분자확산에 대한 이론적 고찰과 탐구실험을 통한 예비교사의 개념변화

성숙경[1] · 백종호 · 정대홍*
[1]경일고등학교 · 서울대학교

Theoretical Investigation on Molecular Diffusion and Conceptual Change of Preservice Teachers by Inquiry Experiment

Sukkyoung Seong[1] · Jongho Baek · Dea Hong Jeong*
[1]Kyungil High School · Seoul National University

Abstract: The scope of this study is: (1) to review or summarize the theoretical explanations of diffusion; (2) to investigate the preservice teachers' understanding of diffusion utilizing the inquiry experiment of diffusion that was developed in this study. The data was collected through questionnaires given to 41 preservice teachers in 3 universities and interviews with 20 subjects from this population, who conducted the inquiry experiment. During the experiment, the data was collected from the students' reports and 3 small groups' audio/video recordings. To understand preservice teachers' conceptions, reports, audio/video recordings, questionnaires and interviews were analyzed and discussed with co-workers.

The results follow: (1) The differences between effusion and diffusion as well as equal-pressure experiment and equal-flux one on diffusion were discussed; (2) Most preservice teachers understood effusion and diffusion connected to Graham's law of diffusion by rote and have misconceptions about the diffusion process; (3) They observed two kinds of diffusion experiments (equal-pressure and equal-flux) by inquiry experiment, but the majority of them failed to find conceptual differences between these experiments. After the inquiry experiment, about 40% of the samples modified their conceptions about diffusion.

Key words: conceptual change, molecular diffusion, inquiry experiment, preservice teacher

Ⅰ. 서 론

확산은 화학에서 반응속도의 한계를 결정하는 요소로서 모든 두 분자의 화학을 이해하는데 꼭 필요한 물리화학적 현상이다(Crooks, 1989; Fate & Lynn, 1990; Nelson, 1995). 또한 유체의 흐름현상 중 하나인 확산은 생물에서 세포와 환경사이의 물질교환을 촉진하는 생명체의 기초적인 과정으로서의 의미를 갖는 개념이기도 하다(Christianson & Fisher, 1999; Panizzon, 2003). 즉 확산은 화학뿐 아니라 다른 과학영역에서 요구하는 중요한 원리를 이해하기 위한 기초개념으로서, 중등학교 교육과정에서도 반복되어 다루어지고 있다. 7학년 과학과 11학년 화학Ⅰ에서는 분자운동과 기체분자운동론에 관련된 정성적 접근으로, 12학년 화학Ⅱ에서는 Graham의 확산법칙을 포함한 정량적 접근으로 확산을 다루고 있다(교육부, 2001).

Graham의 법칙을 비롯하여 확산과 관련된 설명이 많은 화학교재에서 논의되고 있지만, 상당한 오해가 있다는 주장이 있다(Mason & Kronstadt, 1967; Mason & Evans, 1969). 확산과 분출에 대한 이해가 혼재되어 있으며 다른 종류의 확산이 동일한 방식으로 이해되고 있다는 것이다. 확산과 관련된 분자의 움직임에 대한 이해부족은 교과서와 참고서 등에 잘못된 내용과 문항의 제시로 나타나고 있으며, 이는 확산에 관련된 학생의 올바른 개념형성을 더욱 어렵게 하고 있다(Slisko & Dykstra, 1997). 예를 들어 대부분의 화학Ⅱ 교과서에서 Graham의 확산법칙을 확인하기 위해서 긴 유리관에 염산과 암모니아수를 넣고 반응하는 거리비와 기체의 분자량 비를 비교하는 실험을 제시하고 있으나, 이 실험은 Graham의 확산법칙

*교신저자: 정대홍(jeongdh@snu.ac.kr)
**2009.09.01(접수) 2009.10.21(1심통과) 2009.11.30(2심통과) 2009.12.01(최종통과)

과 다른 이론적 배경을 가지고 있으며 실험결과도 이론과 일치하지 않는다. 하지만 일반화학이나 물리화학 교재에는 이러한 차이를 이해할 수 있을 만큼 확산이나 분출법칙과 관련된 명확한 설명이 제시되지 못하고 있다. 따라서 확산에 대한 이론적 정리가 이루어질 필요가 있을 것이다.

또한 확산에 대한 이해를 연구한 문헌들은 학생들이 확산을 이해하는데 어려움을 겪고 있으며(김문수, 정영란, 1997; Chi, 2005; Odom & Barrow, 1995; Westbrook & Marek, 1991), 특히 고등학생과 대학생 사이에서 확산에 대한 이해도가 증가하지 못하고 있음이 지적되고 있다(Panizzon, 2003; Westbrook & Marek, 1991). 즉 대학수업이 확산에 대한 이해도를 높이는데 기여하지 못하고 있다는 것이다. 이와 관련하여 과학교사의 확산에 대한 개념 수준 역시 중학교 교과서에 제시된 수준에서 크게 높아지지 않는 것으로 나타났다(구선아, 채희권, 2008). 교사의 이해수준은 대학교육이 확산에 대한 이해에 도움을 주지 못하는 것과 밀접한 관련이 있을 것이다(Lederman & Gess-Newsome, 2002). 더욱이 교사의 이해는 학생의 개념에 직접적인 영향을 미치는 요인이므로, 예비교사 교육기관인 사범대학과 현직교사 연수에서 확산에 관련된 내용이 좀 더 중요하게 다루어질 필요가 있다.

한편 개념변화에 대한 연구는 선개념에 대한 학생의 불만족이 개념변화의 필수요소이며, 메타분석은 이러한 개념변화 접근이 전통적 접근보다 더 효과적이라는 것을 보여준다(Duit & Treagust, 2003). 선개념에 대해 불만족을 일으키는 가장 효과적인 방법으로 소규모 실험활동을 이용할 수 있다(Christianson & Fisher, 1999). 실험활동은 오랫동안 과학교육을 구별하는 중심적 역할을 해왔으며, 탐구중심 실험은 학생의 유의미한 학습과 개념이해뿐 아니라 탐구능력과 과학의 본성을 향상시킬 수 있다(Lunetta, 1998; Hofstein, 2004). 또한 학생의 탐구를 유도하기 위해서는 교사 스스로가 다양한 탐구기술을 발전시킬 능력이 있어야 하며, 이를 위해 교사가 직접 탐구를 수행하는 것이 필요하다(Taitelbaum *et al.*, 2008). 이러한 맥락에서 사범대학에서 이루어지는 예비교사 교육에 탐구중심의 실험활동을 도입하여, 이를 통한 예비교사의 개념변화를 모색해 보려고 한다.

이상의 논의를 바탕으로 이 연구에서는 확산을 이론적으로 명확히 정리하고, 사범대학에 재학 중인 예비교사의 개념을 바탕으로 확산을 이해하기 위한 탐구실험을 개발 · 적용함으로써 예비교사의 개념변화 효과를 알아보고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 참여자

확산에 대한 개념을 알아보기 위한 설문에는 3개 대학, 41명의 예비교사가 참여하였고, 이 중 20명과 면담하였다. 두 학교는 서울에, 한 학교는 지방에 위치해 있으며, 모두 물리화학을 수강한 3학년이나 4학년 학생들이다. 탐구실험은 이 중 한 대학의 물리화학 실험 수강생 24명이 수업의 일환으로 수행하였으며, 실험과정을 녹음/녹화한 모둠은 세 모둠, 6명이었다. 학생의 사고과정을 이해하는데 도움을 얻기 위해서 녹음자료를 수집하였기 때문에, 녹음/녹화 모둠은 평소에 적극적이고 활발하게 실험에 참여하는 모둠을 조교의 추천으로 선택하였다(Marriam, 1998).

