

화학양론과 기체 상태에 대한 중·고등학생의 개념 이해도 비교

노태희 · 임희준 · 우규환

(서울대학교)

(1995년 8월 23일 받음)

I. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

화학은 물리, 생물 개념과는 달리 최소한 초기 형식적 조작 수준의 사고를 요하는 추상적 개념인 물질의 입자성을 기본 개념으로 하는 과학이다. 또한 대부분의 화학 개념은 원자와 분자에 대한 개념없이 이해할 수 없다(Shayer & Adey, 1981). 한편, 복잡하고 익숙하지 않은 새로운 문제를 접하게 될 때, 문제의 기초가 되는 개념에 대한 올바른 이해는 문제 해결의 필수조건으로서, 입자적 관점에서 문제 상황을 이해하고 정성적으로 문제를 진술하는 것이 화학 문제 해결 능력을 증진시킨다고 일부 연구자들은 주장한다(Reif, 1983; Gabel, Samuel, & Hunn, 1987; Lythcott, 1990; Niaz, 1995).

그러나 전통적으로 화학 과목에서는 개념 이해보다 연산을 사용하는 수리 문제 해결이 중요한 행동 목표로 강조되어 왔다(Niaz, 1995). 대부분의 고등학교 화학 및 대학 일반 화학 교육 과정은 의례적인 연산을 사용하여 계산 문제를 해결하는 것을 강조하며(Nurtenbern & Pickering, 1987), 화학 교과서에서도 정성적 관계나 개념의 사용이 차지하는 부분은 극히 적다(de Berg, 1989; de Berg & Treagust, 1993). 또한 학생들의 성취도 역시 계산 문제를 해결하는 능력에 의해서 주로 평가된다고 보고된다(Krajcik & Haney, 1987). 우리나라의 경우도 미시적 관점의 화학 내용이 국민 학교에서 도입되어, 중학교에서는 주로 원자, 분자 모델을

통하여 화학 현상이 설명되지만 화학이 하나의 독자적인 과목으로 자리를 잡고 있는 고등학교에서는 현상에 대한 정성적인 기술보다는 정량적인 내용이 차지하는 비율이 많아질 뿐 아니라 매우 강조된다.

그러나, 외국의 여러 연구 결과들은 이와 같은 정량적인 내용 중심의 학습에 따른 수리 문제의 해결이 그와 관련된 정성적인 내용의 이해를 전제하지는 않는다고 보고하였다(Gabel, Sherwood, & Enochs, 1984; Yaroch, 1985; Nurtenbern & Pickering, 1987; Pickering, 1990; Sawrey, 1990; Niaz & Robinson, 1991; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Niaz, 1994, 1995). 또한 우리나라 고등학생들도 수리 문제의 바탕에 있는 개념에 대한 이해없이 단지 연산을 통하여 정량적인 문제를 해결하는 경향이 많으며, 전반적으로 수리 문제 해결력에 비하여 개념 이해도가 낮은 것으로 나타났다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995). 특히 화학양론이나 기체 법칙 등은 그 기본 개념이 중학교에서부터 다루어짐에도 불구하고 고등학교에서 처음 도입되는 수리적 내용에 비하여 성취도가 낮았다. 그러나 미국 대학생들의 결과와 비교할 때, 우리나라 고등학생들은 수리 문제(algorithmic problem)와 개념문제(conceptual problem) 성취도 사이의 격차가 크지 않았다.

이에 본 연구에서는 교수 내용이 다른 중학생과 고등학생의 개념 이해 정도를 비교함으로써, 선행 연구(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)에서 나타난 고등학생의 수리 문제와 개념 문제간의 성취도 차이에 대한 원인을 알아보고, 고등학교에서 행해지는 수리 중심의 교수가 학생들의

이 논문은 1995년도 서울대학교 발전기금 한국타이어 학술연구비에 의하여 수행된 연구 결과의 일부임

개념 이해에 어떠한 영향을 주고 있는지를 밝히고자 한다.

2. 연구의 내용

본 연구에서는 수리적인 내용이 거의 없이 입자적 관점의 개념이 도입되는 중학교와 정량적인 내용이 매우 강조되기 시작하는 고등학교 학생들의 개념 이해 정도를 비교하였다. 비교한 개념들은 화학양론, 기체 법칙, 확산으로, 선행 연구(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)에서 검사 도구로 사용한 '화학 문제 해결 검사(Chemistry Problem Solving Test: CPST)'의 개념 문제 중 중학교에서부터 다루어지는 내용만을 선정하여 연구를 실시하였다. 중·고등학생의 개념 이해 정도를 비교하기 위하여 먼저 CPST의 문제를 그대로 취한 객관식 검사를 통하여 학생들의 성취도를 비교하였고, 이어서 이를 변형한 주관식 검사를 통하여 학생들의 응답 유형을 자세히 비교, 분석하였다.

3. 선행 연구의 고찰

수리 문제 해결력과 개념 이해도 사이의 불일치는 여러 연구에서 밝혀졌다(Gabel, Sherwood, & Enochs, 1984; Yaroch, 1985; Nurrenbern & Pickering, 1987; Pickering, 1990; Sawrey, 1990; Niaz & Robinson, 1991; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Niaz, 1994, 1995). 이들은 학생들이 수리 문제를 개념 문제보다 유의미하게 더 잘 해결한다고 보고하였다. Nurrenbern과 Pickering(1987)은 일반화학을 수강하는 대학생들을 대상으로 기체 법칙과 화학양론에 대하여 그림으로 제시된 개념 문제와 전통적인 수리 문제에서의 성취도를 조사하였다. 이 대학생들은 개념 문제보다 수리 문제를 유의미하게 더 잘 해결하였다. 상·하위 27% 학생에 대하여 이를 조사한 Sawrey(1990)의 연구에서도 동일한 결과를 얻었다. 또한 학생들은 개념 문제보다 수리 문제에 대한 자신의 응답에 더 확신을 갖는 것으로 보고되었다(Nakhleh & Mitchell, 1993). Niaz(1995)는 물, 기체, 용액, 광전 효과 등에서도 학생들의 개념 이해도와 수리 문제 해결력 사이에는 큰 차이가 있음을 밝히고, 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 고등학생도 개념 이해없이 수리적으로만

문제를 해결하는 학생이 많은 것으로 나타났다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995).

