Journal of the Korean Chemical Society
2008, *Vol. 52, No. 5*
Printed in the Republic of Korea

다중 표상을 활용한 보일과 샤를의 법칙 개념 학습에서 유발되는 학생들의 연계 오류의 원인 탐색

강훈식† · 신석진 · 노태희*
서울대학교 화학교육과
†춘천교육대학교 과학교육과
(2008. 5. 12 접수)

Exploring the Causes of Students' Connecting Errors Induced in Learning Boyle's Law and Charles's Law with Multiple External Representations

Hunsik Kang†, Sukjin Shin, and Taehee Noh*
Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea
†*Department of Science Education, Chuncheon National University of Education, Chuncheon 200-703, Korea*
(Received May 12, 2008)

요 약. 이 연구에서는 다중 표상을 활용한 보일과 샤를의 법칙 개념 학습에서 유발되는 학생들의 연계 오류의 원인을 탐색했다. 이를 위해 연계 오류를 가진 중학교 1학년 15명을 대상으로 면담을 실시했고, 이를 전사하여 분석했다. 분석 결과를 토대로 연계 오류의 원인을 여섯 가지로 제시했다. 즉, (1) 분자의 성질을 잘못 이해하는 경우, (2) 그림 요소들의 관계를 잘못 파악하는 경우, (3) 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상을 잘못 전이하는 경우, (4) 그림 요소에 대한 학생들의 사전 경험이 교사의 의도와 일치하지 않는 경우, (5) 그림이 충분한 정보를 포함하지 않고 간단하게 표현되는 경우, (6) 글에 제시된 과학 용어 자체의 의미를 이해하지 못하는 경우 연계 오류가 유발될 수 있다. 이런 결과는 다중 표상을 활용한 보일과 샤를의 법칙 개념 학습에서 유발되는 학생들의 연계 오류를 줄여 그 개념에 대한 학생들의 이해를 향상시키는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

주제어: 연계 오류, 다중 표상, 보일의 법칙, 샤를의 법칙

ABSTRACT. The purpose of this study was to explore the causes of students' connecting errors induced in learning the Boyle's law and the Charles's law with multiple external representations. Fifteen seventh graders having connecting errors were selected and interviewed, and the interview transcripts were analyzed. On the basis of the results, the six causes of connecting errors were suggested, and were as follows; (1) misunderstanding on the particulate nature of matter, (2) inadequate understanding on the relationship of the pictorial elements, (3) mistranslation between the macroscopic and the microscopic external representations, (4) disagreement between the students' prior experiences and the teacher' intention about the pictorial elements, (5) pictorial representation with insufficient and simple informations, and (6) misunderstanding on the meaning of the scientific words in the texts. These results should be helpful in promoting students' understanding of the Boyle's law and the Charles's law by reducing their connecting errors induced in learning the concepts with multiple external representations.

Keywords: Connecting Error, Multiple External Representations, Boyle's Law, Charles's Law

서 론

대부분의 화학 개념에는 물질의 입자성과 같은 추상적인 개념이 포함되어 있어 직관적이고 경험적인 사고를 하는 학생들이 이를 이해하는데 어려움을 겪고 있다.[1,2] 이에 화학 개념 학습에서는 학생들의 화학 개념에 대한 이해를 돕기 위해 글 이외에도 실험이나 현상 등의 거시적 수준, 분자 그림이나 애니메이션 등의 미시적 수준, 공식이나 화학식 등의 상징적 수준에서의 다양한 외적 표상들이 사용되고 있다.[3-5] 최근에는 여러 외적 표상들이 각각 다른 정보를 제공하고 다른 인지 과정을 유도하므로 이들을 2개 이상 함께 제공하는 다중 표상 학습이 과학 개념 이해를 촉진한다는 주장에 기초하여 많은 연구자들이 다중 표상 학습에 주목하고 있다.[6-8]

선행연구에 의하면, 학생들은 외적 표상들을 제공받으면 외적 표상들의 관련 부분을 선택하여 연결 짓는 연계 과정을 거치며, 이 과정은 다중 표상 학습의 성공 여부를 결정하는데 매우 중요하다.[9,10] 하지만 학생들이 외적 표상들 사이의 연계 과정을 성공적으로 수행하는 일은 그리 쉽지 않다.[11,12] 예를 들어, 많은 학생들이 외적 표상의 의미를 과학 개념과 관련지어 이해하지 못하거나, 자신에게 친숙한 하나의 외적 표상에만 관심을 두는 경향이 있어 외적 표상들을 잘 연계하지 못했다.[13,14] 또한, 외적 표상인 글과 그림에서 대응되는 요소들을 연계하지 않는 '연결 불이행', 글과 그림에 공통적으로 포함된 정보인 공유 요소들 중 대응되지 않는 요소들을 연계하는 '부적절한 연결', 글과 그림의 공유 요소와 글 또는 그림에만 포함된 정보인 비공유 요소를 연계하는 '무분별한 연결' 등과 같은 다양한 연계 오류를 범하는 학생들이 많았다.[15] 따라서 다중 표상 학습이 효과적이기 위해서는 다양한 외적 표상들 사이의 연계 과정을 올바르게 이끌어 연계 오류를 줄여줄 수 있는 적절한 지도가 필요하다. 이를 위해서는 우선 학생들이 실제로 외적 표상들을 연계하는 과정에 기초하여 연계 오류가 발생하는 원인을 심층적으로 조사할 필요가 있다.

학생들이 외적 표상들을 올바르게 연계하기 위해서는 각 외적 표상 중에서 과학 개념과 관련되는 요소를 파악한 후, 작동 기억 내에서 각각의 요소들에 대해 내적 표상을 구성하는 과정을 거쳐야 한다.[9,10,16] 그런데, 학생 개개인의 사전 지식이나 경험이 달라 같은 외적 표상이 제공될지라도 때로는 개인에 따라 다른 해석 과정을 거치므로 각 외적 표상에 대해 구성한 의미가 다를 수 있다.[3] 따라서 학생들의 연계 오류는 외적 표상에 대해 학생들이 구성한 의미와 외적 표상을 제시한 교사가 의도한 의미의 차이에 기인한 것일 수 있다. 또한, 외적 표상들이 과학 개념의 모든 측면을 표현하지 못하는 한계가 있으므로,[14] 학생들이 제공된 외적 표상의 요소들 중에서 과학 개념과 직접적으로 관련이 없는 요소들을 고려하여 외적 표상들을 이해했기 때문에 다양한 연계 오류가 나타났을 가능성도 있다. 따라서 이런 측면들을 고려하여 연계 오류의 원인을 탐색한다면 외적 표상들의 잘못된 사용을 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 학생들의 연계 오류를 예방하여 과학 개념 이해를 향상시킬 수 있는 다중 표상 학습 전략을 개발하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

