Journal of the Korean Chemical Society
2018, *Vol. 62, No. 1*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2018.62.1.43

시각장애 중고등학생의 물의 상태변화 개념에 대한 사례 연구

김학범 · 차정호*
대구대학교 과학교육학부
(접수 2017. 10. 12; 게재확정 2017. 12. 27)

A Case Study on the Visually Impaired Secondary Students' Conception of the Changes of State of Water

Hak Bum Kim and Jeongho Cha*
*Division of Science Education, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea. *E-mail: chajh@daegu.ac.kr*
(Received October 12, 2017; Accepted December 27, 2017)

요 약. 이 연구에서는 시각장애를 가진 중고등학생의 물의 상태변화 개념을 조사하였다. 연구대상은 국립과천과학관에서 열린 시각장애학생 대상의 과학탐구 활동에 참여한 중학생 16명과 고등학생 15명으로, 이 중 14명은 전맹, 13명은 저시력이었으며 나머지는 파악되지 않았다. 탐구활동은 이 연구를 위해 제작한 물과 얼음의 분자모형을 참여 학생들에게 개별적으로 탐색하면서 연구자와 대화하는 방식으로 진행하였다. 학생들이 모형에 대한 탐색을 마친 후 물의 상태변화 개념과 관련지어 설명하도록 하였으며, 모형의 활용 가능성에 대해서도 면담을 실시하였다. 모든 대화는 녹음되었고 그 자료를 전사한 뒤 분석하였다. 연구 결과, 시각장애학생들은 활동에 사용된 모형의 재료와 개수에 대해서는 정확히 대답하였지만 무엇을 표현한 모형인지 설명하기 어려워하였다. 물의 분자와 상태변화에 대해 배운 경험이 있다고 대답하였으나 그 개념에 대해 제대로 설명하지 못하거나 현상적인 경험에 기초한 수준에 불과했다. 활동을 통해 시각장애학생들은 물과 얼음의 분자구조와 상태변화에 대해 이해하게 되었고, 연구에서 사용된 모형이 필요하며 유용하다고 긍정적으로 인식하였다. 이러한 결과에 기초하여 교육학적 함의를 논의하였다.

주제어: 시각장애, 중등 교육, 물의 상태변화, 분자 구조, 촉각 모형

ABSTRACT. In this study, visually impaired secondary students' conception of "changes of state of water" was explored. Science inquiry activity for students with visual impairments was implemented to 16 middle school students and 15 high school students from school for the blind. 14 of them were totally blind, 13 had low vision and the others were not identified. Inquiry activities were conducted by communicating with the researcher while students were individually exploring the molecular models of water and ice developed for the study. After the exploration, students were asked to explain the concept of changes of state of water with the model they explored. Opinion on the need and the usability of this kind of tactile model was also asked to them. All conversations were recorded, transcribed, and analyzed. As a result, students with visual impairments answered exactly about the materials used for the model and their numbers. However, they didn't know what the model stood for. They had experiences of learning molecule of water and changes of state of water, but it was a phenomenon and superficial understanding. Students got to understand the molecular structures of water and ice, and had a positive perception on the need and the usability of the model. Based on these results, educational implications were discussed.

Key words: Visual impairments, Secondary education, Changes of state of water, Molecular structure, Tactile model

서 론

물은 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 물질 중 하나이며 과학 교과의 화학 단원에서 실례로 많이 활용되고 있다. 특히 다른 물질과는 달리 액체인 물은 고체인 얼음으로 상태변화시 부피가 증가하여 일상생활에서 냉동실에 얼린 물의 용기가 파손되는 경험을 누구나 한 번쯤 가지고 있다. 이러한 물의 상태변화 개념은 학생들이 경험하는 자연 현상의 이해나 과학의 모든 분야의 개념을 이해하는 데 중요하므로 중고등학교의 과학 및 화학 교과서에 포함되어 교육되고 있으며 일상생활에서도 쉽게 접할 수 있지만 이 현상을 과학적으로 설명하기 위해서는 입자 수준의 미시적 해석이 필요하다.

실제로 학생들의 상태변화에 대한 이해를 조사하려는 연구들에서는 거시적 관점과 함께 미시적 관점에서의 이해를 조사하려는 시도를 대부분 포함하고 있으며,[1] 학년이 높아질수록 미시적 관점이 더욱 강조되고 있다.[2,3] 과학 교과서의 상태 및 상태변화 관련 내용에 대한 인지 요

구도(cognitive load)를 분석한 연구에 따르면,[4] 후기 구체적 조작기부터 초기 형식적 조작 수준에 요하는 내용들로 구성되어 있다.

입자 수준에 따른 이해와 더불어 한 가지 더 필요한 것은 바로 공간적인 이해다. 화합물인 물이 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 되어있다는 것과 함께 수소 원자와 산소 원자와의 수소결합으로 인해 물이 얼음으로 상태변화를 할 때 부피가 커진다는 것으로 물과 얼음의 분자구조에 대한 설명이 가능하다. 이 개념에 대한 이해를 돕기 위해 오래 전부터 궤도나 시각자료 등을 입자 수준의 그림을 이용하여 분자배열에 대한 공간적인 이해를 시도하였다.[5–7]

이처럼 원자나 분자와 같이 미시적 개념은 감각적으로 경험할 수 없기 때문에 정안 학생(normally sighted students)들도 이해하기 쉽지 않다.[8] 더욱이 시각장애학생들은 영상적 표상이 시각의 제한으로 제약이 있어 대체 감각을 활용하여 충분한 작동적 표상의 자극이 주어지지 않는다면 미시적 해석과 공간적 정보를 처리하는 데 어려움이 많다.[9] 이러한 문제를 해결하기 위해 정안 학생들을 대상으로 사용되었던 분자모형[10,11]은 시각장애학생들을 위한 물질의 상태개념 학습에 좋은 대안이 될 수 있다. 분자모형은 기본적으로 촉각 모형(tactile model)이기 때문에 시각장애학생이 손으로 조작하면서 탐색할 수 있는 대체감각을 활용한 수업 교구로 활용될 가능성이 크다.