또한 학생들의 화학 개념을 조사한 연구들은 학생들이 여러가지 화학 개념에 대하여 많은 오개념을 가지고 있다고 보고하였다. 이 중 기체 상태를 비롯한 분자 운동에 대한 연구가 특히 많이 행해졌는데, 우리나라 국민학교 5학년부터 중학교 3학년까지 학생들의 개념을 조사한 결과에 의하면 가열/냉각 현상을 분자 운동의 관점으로 파악하는 학생은 학년이 올라감에 따라 증가하지만, 분자가 균일하게 분포한다고 보는 학생의 비율은 학년이 올라감에 따라 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 또한 이를 공기의 이동 또는 분자수의 변화로 파악하는 학생들이 전반적으로 많으며, 가열 후 부피가 늘어나는 쪽으로 공기가 이동한다고 생각하는 오인이 강화되는 것으로 나타났다(박שמی, 1990). 고등학교 2학년 이과계열 학생들의 경우에도 원자 자체의 성질에 관한 문제와 기체 분자 운동에 관한 문항의 정답률이 10-20% 정도에 그치고 있는 것으로 보고되었다(고숙영, 1994).

Novick과 Nussbaum(1981)은 미국과 이스라엘의 국민학생(5-6학년)부터 대학생까지를 대상으로 기체 상태에 대한 이해를 조사하였다. 이 연구는 학년이 올라감에 따라 물질의 입자성을 알고 있는 학생의 비율은 전반적으로 증가하는 경향을 보이지만, 고학년에서도 많은 학생들이 물질은 연속적(continuous)이며 정적(static)인 것으로 인식하고 있으며 물질의 입자성에 대한 개념에 일관성이 없음을 밝히고 있다. Benson과 Wittrock, Baur(1993)는 이들의 연구를 확장하여, 국민학교 2학년부터 대학생까지를 대상으로 공기의 분포에 대한 개념을 조사하였다. 그 결과, 물질을 입자적 관점에서 이해하고 있는 학생 비율은 국민학교 2-4학년의 경우 8%에서 대학생의 경우 85%까지로 점점 증가하며, 입자들 사이에 빈 공간이 존재한다는 것까지 인식하고 있는 학생은 각각 1%에서 64%사이로 이르며, 오개념 보유 정도와 학년 사이에는 유의미한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

화학양론에 관한 학생들의 개념 이해를 조사한 연구는 많지 않으나, 화학 반응식에서 계수의 의미를 올바르게 이해하고 있거나 계수물 입자 또는 몰개념의 관점에서 올바르게 진술하는 학생은 적은 것으로 보고되었다. 그리고 학생들은 화학 반응식을 그림으로 올바르게 표현하는 것에서도 많은 어려움을 느끼는 것으로 나타났다(Yaroch, 1985; Lythcott, 1990). Friedel과 Maloney(1992)도 일반화학을 수강하는 많은 대학생들이 화학식에서 첨자가 의미하는 바를 제대로 이

해하지 못하고 있음을 밝혔다.

Simpson과 Marek(1988)은 50% 정도의 고등학생들이 확산 개념을 전혀 이해하지 못하고 있다고 지적하였다. Westbrook과 Marek(1991)은 7학년, 10학년, 대학생들의 확산 개념에 대한 이해를 조사하였는데, 대상 학생 중 확산 개념을 완전히 이해하고 있는 학생은 단 한 명도 없었으며, 학년간에도 유의미한 차이가 없었다. 또한 10학년 학생과 대학생의 경우 60% 이상, 그리고 7학년 학생의 경우 55%에 해당하는 학생이 확산 현상과 관련하여 오개념을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 고등학교 1, 2, 3학년 학생들을 대상으로 확산에 대한 개념 유형과 이해 정도를 조사한 조정일과 이현욱(1994)은 확산 현상에 관하여 분자 운동 또는 농도/농도차를 정확하게 언급한 학생은 전체의 14% 정도였고, 균일한 분포를 언급한 학생은 8%에 그치고 있다고 보고하였다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 일반고 이과계열 2학년 여학생 128명, 중학교 2학년 여학생 134명이었다. 특히, 본 연구에서는 중·고등학교의 수업이나 교과서 내용이 학생들의 개념 이해에 미치는 영향을 알아보고자 하였으므로, 학습의 양이나 강조되는 교수 내용은 다르지만 기대되는 학습 능력은 비교적 비슷하다고 할 수 있는 중·고등학생만을 비교함으로써 이에 대한 타당한 결과를 얻고자 하였다. 따라서 연구 대상 중 중학생의 경우, 일단 학급 전체(194명)를 대상으로 검사를 실시하여 이 중 인문계 고등학교 진학이 가능하다고 예측되는 학생의 답안만을 선정하여 결과를 분석하였다. 이때, 대상 중학생은 각 학교의 전학년도 진학률과 학생의 학교 성적을 기준으로 선정하였다. 따라서, 본 연구의 결과는 모든 중·고등학생의 결과로 일반화될 수 없다.

2. 검사 도구

중학생과 고등학생의 개념 이해도를 비교하기 위하여 주관식 검사와 객관식 검사를 각각 실시하였다. 두 유형의 검사는 문제의 내용은 동일하고 형식만 다른 것으로, 선행 연구(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)에서 사용된 CPST 중에서 중학교에서부터 다루어지며 주관식으로 변

형이 가능한 5개의 개념 문제-「화학양론 1」, 「화학양론 2」, 「기체 법칙 1」, 「기체 법칙 2」, 「확산」-만으로 구성되었다.

객관식 검사는 CPST와 동일한 문제로 분자 수준(molecular level)의 그림으로 제시된 5지 선다형의 문제로 구성되었다. 즉, 「화학양론 1」과 「기체 법칙 1」은 Nakhleh와 Mitchell(1993)의 논문에서, 「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 사용하였으며, 「확산」은 서울대학교 화학교육연구실에서 만들었다. 이들 5문제는 3명의 과학교육과 대학원생이 검토하고, 과학교육에서 2명, 교육측정에서 1명, 화학에서 1명의 교수로 구성된 위원회(panel)에서 검토한 후, 예비 검사를 거쳐 수정하여 다시 화학교육과 교수 2명, 고등학교 화학 교사 2명, 중학교 과학 교사 1명이 안면 타당도(face validity)를 검토한 것이다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995).

주관식 검사는 객관식 검사를 변형한 것으로 화학 반응 후 또는 물리적 변화 후의 상태를 입자 수준의 그림으로 표현하고 그에 대한 설명을 쓰도록 되어 있다. 이 문제들은 과학교육과 대학원생 3명이 검토한 후, 중·고등학생을 대상으로 예비 검사를 실시하였다.

