서울大學校 師大論叢 第51集 (1995. 12. 30)

전국 수학 과학 경시대회(화학 분야) 수상 학생들의 기체와 화학양론에 대한 개념*

노태희 · 임희준
(화학교육과)

Ⅰ. 연구의 필요성 및 목적

대부분의 과학 학습에서 학생들이 성공을 거두기 위해서는 많은 양의 정보를 처리하고 이해해야 하는데 이러한 정보는 크게 '개념' 양식과 '수리' 양식으로 나눌 수 있다(Mason & Crawley, 1994). 전통적으로, 수리 문제를 잘 해결하는 것은 그 문제의 바탕에 있는 개념을 이해하고 있는 것으로 인식되어 왔다(Nurrenbern & Pickering, 1987). 이러한 근거에서 대부분의 화학 교수에서는 개념을 정성적으로 이해하는 것보다는 공식을 사용하는 연산 과정을 통하여 문제를 정량적으로 해결하는 것이 보다 많은 부분을 차지하고 있으며(Reif, 1983; Herron & Greenbowe, 1986; Frank, Baker, & Herron, 1987; Bodner, 1988; Van Heuvelen, 1991), 평가 역시 비례논리에 기초한 계산 문제에 의해서 주로 이루어졌다(Krajcik & Haney, 1987).

그러나 학생들의 문제 해결 과정과 그 특성을 조사한 정성적인 연구 및 개념 이해도와 수리 문제 해결력을 비교한 최근의 정량적인 연구들은 '수리' 양식의 정보를 숙달하고 있는 것이 '개념' 양식의 정보를 잘 알고 있음을 의미하지는 않음을 밝혔다(Gabel, Sherwood, & Enochs, 1984; Yarroch, 1985; Nurrenbern & Pickering, 1987; Pickering, 1990; Sawrey, 1990; Niaz & Robinson, 1991; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Niaz, 1994; 1995). 우리나라의 경우에도 고등학생들의 화학 개념에 대한 이해도가 수리 문제 해결력에 비하여 낮은 것으로 밝혀졌다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995).

학생들의 개념을 조사한 연구들에서도 많은 학생들이 과학 교육과정에서 제시되는 기본 개념들을 제대로 이해하고 있지 못함을 밝힘으로써, 과학교육의 중요한 목표인 '개념 이해'가 학교교육에서 제대로 성취되지 못하고 있음을 지적하였다. 일반

* 이 연구는 서울대학교 사범대학 발전기금으로 이루어졌음.

적으로 물질의 입자적 성질을 이해하는 것이 화학 학습의 기초로 작용하기 때문에 이 부분에 대한 오개념 연구가 특히 많이 행해졌다. Novick과 Nussbaum(1981)은 국민학교, 중학교에서 도입되는 물질의 입자성에 대하여 올바른 개념을 가지고 있는 학생의 비율이 학년이 올라감에 따라 전반적으로 증가하기는 하지만, 고등학생 이상에서도 60%가 넘는 학생들이 물질은 연속적(continuous)이며 정적(static)인 것으로 인식하고 있다고 보고하였으며, 우리나라 고등학교 2학년 이과 학생들의 경우도 원자 자체의 성질에 관한 문제와 기체 분자 운동에 관한 문제의 정답률이 10~20% 정도에 그치고 있다고 보고되었다(고숙영, 1994).

상위 집단 학생들을 대상으로 한 연구는 많지 않은데, Sawrey(1990), 노태희 등(1995)은 각각 미국 대학생과 한국 고등학생 중 상위 27%에 속하는 학생들도 개념 문제보다 수리 문제를 유의미하게 더 잘 해결한다고 보고하였다. 또한 과학고 학생에서도 이러한 경향이 나타나는 것으로 밝혀졌다. Pereira와 Pestana(1991)는 화학 올림피아드에 참가한 학생들도 많은 오개념을 보유하고 있다고 보고하였다.

일반적으로 화학 학습의 성취가 대부분 수리 문제 해결력에 의해 평가되고 있듯이, 상위 집단의 학생들을 평가하는 수학 과학 경시대회의 1차 지필검사 역시 수리 문제 해결이 주요 부분을 차지하고 있다(e.g., 제6회 전국 중, 고등학생 수학 과학 경시대회 보고서). 따라서 이 대회의 입상자들은 수리 문제 해결력이 매우 우수한 학생들이며, 최소한 일반계 고등학교 화학에서 다루어지는 수리 문제는 거의 모두 성공적으로 해결할 수 있는 학생들이라고 할 수 있다. 그러나 상위 집단 학생들의 개념 이해 정도를 조사한 선행 연구들(Sawrey, 1990; Pereira & Pestana, 1991; 노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)의 결과는 수리 문제 해결력이 높은 이 학생들이 수리 문제의 바탕에 있는 기본 개념에 대하여 어느 정도로 올바르게 이해하고 있는지를 조사해 볼 필요성을 제기한다. 즉, 보편적으로 화학 학습의 양적인 측면이나 질적인 측면에서 일반 고등학생보다 우월하다고 인식되고 있는 이 학생들의 화학 개념을 조사하는 것은 화학 내용에 대한 지식이 양적으로 증가하고 질적으로 심화됨에 따라 개념을 이해하는 정도나 문제 상황을 이해하고 설명하는 방식에서 어떠한 특성이 나타나는지를 파악할 수 있는 좋은 자료를 제공할 것이다.

이에 본 연구의 목적은 다음과 같이 요약될 수 있다.

전국 수학 과학 경시대회 입상자 중 대한화학회 주관의 여름학교에 참여하고 있는 수리 문제 해결력이 매우 우수한 학생들을 대상으로

(1) 화학양론, 기체 법칙, 확산에서의 개념 이해 정도를 조사한다.

(2) 각 내용에서의 학생들의 오개념을 밝힌다.

(3) 문제 상황 이해 및 설명 방식을 파악한다.

Ⅱ. 선행 연구

수리 문제 해결력과 개념 이해도 사이의 불일치는 많은 연구에서 밝혀졌다 (Nurrenbern & Pickering, 1987; Pickering, 1990; Niaz & Robinson, 1991; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Niaz, 1994; 1995). 일반화학을 수강하는 대학생들을 대상으로 한 이 연구들은 많은 학생이 수리 문제를 개념 문제보다 유의미하게 더 잘 해결한다고 보고하였다. Nurrenbern과 Pickering(1987)은 기체 법칙과 화학양론에 관하여 그림으로 제시된 개념 문제와 연산의 사용을 요구하는 전통적인 수리 문제에서의 성취도를 비교한 결과, 대학생들이 개념 문제보다 수리 문제를 더 잘 해결함을 밝혔다. 상, 하위 27%에 속하는 학생들에 대하여 이를 조사한 Sawrey(1990)의 연구에서도 두 집단 모두 개념 문제보다 수리 문제의 성취도가 높은 것으로 조사되었다. Nakhleh와 Mitchell(1993)은 다양한 전공의 학생들을 대상으로 이와 유사한 결과를 얻었다. 이처럼 수리 문제에 비해 개념 문제에서 학생들의 성취도가 낮은 현상을 Pickering(1990)은 특정 사고 능력이 결여되어 있다기 보다는 기체에 관한 개념적인 지식이 부족하기 때문이라고 설명하였다. 몰, 기체, 용액, 광전 효과 등의 내용으로 유사한 연구를 수행한 Niaz(1995)는 수리 문제를 해결하는 능력은 개념 문제를 해결하는 능력을 개발하는 데 큰 도움이 되지 않는 반면에 개념 문제를 해결하는 능력은 수리 문제 해결 능력을 증진시킨다고 주장하였다. 우리나라 인문계 이과계열 고등학생의 경우도 수리 문제의 정답률(54.9%)이 개념 문제의 정답률(42.1%)보다 통계적으로 유의미하게 높은 것으로 나타나, 개념 이해없이 수리적으로만 문제를 해결하는 학생이 많음을 알 수 있었다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995).