하지만 지금까지 다중 표상 학습과 관련하여 진행된 연구들의 대부분은 특정 교수 전략의 효과를 단순히 정량적으로 조사하는 수준에 머무르고 있다.[6,7,10] 일부 연구에서는 학생들이 외적 표상들을 해석하고 연계하는 과정에서의 오류를 조사했으나, 단순히 연계 오류를 단편적인 사례만으로 제시하거나 연계 오류를 유형화시켜 비율만을 제시했을 뿐,[15,17,18] 연계 오류의 원인에 초점을 두고 분석적으로 바라본 연구는 거의 없었다. 따라서 이 연구들만으로는 학생들이 외적 표상들을 실제로 해석 및 연계하는 과정과 이 과정에서 발생되는 오류의 원인에 대한 구체적인 정보를 얻기에는 한계가 있다. 질적 연구의 관점에서 표상의 의미는 제시된 현상에 대해 학생들이 나름대로 내적 재현을 하는 것이므로,[19] 학생들의 외적 표상에 대한 해석 및 연계 과정과 이 과정에서의 오류 원인을 질적 연구의 관점에서 조사한다면 유용한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

이에 이 연구에서는 연계 오류를 지닌 학생들이 다양한 외적 표상들을 해석 및 연계하는 과정을 질적 연구 방법을 통해 심층적으로 조사함으로써 연계 오류의 원인을 탐색하고자 했다.

연구 방법

연구 대상

서울시에 소재한 중학교의 1학년 6개반 196명을

선정하여 BL(Boyle's Law) 집단과 CL(Charles's Law) 집단으로 나눈 후, 각각 '보일의 법칙'과 '샤를의 법칙'에 대한 학습과 연계 과정 검사를 실시했다. 연계 과정 검사에서 나타난 학생들의 응답을 선행연구[15]에서 제시한 연계 오류 분석 방법에 따라 분석하여 연계 오류를 가진 학생들을 분류했다. 즉, 글과 그림의 공유 요소들 중 대응되는 요소들을 올바르게 연계했지만, 그 요소 간의 관계에 대한 설명이 충분하지 않거나 잘못된 '불충분한 연결', 글과 그림의 공유 요소들 중 대응되지 않는 요소들을 연계하는 '부적절한 연결', 글과 그림의 공유 요소와 비공유 요소를 연계하는 '무분별한 연결', 글의 비공유 요소와 그림의 비공유 요소를 연계하는 '불가능한 연결', 연계해야할 글과 그림의 공유 요소를 연계하지 않는 '연결 불이행'의 연계 오류를 보인 학생들을 분류했다.

발생 비율이 높았던 연계 오류 유형인 '연결 불이행(BL 59명, CL 74명)', '부적절한 연결(BL 43명, CL 34명)', '무분별한 연결(BL 39명, CL 29명)'을 보인 학생들 중에서, 본인의 동의를 얻은 20명을 대상으로 연계 과정 검사를 실시한 당일 면담을 실시했다. 면담 과정에서 자신의 생각을 말로 잘 표현하지 못한 학생 4명과 연계 오류가 아닌 것으로 나타난 학생 1명은 이 연구 목적에 부합하는 정보를 제공하지 않는다고 판단하여 분석에서 제외했다. 최종 연구 대상 15명 중 '연결 불이행', '부적절한 연결', '무분별한 연결'의 연계 오류를 보인 학생은 각각 5명, 7명, 10명이었으며, 이는 각각 해당 연계 오류를 보인 학생들의 4%, 9%, 15%이다. 이 때, 두 개 이상의 연계 오류를 보인 학생들이 있었으므로, 연계 오류를 보인 학생들의 총 수(22명)는 최종 연구 대상 수(15명)보다 많았다.

연구 절차

다중 표상 학습에서 외적 표상인 글과 그림을 연계하여 이해하는 이론적인 과정, 즉 글과 그림의 의미를 각각 해석하는 과정과 글과 그림을 연계하는 과정, 글과 그림에 포함된 정보들을 학습자의 사전 지식이나 경험 등과 통합하는 과정[9,10,16]을 바탕으로 면담 시나리오를 작성했다. 면담 질문의 타당성과 면담 진행 과정을 점검하고 면담자들의 면담 기술을 훈련하기 위해 본 면담을 실시하기 한 달 전에 연구 대상과 같은 학년의 학생들을 대상으로 예비 면담을 수차례 실시했다. 2명의 면담자가 각각 다른 학생들을 예비 면담하는 과정을 녹음·녹화하고, 이 자료들을 모든 연구자들이 분석하고 논의하는 과정을 통해 최종 면담 시나리오 및 과정을 확정했다.

본 연구 대상을 선정하기 위해 선행연구[15]를 참고하여 해당 개념에 대한 학습과 연계 과정 검사를 실시했다. 즉, 교사는 학습과 검사 전에 학생들에게 학습 및 검사 과정과 방법에 대해 간단히 설명한 후 학습지와 검사지를 배부했다. 학생들은 교사가 보여준 거시적 수준에서의 시범 실험을 분자 수준에서 표현한 글과 그림으로 구성된 학습지를 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. 연계 과정 검사지는 학습지의 글과 그림에 공통적으로 포함된 정보인 공유 요소와 글 또는 그림에만 포함된 정보인 비공유 요소를 나열한 보기에서 서로 대응되는 요소와 대응되지 않는 요소들을 적고 그렇게 답한 이유를 서술하는 형식으로 구성했다. 대응되는 공유 요소의 예로, 보일의 법칙을 설명하는 그림 요소 중 화살표의 길이는 글 요소 중 기체 분자들의 운동 속도와 대응되는 공유 요소이다. 반면, 원의 색깔이나 화살표의 방향은 대응되는 글 요소가 없는 그림의 비공유 요소이다. 학습지와 연계 과정 검사지의 일부를 부록에 제시했다 연구자 중 1인이 학생들의 학습 및 연계 과정 검사를 참관하여 학습과 검사가 계획대로 진행되었음을 확인했다.