3. 검사 절차 및 분석 방법

검사는 정규 수업 시간에 실시되었다. 동일한 학생들에게 먼저 주관식 검사를 실시하고 답안지를 모두 회수한 후, 곧바로 객관식 검사를 실시하였다. 주관식 검사에는 30분, 객관식 검사에는 10분을 할애했다.

주관식 검사에 대해서는 학생들의 설명을 참조하여 그림을 중심으로 응답을 분석하였다. 먼저 최대한 상세하게 학생들의 응답 분류틀을 만들고, 두 명의 분석자가 중·고 각 1학급의 답안으로 응답 분석을 연습하고 토론을 거쳐서 세부 분류틀(각 문제마다 약 20개의 유형)을 정하였다. 그리고 이 세부 분류틀을 토대로 중학교에서 15명, 고등학교에서 15명의 답안을 대상으로 답안 분석의 일치도(inter-coder agreement)를 구하였다. 분석의 일치도는 0.925였다. 이를 확인한 후, 동일한 개념으로 볼 수 있는 것은 하나의 범주로 묶어서 일정 수준 이상의 응답률을 보이는 것을 각각 하나의 항목으로 분류하고 응답률이 낮은 응답들은 함께 모아서

'기타'로 분류하였다. 그리고 주관식 문제가 객관식 문제와 동일한 내용의 문제임을 고려하여, 학생들의 응답률과 무관하게 객관식 문제에서 제시되었던 답부(options)를 각각 하나의 항목으로 놓았다. 이와 같이 최종 응답 분류를(각 문제마다 약 7-10개의 유형)을 확정 한 다음, 나머지 학생들의 답안은 1명의 분석자가 분석하였다. 객관식 검사에 대해서는 SPSS 통계 패키지를 사용하여 평균, 표준편차 등을 구하고 t-test를 실시하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 주관식 검사를 통한 중·고등학생의 개념 이해도 비교

객관식 문제에서 제시된 답부(options)를 포함한 학생들의 응답 유형과 각 유형에 대한 중·고등학생의 응답률을 제시하고, 학생들이 쓴 응답 설명의 예와 이에 대한 해석을 첨부하였다(표 1-표 5). 유형 (1)에서 유형 (5)까지는 객관식 문제의 답부(options)에 제시된 유형이고, 나머지는 이 답부 이외의 학생들의 응답이다.

「화학양론 1」은 주어진 화학 반응식과 반응 전 상태를 고려하여 반응 후의 생성물과 남은 물질을 표현하도록 한 문제로, <그림 1>과 <표 1>에 문제와 그 결과를 각각 제시하였다.

황과 산소가 반응하는 화학반응식은 $2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_3$ 이다. 밀폐된 상자 안에 S(■)와 $O_2(\circ\circ)$ 의 혼합물이 아래에 주어진 그림 1과 같이 들어 있다.

완전히 반응한 후의 혼합물의 상태를 <그림 2>에 정확하게 그려라.



그림 1
(반응 전)

그림 2
(반응 후)

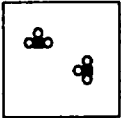
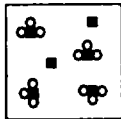
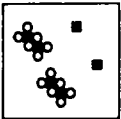
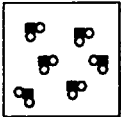
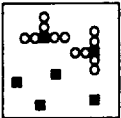
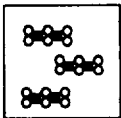
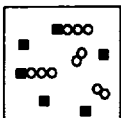
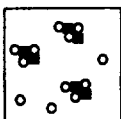
<그림 1> 「화학양론 1」 문제

응답 유형을 분석한 결과, 화학양론에 대한 학생들의 잘못된 이해는 화학 반응식에 대한 이해 부족, 계수와 첨자에 대한 이해 부족, 그리고 원자·분자에 대한 이해 부족 등에 기인하고 있었다. 그리고 「화학양론 1」에서는 전반적으로 객관식에서 제시된 답부 이외의 응답이 많은 비율을 차지하였다. 고등학생의 경우 응답 비율이 가장 높았던 것은 정답인 유형 (5)로, 주관식 검사에서도 이처럼 정답률이 높

<표 1> 「화학양론 1」에 대한 학생들의 응답 분석(%)

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
1		0.0	0.0		
2		0.0	0.8		
3		0.7	3.9	$2S+3O_2 \rightarrow 2SO_3$ 는 $S+3/2O_2 \rightarrow SO_3$ 와 같다. S가 1개 반응할 때 O_2 가 3/2개 반응한다는 말이다.	주어진 화학 반응식은 제대로 파악하고 있으나, 반응에서의 제한 물질(limiting reagent)과 남은 물질을 고려하지 못한다.

<표 1>의 연속

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
4		6.0	1.6		화학 반응식에 주어진 계수만큼만 반응이 일어난다고 생각한다.
5		20.5 (p < .01)	46.8	S 분자 2개와 O ₂ 분자 3개가 반응하면 SO ₃ 분자 2개가 생성된다. S 분자 4개와 O ₂ 분자 6개가 반응하여 SO ₃ 분자 4개를 만들고 S 분자 2개가 남는다.	화학 반응식을 제대로 이해하고 있으며 반응에서의 제한 물질과 남은 물질도 파악하고 있다.
6		11.9	25.0	황과 산소 분자가 2:3의 비로 결합하여 2SO ₃ 분자를 만든다.	화학 반응식에 대한 오개념으로 생성물이 2SO ₃ 로 제시된 것을 2SO ₃ 라는 분자가 만들어지는 것으로 인식한다.
7		23.1	5.5	반응 전에는 S와 O ₂ 가 분리되어 있었으나 반응 후에는 S와 O ₂ 가 서로 붙었다.	화학 반응식과 무관하게, 떨어져 있던 두 물질이 서로 결합한다고 생각한다.
8		2.2	1.6	황과 산소의 분자량의 비는 2:3:2이기 때문에 황 1개당 산소가 3개씩 결합해야 한다.	원자, 분자에 대한 이해 부족으로, SO ₃ 의 O를 반응 전 물질인 산소 분자로 생각한다.
9		3.7	3.2		제한 물질을 고려하지 않았으며 생성물을 2SO ₃ 분자로 잘못 이해하고 있다.
10		6.0	0.0	반응 전 원소 2S와 3O ₂ 가 반응하여 2SO ₃ 가 된 것은 나머지 원소는 그대로 있고 S 원소 1개와 O 원소 3개가 합해진 분자가 2개 있다는 것이다.	화학 반응식에 쓰여 있는 만큼의 반응만 일어난다고 생각한다. 반응식이 반응물과 생성물의 반응비로 표현됨을 인식하지 못한다.
11		7.5	0.0	화학 반응식에 2SO ₃ 라고 써 있었기 때문에 황(S) 2개에 산소(O) 3개를 그렸다	계수와 첨자에 대한 이해가 없는 것으로 2SO ₃ 를 S 2개와 O 3개로 파악한다.
기타		12.7	7.8		
무응답		6.0	4.7		

