

용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 고등학생들의 개념 유형 분석

허미연 · 전해숙 · 백성혜*
한국교원대학교 화학교육과
(2006. 12. 4 접수)

A Study of High School Students' Conceptions of Mixing Phenomena Related to Dissolution and Diffusion

Mi-Youn Hur, Hey-Sook Jeon, and Seoung-Hey Paik*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea
(Received December 4, 2006)

요 약. 이 연구의 목적은 고등학생들의 용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 개념 유형을 알아보고자 하는 것이다. 연구대상은 화학 I 과목을 수강하는 고등학교 2학년 학생 108명과 화학 II 과목을 수강하는 고등학교 3학년 학생 29명이다. 연구 결과, 많은 학생들이 분필이 무극성 물질이기 때문에 물에 섞이지 않는다는 대안적 개념을 가지고 있었다. 사염화탄소가 물에 섞이지 않는 현상에 대해서 대부분의 학생들이 인력의 개념으로 이해하였으나, 밀도 차이와 같은 물질의 특성의 차이로 이해하는 유형 또한 많았다. 물과 에탄올이 한없이 섞이는 현상은 많은 학생들이 인력 개념으로 이해하였다. 대부분 학생들은 수성 잉크와 물이 섞이는 현상을 섞이는 이유에 대해서는 알지 못한 채 단지 퍼져나가는 현상 자체로만 받아들이고 있었다. 요오드가 사염화탄소에 섞이는 현상은 구멍이론이나 인력 개념으로 이해하였다. 이러한 용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 다양한 대안적 개념은 엔트로피 개념의 부족으로 인한 것이다. 따라서 학생들이 이러한 현상을 제대로 이해하도록 과학 교과서의 서술 방식이 바뀔 필요가 있다.

주제어: 고등학생, 혼합 현상, 용해, 확산, 인력 개념, 과학 교과서, 엔트로피

ABSTRACT. The purpose of this study was to investigate the types of conceptions of mixing phenomena related to dissolution and diffusion in high school students. The subjects of the investigation consisted of 108 students who took chemistry I course at 11th grade and 29 students who took chemistry II course at 12th grade. For this study, it was found that the many students had the alternative conception that chalk didn't dissolve in water because chalk was a nonpolar material. Most of the students understood the phenomena which carbon tetrachloride and water will not mix as the attraction conception. But many of the other students understood the phenomenon as characteristic of the materials such as difference of density. Many of the students understood the phenomenon of mixing ethanol and water constantly as 'Attraction conception'. The phenomenon which is mixed ink and water was just accepted by the most students as the spreading of ink in water without understanding the reason of mixing. The phenomena of mixing iodine and carbon tetrachloride was understood as 'Space conception' or 'Attraction conception'. It could be inferred that the diverse alternative conceptions related to dissolution and diffusion phenomena were generated by the absence of entropy concept. Therefore, the explanations of science textbooks related to dissolution and diffusion phenomena need to change for students to understand them correctly.

Keywords: High School Student, Mixing Phenomena, Dissolution, Diffusion, Attraction Conception, Science Textbook, Entropy

서 론

1980년대 이후 지금까지 수행된 많은 연구에서 학습이 이루어지기 전에 교사가 가르칠 내용과 관련된 학생들의 선입개념을 파악하는 것이 매우 중요하다고 보고, 학생들의 선입개념 중에서 특히 과학적 개념과 다른 오개념의 유형을 파악하는데 많은 노력을 기울여 왔다.^{1,6} 그러나 학생들의 오개념은 학생들의 관점에서 보면 매우 그럴듯하고 흥미로운 생각이기 때문에 정규 수업 후에도 변하지 않고 오히려 강화되거나, 선입개념과 과학적 지식이 혼합되기도 하며 인지구조 내에서 독립된 형태로 존재하기도 한다.⁷ 최병순 등⁸은 이러한 선입개념의 특징으로 세 가지를 들었다. 첫째, 학생들은 현상을 관찰하거나 결과를 해석하는 과정에서 자신의 기대 혹은 경험적으로 획득한 개념에 의해서 영향을 받으므로 선입개념은 개인 특유의 것이지만 일반적으로 나타나는 공통점이 있다. 둘째, 학생들은 동일한 여러 현상을 통합할 수 있는 과학적 모형을 갖고 있지 못하므로, 동일한 성격이나 내용에 관련된 현상에 대해서도 상황이 다를 경우에는 서로 다르게 설명하는 상황 의존성을 나타낸다. 마지막으로 자연 현상에 대한 학생개념은 자신의 생생한 경험에 바탕을 두고 있기 때문에 선입개념은 일종의 신념에 가까우므로 매우 안정하다. 따라서 구성주의적 입장에서는 수업 과정을 통해 이러한 선입개념을 어떻게 과학적 개념으로 변화시킬 수 있는가 하는 점이 매우 중요한 관심사였다. 이에 따라 다양한 학생들의 선입개념의 조사와 이에 대한 효과적인 교수법의 모색이 최근까지 많이 이루어져 왔다.

이 연구에서 소재로 삼은 용해·확산과 관련된 혼합현상은 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 자연 현상 중의 하나로 과학교육과정에서도 초등학교, 중학교, 고등학교에 이르기까지 꾸준히 다루고 있다. 초등학교에서는 이를 현상 중심으로 다루다가 점차 중등학교로 올라가면서 이러한 현상에 대한 과학적 개념을 도입하는 과정을 거친다. 고등학교 화학 I 교과서에서는 물에 관련된 여러 가지 특성이 나타나게 되는 까닭을 물 분자의 구조와 결합과 관련지어 설명하면서 물의 용해성에 대해 다룬다. 화학 I을 이수한 학생이 선택할 수 있는 심화 교과인 화학 II 교과서에서는 물질의 용해 현상을 용매와 용질 입자간의 인력 개념을 이용하여 설명하고 확산 현상에 대해서

는 정량적인 접근을 통하여 기체의 분자량을 구할 수 있도록 구성되어 있다.⁹

용해 현상을 이해하기 위해서는 분자나 이온과 같은 미시적인 입자의 개념과 형식적인 조작사고를 요구하므로,^{10,11} 중학생들에게 뿐만 아니라 고등학생들에게도 어려운 개념이라고 할 수 있다. 중등학교에서 용해 현상의 지도 실태를 조사한 연구¹²에서는 용해가 일상생활에서 많이 관찰되는 자연 현상임에도 불구하고 교과서에 제시된 내용에 대해 학생들이 이해할 수 있는 수준의 적절한 지도가 이루어지지 못하고 있음을 밝혔다. 또한 이 연구에서는 교과서의 내용 구성이 학생들의 정확한 과학개념 정립에 도움을 주지 못한다고 지적하였다. 다른 연구¹³에서도 초, 중등학교 교과서에서 용해와 확산의 개념이 유사하게 정의되어 혼란이 일어날 가능성을 내포하고 있으며, 특히 확산에서는 분자들이 스스로 움직이는 것을 강조함으로써 학생들이 충돌에 의한 확산의 개념을 얻는 것에 어려움을 겪는다고 주장하였다.

