

물질의 입자성을 강조한 컴퓨터 보조 수업이 고등학생들의 화학 개념 이해에 미치는 효과*

노태희 · 김창민
(화학교육과)

I. 서 론

화학 교과는 물질에 대한 학문으로서, 물질의 입자성은 대부분의 화학 개념을 이해하는 데 필수적인 추상적 구인이다(Williamson & Abraham, 1995). 그러나 많은 학생들은 입자적 관점의 화학 개념을 이해하는 데 어려움을 겪고 있으며, 이로 인해 여러 화학 개념들에 대해 다양한 오개념을 가지고 있다(노태희, 임희준, 우규환, 1995; 노태희, 전경문, 김혜경, 1996; Gabel, Samuel, & Hunn, 1987; Haidar & Abraham, 1991; Novick & Nussbaum, 1981). 뿐만 아니라 수리문제 해결력과 개념문제 해결력을 비교한 연구의 결과들도 학생들의 화학 개념에 대한 이해가 매우 빈약함을 보여주고 있다(노태희, 우규환, 임희준, 서인호, 1995; Nakhleh, 1993; Nakhleh & Mitchell, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987; Pickering, 1990; Sawrey, 1990). 따라서 이러한 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 변화시킬 수 있는 교수 전략이 필요한데, 지금까지 화학 개념 이해에 대한 연구는 주로 학생들의 오개념을 기술하는 데에 초점을 맞추었으며, 개념 변화를 위한 교수 전략에 대한 연구는 비교적 적게 이루어졌다(Nakhleh, 1992).

컴퓨터는 이러한 개념 변화 교수 전략을 위한 수업 도구로 사용될 수 있다. 컴퓨터가 제공하는 3차원적인 애니메이션은 눈에 보이지 않는 미시 세계를 학생들에게 제시함으로써(Kozma, 1991), 화학에서 조사되는 많은 현상의 동적인 본성을 묘사할 수 있기 때문에 물질의 입자성에 대한 학생들의 올바른 이해를 도모할 수 있다. 특히, 컴퓨터 보조 수업(computer assisted instruction: CAI)은 학생 개인의 속도에 알맞게 학습하게 하고, 즉각적인 피드백을 통해 완전 학습의 수준까지 반복 학습을 유도하기 때문에 교육적인 활용도가 매우 높다(Magidson, 1977).

화학 교과에서 개념 이해에 대한 CAI의 교수 효과를 조사한 몇몇 연구들은 학

* 98년도 서울대학교 사범대학 발전기금 연구과제

생들의 개념이 유의미하게 향상되었다고 보고하고 있다. Williamson과 Abraham (1995)은 대학생을 대상으로 일반 화학 중 물질의 상태 단원과 화학 반응 단원에 컴퓨터 애니메이션을 사용한 결과, 화학 수업에 대한 태도와 학업 성취도 측면에서는 효과가 없었지만, 개념 이해도는 긍정적으로 향상되었다고 보고하였다. Zeidler와 McIntosh(1989)는 대학의 일반 과학 수강생을 대상으로 물질의 운동론, 물질의 상태 단원에 레이저 디스크를 이용한 애니메이션을 활용하였는데, 역시 개념 변화에 효과적이었다고 보고하였다. 그러나, 이러한 개념 변화를 위한 CAI 연구들은 대부분 대학생들을 대상으로 한 것이기 때문에 컴퓨터 조작 능력이나 사고력이 낮은 학생들을 대상으로 폭넓은 연구가 이루어질 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 물질의 동적인 입자성을 강조하는 CAI 프로그램을 개발·적용하여 CAI가 고등학생들의 개념 이해도에 미치는 효과를 조사하고, 기체 법칙에 대한 오개념을 조사하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 내용

본 연구에서는 고등학교 화학 II의 'IV. 물질의 상태와 용액' 중 '1. 기체, 액체, 고체', '2. 기체 상태' 단원에 대하여 물질의 동적인 입자성을 강조하는 CAI를 실시하여, 학생들의 개념 이해도에 미치는 교수 효과를 전통적인 강의식 수업과 비교하였다.

