

# 공기 압력에 대한 초등영재 학생들의 과학그리기 및 과학글쓰기에서 구성된 과학적 설명과 어포던스 분석 - 다중모드적 표상의 교육적 활용 -

장진아 · 박준형<sup>†</sup> · 박지선

## Analysis of Scientific Explanations and the Affordances Constructed in Gifted Elementary Students' Science Drawings and Science Writings about Air Pressure: Pedagogical Use of Multimodal Representations

Chang, Jina · Park, Joonhyeong<sup>†</sup> · Park, Jisun

### 국문 초록

과학적 설명은 글, 도식, 그래프와 같이 다양한 표상들로 구성되는데, 각 표상들은 하나의 ‘모드’로서 비슷하나 조금씩 다른 의미들을 연결하며 과학적 의미를 확장한다. 이러한 사회기호학의 관점을 토대로, 본 연구에서는 학생들이 구성한 과학글쓰기와 과학그리기가 각각 시각적 모드와 언어적 모드의 표상으로서 지니는 의미 형성의 특징을 파악하고, 다중모드적 표상의 교육적 활용에 대해 논의하였다. 이를 위하여, 초등과학영재 학생들이 공기의 압력에 대해 구성한 과학그리기와 과학글쓰기 각 18편을 수집하고, 과학그리기와 과학글쓰기에서 구성된 설명의 특징을 어포던스 관점에서 분석하였다. 분석 결과, 과학그리기에서 학생들은 시각적 모드가 지니는 어포던스를 통해, 공기입자의 움직임, 공기입자의 수, 입자의 충돌과 같은 입자적 관점에서의 변화를 구체화하여 추론하는 경향을 보였다. 반면, 과학글쓰기에서 학생들은 언어적 모드가 지니는 어포던스를 통해, 공기 압력 개념과 다른 요인들 간의 인과적 관계를 추상적 차원에서 추론하는 경우가 많았다. 이러한 결과를 바탕으로, 각 모드가 가지는 고유한 어포던스를 상호보완적으로 활용할 수 있는 방법에 대해 구체적인 사례를 들어 논의하였다.

**주제어:** 다중모드, 표상, 과학적 설명, 과학그리기, 과학글쓰기, 어포던스

### ABSTRACT

Scientific explanation is composed of various representations such as texts, diagrams, and graphs, and each representation contributes to expanding scientific meaning by connecting similar but slightly different meanings as a ‘mode’. Based on this perspective of social semiotics, we aimed to identify the characteristics of meaning formation demonstrated in students’ science writing (verbal mode) and science drawing (visual mode) and to discuss the pedagogical use of multimodal representations. To that end, 18 science drawings and 18 scientific writings constructed by science-gifted elementary students on air pressure were collected. The characteristics of the drawn and written explanations were then analyzed from the affordance perspective in social semiotics. In science drawing, students showed a tendency to use the affordance of the visual mode to infer concrete changes from the particle view, such as the movement of air particles, the number of air particles, and the collision of particles. In science writing, students used the affordance of the verbal mode mainly to infer the causal relationship between the concept of air pressure and other related factors at an abstract level. Based on those

2022.11.20(접수), 2022.12.14(1심통과), 2023.02.03(2심통과), 2023.02.16(최종통과)

E-mail: [joonhyeong.park@nie.edu.sg](mailto:joonhyeong.park@nie.edu.sg)(박준형)

results, we discuss the educational implications and provide concrete examples of how to use the unique affordances of each form to complement one another.

**Key words:** multimodal, representation, scientific explanation, science drawing, science writing, affordance

## I. 연구의 필요성

표상은 과학 교실의 여러 학습 상황에서 필수불가결한 요소이다. 과학 교과서나 활동지에 제시된 글, 그림, 동영상, 실험 장치 등 거의 모든 교수학습 자료에서 다중표상(multiple representation)이 사용된다. 다중표상을 통한 학습은 이중부호화 인지이론, 멀티미디어 학습이론 등을 통해 정보처리에 효과적이라는 결과가 보고되어 왔으며, 언어적 표상뿐만 아니라 시각적 표상, 운동감각적 표상 등까지 활용하는 것을 포함한다(Treagust et al., 2017). 이와 관련된 과학교육의 다중표상 연구들에서는 다중표상을 사용하는 것이 학생의 개념 이해나 추론에 얼마나 효과가 있는가에 대한 검증이 여러 방식으로 이루어져 왔다(강훈식 등, 2007; 노태희 등, 2007; Müller et al., 2017).

하지만 과학 학습에서 다중표상을 활용함에 있어서, 각 표상이 학습에 ‘어떻게’ 도움이 되는지, 반대로 ‘어떻게’ 혼란을 줄 수 있는지를 분석하지 않은 채 사용된다는 지적이 제기되었다(Prain & Waldrip, 2006). 이러한 지적의 핵심은 여러 종류 표상을 사용하는 것이 학습자의 의미 형성에 구체적으로 어떻게 도움을 주는지에 알기 어렵다는 점이다. 다양한 종류의 표상을 ‘왜’ 그리고 ‘어떻게’ 사용해야 하는가는 학습자의 의미 형성과 함께 연결된다는 점에서, 몇몇 학자들은 이러한 문제를 사회기호학의 관점에서 풀어나갔다(Airey & Linder, 2017). 이들은 각 표상을 사회적으로 구성된 하나의 기호학적 모드(semiotic mode)로 보고, 기호들이 구성하는 ‘의미 관계’를 통해 학습에서의 의미 형성 과정을 해석한다(Lemke, 2003). 즉, 다중모드적(multimodal) 관점에서 각 표상이 여러 모드의 기호로서 형성하는 의미들과 그 특징에 집중하였다(Tang et al., 2014).

사회기호학에 따르면, 모든 기호학적 모드들은 각 기호가 지니는 고유의 어포던스(affordance)<sup>1)</sup>로 인해

서로 다른 의미를 제공한다(Lemke, 2002). 예를 들어, 어떤 대상이 ‘얼마나 둥근가’, 또는 ‘얼마나 밝은가’를 나타내기 위해서는, 음성이나 언어적 모드보다는 시각적 모드의 기호가 더 효율적인데, 이는 시각적 모드의 기호들이 대상에 대한 공간적이거나 연속적인 의미를 드러내는 어포던스를 가지고 있기 때문이다(Tang, 2020). 반면, 음성/언어적 모드는 추상적으로 범주화된 여러 단어(예: 금속성, 전도성, 물질의 상태 등)를 통해 대상에 대한 속성을 질적으로 좁혀나가는 어포던스를 가진다(Tang, 2020). 사회기호학에서는 각 모드들이 지닌 고유의 어포던스를 여러 분야에서 탐색해왔으며(Lemke, 2002), 과학교육자들은 사회기호학적 관점을 표상에 접목하여 여러 모드의 표상들이 학생의 과학적 의미 형성에 어떻게 기여 또는 저해하는지에 초점을 두었다(Airey & Linder, 2017). 이들은 과학 학습에서 활용되는 여러 표상들을 각 기호학적 모드로 해석한 ‘다중모드적 표상(multimodal representation)’이라 칭하고, 각 모드의 어포던스를 통해 형성되는 의미들을 파악하는 것에 주목하였다(Tang et al., 2014).

본 연구에서는 이러한 다중모드적 표상의 특징을 탐색하기 위한 과학 주제로서 ‘공기의 압력’ 개념에 초점을 맞췄다. 공기의 압력과 관련한 현상은 눈에 보이지 않을 뿐 아니라, 압력이라는 개념이 학생들에겐 추상적이어서 다양한 대안 개념을 가지고 있는 것으로 보고되었다(Tytler, 1992). 가령, 용기 안과 밖에서 압력이 동시에 작용하는 현상을 해석할 때, 초등학생들은 보통 압력이 낮은 쪽이 물체를 빨아들인다(sucking)고 해석하는 경향이 있다(Tytler, 1998). 또한 압력 개념을 어느 정도 학습한 대학생들도 ‘압력’과 ‘유체에 의해 물체에 작용하는 힘’을 혼동하거나, 압력이 접촉면에 수직으로 작용한다는 점을 고려하지 않는 모습을 보였다(김희경과 김희진, 2009).

특히 공기의 압력과 관련한 현상에서 공기입자가

<sup>1)</sup> 어포던스는 국내 연구들에서 ‘행위유도성’, ‘행동유도성’, ‘행위유발성’, ‘지원유동성’ 등으로 다양하게 해석되고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 주체의 행위가 유도된다고 해석되는 것을 지양하고, 환경과 주체 간의 상호작용과 역동성에 초점을 두어 학생들이 사용하는 표상의 기호학적인 특징과 교육학적 역할을 강조하기 위해 ‘affordance’라는 원어를 그대로 사용하였다.

눈에 보이지 않아 그 메커니즘을 추론하기 어려우므로, 공기입자가 움직이는 모습을 좀 더 구체적이고 시각적으로 나타내는 것이 도움이 된다(Han & Roth, 2006). 가령, 공기입자를 ‘방 안에 있는 사람들’이나 ‘용기 안에 있는 고무공’과 같은 비유(analogies)를 사용하여 공기의 압력 현상에 대한 학생들의 설명 구성을 촉진할 수 있다(Wong, 1993). 비슷하게, 공기입자의 모습을 시각화하여 그려보는 과학그리기 활동은 공기입자 간의 거리 변화나 충돌에 대한 시각적인 추론과 의사소통을 촉진하는데에 용이했다(Chang et al., 2020). 이처럼 언어뿐 아니라 그림을 함께 이용한 다중모드적 표상은 공기 압력 개념 이해를 위해 여러 가능성을 지니는데, 본 연구에서는 이러한 표상들이 각 모드의 기호로서 구체적으로 학생들의 의미 형성에 ‘왜’, ‘어떤 측면’에서 도움을 주었는지를 살펴보는 것에 주목하였다.

