

# 화학과 생물 교과서에서 삼투 개념에 관한 설명 유형 분석

고영환<sup>1</sup> · 강대훈<sup>2</sup> · 박동조<sup>3</sup> · 김동욱<sup>4</sup> · 백성혜<sup>5</sup>  
(서문여자중학교)<sup>1</sup> · (연희중학교)<sup>2</sup> · (김포중학교)<sup>3</sup> · (대구교육대학교)<sup>4</sup> ·  
(한국교원대학교 화학교육과)<sup>5</sup>

## Analysis of Types of Explanation on Osmosis Concept in Chemistry and Biology Textbooks

Ko, Young-Hwan<sup>1</sup> · Kang, Dae-Hun<sup>2</sup> · Park, Dong-Joe<sup>3</sup> ·  
Kim, Dong-Uk<sup>4</sup> · Paik, Seung-Hey<sup>5</sup>  
(Suh-Moon Girls' Middle School)<sup>1</sup> · (Yeon-Hee Middle School)<sup>2</sup> ·  
(Kim-Po Middle School)<sup>3</sup> · (Taegu National University of Education)<sup>4</sup> ·  
(Korea National University of Education)<sup>5</sup>

### ABSTRACT

In this study, we analyzed types of explanation on osmosis concept that were represented in chemistry and biology textbooks of high school and college. There were 5 types of explanation on osmosis concept. The types of explanation were diffusion of solvent, collision, hydration, equilibrium of concentration and screen of holes. Last two types of explanation were classified into misconceptions. The various types of explanation on osmosis concept might cause to have be a reason that students had many misconceptions and to feel difficult to learn about osmosis concept. Many of textbooks is accord to types of concept explanation and figure explanation on osmosis but some is not.

**Key words:** science textbook, explanation types, chemistry, biology, misconception, difficulty of learning

### I. 연구 목적 및 필요성

우리나라 초, 중·고 학생들은 학년이 올라 갈수록 과학 과목을 어려워한다. 이는 과학 교과서의 내용

구성이 거시적인 관점에서 미시적인 관점으로 옮겨가기 때문일 수 있다. 즉, 인간의 오감이 바탕인 색의 변화, 맛보기, 냄새맡기, 촉감 등의 거시적인 관점에서 미시적인 관점인 원자와 분자, 입자의 운동, 입자의

\*2001.8.27(접수) 2002.6.7(1심) 2002.11.1(최종 통과)

재배치, 입자의 변화 등의 이해로 옮겨가기 때문이다. 입자적인 개념을 이해하려면 형식적인 사고를 요구한다고 유성이와 백성혜(2000)의 연구에서 지적하였다. 이러한 입자적인 개념의 이해 없이는 습득하기 어려운 과학적 개념 중 하나가 삼투 개념이다.

삼투 개념은 식물과 동물의 생명 현상을 이해하는데 매우 중요하다. 삼투 현상은 일상 생활에서 흔히 일어나므로 우리가 쉽게 경험함에도 불구하고, 교사들은 삼투개념을 현장에서 가르치는데 어려움이 많다고 생각하며, 또한 교사와 학생들이 삼투 개념에 대해 여러 유형의 오개념이 있는 것으로 나타났다(신선옥, 1993; 정경수, 1999). 그 동안 삼투 현상에 대해 학생들의 올바른 개념 형성을 위한 많은 연구들이 과학교육에서 진행되어 왔는데(박경희, 1998; 이현옥, 1994; 전태식, 1998; 홍준의, 1998; Christianson, 1999; Friedler et al., 1987; Odom & Borrow, 1995), 대부분의 연구들에서 학습자가 삼투 개념을 어려워한다고 지적했다.

김문수와 정영란(1997)은 확산과 삼투에 대해 중학생이 가지고 있는 오개념을 고등학생과 대학생도 가지고 있다고 보고하였다. 고등학생이 중학생보다 오개념을 더 많이 가지고 있는 것으로 나타났는데, 그 원인을 고등학교 과학 교과서의 부정확한 표현과 학습자의 동적 평형에 대한 이해 부족이라고 지적하였다. 그리고 학생들은 평형에 도달한 후 분자들이 움직이지 않는 것으로 생각하는 경우가 많음을 지적하였다. 학생들은 분자 운동론에 대한 정확한 개념을 갖지 못하여 동적 평형의 개념이 요구되는 상황에서 정적 평형의 개념을 적용한다고 생각하였다. 그러나 이 연구에서는 삼투 개념에 대한 정의를 구체적으로 제시하지는 않았다. Johnstone & Mahmoud(1980a, 1980b)는 수분 퍼텐셜으로 삼투 개념을 정의하였으며, 삼투 개념의 이해에 물질의 동적 평형에 대한 개념이 필요하다고 보았다.

삼투 개념을 이해하기 위해서는 반트 호프(J. H. Vant Hoff)가 처음 고려하였던 것과 마찬가지로 용질 입자와 용매 입자 사이의 친화력 개념을 필요로 한다. 화학과 생물 교과서에서 삼투 개념을 주로 용매의 확산으로만 설명하고 있는데, 이 경우 삼투압이

농도에 비례하여 커지는 이유는 단지 용매의 입자 수의 차이로 인해 유발되는 확산력의 차이로 해석된다. 즉, 용액의 농도 증가로 인해 생기는 용질의 입자수 증가가 삼투압의 직접적인 원인으로 설명되지 않고, 단지 상대적으로 적게 존재하는 용매의 입자 수에 원인을 두고있다. 이러한 관점의 전체 조건은 같은 용액의 부피 안에는 같은 입자 수가 들어 있다는 것이다. 따라서 전체 입자수 중에 용질의 입자 수가 많아지면 상대적으로 용매의 입자 수가 줄어든다고 보는 것이다. 즉, 기체에 적용되는 아보가드로의 법칙을 용액에도 적용하고 있는 것이다(박범순, 1991).