2. 수업내용 및 방법

1) 탐구실험의 설계

김조연 등(2001)의 연구에 기초하여, 분자 확산에 대한 예비교사의 이해를 돕기 위한 탐구실험을 고안하였다(부록). 탐구실험은 '들어가면서', '생각하기', '한걸음 더' 의 세 단계로 이루어져 있는데, 미리 조사된 학생의 확산에 대한 이해를 바탕으로 내용을 구성하였다. 첫 단계는 학생들이 확산개념을 이끌어내고 생각해보는 기회를 제공하기 위해 'Graham의 확산실험' 을 보여주는 도입활동이다. 이 활동을 통해 다공성막을 경계로 분자량이 다른 분자의 확산속도 차이에 대해 생각해 볼 수 있다.

두 번째는 학생들이 두 종류의 확산결과를 직접 관찰할 수 있는 실험을 설계하고 수행하는 단계이다. 비슷해 보이지만 현상에서 차이가 있는 상황을 제공하고 학생들이 비교 및 논의하는 과정을 통해서 힌트를 얻어 실험 설계를 하고 이에 따라 실험을 수행하도록 구성하였다. 마지막은 실험을 통해서 얻은 개념을 다른 상황에 응용하는 내용으로 구성하였다. 이를 통해서 학생들의 개념 변화정도를 알아볼 수 있다.

2) 탐구실험의 수행

실험은 2인 1모둠의 12모둠이, 화요일과 목요일 물리화학 실험시간에 각각 6모둠씩 나누어 수행하였다. 2~3시간 정도 소요되었으며, 모둠원은 토론을 통해 하나의 활동지를 작성하여 제출하였다. 실험과정에서 의문을 가질 수는 있으나 원리를 알아내기 어렵다는 점을 감안하여, 실험 후 관련된 자료를 주고 결과보고서를 다시 제출하도록 하였고, 3주후 실험시험을 보았다.

3. 자료수집 및 분석

1) 확산에 관한 교재분석

중등학교에 제시되는 확산 개념 및 관련 실험을 확인하기 위해 11학년 화학Ⅰ 교과서 6종, 12학년 화학Ⅱ 교과서 7종의 내용을 정리하였다. 예비교사의 개념 형성에 영향을 미쳤을 것으로 생각되는 대학 교재의 내용을 확인하기 위해, 물리화학 교수의 추천을 받아 대학에서 많이 사용되는 일반화학 교재 3종과 물리화학 교재 5종의 내용을 분석하였다. 참고한 교재는 표 1과 같다.

2) 예비교사의 이해에 대한 자료

예비교사의 확산에 대한 이해를 알아보기 위해 설문조사를 실시하였다. 질문지는 화학Ⅱ 수준에서 국가고사로 출제되었던 문항을 수정한 것으로 구멍이 큰 경우와 구멍이 매우 작은 경우에 기체분자의 움직임에 대한 이해를 묻는 것이다(그림 3 참고). 질문지는 물리화학 전공교수와 교사 5인에게 예비검사를 실시하여 수정 · 보완하는 과정을 거쳤다.

설문 후 학생들의 개념에 대한 깊이 있는 이해를 위해 20명의 학생과 면담을 실시하였다. 면담은 학생들이 설문내용을 얼마나 확신하고 있으며, 자신의 생각을 잘 못 표현한 것은 없는가를 확인하는데 중점을 두어 이루어졌다. 개별면담으로 15~20분 정도 소요되었다. 면담내용은 모두 녹음되었으며 연구자에 의해 전사되어, 질문지와 함께 예비교사의 이해방식을 확인하는 자료로 이용하였다.

학생들의 탐구실험 수행과정을 이해하기 위해 모든 모둠의 활동지와 세 모둠의 녹음, 녹화자료를 수집하였으며, 녹음자료는 전사되었다. 실험 후 학생들은 평소 물리화학실험에서 하는 것처럼 이론과 결과에 대한 논의를 담은 보고서를 제출하였고, 학기말에 실험시험을 보았다. 실험시험 문제는 탐구실험 활동지의 응용문제를 수정하여 사용하였다. 예비교사의 개념변화를 알아보기 위해 활동지, 녹음자료, 보고서, 시험답안지 등을 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 확산에 대한 이론적 고찰

기체 분자의 이동과정에는 다양한 방식이 존재한다. 두 계의 농도, 압력, 온도 차이 등에 의해 기체의 이동이 나타날 수 있다. 이 중 농도 차이에 의한 기체의 이동을 확산이라고 한다. 즉 확산은 각 분자의 무작위 운동의 결과 농도 경사에 따라 거시적인 물질의 이동이 나타나는 것이고, 확산이 진행됨에 따라 계의 농도차이는 감소한다. 역사적으로 확산에 대해서 수많은 실험이 이루어졌는데, 확산 이론에 대한 첫 논문을 발표한 Graham은 확산 실험과 분출 실험을 상이한 실험 도구 및 설계를 통해 수행하고 구별되는 현상

표 1
내 · 외향성에 따른 비교 집단과 SSC 실험 집단의 학생 수

교재	저자 또는 출판사 (년도)
화학Ⅱ	교학사, 대한교과서, 중앙교육, 지학사, 천재, 청문각, 형설 (2002)
일반화학	Atkins, P., & Jones, L. (2008). Bell, J. A. (2005). Zumdahl, D. (2008).
물리화학	Barrow, G. M. (1996). Berry, R. S., Rice, S. A., & Ross, J. (2000). Metiu, H. (2006). Levine, I. R. (2002). McQuarrie, D. A., & Simon, J. D. (1997).

으로 기술하고 있다(Graham, 1833, 1876). 그럼에도 분출과 확산이 속도 법칙의 유사성으로 인해서 동일시되는 경향이 있다(Mason & Krondstadt, 1967). 한편, 확산에 대한 실험은 실험 방법 및 구성에 있어서 크게 Graham의 실험과 Loschmidt의 실험으로 나눌 수 있다(Mason & Krondstadt, 1967). 각각은 확산과정에서 등압확산(equal-pressure diffusion)과 등유량확산(equal-flux diffusion)을 가정하여 확산현상을 설명하고 있는데, 학교 교육에서 두 확산의 서로 다른 이론적 배경 차이가 구별되지 못하고 혼재되어 이해되고 있다.