그러나 지금까지 모형을 활용한 연구들은 주로 눈의 구조와 기능에 대한 개념을 확대 모형으로 이해 정도를 확인[12]하는 수준에 그치고 있다. 시각장애학생의 과학 성취도를 향상시키기 위한 교수적합화 연구[13]가 일부에서 시도된 바 있지만, 입자 개념과 같이 추상적인 개념에 대한 연구는 인터뷰를 통해 시각장애 초등학생의 용해 개념을 조사[14]하는 수준에 머물러 있다. 즉, 아직까지 실제 분자 모형을 이용하여 미시적 화학세계를 탐구하고 화학 개념 이해 및 가능성에 대한 연구는 거의 없다고 볼 수 있다. 한편에서는 시각장애학생의 학습 상황에 대한 이해 수준을 파악하기 위해 암실 상황에서의 과학교육자,[15] 특수교사[16] 및 예비화학교사[17]의 분자모형에 대한 이해를 조사한 연구는 있었지만, 실제 시각장애학생의 이해 정도를 파악했다고 보기는 힘들다.

따라서 이 연구에서는 시각장애학생들의 추상적인 과학 개념에 대한 연구를 통해 시각장애학생들의 이해 정도와 촉각 모형을 활용한 학습의 가능성을 밝히고자 하였다. 이를 위해 물의 상태변화 개념을 설명하기 위해 고안된 분자 모형을 이용하여 시각장애 중고등학생의 물의 상태변화 관련 개념을 탐색하는 과정을 조사하였다.

연구방법 및 절차

연구 대상

이 연구는 2013년 11월, 국립과천과학관에서 개최된 특수교육 행사인 시각장애학생의 과학탐구에 참여한 시각장애 중고등학생 31명을 대상으로 하였다. 전일로 운영된 행사는 시각장애 특수학교의 중고등학생들이 물리, 화학, 지구과학 주제로 과학탐구 활동을 직접 체험하도록 구성되었는데, 이 연구는 '모형을 이용한 과학탐구'에 참여한 학생들을 대상으로 운영되었다. 연구대상 학생들의 간략

***Table* 1.** Basic information of subjects of the study

No	Grade	Gender	Disability	No	Grade	Gender	Disability
Student 1	11	M	Low vision	Student 17	11	M	Low vision
Student 2	11	M	Low vision	Student 18	11	F	Low vision
Student 3	11	M	Blind	Student 19	11	M	Low vision
Student 4	10	M	Blind	Student 20	10	F	Blind
Student 5	10	F	Blind	Student 21	11	M	Blind
Student 6	10	M	Blind	Student 22	10	F	Blind
Student 7	11	M	Visual impairment	Student 23	10	M	Low vision
Student 8	11	M	Visual impairment	Student 24	9	M	Low vision
Student 9	9	F	Blind	Student 25	9	F	Blind
Student 10	9	M	Low vision*	Student 26	7	F	Low vision
Student 11	8	M	Blind	Student 27	7	M	Low vision
Student 12	8	M	Low vision	Student 28	8	F	Visual impairment
Student 13	8	M	Blind	Student 29	8	F	Visual impairment
Student 14	8	F	Blind	Student 30	8	F	Low vision
Student 15	7	M	Blind	Student 31	8	F	Low vision
Student 16	7	M	Blind				

*This student has also physical disability.

한 배경 특성은 *Table* 1과 같다. 성별 측면에서는 남학생 19명, 여학생 12명이었고 중학교 1학년 4명, 중학교 2학년 8명, 중학교 3학년 4명, 고등학교 1학년 6명, 고등학교 2학년 9명이었다. 시각장애 정도 측면에서는 14명은 전맹, 13명은 저시력 학생이었다. 31명 중 1명의 학생만이 저시력과 지체 장애를 중복으로 가지고 있었을 뿐, 다른 30명은 모두 시각 손상 외에는 학습에 장애가 되는 요인은 없었다.

연구 상황

활동에 참여한 시각장애학생 2인을 한 모둠으로 구성하여 물 분자와 얼음의 분자구조에 대한 과학탐구를 실시하였다(*Fig.* 1). 두 조로 나누어 과학교육전공 대학원생 2명이 미리 준비된 안내질문(*Table* 2)에 따라 면담을 진행하였다. 두 차례의 탐구활동은 시각장애 중고등학생들이 제시된 물 분자 모형과 얼음 분자 모형을 각각 탐색하고 해당 개념을 설명하는 단계로 구성되었다. 탐구 활동 후 연구자가 모형에 대한 설명과 개념을 지도하였고 모형의 적합성에 대해 논의하였다. 각 활동은 대략 10분씩 소요되었고, 활동 후 모형의 필요성과 유용성에 대해 논의하는데 5분이 소요되어 총 25분 정도가 걸렸다.

