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

교육학석사학위논문

중학생들의 시각 개념 이해에 요구되는 시스템 사고와 학생들의 시스템 사고 지원 방안 탐색

Exploring System Thinking Required for Middle School Students to Understand Visual Concepts and Teaching Strategies for Supporting Students' System Thinking

2017년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과 생물전공

황윤식

중학생들의 시각 개념 이해에 요구되는 시스템 사고와 학생들의 시스템 사고 지원 방안 탐색

Exploring System Thinking Required for Middle School Students to Understand Visual Concepts and Teaching Strategies for Supporting Students' System Thinking

지도교수 김 희 백

이 논문을 교육학 석사학위논문으로 제출함

2017년 6월

서울대학교 대학원

과학교육과 생물전공

황 윤 식

황윤식의 석사 학위논문을 인준함

2017년 7월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

본 연구에서는 학생들이 시각 개념을 이해할 때 요구되는 시스템 사고 수준과 비유 모형을 활용한 수업이 학생들의 시스템 사고를 촉진하는 방안이 될 수 있는지를 알아보았다.

연구1에서는 학생들이 시각 개념을 학습하기 위해 중학교 과학 교과서가 요구하는 시스템 사고 수준이 어떠한지와 시각자료가 이를 어떻게 지원하고 있는지 탐색하고자 하였다. 이를 위해 교과서 본문에서 나타나는 시스템 사고, 교과서의 시각자료의 존재론적 범주를 분석하고 본문과 시각자료의 정보 포괄도를 비교하였다. 연구 결과, 교과서는 시각 개념을 '눈의 구조와 시각 성립 과정', '명암 조절과 원근 조절', '근시와 원시의 교정'의 세 가지 주제로 다루고 있었으며, 개념 학습을 위해 높은 수준의 시스템 사고를 요구하고 있었다. 또한 '구조' 범주를 표상하는 시각자료는 단어, 기호 또는 다중 이미지를 사용함으로써 '과정' 범주의 내용을 표상할 수 있었고 이를 통해 시각자료는 본문에서 요구하는 높은 수준의 시스템 사고를 지원하는 것으로 나타났다. 따라서 수업에서 시각자료를 활용할 때 학생들에게 시각자료에서 나타난 기호 또는 다중 이미지 같은 특징들이 어떤 의미를 가졌는지 물어보는 것은 학생들에게 구조 요소들 관계 또는 구조 요소들의 변화를 추론하는 기회를 제공하므로 학생들의 시스템 사고를 촉진할 방안이 될 수 있을 것이다.

연구2에서는 연구1의 결과를 바탕으로 눈 비유 모형을 제작하고 이 비유 모형을 활용한 소집단 활동과 교사의 지원이 학생들의 시스템 사고를 어떻게 향상시키는지 알아보았다. 중학교 2학년 학생 53명이 본 연구에 참여하였다. 학생들이 눈의 구조와 시각 형성 과정을 이해하기 위해 눈 비유 모형을 사용한 소집단 활동에서 나타난 학생들의 담화를 시스템 사고 분석틀을 사용해 질적으로 분석하였다.

학생들의 담화를 분석한 결과, 소집단을 시스템 사고 수준에 따라 3그룹으로 구분할 수 있었다. 첫 번째 그룹에 해당하는 학생들은 시각 시스템의 구조 요소에만 초점을 맞추며 구조 요소와 과정 요소를 연결하지

못하는 모습을 보였다. 두 번째 그룹의 학생들은 구조 요소와 과정 요소를 제한적으로 연결하는 모습을 보였으며, 학생들의 절편화된 아이디어는 시각 형성 과정을 이해할 때 대체개념을 만드는 것을 확인할 수 있었다. 세 번째 그룹의 학생들은 구조 요소들과 과정 요소들을 유기적으로 연결하는 것을 통해 시각 시스템에서 상이 어떻게 형성되는지에 대한 설명을 구성할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 눈 비유 모형은 구조 요소 간의 관계를 가시적으로 제공하는 것을 통해 학생들의 인지 부담을 낮춤으로써 학생들이 과정 요소를 추론하는 것을 도와주고 이는 학생들의 시스템 사고 촉진으로 이어짐을 확인할 수 있었다. 또한, 교사는 인식적 실행 활성화를 위한 지원을 제공함으로써 학생들이 시각 시스템에서 과정 요소를 고려할 수 있도록 도와줄 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 교과서 분석, 교사 지원, 복잡계, 시각 개념, 시각자료, 시스템 사고, 비유 모형

학 번 : 2015-21635

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
1. 연구의 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적 및 연구 문제 ····· 6
3. 연구의 제한점 ····· 7

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 8
1. 복잡계 ····· 8
2. 시스템 사고 ····· 10
3. 교과서와 시각자료 ····· 12
4. 비유모형 ····· 14

Ⅲ. 교과서 조사 ····· 16
1. 자료 수집 및 분석 ····· 16
1.1 교과서 선택 ····· 16
1.2 교과서 분석 절차 ····· 16
2. 결과 및 논의 ····· 21
2.1 교과서 조사에서 나타난 교과서 본문의 시스템 사고 수준과 시각자료의 특징 ····· 21
2.2 세 가지 주제에서 나타난 특징 ····· 26
2.2.1 눈의 구조와 시각 성립 과정 주제에서 나타난 특징 ····· 26
2.2.2 명암 조절과 원근 조절 주제에서 나타난 특징 ··· 29
2.2.3 근시와 원시의 교정 주제에서 나타난 특징 ····· 32

Ⅳ. 소집단 활동 탐색 ····· 35
1. 연구 방법 ····· 35
1.1 연구 참여자 ····· 35
1.2 수업 설계 ····· 36
1.3 소집단 활동 자료 수집 및 분석 ····· 38
2. 결과 및 논의 ····· 40
2.1 비유 모형을 활용한 활동에서 나타난 학생들의 시스템 사고 ····· 40
2.1.1 시각 시스템의 구조 요소만 확인한 경우 ····· 42
2.1.2 시각 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 제한적으로 연결한 경우 ····· 46
2.1.2.1 두 비유 모형의 비교 분석 ····· 46
2.1.2.2 맹점 현상 설명 ····· 47
2.1.3 시각 시스템의 구조 요소들 관계와 과정 요소를 연결하여 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식한 경우 ····· 49
2.1.3.1 두 비유 모형의 비교 분석 ····· 50
2.1.3.3 맹점 현상 설명 ····· 50
2.2 교사의 지원이 학생들의 시스템 사고에 미친 영향 ·53

Ⅴ. 결론 및 제언 ····· 57

참고문헌 ····· 61
부록 ····· 71
Abstract ····· 74

표 목 차

<표 1> Assaraf & Orion (2005)의 STH ····· 11
<표 2> 연구1에서 사용한 교과서 ····· 16
<표 3> 연구1에서 사용한 시스템 사고 분석틀 ····· 19
<표 4> 연구1에서 사용된 존재론적 범주틀 ····· 21
<표 5> 교과서별 주제에 따른 교과서 본문의 시스템 사고 수준 분석 결과 ··· 22
<표 6> 교과서별 존재론적 범주에 따른 시각자료의 개수 ····· 24
<표 7> 교과서별 정보의 포괄도에 따른 시각자료의 개수 ····· 25
<표 8> 눈 비유 모형을 활용한 수업 내용 ····· 37
<표 9> 연구2에서 활용한 시스템 사고 분석틀 ····· 40
<표 10> 두 맥락에서 나타난 초점 소집단의 시스템 사고 수준 ··· 42

그 림 목 차

<그림 1> 눈의 구조를 나타내는 시각자료 ····· 27
<그림 2> 시각 성립 과정을 나타내는 시각자료 ····· 27
<그림 3> 명암 조절을 나타내는 시각자료1 ····· 30
<그림 4> 명암 조절을 나타내는 시각자료2 ····· 31
<그림 5> 근시와 원시를 나타내는 시각자료 ····· 33
<그림 6> 오징어 눈 비유 모형(왼쪽)과 사람 눈 비유 모형(오른쪽) ·· 38
<그림 7> 사람 눈 구조에 관한 표상 ····· 44

Ⅰ. 서론

1. 연구의 필요성

Bertalanffy(1968)는 생명과학 현상의 특징 중 하나는 부분들 사이의 상호작용과 이들의 연결이 전체를 형성하고, 이 전체는 부분들의 합 이상을 나타내는 것이라고 제시하였다. 이는 세포학, 생리학, 생태학 등 생명과학 영역에서 다루는 여러 현상은 복잡계(complex system)의 특성이 나타남을 제시하는 것으로 볼 수 있다. 복잡계는 전체를 구성하는 다양한 요소들이 역동적인 상호작용을 하는 것으로 정의할 수 있으며(Wilensky & Resnick, 1999; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007), 구성 요소의 역동적인 상호작용을 통해 복잡계는 '비선형적, 피드백 고리, 창발성, 양방향의 인과 관계, 열린계, 적응' 등의 특성들을 나타낸다(윤영수와 최승병, 2005).

복잡계를 이해하기 위해서는 개별 요소가 아닌 전체를 바라보며 구성 요소 간의 상호작용을 인식해야 할 필요가 있다. 하지만 여러 선행 연구에 따르면 실제 학교 수업에서는 구성 요소의 상호작용을 무시한 채 특정 요소 또는 하나의 인과관계에 초점을 맞추는 절편화된 방식으로 복잡계를 다루고 있다(김만희와 김범기, 2002; Koppal & Caldwell, 2004; 문병찬과 김해경, 2007; 권용주 등, 2011; Rates, Mulvey & Feldon, 2016). 이러한 접근 방식은 학생들이 복잡계를 학습할 때 구성 요소들 사이의 연결을 고려하지 않고 단편적인 사실들을 기억하는데 초점을 맞추도록 하며 이로 인해 잘못된 인식을 가진 상태로 지식을 구성하게 한다(Westbrook & Marek, 1992). 따라서 복잡계 특징을 보이는 생명과학 개념들을 이해하기 위해서는 각각의 구성 요소보다 전체에 초점을 맞추며 구성 요소들 간의 상호작용을 인식해야 할 필요가 있다. 이를 위한 방안 중 하나는 생명과학 수업에서 시스템 사고를 도입하는 것이 될 수 있다.

시스템 사고는 전체를 구성하고 있는 각 요소를 전체 관점으로 연결하

고 이들 사이의 상호작용을 확인하는 것을 통해 시스템에 숨겨져 있는 기작(mechanism)을 찾는 것으로 정의할 수 있다(Hmelo-Silver, Holton & Kolodner, 2000; Assaraf & Orion, 2005; Eilam 2012; Raved & Yarden, 2014). 높은 수준의 시스템 사고를 한다는 것은 시스템에서 나타나는 패턴을 일반화하는 것을 통해 시간 변화 또는 요소 변화에 따른 시스템 변화를 예측하는 것이라고 할 수 있다(Assaraf, Dodick, & Tripto, 2013). 시스템 사고 목적은 시스템을 이해하는 것뿐만 아니라 높은 수준의 시스템 사고를 통해 자신이 원하는 방향으로 문제를 해결하기 위해 시스템을 변화시키는 것이다(김동환, 2004). 따라서 시스템 사고는 전체를 구성하는 요소 간의 상호작용을 인식하는 점에서 생명과학 개념 학습에 필요한 인지 도구인 동시에 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 과학 교과 목표 중 하나인 '과학적 문제 해결력'(교육부, 2009, 2015)을 높일 방안이 될 수 있다. 시스템 사고를 수업에 도입한 선행 연구 결과들은 학생들이 여러 변인을 고려할 수 있게 되는 것처럼 사고의 폭이 확장되거나(김도훈 등, 2006; 문병찬과 송진여, 2012), 구성 요소들 사이의 연결을 확장시키는 것을 통해 순환계와 호흡계의 연결, 물질순환과 같은 생명과학 개념의 이해가 향상됨을 제시하였다(Assaraf & Orion, 2005; Assar af, Dodick & Tripto, 2013; Raved & Yarden, 2014; Tripto et al., 2016).

Assaraf, Dodick & Tripto (2013)는 인체에서 나타나는 복잡계의 세 가지 특징은 위계성, 항상성, 역동성이라고 제시하였다. 위계성은 세포 수준부터 기관계까지 다양한 수준의 구성 요소들이 서로 조직화되어 있음을 의미한다. 항상성은 내부 환경을 안정적으로 유지하기 위해 피드백 과정이 존재함을 의미한다. 역동성은 전체를 구성하는 요소들이 서로 상호작용함을 의미한다. 눈에서 나타나는 시각 현상도 위에서 언급한 3가지의 시스템 특징이 나타나므로 시각 현상을 하나의 시스템으로 볼 수 있다. 즉, 눈은 시각세포와 같은 세포 수준부터 망막과 같은 조직 수준까지, 더 나아가 눈과 뇌와 같은 기관 수준까지 여러 구성 요소들이 위계적으로 구성되어 있다. 또한 시각 형성 과정은 다양한 구성 요소들이 상

호작용한 결과라고 할 수 있으며, 이 과정에서 눈으로 유입되는 빛의 양을 조절하는 피드백 과정이 존재한다. 이처럼 시각 현상 역시 하나의 시스템에 해당하기 때문에, 눈의 구조와 기능을 이해하기 위해서 시스템 사고가 필요하다고 할 수 있다.

시각은 외부 환경을 인식하는 과정에서 많은 비중을 차지하며(Dedes, 2005; 신동훈, 2007) 일상생활과 매우 밀접하게 연계되어 있으므로 학생들이 시각 시스템을 이해하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 하지만, 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 시각 시스템은 중학교 2학년의 '자극과 반응' 단원에서만 다루고 있어서(교육부, 2009, 2015), 학생들이 교육과정에서 시각 개념을 접할 기회가 적다. 게다가 중학생의 약 70%는 시각 개념을 제대로 이해하지 못하고 있는 것으로 나타났으며(고재걸과 조방희, 1996), 학생과 교사가 시각 개념에 대해 여러 오개념을 지니고 있다고 보고된 바 있다(김남일 등, 2002; 김용진, 손정우, & 송영욱, 2010; 신동훈, 2007). 시각 개념과 관련하여 중학생의 대체 개념을 조사한 고재걸과 조방희 (1996) 연구에서 약 70%의 학생들은 물체를 볼 수 있는 이유로 '밝기 때문에', '눈으로 들어온 빛이 물체를 비추기 때문에' 등을 제시하는 것으로 나타났다. 이와 같은 대체 개념은 일상에서 경험하는 현상에 기반을 둬서 추리한 결과라 할 수 있으며, 학생들이 시각 형성과 관련하여 구성 요소 간의 연결을 잘 짓지 못하거나 이들 간의 상호작용을 이해하지 못하는 것에서 비롯된다고 할 수 있다. 이는 학생들의 낮은 시스템 사고 수준이 대체 개념을 유발하는 원인 중 하나임을 반영한다. 학생들의 개념 이해 어려움을 시스템 사고 수준과 연결지은 예로는 산소와 적혈구 같은 미시적 요소를 인식하지 못해 순환계와 호흡계를 연결하지 못했다는 Raved & Yarden (2014)의 연구를 제시할 수 있다. 또한 호흡 과정에서 가시적인 폐의 구조에만 초점을 맞춤으로써 폐와 모세혈관 사이에서 발생하는 기체 확산은 인식하지 못하는 경우(Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007; Won, Yoon & Treagust, 2014)도 있다.

본 연구는 학생들의 개념 이해와 시스템 사고가 서로 관련되어 있다고

가정 하고 학생들의 시스템 사고 촉진 방안을 모색하고자 하였다. 이를 위해 연구1에서는 중학교 2학년 과학 교과서에서 시각 시스템 내용을 다룰 때 어느 수준의 시스템 사고를 요구하는지, 그리고 시각자료는 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주는지 파악하고자 한다. 교과서는 본문과 시각자료(inscription)로 구성되어 있다. 교과서 본문은 수업에서 학생들이 학습하길 원하는 내용의 수준과 범위를 제시하고 있으며, 시각자료는 학생들이 수업에서 기대하는 학습 수준에 도달하도록 도와주는 학습 도구라고 할 수 있다. 연구1은 시각자료가 고유의 의미를 가지며(Kress & van Leeuwen, 1996), 이를 해석하는 과정에서 학습이 촉진된다(Roth, Pozzer & 한재영, 2015)는 관점에 따라 Chi 등(1994)의 존재론적 범주를 사용하여 시각자료가 어떤 내용을 표상하고 있는지 범주화하였다. 그리고 시각자료만을 대상으로 그 특성과 역할을 분석한 선행연구(김미영과 김희백, 2009; Lee, 2010; Won, Yoon & Treagust, 2014; Liu & Khine, 2016)의 제한점을 극복하기 위해 교과서의 본문도 함께 분석하였다. 이러한 분석을 통해 연구1은 중학교 2학년 과학 교과서의 시각 시스템 내용은 어떤 수준의 시스템 사고를 요구하는지, 시각자료는 시스템 사고를 어떻게 도울 수 있는지를 파악하는 것을 통해 학생들의 시스템 사고 촉진을 위해 교과서를 어떻게 사용할 수 있을지에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

연구2에서는 연구실에서 제작한 비유 모형이 학생들의 시스템 사고 촉진에 도움이 되는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 학생들의 시스템 사고 촉진을 위한 비유 모형을 개발하고 이를 활용한 소집단 활동 중에 드러나는 학생들의 시각 형성에 대한 개념 이해와 시스템 사고를 탐색하고자 한다. 시스템 구성 요소의 성질과 행동에 대한 추론을 돕는 도구를 이용하여 학생들의 복잡계에 대한 추론을 촉진시킬 수 있다는 선행연구 관점(Jacobson & Wilensky, 2006)을 바탕으로, 비유 모형은 추상적인 과학 개념을 시각화하여 제시하며 학생들의 상호작용을 유도한다는 등의 비유 모형의 장점을 언급한 선행연구 결과(Duit, 1991; Coll, France & Taylor, 2005; 이신영 등, 2012)와 연구1의 결과를 종합하여 눈 비유 모

형을 제작하고, 이를 활용한 소집단 활동에서 나타난 학생들의 담화를 질적으로 분석하였다. 담화 분석을 통해 비유모형이 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진시키는지 알아보고 시스템 사고와 개념 이해의 관계를 알아보고자 하였다.

또한 연구2는 학생들의 시스템 사고 촉진을 위해 교사는 어떤 방식의 지원을 제공해야 하는지 알아보고자 하였다. 학생들의 추론은 사회적 장에서 활성화된다는 관점(Vygotsky, 1978)에서 볼 때 시스템 사고 촉진을 위해서는 학생들의 활발한 상호작용이 요구된다(Jacobson & Wilensky, 2006). 학생들의 상호작용을 촉진시키기 위해서 교수 전략이나 교수-학습 도구 이외에 교사의 지원이 필요하다. 예로 Strømme & Furberg (2015)는 컴퓨터 지원 협력 학습 환경에서 학생들의 상호작용을 촉진을 위한 학급 분위기 형성에서 교사의 역할을 강조하였다. Chin (2007)은 담화에서 교사의 질문은 학생의 사고를 자극하고, 지식 구성을 중재하는 역할을 한다고 하였다. 하지만 교사의 시스템 사고에 관한 선행연구(권용주 등, 2011; 오현석 등, 2015)는 교사의 시스템 사고 수준을 분석한 데에 그치고 있어서, 교사가 학생의 시스템 사고에 어떻게 영향을 주는지에 대한 정보를 제공하고 있지 않은 상황이다. 따라서 비유 모형을 활용한 수업에서 학생들의 시스템 사고를 촉진시키기 위한 교사의 지원을 탐색할 필요가 있다. 연구2는 비유 모형이 학생들의 시스템 사고 촉진을 위한 교수 도구가 될 수 있다는 것을 제시하며, 학생들의 시스템 사고 촉진을 위해 교사는 어떻게 도움을 줄 수 있을지에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구의 목적 및 연구문제

본 연구는 학생들의 시스템 사고 촉진 방안을 모색하기 위해 연구1에서는 중학교 2학년 과학 교과서에서 시각 시스템을 어떻게 다루는지와 교과서가 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주는지를 조사하였다. 연구2에서는 연구1의 결과를 바탕으로 눈 비유 모형을 제작하고, 이 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 학생들의 시스템 사고가 어떻게 나타나고 있는지 알아봄으로써 비유 모형이 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진하는지 파악하고, 소집단 구성원의 시스템 사고 활성화를 위한 교사의 지원을 파악하고자 하였다. 연구 목적을 달성하기 위한 연구 주제와 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

연구 주제1 : 시각 개념을 다루는 중학교 과학 교과서에서 제시된 시스템 사고와 시각자료 특성 조사

연구 문제

첫째, 시각 시스템을 다루는 중학교 교과서 본문은 어떤 수준의 시스템 사고를 요구하는가?