또한 여러 연구들은 학생들이 화학 개념에 대한 이해 정도가 낮을 뿐만 아니라 쉽게 변화되기 어려운 오개념을 많이 보유하고 있다고 보고하였다. 물질의 입자적 성질 및 분자 운동에 대한 오개념 연구가 특히 많이 행해졌다. 박성미(1990)는 가열/냉각 현상을 공기의 이동 또는 분자수의 변화로 파악하는 학생들이 많았으며, 분자가 균일하게 분포한다고 보는 학생의 비율은 학년이 올라감에 따라 오히려 감소하였고, 가열 후 부피가 늘어나는 쪽으로 공기가 이동한다고 생각하는 오인이 강화됨을 밝혔다. 고숙영(1994)은 고등학교 2학년 이과 학생들의 경우 원자 자체의 성질에 관한 문제와 기체 분자 운동에 관한 문항의 정답률이 10~20% 정도에 그치고 있다고 보고하였다. Novick과 Nussbaum(1981)은 학년이 올라감에 따라 입자 개념을 가지고 있는 학생의 비율은 전반적으로 증가하는 경향을 보이지만 고등학생 이상에서 60%가 넘는 학생이 물질은 연속적(continuous)이며 정적(static)인 것으로 잘못 인

식하고 있으며, 물질의 입자 모델에 대한 학생들의 생각에 일관성이 없음을 밝혔다. Benson과 Wittrock, Baur(1993)는 국민학교 2학년부터 대학생을 대상으로 공기의 분포에 대한 개념을 조사한 결과, 물질을 입자적 관점에서 이해하고 있는 학생 비율은 8%(2~4학년)부터 85%(대학생) 사이에 분포하는 반면에 입자들 사이에 빈 공간이 존재한다는 것까지 인식하고 있는 학생은 1%에서 64% 사이에 그치고 있어 저학년 뿐만 아니라 고학년의 경우에도 상당수의 학생들이 기체의 분포에 대해 올바른 개념을 지니고 있지 못함을 밝혔다.

화학양론에 관한 학생들의 개념 이해를 조사한 몇몇 연구들은 화학 반응식에서 계수의 의미를 올바르게 이해하고 있거나 계수를 입자 또는 몰개념의 관점에서 올바르게 진술하는 학생은 적다고 보고하였다(Yarroch, 1985; Lythcott, 1990; Friedel & Maloney, 1992). Yarroch(1985)는 인터뷰를 통하여 화학 반응식의 계수를 성공적으로 맞춘 고등학생의 절반 이상이 완결된 화학 반응식과 일치하는 그림을 표현하지 못했다고 밝혔다. 이 학생들은 화학식에서 첨자의 의미와 화학 반응식에서 계수의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있었으며 화학 반응 기호(→)를 수학의 등호(=)로 이해하고 있었다. Lythcott(1990), Friedel과 Maloney(1992) 등도 많은 학생들이 화학식에서 첨자가 제공하는 정보를 적절히 사용하지 못한다고 보고하였다.

기체 분자의 확산 개념에 대하여 연구한 Simpson과 Marek(1988)은 고등학생 중 50% 정도가 확산 개념을 전혀 이해하지 못하고 있다고 지적하였으며, Westbrook과 Marek(1991)은 대상 학생 중 확산 개념을 완전히 이해하고 있는 학생은 단 한명도 없었으며, 학년간에도 유의미한 차이가 없는 것으로 보고하였다. 우리나라 고등학생을 대상으로 확산에 대한 개념 유형과 이해 정도를 조사한 조정일과 이현욱(1994)은 확산 현상에 관하여 분자 운동 또는 농도/농도차, 기체의 균일한 분포를 언급한 학생은 10% 정도에 그치고 있다고 보고하였다.

Sawrey(1990)와 노태희 등(1995)의 연구에서는 각각 대학생과 고등학생을 대상으로 상위 27%에 속하는 학생들도 화학양론이나 기체 법칙과 관련된 기본 개념에 대한 이해가 부족함을 보고하였으며, Pickering(1990)은 미국의 상위 수준 대학의 학생들도 수리 문제의 바탕에 있는 기본 개념에 대한 이해가 많이 부족하다고 밝혔다. Pereira와 Pestana(1991)는 포르투갈의 화학 올림피아드에 참가한 8학년부터 12학년 학생 227명을 대상으로 물의 3가지 상태에 대한 학생들의 표상과 그에 수반된 오개념을 조사하였다. 이 연구에서 학생들이 제시한 표상은 각 상태의 초보적인 그림에서부터 미시적인 상태의 특성을 표현한 것까지 다양하였으며, 원자의 상대적인 크기, 결합각, 결합 길이가 3가지 상태에서 다르게 표현되는 것을 비롯한 오개념을 이 학생들 역시 보유하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 이상의 연구들은 상위 집단의 학생들도 화학의 기본 개념에 대하여 잘못된 이해를 가지고 있음을 보여준다.

Ⅲ. 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

본 연구에서는 제6회 전국 중, 고등학교 수학 과학 경시대회를 거쳐 여름학교에 참여하고 있는 학생들을 대상으로 화학양론, 기체 법칙, 확산에 대한 개념 이해도를 조사하고, 학생들이 보유하고 있는 오개념 유형을 밝혔다. 학생들의 개념 이해도는 '화학 문제 해결 검사(Chemistry Problem Solving Test: CPST)' (노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995) 중 5개의 개념 문제를 취한 객관식 검사와 이를 변형한 주관식 검사를 통하여 조사하였다.

CPST를 일반고와 과학고에 실시한 결과에 의하면, 이들 5문제에 대응되는 수리 문제들의 정답률이 일반고의 경우 50.5%, 과학고의 경우 91.8%였는데, 본 연구의 대상 학생들이 전국 수학 과학 경시대회의 입상자들임을 고려하면 이들은 최소한 과학고 학생들보다는 높은 정답률을 얻을 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 이들의 개념 이해도를 조사하는 것은 바로 수리 문제 해결력이 매우 우수한 최상위 집단 학생들의 개념 이해도를 조사하는 것이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 분자 수준의 그림을 그리고 그에 대한 설명을 쓰도록 되어 있는 주관식 검사를 통하여 첫째, 학생들의 설명을 참조하여 그림을 중심으로 학생들의 응답유형 및 오개념을 분석하고 둘째, 학생들의 설명을 중심으로 이들의 개념 이해 정도 및 문제 상황 이해와 설명 방식을 분석하였다. 또 5지 선다형의 객관식 문제를 통하여 학생들의 개념 유형 및 이해 정도를 조사하고, 이를 주관식 문제에서의 성취도와 비교하였다.