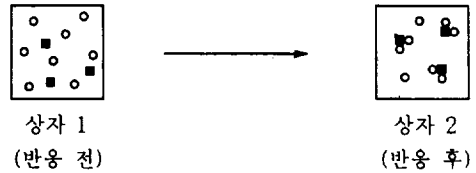
* 정답

있던 것(46.8%)은 「화학양론 1」과 관련된 개념에 대한 학생들의 이해가 비교적 안정적이며 올바르다는 것을 보여준다. 반면에 선정된 중학생들 중에서 옳은 응답을 한 학생은 20.5%로, 고등학생에 비하여 정답률이 낮았으며 이 차이는 유의수준 0.01 이하에서 통계적으로 유의미하였다. 중학생들은 고등학생에 비하여 많은 오개념을 가지고 있었다. 또한 고등학생의 경우에는 유형 (6)과 같이 화학 반응식에 주어진 대로 $2SO_3$ 라는 분자가 만들어진다고 응답한 학생들이 많았던 반면 중학생의 경우에는 유형 (7)과 같이 처음에 주어진 두 물질이 단순히 결합한다고 생각하는 학생들이 많았는데, 이것 역시 중학생들은 아직 화학 반응에 대한 개념이 많이 부족함을 보여주는 것이다.

「화학양론 2」는 입자로 표현된 화학 반응에 대한 화학 반응식을 기술하는 문제였다(그림 2). 이 문제에서는 학생들이 쓴 화학 반응식을 중심으로 응답 유형을 분석하였는데, 학생들의 설명은 자신이 쓴 화학 반응식 이상이 아니었

기 때문에 학생들의 설명 예는 생략하였다(표 2).

아래 그림은 원소 X(■)와 원소 Y(○)의 반응을 나타낸 것이다. 상자 1은 반응 전 상태를, 상자 2는 반응 후 상태를 나타낸다.



이 반응의 화학 반응식을 써라.

<그림 2> 「화학양론 2」 문제

<표 2> 「화학양론 2」에 대한 학생들의 응답 분석(%)

번호	응답 유형	중	고	응답 해석
1	$3X + 8Y \rightarrow X_3Y_8$	0.0	0.0	
2	$3X + 6Y \rightarrow X_3Y_6$	0.0	0.0	
3	$X + 2Y \rightarrow XY_2$	13.4	54.7	반응물과 생성물의 비율로 화학 반응식을 나타낸 것으로, 주어진 반응을 제대로 이해하고 있을 뿐 아니라, 화학 반응식의 의미도 제대로 알고 있다.
4	$3X + 8Y \rightarrow 3XY_2 + 2Y$	6.7	13.3	반응에서 남는 물질까지를 포함하여 반응에 주어진 모든 물질을 있는 그대로 표현하였다. 화학 반응식의 계수가 반응에 참여하는 물질들의 비율 표현한다는 것을 모르고 있다.
5	$X + 4Y \rightarrow XY_2$	0.0	0.0	
6	$3X + 6Y \rightarrow 3XY_2$	5.2	7.8	화학 반응식이 반응에 참여하는 반응물과 생성물만을 포함한다는 것은 알고 있으나, 반응식의 계수가 이들 사이의 비율 나타냄은 이해하지 못한다.
7	$X + 2Y \rightarrow X_2Y$	9.0	0.0	중학생에서 주로 나타나는 응답으로, 화학 반응식은 이해하고 있으나 계수와 첨자에 대한 이해가 부족하다.
기타		44.8	19.5	
무응답		20.9	4.7	

* 정답

고등학생은 정답인 유형 (3)에 대한 응답 비율이 54.7%로 비교적 정답률이 높았던 반면에 선정된 중학생의 정답률은 13.4%로 매우 낮았으며 이 차이는 통계적으로 유의미하였다(유의수준 0.01 이하). 그리고 중·고등학생 모두 '기타'에 해당하는 응답이 많았는데 이는 학생들이 화학 반응식에 대해서 가지고 있는 오개념 유형이 매우 다양함을 보여준다. 특히, 중학생의 경우에는 '기타'에 해당하는 응답이 40% 이상으로 분류하기조차 어려운 응답들이 많았다. 이것은 중학생에게는 화학 반응식을 배우는 데 많은 시간이 할당되지 않거나 아주 초보적인 개념만 도입된다는 이유 등으로 파악할 수 있다.

「기체 법칙 1」은 냉각 후 강철 탱크 안의 기체 분포에 대한 것으로(그림 3), 이 문제에서의 학생 응답 유형은 객관식 답부를 포함하여 8가지 유형으로 분류되었다(표 3).

20℃, 3기압에서 수소 기체로 가득 차 있는 꼭 닫힌 강철 탱크가 있다. 이것의 온도를 -5℃로 낮추었다. 20℃에서 강철 탱크 안에 들어 있는 수소 기체의 분포를 그림 1에 나타내었다. -5℃에서의 강철 탱크와 수소 기체의 분포를 그림 2에 그려라.

(수소의 기준 끓는점은 -252.8℃이다.)

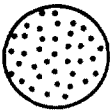

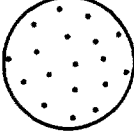


<그림 3> 「기체 법칙 1」 문제

<표 3> 「기체 법칙 1」에 대한 학생들의 응답 분석(%)

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
1		24.6 (p < .01)	11.7	강철 탱크라서 찌그러지지도 못하고 일정한 부피 안에 일정량의 분자수를 가지고 있어서 실제로 아무 변화가 없으며, 끓는점이 -252.8℃이기 때문에 수소 기체가 액체가 되는 일도 없다.	일정한 부피를 차지하는 용기 안에 들어 있는 기체는 운동 속도가 감소하더라도 그 용기 안에서의 분포는 균일함을 이해하고 있다.
2		14.2	41.4	온도가 20℃에서 -5℃로 낮아지니까 운동 에너지가 감소하고 따라서 기체들의 움직임이 느려진다. 기체들끼리의 간격이 좁아진다.	기체에서는 온도와 부피가 비례하므로, 온도가 내려갔기 때문에 기체의 부피가 줄어든다는 응답이다.
3		0.7	4.7		온도가 낮아져서 운동이 줄어들어 기체가 바닥에 가라앉는다는 응답이다.
4		2.2	1.6		기체가 모두 강철 탱크의 기벽으로 모인다는 응답이다.
5		2.2	3.9	온도가 낮아지면 기체의 운동 에너지가 낮아지므로 온도가 높을 때보다는 활발하지 못하다. 강철 탱크도 온도를 낮춰주면 부피가 줄어든다. 그리고 기체는 항상 고르게 분포한다.	탱크의 부피가 줄어든다는 것으로 고체는 온도 변화에 덜 민감하다는 것과 탱크의 내부압이 3기압임을 고려하지 않았다.