먼저 분출에 대해 생각해보자. 막힌 용기에 어떤 기체를 채우고 작은 구멍을 뚫었을 때, 분자는 밖으로 빠져나간다. 특히, 구멍의 크기가 분자의 평균 자유행로(mean-free path)보다 작아서 분자 하나가 구멍을 통해서 용기 밖으로 나가는 동안에 다른 분자와 충돌하여 되돌아오지 않으며, 구멍의 통로가 길지 않아 벽과 충돌하지 않는 조건에서 벽면에 충돌하는 분자 중에서 구멍 안으로 들어가는 분자는 되돌아오지 않고 용기 밖으로 분출해 나간다. 기체분자운동론에 따르면, 용기 내부의 압력이 유지되고 용기 밖의 분자가 용기 안으로 들어오지 않는다는 가정아래 작은 구멍을 통해 빠져나가는 유량(flux) J는 기체의 수밀도($n = N/V$) 및 분자의 평균속력(v)에 비례하는 관계를 얻을 수 있고, 이는 곧 J가 기체 분자 질량의 제곱근에 반비례하는 관계로 나타난다(Levine, 2002).

$$J \propto nv \propto 1/\sqrt{m} \qquad \text{(eq. 1)}$$

분출에 관한 이 관계는 용기 안의 압력이 유지되고 구멍에 도달한 기체분자가 용기 안으로 돌아오지 않고 모두 빠져나간다는 것을 가정한 상황에서 성립한다. 만약 실험 조건이 이런 상황에서 벗어나게 되면, 분출속도는 위 관계식으로 예측하는 값과 차이가 나게 된다(Berry *et al.*, 2000; Levine, 2002; Mason & Evans, 1969). 이러한 가정 때문에 분출이 종종 진공으로의 퍼짐이라고 제시되고 있고(Atkins & Jones, 2008), 이러한 관점을 명확히 할 것을 논하는 연구도 보고되고 있다(구선아, 채희권, 2008; 김주현 등, 2000).

Graham이 1831년 확산법칙을 발표하면서 수행한 실험상황은 분출 실험의 조건과는 차이가 있다. 그는 수소를 넣어둔 금이 간 항아리에 물이 올라오는 현상에서 영감을 얻어, 다공성 막으로 한 쪽 끝을 막은 유리관에 수소 등의 기체를 채우고 물에 담갔을 때(그림 1), 다공성 막을 경계로 유리관 안의 기체가 빠져나가는 속도와 외부의 공기가 들어오는 속도의 차이로 인해서 물이 올라오는 현상을 관찰하였다(Graham, 1833, 1995). 그는 물이 올라오는 양이 유리관 속 기체의 분자량의 제곱근에 반비례한다는 것을 알아내었고, 이것을 현재 그레이엄의 확산법칙이라고 한다.

Graham은 도자기로 만든 다공성 막을 경계로 유리관 내부에서 외부로 또 외부에서 내부로 이동하는 기체 양의 차이를 측정하는 실험을 수행하였다. 뉴턴 역학법칙에 따르면 압력의 균형을 이룬 막을 기준으로 양쪽에서 분자가 막에 충돌할 때 양쪽 기체의 운동량 변화는 같다. 막을 통과한 분자 하나의 평균운동량은 분자 하나의 질량 m 에 분자의 평균확산속도 V 를 곱한 mV가 되고, 이에 nv(분자수밀도 n과 분자의 평균속력 v의 곱은 시간당 충돌수에 비례함)을 곱한 $(mV)(nv)$은 확산에 따른 운동량 변화에 비례하게 된다(Mason & Krondstadt, 1967). 양쪽 기체의 운동량 변화가 같으므로 아래 eq. 2와 같은 관계식을 얻는다. 이 관계식을 기체의 유량 J에 대해서 정리하면 eq. 3과 같다.

$$(m_1V_1)(n_1v_1) = (m_2V_2)(n_2v_2) \qquad \text{(eq. 2)}$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{n_1V_1}{n_2V_2} = \frac{m_2v_2}{m_1v_1} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \qquad \text{(eq. 3)}$$

확산이 일어나는 매 순간을 생각해보자. 다공성 벽면을 경계로 양쪽 기체의 압력이 같은 상태에서 운동량이 보존되는데, 분자량이 작은 기체가 더 많이 이동하면 벽면 양쪽에 압력차가 발생한다. Graham은 양쪽의 압력이 같도록 장치를 조절하여, 압력 차이에 의한 분자의 이동을 배제하고 실험하였다(Shoemaker *et al.*, 1996).

이렇게 분출과 확산의 속도법칙은 그 수식 표현은 같지만 적용되는 조건 및 상황이 상이하다. 분출법칙은 작은 구멍을 통해서 기체가 한 방향으로 빠져나가는 조건을 전제로 얻어졌고, Graham의 확산법칙은 다공성 벽면 양쪽의 압력이 일정한 조건에서 서로 다른 양쪽 기체가 섞일 때 적용된다.

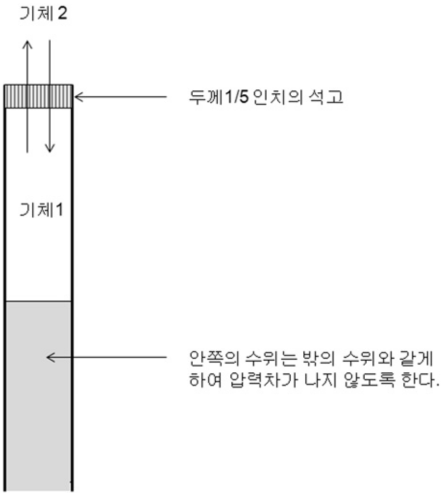


그림 1 *Graham의 확산실험 모식도*

확산에 관한 실험 중 그레이엄의 확산 실험과 구별되는 실험으로 1870년 Loschmidt에 의해 수행된 실험이 있다(Mason & Kronstadt, 1967). 다공성막 대신 중간에 밸브를 가진 용기 양쪽에 각각 다른 기체 1과 2를 채우고, 밸브를 열었을 때 두 기체는 각각 용기 전체로 퍼져나간다(그림 2). 이 때 기체 1이 2쪽으로 가는 유량과 기체 2가 1쪽으로 가는 유량은 같다(Shoemaker *et al.*, 1996). 따라서 분자량에 따른 유량의 차이는 나타나지 않는다. 이를 등유량확산 또는 Loschmidt 확산이라고 한다(Mason & Kronstadt, 1967). 매우 짧은 시간동안 분자량이 다른 두 기체의 속도분포에 차이가 생기지만 기체의 충돌에 의해 10^{-9}~10^{-8} s 사이에 이 차이가 바로 회복된다. 이러한 과정이 지속적으로 일어나면서 거시적으로 등유량(equal-flux) 확산이 진행된다(Berry *et al.*, 2000). 따라서 기체 1과 2로 이루어진 이성분계(binary system)에서 기체 1의 확산계수는 상호확산계수(mutual diffusion coefficient) D_{12}로 정의되며 이는 기체 2의 확산계수 D_{21}과 같다.

Fick's law(Levine, 2002)에 의하면, 확산기체의 유량 *J*는 기체의 농도 기울기에 비례하는 관계로 표현된다.

$$J_1 = -D_{12}\frac{dn_1}{dz}, \qquad D_{12} \propto \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{\mu_{12}}\,S_{12}} \quad \text{(eq. 4)}$$

확산계수 D_{12}는 기체 1과 2가 충돌하는 면적 S_{12}, 환산질량 μ_{12} 및 온도 *T*의 함수로 나타난다. 확산 실험으로 유리관 양쪽에서 HCl(g)와 NH_3(g)가 확산하여 만나는 실험이 매우 많이 소개되는데, 이 실험에서 HCl(g)의 확산 계수는 HCl(g)와 공기 사이의 상호확산계수인 $D_{HCl,air}$로, NH_3(g)의 확산계수 역시 $D_{NH3,air}$로 나타내는 것이 정확한 표현이다. HCl(g)와 NH_3(g)의 농도 경사가 동일하다면 일정한 시간동안 확산에 의한 유량의 비는 확산계수 비로, eq. 4로부터 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{J_{HCl}}{J_{NH_3}} = \frac{D_{HCl,air}}{D_{NH_3,air}} = \frac{S_{NH_3,air}}{S_{HCl,air}}\left(\frac{\mu_{NH_3,air}}{\mu_{HCl,air}}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{(eq. 5)}$$

충돌 면적의 차이를 무시하더라도 Graham의 확산 실험에서 얻어지는 eq. 3과는 차이가 있다. 이는 확산 실험 설계의 차이에서 오는 것으로 그레이엄의 확산 법칙에 의한 계산결과와 다르며, 여러 실험연구에서 확인되었다(Keenan & Wood, 1961; Mason & Kronstadt, 1967; Spotz & Hirschfelder, 1951). 이상의 논의를 정리하면, 확산은 농도차이에 의한 유체의 흐름이지만 기체의 경우 실험 상황 및 조건에 따라, 다공성막과 같은 작은 구멍을 경계로 기체가 섞이는 그레이엄의 확산(등압확산)과 경계면의 밸브를 열었을 때 기체가 섞이는 Loschmidt의 확산(등유량확산)으로 나누어지며, 두 경우 확산 속도의 표현에서 차이가 있다.