2. 연구 방법

1) 연구 대상

본 연구의 대상은 제6회 전국 수학 과학 경시대회 입상자로서 대한화학회가 주관하는 여름학교에 참여하고 있는 중학생과 고등학생들이다. 전국 수학 과학 경시대회는 교육부와 중앙일보사가 주최하고 서울대학교 사범대학 부설 과학교육연구소가 시행하는 수학, 물리, 화학 경시대회로 매년 전국 중, 고등학생 약 7,000명이 참여한다. 본대회에 출전한 학생들(각 과목별로 중, 고등학생이 각각 70명, 60명)은 먼저 지방대회를 통하여 선발되었으며, 본대회는 2차에 걸친 평가로 이루어져 있었다. 1차 지필평가는 국제 과학올림피아드 수준의 창의적 사고력과 과학적 탐구력을 평가

할 수 있는 내용이며, 2차의 실험평가는 국제 과학올림피아드 수준의 실험내용을 중심으로 실험태도, 실험과정, 실험결과, 정리 등을 평가할 수 있는 내용이었다. 이렇게 실시된 본 대회의 입상자들은 각 학회의 주관하에 통신교육, 여름학교, 겨울학교, 주말교실 등의 특별 교육을 받으며 최종 선발된 학생은 국제 수학, 물리, 화학 올림피아드에 출전하게 된다.

본 연구의 대상 학생들은 수학 과학 경시대회 중 화학 분야에 참가한 학생들로서 대한화학회가 주관하는 여름학교에서 화학을 배우고 있는 중, 고등학생들이다. 본 연구의 대상 학생들에 대한 학년별, 성별 분포를 〈표 1〉 에 제시하였다.

〈표 1〉 연구 대상

	중학교 3학년	고등학교 1학년	고등학교 2학년
남 학 생	14명	16명	11명
여 학 생	7명	7명	1명
총 합	21명	23명	12명

2) 검사 도구

학생들의 개념 이해 정도를 자세히 파악하고 검사 유형에 따른 응답의 차이를 조사하기 위하여 주관식 검사와 객관식 검사를 실시하였다. 두 유형의 검사는 문제의 내용은 동일하고 형식만 다른 것으로, CPST(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995) 중에서 중학교에서부터 다루어지며 주관식으로의 변형이 가능한 5개의 개념 문제-'화학양론 1', '화학양론 2'. '기체 법칙 1', '기체 법칙 2', '확산'-만으로 구성되어 있다.

객관식 검사는 분자 수준(molecular level)의 그림으로 제시된 5지 선다형의 문제로 CPST의 문제와 동일하다. 즉, '화학양론 1'과 '기체 법칙 1'은 Nakhleh와 Mitchell(1993)의 논문에서 취하였고, '화학양론 2'는 Nurrenbern과 Pickering(1987)의 논문에서 취하였다. '기체 법칙 2'는 Novick과 Nussbaum(1978)이 사용한 'Test About Particles in a Gas'를 변형하여 사용하였다. '확산'은 서울대학교 화학교육연구실에서 개발한 것으로, CPST의 모든 문제와 함께 3명의 과학교육과 대학원생이 검토한 후, 과학교육에서 2명, 교육측정에서 1명, 화학에서 1명의 교수로 구성된 위원회(panel)에서 안면 타당도(face validity)를 검토하였다. 이를 예비 검사를 통해 수정한 후, 화학교육과 교수 2명, 고등학교 화학 교사 2명, 중학교 과학 교사 1명이 안면 타당도를 검토하였다.

주관식 검사는 객관식 검사를 변형한 것으로 화학 반응 후 또는 물리적 변화 후의 상태를 입자 수준의 그림으로 표현하고 그에 대한 설명을 쓰도록 되어 있었다. 이

문제들은 과학교육과 대학원생 3명이 검토한 후, 예비 검사를 통하여 보완하였다.

3) 검사 실시

주관식 검사를 실시한 후 답안지를 회수하고 바로 객관식 검사를 실시하였다. 두 검사 모두 시간 제한은 두지 않았다. 주관식 검사에서는 고등학교 2학년 학생의 경우 최소 20분, 중학생의 경우 40분 정도의 시간이 소요되었다. 객관식 검사에서는 5~10분 정도의 시간이 소요되었다.

4) 결과 분석

주관식 검사에서는 학생들의 응답을 자세히 분류하여 각 유형에 대한 응답률을 구하였다. 먼저 최대한 자세하게 학생 응답 분류틀을 정한 후, 이를 토대로 두 명의 분석자가 구한 답안 분석의 일치도(intercoder agreement)는 0.925였다. 이를 확인한 후 동일한 개념으로 볼 수 있는 것을 하나의 범주로 묶어 최종 응답 분류틀을 만들고, 나머지 학생들의 답안은 연구자 1명이 분석하였다. 객관식 검사는 SPSS통계 팩키지를 사용하여 평균, 표준편차 등을 구하고 학년간의 차이를 알아보기 위하여 ANOVA를 실시하였다. 그리고 paired t-test를 통하여 주관식 검사와 객관식 검사 각각에서 문제별 정답률의 차이를 검증하고, 또한 동일한 내용에 대한 주관식 문제와 객관식 문제의 정답률간의 차이를 비교하였다.

Ⅳ. 결과 분석 및 논의

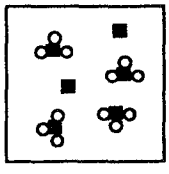
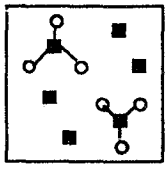
1. 주관식 문제에 대한 학생들의 응답 분석

분자 수준의 그림을 그리고 그에 대한 이유를 서술하도록 되어 있는 주관식 문제에 대한 학생들의 응답 유형과 각 학년의 응답 비율을 〈표 2〉 부터 〈표 6〉 까지에 제시하였다. 주어진 화학 반응식과 반응 전 상태를 고려하여 반응 후의 생성물과 남는 물질을 표현하도록 한 문제인 '화학양론 1'에서는 주관식 문제임에도 불구하고 학생들의 정답률이 거의 100%로 매우 높았다(표 2). 학생들은 화학 반응식과 화학식을 매우 정확하게 해석하고 있었으며, 많은 대학생들도 오개념을 가지고 있다고 보고되는 계수, 첨자의 의미(Yarroch, 1985; Lythcott, 1990; Friedel & Maloney, 1992)도 잘 이해하고 있었다. 또한 이 학생들은 반응 후 생성물의 상태뿐만 아니라 용기 내의 상태-생성물의 몰수가 반응물의 몰수보다 작으므로 압력이

낮아진다-에 대한 설명도 하고 있었다. 고등학교 2학년 학생의 경우에는 비록 그릇된 설명이긴 했으나 생성물의 구조 자체를 설명하려는 시도도 있었다.