과학적 개념에 대해 오개념이 형성되는 원인으로 학습자의 내적 요인과 외적 요인이 있는데, 외적 요인은 물리적 환경, 문화적 환경, 학교환경 등에 의해 형성되어질 수 있다. 학교환경 중에서 교과서는 우리나라 교육 현장에서 교수·학습의 방향을 제시해 주는 중요한 역할을 하므로 오개념의 주요한 형성 원인이 될 수 있다고 하였다(조희형과 박승재, 1994). 즉, 교과서에서 과학적 개념에 대한 설명이 명확하게 되어 있지 않는 경우와 용어의 진술이 잘못되어 있는 경우, 그리고 도표와 삽화에 대한 해석과 설명이 적당하지 않거나 부족할 경우에는 오개념이 유발될 수 있다는 것이다. 또한, 교사가 잘못된 개념을 가지고 있을 때에는 학생의 개념 형성에 직접적으로 영향을 주게 되는데, 예비 교사나 교사들이 많은 오개념을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다(김경주, 1993; 정경수, 1999; Sanders, 1993). 그리고 과학 내용 중에서 물리, 화학, 생물, 지구과학의 여러 영역에서 공통적으로 다루고 있는 내용의 경우에는 서로의 접근 방법이나 설명 유형의 차이로 인하여 오개념이 발생할 가능성이 매우 높다고 생각된다.

따라서 이 연구에서는 고등학교와 대학교의 화학과 생물 교과서에서 제시되는 삼투 개념의 정의의 분석과 정의가 서로 다르기 때문에 생길 수 있는 문제점을 교과서의 내용을 분석함으로써 살펴보고자 한다.

## II. 삼투 현상의 이해

### 1. 입자간의 인력을 고려한 설명

반트호프는 삼투 현상과 증기 압력 내림 현상을 그 원리가 비슷한 경우라고 생각했다. Fig. 1과 같이 비이커에 순수한 물과 설탕물을 그릇에 물을 담아 놓으면, 순수한 물 쪽의 양이 점점 줄어들고, 설탕물은 양이 점점 늘어나 묽어지는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상의 원인은 순수한 물이나 설탕물 표면에서 증발하는 물분자의 증발속도 차이에 의한 것이다.

Fig. 1. Lowering of vapor pressure

증발은 액체 분자들 사이의 인력을 극복하는데 에너지가 필요하고, 깃스자유에너지( $\Delta G_{vap} = \Delta H_{vap} - T \Delta S_{vap}$ )는 음의 값을 가져야 한다. 또한 증발은 분자의 무질서도가 증가하기 때문에 엔트로피( $\Delta S_{vap}$ )가 항상 양의 값을 갖는다. 일반적으로 자발적인 증발 현상은 엔탈피( $\Delta H_{vap}$ )가 양의 값을 가지므로 엔탈피를 능가할 만큼 큰 엔트로피의 값을 가질 때 일어난다.

순수한 용매와 용액에서 증발열은 서로 비슷한데, 그 이유는 두 경우 모두 용매 분자들이 액체로부터 이탈해 나오기 위해서는 분자간의 인력을 극복해야 하기 때문이다. 그러므로, 증발되기 쉬운 정도의 차이는  $\Delta H_{vap}$ 의 차이에 기인하지 않는다. 용액이 순수한 용매보다 더 큰 분자의 무질서도를 가지고 있기 때문에, 증발 과정의 엔트로피 변화는 순수한 용매보다 용액에서 더 작다. 따라서 용액에서 깃스 자유에너지는 양의 값을 가질 가능성이 높아서 증발이 자발적으로 일어나기가 순수한 용매보다 어렵다. 또한 용액에서는 입자사이의 인력이 순수한 용매에서보다 더 크므로  $\Delta H_{vap}$ 가 더 큰 양의 값을 갖는다. 결과적으로, 용액에 대해서 증발은 더욱 어려워지며, 평형에서의 용액의 증기압은 낮다(McMurry & Fay, 1996).

용질 입자들과 용매 분자들간의 분자간 힘이 용매

분자들만의 사이의 힘보다 약하다면, 용해가 일어나지 않는다. 이것이 바로 용액의 증기압력이 낮은 이유이다. 용액 내에서 용매 분자들은 서로 덜 강하게 붙어있게 되며, 증기 압력은 라울의 법칙(Raoult's law)이 예견하는 것보다 높아진다. 역으로, 용질과 용매 분자들간의 분자간 힘이 용매 분자들 사이의 힘보다 더 강할 때 용해가 일어나며, 이 때문에 용매 분자들의 증기 압력은 예상한 것보다 낮아진다. 특히, 이온성 물질의 용액은 종종 예상한 값보다 상당히 낮은 증기압을 갖는데 그 이유는 용해된 이온과 극성인 물 분자들 사이의 이온-쌍극자(Fig. 2) 힘이 매우 크기 때문이다.

Fig. 2. Hydration by water

## 2 입자의 충돌을 고려한 설명

삼투현상의 설명에서 친화력이 입자와 입자 사이의 인력에 관련된 개념이라면(Fig. 2), 압력에 대한 개념은 입자 충돌에 관련된 개념이다(Fig. 3).

Vant Hoff는 용액에서 용질 분자는 반투막 벽에 어떤 힘을 미치는데, 이것은 기체의 압력과 비슷할 뿐 아니라 수량적으로도 일치함을 발견하였다. 즉, 이상기체의 법칙에서 기체의 압력 대신 삼투압을 대입하면 기체상수 R을 그대로 사용할 수 있다는 것을 알게 되었다. 이로써 Vant Hoff는 기체와 마찬가지로 용액에서도 입자의 개념이 확립되는 데에 결정적인 기여를 하였다. 그는 삼투압이 "일정 온도일 때 용질의 농도에 비례하고 일정농도일 때 온도에 비례한다"는 성질에 착안하여 Boyle의 법칙과 Gay-Lussac의 법칙이 용액에서도 성립함을 이론적으로 증명하였다.

그가 기체에 관련된 법칙을 용액에 적용한 것은 실험 결과의 유사성 때문이었다. 이렇게 하여 만들어진

Fig. 3. Collision of particle

식이 바로  $PV = iRT$ 이다. 이 식에서  $i$ 는 각 용질에 대한 일정한 정수인데 이를 Vant Hoff의 계수라고 부른다. 이로부터 삼투압의 생성 원인이 기체압의 경우와 마찬가지로 입자 운동에 의한 것이라는 해석이 가능하게 되었다. 이때 그가 생각한 삼투압의 유발 원인은 용질이 반투막에 충돌하는 것이었다.