학생들의 확산에 관한 응답 유형을 조사한 연구¹⁴에 따르면, 물질의 입자적 본질과 무작위적인 운동 영역에서 학생들이 가장 많이 가지고 있던 오개념으로 입자들이 균일한 분포에 이르면 전혀 움직이지 않는다는 사고가 존재함을 밝혔다. 그리고 이러한 사고는 중학생 뿐 아니라 고등학생들과 심지어 대학생들까지도 보편적으로 발견됨을 보고하였다.

하성자¹⁵는 확산 현상을 분자 운동만으로 설명하는 것에는 한계가 있으며, 이러한 현상을 제대로 설명하기 위해서는 엔트로피의 관점이 필요하다고 주장하였다. 김종현¹⁶도 고등학교 화학 II 교과서의 용액 단원에 포함된 용해와 확산의 개념을 학생들에게 보다 효과적으로 전달하기 위하여 입자 수준의 컴퓨터 보조 수업자료를 개발하면서 확산 현상을 설명하는 방식으로 무질서도의 개념을 도입하였으며, 이 보조 수업자료에 대한 교육적 효과를 알아본 연구^{17,18}를 통해 이러한 개념의 도입이 확산의 개념을 학생들이 이해하는데 도움을 줄 수 있음을 시사하였다.

이렇게 여러 연구에서 용해와 확산에 관련된 자연 현상에 대한 학생들의 이해 수준이나 교사의 지도 실태, 교과서의 문제, 개념 정립을 위한 교수 방안 등을 제시하였으나, 아직까지 고등학생들을 대상으로 용해에 관련된 다양한 현상이나 확산에 관련된 다양한 현상을 어떠한 유형의 사고로 이해하고 있는지에

대해 구체적으로 분석한 연구는 이루어지지 않았다. 이 연구에서는 중등학교에서 화학 교육이 이루어지는 가장 마지막 단계의 화학 I과 화학 II 교과서를 배우는 고등학교 2, 3학년을 대상으로 여러 가지 용해에 관련된 현상이나 확산에 관련된 현상을 제시하였을 때 학생들이 어떠한 유형의 개념으로 이러한 현상을 이해하는지를 알아보았다. 그 결과를 토대로 기본적인 자연 현상들에 대한 고등학교 학생들의 이해에 문제가 없는지 알아보고, 밝혀진 문제점을 통해 화학 교육에서 고려하여야 할 점 등에 대해 살펴보고자 하였다.

연구 절차 및 방법

연구 대상 및 조사 시기. 이 연구는 경기도 남양주시에 소재하는 고등학교에 재학 중인 2학년 학생들 중에서 화학 I 과목을 배우고 있는 108명의 학생들과 3학년 학생들 중에서 화학 II 과목을 배우고 있는 29명의 학생들을 대상으로 하였다. 3학년 학생들의 경우에는 화학 II 과목을 수강하는 학생 수가 적었기 때문에 연구 대상 수가 2학년에 비해 매우 적어 학년별 비교에 제한점을 가진다. 조사를 하는 시기에 화학 I 과목을 배우는 학생들은 용해와 확산 현상에 대한 내용을 학습한 후였으며, 화학 II 과목을 배우는 학생들의 경우에도 용해와 확산 현상에 관련된 학습이 이루어진 후였다.

설문지. 이 연구에서 고등학생들의 용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 생각을 알아보기 위한 설문지는 관련된 선행 연구들에서 밝힌 내용들과 관련 교과서의 내용 분석을 토대로 구성하였다. 1차 개발된 설문지는 과학교육 전문가 1인과 고등학교 화학 담당 교사 3인의 검토를 거쳐서 수정되었다. 그 후 수정 보완된 설문지를 연구 대상이 아닌 고등학교 2학년 학생 25명과 고등학교 3학년 학생 9명을 대상으로 투입하였고, 투입한 결과를 토대로 문맥이 제대로 이해되지 않거나 문제가 의도한 바를 제대로 전달해주고 있지 못하다고 판단되는 문항이나 문구를 수정하였다.

설문지는 총 5문항으로 구성되어 있다. 분필이 물에 섞이지 않는 현상, 사염화탄소가 물에 섞이지 않는 현상의 두 문항의 경우에는 두 물질이 잘 섞이지 않는 현상을 중심으로 한 사고 유형을 알아본 것이

다. 불과 에탄올이 한없이 섞이는 현상, 수정 잉크가 물에 섞이는 현상, 그리고 요오드가 사염화탄소에 섞이는 현상을 통해 두 물질이 섞이는 것에 대한 사고 유형을 알아보았다.

대부분의 학생들이 주관식 문항에 응답하는 것에 적극성을 보이지 않았기 때문에 모든 문항은 선행 연구^{19,21}와 교과서의 설명 유형 분석 결과, 그리고 사전 검사를 통한 학생들의 사고 유형을 중심으로 객관식으로 구성하였다. 객관식 문항의 응답은 두 물질이 섞이는 현상이 일어나거나 일어나지 않는 이유를 크게 입자 사이의 인력으로 사고하는 유형, 입자 사이의 구멍 유무로 사고하는 유형, 입자들의 무작위한 운동으로 사고하는 유형의 3가지로 구분하고, 그 외에 기타 응답을 두어서 다른 유형의 사고가 존재하는지 알아보려고 하였다.