<표 3>의 연속

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
6		2.2	5.5	같은 기압에서 온도가 낮아졌으므로 기체의 움직임이 덜 활발하다. 즉, 기체 간의 간격이 좁아진다.	온도가 낮아짐에 따라 용기 내의 분자수가 많아진다는 응답이다. 온도의 변화를 분자수의 변화와 관련있는 것으로 파악하고 있다.
7		1.5	10.9	온도가 낮아졌으므로 기체의 운동 속도가 느려졌고 이로 인해 분자 간의 거리가 좁혀져서 부피가 줄어들었다. 또 압력이 낮아졌으므로 강철 탱크는 찌그러든다.	유형 (5)와 유사한 응답으로 용기가 강철 탱크이므로 줄어들지 않고 찌그러들 것이라고 응답한 것이다.
8		10.4	0.8	기체의 간격이 좀 더 넓어질 것 같다. 끓는점에서 기체의 분자 운동이 가장 활발히 이루어 지는데 끓는점은 -252.8°C 이므로 20°C 보다 -5°C 가 보다 끓는점에 가까워졌으므로 사이가 좀더 넓어지고 좀더 활발해진다.	중학생에서 주로 나타난 응답으로 끓는점에 대하여 잘못 이해하고 있다.
기타		18.7	14.1		
무응답		23.1	5.5		

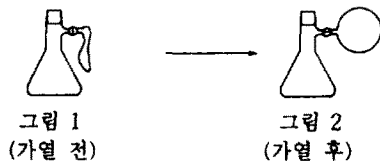
* 정답

정답인 유형 (1)에 대한 고등학생의 응답률은 11.7%인데 반하여, 선정된 중학생의 응답률은 24.6%로 중학생의 성취도가 오히려 높았다. 이 차이 역시 유의수준 0.01 이하에서 통계적으로 유의미하였다. 고등학생의 경우에는 강철 탱크 안에 있는 기체의 부피가 줄어든다(유형 (2))고 응답한 학생이 가장 많았으며, 중학생의 경우에는 유형 (2)와 함께 유형 (8)의 응답률이 높았다. 유형 (8)은 끓는점이 일상적으로 액체가 가질 수 있는 가장 높은 온도라는 것을 기체에 그대로 적용한 것으로, 온도와 부피와의 관계를 반대로 인식하고 있다기 보다는 끓는점에 대한 잘못된 인식에서 나온 결과라고 볼 수 있다. 「기체 법칙 1」에서의 학생들의 응답 결과는 전반적으로 기체에 대한 학생들의 이해가 부족하며, 특히 중학생보다 고등학생이 기체의 입자적 성질에 대한 이해가 부족함을 보여준다. 그러나 대부분의 학생들이 온도가 낮아지면 운동 속도가 감소하고 분자간의 간격이 줄어들며 부피가 줄어든다는 거시적인 관점에서의 이해는 하고 있음을 알 수 있다. 이는 기체 상태에 관한 학생들의 이해가 부

족한 부분은 주로 입자적 수준에서임을 말해준다.

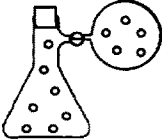
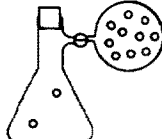
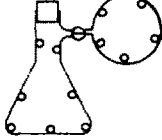
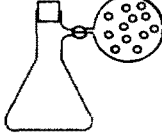
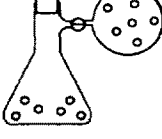
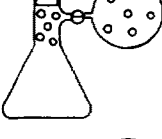

「기체 법칙 2」는 가열 후 기체 입자의 상태를 묻는 것으로(그림 4), 학생들의 응답 유형은 크게 7가지로 분류되었다(표 4).

그림 1과 같이 산소 기체가 들어 있는 플라스크에 고무 풍선을 매달았다. 조절 마개를 연 후 플라스크를 가열하였더니 고무 풍선이 팽창하였다. 기체를 볼 수 있다고 가정하고, 가열한 후 기체의 분포를 그림 2에 그려라.



<그림 4> 「기체 법칙 2」 문제

<표 4> 「기체 법칙 2」에 대한 학생들의 응답 분석(%)

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
1		31.3	42.2	온도가 올라감에 따라 기체 분자 에너지가 증가하므로 압력도 증가하여 풍선이 부풀어 오른다. 가열해도 분자수는 변하지 않으므로 풍선이 늘어난 것만큼 밀도는 낮아지고 기체는 고르게 분포한다.	가열한 결과 부피가 늘어나지만 그 안의 기체 분포는 균일하다는 것이다.
2		5.2	3.9	기체 분자는 열을 받으면 운동이 활발해져서 고무 풍선 속에서 풍선벽을 친다. 따라서 풍선 속 압력은 점점 더 올라가게 되고, 기체는 풍선 안쪽에 많이 몰려 있고 자유롭게 분포하고 있다.	가열을 공기 이동의 관점에서 파악하는 것으로 가열 결과 대부분의 기체가 풍선으로 이동한다고 생각한다.
3		1.5	0.8		기체가 벽쪽으로 압력을 가하고 있다는 생각의 극단으로 기체들이 용기 벽에 바짝 붙어 있다고 표현한 것이다.
4		32.8	15.6	플라스크를 가열하니 기체는 위로 올라가려는 성질과 함께 운동이 활발해지므로 플라스크의 기체가 거의 고무 풍선으로 옮겨갔을 것이다.	가열 결과, 기체가 풍선으로 완전히 이동한다고 생각한다.
5		0.0	0.8		일부 기체는 풍선쪽으로 이동하고 플라스크에 남아 있는 기체는 바닥에 가라앉아 있음을 나타낸다.
6		4.5	10.9	잠금쇠를 풀면 압력이 높은 곳에 있던 기체는 압력이 적은 풍선 안으로 들어가게 되며, 가열을 했으므로 가벼워진 산소 기체가 위로 상승하여 압력이 낮은 풍선 속으로 들어가게 된다.	가열하면 기체가 상승한다는 것과 물질은 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다는 생각에서 나온 응답이다.
7		8.2	10.2		위로 상승한 기체가 풍선 벽쪽에 계속 압력을 가한다는 생각에서 나온 응답이다.
기타		11.2	7.8		
무응답		5.2	7.8		

