

# 대학생들의 기체의 성질에 대한 문제해결 과정의 분석

홍미영 · 박윤배  
(서울대학교) (고신대학교)

(1994년 3월 21일 받음)

## I. 서론

### 1. 연구의 필요성

화학 교육에 있어서 문제해결은 학습을 촉진시키는 수단이자 학습 목표이므로, 학생들의 화학 문제해결 과정을 이해하는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 인지 심리학적인 접근과 더불어 1980년 대부터는 구성주의 관점을 반영한 문제해결 연구들이 화학 교육 분야에서 활발하게 진행되고 있으나(Camacho & Good, 1989), 우리나라에서는 아직 연구가 이루어지지 않고 있다.

학생들의 화학 문제해결력을 신장하기 위해서는 문제해결에 영향을 주는 변인들을 밝혀 내어 그것들 간의 상호작용을 알아보는 것이 선행되어야 한다. 또한, 많은 학생들이 화학 문제해결에 대한 어려움을 느끼고 있으므로 이를 위해서는 문제해결 과정의 연구를 통하여 학생들의 화학 문제해결에 미치는 변인들을 알아내어 수업, 교육 과정과 평가에 반영하는 것이 요구된다. 이러한 탐색을 위해서는 지필 검사물 통한 종래의 집단 위주의 연구 방법에서 벗어나 학생 개인의 문제해결 과정에 심층적으로 접근할 수 있는 정성적인 문제해결 연구가 필요하다.

본 연구에서는 대학생의 '기체의 성질'에 대한 문제해결 과정을 문제해결 방안, 문제해결 단계 및 단계별 소요 시간의 비율, 문제 및 문제해결에 대한 신념 체계 및 오인이나 실수를 중심으로 문항별, 개인별로 알아 보았다.

### 2. 용어의 정의

본 연구에서 사용되는 용어를 정의하면 다음과 같다.

- 1) 문제해결: 주어진 초기 문제 상황에 관련이 있는 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해내고 활용하여 그들 상호 간의 관계를 맺어 주고 조직함으로써 목표 상황에 이르는 일련의 체계적인 사고 과정(박학규와 권재술, 1991)
- 2) 내적 표상(mental representation): 문제와 관련된 지식들을 이용하여 문제를 이해한 결과 만들어진 인지적 구조
- 3) 해결 전략

지식 개발(Knowledge-Development: K-D) 전략: 주어진 물리량을 포함하는 식으로부터 시작하여 기대하는 물리량으로 가는, 일명 전진 전략

수단 목적(Means-End: M-E) 전략: 최종적으로 기대하는 물리량을 포함하는 식을 먼저 찾은 후 그 식에서 모르는 물리량을 포함하는 식을 다시 찾아 나가는, 일명 역진 전략

임의(Random) 전략: 임의로 도움이 되리라고 여겨지는 물리량이나 식을 떠올리며 단서를 찾으려는 전략 (Larkin, McDermott, Simon, & Simon, 1980)

## II. 이론적 배경

### 1. 역사적 배경

심리학에 대한 행동주의적 접근은 20세기의 첫 60년 동안

미국 심리학에 있어서 지배적이었으므로, 문제해결에 관한 최초의 몇 연구들은 행동주의 심리학의 관점에서 시작되었다. 행동주의적 견해에 의하면, 시행착오에 의해서 학습이 일어난다고 보기 때문에, 그러한 기본적인 모델을 초기에는 문제해결의 기술로써 사용하였다. 그러나, 이러한 행동주의적 견해들은 인간의 문제해결 과정에 있어서 사고와 계획화의 여지를 허용하지 않으므로 많은 반박을 받게 되었다. 그러한 예로서 독일의 현대심리학자들은 문제해결에서 통찰 경험(insight experience), 즉, 문제에 대한 해답을 제공하는 정신적 요소들의 갑작스런 재조직의 역할을 강조하기도 하였다(Phye & Andre, 1986).

그러나, 문제해결에 대한 실증적인 연구는 인지심리학적 방법도 도입된 1960년 이후부터 이루어졌으며, 1980년대부터는 구성주의의 입장을 반영한 연구들이 이루어지고 있다. 정보처리 이론은 인간의 뇌가 프로그래밍된 컴퓨터와 같다는 은유에 기초한다. 따라서, 문제해결이란 최초 상태의 정보가 바라는 바 최종 상태의 정보로 변환되는 것으로, 정보처리 체계(뇌)에 의한 정보의 처리로 여기고 있다. 이 이론에 바탕을 둔 연구들은 인간의 문제해결 과정을 이해하는 것을 통해 컴퓨터 모델을 제작하려는 목적을 갖고 있기 때문에, 행동주의자들과는 달리 문제해결이 어떻게 일어나는가에 대한 기술에 많은 관심을 두고 있다.

구성주의자들은 학습을 학습자 개인과 그를 둘러싼 외부 환경과의 상호작용의 결과로 인한 인지적 구조의 변화로 보고 있으며, 이 이론에 바탕을 둔 연구들은 정성적인 연구 방법을 사용하여 학습자 개인의 문제해결 과정을 추적하는 것을 통하여 어떤 종류의 변인들이 어떻게 상호작용 하는가를 밝히려는 목적을 갖고 있다. 따라서, 이들 연구는 신념, 동기, 태도 또는 감정과 같은 비인지적인 면들도 중요시한다(박윤배, 1991).

## 2. 선행 연구

과학 교육에서 이루어진 문제해결의 선행 연구를 살펴보면, 권재술과 이성왕(1988)은 대학 2년생과 대학 교수를 각각 초심자와 전문가로 보고, 물리 문제해결시 나타나는 사

고 과정에서 전문가와 초심자의 차이점, 문제의 난이도에 따른 문제해결 과정을 비교 연구하였다. 그 결과 전문가는 초심자에 비해 문제를 빨리 해결하며, 그림을 그려 문제를 이해하려는 경향이 높고, 문제의 이해와 검증 단계에 비교적 높은 비율의 시간을 할애했다고 보고하였다.

Park(1988)은 학습자들이 물리 문제를 해결하려는 과정에서 그 문제를 자기 나름대로 이해하여 만든 내적 표상과 동원한 해결 전략이 문제해결에 어떤 관련이 있는지를 알아보기 위해서 물리 전공 박사과정 학생 3명을 전문가로, 고등학생 2명과 대학 1년생 4명, 모두 6명을 초보자로 삼아서 그 문제해결 과정을 분석하였으며, 사고 수준을 알기 위해 사고 수준 검사도 실시하였다. 그 결과, 문제해결 전략에 있어서 전문가들은 주로 지식-개발 전략을 사용하였으나 초보자들은 문제에 따라 다른 전략들을 동원하였고, 지식-개발 전략을 사용한 경우가 다른 것들에 비해 더 나은 결과를 얻는 것으로 나타났다. 그리고, 사고 수준 검사의 점수와 문제해결 변인들, 특히 내적 표상의 형태, 문제해결 전략의 종류, 목표 확인 그리고 문제해결력 간에는 유의미한 관련이 있는 것으로 나타났다.

박윤배(1991)는 구성주의적 관점에서 일반 물리학을 수강한 미국의 대학생들을 대상으로 발성 사고법을 이용하여 역학 문제해결 연구를 실시하였다. 학생들이 갖는 오인의 형태, 해답에 대한 자신감, 문제 및 문제해결에 대한 신념과 문제의 제시 방식에 대한 선호도를 알아보고, 문제해결에 사용하는 내적 표상과 해결 방안에 대해서도 연구하여 역학 문제해결 과정의 모형을 제시하였다.