관련 교과서 분석. 이 연구의 대상 학생들은 현행 7차 교육과정에 근거하여 개발된 중학교와 고등학교 교과서를 중심으로 교육을 받았다. 연구 대상인 학생들이 중학교에서 사용한 교과서들은 다양하고, 또한 고등학교의 경우에도 선택된 한 교과서만으로 수업하기 보다는 보편적으로 학교에서 사용하는 다양한 교과서들을 분석하여 정리한 유인물 등을 중심으로 수업이 이루어지기 때문에 7차 교육과정에서 개발된 다양한 중학교 과학 교과서와 고등학교 화학 I, 화학 II 교과서를 중심으로 학생들의 사고 유형과 관련된 내용을 분석하였다.

용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 개념 유형. 용해·확산과 관련된 혼합현상은 모두 두 가지 이상의 물질이 골고루 섞이는 자발적인 과정으로 Gibbs energy ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$)를 고려해주어야 한다. 여기서 ΔH 는 엔탈피 변화 즉, 입자간의 인력 세기에서 비롯된 에너지 변화로 입자간의 인력과 관련이 있고, ΔS 는 엔트로피 변화로 입자들의 무작위한 운동과 관련이 있다. 자발적 반응이 궁극적으로 Gibbs energy가 감소하는 방향으로 일어난다고 할 때, 용해·확산과 관련된 자발적인 혼합현상은 그 원인에 따라 크게 두 가지의 경우로 구분할 수 있다. ΔG 값이 음으로 되는 과정에서 입자간의 인력으로 인한 에너지 변화와 엔트로피 변화가 모두 중요한 요인으로 작용하는 경우가 있고, 혼합 엔트로피 증가가 주된 요인으로 작용하는 경우가 있다.

이상기체가 혼합될 때나 이상용액이 형성되는 경

우에는 혼합이 일어나는 주된 추진력이 혼합 엔트로피의 증가이다. 왜냐하면 이상기체의 경우에는 입자들 간 상호작용이 없고, 이상용액의 경우에는 입자들 간에 작용하는 인력이 모두 같기 때문이다. 즉 엔탈피 변화가 0인 이상적인 혼합이라고 할 수 있다. 그러나 자연계에서 쉽게 관찰되는 용해와 확산 현상의 경우에는 이상적인 혼합과는 달리 입자들 간의 인력이 존재하므로 ΔH 가 0이 될 수 없다. 다만 입자들 간에 작용하는 인력이 매우 작거나 비슷하다면 ΔH 값이 0에 가까운 값을 가지므로 엔트로피 변화에 비해 그 영향이 매우 작으므로 무시될 수 있다. 이러한 경우에 반응이 일어나는 주된 추진력은 이상적인 혼합에서와 마찬가지로 혼합 엔트로피의 증가이다.²² 알코올과 물이 섞이는 현상이나 수성 잉크와 물이 섞이는 현상 그리고 요오드와 사염화탄소가 섞이는 현상 등이 이에 해당된다.

반면 물과 같은 극성 용매에 이온 결합성 물질인 용질이 혼합될 경우에는 이온들 간에 작용하는 인력이 커서 ΔH 를 무시할 수 없다. 또한 인력의 영향으로 인해 이상적인 혼합의 경우와는 달리 혼합 엔트로피 변화가 음의 값을 가질 수도 있게 된다. 용질이 용매에 녹아 이온화 될 때는 무질서도가 증가하는 반면, 이온 주변에 용매가 결합되는 용매화 과정에서는 용매 분자가 규칙적인 배열을 이루므로 무질서도가 감소한다. 이 두 과정에서의 엔트로피 변화량의 합이 전체 계의 엔트로피 변화량이 되므로 엔트로피 변화 값은 양이 될 수도 있고 음이 될 수도 있다.²² 따라서 이러한 혼합 과정에서는 인력으로 인한 에너지 변화와 엔트로피 변화를 모두 고려해야 한다. 예를 들어, 분필이 물에 섞이지 않는 현상이 이 경우에 해당된다. 이 현상이 발열반응임에도 불구하고 분필이 자발적으로 물에 섞이지 않는 이유는 고체 상태의 탄산칼슘이 이온화되면서 증가하는 엔트로피보다 칼슘이온과 탄산이온의 용매화로 인한 물의 엔트로

피 감소량이 더 커서 전체적으로 $\Delta S < 0$ 이기 때문으로 해석할 수 있다.^{22,23}

용해·확산과 관련된 혼합현상을 그 원인에 따라 에너지 변화와 엔트로피 변화가 주된 기여를 하는 혼합과 엔트로피 증가가 주된 기여를 하는 혼합의 두 경우로 구분하였다. 전자는 혼합에 관여하는 두 물질들 간에 작용하는 인력의 크기 차이가 커서 인력이 에너지 변화 뿐 아니라 엔트로피 변화에도 영향을 주므로 일정한 양의 용해도를 갖는 경우이고, 후자는 두 물질들 간에 작용하는 인력의 크기가 작거나 비슷해서 인력이 혼합 엔트로피 증가에 미치는 영향이 극히 작으므로 용해도가 매우 크거나 무한정한 경우라고 해석할 수 있다.

이러한 기준에 의해 분필이 물에 섞이지 않는 현상과 사염화탄소가 물에 섞이지 않는 현상은 인력으로 인한 에너지 변화와 엔트로피 변화의 영향을 받는 현상으로 구분하였고, 알코올과 물이 섞이는 현상, 수성 잉크와 물이 섞이는 현상 그리고 요오드가 사염화탄소에 섞이는 현상은 혼합 엔트로피 증가에 의한 현상으로 구분하였다.

연구 결과 및 논의

분필이 물에 섞이지 않는 현상에 대한 이해. 분필이 물에 섞이지 않는 이유에 대한 학생들의 사고를 분석하여 Table 1에 제시하였다.