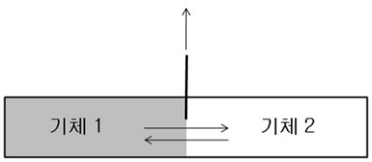


그림 2 *Loschmidt의 확산실험 모식도*

2. 확산에 대한 예비교사의 이해

그림 3과 같은 상황을 제시하여 등압확산과 등유량확산에서 분자의 움직임에 대한 예비교사의 이해를 알아보았다. 문항 I은 관 안에 He(g)를 채우고 수은의 높이를 같게 맞추어 1기압으로 유지시킨 상태에서 콕을 여는 것이고, 문항 II는 마찰없는 피스톤 안의 He(g)와 대기가 등압을 유지하고 있는 상태에서 작은 구멍을 통해 기체가 이동하는 상황이다.

문항 I 은 압력의 차이를 유지시킬 수 있는 작은 구멍의 막이 없으며 그림 2처럼 두 기체가 채워진 관의 밸브를 연 것과 같은 상황이므로, 등유량확산이 일어

나고 수은의 높이는 변하지 않는다. 반면 문항Ⅱ는 작은 구멍을 통해 기체가 이동하고 있으므로 그림 1처럼 다공성막을 통한 기체의 확산과 같은 상황이다. 즉 분자량의 차이에 따른 유량차이가 나타나므로 피스톤은 오른쪽으로 이동한다. 또한 피스톤의 이동은 내부압력을 외부압력과 같은 상태로 유지시켜, 압력차이에 의한 기체의 흐름을 배제시킨다.

학생들의 응답결과를 두 문항을 다른 상황으로 이해했는가, 같은 상황으로 이해했는가로 나누어 살펴보았다(표 2).

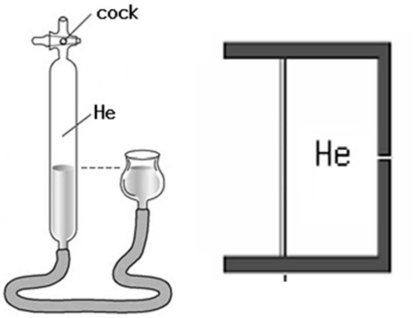


그림 3 *확산에 관한 질문지에 제시된 두 종류의 실험*

문항Ⅰ에서는 콕의 내부와 외부 압력이 1기압으로 같으므로 수은의 높이는 변하지 않지만, 문항Ⅱ에서는 공기와 헬륨의 확산속도가 다르기 때문에 피스톤이 이동한다고 해석하여 정답을 제시한 학생들이 17명(41.5%)으로 가장 많았다. 그러나 이렇게 응답한 학생들은 두 실험에 다른 해석을 적용한 이유에 대해서 명확한 설명을 제시하지 못하고 있었다. 특히 7명의 학생들이 문항Ⅰ에서는 헬륨이 나가고 공기도 들어올 수 있지만 문항Ⅱ에서는 헬륨이 나가기만 한다고 하였는데, 공기가 들어오지 못하는 이유로 '구멍이 너무 작아서, 피스톤 상황이라서, 풍선처럼 빠져나간다.' 등을 제시하였고, 면담결과 왠지 그럴 것 같다고 응답하였다. 또한 면담에 참여한 20명 중 10명의 학생이 이와 같이 답하였지만, 면담도중 5명이 문항Ⅰ에서도 헬륨의 확산속도가 빠르니까 수은이 올라갈 것이라고 생각을 바꾸었고 생각을 바꾸지 않은 학생들도 두 상황의 차이에 대해 혼란스러워 하였다(사례 1). 이로부터 학생들은 단지 문제 상황에 과거의 학습내용을 기계적으로 적용을 하고 있을 뿐, 분자의 움직임에 대해 깊이 있게 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다.

[사례 1]

제가 말하고도 이상해요. A, B는 분자량에 따라 다른데 밖에 있는 거는 압력을 맞춰주기 위해 들어간다는 거잖아요. 그렇게 하면 말이 안 되고. 이것도 설명이 안 되는 거 같고. 부끄럽네요. (학생 18)

헬륨이 빨리 나가면 조금 높아지지만 공기가 들어오면서 채워서 다시 평형을 이룰 거 같아요. 올라갔다가 다시 내려올 거예요. 너무 어려워. 아휴. (학생 14)

두 문항을 같은 상황으로 해석한 경우, Graham의 확산속도법칙에 따라 헬륨의 이동속도가 빠르므로 수은도 상승하고 피스톤도 이동한다고 해석한 학생이 14명(34.1%)이었고, 두 상황 모두 압력이 유지되기 위해 나가는 기체와 들어오는 기체가 같기 때문에 변화가 없다고 응답한 학생은 6명(14.6%)이었다.

확산의 정의에 대한 질문에서 중등학교 교과서에 제시된 것처럼 단순히 섞이거나 퍼지는 현상이라는 응답이 46.7%였고, 농도차이를 고려한 응답이 26.7%, 엔트로피를 고려한 응답이 23.3%였다(그림 4). 혼합과 농도차이에 초점을 두는 구체적 방식과 에너지 분배 관점을 이용하는 추상적 방식으로 확산의 설명수준을 나눌 때(Panizzon, 2003), 예비교사는 구체적 방식의 설명을 많이 하고 있으며, 중등학교에서 다루어지는 낮은 수준의 이해에 머물러 있는 것으로 나타났다(사례 2). 그러나 구선아, 채희권(2008)의 연구에서 93.5%의 교사가 퍼지는 현상으로 확산을 정의하고 6.5%의 교사만이 농도차이를 고려한 결과와 비교할 때, 예비교사는 농도차이와 엔트로피를 고려함으로써 확산에 대해 좀 더 높은 수준의 시각(김주현 등, 2000; 하성자, 2004; 허미연 등, 2006;

표 2
질문지 응답 결과

	다른 상황으로 해석한 응답		같은 상황으로 해석한 응답	
문항Ⅰ	변화없다.	하강	상승한다.	변화없다.
문항Ⅱ	오른쪽으로 이동한다.	오른쪽으로 이동한다.	오른쪽으로 이동한다.	움직이지 않는다.
응답수(41명)	17명(41.5%)	4명(9.8%)	14명(34.1%)	6명(14.6%)

Panizzon, 2003)을 표현하고 있음을 알 수 있다. 이는 중등학교 교과서에 많이 익숙한 현장교사에 비해 예비교사는 대학에서 배운 내용을 기억하고 있기 때문으로 생각된다.

