

# 용해, 확산, 분출의 정의와 교과서 서술에 대한 재고찰

박종윤\*  
이화여자대학교

## Revisiting the Definitions and the Textbook Descriptions of Dissolution, Diffusion and Effusion

Park, Jong-Yoon\*  
Ewha Womans University

**Abstract:** Previous studies showed that many secondary school students and teachers have difficulties in distinguishing the phenomena of dissolution and diffusion, as well as the phenomena of diffusion and effusion. In this study, currently accepted term definitions of dissolution, diffusion and effusion were searched from the IUPAC Gold Book and the physical chemistry textbooks, and the points to differentiate the definitions were sought. Also, the term definitions of these three phenomena in the secondary school text books and the college general chemistry textbooks were surveyed and compared to the currently accepted definitions. It was found that dissolution is formation of one new phase from mixing two phases, while diffusion is the migration of matter down from the concentration gradient. The "concentration gradient" is considered to be a key point to distinguish diffusion from the dissolution. However, the concentration gradient was not mentioned in the definitions of diffusion in most of the secondary school textbooks and the college general chemistry textbooks. Effusion is differentiated from diffusion by the gas molecules escaping from the container through a tiny hole without collision. The definition of effusion was not found in most of the secondary school textbooks.

**Key words:** dissolution, diffusion, effusion, term definition, textbook description.

### I. 서 론

지난 30여 년간 구성주의 학습 이론에 바탕을 둔 학생들의 개념 형성 및 개념 변화 연구는 과학교육 연구의 중요한 부분을 차지해왔다. 이 연구들은 학생들이 다양한 오개념을 가지고 있음을 밝혀내고, 이러한 오개념들은 수업을 통해서도 쉽게 과학적 개념으로 바뀌지 않으므로 학생들의 개념 변화를 위한 다양한 교수 학습 방법들을 제안하였다(Çalik & Ayas, 2005; Wandersee *et al.*, 1994). 학생들이 이와 같은 오개념을 가지게 되는 이유는 개별적인 경험에 기인하는 것도 있지만 학교 수업을 통해서도 형성될 수 있다고 한다. 과학적 개념에 대한 교과서의 서술이 불충분하거나 교사의 설명이 불충분한 경우에 학생들은 과학적 개념이 무엇인지 정확하게 알 수 없으므로 이러한 경우에는 올바른 과학적 개념 형성을 기대하기는 어

렵게 된다(Levy Nahum *et al.*, 2007).

그 동안 국내에서도 화학분야에 대한 개념 조사 연구가 많이 이루어져 왔다. 예를 들면, 용해(강대훈 등, 2004; 노태희, 전경문, 1996; 박종윤 등, 1996; 박종윤, 이윤희, 2008), 확산(구선아, 채희권, 2008; 노태희 등, 1996; 성숙경 등, 2010), 삼투(고영환 등, 2002; 김문수, 정영란, 1997), 끓음(백성혜 등, 2004), 전지(신동혁 등, 2002; 한유화 등, 2008) 등에 대해 학생들의 개념을 조사하고, 학생들이 가지고 있는 오개념의 근원을 알아보기 위해 교과서 서술 내용을 분석한다든지, 교사들이 가진 오개념을 조사한 연구들이 있다. 이 연구들은 교사와 학생의 개념을 명확하게 하고 교과서 서술을 명확하게 하는데 많은 기여를 하였다. 그러나 일부 개념들에 대해서는 많은 연구가 있었지만 아직도 명쾌한 설명이 제시되지 않은 경우도 있다. 특히 서로 다른 개념을 구별하지 못하고

\*교신저자: 박종윤(jypark@ewha.ac.kr)

\*\*2011.08.10(접수) 2011.09.22(1심통과) 2011.10.10(최종통과)

\*\*\*이 연구는 이화여자대학교 2010년 연구년 수혜에 따른 결과임.

혼동하는 경우가 있는데, 예를 들면 열과 온도(백성혜, 박영주, 2002), 원소와 원자(백성혜 등, 2001), 중발과 끓음(백성혜 등, 2004), 용해와 확산(김주현 등, 2000; 허미연 등, 2008; 허미연, 백성혜, 2009), 확산과 분출(구선아, 채희권, 2008) 등이 있다.

용해와 확산은 서로 다른 물질이 균일하게 섞인다는 의미에서 구별이 어렵다고 하였으며(김주현 등, 2000), 교사들도 용해와 확산을 구분하는 기준으로 교과서에 제시된 사례를 이용하거나, 용해는 “녹는다”, 확산은 “퍼져나간다”라는 교과서의 표현을 이용한다고 하였다(허미연, 백성혜, 2009). 특히 교과서에서 고체가 물에 녹아 퍼져나가는 그림을 용해의 예로도 제시하고 확산의 예로도 제시하고 있는 것이 용해와 확산의 구별을 어렵게 하는 하나의 원인이라고 하였다(구선아, 채희권, 2008; 김주현 등, 2000). 그래서 용해와 확산의 명확한 구분을 위해서는 용어의 정의를 새롭게 하자는 의견도 제시되고 있다. 즉, 용해는 에너지 변화와 엔트로피 변화가 주된 기여를 하며 일정한 양의 용해도를 갖는 경우로 정의하고, 확산은 엔트로피 증가가 주된 기여를 하며 용해도가 매우 크거나 무한정한 경우로 정의하여 용해도를 기준으로 두 용어를 구분하자는 것이다(허미연 등, 2008). 그러나 이와 같이 용어를 재정의 하기 이전에 현재 용어의 정의로는 정말 구분이 어려운지, 또 재정의 하는 경우에 어떤 새로운 문제들이 발생할 수 있는지 등을 반드시 검토해 보아야 할 것이다.

확산과 분출은 둘 다 속도가 분자량의 제곱근에 반비례한다는 속도 법칙의 유사성으로 인해 동일시하는 경향이 있다고 하며, 또한 확산 자체에 대해서도 Graham의 법칙을 따르는 등압 확산과 그렇지 않은 등유량 확산을 구분하지 않고 사용하고 있다고 한다(성숙경 등, 2010; Mason & Kronstadt, 1967). 교사들의 경우에도 분출에 대해서는 잘 알고 있지 못하여 확산분출과 같은 일상용어를 떠 올리거나, 구체적인 개념 없이 막연하게 진공 또는 빈 공간으로 퍼져나가는 것을 분출로 생각한다고 한다(구선아, 채희권, 2008; 김주현 등, 2000). 교사들이 분출에 대해 잘 알지 못하거나 확산과 분출을 혼동하는 이유로 대부분의 고등학교 화학II 교과서(6차 교육과정)에서 분출에 대한 정의를 제시하지 않고 있으며, 기체의 확산을 분출의 개념으로 잘못 제시하고 있기 때문이라고 한다(김주현 등, 2000). 그리고 중학교 과학1 교과서(7

차 교육과정)에서도 확산에 대한 설명에서 향수병의 마개를 열었을 때 향수 분자가 퍼져나가는 것을 그림으로 나타내고 있는데, 공기 분자는 생략하고 향수 분자만 표시함으로써 향수 분자가 빈 공간으로 퍼져나가는 분출로 오인할 수 있다고 한다(구선아, 채희권, 2008). 그러나 이러한 지적은 분출을 단순히 빈 공간으로 퍼져나가는 것으로 잘못 인식한 데 기인한 것이며, 그림에 나타난 향수병의 입구가 충분히 크기 때문에 아주 작은 구멍을 통해 입자가 빠져나가는 현상인 분출과는 구분될 수 있을 것으로 생각된다.

용해, 확산, 분출은 서로 다른 과학 개념을 나타내는 과학 용어이다. 이와 같이 용어는 그 개념의 표지가 되며, 용어를 사용하여 의사소통을 하기 때문에 용어의 정의를 정확하게 아는 것이 개념 이해의 시발점이 된다(Schmidt *et al.*, 2007). 즉, 어떤 개념을 나타내는 용어가 있다면 그 용어의 정의를 정확하게 알고 그 정의가 의미하는 것이 무엇인지를 파악하게 된다면 그 개념을 이해한다고 할 수 있다. 그러므로 학생들의 오개념을 방지하거나 축소하기 위해서 정확한 용어를 사용하는 것이 중요하고(Slisco & Dykstra, 1997), 또한 용어나 개념들 간의 구분을 위해서는 일차적으로 그 용어의 정의를 정확하게 알아볼 필요가 있다.