그런데 친화력으로부터 출발한 삼투압에 대한 개념과 용질의 반투막에 충돌하는 개념은 같은 현상을 서로 다른 입장으로 설명하는 것이다. 따라서, 그는 삼투압이 과연 용질의 용매에 대한 인력 때문에 일어난 것인지, 아니면 용질이 반투막에 부딪쳐 생기는 것인지가 명확하게 이해하지 못하였다(박범순, 1991).

### 3. 엔트로피를 고려한 설명

오늘날 삼투 현상의 이해는 열역학 제2법칙에 의해 반투막 양쪽의 화학 퍼텐셜(Chemical Potential)이 같아지도록 하기 위해 삼투 현상이 일어난다고 설명하고 있다. 여기에서 삼투 현상을 일으키는 추진력(driving force)은 엔트로피(S)로 본다. 예를 들면, 반투막을 사이에 두고 용액과 용매를 분리했을 때 삼투 현상은 자발적으로 일어난다. 반투막 양쪽의 순수한 물과 묽은 용액이 섞이는 과정 즉, 혼합 엔탈피  $\Delta H_{mix}$  (일정 P,T 에서)는 엔트로피의 변화량에 비하여 무시할 수 있다(김규홍, 1994). 용액에 용질을 첨가하면 용질과 용매의 인력에 의해 용매의 활동도는 낮아진다. 이 때문에 용액에서 용매의 엔트로피가 감소

하며 이러한 엔트로피의 차이에 의해 순수 용매에서 용액쪽으로 엔트로피가 증가되기 위한 용매의 이동현상이 일어나는 것이다. 즉 평형에서는 반투막 양쪽의 용매의 화학퍼텐셜이 같아야 하므로 순수한 용매의 화학퍼텐셜이 높고 용액에서는 용질에 의해 화학퍼텐셜이 낮으므로 용매는 용액쪽으로 퍼텐셜이 같아질 때까지 이동한다(Atkins, 1995). 아주 묽은 용액에서는  $\Delta H$ 의 차이를 무시하기 때문에 삼투현상을  $\Delta S$ 에 의해 일어나는 확산으로 설명한다.

압력이 P인 순수한 용매 쪽에서의 화학 퍼텐셜을  $\mu_A(P)$ 로 표시할 수 있다. 용액 쪽에서는 물 분율  $x_B$ 인 용질 때문에 화학 퍼텐셜이 낮아지지만, 용액에 작용하는 삼투압 때문에 전체 압력이 P보다 높아진다(Fig. 4). 즉, 용액의 압력은  $P + \Pi$ 로 표현될 수 있으며, 화학 퍼텐셜은  $\mu_A(x_B, P + \Pi)$ 로 표현될 수 있다. 따라서, 용액과 순수한 용매 사이에 동적 평형이 이루어진 후에는 다음의 관계식이 성립한다.

Fig. 4. Condition of equilibrium on osmotic system

$$\mu_A(\text{용매}, P) = \mu_A(\text{용액}, P + \Pi)$$

이식의 전개 과정을 생략하고 간단히 정리하면

$$\Pi V_m = n_B R T, n_B / V_m = C \text{ 이라면, } \Pi = C R T$$

그러나  $\Pi$ 는 용질의 압력이 아니다. 화학적인 시각에서의 삼투압은 삼투 현상을 억제하는 압력이다. 즉, 용매가 반투과성 막을 통해서 흐르는 것을 막는 용액에 적용되는 여분의 압력을 의미한다. 또한,  $C$ 는 용질의 농도를 의미하지만 여기서 용질이 어떤 작용을 하는지에 대한 정보는 알 수 없다(안운선, 2000).

### Ⅲ. 분석 대상 교과서 및 개념 설명 유형 분류

삼투 개념은 주로 고등학교 화학과 생물 교과서에서부터 다루어지고 있다. 이 연구에서는 제 6차 교육 과정에 따른 고등학교 화학 II 교과서 12종(김시중 등, 1996; 박원기 등, 1996; 박택규 등, 1996; 소현수 등, 1996; 송호봉 등, 1996; 여수동 등, 1996; 오제직 등, 1996; 우규환 등, 1996; 이운주 등, 1996; 이원식 등, 1996; 정구조 등, 1996; 최병순 등, 1996), 고등학교 생물 II 교과서 10종(강만식 등, 1996; 강영희 등, 1996; 김종균 등, 1996; 김준호 등, 1996; 박범의 등, 1996; 박인국 등, 1996; 이길재 등, 1996; 정해문 등, 1996; 하두봉 등, 1996; 홍영남 등, 1996), 대학교 화학 교과서 15종(Atkins, 1995; Bodner & Pardue, 1998; Brady, 1996; Brady & Holum, 1997; Brown *et al.*, 1999; Ebbing & Wrioughton, 1995; Hill & Petrucci, 1998; Joesten & Wood, 1998; Kotz & Trichel, 1999; Malon, 1999; Moore *et al.*, 2000; Noggle, 1998; Oxtoby *et al.*, 2000; Raymond, 1998; Zumdahl, 1996), 그리고 대학교 생물 교과서 7종(Campbell, 1987; Guttman & Hopkins, 1983; Keeton & Gould, 1980; Kimball, 1983; Pruves *et al.*, 1996; Viliee, 1994; Wallace & Sanders, 1996)을 분석하였다. 분석 대상 교과서는 대표 저자의 '가나다' 또

는 'ABC' 순서에 따라 기호를 표기하였다. 고등학교 화학 II 교과서의 기호는 HC1~HC12, 고등학교 생물 II 교과서는 HB1~HB10, 대학교 화학 교과서는 UC1~UC15, 그리고 대학교 생물 교과서는 UB1~UB7로 표기하였다.

이 연구에서는 분석 대상 교과서에서 삼투현상을 설명하는 진술문을 선택하고, 이 진술문들을 비교하여 설명하는 방식의 유형을 추출하였다. 분석에는 중등학교 과학 교사 3인과 과학교육 전공 석사과정 대학원생 7인, 그리고 과학교육 전문가 1인이 참여하였다. 현직 중등학교 과학 교사 1인과 과학교육 전공 석사과정 대학원생 1인, 그리고 과학교육 전문가 1인에 의해 개별적으로 진술문의 유형을 일차 분석한 후에, 교과서의 진술 원문과 분류된 항목을 점검하여 관련되는지를 보았으며, 의견이 일치하지 않는 경우에는 토의를 거쳐서 분류들을 조정하거나 새로운 분류들을 첨가하는 방식으로 진행하였다. 합의점에 도달한 유형의 경우에는 중등학교 현직 과학 교사 2인과 과학교육 전공 석사과정 대학원생 6인에 의해 이차 분석을 실시하여 내용 타당도를 점검받았다.