* 정답

「기체 법칙 2」에서 선정된 중학생과 고등학생의 정답률은 각각 31.3%, 42.2%였다. 이 문제에서는 고등학생의 정답률이 중학생보다 높기는 하지만 그 차이가 통계적으로 유의미하지는 않았다. 그리고 「기체 법칙 1」과 비교해 볼 때, 학생들은 냉각 현상보다 가열 현상에서 물질의 입자성을 더 올바르게 이해하고 있음을 알 수 있다. 학생들의 나머지 응답 유형은 모두 온도의 상승에 의한 기체 분자의 상승 이동의 관점으로 볼 수 있었다. 학생들은 냉각에서와 마찬가지로 기체에 대한 거시적 관점의 이해는 비교적 올바르게 하고 있었으나, 이러한 거시적 관점을 미시적인 입자계에 그대로 적용함으로써 이러한 오개념을 갖게 되는 것으로 해석된다(박성미, 1990; Driver, 1985).

「확산」은 분자량에 따른 확산 속도의 차이에 관한 것으로(그림 5), 객관식 답부를 포함한 학생들의 응답 유형과 결과들을 <표 5>에 제시하였다.

두 상자가 조절마개로 닫혀진 파이프로 연결되어 있다. 두 상자의 기압은 모두 1기압이다. 아래의 그림 1과 같이 상자 A는 SO_2 (●), CH_4 (■), H_2 (○)의 혼합 기체로 채워져 있고, 상자 B는 H_2 (○)로 채워져 있다. 조절마개를 연 후 1시간이 경과하는 순간 두 상자 안의 기체 분포는 균일해진다. 아래의 그림 2에 30분이 지났을 때의 분자 분포를 그려라.

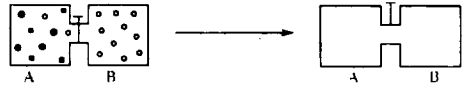


그림 1
(처음 상태)

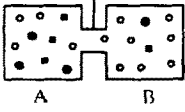
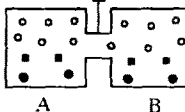
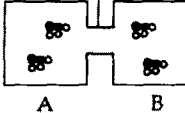
그림 2
(30분 후)

<그림 5> 「확산」 문제

<표 5> 「확산」에 대한 학생들의 응답 분석(%)

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
1		1.5	0.8		
2		6.7	18.8	같은 압력 같은 크기의 공간에서 기체는 균일한 양을 갖는다. 마개가 열리는 순간 H_2 는 왼쪽으로 SO_2 와 CH_4 는 오른쪽으로 각각 이동하여 균일하게 된다.	기체는 균일하게 분포한다는 것에만 주목하여 균일하게 되는 과정 즉, 확산 속도와 분자량의 관계를 고려하지 않았다.
3		1.5	4.7		
4		36.8 ($p < .05$)	25.6	원자의 질량이 작을수록 확산 속도가 빠르다. 따라서 SO_2 의 확산 속도가 가장 느리고 그 다음은 CH_4 이고 H_2 의 속도가 가장 빠르다.	그레이엄의 법칙에 따라 확산 속도와 분자량이 반비례 관계에 있음을 인식하고 있다.

<표 5>의 연속

번호	응답 유형	중	고	학생 응답의 예	응답 해석
5		2.2	31.3	두 상자의 기압은 같고 같은 성질의 기체는 같은 속도로 운동을 할 것이다. 1시간 경과 후에는 기체 분포가 균일해지므로 30분 경과 후는 반만 균일하게 될 것이다.	확산 속도와 분자량 사이의 관계는 고려하지 않고 기체는 균일해진다는 생각과 문제에 주어진 가정을 고려하였다.
6		17.2	1.6	수소가 가장 가벼우니까 맨 위에 떠있고 그 다음 무게순으로 질소, 이산화탄소가 있다. 기체는 확산을 하기 때문에 같은 양만큼 서로 섞여 있다.	무거운 기체는 밑으로 가라앉고 가벼운 기체가 위에 있으면서 기체가 균일하게 분포하고 있음을 나타낸 것이다.
7		8.2	1.6	이산화탄소 1개, 질소 1개, 수소 3개가 결합하여 균일해진 혼합물을 생성하게 된다.	떨어져 있던 두 물질은 일단 결합한다는 생각에서 나온 답이다.
기타		12.7	11.7		
무응답		12.7	4.7		

* 정답

선정된 중학생의 정답률은 36.8%였고, 고등학생의 정답률은 25.6%로 이 문제에서도 중학생의 성취도가 고등학생보다 통계적으로 유의미하게 높았다(유의수준 0.05 이하). 고등학생에서는 30분이 경과했으므로 기체가 반정도 균일하게 분포한다(유형5)고 응답한 학생이 많았다. 많은 학생들이 확산 속도와 분자량 사이의 관계 즉, 균일한 상태가 되기까지의 확산 과정을 고려하지 않은 것으로 보인다.

주관식 문제 전체에 대하여 고등학생의 정답률은 35.9%, 중학생의 정답률은 25.4%로 유의수준 0.05 이하에서 고등학생의 정답률이 유의미하게 더 높았다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 기체 법칙 및 확산에서는 중학생의 정답률이 더 높은 것을 고려하면, 이러한 차이는 화학양론에서의 고등학생의 월등한 성취도에 기인한다고 볼 수 있다.

주관식 검사를 통하여 조사한 학생들의 응답 유형에는 객관식 답부로 제시된 것 이외의 응답이 많은 비율을 차지하고 있었다. 중학생과 고등학생 각각에 대하여 객관식 답부 내 응답 비율과 답부 외 응답 비율을 비교한 결과, 중학생의 경우 3개의 문항에서 고등학생의 경우 2개의 문항에서 객관

식 답부 내에 포함되어 있는 학생들의 개념 유형의 비율이 60% 미만이었다(표 6). 이들 문항은 「화학양론 1」, 「화학양론 2」(고등학생에서는 60% 이상), 「기체 법칙 1」로서 Nakhleh와 Mitchell(1993), Nurrenbern과 Pickering(1987)의 논문에서 취한 것이었다.