용어의 정의는 용어를 더 명확하고 정교하게 표현하기 위한 것으로 정교한 정의일수록 더 넓은 상황에 적용이 가능하다. 그러나 모든 과학 용어가 명확하고 정교하게 잘 정의되어 있다고 볼 수는 없다(Pushkin, 1997). 때로는 문헌별로 용어의 정의가 일치하지 않을 수도 있고, 이 경우에 어느 것이 더 널리 합의된 정의인지도 판단하기 어렵다. 김주현 등(2000)은 용해와 확산의 정의를 알아보기 위해 많은 사람들이 보편적으로 이용하는 몇 가지 사전에 조사하였는데, 그 정의가 사전별로 서로 일치하지 않음을 알 수 있고, 또 용해와 확산이 명확하게 구별되지 않는다고 하였으며, 정의가 없는 경우도 있었다고 한다. 그래서 결국 대학 일반화학 교재에 제시된 용해, 확산, 분출의 용어 정의를 기준으로 중·고등학교 교과서 내용을 분석하였다. 그러나 용해를 인력의 관점으로만 정의하거나 확산에서 농도 차에 대한 언급이 없는 점 등은 여전히 이 개념들 간의 구분을 명확하게 하지 못하거나 오해를 할 수 있는 소지가 된다. 또한 대학 일반화학 교재도 전지에 대해 잘못 서술하거나 학생들의 오개념을

유발할 수 있는 서술을 포함하고 있다고 하므로 (Sanger & Greenbowe, 1999), 일반화학 교재 내용도 현재 과학자들이 합의하고 있는 내용만 포함하고 있는지 확인하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 문헌을 통해 용해, 확산, 분출에 대한 정의를 조사하여 가장 합당하다고 생각하는 방향으로 정리한 후, 이 정의로부터 각 개념들을 서로 구분 가능한지 알아보려고 한다. 그리고 중·고등학교 교과서와 대학 교재에 제시된 정의에 대한 문제점을 파악하고 개선할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 용해, 확산, 분출에 대한 합의된 정의 조사

용해, 확산, 분출의 구분을 위해서는 이 용어들의 정의를 조사하여 정리하는 것이 그 첫 번째 단계로 생각된다. 현재 과학자 사회에서 받아들여지고 있는 정의를 조사하기 위해서 여러 가지 문헌들 중에서 Yahoo 백과사전, Wikipedia 백과사전 등 인터넷 백과사전류, IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry)의 용어집인 Gold Book, 대학 일반화학 및 물리화학 교재 등을 살펴보았다. 그 결과 IUPAC의 Gold Book과 대학 물리화학 교재가 가장 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다. IUPAC의 Gold Book은 세계적으로 저명한 학자들에 의해 만들어진 것이고, 대학 물리화학 교재는 약간 명의 저자에 의해 집필되었지만 대학에서 화학 전공자를 대상으로 지속적으로 가르쳐지고 있다는 면에서 신뢰할 수 있을 것으로 평가하였기 때문이다. 대학 일반화학 교재의 경우에는 물리화학 교재와 달리 정의가 누락되거나 다소 정교하지 못한 정의들이 있는 것으로 드러났고, 인터넷 백과사전류도 어느 정도 정교하게 정의되어 있긴 하지만 어떤 검증을 거쳤는지 알 수 없으므로 그 신뢰도를 높게 평가하기 어려웠다.

IUPAC의 Gold Book은 웹페이지 <http://goldbook.iupac.org/index.html> 을 활용하였고, 대학 물리화학 교재는 국내에서 쉽게 구할 수 있는 6종을 임의로 선정하였다. 선정된 물리화학 교재와 그 기호는 다음과 같다.

- PC-1: Alberty, R. A., & Silbey, R. J. Physical chemistry. 2nd Ed., Wiley, New York, 1997.
- PC-2: Atkins, P., & de Paula, J. Atkins' physical chemistry. 8th Ed., Oxford University Press, Oxford, 2006.
- PC-3: Ball, D. W. Physical chemistry. Thomson, USA, 2003.
- PC-4: Laidler, K. J., & Meiser, J. H. Physical chemistry. 2nd Ed., Houghton Mifflin, Boston, 1995.
- PC-5: Levine, I. N. Physical chemistry. 4th Ed., McGraw Hill, Singapore, 1995.
- PC-6: Vemulapalli, G. K. Physical chemistry. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

### 2. 중·고등학교 교과서와 대학 일반화학 교재의 정의 조사

중·고등학교 교과서에 서술된 용해, 확산, 분출의 정의를 알아보기 위하여 각 개념이 포함된 해당 학년의 교과서를 분석하였다. 중학교 교과서의 경우 용해는 중학교 과학2(7차 교육과정 8종), 확산은 중학교 과학1(2007 개정 교육과정 17종)에 있으며, 분출은 중학교 과정에는 나오지 않는다. 고등학교 교과서의 경우는 화학II(7차 교육과정 8종, 2009 개정 교육과정 1종)를 분석하였다. 대학 일반화학 교재는 국내에서 쉽게 구할 수 있는 6종을 임의로 선정하였으며, 그 기호는 다음과 같다.

- GC-1: 김 관, 김병문, 박형석, 이상엽, 정두수, 정영근 역. 화학의 원리 (제4판). 자유아카데미, 경기도 파주, 2008. [원전: Atkins, P., & Jones, L. Chemical principles: The quest for insight. 4th Ed., Freeman, 2008.]
- GC-2: 일반화학교재연구회 역. 일반화학 (제3판). 자유아카데미, 경기도 파주, 2004. [원전: Chang, R. General chemistry: The essential concepts. 3rd Ed., McGraw Hill, 2003.]

- GC-3: 일반화학교재연구회 역. 일반화학. 자유아카데미, 경기도 파주, 2004. [원전: Ebbing, D. D., Gammon, S. D., & Ragsdale, R. O. Essentials of general chemistry. Houghton Mifflin, Boston, 2003.]
- GC-4: 일반화학교재연구회 역. 일반화학 (제4판). 자유아카데미, 서울, 2002. [원전: Masterton, W. L., & Hurley, C. N. Chemistry: Principles and reactions, 4th Ed., Harcourt, New York, 2001.]
- GC-5: 일반화학교재연구회 역. 현대일반화학 (제5판). 자유아카데미, 경기도 파주, 2003. [원전: Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H. Principles of modern chemistry, 5th Ed., Thomson: 2003.]
- GC-6: Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. Chemistry, 6th Ed., Houghton Mifflin, New York, 2003.

### III. 연구 결과 및 고찰

#### 1. 용해, 확산, 분출의 합의된 정의 고찰

##### 1) 용해와 확산

용해에 대한 IUPAC Gold Book의 정의는 다음과 같다.

*dissolution*: The mixing of two phases with the formation of one new homogeneous phase (i.e. the solution).

즉, 용해는 두 상이 혼합되어 하나의 새로운 균일한 상(즉, 용액)을 만드는 과정이라고 정의하였다. 여기에 상(phase)과 용액(solution)이라는 용어가 포함되므로 이에 대한 IUPAC의 정의도 알아보았다.

*phase*: An entity of a material system which is uniform in chemical composition and physical state.

*solution*: A liquid or solid phase containing more than one substance, when for convenience one (or more) substance,

which is called the solvent, is treated differently from the other substances, which are called solutes. When, as is often but not necessarily the case, the sum of the mole fractions of solutes is small compared with unity, the solution is called a dilute solution. A superscript  $\infty$  attached to the symbol for a property of a solution denotes the property in the limit of infinite dilution.

상(phase)은 화학적 조성과 물리적 상태가 균일한 물질 계로 정의되어 있고, 용액(solution)은 두 가지 이상의 순물질을 포함하고 있는 액체상 또는 고체상으로 정의되어 있다. 용액에 대한 IUPAC 정의에 의하면 용액은 액체상과 고체상에 국한되고 기체상 혼합물의 경우는 용액으로 분류되지 않게 된다. 이것은 아마도 기체상의 경우에는 “용매화” 과정이 없기 때문에 그렇게 정의한 것이 아닌가 생각된다.

한편 대학교 물리화학 교재에서 용해에 대한 정의를 조사한 결과 본 연구에서 분석한 물리화학 교재 6종 모두 용해에 대한 정의가 제시되지 않았다. 단지 용액에 대한 정의가 주어진 교재는 2종이 있었는데, PC-5 교재에는 “A solution is any homogeneous phase that contains more than one component (용액은 두 가지 이상의 성분을 포함하는 균일한 상)”으로 정의되어 있었고, PC-6 교재에는 “A solution is a homogeneous mixture; that is, a solution is a one-phase system with more than one component. The phase may be solid, liquid, or gas.”로 정의되어 있었다. 그리고 3종의 교재에서는 기체상 혼합물을 용액으로 기술하고 있어 IUPAC의 정의와 일치하지 않음을 알 수 있었다. 기체상 혼합물을 용액에 포함하면 용액의 정의가 좀 더 간단명료하게 되므로 이점이 있으나 용매화 과정을 생각하면 기체상 혼합물을 별도로 취급하는 것이 더 합리적인 면도 있어 이에 대해서는 좀 더 논의가 필요한 것으로 생각된다.

확산에 대한 IUPAC Gold Book의 정의는 다음과 같이 주어져 있다.