분필이 물에 섞이지 않는 현상은 분필이 이온결합성 물질로 이온들 사이에 강한 인력이 작용할 뿐 아니라 이온과 물 사이의 인력으로 인해 용매화가 일어나 엔트로피가 감소하기 때문에 나타나는 현상이다.^{22,23} 따라서 인력에 의한 에너지 변화와 엔트로피 변화를 모두 고려해 주어야 한다. 그런데 현 교육과정엔 엔트로피 개념이 포함되어 있지 않기 때문에 설문지의 문항에서는 분자 운동이 엔트로피의 증가의 원

Table 1. Types of students' conceptions as a reason of insoluble chalk in water

Type	Students' conception	Number of response(%)	
		Grade 11	Grade 12
Attraction	The force of attraction between chalk particles and water molecules is small.	1(0.9)	7(24.1)
Hole	Chalk particles can not intrude themselves into the holes between water molecules.	28(25.9)	6(20.7)
Molecular motion	Chalk particles can not collide with water molecules.	8(7.5)	0(0.0)
The others	Chalk is non-polar material, and water is polar material, etc.	71(65.7)	16(55.2)
Total		108(100)	29(100)

인이 되므로 분자 운동의 관점을 엔트로피와 관련된 개념으로 보았다. Table 1에서 보면, 분필이 물에 섞이지 않는 현상을 인력 개념과 엔트로피와 관련된 분자 운동을 모두 고려하여 이해한 학생은 한명도 없었다. 인력으로 이해하고 있는 학생은 고등학교 2학년의 경우 0.9%, 고등학교 3학년의 경우 24.1%로 그 비율이 낮았다. 또한 엔트로피와 관련된 분자 운동으로 이해하고 있는 학생은 단지 고등학교 2학년 7.5%에 불과하였다.

기타 응답을 보면 높은 비율의 학생들이 분필이 물에 녹지 않는 이유를 ‘분필은 무극성 물질이고 물은 극성 물질이기 때문’이라는 물질 자체의 특성으로 이해하고 있었다. 이렇게 생각하는 학생들의 비율은 2학년의 경우는 65.7%이고, 3학년의 경우는 55.2%로 무려 절반이 넘는 것으로 나타났다. 학생들의 이러한 사고는 용해에 대한 교과서의 설명 방식에 영향을 받았을 가능성이 있다.

화학 I 교과서²⁴에서는 물의 용해성에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

물질의 극성은 용해도에 영향을 미치는데, 성질이 비슷한 물질들끼리 서로 잘 섞인다. 즉, 극성 물질은 극성 물질과 무극성 물질은 무극성 물질과 잘 섞인다. 물과 기름이 섞이지 않는 것은 물은 극성 물질이고 기름은 무극성 물질이기 때문이며, 물과 알코올이 섞이는 것은 물과 알코올이 모두 극성이기 때문이다

화학 II 교과서²⁵에서는 용해에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

극성을 띤 용매인 물에는 염화나트륨과 같은 이온성 물질이나 극성 물질인 아세트산은 잘 녹지만, 극성을 띠

지 않는 물질인 요오드는 잘 녹지 않는다 반대로 극성을 띠지 않는 용매인 사염화탄소에는 극성을 띠지 않는 물질인 요오드는 잘 녹으나, 이온성을 띤 물질인 염화나트륨은 잘 녹지 않는다. 이것은 용질 분자들 사이의 인력과 용매와 용질 분자 사이의 인력 차이 때문에 일어나는 현상이다 즉, 극성을 띤 용매는 극성 및 이온성 물질이 잘 녹고, 극성을 띠지 않는 용매에는 극성을 띠지 않는 물질이 잘 녹는다.

화학 I 교과서와 화학 II 교과서를 분석한 결과 일부 화학 I 교과서와 대부분의 화학 II 교과서가 용해 현상을 극성과 무극성의 물질의 특성으로 설명하거나, 비록 인력 개념으로 용해를 설명하더라도 극성과 무극성에 더 큰 비중을 두어 설명하고 있었다. 따라서 학생들은 혼합과 관련된 현상을 인력 개념이나 엔트로피 개념으로 이해하기보다는 이러한 물질의 특성으로 이해하여 극성인 물에 잘 섞이지 않는 분필을 무극성이라고 생각하였을 가능성이 크다.

사염화탄소가 물에 섞이지 않는 현상에 대한 이해. 이 두 물질은 액체이지만 서로 섞이지 않는다. 그 이유에 대한 학생들의 생각을 정리하여 Table 2에 제시하였다.

분필이 물에 섞이지 않는 이유에 대한 사고와 달리, 사염화탄소가 물에 섞이지 않는 이유를 인력 개념으로 사고하는 학생의 비율은 상대적으로 높았다. 분필의 경우에는 고등학교 2학년 학생들 중 0.9%만이 인력 개념으로 이해하고 있었으나, 사염화탄소의 경우에는 28.7%의 학생들이 인력 개념으로 이 현상을 이해하고 있었다. 고등학교 3학년의 경우에는 분필에 대한 현상에서 24.1%의 학생들이 인력 개념으로 이해하고 있었으며, 사염화탄소에 대한 현상에서는 55.2%의 학생들이 인력 개념으로 이해하고 있었

Table 2. Types of students' conceptions as a reason of insoluble Carbon tetrachloride in water

Type	Students' conception	Number of response(%)	
		Grade 11	Grade 12
Attraction	The force of attraction between Carbon tetrachloride molecules and water molecules is small.	31(28.7)	16(55.2)
Hole	Carbon tetrachloride molecules can not intrude themselves into the holes between water molecules.	11(10.2)	1(3.4)
Molecular motion	Carbon tetrachloride molecules can not collide with water molecules.	10(9.3)	2(6.9)
The others	Density of Carbon tetrachloride is larger than density of water.	42(38.9)	7(24.1)
	Carbon tetrachloride is non-polar material, and water is polar material, etc.	14(12.9)	3(10.4)
Total		108(100)	29(100)

다. 이처럼 사염화탄소와 물이 섞이지 않는 현상에 대해 상대적으로 높은 비율의 학생들이 인력 개념으로 사고하는 이유는 교과서의 설명과 관련이 있을 수 있다.

화학 II²⁶에서는 다음과 같이 설명하고 있다.

에탄올은 물과 비슷한 구조를 가진 부분이 있어서 에탄올과 물 분자 사이에 인력이 작용하여 서로 잘 섞인다. 그러나 물과 성질이 다른 사염화탄소는 물과 사염화탄소 사이의 인력이 작으므로 서로 섞이지 않고 두 층으로 분리된다.

이처럼 교과서에서 사염화탄소와 물을 섞이지 않는 예로 제시하고 그 이유를 인력 개념으로 설명하고 있기 때문에 많은 학생들이 친숙하게 여겨 사염화탄소와 물이 섞이지 않는 이유를 인력 개념으로 응답하였을 수 있다.

