하고자 했다. 이는 설명의 본성에 관한 생산적인 인식론적 메시지에 해당한다. 활동지에는 참새의 포식자가 생태계 구성요소 후보 목록으로 제시되지 않았기 때문에, F는 참새를 먹는 생물이 없어도 참새 개체 수 조절을 설명할 수 있다는 의견을 제시했다(84번째 발화). 이것은 참새 개체 수 유지를 설명하는 방안으로 참새의 포식자를 포함시키는 것 외의 다른 방법을 모색해야 한다는 인식론적 메시지로 작용했다. 학생들은 F의 의견(84번째 발화)을 받아들이고 참새가 독버섯을 먹고 죽거나(85번째 발화) 선인장에 찔려 죽는 등(87번째 발화)의 관찰 가능한 근거로 참새의 개체 수 조절을 설명했다. 하지만, 이러한 초기 설명은 한 요소가 다른 요소에 미치는 짧은 시간 동안의 변화만을 고려하는 제한적인 설명이었다.

E와 F는 내성이나 진화라는 과학적 근거를 들어 제한된 설명을 제시했던, 이전의 주장(85·87번째 발화)을 반박했다(88~89번째 발화). E와 F의 반박은 광범위한 시간에 걸친 변화를 반영하는, 수준 높은 시스템 사

20) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미한다.

고를 포함한다. 또한, E와 F의 반박은 '참새를 생태계 구성요소로 포함시키려면 개체 수의 장기적 변화를 설명할 수 있는, 타당한 근거를 제시해야 한다'라는 정당화에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 내포한다. 이후 학생들은 참새의 개체 수 조절에 관한 타당한 설명이 필요함을 인식론적 메시지로 제시하며(91번째 발화) 타당한 근거를 찾고자 했다.

이 상황에서 F는 긴 시간을 아우르는 피식자-포식자 사이 먹고 먹히는 관계를 근거로 참새 개체 수 조절을 새롭게 설명하였다(92·94번째 발화). 해당 의견은 광대한 시간 규모를 다루는 높은 수준의 시스템 사고를 반영한다.

비록 F가 제시한 설명이 교과서에 제시된 내용이었지만, F는 이러한 설명이 소집단에서 구성한 생태계에 어떻게 적용되는지 말하지 않았다. 이러한 F의 의견에 E는 소집단에서 만든 먹이그물에서 참새의 먹이가 여러 종임을 제시하고, 이것이 교과서에 제시된 '눈신토끼와 스라소니' 같은 먹이사슬이 아니므로 F의 설명이 적용될 수 없다고 반박하였다(97번째 발화). 이러한 E의 발화는 '지식이 교과서에 적힌 내용 형태로 고정되어 있다'라는 인식을 뛰어넘는 것이다. 이는 소집단에서 '자신이 구성한 먹이그물이 어떻게 유지되는지 설명'하는 것으로 '스스로 지식을 구성해야 한다'라는 지식의 본성과 설명의 본성에 관한 생산적인 인식론적 메시지에 해당한다. 아울러, 이는 정당화의 필요성을 제시하였으므로 정당화에 관한 생산적인 인식론적 메시지이기도 하다. 이 발화는 학생들이 복잡한 먹이그물을 구성하는 생물 한 종류의 개체 수 조절 방안은 무엇인지 고민하는 계기가 되었다.

그리고 F는 참새가 자신의 먹이인 세 종류의 생물을 먹어서, 먹이가 모두 충분히 감소한 후에, 먹이 부족으로 인해 참새 개체 수가 감소한다고 설명했다(100번째 발화). 이 설명은 먹이그물을 구성하는 여러 구성요소 사이에서 시간의 흐름에 따라 상호적인 관계가 어떻게 될지 고려하는 시스템 사고를 포함한다. 시스템에서 "사건들 사이의 상호작용을 식별하고 하나의 변화가 이끄는 결과를 예측하는 것은 시스템의 역동성을 이해했음(Sommer & Lücken, 2010, p.127)"을 대변한다. 이러한 점으로

미루어볼 때, F의 의견으로부터 그가 시스템을 이루는 여러 요소 사이에서의 역동성을 파악한 것으로 판단할 수 있다. 비록 이 의견은 옳지 않지만, 생태계 개념을 긴 시간에 걸쳐 일어나는 비선형적인 과정으로 이해하는 것은 복잡하고 어려운 점이라는 것을(Carlsson, 2002) 고려할 때, 학생들이 스스로 생태계의 다각적이며 역동적인 측면을 파악했다는 점은 의의가 있다.

그렇기에 위의 소집단 담화는 '학생들이 지식과 설명의 본성, 정당화에 관한 인식론적 메시지를 주고받으며 생태계의 시스템적인 측면을 학습했다'는데 의의가 있다. 학생들은 서로 제시하는 주장에 관한 정당화를 요구했다. 그리고, 학생들은 모둠원의 정당화 요구를 충족시키기 위해 타당한 근거로 정당화하기 위해 노력하면서 더 높은 수준의 시스템 사고를 했고 생태계의 다각적· 역동적 측면에 대한 이해가 촉진되는 것으로 보였다.

아울러, 개체 수 조절과정에서 하나의 변수가 다른 변수에 영향을 미치는 피드백을 설명하는 역동적 관점은 생태계의 미래 예측에 필요하고 순환적 관계 파악의 근간을 이룬다(Westra, 2008). 이러한 선행연구의 결과로 미루어볼 때, 이때 학생들의 물질순환 학습 수준은 순환의 기초를 이루는 피드백을 식별했다는 점에서 4수준의 근간을 이루는 상황이라 볼 수 있다(표 Ⅳ-3). 이러한 사례로부터 인식론적 메시지와 생태계 학습이 밀접하게 관련되어 서로를 발전시키는 관계임을 알 수 있다.

3) 생태계를 이루는 다양한 순환과 공간 규모 파악

학생들이 정당화에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 공유할 때, 시스템이 가진 속성을 여러 다른 대상에 일반화하는 경향이 나타났다. 정당화나 일반화의 본성에 관한 생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때, 소집단 학생들은 생태계를 이루는 다양한 순환 및 공간적 규모에 관한 개념을 학습하는 모습을 보였다. 그 사례로, 6차시에 학생들이 그림에서 물의 위치를 논의하는 소집단 담화를 들 수 있다(그림 Ⅳ-9).

순서	말한 사람	발화내용	인식론적 메시지 (속성)	시스템 사고
101	E	그런데 물이 위에도 있어야 해.	정당화 (생산적) 일반화 (생산적)	역동적, 순환적 관계
102	F	증발하지 않을까?		
103	E	야, 이 생태계가 유지가 되려면 구름이 있어야 하거든. 비가 내려야 해. 그리고, 그러면은 땅을 맨 아래에다 그리고 여기 위에다가 물이 살짝 떨어지는 것처럼 하고 구름을 그리자.		
104	G	구름이 그려질까?	지식(비생산적)	
105	F	구름을 어떻게 마음대로 그려.		
106	G	구름이 (활동지의 선택사항 중에) 없잖아.		
107	E	물 때문에 구름이 생긴다고 하면 되지.	지식(생산적) 정당화 (생산적) 일반화 (생산적)	역동적, 순환적 관계
108	F	[활동지에 제시된 미니생태계를 가리키며] 여기에서 구름 절대 안 생겨. 너무 조그마해.	지식(비생산적)	정적 관계
109	E	엄청나게 큰 거로 하면 되지. [활동지에 제시된 미니생태계를 가리키며] 너 요만한 거에 참새 넣을 수 있어?	지식(생산적) 정당화 (생산적) 일반화 (생산적)	역동적 관계
110	F	하하하…. 그건 그렇지.		
111	E	그래, 엄청 큰 거로 하면 돼.		
112	F	그냥 지구를 그리자. 그냥 지구를 그리자.		역동적 관계
113	E	이걸 지구 개념으로 생각해야 해. 이게 스몰 지구야. 스몰 지구.		역동적 관계
114	G	그러네.		
		...[중략]….		

<그림 Ⅳ-9> 생산적인 인식론적 메시지 공유 시 생태계 학습(6차시)[21]

E는 소집단 그림에서 물의 위치가 아래쪽에만 있는 것을 보고 위쪽에도 생물들이 있으므로 물이 있어야 한다고 지적했다(101번째 발화). F는 물이 위쪽에 있다면 태양열로 인해 증발하게 된다며 반박했다(102번째 발화에서). 이는 물을 그림에서 공기 쪽에 위치시키기 위해 타당한 근거를 요구한다는 점에서 정당화를 요구하는 생산적인 인식론적 메시지라 볼 수 있다. E는 물은 시간의 흐름에 따라 구름이나 비가 되어 공기가 있는 위치에 존재할 수 있다는 근거로 F의 주장을 반박했다(103번째 발화). 103번째 발화는 물의 순환과정을 의미한다. 그리고 E가 생태계 유지를 위해서는 탄소화합물·질소화합물(3·5차시 수업 주제)뿐만 아니라, 물의 순환이 필요함을 파악한 것으로 판단된다. 따라서 E의 주장은(103번째 발화) 생태계에서 파악했던 순환 개념을 지구과학 교과 영역의 물의 순환에 적용했다는 점에서 일반화에 관한 인식론적 메시지로 볼 수 있다. 구름을 그리자는 의견에 F와 G는 활동지에 없다는 근거를 들어 반박했다(104~106번째 발화). 이는 학생들이 지식의 근원으로 활동지에 제시된 개념과 같은, 권위에 의존함을 나타내는 비생산적인 인식론을 내포하는 인식론적 메시지라 볼 수 있다. 그러자 E는 자신의 주장을 정당화하기 위해 물의 순환과정 일부를 근거로 들었다(107번째 발화). 107번째 발화 역시 물의 순환(지구과학 분야)이 공기에 서식하는 생물 유지를 위해 필요함을 나타낸다. 이는 시스템의 속성(순환)을 서로 다른 내용 영역(지구과학)에 적용한 설명이므로 일반화에 관한 생산적인 인식론적 메시지이다. F와 G는 E의 의견을 듣고 그림에 구름을 그릴 수 있다고 동의했다. 이러한 소집단 담화로부터 정당화·일반화에 관한 생산적인 인식론적 메시지가 공유되었을 때, 학생들이 '시스템 내 순환적 관계'라는 특성을 지구과학 분야에 적용하는 등, 수준 높은 시스템 사고를 할 수 있음을 보여준다(103·107번째 발화). 그 결과 학생들은 주로 탄소나 질소 관점에서 순환을 파악했던 이전 차시의 모습에 비해, 생태계 내 다양한 순환이 존재함을 인식하는 등 높은 수준의 시스템 사고를 보였다.

---

21) 단, [ ]안의 내용은 발화 시 행동을 의미하며, ( ) 안의 내용은 이해를 돕기 위해 연구자가 추가한 내용이다.

또한, 일반화에 관한 생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때 학생들이 공간적 사고를 하게 되며, 그들이 생태계를 이루는 공간적 규모를 파악하도록 촉진된 것으로 보였다. 예를 들어, <그림 Ⅳ-9>의 담화에서 F는 활동지에 제시된 미니생태계 사진의 규모가 작으므로 소집단에서 구성하는 생태계에 구름을 그릴 수 없다고 반박했다(108번째 발화). 이러한 상황은 F가 자신이 만드는 미니생태계가 활동지에 제시된 것과 같은 작은 모형이라 인식하는 점에서 비생산적인 인식론적 메시지를 전한다고 볼 수 있다. 이러한 문제는 학생들에게 만연하게 관찰되는 것으로, 표상을 활용한 생태계 수업에서 학생들이 표상과 실제 생태계를 혼동하여 인식하는 문제점은 선행연구에서도 제시된 바 있다(Eilam, 2013). 그러자 E는 소집단에서 만든 미니생태계 구성요소들의 서식지가 광활하다는 이유로 소집단의 생태계 규모가 광대해야 함을 주장했고(109번째 발화) 다른 학생들도 이를 인정하였다(110~114번째 발화). 특히, F의 주장(112번째 발화) 제시 후, 학생들은 소집단에서 구성하는 미니생태계가 지구의 축소판과 같다는 주장에 동의했다. 이로부터 학생들 사이에서 지구시스템 유지 기작과 소집단에서 구성한 미니생태계 유지 기작이 동일하다고 일반화하는, 생산적인 인식론적 메시지가 공유되었음을 알 수 있다. 또한, 위에 제시된 소집단 담화 사례(108번째~114번째 발화)는 학생들이 소집단에서 주고받는 생산적인 인식론적 메시지의 공유를 통해 학생들이 생태계 교육에서 표상과 현실을 서로 혼동한다는 우려(Eilam, 2013)를 감소시킬 수 있다는 가능성을 시사한다. 아울러, 이 담화에서 반박이나 설명의 근거로 제시된 현상은(예: 물의 순환과정, 생태계의 공간적 규모) 미시적·가시적·광대한 시각적 범위를 아우르며 순환적 관계 파악을 나타낸다는 점에서 학생들의 물질순환 학습 수준이 가장 높은 4수준(표 Ⅳ-3)에 도달했다고 볼 수 있다.