[사례 2]
확산은 잘 기억이 안 나는데, 제일먼저 떠오르는 게 물에 잉크방울 떨어뜨리면 자유롭게 퍼져나가는 게 지배적으로 기억에 남아요. (학생 16)
확산은 아무 방향으로나 번져나가고 물에서 잉크가 번져나간다면 물도 어느 정도 섞일 수 있는데. (학생 1)

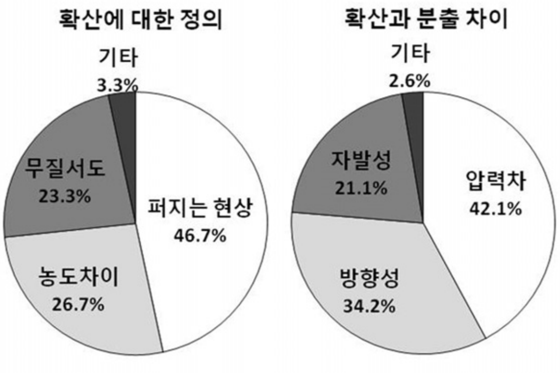


그림 4 *확산에 대한 예비교사의 인식*

확산과 분출의 차이를 묻는 질문에 대해 압력차이가 있거나(42.1%), 한쪽 방향으로의 흐름이거나(34.2%), 외력 등에 의한 비자발적인 현상(21.1%)을 분출이라고 하였다. 즉 확산은 분자운동에 의해 모든 방향으로 자발적으로 섞이는 현상이지만, 분출은 외력이나 압력 등에 의해 한쪽 방향으로 움직이는 것이라고 이해하고 있었다.

이러한 이해는 학생들이 분출에 대해 거의 배운 적이 없으며, 단지 화산분출과 같은 일상용어를 떠올리거나 작은 구멍을 통해 진공인 외부로 빠져나오는 현상이 분출로 제시되는 문항 등에 영향을 받았음을 알 수 있었다(사례 3)(김주현 등, 2000). 이 결과는 선행연구(구선아, 채희권, 2008)에서 나타난 교사의 인식과 매우 유사하다. 하지만 분출은 내부 기체가 자발적인 분자운동에 의해 구멍을 빠져나가는 현상이며, 외부가 진공인 것은 기체가 빠져나가는 과정에서 외부 기체의 영향을 배제한다는 의미일 뿐이다(Mason & Kronstadt, 1967). 특히 작은 구멍에서 기체는 압력차를 느끼지 못하며 압력차에 의한 이동은 기체이동의 또 다른 과정인 대류에 해당한다(Berry *et al.*, 2000).

[사례 3]
잘 모르겠는데요. 분출은 기억에 의하면 진공상태로 나가는 걸로 배운 거 같아요. 확산은 다른 물질이 존재하는데 나가는 거고. (학생 1)
확산은 알고 있었고 분출은 느낌이. 화산 같은 걸 분출로 얘기하는데 힘이 있어서 그러는 거 같아서 평소에 그렇게 생각했었어요. (학생 7)
이건 제 개인적인 느낌인데 분출은 밀어내는 식으로 나가는 것이고, 확산은 엔트로피를 고려해서 얘 스스로가 분자자체가 운동하면서. (학생 17)

확산은 화학과 생물을 아우르는 기초개념으로 7학년 교육과정에서부터 반복되어 다루어지는 중요한 개념이다. 하지만 지금까지의 결과는 예비교사가 확산에 대한 이해에 어려움을 겪고 있음을 보여준다. 학생들은 두 종류 확산의 차이를 구별하지 못하였으며, 이를 바탕으로 한 현상의 결과를 예측하는데 어려움을 겪고 있었다. 또한 확산에 대한 이해가 중등학교에서 학습하는 낮은 수준에 머물고 있었으며, 분출과 확산을 구별하여 이해하는 데에도 어려움이 있는 것으로 나타났다.

3. 탐구실험의 수행과 개념변화

등압확산과 등유량확산을 이해하기 위한 탐구실험을 수행하였다. 탐구실험은 세 단계로 구성하였다. 첫 단계에서는 수소기체가 든 유리관에 초벌구이 도자기를 씌웠을 때 수면의 변화를 관찰하여 확산속도 차이를 경험한다. 둘째 단계는 수소기체와 공기 사이의 경계가 콕인 경우와 다공성 막인 경우를 도식화하여 보여주고, 두 경우의 차이를 알아보기 위한 실험을 설계하고 수행하는 과정이다. 콕으로 여닫는 상황은 등유량확산에 해당하고 다공성 막을 이용하는 상황은 등압확산에 해당한다. 실험을 통하여 두 결과를 직접 확인하고, 이를 통해 등압확산과 등유량확산의 차이를 고민할 수 있다. 마지막 단계는 실험으로부터 얻은 결론을 다른 상황에 적용할 수 있는가를 알아보는 과정으로, 기존의 문제풀이 방식으로는 혼동하기 쉬운

문제를 제시하여 개념변화정도를 점검하였다. 적용문제의 일부는 3주후 실시한 실험시험문제로 이용하였다. 탐구실험에 대한 이해를 돕기 위해 활동지 요약본을 부록에 제시하였다. 논의는 탐구실험의 수행, 탐구실험과정과 개념변화, 그리고 실험시험 결과분석으로 나누어 진행하였다.

1) 탐구실험의 수행

많은 모둠에서 쉽게 실험을 설계하지는 못하였으나, 조교의 도움이 주어지면 어렵지 않게 실험을 설계하고 수행하는 모습을 볼 수 있었다. 실험 후에 이루어진 면담에서 학생들은 처음으로 경험하는 탐구실험 형태가 매우 낯설어 어려움이 있었다고 하였다(사례 4).

[사례 4]
심: 어려워. 이게(탐구실험). 더 어려워. 이거(기존실험)보다.
황: 이런 거(기존실험)는 자세히 안 알아도 되잖아.
심: 그리고 다 알려주잖아.

일반화학 실험 두 학기를 포함하여 네 학기동안 실험 수업을 이수하였지만, 학생들은 실험을 설계하는 것에 매우 어려움을 느끼고 있었다. 이는 이수한 대부분의 실험이 탐구형 실험과는 거리가 멀고 설명형으로 구성되어 있기 때문으로 생각된다(Domin, 1999). 과학에서는 실험활동이 중심적 역할을 하며, 특히 현 중등교육과정은 탐구중심 학습을 강조하고 있다. 탐구중심 학습이 이루어지기 위해서는 먼저 교사부터 탐구에 익숙해질 필요가 있다. 교사가 탐구에 익숙해지지 않는다면 학생들이 탐구에 익숙해지기는 더욱 어려울 것이기 때문이다(이무, 박승재, 1987; Taitelbaum et al., 2008). 따라서 사범대학에서 이루어지는 실험활동이 탐구적으로 진행되는 것은 매우 중요하고 시급한 문제로 판단된다(이화정, 강성주, 2005).