그러나 고등학교 2학년의 경우에는 인력 개념보다 높은 비율(51.8%)의 학생들이 기타 응답에 물질의 특성에 관한 관점을 제시하였다. 3학년의 경우에도 34.5%의 학생들이 물질의 특성에 관한 관점을 기타 응답에 제시하였다. 이렇게 기타 응답으로 제시한 물질의 특성에 관한 관점은 크게 밀도로 설명하는 유형과 극성부극성의 차이로 설명하는 유형으로 구분할 수 있었다. 분필의 경우와 달리 사염화탄소의 경우에는 섞이지 않는 현상을 극성과 무극성의 차이로 설명하는 비율이 2학년의 12.9%와 3학년의 10.4% 모두 낮았다. 또한 분필의 경우에 비해 사염화탄소의 경우에는 물에 섞이지 않는 이유를 구멍 개념으로 설명하는 비율도 매우 줄어들었다. 그 대신 밀도로 설명하는 유형은 훨씬 높았다. 밀도의 차이를 섞이지 않는 원인으로 응답한 학생은 2학년의 경우 38.9%이고, 특히 용해에 대해 인력 개념으로 배운 3학년의 경우에도 24.1%로 높은 비율을 차지하였다. 대부분의 화학 II 교과서가 인력 개념으로 용해를 설명하고 있음에도 불구하고 이처럼 많은 학생들이 밀도 차이로 이해하는 것은 교과서에 제시된 모형을 학생들이 잘못 해석하는데서 비롯되었을 수도 있다.

화학 II²⁷에서는 사염화탄소와 물이 섞이지 않는 현상을 Fig. 1과 같은 입자 모형으로 나타내고 있다. 그림이나 모형은 개념에 대한 영상적 표현으로 학생들

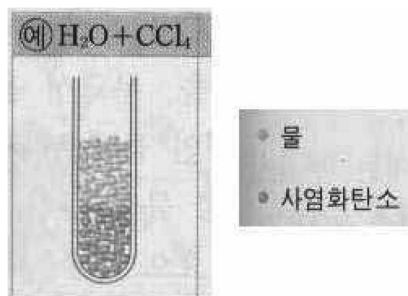


Fig. 1. particle model of phenomena which carbon tetrachloride and water will not mix.

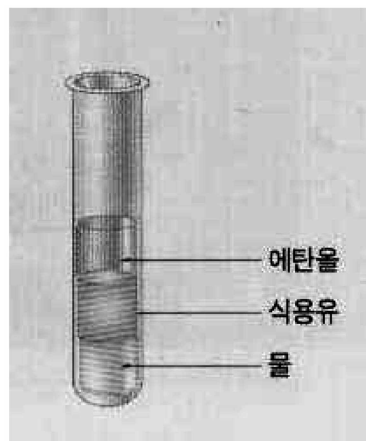


Fig. 2. density difference of oil, water and ethanol.

이 기존의 개념을 가지고 해석해서 이해하여야 한다. 그런데 위의 Fig. 1이 초등학교나 중학교 교과서에 제시된 밀도 차이에 의해 섞이지 않는 물질을 표현한 Fig. 2과 유사하여 많은 학생들이 사염화탄소와 물이 섞이지 않고 층분리가 된 Fig. 1을 인력 개념으로 해석하지 못하고 단순히 밀도 차이 때문이라고 해석하였을 가능성이 있다. Fig. 2는 중학교 과학2²⁸에 제시된 밀도차에 의해 섞이지 않는 물질을 나타낸 그림이다.

물과 에탄올이 섞이는 현상에 대한 이해. 물과 에탄올을 섞으면 일정한 양만 섞이는 용해도가 존재하지 않고 한없이 섞이는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상을 학생들이 어떠한 개념으로 이해하고 있는지 분석하여 Table 3에 제시하였다.

Table 3에서 보면 인력 개념으로 이 현상을 이해하고 있는 학생들이 가장 많다. 2학년 학생의 40.7%와 3학년 학생의 62.1%가 이에 해당한다. 이렇게 많은

Table 3. Types of students' conceptions as a reason of dissolving ethanol in water

Type	Students' conception	Number of response(%)	
		Grade 11	Grade 12
Attraction	The force of attraction between ethanol molecules and water molecules is large.	44(40.7)	18(62.1)
Hole	Ethanol molecules intrude themselves into the holes between water molecules.	28(25.9)	4(13.8)
Molecular motion	Ethanol molecules adulterate with water molecules because of their motion collision.	13(12.1)	5(17.2)
The others	Ethanol molecules divide into smaller particles in water, etc.	23(21.3)	2(6.9)
Total		108(100)	29(100)

학생들이 에탄올과 물이 섞이는 이유를 인력 개념으로 이해하는 것은 교과서에서 두 물질이 섞이는 원리를 설명할 때 알코올과 물의 혼합을 예로 들어 인력 개념으로 설명하고 있기 때문일 수 있다.

화학 II²⁶에서 이 현상을 다음과 같이 설명하였다.

이와 같이 용질이 용매에 녹으려면 용질과 용매 입자 사이의 인력이 용질 입자끼리나 용매 입자끼리 작용하는 인력보다 커야 한다

용질이 액체인 경우에도 같은 원리가 적용된다. 에탄올은 물과 비슷한 구조를 가진 부분이 있어서 에탄올과 물 분자 사이에 인력이 작용하여 서로 잘 섞인다.

이 설명에 의하면, 학생들이 에탄올과 물 분자 사이에 큰 인력이 작용하기 때문에 혼합이 일어난다고 생각할 수 있다. 그러나 변현수 등²⁹이 계산한 알코올과 물의 혼합 엔탈피를 보면 혼합 비율에 따라 ΔH 는 $-0.78 \sim -0.13$ kJ/mol로 그 값이 매우 작음을 확인할 수 있다. 즉, 에탄올과 물의 경우에는 입자간 인력의 크기가 비슷하여 섞이는 과정에서 인력으로 인한 에너지 변화가 엔트로피 변화에 비해 무시할 수 있을 만큼 작다. 따라서 이 현상은 엔트로피 관점의 무작위한 분자 운동으로 이해하여야 한다. 그런데 위의 교과서 설명을 보면 물과 에탄올의 혼합을 엔트로피 관점이 아니라 인력으로 잘못 설명하고 있다. 그래서 대부분의 학생들이 물과 에탄올의 혼합을 인력 개념으로 이해하고 있으며 단지 2학년의 12.1%, 3학년의 17.2%에 해당하는 학생들만이 분자 운동으로 이해하였을 수 있다. 따라서 이 연구에서는 물과 에탄올이 섞이는 현상을 인력 개념으로 설명하고 있는 교과서 서술 방식이 엔트로피 관점으로 수정될 필요가 있다고 생각한다.