<표 6> 객관식 답부가 포함하고 있는 유형에 대한 응답 비율과 그 외의 유형에 대한 응답 비율(%)

	중학생(n=134)		고등학생(n=128)	
	답부 내 응답비율	답부 외 응답비율	답부 내 응답비율	답부 외 응답비율
화학양론 1	25.0	75.0	48.9	51.2
화학양론 2	30.4	69.6	80.1	20.0
기체법칙 1	56.3	43.7	56.1	46.4
기체법칙 2	76.6	23.4	79.2	20.9
확산	63.6	40.0	93.3	6.7

3. 객관식 검사를 통한 중학생과 고등학생의 개념 이해도 비교

각 문항에 대하여 중학생과 고등학생의 정답률을 비교하고, 이들 간의 차이가 유의미한지를 t-test를 통하여 알아보았다(표 7). 그리고 우리나라 중·고등학생의 결과와 미국 대학생들의 결과를 비교하였다.

화학양론을 제외한 나머지 문제 즉, 기체 법칙과 확산에 대해서는 선정된 중학생과 고등학생 모두 정답률이 낮았다. 주관식 검사 결과와 마찬가지로 문제 전체적으로는 고등학생의 성취도가 중학생보다 유의미하게 높았으나, 이는 내용에 따라 매우 다른 양상을 나타냈다. 화학양론에서는 고등학생의 성취도가 선정된 중학생보다 유의미하게 높았으나 「기체 법칙 1」과 「확산」에서는 오히려 중학생보다 성취도가 낮았다. 즉, 화학의 중요한 기본 개념인 기체의 입자적 성질에 대해서는 고등학생보다 오히려 정성적인 내용을 주로 배우는 중학생의 개념 이해 정도가 더 높았다. 또한 주관식 검사에서 객관식 답부 외의 응답을 한 학생들도 객관식 검사에서는 5가지로 제한된 이 답부들 내에서 응답하였음에도 불구하고 중·고등학생의 성취도 양상에는 변화가 없었다는 것은 중·고등학생에게 나타난 이러한 차이가 어느 정도 일관성있는 차이임을 의미한다. 그리고 고등학교에서 행해지는 수리 중심의 교수가 학생들의 개념 이해에는 많은 도움이 되지 못함을 시사하고 있다.

미국의 대학생과 우리나라 고등학생 및 고등학교 진학이 가능한 중학생의 성취도를 비교한 결과, 화학양론에서는 우리나라 고등학생의 성취도가 가장 높았고 미국 대학생의

성취도가 가장 낮았던 반면에, 기체 법칙과 확산에서는 미국 대학생과 우리나라의 선정된 중학생의 성취도가 비슷했으며 고등학생들의 성취도가 가장 낮았다. 결국, 고등학교 진학이 가능하다고 예상되는 우리나라 중학생들의 개념 이해 수준이 최소한 이들 문제에 있어서는 문헌에 보고된 미국 대학생보다도 높다고 말할 수 있다.

V. 결론 및 제언

1. 결 론

주관식 검사와 객관식 검사를 통한 고등학생과 고등학교 진학이 가능한 중학생의 개념 이해 정도를 비교한 결과는 대상 내용에 따라 다르게 나타났다. 객관식 검사 결과, 화학양론에서는 고등학생이 옳은 개념을 더 많이 보유하고 있는 반면에, 기체 법칙과 확산에서는 인문계 고등학교 진학이 예상되는 중학생이 옳은 개념을 더 많이 보유하고 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 고등학생이 중학생보다 개념을 더 잘 이해하고 있을 것이라는 일상적 통념을 벗어나는 것이며, 내용(content)에 따라 중학생과 고등학생의 개념 이해 정도가 상이함을 보여주고 있다.

주관식 검사를 통해 상세히 살펴본 학생들의 이해 정도에서도, 화학양론에 대한 고등학생의 개념 이해 정도는 매우 높았으며 선정된 중학생과의 격차도 유의미하게 컸다. 고등학교로 갈수록 화학 내용의 대부분이 화학 기호와 반응식 등의 상징적 표상(symbolic representation)을 통하여 제시되고 설명되기 때문에(Herron, 1990), 화학양론에 있어서 중

<표 7> 미국 대학생 및 중·고등학생의 객관식 개념 문제 정답률 비교(%)

	화학양론 1	화학양론 2	기체법칙 1	기체법칙 2	확산	평균
미국 대학생 [†]	29.0	17.5	36.4			
중학생(n=134)	55.2	33.6	35.1	32.1	35.8	38.4
고등학생(n=128)	85.9	65.6	19.5	37.5	28.1	47.4
t값	5.79**	5.45**	-2.86**	0.92	-1.34	3.63**

[†] Missouri-Kansas(Nurrenbern & Pickering, 1987)

** p < .01

학생보다 화학 학습 경험이 많은 고등학생의 성취도가 높은 것은 타당한 결과라고 할 수 있다. 또한 화학양론에서의 고등학생의 높은 성취도는 화학양론이 화학 교육과정에서 매우 강조되고 있음을 보여주는 결과이기도 하다. 기체 법칙과 확산에서는 중·고등학생의 성취도에서의 차이가 유의미하지 않거나(「기체 법칙 2」), 오히려 선정된 중학생의 성취도가 높았는데(「기체 법칙 1」, 「확산」), 이 결과는 cross-age study를 행한 다른 연구 결과와도 일치하는 것이다. 국민학교 5학년부터 중학교 3학년까지를 대상으로 분자 운동 개념을 조사한 박성미(1990)는 '균일한 점 분자 모형' 문제에 대하여 분자에 대한 수업을 받지 않는 국민학교 5학년 학생의 경우 63%, 처음으로 분자에 대하여 학습한 6학년 학생의 경우 83% 정도가 옳은 응답을 한 반면에, 중학교 2학년에 와서는 정답률이 74%로 떨어진다고 보고하였다. 가열/냉각 현상에서 분자가 균일하게 분포한다고 보는 학생의 비율도 오히려 학년이 증가함에 따라 감소한다고 보고하였다. 또한 중학교 1학년부터 고등학교 2학년까지를 대상으로 물의 상태변화에 대한 개념을 조사한 국동식(1988)의 연구에서도 고학년으로 갈수록 과학적 용어의 사용은 증가하지만 그에 수반하여 오개념의 보유 정도도 증가한다고 보고한 바 있다. 이러한 맥락에서 볼 때, 본 연구 중 기체의 입자성과 관련된 내용에서 인문계 이과계열 고등학생들의 개념 이해 정도가 고등학교 진학이 가능한 중학생보다 오히려 낮게 나타난 것은 선행 연구들의 주장과 일치하는 결과라고 할 수 있다. 또한 이들 내용의 정성적인 측면이 중학교에서 이미 대부분 다루어지고 고등학교에서는 여기에 정량적인 측면이 부가되어 강조되는 것들임을 고려할 때, 고등학교 화학 교육이 개념 이해와 무관하게 수리 문제 해결을 강조하고 있다는 것과 이러한 정량적인 내용 중심의 교육이 학생들의 개념 이해에는 크게 도움이 되고 있지 않음을 시사하고 있다. 선행 연구(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)에서 밝힌 고등학생의 수리 문제와 개념 문제 성취도 사이의 유의미한 차이도 이러한 맥락에서 해석될 수 있겠다.