이로부터 추출된 설명 유형은 크게 5가지이다. 즉, 용매의 확산으로 설명하는 유형, 입자의 충돌로 설명하는 유형, 용매에 의한 용질의 수화로 설명하는 유형, 농도 평형으로 설명하는 유형, 구멍을 막는 것으로 설명하는 유형 등이다. 그 중에 뒤의 두 가지는 비록 교과서에 설명되어 있기는 하지만 연구자들이 판단하기에 오류를 야기시킬 수 있는 유형으로 분석되었다. 그리고 한 교과서가 두 가지 이상의 유형으로 진술한 경우, 두 가지 이상의 개념 유형으로 나누어 분류하였다. 따라서 한 교과서가 두 가지 이상의 항목에 중복되어 포함될 수 있다.

### Ⅳ. 결과 및 논의

#### 1. 삼투 개념에 관련된 설명 유형 및 그림 표현 유형 분석

##### 1) 용매의 확산으로 설명하는 유형

삼투 개념을 용매의 확산으로 설명하는 경우는 “반

**Fig. 5.** Movement of solvent molecules through a semipermeable membrane from lower solute concentration to higher solute concentration

투과성 막을 통하여 용매 분자가 확산하는 현상”과 같이 설명하는 유형이며, 고등학교 화학 II 교과서 9종(HC1, HC3, HC4, HC5, HC6, HC7, HC8, HC9, HC12)과 생물 II 교과서 7종(HB1, HB2, HB3, HB4, HB6, HB9, HB10), 대학교 화학교과서 11종(UC1, UC2, UC3, UC4, UC7, UC8, UC10, UC11, UC12, UC14, UC15)대학교 생물 교과서 4종(UB1, UB3, UB5, UB6) 등 분석교과서 대부분이 이러한 유형으로 설명하고 있었다. 그림의 경우에는 Fig. 5와 같이 단위 면적 당 용매의 수 차이에 의해 농도가 높은 쪽의 용매가 농도가 진한 쪽으로 이동하는 것을 나타내주는 그림을 이 유형으로 구분하였다. Fig. 5와 같이 표현한 교과서는 고등학교 화학 II 9종(HC1, HC3, HC4, HC5, HC6, HC7, HC9, HC11, HC12), 고등학교 생물 II 교과서 2종(HB5, HB6), 대학교 화학 교과서 6종(UC3, UC7, UC8, UC10, UC11, UC12)과 대학교 생물 교과서 2종(UB3, UB6)이었다.

제시된 Fig. 5에서 용액이 용액 쪽으로 이동하는 현상을 확산으로 설명하기 위해서는 단위 면적 당 용매의 수 개념이 필요하다. 그러나 이 유형으로 분류된 대다수의 교과서에서는 용매가 아닌 용질의 농도에 초점을 맞추어 저농도에서 고농도로 확산이 일어난다고 설명함으로써 확산과 삼투의 관계를 제대로 이해하기 어렵도록 제시하였다. 즉, 확산은 고농도에서 저농도로 용질이 이동하는 것이고, 삼투는 저농도에서 고농도로 용매가 이동하는 것인데, 이 때 저농도나

고농도는 용매가 아닌 용질을 의미하는 것으로 반투막을 사이에 두고 용질은 이동할 수 없기 때문에 용매만 이동한다는 점을 고려한다면 용매의 입장에서는 교과서에서 제시된 이러한 설명 유형의 문제점은 삼투 현상을 설명하는데 있어서 용질의 농도와 용매의 농도를 명확하게 구분하고 있지 않아 학생들로 하여금 어떤 물질의 농도를 의미하는지 혼동하게 할 가능성이 있다고 생각된다. 또한 Fig. 6 과 같이 표현하는 경우는 교과서의 설명 유형에는 이러한 유형이 없지만, 그림 중에는 이에 해당하는 유형이 있었다(HB3, HB4). 이 그림에 의하면 용질은 전혀 이동하지 않기 때문에 반투막이나 용매에 어떠한 작용도 하지 않는 것으로 표현되어 있다. 그리고 이동하는 용매의 속도는 양방향에 동일하다. 이러한 그림 유형의 문제점은 용액에서 용질은 입자의 크기는 크면서 단순히 자리만 차지한다고 생각할 우려가 있다.

**Fig. 6.** Movement of only water molecule

그리고 생물 교과서(HB10) 한 종류의 그림에서는 Fig. 7의 오른쪽과 같은 평형 후의 상태도 묘사되어

있다. 그런데, 이 그림에서는 평형에 도달한 후 막 양쪽의 입자 밀도에 큰 차이가 있기 때문에 확산의 개념으로 본다면 이러한 형태로 평형에 도달한다는 개념은 잘못된 것이라고 할 수 있다. 평형에 도달했을 때 양쪽으로 이동하는 용매 분자의 수는 같아야 하는 동적 평형의 개념을 설명하기에는 부족하다고 볼 수 있다.

Fig. 7. Static equilibrium

확산의 개념은 열역학적인 관점에서 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어난다. 즉, 고농도에서 저농도로 확산이 일어난다. 삼투의 경우에는 저농도에서 고농도로 용매가 이동한다. 이 때 반투막이라는 전체 조건 때문에 용질은 확산을 일으킬 수 없다. 따라서, 이동이 가능한 용매의 입장에서 볼 때, 용매의 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 것이다. 대학교 생물 교과서 UB6에서는 이를 용매의 농도라고 표현하기도 하였다. 이러한 의미에서 삼투는 확산의 특수한 형태로 설명하기도 한다. 그리고 교과서 분석에서 용매 분자가 반투막을 통하여 용액 쪽으로 흘러가는 현상, 용매가 용액 쪽으로 이동하는 현상, 막을 통해 오른쪽으로 이동하는 분자수가 왼쪽으로 이동하는 분자수 보다 많아 용매가 용액 쪽으로 흘러가는 현상, 용질의 농도가 낮은 곳에서 용질의 농도가 높은 곳으로 용매 분자가 반투막을 통해 이동하는 것, 삼투 농도 차이로 생기는 현상 등 이러한 설명 모두 용매가 용액 속으로 이동하는 것으로 표현하였으며 확산 현상으로 분류하였다.