이에 본 연구에서는 초등학교 과학 학습에서 가장 보편적으로 사용되는 언어적 표상과 시각적 표상을 중심으로, 초등과학영재 학생들을 대상으로 공기의 압력에 대한 과학그리기 및 과학글쓰기 활동을 설계하고, 각 기호학적 모드가 갖은 특징을 어포던스 관점에서 분석하였다. 이를 위하여 먼저 학생들이 구성한 과학그리기와 과학글쓰기 설명의 특징을 분석하고, 분석한 결과를 바탕으로 각기 다른 두 기호학적 모드의 어포던스가 학생의 설명 구성에 어떠한 역할을 하는지 살펴보았다. 즉, 시각적 모드가 주로 사용되는 과학그리기 활동에서 구성된 공기 압력에 대한 설명을 분석하고, 이를 바탕으로 시각적 모드가 가지는 특징을 도출하였다. 마찬가지로, 언어적 모드가 주로 사용되는 과학글쓰기 활동에서 구성된 공기 압력에 대한 설명을 분석하고, 언어적 모드가 가지는 특징을 해석하였다. 이를 위한 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 과학그리기에서 구성된 설명의 특징은 무엇인가?

둘째, 과학글쓰기에서 구성된 설명의 특징은 무엇인가?

셋째, 과학그리기와 과학글쓰기의 어포던스는 과학적 설명 구성에서 각각 어떠한 역할을 하며, 이를 다중모드적 표상 관점에서 어떻게 활용할 수 있는가?

## II. 이론적 배경

### 1. 사회기호학적 관점: 모드와 어포던스

사회기호학(socio-semiotics)은 인간이 사회문화적 상황에서 의미를 형성하고 해석하는 과정을 사회적 실천으로 보고, 이에 대해 연구하는 분야이다(Halliday, 1978). 본질적으로 기호학은 언어를 일종의 기호로 보고, 언어의 체계와 의미를 탐색하기 때문에 언어학과 밀접하지만(Chandler, 2002, p. 2), 언어학과 다르게 비언어적 기호인 시각적인 그림이나 영상, 소리, 제스처나 사물 등과 같이 가능한 모든 채널을 통해 이루어지는 사회적 의미 형성 과정에 초점을 둔다(Hodge & Kress, 1988). 사회기호학적 관점에서 이러한 기호들은 변하지 않는 고정된 것이기 보다는, 인간이 사회적 공동체 안에서 의미를 구성하고, 사용하고, 또 변형해 나가는 자원이 된다. 이처럼 의미를 형성하는 여러 체계 또는 채널들을 ‘기호학적 모드(semiotic modes)’라고 하며, 이러한 모드들에는 의사소통을 위한 시각적, 언어적, 음성적, 청각적 자원들이 포함되기 때문에 이를 ‘다중모드(multimodal)’라고 한다(Kress & van Leeuwen, 2001). 최근에는 디지털 미디어의 확장파 함께, 언어와 시청각 모드를 비롯한 다양한 모드를 기반으로 의사소통하는 다중모드성(multimodality)이 사회기호학에서 더욱 강조되고 있다(Kress, 2003).

과학교실 담화 연구의 선구자인 Lemke(1998a, 1998b)도 언어만으로 과학에 대해 소통할 수 없으며, 다중모드적 관점에서의 의미 형성이 중요함을 역설한 바 있다. 특히 그는 언어적 및 시각적 모드들은 의미 형성에서 서로 다른 어포던스를 가지고 있다고 설명했다(Lemke, 2002). 어포던스는 대상이 갖는 고유한 특성에 기인하여 갖게 되는데, 예를 들어 그리기 활동(drawing activity)은 대상을 시각적으로 표현하는 것을 요구받기 때문에, 학생은 특정 대상이 가진 위치와 공간적인 요소를 어떻게 표현할지에 대한 고민을 하고 의미를 형성하게 되는데, 이것이 시각적 모드로서 그림이 지니는 어포던스이다(Tang, 2020). 비슷하게, 학생이 과학적 의미를 말, 즉 음성(verbal)으로 설명하는 경우에 시간적 흐름을 수반하는 음성 모드의 어포던스를 통해, 학생은 순차적 과정에 초점을 맞추어 의미를 형성하게 된다(Tang, 2020). 사회기호학에서의 모드와 어포던스에 대한 관점

을 물리학습에 적용해보면, 서로 다른 어포던스를 지닌 기호학적 모드들은 물리 개념이나 이론에 담긴 조금씩 다른 의미들을 형성하는 데에 기여한다(Tang *et al.*, 2022). Airey & Linder(2017)는 이러한 관계들을 Fig. 1과 같이 비유적으로 표현하였다. Fig. 1에서는 수학 공식, 그림, 실험 활동과 같은 모드들은 각각의 어포던스를 통해 비슷하지만 조금씩 다른 과학적 의미들을 형성함을 보여준다. 중요한 점은 특정한 물리 개념이 갖는 의미를 어느 하나의 모드만으로 모두 표현할 수 없으며, 다중모드적 의미들이 연결되고 상호 보완되면서 물리 개념에 대한 통합적인 이해와 의미 형성을 도울 수 있다는 것이다(Park *et al.*, 2021). Fig. 1에서 수학적 공식과 실험 간에 발생한 의미의 공백을 그림이 연결하고 있듯이 물리개념 이해 및 사고 촉진을 위해 여러 모드들 간의 연결과 통합이 중요하다.

이러한 이론적 관점을 토대로 본 연구에서는 서로 다른 모드들 간의 의미 연결과 통합을 지원하기 위한 발판으로서, 세부 과학 주제들에 대해 여러 기호학적 모드에서 어떠한 과학적 의미가 형성되고 그 특징은 무엇인지 알아볼 필요가 있음에 주목하였다. 구체적으로, ‘공기 압력’이라는 주제에 대하여 초등학생 수준에서 과학그리기와 과학글쓰기 각각의 모드에서 형성된, 비슷하지만 조금씩 다른 과학적 의미들에 대해 조사하는 것에 초점을 두었다.

## 2. 다중모드적 표상: 과학학습에서의 의미와 활용

이번 절에서는 이러한 사회기호학적 관점이 과학 학습 및 과학교육연구에 접목되어 어떻게 논의, 발

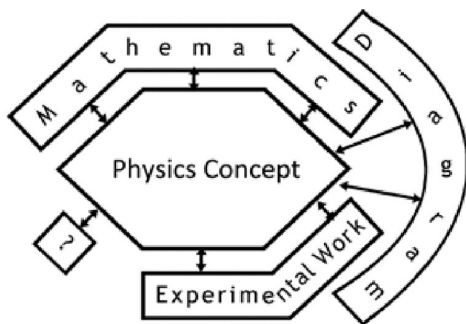


Fig. 1. A physics concept being represented by various semiotic modes that have different affordances (Airey & Linder, 2017, pp. 95-122)

전되고 있는지 ‘다중표상’과 ‘다중모드적 표상’이라는 연구 분야를 중심으로 살펴보겠다. 과학학습에서는 표, 그래프, 그림, 수식과 같은 다양한 유형의 자료를 사용하는데, 동일한 개념에 대해 서로 다른 방식으로 표현하고 나타내는 것을 ‘다중표상(multiple representation)’이라고 한다(Prain & Waldrip, 2006). ‘다중표상’ 연구들은 다중표상의 활용이 학생의 개념이해 및 추론에 어떠한 영향을 미치는지에 초점을 맞춰왔다(Tsui & Treagust, 2013; Yeo & Gilbert, 2014). 이들은 다중표상을 활용하면, 서로 다른 인지적 과정을 수반하거나, 보충이 되는 정보를 제공하여 부정확한 해석들을 보완하고, 이는 궁극적으로 개념을 추상화, 확장, 연결 짓는 데 도움이 되어 학생의 개념이해 및 추론을 촉진한다는 점을 보고해왔다(Ainsworth, 2006). 예를 들어, 과학교실에서 다양한 시각화 전략을 사용한 것이 학생들의 개념 이해의 증진, 오개념의 감소, 새로운 상황에 지식을 적용 능력 향상에 효과적이라는 문헌 분석 연구결과가 나타났다(Kim & Jin, 2022). 또한 다중표상 연구자들은 이중부호화 인지이론 및 정보처리 관점에서 다중표상이 학생의 개념 이해 및 문제해결에 효과적임을 보고하였다(Opfermann *et al.*, 2017).

반면, ‘다중모드적 표상’은 한 가지 이상의 기호학적 모드를 통해 표상을 생성하는 실천 과정에서 학생들이 어떻게 의미를 구성해 나가는지에 초점을 두는 연구 분야이다. ‘다중표상’ 연구에서는 학습 자료를 선정함에 있어서 어떠한 종류의 다양한 표상을 사용하는지에 대한 결정에 초점이 있다면, ‘다중모드적 표상’ 연구는 학습자가 각 모드를 통해 어떠한 의미를 구성할 수 있는지에 초점을 둔다(Tang, 2020). 예를 들어, 다중모드적 표상 연구에서는 글로 표현된 과학적 설명을 그림으로 다시 나타내는 과정에서 어떠한 의미들이 언어적 모드와 시각적 모드를 통해 어떻게 보완, 발전되어 나가는지에 초점을 둔다(Tang *et al.*, 2014). 다중모드적 표상 연구의 기반이 되는 사회기호학에서는 표상이 한 공동체에서 사회적으로 만들어진, 관습적이고 구체적인 의미를 담는 기호이자 상징이라는 점에 주목한다(Kress & van Leeuwen, 2006; Lemke, 1999). 사회기호학자들은 다중표상들이 기호학적 모드로서 지니는 의미의 특징과 관계에 초점을 두는데, 가령, “입자들 간의 간격이 넓어진다.”는 글쓰기 모드에서 형성되는 의미는, 실제로 입자들 간의 간격이

넓어지는 모습을 시각화한 그림에서 형성되는 의미와 비슷하면서도 다른 측면을 담는다는 것이다. 이처럼 사회기호학 연구들은 각 모드가 지닌 기능과 역할을 중심으로, 학생 또는 교사가 하나의 모드를 다른 모드로 어떻게 전환하며 이 때 어떤 의미 관계들이 생기는지, 또 다중모드적 표상들을 사용해 과학적 의미를 만들어어나가는지 등에 초점을 둔다(Airey & Linder, 2009; Tang *et al.*, 2014).