5. 논의

본 연구는 고등학생들의 생태계 학습을 그들이 협력적 표상화 활동에

임하면서 서로 주고받은 인식론적 메시지와 관련지어 탐색했다. 수업 과정 동안 학생들은 소집단에서 생태계를 주제로 구성요소 사이의 관계를 파악하여 표로 나타내고, 파악한 관계들을 통합하여 그림을 그리는 활동을 4차시에 걸쳐 수행했다. 소집단 표상화 활동이 이뤄진 차시별 수업 주제는 1차시는 PC방 운영, 3차시는 탄소 순환, 5차시는 질소순환, 6차시는 미니생태계 구성이었다. 그 결과, 학생들은 소집단 활동에서 서로 인식론적 메시지를 주고받으며 특정한 인식론적 메시지를 공유하는 모습을 보였다. 학생들은 성적이 우수한 학생(표 Ⅳ-1, E)의 인식론적 메시지를 주로 수용하는 모습을 보였다. 예를 들어, F는 G와 함께 시스템 요소 사이의 관계를 탐색하다가도 이내 E가 제시한 설명의 본성에 관한 비생산적인 인식론적 메시지를 수용하고 G와의 대화를 중단했다(그림 Ⅳ-1). E의 인식론적 메시지를 무조건 수용하는 모습은 과제에서 요구하는 추론이 사실적 정보 확인에 머무르는 등 단순하거나(그림 Ⅳ-1), 활동시간이 제한된 상황에서(그림 Ⅳ-2 후반부) 더욱 극명히 나타났다. 반면, 그림그리기처럼 과제에서 요구하는 추론의 복잡성이 높은 경우(그림 Ⅳ-2 초반부), 혹은 E가 과제의 답에 자신 없는 모습을 보이고 그럴듯한 반론이 제기되는 상황(그림 Ⅳ-3)에서는 다양한 학생의 인식론적 메시지가 나타났다. 그리고 학생들이 그것의 타당성을 평가하는 모습이 나타나, 학생들 사이에서 더욱 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 계기가 되었다. 이러한 결과는 개방적인 질문이 학생들에게 자신의 추론에 대해 설명할 것을 요구하여 학생들로 하여금 자신의 주장을 정당화하게 하고, 이는 생산적인 인식론 조성으로 이어질 수 있다는 선행연구(Bing & Redish, 2009)의 결과와 맥락을 같이 한다.

소집단에 조성된 인식론은 학생들의 표상화 활동을 안내하는 목표나 전략 설정에 영향을 미침으로써 학생들의 생태계 학습에 영향을 미치는 것으로 보였다. 우선, 소집단에 비생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때 학생들은 두 요소 사이의 관계만을 파악하는 전략을 수행하는 가운데 낮은 수준의 시스템 사고를 보였다(그림 Ⅳ-1). 그 결과 학생들이 환경 요소들 사이에서 맺는 관계를 파악하더라도, 그것이 해당 환경에 서식하

는 생물과 맺는 관계 파악으로 확장되지 못했다. 학생들에게 구성요소카드를 제공하여 환경과 생물 사이의 관계에 관한 개념적 지원을 했음에도 불구하고, 학생들은 자신이 파악한 관계를 생물과 환경 사이의 관계로 확장시키려 시도하지 않았다. 이러한 상황은 시스템 학습에서 학생들이 가진 인식론의 중요성을 강조한다. 또한, 이러한 모습에서 학생들이 생물과 환경 요소를 서로 분리시켜 생각하는 것을 볼 수 있는데, 이는 물질순환에 관한 가장 낮은 학습 수준에 해당한다(표 Ⅳ-3). 생태계 학습은 생물군집의 다양성을 환경 요소와 관련지어 파악하는 것을 포함해야 하며(Hjorth, 2002) 환경과 생물 요소 사이의 관계 파악은 생태계를 시스템으로 접근하는 방식의 근간을 이룬다(Hogan & Thomas, 2001). 이러한 측면에 기반을 두면, 학생들에게 비생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때 생태계의 시스템적인 측면에 관한 학습이 제한되는 것으로 볼 수 있다.

반면, 생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 상황에서 학생들은 높은 수준의 시스템 사고를 나타내며, 생태계의 시스템적인 측면에 관한 학습이 촉진되어 물질순환 학습 수준이 상대적으로 높게 나타났다. 구체적으로 말하면, 현상에 관한 설명을 요구하는 생산적인 인식론적 메시지가 공유되었을 때 학생들은 환경 요소가 생물 요소에 미치는 영향을 파악할 수 있었다(그림 Ⅳ-7). 또한, 학생들은 정당화와 설명·지식의 본성에 관한 생산적인 인식론적 메시지를 공유하며 생태계의 역동성을 파악할 수 있었다(그림 Ⅳ-8). 그리고 학생들은 정당화와 일반화를 촉구하는 인식론적 메시지를 공유할 때 시스템의 속성을 지구과학 영역에 일반화하여 파악하는 등 높은 수준의 시스템 사고를 하며 생태계의 순환이나 광대한 공간적 규모를 파악할 수 있었다(그림 Ⅳ-9). 생태계를 시스템으로 파악하는 것이 시스템의 규모를 달리하며 나타나는 현상을 이어나가는 것(Verhoeff *et al.,* 2008), 생태계의 역동성을 파악하는 것(Westra, 2008)을 포함한다는 측면에 기반을 두면, 생산적인 인식론적 메시지를 공유한 상황에서 학생들이 생태계의 시스템적인 속성에 더욱 접근했다고 판단할 수 있다.

본 연구의 결과는 Ⅲ절의 연구 결과를 확장하는 것이다. Ⅲ절의 연구는 학생들의 외적 표상화 활동 과정 중에서 그들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 과정을 탐색했다. 그 결과, 외적 표상화를 통해 모둠원의 사고가 가시화되자 학생들은 모둠원의 사고를 반성하며 메타인지를 나타냈다. 그리고, 학생들은 메타인지에 기반을 두어 과제를 해결하는 전략을 수정하였다. 그러한 과정에서 소집단에서 구성 중인 표상은 인지처리과정의 도구로 활용되었다. 학생들은 소집단 표상을 활용하여 시스템에서 중요한 본성에 접근하여 그것을 파악하는 전략을 수립하고 실행하는 것으로 보였다. 더 나아가, Ⅲ절의 연구 결과에서 학생들의 메타인지는 그들의 인식론과 관계가 있는 것으로 보였다. 학생들이 자신의 그림을 반성하면서 과제를 하기 위한 전략을 세우는 가운데 '활동지에 없는 내용이라고 해도 현상을 설명하는 데 적합하다면 근거로 채택'하는 생산적 인식론이 드러났기 때문이다(그림 Ⅲ-8). 본 연구 결과에서도 학생들이 생산적인 인식론을 갖는 경우 스스로 과제수행이 잘 되는지에 관한 메타인지를 드러내며 타당한 의견을 탐색하는 모습이 드러났다. 1차시에 학생들이 소집단에서 만든 그림을 보고 "너무 복잡한데…."라고 메타인지적 경험을 표현하며 자신의 그림에 문제의식을 제시하고 이를 구체적으로 설명하려 시도한 점에서 이를 파악할 수 있다(그림 Ⅳ-2 초반부). 더 나아가, 본 연구 결과는 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 맥락을 그들 사이의 사회적 상호작용 속에서 탐색하였고, 이것이 궁극적으로 학생들의 생태계 학습과 어떠한 관계가 있는지 고찰하였다.

학생들이 생태계의 시스템적인 측면 학습에서 나타내는 여러 어려움(Grotzer & Basca, 2003; Hogan & Fisherkeller, 1996)이 지속적으로 제시된 가운데, 학생 주도적인 외적 표상화 활동으로 높은 수준의 시스템 사고를 표현했다는 점은 시스템 교육을 위한 제언을 과제 측면에서 제시한다는 의의가 있다. 그러나 학생들의 시스템 사고를 촉진하도록 주의깊게 과제를 설계하여 제시한 것만으로는, 학생들이 수업 과정 초반부터 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있었던 것은 아니었다. 수업 과정 초반에 학생들이 생태계 내 요소와 관계들을 생태계가 지닌 시스템적인 특

징과 관련짓지 못했던 사례로부터 이를 추론할 수 있다(그림 Ⅳ-1). 이러한 어려움을 극복하는 과정에서 어떠한 인식적 실행이 나타나며, 그러한 인식적 실행을 이끄는 요소는 무엇인지 학생의 인식론과 관련지어 다룬 연구는 극히 드물다. 이에 기반을 두어, 본 연구의 결과를 통해 얻을 수 있는 의미에 대해 논의하고자 한다.

첫째, 본 연구의 결과는 학생들의 인식론과 인지적 과정이 밀접히 상호연관되어 드러나며, 메타인지도 이러한 상호연관 내에서 기능함을 구체적으로 밝혔다. 본 연구의 참여 학생들은 그림을 통해 자신의 사고를 반성하여 '과제전략이 잘못되었다'라는 메타인지를 드러냈다. 그리고 이 경우에 과제전략 중에 무엇이 잘못되었는지를 파악하여 이를 타당하게 설명하려 하는 등 생산적인 인식론을 보였다(그림 Ⅳ-2 초반부). 이는 학생들의 성공적인 메타인지 과정 수행이 그들의 성공적인 인식적 과정 수행을 이끄는 잠재성이 있다고 보는 선행 연구와(Collins & Ferguson, 1993) 맥락을 같이 한다. 이러한 점으로 미루어 판단하면, 본 연구에서는 학생들이 소집단 그림을 활용하여 시스템을 학습하는 과정에서 학생들에게 스스로의 학습을 조절하는 메타인지가 촉발되었다. 그리고, 이는 학생들이 생산적인 인식론을 조성하는 과정과 함께 나타나는 경향이 나타났다. 이는 개인의 인식론이 학습자의 반성적인 추론(reflective reasoning) 능력에 영향을 미칠 수 있으며(King & Kitchener, 1994), 더 나아가 과학적 사고와 추론 능력 및 구성주의 학습에 대한 인식과도 관련된다(Tsai, 2002)는 선행연구의 결과와 맥락을 같이 하는 것이다. 본 연구의 결과는 개인의 인식론과 인지적 과정이 밀접히 관련되며 상호작용한다는 선행연구의 결과(Jiménez-Aleixandre, 2014)에서 더 나아가, 메타인지 과정과 인식론이 관련되어 상호작용함을 시스템 교육맥락에서 밝혔다.

둘째, 본 연구의 결과는 학생들의 인식론적 메시지를 통해 학생 주도적으로 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 사례를 보였다. 본 연구에서 학생들은 그럴듯한 반론이 제안되는 상황에서 다양한 인식론적 메시지를 표현했으며, 그것 중 타당한 의견(즉, 생산적인 인식론적 메시지)이 소집단에 공유되었다(그림 Ⅳ-3). 이러한 모습은 교육과정에서 인식론이

교사에서 학생으로 전달되는 것으로 보았던 선행연구의 관점(Ke & Schwarz, 2021; Russ, 2018)을 확장하는 것이다. 학생들에게 생산적인 인식론을 조성하는 방안을 모색하는 연구는 궁극적으로는 학생들이 상호작용하여 서로의 사고를 이해하고 그것이 학생들의 생산적인 실행으로 이어지는 것을 목표로 한다(Alvarado *et al.,* 2014). 본 연구는 이러한 선행연구와 맥락을 같이 하며, 학생들이 주체가 되어 상호작용하는 가운데 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 구체적인 사례를 제공하므로 이러한 목표에 접근할 수 있다는 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

셋째, 본 연구의 결과는 소집단 활동 과정 동안 학생 사이에서 다양한 인식론적 메시지가 출현할 때 생산적인 인식론적 메시지가 수용되는 맥락에 관한 정보를 제공한다. 선행연구(Ke & Schartz, 2021)에서 인식론적 메시지는 교사에서 학생에게 전달되는 관점에서 보았기에, 학생들 사이에서 서로의 인식론적 메시지가 수용되는 맥락에 관해 다루지 않은 한계가 있었다. 그러나 최근에는 학생이 인식적 주체가 되는 능동적 학습을 강조하기에(González Howard & McNeill, 2020) 본 연구는 학생 스스로 인식론을 조성하는 맥락을 인식론적 메시지와 관련지어 제시한다는 강점이 있다. 본 연구에 참여한 학생이 제시한 인식론적 메시지는 그들이 제시한 과학 개념에 비하면 학업성취수준과의 상관관계가 적은 편이었다. 이러한 결과는 학업성취수준이 더 낮은 학생들이 지식이 합리적인 추론 때문에 형성된다고 믿는 등 생산적인 인식론을 보였다는 선행연구의 결과(윤초희, 2010)와 맥락을 같이 한다.

그러나, 성적이 낮은 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 제시하더라도 소집단에 공유되지 않고 성적이 높은 학생의 인식론적 메시지를 수용하는 한계가 종종 나타났다. 이러한 상황은 활동시간이 부족하거나 답이 뻔한 과제, 단순히 사실적 정보 확인만 요구하는 과제에 임하는 상황에서 주로 발생했다. 이 모습은 인식적 권위자인 교사로부터 학생으로 지식이 전달되는 양상의 강의식 수업이 많은 전통교실의 문화를 반영한 것으로 보인다. 결과적으로, 이는 학생들이 생산적인 인식론을 갖도록 조성하기 위해서 전통적 교실문화의 개선이 함께 수반되어야 함을 시사한

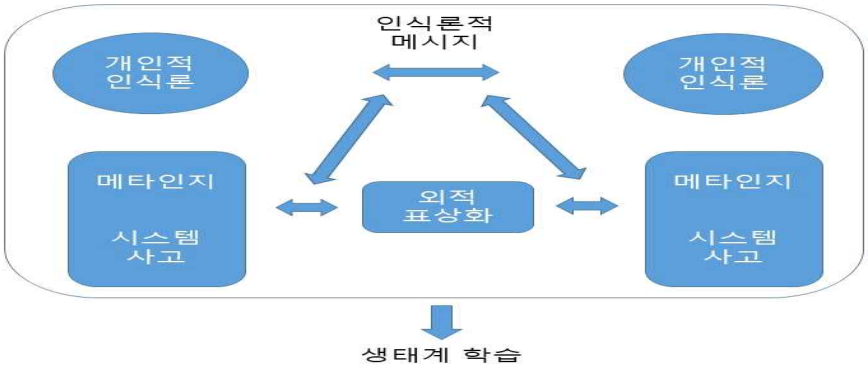
다.

반면, 개방적인 과제(6차시)나 전형적이더라도 새로운 용어로 질문한 과제의 경우(3차시)에는 성적이 우수한 학생도 자신 없어 하는 모습을 보였다. 이러한 상황은 소집단 내 인식적 권위가 분산되게 하였다. 그 결과, 다른 학생들이 표현한 다양한 인식론적 메시지 중에 타당한 것이 소집단 내 공유되어 다양한 개념이 제시되고, 생태계의 여러 측면을 탐색하는 계기가 되었다(그림 Ⅳ-3). 이 사례는 소집단 활동에서 학생들이 생산적인 인식론을 공유하기 위한 과제 설계에서 질문의 개방성이 중요함을 제시하는 기존 연구들에(McNeill & Pimentel, 2010; Nystrand, Wu, Gamoran, Zeiser & Long, 2003) 추가적인 사례를 제시한다고 볼 수 있다.