## 2) 충돌로 설명하는 유형

삼투 개념을 입자의 충돌로 설명하는 경우는 “용질

분자의 운동으로 일어나는 반투막과의 충돌이 삼투의 본질”이라고 설명하는 유형으로 고등학교 화학 II 교과서 2종(HC4, HC5)과 대학교 화학 교과서 2종(UC9, UC11)에서 나타났다. 또한 Morse와 Vitz(1999)의 연구에서 모델을 통해 용질이 반투막에 충돌하는 것을 삼투압으로 표현하였다. Fig. 8은 용매와 용질이 막에 충돌하는 것을 나타내 주고 있다. 이와 같은 그림이 제시된 교과서는 고등학교 화학 II 교과서 HC10과 생물 II 교과서 3종(HB1, HB2, HB9), 그리고 대학교 화학 교과서 3종(UC4, UC5, UC15)이다. 즉 대부분 화학 교과서에서만 이러한 관점의 설명이 제시되었다.

Fig. 8. Collision of solute to membrane

한편, 대학교 화학 교과서 UC12에서는 “삼투압은 용질 분자들이 반투막에 충돌함으로써 생기는 것이 아니라 용매가 막을 통하여 흐르기 때문에 생기는 것”이라고 설명하여 용질과 반투막의 충돌로 삼투압을 설명하는 것은 잘못된 것이라고 지적하였다. 그러나 반트호프가 고려하였던 것과 마찬가지로 삼투압을 기압과 유사하게 이해하고, 이를 분자 운동론의 관점에서 입자의 충돌로 설명하는 것도 부분적으로 필요하다고 생각된다.

## 3) 수화 유형

삼투 개념을 용매인 물분자에 의한 용질의 수화로 설명하는 경우는 대학교 화학 교과서 UC9로 “용액이 거대한 설탕 분자나 수화(hydration)된 이온을 가지고 있을 때에는 주어진 시간 동안 용액 쪽에 있는 물 분자들은 순수한 물 쪽에 있는 물분자들처럼 많은 분자들이 반투막에 부딪치지 못한다”고 제시하였다.

이 유형의 설명은 삼투 개념을 용매와 용질간의 인

력으로 표현함으로써 용액 내에서 용질이 단순히 자리만 차지하는 것이 아니라 용매와 상호 작용하고 있다는 것을 나타내어 주고 있다. 고등학교 화학 II 교과서에서는 '뭍은 용액의 성질'이라는 단원에서 용해, 증기압력 내림 등의 현상을 제시한 후에 삼투 현상을 제시하는데, 이러한 현상들을 관련지을 때 가장 중요한 개념 중 하나가 바로 수화일 것이다. 이 유형을 그림으로 표현한 것이 Fig. 9인데, 이 그림이 제시된 교과서는 고등학교 화학 II 교과서 2종(HC2, HC8)과 대학교 화학 교과서 2종(UC9, UC11), 그리고 대학교 생물 교과서 UB1이었다. 따라서 이러한 시각도 주로 화학 교과서에 편중되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 9. Hydration of solute by solvent

4) 오류 유형1: 농도평형으로 설명하는 유형

삼투 개념을 농도평형으로 설명하는 경우는 “막 양쪽의 농도를 같게 하기 위해 용매가 반투막을 통하여 흐르는 현상”으로 설명하는 유형이며, 고등학교 화학 II 교과서 5종(HC2, HC6, HC9, HC10, HC11)과 생물 II 교과서 HB5, 그리고 대학교 화학 교과서 2종(UC3, UC6)에서 이러한 설명 유형이 나타난다. “막 양쪽의 농도가 비슷해지려고”라고 기술한 것도 이 유형으로 분류하였다. 따라서, 일반적으로 화학 교과서에 이러한 오류가 많이 포함되어 있음을 알 수 있다. 농도평형에 대한 그림 유형의 설명은 교과서에 제시되어 있지 않으므로 그림유형 분류에서 제외하였다.

삼투 개념을 농도평형으로 설명하게 되면 반투막 양쪽의 용액 농도가 같아질 때 삼투 현상이 멈춘다는 생각(김문수 와 정영란, 1997; Johnstone &

Mahmoud 1980a, 1980b)을 유발할 수 있다. 특히, 농도평형으로 분류된 대부분 교과서에서 삼투 현상에 대한 그림 설명으로 순수한 물과 용액을 제시하고 있었다. 용매인 순수한 물과 용액이 반투막을 사이에 두고 있을 경우에는 삼투 현상이 종료된 후에 용매인 순수한 물 쪽으로는 용질이 이동할 수 없기 때문에 두 액체의 농도는 같아질 수 없다. 왜냐하면 용액 쪽의 수면이 높아지면 그만큼 용액 쪽에서 중력에 의한 수압이 작용하기 때문에 용매인 순수한 물이 모두 용액 쪽으로 이동해 들어가는 상황은 일어나지 않을 것이다. 이러한 점 때문에 삼투 개념에 대한 이 유형의 설명은 적절하지 못하다고 말할 수 있다.

5) 오류 유형2: 구멍을 막는 것으로 설명하는 유형

삼투 개념을 구멍을 막는 것으로 설명하는 경우는 “용질 입자가 반투막의 일부 구멍을 막아 용매 분자의 운동을 방해하기 때문에 일어난다”고 설명하는 유형이며 대학교 화학 교과서 UC10에서 이러한 설명 유형이 나타났다. 또한, 고등학교 화학 II 교과서 HC4에서는 “비휘발성 용질에 의해 용매 분자가 탈출하는 속도가 감소되는 것”의 예 중 하나로 증기압 감소와 삼투 현상을 들었다. 이는 용질 입자가 용매의 진행 방향을 막기 때문에 일어난다는 현상이라는 점에 있어서 UC10의 설명과 유사하다고 볼 수 있다.

고등학교의 모든 화학 II 교과서는 용액 단원에서 삼투 개념을 제시하고 있다. 용액 단원은 용해와 용액, 용액의 성질 등을 다루는데, 용해의 개념은 입자간의 인력 개념으로 설명하여 용질과 용매 입자의 정전기적 끌림으로 표현하고 있다. 그러나 용액의 증기압력 내림, 어는점 내림, 끓는점 오름 등의 개념은 용질과 용매 사이의 인력을 고려하지 않고 단순히 입자의 수나 입자의 움직임으로만 설명하고 있다. 특히, 증기압력이나 어는점 내림, 끓는점 오름 등은 용질 입자가 용매의 흐름을 방해하는 모습으로 Fig. 10과 같이 제시되어 있으며, 용액과 순수한 용매 사이에 삼투압이 나타나는 현상도 이와 유사하게 묘사되어 있다.