최근 10년 간 표상 연구자들은 학생들이 표상을 수동적으로 해석하는 활동을 넘어서 스스로 표상을 구성하는 활동을 강조하였는데(윤혜경, 2018), 사회기호학적 관점에서 과학그리거나 글쓰기 등의 표상을 구성하는 활동은 단순한 표현 수단으로서의 글쓰기/그리기가 아니라 각 기호학적 모드들이 갖는 어포던스를 통해 의미를 형성해나가는 과정으로 해석된다. 예를 들어, Park *et al.*(2020)은 학생의 과학그리기 활동은 현상에 대한 시각적 추론을 통해 의미가 형성되는 과정임을 전제로 하여, 과학그리기에서의 의미 형성 과정을 ‘감각적 수준’, ‘보이지 않는 물질/비물질 수준’으로 나누어 분석하기도 하였다. 본 연구에서는 공간적 관계와 구성이 강조되는 그리기 활동의 어포던스와 시간 및 순차적 관계 및 추상성이 강조되는 글쓰기 활동의 어포던스를 토대로, 학생들이 구성한 과학그리기와 과학글쓰기에서 ‘공기입자’에 대한 어떠한 의미들이 주로 축적, 형성되는지에 살펴보았다.

### III. 연구방법

#### 1. 연구 대상 및 자료 수집

본 연구는 서울 소재 영재교육원 프로그램에 참여하고 있는 5~6학년 초등과학영재 학생들이 구성된 과학그리기와 과학글쓰기 작품을 대상으로 하였다. 참여 학생들은 총 18명으로서, 해당 영재교육원이 속한 지역의 초등학교에 재학 중이었으며, 영재선발 과정을 거쳐 영재교육 프로그램에 참여하고 있었다. 이에 과학 활동에 대한 흥미와 이해가 평균적인 일

반 학생들보다 높다고 볼 수 있다. 연구진은 초등과학영재들이 구성한 과학그리기 및 과학글쓰기를 수집하기 위하여 다음과 같은 활동을 실시하였다.

위의 활동들은 자료 수집 당시 경력 13년차 초등교사이자 물리 교육 박사학위 소지자인 본 연구의 1저자가 설계하고 진행하였다. Fig. 2에서와 같이, 참여 학생들에게 공기의 압력과 관련한 간단한 물리 실험을 수행하였다. 이 실험은 감압용기(decompressible container) 안에 풍선을 넣고 감압용기 안의 공기를 빼냈을 때 풍선의 변화를 관찰하는 실험이었다. 학생들은 감압용기의 공기를 빼내기 전과 후에 감압용기 안에 있던 풍선에서 일어난 변화와 그 이유를 그림과 글로 설명하였다. 이 실험에서 사용되는 감압용기는 학생들이 펌핑을 통해 용기 내의 압력을 쉽게 변화시켜 다양한 활동을 할 수 있는 도구로서(Park & Chang, 2020), 초등학생들에게는 ‘진공용기’라고 흔히 사용되어 왔다. 중학교 이후에는 감압용기라는 용어를 도입하지만, 초등 수준이기 때문에 정확한 명칭을 교수학습활동에서 강조하지는 않았다.

참여 학생들은 감압용기를 활용해 공기 압력과 관련한 실험을 한 후, 실험에서 관찰한 현상과 이러한 현상이 일어난 이유에 대해 토의하였다. 토의 과정에서는 용기에서 공기를 빼낼 때 미시적 수준에서 용기 안에서 일어나는 공기입자의 변화를 보여주는 시뮬레이션 자료를 활용하였다. 실험 및 토의 내용을 토대로, 실험에서 관찰한 현상을 그림과 글로 설명해보도록 하였다. 이때 학생들이 현상에 대해 교사와 토의를 하거나 스스로 생각할 때에는 두 가지 모드가 통합적으로 작용하며 사고하였으나(Park *et al.*, 2021), 과학그리기 및 과학글쓰기로 표현하는 과정에서는 학생들이 각 모드에 적합한 방식으로 의미를 구성하고 나타낸다는 점(Chang *et al.*, 2020)을 전제로 하였다. 본 연구의 초점은 각 학생이 그리기 및 글쓰기를 통한 설명의 종합적인 특징에 있기 보다는, 각 모드의 어포던스에서 기인한 설명 구성의 특징을 살펴보는 것에 있기 때문이다.

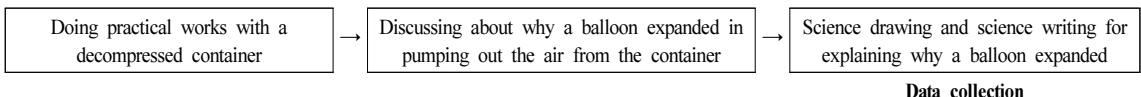


Fig. 2. The process of collecting data

이러한 목적을 고려해, 학생 활동지에서는 ‘위와 같은 현상이 일어난 이유를 글과 그림을 이용하여 설명해 봅시다.’라는 안내와 함께, 과학그리기와 과학글쓰기를 구성할 수 있는 문항을 제시하였다. 즉, 한 장의 활동지에 과학그리기와 과학글쓰기 문항을 동시에 제시하고 독립된 영역에 각각을 작성하도록 한 것이다. 이처럼 학생들이 생각을 그리기/글쓰기라는 각각의 독립된 공간에 표현하는 과정에서 각 모드(시각적, 언어적 모드)의 특색이 자연스럽게 드러날 것임을 가정하였다. 이러한 연구 설계를 통해, Fig. 1에서 살펴본 바와 같이, 과학글쓰기 및 과학그리기가 공기의 압력에 대한 추론 및 설명 구성에 있어 비슷하나 조금씩 다른, 어떤 의미들에 집중하도록 하는지 살펴보았다.

정리하면, 본 연구에서는 초등과학영재 학생들과 감압용기를 이용한 공기의 압력 관련 실험을 수행하고, 학생들에게 실험 결과를 해석하여 설명하는 과학그리기 및 과학글쓰기를 구성하였으며, 최종적으로 초등과학영재학생들이 구성한 과학그리기 총 18편과 과학글쓰기 총 18편을 수집하였다. 18명의 학생들은 과학그리기와 과학글쓰기 각 모드에 맞는 비슷하지만 다른 측면이 부각된 설명을 구성하였으며(Appendix 참고), 본 연구의 결과에서는 과학그리기/과학글쓰기에서 각각 구성된 설명의 특징과 각 모드의 어포던스를 분석하는 것에 집중하였다.

2. 자료 분석

본 연구에서는 학생들의 과학그리기 및 과학글쓰기 작품을 분석하기 위하여, 학생들이 구성한 과학적 설명 유형과 표상 수준을 분석하는 Park et al. (2020)의 모델을 활용하였다(Fig. 3). 이 모델에 따르면, 감각적(sensory) 수준에서 눈에 보이는 현상만을 나타낸 경우 ‘기술적 설명(descriptive explanation)’이 구성되는 반면, 보이지 않는 물질(unseen substance)

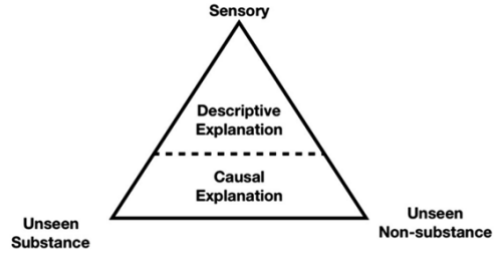


Fig. 3. Three levels of pictorial representation within the types of explanation (Park et al., 2020)

수준에서 공기입자의 움직임을 나타내거나, 보이지 않는 비물질(unseen non-substance) 수준에서 압력이나 힘의 변화까지 나타내는 경우에는 ‘인과적 설명(causal explanation)’이 구성된다. 특히 이 모델은 물리를 가르치는 교수학습 상황에서 압력에 대하여 설명하기 위해 학생들이 구성한 시각적 표상의 수준과 설명 유형을 분석하기 위해 개발된 모델이다(Park et al., 2020). 이 모델은 시각적 표상을 분석하기 위해 개발된 틀이지만, 표현하려는 대상들의 거시/미시 차원(감각적 수준/보이지 않는 수준)이나 특징(물질/비물질)에 초점을 두었기 때문에 언어적 표상에도 적용될 수 있다고 판단되어, 과학그리기와 과학글쓰기의 특징을 탐색하는 본 연구의 자료 분석틀로 사용하였다.