마지막으로, 본 연구의 결과는 학생들의 인식론이 생태계의 시스템적인 측면에 관한 학습에 영향을 미치는 과정을 구체적으로 제시한다. 학생들의 시스템 사고 촉진을 위해 이뤄졌던 기존 연구는 양적인 서술이 주를 이루거나(Assaraf & Orion, 2005b), 질적인 서술도 학생의 결과물에 관한 해석이 주를 이루어(Evagorou *et al.,* 2009) 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 구체적으로 제시하지 못한 한계가 있었다. 반면, 본 연구에서는 학생의 시스템 사고가 촉진되는 과정을 학생들이 공유하는 인식론적 메시지와 관련하여 상세하게 제시하는 강점이 있다. 본 연구의 매 수업 차시에서 학생들은 생태계의 영양소 순환을 이루는 개별 범주 모두에 관한 주요 개념들을 제시하였기에(표 Ⅳ-5), 그들은 시스템 사고를 통해 개념들을 조직화하는 정도에 따라 각기 다른 수준의 생태계 학습을 한 것으로 보인다(Grotzer & Basca, 2003). 그런데 학생들은 소집단에 생산적인 인식론적 메시지가 공유될 때, 생태계의 현상을 타당한 근거로 설명하고자 추론을 지속했다. 이 과정에서 학생들은 생태계의 시스템적인 속성에 주의를 기울이게 되었고, 이때 그들에게 높은 수준의 시스템 사고가 나타났다. 그리고, 학생들에게 높은 수준의 시스템 사고가 나타나는 경우 그것을 학생들이 외적으로 표상화하는 가운데 생태계의 시스템적인 측면이 가시화되어, 학생들이 이를 제대로 학습

(Medina & Suthers, 2013)하는 계기가 되었다. 예컨대, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 할 때 물질순환에 관한 학생들의 추론 수준도 높게 나타나는 것으로 보였다(그림 Ⅳ-8, 그림 Ⅳ-9). 이러한 결과를 통해, 본 연구 결과는 생태계 교육에서 학생들에게 생산적인 인식론을 조성할 필요성을 강조한다.

본 연구에서 협력적 표상화 활동 과정에서 나타난 고등학생들의 생태계 학습 과정을 정리하면 <그림 Ⅳ-10>과 같다. 학생들은 외적 표상화 활동 과정에서 메타인지가 촉발되었고, 그 과정에서 높은 수준의 시스템 사고를 하는 경향이 나타났다. 이때, 소집단에서 학생들이 인식론적 메시지를 주고받는 과정에서 학생들이 특정한 인식론적 메시지를 공유하는 것으로 보였다. 구체적으로, 학생들이 개방적이거나 새로운 유형의 과제를 하는 경우, 그럴듯한 반론이 제안되면서 소집단 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 경향이 나타났다. 생산적인 인식론적 메시지가 공유된 사례에서는 개인 내에서 일어났던 인식과 인지의 상호발전 관계(즉, 생산적인 인식론과 메타인지가 서로를 촉진하고 외적 표상이라는 도구를 활용하여 소집단에서 공동으로 높은 수준의 시스템 사고와 높은 수준의 생태계 학습이 촉진되는 과정)가 소집단 학생들 사이에서 공동으로 이루어지도록 촉발하는 것으로 나타났다.



<그림 Ⅳ-10> 협력적 표상화 활동 과정에서 나타난
고등학생들의 생태계 학습 과정

이러한 과정은 개인 내에서 일어나던 학습이 사회적 측면으로 확장되는 과정을 구체적으로 보여주는 것이다. 맹승호(2018)에 의하면 기존 인식론 연구는 과학지식 구성과정을 과학지식 습득에 대한 개인의 신념으로써 이해하려는 관점과 학습자 간의 사회적 상호작용을 통해 이해하려는 관점이 공존하였다. 이는 과학지식 구성과정에 대한 인식론적 이해 연구에 복잡성을 유도하여, 그러한 복잡성이 해소될 필요가 제안된 바 있다(맹승호, 2018). 그런데 본 연구에서는 개인 내의 지식 구성과정과 학습자 사이의 지식 구성과정을 관련시킨 설명을 제공했으며, 이 과정에서 학생들의 인식론적 메시지가 갖는 의의를 밝힌 것으로 볼 수 있다.

Ⅵ. 결론 및 제언

1. 결론

연구자는 생태계를 주제로 고등학생들이 외적 표상화를 하면서 그들의 시스템 사고를 촉진하고자 생태계 탐구과제를 개발했고, 협력적 표상화 활동 동안 소집단에서 학생들이 주고받은 인식론적 메시지와 과제의 속성과 관련하여 그들의 생태계 학습 과정을 분석하였다. 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구는 고등학생을 대상으로 한 생태계 학습에서 시스템적인 측면을 강조할 경우에 표상화 활동을 활용할 필요성과 표상화 활동 설계 방안에 관해 제시한다. 학생들은 생태계에서 에너지의 역할이나 미시적 수준에서의 물질 변형 등 보이지 않는 측면을 파악하기 어려워하는 경향이 있다(Eilam, 2002, 2012; Hmelo-Silver *et al.,* 2007). 하지만, 이와 달리 본 연구 결과에서 학생들은 그림 그리기 과정에서 보이지 않는 부분을 가시화시키면서 생태계의 시스템적인 측면을 학습해갔다. 예를 들어, 학생들은 그림 그리기 과정에서 모든 생물에게 필수적인 물의 위치를 논의하였다. 이때, 그들은 물이 수증기로 변하는 상태변화를 고려하게 되는 등 미시적인 측면을 파악하여 높은 수준의 시스템 사고를 하였고, 생태계에서 물의 순환이 갖는 의의를 파악할 수 있었다. 또한, 학생들의 학습에서 가시적인 요소로부터 시작하여 추상적인 요소에 관한 학습이 진전되는 경우도 있었다. 일례로, 학생들은 가시적인 먹이 관계에 관한 논의에서 시작하여 개체 수 조절기작을 파악하는 등 시스템의 역동적인 측면을 고려하는 사고를 할 수 있었다. 이러한 점에 기반을 두어 판단할 때, 시스템을 주제로 하는 표상화 활동과제 설계 시 개방적인 질문을 제시하고, 학생들이 일상에서 접하는 가시적인 구성요소를 포함할 필요가 있다. 또한, 학생들이 어려워하는 비가시적인 부분을 그림으로 가시화시켜 과제를 제시한다면 표상화 활동의 교육적 효과가 더욱 커질 것이라 예상할

수 있다.

둘째, 본 연구는 시스템 주제의 수업에서 학생들에게 자신의 사고에 관해 반성하는 기회를 제공할 필요성을 강조한다. 전통적인 교실 수업에서 평가 및 마무리 단계는 주로 교사가 수업시간에 학습한 개념을 학생들로부터 확인하는 것이었으며, 수업 도입도 교사가 이전 시간에 학습한 개념을 학생들에게 상기시키는 것으로 이루어졌다. 이때, 학생들은 자신의 학습에 관해 개념 파악 여부만을 기준으로 주로 반성하게 되었다. 그러나, 생태계처럼 복잡한 요소와 관계들을 포함하는 시스템 주제의 수업에서는 학생들이 관련 개념을 파악하고 있다 하더라도 그것이 긴밀하게 조직화되지 않으면 해당 내용을 옳게 학습했다고 판단할 수 없다. 따라서, 시스템 주제의 수업에서는 학생들이 자신의 사고가 시스템을 파악하는 데 적합한지 반성할 기회가 주어져야 한다.

학생들에게 반성의 기회를 제공한 사례로, 본 연구 결과에서 사용한 외적 표상화 활동이 있다. 학생들은 외적 표상화 활동을 하면서 그들의 사고를 표상으로 시각화했기에 학생 자신의 사고에 관해 반성하기 용이했다. 학생들의 반성을 통해 과제 해결 전략에 대한 그들의 메타인지가 드러날 수 있었고, 이는 그들의 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 데 있어 중요했다고 볼 수 있다. 그 결과, 학생들은 생산적인 인식론적 메시지를 공유하게 되어 학생들이 생태계의 개별 지식보다 그들의 관계와 시스템 전체로써 나타나는 특성에 초점을 맞추게 되었다. 그러므로, 시스템을 주제로 소집단에서 생태계 개념을 공동으로 구성해나가는 학습의 경우, 학생들이 자신의 사고를 시각화하여 표현할 기회와 이에 관한 명시적인 반성의 기회를 제공할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서 소집단에 공유된 인식론적 메시지는 학생들이 실행하는 인식적 활동의 목표 및 전략 수립을 안내하는 기준점 역할을 하였다. 본 연구의 참여 학생들이 소집단에서 그림을 그리는 과정에서 비생산적인 인식론적 메시지가 공유되는 경우, 학생들은 현상을 설명하기보다는 현상이 보이는 대로 기술하여 활동지를 완성할 것에만 초점을 두며 낮은 수준의 시스템 사고가 주로 나타났다. 반면, 소집단에 생산적인 인

식론적 메시지가 공유되는 경우, 학생들이 공동으로 높은 수준의 시스템 사고를 발휘하며 소집단 그림을 활용하여 생태계를 시스템으로 접근하는 관점에서 설명하는 모습이 나타났다. 이러한 연구 결과는 학생들이 가진 인식론의 중요성을 나타내는 추가적인 사례를 제시한 것이며, 또한 학생들의 인식론을 조성하고 파악하는 데 있어 인식론적 메시지가 가진 강점을 강조하는 것이다.

마지막으로, 본 연구의 소집단 활동에서 학생들은 인식적 주체(epistemic agent)로서 서로 생산적인 인식론적 메시지를 공유하도록 촉진하는 역할을 하였다. 시스템을 주제로 한 학습에서 학생 사이의 협력 및 논의와 반성이 강조되고 있음에도, 기존 연구는 인지적 측면에만 집중한 나머지, 학생들의 인식론적인 측면을 다루지 않았던 경향이 있다고 한다(Evagorou *et al.,* 2009; Hmelo-silver *et al.,* 2000; Jacobson & Wilensky, 2006). 그러나 본 연구에서는 학생들 사이에서 인식론적 메시지의 공유, 이를 통한 생태계 개념에 대한 논의와 반성을 통해 협력적으로 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 과정을 설명하였다. 이러한 결과는 기존에 수업에서 생산적인 인식론을 조성하는 과업이 주로 교사의 역할로 편중되어 있던 관점(Pierson, 2008; Roth *et al.,* 2011; Windschitl *et al.,* 2011)에서 벗어나 그것이 학생 간의 협력으로 가능할 수 있음을 보인 것이다. 또한, 이것은 교사가 학생들에게 생산적인 인식론을 조성하는 데에서 벗어나 궁극적으로 학생 상호 간의 협력으로 생산적인 인식론을 조성하는 과정에까지 도달할 필요성을 제안했던 Alvarado *et al.*(2014)의 주장이 실현되는 하나의 맥락을 제시하는 것이다.

2. 연구의 함의와 교육적 시사점

본 연구가 지닌 함의와 교육적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구를 통해 학생들이 협력적 외적 표상화 과정에서 자신의 사고를 시각화하고, 메타인지를 나타내거나 시각화된 표상을 인지적 도구로 활용하는 맥락에서 수준 높은 시스템 사고를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 학생들이 수준 높은 시스템 사고를 나타내는 맥락을 외적 표상화라는 과제의 속성과 관련지어 밝혔다는 점에서 의의가 있다.

둘째, 학생들의 시스템 사고에 영향을 미치는 추가적인 요인으로 과제 질문의 개방성과 수업 주제로 다루는 시스템의 가시성, 일상생활에서의 경험 가능성이 중요함을 알 수 있었다. 이는 학생들이 수준 높은 시스템 사고를 나타내는 맥락을 과제의 소재 및 질문의 속성과 관련지어 밝혔다는 점에서 의의가 있다.

셋째, 본 연구는 소집단 표상화 활동 맥락에서 학생들의 메타인지가 그들의 인식론과 밀접히 관련되어 생산적인 학습을 안내하는 모습을 보여주었다. 본 연구 결과에서 학생들은 표상화 활동에 임하면서 그들의 사고가 시각화되어 모둠원의 사고에 접근하여 반성하는 모습을 보였다. 그로 인해 학생들의 메타인지가 촉진되고 생산적인 인식론적 메시지를 공유하는 모습도 보였다. 결국, 이렇게 조성된 인식론과 인지과정이 학생들이 수준 높은 시스템 사고를 나타내는 맥락으로 작용함을 구체적으로 설명하였다.

넷째, 본 연구는 소집단에서 학생들이 서로의 인식론을 조성하는 과정을 정성적으로 탐색함으로써 기존에 잘 알려지지 않았던 학생들의 인식론 조성과정에 대한 정보를 인식론적 메시지와 관련지어 제공했다. 본 연구의 결과에서 학생들은 스스로 '지식은 우리가 구성하는 것이다.'라는 생산적인 인식론을 갖고 또래에게 그러한 인식론적 메시지를 공유하도록 촉진하였다. 이러한 모습은 학생이 학습의 주체로 과학의 과정에 적극적으로 참여하기를 권고하는 최근 교육과정(NGSS, 2013; NRC, 2007)의

흐름에 근거하여 봤을 때 의미가 있다.

마지막으로, 본 연구는 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 공유할 경우, 그들이 생태계의 역동성이나 공간적 규모를 이해할 수 있다는 근거를 제공하였다. 선행연구에서 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하면 생태계 학습에 효과적임을 밝혔지만, 그것을 인식론과 관련하여 다루지는 않았다. 본 연구는 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 공유할 때 학생들이 생태계의 시스템적인 속성에 관해 깊이 있게 학습하는 과정과 그 반대 과정의 사례를 학생의 실행과정에서 나타난 여러 가지 질적 자료를 활용하여 구체적으로 제시하였다.