이 연구에서 사용한 물 분자와 얼음의 분자모형은 *Fig.* 2와 같다. 물의 분자모형은 탁구공 1개와 압정 4개 그리고 자석 2개로 구성하였는데 탁구공은 산소 원자(O)를, 압정은 결합위치를, 자석은 수소 원자(H)를 나타내며 과학교육자, 특수교사 및 예비화학교사 대상의 선행연구들[15–17]에서 이미 사용된 바 있다. 물의 분자모형은 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 구성되어 있으며 산소 원자가 수소 원자보다 크다는 정보를 제공한다. 얼음의 분자모형은 총 20개의 물 분자 모형을 연결하여 15×13×10 cm^3의 크기로 제작하였다. 얼음의 분자모형은 얼음 형성 시 물 분자의 결합에 의해 생긴 구조로 공간이 형성됨과 육각형 모양을 이루며 배열함을 볼 수 있다. 이 모형들은 초등 3～4학년군의 '물의 상태변화' 단원과 중등 1～3학년군의 '분자 운동과 상태변화' 단원의 학습 내용과 화학 I의 '화학의 언어' 단원의 학습 내용과 연관된다.[18]

***Figure* 2.** Molecular model of water (left) and ice (right) used in this study.

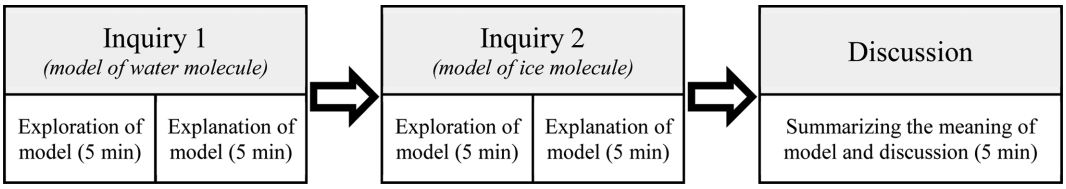

***Figure* 1.** Process of activity with model.

***Table* 2.** Guide questions during the activity on the change of states of water

Category	Subcategory	Main questions
Exploration of model	Structure of water	· What is this? · What is this made of?
	Meaning of water model	· What can you do this model? · What can you learn from this model?
	Exploration of ice model	· What is this? · What can you do this?
Exploration of concept	Concept of water	· Have you learned about water molecule? · Can you explain water molecule?
	Concept of change of states of water	· What happen when we put pet bottle fully filled with water into fridge? · How and why does the volume change when water changes into ice?
Conceptual understanding	Usefulness of model	· Do you understand the models of water and ice? · Can you explain why volume increases during change of state from water to ice?
	Usability of model	· Do you have any experience of this kind of model? · Is it helpful to use this model for students with visual impairment? · What needs to be modified for this model?
	Feeling after activity	· What have you learned from this activity?

면담 개발과 구성

시각장애 중고등학생들이 분자 모형을 탐색하는 과정에서 학생들의 개념 및 다양한 응답을 얻기 위해 반구조화된 면담을 하였다. 질문 항목은 모형 탐색, 개념 탐색, 개념 이해, 경험 후 느낌에 대한 내용으로 구성하였다. 이 질문들은 모두 활동에 대해 추론해 보게 하고, 그렇게 생각하는 이유를 설명하는 방식으로 구성하였다. 모든 면담은 과학교육전문가 2인의 검토 및 수정을 거쳐 개발하였으며, 질문의 구성 내용은 *Table* 2와 같다.

자료 분석

시각장애 중고등학생이 물과 얼음의 분자모형을 탐색하는 과정에서 연구자와 나눈 대화는 모두 녹음되었고, 전사되었다. 전사된 자료를 통해 참여 학생들의 상태변화 관련 개념과 모형 사용에 대한 인식을 조사하기 위하여 연구자 1인이 전사된 자료를 반복적으로 읽으면서 활동단계 및 주요 질문별로 특징을 일차적으로 파악하였다. 이상의 대략적인 분석 내용을 토대로 과학교육전문가 2인과의 주기적인 세미나를 통해 활동단계 및 모형의 활용과 관련하여 대표적인 사례가 될 면담내용을 선정한 뒤 의미를 논의하고 정리하였다. 이 내용은 특수학생 과학교육을 주제로 하는 대학원 수업을 통해 발표되었고, 수강생들의 조언을 통해 점검 받았으며, 결과 논의에 반영하였다.

연구 결과 및 논의

물 분자의 모형 탐색 및 개념 설명

물 분자 모형 탐색. 연구자가 제시한 물 분자 모형을 시각장애학생들은 탁구공으로 만들어졌음을 쉽게 알아내었지만 압정과 자석을 구분하는 데 약간 어려워하였다. 그러나 연구자의 안내된 질문을 통해 압정과 자석을 구분하였고 탁구공 1개, 자석 2개, 압정 4개로 이루어져 있음을 찾아내어 대답하였다.

전맹 중학교 2학년 남학생[학생13]
면담자a: 여기 앞에 모형이 있어요. 한 번 만져볼까요? 이것 만져보고 무엇인지 선생님한테 설명해 줄 수 있을까? 무엇인 것 같아요? 무엇으로 이루어져 있어?
학생13: 공.
면담자a: 공! 무슨 공 인 것 같아?
학생13: 탁구공.
면담자a: 응! 탁구공! 또 탁구공이랑 뭐 있어?
학생13: 자석.
면담자a: 오, 자석도 찾았어? 또?
학생13: 음.. 압정..