예비 면담을 실시했던 2명의 연구자가 최종 면담 시나리오를 바탕으로 본 연구 대상에게 면담을 실시했다. 면담자는 연구 대상과 래포를 형성한 후 원인 연쇄 분석법을 참고하여 반구조화된 형식[20]으로 면담을 진행했다. 즉, 글과 그림의 요소들을 해석하는 과정과 이를 연계하는 과정, 이 과정들과 관련된 사전 지식이나 경험 등에 대해 개방형 질문을 한 후, 연구 대상이 각 질문에 대한 본인의 생각을 자유롭게 말하고, 그렇게 말한 이유를 자세히 설명하도록 했다. 또한, 면담자가 질문 내용을 미리 외워 놓고 대화 형식으로 면담을 진행하면서 질문지를 체크리스트로 사용하여 빠진 항목 없이 질문하는 방법[20]을 사용함

으로써 면담의 타당도를 높이고자 했다. 면담은 개인 당 25~30분 정도 소요되었으며, 면담자는 면담 과정을 모두 녹음·녹화했고 면담 과정에서 나타난 연구 외적인 상황이나 연구 대상의 특이한 행동 및 특징 등을 관찰 노트에 작성했다.

자료 분석

면담이 끝난 후에 녹음·녹화된 자료 및 관찰 노트를 바탕으로 전사본을 작성했다. 전사본은 학생의 말을 기본으로 하고, 학생의 행동이나 표정 등을 ( )안에, 직접 말로 표현하지는 않았으나 이후 면담 과정에서 나타났거나 맥락상 포함될 표현, 부가적인 설명을 [ ]안에 나타내는 방법으로 작성했다. 이렇게 작성된 전사본은 다른 면담자의 확인 과정을 거쳐 최종 완성했다.

연계 오류의 원인을 조사하기 위해, 전사본을 바탕으로 연계 오류를 지닌 학생들이 글과 그림의 각 요소들에 대해 구성한 의미를 분석했다. 또한, 글과 그림의 요소들을 연계하는 과정과 이에 영향을 주는 요인을 다중 표상 학습 관련 이론이나 문헌들[9,10,15,16]을 토대로 분석하여 귀납적으로 항목화했다. 즉, 전사본을 반복적으로 검토하여 가능한 원인들을 추출한 후, 이들 중 관련 있는 것끼리 묶어 주장을 생성했다. 연구 결과의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해, 수집된 자료들은 연구자들이 공동으로 분석하고 해석했으며, 초기 분석 결과는 질적 연구 전문가에게 수차례 자문을 의뢰하여 수정·보완했다. 그 후, 연구자들이 공통적으로 동의한 사항에 한하여 결과 및 주장, 결론을 도출하고, 이를 과학교육 전문가, 과학교육 전공 대학원생, 현직 과학 교사 10인 이상으로 구성된 수차례의 연구 회의를 통해 수정·보완했다.

연구 결과 및 논의

면담을 분석한 결과, 외적 표상들 사이의 연계 오류의 발생 원인을 여섯 가지 주장들로 제시할 수 있었다. 이후에는 각각의 주장과 그 예시를 제시한 후, 이를 뒷받침하기 위해 학생들의 글과 그림에 대한 해석 및 외적 표상 연계 과정을 교사의 의도나 해당 학습의 맥락과 비교하여 기술하고 이 과정에서 발생한 오류의 원인을 다중 표상 학습 관련 이론이나 문헌들[9,10,15,16]을 고려하여 해석했다. 또한, 제시한 연계 오류의 발생 원인을 바탕으로 연계 오류를 예방할 수 있는 방안도 함께 논의했다. 각 주장의 예시를 제시할 때, 학생들의 명칭은 주장의 순서에 따라 임의적으로 A~H로 부여했다.

주장 1. 미시적 수준의 그림을 해석하는 과정에서 분자의 성질을 잘못 이해하는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

분자 보존과 관련된 성질을 잘못 이해하는 경우

학생들이 기체의 법칙을 분자 수준에서 표현한 그림을 해석하는 과정에서 분자의 크기나 모양과 같이 분자 보존과 관련된 성질을 잘못 이해하면 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, 샤를의 법칙을 설명하는 그림에서는 기체 분자를 크기가 일정한 원으로 표현했지만, A 학생은 기체의 부피가 증가하기 때문에 그림에 제시된 원의 크기도 커진다고 생각하여 글의 공유 요소인 기체의 부피와 그림의 공유 요소인 원의 크기를 잘못 연계하는 '부적절한 연결' 오류를 범했다.

면담자: 이렇게 [기체의 부피가 증가하면 원의 크기가 커진다고] 생각한 이유가 무엇인지 설명해 줄 수 있니?

A 학생: 기체의 부피가 커지면요. 그림에서 나타난 원이 기체 분자를 뜻하는 거니까요. 그 원의 부피도 커진다고 생각했어요.

면담자: 조금 더 구체적으로 설명해 줄 수 있니?

A 학생: 부피가 커지면, 거기 있는 분자들이 더 커지기 때문에 그 분자들이 이루고 있는 물질이… 그 분자가 커져서 그 물질까지 더 커진다고 생각했어요.

이 사례는 학생이 자신에게 익숙하지 않고 추상적인 분자 그림을 통해 기체 분자 자체의 부피와 같은 분자 보존과 관련된 성질에 대해 내적으로 의미를 구성하는 과정에서 교사의 제시 의도와는 다르게 잘못 해석하여 연계 오류를 범한 것으로 보인다. 선행연구에 의하면 많은 학생들이 기체 분자 자체의 부피를 고려하기 때문에 온도가 증가할 때 기체 분자 자체의 크기가 커진다는 오개념을 가지고 있으므로,[1] 이런 오개념으로 인해 연계 오류를 범할 가능성도 크다. 따라서 이런 연계 오류를 예방하기 위해서는 교사가 분자 보존과 관련된 성질에 대한 학생들의 오

개념을 미리 파악하여 바로 잡아준 후, 학생들에게 분자 수준에서의 그림을 해석하도록 안내할 필요가 있다.