3. 후속 연구 제안

본 연구 결과를 토대로 제안하는 후속 연구는 다음과 같다.

첫째, 시스템 주제의 학습에서 학생들이 나타내는 인식론적 메시지가 어떠한 역할을 하는지 더욱 상세하게 고찰하려면, 학생의 인식론적 메시지의 수준과 그들의 시스템 사고의 수준이 서로 다른 소집단들의 차이점이 드러나도록 알아보는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 협력적 표상화 활동 과정에서 다양한 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 사용하고 시스템 사고 수준도 높게 나타난 소집단을 초점집단으로 하였다. 그러나 같은 맥락에서 수업에 참여한 학생 중에서는 비생산적인 인식론적 메시지만을 주로 나타냈지만 높은 수준의 시스템 사고를 나타내거나, 이와는 반대로 생산적인 인식론적 메시지를 주로 나타냈지만 낮은 수준의 시스템 사고만을 주로 보인 학생도 있을 수 있다. 따라서 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는 맥락을 인식론 측면에서 깊이 있게 고찰하기 위해서는 연구에 참여한 여러 소집단을 추가적으로 비교 분석하는 것이 필요하다.

둘째, 생태계 학습에서 학생들이 어려워하는 대표적인 내용을 다루는 과제를 설계하여 학생들의 인식론이 실제 생태계 학습의 어려움을 극복하는 데 어떻게 기여하는지 깊이 있게 알아보는 연구가 필요하다. 생태계 학습에서 학생들이 어려워하는 내용으로 제시되어 온 생산자와 분해자의 역할에 관한 이해 미비, 유기물과 무기물에 관한 지식 부족, 물질과 에너지에 관한 혼동 등은(박지영, 민진선과 김희백, 2003; Carlsson, 2002; Eilam, 2002, 2012) 본 연구에 참여한 학생들 사이에서도 여러 차례 나타났다. 그러나 본 연구에서 설계한 과제는 이러한 개념에 특이적인 스캐폴딩을 제공하지 않았다. 그렇기에 소집단에서 이러한 주제를 논의할 때 학생들이 생산적인 인식론적 메시지를 표현했더라도, 관련 지식의 부족으로 인해 학생들은 높은 수준의 시스템 사고를 하지 못했고(Hogan, 2000) 추론을 이어가지 못했다. 따라서 학생들의 생태계 학습을

인식론 측면에서 깊이 있게 고찰하기 위해서는 생태계를 학습할 때 학생들이 어려워하는 개념에 관한 주제로 연구를 추가적으로 진행할 필요가 있다.

셋째, 학생들의 인식론과 표상화 활동, 시스템 사고와 생태계 학습 사이에서 한 요인이 다른 요인에게 어떠한 영향을 미쳤는지에 관한 분석이 필요하다. 본 연구는 학생들 사이에서 생산적인 인식론적 메시지의 공유가 표상화 활동에 영향을 미쳐 높은 수준의 시스템 사고 출현을 이끌고, 생태계 학습에 기여했음을 보였다(그림 Ⅳ-10). 그러나 본 연구 결과만으로는 이러한 요소들 사이의 관계가 복합적으로 얽혀 있는 모습으로 드러나 구체적으로 어떠한 요소가 어떠한 역할을 하는지 특징짓기에는 한계가 있다. 추후 연구에서는 학생들의 인식론과 표상화 활동, 시스템 사고와 생태계 학습 사이의 관계를 구체적으로 설명함으로써 과학교육에서 이러한 요인들을 중요하게 다룰 수 있는 계기를 마련할 필요가 있다.

마지막으로, 교실 공동체에서 교사가 학생에게 미치는 영향력이 크다는 점에 기반을 두어, 교사를 대상으로 시스템·시스템 사고에 관한 이해 및 생산적인 인식론 조성방안에 관한 교육 및 연수가 활발히 이루어질 필요가 있다. 더 나아가, 이러한 교육을 받은 교사의 교육 실행 속에서 학생의 상호작용을 통해 학생들의 인식론이 조성되고 시스템 사고가 촉진되는 과정과 그때 학생들의 생태계 학습양상에 관한 복합적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

강훈식, 김보경과 노태희. (2005). 물질의 입자적 성질에 대한 다중 표상 학습에서 외적 표상들 간의 연계와 통합을 촉진시키는 방안으로서의 그리기와 쓰기. *한국과학교육학회지, 25*(4), 533-540.

교육과학기술부. (2011). *2009 개정 과학과 교육과정.* 서울: 교육과학기술부.

교육부. (2015). *2015 개정 교육과정.* 세종: 교육부.

권용주, 김원정, 이효녕, 변정호와 이일선. (2011). 생태계에 대한 생물교사의 시스템 사고 분석. *생물교육, 39*(4), 529-543.

김수진과 정영란. (2015). 고등학생의 인식론적 신념, 메타인지 및 과학 탐구 능력과 과학 학업성취도의 구조적 관계 분석. *한국과학교육학회지, 35*(6), 931-938.

김태훈, 민병미와 손연아. (2004). 고등학교 학생의 표상학습과 생물 학업성취도의 관계. *생물교육, 32*(4), 325-333.

맹승호. (2018). 과학 학습의 지식구성 과정에 대한 실제적 인식론 분석. *초등과학교육, 37*(2), 173-187.

박지영과 김희백. (2003). 고등학생의 생태계 개념에 대한 존재론적인 평가. *한국과학교육학회 학술발표 및 세미나집, 2003*(1), 100.

박지영, 민진선과 김희백. (2003). 고등학생의 생태계에 대한 오개념 유형. *생물교육, 31*(3), 203-213.

시지현. (2016). 복잡한 과제에서 협력학습 효율성에 대한 정서적 설명: 인지부하이론의 관점에서. *교육공학연구, 32*(1), 113-137.

오현석, 이기영, 박영신, 맹승호와 이정아. (2015). 중학교 과학 천문 수업에서 나타나는 시스템 사고 분석: 별과 우주 단원에 대한 과학 교사의 교수 실행 사례. *한국지구과학회지, 36*(6), 591-608.

윤영수와 채승병. (2005). *복잡계 개론.* 서울: 삼성경제연구소.

윤혜경. (2020). 그림자 원리에 대한 초등 과학수업 지도안 분석-시각적

표상의 유형과 인지과정을 중심으로. *초등과학교육, 39*(1), 26-39.

윤혜경, 강남화와 김병석. (2015). 예비 과학 교사의 과학, 과학 학습, 과학 교수에 대한 인식론적 신념: 인식론적 신념의 맥락 의존성. *한국과학교육학회지, 35*(1), 15-25.

윤초희. (2010). 인식론적 신념과 비판적 사고 성향의 관계구조 및 대학생의 학업성취에 대한 예측력 분석. *아시아교육연구, 11*(2). 201-222.

이경현과 김희백. (2021). '생태계'를 주제로 한 협력적 소집단 표상화 활동에서 나타난 고등학생들의 인식론적 메시지와 시스템 사고의 관계. *생물교육, 49*(2), 162-180.

이경현, 윤선미와 김희백. (2012a). 중학생들의 생물분류에 대한 소집단 논변활동의 이해-리더의 역할을 중심으로. *생물교육, 40*(1), 71-86.

이경현, 윤선미와 김희백. (2012b). 분류 과제 속성에 따른 소집단 논변의 추론 양상 차이. *생물교육*, *40*(3), 344-356.

이경현, 한문현과 김희백. (2016). 생태계의 단계적 외적표상화 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고 발달. *생물교육*, *44*(3), 447-462.

이승준. (2017). 학교 환경교육에서 시스템 접근법의 활용방안과 기대효과. *환경교육*, *30*(4), 394-409.

이정화와 김희백. (2021). 비생산적 논변에서 생산적 논변으로의 실행 변화 탐색-인식론적 자원과 맥락을 중심으로. *한국과학교육학회지*, *41*(3), 193-202.

이차은과 김희백. (2016). 과학적 모형 구성과정에서 나타난 사고 질문의 개념적 자원 활성화의 이해-인식론적 프레이밍과 위치 짓기 프레이밍을 중심으로. *한국과학교육학회지, 36*(3), 471-483.

이효녕과 김승환. (2009). 과학 영재 학생들의 사고양식에 따른 지구시스템에 대한 인지 특성. *과학교육연구지, 33*(1), 12-30.

조한빛, 하희수와 김희백. (2019). 소집단 논변 활동에서 협력적 성찰의 역할 탐색-학생들의 인식적 고려와 실행을 중심으로. *한국과학교육학회지, 39*(1), 1-12.

정주혜. (2010). *다차원적 발판 제공 증거 기반 설명 활동을 통한 고등학생들의 논변구조의 발달과 진화 개념의 변화* (Doctoral dissertation), 서울대학교 대학원: 서울.

지영래. (2016). *예비물리교사의 시스템 개념에 대한 인식과 보존법칙 문제풀이의 시스템 기반 이해* (Doctoral dissertation), 서울대학교 대학원: 서울.

지영래와 송진웅. (2017). 통합 주제로서의 시스템 개념에 대한 대학생들의 인식 분석. *한국과학교육학회지, 37*(1), 77-85.

하희수와 김희백. (2017). 소집단 논변 활동에서 반응적 교수법이 학생들의 인식론적 프레이밍에 미치는 영향 탐색. *한국과학교육학회지, 37*(1), 63-75.

한문현. (2019). 초등학생들의 먹이 피라미드 예측 모형 구성에서 과학적 추론의 역할. *초등과학교육, 38*(3), 375-386.

한문현과 김희백. (2012). '먹이그물과 먹이 피라미드' 모형 구성에서 나타난 초등학생의 추론 유형. *초등과학교육, 31*(1), 71-83.

한진아와 최도성. (2013). 초등학생들의 생태계 학습에서 시스템 사고의 적용 유형 분석. *환경교육, 26*(2), 253-267.

황윤식, 한문현과 김희백. (2016). 눈 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 나타나는 중학생들의 시스템 사고 탐색. *생물교육, 44*(4), 749-762.

Adey, P. S., & Shayer, M. (1994). Really Raising Standards: *Cognitive Acceleration and Academic Achievement.* London: Routledge.

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers in Education, 33*(2/3), 131-152.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering

learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, *15*(3), 183-198.

Ainsworth, S. E. (2008). The educational value of multiple representation when learning complex scientific concepts. In Gilbert, J.K., Reiner, M., Nakhleh, M. (Eds.). *Visualisation: Theory and practice in science education.* London: Springer.

Alvarado, C., Daane, A. R., Scherr, R. E., & Zavala, G. (2014). Responsiveness among peers leads to productive disciplinary engagement. Paper presented at *2013 Physics Education Research Conference Proceedings*, Portland, OR. doi: 10.1119/perc.2013.pr.002

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005a). *A study of junior high students' perceptions of the water cycle, Journal of Geoscience Education, 53*(4), 366-373.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005b). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching, 42*(5), 518-560.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching, 47*(10), 1253-1280.

Assaraf, O. B. Z., & Orpaz, T. (2010). The 'Life at the poles' study unit: Developing junior high school students' ability to recognize relations between earth systems. *Research In Science Education, 40*(4), 525-549.

Asterhan, C. S., & Schwarz, B. B. (2007). The effects of monological and dialogical argumentation on concept learning in evolutionary theory. *Journal of Educational Psychology, 99*(3), 626-639.

Barzilai, S., & Zohar, A. (2014). Reconsidering personal epistemology as metacognition: A multifaceted approach to the analysis of epistemic thinking. *Educational Pychologist, 49*(1), 13-35.

Berland, L. K., & Hammer, D. (2012). Framing for scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching, 49*(1), 68-94.

Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progre- ssion for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education, 94*(5), 765-793.

Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching, 53*(7), 1082-1112.

Bianchini, J. A. (1997). Where knowledge construction, equity, and context intersect: Student learning of science in small groups. *Journal of Research in Science Teaching, 34*(10), 1039-1065.

Bing, T. J., & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 5*(2), 020108.

Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

Bowen, G. M., Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1999). Interpretations of graphs by university biology students and practicing

scientists: Toward a social practice view of scientific representation practices. *Journal of Research in Science Teaching*, *36*(9), 1020-1043.

Brooks. (2009). Drawing, visualization and young children's exploration of "Big Ideas". *International Journal of Science Education, 31*(3), 319-341.

Carlsson, B. (2002). Ecological understanding 2: transformation-a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, *24*(7), 701-715.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*(4), 293-332.

Chang, H. Y. (2018). Students' representational competence with drawing technology across two domains of science. *Science Education*, *102*(5), 1129-1149.

Cheng, M. M., & Gilbert, J. K. (2015). Students' Visualization of Diagrams Representing the Human Circulatory System: The use of spatial isomorphism and representational conventions. *International Journal of Science Education*, *37*(1), 136-161.

Chin, C., & Osborne, J. (2008). Students' questions: a potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education, 44*(1), 1-39.

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1041-1053.

Collins, A., & Ferguson, W. (1993). Epistemic forms and epistemic games: Structures and strategies to guide inquiry. *Educational Psychologist*, *28*(1), 25-42.

Corbin, J. M., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research:

Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, *13*(1), 3-21.

Corbin, J., & Strauss, A. (2014). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory.* CA, US: Sage publications.

Cronbach, L. J. (1975). Beyond the two disciplines of scientific psychology. *American Psychologist*, *30*(2), 116-127.

Davis, E. A. (2006). Characterizing productive reflection among pre-service elementary teachers: Seeing what matters, *Teaching and Teacher Education*, *22*(3), 281-301.

Demetriou, D., Korfiatis, K., & Constantinou, C. (2009). A 'bottom-up' approach to food web construction. *Journal of Biological Education*, *43*(4), 181-187.

Dewey, J. (1933). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. Boston, MA: D. C. Heath & Co Publishers.

Edens, K. M., & Potter, E. (2003). Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. *School science and mathematics, 103*(3), 135-144.

Eilam, B. (2002). Strata of comprehending ecology: Looking through the prism of feeding relations. *Science Education, 86*(5), 645-671.