둘째, 시각 시스템을 다루는 중학교 교과서에 제시된 시각자료는 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움이 될 수 되는가?

연구 주제2 : 눈 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 나타나는 중학생들의 시스템 사고 탐색

연구 문제

첫째, 비유 모형은 활동에서 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진시키는가?

둘째, 소집단 활동에서 교사의 지원은 학생들의 시스템 사고에 어떠한 영향을 주는가?

3. 연구의 제한점

본 연구는 중학교 2학년 과학 교과서 본문에서 시각 시스템을 다룰 때 시스템 사고가 어떻게 반영되고 있는지와 교과서에서 제시된 시각자료가 학생들의 시스템 사고를 촉진시키는데 어떻게 도움을 주는지 조사하고(연구1), 비유 모형을 활용한 수업에서 비유 모형이 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주는지 탐색하기(연구2) 위해 사례 연구 방법을 사용하였다. 본 연구는 결과를 일반화하는 것이 아니라 교과서와 비유 모형을 활용한 수업에서 나타난 현상을 깊이 있고 구체적으로 기술하는 데 목적을 두고 있다. 따라서 본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다.

첫째, 연구1은 현재 학교 현장에서 많이 사용하고 있는 중학교 2학년 과학 교과서 3종을 선정하고, 세 교과서의 'Ⅶ.자극과 반응' 단원에서 시각 시스템을 다루고 있는 교과서 본문에서 나타나는 시스템 사고 수준과 교과서에서 제시한 시각자료 특징을 분석하였다. 즉, 시각 현상을 다루는 모든 교과서를 분석한 것이 아니다.

둘째, 연구2의 분석 대상은 시각 개념을 다루는 서울의 공립 중학교 2학년 2개 학급의 총 14개의 소집단 중 3개의 소집단으로 한정되어 있다. 즉, 특정 공간 및 시간 상황에 있는 소집단의 활동을 연구하였으므로 본 연구의 결과를 모든 수업에 확대해 적용하는 데 한계가 있다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 복잡계

복잡계는 상호작용하는 개체들이 하나의 전체를 형성하면서 개체 수준에서는 나타나지 않은 패턴과 성질이 나타나는 집합체로 정의할 수 있다(Mitchell, 2009; Johnson, 2015). 개체들이 서로 다른 시간, 공간, 조직화 수준에서 역동적인 상호작용을 하면서(Jacobson & Wilensky; 2006,). 복잡계는 비선형적 상호작용, 피드백 고리, 창발성, 열린계, 적응 등의 특성을 나타낸다(윤영수와 최승병, 2005).

비선형적 상호작용은 결과가 다시 원인에 영향을 미치거나, 원인과 결과 사이에 다양한 변인들이 존재하면서 원인에 의한 결과를 쉽게 예측하지 못하는 경우를 의미한다(Grotzer, 2012; Rates, Mulvey & Feldon, 2016). 비선형적 상호작용 때문에 복잡계는 작은 차이에 의해서도 큰 변화가 나타날 수 있는데, 이를 '나비효과' 또는 '혼동이론'으로 표현하기도 한다(윤영수와 최승병, 2005; Rates, Mulvey & Feldon, 2016).

창발성은 개체의 상호작용이 예측 불가능하게 변함으로써 개체의 행동과 전체의 행동이 다르게 나타나는 것으로 정의할 수 있다(Resnick & Wilensky, 1998; 윤영수와 최병수, 2005; Rates, Mulvey & Feldon, 2016). 예를 들어, 차량 정체가 발생했을 때 개체에 해당하는 개별 자동차들은 계속해서 앞으로 이동하지만 전체에 해당하는 차량 정체는 개별 자동차가 앞으로 이동함에 따라 뒤로 이동한다(Jonshon, 2015; Rates, Mulvey & Feldon, 2016). 개체와 전체의 행동이 다르게 나타나는 이유 중 하나는 개체들이 집단적 행동을 보임으로써 개체 수준에 없던 새로운 질서가 생기기 때문이다(Chi et al., 2012). 호흡계에서 공기 분자 자체의 움직임은 예측하기 어렵지만, 기관계 수준에서 공기의 움직임은 날숨과 들숨이라는 새로운 질서를 보이는 경우가 이에 해당한다(Hmelo-silver & Azevedo, 2006).

또한, 복잡계는 하위 그룹을 형성하기 때문에 복잡계와 환경 사이의

경계가 명확하지 않은 특성을 보이며(윤영수와 최승병, 2005), 열린계에 해당하여 환경과 상호작용하면서 환경 변화에 따라 개체 사이의 상호작용 패턴이 변하는 피드백과 적응의 특성을 보이기도 한다(윤영수와 최승병, 2005; Johnson, 2015).

마지막으로 복잡계의 변화는 목적을 가진 특정한 주체 때문에 나타나는 것이 아니라 미시적 수준에 해당하는 여러 개체 사이의 상호작용 때문에 거시적 수준의 변화가 나타나게 된다. 이와 같은 변화 방식을 상향식 조직화(bottom-up organization)라고 한다(Rates, Mulvey & Feldon, 2016).

선행연구에 따르면 많은 학생은 복잡계를 선형적으로만 생각하거나(Casti, 1994), 즉각적이고 가시적인 원인에만 초점을 맞추거나(Grotzer, 2012), 복잡계의 변화를 유발하는 특정한 주체가 있다고 생각한다(Resnick & Wilensky, 1998; Rates, Mulvey & Feldon, 2016). 즉, 복잡계의 특징들은 반 직관적이고 일반적인 신념과 다르므로 학생들은 복잡계 학습에 어려움을 겪는다(Jocobson & Wilensky, 2006).

Jacobson & Wilensky (2006)는 복잡계를 수업하기 위해 학생들에게 개체 수준의 상호작용이 거시적 수준의 변화에 어떻게 기여하는지 제시하기 위해 비유 사용이 필요하며, 이때 구성주의 관점에서 학생들을 단순 관찰자가 아니라 실제 참여자로 위치시키기 위한 협동학습이 필요하다고 제언하였다.

Rates, Mulvey & Feldon (2016)은 복잡계를 가상 체험할 수 있는 게임을 통해 학생들의 복잡계 이해가 얼마나 향상되는지 측정하였다. 이 연구에서 학생들은 가상체험을 활용한 게임에서 농부와 어부 같은 직업을 선택하고 자신의 선택으로 인해 지역 생태계가 어떻게 변화하는지 관찰하고, 소속된 팀과 토론을 하면서 생태계의 변화가 어떻게 나타나는지 추론하고 발표하는 기회를 가졌다. 연구 결과, 학생들은 창발성과 조직화 방식 등의 측면에서 이해가 향상된 것으로 나타났다(Rates, Mulvey & Feldon, 2016).

2. 시스템 사고

시스템 사고는 전체에 해당하는 시스템을 구성하고 있는 각 요소를 연결하여 요소들 사이에 있는 상호작용과 피드백 고리를 찾는 사고로 정의할 수 있다(Holton & Kolodner, 2000; Assaraf & Orion, 2005; Eilam 2012; Hmelo-Silver, Raved & Yarden, 2014). 이때 시스템은 구성 요소 간의 복잡한 상호작용을 통해 하나의 전체로써 유지되는 단일 복합체로 정의한다(Bertalanffy, 1968). 시스템 사고는 각 요소를 전체 관점으로 바라보며 이들의 상호작용을 인식한다는 측면에서 복잡계 이해를 촉진할 수 있는 추론 도구가 될 수 있다.

높은 수준의 시스템 사고를 한다는 것은 시스템에서 나타나는 패턴을 일반화하는 것을 통해 시간 또는 요소 변화에 따른 시스템 변화를 예측하는 것이라고 할 수 있다(Assaraf, Dodick, & Tripto, 2013). 시스템 사고 목적은 시스템을 이해하는 것뿐만 아니라 높은 수준의 시스템 사고를 통해 자신이 원하는 방향으로 문제를 해결하기 위해 시스템을 변화시키는 것이다(김동환, 2004). 즉, 시스템 사고는 전체를 구성하는 요소 간의 상호작용을 인식하는 인지적 도구라는 점에서 복잡계 학습에 필요한 인지 도구이며, 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 과학교과 목표 중 하나인 '과학적 문제 해결력'(교육부, 2009, 2015)을 높일 방안이 될 수 있다. 시스템 사고를 수업에 도입한 선행 연구 결과들은 학생들이 여러 변인을 고려할 수 있게 되는 것처럼 사고의 폭이 확장됨을 제시하며(김도훈 등, 2006; 문병찬과 송진여, 2012), 구성 요소들 사이의 연결을 확장하는 것을 통해 순환계와 호흡계를 연결하는 것과 같이 생명과학 개념의 이해가 향상됨을 제시하였다(Assaraf & Orion, 2005; Assar af, Dodick & Tripto, 2013; Raved & Yarden, 2014; Tripto et al., 2016).

시스템 사고 수준을 나타내는 분석틀은 크게 두 가지로 구분될 수 있다. Hmelo-Silver, Marathe, & Liu (2007)가 제안한 SBF틀과 Assaraf & Orion (2005)이 제안한 STH틀이 이에 해당하는데, Tripto 등 (2016)은 전자를 수평적 틀, 후자를 수직적 틀이라고 명명하였다.

Hmelo-Silver, Marathe, & Liu (2007)의 SBF는 각각 구조(structure)-행동(behavior)- 기능(function)을 의미한다. 구조는 시스템 구성 요소의 외형적 특징을 의미하며, 기능은 요소의 역할을 의미하며, 행동은 요소가 어떻게 자신의 기능을 달성하는지에 관한 기작을 의미한다. 이 분석틀은 시스템을 높은 수준으로 이해하기 위해서는 가시적인 구조 측면과 아울러 비가시적인 과정 또는 구조 요소 사이에서 나타나는 인과관계를 이해할 필요가 있다는 함의점을 가진다.

Assaraf & Orion (2005)의 STH(systems thinking hierarchy)는 시스템 사고와 관련된 8가지 사고를 위계적으로 배치한 것을 의미한다(표 1). STH틀은 SBF틀 보다 학생들의 시스템 사고 수준을 범주화하기 쉽다는 장점이 있다. 또한 이 틀은 높은 수준의 시스템 사고를 한다는 것은 시스템에서 나타나는 패턴을 일반화하는 것을 통해 시간 변화 또는 요소 변화에 따른 시스템 변화를 예측하는 것(Assaraf, Dodick, & Tripto, 2013)이라는 함의점을 가진다.

<표 1> Assaraf & Orion (2005)의 STH

수준	내용
시스템 요소를 확인(A)	1. 시스템의 요소와 과정을 확인
시스템 요소를 합성(B)	2. 시스템의 요소들 사이의 간단한 관계를 확인 3. 시스템의 역동적 관계를 확인 4. 시스템의 요소, 과정, 상호작용을 재조직화 5. 시스템의 물질/에너지 순환을 확인
실행(C)	6. 시스템의 숨겨진 차원일 인식 7. 시스템의 일반화 8. 시스템을 시간적으로 생각

Assaraf, Dodick & Tripo (2013)은 학생들이 요소들을 하나의 시스템을 구성한다는 통합된 관점으로 보는 것이 아니라 개별 요소에 초점을 맞추기 때문에 시스템 사고 수준이 낮게 나타난다고 하였다. 시스템 사고 수준이 낮다는 것은 학생들이 구성 요소를 유기적으로 연결하는 것을

어려워 한다는 것을 의미하며, 이로 인해 학생들은 시스템 사고를 포함하는 학습에서 상당한 어려움을 겪는다. 예를 들어, 학생들은 산소, 적혈구와 같은 미시적 요소들을 인식하지 못해 순환계와 호흡계를 연결하지 못하거나(Raved & Yarden, 2014), 호흡 과정을 설명할 때 비가시적인 인과관계보다는 가시적인 구조인 폐에만 초점을 맞추거나(Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007; Won, Yoon & Treagust, 2014), 진화는 유전자에 의해서만 영향을 받는다고 생각하는 경우 등이 있다(Bishop & Anderson, 1990). 선행 연구들은 학생들의 시스템 사고의 향상을 위한 교수 전략 또는 도구들을 제시하였다. 예를 들어 컴퓨터 가상체험(simulation)을 활용하여 비가시적인 과정에 대해 학생들이 인식하도록 돕거나(Liu & Hmelo-Silver, 2009; Hmelo-Silver, Eberbach & Jordan, 2014; Rates, Mulvey & Feldon, 2016), 개념 체계도(concept map)를 활용하여 요소들 사이의 관계를 인식하도록 돕거나(Assaraf & Orion, 2005; Assaraf, Dodick & Tripto, 2013; Raved & Yarden, 2014; Tripto et al., 2016), 외적 표상을 만드는 활동에 학생들이 참여하도록 하여 시스템 사고 수준을 높이고자 하였다(Clement, 2000; 이경현, 한문현 & 김희백, 2016).

3. 교과서와 시각자료

교과서는 본문과 시각자료로 구성된 점에서 하나의 다중 표상으로 볼 수 있다(Mayer, 2001; Gunel & Yesildag-Hasancebi, 2016). 문화적 관점에서 교과서 본문은 과학자들이 해석한 세계를 언어로 제시하는 것을 통해 학생들이 실체와 현상이 어떻게 관련되어 있는지 생각하도록 도와주는 역할을 하는 것으로 정의할 수 있다(Izquierdo & Maorguez, 2008). 즉, 교과서 본문은 학교 문화와 과학 문화를 연결하는 동시에 현실의 실체와 과학적 이론을 연결하는 역할을 하면서 저자와 독자 사이의 의사소통 수단이 된다(Izquierdo & Maorguez, 2008; Liu, & Khine, 2016). 또한 교과서 본문은 과학적 이론을 학생들이 학습하기 쉽도록 전환한 결과물

이라 할 수 있다(Villaverade, 2003; Schizas, Papatheodorou, & Stamou, 2017). 이 관점에 따르면 교과서 본문은 과학적 이론 중에서 어떤 것을 학생들이 학습해야 할지를 선정하여 배울 내용을 명시적으로 제시하는 것으로 볼 수 있다(Liu, & Khine 2016; Schizas, Papatheodorou, & Stamou, 2017). 따라서 교과서 본문은 학생들에게 배울 내용을 전달하는 동시에 학생들이 어느 수준까지 내용을 학습해야 하는지를 제시하는 역할을 하므로, 교사와 학생들이 가장 쉽게 접할 수 있는 학습 자료이자 수업의 내용과 방법을 결정하는 핵심 자료라고 할 수 있다(김미영과 김희백, 2009; 고연숙과 김효남, 2016).

교과서의 시각자료(inscription)는 교과서 본문에서 제시한 학생들이 수업에서 기대하는 학습 수준에 도달하도록 도와주는 학습 도구라고 할 수 있다. 시각자료는 그림, 도표, 사진 등과 같은 본문 이외의 정보를 제시하는 것으로 정의할 수 있다(Latour, 1987). 시각자료는 글로는 얻을 수 없거나 맨눈으로 관찰하기 어려운 추상적인 정보를 시각화하여 제공하는 것을 통해 학생들의 인지 부하를 줄이고 익숙하지 않은 개념의 학습을 도와주는 역할을 한다(Pavio, 1986; diSessa. 2004; Cook, 2006; Lee, 2010). 사회적 기호학(social semiotic) 관점에서 시각자료는 의사소통 도구로 사용된다(Holliday, 1978; Kress & van Leeuwen, 1996). 즉, 시각자료는 고유의 의미를 가지고 있으며(Kress & van Leeuwen, 1996), 학생들은 시각자료가 표상하는 의미를 해석하는 과정에서 학습이 촉진된다(Roth, Pozzer & 한재영, 2015). 즉, 시각자료는 학생들이 과학적으로 행동하고 생각하는 것이 무엇인지 돕는 역할을 하며(Ainsworth, 1999), 과학 내용을 개념화 하도록 도울 뿐만 아니라 과학 지식 본성에 대한 이해를 도와주는 역할을 한다(Waldrip, Prain & Carolan, 2006; Gunel & Hasancebi, 2016). 이러한 관점에서 시각자료는 학생들의 지식 구조화를 도움으로써 시스템 사고를 향상시킬 수 있다. Liu & Hmelo-Silver (2009)는 시각자료가 구성 요소의 구조적 측면과 아울러 구성 요소의 행동과 기능을 표상하는 것을 통해 시스템 이해를 촉진할 수 있다고 제언한 바 있다.

4. 비유 모형

과학교육에서 비유는 익숙한 비유물과 익숙하지 않은 과학 개념 사이의 속성을 비교하여 유사점을 찾는 과정인 연결짓기(mapping)를 통해 과학 개념 이해를 촉진 시키는 것으로 정의할 수 있다(Duit, 1991; Glynn, 2008). 비유 모형은 과학 개념의 구조 측면 중 일부분을 전체적인 것으로 표상하여 연결짓기를 도와주는 물리적 실체로 정의할 수 있다(Duit, 1991; Gurerra-Ramons, 2011). 즉, 비유 모형은 추상적인 과학 개념을 가시화 하여 학생들이 과학 개념의 구조 또는 기능을 확인하도록 도와주는 역할을 한다(Gurerra-Ramons, 2011).

비유 모형은 추상적인 개념을 시각화하여 학생들에게 제시함으로써 익숙하지 않은 과학 개념의 이해를 촉진하고, 비가시적인 과정에 대해서 생각하도록 도와주고, 기억하기 어려운 개념의 기억력을 높이며, 학생들의 동기 부여와 흥미 촉진을 통해 자기 효능감을 높이는 등의 장점이 있으며, 이러한 장점들은 개념 변화로 이어진다(Duit, 1991; Venvile & Treagust, 1996).

또한, 비유 모형은 사회적 상호작용을 유도할 수 있다(Van Boxel, 2004; Bellocchi & Ritchie, 2011). Yerrick 등(2003)은 비유 모형은 소집단에서 선지식 또는 경험의 도입 혹은 반대 논쟁을 일으키고, 이것이 과학적 담화로 이어지면서 학생들의 지식 구성에 관여한다고 제언하였다. 이신영 등(2012)의 연구에서는 심장의 기능을 표상화한 석유 펌프 비유 모형은 학생들의 자발적 추론을 가능하게 하고 학생들 간의 상호작용을 활발하게 한 것으로 나타났다.

한편, 비유 모형은 장점뿐만 아니라 단점도 가지고 있다. 비유 모형은 과학 개념과 정확하게 일치하지 않기 때문에 학생들이 비유 모형과 과학 개념을 비교하는 과정에서 대체 개념이 생길 수도 있다(Duit, 1991). 즉, 비유물이 과학 개념을 시각화 하는데 실패할 경우 학생들은 잘못된 연결짓기를 하면서 의도하지 않은 대체 개념이 만들어질 수 있다(Harrison & Treagust, 1993; 김경순 등, 2008; Glynn, 2008).

비유 모형을 효과적으로 사용하기 위해서는 학생들의 일상생활과 관련된 소재를 선택해야 하며, 교사는 비유 모형은 과학 개념을 표상하는 도구로써 과학 개념과 같지 않다는 것을 학생들에게 언급할 필요가 있다. 이렇게 함으로써 연결짓기를 하는 동안 학생들이 비유 모형과 과학 개념의 공통점과 차이점을 구분할 수 있도록 도울 수 있다(Harrison & Treagust, 1993; Bellocchi & Ritchie, 2011).