박학규와 이용현(1993)은 물리 문제의 해결에 초보자인 중학생들이 물리 분야의 전자기학 문제를 풀 때 어떠한 사고 과정을 거치며, 문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람의 사고 과정의 차이, 어떤 문제 공간을 거쳐 해결에 이르는가를 발성 사고법을 통하여 연구하였다. 그 결과, 학생들은 문제의 이해, 계획, 수행, 검증 중 일부 단계를 순환적으로 거치는 비교적 복잡한 사고 과정에 의해 문제를 해결하며, 문제해결의 성공자와 실패자 사이에 사고 과정의 단계면에서는 두드러진 차이가 없었다. 또한, 중학생들이 사용한 문제 공간은 정량적인 접근 방법이었으며 역행 풀기(working

backward) 방법을 이용하고 있는 것으로 나타났다.

한편, 화학분야에서 이루어진 연구를 보면, Carter(1987)는 화학의 본성, 화학 학습에서 교사와 학생의 역할, 화학 문제의 본성, 화학 문제해결의 방법, 화학을 공부하는 방법, 화학에서 알고리즘의 역할 등에 대한 학생의 신념체계가 화학 문제해결에 미치는 영향을 사례 연구를 통해서 연구하였다. 그 결과, 학생들의 신념은 화학을 학습하는 방식, 알고리즘의 선택, 해결 가능한 문제에 대한 인식, 해답에 대한 자신감, 다른 해결책을 찾아보려는 태도, 해답을 평가하려는 태도 및 알고리즘에 의존하는 정도에 영향을 미친다고 보고하였다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구 대상

화학을 전공하는 서울대학교 1학년 학생 중에서 1학기 화학 성적이 B<sup>0</sup> 이상인 학생 4명을 대상으로 하였다. 그 이유는 1학기 때 이미 일반 화학을 배웠으므로, '기체의 성질'에 대한 개념이 이미 형성되어 있으며, 성적이 B<sup>0</sup> 이상으로 문제해결에 필수적으로 요구되는 화학지식을 어느 정도 갖추고 있다고 볼 수 있기 때문이다.

#### 2. 검사 도구

##### 1) 신념 체계 연구 설문 문항

학생들이 가지고 있는 화학 및 화학 학습에 대한 신념과 화학 문제해결에 대한 신념을 알아보기 위해서 Carter(1987)가 개발한 설문 문항을 수정하고 보완한 신념 체계 연구 설문 문항을 사용하였다. 주요 항목 내용을 살펴보면, 화학에 대한 신념에 관해서는 화학의 본성, 화학과 일상 생활과의 관련성, 화학에 대한 선호도가 있으며, 화학 학습에 대한 신념에 관해서는 화학 학습의 본성, 화학 학습에 영향을 주는 요인, 화학 지식 습득 방법, 화학 학습에서 교사의 역할 등이 있다. 화학 문제해결에 대한 신념 항목에는 화학 문제해결의 본성, 알고리즘의 역할, 문항 제시 방법에 대한 선호도,

화학 문제해결과 관련되는 요인 등이 포함되어 있다.

##### 2) 선행 지식 검사 문항

학생들이 가지고 있는 '기체의 성질'에 관련된 화학 지식의 정도를 알아보고, 오개념을 가지고 있는가를 알아보기 위해 선행 지식 검사지를 개발하였다.

##### 3) 본검사 문항

일반 화학 교재로 사용되고 있는 Oxotoby & Nachtrieb (1986)의 'Principles of modern chemistry'와 M. J. Gilleland(1990)의 'Introduction to chemistry' 중 기체의 성질에 관한 부분의 연습문제에서 문제를 뽑아서 사용하였다. 이 문제들은 모두 '기체의 성질'에 관련된 문제로서 이상기체 상태 방정식, 확산 속도 법칙, 분압의 법칙과 기체 분자운동론의 몇 가지 원리와 공식을 이용해서 푸는 문제들이다. 문제의 제시 방법은 1번과 4번 문제는 그림으로 표현하였고, 2번 문제는 화학 반응식으로 제시하였으며, 다른 문제들은 모두 말로 제시되었다. 2번 문제에서는 문제해결과 관련 없는 조건인 밀도를 문제해결 방해 요인으로 제시하여서 불필요한 정보가 있을 때 학생들의 문제해결에 어떤 변화가 있는가를 알아보고자 하였다. 5번 문제에서는 학생들이 흔히 얻을 수 없는 범위의 답을 제시하여서 예상 범위를 넘어서는 답이 나올 경우 학생들의 반응을 보고자 하였다.

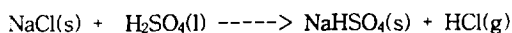
문제 1, 2, 4와 5번은 비교적 전형적인 형태의 쉬운 문제이고, 문제 3, 6, 7과 8번은 비교적 난이도가 높은 문제이다. 특히, 문제 8번은 복잡한 공식을 이용하게 되어 있어 난이도가 높은 문제로서, 어렵다고 느끼는 문제에 대한 학생들의 문제해결 접근 방식을 알아 볼 수 있을 것이다.

문제별로 관련된 내용과 주요 특징을 <표 1>에 정리하였다.

몇 개의 문제를 보기로 제시하고, 해결하는 방법을 간략히 기술해 보겠다.

##### 문제 2번

다음과 같은 화학 반응식이 있다.



NaCl 10.0 Kg이 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(l)와 완전히 반응하여 만들 수 있는 HCl(g)의 부피는 50°C, 1기압에서 얼마인가? 그리고, 그와 같은 부피를 500°C, 1기압에서 얻으려면 NaCl 몇 g을 반응시켜야 하는가?

표준 상태에서 NaCl의 밀도는 2.17, NaCl 1mol은 58.44g로 계산하시오.

이 문제는 화학 양론과 이상 기체 상태 방정식을 이용하여 푸는 문제로서 화학 반응식으로 제시하였다. 이 문제는 이상 기체 상태 방정식 PV=nRT에서 온도, 압력, 부피, 몰수간의 관계 및 몰수(n)=무게/분자량이라는 것을 알면 풀 수 있는 간단한 문제이다. 이 문제는 학생들이 흔히 다루어 보았던 친숙한 문제이나, 본 문제에서는 문제해결과 관련되지 않는 변인인 밀도를 제시함으로써 불필요한 조건이 제시되었을 경우의 학생들의 문제해결 행동도 알아보고자 하였다.

<표 1> 본 검사 문항

문항	관련된 내용	문제의 특징
1	이상기체 상태 방정식	그림으로 제시
2	이상기체 상태 방정식	화학반응식으로 제시 관련 없는 정보(밀도)를 제시
3	확산 속도 법칙	
4	분압의 법칙	그림으로 제시
5	기체 분자 운동론	예상범위를 넘는 답
6	이상기체 상태 방정식	고난이도
7	확산 속도 법칙	고난이도
8	기체 분자 운동론	고난이도

### 문제 3번

산소가 들어 있는 용기가 있는데, 용기 안의 산소의 압력은 1기압이고, 온도는 25°C였다. 용기 벽에 작은 구멍이 생겨서 1분 후에 산소 3.25g이 그 구멍을 통해서 유출되었다. 이 용기를 완전히 비운 후, 같은 온도, 압력을 가진 다른 기체로 채웠더니, 1분 후에 이 기체의 1.96g이 유출되었다. 이 미지 기체 1몰의 질량은 얼마인가?

이 문제는 그레이엄의 법칙, 즉, 두 기체의 유출 속도의 비는 분자량의 제곱근에 반비례한다는 것을 이용해서 푸는 문제이다. 학생들은 기체의 유출 속도의 비는 유출된 몰수에 비례한다는 것을 알아야 이 문제에 답할 수 있으므로, 1몰의 질량이 분자량이라는 것을 이용하여 우선 유출된 기체들의 질량을 몰수로 환산하여야 한다.

### 문제 5번

산소 분자가 25°C에서 갖는 속도를 수소 분자가 가지려면 온도가 얼마이어야 하는가?