시각장애 중고등학생들은 연구자가 제시한 물 분자 모형을 가지고 다양한 과학 개념을 언급하려는 모습을 보였다. 자석의 성질과 함께 중력, 오존층, 만유인력, 블랙홀을 언급하였고 형태의 유사성으로 인해 눈의 구조 모형으로 인식하기도 하였다. 비록 물 분자 모형은 아니지만 원자, 분자, 전자 등의 화학 관련 개념도 대답하였다. 정안인 과학교육자, 특수교사, 예비화학교사 집단을 대상으로 적용한 동일한 모형의 탐색에서 시각장애학생들과는 달리 유사 화학 개념에 대한 언급은 전혀 보이지 않았다.[15–17] 그러나 물 분자 모형임을 정확히 지목하기는 어려워하였고 연구자와의 계속된 대화를 통해 제시한 모형이 물 분자 모형임을 인식하였다. 한 명의 시각장애학생(학생 08)의 경우 연구자의 힌트 없이 물 분자 모형임을 언급하였는데 이를 통해 연구자가 고안한 모형이 화학 관련 개념들과 함께 물 분자에 대한 개념을 유추하게 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

전맹 고등학교 2학년 남학생[학생03], 전맹 고등학교 1학년 남학생[학생04]
면담자a: 그럼 이게 뭐 같아요?
학생03: 이거요? 인체모형 같아요. 이거 무슨 눈 각막 모형 같아요.
면담자a: 눈 각막 모형? 음.. 무엇 때문에 그렇게 생각했지?
학생03: 아 이거 그거도 이렇게 동그랗게 생겼거든요.
면담자a: 그러면 다른 친구는? 이게 어떤 거 설명하는 것 같아요?
학생04: 원자 같은 거요.
면담자a: 원자. 오~ 왜 원자라고 생각해요?
학생04: 음.. 자석 두 개가 전자 같아요.
면담자a: 전자 같아요? 오~ 한 친구는 생물. 그리고 다른 친구는 화학을 했네? 선생님이 화학을 공부하는 사람이에요. 그래서 이거는 화학을 나타내는 거에요. 그러면 화학의 무엇을 나타내는 것 같아요?
학생04: 음.. 이거 분잔가?
면담자a: 오 분자! 어떤 분자를 나타내는 것 같아요
학생04: 아~ 이거 액체, 기체 분자..
면담자a: 기체 분자?
학생04: 아닌데.. 분잔데 이게..

물 분자 개념 설명. 물 분자에 대해 배운 적이 있는지에 대한 물음에 시각장애학생들은 배운 적이 있다고 대답하였지만 대부분은 물 분자에 대해 올바르게 설명하지 못하거나 부족한 설명을 하였다. 그러나 단 한 명의 시각장애학생(학생08)만이 물 분자의 화학식이 H_2O이며 수소 원자 2개와 산소 원자 1개가 결합되어 있음을 설명하여

물 분자의 화학식, 구성 원소와 구성 원자의 수를 정확하게 알고 있음을 확인할 수 있었고 같은 모둠인 다른 시각장애학생(학생07)은 연구자가 제시한 모형과 물 분자 개념을 연결하여 설명하였다.

시각장애 고등학교 2학년 남학생[학생07, 학생08]
면담자a: 오 물 분자를 중학교 때 배웠어? 물 분자 선생님한테 설명해 줄 수 있어? 아까 했던 대로 하면 돼.
학생08: H_2O인데 수소 2개, O가 산소. 둘이 결합해가지고 물 분자를 형성했어요.
면담자a: 그러면 선생님이 갖고 온 이거 물 분자인지 맞췄잖아, 이게 왜 물 분자인지도 설명해 줄래? 학생07이 한번 해보자.
학생07: 음.. 아까 친구가 말한 것처럼 여기 이 자석이 2개 있어서?
면담자a: 그 자석이 뭔데? 뭘 나타낸 거야?
학생07: H_2.
면담자a: 응. 그 다음엔?
학생07: 음.. 이게 탁구공이 O.

물 분자에 대한 설명을 부족하게 한 대부분의 시각장애학생들은 물 분자가 수소와 산소로 구성되어 있음을 알고 있었다. 그러나 일부 학생들의 경우 구성 원소의 이름과 개수를 바꾸어 대답하거나 물 분자의 화학식을 O_2, CO_2로 대답하였는데 구성 원소와 개수를 올바르게 이해하고 있지 못함을 알 수 있었다. 다른 시각장애학생들은 연구자의 질문에 대답을 잘 하지 못하였다.

저시력 중학교 3학년 남학생[학생24], 전맹 중학교 3학년 여학생[학생25]
면담자b: 그러면 물에 대해 배워봤어요? 학교에서?
학생24, 학생25: 네.
면담자b: 물은 그럼 뭐로 이루어져 있죠?
학생25: 산소, 수소.
면담자b: 그럼 산소 몇 개? 수소 몇 개?
학생25: CO_2니까, 산소 한 개, 수소 두 개
면담자b: CO_2는..
학생25: 아 뭐지?
학생24: 음..
학생25: 아 H.. 뭔데.. HO_2인가?

특수학교 교육과정 내의 국민공통기본교육과정과 선택중심교육과정에 규정된 과학과 교육과정의 경우, 현재 일반 학교에서 쓰이는 교육과정과 완전히 일치한다. 따라서 정신지체 등의 중복장애를 갖고 있지 않은 시각장애학생은 일반 학교의 정안 학생과 완전히 같은 과학 교육과정을 적용받는다.[19,20] 초등 3~4학년 시기에 현상적 수준의 물의 상태변화에 대한 학습을 시작으로, 중등 1~3학년에 분자 운동과 상태변화와 물질의 구성 단원에서 원소, 원자, 분자에 대한 기본 개념을 접하고, 고등학교 화학 I에서 물의 특성을 분자적 측면에서 자세히 다룬다.[18] 그러나 화학 I을 학습하는 고등학교 2학년 시기의 시각장애학생의 경우, 직업 및 진로 교육으로 이료(醫療) 교과 과정을 진행하게 되어 있다. 즉 화학개념을 심화시킬 기회가 그만큼 줄어들기 때문에[9,21] 시각장애 중학생과 고등학생 사이에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보인다.