분자의 동적인 성질을 잘못 이해하는 경우

정적인 그림으로는 분자의 움직임을 직접적으로 보여줄 수 없는 한계가 있으므로, 과학 교과서에서는 분자에 연결된 화살표나 그림자 등의 방법들을 통해 분자의 움직임을 표현하고 있다.[2] 그러나 이런 방법들을 통해 나름대로 분자의 움직임을 해석하는 과정에서 분자의 동적인 성질에 대해 잘못 이해하거나 분자의 움직임 자체를 인식하지 못하는 학생들은 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, 샤를의 법칙을 설명하는 그림에서는 기체 분자의 운동 속도를 기체 분자에 연결된 화살표의 길이로 표현했지만, B 학생은 이런 특징을 파악하지 못하고, 기체 분자들의 속도가 증가하여 용기 벽이나 다른 기체 분자들과 충돌하게 되면 기체 분자의 색깔이 달라진다고 생각했다. 이로 인해 이 학생은 글의 공유 요소인 기체 분자의 운동 속도와 그림의 비공유 요소인 원의 색깔을 연계하는 '무분별한 연결' 오류를 범했다.

면담자: 기체 분자의 운동 속도를 원의 색깔로 연결한 이유가 무엇인지 설명해 주겠니?

B 학생: 기체 분자의 운동 속도가 빨라짐에 의해 빨리빨리 왔다 갔다 하니까, 그렇게 움직이는 속도가 빨라서 움직이면서 색이… [기체 분자들이] 부딪히기도 해서 색이 조금씩 변할 수 있고 열 때문에 색이 바뀐다든가 아니면 [기체 분자들이] 빨리 움직이면 그 무슨 우주에서 무슨 물체가 빠른 속도로 떨어지면 막 불이 붙어서 조금씩 달라지듯이 기체 분자도 부딪히면 다른 것으로 인해서 색깔이 바뀐다고 생각했어요.

면담자: 색깔이 바뀌는 것에 대해 조금 더 구체적으로 설명해 주겠니?

B 학생: 갑자기 활동을 하니까 플라스크 안에서 서로 들이받기도 하고 벽에 가서 안에서 튕겨서 나중에 색깔이 조금씩 변하고 아니면 기체 분자가 조금씩 변하면서 색깔이 바뀌는 것 같아요.

따라서 분자의 동적인 성질에 대한 잘못된 이해로 유발되는 연계 오류를 예방하기 위해서는 분자의 동적인 성질을 직접적으로 표현해 줄 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 예를 들어, 교사는 학생들에게 분자 수준의 애니메이션[6,7]을 단독으로 또는 정적인 그림과 함께 보여주거나, 정적인 그림에서 분자의 동적인 성질을 표현한 요소들의 의미를 자세히 설명해 줄 필요가 있다.

분자들 사이의 상호작용을 고려한 경우

기체의 법칙을 분자 수준에서 표현한 그림을 해석하는 과정에서 그림에 표현되지 않는 분자들 사이의 인력과 반발력 같은 상호작용을 고려하면 연계 오류가 유발될 수 있다. 예를 들어, 보일의 법칙을 설명하는 그림에서는 기체 분자들 사이에 상호작용이 없다고 가정하여 이를 표현하지 않았지만, C 학생은 이 그림을 해석하는 과정에서 기체 분자들 사이의 상호작용을 고려했기 때문에 연계 오류를 범했다. 즉, 이 학생은 기체 분자들이 가까워지면 서로 붙어 질량이 커지거나 충돌하게 되어 운동 속도가 변하므로 기체 분자의 운동 속도를 그림으로 명확히 나타낼 수 없다고 생각했다. 이로 인해 이 학생은 글의 공유 요소인 기체 분자의 운동 속도를 이와 대응되는 그림의 공유 요소인 화살표의 길이와 연계하지 않는 '연결 불이행'의 오류를 범했다.

면담자: 왜 분자들의 속도가 서로 다를 수도 있다고 생각했니?

C 학생: 안에 기체가 있는데 그것들이 하나는 … 좀 만약에 분자가 돌아다니다가 같이 붙어서 약간 무거워 질 수도 있고 하나는 그 안에 있는 분자로 인해 서로 튕기면서 좀 더 빨라질 수 있는 거구… 그렇게 생각했어요.

면담자: 방금 무거워 진다고 했는데 그게 어떤 의미인지 쉽게 설명해 줄 수 있니?

C 학생: 기체가 멀리 떨어져 있는데요, 그게 압력으로 인해서 원래 큰 거면 똑같이 있었는데 계속 줄어들면서 조그마한 곳에 갇혀있으니까, [분자들이] 돌아다니다가 같이 붙을 수가 있으니까요. 그게 좀 무거워 진다고 생각했어요.

위의 사례와 같이 학생들이 외적 표상들을 해석할 때 외적 표상에서 의도하지 않거나 가정하고 있는 측면들을 고려한 것이 연계 오류 발생의 한 원인이 될 수 있다. 따라서 교사가 학생들에게 외적 표상을 제

시할 때, 외적 표상들의 기본적인 가정이나 전제 조건들도 학생들의 수준을 고려하여 적절하게 알려준다면 그 가정이나 전제들로 인해 유발되는 연계 오류를 예방하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

주장 2. 미시적 수준의 그림을 해석하는 과정에서 그림 요소들의 관계를 잘못 파악하는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

그림 요소들의 관계를 잘못 이해하고, 이들의 차이점을 과학 개념과 관련지어 파악하지 못할 경우에는 글과 그림의 요소들 중 서로 대응되지 않는 요소들을 연계하는 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, 보일의 법칙을 설명하는 그림에서는 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 것을 전체 길이가 일정한 꺾인 화살표로 표현했지만, D 학생은 화살표의 길이에 대한 의미화 과정에서 화살표의 길이가 그림의 다른 요소인 실린더의 공간과 관련이 있다고 생각하여 화살표의 길이를 기체 분자가 이동할 수 있는 거리로 해석했다. 이로 인해, 충돌 횟수가 많은 실린더에서는 기체 분자가 움직일 수 있는 공간이 작아 화살표의 길이가 짧아진다고 생각하게 되어, 글의 공유 요소인 충돌 횟수와 그림의 공유 요소인 화살표의 길이를 연계하는 '부적절한 연결' 오류를 범했다.

면담자: 글 요소인 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 횟수를 화살표 길이와 연결했는데, 두 요소가 서로 관련 있다고 생각한 이유는 무엇이니?

D 학생: 분자가 움직이면서 충돌하는 횟수가 많아지면 벽에 부딪히게 되니까, 부딪히게 되면서 길이가 짧아지는 것 같아요.

면담자: 그림 요소인 화살표의 길이가 의미하는 것은 무엇이라고 생각했니?