이 문제는 기체 분자 운동론을 이용하는 문제이다. 분자량이 갖는 속도는 온도의 제곱근에 비례하고 분자량의 제곱근에 반비례한다는 식을 알면 쉽게 해결할 수 있고, 온도가 같은 경우 모든 분자들이 갖는 운동에너지  $K_F = (1/2)mv^2$ 는 동일하다는 것을 이용하여 풀 수도 있다. 간단한 문제이나 학생들에게 친숙하지 않은 문제이고, 나온 답이 -254.5°C (18.6K)로서 학생들의 예상을 넘어서는 값이므로, 나온 정답에 대한 학생들의 반응을 살펴볼 수 있다.

### 문제 8번

부피가 500cm<sup>3</sup>인 둥근 구 모양의 용기를 진공으로 만든 후 밀폐시켰다. 그러나, 용기에 매우 작은 구멍이 나 있었으므로, 한 시간 후에 용기 안의 압력은  $1.00 \times 10^{-7}$  기압이 되었다. 용기 바깥 쪽의 압력은 대기압과 동일하며, 온도는 300K이고, 공기 중에 있는 분자들의 평균 분자량은 28.8이다. 용기 벽의 구멍의 반경은 얼마인가? (구멍은 완전히 둥글다고 가정하라)

이 문제는 기체 분자 운동론을 이용하는 것으로서, 학생들이 매우 어려운 문제에 직면하였을 때 어떤 행동을 취하는가를 알아 볼 수 있는 문제이다. 이 문제를 풀기 위해서는 이상 기체 상태 방정식을 이용해서 빠져나간 기체의 몰수를 구할 수 있어야 하고, 기체의 충돌 공식  $Z_w = 1/4(N/V) [(8RT/\pi M)]^{1/2} A$  (A: 충돌 면적, N: 아보가드로수, M: 분자량)를 이용하여야 한다.

### 3. 연구 절차

본 연구에 대상으로 참여한 학생들은 연구가 진행되는 동안 연구자와 개별적으로 네 번에 걸쳐서 면담하였다.

첫 번째 만남에서는 연구에 대한 소개를 하고, 신념 체계 검사 문항과 면담을 통한 보충 질문을 통하여 화학 및 화학 학습, 화학 문제해결에 대한 신념 체계를 알아보았다. 두 번째 만남에서는 선행 지식 검사 문항을 통해서 선행 지식 정도를 알아보았다. 특히, 학생들에게 발성 사고법을 설명한 후 계산을 요구하는 문제에 있어서는 발성 사고법으로 풀어 보도록 하였다. 또한, 일반 화학에서 '기체의 성질'을 학습한 지 몇 달이 지났으므로, 문제해결을 위한 기억을 새롭게 하기 위하여, 수업 교재로 사용하였던 책을 가지고 복습하도록 하였다. 세번째와 네번째 만남에서는 발성 사고법을 이용하여 각 각 네 문제씩 풀도록 하였다. 각 문제를 풀 후에는 사후 면담을 통하여 해답에 대한 자신감, 문제의 친밀도 등을 알아보았다.

### 4. 응답 원안 분석

학생들의 문제해결 과정을 녹음한 테이프와 문제를 풀 중 이를 종합하여 응답 원안을 만들었다. 응답 원안을 통하여 학생들이 문제해결에 사용한 원리나 공식, 그리고 그것들을 선택하는 근거를 어디에 두고 있는가를 통하여 문제해결 전략을 결정하였다.

학생들의 문제해결 단계 및 단계별 소요 시간의 비율을 알아보기 위해서, Larkin이 제시한 문제해결의 각 단계별 행동 기술을 권재술과 이성왕(1988)이 요약한 표를 연구자가 다시 수정하여 사용하였다. 이것은 문제해결 과정을 문제의 이해, 계획, 실행, 검증의 네 단계로 구분하여 각 단계별로 구체적으로 분석한 것이다. 연구자는 그들이 요약한 표 중에서 학생들의 응답 원안에 나타나지 않은 항목들은 삭제하였고, 화학 문제해결 과정에서 필요한 항목들을 첨가하였다. 그 결과, 문제의 이해 단계 중 '여러 가지 양을 기호로 표시하기', '해를 대략적으로 산정 하기' 항목을 삭제하

였고, 계획의 실행 단계 중 '보조적 공식을 이용하여 불필요한 양 소거하기' 항목을 삭제하고, '관련된 식들을 변형하거나 연결하기', '식에 대입하기 위해서 단위를 환산하기', '대안적인 해결책 탐색하기' 항목을 첨가하였다. 그리고 검증 단계 중 '해의 부호, 값, 단위 등을 확인하기', '정성적 예측과 해의 일치 여부 확인하기', '해가 문제의 조건에 합당한 것인지 확인하기' 라는 세 항목을 '결과의 화학적, 논리적 타당성 확인하기' 항목으로 종합하였고, '풀이 과정을 훑어보기' 항목을 첨가하였다.

신념 체계 문항을 통하여 각 학생들의 화학 및 화학 학습, 그리고 화학 문제해결에 대한 신념을 알아본 후, 그것이 문제해결에 어떤 영향을 주는가를 응답 원안을 통하여 알아보았다.

문제해결 결과를 옳게 풀 경우, 실수로 풀린 경우(숫자 대입의 실수, 계산상의 실수), 틀리게 풀 경우, 풀지 못한 경우로 나누었고, 응답 원안에서 드러나는 각 학생들의 오인이나 실수를 분석하였다.

## IV. 결과 및 논의

### 1. 문항별 분석

문항별 분석에서는 학생들이 사용한 공식, 해답에 대한 자신감과 문제해결 결과와 문제해결 과정에서 나타나는 오인을 알아보았고, 각 학생 별 문제해결 특성과 문제해결 단계별 시간 비율로 나타내었다.

문제 2번, 3번, 5번과 8번의 결과를 요약하면 다음과 같다.

#### 1) 문제 2번의 결과

문제 2번은 화학 반응식을 써서 나타난 문제로서 이상 기체 상태 방정식을 이용해서 풀 수 있는 전형적인 형태의 문제에 속한다.

네 학생 모두 이상 기체 상태 방정식을 이용해서 맞게 풀었고, 특별한 오인을 나타내지 않았다.

이 문제에서는 문제해결의 방해 요인으로 밀도라는 불필요

한 정보를 제시하였으나, 네 학생 모두 그 조건을 이용하지 않은 것에 개의치 않고, 자신의 답에 대해서 자신감을 갖고 있었다. 이것으로 미루어 보아, 초보자의 경우라고 할지라도 잘 이해하고 있는 내용에 있어서는 불필요한 정보의 제시와 같은 방해 요인은 영향을 주지 못한다고 볼 수 있다. 또한, 쉬운 문제라고 생각되고 해답에 대한 자신감을 갖고 있는 경우 학생들은 거의 검증 단계를 거치지 않았다.

최와 장은 화학반응식으로 제시된 문제가 특별히 쉽다고 하였는데, 그 이유로 화학 반응식이 나오는 문제들은 대체

나와 있는 표면적인 조건들만을 가지고 문제해결을 시도하여 일정한 형태이므로 익숙하다고 답하였다. 이 문제는 이상 기체 상태 방정식을 이용하는 전형적인 문제이며, 학생들이 대체로 친숙하게 생각하고 있었고, 장을 제외한 세 학생들은 모두 지식-개발 전략으로 문제를 해결하였다. 따라서, 문제해결에 있어서 초보자라고 할지라도 잘 알고 있는 문제의 경우에는 지식-개발 전략을 사용하며, 문제를 성공적으로 해결할 가능성이 높다고 볼 수 있겠다.