'화학양론 2'는 입자로 표현된 화학 반응을 보고, 이를 화학 반응식으로 나타내는 문제였다. 고등학생의 정답률은 이 문제에서도 90%를 상회했으나 중학생의 정답률은 70% 정도에 그쳤다(표 3). 학생들은 화학 반응 기호(→)를 수학에서의 등호(=)로 표현하거나, 화학 반응식을 반응물과 생성물간의 가장 간단한 정수비로 나타내지 않고, 문제에 주어진 양을 그대로 계수로 사용하는 오류를 많이 범하였다.

〈표 2〉 '화학양론 1'에 대한 학생들의 응답 유형 및 응답률

응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
A		100	(중 3)기체 반응의 법칙에 의해 S 4분자와 O_2 6분자가 결합해서 SO_3 4분자가 생성되고 S 2분자가 남았다. 반응 후 온도변화가 없다면 분자수비는 압력비이므로 압력이 반응 후 1/2로 줄어들 것이다.
		95.7	(고 1)S 2분자 O_2 3분자가 SO_3 2분자가 되어 분자수가 줄어들었다. PV=nRT식에서 각 기체의 몰수가 줄어들었고, V, T가 일정하므로 압력이 낮아지게 된다.
		100	(고 2)일정성분비의 법칙에 의해 결합하고 난 후에는 S가 남아 있을 것이다. 그리고 5부피의 분자가 화학반응하여 2개가 생기므로 용기 안의 압력이 낮아질 것이다.
		0	
B		4.3	(고 1)이 반응의 결과는 질량보존의 법칙에 따라 질량은 일정하나 전체의 분자수가 줄어들므로 압력은 낮아진다. 각각의 분자들은 반응 전이나 후에 고르게 분포한다.
		0	

* 응답률은 제시된 순서대로 중3, 고1, 고2의 값을 나타냄

부피 변화가 거의 없는 강철탱크를 생각했을 때, 그 안의 수소 기체의 분포를 묻는 문제인 '기체 법칙 1'에서의 정답률은 3개 학년 모두 70% 이하로 화학양론 2문제에 비하여 통계적으로 유의미하게 낮았으며(화학양론 1: $t=5.31$, $p<.01$: 화학양론 2: $t=2.46$, $p<.05$), 오개념도 보다 다양하였다(표 4). 학생들은 대부분 보일-샤를의

법칙을 사용하여 강철탱크의 내부압이 감소하는 것을 수리적으로 증명하였다. 학생들이 많이 가지고 있는 오개념은 냉각 결과 기체의 부피가 줄어든다는 것(유형 B)으로, 고등학교 2학년에서 가장 많이 나타났다(33.3%). 온도의 감소로 부피가 감소하므로 또는 강철탱크의 내부압이 감소하므로 강철탱크가 찌그러진다는 응답(유형 D)은 중학생에서 많이 나타났다(14.3%). 특히 이 문제에서는 답의 진위여부와 무관하

〈표 3〉 '화학양론 2'에 대한 학생들의 응답 유형 및 응답률

응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
A	$X+2Y \rightarrow XY_2$	71.4	(중 3)생성물의 분자식은 XY_2이다. 아보가드로의 법칙을 적용하여 부피비=1:2:1이다. 부피비=화학 반응식의 계수비.
		91.3	(고 1)반응할 때 부피비 = 분자수의 비
		100	(고 2)X, Y는 모두 1원자분자이므로 초기 상태는 X, Y일 것이고 반응 후에는 X 1개당 Y 2개가 붙어 있으므로 XY_2가 될 것이다. 그래서 계수가 간단한 $X+2Y \rightarrow XY_2$가 옳다
B	$X+2Y = XY_2$	9.5	(중 3)X와 Y의 반응비는 1:2이므로 화학물은 X_nY_{2n}. 그런데 $X+Y = X_nY_{2n}$이고 반응물과 생성물 속의 X수는 일치하므로 n=1.
		8.7	(고 1)반응 후 1개의 X와 2개의 Y가 결합한 3개의 분자와 2개의 반응하지 않은 Y가 존재한다. 반응 전후 입자의 종류, 개수는 변함이 없었다.
		0	
C	$3X+6Y \rightarrow 3XY_2$	19.0	(중 3)화학 반응식에는 화학 반응을 일으킨 것들로 써야한다. 실제 반응을 일으킨 것은 X 3개, Y 6개, 이들이 1:2의 비로 결합한다.
		0	
		0	

* 응답률은 제시된 순서대로 중3, 고1, 고2의 값을 나타냄

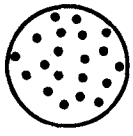
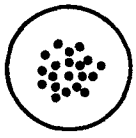
게 많은 학생들이 자신의 답을 설명하기 위하여 보일-샤를의 법칙, 이상기체의 상태방정식 등의 공식을 사용하였다. 이는 연산이 필요없는 개념 문제를 풀 때에도 수리적 접근을 하는 학생이 많다고 보고한 Nakhleh와 Mitchell(1993)의 결과와도

일치한다. 그러나 이상기체의 상태방정식을 적용하여 분자수 n이 커진다는 결론을 얻고도 그것을 의심없이 받아들이으로써 분자수가 증가한다는 응답을 한 고등학생도 있었으며, 〈표 4〉에 제시된 예를 통해서도 볼 수 있듯이 온도와 엔트로피의 관계를 도입함으로써 오히려 기본적인 기체의 성질에 관하여 오류를 범하기도 하였다.

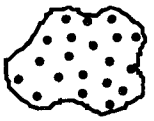
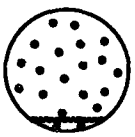
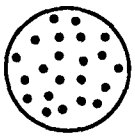
가열 후 플라스크와 풍선 내의 기체 입자의 분포 상태를 묻는 문제인 '기체 법칙 2'에서는 고등학교 2학년 학생의 정답률이 가장 낮았으며, 고등학교 1학년과 2학년의 점수(각각 95.7%, 66.7%) 사이의 차이는 통계적으로 유의미하였다(표 5). 이 문제에서도 학생들의 오개념 유형은 비교적 다양했으나 각 유형에 대한 응답률은 높지 않았다. 대부분의 오개념 유형은 온도가 올라감에 따른 기체 분자의 상승 이동이었으며, 특히 고등학교 2학년에서는 풍선쪽에 기체가 더 많이 분포한다는 응답(유형 C)을 한 학생이 많았다(16.7%). 중학생의 경우에는 가열 결과 분자 자체의 크기가 변화한다고 응답한 학생도 있었다. 균일한 분포를 이루게되는 과정을 많은 학생들이 운동에너지의 증가 또는 기압차에 의한 공기의 이동의 관점으로 설명하고 있었는데, 그 중에는 동적 평형의 과정에 대한 개념이 없는 학생도 있었다. 고등학교 1학년의 경우에는 균일한 분포를 이루게 되는 과정에 대하여 잘못된 해석을 하고 있는 학생도 있었다. 고등학교 2학년 학생의 경우에는 중학교 3학년이나 고등학교 1학년에 비하여 정답률은 상대적으로 낮았음에도 불구하고, 상태 함수, 이상기체의 상태방정식, 동적 평형, 미세 상태의 수에 따른 엔트로피의 변화 등과 같은 개념을 사용하여 그 이유를 설명하려는 학생이 많았다.