시각장애학생들은 물 분자 모형을 구성하는 탁구공, 압정, 자석을 인식할 수 있으며 물체의 크기에 따라 개수를 구분할 수 있다. 자석의 크기가 작음에도 불구하고 촉감과 금속에 달라붙는 성질로 압정과의 구분이 가능함을 볼 수 있다. 또한 물 분자 모형으로 원자, 분자 등과 같은 화학 개념을 설명할 수 있으며 탐색을 통해 물의 분자 모형임을 인식하고 개념을 설명할 수 있다. 시각장애학생들이 물 분자에 대한 개념을 제대로 설명하기 어려워하고 다른 개념과 혼동한 것으로 나타나지만 학습의 기회가 제공된다면 물의 분자모형을 활용한 설명이 충분히 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 참여 학생의 시각장애 정도와 학교급에 따른 이해 정도에는 차이가 없었다.

얼음 분자의 모형 탐색 및 물의 상태변화 개념 설명

얼음 분자 모형 탐색. 20개의 물 분자로 이루어진 얼음 분자 모형을 시각장애학생들은 세 가지 유형으로 유추하여 묘사하였다. 첫 번째로, 탁구공에 붙인 자석의 위치와 개수, 전체적인 구조를 구체적으로 설명하거나 나무, 연필꽂이, 숫자 8과 같이 생김새가 비슷한 물체로 대답하였다.

전맹 고등학교 2학년 남학생[학생03], 전맹 고등학교 1학년 남학생[학생04]
면담자a: 다른 모형을 줄게요. 이거 세게 만지면 부서지니까 살살 한번 만져볼까요? 어떤 모형인 것 같아요?
학생04: 따닥따닥 붙어있어요. 고체모양 같아요.
학생03: 저도 고체모양 같아요.
면담자a: 고체모양? 이거 뭐 같아요? 뭘 나타내는 거 같아요?
학생03: 이거 무슨 나무 같아요. 나무.
면담자a: 나무? 나무를 나타내는 것 같다? 그럼 다른 학생은 뭘 나타내는 것 같아요?
학생04: 물 분자의 고체 상태를 나타낸 것 같아요.
면담자a: 그러면 다시 학생은 어떤 것 같아요?
학생03: 만져보니까요? 원통 같아요.

면담자a: 또 뭐 특징 있으면 얘기해 줄래요?
학생03: 이거 연필꽂이 같기도 하고요.

두 번째로, 시각장애학생들은 얼음 분자 모형을 처음 접했던 물 분자 모형의 집합임을 인식하여 “물의 결합체”(학생18, 19), “물 분자 연결해둔 것”(학생08, 09, 21) 등의 대답을 하였다. 이전 경험을 통해 획득한 정보를 사용하여 물 분자 20개로 구성된 얼음 분자 모형이 물 분자 모형의 결합체이며 구조를 이루고 있음을 이해하였고 연구자의 힌트를 통해 물 분자의 결합체가 고체인 얼음 상태임을 대답하였다.

전맹 고등학교 1학년 여학생[학생20], 전맹 고등학교 2학년 남학생[학생21]
면담자b: 이게 뭘 나타내는 것 같아요?
학생21: 물 전체를 나타내는 게 아닐까요?
학생20: 잠시만요. 이게 붙어있어서 뭔 지 잘 모르겠는데 산소 같기도 하고 물 같기도 하고..
면담자b: 자 이거는 고체, 액체, 기체, 중 한 개에요.
학생21: 고체.
학생20: 아 그거 물어보시는 거에요? 얼음이 이렇게 생겼다는 거에요?
면담자b: 얼음을 자세히 확대하면 이렇게 생겼어요.
학생20: 이걸 어떻게 만드셨지? 신기한데?

세 번째로, 시각장애학생들은 연구자의 힌트 없이 물 분자의 고체 상태인 얼음을 언급하기도 하였다. 이 수준으로 설명한 시각장애학생들은 모두 전맹이었으며, 중학생(학생11, 13, 15)이 고등학생(학생04)보다 더 많았다. 중학교 과학과 교육과정에서 상태변화에 대한 분자적 설명이 소개되고 있어 이 시기의 학생들이 자세히 알고 있으며 전혀 보이지 않는 장애특성으로 인해 전맹이 좀 더 구체적인 관찰과 함께 추가로 촉각적 탐색을 통해 자세한 묘사와 설명을 할 수 있을 것으로 짐작할 수 있는데, 이는 추후 또 다른 연구를 통해 더 알아볼 필요가 있다.

전맹 중학교 1학년 남학생[학생15]
면담자a: 이거 뭘 나타내는 것 같아요?
학생15: 이거는 분자 형태인데 고체상태일 때 분자형태요.
면담자a: 오 고체상태일 때 분자? 잘하네~ 이거 고체상태일 때 분자 맞아요.
학생15: 고체 상태일 때 분자는 거리가 따닥따닥..
학생16: 거리가 있는데? 거리 있어서 내가 기체라고 한 건데?
학생15: 아까 탁구공 하나 있던 건 뭐지?
면담자a: 탁구공 하나 있는 건 분자 하나를 설명하려고 가져온 것이에요. 그럼 이것을 무엇이라고 하지?
학생15: 얼음.

한 명의 시각장애학생(학생15)은 얼음 분자 모형의 촉각적 탐색을 통해 고체 상태의 분자 간 거리를 묘사하고 설명하였다. 반면 다른 시각장애학생(학생16)은 분자간 거리가 멀어졌기 때문에 제시된 모형이 기체 상태라고 설명하였는데, 이는 일반적인 물질의 상태변화와 물의 상태변화를 혼동한 것으로 보인다. 비록 개념의 정확성에는 다소 차이가 있었지만, 이를 통해 시각장애학생들이 촉각 모형을 통해 분자간의 거리를 파악할 수 있으며, 자신이 가지고 있는 개념과 연관지어 설명할 수 있음을 확인하였다. 시각장애학생들의 물질의 상태변화에 대한 입자적 측면의 개념에 대해서는 추후 더 알아볼 필요가 있다.