<표 2> 문제 2번의 결과

항 목	최	장	김	류
사용공식	이상기체 상태 방정식	이상기체 상태 방정식	이상기체 상태 방정식	이상기체 상태 방정식
자신감	자신있다	자신있다	자신있다	자신있다
결 과	맞음	맞음	맞음	맞음
특 징	지식-개발 전략 사용	수단-방법전략 사용 (중간 중간에 문제 읽고 계획 세운다) 문제의 조건을 모두 확인 하지 않음	지식-개발 전략 사용	지식-개발 전략 사용 답의 논리적 타당성 고려
오 인	나타나지 않음	나타나지 않음	나타나지 않음	나타나지 않음
시간비율	총 280초 소요 A: 99초 (35.4%) P: 65초 (23.2%) C: 116초 (41.4%) E: 0초 (0.0%)	총 378초 소요 A: 136초 (36.0%) P: 87초 (23.0%) C: 155초 (41.0%) E: 0초 (0.0%)	총 275초 소요 A: 55초 (20.0%) P: 67초 (24.4%) C: 153초 (55.6%) E: 0초 (0.0%)	총 443초 소요 A: 231초 (52.1%) P: 50초 (11.3%) C: 152초 (34.3%) E: 10초 (2.3%)

## 2) 문제 3번의 결과

문제 3번은 확산 속도 공식을 이용해서 푸는 문제로서 유출된 기체의 몰수는 속도비와 같다는 것을 추론해 내어 이용해야 하는 난이도가 비교적 높고 할 수 있다.

최와 장은 문제를 읽은 후 자신이 풀기에 힘든 문제라고 생각하고 그림을 그리며 해결 전략을 탐색하였다. 그러나, 문제에 나와 있는 용어(속도)에서 힌트를 얻어 공식을 떠올리려 하였을 뿐 개념들 간의 관계를 고려하지 않고 문제에

였으므로 관련된 원리를 떠올리지 못하였고, 수행 단계에서 시간을 거의 사용하지 않았다. 특히 장은 어렵다고 판단되자 문제해결을 쉽게 포기하였다.

한편, 김은 유출된 기체의 몰수는 유출 속도비와 같다는 것을 파악하여 확산 속도 법칙을 변형시켜서 문제를 성공적으로 해결하였고, 지식-개발 전략을 사용하였다. 김은 계산상의 실수로 인하여 답이 매우 크게 나오자 논리적으로

타당한가를 확인한 후 다시 검산하여 자신의 실수를 수정하

최, 장 그리고 류는 이 문제를 어렵다고 느꼈으므로, 지식

<표 3> 문제 3번의 결과

항 목	최	장	김	류
사용공식	관련된 공식 떠올리지 못함	관련된 공식 떠올리지 못함	그레이엄의 확산 속도 법칙	그레이엄의 확산 속도 법칙
자신감	자신없다	자신없다	자신있다	자신없다
결 과	풀지 못함	틀림	맞음	틀림
특 징	전략이 떠오르지 않자 그림 그려서 생각. 공식위주의 문제해결 (이상기체, 보일샤를 법칙, 평균속도 공식들을 회상하여 적용 시키려 한다) 문제에 나와있는 표면적 특징만으로 해결하려 함	어려운 문제라고 판단한 후, 그림 그리면서 전략 탐색 적절한 전략 선택하지못함	지식-개발 전략 사용 유출된 기체의 몰수는 속도비라는 관계를 알아내어 확산속도법칙을 변형시켜 문제해결 계산상의 실수로 답이 매우 크게 나오자 논리적 타당성 고려 후 검산	임의전략 사용 맞게 풀었으나, 기체분자량이 5.82라고 나오자 화학적으로 타당하지 않다고 생각하고 대안 전략을 탐색 문제의 답은 실제에 근거한다고 생각
오 인	확산속도에 관한 선행지식 있으나, 전형문제에서 벗어나면 접근 못함 분자량과 질량을 가지고 몰수 계산 못함	같은 시간에 유출된 두 기체의 몰수는 같다고 생각	나타나지 않음	산소 분자량을 원자량으로 잘못 계산
시간비율	총 1159초 소요 A: 304초 (26.2%) P: 855초 (73.8%) C: 0초 (0.0%) E: 0초 (0.0%)	총 193초 소요 A: 93초 (48.2%) P: 80초 (41.5%) C: 20초 (10.3%) E: 0초 (0.0%)	총 479초 소요 A: 27초 (5.6%) P: 33초 (6.9%) C: 274초 (57.2%) E: 145초 (30.3%)	총 1324초 소요 A: 147초 (11.1%) P: 590초 (44.6%) C: 343초 (25.9%) E: 244초 (18.4%)

였다. 류는 조건들 간의 알맞은 관계를 찾아내어 맞게 생각 하였으나, 산소의 원자량을 분자량으로 잘못 계산하였기 때문에 틀린 답을 얻었다. 류는 분자량이 5.82로 나오자 산소의 분자량과의 차이가 크고 그런 분자량을 갖는 기체는 없으므로 자신의 해결 전략이 잘못되었다고 생각하고 대안적인 전략을 탐색하였다. 류는 문제의 답은 실제에 근거해야 한다고 생각하는 학생이라 자신이 구한 분자량을 가진 실제 기체가 존재하지 않기 때문에 자신의 해결 방법이 화학적으로 타당하지 않다고 생각한 것이다. 이것은 학생이 가지고 있는 화학 문제의 본성에 대한 신념이 해답을 평가하려는 태도에 영향을 준다는 Carter(1987)의 연구 결과와 부합한다고 볼 수 있다.

-개발 전략을 사용하여 문제를 해결한 김에 비해, 문제 이해(A)와 계획(P)에 많은 시간 비율을 사용하였다. 이것은 학생들이 문제해결시 지식-개발 전략을 사용할 경우에 문제를 옮겨 푸는 경향이 높으며, 문제의 의미를 파악하기 어려운 경우, 임의 전략이나 수단-목적 전략을 자주 사용한다는 박윤배(1991)의 연구 결과와 일치한다.

이 문제에 대한 네 학생의 접근 방법에 의하면, 풀기에 어렵다고 생각한 경우에는 그림을 그려서 전략을 탐색하나(최,장), 풀 수 있다고 생각하고 문제해결에 들어가는 경우에는 그림을 그리지 않았다(김,류). 이것은 문제 이해에 어려움이 있는 경우, 문제에 나와 있는 모든 정보들을 종합해서 고려하여 인지적인 부담을 줄이면서 문제 이해를 돕기

위해서라고 볼 수 있다.

그리고, 구한 답이 예상 기대치에서 많이 벗어날 경우 검증 단계를 거친다는 것을 알 수 있었다.

3) 문제 5번의 결과

문제 5번은 기체 분자 운동론에 나오는 기체 분자들의 운동 속도와 온도, 분자량과의 관계를 이용해서 해결할 수 있는 문제이다. 이 문제는 답이 혼하지 않은 범위인 18.6K (-254℃)로 나오므로, 자신의 예상 범위를 넘어서는 답이 나왔을 경우의 학생들 반응을 알아 볼 수가 있었다.

최, 장과 김은 기체 분자 운동 속도 공식을 이용하여 옳게 풀었고, 류는 기체 분자 운동론의 원리를 이용하여 옳게 접근하였으나 산소의 분자량을 잘못 계산하였으므로 계산 과

정에서 실수를 하였다고 볼 수 있다. 그러나, 학생들의 문제 해결 과정을 살펴 보면 공식을 이용만 할 뿐 옳게 이해하고 있다고 볼 수 없음을 알 수 있었다.

최는 공식 위주의 문제해결자로서, 속도가 나오는 공식부터 회상하려고 노력하였고, 기체 분자들의 속도 공식 중 평균 속도,  $V_{mp}$ ,  $V_{rms}$  중 어떤 속도 공식을 사용해야 하는지 알 수 없으므로 이 문제에 대해서 자신이 없다고 답하였다. 세 가지 속도 모두 온도와 분자량과의 관계는 같으므로 어떤 공식을 사용하더라도 같은 답이 나온다는 것을 인식하지 못하고, 적절한 공식 선택에만 치중하고 있음을 알 수 있었다.