분자량의 차이에 따른 확산 속도의 차이를 묻고 있는 '확산' 문제에서는 전학년에 걸쳐 정답률(평균 19.0%)이 매우 낮았다(표 6). 분자량과 무관하게 30분이 지났으니 반 정도 균일해진다는 응답(유형 C, 41.5%)과 엔트로피가 커지는 방향으로 확산이 진행되므로 두 상자에 기체가 균일하게 분포한다는 응답(유형 D, 25.5%)이 가장 많았다. 유형 E와 같이 그레이엄의 법칙은 고려했으나 두 상자의 압력이 동일하다는 것을 고려하지 않은 응답도 많았다. 중학생의 경우에는 확산 현상에 대한 이해와는 별도로 기체의 무게가 혼합 기체의 분포에 영향을 미친다는 생각을 가지고 있는 학생도 종종 나타났다. 확산 문제에 대한 정답률은 전반적으로 매우 낮았으나, 고등학교 1, 2학년에서는 많은 학생들이 돌턴의 부분압력 법칙, 엔트로피, 확률적 경우의 수 등의 개념을 사용하여 자신의 답을 설명하였다. 특히, 고등학교 2학년에서는 두 상자의 기체 분포가 1시간이 지나면 균일해진다는 가정 자체를 받아들이지 못하고 유형 D로 응답한 학생도 있었다.

〈표 4〉 '기체 법칙 1'에 대한 학생들의 응답 유형 및 응답률

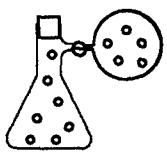
응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
A		57.1	(중3)보일 - 샤를의 법칙. PV/T=P′V′/T′에 의하면 3V/293=x×v/268, x=2.7. 내부 압력은 낮아지고 강철탱크이므로 찌그러지지 않는다. 운동 상태만 느려진다.
		69.6	(고 1)강철탱크는 고체이므로 온도에 따른 부피 변화가 심하지 않다. 따라서 강철 내부의 부피는 일정하다고 본다. PV/T=일정이라는 보일 - 샤를의 법칙에 의하면 T가 낮아지면 V가 일정하므로 P가 낮아질 것이다. 3/293=P′/268, P′=3×268/293이다. 압력이 낮아졌으므로 분자의 속도는 줄어들 것이다.
		66.7	(고 2)PV=nRT에서 온도가 내려가므로 또 강철탱크의 V는 변하기 어렵기 때문에 전체 P가 낮아진다. 즉, 기체의 운동이 덜 활발해지고 그만큼 기체 분자가 강철탱크 벽에 부딪치는 횟수와 강도가 약해진다. n과 V는 변함없다.
B		19.0	(중 3)기체의 운동에너지는 온도에 비례한다. 기체 분자수에는 변화가 없으나 운동에너지가 줄어들므로 분자들 사이의 인력으로 인하여 약간 분포도가 줄어들게 된다.
		8.7	(고 1)E_k가 줄어들고, 서로의 분자 인력권에 잡힘으로써 약간 간격이 줄어들 것이다. 또한 평균자유행로는 증가되므로 E_k의 감소와 평균자유행로의 증가가 균형을 이루는 범위 내에서 분자간 간격이 감소할 것이다.
		33.3	(고 2)수소의 운동에너지 3/2RT는 온도가 감소하므로 줄어든다. 그러면 20℃보다는 -5℃에서 분자간 인력이 더 많이 작용할 것이다. 결과적으로 수소들은 20℃보다 -5℃에서 더 가까이 있게 되고 분포하는 경우의 수의 확률이 작아져서 엔트로피가 낮아지게 된다.
C		4.8	(중 3)3×1/293=x×1/268. 수소 기체의 부피는 온도의 하강으로 인해 약간 줄어든다. 부피가 그대로 유지된다면 압력이 줄어든다. 내부 압력보다 외부 압력이 더 커지므로 외부 압력에 의해 힘을 받게 되고 수소 기체의 압력이 3기압이 될 때까지 찌그러져 용기의 부피가 줄어든다.
		8.7	(고 1)강철탱크는 줄어들었고 그 안의 수소 기체의 분포는 균일하다.
		0	

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

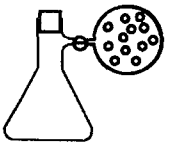
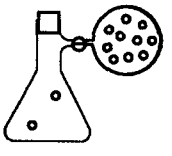
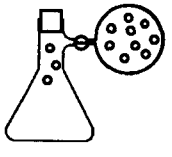
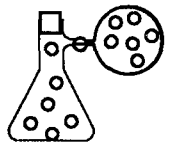
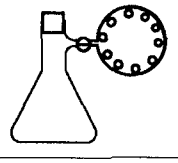
응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
D		14.3	(중 3)$P_1V_1/T_1=P_2V_2/T_2$, T_1=293K, T_2=268K. 강철탱크의 부피는 일정하다. 보일 - 샤를의 법칙에 의해 -5℃에서 압력이 낮아진다. 압력이 낮아지면 밖으로부터의 압력으로 약간 찌그러든다.
		4.3	(고 1)같은 압력 하의 밀폐된 공간에서 부피는 절대온도에 비례한다. 온도가 내려갔으므로 강철탱크 안의 수소 기체의 부피는 처음 부피의 268/293으로 줄어들게 된다. 밀폐된 공간이므로 강철탱크는 안으로 오그라들게 된다. 기체는 균일하게 분포되어 있다.
		0	
E		4.8	(중 3)온도를 낮추면 부피가 줄어서 압력이 낮아진다. 탱크 밖의 압력이 더 큰데 탱크는 잘 찌그러지지 않으므로 기체의 부피는 변할 수가 없어서 압력이 높아진다. 압력이 높아지면 수소는 약간 액화된다.
		0	
		0	
F		0	
		4.3	(고 1)PV=nRT에서 n=PV/RT가 된다. P, V, R은 일정한 값이므로 n은 1/T에 의해서만 영향을 받는다. 절대 온도가 293K 일 때 수소 기체가 12분자가 존재하므로 268K 일 때는 약 13개의 분자가 존재한다.
		0	

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

〈표 5〉 '기체 법칙 2'에 대한 학생들의 응답 유형 및 응답률

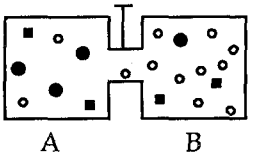
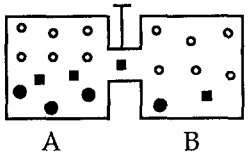
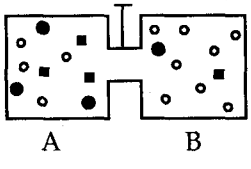
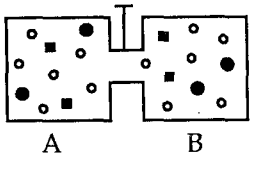
응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
A		85.7	(중 3)온도 상승에 운동이 활발해져 부피가 팽창하게 된다. 플라스크와 풍선이 연결되어 있으며 기체 분자들의 분포는 플라스크 속이나 풍선 속이나 같은 비율로 고르게 분포한다.
		95.7	(고 1)기체를 가열하면 온도 상승으로 인해 운동이 활발해지고 부피가 늘어나든가 압력이 증가한다. 가열을 하면 외부 압력이 일정한 데 비해 내부 압력이 높으므로 플라스크 안의 공기는 밖으로 나오려 하고 이로 인해 풍선으로 공기가 들어간다. 그리고 부피가 늘어나게 되어 기체들 간의 거리는 멀어진다.