본 연구에서는 이 모델에서 제시한 설명 유형과 표상 수준을 분석 기준으로 하여, 초등과학영재 학생들의 과학그리기와 과학글쓰기 작품들을 크게 4가지의 설명 유형으로 나누어 분석하였다. 다만, 과학그리기에 나타난 그림이나 기호에 대한 라벨이나 제목, 간단한 텍스트는 과학그리기의 일부로 분석하였다. Table 1에서와 같이, 첫 번째 유형(A유형)은 감각적 수준에서 눈에 보이는 현상만을 설명한 과학그리기 또는 과학글쓰기가 해당된다. 두 번째 유형(B유형)은 감각적 수준에서 나타난 현상과 함께,

Table 1. The analysis framework: Four types of explanations depending on their representational levels

설명 유형	기술적 설명		인과적 설명		특징
	감각적 수준	보이지 않는 물질 수준	보이지 않는 비물질 수준		
A	○	×	×		가시적인 현상만을 기술한 경우
B	○	○	×		가시적인 현상과 함께, 공기입자의 움직임이나 변화를 나타낸 경우
C	○	×	○		가시적인 현상과 함께, 압력의 변화와 같이 추상적인 개념을 함께 나타낸 경우
D	○	○	○		가시적인 현상과 함께, 공기입자의 움직임이나 변화를 압력의 변화와 함께 나타낸 경우

보이지 않는 물질 수준에서 공기입자의 움직임이나 변화를 나타낸 경우, 세 번째 유형(C유형)은 감각적 수준에서의 현상과 함께 보이지 않는 비물질 수준에서 압력의 변화만을 설명한 경우이다. 마지막으로 네 번째 유형(D유형)은 감각적 수준에서의 현상과 보이지 않는 물질/비물질 수준을 모두 나타내 설명한 과학그리기 또는 과학글쓰기가 해당된다.

위와 같은 분석틀에 따라 전체 36개의 작품들에 대해서 교차 분석을 시행하여 불일치한 부분에 대한 연구진 간의 토의를 거쳤다. 특히 분석 대상이 많지 않은 점을 고려해서, 전체 작품들에 대하여 연구자들이 동의할 때까지 수정 및 보완을 반복하여 분석의 신뢰도를 높였다.

끝으로 본 연구에서 제시한 Table 1의 4가지 설명 유형은 학생들의 과학그리거나 과학글쓰기 작품에서 학생들이 감각적 수준, 보이지 않는 물질/비물질 수준의 어떤 요소까지 포함하고 있는가를 분석하기 위한 구분일 뿐이며, 더 많은 부분을 그렸다고 해서 상위 수준의 설명이라고 보지는 않았다. 이는 과학적 설명은 설명하고자 하는 현상이나 맥락, 또는 그 목적에 따라 서로 다른 수준의 요소들에 초점을 맞춰 다르게 나타낼 수 있기 때문이다 (Tang, 2020). 같은 맥락에서, 위의 설명 유형 중에 과학적 설명에 해당되는 유형이 별도로 있다고 보지는 않았다. 가령, 같은 B유형의 그림일지라도 과학적 설명일수도, 대안적 설명일 수 있다고 볼 수 있기 때문이다. 본 연구의 목적을 고려하여, 유형 분석의 주안점으로 각 유형에서 학생들이 자신의 설명을 구성하기 위해 무엇에 초점을 두었는가에 주목한 것이다.

## IV. 연구 결과

### 1. 과학그리기와 과학글쓰기에서 구성된 설명의 특징

본 연구에 참여했던 초등과학영재 학생들이 과학그리기와 과학글쓰기에서 구성한 설명들을 유형별로 분석한 결과는 Table 2와 같다. Table 2는 각 유형별 설명 수준과 세부 요소, 그리고 해당 유형에 해당되는 과학그리기의 개수를 정리한 것이다. 가장 두드러지는 특징은 과학그리기에서는 보이지 않는 물질 수준에서 ‘공기입자’를 그려서 과학적 설명을 구성한 그림이 전체 18개 중 17개를 차지한 반면, 과학글쓰기에서는 보이지 않는 비물질 수준에서 ‘압력’ 개념을 이용하여 과학적 설명을 구성한 글이 전체 18개 중 14개로 해당되었다는 점이다. 다시 말해, 참여 학생들이 구성한 거의 모든 과학그리기에서는 공기입자의 변화를 추론하는 것에 초점을 둔 반면, 대부분의 과학글쓰기에서는 압력의 변화에 대한 추론을 통해 설명을 구성하였다. 과학그리기와 과학글쓰기에서 나타난 각 유형별 설명의 특징은 다음과 같다.

#### 1) 과학그리기에서 구성된 설명 유형별 특징

과학그리기에서 구성된 설명들의 전체적인 경향을 살펴보면, 감각적 수준의 현상과 보이지 않는 물질/비물질 수준을 모두 시각화한 D유형의 그림이 9개로 가장 많았고, 다음으로는 감각적 수준에서의 현상과 보이지 않는 물질 수준을 표현한 B유형의 그림이 8개로 뒤를 이었다. 각 유형별 특징과 경향성을 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째 유형(A유형)은 감각적 수준에서 관찰 가능한 현상만을 기술한 그림으로서, 이에 해당하는 그림

Table 2. The results of explanation types of science drawing and science writing

유형	과학그리기				유형	과학글쓰기			
	기술적 설명		인과적 설명			기술적 설명		인과적 설명	
	감각적 수준	보이지 않는 물질 수준	보이지 않는 비물질 수준	계		감각적 수준	보이지 않는 물질 수준	보이지 않는 비물질 수준	계
A	○	×	×	-	A	○	×	×	2
B	○	○	×	8	B	○	○	×	2
C	○	×	○	1	C	○	×	○	7
D	○	○	○	9	D	○	○	○	7
계	18	17	10		계	18	9	14	

은 없었다. 다시 말해, 본 연구에 참여한 초등과학영재 학생 18명 모두가 단순히 현상을 나타낸 기술적 설명을 넘어 인과적 설명 수준의 그림을 구성하였다.

두 번째 유형(B유형)은 감각적 수준에서 나타난 현상을 그린 뒤, 보이지 않는 물질 수준에서 공기입자 모델을 통해 현상을 설명한 그림이다. 8명의 학생들이 B유형의 그림을 그렸는데, 대부분이 화살표와 원 모양의 기호를 이용해 공기입자의 움직임과 개수 변화를 나타내며, 풍선의 크기 변화를 설명하였다. B유형의 대표적인 사례로서, 학생들은 감압용기에서 공기를 빼기 전(점선 박스)에는 공기입자의 수를 많이 그리고, 감압용기에서 공기를 뺀 후(실선 박스)에는 감압용기 내의 공기입자 수를 적게 나타내었다(Fig. 4 참고). 하지만 Fig. 4의 그림에서는 공기입자의 움직임이 어떻게 압력과 연결되는지를 설명하지는 않았다.

한편, B유형에서 공기입자의 움직임을 표현하지 않은 사례도 1개 발견되었다. Fig. 5에서 S14 학생은 감압용기에서 공기를 빼내기 전의 공기입자들 사이의 간격을 더 뾰족하게 그리고, 감압용기에서 공기를 빼낸 후의 공기입자들은 등성등성 표현하였다. 이러한 그림과 함께, S14 학생은 “공기입자가 많은 상태에서는 공기가 차지하는 부분이 많기 때문에, 진공상태에서는 (감압용기 안의) 입자가 적어서 풍선에 있는 공기가 차지하는 공간이 넓어지며 풍선 안에 있는 입자가 충돌하여 더욱 더 넓어진다.(S14 활동지)”고 설명하였다. 물론, 이 설명만으로는 S14 학생이 공기밀도의 변화를 완전히 이해하였다고 볼 수는 없으나, S14 학생은 단순히 공기입자의 개수 변화를 인식함과 동시에 공기입자들 간의 간격과 이를 통한 입자들 간의 충돌 수 변화에 초점을 두어 설명하였다. 하지만 S14 학생의 Fig. 5에서도 Fig. 4에서와 마찬가지로 공기입자의 움직임이 어떻게 압

력과 연결되는지를 시각화하지는 않았다. 즉, 풍선 안의 압력에 대해서 표현하지 않았기 때문에 관련 요인들 간의 논리적 연계에 공백이 있다고 보았다.

세 번째 유형(C유형)은 감각적 수준에서 관찰된 현상과 함께, 보이지 않는 비물질 수준에서 ‘압력’의 크기나 그 차이를 화살표의 길이로 나타낸 그림으로서, 공기입자를 그리지 않았다는 특징이 두드러진다. 단 1명의 학생만이 C유형의 그림을 구성하였다. Fig. 6에서 S8 학생은 화살표를 두 가지 의미로 중복하여 사용하였는데, 하나는 공기가 나가는 방향이고, 다른 하나는 공기의 압력이다. 특히 Fig. 6의 실선 박스에서 나타난 화살표의 의미는 ‘공기의 압력’으로서, 감압용기 안의 공기를 빼냈을 때, 풍선 안의 압력이 풍선 밖 감압용기의 압력보다 더 크다는 것을 풍선 안의 화살표를 더 길게 그리고 풍선 밖의 화살표를 짧게 그림으로써 시각화하였다.