*diffusion*: The spreading or scattering of a gaseous or liquid material. Eddy diffusion in

*the atmosphere is the process of transport of gases due to turbulent mixing in the presence of a composition gradient. Molecular diffusion is the net transport of molecules which results from their molecular motions alone in the absence of turbulent mixing; it occurs when the concentration gradient of a particular gas in a mixture differs from its equilibrium value. Eddy diffusion is the most important mixing process in the lower atmosphere, while molecular diffusion becomes significant at the lower pressures of the upper atmosphere.*

그러므로 확산은 기체나 액체 물질이 퍼지거나 흩어지는 것으로 분자 확산은 난류 혼합(turbulent mixing) 없이 분자 운동만으로 분자가 알짜로 이동하는 것인데, 혼합물 중의 특정 기체의 농도 기울기가 평형 값과 다를 때 일어난다고 볼 수 있다. 대학 물리 화학 교재의 경우에도 확산은 농도 차가 있을 경우 농도 차를 없애는 방향으로 물질이 이동하는 것으로 정의하고 있다.

PC-1: If a gas is not uniform with respect to composition, temperature, and velocity, transport processes occur until the gas does become uniform. The transport of matter in the absence of bulk flow is referred to as diffusion. (p. 617)

PC-2: Diffusion, the migration of matter down a concentration gradient. (p. 747)

PC-3: Diffusion is the passage of gas particles(or solute species, if in solution) from one part of a system to another due to unequal concentrations of that gas within the system, with the total pressure constant in the system(that is, the transport isn't due to pressure gradient). (p. 672)

PC-4: If solutions of different concentrations

are brought into contact with each other, the solute molecules tend to flow from regions of higher concentration to regions of lower concentration, and there is ultimately an equalization of concentration. The driving force leading to diffusion is the Gibbs energy difference between regions of different concentration. (p. 878)

PC-5: When the partition is removed, the two phases are in contact, and the random molecular motion of j and k molecules will reduce and ultimately eliminate the concentration difference between the two solutions. This spontaneous decrease in concentration differences is diffusion. Diffusion is a macroscopic motion of components of a system that arises from concentration differences. (p. 465)

PC-6: The flux of matter due to a concentration gradient is called diffusion. (p. 670)

그러면 이와 같은 정의에 의해 용해와 확산은 구분 가능한가? 용해와 확산을 구분 짓는 주요인은 용해의 경우 두 개의 다른 상이 혼합되어 하나의 상이 되는 과정이고, 확산은 농도 차가 있을 때 그 차를 없애는 방향으로 물질이 이동하는 것이다. 따라서 결과적으로 용해와 확산 모두 균일한 용액을 만드는 것이지만 그 주안점이 “두 개의 상이 하나의 상으로 되느냐” 하는 것과 “농도 차가 있을 경우 농도 차를 없애는 방향으로 물질이 이동하느냐” 하는 데 있다. 그러므로 용해와 확산은 한 범주 내에서 용해 아니면 확산으로 구분되는 것이 아니고 어떤 관점(상의 수, 또는 농도 차)으로 보느냐에 따라 구분되는 개념으로 보아야 한다.

예를 들어 소금이 물에 녹아 소금물이 되는 경우를 생각해보자. 이 때 소금(고체상)이 물(액체상)에 녹아 소금물(용액, 액체상)이 되는 것은 두 개의 상이 혼합되어 하나의 상을 만드는 것이므로 용해이다. 또한 이 때 두 상이 접촉하는 부분은 용해가 일어나게 되어 용질의 농도가 높은 반면 접촉면에서 멀리 떨어진 부분은 상대적으로 용질의 농도가 낮으므로 농도가 높은

두 상의 접촉 부분으로부터 먼 곳으로 용질이 알짜로 이동하는 확산이 일어나게 된다. 그러므로 소금이 물에 녹아 소금물이 되는 과정은 용해이지만 그 과정 속에 확산도 포함되어 있다. 따라서 용해가 일어나는 경우에는 항상 확산을 동반한다고 보아야 한다. 이것은 고체 아이오딘이 액체 사염화탄소에 녹는 경우에도 동일하게 적용된다. 나아가서 액체와 액체의 혼합에서도 동일한 생각을 할 수 있다. 잉크와 물의 혼합 경우에도 잉크는 하나의 액체상이고, 물은 또 다른 하나의 액체상이며, 둘이 완전히 섞이게 되면 새로운 하나의 액체상으로 된다. 따라서 두 개의 상(잉크 액체상과 물 액체상)이 혼합되어 하나의 상(완전히 혼합된 잉크 수용액)이 되므로 용해가 일어난 것이다. 그리고 이 때도 잉크와 물의 접촉면에서 먼 쪽으로 잉크 분자가 알짜로 이동하는 확산이 일어나므로 용해와 확산이 모두 일어난다. 이러한 설명은 알코올과 물의 혼합에도 그대로 적용된다. 즉, 알코올 액체상과 물 액체상이 서로 혼합되어 균일한 알코올 수용액을 만들게 되므로 두 개의 상이 하나의 상으로 되는 용해가 일어나고, 또 알코올과 물의 접촉면에서 먼 쪽으로는 농도 차에 의해 확산이 일어나게 된다. 따라서 서로 완전히 섞이는 액체-액체 혼합의 경우는 전체 과정이 용해이면서 동시에 확산이라고 볼 수 있다. 반면에 고체-액체 혼합의 경우는 고체 구성 입자가 고체로부터 떨어져 나와 액체 입자에 의해 용매화되는 과정이 있으므로 그 이후부터 확산에 해당한다고 볼 수 있으며, 이 과정까지 포함한 것을 용해로 볼 수 있다.

## 2) 확산과 분출

분출에 대한 정의는 IUPAC Gold Book에서는 찾을 수 없었다. 대학 물리화학 교재에 나타난 분출의 정의는 다음과 같다.

PC-1: Molecules pass through a small opening into an evacuated vessel (effusion). For small holes the rate is small enough not to upset the equilibrium speed distribution in the bulk gas. In addition, the mean free path is assumed to be large compared to the diameter of the hole, so that collisions in the neighborhood

of the hole can be neglected. (p. 608)

PC-2: Effusion, the emergence of a gas from a container through a small hole. (p. 747)

PC-3: Effusion is the passage of gas particles through a barrier (like a small hole) into a different region where no particles (and usually no gas of any sort) existed previously. It is usually a slow process, so that the concentration of gas particles in the original system is approximately constant. (p. 671)

PC-4: The movement of gases through plaster of Paris plugs, fine tubes, and small orifices in plates where the passages for the gas are small as compared with the average distance that the gas molecules travel between collisions. (p. 22)

PC-5: Escape of a gas through a tiny hole is called effusion. (p. 440)

PC-6: Effusion is the phenomenon in which molecules escape through a small opening without disturbing the equilibrium distribution in the vessel. If the hole has the dimensions of the mean free path, the molecules, while escaping, traverse the same distance that they would travel between collisions. In that case the effusing molecules have speeds representative of the sample in the vessel. Further, the frequency of collisions in the bulk of the sample is not disturbed, and equilibrium is maintained. These are the conditions under which Maxwell's distribution law was experimentally verified. (p. 663)

물리화학 교재에 나타난 분출의 정의를 종합해 보면, 분출은 용기의 아주 작은 구멍을 통해 기체 분자

가 용기 밖으로 빠져나가는 현상으로 용기 구멍의 크기나 용기 구멍을 통과하는 길이가 기체 분자의 평균 자유행로에 비해 짧아서 구멍을 통과하는 동안 기체 분자들끼리 충돌이 없고, 또 분출 속도(effusion rate, 단위 시간당 분출하는 양)가 아주 작아서 분출에 의해 용기 내의 기체 속력 분포가 영향을 받지 않는 경우이다. 이 경우에 구멍을 빠져나오는 기체 분자의 속력은 바로 용기 내에서의 속력과 동일하게 된다. 즉, 용기 내에서 기체 분자들이 운동하면서 다른 분자 또는 용기 벽면과 끊임없이 충돌을 하게 되는데, 용기 벽면과 충돌하는 기체 분자 중 용기 벽면에 존재하는 구멍을 향한 분자는 그 구멍을 통해 용기를 빠져나가게 되므로 원래 속력을 유지하게 된다. 이 때 용기 바깥은 진공이라고 표현한 교재가 2종(PC-1, PC-3)이 있고, 나머지 4종은 용기 바깥의 압력에 대한 언급은 없다. 그러나 분출의 조건을 만족하려면 용기 바깥의 압력이 아주 낮아야 할 것이다. 정리해보면 분출은 용기 벽면의 아주 작은 구멍을 통해 기체 입자가 충돌 없이 빠져나가는 것을 의미하며 이 때 구멍의 크기가 아주 작아야 한다. 그러므로 분출을 생각할 때 용기의 구멍에 대한 언급 없이 단지 “진공 속으로 퍼져나간다”는 형태로 묘사하는 것은 다분히 오해의 소지가 있다.