2) 탐구실험과정과 개념변화

학생들은 탐구실험을 통하여, 콕을 사용할 경우 수면이 변하지 않지만 도자기와 같은 다공성막을 사용하면 수면이 상승한다는 것을 직접 관찰하였다. 이 결과에 대해 12 모둠 중 8 모둠(66.7%)이 구멍크기 차이를 이용하여 설명하였다. 즉 학생들은 두 종류의 확산형태를 이해하기 위한 첫 단계인 구멍크기라는 변인을 쉽게 찾아내고 있었다. 하지만 수면이 변하지 않는 이유에 대해 구멍이 크면 압력의 불균형이 유지되지 못하기 때문에 등유량확산이 일어난다는 생각대신, 확산에 의한 양쪽 기체의 섞임이 매우 빨리 일어나서 평형에 빨리 도달한다는 대안 개념을 도입하여 현상을 설명하고 있었다(사례 5, 6)(노태희 등, 2000a; Duit & Treagust, 2003). 즉 양쪽 기체가 확산으로 섞이는 시간이 순간적으로 일어난다는 생각 때문에, 구멍이 클 때 수면이 일정한 현상에 대해 갈등을 느끼지 않는 것으로 나타났다. 이러한 학생의 사고는 분자의 운동속도와 확산속도가 어느 정도의 크기를 가지고 있는지 이해하지 못하고 있기 때문에 나타나는 현상으로, 학생들이 수식으로 이해하는 세계와 실제 관찰하는 세계 사이에 큰 괴리가 있음을 보여준다.

[사례 5]
구멍이 작아서 구멍을 빠져나가는 분자수가 적어 차이를 볼 수 있으나, 구멍이 크면 많은 분자가 움직여 바로 평형을 이루므로 수면의 움직임을 관찰할 수 없다. (5모둠 보고서)
콕의 구멍이 너무 커서 수소가 빨리 확 빠져나가고 공기도 빨리 확 들어올 수가 있어서 수면이 약간 올라간다 해도 (수소가 워낙에 빨리 나가서) 다시 제자리가 되어서 눈으로 확인할 수 없을 정도였을 것이다. (10모둠 보고서)

구멍의 크기가 작은 경우 수소가 먼저 빠져나가고 나중에 공기가 들어온다고 생각하거나 아예 두 상황의 차이를 설명하지 못한 모둠이 네 모둠(33.3%)이었다. 이로부터 탐구실험을 통하여 직접 실험결과를 관찰하고 토론할 기회를 제공하였지만, 학생들은 쉽게 이론적 설명을 해내지 못하고 있음을 알 수 있다. 이것은 대학수준의 어려운 개념에 대한 학습이 탐구실험으로만 이루어지는 것이 어렵다는 것을 보여준다. 따라서 쉽게 이해하기 어려운 개념을 탐구실험으로 진행할 경우, 수업 담당자가 학생들의 토론과정을 안내할 필요가 있을 것이다.

보고서의 마지막 문제는 실험결과를 적용하는 문제였다(부록). 다공성 막이 아닌 콕을 사용할 경우 수면의 상승이 일어나지 않는다는 결과를 직접 관찰하였지만, 세 모둠(25.0%)만이 실험결과에 근거하여 콕의

구멍이 크기 때문에 압력의 불일치는 나타나지 않는다고 응답하였고, 나머지는 확산속도 차이에 의해 분자수 차이가 나타난다고 응답하였다. 즉 모든 학생들이 콕이 경계일 때 수면이 상승하지 않는다는 것을 관찰하고, 66.7%가 이를 구멍크기의 차이로 설명하였음에도, 같은 콕을 이용한 상황에서 75.0%의 학생들이 확산속도 차이로 문제를 해결하고 있었다.

이는 콕을 열 경우 확산이 매우 빨리 일어난다는 학생들의 해석으로 이해될 수 있다(사례 6). 즉 평형에 매우 빨리 도달한다는 해석은, 평형에 도달하기 전, 관찰할 수 없는 아주 짧은 시간동안에는 분자운동 속도의 차이에 의한 압력의 불균형이 나타난다고 볼 수 있는 것이다. 하지만 확산에 의한 평형은 천천히 일어나며, Loschmidt 확산에서 살펴보았듯이 평형에 도달하기 전까지 콕의 양쪽으로 이동하는 분자수는 일정하다.

[사례 6]

강: 구멍이 커서 확산속도의 차이가 나타나기 힘들었다 이런 거야? 왜 그럴까?

한: 서서히 빠져나가는 거면 보일텐데 확 빠져나가는 거니까.

강: 워낙에 빨리 수소가 나가고 공기가 들어오니까 볼 수가 없는 거지.

–중략–

강: 잠깐만. 평형에 도달하기 전이니까. 생각을 해봐야겠다. 콕의 크기 때문에 항상 애매해.

손: 여기서 평형에 도달하기 전이라고 했잖아.

3) 실험시험 결과분석

3주 후에 실시한 실험시험 결과, 구멍의 크기를 고려하여 실험결과와 일치하는 해석을 한 학생은 5명(20.8%), 실험결과를 이해하고 일부 적용하고 있었으나 완전한 이해에 도달하지 못한 학생은 4명(16.7%)으로, 약 40%의 학생들이 실험결과를 바탕으로 문제를 해결하려는 노력을 보였다. 탐구실험 직후에 약 25%의 학생이 구멍크기를 고려하여 올바르게 해석했던 것을 고려하면, 자율학습을 통한 개념변화가 일어난 학생은 15%정도라고 볼 수 있다. 나머지 15명(62.5%)은 콕을 이용한 실험에서도 속도차이에 따른 압력불균형이 나타난다고 진술하여, 실험결과를 무시하고 기존 개념으로 상황을 해석하였다.

개념변화에 대한 연구들은 개념변화가 여러 가지 조건에 따라 영향을 받으며, 변칙사례를 경험했다고 하더라도 개념변화가 쉽게 이루어지지 않고, 특히 직접 관찰하기 어려운 입자수준의 개념변화가 상대적으로 어렵다고 보고하고 있다(강대훈 등, 2001; 노태희 등, 2000b; 홍정인 등, 2007; Limon, 2001). 현상을 보여주는 현상제시방법이 갈등유발에 효과적(김범기, 권재술, 1995)이라고 제안되고 있으나, 이 연구에서 나타난 것처럼 학생들은 정보를 자신의 인지구조에 맞추어 해석하려는 경향이 있기 때문에, 직접적인 지식구성활동을 매개하지 않고 평소 실험수업과 같이 실험을 통해 간접적이고 자율적인 학습을 유도한 방법은 학생의 개념변화에 제한적이었던 것으로 보인다(Chan *et al.*, 1997).