그러나 삼투 현상을 용질이 반투막의 구멍을 막기 때문으로 설명하는 경우, 용질이 포함된 용액 쪽에서만 아니라 용질이 포함되지 않은 용매 쪽에서도 용매



가 막힌 구멍을 통해 막의 반대편으로 이동할 수 없게 된다. 따라서 이러한 설명 유형은 용매가 용액 쪽으로 이동하는 삼투 현상을 제대로 설명해 주지 못한다. 즉, 삼투 현상은 이러한 점에 있어서 증기압 오름의 현상과는 다르다고 할 수 있다. 이는 증기압 오름의 경우 액체 상태에서 기체 상태로 상변이가 되는 과정이 포함되지만, 삼투압의 경우에는 상변이를 포함하지 않고 액체 내에서의 변화만을 고려하기 때문일 것이다. 따라서 비록 유사한 현상이지만, 끓는점 오름과 같이 대기압과 증기압이 같아지는 것만을 고려하는 현상과는 달리 삼투 현상의 설명에는 다른 개념이 포함될 필요가 있다.

## 2. 삼투에 대한 개념 설명 유형과 그림 표현 유형간의 일관성 분석

같은 화학과 생물 교과서 안에서도 삼투 개념 설명 유형과 그림으로 표현된 유형이 다른 경우가 있었기 때문에, 고등학교 화학 II와 생물 II 교과서에서 그 일관성을 조사한 결과가 Table 1에 나타내었다.

Table 1을 살펴보면, 개념 설명 유형과 그림 표현 유형이 일치하는 경우는 고등학교 화학 II 교과서 8종(HC1, HC3, HC4, HC5, HC6, HC7, HC9, HC12)과 생물 II 교과서 4종(HB3, HB4, HB6, HB10)이었다.

Fig. 10. A role of solute in vapor-pressure lowering

Table 1. Comparison between concept and figure explanation types in science textbooks

Figure	Concept	Diffusion of solvent	Collision	Equilibrium of concentration	Total
Diffusion of solvent	HB3, HB4, HB6, HB10, HC1, HC3, HC4, HC5, HC6, HC7, HC9, HC12	HC4, HC5	HC6, HC9, HC11, HB5	HC:9 HB:5	
Collision	HB1, HB2, HB9		HC10	HC:1 HB:3	
Hydration	HC8		HC2	HC:2 HB:0	
Total	HC:9, HB:7	HC:2 HB:0	HC:5 HB:1	HC:12 HB:8	

\* Note: There were no figures in HB7 and HB8 textbooks

고등학교 화학과 생물 교과서에서 설명 유형과 그림 유형간에 불일치하는 경우도 10종 정도 분석되었다. 예를 들어, 개념 설명은 총돌로 되어 있으나, 그림은 확산의 형태로 제시된 경우가 두 종류의 화학 교과서(HC4, HC5)에서 나타났으며, 개념은 농도평형으로 제시하였으나 그림은 확산으로 제시한 경우는 세 종류의 화학 교과서(HC6, HC9, HC11)와 한 종류의 생물 교과서(HB5)에서 나타났다. 개념 설명은 확산으로 제시하였으나, 그림은 총돌로 제시한 경우는 주로 생물 교과서에서 나타났는데, 3종(HB1, HB2, HB9)이나 되었다.

## V. 결론 및 제언

이 연구에서는 고등학교와 대학교 화학과 생물 교과서에 제시된 삼투 개념에 대한 설명 유형 및 그림 표현 유형을 분석하였다. 분석 결과, 삼투 개념의 설명은 대략 다섯 가지 유형으로 분류되었다.

첫째, 삼투 현상을 용매의 확산으로 설명하는 경우이다. 대부분의 고등학교 화학 II 교과서와 생물 II 교과서, 그리고 대학교 화학 교과서와 생물 교과서에서 이와 같은 유형으로 설명하고 있었다. 이러한 설명 유형으로 분류된 교과서의 문제점은 용매가 아닌 용질의 농도에 초점을 맞추어 저농도에서 고농도로 확산이 일어난다고 설명함으로써 확산과 삼투의 관계를 이해하기 어렵도록 제시한 것이다.

둘째, 삼투 현상을 총돌로 설명하는 경우이다. 매우 적은 수의 교과서에서 이러한 설명을 선택하였는데, 분석 대상이었던 고등학교 화학 II 교과서 2종과 대학교 화학 교과서 2종만이 이러한 설명을 제시하였다. 또한 어떤 교과서에서는 이러한 설명이 잘못된 것이라고 지적하기도 하였다. 그러나 이 유형의 설명은 반투호프가 삼투 현상을 설명하기 위해 처음 도입하였던 개념으로, 액체나 기체 입자의 총돌에 의해 발생하는 수압이나 기압을 같은 입자운동의 관점으로 이해하려는 시도로 볼 때 타당할 수 있는 설명이라고 판단된다.

셋째, 삼투 현상을 수화로 설명하는 경우이다. 이 설명 유형도 매우 적은 교과서에서만 분석되었는데, 고

등학교 교과서에서 설명유형으로 제시되어 있지는 않았으며, 그림이 제시된 교과서는 고등학교 화학II 교과서 2종과 대학교 화학 교과서 2종, 그리고 대학교 생물 교과서 1종뿐이었다. 이러한 설명 유형은 삼투 개념을 용매와 용질간의 인력으로 표현함으로써 용액 내에서 용질이 단순히 자리만 차지하는 것이 아니라 용매와 상호 작용하고 있다는 것을 나타내어 주기 때문에 용해 현상이나 용액의 증기압 오름과 같은 현상을 설명하는데 일관성을 보여준다는 점에서 필요한 설명 유형 중 하나라고 판단된다.

넷째는 오류유형으로 분류되었으며, 삼투 현상을 농도평형으로 설명하는 경우이다. 고등학교 화학 II 교과서 5종, 생물 II 교과서 1종, 그리고 대학교 화학 교과서 2종에서 이와 같은 유형의 설명이 나타났다. 이러한 설명 유형으로 분류된 교과서의 문제점은 반투막 양쪽의 용액 농도가 같아질 때 삼투 현상이 멈춘다는 생각을 유발하게 한다는 것이다.