네 번째 유형(D유형)은 감각적 수준에서의 현상을 그리고, 보이지 않는 물질 수준에서 공기입자의 변화와 보이지 않는 비물질 수준에서 압력의 방향과 크기를 모두 시각화한 그림으로서, 총 9명의 학생이 이러한 그림을 구성하였다. 구체적으로 살펴보면 Fig. 7에서 S1 학생은 감압용기에서 공기를 빼내기 전(점선 박스), 원 모양의 기호를 더 많이 그리고, 공기를 빼낸 후(실선 박스)에는 원 모양의 기호를 더 적게 그림으로써, 감압용기 안의 공기입자의 개수가 줄어들었음을 표현했다. B유형에서 설명하였듯이 이는 아직 기체의 밀도 개념을 학습하지 않은 초등과학영재 학생들이 지닐 수 있는 대안 개념으로 볼 수 있다. 하지만 B유형의 그림과 다르게 D유형의 Fig. 7에서는 감압용기에서 공기를 빼내기 전과 후에 풍선 밖에서 풍선을 둘러싼 화살표의 수를 7개에서 4개로 줄여 압력의 크기도 작아졌다는 점을 함께 시각화하였다. 이처럼 D유형은 앞서 설명한

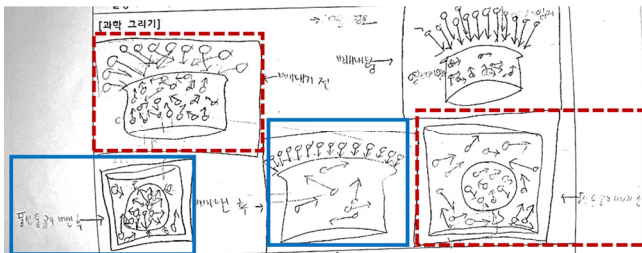


Fig. 4. An exemplary case of Type B (S2; a dotted line box: before pumping air out, a solid line box: after pumping air out)

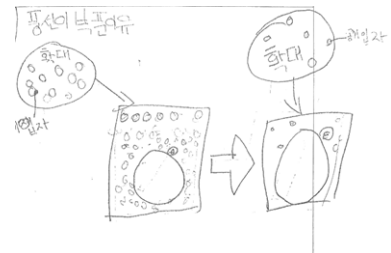


Fig. 5. A case of Type B (S14; it did not represent the movements of the air particles)



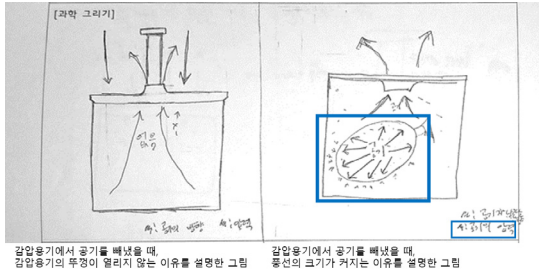


Fig. 6. An exemplary case of Type C (S8; a solid line box: the pressure gap between the inside and outside of the balloon after pumping air out)

B유형과 C유형의 그림에서 나타나는 특징을 동시에 보여주었다.

## 2) 과학글쓰기에서 구성된 설명 유형별 특징

과학글쓰기에서 구성된 설명들의 전체적인 경향을 살펴보면, 감각적 수준의 현상과 보이지 않는 물질/비물질 수준을 모두 시각화한 D유형의 글이 7개, 감각적 수준에서의 현상과 보이지 않는 비물질 수준을 표현한 C유형의 글이 7개로 가장 많았다. 한편, 감각적 수준에서의 현상만 설명한 A유형의 글쓰기는 2개, 감각적 수준의 현상과 보이지 않는 물질 수준에서 공기입자에 대해 설명한 B유형의 글쓰기가 2개로 분석되었다. 각 유형별 특징과 경향성을 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째 유형(A유형)은 감각적 수준에서 눈에 보이는 현상만을 기술한 글로서, 예를 들어, 감압용기에서 공기를 빼냈을 때의 변화와 그 이유를 글로 설명하라는 문항에서 S18 학생은 “(감압용기에서 공기를 빼면) 풍선이 부풀고 공기를 넣으면 풍선이 다시 줄어든다.”고 작성하였다. 이처럼 A유형의 글은 현상의 이유에 대한 해석 없이, 관찰한 것만 기술하는 ‘기술적 설명’으로서 전체 18명의 학생 중 2명의 학생이 이에 해당되었다. 이러한 결과는 과학그리기에서 모든 학생들이 인과적 설명을 구성했던 결과와 달랐다.

두 번째 유형(B유형)은 감각적 수준에서 관찰한 현상에 대한 변화를 미시적 수준에서 입자의 움직임을 통해 설명한 글로서, 2명의 학생이 B유형의 글을 구성하였다. B유형의 대표 사례로서, S14 학생은 감압상태에서 풍선 안이 풍선 밖보다 공기입자의 수가 많아짐에 따라 ‘공기가 차지하는 공간’

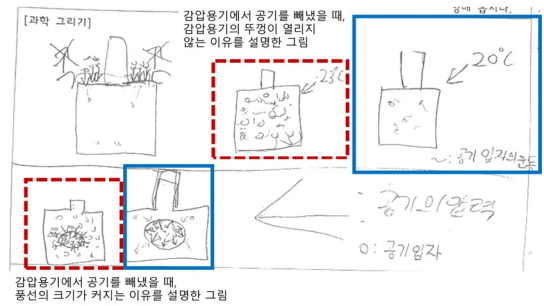


Fig. 7. An exemplary case of Type D (S1; a dotted line box: before pumping air out, a solid line box: after pumping air out)

이 넓어지고, ‘입자의 충돌 수’가 많아져 공간이 더 넓어진다고 설명하였다.

공기입자가 많은 상태에서는 공기가 차지하는 부분이 많기 때문에 진공상태에서는 입자가 적어서 풍선에 있는 공기가 차지하는 공간이 넓어지며 풍선 안에 있는 입자가 충돌하여 더욱 더 넓어진다. (S14 활동지)

위의 사례에서 S14 학생은 기체의 부피나 압력과 같은 과학 용어를 정확히 사용하지는 않았지만, ‘공기가 차지하는 부분/공간’, ‘입자의 충돌’과 같이 학생에게 친숙한 일상 언어로 관련된 핵심 요인들을 설명하는 모습을 보였다. 하지만 공기입자의 움직임을 부피 및 압력의 변화와 관련지어 설명한 B유형의 글쓰기 사례는 2개에 불과했는데, 이러한 특징은 과학그리기에서 공기입자의 움직임을 표현했던 B유형의 과학그리기 사례가 8개로 가장 많았던 것과 대조적인 모습이다.

세 번째 유형(C유형)은 감각적 수준에서 관찰한 현상을 개념적으로 ‘압력’의 차이와 연결하여 설명한 글쓰기로서, 7명의 학생이 C유형의 글을 구성하였다. 다음은 보이지 않는 비물질 수준인 ‘압력’의 관점에서 감압용기 속 풍선의 크기 변화를 설명한 C유형 과학글쓰기 사례이다.

공기를 빼면 공기의 밀집도가 낮아져 공기의 압력이 낮아진다. 하지만 풍선 안의 기압은 전과 같기 때문에 통보다 풍선 안의 기압이 더 높다. 그래서 통속의 공기가 빠질수록 풍선이 점점 더 부른다. 하지만 공기 캡을 열면 푸쉬쉬쉬 소리가 나며 공기가 들어가고, 그러면 다시 통속의 기압이 높아져 풍선이 원래 크기대로 돌아오게 된다. (S17 활동지)

위의 사례에서 S17 학생은 감압용기에서 공기를 빼면 압력이 낮아지며, 풍선 안의 압력은 상대적으로 더 높기 때문에 풍선이 부풀다는 점을 설명하였다. 이 사례는 ‘공기의 밀집도가 낮아져 공기의 압력이 낮아진다.’에서와 같이, 공기의 밀집도 개념을 활용해 공기압력 변화를 설명하였으며 이는 단순히 공기입자의 개수가 줄어든다는 설명에 비해서는 좀 더 정교한 설명이라고 볼 수 있다. 다만, 이러한 설명이 공기입자의 움직임이나 충돌과 관련지어 설명된 것은 아니기 때문에, 보이지 않는 비물질 수준에서 현상을 설명한 C유형에 해당된다.

네 번째 유형(D유형)은 감각적 수준에서 관찰할 수 있는 현상을 보이지 않는 물질/비물질 수준에서 동시에 설명한 과학글쓰기이다. 총 7명의 학생들이 D유형의 과학글쓰기를 구성하였으며, 다음은 D유형의 과학글쓰기 사례이다.

펌핑을 했을 때 진공용기 뚜껑이 잘 열리지 않는다.(공기입자 수가 줄어들면 부딪히는 횟수가 줄어들어서 기압이 작아진다.) (S11 활동지)

공기를 빼면 풍선 안의 입자가 부딪혀서 만드는 압력보다 풍선 안의 입자가 부딪혀서 만드는 압력이 더 크게 되기 때문에 풍선이 커진다. (S2 활동지)

위의 사례에서 S11 학생은 감압용기에서 공기를 빼낸 후에 감압용기의 뚜껑이 잘 열리지 않는 이유를 설명하였고, S2 학생은 감압용기에서 공기를 빼낼 때 풍선의 크기가 커지는 이유를 설명하였다. 두 학생은 모두 ‘입자가 부딪히는 횟수’, ‘입자가 부딪혀서 만드는 압력’과 같이 자신이 아는 수준에서 일상 언어를 사용하여 공기를 뺄 때 나타나는 압력의 차이를 설명하였다. 물론, 이들의 설명이 공기 압력에 대한 의미를 ‘단위 면적당 표면에 수직으로 가해지는 힘’과 같이 정확하게 설명한 것은 아니다. 하지만 학생들의 설명은 이들이 개념을 정교화 하는 과정에서 나타나는 대안 개념으로 해석할 수 있으며, 두 설명 모두 압력의 차이가 생기는 이유를 공기입자의 움직임과 연결하여 설명했다는 점에서 D유형의 과학글쓰기라고 볼 수 있다.

## 2. 과학그리기와 과학글쓰기가 지닌 어포던스 분석

사회기호학의 관점으로 볼 때, 과학그리기와 과학

글쓰기는 다른 모드를 가진 기호로서 교유의 어포던스를 지니며, 이는 교육적으로 다양하게 활용될 수 있다. 구체적으로 Tang *et al.*(2019)은 그리기 활동이 언어적 활동보다 공간적인 움직임이나 방향, 거리 등을 더 의미 있게 나타내는 어포던스를 갖는다고 설명하였다. 또한 서로 다른 어포던스를 지닌 다중모드적 표상들을 통해 학생들은 비슷하지만 조금씩 다른 측면을 강조한 기호의 의미들을 연결하고 통합하여 개념을 발전시킬 수 있다(Tang, 2020). 이 절에서는 첫 번째 연구 결과를 토대로, 시각적 모드(visual mode)가 강조된 과학그리기와 언어적 모드(verbal mode)가 강조된 과학글쓰기에서 어떠한 어포던스가 나타나는지 구체적인 사례와 함께 세밀히 분석하고, 이들이 공기 압력에 대한 학생들의 설명 구성 및 개념 이해를 발전시키는데 어떻게 기여할 수 있는지 논의하였다.

