

다중 표상을 활용한 화학 개념 학습에서 학생들의 장독립성-장의존성에 따른 연계 오류 분석

강훈식¹ · 이종현 · 노태희*

¹춘천교육대학교 · 서울대학교

Analysis of Connection Errors by Students' Field Independence-Dependence in Learning Chemistry Concepts with Multiple External Representations

Kang, Hunsik¹ · Lee, Jonghyun · Noh, Taehee*

¹Chuncheon National University of Education · Seoul National University

Abstract: This study investigated connecting errors by students' field independence-dependence in learning chemistry concepts with multiple external representations in current science textbooks. Seventh graders (N=196) at a middle school were assigned to the BL and CL groups, which were respectively taught "Boyle's Law" and "Charles's Law." A field independence-dependence test was administered. After learning the target concept with text and picture emphasizing the particulate nature of matter, a connecting test was also administered. Five types of connecting errors were identified: Insufficient connection, misconnection, rash connection, impossible connection, and failing to connect. 'Failing to connect,' 'Misconnection,' and 'Rash connection' were found to be the frequent types of connecting errors regardless of the target concepts. The frequencies and percentages of the types of connecting errors were not significantly different between the field independent and field dependent students. Educational implications of these findings are discussed.

Key words: connecting error, multiple external representations, chemistry concept, field independence-dependence

I. 서론

대부분의 화학 개념은 거시적(감각적) 수준, 미시적(입자적) 수준, 상징적 수준에서의 이해를 필요로 한다(Treagust *et al.*, 2003). 특히, 미시적 수준의 물질의 입자성에 대한 이해는 화학양론, 상변화, 화학 변화 등 여러 화학 개념을 이해하는데 필수적인 요소이나, 입자의 추상성으로 인해 많은 학생들이 입자 개념을 이해하는데 어려움을 겪고 있다(유승아 등, 1999; Lin *et al.*, 2000; Singer *et al.*, 2003). 이에 최근에는 글, 그림, 동화상, 실험, 공식 등의 다양한 외적 표상들을 함께 제시하는 것이 개별적으로 제시하는 것보다 학습에 효과적이라는 주장(Ainsworth, 1999)에 기초하여, 세

가지 수준에서의 이해를 돕기 위한 방안으로 다양한 외적 표상들을 함께 제시하는 다중 표상 학습이 활용되고 있다(Ardac & Akaygun, 2004; 2005; Treagust *et al.*, 2003). 제7차 과학 교과서나 교사용 지도서에서도 거시적 현상을 입자 수준에서 표현한 글과 그림 등의 다양한 외적 표상들이 함께 제시된 경우가 많다(강훈식 등, 2007).

다중 표상 학습에 대한 인지 이론(Mayer, 2003)에 의하면, 학생들은 감각 기관을 통해 입력된 정보, 즉 외적 표상들을 작동 기억 내에서 처리하기 위해, 글이나 말과 같은 언어적 정보와 그림이나 동화상과 같은 시각적 정보의 관련 부분을 선택하여 각각 작동 기억 내의 언어적 표상과 시각적 표상으로 전환하는 '선택 과

*교신저자: 노태희(nohth@snu.ac.kr)

**2008.03.05(접수) 2008.06.17(1심통과) 2008.06.25(2심통과) 2008.06.30(3심통과) 2008.07.31(최종통과)

***이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-327-B00603).

정'을 거친다. 선택 과정을 통해 형성된 언어적 표상과 시각적 표상은 각각 언어적 모형과 시각적 모형을 형성하는 '조직화 과정', 언어적 모형과 시각적 모형을 연계하거나 이들을 장기 기억 내의 사전 지식이나 경험과 연계하는 '통합 과정'을 거친다. 즉, 학생들은 외적 표상들을 제시받으면 각 외적 표상들의 구성 요소와 이들이 제시하는 정보 및 외적 표상들의 관계를 파악하고, 다양한 외적 표상들을 관련짓는 연계 과정을 거친다(Ainsworth, 2006).

그러나 각 외적 표상들은 서로 동일한 정보(공유 요소) 뿐만 아니라 각 외적 표상들만이 지니는 독특한 정보(비공유 요소)도 모두 지니고 있으므로(Ainsworth, 1999; Schnotz, 2005), 학생들이 공유 요소와 비공유 요소를 명확하게 파악하지 못하거나 이들을 구별하여 올바르게 연계하지 못하면 외적 표상들을 교사의 의도와는 다른 방향으로 이해할 것이다(de Jong *et al.*, 1998; Han & Roth, 2006; Kozma, 2003; Wu & Shah, 2004). 따라서 다중 표상을 활용한 화학 개념 학습이 효과적이기 위해서는 거시적, 미시적, 상징적 수준에서의 외적 표상들에 대한 이해와 각 수준에서의 다양한 외적 표상들 간의 올바른 연계 과정을 유도할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다(Ainsworth, 2006; Seufert, 2003; Wu & Shah, 2004).