2년 경력의 현직 교사가 두 집단의 수업을 모두 실시하였으며, 연구자가 수업을 참관하였다. CAI 집단에서는 연구자가 직접 개발한 프로그램을 이용하여 컴퓨터 한 대당 두 명의 학생이 학습하였다. 프로그램은 물질의 입자성을 강조하는 애니메이션을 이용하여 분자의 운동을 설명하고, 마우스를 이용한 간단한 조작을 통해 교과서에 제시된 시범 실험을 모의 실험이나 비디오의 형태로 제시하였다. 반면 전통적 수업에서는 CAI와 수업 계열은 동일하게 하되 교과서에 있는 입자 수준의 그림을 이용하여 분자 운동을 설명하고, CAI에서 비디오로 제시되는 실험 및 모의 실험은 직접 실험하거나 교사가 시범 실험으로 제시하였다. 교사는 수업이 시작되면 전시 학습을 확인하고 본시 학습 내용을 도입하였고, 수업이 진행되는 동안에는 학생들의 질문을 받고 격려해 주는 조력자의 역할을 하였으며, 마지막에 학습 내용을 정리해 주었다.

2. 연구 방법

1) 연구 대상

본 연구의 대상은 서울시에 위치한 고등학교 2학년 이과 계열 여학생 109명으로,

물질의 입자성을 강조한 컴퓨터 보조 수업이 고등학생들의 화학 개념 이해에 미치는 효과 91
사전 학업 성취도와 화학 수업 시간대가 유사한 두 학급을 선정하여 CAI 집단(51명)과 통제 집단(57명)으로 무선 배치하였다.

2) 연구 절차

수업 처치 이전에 각 집단의 사전 학업 성취도를 조사한 후, CAI 집단 학생들이 컴퓨터 사용에 익숙해지도록 하기 위해 컴퓨터의 각 부분에 대한 설명과 마우스 조작에 관한 연습 프로그램으로 1차시 동안 연습 수업을 실시하였다. 수업 처치에 앞서 연구 대상이 아닌 다른 반을 대상으로, 연구에서 사용할 수업 방법을 한 번 이상 교사가 연습하도록 하였다. 총 4차시에 걸쳐 전통적 수업 및 CAI를 실시한 후 개념 검사를 실시하였다.

3) CAI 프로그램 개발

본 연구에서 사용한 CAI 프로그램은 Alessi와 Trollip(1985)의 8단계 코스웨어 개발 모델에 기초하여 개발하였으며, Merrill(1983)의 내용 요소 제시 이론에 의거하여 수준의 다양성을 구현하고, 학습자 통제 방식으로 구성하였다. 저작 도구로는 애니메이션 구현에 적절한 디렉터(Director) 5.0을 이용하였다. 기체 법칙에 대한 학생들의 개념 이해도를 향상시키기 위해 입자들의 동적인 움직임을 강조하는 애니메이션을 사용하였다. 모든 프로그램의 좌측에는 소단원 목차를 제시하여 학습자가 원하는 내용으로 언제든지 이동할 수 있도록 하였으며, 좌측 하단에는 이전 화면이나 다음 화면으로 이동할 수 있는 아이콘을 주고, 화면의 제일 상단에는 그 화면의 학습 목표를 제시하였다.

4) 검사 도구

화학 개념 이해도를 측정하기 위해 CCT(Chemistry Conceptions Test)를 개발하였다. CCT는 분자 수준의 그림으로 답하고 그에 대한 설명을 하는 주관식 서술형 문항으로 압력-부피 관계, 온도-부피 관계, 압력-부피-온도 관계, 압력-몰수 관계, 압력-온도 관계에 해당하는 5문항으로 구성되어 있다. 온도-부피 관계, 압력-온도 관계를 묻는 문항은 노태희, 임희준, 우규환(1995)의 개념 검사 문항을 사용하였고, 압력-몰수 관계를 묻는 문항은 Noh와 Scharmann(1997)의 CCT 문항을 사용하였으며, 압력-부피 관계, 압력-부피-온도 관계를 묻는 문항은 연구자가 개발하였다. 개발한 검사지는 과학교육 전문가 2인으로부터 안면 타당도를 검증받았다.