그러면 분출과 확산은 어떻게 구분되는가? 앞서 확산의 정의는 농도 차가 있는 경우 농도 차를 없애는 방향으로 물질의 알짜 이동이 일어나는 것이라고 하였다. 반면에 분출은 용기 벽면의 아주 작은 구멍을 통해 기체 입자가 충돌 없이 빠져나가는 것이라고 정의하였으므로 두 현상을 구분하는 것은 별로 어렵지 않을 것으로 생각된다.

확산의 예로 흔히 물 속에 수성 잉크 방울을 떨어뜨렸을 때 잉크와 물이 점차 섞여서 균일한 농도로 되는 과정을 제시하는데, 이는 액체상에서 일어나는 현상이므로 기체상에서 일어나는 분출과는 분명히 구분된다. 기체상 확산의 예로 많이 제시되는 염화수소와 암모니아의 확산도 기다란 관 속에서 기체 분자들이 이동하는 것이므로 작은 구멍을 통해 기체 분자가 빠져나가는 분출과는 혼동될 이유가 없을 것이다. 확산의 또 다른 예로서 콧으로 연결된 두 개의 용기에 각각 다른 기체가 들어 있을 때 콧을 열면 두 기체가 섞여서 균일하게 되는 과정이나 또는 콧 대신 다공성막으로 연결된 경우가 제시되기도 한다. 이 때 보통 순수한 확산만을 생각하기 위하여 콧이나 다공성막 양쪽

의 압력을 동일하게 유지하여 압력차에 따른 점성 흐름(viscous flow)을 배제한 조건을 택하게 되는데, 이 경우 전자(콧)는 등유량확산, 후자(다공성막)는 등압 확산에 해당하게 된다(성숙경 등, 2010).

그러면 이러한 조건에서 콧의 구멍 크기나 다공성막의 구멍 크기가 아주 작다면 이것을 분출로 볼 수 있을 것인가? 여기서 분출의 조건을 만족하려면 기체 입자의 평균자유행로에 비해 구멍의 크기가 아주 작아야 하고, 구멍 바깥의 압력이 아주 낮아야 할 것이다. 그러므로 등유량확산이나 등압확산의 경우에는 구멍을 통한 압력 차가 없으므로 구멍의 크기가 아주 작다 하더라도 분출로 보기는 어렵다.

구멍의 크기와 관련해서 Kirk(1967)는 구멍 양쪽에 압력 차가 있을 때 구멍을 통한 기체의 흐름은 세 가지로 분류할 수 있다고 하였다. 여기서 구멍은 용기 벽면의 구멍이거나 또는 콧의 구멍처럼 좁은 관이거나 또는 다공성막의 유효한 통로 등을 모두 포함할 수 있다. 구멍을 원통형으로 생각할 때 그 반지름을  $\alpha$ , 용기 내 기체 입자의 평균자유행로를  $\lambda$ 라 하면  $\lambda/\alpha$ , 즉 Knudsen 수에 의해 세 가지로 분류할 수 있다. 확실하게 분출이 일어나려면  $\lambda/\alpha > 10$  인 조건이 만족되어야 하고, 반대로  $\lambda/\alpha < 0.01$  인 조건이 되면 점성 흐름(viscous flow)이 된다. 이 양 극단의 중간 값에서는 분출 흐름에서 점차 점성 흐름으로 바뀌어 가므로 복잡해서 이론적 설명이 어려워진다. 따라서 확실하게 분출이 되려면 Knudsen 수가 10 이상이 되어야 하고, 구멍 바깥의 압력이 아주 낮아야 한다. 그러므로 일반적으로 확산의 예로 제시되는 콧이나 다공성막을 통한 두 종류 기체의 혼합은 분출로 보기 어렵고, 분출과 혼동할 수 있는 여지도 거의 없다.

분출과 관련하여 잘못 생각하기 쉬운 예의 하나가 고무풍선에서 기체가 서서히 빠져나가 고무풍선의 크기가 점차 줄어드는 경우이다. 이러한 현상은 분출인가 확산인가? 이에 대한 확인을 위해서는 바로 위에서 언급한 바와 같이 Knudsen 수를 계산해 보고 고무풍선 바깥의 압력이 충분히 낮은지 검토해 보아야 할 것이다. Hawkes(1993)는 이 현상을 확산으로 설명하고, 이 때 확산 속도는 기체의 분자량이 아니라 기체 분자의 크기에 의존한다고 하였다. 헬륨 기체가 부틸 고무를 통과하는 확산 속도가 25℃에서 질소 기체보다 132배나 빠르는데 이는 분자량의 제곱근의 비로는 볼 수 없기 때문이다.

## 2. 중·고등학교 교과서 및 일반화학 교재의 정의 분석

### 1) 용해

용해에 대한 정의를 조사하기 위해 7차 교육과정의 중학교 과학2 교과서 8종과 고등학교 화학II 교과서 8종, 2009 개정 교육과정의 고등학교 화학II 교과서 1종, 그리고 대학 일반화학 교재 6종을 사용하였다.

**중학교 과학2.** 7차 교육과정의 중학교 과학2 교과서 8종 중에서 7종은 용해의 정의가 있었으나 1종은 용해의 정의가 없고 용액의 정의만 있었다. 다음은 7종 교과서에 서술된 용해의 정의와 나머지 1종 교과서에 서술된 용액의 정의이다.

- M2-1. 이와 같이 어떤 물질이 물이나 에탄올 등의 액체에 고루 섞이는 현상.
- M2-2. 두 종류 이상의 물질을 이루는 입자가 골고루 섞이는 현상.
- M2-3. 어떤 물질이 다른 물질에 녹아서 고르게 섞이는 현상.
- M2-4. 이와 같이 한 물질이 다른 물질에 고르게 섞여 들어가는 현상.
- M2-5. 황산구리가 물에 녹는 것과 같이 물질이 액체에 녹아 고르게 섞이는 현상.
- M2-6. 설탕이 물에 녹는 것처럼 한 물질이 다른 물질에 녹아 고르게 섞이는 현상.
- M2-7. 용액: 두 가지 이상의 물질이 균일하게 섞인 혼합물.
- M2-8. 한 물질이 다른 물질에 녹아 고르게 섞이는 현상.

모든 교과서의 정의가 대동소이하며 “한 물질이 다른 물질에 (녹아) 고르게 섞이는 현상”으로 기술하고 있다. 그 중에서 2종의 교과서에서는 “다른 물질”을 “액체”로 국한하였고, 4종의 교과서에서는 “녹는다”라는 용어를 사용하고 있다.

앞서 살펴본 IUPAC의 정의 “용해는 두 상이 혼합되어 하나의 새로운 균일한 상(즉, 용액)을 만드는 과정”과 비교해보면 “두 상”을 “두 물질”로 표현한 것을 알 수 있으며, “균일한 상”을 “고르게 섞이는”으로 표현한 것을 알 수 있다. 중학교 2학년 과정까지는 “상”이라는 용어가 나오지 않으므로 이를 “물질”로 표현하

는 것은 적절한 것으로 생각되고, “균일한”이라는 한 자 용어보다는 “고르게 섞이는”이라는 한글 표현이 학생들에게는 더 친숙할 것으로 생각된다. 그리고 “녹는다”는 표현은 “용매화” 된다는 의미를 담고 있으므로 이를 포함하는 것이 더 좋다고 생각하나, 한편으로는 고체가 액체로 상전이(melting)하는 것도 녹는다고 표현하므로 경우에 따라서는 혼동을 초래할 가능성도 있다. 전반적으로 볼 때 중학교 과학2 교과서에서 용해의 정의는 학생들의 수준을 고려하여 무난하게 정의된 것으로 보이나, 두 개의 상이 혼합되어 하나의 상을 만든다는 개념은 별로 강조된 것 같지 않다. 따라서 결과적으로 고르게 섞이게 되는 확산 현상과 구별이 안 된다는 지적을 받을 수도 있다고 생각된다.

**고등학교 화학II.** 7차 교육과정의 고등학교 화학II 교과서의 경우는 8종 중에서 3종만 용해에 대한 정의가 서술되어 있었다.

- H-1. 소금이나 설탕이 물에 녹으면 이들을 이루고 있는 이온이나 분자가 고체를 떠나 물 속에 균일하게 퍼져 있게 된다. 이러한 과정을 용해라고 한다.
- H-4. 이와 같이 두 종류 이상의 순물질이 균일하게 섞이는 현상.
- H-8. 설탕은 물에 녹아 균일한 액체가 된다. 이처럼 두 가지 이상의 물질이 섞여 균일한 액체를 이루는 것.

교과서 별로 조금씩 차이는 있지만 “두 종류 이상의 물질이 균일하게 섞이는 현상”으로 정리할 수 있으며, 중학교 과학2 교과서의 서술과 별로 다르지 않음을 알 수 있다. 용해의 정의가 없는 교과서의 경우에도 대부분 용액에 대한 정의는 서술되어 있는데, 일반적으로 “두 가지 이상의 물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물”로 표현하고 있다.