Ⅲ. 연구1. 교과서 조사

1. 자료 수집 및 분석

1.1 교과서 선택

연구1에서는 중학교 2학년 과학 교과서 본문에서 시각 시스템을 다룰 때 시스템 사고가 어떻게 반영되고 있는지와 교과서의 시각자료가 학생의 시스템 사고를 촉진시키는데 어떻게 도움을 주는지 조사하고자 하였다. 이를 위해 현재 학교 현장에서 많이 사용하고 있는 중학교 2학년 과학 교과서 3종을 선정하고, 세 교과서의 'Ⅶ.자극과 반응' 단원에서 시각 개념을 다루고 있는 교과서 본문에서 나타나는 시스템 사고 수준과 시각자료 특징을 조사하였다. 시각자료 조사는 시각자료의 존재론적 특성을 파아하여 시각자료가 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주고 있는지를 조사하였다. 교과서 3종을 선택함으로써 본문에 제시된 시각 형성 내용의 시스템 사고 수준과 시각자료의 존재론적 특성을 심도 있게 분석하고자 하였다. 본 연구에서 분석한 교과서 3종은 <표 2>와 같다.

<표 2> 연구1에서 사용한 교과서

교과서	A	B	C
저자	이규석 외	임태훈 외	이찬송 외
제작연도	2013	2013	2013

1.2 교과서 분석 절차

연구1에서는 교과서 본문에서 시각 시스템을 다룰 때 시스템 사고가 어떻게 나타나고 있는지 정성적으로 분석하기 위해 Assaraf and Orion (2005)의 STH틀을 교과서 본문에서 나타나는 시스템 사고 특징을 귀납적으로 반영하고 수정, 보완하여 사용하였다(표 3).

연구1에서는 눈을 구성하고 있는 구조 요소들(예: 망막, 시각 신경 등)과 구조 요소에서 나타나는 사건인 과정 요소(예: “시각세포가 빛 자극을 받으면 흥분한다.”)를 교과서 본문에서 어떻게 연결하고 있는지에 따라 시스템 사고 수준을 다음과 같이 나누었다(표 3). 1 수준은 교과서에서 눈의 구조 요소와 과정 요소를 언급하지만 이들을 연결하지 않고 별개로 제시하고 있는 경우이다. 예를 들어 “눈은 각막, 홍채, 수정체 등으로 구성되어 있다.”라는 진술과 같이 눈의 구조 요소들을 언급하고 있지만, 구조 요소들 사이의 관계에 대한 언급은 없는 경우이다. 2 수준은 교과서에서 두 구조 요소 사이에 관계가 있음을 제시하는 경우이다. 예를 들어 “홍채에 의해 동공이 커진다.”라는 진술과 같이 홍채와 동공이 서로 연관되어 있으며 이 결과로 동공이 커짐을 제시하고 있지만, 동공이 어떻게 커지는지에 대해서 다루지 않는 경우이다. 3 수준은 교과서에서 두 구조 요소 사이의 역동적 상호작용을 제시하는 경우이다. 요소들이 역동적 상호작용을 한다는 것은 요소들이 상호작용을 할 때 요소의 구조 변화가 나타남을 의미한다(Assaraf, Dodick & Tripto, 2013). 예를 들어 “섬모체가 수축하면 수정체는 얇아진다.”라는 진술처럼 두 구조 요소 사이의 상호작용 때문에 결과가 나타남을 제시할 뿐만 아니라 ‘섬모체의 수축’이라는 두 구조 요소 사이의 상호작용에서 어떤 구조 변화가 있는지 제시하는 경우이다. 4 수준은 교과서에서 셋 이상의 구조 요소와 과정 요소를 연결하여 시각 현상을 복합적 과정으로 제시하는 경우이다. 교과서에서 시각 성립 과정을 여러 구조 요소들이 하나의 네트워크를 구성하여 상호작용하는 과정으로 언급하는 경우에 교과서는 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 다룬다고 할 수 있다. 5 수준은 교과서에서 환경 변화 또는 구조 요소 변화에 따른 시스템의 변화를 예측하는 경우이다. 피드백은 특정 상황에서 요소 또는 요소 사이의 상호작용 변화가 발생했을 때 나타나는 시스템의 변화로 정의할 수 있다(NRC, 2012; Johnson, 2015). 따라서 교과서에서 외부 환경의 변화(예: 밝은 곳에 있는 경우, 멀리 있는 물체를 보는 경우) 또는 구조 요소의 변화(예: 망막과 수정체의 길이가 길어지는 경우) 때문에 상이 어떻게 맺히는지 제시하는 경우

는 교과서에 피드백 개념을 다루는 것으로 볼 수 있다. 시스템은 피드백을 통해 안정성이 유지되며(Assaraf & Orion, 2005), 문제 해결력을 위해서 시스템 변화에 대한 예측이 중요하기 때문에(김동환, 2004) 수업에서 학생들이 피드백을 많이 접하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

<표 3> 연구1의 시스템 사고 분석틀

수준	정의 및 특징
1	시스템의 구조 요소와 과정 요소를 별개로 제시 -시스템의 구조 요소와 과정 요소를 언급하지만 이들을 서로 연결시키지 않는 경우 예) 눈은 각막, 홍채, 수정체 등으로 구성되어 있다.
2	시스템의 구조 요소 사이의 관계를 제시하는 경우 두 구조 요소가 서로 관련되어 있음을 언급하는 경우 예) 홍채에 의해 동공이 커진다.
3	시스템의 구조 요소 사이의 역동적 상호작용을 제시하는 경우 -두 구조 요소 사이의 상호작용으로 인해 구성 요소들의 변화가 나타남을 언급하는 경우 예) 섬모체가 수축하면 수정체는 얇아진다.
4	시스템의 구조 요소와 과정 요소의 연결망을 제시하는 경우 -셋 이상의 구조 요소와 과정 요소들을 연결시키는 경우 예) 빛이 망막에 도달하면, 망막에 있는 시각세포가 빛 자극에 의해 흥분하고, 이 흥분은 시각 신경을 통해 대뇌로 전달되면서 물체를 볼 수 있게 된다.
5	시스템의 변화를 예측하는 경우 -시스템의 구조 요소 또는 외부 환경 변화로 인한 시스템의 변화를 예측하는 경우 예) 수정체와 망막 사이가 정상보다 길어지면 상이 망막 앞에 맺히기 때문에 근시가 생긴다.

교과서의 시각자료가 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주는지 확인하기 위해 시각자료의 존재론적 수준, 교과서 본문의 정보와 시각자료가 표상한 정보 간의 포괄도를 분석하였다. 시각자료의 존재론

적 수준은 Chi 등(1994)의 존재론적 범주를 참고하여 시각자료의 표상화 범주를 ‘구조(structure)’와 ‘과정(process)’으로 구분하고, 과정 범주는 구성 요소들의 상호작용 양상을 고려하여 ‘절차’, ‘변화’, ‘복합 과정’으로 상세화하였다(표 4). 존재론적 범주는 실체가 가진 성질을 바탕으로 실체를 개념적으로 구분하는 범주를 의미한다(Chi et al., 1994). Chi 등(1994)은 실체의 존재론적 속성을 ‘구조’와 ‘과정’으로 구분하고, 과정 범주를 구성 요소들의 존재론적 특성에 의거하여 ‘사건’ 범주와 ‘평형’범주로 세분화하였다. 그 이후에 Chi 등(2012)은 ‘과정’ 범주를 구성 요소의 행동 특성에 맞추어 ‘직접적 과정(Direct Process)’과 ‘창발적 과정(Emergent Processes)’으로 구분하였다. 여기서 ‘직접적 과정’은 이전 논문의 ‘사건’ 범주에 해당하며, 시작과 끝이 명확하고 순차적으로 구성 요소들이 발현된다는 특성을 지닌다. 이에 비해 ‘창발적 과정’은 시작과 끝의 경계가 모호하며 구성 요소들의 행동이 무작위적, 동시다발적, 지속해서 나타난다는 특성을 보인다. 또한 ‘직접적 과정’은 구성 요소들이 거시 수준에서 직접적인 관계성을 지닌다. 이에 비해 ‘창발적 과정’은 미시적 수준에서 나타나며, 구성 요소 간의 관계성이 직접 드러나지 않고 모든 요소가 집합적으로 행동 효과를 나타낸다는 특성을 보인다. 본 연구에서는 시스템 사고와의 관련성을 분석한다는 측면에서 시각자료의 존재론적 특성을 명확히 하고자 하여, Chi 등(1994)의 ‘물질’ 범주를 ‘구조’ 범주로 명명하였고, ‘사건’ 범주를 ‘과정’ 범주로 명명하고 시각자료의 특성을 구체화하기 위해 ‘절차’, ‘변화’, ‘복합 과정’ 범주로 더 세분화하였다. ‘사건’ 범주에서 순차적 절차 특성을 잘 드러내는 경우를 ‘절차’로 범주화하고, 구성 요소 간의 인과관계와 상관관계가 명확하며 공간과 시간에 따른 차이를 명확히 드러내는 경우를 ‘변화’로 명명하였다. 그리고 성격이 다른 두 개 이상의 과정 요소들이 동시에 나타나는 경우를 ‘복합 과정’으로 범주화하였다. Chi 등(1994)이 제안한 ‘평형’ 범주나 ‘창발적 과정’에 해당하는 시각자료가 교과서에 제시되지 않아 포함시키지 않았다. 본 연구의 ‘과정’은 ‘구조’보다 추상성이 높은 개념이며, ‘과정’에서 ‘변화’는 변인 간의 관계성을 추가로 고려해야 한다는 점에서 ‘절차’보다 높은 수준의 사고를 요

구한다. ‘복합 과정’은 서로 다른 별개의 두 가지 이상의 과정 요소들을 동시에 고려해야 하므로 가장 높은 수준의 사고를 요구한다.

<표 4> 연구1의 존재론적 범주틀

범주		특징
구조		시각자료가 구조 요소를 표상하고 있는 경우 - 예: <그림 1>
과정	절차	시각자료가 구조 요소간의 직접적 관련 없이 순차적 변화를 표상하고 있는 경우 - 예: <그림 3>
	변화	시각자료가 구조 요소 간의 관계를 표상하며, 공간과 시간에 따른 차이를 표상하는 경우 - 예: <그림 4>
	복합 과정	시각자료가 동시에 나타나는 성격이 다른 두 개 이상의 과정 요소들을 표상하고 있는 경우 - 예: <그림 2>, <그림 5>

또한, 시각자료가 교과서에서 어떻게 사용되고 있는지 확인하기 위해 시각자료에서 표상하는 정보와 교과서 본문에서 제시한 정보 사이의 포괄도를 비교하여 범주화하였다. 포괄도 범주는 Roth, Pozzer-Ardenghi & 한재영 (2015)이 제시한 시각자료의 기능 범주를 귀납적으로 수정 및 보완하여 ‘보조’, ‘설명’, ‘보충’으로 범주화하였다. ‘보조’는 시각자료에서 표상한 정보가 교과서 본문에서 제시한 정보보다 적은 경우로 본문에서 제시한 정보 중 일부만 시각자료에서 시각화된 경우를 의미한다. ‘설명’은 시각자료의 정보가 본문의 정보와 같은 경우로 본문의 내용을 시각적으로 표현하기 위해 시각자료를 사용함을 의미한다. 즉, ‘보조’와 ‘설명’은 시각자료가 본문의 정보를 시각적으로 제시하여 학생들의 인지 부하를 줄이기 위해 사용된 것을 의미한다. ‘보충’은 시각자료의 정보가 본문의 정보보다 더 많은 경우로 시각자료가 본문에서 다루지 않는 정보를 추가로 제시하고 있는 경우를 의미한다. ‘보충’은 시각자료가 본문에서 제시한 정보를 시각화하는 것뿐만 아니라 본문 이외의 추가적인 정보원으로

사용된다고 할 수 있다. 따라서 '보충'에 해당하는 시각자료는 학습에 있어서 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 교과서 본문에서 제시된 시스템 사고 분석틀(표 3), 시각자료의 존재론적 범주 분석틀(표 4)과 시각자료의 포괄도 범주는 연구자와 과학 교육 전문가가 수정·보완 후 이를 검토하여 다시 수정·보완하는 과정을 거쳤다. 교과서 분석에서 연구자가 일차적으로 분석한 결과를 과학 교육 전문가가 검토하고, 분석 결과에 대해서도 지속적인 논의와 협의를 거쳐 분석의 일관성과 신뢰성을 높이고자 하였다.

2. 결과 및 논의

2.1 교과서 조사에서 나타난 교과서 본문의 시스템 사고 수준과 시각자료의 특징

교과서 조사 결과, 시각 개념을 다루는 중학교 2학년 과학 교과서의 본문 내용은 '눈의 구조와 시각 성립 과정', '명암 조절과 원근 조절', '근시와 원시의 교정'의 3가지 주제(theme)로 구분할 수 있었다. 첫 번째로 교과서에서 시각 개념을 어떻게 다루고 있는지 확인하기 위해 3가지 주제에서 나타나는 교과서 본문의 시스템 사고 수준을 분석하였다(표 5). 세 교과서 본문의 시스템 사고 수준 분석 결과, 시스템 사고 수준은 교과서 별로 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 세 교과서 본문은 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제에서 시각 성립 과정을 여러 구조 요소들이 상호작용하여 나타나는 복합적 과정으로 다루고 있으므로 교과서 본문의 시스템 사고 수준은 4 수준에 해당하는 것으로 나타났다. '명암 조절과 원근 조절', '근시와 원시의 교정' 주제에서는 외부 환경 변화(빛의 밝기 변화, 물체의 거리 변화) 또는 눈의 구조 요소의 변화로 인해 시각 시스템이 어떻게 변하는지를 다루고 있었기 때문에 교과서 본문의 시스템 사고 수준은 5 수준에 해당하는 것으로 나타났다. 다만, A 교과서 본문은 '근시와 원시의 교정' 주제를 다룰 때 렌즈가 상 형성과 관련되어 있다는

것만 제시하고 있으므로 시스템 사고가 2 수준에 해당하는 것으로 나타났다.

<표 5> 교과서별 주제에 따른 교과서 본문의 시스템 사고 수준 분석 결과

주제	A교과서	B교과서	C교과서
눈의 구조와 시각 성립 과정	4 수준	4 수준	4 수준
명암 조절과 원근 조절	5 수준	5 수준	5 수준
근시와 원시의 교정	2 수준	5 수준	5 수준

다음으로 시각자료가 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주고 있는지 분석하기 위해 시각자료의 형태를 바탕으로 시각자료의 존재론적 범주 분석을 하였다(표 6). 시각자료 형태는 사진 또는 구조 이미지, 과정 이미지, 다중 이미지로 구분할 수 있었다. 사진은 구체성이 큰 시각 자료로서 학생들이 친근함이 느끼게 하여 주의 집중을 하도록 한다(Pozzer & Roth, 2003; Lee, 2010). 구조 이미지(그림 1)는 시각 시스템의 구조적 특징을 그림으로 나타낸 것이며, 과정 이미지(그림 2)는 과정 요소 또는 구조 요소 간 관계의 과정적 특징을 선이나 화살표를 사용하여 이미지로 나타낸 것이다(Lee, 2010). 다중 이미지는 하나의 시각 자료가 두 가지 이상의 이미지로 구성된 경우를 의미한다(그림 3). 예를 들어 <그림 3>은 두 가지 사진을 동시에 제시함으로써 외부 환경에 따른 동공의 크기 변화를 나타낸다. 시각자료가 사진 또는 구조 이미지인 경우에 시각 자료의 존재론적 범주는 '구조'에 해당하며, 이 경우는 개별적인 구조 요소 또는 구조 요소 간의 구조적 특징을 표상한다. 이러한 시각자료는 1 수준 또는 2 수준에 해당하는 시스템 사고를 지원할 수 있을 것이다. 과정 이미지는 A 교과서에서 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제를 다룰 때만 제시되었는데, 이 경우는 서로 다른 과정 요소들을 연결하고 있으므로 존재론적 범주는 '복합 과정'에 해당하며, 시스템 사고를 4 수준까지 촉진시킬 수 있을 것이다. 다중 이미지는 어떤 내용을 표상하는지에 따라 존재론적 범주를 '절차', '변화', '복합 과정'으로 범주화할 수

있었으며, 공통적으로 시각 시스템의 변화를 표상하고 있으므로 5 수준에 해당하는 시스템 사고를 지원할 수 있을 것이다. 다만, '절차' 범주에 해당하는 경우는 구조 요소 간 관계를 설명하지 못하는 제한점이 있었다.

시각자료의 존재론적 범주 분석 결과, '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제에서 B와 C 교과서는 '구조' 범주의 이미지만을 사용하고 있었다. 교과서 본문은 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 설명하고 있는데, 이처럼 눈의 구조만을 나타내는 '구조' 범주의 시각자료(그림 1)는 4 수준의 시스템 사고를 지원하는 데 한계가 있다. 이에 비해 A 교과서는 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제에서 눈의 구조 이미지 이외에 추가로 시각 성립 경로를 표상하는 이미지(그림 2)를 제시하고 있다. 이 이미지는 '복합 과정' 범주에 해당하는 것으로써 4 수준의 시스템 사고를 지원함으로써 시각 성립 과정 이해에 도움을 줄 수 있을 것이다. '명암 조절과 원근 조절', '근시와 원시의 교정' 주제에서 세 교과서 모두 다중 이미지를 사용하였다. '명암 조절과 원근 조절' 주제에서 세 교과서는 어두울 때와 밝을 때, 그리고 먼 곳을 볼 때와 가까운 곳을 볼 때를 표상하는 이미지를 대조하는 시각자료를 제시하였다(예: 그림 3). '명암 조절과 원근 조절' 주제에서 A 교과서의 시각자료는 모두 구조 요소 간의 직접적 관계를 나타냄으로써 '변화' 범주를 표상하는데 비해(그림 4), C 교과서의 시각자료는 구조 요소 간의 직접적 관계를 짓지 않고 절차만을 제시함으로써 '절차' 범주의 개념을 표상하였다(그림 3). B 교과서의 명암 조절에 대한 시각자료에서는 '절차' 범주의 개념을 나타내었고, 원근 조절을 설명하는 시각자료에서는 '변화' 범주의 개념을 나타내었다. '근시와 원시의 교정' 주제의 경우에는 세 교과서는 모두 1개의 시각자료를 제시하였다. A와 B 교과서의 시각자료는 눈의 각 구조 요소를 거치는 빛의 경로, 수정체와 망막 사이의 거리 변화, 렌즈에 의한 상 형성의 위치 변화 등을 교정 이전과 이후를 대비하여 제시함으로써 '복합 과정' 범주를 표상화(그림 5)한 데 비해, C 교과서의 시각자료는 수정체와 망막 사이의 거리에 기인한 근시와 원시의 원인은 제시하지 않은 채로 빛의 경로

를 교정 이전과 이후로 대비하여 제시함으로써 '변화' 범주를 표상하였다.

<표 6>교과서별 존재론적 범주에 따른 시각자료의 개수

주제	A교과서	B교과서	C교과서
눈의 구조와 시각 성립 과정	1 (구조) 1 (복합 과정)	1 (구조)	1 (구조)
명암 조절과 원근 조절	2 (변화)	1 (절차) 1 (변화)	1 (절차) 1 (절차)
근시와 원시의 교정	1 (복합 과정)	1 (복합 과정)	1 (변화)

마지막으로 시각자료가 교과서에서 어떻게 사용되고 있는지 분석하기 위해 교과서 본문과 시각자료의 표상 정보 간의 포괄도를 비교하여 '보조'. '설명', '보충'으로 범주화하였다(표 7). '보조'는 시각자료의 정보가 교과서 본문에서 제시된 정보 일부에 해당하는 경우로서 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제에서 눈의 구조만을 제시한 시각자료가 이에 해당한다. 여기서 시각자료가 각 구조 요소의 위치와 형태를 구체적으로 제시함으로써 학생들이 본문의 내용을 이해하는 데 도움을 제공하고 있다고 할 수 있으나, 시각자료 자체가 시각 형성 과정의 본질적 특성을 표상화하지 않음으로써 본문 내용에 대한 보조 역할을 하고 있다. 이 경우에 시각자료가 본문에 대한 보조 역할을 할 수 있으려면, 본문에서 시각자료의 각 구조 요소를 구체적으로 지칭해서 연결지어 진술하는 것이 필요할 것이다.