### 1) 과학그리기의 어포던스: 공기입자의 움직임을 구체적으로 생각하여 시각화하는 추론 촉진

본 연구의 첫 번째 연구 결과에서 보고된 과학그리기의 대표적인 특징 중 하나는, 거의 대부분의 학생들이 자신의 그림에서 공기입자의 움직임을 나타냈다는 점이다. Table 2에서 알 수 있듯이, 과학그리기 활동에 참여한 18명의 학생 중에서 17명의 학생들이 보이지 않는 물질 수준에서 공기입자를 그렸다. 이를 사회기호학적 관점에서 해석하면, 그리기 활동이 대상에 대한 공간적 움직임이나 방향, 거리를 표현하도록 하는 어포던스를 지니기 때문으로서(Tang, 2020) 과학그리기의 어포던스는 공기 압력과 관련한 현상을 설명함에 있어서 학생들이 공기입자에 초점을 두어, 압력의 변화에 따라 공기입자의 움직임과 개수 변화를 구체적으로 생각하여 시각화하도록 했다고 볼 수 있겠다.

이처럼 과학그리기의 어포던스는 과학글쓰기에서는 드러나지 않거나 다소 추상적으로 기술되었던, 공기입자의 움직임과 관련한 학생들의 대안 개념을 좀 더 구체적으로 드러내는 역할을 하였다. 다음은 과학글쓰기와 비교했을 때, 과학그리기에서 드러난 대안 개념을 보여주는 학생들의 과학그리기 사례이다.

Table 3에서 S15 학생은 과학글쓰기에서는 기압과 부피의 변화, 공기입자의 충돌에 초점을 두어 현상을 해석한 반면, 과학그리기에서는 공기입자의 이동 모습을 자세하게 나타내었다. 여기서 연구진은 S15

Table 3. The cases of students' science drawings and science writings (S15, S18)

사례	S15 학생 사례	S18 학생 사례
과학그리기		
과학글쓰기	공기가 서로 부딪치면서 풍선의 부피를 유지하고 있었지만 통속에 있는 공기가 빠져나가면서 풍선이 커지려는 기압이 더 강해서 풍선이 커진다. 어드나.	점선 박스: 감압용기에서 공기를 빼기 전, 실선 박스: 감압용기에서 공기를 뺀 후)

학생의 과학글쓰기에서는 입자의 운동 방향과 압력의 방향에 대한 생각이 구체적으로 표현되지 않는 반면, 과학그리기에서는 공기입자를 그리면서 S15 학생이 지닌 대안 개념이 명확히 나타났다는 점에 주목하였다. S15 학생의 과학그리기에서는 압력이 작용하는 방향(풍선의 바깥쪽 방향)을 향해 공기입자들이 일제히 이동하는 모습을 그렸으며, 이러한 오류는 학생들이 가지고 있는 대표적인 대안 개념이다.

비슷하게 S18 학생의 경우, 과학글쓰기에서는 감각적 수준에서 관찰한 현상만을 기술한 반면, 과학그리기에서는 공기입자의 모습을 구체적으로 시각화하였다. 다만, Table 3에서와 같이 S18 학생의 과학그리기에서는 감압용기에서 공기를 빼기 전 풍선 안의 공기입자들을 바닥에 가라앉은 모습(점선 박스)으로, 감압용기에서 공기를 뺀 후에 풍선 안의 공기입자들은 공중에 떠 있는 모습(실선 박스)으로 그려, 과학글쓰기에서는 드러나지 않았던 공기입자의 움직임에 대한 학생의 대안 개념을 드러내고 있다.

학생들의 과학그리기에서는 공기입자를 그리면서, 보이지 않는 물질 수준에서 나타나는 입자의 운동을 시각화하며 현상을 설명하는 특징이 두드러졌다. 과학그리기의 경우, 과학글쓰기에서는 압축적으로 설명되어 잘 드러나지 않았던 공기입자의 이동 모습에 대하여 학생들이 구체적으로 생각해보게 하였으며, 이를 통해 학생들이 지닌 개념을 구체적으로 드러내는 역할을 하였다. 학생들이 교사나 친구

들과 토론하거나 현상에 대해 사고하는 과정에서 두 모드 간의 통합적인 상호작용이 이루어졌을 것 이나(Park et al., 2021), 과학그리기에서는 입자의 크기와 간격, 이동 방향 등의 모습이 글쓰기에 비해 상대적으로 더 두드러지게 나타났다. 이는 시각적 모드의 어포던스를 통해 그리기에 적합하게 구성된 과학적 설명의 단면으로 해석할 수 있다.

## 2) 과학글쓰기의 어포던스: 압력 및 관련 요인들 간 관계를 토대로 한 과학적 추론 촉진

첫 번째 연구 결과에서 보고되었던 과학글쓰기의 대표적인 특징은 대부분의 학생들이 ‘압력’의 차이에 초점을 두고 감압용기 안의 풍선 크기 변화를 설명했다는 점이다. Table 2에서 나타나듯이, 전체 18명의 학생 중에서 14명의 학생들이 보이지 않는 비물질 수준의 ‘압력’ 개념을 이용해서 풍선의 크기 변화를 설명하였다. 또한 과학그리기에서 17명의 학생이 공기입자를 그렸던 것과는 다르게, 과학글쓰기에서는 공기입자의 운동이나 움직임에 대해 언급하지 않은 학생들이 11명이나 되었다. 이는 글쓰기에서의 주요 표현 방식인 ‘문자’의 특성에서 기인한 것으로서, 문자를 사용할 때 대상이 지니는 여러 속성들이 상징적이고 추상적인 용어로 압축하여 기술되기 때문이다(장진아, 2020). 이에 과학글쓰기는 학생들이 ‘압력’이라는 추상적인 용어 또는 개념을 통해 관찰한 현상을 설명하도록 하는 어포던스를 지녔다고

볼 수 있다.

구체적으로 살펴보면, Table 4와 같이 과학글쓰기에서 학생들은 감압용기에서 공기를 빼기 전과 후의 압력 차이와 풍선의 크기 변화의 ‘관계’를 중심으로 설명하는 경향을 보였다. 다음 사례들은 과학그리기와 비교했을 때 나타나는 과학글쓰기의 특징을 보여준다.

Table 4에서 S5 학생은 과학글쓰기에서 감압용기를 펌핑하여 공기를 빼기 전에는 풍선 안과 풍선 밖의 압력이 같지만, 펌핑하여 공기를 빼면 풍선 안과 풍선 밖의 압력이 다르다는 점을 대조하여 설명하였고, 과학그리기에서는 풍선 밖과 풍선 안의 공기 입자 수가 다르다는 점을 시각화하였다. 같은 맥락에서 S1 학생의 과학글쓰기에서는 진공용기 안의 ‘공기가 누르는 압력’이 약해져서 풍선 안에 있는 공기가 밖으로 ‘밀기’ 때문에 풍선의 부피가 커진다는 나름의 인과적 관계를 들어 설명하였다. 물론, S1 학생의 과학글쓰기에서는 압력이라는 개념을 단위 면적당 가해지는 힘이라는 의미로 정확히 이해하여 사용하지 않고, 어떠한 대상에게 가해지는 힘과 같은 의미로 사용하였다. 그럼에도 불구하고, 학생의 설명에는 ‘공기’가 ‘누르는/미는’ ‘압력’ 때문에 풍선의 ‘부피’가 변화한다는, 압력이라는 추상적 개념과 풍선의 부피 변화라는 관찰된 현상 간의 인과적 관계를 연결하여 현상을 설명하고 있다.

이와 같은 과학글쓰기 사례들을 토대로 볼 때, 과학글쓰기는 학생들이 자신의 생각을 추상적 개념과 관련된 요인들의 관계들에 대해 생각하도록 함을 알 수 있다. 나아가 학생들은 문자로 된 과학 용어들을 활용해 설명할 때, S1과 S5 학생의 사례에서와 같이, 보이지 않은 비물질 수준인 압력과 감각적 수준인 관찰한 현상이 어떠한 관계를 가지는지에 대한 과학적

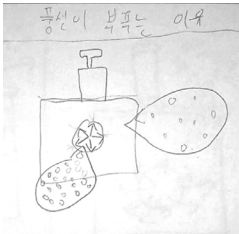

추론이 촉진됨을 알 수 있다. 이는 추상적, 범주적 특징을 추론하게 하는 언어적 모드의 어포던스의 특징을 잘 보여주는 결과로서, 글쓰기 모드에 적합하게 구성된 과학적 설명의 단면으로 해석할 수 있다.

### V. 다중모드적 표상의 과학교육적 함의: 교육적 활용 방향

본 연구의 결과를 토대로 볼 때, 과학그리기와 과학글쓰기 활동은 주로 사용되는 기호학적 모드에 따라 다른 종류의 어포던스가 나타나기 때문에, 교육 맥락에서 이를 통합적으로 잘 활용해야 한다. Lemke(2002)는 언어적 모드의 어포던스는 커진다/작아진다, 고체/액체/기체와 같은 범주적 의미를 제공하는데 있고, 시각적 모드의 어포던스는 위치, 배열과 같은 공간적 의미나 방향, 길이, 크기와 같은 정도의 의미를 제공하는데 있다고 하였다. 이는 결국 각 모드에 따라 다루어지는 정보가 질적으로 다른 부분이 있다는 것을 의미한다(Ainsworth, 2006). 본 연구에서는 공기의 압력이라는 주제에서 각 모드의 어포던스를 더 구체적으로 보여주었다. 언어적 모드를 중심으로 설명을 구성하는 과학글쓰기는 압력이라는 추상적 개념과 풍선의 크기 변화라는 감각적 현상 간 관계의 추론을 촉진하는 어포던스를 지니며, 상대적으로 시각적 모드가 중심인 과학그리기에 는 공기입자의 움직임에 대한 어포던스가 있다고 보았다. 따라서 ‘공기의 압력’이라는 과학적 개념에 대한 통합적인 의미 형성을 위해서는 학생들이 이 두 가지 모드를 모두 활용하는 것을 고려해 볼 필요가 있다.