이를 위해서는 우선 다중 표상 학습에서 학생들이 실제로 거치는 연계 과정과 그 과정에서 범하는 오류의 유형에 대한 정보가 필요하다. 이 정보들을 활용하여 교사는 학생들의 연계 과정 수준에 적합한 다중 표상 학습을 설계하고 실행함으로써, 학생들이 외적 표상들을 이해하고 연계하는 과정에서 유발되는 오류를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 학생들의 보다 능동적이고 적극적인 참여를 유도할 수 있기 때문이다. 하지만 지금까지 진행된 연구는 멀티미디어 활용 수업이나 그리기 또는 쓰기 등과 같은 특정 교수 전략의 효과를 조사하는 수준에 머무르고 있으며(강훈식, 2006; 박재원, 백성혜, 2004; Ardac & Akaygun, 2005; Van Meter & Garner, 2005; Veronikas & Shaughnessy, 2005), 학생들이 실제로 외적 표상들을 연계하는 과정을 조사한 연구는 매우 적다. 일부 진행된 연구들도 학생들이 외적 표상의 표면적인 특징에 집중하는 경향이 있다는 것과 같이 특정 오류의 사례를 단편적으로 조사하여 제시하는 수준에 그치고 있을 뿐(Kozma & Russell, 1997; Van Someren *et al.*, 1998), 다중 표상 학습 이론에 기초하여 체계적으로 조사한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 특정 교수 전략의 효과 여부 등에 대해서는 상

대적으로 많은 정보를 얻었지만, 학생들이 외적 표상들을 처리하는 과정에 대한 구체적인 정보는 매우 부족한 실정이다.

한편, 학생들이 다양한 정보들을 처리하는 과정은 장 독립성-장의존성과 관련이 있다고 보고된다. 예를 들어, 주어진 정보들 중에서 불필요한 정보를 걸러내고 필요한 정보만을 식별해 내는 능력을 지닌 장독립적인 학생들은 주어진 정보에서 학습 과제에 적합한 정보를 선택하여 재조직 또는 재구성하는 경향이 있는 반면, 이런 능력이 부족한 장의존적인 학생들은 그 과정을 성공적으로 수행하는데 어려움이 있는 것으로 보고된다(Dwyer & Moore, 1995). 또한, 장독립적인 학생들에 비해 장의존적인 학생들은 시각적 정보로부터 정보 해석에 필요한 요소를 선별하고 조직화하는데 실패하는 경향이 더 크고, 외적 표상들을 이해하거나 그 의미를 전이하는 능력이 부족한 것으로 보고된다(Wu & Shah, 2004). 다중 표상 학습에서 학생들이 외적 표상들을 성공적으로 연계하기 위해서는 외적 표상들의 공유 요소와 비공유 요소를 구별하여 연계할 수 있는 능력을 지니고 있어야 한다(Ainsworth, 1999, 2006). 따라서 장독립성-장의존성에 따라 학생들이 외적 표상들을 연계하는 과정에서 범하는 오류의 양상이 다를 가능성이 있으므로, 이에 대해 조사할 필요가 있다.

이에 이 연구에서는 화학 개념에 대한 다중 표상 학습에서 유발되는 외적 표상들 간의 연계 오류의 유형을 다중 표상 학습 이론에 기초하여 체계적으로 조사했다. 또한, 장독립성-장의존성에 따라 연계 오류 유형별 발생 빈도가 다른지도 조사했다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

서울시에 소재한 중학교 1학년 학생 196명을 선정 한 후, '분자의 운동' 단원의 '보일의 법칙'을 학습하는 BL 집단과 '샤를의 법칙'을 학습하는 CL 집단으로 배치했다. 모든 학생들의 장독립성-장의존성 검사 점수의

Table 1
Subjects of the two groups by students' field independence-dependence

	BL group	CL group
Field independent	54	41
Field dependent	42	59
Total	96	100

중앙값을 기준으로 학생들을 상대적으로 장독립적 학생과 장의존적 학생으로 구분했다. 이때, 중앙값을 포함한 백분위가 51.5위였으므로, 장독립적 학생과 장의존적 학생들 간의 분포 불균형을 최소화하기 위해 중앙값에 해당하는 점수를 받은 학생들을 모두 장의존적 학생으로 분류했다. 이에 따른 집단별 사례수는 Table 1과 같다.

2. 연구 절차

선행연구 및 교과서 내용의 검토와 중학교 교사들과의 면담을 통해 연구 목적에 적합한 검사를 선정, 개발했다. 모든 집단 학생들에게 장독립성-장의존성 검사를 실시했다. 참여 교사는 수업 방법과 수업 진행 시 주의할 점 등에 대한 오리엔테이션을 받은 후, 해당 개념에 대한 학습과 연계 과정 검사를 1차시 동안 진행했다. 교사는 학습과 검사 전에 학생들에게 학습 및 검사 과정과 방법에 대해 간단히 설명한 후 학습지와 검사지를 배부했다. 학생들은 교사가 보여준 거시적 수준에서의 시범 실험을 입자 수준에서 표현한 글과 그림(학습지)을 스스로 학습한 후, 연계 과정 검사지를 25분간 작성했다. 이때 교사가 보여준 시범 실험은 ‘보일의 법칙’의 경우 추의 개수에 따른 실린더의 부피 변화 실험이었고, ‘샤를의 법칙’의 경우에는 입구에 풍선을 씌운 플라스크를 알코올램프로 가열하기 전과 가열하는 과정에서의 풍선의 부피 변화 실험이었다. 연구자 중 1인이 집단별로 학습 및 검사 과정을 참관한 결과, 학습과 검사가 계획대로 진행되었음을 확인했다. 학습지와 모든 검사지를 수거한 후, 검사지를 분석했다.

3. 검사 도구

장독립성-장의존성 검사는 주어진 간단한 도형을 복잡한 그림 속에서 찾아내는 도형찾기퍼즐(Find A Shape Puzzle; Linn & Kyllonen, 1981)을 사용했다. 이 검사는 장독립성-장의존성을 다양한 정보들에서 필요한 정보만을 뽑아내는 능력으로 측정하기 위해 개발된 검사로, 총 20문항이다. 이 검사 문항의 예제를 부록 1에 제시했다. 이 연구에서의 내적 신뢰도(Cronbach's α)는 0.81이었다.