눈의 구조 이외의 시각자료들은 '설명' 혹은 '보충' 범주에 해당하는 것으로 드러났다(표 7). '설명'은 시각자료의 정보와 교과서 본문에서 제시된 정보가 같은 경우로, A 교과서와 B 교과서에서 '명암 조절과 원근 조절' 주제를 다룰 때 나타났다. A 교과서의 경우, 명암 조절을 다룰 때 교과서 본문은 외부 환경에 변화(빛의 밝기 변화)에 따른 구조 요소 간의 관계(홍채와 동공) 변화로 동공의 크기가 어떻게 변하는지를 기술하고 있으며, 다중 이미지를 사용해서 외부 환경의 변화에 따른 홍채와 동공

의 변화를 시각화하여 제시하였다.

시각자료의 정보가 교과서 본문의 정보보다 많은 경우를 '보충'으로 범주화하였는데, 시각자료가 본문을 두 가지 방식으로 보충하는 것으로 나타났다. 첫째는 시각자료가 본문에서 다루지 않은 정보를 단순히 추가해서 제공하는 경우이다. 예를 들어 A 교과서의 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 시각자료(그림 2)에서 망막에 뒤집어진 상이 맺히는 것을 표상하는 경우가 이에 해당한다. 둘째는 시각자료가 교과서 본문에서 다루지 않은 과정 요소를 제시하는 경우이다. 이 경우 시각자료는 교과서 본문의 정보를 시각화하여 제시할 뿐만 아니라 시각 시스템에 대한 다른 차원의 정보를 제공하기 때문에 학습에서 중요하게 사용될 수 있다. A와 B 교과서의 '근시와 원시의 교정'에서 제시된 시각자료(그림 5)가 이 경우에 해당한다.

연구1에서는 교과서 본문에서 시스템 사고가 어떻게 나타나는지와 교과서에서 제시된 시각자료가 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진할 수 있는지를 더욱 깊이 있게 탐색하고자 하였다. 이에 따라 이후 절에서는 각 주제에서 제시된 교과서 본문과 시각자료 일부를 제시하여 교과서 본문의 시스템 사고 수준과 시각자료의 존재론적 수준 및 포괄도가 어떻게 나타나는지를 상세히 기술한다.

<표 7>교과서별 정보의 포괄도에 따른 시각자료의 개수

주제	A교과서	B교과서	C교과서
눈의 구조와 시각 성립 과정	1 (보조) 1 (보충)	1 (보조)	1 (보조)
명암 조절과 원근 조절	2 (설명)	1 (설명) 1 (보충)	1 (보조) 1 (보충)
근시와 원시의 교정	1 (보충)	1 (보충)	1 (설명)

2.2 세 가지 주제에서 나타난 특징

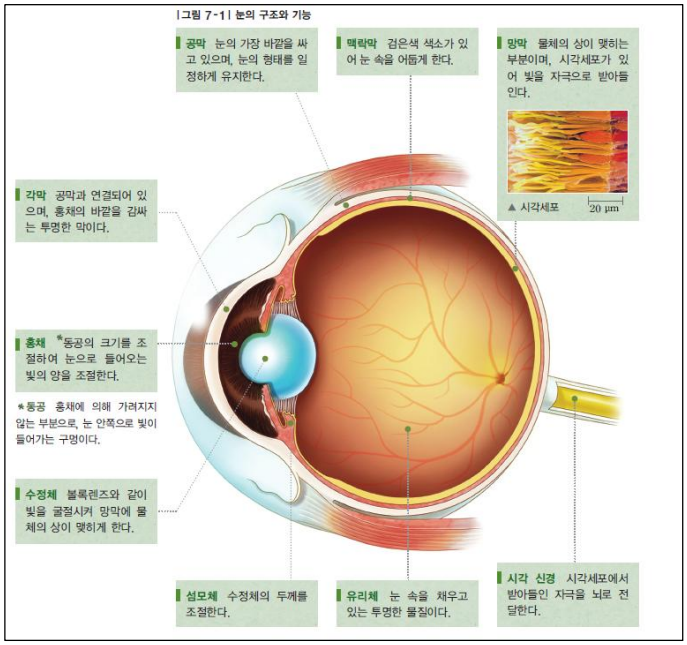
2.2.1 눈의 구조와 시각 성립 과정 주제에서 나타난 특징

시각 성립 과정을 기술할 때 세 교과서 본문은 공통적으로 빛이 각막에 도달하는 것에서 시작하여 망막에 있는 시각세포에 빛이 도달하고 시각세포에 의해 생성된 정보가 시각 신경에 의해 대뇌로 전달되는 일련의 과정으로 다루고 있었다. 다음은 시각 성립 과정을 설명하고 있는 B 교과서의 본문에 기술된 내용이다.

> 우리가 어떤 물체를 바라보면 그 물체에서 반사된 빛이 각막과 수정체를 통과하면서 굴절되어 망막에 상이 맺힌다. 이때 망막에 있는 시각세포가 빛을 자극으로 받아들이고, 이 자극은 시각 신경을 통해 뇌로 전달된다. 이러한 과정을 통해 우리는 주변의 물체를 볼 수 있다(B교과서, p. 350)

B 교과서는 시각 성립 과정을 다룰 때 셋 이상의 구조 요소들과 과정 요소(수정체에 의한 빛 굴절, 시각세포의 빛 자극 수용, 시각 신경의 자극 전다 등)를 서로 연결하여 하나의 네트워크를 만들고, 이 네트워크가 시각 형성이라는 하나의 과정에 어떻게 관여하고 있는지 기술하고 있으므로, B 교과서 본문의 시스템 사고 수준은 4 수준에 해당한다.

세 교과서는 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제를 다룰 때 공통적으로 눈의 구조 이미지(그림 1)를 사용했으며, A 교과서는 추가로 과정 이미지(그림 2)를 제시하였다.



<그림 1> 눈의 구조를 나타내는 시각자료

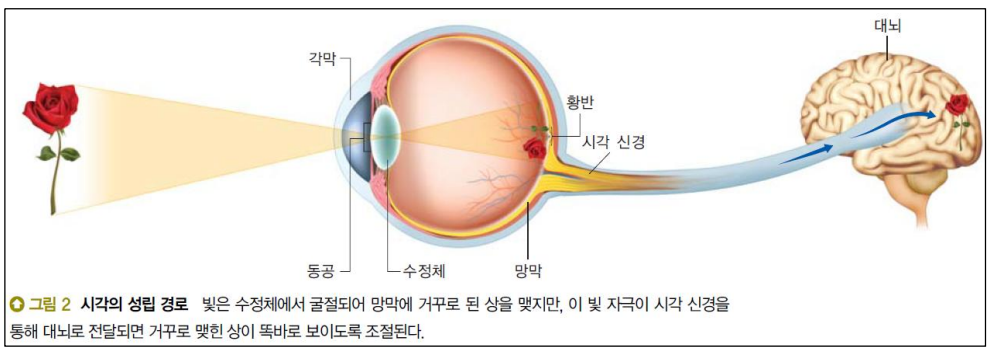


그림 2 **시각의 성립 경로** 빛은 수정체에서 굴절되어 망막에 거꾸로 된 상을 맺지만, 이 빛 자극이 시각 신경을 통해 대뇌로 전달되면 거꾸로 맺힌 상이 똑바로 보이도록 조절된다.

<그림 2> 시각 성립 과정을 나타내는 시각자료

<그림 1>은 눈의 구조 요소들을 시각화하여 제시하는 것에 중점을 두고 있으므로 '구조' 범주를 표상화한다고 할 수 있다. 또한 교과서 본문은 시각 성립 과정을 다루고 있지만, 이 이미지는 눈의 구조를 제시하고 있으므로 '보조'로 사용됨을 확인할 수 있다. 이와 같은 구조 이미지는 학생들이 눈의 구조 요소들을 이해하는 데 도움을 줄 수 있지만, 시각

성립 과정이 어떻게 일어나는지 이해하는 데 도움을 주는 데에는 한계가 있다고 할 수 있다.

<그림 2>는 A 교과서에서 제시된 것으로 두 직선을 사용해 빛 자극이 수정체와 망막을 지난 후에 시각신경을 따라 대뇌로 전달된다는 순차적 사건을 표상화하며, 동시에 수정체에 의해 굴절되어 거꾸로 된 상이 망막에 맺히지만 대뇌에서는 똑바른 상을 보도록 조절됨을 표상하고 있다. 이런 특성에서 볼 때 이 시각자료는 '복합 과정' 범주에 해당하는 과정 이미지이며, 교과서 본문에서 다루지 않은 정보인 망막에 상이 어떻게 맺히는지와 뇌에서 어떻게 인식하는지를 제시하고 있다는 점에서 '보충'으로 사용되었다고 할 수 있다. A 교과서는 시각 성립 과정을 다룰 때 이 시각자료를 추가로 제시하여 학생들이 눈에서 물체를 인식하는 과정을 순차적으로 이해하도록 도움을 주고 있는 것으로 볼 수 있다. 이 사례는 시각자료가 자기장을 표현하기 위해 선을 사용하는 것처럼 추상성이 높은 개념을 구체화하여 이해를 촉진시킨다는 Neressian (1992)의 결과와 일치한다.

빛이 망막에 도달하는 것과 같은 과정 요소는 맨눈으로 쉽게 확인할 수 없기 때문에 추상성이 높은 개념이라고 할 수 있다. 과정 요소와 같이 추상성이 높은 개념은 글만으로는 완전히 이해하기 힘들어서 시각화와 같은 적절한 도움이 필요하다(Buckley, 2000; diSessa, 2004; Cook, 2006). 세 교과서 본문은 '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제를 다룰 때 눈의 구조 요소뿐만 아니라 4 수준의 시스템사고에 해당하는 과정 요소의 연결을 다루고 있지만, 세 교과서에서 공통적으로 제시한 시각자료는 눈의 구조 이미지이다. 따라서 교과서에서 제시된 시각자료를 통해 학생들이 비가시적인 과정 요소를 추론하는데 제한이 있을 수 있으므로 A 교과서에서 <그림 2>를 추가로 제시한 것처럼 학생들이 과정 요소를 이해할 수 있도록 추가적인 지원이 필요하다.

한편 세 교과서에서 눈의 구조를 나타내는 시각자료는 모두 시각 신경이 망막 뒤에 있는 것으로 제시하고 있다(그림 1). 이러한 시각자료의 형태는 학생들이 실제 눈에서 시각 신경이 시각세포 뒤에 위치한다는 대체

개념을 가지게 할 수 있다. Stern & Roseman (2004)은 중학교 학생들은 시각자료를 실체와 같은 것으로 간주하는 경향이 있으므로 정확한 시각자료 제공이 필요하다고 제언한 바 있으며, 다른 선행 연구들 역시 시각자료의 정확성이 감소하면 시각자료를 해석하는 과정에서 대체 개념이 유발된다고 언급하였다(Mayor, 2001; Lee, 2010). 따라서 눈 구조를 나타내는 시각자료에서 시각 신경의 위치를 정확히 나타내는 것이 필요하다.

교과서에서 시각 신경이 망막 앞에 위치한다는 것을 명시적으로 제시해야 하는 또 다른 이유는 망막과 시각세포의 위치 관계는 학생들의 맹점에 대한 이해를 돕는다는 데 있다. A와 C 교과서 본문은 맹점에 대해 “맹점은 시각 신경이 모여서 나가는 부분으로, 시각세포가 없어서 이곳에 상이 맺히더라도 볼 수 없다. (A교과서, p. 337)”라고 기술하고 있다. 하지만 시각자료는 시각 신경이 망막 뒤에 위치하는 것으로 제시함으로써 교과서 본문의 정보와 시각자료의 정보 사이에 불일치가 생기게 된다. 이와 같은 정보 불일치는 학생들이 교과서 본문에서 제시한 맹점 설명을 시각자료에서 제시한 눈의 구조와 연결지어 이해하는 것을 방해하기 때문에 학생들이 왜 시각 신경이 모여 나가는 부분이 맹점이 되는지 이해하지 못한 상태에서 “맹점에 상이 맺히면 물체를 볼 수 없다”라는 하나의 절편화된 지식을 가지게 할 수 있다.

2.2.2 명암 조절과 원근 조절 주제에서 나타난 특징

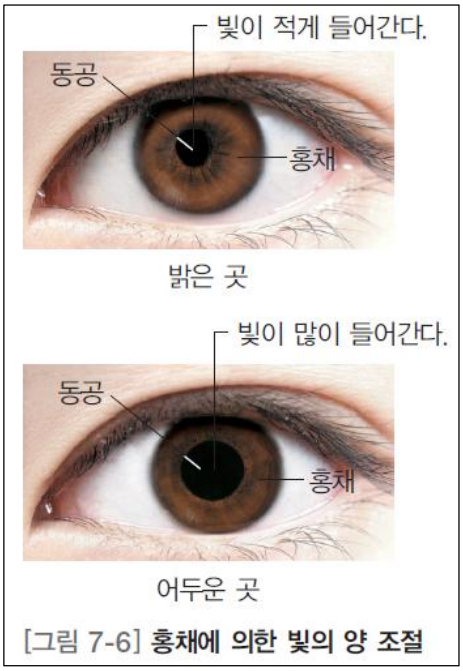
세 교과서 본문은 명암 조절과 원근 조절이 어떻게 일어나는지 다룰 때 시각 시스템은 물체를 볼 때 선명한 상을 얻기 위해 물체와 거리, 빛의 양에 따라 조절되고 있음을 제시하고 있었다. 다음은 명암 조절을 설명하고 있는 C 교과서 본문 내용이다.

> 눈으로 들어오는 빛의 양은 홍채에 의해 조절된다. 밝은 곳에서는 홍채가 확장되어 동공을 작게 하여 눈으로 들어오는 빛의 양을 감소시키고, 어두운 곳에서는 홍채가 축소되어 동

공을 크게 하여 눈으로 들어오는 빛의 양을 증가시킨다.
(C교과서, p. 372)

C 교과서 본문은 명암 조절을 설명할 때 빛의 밝기라는 외부 환경의 변화에 따라 상호작용하고 있는 눈의 구조 요소들이 어떻게 변화하며 이 변화 결과에 따라 시각 시스템이 어떻게 변하는지를 설명하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 명암 조절을 설명하는 C교과서 본문의 시스템 사고 수준은 5수준에 해당한다고 할 수 있으며, 세 교과서는 원근 조절을 기술할 때도 이와 같은 방식으로 기술하고 있었다.

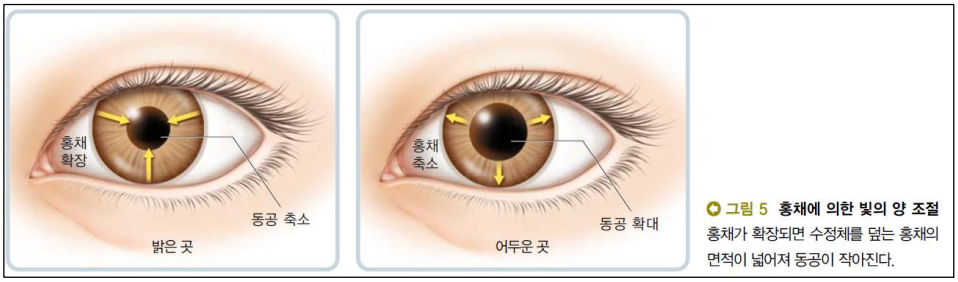
명암 조절을 설명할 때 세 교과서는 여러 이미지로 구성된 다중 이미지를 사용하였지만, 시각자료의 존재론적 범주는 다르게 나타났다(그림 3, 그림 4).



<그림 3> 명암 조절을 나타내는 시각자료1

<그림 3>은 서로 다른 환경에 있을 때의 실제 눈 사진을 동시에 제시함으로써 빛의 밝기 변화에 따른 동공의 크기 변화를 표상하고 있으며,

동공의 크기에 따라 유입되는 빛의 양이 달라진다는 정보를 글로 제시하고 있다. 빛의 밝기에 따른 동공 크기만을 제시했다면 이 시각자료는 '구조' 범주에 해당하겠지만, 동공 크기와 함께 빛의 유입량 변화에 대한 정보를 제시하였으므로 '과정' 범주에 해당하며, 다중 이미지를 사용함으로써 빛의 밝기 변화에 따른 동공의 크기 변화를 제시하고 있으므로 '절차' 범주에 해당한다고 보았다. 이 사례는 '구조' 범주를 표상하는 시각자료가 글 정보를 포함하는 것을 통해 시각자료를 외부 환경 맥락과 연결함으로써 '절차' 범주의 내용을 표상할 수 있음을 제시한다. 정보의 포괄도를 비교하면, C 교과서 본문은 동공의 크기가 동공과 홍채의 상호작용 때문에 변한다고 언급하였지만, 이 시각자료는 이들의 상호작용을 제시하지 않고 외부 환경 변화에 따른 동공의 크기 변화만을 제시하고 있으므로 '보조'로 사용되고 있다고 할 수 있다. 이 시각자료는 학생들이 빛의 밝기에 따라 동공의 크기가 변한다는 것을 이해하는 데 도움을 줄 수 있지만, 동공의 크기가 어떻게 변하는지는 설명하지 못하는 한계가 있다.



<그림 4> 명암 조절을 나타내는 시각자료2

<그림 4>는 빛의 밝기에 따른 동공의 크기 변화뿐만 아니라 구조 이미지에 화살표를 사용함으로써 홍채 변화가 어떻게 나타나는지 제시함으로써 홍채와 동공 간의 관계를 표상하고 있으므로 '변화'를 표상하고 있다. 또한 시각자료가 표상하는 이와 같은 정보는 교과서 본문의 정보가 일치하므로 '설명'으로 사용됨을 알 수 있다.

<그림 4>는 화살표를 사용해서 홍채의 수축과 이완을 나타내는 '과정' 범주를 나타내지만, 시각자료에서 제시된 화살표에 대해 교과서에서 언

급한 부분은 없었다. 여러 선행 연구들은 과정 이미지에서 화살표와 같은 기호(convention)는 해석에서 중요한 역할을 하므로 독자와 저자 사이에 합의된 정의가 필요하다고 주장했다(Pozzer & Roth, 2003; Gilbert, 2010; Liu & Khine, 2016). 이런 점에서 볼 때 교과서에서 화살표에 대해 언급을 하지 않음으로써 학생들이 화살표가 어떤 정보를 표상하는지 이해하는데 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 교과서에 화살표와 같은 기호에 대해 명시적으로 그 의미를 제시하거나 이를 해석하는 데 있어서 교사의 지원이 요구된다.

2.2.3 근시와 원시의 교정 주제에서 나타난 특징

B와 C 교과서 본문은 '근시와 원시의 교정' 주제를 다룰 때 공통적으로 근시와 원시를 망막에 상이 선명하게 맺히지 못하는 눈의 이상으로 정의하고 있으며, 해결책으로 오목렌즈와 볼록렌즈의 착용을 제시하고 있다. 다음은 '근시와 원시의 교정'을 다루는 B 교과서의 본문 내용이다.

> 근시는 가까이 있는 물체는 잘 보이지만 멀리 있는 물체는 잘 보이지 않는 눈의 이상이다. 이는 수정체와 망막 사이의 거리가 정상보다 길어 멀리 있는 물체를 볼 때 상이 망막 앞에 맺히기 때문이다. 이러한 근시는 오목렌즈로 교정할 수 있다. (B교과서, p. 354)

B 교과서 본문은 수정체와 망막 사이의 길이 변화라는 눈의 구조 요소 변화 때문에 상이 선명하게 맺히지 않으며, 렌즈에 의해 시각 형성 과정이 조절됨을 제시하고 있다. 즉, 인공물에 해당하는 렌즈에 의한 시각 시스템의 변화를 나타내고 있으므로 근시와 원시의 교정 주제를 다루는 B 교과서 본문의 시스템 사고는 5수준에 해당한다고 할 수 있다.