D 학생: 분자가 공간이 많이 좁으니까, 많이 이동할 수 없을 것 같아서…… 벽에 충돌하는 횟수가 증가하는 것은 공간이 좁다는 것에서요. 분자가 많이 이동할 수 없게 되서 화살표가 짧다고 생각했어요.

면담자: 화살표 길이가 짧아진다고 하는 것이 무엇을 의미한다고 생각했니?

D 학생: 만약에 충돌횟수가 적으면 분자가 용기에 있는 벽까지 이동할 수 있는 거리가 많아서 화살표가 더 길게 나타날 수 있는 것 같았는데 충돌횟수가 늘어나게 되면 공간이 좁으므로 거기까지 벽에 가서 충돌하는 데까지 [화살표가] 더 줄어들 것 같아요.

기호학적 관점에 의하면, 특정 그림 요소의 의미는 같은 맥락 속에 있는 다른 그림 요소들과의 관계를 통해 알 수 있다.[22,23] 다중 표상 학습에서 제시된 그림의 요소들도 각각 하나의 기호이므로, 그림의 의미를 이해하기 위해서는 그림 요소들의 관계를 올바르게 파악한 후 각각의 그림 요소에 대해 의미를 구성해야 한다.[21,24] 따라서 그림 요소들의 관계 파악이 잘못되어 유발되는 연계 오류를 예방하기 위해서는 학생들이 외적 표상 요소들의 관계를 올바르게 파악하도록 도와줄 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다. 교사가 학생들에게 외적 표상 요소들의 의미 및 그 관계를 미리 명시해주거나, 외적 표상의 한 요소를 조작하면 외적 표상의 다른 요소가 변하는 형태의 애니메이션을 개발하여 제공하는 것이 이를 위한 방안이 될 수 있다.

주장 3. 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상을 잘못 전이하는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

실험 등의 거시적 수준과 분자 그림 등의 미시적 수준의 외적 표상들이 제공될 때, 학생들은 이 두 수준의 외적 표상들을 전이하는 과정을 통해 과학 개념을 이해하게 된다.[4] 만일 이 전이 과정에서 거시적 수준의 외적 표상을 통해 관찰한 현상과 미시적 수준의 외적 표상에서 의도한 분자 성질이 완전히 일치한다고 생각한다면 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, E 학생은 글과 그림의 대응 요소인 기체의 부피와 풍선의 크기를 관련짓기는 했지만, 풍선과 원의 모양의 표면적 유사점에 근거하여 실험에서 풍선이 커짐에 따라 풍선의 색깔이 옅어지는 것처럼 그림에서 기체 분자를 표현한 원의 색깔도 옅어진다고 생각했다. 이로 인해 이 학생은 글의 공유 요소인 기체의 부피를 그림의 비공유 요소인 원의 색깔과도 연계하는 '무분별한 연결' 오류를 범했다. 또한 이 학생은 풍선의 색이나 기체 분자의 색과 같이 글에 제시되지 않은 요소와 그림의 비공유 요소인 원의 색깔을 연계하는 오류도 범했다. 즉, 두 수준의 외적 표상들의 표면적 유사성이 이들 사이의 잘못된 전이 과

정을 유발하여 연계 오류를 발생시킨 것으로 해석할 수 있다.

면담자: 기체의 부피가 커지면 원 색깔이 연해진다고 답한 이유에 대해서 구체적으로 설명해 주겠니?
E 학생: (…중략…) 기체의 부피가 커지면 색깔이 진했던 게요. 색깔이… 커지니까 더 넓어져서 연해져서…설명하기 쫌 이상한데.
면담자: 기체의 부피가 커진다는 것이 그림에 어떻게 표현된 것 같니?
E 학생: 풍선이 커지는 거요.
면담자: 원의 색깔이 나타낸 의미가 무엇이라고 생각하니?
E 학생: 음… 분자의 색깔?? (의아해하면서) 아닌가? 풍선의 색깔인 것 같기도 하고 분자의 색깔인 것 같기도 하고.
면담자: 원의 색깔이 연해진다는 의미는 무엇이라고 생각하니?
E 학생: 부피가 커지면 연해진다.
면담자: 그렇게 생각한 이유를 구체적으로 설명해 줄래?
E 학생: 풍선의 크기가 늘어날 수 있잖아요. 풍선을 불면은 진했던 게 연해지니까. [풍선이] 노란색이면 진하니까, [풍선을] 불면 불수록 연노랑이 되니까.
면담자: 원의 색깔이 연해지는 것과 풍선의 색깔이 연해지는 것이랑 어떻게 관련이 있니?
E 학생: 그 풍선하고 분자가요… 동그랗다.

화학 개념을 보다 심층적으로 이해하기 위해서는 거시적, 미시적, 상징적 수준의 외적 표상들의 올바른 전이 과정이 중요하다.[5] 그러나 거시적 수준에서의 변화는 미시적 분자 하나의 성질만으로 설명되는 것이 아니라 분자들의 운동이나 분자들 사이의 인력과 반발력 등과 같은 분자 속성들 사이의 다양한 상호작용의 결과로 설명된다.[25] 또한, 이런 특성은 학생들의 인식 범위를 벗어나므로,[26] 위의 사례와 같이 학생들이 올바르게 두 수준의 외적 표상들을 전이하거나 이를 통해 목표 개념을 이해하는 것은 쉽지 않다고 보고된다.[5,17] 따라서 학생들에게 두 수준의 외적 표상들의 차이점을 알려주고, 미시적 수준에서의 변화가 어떻게 거시적 수준의 변화를 설명할 수 있는지를 자세히 설명해 준다면, 두 수준의 외적 표상들 사이의 올바른 전이 과정을 촉진하여 잘못된 전이 과정으로 인해 유발되는 연계 오류를 예방할 수 있을 것이다.

주장 4. 그림 요소에 대한 학생들의 사진 경험이 교사의 의도와 일치하지 않는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

학생들은 제시된 외적 표상 요소들의 형태가 자신이 과거에 경험했던 것과 유사한 경우 과거의 경험에 비추어 그 의미를 해석한다.[27] 따라서 그림 요소의 형태가 학생들이 과거에 경험했던 것과 유사하나 그 의미가 서로 다른 경우, 학생들은 교사의 의도와는 달리 자신의 과거 경험대로 이를 잘못 해석하여 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, F 학생은 샤를의 법칙을 설명하는 그림에 제시된 화살표의 의미를 단지 방향만을 나타내는 것으로 해석하여 글의 공유 요소인 기체 분자의 운동 속도와 연계하지 않는 '연결 불이행'의 오류를 범했다.