수성 잉크와 물이 섞이는 현상에 대한 이해. 물에 수성 잉크를 떨어뜨리면 수성 잉크가 물에 퍼져나가면서 잘 섞인다. 이러한 현상의 원인에 대해 학생들이 어떻게 이해하고 있는지 분석하여 Table 4에 제시하였다.

수성 잉크와 물이 섞이는 것은 알코올과 물이 섞이는 것과 마찬가지로 분자간의 인력이 비슷하여 혼합 엔트로피 증가가 주된 추진력이 되어 나타나는 현상이다. 그러나 알코올과 물의 혼합의 경우에는 인력 개념으로 이해한 학생의 비율(40.7%, 62.1%)이 높고 분자 운동으로 이해한 학생의 비율(12.1%, 17.2%)이 낮은 것과 달리, 잉크와 물의 혼합의 경우에는 Table 4에서 보면 인력 개념으로 이해한 학생의 비율이 2학년 2.8%, 3학년 6.9%로 매우 낮고, 분자 운동으로 이해한 학생의 비율이 2학년 23.1%, 3학년 34.5%로 상대적으로 높았다. 이는 교과서에서 알코올과 물의 혼합은 인력 개념으로 설명하지만 잉크와 물의 혼합은 분자 운동으로 설명하기 때문에 그 영향을 받았을 가능성이 있다.

중학교 과학1³⁰에서는 다음과 같이 설명하고 있다.

Table 4. Types of students' conceptions as a reason of dissolving ink in water

Type	Students' conception	Number of response(%)	
		Grade 11	Grade 12
Attraction	The force of attraction between ink molecules and water molecules is large.	3(2.8)	2(6.9)
Hole	Ink molecules intrude themselves into the holes between water molecules.	14(13.0)	5(17.2)
Molecular motion	Ink molecules adulterate with water molecules because of their motion collision.	25(23.1)	10(34.5)
The others	Ink molecules spread themselves from high concentration to low concentration.	49(45.4)	12(41.4)
Total		108(100)	29(100)

물에 떨어뜨린 잉크가 퍼져 나가는 것이나 멀리 떨어진 곳에서도 향수 냄새를 맡을 수 있는 현상으로부터 분자들이 끊임없이 움직이고 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 분자들이 분자 운동에 의해 액체나 기체 속으로 퍼져 나가는 현상을 확산이라고 한다.

또한 가장 높은 비율의 학생들이 고농도에서 저농도로 퍼지는 현상을 혼합의 원인으로 기타 응답에 제시하였다. 이러한 응답을 한 학생들은 2학년 45.4%와 3학년의 41.4%로, 이들은 농도차에 의해 퍼지는 현상을 엔트로피와 관련된 분자 운동과 연관시키지 못한 채 개념이 아닌 관찰 수준의 현상 자체를 혼합의 원인으로 이해하고 있다고 해석할 수 있다. 이렇게 많은 학생들이 혼합의 원인을 개념이 아닌 현상 자체로 이해하는 것은 교과서의 서술 방식과 밀접한 관련이 있을 수 있다.

중학교 과학¹³⁾에서는 확산을 다음과 같이 설명하고 있다.

연기가 퍼지거나 잉크가 물 속에서 퍼지는 것과 같이 어떤 물질이 퍼져 나아가는 현상을 확산이라고 한다. 만약 어떤 물질이 다른 물질 사이로 퍼진다면 두 물질은 고르게 섞일 것이다.

또한 화학 II³²⁾에서도 확산을 다음과 같이 설명하고 있다.

꽃집에서 향긋한 꽃 냄새가 가득하고, 물에 떨어뜨린 잉크 방울은 물 속으로 퍼져 나간다. 또, 실온에서 휘발성이 큰 액체 브롬을 용기에 넣으면 기화된 브롬 기체가 퍼져 나간다. 이와 같이 분자가 기체나 액체 속으로 퍼져 나가는 현상을 확산이라고 한다.

이와 같이 대부분의 교과서에서 확산을 원인보다는 퍼지는 현상에 초점을 두어 설명하고 있으며, 잉크가 물에 퍼져나가는 현상을 확산의 대표적인 예로 들고 있다. 따라서 많은 학생들이 잉크와 물의 혼합을 확산의 대표적인 예로 인식하고 확산과 관련된 퍼지는 현상 자체를 잉크와 물이 섞이는 원인으로 이해하였을 가능성이 크다.

요오드가 사염화탄소에 섞이는 현상에 대한 이해, 무극성을 띠는 요오드를 무극성인 사염화탄소에 넣었을 때 요오드는 사염화탄소에 녹아 골고루 잘 섞인다. 이러한 현상이 나타나는 이유에 대한 학생들의 생각을 정리하여 Table 5에 제시하였다.

요오드와 사염화탄소는 모두 무극성 분자로 이들 입자 사이에는 분산력이 작용한다. 이 분산력은 분자 내에서 전자들의 요동에 의해서 순간적으로 형성되는 매우 약한 인력이다. 따라서 인력으로 인한 에너지 변화를 무시할 수 있으므로 엔트로피의 증가가 혼합의 주된 추진력이 된다. 그러나 2학년의 15.7%와 3학년 6.9%만이 엔트로피와 관련된 분자 운동의 관점으로 이해하고 있었다.

또한 2학년의 경우 가장 높은 비율인 43.5%의 학생들은 구멍 개념으로 이해하고 있으며, 26.7%가 인력 개념으로 이해하고 있었다. 3학년 학생의 경우도 58.6%가 인력 개념으로, 41.0%가 구멍 개념으로 이해하고 있었다. 이처럼 많은 학생들이 요오드와 사염화탄소가 섞이는 현상을 엔트로피 개념이 아닌 구멍 개념이나 인력 개념으로 이해하는 원인을 교과서의 서술방식에서 찾아 볼 수 있다.

화학 II³³⁾에서는 다음과 같이 설명하고 있다.