사실 이미 많은 교사들은 각 모드의 어포던스에

Table 4. The cases of students' science drawings and science writings (S5, S1)

사례	S5 학생 사례	S1 학생 사례
과학글쓰기	펌핑 전은 압력이 같다. 펌핑 후는 압력이 다르다.	풍선의 부피가 커진 이유는 진공용기 안의 공기가 누르는 압력이 약해지면서, 풍선 안에 있는 공기가 밖으로 밀기 때문이다.
과학그리기		
		(점선 박스: 감압용기에서 공기를 빼기 전, 실선 박스: 감압용기에서 공기를 뺀 후)

대한 암묵적 또는 직감적인 이해를 토대로, 과학교실에서 다중모드적 표상을 광범위하게 활용하는 다중모드적 실행(multimodal practices)을 하고 있다(Tang et al., 2014). 하지만 구체적인 과학 교수학습 맥락에 맞추어 각 모드의 특징과 활용 유형을 명시화한다면, 활용 방식을 넓히고 활용의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 이에 Table 5에서는 과학교실에서 과학적 설명을 구성하는 교수학습 상황에 따른 언어적 표상과 시각적 표상의 활용 방식을 4가지(①: 대화하기, ②: 글쓰기, ③: 제스처, ④: 그리기) 분류한 것이다.

Table 5의 ①~④ 요소들은 여러 방식으로 통합하면서 다음과 같이 다양한 교수학습 활동 사례들로 구현할 수 있다. 첫 번째는 교사가 주도하여 학생들과 함께 토론을 하면서 언어적 표상과 시각적 표상을 이용하여 설명을 구성하는 것이다(Yoon et al., 2021). 이는 과학교실에서 흔하게 나타나는 교수학습 활동으로, 교사는 교실담화를 이용하여 학생들과 언어적으로, 시각적으로 설명을 구성해 나가면서도 이를 칠판이라는 공유된 공간에 기록할 수 있다. 즉, ①, ②, ③, ④ 모두에 해당되는 방식으로 두 가지 모드의 어포던스를 모두 활용할 수 있다.

두 번째는 학생들에게 과학적 설명을 종이나 스마트기기에 글과 그림으로 구성하도록 하는 것이다(Table 5의 ② 및 ④). 교사는 학생들이 설명을 구성할 수 있도록 과학적 개념에 대한 언어적 및 시각적 자원(resource)을 사전에 제공하고, 학생들이 ②와 ④를 이용해 설명을 구성하는 것을 도울 수 있다(Tytler et al., 2013).

세 번째는 구두로 언어적 표상(①)을 구성하도록 한 후에 과학그리기 활동(④)을 해보도록 하는 것이다. 소집단 토론이나 교사 주도의 교실 전체토론은 학생들이 구두로 설명을 구성해 볼 수 있는 활동으로 언어적 모드의 어포던스가 나타난다(Kress et al., 2014). 이후에 과학그리기 활동을 한다면, 학생들은 언어적으로 형성한 의미를 바탕으로 시각적 모드의

어포던스를 통해 과학적 개념의 의미를 더 풍성하게 형성할 수 있다(van Meter & Garner, 2005). 특히 학생들은 토론 과정에서 언어적 표상을 이용할 뿐만 아니라 Table 5의 ③에 해당될 수 있는 모드인 제스처를 이용하여 과학적 개념에 대한 설명을 구성하기도 한다(Kang & Tversky, 2016; Kim et al., 2018). 공기입자의 움직임과 풍선의 크기 변화를 주먹과 손의 움직임으로 표현하면서 각 요인 사이의 관계를 구두로 설명하는 것이 그 예이다.

네 번째는 소집단 과학그리기 활동이다(Park et al., 2021; Tytler et al., 2020). 이 활동을 통해 ①, ②, ④에 해당하는 어포던스를 함께 통합할 수 있다. 과학그리기를 협력적으로 구성하기 위해서 학생들은 과학적 개념을 어떻게 그릴지 구두로 먼저 계획을 한다. 그런 후에 구두로 구성한 설명을 시각적으로 표현하고, 구성된 과학적 그림을 평가하고 수정하면서 설명을 완성해 나간다. 이 과정에서 학생들은 제스처를 이용하여 그림이나 물체를 가리키기도 하고, 손동작으로 개념을 표현하기도 한다(Sjöberg et al., 2022). 즉, 소집단 과학그리기 활동은 언어적 표상과 시각적 표상을 시간적으로 근접하게 위치시켜 두 어포던스의 활용을 더 촉진한다는 장점이 있다고 볼 수 있다.

위와 같은 교수학습 활동 사례들을 비롯하여, 다중모드적 표상의 관점에서 더 다양한 종류의 교수학습 활동을 설계할 수 있다. 예를 들어, 교과서 등에 제공된 시각적 모드의 설명을 학생이 언어적 모드로 표현하게 하는 방법도 있을 것이다. 온라인 환경에서 스마트기기에 과학글쓰기와 과학그리기 활동을 각각 또는 함께 구성하여 각 모드의 어포던스를 통합적으로 활용할 수도 있다(Cromley et al., 2020). 특히 온라인 환경에서는 정적인 시각적 표상뿐 아니라, 동적인 시각적 표상을 풍성하게 활용할 수 있으므로 다중모드적 표상은 앞으로도 더욱 다양하게 활용될 것으로 기대된다.

**Table 5.** A classification of verbal and visual modes of representations in science classrooms

다중모드적 표상	교수학습 상황	교실담화(예: 학급토론, 모둠토론)를 통한 과학적 설명 구성	기록(예: 종이와 펜, 스마트기기)을 통한 과학적 설명 구성
언어적 표상		①	②
시각적 표상		③	④

## VI. 결론 및 시사점

본 연구는 다중모드적 표상의 교육적 활용을 위한 토대를 마련하기 위하여, 각 표상이 기호학적 모드로서 지니는 의미 형성의 특징을 파악하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여, 초등학교 과학 학습에서 보편적으로 사용되는 언어와 시각적 모드의 표상을 중심으로, 초등과학영재 학생들이 구성한 과학그리기와 과학글쓰기 각 18편을 수집하여 설명의 특징을 분석하였다. 분석 결과, 과학그리기에서는 18편 중 17편(B와 D유형)에서 감각적 수준과 보이지 않는 물질 수준을 포함한 설명이 나타난 반면, 과학글쓰기에는 18편 중 14편(C와 D유형)에서 감각적 수준과 보이지 않는 비물질 수준을 포함한 설명이 나타났다. 구체적으로 학생들의 과학그리기에서는 공기의 압력에 대한 설명을 구성하기 위해 관찰 가능한 현상의 변화를 공기입자의 움직임을 시각화하여 설명하려는 경향을 보였다. 이는 공간적 변화나 거리 등에 초점을 맞추도록 하는 시각적 모드의 어포던스를 통해, 참여 학생들이 공기입자의 움직임, 공기입자 수의 변화, 입자들 간의 충돌 및 충돌 수의 변화 등이 공기의 압력을 변화시킨다고 추론했음을 알 수 있다. 하지만 과학글쓰기에서는 공기의 ‘압력’이라는 추상적 개념을 풍선의 크기 변화와 같은 관련 요인들과 관계를 추론하는 경향을 보였다. 이는 추상적 차원에서의 개념 및 이들 간의 관계를 표현하는데 용이한 언어적 모드의 어포던스의 영향으로 해석할 수 있다.

전통적으로 많은 과학교육 연구들은 과학그리기가 학생의 설명이나 개념에 대해 언어를 통해 드러나는 것과는 다른 측면을 보여줄 수 있다는 점을 착안하여, 학생 개념 조사 및 교수학습 활동에 그리기 활동을 많이 활용하였다(강훈식 등, 2006; 윤혜경, 2019; 정용재와 송진웅, 2004). 하지만 이러한 연구들은 과학그리기가 지닌 특징 자체에 주목하기 보다는, 이러한 특징을 암묵적으로 이용하여 학생 개념이나 추론 과정을 촉진하기 위한 도구로 여겨져 왔다. 본 연구의 결과들은 이처럼 교수학습 활동에 암묵적으로 사용되어온 과학그리기와 과학글쓰기의 어포던스를 명시화하고, Table 5와 같이 구체적인 사례를 통해 교육적 활용에 대해 논의하였다.

물론 공기의 압력이라는 하나의 주제로, 초등학교 5~6학년 영재학습 학생 18명에게 제한적으로

이루어졌다는 점에서, 언어적 모드와 시각적 모드의 어포던스를 일반화하기에는 한계가 있을 수 있다. 하지만 본 연구는 과학적 설명 구성활동에서 언어적 모드와 시각적 모드의 표상이 어떻게 상호보완적으로 작용하는지를 보여주는 경험적 사례를 제시했다는 점에서 의미가 있다. 나아가 과학적 설명 구성을 위한 교수학습 활동에 다중모드적 표상을 접목할 수 있는 명시적 활용 방안을 논의하였다. 이러한 논의들을 토대로 두 기호학적 모드가 갖는 각각의 어포던스를 상호보완적으로 이용할 수 있도록 교수학습 활동을 설계한다면, 다중모드적 의미를 가진 공기의 압력이라는 과학적 개념에 대한 이해를 잘 도울 수 있을 것이다.