2009 개정 교육과정의 화학II 교과서 1종에서는 용해를 다음과 같이 용액의 정의와 함께 기술하고 있다.

- H-9. 일반적으로 균일 혼합물을 용액이라고 한다. 즉, 용액은 두 가지 이상의 순물질이 균일하게 섞인 혼합물을 말하며, 용액이 만들어지는 과정을 용해라고 한다.



이를 다시 서술하면 “용해는 두 가지 이상의 순물질이 균일하게 섞여 혼합물을 만드는 과정”으로 나타낼 수 있다. 따라서 7차 교육과정의 화학II 교과서와 유사하게 기술하였음을 알 수 있다.

**대학 일반화학.** 대학 일반화학 교재 6종에서는 용해의 정의는 찾아볼 수 없었다. 그러나 용액에 대한 정의는 거의 다 포함하고 있었으며, 그 서술은 “두 가지 이상의 물질이 균일하게 섞여 있는 것”으로 중학교나 고등학교 교과서 서술과 거의 차이가 없다. 그리고 4종의 교재에서는 기체 혼합물도 용액이라고 명시하고 있었다.

- GC-1. 일상생활에서 쓴 녹인다는 말은 용액을 만드는 것을 의미한다. (p. 53)
- GC-2. 용액은 두 가지 이상의 물질들의 균일혼합물이다. 용액은 기체(예: 공기), 고체(예: 합금) 또는 액체(예: 비닷물)가 될 수 있다. (p. 106)
- GC-3. 용액이란 이온이나 분자로 이루어진 둘 이상 순물질의 균일혼합물이다. (중략). 용액은 물질의 세 가지 상태 중 어느 한 형태로 존재할 수 있다. 즉, 기체, 액체, 또는 고체로 존재할 수 있다. (p. 442)
- GC-4. 용액이란 용매(녹이는 일을 하는 물질) 속에 용질(녹임을 당하는 물질)이 균일하게 섞여 있는 혼합물을 말한다. 용액은 다음의 3가지의 물리적 상태에 있다: 기체, 액체, 그리고 고체. (p. 346)
- GC-5. 둘 이상의 물질을 함유하고 있는 균일 계(역자 주: 기체, 액체, 고체 등 어느 한 가지 상으로 존재하는 계)를 용액(solution)이라고 한다. (중략). 다시 말하면 둘 이상의 물질로 이루어진 균일계(액체, 고체 또는 기체)는 모두 다 용액이라 한다. (p.197)
- GC-6. a solution is a homogeneous mixture. (p. 136)

이상으로 용해의 정의에 대한 서술을 학교 급별로 살펴본 결과 중학교 과학2 교과서에는 1종을 제외하고 용해의 정의가 제시되었고, 고등학교 화학II 교과서에는 절반 정도가 용해의 정의를 제시하였다. 그리고 대학 일반화학 교재와 물리화학 교재에서는 용해

의 정의는 없었으나 용액에 대한 정의는 대부분 포함하고 있었다.

## 2) 확산

확산에 대한 정의를 조사하기 위해 중학교 교과서는 2007 개정 교육과정의 과학1 17종, 고등학교 교과서는 7차 교육과정의 화학II 8종과 2009 개정 교육과정의 화학II 1종, 그리고 대학 일반화학 교재 6종을 사용하였다.

**중학교 과학1.** 중학교 과학1 교과서 17종 모두 확산에 대한 정의를 서술하고 있었으며 교과서별로 대동소이하였다. 몇 가지 예시는 아래와 같다.

- M1-1. 분자들이 스스로 운동하여 액체나 기체 속으로 고르게 퍼져나가는 현상.
- M1-4. 분자들이 스스로 움직여 다른 물질 속으로 점차 퍼져나가는 현상. 확산은 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 일어나며, 기체뿐만 아니라 액체에서도 일어남.
- M1-7. 색소가 물에 섞이는 것과 같이 액체나 기체 속에서 한 곳에 모여 있던 분자들이 분자 운동에 의해서 넓게 퍼져나가는 것. 분자들은 스스로 움직임.
- M1-9. 물질을 이루는 분자들이 스스로 움직여 다른 물질 속으로 퍼져나가는 현상.

즉, 대부분의 교과서가 분자 운동에 의해, 액체나 기체 속으로(3종은 다른 물질 속으로, 1종은 주변 공간으로라고 함), 퍼져나가는 현상으로 서술하고 있다. 그리고 총 17종 중에서 4종정도만 농도 차의 의미를 언급하였는데, 확산은 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 일어난다고 하거나(M1-4), 한 곳에 모여 있던 분자들이 넓게 퍼져나간다고 서술하였다(M1-7). 이러한 결과는 7차 교육과정의 과학1 교과서 서술과 매우 유사함을 알 수 있다. 7차 교육과정의 과학1 교과서에서도 대부분 확산을 “분자들이 분자운동에 의해 다른 분자(매질) 속으로 퍼져나가는 현상”으로 서술하였으며, 9종 중에서 1종은 확산의 정의가 없었고, 또 1종만 농도 차에 대한 언급이 있었다(구선아, 채희권, 2008).

확산에 대한 IUPAC 정의는 첫 번째 문장에서 확산은 기체나 액체 물질이 퍼지거나 흩어지는 것으로 서

술하였고 이후 문장에서 확산은 농도 차가 있을 때 농도 차를 없애는 방향으로 물질의 알짜 이동이 일어난다고 서술하였다. 따라서 “퍼져나간다”는 것은 한 곳에 몰려 있던 물질이 점점 분산되는 것을 의미하므로 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 물질이 이동하는 것을 나타내었다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 서술만으로는 농도 차에 의한 물질의 이동을 명확하게 나타내었다고 보기는 어렵다. 특히 “퍼져나간다”는 표현은 일상생활에서도 많이 사용되고 있으므로 별 의미 없이 받아들일 수도 있을 것이다. 따라서 “녹는다”와 “퍼져나간다”에 용해와 확산의 의미가 함축되어 있다고 볼 수도 있지만 이러한 함축된 의미를 구별하지 못한다면 용해와 확산이 어떻게 다른지 구별하지 못할 수도 있다. 그러므로 확산은 농도 차가 있을 때 일어나는 것임을 명시하여 용해와 구분되도록 하는 것이 바람직할 것이다.

한편, 중학교 과학1에서 증발과 확산을 도입한 것은 분자 운동 즉, 분자가 스스로 움직이고 있음을 알게 하기 위한 것이다. 그러므로 확산의 정확한 의미를 파악한다는 것보다는 분자가 스스로 움직이고 있다는 것을 파악하는데 초점을 두고 있다. 따라서 모든 교과서에서 분자가 스스로 움직인다는 서술은 포함하고 있으나 농도 차에 대한 서술을 명확하게 하지 않은 것으로 생각된다. 그런 의미에서 본다면 7차 교육과정의 과학1 교과서 중 1종은 확산이라는 용어를 사용하지 않았는데, 중학교 1학년 수준에서 어설픈 확산의 정의를 도입하는 것보다는 확산이라는 용어를 사용하지 않고 분자의 운동에만 초점을 맞춘 것이 아닌가 생각된다. 그러나 2007 개정 교육과정의 교과서 17종은 모두 확산이라는 용어를 도입하였다. 이와 같이 확산이라는 용어를 도입한다면 처음부터 확산에 대한 정확한 의미(농도 차에 의한 물질의 이동)가 드러나도록 서술하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

교과서에서 사용한 확산의 예시로는 대부분 꽃향기, 향수 냄새, 음식 냄새 등이 공기 중에 퍼져나가는 것을 도입 부분에서 사용하였다. 좀 더 구체적으로 그림이나 사진을 제시하거나 활동으로 제시한 확산의 예는 액체-액체 혼합으로 잉크가 물 속에서 확산되는 것이 17종 중 15종 교과서에서 제시되어 가장 많았고, 그 다음으로는 기체-기체 혼합으로 10종 교과서에 제시된 암모니아 기체가 공기 중에서 확산되는 것이었다. 고체-액체 혼합 예를 제시한 교과서는 5종 정도로 설탕이나 커피가 물에 녹아 확산되는 것 또는 아이오딘이 알코올에 녹아 확산되는 것을 보여주었다(그림 1). 흔히 확산의 예로 제시되던 염화수소와 암모니아 기체가 공기 중에서 확산하는 실험을 제시한 교과서는 1종뿐이었다. 이 실험을 확산의 예로 제시하는 것이 중학교 수준에서는 별 문제가 없으나, 생성된 염화암모늄의 흰 띠가 시간에 따라 이동한다든지(김영채 등, 2011), 그레이엄의 법칙이 이 경우에 적용되지 않는다는지(성숙경 등, 2010) 하는 점들을 생각하면 추후 문제가 될 수도 있으므로 2007 개정 교과서에서 이 실험을 확산의 예로 제시하는 사례가 줄어든 것은 바람직한 현상으로 생각된다. 7차 교육과정 과학1 교과서에서는 확산의 예시로 고체-액체 혼합은 설탕과 물이 9종 중 5종에서 제시되어 많았고, 액체-액체 혼합의 예로는 역시 잉크와 물이 5종, 기체-기체 혼합의 예로는 향수와 공기가 6종에 제시된 것으로 보고되었다(구선아, 채희권, 2008). 고체-액체 혼합의 예제시가 확산을 용해와 더 많이 혼동한다는 지적을 생각하면 2007 개정 교과서에서 고체-액체 혼합의 예시가 상대적으로 줄어든 것도 바람직한 현상으로 생각된다.