글과 그림의 연계 과정에 대한 이해와 이 과정에서 발생하는 오류를 알아보기 위한 연계 과정 검사는 비유 사용 학습에서 목표물과 비유물의 대응 관계를 조사했던 김경순 등(2006)의 연구를 참고하여 이 연구의 목적에 맞게 개발했다. 즉, 학습지에 제시된 글과 그림의 모든 요소를 각각 나열한 보기에서 글과 그림의 공

유 요소 중 대응되는 요소를 선택하고, 글 또는 그림에만 해당되는 서로 관련 없는 ‘비공유 요소’는 별도로 기재한 후, 그렇게 답한 이유를 각각 서술하도록 하는 형식으로 구성했다. 이때, 보일의 법칙의 경우, 글의 요소 중 실린더에 작용하는 압력, 기체의 부피, 기체 분자의 운동 속도, 용기 벽과의 충돌 횟수, 크기, 개수, 분포 등이 각각 그림의 요소 중 추의 개수, 실린더 공간, 화살표 길이, 꺾인 화살표 개수, 크기, 개수, 위치 등과 대응되는 요소이고, 글 요소 중 온도와 그림 요소 중 원 색깔, 화살표 방향, 추의 모양, 용기 벽의 두께 등이 비공유 요소이다. 샤를의 법칙에서는 글 요소 중 기체의 부피, 기체 분자의 운동 속도, 용기 벽과의 충돌 횟수, 크기, 개수, 온도, 기체 분자 사이의 거리 등이 각각 그림 요소의 풍선의 크기, 화살표 길이, 꺾인 화살표 개수, 원의 크기, 개수, 알코올램프 불꽃 등과 대응되는 요소이고, 글 요소의 압력과 그림 요소의 화살표 방향, 플라스크의 크기, 원의 색깔 등이 비공유 요소이다. 검사 직전에 교사가 학생들에게 그림 요소들이 그림의 어떤 부분에 해당하는지에 대해 설명해 주었을 뿐만 아니라 검사 과정에서 제시된 학생들의 관련 질문에도 피드백을 제공해 줌으로써, 이 부분에 대한 잘못된 이해가 연구 결과에 미치는 영향을 최소화하도록 노력했다.

글과 그림의 내용 및 표현 방법은 현재 교과서에서 사용되고 있는 내용 및 표현 방법을 가능한 그대로 사용했다. 개발한 검사는 과학교육 전문가 3인과 중학교 과학교사 3인으로부터 타당도를 검증받은 후, 다른 학교 중학교 1학년 학생들을 대상으로 실시한 예비 연구를 통해 수정·보완했다. 부록 2에 연계 과정 검사의 예를 제시했다.

4. 결과 분석

연계 과정 검사에 나타난 학생들의 응답을 분석하여 학생들이 글과 그림을 연계하는 과정에서 범하는 오류를 유형별로 분류했다. 분류들은 일부 학생의 응답을 무작위로 추출하여 3인의 분석자가 각자 김경순 등(2006)이 비유 사용 수업에서 학생들의 목표물과 비유물의 대응 오류를 분석하기 위해 개발한 분류틀을 토대로 연계 오류 유형을 분류한 후, 이를 모든 연구진이 함께 논의하는 과정을 반복하여 최종 결정했다. 연구 결과의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 모든 검사지를 3인의 분석자가 공동으로 분석하고 모든 연구자들이 동의한 사항에 한하여 결과를 도출한 후, 이를 과학교육 전문가, 중학교 과학교사, 과학교육 전공 대학원생

10인 이상으로 구성된 수차례의 소모임을 통해 수정·보완했다. 분석 결과는 학생들의 연계 오류를 유형별로 서술하고, 연계 오류 유형별 빈도와 백분율을 전체 및 장독립성-장의존성별로 제시했다. 또한, 장독립적 학생과 장의존적 학생들의 연계 오류 유형별 빈도 및 백분율(%)의 차이를 통계적으로 검증하기 위해 실시한 χ^2 검증 결과를 제시했다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 연계 오류의 유형 분석

다중 표상 학습 과정에서 나타난 연계 오류의 유형은 ‘불충분한 연결(Insufficient connecting)’, ‘부적절한 연결(Misconnecting)’, ‘무분별한 연결(Rash connecting)’, ‘불가능한 연결(Impossible connecting)’, ‘연결 불이행(Failing to connect)’의 총 5가지 유형으로 분류했다. 이에 대한 자세한 설명과 연계 오류 유형별 빈도 및 백분율은 다음과 같다(Fig. 1, Table 2).

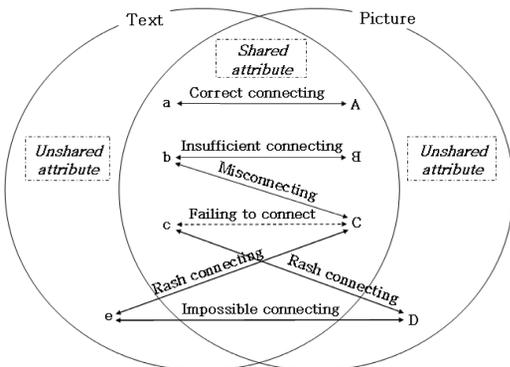


Fig. 1 Types of students' connecting errors

1) 불충분한 연결

‘불충분한 연결’은 글과 그림의 공유 요소들 중 대응되는 요소들을 올바르게 연계했지만, 그 요소 간의 관계에 대한 설명이 잘못되거나 불충분한 오류 유형이다. 즉, 글과 그림에서 관련된 요소를 찾아내는 선택 과정은 올바르게 했지만, 선택 과정을 통해 형성된 언어적 표상과 시각적 표상을 조직하고 통합하는 과정에서 그들의 변화 방향 및 관계를 잘못 파악하여 발생한 오류 유형이다. BL 집단에서는 16명(16.7%), CL 집단에서는 13명(13.0%)의 학생들에게서 이 오류 유형이 나타났으며, 다음이 그 예이다.