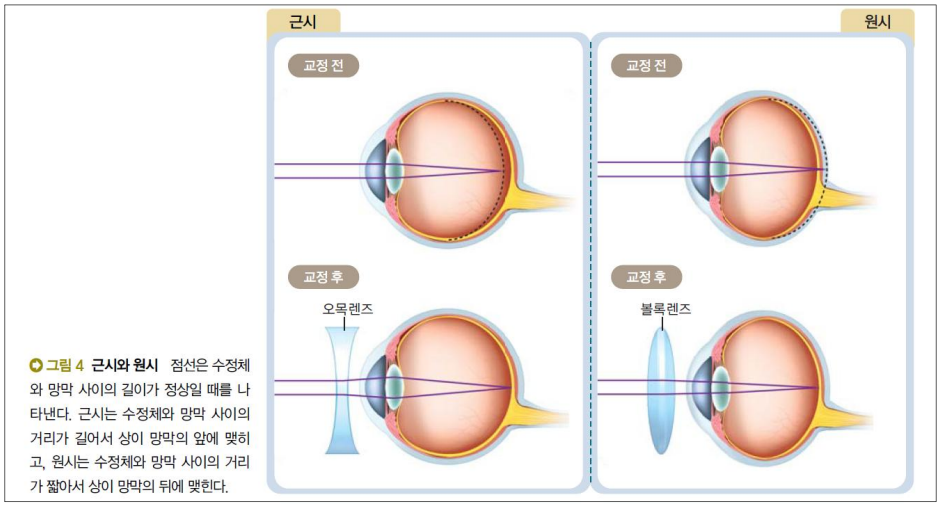
한편, A 교과서 본문은 망막에 상이 선명하게 맺히지 않는 이유와 렌즈를 착용하는 이유에 관해서 설명을 제시하지 않았다. 다음은 '근시와

원시의 교정’을 다루는 A 교과서의 본문 내용이다.

> 사람에 따라서는 상이 망막에 정확히 맺히지 않아 물체를 뚜렷이 볼 수 없는 경우도 있다. 근시는 먼 곳에 있는 물체를 볼 때 물체의 상이 망막의 앞에 맺히도록 오목 렌즈로 된 안경으로 시력을 교정할 수 있다. 반면, 원시는 가까운 곳의 물체를 볼 때 물체의 상이 망막의 뒤에 맺히므로 볼록렌즈로 된 안경으로 시력을 교정할 수 있다. (A교과서, p. 338)

A 교과서 본문은 상이 망막에 정확히 맺히지 않는다는 시스템의 변화 사실을 제시하면서 렌즈에 의해 시력이 교정된다는 정보를 다루고 있다. A 교과서 본문은 렌즈에 의해 상이 맺히는 위치가 달라짐을 제시하므로 구조 요소들의 관계를 제시하는 2 수준의 시스템 사고를 반영한다.

A 교과서는 본문에서 낮은 수준의 시스템 사고 수준을 보였으나, 시각자료로 다중 이미지를 사용함으로써 상이 정확하게 맺히지 않는 이유와 렌즈가 근시와 원시의 원인과 교정 방법이 되는 이유를 제시하였다 (그림 5).



<그림 5> 근시와 원시를 나타내는 시각자료

이 시각자료는 구조 이미지에 두 직선을 사용하여 빛의 경로를 나타냄으로써 과정 요소를 제시하고 있으며, 점선을 사용해 수정체와 망막 사이의 길이 변화를 제시함으로써 구조 요소 변화도 함께 제시하고 있다. 그리고 렌즈의 유무에 따른 상의 형성 등을 교정 전후를 대비하므로 '복합 과정' 범주의 내용을 표현하고 있다. 이 시각자료는 본문보다 다양한 수준의 정보를 제시하기 때문에 '보충' 역할을 하고 있다. 이 사례는 시각자료가 '보충' 역할을 하는 경우에 학생들의 학습을 위해 중요한 정보를 제공할 수는 있겠지만, 시각자료의 정보를 활용한 학생의 학습이 이루어질 수 있도록 적절한 교사의 지원이 요구됨을 제시한다.

[1]Ⅳ. 연구2. 소집단 활동 탐색

1. 연구 방법

1.1 연구 참여자

서울시 소재 중학교 2학년 학생 2개 학급 총 53명과 교사 1명이 연구2에 참여하였다. 학교 학생들의 전체 과학 학업 성취도는 중간 수준이고, 학생들의 학업 성취도 분포는 고른 편이었다. 연구에 참여한 두 학급은 해당 중학교의 다른 학급에 비해 수업 참여도와 학업 성취도가 높은 편이었다. 본 연구는 참여 학생들을 대상으로 3~4명의 학생으로 이루어진 14개의 소집단으로 구성하였다. 소집단 구성은 학습 접근 방식 검사 결과와 직전 학기 성적을 고려하였다. 학습 접근 방식은 Entwistle & Ramsden(1982)이 개발한 도구를 활용하여 크게 피상적, 심층적으로 구분하고, 소집단에 두 학습 접근 방식의 학생들이 골고루 포함될 수 있도록 하였다. 이는 학생들의 학습 접근 방식에 따라 소집단 상호작용의 양상이 달라질 수 있다는 연구 결과를(Chin & Brown, 2000) 반영한 것이다. 또한 교사가 학생들의 직전 학기 성적을 고려하여 성적이 상위권에 속하는 학생과 하위권에 속하는 학생이 고르게 배치되도록 하였다. 학생은 숫자와 알파벳을 사용해 코딩하였는데, 예로 3A는 3조에 속한 A 학생임을 의미한다.

참여 교사는 생물 교육을 전공한 10년 차 과학 교사였다. 교사는 평소 학생들이 인지적으로 도전적인 상황에 직면할 때, 학생들이 무엇을 어려워하는지를 파악해서 이에 따른 적절한 지원을 제공하려고 노력하였다. 이러한 교사의 실행이 학생들의 협력적 소집단 논변 활동에 기여할 것으

---

1) 연구2는 황윤식, 한문현 & 김희백(2016). 눈 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 나타나는 중학생들의 시스템 사고의 제목으로 생물교육학회지 44권 4호 749-762에 게제된 논문의 일부를 재구조화하여 제시하였음.

로 판단하여, 해당 교사를 연구 참여자로 선정하였다.

1.2. 수업 설계

연구2의 소집단 활동 분석에 사용된 수업은 3년에 걸쳐 수행되는 '과학적 논변활동에서 학생들의 프레이밍 이해를 통한 프레이밍-반응적 교수・학습 전략 구축' 프로젝트를 위해 설계된 것이다. 프로젝트 1년 차인 2015년에 중학교 2학년 2학기 '자극과 반응' 단원에 대한 총 5차시의 수업이 이루어졌다. 본 연구에서는 두 번째 수업에 초점을 두고 자료 수집과 분석이 이루어졌다. 두 번째 수업에서는 비유 모형을 활용한 소집단 활동을 통해 학생들이 눈 구조와 시각 형성에 대해 이해하도록 하였으며, 그 이후에 학생들은 시각 시스템에 대한 이해를 바탕으로 논변활동을 하도록 하였다. 설계된 5차시 수업 중 두 번째 수업에서만 '시각' 과 관련된 개념인 시각 형성 과정을 다루었으며, 설계된 수업은 학생들이 시각 형성 과정과 동공 크기 변화에 관해 동일 교사로부터 강의식 수업을 받은 이후에 이루어졌다.

수업 내용은 <표 8>과 같다. 교사는 도입에서 '시각 성립 과정'을 설명하였다. 이때 교사는 '눈의 구조'와 '빛의 이동 경로'에 관련한 질문을 제시하고, 학생들이 이에 답하도록 하였다. 다음으로 학생들은 '비유 모형 분석과 맹점 현상 설명하기' 활동을 하도록 안내되었다. 이 활동은 두 가지 활동으로 구성되었다. 첫째, '맹점 경험하기' 활동에서 학생들은 상이 보이지 않게 되는 '맹점 현상'을 직접 체험한다. 이 활동은 '사람 눈 찾기' 활동에 대한 학생들의 동기유발을 위해 계획된 것이다. 두 번째, '사람 눈 찾기' 활동에서 학생들은 눈 비유 모형을 활용하여 '맹점 경험하기' 활동에서 경험한 '맹점 현상'에 대한 타당한 설명을 구성하는 소집단 활동을 한다. 마지막으로 학생들은 '오징어 눈 vs 사람 눈' 활동에서 '오징어 눈'과 '사람 눈' 중에서 어느 것이 더 발달한 눈인지에 대한 논변활동을 하도록 안내된다.

<표 8> 눈 비유 모형을 활용한 수업 내용

활동		시간(분)	설명
도입		5	● 시각 성립 과정에 대한 소개 -눈의 구조와 빛의 이동 경로에 대해 언급함
비유 모형 분석과 맹점 현상 설명하기	맹점 경험하기	2	● 맹점 경험하기 -종이 띠에 그려져 있는 마법사 또는 쥐가 눈과 일정 거리에서 떨어지면 사라지는 것을 관찰
	사람 눈 찾기	25	● 비유 모형 분석의 비교 분석 -제시된 2가지 비유 모형을 관찰하고, 어떤 비유 모형이 사람 눈을 표상하고 있는지 찾음 ● 맹점 현상 설명 -선택한 비유 모형을 사용하여 '맹점 경험하기' 활동에서 상이 안 보이게 된 이유를 설명함
오징어 눈 vs 사람 눈		10	● 논변 활동 -오징어 눈과 사람 눈 중 어떤 것이 더 발달되었다고 생각하는지에 대한 논변활동

수업에서 사용한 눈 비유 모형은 학생들의 시각 형성에 대한 개념 이해를 위해 연구실에서 개발했는데, 바구니와 전선을 사용하여 오징어 눈과 사람 눈의 망막과 시각 신경의 위치 관계를 표상 하도록 제작하였다. 눈 비유 모형에서 바구니는 망막, 전선은 시각 신경을 각각 표상하며, 바구니의 안쪽이 눈의 '망막'에 해당함을 알 수 있도록 명칭을 써서 붙였다(그림 6). 오징어 눈의 경우에 시각 신경 다발이 망막 바깥쪽에 위치하는데, '오징어 눈 비유 모형'은 이를 표상하기 위해 여러 전선이 바구니 바깥쪽에서 모이도록 제작되었다. 이에 비해 사람 눈의 경우에는 시각 신경 다발이 망막 안쪽에 위치하므로, 신경 다발은 망막을 관통해 나와서 뇌로 연결된다. 이때, 시각 신경 다발이 망막을 통과하는 곳은 시각 세포

가 존재하지 않으므로 상의 정보가 형성되지 않는 맹점이 된다. ‘사람 눈 비유 모형’은 이를 표상하기 위해 여러 전선이 바구니 안쪽에서 한 다발로 모이도록 하였다. 또한, 바구니 바닥 근처에 구멍을 뚫어, 이곳을 통해 전선 다발이 빠져나가도록 제작하였다. 이 구멍은 사람 눈의 맹점을 표상한 것이다. ‘사람 눈 찾기’ 활동에서 학생들은 제시된 두 비유 모형을 비교 분석한 후, 어느 비유 모형이 사람 눈을 표상하고 있는지 선택하고, 선택한 비유 모형을 토대로 ‘맹점 현상’을 설명하도록 안내되었다.

<그림 6> 오징어 눈 비유 모형(왼쪽)과 사람 눈 비유 모형(오른쪽)

1.3 소집단 활동 자료 수집 및 분석

연구2의 수업에서 나타난 교사, 학생들의 발화, 행동은 모두 녹화·녹음되었고, 이를 모두 전사하였다. 이처럼 수집된 전사 자료와 소집단 활동 영상을 기본 자료로 하여 학생들의 시스템 사고와 시각 형성에 대한 이해를 분석하였으며, 수업시간에 학생들이 작성한 활동지를 삼각검증의 자료로 활용하였다. 또한 자료 분석에 있어서 연구자가 일차적으로 분석한 결과를 과학 교육 전문가인 다른 두 연구원이 검토함으로써 신빙성을 높였으며, 연구진은 분석 결과의 해석에서도 지속적인 논의를 통해 합의

를 함으로써 타당성과 신뢰성을 높이고자 하였다. 학생들이 사용한 활동지는 <부록>에 첨부하였다.

연구2는 눈 비유 모형이 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진하였는지 정성적으로 분석하고자 하였다. 이를 위해 학생들이 비유 모형을 분석하고, 맹점 현상을 설명하는 '사람 눈 찾기' 활동의 담화에 초점을 맞추었다. 연구자들은 눈 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 나타나는 학생들의 시스템 사고를 구체적으로 파악하고자, Assaraf & Orion(2005)의 '시스템 사고 수준 분석틀'을 중학교 2학년의 시각 시스템 이해 수준에 맞추어 귀납적으로 수정, 보완하여 사용하였다(표 9).

연구2에서는 학생들이 눈을 구성하고 있는 구조 요소들(예: 망막, 신경, 시각 세포 등)과 구조 요소에서 나타나는 사건인 과정 요소(예: "망막에서는 상이 맺힌다")를 어떻게 연결하고 있는지에 따라 학생들의 시스템 사고 수준은 다음과 같이 나눌 수 있었다(표 9). 먼저, 1 수준은 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 연결하지 않고 각각 별개로 생각하는 경우이다. 예를 들어 학생들이 다른 요소에 대한 언급이 없이 "바구니는 망막이다"라고 말한 발화처럼 시각 시스템의 여러 구조 요소 중 하나의 구조 요소에만 초점을 맞추는 경우이다. 2 수준은 학생들이 시스템의 과정 요소를 고려하지 않고 눈의 구조 요소 간의 관계만을 언급하는 경우(예: 시각 신경과 망막 사이의 위치 관계)를 말한다. 3 수준은 학생들이 시스템의 특정 구조 요소를 다른 구조 요소들과 연결하지 않은 상태에서 별도로 구분지어 지목하고 이를 과정 요소와 연결 짓는 경우이다. 4 수준은 학생들이 시각 시스템을 구성하는 둘 이상의 구조 요소 사이의 관계와 둘 이상의 과정 요소를 연결하는 경우이다. 학생들의 시스템 사고가 4 수준에 해당하는 경우는 학생들이 여러 요소 간의 구조적 · 기능적 관계를 고려함으로써 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식하고 있음을 의미한다.

<표 9>는 <표 3>과 비교했을 때 5 수준은 제시되어 있지 않다는 특징이 있다. 이러한 차이가 나타난 것은 연구2의 소집단 활동에서는 시각 성립 과정에 중점을 두어 수업이 이루어졌으므로 시스템의 변화를 다루

는 담화는 나타나지 않았기 때문이다.

<표 9> 연구2에서 활용한 시스템 사고 분석틀

수준	정의 및 특징
1	시스템의 하위 구조 요소와 과정 요소를 각각 언급하는 경우 - 시스템의 요소와 과정을 언급하지만 이들을 서로 연결시키지는 않은 경우 예) 바구니는 망막이다.
2	시스템의 하위 구조 요소들의 관계를 언급하는 경우 - 두 가지 하위 구조 요소 간의 관계를 언급하는 경우 예) 시각 신경은 망막 안에 있다
3	시스템 하위 구조 요소와 과정 요소를 연결하는 경우 - 비유 모형에서 표상되는 히위 구조 요소와 과정 요소를 연결하는 경우 예) (비유 모형의 바구니를 언급 또는 지시하면서) 망막에서는 상이 맺힌다.
4	시스템을 구성하는 둘 이상의 하위 구조 요소들의 관계와 과정 요소들을 연결하는 경우 두 가지 이상의 하위 구조 요소들 간의 관계와 과정 요소들을 연결하는 경우 예) 시각 신경이 망막 앞에 위치하면, 시각 신경이 망막에 도달하는 빛을 막기 때문에 망막에 상이 맺히지 않게 된다.

2. 결과 및 논의

2.1 비유 모형을 활용한 활동에서 나타난 학생들의 시스템 사고

연구2에서는 '사람 눈 찾기' 활동을 '비유 모형의 비교 분석'과 '맹점 현상 설명'의 두 맥락으로 나누어, 담화에서 나타난 소집단의 시스템 사

고 수준을 분석하였다. 학생들은 '비유 모형의 비교 분석' 맥락에서 오징어 눈 비유 모형과 사람 눈 비유 모형을 관찰하고 비교하였다. 그리고 학생들은 '맹점 현상 설명' 맥락에서 두 가지 눈 비유 모형 중에 어느 비유 모형이 사람 눈을 표상하고 있는지를 선택하고, 선택한 눈 비유 모형을 토대로 맹점 현상이 어떻게 나타나는지를 설명하였다.

담화 분석 결과, 눈의 구조와 시각 형성 과정을 인식하고 이들을 연결하는 정도에 따라 소집단의 담화를 다음의 세 가지로 범주화할 수 있었다. 첫 번째 범주는 소집단이 비유 모형의 관찰을 통해 시각 시스템의 구조 요소만을 확인한 경우이다. 14개 소집단 중 10개의 소집단이 이 범주에 해당하는 것으로 나타났는데, 이 범주에 해당하는 소집단들은 구조 요소를 인식하는 정도에서 차이를 보였지만 과정 요소를 고려하지 않았다는 공통된 특징을 보였다. 이러한 10개의 소집단 중 4개의 소집단은 단순히 칠판에 제시된 '사람 눈의 구조에 관한 표상'(그림 7)과 비유 모형을 비교하면서 비유 모형의 바구니와 전선이 각각 어떤 것을 표상하고 있는지에만 초점을 맞추었다. 10개의 소집단 중 다른 5개의 소집단은 교과서에서 "맹점은 신경이 지나가는 지점이다"라는 정보를 발견하고 비유 모형에서 맹점을 표상하는 것을 찾고자 하였다. 그러나 이들은 비유 모형을 관찰하는 과정에서 왜 맹점에 상이 맺히면 물체가 보이지 않는지를 추론하지는 않았다. 10개의 소집단 중 마지막 1개의 소집단은 논변 활동에서 사용할 도움 카드에서 맹점에 대한 정보를 발견하고 시각 신경과 망막의 관계를 고려하여 맹점을 찾고자 하였다. 그러나 이 소집단 역시 비유 모형에서 맹점의 위치를 찾는 것에만 초점을 맞추고, 왜 맹점에 상이 맺히면 물체가 보이지 않는지에 대해서는 추론하지 않았다. 두 번째 범주는 소집단이 비유 모형의 관찰을 통해 시각 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 제한적으로 연결한 경우이다. 14개의 소집단 중 한 소집단만 이 범주에 해당하는 것으로 나타났는데, 이 소집단은 구조 요소 중 한 가지에만 초점을 맞추고 이를 과정 요소와 연결했다는 점에서 제한된 연결을 한 것으로 볼 수 있다. 세 번째 범주는 소집단이 비유 모형의 관찰을 통해 시각 시스템의 구조 요소들 사이의 관계와 과정 요소들을 연

결하여 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식한 경우이다. 14개의 소집단 중 3개의 소집단이 이 범주에 해당하는 것으로 나타났는데, 이 범주에 해당하는 소집단들은 구조 요소 간의 관계와 과정 요소를 연결하는 모습을 보였다.

연구2에서는 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 시스템 사고가 어떻게 나타나는지를 더욱 깊이 있게 탐색하고 학생들의 시스템 사고를 촉진하기 위한 방안을 모색하기 위해, 각 범주의 특성이 가장 잘 나타나는 소집단을 범주별로 하나씩 선정하여 각 소집단에서 시스템 사고가 어떻게 나타나는지를 기술하였다. 3조는 첫 번째 범주, 5조는 두 번째 범주, 2조는 세 번째 범주에 해당한다. '사람 눈 찾기' 활동의 두 맥락에서 나타난 각 소집단의 시스템 사고 수준은 <표 10>과 같다.