Eilam, B. (2012). System thinking and feeding relations: Learning with a live ecosystem model. *Instructional Science*, *40*(2), 213-239.

Eilam, B. (2013). Possible constraints of visualization in biology: Challenges in learning with multiple representations. In D. F., Treagust, & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 55-73). Dordrecht, The

Netherlands: Springers.

Elby, A., & Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education, 85*(5), 554-567.

Elby, A., & Hammer, D. (2010). Epistemological resources and framing: A cognitive framework for helping teachers interpret and respond to their students' epistemologies. *Personal Epistemology in the Classroom: Theory, Research, and Implications for Practice*, *4*(1), 409-434.

Eldar, O., Eylon, B. S., & Ronen, M. (2012). A metacognitive teaching strategy for preservice teachers: Collaborative diagnosis of conceptual understanding in science. In A. Zohar, & Y. J., Dori (Eds.), *Metacognition in Science Education* (pp. 225-250). Netherlands: Springers.

Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, *31*(5), 655-674.

Flavell, J. H. (1979). Meta-cognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist, 34*(10), 906-911.

Frank, M. (2000). Engineering systems thinking and systems thinking. *Systems Engineering, 3*(1), 163-168.

Frederiksen, C., and Breuleux, A. (1988). Monitoring cognitive processing in semantically complex domains. In N. Frederiksen, R. Glaser, A. Lesgold, and M. Shafto (Eds.), *Diagnostic monitoring of skill and knowledge acquisition.* (pp. 369-410). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science

and science education. In J. K., Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9-27). Dordrecht, The Netherlands: Springers.

Goel, A. K., Rugaber, S., & Vattam, S. (2009). Structure, behavior, and function of complex systems: The structure, behavior, and function modeling language. *Ai Edam, 23*(1), 23-35.

Goh, S. E., Yoon, S. A., Wang, J., Yang, Z., & Klopfer, E. (2012). Investigating the relative difficulty of complex systems ideas in biology. *Proceedings of the 10th International Conference of the Learning Sciences -Volume 1,* 72-79.

Goldstone, R. L., & Wilensky, U. (2008). Promoting transfer by grounding complex systems principles. *The Journal of the Learning Sciences*, *17*(4), 465-516.

González Howard, M., & McNeill, K. L. (2020). Acting with epistemic agency: Characterizing student critique during argumentation discussions. *Science Education, 104*(6), 953-982.

Gotwals, A., & Songer, N. (2010). Reasoning up and down a food chain: Using and assessment framework to investigate students' middle knowledge. *Science Education, 94*(2), 259-281.

Grotzer, T. A., & Basca, B. B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding?. *Journal of Biological Education, 38*(1), 16-29.

Greeno, J. G., & Hall, R. P. (1997). Practicing representation: Learning with and about representational forms. *Phi Delta Kappan*, *78*(5), 361-367.

Griffard, P. B. (2013). Deconstructing and decoding complex process

diagrams in university biology. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 165-183). Dordrecht, The Netherlands: Springers.

Gunstone, R. F., & Northfield, J. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education, 16*(5), 523-537.

Guzzetti, B. J., & Williams, W. O. (1996). Gender, text, and discussion: Examining intellectual safety in the science classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 33*(1), 5-20.

Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction, 12*(2), 151-183.

Hammer, D., & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Eds.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 169-190). NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Hammer, D., & Elby, A. (2003). Tapping epistemological resources for learning physics. *The Journal of the Learning Sciences, 12*(1), 53-90.

Hjorth, I. (2002). *Ekologi- för miljöns skull.* Stockholm: Liber.

Hmelo-Silver, C. E., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences, 15*(1), 53-61.

Hmelo-Silver, C. E., Holton, D.L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing learning about complex systems. *The Journal of the Learning Science*, *9*(3), 247-298.

Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S., & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of

complex systems. *The Journal of the Learning Sciences, 16*(3), 307-331.

Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science, 28*(1), 127-138.

Ho, B. (1997). Reactions of students to reflective learning in a technical report-writing course. *English for Specific Purposes, 16*(3), 211-227.

Hofer, B. K. (2000). Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(4), 378-405.

Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and teaching. *Educational Psychology Review, 13*(4), 353-383.

Hofer, B. K. (2004). Epistemological understanding as a metacognitive process: Thinking aloud during online searching. *Educational Psychologist. 39*(1), 43-55.

Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997a). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, *67*(1), 88-140.

Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997b). *Disciplinary ways of knowing: Epistemological beliefs in science and psychology.* Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago.

Hofer, B. K. and Pintrich, P. R., Eds. (2002). *Personal Epistemology: The Psychology of Beliefs About Knowledge and Knowing*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hogan, K. (2000). Assessing students' systems reasoning in ecology. *Journal of Biological Education, 35*(1), 22-28.

Hogan, K., & Fisherkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: Bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, *33*(9), 941-970.

Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, *10*(4), 319-345.

Hokayem, H., & Gotwals, A. W. (2016). Early elementary students' understanding of complex ecosystems: A learning progression approach. *Journal of Research in Science Teaching, 53*(10), 1524-1545.

Hung, W. (2008). Enhancing systems thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology, 39*(6), 1099-1120.

Hutchison, P., & Hammer, D. (2010). Attending to student epistemological framing in a science classroom. *Science Education*, *94*(3), 506-524.

Hunter, M. D. (2001). Multiple approaches to estimating the relative importanceof top-down and bottom-up forces on insect populations: Experiments, life tables, and time-series analysis. *Basic and Applied Ecology, 2*(4), 295-309.

Inagaki, K., & Hatano, G. (2013). *Young Children's Naïve Thinking about the Biological World.* New York, NY: Psychology Press, Taylor & Francis Group Ltd.

Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences, 15*(1), 11-34.

Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and underdetermination in genetics: Implications for students' engagement in argumentation and epistemic practices. *Science & Education*, *23*(2), 465-484.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Jordan, R. C., Hmelo-Silver, C., Liu, L., & Gray, S. A. (2013). Fostering reasoning about complex systems: Using the aquarium to teach systems thinking. *Applied Environ mental Education & Communication, 12*(1), 55-64.

Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B-S. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the earth's crust as a cyclic system, *Journal of Research in Science Teaching, 40*(6), 545-565.

Kang, H., & Anderson, C. W. (2015). Supporting preservice science teachers' ability to attend and respond to student thinking by design. *Science Education, 99*(5), 863-895.

Kalvaitis, D., & Monhardt, R. M. (2011). The architecture of children's relationships with nature: A phenomenographic investigation seen through drawings and written narratives of elementary students. *Environmental Education Research, 18*(2), 209-227.

Ke, L., & Schwarz, C. V. (2021). Supporting students' meaningful engagement in scientific modeling through epistemological messages: A case study of contrasting teaching approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, *58*(3), 335-365.

Kelly, G. (1955). *The psychology of personal constructs* (Vol. I.). New York: W.W. Norton and Co., Inc.

Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity, and epistemic practice. In R. A.

Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Rotterdam, The Netherlands : Sense Publishers.

Kelly, G. J. (2016). Methodological considerations for the study of epistemic cognition in practice. In J. A. Greene, W. A. Sandoval, & I. Braten (Eds.), *Handbook of epistemic cognition* (pp. 393-408). New York, NY: Routledge.

Kelly, G. J., McDonald, S., & Wickman, P.-O. (2012). Science learning and epistemology. In B. J. Fraser,K. G. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (vol. 1, pp. 281-291). Dordrecht, The Netherlands: Springers.

Kitchener, K. S. (1983). Cognition, metacognition, and epistemic cognition. *Human Development, 26*(4), 222-232.

Kind, P. M., Kind, V., Hofstein, A., & Wilson, J. (2011). Peer Argumentation in the School Science Laboratory—Exploring effects of task features. *International Journal of Science Education, 33*(18), 2527-2558.

King, P. M., & Kitchener, K. S. (1994). *Developing reflective judgment: Understanding and promoting intellectual growth and critical thinking in adolescents and adults.* San Francisco: Jossey-Bass.

Kitano, H. (2002). Computational systems biology. *Nature*, *420*(6912), 206-210.

Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction, 13*(2), 205-226.

Krist, C., Schwarz, C. V., & Reiser, B. J. (2019). Identifying essential epistemic heuristics for guiding mechanistic reasoning in

science learning. *Journal of the Learning Sciences, 28*(2), 160-205.

Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, *9*(5), 178-181.

Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science, 11*(1), 65-100.

Lawson, G. W., & John, D. M. (1977). The marine flora of the Cap Blanc peninsula: its distribution and affinities. *Botanical Journal of the Linnean Society, 75*(1), 99-118.

Leach, J., Driver, R., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 3: Ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms. *International Journal of Science Education, 18*(2), 129-141.

Lee, S., & Brown, M. T. (2011). Understanding self-organization of ecosystems under disturbance using a microcosm study. *Ecological Engineering, 37*(11), 1747-1756.

Lee, T. D., Jones, M. G., & Chesnutt, K. (2019). Teaching systems thinking in the context of the water cycle. *Research In Science Education*, *49*(1), 137-172.

Lemke, J. L. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading science : critical and functional perspectives on scientific discourse*, (pp. 87-103). London: Routledge.

Likens, G. E. (2013). *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1989). *Fourth generation evaluation*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Linn, M. C., Lee, H. S., Tinker, R., Husic, F., & Chiu, J. L. (2006). Teaching and assessing knowledge integration in science.

Science, 313(5790), 1049-1050.

Lising, L., & Elby, A. (2005). The impact of epistemology on learning: A case study from introductory physics. *American Journal of Physics*, *73*(4), 372-382.

Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2013). Promoting the collaborative use of cognitive and metacognitive skills through conceptual representations in hypermedia. In D. F., Treagust, & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 75-92). Dordrecht, The Netherlands: Springers.

Louca, L., Elby, A., Hammer, D., & Kagey, T. (2004). Epistemological resources: Applying a new epistemological framework to science instruction. *Educational Psychologist, 39*(1), 57-68.

Magnani, L. (2013). Thinking through drawing: Diagram constructions as epistemic mediators in geometrical discovery. *The Knowledge Engineering Review*, *28*(3), 303-326.

Mambrey, S., Schreiber, N., & Schmiemann, P. (2020) Young Students' Reasoning About Ecosystems: the Role of Systems Thinking, Knowledge, Conceptions, and Representation. *Research in Science Education.* http://lps3.doi.org.libproxy.snu.ac.kr/10.1007/s11165-020-09917-x

Manz, E. (2012). Understanding the codevelopment of modeling practice and ecological knowledge. *Science Education*, *96*(6), 1071-1105.

Mathewson, J. H. (1999). Visual spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, *83*(1), 33-54.

McNeill, K. L., & Pimentel, D. S. (2010). Scientific discourse in three

urban classrooms: The role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education, 94*(2), 203-229.

Medina, R., & Suthers, D. (2013). Inscriptions becoming representations in representational practices. *Journal of the Learning Sciences, 22*(1), 33-69.

Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education.* San Francisco: Jossey-Bass.

Mezirow, J. (1990). How critical reflection triggers transformative learning. Fostering critical reflection in adulthood: *A guide to transformative and emancipatory learning, 1*(20), 1-6.

Miller, E., Manz, E., Russ, R., Stroupe, D., & Berland, L. (2018). Addressing the epistemic elephant in the room: Epistemic agency and the next generation science standards. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(7), 1053-1075.

Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi year learning progression for carbon cycling in socio ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching, 46*(6), 675-698.

Muis, K. R. (2007). The role of epistemic beliefs in self-regulated learning. *Educational Psychologist, 42*(3), 173-190.

National Research Council(NRC) (1996). *National science education standards.* Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council(NRC) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K - 8.* Washington, DC: National Academies Press.

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

Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In J. Metcalfe & A. P. Shinamura (Eds.), *Metacognition* (pp. 1-25). Cambridge, MA: MIT Press.

NGSS Leads States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States.* Washington, DC: The National Academies Press.

Nystrand, M., Wu, L. L., Gamoran, A., Zeiser, S., & Long, D. A. (2003). Questions in time: Investigating the structure and dynamics of unfolding classroom discourse. *Discourse Processes, 35*(2), 135-198.

O'Connor, J., & McDermott, I. (1997). *The Art of System Thinking: Essential Skills for Creativity and Problem Solving.* San Francisco, CA: Thorsons Publish Co.

Olander, C., Wickman, P. O., Tytler, R., & Ingerman, Å. (2018). Representations as mediation between purposes as junior secondary science students learn about the human body. *International Journal of Science Education, 40*(2), 204-226.

Olson, D. R., & Bruner, J. S. (1997). Folk psychology and folk pedagogy. In D. R. Olson & N. Torrance (Eds.), *Handbook of education and human development* (pp. 9-27). London: Blackwell.

Osborne, J. F., Erduran, S., Simon, S., & Monk, M. (2001). Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review, 82*(301), 63-70.

Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, *3*(3), 227-238.

Perry, W. G., Jr. (1970). *Forms of intellectual and ethical development in the college years.* New York: Holt, Rinehart& Winston.

Piaget, J. (1962). *Play, Dreams and Imitation on Children.* NY: Oxford University Press.

Pierson, J. L. (2008). *The relationship between patterns of classroom discourse and mathematics learning* (Doctoral dissertation). University of Texas at Austin: Austin, TX.

Pickett, S. T. A., Burke, I. C., Dale, V. H., Gosz, J. R., Lee, R. G., Pacala, S. W., & Shachak, M. (1994). Integrated models of forested regions. In P. M. Gofman, & G. E. Likens, (Eds.), *Integrated Regional Models* (pp. 120-141). Boston: Springer.

Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. In E. Redish & M. Vicentini (Eds), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI* (pp. 1-65). Rome, Italy ; Italian Physical Society.

Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences, 13*(3), 273-304.

Rennie, L. J., & Jarvis, T. (1995). Children's choice of drawings to communicate their ideas about technology. *Research In Science Education, 25*(3), 239-252.

Resnick, L. B. (1987). The 1987 presidential address learning in school and out. *Educational Researcher*, *16*(9), 13-54.