물의 상태변화 개념 설명. 시각장애학생들은 일상생활에서 경험할 수 있는 “물을 가득 채운 페트병을 냉동실에 넣어 두면 어떻게 되나요?”라는 질문에 그런 경험이 있으며 “(페트병이) 터진다, 깨진다”라고 대답하면서 “액체인 물이 얼음이 되면 부피가 커져요”라는 과학적 설명도 하였다. 그러나 부피가 커지는 이유에 대한 질문에는 모두 올바르게 대답하지 못하였으며 아직 제대로 배운 적이 없어서임을 유추할 수 있었다. 대부분의 시각장애학생들은 대답을 하지 못하거나 일반적인 물질의 상태변화에서 액체가 고체로 상태변화 할 때 분자의 공간이 줄어드는 것으로 설명하였다.

전맹 고등학교 2학년 남학생[학생03], 전맹 고등학교 1학년 남학생[학생04]
면담자a: 혹시 이런 경험 있었어요? 페트병에 물을 넣고..
학생04: 깨졌어요.
면담자a: 그럼 액체인 물이 고체인 얼음이 되면 어떻게 되요?
학생04: 부피가 커지죠.
학생03: 네.
면담자a: 왜 커져요?
학생04: 음.. 얼어 가지고 분자들이 더 모이니까..
학생03: 얼어 가지고 분자들이 모여서 찌그러지고 그러니까.
학생04: 분자가 온도가 낮을수록 움직이는 게 좀 적고 뭉치는 게 있잖아요.

전맹 중학교 3학년 여학생[학생09], 저시력&지체 중학교 3학년 남학생[학생10]
면담자a: 페트병에 물을 가득 넣어 놨어. 얘를 차가운 냉동고에 넣어 놨어. 그리고 나서 열어봤더니 어떻게 되어있을까?

학생09, 학생10: 터졌어요.
면담자a: 터졌지. 왜 터졌을까?
학생09: 고체니까 부피가 늘어나니까, 기온이 낮아져서 액체가 고체로 변해서 그 부피가 늘어나니까.
면담자a: 액체인 물이 고체인 얼음이 되면 부피가 커져요. 왜 커질까?
학생10: 물일 때는 자유로이 움직이니까 공간이 있는데 얼음일 때는 딱 봐도 딱딱 붙어있으니까 움직일 공간이 없어서 부피가 커지면서 터져요.
학생09: 음.. 고체는 분자의 움직임이 거의 없어서 더 커지는 거 아닌가?
면담자a: 아 그래? 혹시 이거 배운 적 있어? 얼음이 부피가 더 커진다?
학생09: 네.
면담자a: 그러면 이거 부피가 왜 커지는지도 배웠어요?
학생09: 아니요, 거기까지만.

정안 학생들을 대상으로 한 연구에서는 물의 상태변화 현상이 물리적 변화가 아닌 화학적 변화로 잘못 이해하고 있었고 과학적 개념이나 용어에 대한 이해가 매우 다양하고 피상적이었으며,[22] 시각과 촉각으로 느낄 수 있는 응고와 융해 개념보다 시각과 촉각으로 느낄 수 없는 액화와 기화에 대한 과학적 개념 형성에 더 어려움을 느끼는 것으로 보고되었다.[23,24] 또한 물의 상태변화에 대한 개념을 제대로 이해하려면 학생들이 Piaget의 인지발달 이론에 의해 7세 이후에 형성되는 보존 개념과 이를 이해하기 위한 입자 이론이 필요한 것으로 제안되기도 하였다.[22,24-27]

이와 달리 본 연구에서 면담에 응한 시각장애학생들은 과학적 용어와 개념을 적합하게 사용하였으며 입자 관점으로 현상을 설명함으로써, 시각장애학생의 미시적 관점에서의 이해 가능성을 확인할 수 있었다. 이는 입자개념 학습에서 시각적 경험의 제약이 큰 장애요인이 되지 않을 수 있으며, 적절한 모형을 사용한다면 물에서 얼음으로의 상태변화시 부피가 증가하는 현상도 입자 관점으로 충분히 이해시킬 수 있을 것으로 보인다.

시각장애학생들은 얼음의 분자 모형을 생김새를 기준으로 설명하거나 얼음의 분자 모형이 물 분자 모형의 결합체와 물 분자의 고체 상태인 얼음임을 인식하였다. 일상생활에서의 물의 응고를 현상적 수준에서 정확히 묘사하고 설명하였지만, 그 원인에 대해서는 잘못 이해하고 있었다. 다만 물질의 상태변화 개념에 대해 심화시킬 학습 기회가 제공되고 적절한 분자 모형이 활용된다면 올바른 개념 이해가 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 참여 학생의 시각장애 정도와 학교급에 따른 이해 정도에는 차이가 없었다.

분자 모형 활용에 대한 인식

활동에 참여한 시각장애학생들은 활동에 대해 쉽다, 보통이다, 조금 어렵다 등의 다양한 수준의 답변을 하였지만 과학을 공부하는 데 모형을 활용하는 것이 좋다고 응답하였다. 또한 시각장애학생에게는 이론을 말로 설명하는 것보다 직접 모형을 만져가는 수업이 머리 속에 구현화 할 수 있어서 좋고, 사진과 그림을 통한 학습이 시각장애를 가진 자신의 상황에는 불가능하기 때문에 모형의 활용이 매우 필요하다고 언급하였다. 더불어 연구자와 함께 활동한 물의 상태변화 모형에 대해서 액체인 물이 고체인 얼음으로 상태변화 시 부피가 커지는 현상을 설명하는 데 유익하며 유용하다는 답변을 하였다. 이와 같이 물의 상태변화를 설명하는 데 사용한 모형은 영상적 표상이 취약한 시각장애학생에게 상징적 표상으로 접근이 가능하게끔 도와준다고 볼 수 있다.[9]