<표 10> 두 맥락에서 나타난 초점 소집단의 시스템 사고 수준

맥락 \ 소집단	3조	5조	2조
두 비유 모형의 비교 분석 맥락	1 수준	2 수준	2 수준
맹점 현상 설명 맥락	-	3 수준	4 수준

2.1.1 시각 시스템의 구조 요소만 확인한 경우

비유 모형의 관찰에서 1 수준의 시스템 사고를 보인 3조는 가시적인 하나의 구조 요소에만 초점을 맞춤으로써 매우 제한적인 시스템 사고를 보였으며, 과정 요소를 고려하지 않음으로써 맹점 현상에 대한 설명을 구성하지 못하였다. 따라서 이 소집단의 경우에는 두 비유 모형의 비교 분석 담화만을 제시한다.

3조는 두 비유 모형을 관찰할 때 표면적으로 나타나는 구조 차이에만 초점을 맞추었다. 먼저, 3D는 소집단에 사람 눈 비유 모형과 오징어 눈 비유 모형의 구조 차이가 무엇인지 질문하였다(행 1). 3A는 이에 대해 두 비유 모형의 시각 신경 다발의 위치가 안과 밖인 것에 차이가 있다고 언급하면서, 오징어 눈 모형이 사람 눈에 해당한다고 주장하였다(행 2-3). 여기서 학생들은 비유 모형에서 표상하고 있는 특정 구조 요소인

시각 신경 다발에만 초점을 맞추고, 망막에 대해 언급하지 않았다. 이는 학생들이 두 비유 모형에서 나타난 시각 신경의 위치 차이를 인지하고 있지만, 망막과 시각 신경의 관계를 고려하지는 않았음을 나타낸다. 따라서 3조의 시스템 사고는 1 수준에 해당한다고 할 수 있다.

1 3D 두 구조의 차이는 무엇이오? (C를 보면서) 어.. (A를 보면서)

... 중략 ...

2 3A 이거(오징어 눈 모형) 사람 눈 맞아. 이거 사람 눈 맞다고. 왜냐하면 신경 세포가 있고 (전선을 손가락으로 가리키면서), 밖으로 나와 있잖아 (전선 다발을 손가락으로 가리키면서). 그리고 이거(사람 눈 모형)은 신경 세포가 안에 있다고(전선을 손가락으로 가리키면서)

... 중략 ...

3 3A 시각 신경이 안에 있는 거랑 밖에 있는 거랑 다르지 않냐? (오징어 눈 모형을 들면서, D를 보면서)

4 3D 아..오~ 오랜만에 똑똑한 짓을 했어 (A를 보면서)

3A는 사람 눈을 표상하고 있는 모형으로 오징어 눈 모형을 선택하고 나서, 칠판에 제시된 '사람 눈의 구조에 관한 표상'(그림 7)이 '오징어 눈 비유 모형'과 구조적 측면에서 유사함을 그 증거로 제시하였다. 이때 3A는 <그림 7>에서 시각 신경 다발이 망막 뒤편에 있다는 점과 '오징어 눈 비유 모형'에서 전선이 바구니 뒤로 나와 있는 모양이 같음을 언급하였다(행 9). 3A는 <그림 7>에서 망막 안이 비어 있는 것처럼 보이는 점과 신경 다발이 망막 뒤에 위치한 점에 초점을 맞춘 것으로 보인다. 3조 학생들은 사람 눈을 표상하고 있는 비유 모형을 선택하는 과정에서 칠판에 제시된 안구 모식도와 모양이 전체적으로 비슷한 것을 찾고자 하였으며, 이 과정에서 시각 시스템의 구조 요소들을 구분하여 분석하는 노력을 기울이지 않았으며, 구조 요소 간의 관계와 과정 요소를 고려하지 않았다.

5 3C 아, 이게 동물 눈이랑 사람 눈이 되는 거야?(책상에 올려 있는 사람 눈 모형을 잡으면서, D를 보면서)

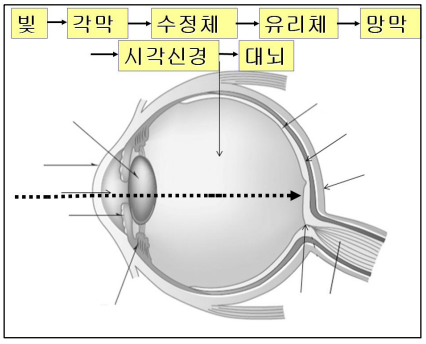
6 3A 어(들고 있던 오징어 눈 모형을 책상에 내려놓으면서, C를 보면서)

7 3A 이게 사람 이래 (오징어 눈 모형을 잡으면서, D를 보면서)

8 3B 그럼 이게 동물 눈이야 (사람 눈 모형을 들면서, C와 D를 보면서). 응(사람 눈 모형을 내려놓으면서)

… 중략 …

9 3A 사람 눈 같이 생겼고.. (웃으면서, 오징어 눈 모형을 들었다 내려놓으면서, D를 보면서) 사람 눈 같이 생기지 않았다 (B가 들고 있는 사람 눈 모형을 손가락으로 가리키면서, D를 보면서) 그림을 봤을 때 (칠판에 있는 그림을 손가락으로 가리키면서), 막.. 눈이 딱 있지,.. 저게 신경 세포잖아,…시각 신경..(D와 칠판을 번갈아 쳐다보면서) 제는 밖으로 나와 있잖아.. (오징어 눈 모형의 전선을 보면서) 똑같지? 그치? (D와 칠판을 번갈아 쳐다보면서) 저게 밖으로 나와 있잖아 (칠판을 손가락으로 가리키면서)



<그림 8> 교사가 수업에서 사용한 사람 눈 구조에 관한 시각자료

연구2의 눈 비유 모형은 학생들에게 망막과 시각 신경의 위치 관계를 표상하여 제공하였다. 하지만 3조 학생들은 망막과 시각 신경 간의 위치

관계를 인지하지 못하고 비유 모형에서 표면적으로 드러나는 구조에만 초점을 맞추면서 맹점 현상을 추론하는 것에 실패하는 모습을 보였다. 이는 많은 학생이 표면적으로 드러나는 구조에만 집중한다는 선행 연구 결과(Kozma & Russell, 1997; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004; Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007; Assaraf, Dodick & Tripto, 2013)와 일치한다. 비유 모형을 통해 제공된 시각 시스템의 구조 요소가(예: 시각 신경) 표면적으로 잘 드러나지 않는 과정 요소(예: 망막에서는 상이 맺힌다)에 비해 잘 드러나기 때문에, 학생들이 시각적으로 잘 드러나는 구조 요소에 더욱 쉽게 접근하기 때문으로 생각된다.

3조의 학생들은 시각 시스템의 구조를 가시화한 눈 비유모형을 관찰하면서 표면적으로 잘 드러나는 구조 요소와 칠판에 제시된 그림의 특징적인 한 부분에만 초점을 두는 모습을 보였다. 이 과정에서 시각 형성에 관여하는 시각 시스템의 다른 구조 요소와의 관계를 고려하지 않는 한계를 보였고, 결국 가장 낮은 시스템 사고 수준을 보였다. 이러한 결과는 학생들의 시스템 사고 수준을 높이기 위해서는 요소들을 가시화하는 데서 그치지 않고 이들 간의 관계를 고려하도록 하는 것이 중요함을 말해준다.

3조 학생들이 하위 구조 요소에만 초점을 맞춘 원인 중 하나로 비유 모형의 비친숙성을 들 수 있다. Won, Yoon & Treagust(2014)에 의하면 학생들이 서로 다른 두 종류의 표상을 사용하는 방법의 하나는 두 표상의 구성 요소들을 일대일로 대응시키면서 익숙한 표상을 사용해서 익숙하지 않은 표상을 해석하는 것이라고 하였다. 이로 미루어 보아 주어진 비유 모형이 3조 학생들에게 친숙하지 않은 것이어서, 이 학생들은 비유 모형 자체를 해석하는데 어려움을 겪은 것으로 보인다. 3조 학생들은 비교적 익숙한 표상인 <그림 7>과 비유 모형을 비교하면서 비유 모형의 구성 요소가 표상하는 바를 파악하는 데에만 주안점을 두었고, 이 과정에서 구조 요소 간의 관계와 과정 요소를 고려하지 못함으로써 이들의 시스템 사고는 제한되었다고 할 수 있다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위해서는 학생들이 새롭게 개발된 비유 모형을 쉽게 이해하도록 교사의

적절한 지원이 제공될 필요가 있다.

2.1.2 시각 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 제한적으로 연결한 경우

두 비유 모형을 비교 분석하는 과정에서는 2 수준의 시스템 사고를 보였지만 맹점 현상에 대한 설명에서 3 수준의 시스템 사고를 보인 5조를 대상으로 하여, 이들의 상호작용 과정에서 시스템 사고가 어떻게 드러났는지를 두 맥락으로 나누어 제시한다.

2.1.2.1 두 비유 모형의 비교 분석

5조 학생들은 두 비유 모형을 비교해서 관찰하면서 두 비유 모형에서 제시된 구조 요소 사이의 관계를 확인하였다. 먼저, 5C와 5D는 두 비유 모형을 비교 관찰하면서 비유 모형의 구조 측면을 언급하기 시작했다. 5C는 바구니에 전선이 묶인 모습(행 11)에 주목했고, 이어서 5D는 그보다는 전선의 위치를 파악하는 것이 중요하다는 의견을 제시하였다(행 12). 그리고 이어서 5C는 활동지의 질문과 비유 모형의 전선에 주목하였고(행 13), 5B는 비유 모형의 전선과 바구니 안쪽 면을 각각 시각 신경과 망막에 대응시키고, 이 두 요소의 위치를 확인하였다(행 14). 5B의 발화(행 14)는 학생들이 망막과 신경이라는 두 하위 구조 요소의 관계를 인지하기 시작했음을 의미하므로 5조의 시스템 사고 수준은 2 수준에 해당한다고 볼 수 있다.

10 5D 두 구조물의 차이는 무엇인가? (B를 보면서)

... 중략 ...

11 5C (바구니를 보면서 웃음) 이건 X자고, 이건 일자야? (손가락으로 바구니를 가리키면서)

12 5D 아니 아니, 이건 (사람 눈 모형)은 안에 있고, 밖에 있어(오징어 눈 모형을 가리키면서)

... 중략 ...

13 5C 이거~ (활동지를 펜으로 가리키면서) 이건가? (바구니를 펜으로 가리키면서) 줄이 안에 있고. (사람 눈 모형을 보면서)

... 중략 ...

14 5B 어..그.. 시각 신경이. 망막 안. 안에 있고.. 밖에 있다.. 차이점이야? (C를 보면서, 말을 끝내고 활동지를 봄)

2.1.2.2 맹점 현상 설명

5조 학생들은 '오징어 눈 비유 모형'이 사람 눈을 표상한다고 생각하였다. 5B는 '사람 눈 비유 모형'의 경우에 시각 신경이 망막 안에 있으므로 상이 안 보이는 부분이 없을 것이라고 주장하였다(행 15). 5B의 이러한 발화는 시각 세포가 아닌 시각 신경에 상이 맺힌다는 잘못된 생각에서 비롯된 것이다. 5B는 사람 눈 비유 모형에서 시각 신경이 망막 위쪽에 전반적으로 배열되어 있어서 어느 곳에서 빛이 오더라도 상이 맺히게 되므로 안 보이는 부분이 없으리라 판단한 것이다(행 15). 그리고 '오징어 눈 비유 모형'의 경우에는 시각 신경에 해당하는 전선이 바구니 바깥쪽에 배열되어 있고 이 전선들이 한곳에 모여 있는데, 5B는 이 경우에 시각신경이 모인 부분에 상이 맺히는 경우에만 물체를 볼 수 있다고 생각하였다 (행 17). 그렇게 되면 이곳에만 상이 맺히고 망막의 다른 부분에는 상이 맺히지 않기 때문에 맹점 현상이 발생할 것으로 판단하고, '오징어 눈 비유 모형'이 사람의 눈에 해당한다고 하였다. 이 과정에서 "시각 신경에 상이 맺힌다"는 대체 개념을 보이기는 하였으나, '상이 맺힌다'라는 과정 요소를 눈의 구성 요소인 시각 신경과 연결 지어 상이 보이는

이유를 설명하였으므로 5조의 시스템 사고는 3 수준에 해당한다고 볼 수 있다.

15 5B 어.. 이게(사람 눈 비유 모형).. 어.. 시각 신경이 안에 있잖아.. 그러니까 상이 여러 개 맺히니까 다 보일 것 같아 (사람 눈 비유 모형을 들면서)
16 5C 오~천재다(B를 보면서)
17 5B 그리고 이거(오징어 눈 모형)는..안쪽에 있으니까 한 곳 밖에..(한 손으로 오징어 눈 모형을 든 상태에서, 펜으로 바구니 안을 가리키면서)
18 5D 바깥쪽임 (B를 보면서)
19 5B 응, 바깥쪽에 있으니까.. 그런 거 같아. (D를 보면서, 한 손으로 오징어 눈 모형을 든 상태에서, 펜으로 바구니 안을 가리키면서)
20 5D 응응(고개를 끄덕거리면서)
... 중략 ...
21 5D 아,. 망막 뒤에 있구나. 그러면… 망막 뒤에 맺히니까.. 볼록 렌즈를 써야 돼. (오징어 눈 전선을 연필로 가리키면서, C를 보면서)

5조 학생들이 시각 신경에 대한 대체 개념을 가지게 된 이유를 두 측면에서 해석할 수 있다. 첫째, 학생들이 '시각 형성 과정'에서 빛의 이동 경로에 주로 집중하고 안구 안으로 들어온 빛의 감지(상이 맺힘)에만 한정해서 생각하였기 때문이다. '시각 형성 과정'은 망막에서 상이 맺히는 것, 시각 신경에서 상에 대한 정보를 받아들이는 것, 그리고 이를 대뇌로 전달하는 과정으로 나뉠 수 있다. 5조는 '상이 맺히는 과정'만 고려하고, '시각 신경을 통해 상에 대한 정보가 전달되는 것'에 대해서는 고려하지 않았다. 이때 학생들은 두 비유 모형의 두드러진 차이점인 시각 신경의 위치에 주목하고, 시각 신경에서 상이 맺힌다는 대체 개념을 보인 것이다.

둘째, '시각 신경'과 망막에서 나타나는 과정인 '상이 맺힘'을 잘못 연결하여, '시각 신경에서 상이 맺힌다'라는 대체 개념이 생성되었다고 볼

수 있다. diSessa(1988)는 현상 설명을 위한 자원으로써의 지식이 절편화되어 있다고 주장하였는데, 이 절편화된 지식을 잘못 연결할 때 대체 개념이 형성될 수 있다고 하였다. 5조의 경우 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 연결했음에도 불구하고, 눈의 구조 요소와 과정 요소에 대해 절편화된 개념을 가지고 있어, '시각 형성 과정'에 대해 대체 개념을 만든 것으로 볼 수도 있다. 절편화된 개념은 구조 요소들의 상호작용 인식을 방해하여 5조 학생들의 시스템 사고를 3 수준에 머무르게 한 것이라고 해석할 수 있다.

5조 학생들이 절편화된 사고를 하게 된 원인 중 하나로는 기존의 강의식 수업을 들 수 있다. 기존의 강의식 수업은 선형적 사고를 강조하고 하나의 구성 요소에 초점을 맞추는 것으로 특징지을 수 있다(김만희와 김범기, 2002; 권용주 등, 2011). 이 수업은 비유 모형을 사용하여 학생들의 시스템 사고를 촉진하도록 계획되었지만, 오랫동안 강의식 수업에 익숙해 있는 5조 학생들은 이 수업에서도 기존의 전통적 수업에서 보인 사고 특성을 보인 것이다. 5조의 사례는 비유 모형의 단순한 제시만으로 복잡계의 특성을 나타내는 생명과학 개념에 대한 학생들의 이해를 도울 수 없음을 나타낸다. 따라서 생명과학 개념의 이해를 위해서는 전체적인 관점으로 대상을 바라보는 시스템 사고의 촉진을 위한 교수 전략의 도입이 필요함을 제기할 수 있다.

2.1.3. 시각 시스템의 구조 요소들 관계와 과정 요소를 연결하여 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식한 경우

2조는 두 비유 모형의 관찰에서 구조 요소 간의 관계를 인지함으로써 2 수준의 시스템 사고를 보였지만, 맹점 현상 설명에서는 4 수준의 시스템 사고를 보임으로써 시각 형성 과정에 대한 비교적 높은 이해를 보였다. 2조 학생들이 보인 시스템 사고를 두 맥락으로 나누어 제시한다.

2.1.3.1 두 비유 모형의 비교 분석

2조 학생들은 두 가지의 비유 모형을 비교하고 관찰하면서 처음에는 전체적인 모양에만 주목하였다(행 22-24). 그러다가 2B가 지목한 '사람 눈 비유 모형' (행 26)을 대상으로 하여, 2C는 '망막' 요소 위쪽에 '시각 신경'이 배열되어 있음(행 27)을 언급하였다. 그리고 2B와 2A가 이를 확인하였다. 이는 학생들이 망막과 신경이라는 두 구조 요소 관계를 인지했음을 의미하며, 이로 미루어 볼 때 2조의 시스템 사고는 2 수준에 해당한다고 볼 수 있다.

22 2A 구조물의 차이점
23 2B 이거랑 이거랑 차이점. 많이 다른데?
24 2A 모양이 다르다
25 2C 아…
26 2B 얘는..
27 2C 망막 위에 시각신경이 있다
28 2B 여기 망막(사람 눈 모형을 들며), 망막..인데 시각신경이 (잘 안들림). 이거 했어?
29 2A 망막 위에 시각신경..

2.1.3.2 맹점 현상 설명

맹점 현상이 어떻게 발생했는지 설명하는 맥락에서 2C는 다른 구성원들에게 의견을 내도록 요청하였고, 2B는 사람 눈 비유 모형에서 상이 안 보이는 이유를 시각 신경과 망막의 위치 관계를 이용하여 추론하였다. 2B는 '망막(바구니 안쪽 면)' 위에 배열된 '시각 신경(전선들)'의 위치를 살펴보면서 "전선에 가려서 빛이 바구니 안쪽 면에 도달할 수 없다"는 추론을 한 것이다. 이러한 생각은 "여기에 가려서 안 보일 수도 있잖아"와 같은 언급(행 31)으로 나타났다. 이때 2B는 손바닥을 바구니 안쪽 면을 향하도록 하면서 손을 전선 쪽으로 움직였다. 이러한 손의 움직임은 빛이 이동하는 경로를 시각적으로 보여준 것이라 할 수 있다. 그러면서 빛이 바구니 안쪽 면에 도달하기 전에 전선에 의해 가려진다는 것을 파

악한 것이다. 2B는 '상이 맺히는 곳은 망막'임을 분명히 인지함으로써 망막 위의 시각 신경의 역할과 구분하였다. 이로 미루어 보아 2조 학생들은 두 구조 요소의 관계와 둘 이상의 과정을 연결했다고 할 수 있으며, 그들의 시스템 사고는 4 수준에 해당한다고 볼 수 있다.

30 2C 빨리 의견을 내보란 말이야
31 2B 아, 이걸 수도 있잖아.(사람 눈 모형 지칭) 왜냐면 이걸 해서, 여기(전선다발)에 가려서 안 보일 수도 있잖아(손바닥을 전선 쪽으로 향하게 해서 움직이면서).
32 2A (노래를 부른다)
33 2C 쥐가, 여기에 가려서?