Richter, T., & Schmid, S. (2010). Epistemological beliefs and epistemic strategies in self-regulated learning. *Metacognition and Learning, 5*(1), 47-65.

Rosenberg, S., Hammer, D., & Phelan, J. (2006). Multiple epistemological coherences in an eighth-grade discussion of the rock cycle. *The Journal of the Learning Sciences*, *15*(2), 261-292.

Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. (2011). Videobased lesson analysis: Effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(2), 117-148.

Roth, W. M., Boutonné, S., McRobbie, C. J., & Lucas, K. B. (1999). One class, many worlds. *International Journal of Science Education*, *21*(1), 59-75.

Russ, R. S. (2018). Characterizing teacher attention to student thinking: A role for epistemological messages. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(1), 94-120.

Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, *89*(4), 634-656.

Sandoval, W. A. (2014). Science education's need for a theory of epistemological development. *Science Education*, *98*(3), 383-387.

Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, *23*(1), 23-55.

Sabelli, N. (2006). Complexity, technology, science, and education. *Journal of the Learning Sciences, 15*(1), 5-10.

Schramm, J. W., Jin, H., Keeling, E. G., Johnson, M., & Shin, H. J. (2018). Improved student reasoning about carbon-transforming processes through inquiry-based learning activities derived from an empirically validated learning progression. *Research in Science Education*, *48*(5), 887-911.

Senge, P. M. (1990). *The art and practice of the learning organization.* New York: Doubleday.

Shen, J., & Confrey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: A case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education, 91*(6), 948-966.

Shim, S. Y., & Kim, H. B. (2018). Framing negotiation: Dynamics of epistemological and positional framing in small groups during scientific modeling. *Science Education*, *102*(1), 128-152.

Skemp, R. R. (1971). *The Psychology of Learning Mathematics*, Harmondsworth, England ; Penguin Books.

Sommer, C., & Lücken, M. (2010). System competence - Are elementary students able to deal with a biological system?. *Nordic Studies in Science Education, 6*(2), 125-143.

Stanley, I. D., Timothy, F. H., Allen, S. R., Carpenter, A. R., Ives, R. L., Jeanne, J. F., Kitchell, N. E., Langston, M. G., & Turner (2000). 생태학(인간과 자연). (노태호, 역). 서울: 아카데미북스. (원서출판 1998)

Stein, M. K., & Lane, S. (1996). Instructional tasks and the development of student capacity to think and reason: An analysis of the relationship between teaching and learning in a reform mathematics project. *Educational Research and Evaluation, 2*(1), 50-80.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York: Springer.

Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction, 12*(3), 185-233.

Sweeney, L. B., & Meadows, D. (2010). *The systems thinking playbook: exercises to stretch and build learning and systems thinking capabilities.* London, UK : Chelsea Green

Publishing.

Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review, 16*(4), 249-286.

Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2007). Thinking about systems: Student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review, 23*(2, 3), 285-311.

Tang, K. S., Delgado, C., & Moje, E. B. (2014). An integrative framework for the analysis of multiple and multimodal representations for meaning making in science education. *Science Education, 98*(2), 305-326.

Thagard, P. (2008). *Hot thought: Mechanisms and applications of emotional cognition*, Cambridge, MA: MIT Press.

Thompson, R. M., & Townsend, C. R. (2003). Impacts on stream food webs of native and exotic forest: an intercontinental comparison. *Ecology, 84*(1), 145-161.

Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology, 16*(3), 284-307.

Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., Snapir, Z., & Amit, M. (2016). The 'What is a system' reflection interview as a knowledge integration activity for high school students' understanding of complex systems in human biology. *International Journal of Science Education, 38*(4), 564-595.

Tsai, C-C. (2002). Nested epistemologies: Science teachers' beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of Science Education, 24*(8), 771-783.

Tsui, C. Y., & Treagust, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: Their importance in biology and biological education. In D. F., Treagust, & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple*

representations in biological education (pp. 3-18). Dordrecht, The Netherlands: Springers.

Tytler, R., Prain, V., Aranda, G., Ferguson, J., & Gorur, R. (2020). Drawing to reason and learn in science. *Journal of Research in Science Teaching, 57*(2), 209-231.

van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, *16*(3), 199-212.

Veenman, M. V. (2012). Metacognition in Science Education: Defi nitions, Constituents, and Their Intricate Relation with Cognition. In A. Zohar & Y. G. Dori, (Eds.), *Metacognition in science education* (pp. 21-36). Dordrecht, the Netherlands: Springers.

Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education, 30*(4), 543-568.

Von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching, 45*(1), 101-131.

Webb, P., & Boltt, G. (1990). Food chain to food web: a natural progression?. *Journal of Biological Education*, *24*(3), 187-190.

Westra, R. H. V. (2008). *Learning and teaching ecosystem behaviour in secondary education: Systems thinking and modelling in authentic practices.* Utrecht, The Netherlands: CD β Press.

Whitebread, D., & Cárdenas, V. G. (2012). Self-regulated learning and conceptual development in young children: The development of biological understanding. In *Metacognition in Science Education* (pp. 101-132). Dordrecht, the Netherlands: Springers.

Wickman, P.-O. (2004). The practical epistemologies of the classroom: A study of laboratory work. *Science Education*, *88*(3), 325-344.

Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, *24*(2), 171-209.

Wilson, J., & Jan, L. (1993). *Thinking for themselves: Developing Strategies for Reflective Learning.* South Yarra, Australia: Eleanor Curtain Publishing.

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2011). Ambitious pedagogy by novice teachers: Who benefits from tool-supported collaborative inquiry into practice and why? *Teachers College Record*, *113*(7), 1311-1313.

Winne, P. H. and Hadwin, A. F. (1998). "Studying as self-regulated learning". In D. J. Hacker, J. Dunlosky, A. C. Graesser (Eds.), *Metacognition in educational theory and practice*, (pp.277-304). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Wu, H. K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, *21*(6), 754-767.

Zangori, L., & Forbes, C. T. (2015). Exploring Third-Grade Student Model-Based Explanations about Plant Relationships within

an Ecosystem. *International Journal of Science Education, 37*(18), 2942-2964.

Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., & Sadler, T. D. (2017). Student development of model based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching, 54*(10), 1249-1273.

Zimmerman, H. T., & Weible, J. L. (2018). Epistemic agency in an environmental sciences watershed investigation fostered by digital photography. *International Journal of Science Education*, *40*(8), 894 - 918.

부 록

부록1. 수업활동지

(1차시 활동지)

대박 PC방 운영하기! - 시스템을 이해하는 방법

해화는 동생과 함께 PC방을 운영하려 합니다. 그림은 PC방 운영과 관련된 일부 요소들입니다.

컴퓨터

책걸상

부품수리

고객

이윤

해화 자매

해화자매 그림 출처(https://blog.naver.com/sahaen42/221436218168)

1. 해화네 가게 내 • 외부 대상에 관한 그림카드를 나누어 갖고, 그림이 PC방 운영에서 미치는 영향에 관한 빈 칸을 정리하세요.

2. 모둠친구들이 정리한 그림카드를 서로 나누어보세요. 서로 관련되는 그림카드들을 시간에 따라 관계되는 순서대로 배열하고 그들 사이의 관계를 문장으로 표현하세요. 여러 가지 상황을 예상하여 같은 활동을 반복하고 문장으로 나타내보세요.

○ 상황1 : _____

_____

○ 상황2 : _____

_____

♡ 모둠 안에서 작성한 내용을 발표하여 친구들과 서로 나누어보세요. 모둠에서 토론하여 해화의 PC방 운영에 관련된 요소들 사이의 관계에 대한 표를 정리하세요.

☀ 표 작성 방법
① 첫 번째 행과 열에 요소들의 이름을 같은 순서로 적습니다.
② 행과 열이 만나는 항목에 행에 있는 요소가 열에 있는 요소에 미치는 영향을 적습니다.

요소(열) / 요소(행)	A.	B.	C.	D.	E.	F.
A.		A → B				
B.	B → A					
C.						
D.						
E.						
F.						

3. 2번 문항에서 작성한 것을 바탕으로 모둠별 토의를 통해 해화의 PC방 운영에 관계된 요소들 사이의 관계를 화살표와 설명을 첨부하여 그림으로 그리세요. 모둠에서 제시된 여러 개의 과정들을 종합하여 그립니다. (모둠별로 주어진 종이에 작성하세요)

4. pc방의 의자 절반이 수리하게 되어 일주일간 사용할 수 없게 되었습니다. 가게 운영에 어떠한 변화가 생길지 예상하여 모둠별 토의를 해보세요. 그리고 구체적인 변화과정을 글로 작성하세요.

3. 주변 환경 요소들과 관계하여 해화의 PC방 운영에 관계된 요소 사이의 관계를 모둠별로 화살표와 설명을 첨부하여 그림으로 그리세요. 모둠에서 제시된 여러 개의 과정들을 종합하여 그립니다. (모둠 활동지)

♥대박 PC방 운영하기!♥

☺ 컴퓨터

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

♥대박 PC방 운영하기!♥

☺ 책걸상

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

♥대박 PC방 운영하기!♥

☺ 컴퓨터 및 부품 수리

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

♥대박 PC방 운영하기!♥

고객

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

♥대박 PC방 운영하기!♥

이윤

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

♥대박 PC방 운영하기!♥

(https://blog.naver.com/sahaen42/221436218168)

해화 자매

♡ PC방 운영과 관련된 다른 요인에 미치는 영향 :

♡ PC방 운영에 미치는 영향 :

(3차시 활동지)

생물들은 어떻게 영양소를 얻어 에너지를 낼까?

그림은 어느 지역의 모습입니다.

(자료 출처: http://navercast.naver.com/contents.nhn?rid=10&contents_id=6977)

1. 이 생태계에 관한 그림카드를 나누어 갖고, 카드의 오른쪽란을 정리하세요.

2. 모둠 친구들이 정리한 그림카드를 서로 나누어보세요. 모둠의 그림카드 중에서 비슷한 시간에 관계되는 카드를 4장 이내씩 모으고 이들 간 관계를 문장으로 정리하세요. 여러 가지 상황을 예상하여 같은 활동을 반복하세요.

○ 상황1 :

○ 상황2 :

○ 상황3 :

○ 상황4 :

♡ 모둠 안에서 작성한 내용을 발표하여 친구들과 서로 나누어보세요. 모둠의 의견을 종합해서 생물들이 영양소를 얻고 에너지를 내는 과정에 관해 이 생태계에 요소들이 어떻게 관련되는지 표로 정리하세요.

		환경 요소				생물요소		
		태양	공기	토양	물	식물	동물	세균 (분해자)
환경요소	태양							
	공기							
	토양							
	물							
생물요소	식물							
	동물							
	세균 (분해자)							

3. 생물들이 영양소를 얻고 에너지를 내는 과정에 관해 이 생태계에 요소들이 어떻게 관련되는지 화살표와 글로 과정을 포함하여 그림으로 그려보세요. 모둠에서 제시된 여러 과정들을 종합하여 그리세요. (모둠 활동지)

4. 이 생태계에서 식물의 수가 줄어들면 어떠한 변화가 생길까요? 글로 설명해보세요. (단, 다른 요인의 변화는 없으며, 이 생태계 외부에서는 영향을 줄 수 없습니다.)

3. 생물들이 영양소를 얻고 에너지를 내는 과정에 관해 이 생태계에 요소들이 어떻게 관련되는지 화살표와 글로 과정을 포함하여 그림으로 그려보세요. 모둠에서 제시된 여러 과정들을 종합하여 그리세요. (모둠 활동지)

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료 출처 : http://blog.ohmynews.com/limbo/tag/%EB%B0%94%EB%9E%8C%EA%B0%9C%EB%99%84)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭 : 공기 2. 산소, 질소, 이산화탄소, 수증기 등 다양한 기체들로 구성된다. 3. 태양으로부터 오는 자외선을 차단한다. 4. 열을 저장함으로써 지구의 온도를 높인다. 5. 이산화탄소 농도가 증가할 때 온도가 증가한다. 6. 다른 대상에 기압을 가하며, 고기압에서 저기압방향으로 이동하여 바람이 불게 된다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료 출처: http://www.ohmynews.com/NWS_Web/view/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0000862144)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 흙 2. 많은 유기• 무기양분을 포함한다. 3. 다양한 세균과 식물 등 생물들이 사는 장소이다. 4. 지하수가 흘러가기도 한다. 5. 사체나 배설물이 분해되는 장소이다. 6. 물이 흘러가는 길로 수질을 조절할 수 있다. 7. 건축이나 도로 등의 자재로 쓰인다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료출처: http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2007236&cid=50361&categoryId=50361)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 식물 2. 목재는 난방재료, 가구, 장식품 등의 원료로 사용되며 열매는 식용이나 의약품등으로 사용된다. 3. 광합성을 한다. 4. 잎의 기공을 통해 외부와 기체를 주고받는다. 5. 호흡으로 에너지를 만든다. 6. 물과 무기양분을 뿌리에서 흡수한다. 7. 잎과 가지 등으로 그늘을 만들 수 있다. 8. 효소들의 작용으로 물질대사를 한다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료출처: http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1361528&cid=40942&categoryId=32626)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 초식동물 2. 식물만을 먹고 자란다. 3. 호흡으로 에너지를 만든다. 4. 식용, 약용, 의류재료 등으로 사람들에게 이용된다. 5. 늑대, 곰 등 일부 육식동물의 먹이가 된다. 6. 외부로부터 영양물질을 섭취해야 살 수 있다. 7. 효소들의 작용으로 물질대사를 한다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료 출처: http://blog.hanwhadays.com/520)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 태양 2. 열을 보내 온도를 높인다. 3. 자외선, 적외선, 가시광선 등 다양한 파장 영역의 빛 에너지를 방출한다. 4. 광합성의 에너지원이다. 5. 직진하는 성질이 있으며 다른 고체를 통과하지 못하여 그늘이 지게 된다. 6. 다른 물체를 만나면 반사된다. 7. 빛을 내어 주위를 환하게 한다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료출처 : http://blog.naver.com/mok2320/69658437)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 물 2. 생물체의 주요 구성물질이다. 3. 수중생물의 서식처가 된다. 4. 습도를 높인다. 5. 흘러가며 침식,운반,퇴적작용을 한다. 6. 증발하여 수증기가 되며, 수증기의 응결로 생성되기도 한다. 7. 용해성이 크며 흡수성이 좋다. 8. 자외선을 흡수한다. 9. 식물 뿌리에서 흡수된다. 10. 광합성의 반응물질이다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

♥ 생태계 생물의 영양 학습자료 ♥

(자료출처 : http://nature.kids.daum.net/plant/detail.do?itemId=8217)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 이름 : 버섯 2. 나무에서 자라나며 생물의 배설물, 사체 등에 포함된 유기물을 분해한다. 3. 식량자원으로 애용된다. 4. 유기물을 무기물로 전환시킨다. 5. 호흡을 통해 에너지를 만든다. 6. 외부 유기 영양물질을 받아들여야 살 수 있다. 7. 효소들의 작용으로 물질대사를 한다.	**♡ 생물들의 영양소 획득 및 에너지 생성과 관련된 특성의 번호는? :** **♡ 영양소 획득 및 에너지 생성에 대해서 생태계의 어떤 구성요소와 어떤 관계를 맺는가요? :**

(5차시 활동지)

생태계에서 질소의 여행

그림은 질소를 포함하는 구성요소들을 가진 생태계의 모습입니다.