Ⅳ. 결 론

이 연구에서 내릴 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, Graham의 확산법칙은 분자 이동에 의한 압력의 차이를 견딜 수 있는 다공성막을 경계로 한 두 기체의 이동에서 적용되는 법칙이다. 따라서 공기 중에서의 확산과 같이 막이 없는 기체의 이동은 Graham의 확산법칙과 다른 이론적 배경으로 이해되어야 한다. 즉 현재 거의 모든 교과서에 제시된 염화수소와 암모니아의 확산실험은 공기를 매개로 한 막이 없는 확산실험으로서 등유량확산으로 구별할 수 있고, 이는 등압확산으로 구별되는 Graham의 확산법칙을 확인할 수 있는 실험이 아니다. 따라서 이 같은 실험에 Graham의 확산법칙을 정성적으로 적용할 수는 있으나 정량적으로는 이론적 예측과 차이가 존재한다. 또한 콕을 경계로 한, 분자량이 다른 두 기체의 확산에 Graham의 확산법칙을 적용하여 압력의 불균형이 나타나는 것으로 이해되는 경우가 많으나, 실험을 통해 확인하였듯이 이 경우 거시적인 관점에서 압력의 불균형은 일어나지 않는다. 이 연구에서 진술된 확산과정에 대한 올바른 이해를 바탕으로, 교과서와 참고서 등에 제시된 잘못된 실험이나 평가내용이 수정될 수 있을 것이며 교사와 학생들의 올바른 개념정립에 도움이 될 수 있을 것이다. 또한 이 연구에서 사용된 실험방법이나 도자기 등의 다공성막을 이용한 실험기구 등은 Graham의 확산법칙에 적절한 실험을 고안하기 위한 힌트를 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 교사가 되기 위한 정규 교육과정에서 확산에 대해 다루는 마지막인 물리화학을 수강한 예비교사의 확산에 대한 개념은 중고등학교 수준에 머물러 있었으며, 관련된 문제에 있어서도 분자의 움직임에 대해 이해하려 하기보다는 과거의 기억이나 느낌을 회상한 기계적인 문제풀이를 하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 예비교사들은 확산의 이해와 관련하여 화학Ⅱ 수준의 문항을 해석하는 데에도 어려움을 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 분자운동이 중등학교에서 매우 중요하게 다루어지는 학습내용이고 대학교육과정에도 기체분자운동론으로 핵심개념이 중요하게 다루어짐에도, 학습한 내용을 학교현장에 적용하고 해석하는 훈련 및 교육이 많이 부족함을 시사한다. 대학에서 물리화학 수강을 마친 예비교사의 이해도는 교사의 이해도에 직결되며 이는 바로 학생의 이해로 연결될 것이다.

셋째, 확산에 대한 탐구실험을 통해 구멍의 크기에 따라 확산이 다르게 나타나는 현상을 직접 관찰하고 관련 내용을 문서로 제공하였을 때, 전부 또는 일부의 개념 변화가 나타난 학생은 약 40%였다. 학생의 개념변화가 어려웠던 가장 주요한 이유는 빠른 평형에 도달한다는 대안개념을 제시하여 기존 개념에 불만을 느끼지 않았기 때문인 것으로 나타났다. 알고 있는 개념이 많은 고학년일수록 자신의 개념에 대한 확신이 있기 때문에 개념변화가 어려우며 대학생의 개념변화 정도가 크지 않다는 것을 고려한다면(홍정인 등, 2007; Panizzon, 2003), 이 탐구실험에서 나타난 학생의 개념변화 정도는 좋은 편으로 판단된다. 특히 학생들이 탐구실험에 매우 익숙하지 않은 상태에서 이루어진 실험이며 부가적인 강의가 없었다는 점을 감안한다면, 이 탐구실험은 두 가지 종류의 확산을 이해하는 데 효과적이라고 할 수 있을 것이다. 또한 깊이 있는 이해를 위해서는 강의보다 소규모의 실험과 토론이 더 적합한 방법이며(Hofstein, 2004; National Research Council, 1996), 탐구가 강조되고 있는 현 교육과정을 고려할 때, 예비교사에게 직접 실험을 설계하여 수면의 상승을 관찰하고 토론하는 탐구실험의 기회를 제공하고, 이를 통하여 개념을 이해하도록 하는 과정은 탐구와 개념 양 측면에서 예비교사의 자질을 향상시킬 것으로 판단된다. 또한 이 연구에서 다루어진 두 종류의 확산과 같이 학생들이 쉽게 이해하기 어려운 수준의 개념을 탐구학습으로 접근할 경우에는, 변칙사례의 경험과 자율적인 학습에 의한 개념변화를 기대하기보다 탐구실험에 이어 관련 학습과정을 경험하도록 한다면 더욱 효과적인 개념변화가 이루어질 것이라고 생각한다.

국문 요약

이 연구에서는 확산을 이론적으로 정리하고, 확산에 관한 탐구실험을 개발하여 예비교사의 확산에 대한 이해를 조사하였다. 이 탐구실험을 수행한 3개 대학의 41명을 대상으로 설문조사를 하였고, 이 중 20명이 면담에 참여했다. 탐구실험을 수행하는 과정에서 3개 모둠에서 6명의 실험과정을 녹음, 녹화하였다. 예비교사의 개념에 대한 이해를 돕기 위해 면담과 녹음자료의 전사본, 보고서와 설문지, 확산에 대한 시험 답안지를 분석하였으며, 공동연구자와 결과에 대해 논의하였다.

연구결과는 다음과 같다. 첫째, 분출과 확산 그리고 확산 중 등압확산과 등유량확산에 대해서 논의하였다. 둘째, 예비교사들은 분출과 확산 등을 Graham의 확산속도법칙에 의해 기계적으로 이해하고 있었으며 대부분의 학생들이 확산에 대한 오개념을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 셋째, 탐구실험과정에서 예비교사들은 등압 및 등유량의 두 가지 확산실험에 대해 직접 관찰하였으나, 대부분의 경우 두 실험의 개념적 차이를 구별하는데 실패하였다. 탐구실험 후, 확산에 대한 개념의 수정이 이루어진 예비교사는 약 40%였다.

참고 문헌

강대훈, 백성혜, 박국태 (2001). 중학생들의 용해현상 이해에 대한 연구. 대한화학회지, 45(1), 83-89.

교육부 (2001). 고등학교 교육과정 해설. 서울: 대한교과서. pp.142-143.

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.

김범기, 권재술 (1995). 과학개념과 인지적 갈등의 유형이 학생들의 개념 변화에 미치는 영향. 한국과학

교육학회지, 15(4), 472-486.

김조연, 신애경, 박국태, 최병순 (2001). 사회적 상호작용을 강조한 과학탐구실험의 효과. 한국과학교육학회지, 45(5), 470-480.

김주현, 이동준, 김선경, 강성주, 백성혜 (2000). 입자론의 관점에서 본 확산과 용해 개념에 관련된 과학 교과서 및 인터넷 자료 분석과 컴퓨터 수업 보조자료의 개발. 대한화학회지, 44(6), 611-624.

노태희, 임희연, 강석진 (2000a). 변칙 사례에 대한 학생들의 반응 유형. 한국과학교육학회지, 20(2), 288-296.

노태희, 임희연, 강석진 (2000b). 성과 나이에 따른 인지 갈등 유발 및 개념 변화의 비교. 한국과학교육학회지, 20(4), 634-641.

이무, 박승재 (1987). 일반계 고등학교 과학교육 실태 비교분석. 한국과학교육학회지, 7(2), 71-87.

이화정, 강성주 (2005). 교사양성 대학에서의 일반화학실험 개선과 적용. 한국과학교육학회지, 25(3), 346-352.

하성자 (2004). 중등 과학 교사들의 엔트로피 관련 과학개념 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.

허미연, 전혜숙, 백성혜 (2008). 용해 · 확산과 관련된 혼합현상에 대한 고등학생들의 개념 유형 분석. 대한화학회지, 52(1), 73-83.

홍정인, 김연수, 권재술 (2007). 작용 · 반작용과 전기회로 학습과제에서 인지갈등과 결과예측에 따른 대학생의 응답특성. 한국과학교육학회지, 27(4). 354-365.

Atkins, P., & Jones, L. (2008). Chemical principles. 4th ed. New York: W. H. Freeman and Company. pp.158-160.

Bell, J. A. (2005). Chemistry: A project of the american chemical society. New York: W. H. Freeman and Company.

Barrow, G. M. (1996). Physical chemistry. 6th ed. New York: McGraw-Hill.