다섯째도 역시 오류유형으로, 삼투 현상을 막의 구멍을 막는 것으로 설명하는 것이다. 그러나 용질 입자가 반투막의 구멍을 막는다면, 농도가 높은 쪽의 용매가 농도가 낮은 쪽으로 이동하지 못할 뿐만 아니라, 농도가 낮은 쪽의 용매도 역시 반투막을 통과할 수 없다. 따라서 삼투 현상에 대한 이러한 유형의 설명은 적절하지 못하다고 생각된다.

분석 결과, 생물 교과서는 대부분 확산으로 설명하는 유형으로 분류되었으나, 화학 교과서의 경우 확산뿐 아니라 총돌이나 수화로 설명하는 유형도 분석되었다. 뿐만 아니라 농도평형이나 구멍을 막는 것과 같은 오류의 유형도 대부분 화학 교과서에서 발견되었다. 따라서 삼투 현상에 대해 생물 교과서보다는 화학 교과서의 설명 유형이 다양함을 알 수 있다. 이렇게 같은 삼투 현상에 대해 생물 교과서와 화학 교과서의 설명 유형이 다를 경우, 이를 같이 배우게 되는 학생들이 삼투 개념을 명확하게 이해하는데 어려움이 따를 수 있을 것이다.

동일 교과서 안에서 삼투 개념에 대한 개념 설명 유형과 그림 표현 유형간에 일관성이 있는지 알아본 경우에는 화학 교과서 보다 생물 교과서의 일관성이 떨어짐을 알 수 있었다. 이렇게 같은 교과서 안에서

도 개념 설명 유형과 그림 표현 유형이 다른 경우 역시 학생들이 삼투 개념을 학습하는데 지장을 가져올 수 있을 것이다.

교수 학습 과정에서 가장 중요한 매개물은 아무래도 교과서라고 할 수 있다. 따라서 화학과 생물 교과서에서 일관성 있게 삼투 개념을 정확하게 표현하는 것이 필요하다고 본다. 이를 위해서는 삼투 현상을 확산, 충돌, 수화 등의 개념을 모두 포함시켜 종합적으로 설명하는 것이 바람직하며 그림으로는 Fig. 11과 같이 표현하는 것이 좋을 것이라고 생각한다.

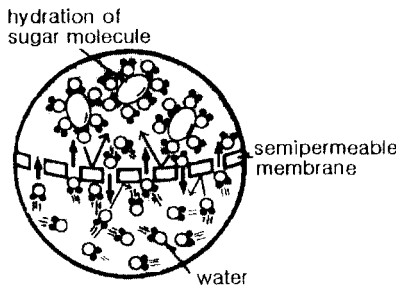


Fig. 11. Collision and hydration of solute

Fig. 11에서는 용질과 용매가 수화된 상태를 표현하였을 뿐 아니라, 이들이 반투막에 충돌하는 모습과, 용매들이 막의 구멍으로 이동하는 현상이 모두 표현되어 있다. 또한 순수한 용매만 있는 쪽에서 용매가 막을 통과하는 경우의 수가 용질이 포함된 용액 쪽에서 용매가 이동하는 수보다 많게 표현하여 확산의 개념을 정확하게 나타내려고 하였다. 이는 Fig. 5에 제시한 것과 같이 일방적으로 용액 쪽에서는 용매가 이동하지 않고 순수한 용매 쪽에서만 이동하는 것과 같은 표현의 오류도 교정한 것이다.

또한 이러한 삼투 개념이 정확하게 학생들에게 제시되기 위해서는 삼투 현상을 가르치기 전에 용매, 용질, 농도, 용해, 용액, 기압, 수압 등의 개념과 입자의 수준에서 동적 평형에 대한 개념 등에 대한 학습이 먼저 선행되어야 할 것이다.

## 적 요

이 연구에서는 고등학교와 대학교 화학과 생물 교과서에 제시된 삼투 개념에 대한 설명 유형 및 그림 표현 유형을 분석하였다. 그리고 고등학교 화학 II 교과서와 생물 II 교과서의 단원을 분석하였다. 분석 결과, 삼투현상에 대해서는 용매의 확산으로 설명하는 유형, 충돌로 설명하는 유형, 수화로 설명하는 유형, 농도의 평형으로 설명하는 유형 그리고 구멍을 막는 것으로 설명하는 유형 등 다섯 가지 유형으로 설명하고 있었다. 그리고 삼투 개념에 대한 설명 유형과 교과서에 제시된 그림 표현 유형 사이에 일치하지 않는 경우도 분석되었다.

## 참 고 문 헌

- 강만식, 박은호, 김일희(1996). 고등학교 생물 II 교과사: 서울.
- 강영희, 조완규, 서평웅, 목창수(1996). 고등학교 생물 II 두산동아: 서울.
- 김경주(1993). 유전에 대한 과학전공 대학생들과 과학교사들의 개념연구. 전남대학교 석사학위 논문.
- 김규홍, 성용길, 조용인, 최영상(1994). 생체과학을 위한 물리화학. 자유아카데미: 서울, 189-191.
- 김문수, 정영란(1997). 확산과 삼투개념에 관한 학생들의 이해도 및 오개념의 원인으로써 교과서 분석. 한국과학교육학회지, 17(2), 191-200.
- 김시중, 문정대, 이종면, 구창현, 이상진(1996). 고등학교 화학 II 금성출판사: 서울.
- 김종균, 김덕희, 김충언, 박은배(1996). 고등학교 생물 II 법문사: 서울.
- 김준호, 이학동, 정완호, 김교창, 진익호, 박찬규, 김영수(1996). 고등학교 생물 II 금성출판사: 서울.
- 박경희(1998). 고등학생들의 삼투개념 이해를 위한 인지갈등 수업모형의 적용. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 박범순(1991). J. H. Van't Hoff의 삼투압 법칙의 형성 1884-1887. 서울대학교 석사학위논문.
- 박범익, 손명식, 이평윤, 방재욱(1996). 고등학교 생물