그리고 2007 개정 교과서에서는 연기나 매연이 공기 중에서 퍼져나가는 것을 직접적으로 확산이라고 제시한 교과서는 없었다. 연기나 매연이 우리 눈에 보

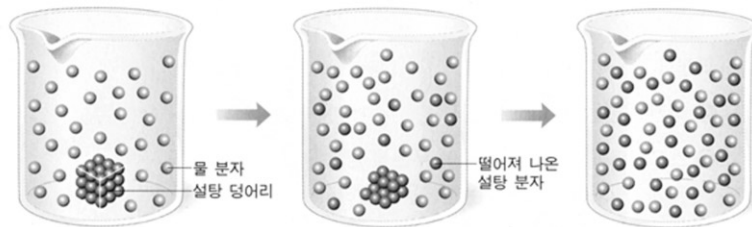


그림 2-9 설탕 분자의 확산 모형

그림 1 고체-액체 혼합을 확산의 예로 제시하면 확산과 용해를 혼동할 수 있다

이는 것은 재와 검댕 같은 고체 입자를 포함하고 있기 때문인데, 이 고체 입자들은 분자가 아니므로 스스로 운동하는 분자 확산으로 볼 수는 없다. 7차 교육과정 교과서의 일부가 이를 확산으로 제시했던 것에 비해 이러한 변화도 바람직한 것으로 생각된다. 연기나 매연이 공기 중에서 퍼져나가는 것은 대류나 바람에 의한 난류 혼합(turbulent mixing)으로 볼 수 있는데, 이를 브라운 운동으로 소개하는 교과서도 있다. 공기의 이동(난류)이 없는 경우에 고체 입자의 이동은 공기 분자가 고체 입자와 충돌하기 때문에 나타나는 브라운 운동으로 볼 수 있지만 일상 상황에서는 이러한 조건을 만나기는 어려울 것으로 생각된다.

**고등학교 화학II.** 7차 교육과정의 고등학교 화학II 교과서 8종 중에서 2종(H-1, H-6)은 확산에 대한 정의 없이 확산 용어를 사용하였으며, 용어를 정의한 6종 중에서도 1종(H-8)만 농도 차를 언급하였고, 대부분 H-3과 같이 “퍼져나가는 현상”으로 서술하여 2007 개정 교육과정의 중학교 과학1 교과서와 별 차가 없었다. 그러나 중학교 교과서에 비해 분자 운동에 대한 언급은 적었다.

- H-3. 분자가 기체나 액체 속으로 퍼져나가는 현상.
- H-4. 기체 상태의 물질 분자가 한 곳에 머물러 있지 않고 모든 방향으로 퍼져나가는 현상.
- H-8. 기체 분자들이 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 성질.

2009 개정 교육과정의 화학II 교과서는 아래와 같이 서술하여 중학교 과학1 교과서 서술과 거의 동일하였다.

- H-9. 분자들이 스스로 운동하여 퍼져나가는 현상.

**대학 일반화학.** 대학 일반화학 교재의 경우에도 중·고등학교 교과서의 서술에 비해 크게 나아진 것은 없는 것으로 드러났다.

- GC-1. 한 물질이 다른 물질 중으로 점차적으로 분산되는 현상. (p. 264)
- GC-2. 기체의 운동 특성에 의해 어떤 기체 분자가 다른 기체 분자와 점차적으로 섞이는 현상. 확산은 항상 더 높은 농도에서 더 낮은 농도

의 영역으로 이동한다. (p. 169)

- GC-3. 공간을 균일하게 채울 때까지 한 기체가 다른 기체들 사이로 퍼져나가는 현상. (p. 185)
- GC-4. 정의 없음.
- GC-5. 한 종류의 분자들이 다른 종류의 분자들 속으로 이동하는 것. (p. 169)
- GC-6. Diffusion is the term used to describe the mixing of gases. (p. 219)

6종 중에서 1종은 정의가 없었고, 1종만 농도 차를 언급하였다. “퍼져나간다” 외에 “점차적으로 이동한다”는 표현이 있으나 농도 차를 확실하게 언급한 물리화학 교재보다는 중·고등학교 교과서 서술에 더 가까운 것으로 볼 수 있다.

이상으로 학교 급별로 확산에 대한 정의를 살펴보았는데, 대학 물리화학 교재에서는 농도 차에 의한 이동임을 분명하게 명시하였으나 중·고등학교 교과서와 대학 일반화학 교재에서는 농도 차에 대한 언급이 거의 없었다. 그리고 특히 중학교 교과서에서는 분자 운동에 중점을 두고 있었다. 그러나 7차 교육과정 교과서에 비해 2007 개정 교육과정 교과서에서 학생들의 혼동이나 오개념을 유발할 수 있는 소지가 다소 줄어든 것은 바람직한 것으로 생각된다.

### 3) 분출

분출에 대한 정의를 조사하기 위해 7차 교육과정의 고등학교 화학II 교과서 8종, 2009 개정 교육과정의 고등학교 화학II 교과서 1종, 그리고 대학 일반화학 교재 6종을 사용하였다.

**고등학교 화학II.** 7차 교육과정의 고등학교 화학II 교과서 8종 중에서 분출에 대한 정의를 제시한 교과서는 1종뿐이었다.

- H-2. 기체의 분출(effusion)이란 그림 1-23과 같이 기체가 작은 구멍을 통하여 빠져나가는 현상을 말한다.

기체가 작은 구멍을 통해 빠져나가는 것을 분출이라고 정의하였는데, 그림에 제시한 구멍은 다소 큰 느낌이 들지만 구멍을 식별하기 위해서 그렇게 그린 것으로 생각된다. 그러나 분출의 예시로 고무풍선이 시

간에 따라 작아지는 것을 보여주는 것은 엄밀한 의미에서는 분출의 예로 볼 수 없다(그림 2). 나머지 교과서들 중에서 4종은 본문에서 분출에 대한 아무런 설명이 없었으나 문제에서는 분출에 관한 내용을 포함하고 있어 학생들의 혼란을 초래할 가능성이 있음을 알 수 있다.

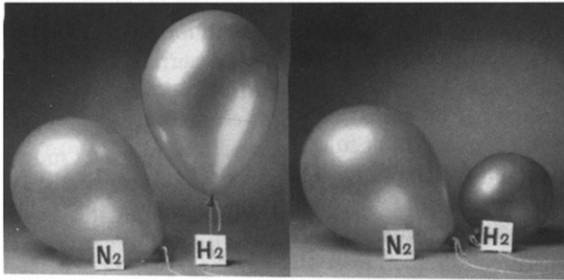


그림 1-24 질소와 수소의 분출 속도 비교

그림 2 고무풍선에서 기체가 서서히 빠져나가는 현상은 분출이 아니고 확산으로 본다(Hawkes, 1993)

2009 개정 교육과정의 화학II 교과서에서는 분출의 정의를 제시하고 확산과 분출을 구분하는 그림도 제시하였다(그림 3). 여기서도 구멍의 크기는 다소 크지만 “바늘 구멍”이라고 표시하여 오해의 소지를 줄였고, 그렇게 자세하지는 않지만 확산과 구분하는 그림을 제시한 것은 좋은 것으로 생각된다.

H-9. 기체 분자들이 용기의 작은 구멍을 통해 진공이나 압력이 낮은 곳으로 빠져나가는 경우 있는데, 이러한 현상을 분출이라고 한다.

대학 일반화학. 고등학교 교과서에서는 대부분이

분출의 정의를 제시하지 않았지만 대학 일반화학 교재의 경우에는 분석한 6종 중 5종에서 분출에 대한 정의를 제시하였다.

GC-1. 유출(effusion)은 기체가 작은 구멍을 통해 진공 속으로 탈출해 나가는 것을 말한다(그림 4.22). 유출은 기체가 다공성 벽(작은 구멍들을 가진 벽)이나 가는 구멍을 사이에 두고 진공으로부터 차단되면 언제든 발생한다. (p. 264)

GC-2. 정의 없음.