- 학생 A: 글에서 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 횟수라고 했으므로, 그림에서 왼쪽보다 오른쪽의 꺾는 개수가 더 적다. [BL 집단]
- 학생 B: 기체 분자의 화살표 길이는 길면 느리고, 짧으면 빠르다. [BL 집단]
- 학생 C: 분자의 크기가 크다는 것은 운동 속도가 감소한다는 것으로 원의 크기는 왼쪽이 더 크다. [CL 집단]

학생 A는 기체 분자의 충돌 횟수를 꺾인 화살표의 개수와, 학생 B는 기체 분자의 운동 속도를 화살표의 길이와 각각 올바르게 연계했지만, 그 변화의 방향은 모두 반대로 설명했다. 또한, 학생 B는 보일의 법칙에서 기체 분자의 운동 속도가 변하지 않음을 인식하지 못했다. 학생 C의 경우에는 분자의 크기를 원의 크기와 올바르게 연계했지만, 분자의 크기가 변한다고 잘못 설명했다. 이는 학생들이 그림에 포함된 기호의 변화 유무와 방향 및 그 의미를 제대로 파악하지 못했기 때문에 유발된 것이라 생각할 수 있다. 따라서 이 오류를 줄이기 위해서는 학생들에게 그 의미를 설명하거나 그림에 관련 설명을 포함시킬 필요가 있다.

Table 2

Operational definitions, frequencies and percentages of types of students' connecting errors

Types of students' connecting errors	Operational Definition	N(%) ¹	
		BL Group	CL Group
Insufficient connecting	Connecting the corresponding attributes of text and picture among the shared one, but incorrect or insufficient explanation	16(16.7)	13(13.0)
Misconnecting	Connecting no-corresponding attributes of text and picture among the shared one	43(44.8)	34(34.0)
Rash connecting	Connecting the shared attribute of picture (text) to the unshared attribute of text (picture)	39(40.6)	29(29.0)
Impossible connecting	Connecting unshared attributes of text and picture	11(11.5)	6(6.0)
Failing to connect	Failing to connect corresponding attributes of text and picture among the shared one	59(61.5)	74(74.0)

¹ The number of total errors is above the number of subjects in each group because some participants showed above two types of connecting errors.

2) 부적절한 연결

‘부적절한 연결’은 글과 그림의 공유 요소들 중 대응되지 않는 요소들을 연계하는 오류 유형이다. 즉, 글과 그림의 공유 요소와 비공유 요소는 구별했지만, 공유 요소에 포함된 기호들의 의미를 제대로 이해하지 못해 선택 과정에서 관련 요소를 선택하지 못했기 때문에 발생한 오류 유형이다. BL 집단에서는 43명(44.8%), CL 집단에서는 34명(34.0%)의 학생들이 이 오류 유형을 보였다. 아래에 부적절한 연결의 예를 제시했다.

- 학생 D: 분자의 크기가 크면 화살표 길이가 길고 분자의 크기가 작으면 화살표 길이가 짧다. [BL 집단]
 학생 E: 분자의 분포가 길어지거나 짧아지면 화살표의 길이도 달라진다. [BL 집단]
 학생 F: 기체의 부피가 커질수록 원의 크기도 커진다. [CL 집단]

학생 D와 E는 기체 분자 자체의 크기와 기체 분자의 분포를 기체 분자의 운동 속도를 의미하는 화살표 길이와 연계했고, 학생 F는 기체의 부피를 기체 분자의 크기를 의미하는 원의 크기와 연계했다. 이런 오류는 화살표의 길이나 원의 크기 등과 같이 그림에 포함된 기호들의 의미를 잘 이해하지 못했기 때문에 나타났다고 해석할 수 있다. 특히 이 오류 유형에는 기체 분자의 분포와 관련된 오류가 많았는데, 이는 학생들이 기체 분자의 분포가 ‘ 많아진다’, ‘ 길어진다’ 등과 같이 분포 자체의 의미에 대해서 명확하게 이해하지 못했기 때문인 것으로 보인다. Kozma와 Russell(1997)은 학생이 충분한 언어적 능력을 지니고 있어야 언어적 정보와 시각적 정보를 효과적으로 연계할 수 있다고 주장했다. 따라서 교사는 학생들이 이해하기 어려워하는 기호나 단어를 파악하여, 그 의미를 그림이나 글에 포함시키거나 학습 전에 학생들에게 이에 대해 명시할 필요가 있다.

3) 무분별한 연결

‘무분별한 연결’은 글과 그림의 공유 요소와 비공유 요소를 연계하는 오류 유형으로, 글 또는 그림의 요소들 중에서 공유 요소와 비공유 요소를 구별하지 못하는 잘못된 선택 과정으로 인해 발생한 오류 유형이다. 특히, 그림의 비공유 요소와 글의 공유 요소를 관련짓는 경우가 많았다. BL 집단에서는 39명(40.6%), CL 집단에서는 29명(29.0%)의 학생이 이 오류 유형에 해당했으며, 구체적인 응답의 예는 다음과 같다.