- Ⅱ 동아서적: 서울.
- 박원기, 윤석진(1996). 고등학교 화학 II 지학사: 서울.
- 박인국, 이덕기, 장기문, 엄영주, 구수길(1996). 고등학교 생물 II 박영사: 서울.
- 박택규, 정규철, 김우탁(1996). 고등학교 화학 II 박영사: 서울.
- 소현수, 윤길수, 이영만, 허성일, 김용원(1996). 고등학교 화학 II 두산: 서울.
- 송호봉, 정용순(1996). 고등학교 화학 II 형설출판사: 서울.
- 신선옥(1993). 화산과 삼투에 관한 고등학생들의 개념 및 오개념 연구. 전남대학교 석사학위논문.
- 안운선(2000). 물리화학 6판. 자유아카데미:서울.
- 여수동, 여환진, 장영근, 이규옥(1996). 고등학교 화학 II 청문각: 서울.
- 오제적, 김종휘, 박병빈, 최석남(1996). 고등학교 화학 II 교학사: 서울.
- 우규환, 김강진, 이인길, 여상인(1996). 고등학교 화학 II 천재교육: 서울.
- 유성이, 백성혜(2000). 입자와 에너지 관점에서 분석한 초등학교와 중학교 전류와 전기 단원의 문제점. 한국과학교육학회지, 20(3), 432-442.
- 이길재, 임건일, 김경호, 유병선, 임광택, 강석분, 이상인(1996). 고등학교 생물 II 한샘출판:서울.
- 이운주, 방태철, 이승열(1996). 고등학교 화학 II 고려서적: 서울.
- 이원식, 한인섭, 윤용(1996). 고등학교 화학 II 교학사: 서울.
- 이현옥(1994). 화산과 삼투에 관한 분자운동 모델에 기초한 순환학습의 효과. 전남대학교 석사학위논문.
- 전태식(1998). 수업 전략과 학습자 특성이 삼투개념의 이해에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 정경수(1999). 물관·체관, 화산·삼투 및 증산·증발의 개념 정의에서 생기는 중등생물교사들의 오개념 조사연구. 경상대학교 석사학위논문.
- 정구조, 류재홍, 이대형(1996). 고등학교 화학 II 동아서적: 서울.
- 정해문, 윤경일(1996). 고등학교 생물 II 지학사: 서울.
- 조희형, 박승재(1994). 학습론과 과학교육. 과학교육사.
- 최병순, 문영삼, 신재섭, 김대수, 현종오(1996). 고등학교 화학 II 한샘출판: 서울.
- 하두봉, 강신성, 김상구, 한현일(1996). 고등학교 생물 II 대한교과서: 서울.
- 홍영남, 안태인, 안정선, 김원, 안태근(1996). 고등학교 생물 II 천재교육: 서울.
- 홍준의(1998). 학생의 인지 수준과 순환 학습이 삼투개념의 이해에 미치는 효과. 한국교원대학교 석사학위논문.
- Atkins, P. W.(1995). *Physical Chemistry* (6th ed.). Oxford University Press: New York, 226-229.
- Bodner, G. M., & Pardue, H. L.(1998). 일반화학 2판. 범한서적: 서울, 437-438.
- Brady, J. E. (1996). 일반화학 5판. 탐구당: 서울, 522-526.
- Brady, J. E., & Holum, J. R.(1997). 화학 2판. 자유아카데미: 서울, 623-625.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., & Bursten, B. E.(1999). 일반화학 7판. 녹문당: 서울, 508-517.
- Campbell, N. A.(1987). *Biology* (2nd ed). The Benjamin/Cummings Publishing Company: California, 162-167.
- Christianson, R. G., & Fisher, K. M.(1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. *Science Education*, 21(6), 687-698.
- Ebbing, D. D., & Wrioughton, M. S.(1995). 일반화학 5판. 교보문고: 서울, 524-527.
- Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P.(1987). High school students' difficulties in understanding osmosis. *Science Education*, 9(5), 541-551.
- Guttman, B. S., & Hopkins, J. W.(1983). *Understanding Biology*. Harcourt Brace Jovanovich: New York, 270-271.

- Hill, J. W., & Petrucci, R. H.(1998). 일반화학. 자유아카데미: 서울, 514-519.
- Joesten M. D., & Wood, J. L.(1998). 화학의 세계 2판. 자유아카데미: 서울, 654-655.
- Johnstone, A. H., & Mahmoud, N. A.(1980a). Isolating topics of highperceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14(2), 163-166.
- Johnstone, A. H., & Mahmoud, N. A.(1980b). Pupils' problems with water potential. *Journal of Biological Education*, 14(4), 325-328.
- Keeton, W. T., & Gould, J. L.(1980). *Biological Science* (4th ed.). W. W. Norton & Company: New York, 85-90.
- Kimball, J. W.(1983). *Biology* (5th ed.). Addison-Wesley Publishing Company: Massachusetts, 108-112.
- Kotz, J. C & Paul Treichel, Jr.(1999). 최신일반화학. 탐구당: 서울, 766-770.
- McMurry, J., Fay, R. C.(1996). *Chemistry*. NJ:Prentis-Hall Publishing, 515-525.
- Malone, L. J.(1999). 화학의 기본개념. 자유아카데미: 서울, 367-369.
- Moore, J. W., Stanitski, C. L., Wood, J. L., Kotz, J. C., & Joestern, M. D.(2000). 일반화학. 자유아카데미: 서울, 831-832.
- Morse, J. G., & Vitz, E.(1999). A Simple demonstration model of osmosis. *Journal of Chemical Education*, 76(1), 64-65.
- Noggle, J. H.(1998). 물리화학 3판. 자유아카데미: 서울, 362-363.
- Odom, A. L., & Barrow, L. H.(1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H.(2000). 현대일반화학 4판. 자유아카데미: 서울, 209-211.
- Purves, W. K., Oriahs, G. H., & Craig Heller, H.(1996). *Life* (4th ed.). HarperCollins College Publishers: New York, 102-107.
- Raymond, C.(1998). 일반화학 5판. 사이텍미디어: 서울, 411-413.
- Sanders, M.(1993). Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 919-934.
- Villee, C. A.(1994). 최신생물학. 범문사: 서울, 148-151.
- Wallace, R. A., Sanders, G. P., & Ferl, R. J.(1996). *Biology* (4th ed.). HarperCollins College Publishers: New York, 111-113.
- Zumdahl, S. S.(1996). 일반화학. 일신사: 서울, 469-473.