장은 공식 위주의 해결을 하였고, 공식에 대한 배경 지식 없이 그냥 외웠기 때문에 공식에 사용되는 변인들의 의미를 제대로 알고 있지 못하였다. 따라서, 기체 분자들의 운동 속

<표 4> 문제 5번의 결과

항 목	최	장	김	류
사용공식	기체분자들의 운동 속도 공식	기체분자들의 운동 속도 공식	기체분자들의 운동 속도 공식	기체분자들의 운동 속도 공식
자신감	별로 자신 없다	자신 없다	자신 있다.	자신 있다
결 과	맞음	맞음	맞음	계산 과정에서 실수
특 징	수단-목적 전략 사용 공식위주의 문제해결 문제에 나오는 용어 중심의 전략 선택 (속도가 나오는 공식은 뭐가 있지?) 계산 실시	수단-목적전략 사용 답이 18.6K(-254℃)로 작게 나오자 공식을 잘못 선택하였다고 대안전략 탐색	지식-개발 전략 사용 답이 18.6K(-254℃)로 매우 작게 나오자 자신의 해결과정을 점검	지식-개발 전략 사용 공식 적용이 아닌, 기체분자운동론의 원리와 가정들을 바탕으로 문제 해결 답이 작게 나오자 자신의 해결과정을 점검
오 인	기체분자들 간의 속도 공식들 간의 차이점을 구별 못하므로 답에 대한 자신감 없다	공식을 이해하지 않고 외웠으므로 공식에 사용되는 변인의 의미를 제대로 알지 못한다		산소의 분자량을 32가 아닌 16으로 계산
시간비율	총 345 초 소요 A: 18초 ( 5.2%) P: 96초 (27.8%) C:216초 (62.6%) E: 15초 ( 3%)	총 303초 소요 A: 49초 (16.2%) P: 56초 (18.5%) C:187초 (61.7%) E: 11초 ( 3.6%)	총 133초 소요 A:27초 (20.3%) P:11초 ( 8.3%) C:89초 (66.9%) E: 6초 ( 4.5%)	총 563초 소요 A: 45초 ( 8.0%) P: 20초 ( 3.6%) C:358초 (63.6%) E:140초 (24.8%)



도가  $(T/M)^{1/2}$  에 비례한다는 것을 알고는 있었지만, M이 분자량을 의미하는지 질량을 의미하는지 모르겠다고 답하였다.

학생들은 문제해결 후 매우 작은 값의 답이 나오자 자신들의 문제해결 과정을 점검하였기 때문에 네 학생 모두 검증 단계(E)를 가졌다. 특히 장은 자신이 공식을 잘못 선택하였다고 생각하고 대안 전략을 탐색하다가 문제해결을 포기하였다. 즉, 장과 같이 불안정한 개념을 가지고 있는 학생의 경우, 옳게 풀었지만 답이 자신에게 친숙한 범위를 넘어서면 틀렸다고 생각한다. 공식의 의미를 제대로 알지 못하고 문제를 풀 최도 자신의 답에 대해서 자신감이 별로 없다고 답하였다. 즉, 공식 위주의 해결자인 경우 예상 범위를 넘어서는 답이 나올 경우 자신감이 현저히 낮아진다는 것을 알 수 있었는데, 이것은 답의 숫자 범위가 예상했던 것과 달랐을 때 자신감이 떨어진다는 박윤배(1991)의 연구 결과와 일치한다고 볼 수 있다.

그리고, 최와 장이 수단-목적 전략을 사용하여 문제를 풀 반면, 김과 류는 지식-개발 전략을 사용하였으므로 계획 단계에 소요되는 시간 비율이 훨씬 적었다.

4) 문제 8번의 결과

문제 8번은 기체 분자 운동론을 응용하여서 푸는 난이도가 높은 문제로서 일반 화학 교재로 사용하였던 책의 심화 학습에 나왔던 내용이다.

어렵다고 느낄 수 있는 문제가 나왔을 경우에 학생들의 문제해결 행동을 알아본 결과 김을 제외한 세 학생은 미리 어렵다고 생각하고 문제해결을 쉽게 포기하였다. 최, 장과 류는 어떤 식을 적용시켜야 하는지를 알지 못하여서 수행 단계로 전혀 들어가지 못하였다. 류는 공식 위주의 해결자가 아니었지만, 자신의 능력으로 풀기 어렵다고 판단하자 해결 방법을 모색하지 않고 포기하였다. 장은 문제를 읽은

<표 5> 문제 8번의 결과

항 목	최	장	김	류
사용공식	관련된 공식을 떠올리지 못함	관련된 공식을 떠올리지 못함	기체분자의 속도공식 이상기체의 상태방정식	관련된 공식을 떠올리지 못함
자신감	자신없다	자신없다	별로 자신 없다	자신없다.
결 과	풀지 못함	풀지 못함	틀림	풀지 못함
특 징	어려운 문제라고 생각되자 그림 그려서 전략 탐색 관련된 식을 전혀 떠올리지 못함 문제를 반복해서 읽음	문제 읽은 후 자신이 풀기 힘든 문제로 판단하고 계 획도 세우지 않고 포기	수단-목적 전략 사용 논리적 타당성 점검 자신 나름대로의 논리로 문제해결 전략 구상해서 풀어 나감	어렵다고 판단되자 공식위 주의 문제해결 문제해결에 들어가지 못하고 주로 문제만 읽음 교과서의 '심화학습' 내용은 어려워므로 공부하지 않는다고 대답
오 인	조건들 간의 관계를 전혀 찾지 못함	나타나지 않음	기체 분자가 구멍을 통해 나가는 것만 고려하고 충돌을 통해서 들어가는 것은 고려하지 않음	나타나지 않음
시간비율	총 639 초 소요 A: 230초 (36.0%) P: 409초 (64.0%) C: 0초 ( 0.0%) E: 0초 ( 0.0%)	총 36초 소요 A:36초 (100%) P: 0초 ( .0%) C: 0초 (0.0%) E: 0초 (0.0%)	총 864초 소요 A: 173초(20.0%) P: 106초(12.3%) C: 515초(59.6%) E: 70초( 8.1%)	총 452초 소요 A:294초 (65.0%) P:158초 (35.0%) C: 0초 ( 0.0%) E: 0초 ( 0.0%)

후 전혀 다루어 본 문제가 아니라고 판단하자 계획단계도 거치지 않고 포기하였다.

다른 문제들을 비교적 지식-개발 전략으로 잘 풀었던 김은 이 문제가 어려운 문제라고 생각하였지만, 자신이 알고 있는 지식들을 연결하여서 수단-목적 전략으로 문제해결을 시도하였다. 따라서, 이 문제에서는 김이 쉽게 풀었던 다른 문제들에 비해 이해와 계획 단계에 소요된 시간 비율이 높았다. 그리고, 계산 중간 과정에서 물수가 매우 크게 나오자 논리적 타당성을 고려하였고, 검산을 하였다.

문제 1번, 4번, 6번과 7번은 앞에서 논의된 다른 문제들의 결과와 유사하다.

## 2. 개인별 분석

개인별로 학생들의 학습 배경과 신념 체계, 해결 과정상 특징들을 요약하면 다음 <표 6>과 같다.

## (1) 개인별 특성 요약

### <표 6> 개인별 특성 요약

네 명의 학생들 중에서 김과 류는 1학기 일반 화학 성적이 A<sup>+</sup>이고, 최와 장은 B<sup>0</sup>였다. 이와 같은 차이는 문제해결 특성 및 선행 지식 검사 결과를 바탕으로 조사한 선행 지식 보유 정도, 화학 학습 방법 등에서도 나타났다.

최와 장은 고등학교 때까지는 화학을 좋아하였으나, 대학 오면서 내용이 어려워져서 흥미와 자신감을 잃었으나, 김과 류는 여전히 화학에 흥미와 자신감을 가지고 있었다. 따라서 어려운 화학 문제가 나오면 김과 류는 도전감을 느끼는 반면, 최와 장은 문제해결을 포기하겠다고 하는 경향이 있었다. 선행 지식 검사 문항을 통해 선행 지식 보유 정도를 알아본 결과, 1학기 일반 화학 성적이 좋은 김과 류는 기본적인 공식과 개념에 대해서 충분한 이해를 갖추고 있었으나, 최와 장은 그렇지 못하였다.