(사진출처: http://blog.naver.com/dainlux/220055891564)

1. 이 생태계에 관한 그림카드를 나누어 갖고, 각 카드 오른쪽 란을 정리하세요.

2. 모둠 친구들이 정리한 그림카드를 서로 나누어보세요. 모둠의 그림카드 중에서 비슷한 시간에 관계되는 카드를 4장 이내씩 모으고 이들 간 관계를 문장으로 정리하세요. 여러 가지 상황을 예상하여 같은 활동을 반복하세요.

○ 상황1 :

○ 상황2 :

○ 상황3 :

○ 상황4 :

♡ 모둠 안에서 작성한 내용을 발표하여 친구들과 서로 나누어보세요. 모둠의 의견을 종합해서 질소의 이동과정에 관한 표를 작성하세요.

		환경 요소		생물요소					
		토양	대기	질소고정 세균	질화세균	탈질소 세균	식물	동물	세균 (분해자)
환경요소	토양								
	대기								
생물요소	질소고정세균								
	질화세균								
	탈질소세균								
	식물								
	동물								
	세균 (분해자)								

3. 생태계에서 공기 중의 질소가 이동하는 과정을 화살표와 설명을 포함하여 그림으로 그려보세요. 모둠에서 제시된 여러 개의 과정들을 종합하여 그립니다. (모둠 활동지)

4. 사람들이 질소를 포함한 비료를 많이 사용하게 되었습니다. 이러한 현상이 지속되면 어떠한 과정이 진행될지 모둠에서 토의해보세요. 그리고 글로 설명해보세요(*별지의 4번 문항 관련 자료카드를 활용하세요).

3. 생태계에서 공기 중의 질소가 이동하는 과정을 화살표와 설명을 포함하여 그림으로 그려보세요. 모둠에서 제시된 여러 개의 과정들을 종합하여 그립니다. (모둠 활동지)

♥ 질소순환 학습자료 ♥

(자료 출처: http://www.ohmynews.com/NWS_Web/view/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0000662144)

❓ 특징	❓ 정리해보자!
1. 명칭 : 흙 2. 탈질소세균, 질소고정세균, 질화세균 등 다양한 세균이나 식물 등 여러 생물의 서식처이다. 3. 지하수가 흘러가기도 한다. 4. 많은 유기물과 무기물(NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-)을 포함한다. 5. 사체나 배설물이 분해되는 장소이다. 6. 물 아래에서 수질을 조절할 수 있다. 7. 건축이나 도로 등의 자재로 쓰인다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요?(질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.) :** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥

(자료 출처 : http://blog.ohmynews.com/jimbo/tag/%EB%B0%94%EB%9E%8C%EA%B0%9C%EB%B9%84)

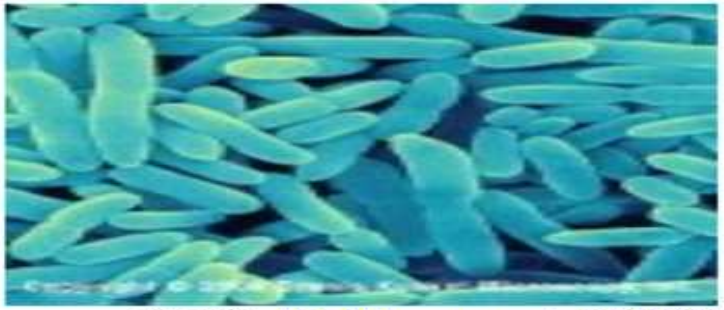
❓ 특징	❓ 정리해보자!
1. 명칭 : 공기 2. 산소, 질소(N_2), 이산화탄소, 수증기 등 다양한 기체들로 구성된다. 3. 빛을 내는 등 공중방전($N_2 \rightarrow NO_3^-$)을 일으키기도 한다. 4. 태양으로부터 오는 자외선을 차단한다. 5. 열을 저장함으로써 지구의 온도를 높인다. 6. 이산화탄소 농도가 증가할 때 온도가 증가한다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요?(질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.) :** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥

(자료출처 : http://www.seehint.com/hint.asp?md=204&no=11510)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭: 질소고정세균 2. 산소가 있는 환경에 사는 종류와, 산소가 없는 환경에서 사는 종류가 있다. 3. 흙이나 물에 존재하며 단독으로 자라거나 식물과 공생하기도 한다. 4. 콩과 공생하는 세균이 있어서 조상들은 콩을 심어 토양을 거름지게 했다. 5. 질소기체를 고정하여 암모늄염(NH_4^+)을 만든다. 6. 호흡을 통해 에너지를 얻는다. 7. 생물로 유입되는 질소량의 90% 이상을 담당한다. 8. 외부 유기 영양물질을 받아들여야 살 수 있다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.):** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

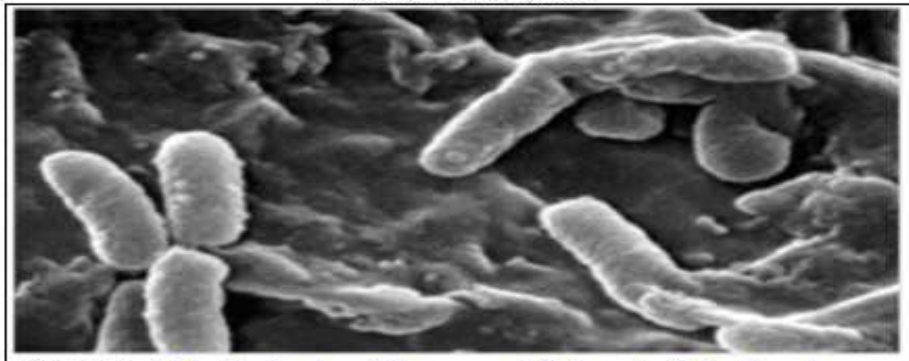
♥ 질소순환 학습자료 ♥



(자료출처 : http://blog.naver.com/wjb1222/133280671)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭 : 질화세균 2. 토양에 널리 분포한다. 3. 외부로부터 영양 유기물질을 섭취하지 않아도 살 수 있다. 4. 비료에 들어있는 질소화합물을 질산염으로 만든다. 5. 약산성 환경에서 가장 많이 서식한다. 6. 암모늄염(NH_4^+)으로부터 아질산(NO_2^-)이나 질산(NO_3^-)같은 질산염을 만든다. 7. 호흡을 통해 에너지를 얻는다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.) :** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥



(자료출처 : http://microbewiki.kenyon.edu/index.php?title=Pseudomonas)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭: 탈질소세균 2. 토양이나 해양 등에 걸쳐 널리 존재한다. 3. 산소가 적은 환경에서도 살 수 있다. 4. 주로 토양의 비옥도를 저하시키고 농작물의 생산능력을 감소시킨다. 5. 질산염(NO_2^-, NO_3^-)을 환원시켜 질소기체(N_2)로 방출한다. 6. 호흡을 통해 에너지를 얻는다. 7. 질소가 식물로 유입되는 양과 비슷하게 질소를 방출시킨다. 8. 외부 유기 영양물질을 받아들여야 살 수 있다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.) :** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥

(자료출처: http://www.jlwb.kr/03-00-micro-gut.html)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭 : 분해자(세균) 2. 죽은 생물체나 배출물 또는 그분해물을 분해하여 에너지를 얻는다. 3. 유기물을 무기물로 전환시킨다. 4. 일부는 병원균으로 작용하며 의약용, 식용으로 애용되기도 한다. 5. 생물의 사체나 배설물에 있는 질소화합물을 분해하여 암모늄염(NH_4^+)을 만든다. 6. 토양이나 해양 등에 걸쳐 널리 존재한다. 7. 호흡을 통해 에너지를 만든다. 8. 외부 유기 영양물질을 받아들여야 살 수 있다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.) :** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥

(자료출처 : http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1153010&cid=40942&categoryId=32718)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭 : 식물 2. 잎의 기공을 통해 외부와 기체를 주고받는다. 3. 광합성을 한다. 4. 호흡으로 에너지를 만든다. 5. 물과 무기양분을 뿌리에서 흡수한다. 6. 증산작용을 한다. 7. 섭취한 영양물질로부터 탄수화물, 단백질 등 몸의 구성물질을 합성한다. 8. 뿌리를 통해 무기영양분을 흡수하는데 질소는 주로 질산염(NO_2^-, NO_3^-), 일부 암모늄염(NH_4^+) 형태로 흡수한다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.):** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 학습자료 ♥

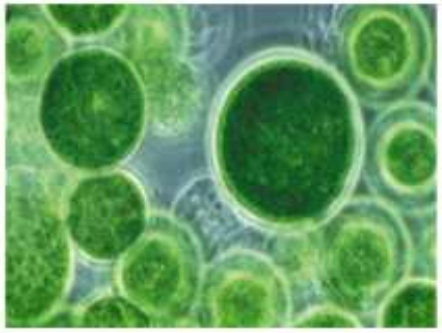
(자료출처 : http://photo.naver.com/view/2005082423374166345)

☺ 특징	☺ 정리해보자!
1. 명칭 : 초식동물 2. 식물을 먹고 자란다. 3. 세포호흡으로 생활에너지를 만든다. 4. 3대 영양소 중 몸 구성비율이 가장 큰 것은 단백질이다. 5. 모피나 식품, 애완용 등으로 사람들에게 이용된다. 6. 늑대, 여우 등 일부 육식동물의 먹이가 된다. 7. 섭취한 영양물질로부터 탄수화물, 단백질 등 몸의 구성물질을 합성한다.	**♡ 질소는 어떤 형태로 있나요? (질소화합물 종류를 변화시키는 경우, 변화과정도 적으세요.):** **♡ 생태계에서 질소를 포함한 화합물이 있는 장소 변화에 어떤 영향을 주나요? :**

♥ 질소순환 4번 문항 참고자료 ♥

☺ 특징	☺ 특징
1. 명칭 : 물 2. 조류, 호기성박테리아, 기타 산소로 호흡하는 많은 수중생물의 서식처가 된다. 3. 토양에서 질산염 등의 물질들을 이동하며 흐르다가 강이나 바다의 물줄기와 합쳐지기도 한다.	1. 명칭 : 질산염 2. 대부분은 질화세균의 질화작용을 거쳐, 일부는 질소순환 과정의 공중방전으로 생성된다. 3. 식물에게 흡수되어 식물의 생장과 증식에 도움이 되며, 이후 먹이그물을 따라 이동한다. 4. 생태계 내 생물의 양은 적정한 선에서 유지되므로 무척 많은 질산염은 생물을 통한 순환경로에 도입되지 못하여 토양에 남는다.

♥ 질소순환 4번 문항 학습자료 ♥

	
☺ 특징	☺ 특징
1. 명칭 : 조류(algae) 2. 물 속에 서식한다. 3. 광합성을 한다. 4. 호기성 박테리아(산소를 이용해 호흡하는 박테리아)의 먹이이다. 5. 질소화합물 등 영양분을 사용하여 생장 및 증식한다.	1. 명칭 : 호기성박테리아 2. 물 속에 서식한다. 3. 산소를 소모하여 에너지를 얻고 증식한다.

(6차시 활동지)

테라륨 경진대회!

1. Terrarium이란?

Terrarium이란 라틴어의 "terra(흙)"과 "arium(작은 용기)"의 합성어로 밀폐된 투명한 용기 속에 흙을 채우고 각종 식물을 아름답게 배치하고 기르는 원예방식이다.

Terrarium의 역사]

1842년 영국의 nathaniel Ward가 발견하였다. 런던의 내과 의사인 그는 나비의 일종인 Sphinx moth가 번데기로부터 성충으로 변해가는 과정을 연구 관찰하기 위해서 밀봉한 유리관에 실험을 하던 중 그 속에서 양치식물의 포자가 잘 자라고 있는 것을 발견하였다. 발아된 양치식물이 4년 동안이나 자라는 것을 보고 입구가 큰 유리병에 식물을 심어 종모양의 덮개를 덮어 기르면서 연구하고 개발하였는데 이것이 테라륨의 시작이다.

밀폐식 테라륨

2. 밀폐된 테라륨 설계하기

모둠별로 아래의 질문에 대해 토의하면서 더 오래 지속되기 위한 테라륨을 설계해보세요.

① 테라륨을 만들 수 있는 요소에 관한 카드를 6장씩 나누어 갖고 그 중 테라륨에 포함시킬 3장을 선택합니다.

② 카드 뒷면에 그 요소가 테라륨에 포함되어야 할 이유에 관해 적습니다.

③ 각자 선택한 카드를 모둠에서 모아 검토합니다. 모둠원 개개인이 선택하지 않은 카드들도 모아서 검토하고 최종적으로 테라륨에 포함시킬 카드들을 선택합니다.