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

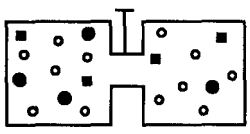
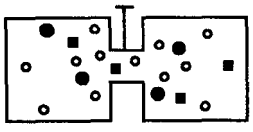
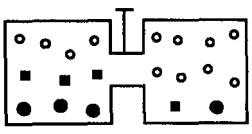
응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
		66.7	(고 2)플라스크와 풍선은 서로 연결된 계이므로 외부계와 단절되어 있다고 생각하면 그 상태 함수들은 모두 같다. 그러므로 밀도는 어디든지 일정하고 균일하게 분포되어 있다.
B		0 0 8.3	(고 2)가열을 해주면 분자들의 내부 운동 에너지가 증가한다. 그래서 분자들의 운동 변화가 커짐에 따라 풍선도 팽창하는 것이다. 그리고 분자들은 더 팽창하려고 할 것이다.
C		0 4.3 16.7	(고 1)플라스크 내의 기체와 고무풍선 내의 기체의 온도가 같으면 기체의 분포는 어느 곳이나 같다. 하지만 플라스크 속의 가열된 산소가 고무풍선에 들어가면 다소 식기 때문에 고무풍선의 산소의 밀도가 플라스크 속보다는 클 것이다. (고 2)가열을 해주면 분자들의 내부 운동에너지가 증가한다. 그래서 분자들의 운동 범위가 커짐에 따라 풍선도 팽창하는 것이다. 그리고 분자들은 더 팽창하려고 할 것이다.
D		4.8 0 8.3	(중 3)플라스크 안의 가열된 산소 분자는 거의 고무풍선 안으로 들어간다. (고 2)플라스크를 가열하면 플라스크 속의 산소 기체의 에너지가 커져 운동이 활발해짐으로써 입자간의 거리가 커짐과 동시에 넓게 퍼지게 된다.
E		4.8 0 0	(중 3)계속적인 가열로 기체 분자 자신의 부피 역시 늘어난다.
F		4.8 0 0	(중 3)기체 분자들은 온도가 높아지면 활발히 운동한다. 샤를의 법칙 $V_1/T_1=V_2/T_2$. 온도가 올라가서 분자 운동이 활발해지고 부피가 증가한다.

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

〈표 6〉 '확산'에 대한 학생들의 응답 유형 및 응답률

응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
A		14.3	(중 3)두 상자의 압력은 같으므로 모두 같은 수의 분자가 존재한다. 기체 분자의 확산 속도는 기체의 분자량의 제곱근에 반비례한다.
		26.1	(고 1)자연확산이므로 양쪽의 압력은 어느 정도 일정하게 유지될 것이고, 그레이엄의 법칙에 의해 분자량이 작은 것이 먼저 확산될 것이다.
		16.7	(고 2)확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 분자량이 제일 작은 H_2에서 N_2, CO_2 순으로 평형에 도달할 것이다. 양쪽의 압력은 1기압을 유지할 것이므로 양쪽의 분자수는 거의 일정하게 유지된다.
B		4.8	(중 3)기체들끼리 서로 섞이게 되고 기체의 무게 순서에 따라 이산화탄소가 가장 밑부분을 차지하고 그 다음을 질소, 그 다음으로 가장 가벼운 수소순으로 분자분포가 될 것이다.
		0	
		0	
C		47.6	(중 3)기체 분자의 운동에너지는 일정한 조건에서 분자의 질량에 관계없이 일정하다. 확산 속도는 기체마다 언제나 일정하므로 시간이 절반밖에 경과하지 않았으면 이동한 기체 분자의 수도 각 종류마다 1/2밖에 되지 않는다.
		43.5	(고 1)돌턴의 부분압력 법칙에서 각 기체들은 서로의 분포에 영향을 주지 않으므로 기체들은 균일하게 퍼진다.
		33.3	(고 2)이동은 각 기체의 분압에 따르고 확산 속도가 각 기체마다 일정하다고 생각하면 총 이동갯수의 1/2이 이동하게 된다.
D		4.8	(중 3)자연계에서는 에너지가 낮은 상태로 존재하려는 엔트로피가 커지려는 방향으로 진행하므로 각 기체가 섞여 있을 것이다.
		21.7	(고 1)모든 상태는 엔트로피 즉, 무질서도가 증가하는 방향으로 진행되기 때문이다.
		50.0	(고 2)양쪽에 같은 수씩 들어 있는 것의 경우의 수가 제일 많다. 분자들이 한쪽으로 몰려있지 않고 퍼져있는 것이 확률적으로 더 크기 때문에 분자들이 균일하게 퍼져 있을 것이다.

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

응답 번호	응답 유형	응답률(%)*	학생 설명의 예
E		14.3 8.7 0	(중 3)확산 속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다. 1시간 후에 기체 분포가 일정해지는 것은 분자량이 제일 큰 CO_2가 균일해지는 때일 것이고 그때는 이미 분자량이 작은 분자는 모두 이동해 있을 것이다. (고 1)그레이엄의 법칙에 따라 이동 속도는 분자량의 제곱근에 반비례하고 일정 시간에 이동한 입자수도 분자량의 제곱근에 비례한다.
F		9.5 0 0	(중 3)조절마개를 열면 기체들이 확산하기 시작해서 A상자의 기체는 B로, B상자의 기체는 A상자로 이동하기 시작한다.
G		4.8 0 0	(중 3)조절마개를 열면 기체의 분포가 균일해지므로 양쪽 상자에 들어가는 양도 1/2만큼 균일해짐. 무게 순서에 따라 CO_2가 가장 밑에 N_2가 그 다음, H_2가 가장 위에 분포한다.

* 응답률은 제시된 순서대로 중 3, 고 1, 고 2의 값을 나타냄

2. 객관식 문제에 대한 학생들의 응답 분석

화학양론 2문제, 기체 법칙 2문제, 확산 1문제로 구성된 5지 선다형의 객관식 문제에 대한 각 학년별 성취도를 〈표 7〉에 제시하였다. 그리고 각 문제별 정답률, 주관식 검사와 객관식 검사에서의 정답률을 t-test를 통하여 비교한 결과를 〈표 8〉과 〈표 9〉에 각각 제시하였다.