<표 6> 개인별 특성 요약

항 목	최	장	김	류
화학에 대한 선호	대학에서 내용이 어려워져 흥미 잃음	좋아하지 않으며 자신감이 없다	매우 좋아하며 자신감이 있다	매우 좋아하며 자신감이 있다
1학기 성적	B <sup>0</sup>	B <sup>0</sup>	A <sup>+</sup>	A <sup>+</sup>
화학학습 방법	교수의 설명보다 노트 필기에 주력. 공식증명보다 연습문제를 우선 푼다.	공식을 외은 후 연습 문제를 푼다.	공식증명 위주. 참고자료를 이용해 습문제를 푼다.	공식을 증명 연습문제를 풀지 않는다
관련된 선행지식	기본 공식은 알지만 물개념 부족. 화학반응식으로부터 양적관계를 추론 못함.	기본공식 알지만 분압법칙에 대한 개념부족. 화학반응식으로부터 양적관계 추론 못함.	기본 공식과 이해가 충분하다.	기본 공식과 이해가 충분하다.
화학문제 해결관	많은 연습이 중요 공식만 알아도 문제해결에 지장없다. 어려운 문제에 도전감 느끼지 않음	많은 연습이 중요. 친숙하지 않은 문제는 자신감 없다. 어려운 문제에 도전감 느끼지 않음	직관과 창의력이 중요 어려운 문제에 도전감 느낀다 수학, 물리가 중요	직관과 창의력이 중요 어려운 문제에 도전감 느낀다. 해력이 중요
문제해결 과정에서 나타나는 특성	주로 수단-목적이나 임의 전략 사용. 공식위주의 문제 해결. 그림그러서 문제 이해. 문제해결과 관련된 조건까지 고려	주로 수단-목적이나 임의 전략 사용. 공식위주의 해결. 문제에 없는 조건을 임의로 만든다. 화학적으로 타당하지 않은 답이나와도 개의치 않는다.	주로 지식-개발 전략사용 고난이도의 문제를 나뉠대로의 논리로 풀려고 시도. 조건을 다 사용하지 않더라도 개의치 않는다.	공식 위주 아닌 법칙 중심이나 친숙하지 않은 고난이도 문제가 나오면 공식 위주로 문제해결. 답이 화학적, 상식적으로 타당해야 한다고 생각

화학 학습 방법에 있어서도 이와 같은 차이가 나타났다. 1학기 동안의 일반 화학 학습 방법을 알아보았더니 김과 류는 공식을 외우기 보다 증명을 위주로 학습하였다. 김은 한 단원이 끝난 뒤에 나오는 연습 문제를 풀어서 문제해결 경험을 많이 쌓은 반면, 류는 연습 문제를 전혀 풀지 않았다고 답하였다. 그러나, 이들은 공통적으로 공식을 증명하는 데 학습의 강도를 두고 있었다. 한편, 최와 장은 원리와 공식 그리고 식의 도출 과정을 이해하는 것보다, 여러 문제를 다루어 봄으로써 문제를 해결하는 방법을 익혔다고 하였다. 그 결과 최와 장은 문제에 나와 있는 조건이나 용어 등과 같은 문제의 표면적인 특성만을 가지고 문제에 적용시킬 공식을 선택하고, 공식을 적절하지 않은 상황에 무리하게 적용시키며, 어렵다고 느껴지면 화학 문제해결을 포기하는 등 공식 위주 해결자의 문제해결 특성을 나타내었다. Chi 등의 연구(Chi, Feltovich & Glaser, 1987)에 의하면, 초보자는 문제를 표면적인 특징에 따라 분류하고, 문제에 진술되어 있는 용어로부터 문제해결의 힌트를 얻는데, 선행 지식을 충분히 갖추고 있지 못한 최와 장은 이러한 초보자의 특성을 나타내었다.

문제해결에 사용한 전략을 보면, 김은 주로 지식-개발 전략을 사용하였고, 어렵다고 느껴지는 문제가 나오더라도 나름대로의 논리를 이용하여 풀려고 시도하는 반면, 문제에 대한 깊은 이해가 결여되어 있는 최와 장은 수단-목적 전략이나 임의 전략으로 문제를 해결하였다. 이 결과는 성공적인 문제해결자일수록 지식-개발 전략을 사용하는 경향이 높으며, 성공적이지 못한 해결자일 수록 시행착오적 풀이를 반복한다는 Camacho와 Good(1989)의 연구 결과를 뒷받침하여 준다.

최와 장은 문제를 이해하기 위해서 그림을 그리는 경우가 많았고, 공식에 대입하기 위해 문제에 나와 있지 않는 조건들을 임의로 만들어 내기도 하였다. 특히, 장은 자신이 구한 답이 화학적으로 타당한지의 여부에는 전혀 개의치 않았다.

류는 선행 지식을 충분히 가지고 있었으나, 문제해결 경험이 부족하였으므로 지식-개발 전략과 수단-목적 전략을 거의 비슷한 정도로 사용하였다. 류는 주로 관련된 원리 중

심으로 문제를 해결하려 하였으나, 자신이 느끼기에 어렵다고 생각되는 문제가 나오자 공식 위주로 문제를 해결하려 하였다. 특히 류는 자신이 구한 답이 화학적, 상식적으로 타당해야 한다고 생각하므로, 옳게 풀었더라도 답이 실제에 근거하지 않으면 해답에 대한 자신감이 낮아졌다. 류의 경우를 보면, 성공적인 문제해결을 위해서는 개념의 이해 뿐만 아니라 문제에 대한 경험과 문제해결에 대한 지식이 요구되며, 화학 문제해결에 대해서 학생이 가지고 있는 신념이 해답에 대한 자신감, 대안 전략 탐색에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

## (2) 문제해결 결과

문제해결 결과로 보면 네 학생간에 큰 차이가 나타나지 않았다.

최는 네 문제를 옳게 풀었고, 두 문제를 틀렸으며, 풀지 못한 문제는 두 문제이다. 장은 네 문제를 옳게 풀었고, 세 문제를 틀리게 풀었으며, 한 문제는 풀지 않고 포기하였다. 김은 다섯 문제를 옳게 풀었고, 계산상의 실수로 한 문제를 틀렸으며, 두 문제를 틀리게 풀었다. 류는 두 문제를 옳게 풀었고, 두 문제를 계산상의 실수로 틀렸으며, 세 문제를 틀리게 풀었고, 한 문제를 풀지 못하였다. 따라서, 옳게 풀거나 거의 옳게 풀 문제의 개수는 최가 네 문제, 장이 네 문제, 김이 여섯 문제, 류가 네 문제로 큰 차이가 드러나지 않았다.

## (3) 문제해결 단계별 소요 시간 분석

각 학생들이 문제해결에 소요한 시간을 단계별로 나누어 분석하였다.