면담자: 화살표의 길이가 의미하는 것은 무엇이니?
F 학생: 그냥 그림 아니에요? 그냥 그린 그림.
면담자: 그렇게 생각한 이유는 무엇이니?
F 학생: 화살표가… 단지 기체 분자가요. 일루 간다는 것만 뜻하지… 길이가… 그냥 이렇게 일루 간다는 것만 뜻해요.
면담자: 평소 때 화살표는 무슨 의미로 쓰이는 것 같니?
F 학생: 그냥 이쪽을 보라는 그림으로…(의아해하면서) 그렇게 쓰이죠.

초등학교 과학 교과서에서는 약 3차시마다 화살표가 사용되는데, 이 때 화살표는 사물의 움직임이나 방향 또는 활동의 순서 등을 표현하기 위해 사용되었을 뿐,[28] 샤를의 법칙을 설명하는 그림에서와 같이 화살표의 길이를 이용하여 물체의 빠르기를 표현하지는 않았다. 이런 점에서 볼 때, 이 학생은 본 연구에서 사용된 화살표의 의미를 초등학교에서 배운 '방향을 나타내는 화살표'에 비추어 해석하여 이와 같은 연결 불이행의 오류를 범했을 가능성이 있다. 따라서 이런 연계 오류를 예방하기 위해서는 학생들이 교사의 의도대로 그림 요소의 의미를 해석하도록 해야 할 것이다. 이를 위해 그림을 구성하는 과정에서 그림의 요소들을 학생들의 과거 경험에 맞추어 사용하거나 그렇게 하지 못할 경우 그림 요소의 의미를 학생들에게 명시해줄 필요가 있다.

주장 5. 그림이 충분한 정보를 포함하지 않고 간단하게 표현되는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

그림이 충분한 정보를 포함하지 않고 간단하게 표현되어 있으면 학생들은 그림의 의미를 교사의 의도와는 다른 방향으로 해석함으로써 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, 보일의 법칙을 설명하는 그림에서는 압력의 변화를 추의 개수의 변화로 표현했지만, G 학생은 이를 해석하는 과정에서 추의 그림에 질량이 표현되지 않아 추의 개수 변화만으로는 압력의 변화를 나타낼 수 없다고 생각하여 이 두 요소들을 연계하지 않는 '연결 불이행'의 오류를 범했다.

면담자: 글 요소인 실린더에 작용하는 압력은 서로 관련 있는 그림 요소가 없다고 생각했는데, 그 이유에 대해서 설명해 주겠니?

G 학생: 실린더에서 작용하는 압력은 뭔가 누르는 거잖아요. 그것이 [추의] 개수일 수도 있는데, 개수는 무게가 약하면 그 개수가 아무리 많아도 잘 눌리지 않으니까, 실린더 안에 받는 압력은 무게로 인해서 눌리는 것이기 때문에 그것이랑 상관이 있다고 했는데, 그림 요소에서 추의 무게가 없어서 배제했어요.

면담자: 추의 무게라고 했는데, 만약에 추의 무게가 그림에 나타난다면 어떻게 나타날 것 같니?

G 학생: 추가 있고 거기 중간에 글씨로 몇 g으로 쓰여 있어야 할 것 같아요.

인지적 부담 이론에 의하면, 시각 자료에 학습자의 제한된 인지 용량을 초과하는 정보들이 포함되어 있으면 학습 효과가 감소된다.[29] 그러나 위 사례와 같이 그림에 정보가 충분하게 제시되지 않고 간단하게 표현될 경우에는 오히려 학생들이 그림의 의미를 자신의 사전 지식과 관련지어 복잡하게 해석하여 연계 오류가 발생할 수 있다. 특히, 외적 표상과 관련된 사전 지식을 많이 지닌 학생들은 외적 표상의 의미를 잘못 이해할 가능성이 크다고 보고되었으므로,[24] 이런 연계 오류 발생 가능성도 크다고 할 수 있다. 따라서 학생들의 인지 용량을 고려하여 인지적 부담을 크게 주지 않는 선에서 그림 요소들을 구체적으로 표현해 준다면 이런 연계 오류를 줄일 수 있을 것이다.

주장 6. 글에 제시된 과학 용어 자체의 의미를 이해하지 못하는 경우 연계 오류가 발생할 수 있다.

과학 개념을 설명하는 글에 제시된 과학 용어들은 학생들에게 친숙하지 않으므로,[30] 어휘 수준이나 언어 능력이 부족한 학생들은 과학 용어 자체의 의미를 올바르게 이해하지 못할 수 있고, 이로 인해 연계 오류를 범할 수 있다. 예를 들어, H 학생은 글의 공유 요소인 '분포'의 의미를 올바르게 이해하지 못해 이와 대응되는 그림의 공유 요소를 연계하지 않는 '연결 불이행'의 오류를 범했다.

면담자: 이렇게 [분자의 분포가 관련이 없다고] 생각한 이유는 무엇이니?

H 학생: 제가 분자의 분포라는 것을 자세히 모르거든요? 그래서 관련 있는 게 없다고 해서 설명을 썼어요.

면담자: 처음에 글 요소인 분자의 분포라는 것을 읽고 어떤 생각을 했니?

H 학생: 처음에… 딱 봤을 때 아무 생각이 없었는데… 분포라는 게 뭐라고 하지? … 실린더 안의 어느 정도 따로따로 분포…

학생들이 과학 용어 자체의 의미를 이해하지 못하면 과학 개념을 설명하는 글의 문맥의 구조나 법칙을 파악하지 못해 그 글을 이해하기 어렵다.[30] 또한, 학년이 높아질수록 추상적이고 복잡한 과학 개념이나 용어를 다루므로, 학생들이 충분한 언어 능력을 가지고 있어야 올바르게 글과 그림을 연계하여 과학 개념을 이해할 수 있다.[31] 그러나 위의 사례와 같이 '분포'는 추상성 수준이 높아 학생들이 그 의미를 파악하기 어려운 과학 용어이므로,[30] 어휘 수준이나 언어 능력이 부족한 중학교 1학년 학생이 이를 이해하기는 쉽지 않았고, 이로 인해 연계 오류를 범한 것으로 해석된다. 따라서 과학 용어에 대한 이해 부족으로 인해 유발되는 연계 오류를 예방하기 위해서는 학생 수준에 맞는 용어와 표현을 사용하거나 글과 그림을 제시하기에 앞서 학생들이 이해하기 어려워하는 용어와 표현들을 파악하여 이를 학생들에게 자세히 설명해 줄 필요가 있다.