④ 테라륨을 그림으로 그리고, 테라륨이 밀폐되어도 보존되는 원리를 글이나 기호 등을 사용하여 함께 적습니다.

⑤ 위에서 작성한 테라륨의 보존원리를 발표합니다. 그리고 다른 모둠에서 만든 테라륨 설계원리를 듣고 평가합니다.

☺ **탐구문제.** 윤우는 자신이 만든 테라륨이 너무 예뻐서 집 안 책상의 책꽂이 안에 테라륨을 놓았습니다. 그리고 집의 문과 창문을 닫고 커튼을 친 상태로 가족 모두 함께 여행을 한 달 동안 가게 되었습니다. 여행을 다녀 온 후 테라륨 안의 식물과 동물들은 어떻게 되었을까요? 모둠에서 토의하여 테라륨 안의 변화를 근거를 들어 구체적으로 서술하세요.

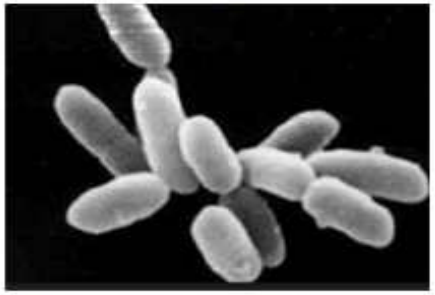
♥ 테라륨 만들기 재료 목록(24개 중에서 12개만 선택하여[같은 무늬의 6개 셀 중 3개씩]동그라미 치세요)

자갈	흙	물	잠자리
낙엽	작은 가지	세균	곰팡이
지렁이	해당화	고사리	꿀벌
질소비료	참새	태양에너지	공기
날파리	나비	사마귀	메뚜기
미국자리공(귀화식물)	마귀광대버섯(독버섯)	콩	선인장

♥ 생태계의 구조와 기능을 포함하여, 테라륨이 밀폐되어도 보존되는 원리를 그림으로 설명해보세요. 이 그림은 학급친구들에게 발표하게 됩니다.

♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 자갈 (출처 : 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 흙 (출처 : 지식백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 물 (출처 : 두산백과)
♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 잠자리 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 낙엽 (출처 : 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 작은 가지 (출처 : http://blog.naver.com/poohwj67/120059450600)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
세균



(출처 : http://navercast.naver.com/contents.nhn?rid=21&contents_id=4344)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
곰팡이

(자료출처: http://cafe2.daum.net/history.co.kr/image/1466122664A721F1B1C3DCC)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
지렁이

(자료출처 : 두산백과)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
해당화(열매달린 모습)

(자료출처 : 두산백과)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
고사리(꽃과 열매를 맺지 않음)

(자료출처 : 두산백과)

♥테라륨 설계하기♥
(테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요)
벌

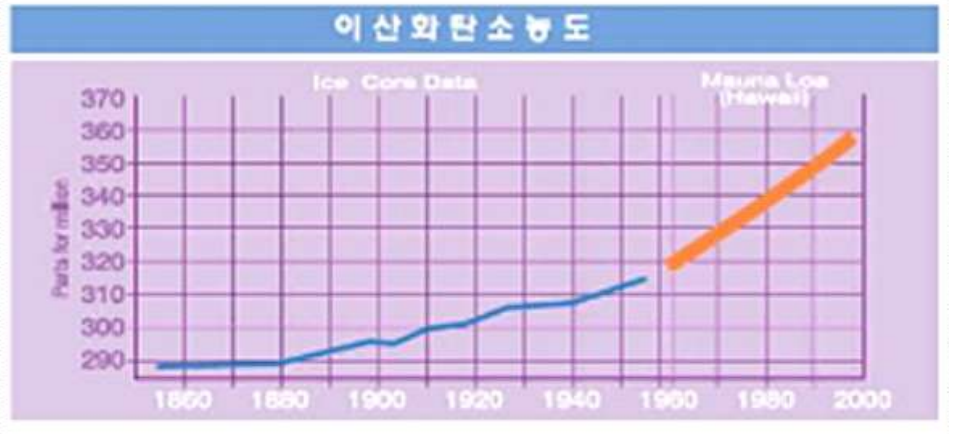
(자료출처 : 두산백과)

♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 질소비료 (자료출처 : http://cafe.naver.com/happyparm/1580)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 참새 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 태양 (출처: 두산백과)
♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 공기 (출처 : 네이버 지식백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 날파리 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 나비 (출처: 두산백과)

♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 메뚜기 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 사마귀 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 미국자리공(귀화식물) (출처: 두산백과)
♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 마귀광대버섯(독버섯) (출처: 네이버지식백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 콩 (출처: 두산백과)	♥테라륨 설계하기♥ (테라륨에 포함할 카드 선택 후, 뒷면에 이 요소가 테라륨에 필요한 이유를 쓰세요) 선인장(꽃과 열매를 맺음) (출처: 두산백과)

부록2. 사후 인터뷰 질문

인터뷰 문항 1. 그래프는 어떤 지역에서 1860년부터 2000년까지 이산화탄소의 농도변화를 나타낸다.



(자료 출처: http://blog.naver.com/esmgs25/140161735064)

1. 이 지역의 온도는 이 기간에 걸쳐 어떻게 변했을 것으로 예상되는가? 근거를 들어 설명해보자.

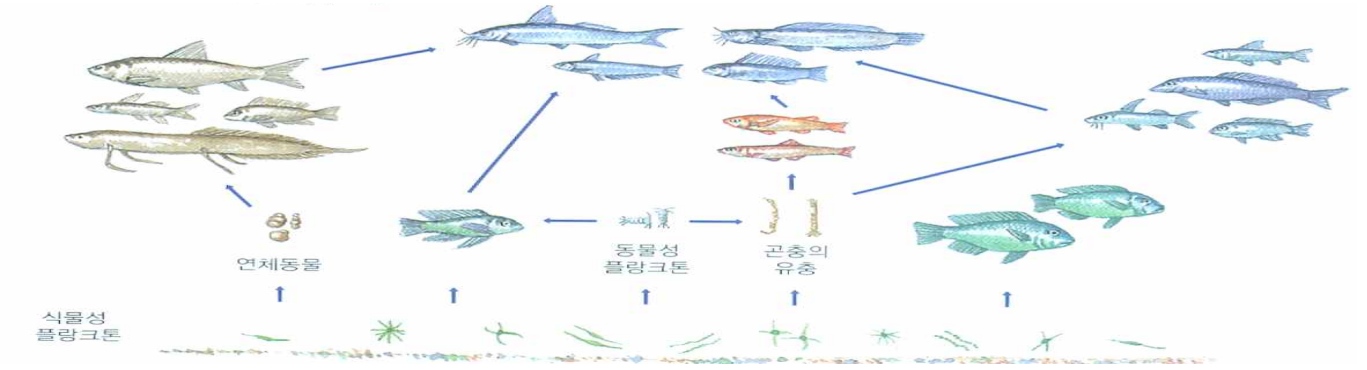
_____

_____

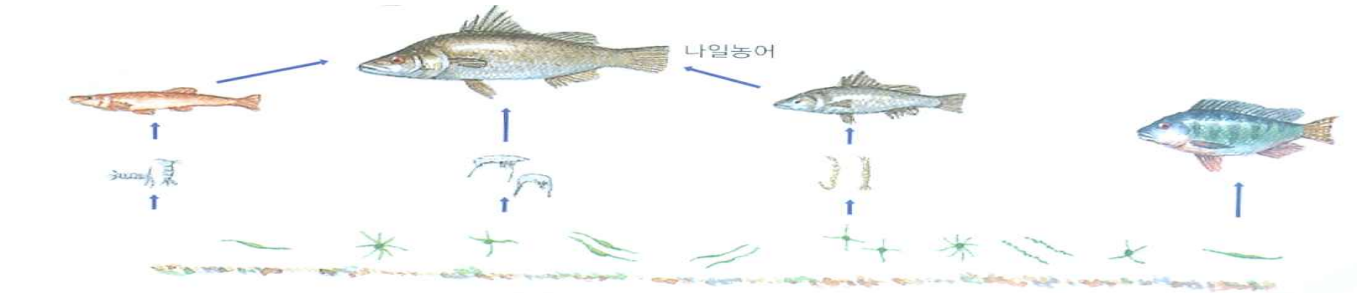
2. 진현이는 이 지역의 숲과 밀림이 파괴된 것이 이산화탄소 농도가 이렇게 변하는데 영향을 미친다고 생각하였다. 진현이의 의견이 그럴듯하다고 생각하는가? 이유를 글과 화살표 등을 사용하여 모식도로 나타내보자.

인터뷰 문항 2. 그림 (가)는 어떤 지역에 나일농어 도입 전의 먹이그물, 그림 (나)는 나일농어 도입 후의 먹이그물을 나타낸 것이다.

(가)



(나)



1. 나일농어 도입 후 먹이그물은 어떻게 변하였는가? 화살표나 글 등을 이용하여 이 생태계에서 나일농어 도입으로 인한 생태계 구성요소의 변화과정을 그림으로 나타내보자.

2. 물속의 산소량이 지속적으로 줄어들 때, (가)와 (나) 중 어떤 먹이그물이 더 오래 지속될 수 있다고 생각하는가? 근거를 들어 설명하시오.

인터뷰 문항 3. 다음 그림에 나타난 생태계가 유지되기 위해 추가되어야 할 요소를 있는 대로 그리시오.

인터뷰 문항 4. 카드에 제시된 3가지 중에서 가장 거리가 먼 것을 고르고, 판단 근거를 설명하시오[22].

1) | 다람쥐 | 사람 | 소나무 |

2) | 베스 | 지의류 | 황소개구리 |

3) | 세균 | 곰팡이 | 지렁이 |

4) | 버섯 | 고사리 | 장미 |

22) 이 문항은 Repertory Grids(Kelly, 1955)를 토대로 구성한 문항이다. Repertory Grids는 어떻게 개념들이 학습자의 인지구조 안에서 획득되고 조직화 되는지 설명할 수 있는 조사기법이다. 개인적 구성이론[PCT](Kelly, 1955)에서 제안되었다. repertory grid는 element들과 construct들을 포함한다. elements는 조사영역 내에서 주의를 기울이는 대상들이며, construct는 elements와 그들 사이 관계에 대한 연구 참여자들의 해석을 나타낸다. construct를 이끌어내는 방법으로 Kelly에 의해 사용된 방법은 element목록으로부터 계속하여 3개씩 선택하여, construct를 이끌어내야 하는 사람에게 보여준다. 그리고 그들 중 2개가 어떤 측면에서 비슷한지 자세히 말해야 한다. 그리고 세 번째 개념이 다른 두 개와 어떤 점에서 다른지 말하게 된다.

인터뷰 문항 5. 생태계 단원에서 모둠별로 그림 그리기활동을 했던 상황을 되돌아보며 물음에 답해주세요.

1) 친구들과 함께 학습하는 것에 대해서 어떻게 생각하나요?

2) 모둠활동에서 나는 어떠한 역할을 하였나요?

3) 모둠학습을 잘 하기 위해서 필요하거나 중요한 것은 무엇이라고 생각하나요?

4) 생태계 모둠 활동을 했던 주제 중에서 주변에 추천하고 싶은 것이 있었나요? 있다면 어떤 주제인가요?

5) 모둠활동을 하는 것의 장점과 단점은 무엇이라 생각하나요?

6) 기타 하고 싶은 말이 있다면 해주세요.

Abstract

Understanding of system thinking in representational activities about ecosystem of high school students

Lee, Kyung Hyun
Biology Education Major
Department of Education
The Graduate School
Seoul National University

"The system" is a cross-cutting concept used in all fields of science and has recently been emphasized in science education. In order for students to understand systems well, they need systems thinking, as well as knowledge of systems' various components. In this study, the researcher identified how high school students' systems thinking appeared in external representation activities on the subject of the ecosystem, and investigated the context in which the students exhibited a high level of systems thinking based on the impact of the task and the epistemology established by the students.

For this, each student's worksheets, the drawings created by small groups, video recordings, field notes, and post-interview data with students were collected. Through the collected data, the researcher analyzed the systems thinking of high school students in their learning courses on the topic of the ecosystem. In particular, the researcher investigated what aspects of the task promoted high-level systems thinking among high school students. In addition, to understand in more depth the students' learning dynamics in terms of their ecology concept construction and their epistemology, the researcher investigated how the students' sharing of epistemological messages and

systems thinking was processed.

The results showed that the high school students displayed various levels of systems thinking in the process of learning about the ecosystem. The contexts in which students were able to show various levels of high-level systems thinking were as follows. The students visualized their thinking through the process of external representation, after which their metacognition was instigated during the process of reflecting on the created representation. In addition, the students were able to utilize the drawing as a cognitive tool, adjusting the position of the elements in the drawing of the small group, for example. In addition, when students came to visualize various elements constituting the ecosystem during the task, they were able to explore the properties of the system deeply, such as utilizing the relationships between the elements as a scaffold. The characteristic of the task question presented by the teacher was another factor that influenced the students' systems thinking positively. When the characteristics of the task question were open-ended or novel, more diverse and novel ideas from students were capable of being expressed, and their thinking about the relationship between the elements constituting the ecosystem was broader. From an examination of the context in which students were able to engage in high-level systems thinking, the need to reinforce the external representation activity in high school students' learning of the ecosystem was discussed, as well as the need for the teacher to present them in consideration of the characteristics of the task.

Students' epistemology was another factor influencing their high-level systems thinking. The epistemology of high school students was transmitted to the small group members and influenced their epistemology. After that, better productive epistemological messages were able to emerge when tangible rebuttals from other students were suggested within the small group.

Moreover, as the students came to accept productive epistemological messages within the group, they shared a better productive epistemology. In doing so, the students were able to consider the ecosystem in terms of a systematic perspective and, specifically, to consider the dynamics, cycle, and spatial scale of the ecosystem. On the basis of the research results, the researcher concluded that the students' productive epistemology was closely intertwined with their epistemic practice.

keywords : system thinking, ecology education, representation, epistermological messages

Student Number **: 2014-30512**