- 학생 G: 내가 생각하기에는 화살표의 길이가 긴 게 있고 짧은 게 있는 이유는 압력을 표시하려고 한 것으로 생각한다. [CL 집단]
 학생 H: 온도가 변하면서 원의 크기가 바뀌기 때문이다. [BL 집단]
 학생 I: 압력이 강해지면 원의 크기가 커진다. [CL 집단]

학생 G는 글의 비공유 요소인 기체의 압력을 그림의 공유 요소인 화살표의 길이와 연계했다. 초등학교 교과서에서 화살표는 사물의 움직임이나 행동의 동선 및 궤적뿐만 아니라 힘 등의 과학적 개념을 표현하기 위해 사용된다(한재영, 2006). 따라서 이 학생은 이 연구에서 사용된 화살표의 의미를 초등학교에서 배운 ‘힘을 나타낸 화살표’에 기초하여 ‘기체의 압력을 나타낸 화살표’로 해석했을 가능성이 있다. 특정 기호에 대한 선행 학습 경험이 통합 과정에 영향을 주어 연계 오류를 유발한 경우라 할 수 있다. 한편, 학생 H와 I의 경우에는 글의 비공유 요소인 온도나 기체의 압력을 그림의 공유 요소인 원의 크기와 연계했다. 이는 학생들이 원의 크기에 대한 의미를 잘못 파악하거나 보일 및 사물의 법칙을 이해하는데 중요한 요소인 온도나 기체의 압력을 잘못 이해했기 때문일 수 있다. 따라서 이 오류 유형을 예방하기 위해서는 ‘부적절한 연결’에서와 유사하게 글이나 그림의 요소들 중에서 학생들이 잘 이해하지 못하는 요소들의 의미를 글 또는 그림에 포함시키거나 학습 전에 교사가 학생들에게 이에 대해 인지시킬 필요가 있다.

4) 불가능한 연결

‘불가능한 연결’은 글의 비공유 요소와 그림의 비공유 요소를 연계하는 오류 유형이다. 이 오류 유형은 글과 그림에서 모두 공유 요소와 비공유 요소들을 구별하지 못해 선택 과정에서 오류를 범하여 유발된 것으로, 글 또는 그림 중 한 가지에서만 공유 요소와 비공유 요소를 구별하지 못해 유발된 ‘무분별한 연결’보다 더 많은 지도가 필요한 오류 유형이다. BL 집단에서는 11명(11.5%), CL 집단에서는 6명(6.0%)의 학생에게서 이 오류 유형이 나타났으며, 그 예는 다음과 같다.

- 학생 J: 원 색깔이 빨간색이면 따뜻하고 파랑이면 차갑다. [BL 집단]
 학생 K: 온도가 바뀌면 원의 색이 바뀐다. [BL 집단]
 학생 L: 압력이 플라스크의 크기와 같이 일정하기 때문에 [CL 집단]

학생 J와 K의 경우, 그림의 비공유 요소인 원의 색

깔을 글의 비공유 요소인 온도와 연계했다. 이는 이 학생들이 빨간색은 따뜻한 이미지를 지니고, 파란색은 차가운 이미지를 지닌다는 색과 온도의 관계에 대한 학습 또는 일상생활에서의 경험의 영향을 받았기 때문일 수 있다. 학생 L의 경우에는 글의 비공유 요소인 기체의 압력과 그림의 비공유 요소인 플라스크의 크기는 전혀 관련이 없음에도 불구하고, 두 요소가 일정하다는 것에 초점을 두어 두 요소가 관련이 있다고 생각했다. 즉, 이 오류 유형은 학생들이 원의 색깔이나 플라스크 크기의 일정함과 같이 목표 개념과 직접적으로 관련이 없는 그림의 표면적인 특징에 집중했기 때문에 나타난 것으로 보인다. 전문가에 비해 초보자는 시각적 정보를 표면적인 특징에 제한하여 해석하므로 목표 개념을 올바르게 이해하지 못하는 경향이 있다는 주장(Kozma, 2003)과 맥을 같이한다고 할 수 있다. 따라서 각 외적 표상 내에 목표 개념과 직접적으로 관련이 없는 요소를 가능한 적게 제시하거나, 그 요소들이 목표 개념과 직접적인 관련이 없음을 학생들에게 명시함으로써 이 오류 유형의 발생을 예방할 수 있을 것이다.

5) 연결 불이행

‘연결 불이행’은 연계해야 할 글과 그림의 공유 요소를 연계하지 않는 오류 유형으로, 이 연구에서 가장 많이 나타났다. BL 집단에서는 59명(61.5%), CL 집단에서는 74명(74.0%)의 학생이 이 오류 유형을 보였다. 외적 표상들을 올바르게 연계하기 위해서는 먼저 각 외적 표상들의 구성 요소와 그 외적 표상들이 제시하는 정보, 외적 표상들의 관계를 파악하는 과정을 성공적으로 수행해야 한다(Ainsworth, 2006). 그러나 이 오류 유형을 보인 학생들은 그 모든 과정을 어려워하여, 글과 그림의 관련 요소들을 연계하는 활동 자체를 못했을 가능성이 있다. 따라서 이 학생들의 연계 활동

을 촉진하기 위해서는 학생들이 보다 이해하기 쉬운 외적 표상을 제시하거나, 연계 활동을 도와줄 수 있는 효과적인 방안을 마련할 필요가 있다.

2. 장독립성-장의존성에 따른 연계 오류 유형별 빈도와 백분율

장독립성-장의존성에 따른 연계 오류 유형별 빈도와 백분율 및 χ^2 검증 결과는 Table 3과 같다. BL 집단과 CL 집단에서 모두 장독립성-장의존성에 관계없이 많은 학생들이 다양한 연계 오류를 범했으며, 특히 ‘연결 불이행’, ‘부적절한 연결’, ‘무분별한 연결’ 오류를 범한 학생들이 많았다. 장독립적 학생들과 장의존적 학생들의 연계 오류 유형별 빈도와 백분율의 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다($p > .05$). 이런 결과는 다양한 정보 중에서 불필요한 정보를 걸러내고 필요한 정보만을 식별해 내는 능력이 부족한 장의존적 학생들뿐만 아니라 이런 능력을 지닌 장독립적 학생들도 물질의 입자성을 강조하기 위해 제시된 글과 그림을 연계하는 과정을 어려워했음을 의미한다.