결론 및 제언

이 연구에서는 학생들이 다중 표상을 활용한 보일과 샤를의 법칙 개념 학습에서 제공된 외적 표상들을 연계하는 과정에서 범하는 오류의 원인을 질적 연구 방법을 통해 심층적으로 조사했다. 연구 결과, 그 연계 오류의 원인을 여섯 가지 주장으로 제시할 수 있었으며, 이에 대한 결론 및 시사점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 미시적 수준의 분자 그림을 해석하는 과정에서 분자의 크기, 동적인 성질, 분자들 사이의 상호작용 등과 같은 분자의 성질을 잘못 이해하는 경우 다양한 연계 오류가 유발될 수 있다. 따라서 학생들이 분자 그림을 올바르게 해석할 수 있도록 하기 위해 교사는 학생들에게 분자 수준의 애니메이션을 보여주거나 분자 그림의 가정 또는 전제 조건들을 미리 알려줄 필요가 있다. 둘째, 외적 표상 요소들의 관계를 잘못 파악하는 것이 연계 오류 발생의 한 원인일 수 있다. 따라서 교사는 학생들에게 각 외적 표상 요소들의 의미 및 관계를 미리 명시해주거나 특정 외적 표상 요소의 조작으로 다른 외적 표상 요소의 변화를 관찰할 수 있는 형태의 애니메이션을 제공하는 등의 방법들을 통해 학생들이 외적 표상 요소들의 관계를 잘 파악할 수 있도록 도와주어야 할 것이다. 셋째, 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상들의 표면적 유사성을 고려하여 두 수준의 외적 표상들을 잘못 전이하는 학생들이 연계 오류를 범할 수 있다. 따라서 교사는 학생들에게 두 수준의 외적 표상들의 차이점을 직접 알려주거나 거시적 수준에서의 변화를 미시적 수준에서의 변화와 관련지어 설명해 줄 필요가 있다. 넷째, 학생들이 외적 표상 요소들의 의미를 과거의 비슷한 경험에 비추어 교사의 의도와는 다른 방향으로 해석하면 연계 오류를 범할 수 있다. 따라서 교사는 학생들의 과거 경험을 고려하여 외적 표상을 구성해야 하고 외적 표상 요소들의 의미가 학생들의 과거 경험과 다를 경우에는 학생들에게 그 의미를 명시해 줄 필요가 있다. 다섯째, 외적 표상에 충분한 정보가 포함되지 않고 간단하게 표현되어 있으면 학생들이 이를 자신의 사전 지식이나 경험과 관련지어 복잡하게 해석함으로써 연계 오류를 범할 수 있다. 따라서 인지적 부담을 크게 주지 않는 선에서 외적 표상들을 구체적으로 표현해 줄 필요가 있다. 마지막으로 추상성 수준이 높은 과학 용어에 비해 학생들의 어휘 수준이나 언어 능력이 부족하여 학생들이 과학 용어 자체를 이해하지 못한 것도 연계 오류의 한 원인일 수 있다. 따라서 교사는 학생들에게 외적 표상들을 연계하도록 하기에 앞서 과학 용어 자체의 의미를 자세히 설명해 주거나 가능한 학생 수준에 맞는 용어를 사용할 필요가 있다.

이처럼 이 연구를 통해 학생들이 과학 개념에 대한 글과 그림을 연계하는 과정과 이 과정에서 유발되는 오류의 원인 및 해결 방안에 대한 정보를 얻을 수 있었다. 따라서 이 연구의 결과는 과학 개념, 특히 물질의 입자성이 강조되는 화학 개념의 이해를 돕기 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 예를 들어, 이 연구에서 제시한 연계 오류의 원인과 해결 방안에 대한 정보를 차기 교사용 지도서 등과 같은 교수-학습 자료에 제시하고 안내함으로써 학생들의 연계 오류를 예방하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한, 연계 오류의 원인과 해결 방안을 토대로 외적 표상들의 잘못된 사용을 예방하고, 학생들의 연계 오류를 줄여 과학 개념 이해를 향상시킬 수 있는 다중 표상 학습 전략을 개발할 수 있을 것이다. 외적 표상에 대한 학생들의 해석이 교사의 의도와는 다를 수 있다는 이 연구의 결과는 다중 표상 학습에서 학생들의 내적 표상의 역할이 중요함을 시사하기도 한다. 따라서 교사는 자신의 의도대로 학생들의 외적 표상에 대한 해석을 일방적으로 제한하기보다는 학생들이 외적 표상을 해석하고 연계하는 과정에 더 많은 관심을 기울일 필요가 있다. 한편, 이 연구는 연계 오류를 가진 소수의 학생들을 대상으로 진행되었으므로, 이 연구에 제시된 주장들만으로 연계 오류의 원인을 일반화하는 데에는 한계가 있다. 또한, 이 연구에서는 질적 연구 방법으로 연계 오류의 원인을 조사했는데, 질적 연구에서의 인과 관계는 특정 상황과 맥락을 고려하여 사람들의 사고와 의미 체제 속에서 가상적으로 설정되고 현재나 미래의 일에 대한 예측보다는 과거 사건의 구조를 분석해 내는 특징이 있다. 따라서 양적 연구에서 언급하는 결정론적 및 확률론적 인과 관계와는 다소 거리가 있으므로,[32] 이 연구에서 제시된 연계 오류의 원인들이 다른 학생들에게 적용될 때 똑같은 연계 오류를 유발한다고 주장할 수는 없다. 하지만 비슷한 개념을 가진 학생들은 제시된 현상에 대해 서로 유사하게 해석하는 현

상에 대한 상호주관적인 관계를 고려할 때,[33] 비슷한 연계 오류를 가진 학생들이 외적 표상을 해석하고 연계하는 과정은 유사할 수 있으므로, 이 연구에서 제시한 주장들은 의미가 있다고 생각할 수 있다.