GC-3. 기체가 든 용기를 진공상태에 갖다놓고 이 용기에 매우 작은 구멍을 내면 기체분자는 용기 내에서 운동하던 속도와 같은 속도로 그 구멍을 통해 빠져 나온다(그림 5.21). 용기의 작은 구멍을 통하여 기체가 빠져나오는 현상을 분출(effusion)이라 한다. (p. 186)

GC-4. effusion, the flow of gas particles through tiny pores or pinholes. (p. 131)

GC-5. 용기의 벽에 난 작은 구멍을 통하여 기체가 분출될 때 분자의 분출속도를 계산할 수 있다. (p. 145). 그레이엄의 분출 법칙은 용기에 뚫린 구멍이 아주 작고 압력이 충분히 낮아(즉, 분자 개수가 적어), 분출될 때에 대부분의 분자들이 다른 분자와 충돌이 없이 직선 궤도를 따라서 구멍 쪽으로 운동하는 경우에 잘 적용된다. 기체 확산(gaseous diffusion) 현상은 이보다는 더 복잡하다. 이는 다공성 장벽을 통해서 일어나며 확산 중

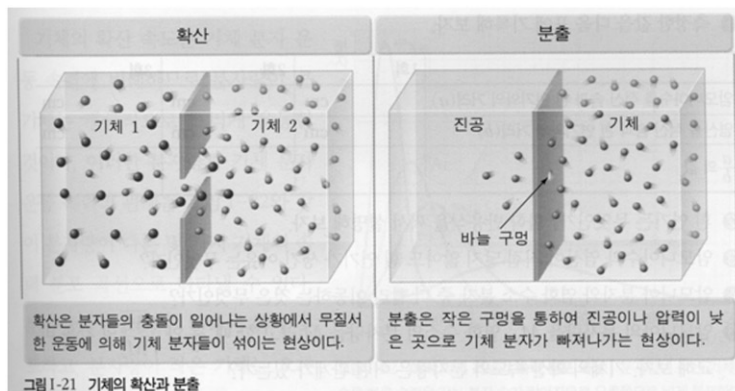


그림 1-21 기체의 확산과 분출

그림 3 확산과 분출을 구분하여 제시한 그림

에 분자가 다른 분자 및 장벽과의 충돌이 많은 점에서 분출과 다르다. 흥미롭게도 확산 속도 역시 기체 분자 물질량의 제곱근에 반비례한다. 물론 그 근본적인 이유는 다르다. (p. 146)

GC-6. Effusion is the term used to describe the passage of a gas through a tiny orifice into an evacuated chamber, as shown in Fig. 5.22. (p. 219)

정의를 제시한 일반화학 교재 5종 모두 분출은 용기의 작은 구멍을 통해 기체 입자가 빠져나가는 것으로 기술하였고, 그 중에서 4종은 용기 밖이 진공상태임을 명시하였다. 그러나 기체 입자가 구멍을 빠져나가는 동안 충돌이 없어야 한다는 기술은 1종(GC-5)에만 나타나고 있어 분출의 조건에 대한 설명은 물리화학 교재보다는 부족한 것으로 나타났다. GC-5 교재의 경우는 분출의 조건에 대한 설명에서 확산의 조건과 비교해 줌으로써 분출과 확산의 차이를 인식시키고자 하였다.

학교 급별로 분출에 대한 정의를 살펴본 결과 중학교 과학 교과서에서는 분출을 다루지 않고, 고등학교 화학II 교과서(7차 교육과정)에서도 8종 중 1종만 다루고 있어 고등학교까지는 사실상 분출을 다루지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 대학 일반화학과 물리화학 교재에서는 대부분 분출을 다루고 있는 것으로 나타났다. 선행 연구들에서 중등학교 교사들이 분출에 대해 잘 모르고 있음을 보고하였는데(구선아, 채희권, 2008; 김주현 등, 2000), 이는 중등학교 교사들이 대학에서 배운 내용보다는 중·고등학교 교과서에 제시되는 내용에 더 의존하고 있음을 보여주는 하나의 예로 볼 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

많은 교사들과 학생들이 용해와 확산, 확산과 분출을 잘 구분하지 못한다고 하므로 이러한 개념들의 명확한 구분을 위하여 가장 근원적으로 이 용어들의 정의로부터 각 개념들의 구분이 가능한지 알아보고자 하였다. 이를 위해 현재 과학자들이 합의하고 있는 것으로 생각되는 용어의 정의를 조사하고, 이 정의를 기준으로 하여 중·고등학교 교과서 및 대학 교재에서

술된 정의들을 비교·검토하고 향후 개선점을 논의하고자 하였다.

용해와 확산의 정의에서 나타난 차이점은 용해는 두 개의 다른 상이 혼합되어 하나의 상이 되는 과정이고, 확산은 농도 차이가 있을 때 그 차를 없애는 방향으로 물질이 이동한다는 것이다. 그러므로 이 정의에 의해서 용해와 확산을 구분하는 것은 어렵지 않을 것으로 생각된다. 그러나 중·고등학교 교과서와 대학 일반화학 교재에서도 대부분 확산의 정의에서 농도 차에 의한 물질의 이동이라는 내용이 강조되지 않고 있는 것으로 나타나 이 점이 용해와 확산의 구분을 어렵게 한 가장 큰 요인으로 생각된다.

중학교 교과서에서 용해는 “한 물질이 다른 물질에 녹아 고르게 섞이는 현상”으로 기술하여 “상”이라는 어려운 용어를 도입하기 이전이므로 “두 상이 혼합되어 새로운 하나의 상이 된다” 대신에 “두 물질이 고르게 섞인다”는 쉬운 용어를 사용한 것을 알 수 있다. 확산의 경우도 “분자 운동에 의해 한 물질이 다른 물질 속으로 퍼져나가는 현상”으로 기술하여 “퍼져나간다”는 것으로 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동함을 나타내었다고 볼 수 있다. 그러나 용해와의 구분을 확실히 하기 위해서는 반드시 “확산은 농도 차에 의한 물질의 이동”임을 분명하게 나타낼 필요가 있다. “농도”라는 용어가 어느 학년에서 도입되는지는 교육과정에 분명하게 나타나 있지 않은데, 중학교 1학년에서 이 용어가 도입되면 그대로 사용하면 되고, 그렇지 않으면 “용액의 진하기”와 같은 쉬운 말로 풀어서 서술하면 될 것이다. 즉, 저학년에서 특정 용어가 도입되지 않아 사용할 수 없으면 최대한 그 의미가 드러나도록 풀어서 서술을 하고, 이후 고학년에서 용어 도입 후에는 그 용어를 사용하여 다시 정교하게 서술할 필요가 있다.

그리고 용해 과정은 항상 확산 현상을 동반하기 때문에 용해와 확산을 혼동하게 될 수도 있는데, 이 경우에 용해와 확산의 정의에 입각해서 어떤 과정은 용해 과정이고, 어떤 과정은 확산 과정인지 분명하게 설명함으로써 용해와 확산을 구분할 수 있도록 해야 할 것이다. 예를 들어 NaCl(s)이 물과 혼합되는 경우 고체에서 이온이 분리되어 용매화 되는 과정은 고체와 액체 물이 혼합되어 소금물 수용액이 되었으므로 용해로 볼 수 있고, 고체 근처의 용액 농도가 높기 때문에 농도가 낮은 먼 곳으로 용질이 분산되는 것은 확산

이라고 설명해주면 용해와 확산을 구분할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 용해와 확산은 같은 잣대에 의해서 이거 아니면 저것으로 구분되는 개념이 아니라 생각하는 잣대 자체가 서로 다른 개념임을 인식할 필요가 있다. 다시 말하면, 용해는 상의 수가 하나로 되는 관점으로 보는 것이고, 확산은 농도 차가 없어지는 관점으로 보는 것이다.

또한 확산 과정에서 매질과의 충돌에 의해 확산 속도가 입자의 움직임에 비해 느린 것을 설명하기 위해 공기 중에서 기체의 확산 속도와 진공에서의 확산 속도를 비교해서 설명하는 교과서도 있는데, 진공에서의 확산이라는 것이 분명하지 못한 면이 있으므로 유의해서 도입할 필요가 있다. 비어 있는 한정된 용기 속으로 기체가 확산하는 것은 어떤 기체가 들어 있는 동일한 용기 속으로 확산할 때보다 빠르다. 그러나 크기가 한정되지 않은 진공 속으로 기체가 들어가는 경우에는 거의 충돌이 없으므로 농도의 개념을 가지기 어렵다. 따라서 그냥 진공으로의 확산이라는 표현은 피하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