5) 분석 방법

CCT의 응답은 노태희, 전경문, 김혜경(1996)이 사용한 채점 기준(표 1)에 따라

분석하였다. 이 기준에 의하면 미리 설정된 목표 개념(과학적 개념)을 많이 기술할수록, 그리고 오개념을 나타내지 않을수록 개념 이해도가 높다고 할 수 있다. 학생들의 개념 수준은 6개의 범주(NU, PM, MU, GM, PU, SU)로 나뉘며, 비과학적 이해(NU)는 0점, 오개념이 포함된 부분적 이해(PM)와 오개념이 없는 최소한의 이해(MU)는 1점, 오개념이 하나 포함된 충분한 이해(GM)와 부분적 이해(PU)는 2점, 과학적 이해(SU)는 3점씩 총 15점 만점으로 채점하였다. 각 문항의 목표 개념은 <표 2>에 제시하였으며, 6개 범주에 대한 두 명의 분석자간 일치도는 .93이었다.

<표 1> 개념 이해도 평가 기준

범 주	분 류 기 준
비과학적 이해 (No Scientific Understanding: NU)	무응답 잘 모르겠다 질문을 반복하여 읽음 부적절하거나 불명확한 응답 비논리적이거나 부정확한 정보를 포함하는 응답
오개념이 포함된 부분적 이해 (Partial Understanding Containing Misconception: PM)	목표 개념에 대해 약간의 이해를 하지만 오개념이 포함되어 있는 응답
오개념이 없는 최소한의 이해 (Minimum Understanding With No Misconception: MU)	2개(1, 2, 4번 문항), 3개(3, 5번 문항)의 목표 개념을 포함하는 응답
오개념이 하나 포함된 충분한 이해 (Good Understanding Containing One Misconception: GM)	적어도 4개(1, 2, 4번 문항), 5개(3, 5번 문항)의 목표 개념을 포함하는 응답 + 1개의 오개념
부분적 이해 (Partial Understanding With No Misconception: PU)	3개(1, 2, 4번 문항), 4개(3, 5번 문항)의 목표 개념을 포함하는 응답
과학적 이해 (Sound Understanding: SU)	적어도 4개(1, 2, 4번 문항), 5개(3, 5번 문항)의 목표 개념을 포함하는 응답

〈표 2〉 각 문항별 목표 개념

1. 압력-부피 관계	<ol style="list-style-type: none"> 1. 압축 과정에서 기체 입자의 수, 크기, 모양은 보존된다. 2. 기체 분자는 균일하게 분포한다. 3. 외부 압력이 증가하면 부피가 감소한다. 4. 부피가 감소하면 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 증가한다. 5. 충돌 횟수가 증가하면 기체의 압력이 커진다.
2. 온도-부피 관계	<ol style="list-style-type: none"> 1. 온도가 높아져도 기체 입자의 수, 크기, 모양은 보존된다. 2. 기체 분자는 균일하게 분포한다. 3. 온도가 높아지면 기체 분자가 활발하게 운동한다. 4. 기체 분자 운동이 활발해지면 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 증가한다. 5. 충돌 횟수가 증가하면, 기체의 압력이 커지므로 부피가 커진다.
3. 압력-부피-온도 관계	<ol style="list-style-type: none"> 1. 압축 과정에서 기체 입자의 수, 크기, 모양은 보존된다. 2. 기체 분자는 균일하게 분포한다. 3. 온도가 높아지면 기체 분자가 활발하게 운동한다. 4. 기체 분자 운동이 활발해지면 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 증가한다. 5. 충돌 횟수가 증가하면, 기체의 압력이 증가하므로 부피가 커진다. 6. 외부 압력이 증가하면 부피가 감소한다. 7. 내부의 기체 압력이 증가하면 부피가 증가하지만, 외부 압력이 증가하여 부피가 감소한다.
4. 압력-몰수 관계	<ol style="list-style-type: none"> 1. 플라스크 안의 분자 수가 반으로 감소하면, 기체의 압력이 반으로 감소한다. 2. 압력이 변해도 기체 입자의 크기, 모양은 보존된다. 3. 펌프 전과 후 기체 입자는 플라스크 안에 균일하게 분포한다. 4. 분자 수가 감소하면 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 감소한다. 5. 충돌 횟수가 감소하면 기체의 압력은 감소한다.
5. 압력-온도 관계	<ol style="list-style-type: none"> 1. 온도가 높아져도 기체 입자의 수, 크기, 모양에는 변함이 없다. 2. 기체 분자는 균일하게 분포한다. 3. 강철 탱크의 모양과 크기는 변하지 않는다. 4. 온도가 낮아지면 기체 분자가 덜 활발하게 운동한다. 5. 기체 분자 운동이 덜 활발하면 기체 분자들이 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 감소한다. 6. 충돌 횟수가 감소하면 기체의 압력이 작아진다.