전맹 중학교 3학년 여학생[학생09], 저시력&지체 중학교 3학년 남학생[학생10], 전맹 중학교 2학년 남학생[학생11]
면담자a: 이 도구를 수업하는 데 쓰면 괜찮을 거 같아? 이해되는 데 많이 도움될 거 같아?
학생09: 네. 이거 아예 백지상태에서는, 아예 모르면 이해가 더 잘될 거 같아요. 그냥 설명해주시는 것보단. 난 무조건 검정색이야.
학생10: 네. 시각장애한테는 좋은 거 같아요. 왜냐하면 말로 하면 구멍이 어디에 뚫려 있는지 못 말하는데 이거는 직접 만져보면서 이렇게 뚫렸다는 걸 아니까..
학생11: 저는 개인적으로 이게 더 나을 것 같아요. 만지면서 느끼고 이거를 알면 훨씬 더 머릿속으로 떠올리기도 편하고 물어 봤을 때 원리를 더 정확히 알 수 있지 않을까..

전맹 고등학교 1학년 여학생[학생20], 전맹 고등학교 2학년 남학생[학생21]
학생21: 그리고 원자모형은 저희가 학교 선생님도 마찬가지시겠고 이론수업만 하시는 게 아니라 직접 만들어서 보여 주시거든요. 그런데 이렇게 하지 않으면 저희는 어떻게 생겼는지 모르니까 너무 좋은 것 같아요.
학생20: 그렇다고 우리가... 보는 사람도 원자는 보기 힘들어하는데.
면담자b: 이 구조는 보이든 안보이든 똑같이 실제로는 볼 수 없어.
학생20: 그래도 보이는 사람들은 사진이 있잖아요.
면담자b: 그래도 실제로 보지 않으니까 눈으로 보이는 사람도 이렇게 구조를 만들어 봐야만이 이해를 하죠.

학생20: 그런데 안 보이는 사람은 사진도 못 보니까.. 그래서 이 모형이 좋더라고요.

대부분의 시각장애학생들은 활동한 모형의 수정 및 보완점은 없지만 자석의 크기가 컸으면 좋겠다는 의견이 있었다(학생04). 이 연구에서 사용한 모형은 정안인 과학교육자, 특수교사, 예비화학교사 집단[15–17]을 대상으로 적용한 바 있다. 이들이 얼음의 분자모형을 탐색할 때에는 대부분 처음 제시한 구조를 유지하지 못하고 곧바로 형태를 무너뜨렸다. 그러나 시각장애학생들은 작은 자석을 떼어 촉감으로 탐색하고 다시 원래의 위치에 되돌려 놓는 등, 주어진 모형을 가능한 조심스럽게 탐색함으로써 처음 제시된 형태를 그대로 유지하면서 활동하는 모습을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 선행연구에서 정안인 입장에서 제안된 시각장애학생에게 적용할 때의 안전 문제에 대한 과학교육자와 특수교사의 지적은 실제로 시각장애학생에게 적용할 때에는 다르게 작용할 가능성이 있음을 시사한다. 시각장애를 가진 학생들은 주어진 학습자료를 섬세하게 촉각적으로 탐색하기 때문에 학습자료를 제작할 때 미리 제한을 둘 필요가 없으며, 오히려 시각장애인(학생)과 함께 개발하면서 좀 더 적극적으로 제작하는 것이 필요해 보인다.[17]

결론 및 제언

이 연구에서는 물과 얼음의 분자모형 탐색 과정을 통해 시각장애 중고등학생들의 물의 상태변화 개념을 조사하고자 하였다. 분자의 구조 및 배열이라는 추상적인 개념임에도 불구하고 시각장애 중고등학생들은 이 연구에서 제시된 분자 모형이 물 분자와 얼음 분자 모형임을 비교적 쉽게 인식하고 받아들였고, 이 모형을 이용하여 물에서 얼음으로의 상태변화 시 부피가 증가함을 이해하였다. 물에서 얼음으로 상태변화할 때 부피가 증가하는 현상을 물 이외의 다른 물질의 경우로 혼동하거나 물 분자의 화학식이나 구성 원소에 대해서는 잘못된 이해를 가진 경우가 조사되기도 하였다.

중학생과 고등학생 사이에 개념 이해 정도에 차이가 크지 않았던 결과는 고등학교 과정에서 물질의 입자성이 강조된 화학 I 교과를 이수하더라도 개념 이해가 향상되지 않았음을 보여준다. 추상적인 입자 개념이 지도하고 배우는 데 어렵다는 점을 굳이 언급하지 않더라도, 시각장애 고등학교 과정에서는 과학 과목이 직업 교육 과목인 이료(醫療) 교과로 대체되는 현실을 고려할 때 추상적인 과학 개념을 정확하게 이해하는 데 근본적인 한계를 가지고 있는 것으로 보인다.[9,21] 참여 학생의 시각장애 정도에 따라서도 개념 이해 정도에는 차이가 없었다.