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

인 용 문 헌

1. 유승아; 구인선; 김봉곤; 강대호 *대한화학회* **1999**, *43*, 564.
2. Boz, Y. *Journal of Science Education and Technology* **2006**, *15*, 203.
3. Kozma, R.; Chin, E.; Russell, J.; Marx, N. *The Journal of the Learning Sciences* **2000**, *9*, 105.
4. Johnstone, A. H. *Journal of Chemical Education* **1993**, *70*, 701.
5. Treagust, D. F.; Chittleborough, G.; Mamiala, T. L. *International Journal of Science Education* **2003**, *25*, 1353.
6. 차정호; 김경순; 노태희 *한국컴퓨터교육학회논문지* **2004**, *7*, 1.
7. Ardac, D.; Akaygun, S. *International Journal of Science Education* **2005**, *27*, 1269.
8. Wu, H.-K.; Krajcik, J. S.; Soloway, E. *Journal of Research in Science Teaching* **2001**, *38,* 821.
9. Ainsworth, S. *Learning and Instruction* **2006**, *16*, 183.
10. Mayer, R. E. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 125.
11. Kozma, R. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 205.
12. Wu, H.-K.; Shah, P. *Science Education* **2004**, *88*, 465.
13. Tabachnek, H. J. M.; Simon, H. A. In *Learning with multiple representations* ; van Someren, M.; Reimann, P.; Boshuizen, H.; de Jong, T., Eds.; Elsevier Science Press: Oxford, U. K., 1998; p 197.
14. Tytler, R.; Prain, V.; Peterson, S. *Research in Science Education* **2007**, *37*, 313.
15. 강훈식; 이종현; 노태희 *한국과학교육학회지* **2008**, *28*(5), 471.
16. Schnotz, W.; Bannert, M. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 141.
17. Kozma, R. B.; Russell, J. *Journal of Research on Science Teaching* **1997**, *34*, 949.
18. Tsui, C.-Y.; Treagust, D. F. *Research in Science Education* **2003**, *33,* 111.
19. Denzin, N.; Lincoln, Y. *The sage handbook of qualitative research*; Sage: Thousand Oaks, CA, 2005.
20. 이용숙; 김영천 *교육에서의 질적 연구: 방법과 적용*; 교육과학사: 서울, 1998.
21. Han, J.; Roth, W.-M. *Science Education* **2006**, *90*, 173.
22. 전경갑; 오창호 *문화적 인간 인간적 문화: 기호학과 문화이론* ; 푸른 사상: 서울, 2004.
23. Roth, W-M.; McGinn, M. K. *Review of Educational Research* **1998**, *68*, 35.
24. Seufert, T. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 227.
25. Rappoport, L. T.; Ashkenazi, G. *International Journal of Science Education* in Press.
26. Wilensky, U.; Resnick, M. *Journal of Science Education and Technology* **1999**, *8*, 3.
27. Wu, H.-K. *Science Education* **2003**, *87*, 868.
28. 한재영 *초등과학교육학회* **2006**, *25*, 244.
29. van Merriënboer, J. J. G.; Sweller, J. *Educational Psychology Review* **2005**, *17*, 147.
30. Wellington, J.; Osborne, J. *Language and literacy in science education*; Open University Press: Buckingham, Philadelphia, 2001.
31. Kikas, E. *Research in Science Education* **2006**, *36*, 269.
32. 조용환 *질적 연구: 방법과 사례*; 교육과학사: 서울, 1999.
33. Baritt, L. S.; Beekman, T.; Bleeker, H.; Mulderij, K. *A Handbook of Phenomenological Research in Education*; University of Michigan Press: Ann Arbor, MI, 1983.

< 부록 > 학습지와 연계 과정 검사지의 일부

< 보일의 법칙 >

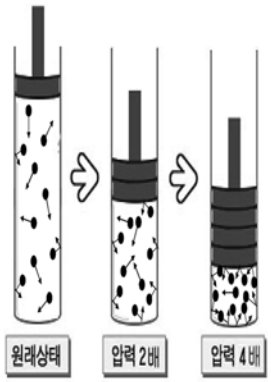
관찰해보자

선생님의 시범 실험을 관찰하여 봅시다.

공부해보자

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

위 실험 결과에 의하면 실린더에 작용하는 압력이 2배로 커지면 실린더 속 기체의 부피는 1/2배로 줄어들고, 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	그림 요소
① 실린더에 작용하는 압력	가. 실린더 공간
② 기체의 부피	나. 원 크기
③ 기체의 압력	다. 원 개수
④ 온도	라. 원 색깔
⑤ 기체 분자의 운동 속도	마. 추의 개수
⑥ 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 횟수	바. 화살표 방향
⑦ 분자의 크기	사. 화살표 길이
⑧ 분자의 개수	아. 꺾인 화살표 개수
⑨ 분자의 분포	자. 원들의 위치
	차. 추의 모양
	카. 용기 벽의 두께

< 샤를의 법칙 >

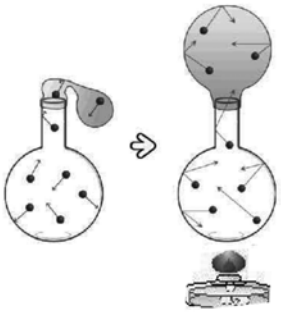
관찰해보자

선생님의 시범 실험을 관찰하여 봅시다.

공부해보자

아래의 글과 그림을 보고 일정한 압력에서 온도 변화에 따라 기체의 부피가 어떻게 되는지 생각해 보자.

플라스크를 가열하면 왜 풍선이 커질까? 플라스크를 가열하면 플라스크와 풍선 안에 있는 기체 분자들의 운동 속도가 더 빨라진다. 따라서 플라스크와 풍선 안에 있는 기체 분자들이 용기의 안쪽 벽과 충돌하는 횟수가 증가하므로 더 넓은 공간을 차지하게 된다. 즉, 일정한 압력에서 플라스크와 풍선의 온도가 올라가면 기체 분자 사이의 거리가 멀어져 기체의 부피가 증가한다. 이때 기체 분자의 크기, 개수는 변하지 않는다.



연결해 보자

아래 <보기>는 위의 글과 그림의 요소들을 제시한 것이다.

글 요소	그림 요소
① 기체 분자의 운동 속도	가. 원 크기
② 기체 분자가 용기 벽에 충돌하는 횟수	나. 화살표 방향
③ 압력	다. 풍선의 크기
④ 온도	라. 원들의 위치
⑤ 기체 분자 사이의 거리	마. 화살표 길이
⑥ 기체의 부피	바. 원 개수
⑦ 기체 분자의 크기	사. 꺾인 화살표 개수
⑧ 기체 분자의 개수	아. 플라스크의 크기
	자. 알코올램프
	차. 원의 색깔
	카. 원과 원 사이의 거리