III. 결과 및 논의

1. CAI가 학생들의 개념 이해도에 미치는 효과

기체 법칙에 대한 학생들의 개념 이해도를 <표 3>에 제시하였다. Mann-Whitney U test 결과 ‘온도-부피 관계’ 문항(U = 1148.0, $p < .05$), ‘압력-부피-온도 관계’ 문항(U = 1218.0, $p < .05$), ‘압력-몰수 관계’ 문항(U = 1190.0, $p < .05$), ‘압력-온도 관계’ 문항(U = 1081.0, $p < .01$)에서 통계적으로 유의미하게 CAI 집단의 개념 이해도가 높았다. 즉, 물질의 입자성을 강조한 CAI는 전통적 수업에 비해 기체 법칙에 대한 고등학생들의 개념 이해도 향상에 효과적이었으며, 이는 대학생들을 대상으로 CAI가 화학 개념 이해도를 향상시켰다고 보고했던 선행 연구 결과(Williamson & Abraham, 1995; Zeidler & McIntosh, 1989)와도 일치한다.

개념 이해도의 분포를 보면 SU, PU, PM에서 CAI 집단과 통제 집단 사이에 가장 큰 차이를 보인다. 과학적 이해를 보인 학생들(SU)은 ‘압력-부피-온도 관계’를 묻는 3번 문항을 제외한 나머지 모든 문항에서 CAI 집단에 더 많았으며 특히, ‘압력-부피 관계’를 묻는 1번 문항을 제외한 나머지 문항에서 부분적 이해를 보인 학생들(PU)이 두드러지게 많았고, 그만큼 오개념을 포함한 부분적 이해를 보인 학생들(PM)이 적었다.

<표 3> 기체 법칙에 대한 학생들의 개념 이해도

		NU	PM	MU	GM	PU	SU
1. 압력-부피 관계	CAI 집단	1(1.9)	26(50.0)	3(5.8)	3(5.8)	12(23.1)	7(13.5)
	통제 집단	1(1.8)	28(49.1)	7(12.3)	3(5.3)	12(21.1)	6(10.5)
	계	2(1.8)	54(49.5)	10(9.2)	6(5.5)	24(22.0)	13(11.9)
2. 온도-부피 관계	CAI 집단	0	26(50.0)	5(9.6)	1(1.9)	17(32.7)	3(5.8)
	통제 집단	1(1.8)	42(73.7)	3(5.3)	1(1.8)	9(15.8)	1(1.8)
	계	1(0.9)	68(62.4)	8(7.3)	2(1.8)	26(23.9)	4(3.7)
3. 압력-부피-온도 관계	CAI 집단	0	29(55.8)	3(5.8)	0	16(30.8)	4(7.7)
	통제 집단	2(3.5)	40(70.2)	3(5.3)	0	7(12.3)	5(8.8)
	계	2(1.8)	69(63.3)	6(5.5)	0	23(21.1)	9(8.3)
4. 압력-몰수 관계	CAI 집단	0	36(69.2)	0	5(9.6)	7(13.5)	4(7.7)
	통제 집단	2(3.5)	47(82.5)	0	4(7.0)	3(5.3)	1(1.8)
	계	2(1.8)	83(76.1)	0	9(8.3)	10(9.2)	5(4.6)
5. 압력-온도 관계	CAI 집단	0	27(51.9)	3(5.8)	3(5.8)	13(25.0)	6(11.5)
	통제 집단	4(7.0)	39(68.4)	3(5.3)	2(3.5)	6(10.5)	3(5.3)
	계	4(3.7)	66(60.6)	6(5.5)	5(4.6)	19(17.4)	9(8.3)

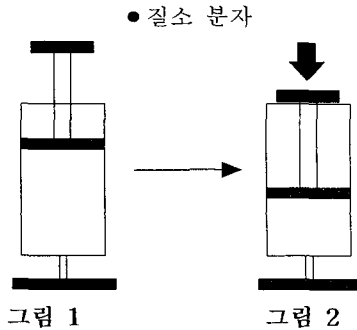
2. 기체 법칙에 대한 학생들의 오개념 분석

CCT의 응답으로부터 문항별로 학생들의 오개념을 분석하였다. 오개념은 크게 그림에서 나타나는 오개념과 설명에서의 오개념으로 나누어 조사하였고, 여러 개의 오개념을 가지고 있는 학생들의 응답은 각각 개별적으로 분석하였다.