시각장애학생들의 촉각적 모형에 대한 인식은 매우 긍정적이었고, 정안 학습자와는 달리 제시된 분자 모형을 구체적이고 섬세하게 탐색할 수 있음을 확인하였다. 특히 이 연구에서 사용한 얼음의 분자모형이 물 분자 사이의 거리를 촉각을 통해 확인하도록 함으로써 입체적인 개념 이해에 도움을 줄 가능성을 확인하였다. 그러나 이 연구에서 조사된 시각장애학생의 얼음 분자 모형에 대한 이해와 선행연구들[15,16]에서 조사된 정안인 교육자의 이해가 다소간 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 차이를 확인하고 보다 실질적인 학습자료 개발을 위해서는 교구 개발 과정에 시각장애학생이 보다 활발하게 참여하는 방안이 마련될 필요가 있다.[17]

본 연구 결과를 통해 시각장애 중고등학생들의 물의 상태변화에 대한 이해가 미시적 수준에서 이루어질 수 있음을 확인하였다. 시각적 경험의 제약이라는 장애 특성과는 무관하게 시각장애학생들의 입자 개념에 대한 이해가 가능하다는 점을 고려한다면, 모형을 활용한 학습의 기회를 통해 시각장애학생들의 개념 이해를 도와줄 수 있을 것이다.[5,9,28–31] 이러한 모형들은 정안 학생들의 개념 이해에도 도움을 줄 수 있으므로 과학 학습에 유익할 것으로 기대된다.

한편, 이 연구의 결과만으로는 시각장애 중고등학생들의 물의 상태변화에 대한 이해가 시각장애로 인한 특징적인 반응인지, 그리고 시각장애와 관련된 원인에 따른 반응인지를 밝히는 데 한계가 있다. 또한 사용한 모형을 활용한 물의 상태변화 개념에 대한 심층적 연구가 매우 부족한 실정이므로, 학생들의 수업 관찰, 일대일 면담 등에 근거한 심도있는 정성적인 연구를 진행하여, 학습에 대한 화학 개념의 부족인지, 그리고 사용한 모형이 시각장애학생의 물에 대한 개념이해에 어떠한 면에서 도움이 되었는지를 드러내는 구체적인 메커니즘을 밝힐 필요가 있다.

Acknowledgments. 이 논문은 2016년도 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임.

REFERENCES

1. Choi, J.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2015**, *59*, 320.
2. Lee, E. S.; Park, J. H. *Journal of Research in Curriculum Instruction* **2008**, *12*, 183.
3. Paik, S. H.; Park, J. W.; Park, J. O.; Im, M. H.; Ko, Y. M.; Cho, B. K.; Kim, H. N. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2002**, *22*, 215.
4. Park, J.; Park, Y.; Kang, S. *Journal of the Korean Chem-*

ical Society **2013**, *57*, 640.
5. Kim, S. *Comparison of the Instructional Influences of Dynamic Versus Static Model Emphasizing the Particulate Nature of Matter for the Learning of Molecule on Student's Conception in Elementary Science Classes.* Master's thesis, Graduate School of Chongju National University of Education: Korea, 2000.
6. Paik, S. H.; Yoo, J. M. *Korean Journal of Teahcer Education* **2006**, *22*, 68.
7. Noh, T.; Cha, J.; Kim, C.; Choi, Y. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **1998**, *18*, 161.
8. Noh, T.; Jeon, K.; Kim, H. *Journal of the Korean Chemical Society* **1996**, *23*, 42.
9. Special Science Education Research Group *Science Education for Students with Specialism,* Bollok Media: Seoul, Korea, 2011.
10. Cho, J. I.; Lee, H. U. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **1994**, *14*, 293.
11. Lee, H. S. *Effects of Teaching Method and Development of Molecular Model to Reflect Electronegativity for High School Students.* Master's thesis, Graduate School of Korea National University of Education: Korea, 2008.
12. Jeong, J.; Yoo, J.; Kim, S. G.; Yun, S. G. *Biology Education* **2009**, *37*, 38.
13. Lee, J. Y. *The Effect of Science Lesson through Curricular Adaptation to Grades and Attitude towards Science of Blind Students.* Master's thesis, Graduate School of Yonsei University of Education: Korea, 2008.
14. Kim, H. B.; Beak, S.; Cha, J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2013**, *57*, 507.
15. Kim, H. B.; Pak, S. J.; Cha, J. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2015**, *35*, 609.
16. Kim, H. B.; Pak, S. J.; Cha, J. *The Journal of Special Education: Theory and Practice* **2015**, *16*, 323.
17. Kim, H. B.; Cha, J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2017**, *61*, 277.
18. *Science Education Curriculum* (Notice No. 2011-361); Ministry of Education, Science and Technology: Seoul, 2011.
19. *Special Education Curriculum* (Notice No. 2015-81); Ministry of Education: Seoul, 2015.
20. Gim, S.; Cha, J.; Kim, I. W. *The Journal of Special Education: Theory and Practice* **2008**, *9*, 457.
21. Lee, H. *The Field of Special Education* **1995**, *2*, 22.
22. Kook, D. S. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **1988**, *8*, 33.
23. Kang, T. J. *A Survey on Elementary Student's Conceptions on the State and the State Change of Matters.* Master's thesis, Graduate School of Korea National University of Education: Korea, 2000.
24. Im, M. H. *An Analysis of Conceptions of Kindergarten, Elementary, and Middle School Students on the State Change of Water and Conditions of the State Change of Water.* Master's thesis, Graduate School of Korea National University of Education: Korea, 2001.
25. Stavy, R. *Journal of Research in Science Teaching* **1990**, *27*, 247.
26. Bar, V.; Galili, I. *International Jouranl of Science Education* **1994**, *16*, 157.
27. Johnson, P. M. *International Jouranl of Science Education* **1998**, *20*, 567.
28. Kim, S. G. *Blind Children in Sciecne Teaching Methods,* History of Science Education: Seoul, Korea, 1999.
29. Lee, G. L. *Visually Impaired Students and Practical Understanding of the Education,* Seohyeonsa: Gyeonggi, Korea, 2008.
30. Gabel, D. L. *Journal of Chemical Education* **1993**, *70*, 193.
31. Kim, S. J. *The Instructional Influences of Computer Animation Emphasizing the Dynamic Particulate Nature of Solubility on student's Conception in Elementary Science Classes.* Master's thesis, Graduate School of Chongju National University of Education: Korea, 1998.