문제해결에 가장 많은 시간을 소요한 학생은 류이다. 그는 충분한 선행 지식을 갖추고 있었으나, 개념 이해 중심으로 학습하고 관련된 문제는 풀지 않았기 때문에 문제해결 전 단계에 걸쳐서 시간을 많이 소요하였다. 류는 선행 지식을 충분히 갖추었지만, 문제해결 경험 부족으로 지식-개발 전략과 수단-목적 전략을 비슷한 정도로 사용하였으므로,

<표 7> 문제 해결 단계별 소요 시간

항목	최	장	김	류
총 소요시간	4041초	3190초	2774초	4551초
평균 소요시간	502.3초	386.0초	346.8초	568.9초
이해단계(A)	총 1092초 평균 136.5초 비율 27.0%	총 687초 평균 85.9초 비율 21.5%	총 551초 평균 68.9초 비율 19.9%	총 1038초 평균 129.8초 비율 22.8%
계획단계(P)	총 1594초 평균 199.3초 비율 39.4%	총 899초 평균 112.4초 비율 28.2%	총 363초 평균 45.4초 비율 13.1%	총 1164초 평균 145.5초 비율 25.6초
수행단계(C)	총 1248초 평균 156.0초 비율 30.9%	총 1499초 평균 187.4초 비율 47.0%	총 1639초 평균 204.9초 비율 59.1%	총 1825초 평균 228.1초 비율 40.1%
검증단계(E)	총 107초 평균 13.4초 비율 2.1%	총 105초 평균 13.1초 비율 3.3%	총 221초 평균 27.6초 비율 8.0%	총 524초 평균 65.5초 비율 11.5%

이해와 계획 단계에 비교적 높은 비율의 시간(48.4%)을 소요하였다. 특히, 류는 문제를 해결한 후 그것이 화학적, 논리적으로 타당한가 반드시 확인하였고 대안 전략을 탐색하였으므로, 다른 학생에 비해 검증 단계에 소요되는 시간이 많았다.

최와 장은 주로 수단-목적 전략이나 임의 전략을 사용하여서 문제를 해결하였으므로, 적용할 공식을 찾고 문제를 이해하는 데 많은 시간을 소요하였다. 이해와 계획 단계에 소요된 시간 비율을 합하여 보면, 최는 66.4%, 장은 49.7%로서, 수단-목적 전략이나 임의 전략을 쓰는 경우일수록 문제 이해와 계획 단계에 많은 시간이 소요됨을 알 수 있다. 또한, 최와 장은 자신의 해결 과정에 대해서 점점하거나 해답이 논리적, 화학적으로 타당한지 고려하지 않으므로 검증 단계에 소요되는 시간이 매우 짧았다.

김은 가장 짧은 시간 동안에 문제를 해결하였다. 그는 충분한 선행 지식을 갖고 문제를 지식-개발 전략을 이용하여 해결하였으므로, 이해와 계획 단계에 소요되는 시간 비율이 33%로 다른 학생에 비해 가장 낮았고, 수행 단계에 제일 높

은 비율의 시간을 소요하였다. 즉, 문제해결 단계별 소요 시간을 분석한 결과, 지식-개발 전략을 사용한 경우 이해와 계획 단계에 소요되는 시간이 적었고, 수단-목적 전략이나 임의 전략을 사용하는 경우 문제와 관련된 원리에 대한 이해가 부족하고 문제해결에 대한 전략이 서 있지 않으므로 여러 공식의 적용 가능성을 고려하여야 하므로, 이해와 계획 단계에 소요되는 시간 비율이 높았다. 이 결과는 성공적인 문제해결자일 수록 계획 단계에 많은 시간을 사용한다는 다른 연구들(Eylon & Linn, 1988)과 차이를 보이고 있는데, 아마도 일반 화학 수준의 문제일 경우, 선행 지식을 갖추고 있고 문제해결 경험이 많은 학생들은 문제 도식(schemata)을 갖추고 있어서 쉽게 관련된 공식을 선택하였기 때문일 것이다.

### 3. 실수 및 오인

표면적으로 드러나는 네 학생의 문제해결 성취도는 비슷하나, 학생들이 가지고 있는 오인, 결여된 개념이나 실수에

는 질적인 차이가 있었다. 결여된 개념이나 오인의 측면에서 보면, 비교적 올바른 개념을 가지고 있는 학생은 김과 류이었다.

최와 장은 공식을 바로 사용하는 전형적인 문제가 아니면서 자신이 가지고 있는 선행 지식을 제대로 활용하지 못하였고, 화학의 기본 개념이 결여되어 있음이 문제해결 과정을 통하여 드러났다.

최는 공식을 사용하여 분압문제를 풀 수는 있었으나 개념에 대한 깊은 이해가 부족하므로, 세 기체가 각각 들어 있는 플라스크의 마개를 열어 완전히 섞은 후의 전체 기체 압력을 구하는 과정에서 세 플라스크 안의 기체의 압력은 모두 전체 압력과 같아진다는 것을 깨닫지 못하고 각 기체의 혼합 후 분압만을 따로 구하였다. 절대 온도와 기체 분자량과의 관계만을 이용하는 문제 8번을 풀기 위해서 최는 속도 공식 중  $V_{rms}$ ,  $V_{mp}$ , 평균 속도 중 어떤 식을 이용해야 할지 모르겠다고 답하였다. 세가지 식 중 어느 것을 사용하더라도 절대 온도와 기체 분자량과의 관계는 같기 때문에 상관없다는 것을 인식하고 있지 못하는 것으로 미루어 보아 최는 공식 위주의 문제해결자이며 공식에 사용되고 있는 변인들 간의 관계에 대해서 이해가 부족하다고 볼 수 있었다. 또한 문제 7번에서 기체의 몰수를 구하기 위하여 이상 기체 상태 방정식과 밀도를 틀리게 연결시키는 등 이상 기체 상태 방정식을 어느 경우에 적용시킬 수 있는지에 대해서도 이해가 부족하였다.

장은 보일 사들의 법칙, 분압 법칙, 그리고 이상 기체 상태 방정식의 공식을 알고 있으나, 어느 경우에 적용할 수 있는지에 대해서는 확실하게 알고 있지 못하므로, 공식을 부적절하게 사용하는 경우가 많았다. 그리고, 공식 중  $M$ 이라고 표시되는 변인을 어느 문제에서는 질량으로, 다른 문제에서는 분자량으로 사용하는 것으로 미루어 보아 공식을 외웠으나 공식에 사용되고 있는 변인의 의미를 제대로 알고 있지 못함을 알 수 있었다. 또한, 문제 3번을 풀 때 같은 시간에 유출되는 두 기체의 몰수는 같다는 잘못된 생각을 가지고 있었다. 장은 공식 위주의 문제해결자이므로, 문제를 자신이 알고 있는 공식에 끼워 맞추어 풀기 위해서 문제가 나와 있지 않은 조건을 임의로 만들어 내기도 하였다.

실수나 오인을 가장 적게 한 학생은 김이다. 김은 한 문제에서 계산 과정상 실수를 하였다. 김이 결여된 개념으로 인하여 문제해결에 실패한 경우에는 문제 7번과 8번이었다. 문제 7번에서는 진술한 조건 중 한가지(두 기체가 같은 몰수만큼 섞여 있다)를 고려하지 않고 문제를 풀었으나, 일단 계산 과정을 통해 답을 구하게 되자 조건을 모두 이용하지 않았다는 것에 개의치 않고 해답에 대해서 자신감을 가졌다. 문제 8번은 난이도가 상당히 높은 문제였으나, 김은 나름대로의 논리로 문제에 접근하였다. 그러나, 구멍을 통해서 기체 분자가 나가는 것만 고려하고 충돌을 통해서 기체 분자가 다시 구멍으로 들어올 수 있다는 것을 고려하지 않았으므로 틀린 답을 구하였다.

류는 한 문제에서 계산상의 실수를 하였고, 두 문제에서 산소의 분자량을 원자량으로 잘못 계산하여서 틀렸다. 문제 7번에서는 김과 같이 모든 조건을 고려하지 못하였으며, 문제 8번은 해결을 포기하였다.

네 학생의 오인, 결여된 개념 및 실수를 분석한 결과, 선행 지식을 많이 갖춘 김과 류는 계산상의 실수, 문제의 모든 조건을 고려하지 못하여서 문제해결에 실패하였지만, 선행 지식을 충분히 갖추지 못한 최와 장은 공식을 적절하지 못한 상황에 적용시키는 것, 공식에 사용되는 변인들의 의미를 잘못 이해한 것, 부분적인 이해를 바탕으로 관련 없는 식들을 틀리게 연결한 것으로 인하여 문제해결에 실패하였다.