화학 개념은 대부분 추상적인 개념으로서 형식적 조작 수준의 사고를 요구한다고 인식된다. 그럼에도 불구하고 인지 발달 수준이 상대적으로 낮은 중학생의 이해 정도가 높으며, 분자 수준의 그림으로 제시되는 개념 문제를 해결하는 것과 인지 발달 수준 사이에는 특별한 상관이 존재하지 않는다는 것(Niaz & Robinson, 1991)은 화학 개념의 이해가 교과서나 교수에서 강조하는 부분에 의해 보다 많은 영향을

받는다는 Pickering(1990)의 주장을 지지하는 것이다. 또한, 고등학교 진학이 가능한 우리나라 중학생의 성취도는 미국의 대학생보다 높거나 또는 거의 같은 것으로 나타났다. 선행 연구(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995)에서 우리나라 인문계 이과계열 고등학생들의 수리 문제 해결력과 개념 이해도 사이의 격차가 미국에 비하여 비교적 작았던 것은, 고등학교에서 수리적 내용이 강조되에도 불구하고 중학교에서의 개념 학습이 학생들의 개념 이해에 긍정적으로 작용하기 때문이라고 해석할 수 있다.

2. 제 언

본 연구에서는 화학양론, 기체 법칙, 확산에서 중·고등학생 모두 많은 오개념을 가지고 있으며, 일부 내용에서는 고등학생들의 개념 이해도가 정성적 내용을 중심으로 학습하는 중학생의 이해 정도보다 낮음을 밝혔다. 이는 단순히 학습량 또는 학습 내용의 증가가 화학의 기본 개념에 대한 이해를 강화시켜주지는 않음을 의미한다. 또한 개념의 이해 정도를 무시하고 강조되는 문제 해결 능력 또는 탐구 능력 신장을 위한 교육이 그 자체만으로는 큰 효과를 기대하기 어려움을 예상할 수 있다. 교사들은 본 연구에서 밝혀진 오개념들을 기초로 하여 이러한 대안 개념을 교정, 예방하도록 해야 할 것이다. 그리고 개념 변화 연구 등에서 제시되는 다양한 교수 방법을 이용하여 학생들의 개념 이해를 도울 수 있는 효과적인 수업 방법을 모색하는 노력이 요구된다. 특히 고등학교에서는 정량적인 내용뿐만 아니라 정성적인 이해를 강조함으로써, 개념 이해를 바탕으로 문제를 해결하도록 함으로써 문제 해결 능력을 배양할 수 있도록 도움을 주어야 할 것이다.

우리나라의 중·고등학생과 미국의 대학생의 성취도를 비교한 결과, 일부 내용에 있어서는 오히려 개념 이해 정도가 학년이 올라감에 따라 감소하는 현상이 나타났다. 그러므로 주요 개념에 대하여 cross-age study를 통하여 학년이 올라감에 따른 학생들의 개념 이해 정도를 체계적으로 밝히는 연구가 요구된다. 그리고 학생들의 개념 이해도를 평가하기 위한 객관식 문제는 학생들이 가지고 있는 개념 유형을 최대한 많이 포함하도록 구성되어야 한다. 이러한 방식으로 문제가 구성된다면, 객관식 검사를 통해서도 효과적으로 학생들의 개념 이해를 조사할 수 있을 것이다. 따라서 Nurrenbern과 Pickering(1987), Nakhleh(1993), Niaz(1991),

1994)의 연구는 학생들의 개념 유형을 조사한 것을 바탕으로 하여 보다 정교화한 문제로 재시도될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 고숙영(1994). 학생들의 학습 접근방식과 개념의 이해도와의 관계성 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 국동식(1988). 물의 상태 변화에 대한 중, 고등학생의 개념 형성에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 33-42.
- 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.
- 조정일, 이현옥(1994). 확산과 삼투 분자운동 모형을 활용한 수업의 개념변화에의 효과. 한국과학교육학회지, 14(3), 293-302.
- Benson, D.L., Wittrock, M.C., & Baur, M.E.(1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 587-597.
- de Berg, K.C.(1989). The emergence of quantification in the pressure-volume relationship for gases: A textbook analysis. *Science Education*, 73(2), 115-134.
- de Berg, K.C., & Treagust, D.F.(1993). The presentation of gas properties in chemistry textbooks and as reported by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 871-882.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A.(1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- 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., Samuel, K.V., & Hunn, D.(1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695-697.
- Gabel, D.L., Sherwood, R.D., & Enochs, L.(1984). Problem-solving skills on high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233.
- Herron, J.D.(1990). Research in chemical education: Results and directions. In M. Gardner, J.G. Greeno, F. Reif, A.H. Schoenfeld, A. DiSessa, & E. Stage (Eds.), *Toward a scientific practice of science education* (pp. 31-54). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- 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 ability 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 development 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.
- Pickering, M.(1990). Further studies on conceptual

- 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.
- Shayer, M., & Adey, P.(1981). *Towards a Science of Science Teaching: Cognitive Development and Curriculum Demand*. London: Heinemann Educational Books.
- 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.
- 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)

A Comparison of Middle and High School Students' Conceptual Understanding in Stoichiometry and Gas State

Taehee Noh · Heejun Lim · Kyuwghan Woo
(Seoul National University)

Middle and high school students' conceptual understanding about stoichiometry, gas laws, and diffusion was compared with essay type test and multiple choice test. Whereas achievement of high school students was higher in stoichiometry, that of middle school students who were expected to go to high schools was higher in gas laws and diffusion. When students' achievement was compared to that of American college students, Korean students' achievement was higher in stoichiometry and was similar in gas laws. These results indicate that algorithmic problem solving is more emphasized than conceptual understanding in high schools and that quantitative aspects focused in chemistry education are not helpful in concept understanding. Nevertheless relatively smaller difference between concept understanding and algorithmic problem solving for high school students in this study seems to be from concept learning in middle schools.