〈표 7〉 객관식 문제에 대한 각 학년별 성취도 비교(%)

	화 학 양론 1	화 학 양론 2	기 체 법칙 1	기 체 법칙 2	확 산	전 체
중 3(n=21)	100	95.2	66.7	47.6	90.5	80.0
고 1(n=23)	100	100	69.6	69.6	82.6	84.2
고 2(n=12)	100	100	66.7	66.7	58.3	78.3

〈표 8〉 각 문제별 정답률 사이의 차이에 관한 t값 및 유의도

	화학양론 1	화학양론 2	기체법칙 1	기체법칙 2	확 산
평균 (N=56)	100	98.2	67.9	60.7	80.4
화학양론 2	1.00				
기체법칙 1	5.10**	4.90**			
기체법칙 2	5.97**	5.74**	0.94		
확 산	3.67**	3.10**	-1.47	-2.66**	

* P < .05 ** P < .01

〈표 9〉 객관식 검사와 주관식 검사의 정답률 사이의 차이에 관한 t값 및 유의도

	화학양론 1	화학양론 2	기체법칙 1	기체법칙 2	확 산
중 3(n=21)	0.00	2.50*	1.45	-3.51**	6.48**
고 1(n=23)	1.00	1.45	0.00	-2.79*	5.36**
고 2(n=12)	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80*

* P < .05 ** P < .01

'화학양론 1'과 '화학양론 2'에 대한 Missouri-Kansas 대학 학생들의 정답률이 각각 29.0%, 17.5%였고(Nurrenbern & Pickering, 1987), California-San Diego 대학의 상위 집단 학생들의 정답률이 20.7%('화학양론 2')였던 것에 비하여, 올림피아드 여름학교에 참여하고 있는 이 학생들은 중, 고등학생 모두 정답률이 거의 100%에 달하였다. 또한, 화학양론에 관한 2문제는 모두 기체 법칙이나 확산에 관한 문제에 비하여 그 성취도가 통계적으로 유의미하게 높았다(표 8). 중학생의 경우에는 '화학양론 2'에서의 정답률이 그들의 주관식 문제에서의 정답률(71.4%)보다 유의미하게 높았는데(표 9), 이러한 차이는 화학 반응 기호를 등호로 표현했거나 화학 반응식을 간단한 정수비로 표현하지 않았던 학생들이 객관식 문제에서는 대부분 정답을 택함으로써 나타난 것이었다.

물질의 입자성에 대한 이해를 주요 내용으로 하고 있는 기체 법칙 2문제에 대한 학생들의 정답률은 각각 67.9%, 60.7%로 화학양론에 대한 정답률에 비하여 통계적으로 유의미하게 낮았다. '기체 법칙 1'에 대한 정답률은 중, 고등학생 사이에 거의 차이가 없었으며, 주관식 문제에서의 정답률과도 유사하였다. 주관식 문제에서와 마찬가지로 많은 학생들이 냉각으로 인하여 기체가 보다 조밀하게 분포함을 표현한

답부(12.5%)와 강철탱크 자체의 부피가 줄어듬을 나타낸 답부(16.1%)를 선택하였다. 이 문제에 대한 Purdue 대학의 과학/공학 전공 학생들의 정답률이 54.2%이고 우등생의 정답률이 75.7%이었음(Nakhleh, 1993)을 고려할 때, 우리나라 최상위 학생들인 올림피아드 여름학교 참가 학생들의 정답률이 70%에 미치지 못함은 기체의 입자성과 관련된 개념에 대하여 학생들이 부적절하게 이해하고 있는 측면이 비교적 많음을 시사한다. '기체 법칙 2' 문제에서는 고등학교 2학년을 제외하고는 객관식 문제에서의 정답률이 오히려 주관식 문제에서의 정답률보다 통계적으로 유의미하게 낮았으며(표 9), 특히 중학교 3학년 학생들의 정답률은 50%에도 미치지 못하였다. 이 문제에서는 기체가 풍선 벽쪽에 바짝 붙어 있음을 나타낸 답부(25.0%)에 많은 학생이 응답했는데 이는 주관식 문제에서는 볼 수 없었던 개념 유형으로 주관식에서 옳은 응답을 했던 학생들도 객관식 문제에서 좀더 그럴듯한 답부가 있을 때는 이러한 답부로 응답이 바뀌는 것(Bar & Travis, 1991)을 보여주는 일례이다. '기체 법칙 2'에서의 결과를 통해서도 기체의 입자성에 관한 학생들의 개념 이해 정도가 낮으며 안정적이지 못함을 알 수 있다.

'확산'에서의 3집단 학생들의 정답률은 매우 흥미로운 결과를 보인다. 학년이 올라갈수록 정답률이 낮아졌으며 특히, 중학교 3학년과 고등학교 2학년 학생의 정답률 간에는 통계적으로 유의미한 차이가 존재하였다. 또한, 3개 학년 모두에서 객관식 문제에서의 정답률이 주관식 문제에서의 정답률보다 통계적으로 유의미하게 높았는데(표 9), 이러한 결과는 두 상자가 균일해진다거나 반만 균일해진다는 등의 응답을 했던 많은 학생들이 정답을 택한 결과로 나온 것이다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 전국 수학 과학 경시대회 본대회 입상자로서 대한화학회가 주관하는 여름학교에 참가하고 있는 화학 분야의 최우수 학생들을 대상으로 크게 화학양론과 기체 상태에 대한 개념 이해 정도를 조사하였다. 우리나라 화학 최상위 집단 학생들은 화학양론에 있어서는 그 이해 정도가 거의 완벽했으나, 기체 상태와 관련된 개념에 대해서는 상대적으로 많은 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다.

심도 깊은 화학 학습의 결과로 이 학생들의 개념 이해 정도는 일반 학생들에 비하여 높았으나, 이들이 가지고 있는 오개념 유형은 일반 학생들이 가지고 있는 것과 별반 다르지 않았다. 또한 '기체 법칙 2'에서 객관식 문제의 정답률이 주관식 문

제에서의 정답률보다 오히려 낮았던 것과, '기체 법칙 1'의 주관식 문제에서 엔트로피를 고려한 많은 학생들이 기체가 균일하게 분포한다는 기체의 기본적인 성질을 간과하는 응답을 한 것은 이 학생들도 물질의 입자성에 대한 올바른 이해가 결여되어 있음을 보여주는 것이다. 이 학생들은 자신의 답을 설명하기 위하여 보일-샤를의 법칙, 이상기체의 상태방정식을 비롯하여 돌턴의 부분압력의 법칙, 엔트로피의 변화, 내부 에너지, 미세상태의 수, 분자의 최대 운동 속도 등과 관련된 해당 학년 이상 수준의 개념이나 수식을 도입하였다. 수리적인 정보가 특히 많이 제시되어 있는 '기체 법칙 1'에서는 중, 고등학생 모두 거의 대부분 수식을 통하여 그들의 답을 증명하고 정당화하려고 하였다. 그러나 기체의 입자성에 대한 기본 개념을 제대로 이해하고 있는 학생의 경우에는 이러한 수리적인 해석이 그들의 응답을 지지하는 증거로서 사용되지만, 그렇지 못한 학생에게는 수리적인 풀이 및 해석으로 인하여 오히려 그릇된 응답을 유도하는 결과를 낳기도 하였다. 또한 상위 수준의 개념을 이용한 설명이 항상 답의 정확성을 높이는 것은 아니었다. 예로서, 확산 문제에서는 대학 수준의 화학 개념으로 현상을 설명한 고등학교 2학년 학생의 정답률이 일반 고등학교 수준의 내용을 배운 중학교 3학년 학생의 정답률보다 통계적으로 유의미하게 낮은 결과를 보였다. 이처럼 학생들이 많은 화학 개념들을 알고 있음에도 불구하고 기체 법칙이나 확산 등에서 잘못된 응답을 하는 이유는 첫째, 기체의 입자성에 관한 기본적인 내용에 대한 정확한 이해가 부족하며 둘째, 상위 수준의 화학 개념 및 수식을 기본적인 개념의 토대위에서 그들 서로를 연결시켜 이해하고 있지 않기 때문인 것으로 보인다. 최상위 집단 학생들임에도 여러 개념들이 하나의 맥락에서 위계적으로 조직화되어 있지 않고 개별적으로 파악되고 있어 상황이 달라지면, 다시 말해서 온도 조건, 작위적 가정 등이 문제에 포함되면 학생들의 개념이 일관성없이 나타나는 것을 볼 수 있다. 결국 이 학생들도 복잡한 수식을 정성적으로 이해하고 있거나 이를 상황에 따라 올바로 이해하고 적용하지는 못하는 것으로 파악된다.