외적 표상들을 연계하는 과정이 성공적으로 이루어지지 위해서는 외적 표상들을 연계하기 전에 각 외적 표상들의 구성 요소에 대한 이해가 선행되어야 한다(Ainsworth, 2006). 따라서 그 구성 요소들의 의미나 기능이 명확하게 제시되지 않거나 다양하게 해석될 소지가 있을 경우 외적 표상들의 연계 과정에서 요구되는 능력을 지닌 학생들에게서도 성공적인 연계 과정을 기대하기는 어렵다. 이 연구에서 제시된 그림에는 물질의 입자성을 강조하기 위해 원과 화살표 등의 다양한 기호들이 사용되고 있는데, 이 기호들은 학생들의 선행 경험이나 지식 등에 따라 다양하게 해석될 수 있다(노태희 등, 2007; 한재영, 2006). 그러므로 앞서 논의한 바와 같이 이 기호들의 의미나 기능이 명시되지 않아

Table 3

χ^2 test results on frequencies and percentages of connecting errors by students' field independence-dependence¹

	BL Group					CL Group				
	Field independent (n=54)	Field dependent (n=42)	χ^2	df	p	Field independent (n=41)	Field dependent (n=59)	χ^2	df	p
Insufficient connecting	10(18.5)	6(14.3)	.31	1	.581	6(14.6)	7(11.9)	.16	1	.685
Misconnecting	25(46.3)	18(42.9)	.11	1	.737	16(39.0)	18(30.5)	.78	1	.377
Rash connecting	25(46.3)	14(33.3)	1.65	1	.200	11(26.8)	18(30.5)	.16	1	.690
Impossible connecting	5(9.3)	6(14.3)	.59	1	.443	1(2.4)	5(8.5)	1.56	1	.211
Failing to connect	31(57.4)	28(66.7)	.86	1	.355	31(75.6)	43(72.9)	.094	1	.760

¹ The number of total errors is above the number of subjects in each group because some participants showed above two types of connecting errors.

장독립적 학생과 장의존적 학생들이 모두 외적 표상들을 성공적으로 연계하는데 어려움이 있었을 가능성이 있다.

VI. 결론 및 제언

이 연구에서는 외적 표상들 간의 연계 과정을 촉진하는데 효과적인 방안을 마련하기 위한 탐색적 연구의 일환으로, 학생들이 화학 개념 학습에서 제시된 글과 그림을 연계하는 과정에서 범하는 오류 유형을 학생들의 장독립성·장의존성에 따라 조사했다.

연구 결과, 학생들이 물질의 입자성이 강조된 글과 그림을 연계하는 과정에서 ‘불충한 연결’, ‘부적절한 연결’, ‘무분별한 연결’, ‘불가능한 연결’, ‘연결 불이행’의 5가지 연계 오류 유형이 나타났다. 이 중에서도 ‘부적절한 연결’, ‘무분별한 연결’, ‘연결 불이행’이 학생들의 장독립성·장의존성에 관계없이 가장 많이 나타났다.

제7차 과학 교과서나 교사용 지도서 등에는 다양한 외적 표상들이 제시되어 있으나, 학생들이 실제로 겪는 연계 오류 유형에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 이로 인해 교사가 학생들의 연계 과정 수준에 맞추어 지도하는 데에는 한계가 있었다. 따라서 학생들의 연계 과정에서 발생한 오류를 다중 표상 학습 이론에 기초하여 체계적으로 분석한 이 연구의 결과는 다음과 같은 시사점을 지닌다.

첫째, 화학 개념 학습에서 제시되는 다양한 외적 표상들을 연계하는 과정은 장독립적 학생들과 장의존적 학생들 모두에게 어려운 과정이며, 이 과정에서 다양한 오류가 유발됨을 시사한다. 이런 오류들은 학생들의 다양한 오개념을 유발하는 원인이 될 수 있으므로, 연계 오류들이 발생한 원인을 탐색하여 연계 오류를 효과적으로 예방하는 방안을 마련할 필요가 있다. 예를 들어, 학생들이 글 또는 그림에 포함된 여러 기호들의 의미를 제대로 파악하지 못한 것이 한 원인일 수 있으므로, 교사가 각 기호들의 의미를 학생들에게 명시하거나, 기호들의 의미에 대한 설명을 각 외적 표상 내에 제시할 필요가 있다. 오류를 가능한 덜 유발할 수 있는 기호들을 제시할 필요도 있다. 그러나 이 연구는 서술형 설문지에 의존하여 자료를 수집했으므로, 연계 오류가 발생한 원인을 심층적으로 밝히기에는 한계가 있었다. 따라서 이후에는 관찰이나 면담 등의 질적 연구 방법을 통해 연계 오류의 원인을 보다 심층적으로 탐색함으로써 학생들의 연계 과정 수준에 맞게 지도할 수 있는 효과

적인 방안을 모색해야 할 것이다. 또한, 다중 표상을 활용한 화학 개념 학습에서 유발되는 연계 오류가 실제로 학생들의 화학 개념 이해에 어떤 영향을 미치는지를 분석적으로 조사하는 연구도 진행될 필요가 있다.