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 대학 신입생 4명의 '기체의 성질'에 관한 문제해결 과정을 발생 사고법을 이용하여 녹음한 후, 응답 원인 분석을 통하여 각 학생의 문제해결 단계 및 단계별 소요 시간 비율, 문제해결에 사용하는 전략, 문제해결 과정에서 드러나는 오인과 결여된 개념을 분석하였다. 그리고, 화학 및 화학 문제해결에 대해서 학생이 가지고 있는 신념 체계가 문제해결 특성과의 관련성에 대해서도 알아보았다. 그 결론은 다음과 같다.

1. 학생들은 화학 반응식으로 표현된 문제를 쉽다고 생각

하는 경향이 있었는데, 그 이유는 화학반응식 문제는 대체로 유형이 일정하기 때문이라고 하였다.

2. 문제해결과 관련 없는 불필요한 조건을 추가로 제시하였을 경우에, 문제에 사용되고 있는 화학 개념을 제대로 이해하고 있는 학생의 경우에는 관련된 공식 선택이나 해답에 대한 자신감에 영향을 주지 않았다.

3. 학생들은 문제를 읽은 후 어렵다고 판단될 경우, 문제를 그림으로 그려서 생각하며 수단-목적 전략이나 임의 전략을 사용하는 경향이 강하였다.

4. 학생들이 지각한 난이도가 높은 문제일수록 이해 단계와 계획 단계에 소요되는 시간이 많았으며, 친숙한 문제일 경우에는 계획 단계가 매우 짧거나 거의 드러나지 않았다.

5. 학생들은 답을 구한 후 대체로 검산을 하지 않았으나, 구한 답이 매우 크거나 작아서 예상 범위를 넘어선 경우에는 검산을 하고 해결 과정을 훑어보았다. 이 때, 문제에서 사용되고 있는 화학 개념에 대해서 확실하게 알고 있지 못한 학생은 답에 대한 자신감을 상실하고 대안전략을 탐색하였다.

6. 수단-목적 전략이나 임의 전략을 사용하여서 문제를 해결하는 경우, 문제에 나와 있는 용어로부터 공식 선택의 힌트를 얻는 경우가 많았으며, 계획 없이 문제해결에 들어가므로 전체적인 문제해결 수행에 많은 시간이 소요되었다.

7. 비교적 성공적인 문제해결자들도 식을 세워서 일단 답을 구하고 나면 문제에 나와 있는 가정을 다 이용하지 않았다는 것에 개의치 않았다.

8. 학생들이 고난이도의 문제라고 느낀 8번 문제에서 네 명 중 세 학생은 문제를 읽은 후 자신이 풀 수 없을 것이라고 생각되자 수행 단계에 전혀 들어가지도 못하고 문제해결을 포기 하였다.

9. 선행 지식을 많이 갖춘 학생과 그렇지 못한 학생들에게서 나타난 실수 및 오인간에는 차이가 있었다. 성취도에서의 차이는 거의 없었으나, 선행 지식을 많이 갖춘 학생들은 계산상의 실수, 문제의 모든 조건을 고려하지 못하여서 문제해결에 실패하였지만, 선행 지식을 갖추지 못한 학생들은 공식을 적절하지 못한 상황에 적용시키는 것, 공식에 사용되는 변인들의 의미를 잘못 이해한 것, 부분적인 이해를 바

탕으로 관련 없는 식들을 틀리게 연결한 것으로 인하여 문제해결에 실패하였다.

10. 문제해결 과정에서 나타난 결여된 개념이나 실수로는 '같은 온도, 같은 압력에서 모든 기체는 같은 몰수만큼 유출된다고 생각하는 것', '분압 법칙에서 혼합 전 각 기체가 나타내는 압력과 혼합 후 기체의 분압 간의 차이점을 깨닫지 못하는 것', '공식에서 사용되고 있는 변인 M을 상황에 따라 질량이나 분자량으로 임의로 사용하는 것', '분자량과 원자량을 혼돈 하는 것' 등이 있었다.

본 연구 결과로부터 학생들의 화학 문제해결 기능을 향상시키기 위한 몇 가지 제언을 하자면, 학생들은 우선 문제와 관련된 선행 지식을 갖추어야 하고, 해결 도중의 계산에서 실수를 하지 않도록 주의해야 하며, 계산해서 나온 답이 화학적, 논리적으로 타당한지 검증해 보아야 한다. 그리고, 문제에 제시된 필요한 조건들을 고려해야 하고, 공식에 대한 선언적, 절차적 지식 뿐 만 아니라 공식을 어느 경우에 적용할 수 있는가에 대한 조건적(Conditional)지식(Alexander & Judy, 1988)도 갖추어야 한다.

학생들의 화학 문제해결을 돕기 위해서는 화학 문제해결 과정의 보다 정확한 기술과 문제해결에 영향을 주는 변인들에 대한 연구가 필요하다. '기체의 성질' 뿐 만 아니라 다른 내용에 있어서의 학생들의 문제해결 특성에 관한 연구도 필요하며, 학생들의 화학 문제해결 과정을 더욱 세심하게 표현할 수 있는 단계별 분류 체계에 대해서도 더 많은 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

- 권재술, 이성왕(1988). 물리 문제해결 실패자와 성공자의 문제해결 사고 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-56.
- 박윤배(1991). 역학 문제해결에 있어서의 오류 유형. 물리교육, 9(1), 14-23.
- 박학규, 권재술(1990). 물리 문제해결에 관한 초심자의 프로토콜 분석. 한국과학교육학회지, 10(1), 57-64.

- 박학규, 권재술(1991). 물리 문제해결에 관한 최근 연구의 분석. 한국과학교육학회지, 11(2), 67-77.
- 박학규, 이용현(1993). 물리 문제해결 과정에서 중학생들의 사고 과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47.
- Alexander, P. A. & Judy, J. E.(1988). The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational Research*, 58(4), 375-404.
- Camacho, M. & Good, R.(1989). Problem solving and Chemical equilibrium: Successful vs unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Carter, C. S.(1987). The role of beliefs in general problem solving. Purdue University Ph.D. dissertation.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R.(1987). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Eylon, B. & Linn, M. C.(1988). Learning and Instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58, 252-301.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A.(1980). Models of competence in solving physics problems. *Cognitive Science*, 4, 317-345.
- Martha, J. G.(1990). Introduction to chemistry. 대학 교재 편찬 위원회 역, 자유아카데미 발행.
- Oxtoby, D. W. & Machtrieb, N. H.(1986). Principles of modern chemistry. CBS college publishing, New York.
- Park, Y. B.(1988). Expert-novices differences of mental representation and problem solving strategy in mechanics problems. 한국과학교육학회지, 8(2), 43-51.
- Phye, G. D. & Andre, T.(1986). Cognitive classroom learning. Academic Press Inc LTD, London.

(ABSTRACT)

## Analysis of Characteristics of Problem Solving Process in Gas Phase Problems of College Students

Mi Young Hong · Yune Bae Park  
(Seoul National University) · (Kosin University)

This study aims to identify the characteristics of gas phase problem solving of college freshmen. Four students were participated in this study and solved the problem by using think-aloud method. The thinking processes were recorded and transferred into protocols.

Problem solving stage, the ratio spend in each solving stage, solving strategy, misconceptions, and errors were identified and discussed. The relationships between students' belief system about chemistry problem solving and problem solving characteristics were also investigated. The results were as follows:

1. Students felt that chemical equation problem was easier than word problem or pictorial problem.
2. When students had declarative knowledge and procedural knowledge required by given problem, their confidence level and formula selection were not changed by redundant information in the problem.
3. When the problem seemed to be difficult, students tended to use the Means-End or Random strategy.
4. In complicated problems, students spent longer time for problem apprehension and planning. In familiar problems, students spent rather short time for planning.
5. Students spent more time for overall problem solving process in case of using Means-End or Random strategy than using Knowledge-Development strategy.