요오드의 경우는 물 분자 사이의 인력이 물 분자와 요오드 분자 사이의 인력보다 크기 때문에 물 분자

Table 5. Types of students' conceptions as a reason of dissolving Iodine in Carbon tetrachloride

Type	Students' conception	Number of response(%)	
		Grade 11	Grade 12
Attraction	The force of attraction between Iodine molecules and Carbon tetrachloride molecules is large.	31(26.7)	17(58.6)
Hole	Iodine molecules can intrude themselves into the holes between Carbon tetrachloride molecules.	47(43.5)	9(41.0)
Molecular motion	Iodine molecules adulterate with Carbon tetrachloride molecules because of their motion collision.	17(15.7)	2(6.9)
The others	Both Iodine and Carbon tetrachloride are non-polar material, etc.	13(12.1)	1(3.5)
Total		108(100)	29(100)

사이에 요오드 분자가 끼어들 수 없으므로 물에 잘 녹지 않는다.

이와 같이 교과서에서 '분자가 끼어들 수 없으므로'라는 표현을 사용하기 때문에 많은 학생들이 구멍 개념을 형성하였을 수도 있다.

또한 특이한 사실은 3학년 학생들 중 인력 개념으로 이해하는 비율이 58.6%이상이라는 것이다. 이처럼 절반 이상의 학생들이 인력 개념으로 이해하고 있는 것은 물과 에탄올의 경우나 물과 사염화탄소의 경우에서도 동일하게 나타난다. 따라서 학생들이 요오드와 사염화탄소의 혼합을 이들 현상과 유사하게 사고하였을 수 있다. 이는 앞에서 살펴본 것처럼 교과서 서술의 문제와 관련이 있을 가능성이 있다.

결론 및 제언

이 연구에서는 두 물질이 균일하게 섞이는 현상과 섞이지 않는 현상을 다양하게 제시함으로써 고등학교 학생들의 용해와 확산과 관련된 혼합현상에 대한 개념 유형을 파악하고자 하였다.

분필이 물에 섞이지 않는 현상은 입자와 입자 사이의 인력 개념과 엔트로피 개념을 도입하여 이해하여야 하는데, 많은 학생들은 분필이 무극성 물질이기 때문이라고 생각하고 있었다. 이온결합 물질인 분필이 물에 녹지 않는 이유를 인력의 개념이나 엔트로피 개념으로 이해하지 못하고 무극성 물질이기 때문으로 잘못 이해하는 현상은 교과서의 서술과도 관련이 깊다고 할 수 있다.

사염화탄소가 물과 섞이지 않는 현상은 비교적 많은 학생들이 인력 개념을 도입하여 이해하고 있었다. 그러나 인력 개념으로 혼합의 원리를 배운 학생들 중에는 인력이 아닌 밀도차와 같은 물질의 특성으로 혼합을 이해하는 학생도 많았다. 이는 교과서의 그림이나 모형과 같은 영상적 표현이 오히려 학생들의 과학적 개념 형성에 장애가 될 수도 있음을 시사한다.

물과 에탄올이 섞이는 현상이나 잉크와 물이 섞이는 현상은 모두 무질서한 분자운동에 의한 혼합현상으로 이해하여야 하는데 확산의 예로 제시된 잉크와 물의 혼합은 엔트로피적 관점으로 이해한 학생이 매우 많은 반면, 알코올과 물의 혼합은 엔트로피 관점보다 인력 개념으로 이해한 학생이 더 많았다. 이처럼

비슷한 원인으로 일어나는 두 현상을 전혀 다른 원인으로 이해하고 있는 이유는 혼합현상에 대해 인력에 의한 에너지 변화와 엔트로피 변화로 그 원인을 설명하지 않고 혼합현상을 단순히 용해와 확산의 예로 제시하고 있는 교과서의 서술 방식의 영향일 수 있다.

요오드가 사염화탄소에 섞이는 현상 또한 엔트로피 관점으로 이해하여야 한다. 그러나 많은 학생들이 인력이 주된 기여를 하는 것으로 잘못 이해하고 있었다. 이렇게 사고하는 것은 교과서의 서술 방식과 연관이 있다.

우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 여러 가지 혼합현상들을 주로 용해나 확산이라는 용어를 사용하여 제시한다. 그러나 현재의 교육과정에서처럼 용해와 확산의 용어로 혼합 사례를 서술하는 것에서 벗어나 인력으로 인한 에너지 변화와 엔트로피 변화를 모두 고려한 개념을 도입하여 혼합의 원인에 따라 용해나 확산 현상을 구분해 줄 필요가 있다. 즉 에너지 변화와 엔트로피 변화를 모두 고려해야 하는 경우와, 엔트로피 변화가 주된 요인인 경우를 구분하여 전자를 용해 현상으로, 후자를 확산 현상으로 구분한다면, 단순히 현상 중심으로 용해나 확산을 설명하면서 발생하는 혼란을 줄여줄 수 있을 것이다.

에너지와 엔트로피의 관점은 자연세계의 규칙성을 설명하는 두 가지 중요한 축이다. 그러나 현재 고등학교까지 도입되는 주요 개념 중에 에너지 관점과 관련된 내용은 많으나, 엔트로피에 관련된 내용은 매우 드물다. 확산 현상을 설명할 때에도 엔트로피의 개념을 도입하기보다는 단순히 "농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하여 두 물질이 섞인다."는 관찰 현상 수준이 대부분이다. 이렇게 엔트로피의 관점을 고등학교까지 제대로 도입하지 않는 이유는 이 개념이 대부분의 사람들에게 낯설고, 특히 확률이 도입되어 설명된다면 그 수준이 매우 어렵게 느껴지기 때문일 것이다.

그러나 과학개념을 제대로 도입하지 않게 되면, 이 연구 결과에서 나타난 것과 같이 고등학교 3학년 학생들조차 용해와 확산 관련 현상을 제대로 이해하지 못하고 과학개념을 대체할 다양한 대안개념을 가지게 된다. 특히 고등학교에서 화학을 가장 깊이 있게 선택하여 학습하는 화학 II 과정에 있는 학생들조차도 화학 I 과목을 수강하는 2학년 학생들과 사고의

유형에 있어서 큰 차이를 보이지 않고 많은 대안개념을 유지하고 있는 현상은 심각한 문제라고 생각한다.