Berry, R. S., Rice, S. A., & Ross, J. (2000). Physical chemistry. 2nd ed. New York: Oxford University Press.

Chan, C., Burtis, J., & Bereiter, C. (1997). Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. Cognition and Instruction, 15(1), 1-40.

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. Journal of the Learning Sciences, 14(2), 161-199.

Christianson, R. G., & Fisher, K. M. (1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. International Journal of Science Education, 21(6), 687-698.

Crooks, J. E. (1989). Measurement of diffusion coefficients. Journal of Chemical Education, 66(7), 614-615.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. Journal of Chemical Education, 76(4), 543-547.

Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. International Journal of Science Education, 25(6), 671-688.

Fate, G., & Lynn, D. G. (1990). Molecular diffusion coefficient: Experimental determination and demonstration. Journal of Chemical Education, 67(6), 536-538.

Graham, T. (1833). On the law of the diffusion of gases. The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science, 2, 175-190.

Graham, T. (1876). On the motion of gases. Part Ⅰ. Chemical and Physical Researches. London: Edingburgh University Press. pp. 90-108.

Graham, T. (1995). On the law of the diffusion of gases. Journal of Membrane Science, 100, 17-21.

Hofstein, A. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. International Journal of Science Education, 26(1), 47-62.

Keenan, C. W., & Wood, J. H. (1961).

General college chemistry. 2nd ed. New York: Harper and Brothers. p. 115.

Lederman, N. G., & Gess-Newsome, J. (2002). Reconceptualizing secondary science teacher education. In J. Gess-Newsome, & N. G. Lederman (Eds.), Examining pedagogical knowledge (pp. 199-213). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Levine, I. R. (2002). Physical Chemistry. 5th ed. New York: McGraw-Hill. ch15. Kinetic theory of gases.

Limon, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. Learning and Instruction, 11, 357-380.

Lunetta, V. N. (1998). The school science laboratory: History perspectives and context of contemporary teaching. In B. J. Fraser, & K. G. Tobin (Eds.), International handbook of science education (pp. 249-262). London: Kluwer Academic Publisher.

Marriam, S. B. (1998). Qualitative research and case study applications in education. San-Francisco: Jossey-Bass Publishers.

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

Mason, E. A., & Evans, R. B., Ⅲ. (1969). Graham's laws: Simple demonstrations of gases in motion: Part Ⅰ, Theory. Journal of Chemical Education, 46(6), 358-364.

McQuarrie, D. A., & Simon, J. D. (1997). Physical chemistry: A molecular approach. California: University Science Books.

Metiu, H. (2006). Physical chemistry. New York: Taylor and Francis Group.

National Research Council. (1996). National science education standards. Washington DC: National Academy Press.

Nelson, R. N. (1995). Diffusion of water vapor: A physical chemistry laboratory experiment. Journal of Chemical Education, 72(6), 567-569.

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.

Panizzon, D. (2003). Using a cognitive structural model to provide new insights into students' understandings of diffusion. International Journal of Science Education, 25(12), 1427-1450.

Shoemaker, D. P., Garland, C. W., & Nibler, J. W. (1996). Experiments in physical chemistry. 6th ed. New York: McGraw-Hill. pp.134-144.

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

Spotz, E. L., & Hirschfelder, J. O. (1951). Liesegang ring formation arising from diffusion of ammonia and hydrogen chlorine gases through air. Journal of Chemical Physics, 19, 1251.

Taitelbaum, D., Namlok-Naaman, R., Carmeli, M. C., & Hofstein, A. (2008). Evidence for teachers' change while participating in a continuous professional development programme and implementing the inquiry approach in the chemistry laboratory. International Journal of Science Education, 30(5), 593-617.

Westbrook, S. L., & Marek, E. A. (1991). A cross-age study of student Understanding of the concept of diffusion. Journal of Research in Science Teaching, 28(8), 649-660.

Zumdahl, S. S., & DeCoste, D. J. (2008). Introductory chemistry: A foundation. 6th ed. Boston: Houghton Mifflin.

부 록

탐구실험 활동지

– 기체 분자의 움직임에 관한 실험 –

〈실험 1〉

[들어가면서]

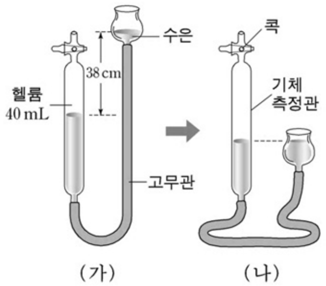
1. 초벌구이 도자기와 유리관에 수소기체를 포집한 후 그림과 같이 수면을 맞추어 세워두었다. 어떤 변화가 일어날까? 예상과 결과를 설명과 함께 자세히 적어보자.

[생각하기]

1. 아래 두 문항은 기체의 움직임에 관련된 것이다.

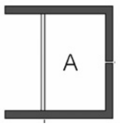
〈문항Ⅰ〉

(나)에서 콕을 열면 수은의 높이는 어떻게 될까?



〈문항Ⅱ〉

공기보다 밀도가 작은 기체 A가 들어 있는 실린더에 작은 구멍이 있다. 구멍을 열었을 때, 피스톤은 어떻게 움직일까?
(단, 피스톤의 마찰은 무시한다.)



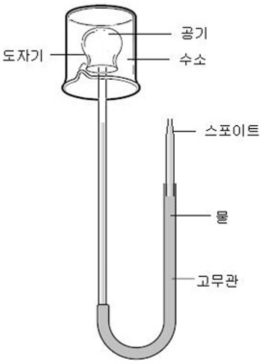
답: 피스톤은 오른쪽으로 움직이다가 멈춘다.

〈실험 1〉 과 〈문항 Ⅱ〉 에 어떤 차이가 있을까? 〈문항 Ⅱ〉 의 상황과 일치하는 실험을 하기 위해서 〈실험 1〉에서는 무엇을 더 고려해야 하는지 생각해보자.

2-1. 주어진 실험기구를 이용하여 〈 문항 Ⅰ〉과 〈 문항 Ⅱ〉의 결과를 확인할 수 있는 실험을 각각 설계해보자. 이 외에도 더 필요한 실험기구가 있으면 추가해서 사용해도 좋다.
(실험기구) 초벌구이 도자기로 막힌 튜브, 유리관, 부피실린더, 3-way valve, 수소기체 포집장치,
(실험설계)

2-2. 고안한 각각의 실험이 왜 문항Ⅰ과 문항Ⅱ의 상황과 일치하는 것인지 설명하고, 특별히 고려한 사항이 있다면 자세히 설명해보자.

2-3. 실험결과를 정리하고, 왜 그런 결과가 나왔는지 짝과 토론하여 가능한 설명을 제시해보자.



[한걸음 더]

1-1. 공기가 든 초벌구이 도자기에 적당히 물이 찬 유리관과 고무관을 오른쪽 그림과 같이 연결하고 수소로 가득 찬 비커를 도자기에 씌웠을 때, 어떤 결과가 나올지 예상하고 이유와 함께 적어보자.

1-2. 수위의 변화가 없을 때까지 관찰하고, 실험 결과를 해석해보자.

2. 아래 문제에서 '평형에 도달하기 전에는 용기 (나)에 분자수가 가장 많다.' 는 옳은가? 그렇게 생각한 이유는 무엇인가? 이 실험결과와 관련지어 설명해보자.

같은 온도와 압력에서 3개의 250 ㎖ 용기에 같은 부피의 기체를 넣고 동시에 콕을 열었다.