둘째, 다음 교육 과정의 과학 교재를 개발하거나 현장 교사들이 학생들의 사고 과정을 고려하여 다양한 외적 표상들을 효과적으로 활용하는 방향에 대한 구체적인 지침을 제시할 수 있다. 즉, 학생들의 연계 오류 및 오개념을 예방하기 위해 이 연구를 통해 확보한 특정 외적 표상의 제한점과 그 외적 표상을 사용할 때 나타나는 학생들의 연계 오류 유형에 대한 정보를 다음 교육 과정의 과학 교과서나 교사용 지도서에 제시할 수 있을 것이다. 그 예로, 이 연구에서는 화살표에 대한 의미를 이해하지 못해 발생한 오류가 많았으므로, 교과서나 교사용 지도서에 화살표가 지닌 다양한 의미나 기능(한재영, 2006) 중 특정 외적 표상에서 의도한 화살표의 의미나 기능을 언급하지 않을 경우 발생할 수 있는 연계 오류의 유형을 제시할 수 있을 것이다. 또한, 화살표로 인한 오류를 감소시킬 수 있는 방안을 모색하는 연구를 진행하여 이를 교사용 지도서에 제시할 수도 있다.

셋째, 거시적, 미시적, 상징적 수준에서의 이해를 요구하는 화학 개념 학습의 독특한 과정을 규명함으로써 화학 개념 학습, 나아가 과학 개념 학습과 관련된 교육 이론들을 발전시키는데 중요한 시사점을 제시할 수 있다. 예를 들어, 이 연구를 통해 지금까지 자세히 알려지지 않았던 학생들의 외적 표상 연계 사고 과정을 보다 체계적으로 이해할 수 있을 것이다. 이 연구에서 제시하는 외적 표상들 간의 연계 오류 유형 분석틀을 통해 다중 표상 학습의 효과를 좀 더 이론에 기초하여 분석할 수도 있을 것이다.

이런 점에서 볼 때, 과학교육 관련 학회나 과학교사 연수를 통해 이 연구의 결과를 발표하거나 사범대학 및 교육대학의 관련 강좌에서 이 연구의 결과를 활용한 강의를 실시할 필요가 있다. 다음 교육 과정의 과학 교재를 개발하는데 참고할 수 있는 구체적인 지침서를 제작하여 교사나 교재 개발자에게 제공할 필요도 있다.

국문 요약

이 연구에서는 학생들이 현재의 과학 교과서에서 화학 개념 학습을 위해 제시된 외적 표상들을 연계하는 과정에서 범하는 오류 유형을 학생들의 장독립성·장의존성에 따라 조사했다. 1개 중학교 1학년 학생 196명

을 ‘보일의 법칙’을 학습하는 BL 집단과 ‘샤를의 법칙’을 학습하는 CL 집단으로 배치한 후, 장독립성-장의존성 검사를 실시했다. 각 집단 학생들에게 물질의 입자성이 강조된 글과 그림으로 해당 개념을 학습하게 한 후, 연계 과정 검사를 실시했다. 연구 결과, ‘불충한 연결’, ‘부적절한 연결’, ‘무분별한 연결’, ‘불가능한 연결’, ‘연결 불이행’의 5가지 연계 오류 유형이 나타났다. 이 중에서도 목표 개념과 관계없이 ‘연결 불이행’, ‘부적절한 연결’, ‘무분별한 연결’이 많이 나타났다. 장독립적 학생들과 장의존적 학생들이 범한 연계 오류의 빈도 사이에는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 이에 대한 교육적 함의를 논의했다.

참고 문헌

- 강훈식 (2006). 중학교 화학 수업에서 외적 표상의 유형 변환을 촉진하는 그리기와 쓰기의 효과 및 활용 방안. 서울대학교 대학원 박사 학위 논문.
- 강훈식, 김유정, 노태희 (2007). 제7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에서 외적 표상들의 활용 실태 분석. 한국과학교육학회지, 27(3), 190-200.
- 김경순, 신은주, 변순화, 노태희 (2006). 비유를 사용한 화학 개념 학습에서 유발되는 학생들의 대응 오류 분석. 한국과학교육학회지, 26(4), 592-600.
- 노태희, 윤미숙, 강훈식, 한재영 (2007). 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각 자료의 기호학적 분석. 대한화학회지, 51(5), 423-432.
- 박재원, 백성혜 (2004). 초등학교 과학 수업에 적용한 입자 모델의 컴퓨터 애니메이션 교수자료의 학습 효과. 초등과학교육, 23(2), 116-122.
- 유승아, 구인선, 김봉곤, 강대호 (1999). 기체의 성질에 대한 중, 고등학생들의 오개념에 관한 연구. 대한화학회지, 43(5), 564-577.
- 한재영 (2006). 과학 교과서에 사용된 화살표의 의미. 초등과학교육, 25(3), 244-256.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131-152.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317-337.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- de Jong, T., Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., Sime, J.-A., Van Someren, M., Spada, H., & Swaak, J. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics: The use of multiple representations in technology based learning environments. In M. Van Someren, P. Reimann, H. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (pp. 9-40). Oxford: Elsevier Science.
- Dwyer, F. M., & Moore, D. M. (1995). Effect of color coding and test type (visual/verbal) on students identified as possessing different field dependence levels. *Selected Readings from the Annual Conference of the International Visual Literacy Association*, Tempe, AZ. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 380078)
- Han, J., & Roth, W.-M. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro- and microworld. *Science Education*, 90(2), 173-201.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research on Science Teaching*, 34(9), 949-968.
- Lin, H.-S., Cheng, H.-J., & Lawrenz, F. (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education*, 77(2), 235-238.
- Linn, M. C., & Kyllonen, P. (1981). The field dependence-independence construct: Some, one, or none. *Journal of Educational Psychology*, 73(2), 261-273.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13(2), 125-139.
- Schnotz, W. (2005). Integrative model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237.
- Singer, J. E., Wu, H.-K., & Tal, R. (2003). Students' understanding of the particulate nature of matter. *School Science and Mathematics*, 103(1), 28-44.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005).

Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.

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.

Van Someren, M. W., Reimann, P., Boshuizen, H. P.

A., & de Jong, T. (1998). *Learning with Multiple Representations*. Oxford: Elsevier.

Veronikas, S., & Shaughnessy, M. F. (2005). An interview with Richard Mayer. *Educational Psychology Review*, 17(2), 179-189.

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492.

<부록 1> 도형찾기퍼즐의 예제

도 형 찾 기 퍼 즐

이 퍼즐은 **복잡한 그림**들 속에 숨어 있는 **간단한 도형**을 찾아보는 것입니다. 각 페이지 상단에는 간단한 도형이 하나 제시될 것이고, 그 아래에는 복잡한 그림 몇 개가 제시될 것입니다.

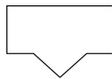
아래에 연습 문제가 주어져 있습니다. 복잡한 그림 하나에서는 이미 간단한 도형을 찾아 까맣게 칠했습니다. 남아 있는 복잡한 그림에서도 간단한 도형을 찾아 칠해 보십시오. 복잡한 그림들 속에 숨어 있는 간단한 도형은, 상단에 제시된 간단한 도형과 **모양, 크기, 방향이 모두 같아야** 한다는 점에 유의하십시오.

복잡한 그림들 속에서 일부 선들은 까맣게 칠하면서 가려질 수도 있으나, 간단한 도형의 외곽선은 그대로 남아 있어야 합니다. 각 페이지마다 **모든** 복잡한 그림들 속에는 간단한 도형이 적어도 **하나 이상** 숨어 있는데, **동일한 모양, 크기, 방향**의 것으로 하나씩만 골라 **칠하십시오**. 색깔 펜으로 **윤곽**을 표시해주십시오.

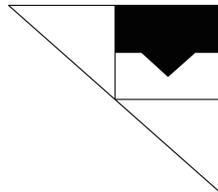
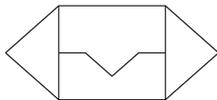
시간은 한 페이지 당 **1분씩** 주어지므로, 신속히 답하셔야 합니다.

연습 문제

<간단한 도형>



<복잡한 그림들>



지시가 있을 때까지 넘기지 마시오.

<부록 2> 보일의 법칙에 대한 연계 과정 검사

🔍 관찰해보자

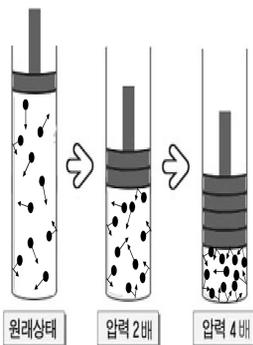
선생님의 시범 실험을 관찰하여 봅시다.

📖 공부해보자

아래의 글과 그림을 보고 일정한 온도에서 압력 변화에 따라 공기의 부피가 어떻게 되는지 생각해보자.

위 실험 결과에 의하면 실린더에 작용하는 압력이 2배로 커지면 실린더 속 기체의 부피는 1/2배로 줄어든다. 실린더에 작용하는 압력이 1/2배로 작아지면 부피는 2배로 늘어난다. 실린더 속 기체의 부피는 실린더에 작용하는 압력에 의해 줄어들기도 하고 증가하기도 하는 것을 알 수 있다.

기체의 압력이 생기는 이유는 기체 분자가 용기의 벽에 충돌하기 때문이다. 압력이 증가하면 기체의 부피가 줄어들어 기체 분자가 운동할 수 있는 공간이 줄어든다. 그러나 일정한 온도에서 기체의 부피가 감소하여도 기체 분자의 운동 속도는 일정하므로 기체 분자가 용기의 벽에 충돌하는 횟수는 증가하여 실린더 속 기체의 압력은 증가한다. 이때, 분자의 크기, 개수는 변하지 않고, 분자들은 압력과는 상관없이 모두 고르게 분포되어 있다.



📄 연결해 보자

아래 <보기>는 위의 글과 그림의 요소들을 제시한 것이다.

글 요소

- ① 실린더에 작용하는 압력
- ② 기체의 부피
- ③ 기체의 압력
- ④ 온도
- ⑤ 기체 분자의 운동 속도
- ⑥ 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 횟수
- ⑦ 분자의 크기
- ⑧ 분자의 개수
- ⑨ 분자의 분포

그림 요소

- 가. 실린더 공간
- 나. 원 크기
- 다. 원 개수
- 라. 원 색깔
- 마. 추의 개수
- 바. 화살표 방향
- 사. 화살표 길이
- 아. 꺾인 화살표 개수
- 자. 원들의 위치
- 차. 추의 모양
- 카. 용기 벽의 두께

[문제1] <보기>에 제시된 글과 그림의 요소들 중, 서로 관련 있는 글 요소와 그림 요소들을 각각 찾아서 적어보고, 어떻게 관련되어 있는지 아래 예시를 참고하여 자세히 설명해 보자.

(글) - (그림) (①~⑨) (가~카)	자세한 설명
예시 (③) - (카)	글에서 기체의 압력이 증가한다고 했으므로, 그림에서 왼쪽보다 오른쪽의 용기 벽의 두께가 증가한다.
() - ()	
() - ()	
기타	

[문제2] <보기>에 제시된 글 요소와 그림 요소들 중, 문제1에서 사용하지 않은 요소가 있다면 아래에 적고, 그렇게 답한 이유를 자세히 설명해 보자.

➡ 글 요소(① ~ ⑨)

기호	자세한 설명
()	
()	
기타	

➡ 그림 요소(가 ~ 카)

기호	자세한 설명
()	
()	
기타	