1번 ‘압력-부피 관계’ 문항은 피스톤에 외부 압력을 가해 주었을 때 주사기 내부 기체의 상태를 설명하는 것으로 <그림 1>과 <표 4>에 문항과 학생들의 오개념을 각각 제시하였다.

1. 아래 그림과 같이 주사기에 질소를 넣은 후, 질소가 새지 않도록 끝을 완전히 막고 피스톤을 눌렀다. 주사기 속에 질소 분자가 8 개 들어 있으며, 이 분자를 볼 수 있다고 가정하자.

그림 1에는 피스톤을 누르기 전의 주사기 내부 상태를, 그림 2에는 누른 후의 주사기 내부 상태를 각각 나타내어라.



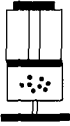
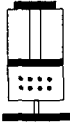
<그림 1> ‘압력-부피 관계’ 문항

응답 유형을 분석한 결과, ‘압력-부피 관계’에 대한 학생들의 잘못된 이해는 불균일한 분포(A), 외부 압력에 따른 분자들의 운동 속도 변화(B-C) 등에 기인하고 있었다. 이 중에서 외부 압력이 증가하여 부피가 작아지면 분자 운동이 활발해진다는 생각(C)이 가장 많았는데, 이는 학생들이 기체 분자들의 충돌 횟수가 많아지는 것을 운동 속도가 빨라지는 것으로 잘못 인식하기 때문인 것으로 파악된다.

2번 ‘온도-부피 관계’ 문항은 풍선을 매단 플라스크를 가열해 주었을 때 기체의 분포 상태를 설명하는 것으로써 <그림 2>와 <표 5>에 문항과 학생들의 오개념을

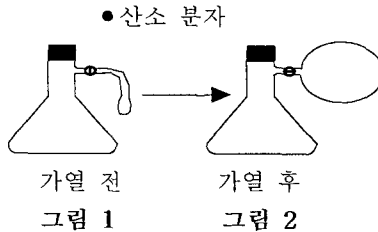
각각 제시하였다. ‘온도-부피관계’에 대한 학생들의 잘못된 이해는 불균일한 분포(A), 현상의 선후 관계 착오(B)등에 기인하고 있었다. 불균일한 분포는 빈도도 많았으며 형태도 다양하게 나타났다. 가장 많은 오개념은 가열하기 전에 기체 분자들이 플라스크의 바닥에 분포한다는 응답(A1)이었는데, 이는 학생들이 온도 상승에 의해 기체 분자들이 상승한다는 관점을 가지고 있기 때문이다. 또한, 학생들은 가열하면 분자 운동이 활발해져 충돌 횟수가 증가함으로써 부피가 커진다는 현상을 반대로 이해하여, 부피가 증가함으로써 충돌 횟수나 분자 운동이 변한다고 생각하는 경우가 많았는데(B), 이는 앞서 배운 ‘입력-부피 관계’를 설명하는 방식과 혼동했기 때문인 것으로 파악된다.

〈표 4〉 ‘압력-부피 관계’ 문항에서 나타난 학생들의 오개념

오개념	빈도		
	CAI	통제	계
A. 불균일한 분포(그림)			
A1.  외부 압력이 커지면 기체의 부피가 작아져서 조밀하게 분포한다.	3	6	9
A2.  외부 압력이 커지면, 기체 분자들의 운동이 매우 작아져서 마치 고체처럼 아주 조금씩 움직이며, 일정한 배열을 갖게 된다.	0	5	5
B. 외부 압력이 증가하여 분자 운동이 감소한다.	0	6	6
C. 외부 압력이 증가하여 부피가 작아지면 충돌 횟수가 증가하여 분자 운동이 활발해진다(운동 에너지가 혹은 속도가 증가한다).	16	19	35
D. 부피가 작아지면 충돌 횟수가 증가하여 온도가 상승한다.	1	2	3
E. 부피가 작아지면 충돌 횟수가 증가하여 압력이 감소한다.	3	0	3
F. 부피가 2배로 되어 운동 에너지가 상승한다.	5	0	5
G. 기타	3	1	4





2. 그림 1과 같이 산소 기체가 들어 있는 플라스크의 가지에 공기를 완전히 제거한 고무 풍선을 매달았다. 가지에 달린 조절 마개를 연 후 플라스크를 가열하였더니 고무 풍선이 팽팽해졌다.