2B는 두 구조 요소(망막과 시각 신경)와의 관계뿐 아니라 '빛이 망막에 도달하는 과정'과 '망막에 상이 맺히는 과정'을 연결하였다(행 31). 특히, "시각 신경이 망막을 가린다"고 한 발화는 시각 형성 과정에서 '빛을 감지하는 역할'을 '망막'이 담당하고 있음을 분명하게 나타낸다. 이는 시각 신경의 역할을 망막의 역할과 구분해서 인지하고 있는 것으로 해석될 수 있으며, 학생들이 구조 요소 간의 상호작용을 인식하고 있음을 나타낸다. 여기서 2조의 학생들은 맹점 현상을 과학적으로 타당하게 설명하지는 못했으나, 빛의 감지와 시각 자극의 전달을 구분함으로써 좀 더 과학 개념에 접근하였다. 이는 학생들이 구조 요소, 구조 요소들 사이의 관계, 구조 요소와 과정 요소를 유기적으로 연결한 결과라 할 수 있으며, 시스템 전체를 고려하도록 하는 시스템 사고가 시각 시스템을 다룰 때 매우 중요하게 작용할 수 있음을 보여준다.

2조의 시스템 사고가 4 수준에 도달할 수 있었던 원인으로 몸짓과 비유 모형의 사용을 제시할 수 있다. 첫째, 눈 비유 모형을 활용하면서 보여주는 몸짓(gesture)은 시각적으로 잘 드러나지 않는 시각 시스템의 과정 요소를 인지하도록 도왔다. 선행 연구에 따르면, 시각자료를 가리키는 몸짓은 시각자료에서 눈에 보이지 않는 특징을 시각적으로 보여주는 역할을 한다(Pozzer-Ardenghi & Roth, 2005). 몸짓이 시각자료를 해석하기 위한 하나의 자원이 될 수 있다는 점(Pozzer-Ardenghi & Roth, 2005)에

서 2B의 몸짓(행 31)은 빛이 망막에 도달하는 과정을 시각적으로 나타내려는 시도로 해석될 수 있다.

둘째, 눈 비유 모형의 사용이 학생들의 인지 부하(cognitive loads)를 줄이도록 하여, 눈에 보이지 않는 과정 요소를 추론하도록 도울 수 있었다. 선행 연구에 따르면 시각자료는 머릿속에서 추론해야 할 정보들을 직접 시각화하여 제시하기 때문에, 학생은 시각자료가 제공하는 정보를 추론해야 할 인지 부담을 줄일 수 있다. 인지 부담이 감소하면, 학생은 인지 노력을 다른 정보를 처리하는데 쏟을 수 있게 된다(박선희와 권숙진, 2010; Hegarty, 2011). 위 사례에서 2조 학생들은 시각 형성 과정을 이해하기 위해서 '눈의 구조 요소 간의 관계, 눈의 하위 구조 요소에서 일어나는 과정 요소, 여러 구조 요소와 과정 요소를 연결' 이라는 정보를 모두 처리해야 했다. 이때 학생들은 눈 비유 모형을 통해 눈의 구조를 시각화한 정보를 받을 수 있었다. 그러므로 학생들은 눈의 구조 요소 간의 관계를 처리해야 할 인지 부담이 줄어들면서 눈의 구조 요소에서 나타나는 과정 요소를 추론하고 이들을 구조 요소와 함께 묶는데 더 많은 인지 노력을 쓸 수 있게 되고, 이를 통해 시각 형성 과정을 복합적 과정으로 인식할 수 있었다. 학생들이 몸짓을 사용해 빛의 경로를 시각화 한 점은 이를 뒷받침하는 증거라고 할 수 있다.

2조 학생들은 요소 간 상호작용을 인지한 것을 바탕으로 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식하는 것과 같이 더 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있었다. Assaraf, Dodick & Tripto (2013)는 더 높은 수준의 시스템 사고를 위한 필요조건으로 이전 단계의 시스템 사고를 제시하였다. 즉, 높은 수준의 시스템 사고를 위해서는 요소 간의 관계와 상호작용을 파악할 필요가 있다. 2조의 학생들은 비유 모형을 활용해서 구조 요소 간의 관계를 파악하였고, 이를 시작점으로 하여 시스템 사고를 발전시킬 수 있었다는 점에서 이전 연구자들의 관점을 지지한다.

2.2 교사의 지원이 학생들의 시스템 사고에 미친 영향

연구2에 참여한 소집단은 대부분 두 비유 모형의 관찰과 비교를 통해 시각 시스템의 구조 측면에 쉽게 접근할 수 있었다. 하지만, 교사의 지원이 제공되기 전까지 학생들은 시각 시스템의 구조 측면을 넘어서 비가시적인 과정 요소에 대해 논의하지 않는 모습을 보였다. 이로 미루어 보아, 학생들이 쉽게 접근하지 못하는 영역에 대해서 사고하도록 하는 데 있어서 도구를 제공하는 것 이외에 교사의 지원이 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 이 절에서는 교사가 학생들에게 시각 시스템에서 비가시적인 과정을 추론하도록 어떠한 지원을 하였는지 5조의 사례를 중심으로 기술하고자 한다. 5조 사례에 중심을 둔 이유는 교사가 제공한 서로 다른 형태의 두 가지 지원에 대해 5조 학생들이 다른 반응을 보임으로써 교사의 지원에 의한 학생들의 시스템 사고 향상이 어떻게 나타나는지 잘 분석할 수 있기 때문이다.

5조에 제공한 교사의 첫 번째 지원은 학생들이 두 가지 비유 모형을 구조 측면에서 비교 관찰한 후에 시각 형성에 관해 더 이상의 논의를 진행하지 않는 것을 인지하고 나서 주어졌다. 교사는 담화를 계속 진행하도록 요청하는 질문을 시도하였다(행 34). 그리고 교사는 소집단이 할 일을 마쳤다는 학생 5C의 응답(행 35)을 듣고, 학생들에게 활동지를 끝까지 채우라고 요청하였다(행 36). 교사의 이 발화는 '학생들의 활동이 아직 끝난 것이 아님'을 알려주는 동시에 학생들이 활동지의 마지막 질문을 생각해 보도록 지원한 것이다. 활동지의 마지막 질문은 '자신이 고른 눈 구조물을 바탕으로 맹점 찾기 활동 결과를 설명해 보자'였다. 이 질문은 앞에서 경험한 맹점 현상이 어떻게 발생했는지를 비유 모형을 이용해서 설명하도록 요청한 것으로써, 교사는 첫 번째 지원을 통해 학생들에게 비유 모형의 구조 측면을 벗어나서 각 요소에서 일어나는 과정 요소를 추론하도록 시도한 것이다. 이후 5조는 맹점현상 경험에서 상이 안 보였던 이유에 대해 생각하기 시작했다. 이에 학생들은 "시각 범위에 벗어나서(행 38)", "상이 맺히지 않아서(행 39)", "한쪽 눈이 안 보여서(행

40)” 라고 추론하는 데 그쳤다.

34 교사 (조)이쪽은 갑자기 할 얘기가 없어졌어?
35 5C 썼어요
36 교사 (조)아니..여기 끝까지 하는 거라고 선생님이 했잖아. (자리를 떠남)
37 5A 어.. 실험 결과.. (활동지를 보면서, 웅얼거림)
38 5D 시각.. 범위에 벗어나서.. (B를 보면서)
39 5C 안보이니까.. (B를 보면서) 아! 상이 맺히지 않아서 (손바닥으로 책상을 두들기면서, B를 보면서)
... 중략...
40 5A 한쪽 눈이 안 보여서
41 5D 실명됐냐? 되게 진지하다.. 표정이..
42 5C 아.. 뭐야.. (사람 눈 모형을 책상에 올려두면서, 엎드리면서, D를 보면서)
43 5D 아니 (아니, C를 보면서) 걍 시각 범위에 벗어나서 쓰자 (활동지에 글을 쓰면서)
44 5C 그래 (활동지에 글을 쓰면서)

교사가 학생들에게 이후의 활동을 어떻게 진행해야 한다는 언급을 하지 않고 활동지를 끝까지 채우라고 한 점에서 볼 때, 첫 번째로 주어진 교사의 지원은 학생들의 활동에 대한 과제 완결을 위한 지원이라고 볼 수 있다. 이후 학생들은 맹점 현상에서 상이 보이지 않는 이유에 대해 ‘시각 형성 과정’과 관련지어 고려하는 모습을 보였다. 하지만 5D가 “시각 범위에 벗어나서” (행 38)와 같은 개인적 경험에 기반을 둔 추론을 통해 이유를 제시한 이후에 학생들은 앞에서 비교 관찰한 비유 모형은 책상 위에 둔 채로 서로의 얼굴만 보면서(행 42, 43) 깊이 있는 추론을 진행하지 못하였다. 그러고 나서 5D가 제안한 이유를 별다른 비판적 검토 없이 활동지에 적는 모습을 보였다(행 43, 44). 이처럼 학생들이 개인적 경험에 기반을 둔 추론에 의지해서 그 이유를 제시하는 모습은 다른 연구에서도 미숙한 추론의 사례로 제시된다. 그 예로 Namder & Shen(2016)은 모형 기반 수업에서 학생들이 지식을 조직화하는 초기 단계에 개인적 경험에 기반을 둔 추측을 한다고 하였다. 이로 미루어 보아,

연구2에서 나타난 교사의 활동에 대한 과제 완결을 위한 지원은 학생의 사고를 특정한 방향으로 촉진하지 못함으로써, 학생들이 개인적 경험에 기반을 둔 추론에 의지해서 활동지를 작성하게 했다고 할 수 있다.

5조로 다시 돌아온 교사는 학생들에게 두 번째 지원을 제공하였다. 교사는 두 번째 지원에서 두 비유 모형 중에 어떤 비유 모형을 선택했는지 확인하도록 하고(행 45), 이를 토대로 상이 안 보이는 이유를 찾아보라고 하였다(행 49). 이처럼 교사는 학생들과 상호작용을 하면서 학생들의 현재 상황을 파악하고 이후에 학생들이 해야 할 활동을 안내했기 때문에 두 번째 교사 지원은 인식적 실행 활성화를 위한 지원이라고 볼 수 있다. 교사의 지원 이후에 5B는 “시각 신경이 안에 있잖아.. 그러니까 상이 여러 개 맺히니까 다 보일 것 같아(사람 눈 모형을 보면서)” (행 15)라고 하였다. 이는 교사의 지원 이후에 학생들이 비유 모형에서 표상된 시각 신경과 ‘상이 맺힌다’라는 과정 요소를 연결할 수 있었음을 의미한다.

45 교사 (조) 둘 중에 일단 뭐가 사람에 가깝다고 생각했어?
46 5C 애요. (오징어 눈 모형을 손가락으로 가리키면서)
... 중략 ...
47 교사 (조) 이거야? (오징어 눈 모형) 이걸로 설명할거야?
48 5B 네 (교사를 보면서)
49 교사 (조) 어, 그럼 이걸로.. 너네가.. 이유를.. 밑에다가 구체적으로 써야지..

5조의 사례에서 교사가 활동에 대한 과제 완결을 위한 지원을 제공한 경우(첫 번째 지원)에 학생들은 시각 시스템의 과정 요소를 고려하기는 하였지만 개인적 경험에 기반을 둔 추론에 머물렀다. 반면, 교사가 인식적 실행 활성화를 위한 지원을 제공한 경우(두 번째 지원)에 학생들은 관찰한 비유 모형과 시각 시스템의 비가시적인 과정 요소를 연결할 수 있었다. 이는 교사의 담화 형태에 따라 학생의 사고와 활동 수준에 영향을 줄 수 있음을 설명한 선행 연구 결과(조은영과 한신, 2015)와 일치하는 것이다.

교사는 2조 학생들에게 5조의 두 번째 지원과 같이 인식적 실행 활성화를 위한 지원을 제공하였다. 교사는 2조 학생들이 어떤 비유 모형을

선택했는지와 비유 모형을 선택한 이유를 물어보고 상이 왜 안 보이는지 생각하도록 유도하였다. 이후 2조 학생들은 “아, 이걸 수도 있잖아.(사람 눈 모형 지칭) 왜냐면 이걸 해서, 여기(전선 다발)에 가려서 안 보일 수도 있잖아(손바닥을 전선 쪽으로 향하게 해서 움직이면서)” (행 31)과 같이 사람 눈을 표상한다고 생각하는 비유 모형을 제시하고, 상이 안 보이는 이유를 설명하는 모습을 보였다. 2조의 사례는 교사의 인식적 실행 활성화를 위한 지원 때문에 학생들이 비유 모형을 토대로 해서 비가시적인 과정 요소를 추론하였음을 보여준다. 즉, 학생들은 가시화시킨 눈 비유 모형의 각 구조 요소들을 보면서 이들 사이에서 시각 형성 과정이 어떻게 이루어지는지를 추론하고, 그 과정에서 이들의 시스템 사고 촉진이 이루어졌다고 생각된다.

물론 교사가 인식적 실행 활성화를 위한 지원을 제공하더라도 학생들이 모두 성공적으로 비가시적인 시각 형성 과정을 고려한 것은 아니었다. 교사는 3조에도 5조의 두 번째 지원과 같은 형태의 인식적 실행 활성화를 위한 지원을 제공하였다. 그러나 3조는 단지 두 비유 모형 중 어느 모형이 사람 눈을 표상하고 있는지만을 논의하였고, 칠판에 제시된 그림과 구조적 유사성을 근거로 하여 사람 눈에 해당하는 비유 모형을 선택하였다. 3조의 사례는 교사가 직접 나타나지 않는 비가시적인 과정 요소에 대한 학생들의 추론을 돕기 위해서 소집단이 가진 문제점을 맥락에 맞게 파악하고 그에 따른 적절한 지원을 해야 함을 암시하는 것이다.

Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구에서는 학생들이 시각 개념을 이해할 때 요구되는 시스템 사고 수준과 학생들의 시스템 사고를 지원하는 방안을 알아보고자 하였다.

연구1에서는 중학교 2학년 과학 교과서에서 시각 시스템을 다룰 때 교과서가 요구하는 시스템 사고 수준과 시각자료가 학생들의 시스템 사고 촉진에 어떻게 도움을 주고 있는지 구체적으로 파악하고자 하였다. 이를 위해 교과서 본문에서 나타나는 시스템 사고 수준, 교과서에 제시된 시각자료의 존재론적 범주와 교과서 본문과 시각자료의 정보의 포괄도를 정성적으로 분석하였다.

교과서는 시각 개념을 '눈의 구조와 시각 성립 과정', '명암 조절과 원근 조절', '근시와 원시의 교정'의 3가지 주제로 다루고 있었다. '눈의 구조와 시각 성립 과정' 주제에서 교과서 본문은 시각 성립 과정을 각 구조 요소들이 상호작용하여 나타나는 복합적 과정으로 다루고 있었으며, 시각자료는 존재론적 범주가 '구조' 범주에 해당하는 구조 이미지를 사용하였다. '명암 조절과 원근 조절' 주제에서 교과서 본문은 빛의 밝기와 물체의 거리 변화라는 외부 환경의 변화에 따라 홍채와 동공, 모양체와 수정체의 관계가 변하면서 눈의 구조가 어떻게 변하는지 다루고 있었으며, 시각자료는 존재론적 범주가 '절차' 또는 '변화'에 해당하는 다중 이미지를 사용하였다. '근시와 원시의 교정' 주제에서 교과서 본문은 수정체와 망막 사이의 길이 변화라는 눈의 구조 요소 변화에 따라 상이 어떻게 맺히는지와 렌즈를 착용함으로써 교정 전후에 상이 어떻게 맺히는지 다루고 있었으며, 시각자료는 '복합 과정' 또는 '변화' 범주에 해당하는 다중 이미지를 사용하였다.

이와 같은 분석 결과는 통해 교과서 본문은 시각에 관련된 내용이 높은 수준의 시스템 사고를 요구하고 있으며, '구조' 범주를 표상하는 시각자료는 안에 제시된 글, 화살표와 같은 기호를 사용하거나 하나의 시각자료에 둘 이상의 이미지를 포함하는 다중 이미지를 사용함으로써 시각자료는 '구조' 범주뿐만 아니라 '과정' 범주를 표상할 수 있음을 제시한다. 이는 시각자료가 '과정' 범주를 표상함에 따라 교과서 본문에서 제시한 과정 요소,

두 구조 요소 간의 상호작용과 같이 맨눈으로 쉽게 관찰할 수 없는 추상성이 높은 정보를 시각화하는 것을 통해 시스템 사고를 촉진시키는 도구로 사용될 수 있다는 시사점을 제공한다.

연구2는 비유 모형을 활용한 활동이 학생들의 시스템 사고를 어떻게 촉진시키는 지를 탐색하고, 이 과정에서 교사의 역할을 구체적으로 파악하고자 하였다. 이를 위해 눈 비유 모형을 활용한 소집단 활동에서 드러난 학생들의 시스템 사고를 수준별로 분석하고, 교사의 지원이 학생들의 시스템 사고에 어떻게 영향을 주는지를 조사하였다.

소집단의 시스템 사고 유형은 소집단이 비유 모형의 관찰을 통해 '1) 시각 시스템의 구조 요소만 확인한 경우; 2) 시각 시스템의 구조 요소와 과정 요소를 제한적으로 연결하는 경우; 3) 시각 시스템의 구조 요소들 관계와 과정 요소를 연결하여 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 인식한 경우'로 구분할 수 있었다. 첫 번째 유형의 담화에서는 학생들이 가시적으로 나타나는 구조적인 특징에만 초점을 맞추어 비유 모형을 탐색하였으며, 요소들 사이의 관계는 고려하지 않은 것으로 나타났다. 이런 경우에 학생들은 과정 요소와 구조 요소를 연결 지어 추론하지 못하는 제한이 생김을 확인할 수 있었다. 두 번째 유형의 담화에서는 학생들이 비가시적인 과정 요소와 구조 요소를 제한적으로 연결하면서 시각 형성 과정을 정확하게 이해지 못하는 제한점을 보였다. 학생들은 맹점 현상에 대한 설명을 구성하면서 '시각 신경에서 상이 맺힌다'라는 대체 개념을 보였고, 요소 간의 전체 연결이 아닌 절편화된 관점으로 시각 시스템에 접근하면서 대체 개념이 그대로 유지됨을 확인할 수 있었다. 세 번째 유형의 담화에서는 학생들이 비가시적인 과정 요소를 추론하고 다양한 요소를 유기적으로 연결함으로써 과학 공동체에서 공유되고 있는 지식과 가까운 지식을 만들 수 있었다. 또한 교사의 지원은 학생들에게 비가시적인 과정 요소를 생각하도록 유도하였다. 학생들은 교사의 지원 이전에 비유 모형의 가시적인 구조 요소에 대해서만 주목을 하고 과정 요소에 대해 고려를 하지 않았다. 그러나 교사의 인식적 실행 활성화를 위한 지원 이후에 학생들은 과정 요소를 구조 요소들과 연결 지어 추론할 수 있었다.

이와 같은 분석 결과는 눈 비유 모형이 시각 시스템의 구성 요소들을 가시화함으로써 학생들의 인지 부담을 줄여서 시스템 사고를 촉진시켰음을 나타낸다. 또한, 비가시적인 과정 요소에 대해 추론하도록 유도하는 교사의 인식적 실행 활성화를 위한 지원은 학생의 시스템 사고의 향상에서 매우 중요하게 작용함을 나타낸다.

이와 같은 연구 결과를 근거로 하여 학생들의 시스템 사고의 제고와 생명과학 개념의 이해 향상을 위한 네 가지 시사점을 제언하고자 한다.

첫째, 중등 생명과학 수업에 시스템 사고의 촉진을 위한 교수 전략의 도입이 필요하다. 생명과학과 관련된 여러 주제는 복잡계 특성이 있으므로 이를 이해하는데 시스템 사고가 필수적으로 요구된다. 연구1의 결과에서 나타난 바와 같이 교과서는 학생들이 비교적 높은 수준의 시스템 사고에 도달하기 원하는 것을 확인할 수 있었으며, 연구2에서 높은 수준의 시스템 사고를 보인 학생들이 과학자 집단이 공유한 과학 개념에 좀 더 근접한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 복잡계 특성을 보이는 생명과학 개념의 이해를 향상시키기 위해서는 학생들의 시스템 사고 촉진을 강조할 필요가 있다.