더 넓은 관점에서, 다중모드적 표상으로 과학적 설명을 구성하는 것은 과학자들의 실행, 즉 과학적 실행(scientific practice)이기도 하다(National Research Council, 2012). 과학자들은 자신의 발견을 표현함에 있어서 글과 도식, 그래픽 등을 종합적으로 이용한다. Waston and Crick(1953)의 DNA의 이중나선 구조를 글과 도식으로 설명한 과학적 실행은 다중모드적 어포던스를 활용한 예로 볼 수 있게 하였다. 이처럼 다중모드적 표상의 교육적 활용은 과학적 개념이 가지는 본질적인 특징에 부합할 뿐만 아니라, 학생들의 과학적 개념 이해에 도움이 되는 과학적 실행의 한 축이 된다고 볼 수 있다. 비록 본 연구에서는 학생의 다중모드적 실행과 변화 과정을 조사하는 것을 목적으로 하지 않았기 때문에, 그리기/글쓰기에서 나타난 각각의 다른 특징에 맞춰 결과를 보고하였다. 하지만 과학적 실행에서의 다중모드적 사고 과정을 고려한다면 각 모드에 대한 특징을 넘어서 이들 간의 연결과 통합에 대한 연구가 적극적으로 이루어질 필요가 있다. 이를 고려할 때, 본 연구의 결과와 논의들이 다중모드적 표상의 관점에서 학생들의 과학적 이해와 과학적 실행을 위한 교수학습 활동의 설계 및 이와 관련한 연구에 기여하길 바란다.

## 참고문헌

- 강훈식, 성다연, 노태희(2007). 소집단 토론과 시각적 학습 양식이 그리기와 쓰기를 활용한 다중 표상 학습에 미치는 영향: 화학 개념을 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(1), 28-36.

- 강훈식, 이성미, 노태희(2006). 다중 표상 학습에 적용한 그리기와 쓰기에서 시각적 정보의 형태에 따른 교수 효과. 한국과학교육학회지, 26(3), 367-375.
- 김희경, 김희진(2009). 유체에서 압력의 작용에 대한 대학생들의 개념. 새물리, 59(4), 329-335.
- 노태희, 강훈식, 성다연(2007). 그리기와 쓰기를 활용한 다중 표상 학습에서 소집단 토론과 시각적 학습 양식의 영향. 한국과학교육학회지, 27(1), 28-36.
- 윤혜경(2018). 과학 교수 학습을 위한 시각적 표상 능력의 교육목표 분류체계 개발 및 타당화. 한국과학교육학회지, 38(2), 161-170.
- 윤혜경(2019). 그림자 현상에 대한 초등학생의 시각적 표상 능력. 한국과학교육학회지, 39(2), 295-305.
- 장진아(2020). 전자기 관련 실험 활동에서 초등 교사가 사용한 표상 패턴과 의미 형성 과정 분석. 초등과학교육, 39(2), 204-218.
- 정용재, 송진웅(2004). 전형적 인식상황(TPS) 분석을 통한 6학년 학생들의 힘의 작용에 관한 생각 조사. 한국초등과학교육학회지, 23(3), 238-250.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Airey, J., & Linder, C. (2009). A disciplinary discourse perspective on university science learning: Achieving fluency in a critical constellation of modes. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(1), 27-49.
- Airey, J., & Linder, C. (2017). Social semiotics in university physics education. In D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), *Multiple Representations in Physics Education* (pp. 95-122). Cham: Springer.
- Chandler, D. (2002). *Semiotics: the basics*. (Chapter 1). New York: Routledge.
- Chang, J., Park, J., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Won, M. (2020). The features of norms formed in constructing student-generated drawings to explain physics phenomena. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1362-1387.
- Cromley, J. G., Du, Y., & Dane, A. P. (2020). Drawing-to-learn: Does meta-analysis show differences between technology-based drawing and paper-and-pencil drawing?. *Journal of Science Education and Technology*, 29(2), 216-229.
- Halliday, M. A. K. (1978). *Language as social semiotic: The social interpretation of language and meaning*. London: Edward Arnold.
- Han, J., & Roth, W. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro- and microworld. *Science Education*, 90(2), 173-201.
- Hodge, R. & Kress, G. (1988). *Social Semiotics*. Cambridge: Polity
- Kang, S., & Tversky, B. (2016). From hands to minds: Gestures promote understanding. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 1(1), 1-15.
- Kim, J. H., Cho, H. R., Cho, Y. H., & Jeong, D. H. (2018). The Difference of gestures between sScientists and middle school students in scientific discourse: Focus on molecular movement and the change in state of material. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 38(2), 273-291.
- Kim, M., & Jin, Q. (2022). Studies on visualisation in science classrooms: a systematic literature review. *International Journal of Science Education*, 44(17), 2613-2631.
- Kress, G. & van Leeuwen, T. (2001). *Multimodal Discourse: The Modes and Media of Contemporary Communication*. London: Arnold.
- Kress, G. (2003). *Literacy in the new media age*. London: Routledge.
- Kress, G., & van Leeuwen, T. (2006). *Reading images: The grammar of visual design* (2nd ed.). London: Routledge.
- Kress, G., Charalampos, T., Jewitt, C., & Ogborn, J. (2014). *Multimodal teaching and learning*. London: Continuum.
- Lemke, J. L. (1998a). Multiplying meaning. In J. R. Martin, J. R. Martin, & R. Veel (Eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- Lemke, J. L. (1998b). Teaching all the languages of science: Words, symbols, images, and actions. In Conference on science education in Barcelona. Retrieved from <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>
- Lemke, J. L. (1999). Typological and topological meaning in diagnostic discourse, *Discourse Processes*, 27(2), 173-185.
- Lemke, J. L. (2002). Travels in hypermodality. *Visual communication*, 1(3), 299-325.
- Lemke, J. L. (2003). Mathematics in the middle: Measure, picture, gesture, sign, and word. Educational perspectives on mathematics as semiosis: From thinking to interpreting to knowing, 1, 215-234.
- Müller, A., Hettmannsperger, R., Scheid, J., & Schnotz, W. (2017). Representational Competence, Understanding of Experiments, Phenomena and Basic Concepts in

- Geometrical Optics: A Representational Approach. In D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), *Multiple Representations in Physics Education* (pp. 209-229). Cham: Springer.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Opfermann, M., Schmeck, A., & Fischer, H. E. (2017). Multiple representations in physics and science education: Why should we use them?. In D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), *Multiple representations in physics education* (pp. 1-22). Cham: Springer.
- Park, J., & Chang, J. (2020). A simple method for comparing the properties of gases and liquids using a decompressible container. *Physics Education*, 55(2), 023006.
- Park, J., Chang, J., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Won, M. (2020). Sequential patterns of students' drawing in constructing scientific explanations: focusing on the interplay among three levels of pictorial representation. *International Journal of Science Education*, 42(5), 677-702.
- Park, J., Tang, K. S., & Chang, J. (2021). Plan-Draw-Evaluate (PDE) pattern in students' collaborative drawing: Interaction between visual and verbal modes of representation. *Science Education*, 105(5), 1013-1045.
- Prain, V., & Waldrip, B. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1843-1866.
- Sjöberg, M., Furberg, A., & Knain, E. (2022). Undergraduate biology students' model-based reasoning in the laboratory: Exploring the role of drawings, talk, and gestures. *Science Education*, 107(1), 124-148.
- Tang, K. S. (2020). *Discourse strategies for science teaching and learning: Research and practice*. London: Routledge.
- 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.
- Tang, K. S., Jeppsson, F., Danielsson, K., & Bergh Nestlog, E. (2022). Affordances of physical objects as a material mode of representation: A social semiotics perspective of hands-on meaning-making. *International Journal of Science Education*, 44(2), 179-200.
- Tang, K. S., Won, M., & Treagust, D. (2019). Analytical framework for student-generated drawings. *International Journal of Science Education*, 41(16), 2296-2322.
- Treagust, D. F., Duit, R., & Fischer, H. E. (Eds.). (2017). *Multiple representations in physics education* (Vol. 10). Cham: Springer.
- 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: Springer.
- Tytler, R. (1992). Children's explanations of air pressure generated by small group activities. *Research in Science Education*, 22(1), 393-402.
- Tytler, R. (1998). Children's conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International journal of science education*, 20(8), 929-958.
- 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.
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrip, B. (2013). *Constructing representations to learn in science*. Boston: Sense Publishers.
- van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285-325.
- Watson, J. D., & Crick, F. H. (1953). Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737-738.
- Wong, E. D. (1993). Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 367-380.
- Yeo, J., & Gilbert, J. K. (2014). Constructing a scientific explanation-A narrative account. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1902-1935.
- Yoon, H. G., Kim, M., & Lee, E. A. (2021). Visual representation construction for collective reasoning in elementary science classrooms. *Education Sciences*, 11(5), 246.

장진아, 싱가포르 난양공과대학교 국립교육원 연구원(Jina Chang; Researcher, National Institute of Education, Nanyang Technological University).

† 박준형, 싱가포르 난양공과대학교 국립교육원 교수(Joonhyeong Park; Professor, National Institute of Education, Nanyang Technological University).

박지선, 이화여자대학교 교수(Jisun Park; Professor, Ewha Womans University).



Appendix

Each student's explanation types of science drawing and science writing

학생	과학그리기	과학글쓰기	학생	과학그리기	과학글쓰기	학생	과학그리기	과학글쓰기
S1	D	C	S7	D	C	S13	D	C
S2	D	D	S8	C	C	S14	B	B
S3	B	B	S9	B	D	S15	D	D
S4	D	D	S10	B	D	S16	D	D
S5	D	C	S11	B	D	S17	D	C
S6	B	C	S12	B	A	S18	B	A