화학 우수 학생에 대해서도 물질의 입자성과 같은 기본 개념에 대한 정확한 이해를 지속적으로 강조할 필요가 있으며, 심화학습을 할 때 이러한 기본 개념들을 새로 학습한 개념 및 수식의 의미와 연결을 짓는 수업이 학습에 보다 큰 도움을 줄 것이다.

참 고 문 헌

고숙영(1994), 학생들의 학습 접근방식과 개념의 이해도와의 관계성 연구, 서울대학교 석사학위논문.

노태희 · 우규환 · 임희준 · 서인호(1995), "이과계열 고등학생의 화학 계산 문제 해결력과 개념 이해도 비교," 『화학교육』, 22(3), 144~156.

박성미(1990), 분자 운동에 대한 학생들의 개념 조사, 서울대학교 석사학위논문.

서울대학교 사범대학 부설 과학교육연구소(1994), 제6회 전국 중, 고등학생 수학, 과학 경시대회 보고서.

조정일 · 이현욱(1994), "확산과 삼투 분자운동 모형을 활용한 수업의 개념변화에의 효과," 『한국과학교육학회지』, 14(3), 293~302.

Bar. V., & Travis, A. S.(1991), "Children's views concerning phase changes," *Journal of Research in Science Teaching,* 28(4), 363~382.

Benson, D. L., Wittock, M. C., & Baur, M. E.(1993), "Students' preconceptions of the nature of gases," *Journal of Research in Science Teaching,* 30(6), 587~597.

Bodner, G. M.(1988), "Consumer chemistry: Critical thinking at the concrete level," *Journal of Chemical Education,* 65(3), 212~213.

Frank, D. V., Baker, C. A., & Herron, J. D.(1987), "Should students always use algorithms to solve problems?," *Journal of Chemical Education,* 64(6), 514~515.

Friedel, A. W., & Maloney, D. P.(1992), "An exploratory, classroom-based investigation of students' difficulties with subscripts in chemical formulas," *Science Education,* 76(1), 65~78.

Gabel, D. L., Sherwood, R. D., & Enochs, L.(1984), "Problem-solving skills of high school chemistry students," *Journal of Research in Science Teaching,* 21(2), 221~233.

Herron, J. D., & Greenbowe, T. J.(1986), "What can we do about Sue: A case study of competence," *Journal of Chemical Education,* 63(6), 528~531.

Krajcik, J. S., & Haney, R. E.(1987), "Proportional reasoning and achievement in high school chemistry," *School Science and Mathematics,* 87(1), 25~32.

Lythcott, J.(1990), "Problem solving and requisite knowledge of chemistry," *Journal of Chemical Education*, 67(3), 248~252.

Mason, D., & Crawley, F. E.(1994), *Differences between algorithmic and conceptual problem solving by nonscience majors in introductory chemistry,* Paper presented at the 67th annual meeting of the NARST, Anaheim.

Nakhleh, M. B.(1993), "Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers?," *Journal of chemical Education*, 70(1), 52~55.

Nakhleh, M. B., & Mitchell, R. C.(1993), "Concept learning versus problem solving: There is a difference," *Journal of Chemical Education,* 70(3), 190~192.

Niaz, M.(1994), "From quantitative to qualitative: A better understanding of the behaviour of gases?," *School Science Review,* 76(274), 87~88.

Niaz, M.(1995), "Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student abiltiy to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation," *Science Education,* 79(1), 19~36.

Niaz, M., & Robinson, W. R.(1991), *Teaching algorithmic problem solving or conceptual understanding: Role of developmental level, mental capacity, and cognitive style,* Paper presented at the 64th annual conference of the NARST, Wisconsin.

Novick, S., & Nussbaum, J.(1981), "Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study," *Science Education*, 65(2), 187~196.

Nurrenbern, S. C., & Pickering. M.(1987), "Concept learning versus problem solving: Is there a difference?," *Journal of Chemical Education,* 64(6), 508~510.

Pereira, M. P., & Pestana, M. E. M. P.(1991), "Pupils' representations of models of water," *International Journal of Science Education,* 13(3), 313~319.

Pickering. M.(1990), "Further studies on concept learning versus problem solving," *Journal of Chemical Education,* 67(3), 254~255.

Reif, F.(1983), "How can Chemists teach problem solving," *Journal of Chemical Education,* 60(11), 948~953.

Sawrey, B. A.(1990), "Concept learning versus problem solving: Revisited," *Journal of Chemical Education*, 67(3), 253~254.

Simpson, W. D., & Marek, E. A.(1988), "Understanding and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools," *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 361~374.

Van Heuvelen, A.(1991), "Overview, case study physics," *American Journal of Physics*, 59(10), 898~907.

Westbrook, S. L., & Marek, E. A.(1991), "A cross-age study of understanding of the concept of difficulties," *Journal of Research in Science Teaching,* 28(8), 649~660.

Yarroch, W. L.(1985), "Student understanding of chemical equation balancing," *Journal of Research in Science Teaching,* 22(5), 449~459.

<Abstract>

Conceptions of Gases and Stoichiometry Held by the Awardees at the National Mathematics-Science Competitions(Chemistry)

Noh, Taehee and Lim, Heejun
(Department of Chemistry Education)

Conceptual understanding about stoichiometry, gas laws, and diffusion of 56 middle and high school students, who were awarded at the chemistry division of the 6th National Mathematics-Science Competitions and participated in a summer school of Korean Chemical Society, was studied with five essay type questions and their corresponding multiple choice questions. Misconceptions and the characteristics of problem solving approaches were identified. Students had fairly good understanding on stoichiometry, but exhibited many misconceptions on gas laws and diffusion. Their success rate in the multiple choice question regarding gas laws was less than 70%. For the multiple choice question regarding diffusion, the success rate was significantly lower than that of the corresponding essay type question, and a negative relationship between grade and success rate was observed. Although students often used college level chemistry concepts and algorithmic problem solving to answer these conceptual questions on basic chemistry concepts, many concepts and formulas used were not consistently and hierarchically related to the basic concepts.