둘째, 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있도록 도와주는 도구가 필요하다. 특히 시각 개념을 다루는 경우에 학생들이 시각 성립 과정을 복합적 과정으로 이해하도록 도울 수 있는 교수 도구가 필요하다. 연구1의 결과에서 나타나듯이 교과서 본문은 시각 성립 과정을 여러 구조 요소들이 상호작용하여 나타나는 하나의 복합적 과정으로 다루고 있다. 하지만, 시각 성립 과정을 설명할 때 세 교과서에서 공통적으로 제시된 시각자료는 구조 이미지였다. 이 시각자료는 과정 요소들이 포함된 복합적 과정을 이해하는데 제한점이 있으며 시각 신경의 위치를 정확히 제시하지 않아 대체 개념을 유발할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 학생들이 추상성이 높은 시각 성립 과정을 이해하는 것을 돕기 위해서 추가적인 교수 도구가 필요하다. 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하기 위해서는 요소 사이의 관계, 눈에 직접 보이지 않는 과정 요소를 추론해야 한다. 학생들은 이러한 과정에서 과도한 인지 부담을 갖게 되어 높은 수준의 시스

템 사고를 하기 어렵다. 연구2의 눈 비유 모형처럼 학생들의 인지 부담을 감소시키는 도구를 수업에서 사용한다면, 학생들의 시스템 사고를 촉진시키는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 본 연구의 눈 비유 모형은 시스템의 구조 요소 관계를 가시화한 데 비하여, 이신영 등(2012)의 연구는 심장의 기능을 표상화한 석유 펌프 비유 모형을 사용함으로써 학생들의 자발적 추론을 가능하게 하고 학생들 간의 상호작용을 활발하게 하였다. 이는 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있도록 돕기 위해서는 구조뿐만 아니라 과정 요소를 추론하는 데 도움을 줄 수 있는 비유 모형이 필요함을 나타낸다.

셋째, 교사가 시각자료를 활용할 때 그 특징을 파악해서 장점을 부각하고, 제한점을 보완할 필요가 있다. 연구1의 결과는 시각자료가 화살표 같은 기호나 글을 함께 사용하거나 다중 이미지를 사용함으로써 '과정' 범주를 표상할 수 있음을 나타낸다. 따라서 수업에서 학생들에게 시각자료에서 제시된 기호가 어떤 의미인지 질문한다면 과정 요소 또는 구조 요소 간의 관계를 생각하는 기회를 얻게 되면서 시스템 사고를 촉진시킬 수 있을 것이다. 또한, 시각자료에서 과정 요소가 명시적으로 나타나지 않은 경우 학생들에게 제시된 시각자료에서 어떤 일이 일어날지 질문하는 것을 과정 요소를 생각할 기회를 만들 수 있을 것이다. 예를 들어 <그림 4>에서 제시한 화살표가 어떤 의미인지 학생들에게 물어보거나 <그림 3>과 같이 시스템 변화 결과만을 제시한 경우 시스템 변화가 어떻게 나타날지 질문함으로써 두 구조 요소 간의 관계가 어떻게 변하는지 이해하는 것을 도울 수 있을 것이다.

넷째, 기본 개념에 대한 이해 부족은 학생들이 높은 수준의 시스템 사고를 하는데 제한이 될 수 있으므로 이를 지원할 필요가 있다. 연구2에서 학생들은 시각 세포와 시각 신경을 혼동하는 경우가 있었다. 이러한 기본 개념에 대한 이해 부족으로 인하여 학생들은 비유 모형을 토대로 시각 형성 과정을 이해하는 데 어려움을 겪었다. 따라서 학생들의 시스템 사고를 위해 인지적 도구를 제공하는 것 이외에 학생들이 기본 개념을 이해하도록 도와줄 수 있는 지원이 필요하다.

참 고 문 헌

고연숙, 김효남. (2016). 한국 초등학교 교육과정 변천에 따른 과학 교과서 생명영역 내용분석. *한국과학교육학회지*, 36(2), 203-219.

고재걸, 김방희. (1996). 논리적 사고 수준에 따른 시각개념 유형. *경북대학교과학교육학회지*, 20, 25-44.

교육부. (2009). 과학과 교육과정.

교육부. (2015). 과학과 교육과정.

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

김경순, 변지선, 이선우, 강훈식, 노태희. (2008). 비유를 사용한 반응 속도 개념 학습에서 유발되는 대응 오류에 대한 분석과 비유 표현 방식에 따른 비교. *한국과학교육학회지,* 28(4), 340-349.

김남일, 강태완, 유은경, 배진호. (2002). 초등학생들의 몸의 운동과 조절에 대한 이해와 오개념에 관한 연구. *생물교육학회지*, 30(3), 237-245.

김도훈, 이미숙, 홍영교, 최현아. (2006). 청소년의 시스템 사고 교육을 통한 창의성의 기반이 되는 사고의 확장 효과 분석. *한국시스템다이내믹스연구*, 7(1), 51-65.

김동환. (2004). *시스템사고*, 서울: 선학사.

김만희, 김범기. (2002). 현대 과학교육의 동향과 시스템사고 패러다임의 비교 연구. *한국과학교육학회지*, 22(1), 64-75.

김미영, 김희백. (2009). 중등 과학 교과서의 생명 영역에 제시된 과학적 모형들의 유형 분석. *한국과학교육학회지*, 29(4), 423-436.

김용진, 손정우, 송영욱. (2010). 시각에서 상 맺힘 경로에 대한 생물 전공 교사의 오개념 분석. *생물교육학회지*, 38(2), 331-341.

문병찬, 김해경. (2007). 예비초등교사들의 시스템사고 능력 및 특성에 대한 연구. *한국시스템다이내믹스연구,* 8(2), 235-252.

문병찬, 송진여. (2012). 초등학생들의 시스템사고 교수-학습 효과. *한국*

시스템다이내믹스연구, 13(4), 81-99.

박선희, 권숙진. (2010). 인지부하이론을 기반으로 하는 유아용 멀티미디어 프로그램의 개발 원리에 관한 연구. *어린이미디어연구*, 9(1), 227-242.

신동훈. (2007). 8학년 과학 교과서와 교사, 학생들의 인식에서 나타난 인간의 시지각 오개념 분석. *생물교육학회지*, 32(5), 805-822

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

윤영수, 최승병. (2005). *복잡계 개론 : 세상을 움직이는 숨겨진 질서 읽기*. 서울: 삼성경제연구소.

이경현, 한문현, 김희백. (2016). 생태계의 단계적 외적표상화 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템사고 발달. 생물교육학회지, 44(3), 447-462.

이신영, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백. (2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. *한국과학교육학회지*, 32(5), 805-822.

이윤하, 윤회정, 송주연, 방담아. (2014). 통합개념을 중심으로 한 싱가포르, 캐나다와 미국의 과학교육과정 내용 요소 분석. *한국과학교육학회지*, 34(1), 21-32.

조은영, 한신. (2015). 중학교 태양계 단원 수업에서 교사와 학생 사이의 교실담화 사례분석. *한국과학교육학회지*, 39(1), 113-131.

Ainsworth, S. (1999). The function of multiple representations. *Computer & Education,* 33, 131-152.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). 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., Dodick, J., & Tripto, J. (2013). High school students' understanding of the human body system. *Research*

in Science Education, 43(1), 33-56.

Bellocchi, A., & Ritchie, S. M. (2011). Investigating and theorizing discourse during analogy writing in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching,* 48(7), 771-792.

Bertalanffy, V. L. (1968). G*eneral systems theory*. New York, NY: Braziller.

Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895-935.

Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427.

Casti, J. L. (1994). *Complexification: Explaining a paradoxical world through the science of surprise*. New York: Harper collins.

Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. C. (2012). Misconceived Causal Explanations for Emergent Processes. *Cognitive Science,* 36, 1-61.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.

Chin, C. (2007). Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), 815-843.

Chin, C., & Brown, D. E. (2002). Student-generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.

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

Cook, M. K. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90, 1073-1091.

Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: Implications from research. *International Journal of Science Education,* 27(2), 183-198.

Dedes, C. (2005). The mechanism of vision: Conceptual similarities between historical models and children's representations. *Science & Education*, 14(7-8), 699-712.

diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In Forman, G., & Pufall, P. B. (Eds.), *Constructivism in the Computer Age* (pp. 49-70). New Jersey: Hillsdale,

diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and target for instruction. *Cognitive and Instruction*, 22(3), 293-331.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.

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

Entwistle, N. J., & Ramsden, P. (1982). *Understanding Student Learning*. London: Croom helms.

Glynn, S. M. (2008). Making science concepts meaningful to students: Teaching with analogies. In S. Mikelskis-Seifertm U. R, & Bruckmann, M. (Eds.), *Four decades of research in science education: From curriculum development to quality improvement* (pp. 113-125). Germany: Waxmann.

Grotzer, T. (2012). *Learning causality in a complex world: understanding of consequence*. Lanham: Rowman & Littlefield.

Guerra-Ramos, M. T. (2011). Analogies as tools for meaning making in elementary science educaion: How do they work in classroom settings? *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Rducation,* 7(1), 29-39.

Gunel, M. & Yesildag-Hasancebi, F. (2016). Modal representation and their role in the learning process: A theoretical and pragmatic analysis. *Education Sciences: Theory & Practice,* 16, 109-216.

Gilbert, J. K. (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-pacific Forum on Science Learning and Teaching,* 11(1), 1-19.

Harrison, A., & Treagust, D. F. (1993). The teaching with analogies: A case study in grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching,* 30(10), 1291-1307.

Halliday, M. A. K. (1978). *Language as a social semiotic: The social interpretation of language and meaning.* London: Arnold.

Hegarty, M. (2011). The cognitive science of visual-spatial display: Implication for design. *Topics in Cognitive Science,* 3, 446-474.

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

Hmelo-Silver, C. E., Eberbach, C., & Jordan, R. (2014). Technology-supported inquiry for learning about aquatic ecosystems. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(5), 405-413.

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

Hmelo-Siver C. E., Liu L., Gray S., & Jordan R. (2015). Using representational tools to learn about complex systems: A tale of two classrooms. *Journal of Research in Science Teaching,*

52(1), 6-35.

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.

Izquierdo, M. & Marquez, C. (2008). A proposal for textbooks analysis: Rhetorical structures. *Science Education International*, 19(2), 209-218.

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

Johnson, N. F. (2009). *Simply complexity : a clear guide to complexity theory.* / 한국복잡계학회 역(2015), *복잡한 세계 숨겨진 패턴*. 서울: 바다출판사.

Koppal, M, & Caldwell, A. (2004). Meeting the challenge of science literacy: Project 2061 efforts to improve science education. *Cell Biology Education,* 3(1), 28 - 30.

Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching,* 34(9), 949-968.

Kress, G. & van Leeuwen. T. (1996). *Reading images: The grammar of visual design*. London: Routledge.

Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Lee, V. R. (2010). Adaptations and continuities in the use and design of visual representations in us middle school science textbooks. *International Journal of Science Education,* 32(8). 1099-1126.

Liu, Y., & Khine, M. S. (2016). Content analysis of the diagrammatic representations of primary science textbooks. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education,* 12(8), 1937-1951.

Liu, L., & Hmelo-Sliver, C. E. (2009). Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching,* 46(9), 1023-1040.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge/New York: Cambridge University press.

Mirchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour.* New York: Oxford university press.

Namdar, B., & Shen, J. (2016). Intersection of argumentation and the use of multiple representations in the context of socio-scientific issues. *International Journal of Science Education,* 38(7), 1100-1132.

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

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Girer (Ed.), *Cognitive models of science* (pp.3-45). Minneapolis, MN: University of minnesota press.

Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach.* NewYork, NY: OxfordUniversity Press.

Pozzer-Ardenghi, L., & Roth, W. M. (2004). Photographs in lectures: Gestures as meaning-making resources. *Linguistics and Education*, 15(3), 275-293.

Pozzer, L. L., & Roth, W. M. (2003). Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching,* 40(10), 1089-1114.

Rates, C. A., Mulvey, B. K., & Feldon, D. F. (2016). Promoting conceptual change for complex systems understanding: Outcomes of an agent-Based participatory simulation. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 1-18.

Raved, L., & Yarden, A. (2014). Developing seventh grade students' systems thinking skills in the context of the human circulatory system. *Frontiers in Public Health, 2*, 260.

Roth, M. W., Pozzer-Ardenghi, L. & 한재영. (2005). *Critical graphicacy : understanding visual representation practices in school science.* / 한재영 외 옮김(2015), *비판적 도해력 : 학교 교육에서 시각적 표상의 이해와 활용,* 서울: 푸른길.

Rensick, M. & Wilensky, U. (1998). Diving into complexity: developing probabilistic decentralized thinking through role-playing activities. *Journal of Learning Science,* 13(3), 337-386.

Schizas, D., Papatheodorou, E., & Stamou, G. (2017). Transforming "Ecosystem" from a scientific concept into a teachable topic: Philosophy and history of ecology informs science textbook analysis. *Research in Science Education,* 1-34.

Stern, L., & Roseman, J. O. (2004). Can middle-school textbooks help students learn important ideas? findings from project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching,* 41(6), 538-568.

Strømme, T. A., & Furberg, A. (2015). Exploring teacher intervention in the intersection of digital resources, peer collaboration, and instructional design. *Science Education,* 99(5), 837-862.

Tripto, J., Ben-Zvi Assaraf, O., 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.

Van Boxtel, C. (2004). Studying peer interation form three perspectives. In van der Linden, J., & Renshaw, P. (Eds.), *Dialogic learning: Shifting perspectives to learning, instruction and teaching* (pp. 125-144). London: Kluwer academic publishers.

Venville, G. D., & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*. 24, 295-320.

Villaverde, L. (2003). *Secondary schools. A reference handbook*. Santa barbara: Abc-clio Inc.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2006). Learing junior secondary science through multi-modal representation. *Electronic Journal of Science Education*. 11(1), 66-105.

Westbrook, S. L., & Marek, E. A. (1992). A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis. *Journal of Research in Science Teaching,* 29(1), 51-61.

Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology,* 8(1), 3-19.

Won, M., Yoon, H., & Treagust, D. F. (2014). Students' learning strategies with multiple representations: Explanations of the human breathing mechanism. *Science Education, 98*(5), 840-866.

Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J. S., Parke, H. M., & Crawley, F.

E. (2003). Social interaction and the use of analogy: An analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching.* 40, 443-463.

부 록

[활동 1-1] 사라져 버린 쥐

2학년 반 번 모둠

이름 :

[해보기]

① 활동지를 눈과 약 30cm 간격으로 두고 눈높이로 든다.

② 왼쪽 눈을 가리고 오른쪽 눈으로 활동지에 있는 마술사를 본다. (이때, 마술사가 오른쪽 눈앞에 위치하도록 한다.)

③ 그림판을 천천히 눈 쪽으로 가져와 본다. 그 동안 오른쪽 눈은 마법사를 계속 보고 있어야 한다.

④ 그림판이 가까워질수록 쥐에게 어떤 변화가 나타나는지 알아보자.

⑤ 그림판을 다시 서서히 눈에서 멀어지도록 옮겨본다. 쥐에게 어떤 변화가 나타나는지 알아보자.

책상 위에는 2개의 눈 구조물이 있다. 눈 구조물을 관찰하고 다음 질문에 답해보자.

▪ 눈 구조물에서 바구니와 전선은 눈의 어떤 구조를 나타내는가?
또, 각 부분이 눈에서 하는 역할은 무엇인가?

바구니가 의미하는 것: _____(역할: _____)

전선이 의미하는 것: _____(역할: _____)

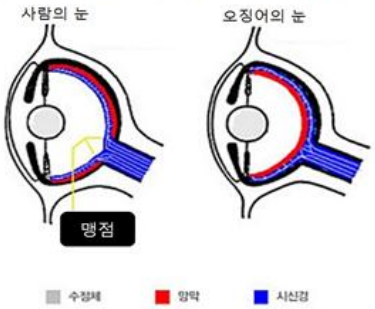
▪ 두 구조물의 차이는 무엇인가? _____

_____

근거 찾기	▪ 위의 실험 결과와 같이 우리 눈에서 쥐가 갑자기 사라져 보이는 이유를 설명하기에 알맞은 구조는 무엇이라고 생각하는가? _____ 자신의 고른 눈 구조물을 바탕으로 위의 실험 결과를 설명해 보자. _____ _____ _____

[활동 1-2] 사람의 눈 vs 오징어의 눈

아래 그림은 사람의 눈과 오징어의 눈을 간단하게 나타낸 모식도이다.



아래 표는 사람의 눈과 오징어의 눈에 관한 과학적 사실들(데이터)이다.

	사람의 눈	오징어의 눈
색 구분	사람의 망막에는 색깔을 구분하는 시각세포가 약 700만 개 정도 존재한다.	오징어의 망막에는 색깔을 구분할 수 있는 시각세포가 없다.
맹점의 유무	사람의 망막에는 맹점이 있다.	오징어의 망막에는 맹점이 없다.
시각신경의 분포	사람의 눈은 망막 앞에 시각신경이 분포한다.	오징어의 눈은 망막 뒤에 시각신경이 분포한다.

바트는 위 그림과 표를 바탕으로 아래와 같이 생각하였다.

주장을 뒷받침할 수 있는 근거 찾기	▪ 바트의 주장을 지지하는 근거를 데이터 카드에서 골라 붙여보자. --- --- ---

	----------
	▪ 바트의 주장을 지지하지 않는 근거를 데이터 카드에서 골라 붙여보자. ---------- ---------- ---------- ----------
주장 정하기	▪ 저는 바트의 주장에 (찬성, 반대) 합니다. 왜냐하면 ---------- ---------- ---------- ---------- ----------
모둠 의견 구성하기	▪ 모둠원들과 소집단 토의를 통해 의견을 종합해 보자. ---------- ---------- ----------

Abstract

Exploring System Thinking Required for Middle School Students to Understand Visual Concepts and Teaching Strategies for Supporting Students' System Thinking

Yoon Sik, Hwang
Biology Education Major
Department of Education
The Graduate School
Seoul National University

This study aimed to explore system thinking required for middle school students to understanding visual concepts and activity using analogical model can be strategy to supporting student's system thinking.

The purpose of study 1 was to explore how middle school science textbooks facilitated system thinking while addressing visual concepts. This study investigated system thinking revealed in the texts of textbooks, ontological category of inscriptions in the textbooks and degree of inclusion of information between text and inscription. The textbooks which investigated in study 1 addressed visual concepts by three themes: 'Structure of the eye and vision formation' 'Pupillary

reflex and visual accommodation' and 'Myopia and hyperopia'. A high-level of system thinking was required to learn these visual concepts. The results of Study 1 showed that unmodified inscriptions are typically categorized as 'structure', but inscriptions can be modified through the addition of words and conventions or the use of multiple images to fit 'process'. Theses inscriptions could enable to support the high-level system thinking required to understand concepts the text. So, while using inscription in classroom, asking students about feature of inscription can be strategy for facilitate student's system thinking. Because this question give opportunity students to reasoning about interaction and change of structure element.

Study 2 was aimed at exploring how an analogy model activity and teacher supports enhanced students' system thinking and their understanding of the seeing process. Fifty -three 8th grade students used analogy models to study the structure of the eyes and the seeing process. Study 2 identified three types of distinct system thinking. Students in the first type focused only on a single structural element of a visual system and did not connect this element to process element. The second type connected the limited structural elements to process element within a visual system, and students' fragmented ideas led to a misconception of the seeing process. The final type explained how visual system form and interpret images by collaboratively connecting the structural elements to process element. This result means that analogical models as a cognitive tool for facilitating students' system thinking in science classes. In addition, by providing scaffolds for activation of cognitive execution, the teacher helped students overcome difficulties in their system thinking.

keywords : Analogy model, Textbook, Complex system, Inscription, System thinking, Teachers' scaffold, Visual concepts
Student Number : 2015-21635