플라스크 안에 10 개의 산소 분자가 들어 있으며, 이 분자를 볼 수 있다고 가정하자. 가열하기 전 기체의 분포 상태를 그림 1에, 가열한 후 기체의 분포 상태를 그림 2에 각각 나타내어라.



〈그림 2〉 ‘온도-부피 관계’ 문항

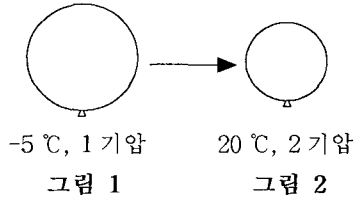
〈표 5〉 ‘온도-부피 관계’ 문항에서 나타난 학생들의 오개념

오개념	빈도		
	CAI	통제	계
A. 불균일한 분포(그림)			
A1.  가열하기 전에는 분자 운동이 활발하지 않아서 기체 분자들이 주어진 공간에 균일하게 분포하지 못하고 바닥에서 잘 움직이지 못한다.	12	16	28
A2.  가열하면 기체가 상승하여 보다 많은 기체 분자들이 풍선을 팽창시키는 데 기여한다.	7	14	21
A3.  가열을 하면 바닥에 있었던 기체 분자들 중 일부만이 활발하게 운동하여 풍선으로 이동한다.	3	6	9
A4.  가열을 공기 이동의 관점에서 파악하는 것으로 가열 결과 대부분의 기체가 풍선으로 이동한다.	9	8	17
A5. 기타	2	2	4
B. 부피가 증가하여 충돌 횟수나 운동 상태가 변한다.	0	5	5
C. 기타	3	3	6

3번 ‘압력-부피-온도 관계’ 문항은 온도와 압력이 모두 높아져서 풍선의 부피가 작아졌을 때 풍선 내부의 기체 분포 상태를 설명하는 것으로써 <그림 3>과 <표 6>에 문항과 학생들의 오개념을 각각 제시하였다. ‘압력-부피-온도 관계’에 대한 학생들의 잘못된 이해는 불균일한 분포(A), 온도 변인과 압력 변인의 부적절한 조합(B), 압력 변인에 의한 설명(C, D) 등에 의한 것으로 나타났다. 가장 많은 오개



3. -5 ℃, 1 기압에서 수소 기체로 가득 차 있는 풍선이 있다. 이것의 온도를 20 ℃로 높이고, 외부 압력을 2 기압으로 증가시켰더니 부피가 감소하였다. 풍선 안에 10 개의 수소 분자가 들어 있으며, 이 분자를 볼 수 있다고 가정하자. 온도와 압력을 높이기 전 기체의 분포 상태를 그림 1에, 높인 후 기체의 분포 상태를 그림 2에 각각 나타내어라. (수소의 기준 끓는점은 -252.8 ℃이다.)

● 수소 분자



<그림 3> ‘압력-부피-온도 관계’ 문항

<표 6> ‘압력-부피-온도 관계’ 문항에서 나타난 학생들의 오개념

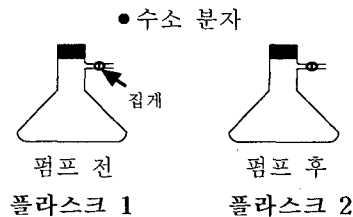
오개념	빈도		
	CAI	통계	계
A. 불균일한 분포(그림)			
A1.  기체가 주어진 공간에 균일하게 퍼지지 않고 기체의 부피가 따로 존재한다.	3	9	12
A2.  기체가 벽 쪽으로 압력을 가하고 있다는 생각의 극단으로 기체들이 용기 벽에 바짝 붙어 있다.	1	1	2
A3. 기타	0	3	3
B. 온도와 압력이 높으면 분자 운동이 활발하지 않아서 부피가 감소한다.	7	1	8
C. 압력이 높아 부피가 작아지면 충돌 횟수가 증가하여 분자 운동이 활발해진다(에너지가 많아진다).	6	5	11
D. 압력을 높이면 분자 운동이 감소한다.	1	2	3
E. 기타	1	3	4