확산과 분출의 경우에 정의에서 나타난 차이점은 확산은 농도 차가 있는 경우 농도 차를 없애는 방향으로 물질의 알짜 이동이 일어나는 것이고, 분출은 용기 벽면의 아주 작은 구멍을 통해 기체 입자가 충돌 없이 빠져나가는 것이므로 용기 벽면의 구멍 크기에 의해 확산과 분출은 구분될 수 있을 것이다. 여기서 구멍의 크기나 두께는 기체 입자가 충돌 없이 빠져나가야 할 정도로 작아야 하므로 용기 내 압력에 따라 가능한 구멍의 크기와 두께가 달라질 수 있지만 일반적인 록, 다공성 막, 고무풍선 같은 경우에는 분출의 조건을 만족하기 어렵다. 예를 들어, 공기 입자의 경우 압력이 1 기압일 때 평균자유행로가 70 nm 정도인데, 평균자유행로는 압력에 반비례하므로 용기 내의 압력이 0.001 기압이라 하더라도 구멍의 크기가 0.07mm 정도라야 분출이 가능할 것이다. 이것은 머리카락 굵기보다 작은 크기이다. 그리고 용기 바깥의 압력은 용기 내의 압력보다 낮아야 할 것이다. 그러므로 우리 주위에서 관찰하는 대부분의 현상은 분출로 보기 어렵다 (Hawkes, 1993). Mason과 Kronstadt(1967)는 분출은 이론적으로는 아주 간단하나 실험으로 보이기 어렵고, 반면에 확산은 실험으로 보이기 쉬우나 이론적으로 설명하기는 어렵다고 하였다. 분출은 기체 분자운동론을 잘 뒷받침하기 때문에 대학 수준에서는

가르칠 의미가 있다고 생각되나 고등학교 과정에서는 굳이 분출을 가르쳐야 할 필요가 없을 것으로 생각된다. 특히 고등학교 교과서의 경우 본문에서는 분출을 다루지도 않으면서 예제나 문제에서 분출을 포함하는 것은 지양해야 할 것이다.

마지막으로 본 연구의 내용은 아니지만 7차 교육과정의 중학교와 고등학교 교과서 중에 용해의 원리를 설명할 때 입자간 인력(엔탈피 개념)으로만 설명하여 오류를 포함한 경우도 있는데, 이의 시정 방안에 대한 논의도 필요하다. 즉, 설탕이나 소금이 물에 녹는 것은 용질과 용매간의 인력이 용질-용질, 용매-용매간 인력보다 크기 때문이라고 서술한 교과서들이 있는데, 실제로 이 과정은 흡열과정(온도가 높으면 용해도 증가)이므로 용질-용매간의 인력이 용질-용질, 용매-용매간 인력의 평균보다 작아야 한다. 이 경우 용해의 원동력은 엔트로피 변화인데, 엔트로피 용어의 도입 이전인 경우에는 이 용어를 사용할 수 없다. 그러므로 용해의 원리를 아예 설명하지 않거나 또는 엔탈피와 엔트로피 개념을 모두 사용하여 제대로 설명하거나 해야 할 것이다. 따라서 용해의 원리를 제대로 설명하려면 엔트로피 용어를 사용하지 않고 그 의미가 포함될 수 있도록 풀어서 서술하는 방안을 궁리해야 할 것이다.

## 국문 요약

선행연구에 의하면 많은 중·고등학교 학생들과 교사들이 용해와 확산, 확산과 분출을 잘 구분하지 못한다고 하므로 본 연구에서는 이 용어들의 정의로부터 각 개념들을 서로 구분하는 것이 가능한지 알아보고자 하였다. 이를 위해 현재 과학자들이 합의하고 있는 것으로 생각되는 용어의 정의를 IUPAC의 Gold Book과 대학 물리화학 교재로부터 조사하여 비교하였다. 그리고 현행 중·고등학교 교과서 및 대학 일반화학 교재에 서술된 정의를 조사하여 학생들과 교사들이 혼란을 느낄 수 있는 문제점을 파악하고 그 개선점을 알아보고자 하였다. 그 결과 용해는 두 상이 혼합되어 하나의 상이 되는 것임에 비해 확산은 농도 차를 없애는 방향으로 물질이 이동하는 것이므로 서로 구분 가능하다고 생각된다. 그러나 중·고등학교 교과서와 대학 일반화학 교재에서도 대부분 확산을 농도 차에 의한 것으로 명확하게 서술하지 않았는데 이

를 강조해서 서술할 필요가 있다. 분출은 용기 벽면의 아주 작은 구멍을 통해 기체 입자가 충돌 없이 빠져나가는 것이므로 기체 확산과 분명히 구분되지만 고등학교 교과서에서 분출의 정의를 제시한 교과서는 거의 없었다.

주요어: 용해, 확산, 분출, 용어 정의, 교과서 서술

## 참고 문헌

- 강대훈, 백성혜, 박국태 (2004). 용해 현상에 대한 학생들의 개념유형 및 교사들의 지도 실태. *대한화학회지*, 48(4), 399-413.
- 고영환, 강대훈, 류오현, 백성혜 (2002). 화학과 생물 교과서에서 삼투압과 반투막 개념에 관한 설명 유형 분석. *한국과학교육학회지*, 22(3), 444-454.
- 구선아, 채희권 (2008). 7학년 교과서의 확산현상 기술에 대한 분석과 과학교사들의 확산개념에 대한 이해도 조사. *한국과학교육학회지*, 28(5), 383-394.
- 김문수, 정영란 (1997). 확산과 삼투 개념에 관한 학생들의 이해도 및 오개념의 원인으로서의 교과서 분석. *한국과학교육학회지*, 17(2), 191-200.
- 김영채, 성숙경, 정대홍 (2011). HCl(g)과 NH<sub>3</sub>(g)를 이용한 '기체 확산 속도'에 관한 실험의 분석 및 개선 연구-고등학교 화학 II 단원에서- *현장과학교육*, 5(1), 27-34.
- 김주현, 이동준, 김선경, 강성주, 백성혜 (2000). 입자론의 관점에서 본 확산과 용해 개념에 관련된 과학 교과서 및 인터넷 자료 분석과 컴퓨터 수업 보조 자료의 개발. *대한화학회지*, 44(6), 611-624.
- 노태희, 전경문 (1996). 상변화와 용해에 대한 고등학생들의 개념 및 논리적 사고력과의 관계. *화학교육*, 23(2), 102-112.
- 노태희, 전경문, 김혜경 (1996). 물질과 확산에 대한 학생들의 개념을 신뢰성 있게 정량화하는 방법. *화학교육*, 23(1), 42-50.
- 박종운, 강순희, 최혜영 (1996). 용해에 대한 중학생들의 선개념과 수업을 통한 개념 변화. *화학교육*, 23(6), 436-450.
- 박종운, 이윤희 (2008). 고체와 기체의 용해에 대한 대학생들의 열역학적 이해 조사. *대한화학회지*, 52(2), 186-196.
- 백성혜, 류오현, 김동욱, 박국태 (2001). 원소와 원자 개념에 대한 과학 교과서 진술의 문제점 분석. 과학 개념의 역사적 변천을 중심으로. *대한화학회지*, 45(4), 357-369.
- 백성혜, 박영주 (2002). 초등·중등학교 과학교과서에 나타난 열, 온도 개념에 대한 분석. *한국과학교육학회지*, 22(3), 478-489.
- 백성혜, 정애경, 고영환 (2004). 중등 과학교과서에서 증발, 끓음의 설명에 제시된 개념간의 관련 정도 분석. *한국과학교육학회지*, 24(3), 429-441.
- 성숙경, 백종호, 정대홍 (2010). 분자확산에 대한 이론적 고찰과 탐구실험을 통한 예비교사의 개념변화. *한국과학교육학회지*, 30(1), 80-93.
- 신동혁, 이상권, 최병순 (2002). 중·고등학교 과학 교과서에 제시된 불타전지에 대한 문제점 분석. *대한화학회지*, 46(4), 363-376.
- 한유화, 허영희, 백성혜 (2008). 화학전지에 대한 예비교사들의 학년별 사고 유형. *한국과학교육학회지*, 28(1), 15-23.
- 허미연, 백성혜 (2009). 용해와 확산에 관련된 혼합 현상에 대한 중등 과학교사들의 사고 특성. *대한화학회지*, 53(5), 585-608.
- 허미연, 전해숙, 백성혜 (2008). 용해·확산과 관련된 혼합현상에 대한 고등학생들의 개념 유형 분석. *대한화학회지*, 52(1), 73-83.
- Çalik, M., & Ayas, A. (2005). A comparison of level of understanding of eighth-grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 638-667.
- Hawkes, S. J. (1993). Misuse of Graham's laws. *Journal of Chemical Education*, 70(10), 836-837.
- Kirk, A. D. (1967). The range of validity of Graham's law. *Journal of Chemical Education*, 44(12), 745-750.
- Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, 91(4), 579-603.

Mason, E. A., & Kronstadt, B. (1967). Graham's laws of diffusion and effusion. *Journal of Chemical Education*, 44(12), 740-744.

Pushkin, D. B. (1997). Scientific terminology and context: How broad or narrow are our meanings? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), 661-668.

Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1999). An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76(6), 853-860.

Schmidt, H.-J., Marohn, A., & Harrison, A.

G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 258-283.

Slisco, J., & Dykstra Jr., D. I. (1997). The role of scientific terminology in research and teaching: Is something important missing? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), 655-660.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gable (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, (pp. 177-210). New York: MacMillan.