외국의 경우에는 엔트로피의 개념이 자연의 광범위한 물리 현상을 설명해주는 유용한 설명 방식이며, 매우 어린 학생들도 직관적으로 이러한 개념을 형성할 수 있다는 주장^{33,34}도 있으며, 이 개념을 단순히 정성적으로 도입함으로써 거시계나 분자계의 성질을 이해하는데 매우 유용하다는 주장³⁵이나, 과학교육의 목표 중 하나로 학생들이 자연에 대해 의미 있는 이해를 발달시키기는 기회를 제공해 줄 수 있다는 주장^{36,37} 등을 찾아볼 수 있다. 기존에 엔트로피의 개념이 교육과정상에 제시되지 않아서 용해와 확산 관련 현상에 대한 이해가 부족했다면 엔트로피 개념을 도입하여 혼합현상에 대한 올바른 이해를 도와야 한다. 그렇지 않다면, 이 연구에서 찾아낸 바와 같은 고등학교 학생들의 대안개념은 대학교에 가서 이에 관련된 전공을 통해 보다 깊이 있는 교육을 받을 기회를 가진 후에야 교정이 가능해질 것이다. 혹은 이들의 대안개념으로 인해 보다 깊이 있는 학습에 문제가 야기될 가능성도 있다. 다행히 우리나라에서도 2007년에 발표한 7차 교육과정 개정안에 따르면 엔트로피 개념이 새로이 도입될 예정이다.³⁸ 이는 학생들이 자연현상을 보다 올바른 과학개념으로 이해하는데 큰 도움이 되리라 생각된다. 따라서 고등학교 수준에서 과학개념을 적절히 소개함으로써 학생들이 용해와 확산과 같이 일상생활에서 친숙한 자연 현상에 대해 올바른 과학개념을 형성할 수 있도록 하는 방안에 대한 연구가 시급하다고 할 수 있다.

인용문헌

1. Appleton, K. *Journal of Research in Science Teaching* **1997**, *34*, 303.
2. Fensham, P. J.; Gunstone, R. F.; While, R. T. *The content of science: A constructivism approach to its teaching and learning*; The Falmer Press: London; U. K., 1994.
3. Lonsbach, A.; Tobin, K. *Constructivism as referent for science teaching* 2002.
4. Matthews, M. R. *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*; The University of Chicago Press: Chicago, U. S. A., 2000.
5. McComas, W. F. *The nature of science in science education rationales and strategies*; Kluwer Academic Publishers: Boston, U. S. A., 2000.
6. Miller, R.; Leach, J.; Osborne, J. *Improving science educations*; Open University Press: Buckingham, U. K., 2000.
7. Gilbert, J. K.; Osborne, R.; Fensham, P. *Science Education* **1982**, *66*, 623.
8. 최병순; 김범기; 김효남; 우종욱; 정완호; 정진우; 김대식; 이화국; 강순희; 허명 *과학오개념의 한영 비교 연구*, 한국교원대학교 연구보고서, 1993.
9. 교육인적자원부 *과학과 교육 과정*, 대한교과서주식회사: 서울, 1998.
10. 강순희; 박종윤; 우애자; 허은규 *화학교육* **1996**, *23*, 267.
11. 박종윤; 강순희; 최혜영 *화학교육* **1996**, *23*, 436.
12. 강대훈; 백성혜; 박국태 *대한화학회지* **2000**, *44*, 460.
13. 김주현; 이동준; 김선경; 강성주; 백성혜. *대한화학회지* **2000**, *44*, 611.
14. 김문수; 정영란. *한국과학교육학회지* **1997**, *17*, 191.
15. 하성자 *중등 과학 교사들의 엔트로피 관련 과학개념 조사*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2004.
16. 김종현 *고등학교 화학 II 용액 단원의 입자수준의 컴퓨터 보조 수업자료의 개발*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2004.
17. 박찬근 *고등학교 화학 II 용액 단원에서 입자 수준의 애니메이션 컴퓨터 보조 자료를 활용한 수업의 효과*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2005.
18. 김정원 *고등학교 화학 II 용액 단원에서 여학생들의 인지 수준 및 계열에 따른 컴퓨터 보조 수업의 효과*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2005.
19. 강대훈; 백성혜; 박국태 *대한화학회지*, **2000**, *44*, 460.
20. 강대훈; 백성혜; 박국태 *대한화학회지* **2004**, *48*, 399.
21. 김주현; 이동준; 김선경; 강성주; 백성혜 *대한화학회지* **2000**, *44*, 611.
22. Huhee, J. E.; Keiter E. A.; Kerter R. L. *제4판 무기 화학*, 자유아카데미, 1997.
23. Lide D, R. *CRC Handbook of chemistry and physic*; CRC Press, 2004.
24. 김희준; 윤정병; 이준용; 황성용; 이복영; 전화영 *고등학교 화학 I*, (주)천재교육, 2002.
25. 여수동; 여환진; 장영근; 이규욱; 조춘현; 박현영; 양도권; 이충길 *고등학교 화학 II*; 청문각, 2002.
26. 서정상; 허성일; 김출태; 박종욱; 최윤정; 임명종; 배병일 *고등학교 화학 II*; (주)금성출판사, 2002.
27. 우규환; 최석남; 오두환; 한은택; 김봉래; 강봉주 *고등학교 화학 II*; (주)중앙교육진흥연구소, 2002.
28. 소현수; 안태인; 최승언; 박진식; 목창수; 김종권; 김득호; 구수길; 박원규; 김완섭; 김영산 *중학교 과학 2*; (주)두산, 2001.
29. 변현수; 서홍삼; 박철 *화학공학* **1992**, *30*, 5.
30. 박봉상; 김운우; 홍달식; 박문수; 정대영; 심국석; 심중심; 최진복; 장정찬; 최병수; 진만식 *중학교 과학 1*; 동화사, 2000.

31. 정완호; 우종욱; 권재술; 김범기; 최병순; 정진우; 김성하; 백성혜; 이석형; 이봉호 *중학교 과학 1*; (주)교학사, 2000.
 32. 이덕환; 김대수; 심국석; 전석천; 이정희; 심중섭; 서인호; 노기종 *고등학교 화학 II*; 대한교과서(주), 2002.
 33. Friedman, W. J. *Child Development* **2001**, *72*, 460.
 34. Nakhleh, M. B. & Barrow, L. H. *Journal of Research in Science Teaching* **1995**, *36*, 777.
 35. Lambert, F. L. *Journal of Chemical Education* **2002**, *79*, 1388.
 36. Tomanek, D. *Science Education* **1994**, *78*, 73.
 37. Strong, L. E. *Australian Science Teachers Journal* **1972**, *18*, 55.
 38. 교육인적자원부 *과학과 교육과정*, 고시 제 2007-79호 [별책9].
-