물질의 입자성을 강조한 컴퓨터 보조 수업이 고등학생들의 화학 개념 이해에 미치는 효과 99

넘은 기체가 풍선의 중앙에 모여 있고 나머지 공간은 비어 있다는 생각이었다 (A1). 또한, 1, 2번 문항과 동일하게 충돌 횟수의 증가를 운동이 활발하다고 표현하는 학생들(C)도 여전히 많았다.

4번 ‘압력-몰수 관계’ 문항은 플라스크의 기체를 펌프로 뽑아 내어 기체의 압력을 반으로 줄였을 때 기체의 상태를 나타내는 것으로써, <그림 4>와 <표 7>에 문항과 학생들의 오개념을 각각 제시하였다. ‘압력-몰수 관계’에 대한 학생들의 잘못된 이해는 기체 압력과 몰 수의 정량적 관계에 대한 이해 부족(A), 불균일한 분포(B), 운동 에너지의 변화(C-D), 선후 관계 착오(F-I) 등으로부터 나타났다. 많은 학생들이 펌프 후에 기체의 압력이 반으로 줄었음에도 불구하고 입자 수가 변하지 않는다고 응답하였다(A1). 또한, 충돌 횟수가 감소하여 분자 운동이 더욱 활발해진다는 오개념이 많았는데(C), 이는 E 유형의 오개념처럼 분자간의 충돌에 의해 기체의 압력이 발생한다고 생각하기 때문이다. 뿐만 아니라 학생들은 기체의 압력에 대한 정의를 잘못 이해하여 압력이 변하기 때문에 분자들의 운동이나 분포가 변한다고 설명하기도 하였다(F-I).

4. 가지 달린 삼각 플라스크 1에 수소 기체가 들어 있는데, 윗 부분은 마개로, 가지 부분은 집게로 밀폐되어 있다. 이 플라스크 내부의 압력은 1 기압이다. 플라스크 안에 10 개의 수소 분자가 들어 있으며, 이 분자를 볼 수 있다고 가정한다면, 이 때 상상되는 수소 기체의 분포를 플라스크 1에 나타내어라. 또 이 기체 중 일부를 가지에 연결된 펌프로 제거하여 기체의 압력이 0.5 기압이 되었다면, 이 때 상상되는 수소 기체의 분포는 플라스크 2에 나타내어라.







<그림 4> ‘압력-몰수 관계’ 문항

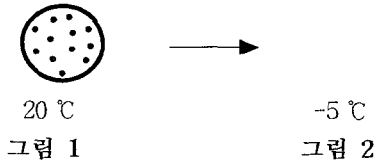
5번 ‘압력-온도 관계’ 문항은 강철 탱크의 온도를 낮추었을 때 내부 기체의 분포 상태를 설명하는 것으로써 <그림 5>와 <표 8>에 문항과 학생들의 오개념을 각각 제시하였다. ‘압력-온도 관계’에 대한 학생들의 잘못된 이해는 분자 수에 따른 압력의 변화(A), 불균일한 분포(B), 탱크 모양의 변화(C) 등에 의해 나타났다. 가장

많은 오개념은 분자들의 운동 에너지나 속도가 감소하는 것이 아니라 분자 수가 감소한다는 응답이었고(A1), 기체의 부피가 작아진다고(B1), 탱크의 부피 자체가 작아진다는 응답(C1)이 많았다.

〈표 7〉 ‘압력-몰수 관계’ 문항에서 나타난 학생들의 오개념





오개념	빈도		
	CAI	통제	계
A. 입자 수 변화(그림)			
A1. 입자 수가 변하지 않음	0	12	12
A2. 입자 수가 감소했으나 반으로 줄지 않음	7	7	14
B. 불균일한 분포(그림)			
B1.  펌프로 기체 분자들을 제거하기 전에는 분자들의 운동이 활발하지 않아서 바닥에 깔려 있다.	8	9	17
B2.  펌프 후 윗 부분에 있는 분자들이 빨려 나가고 아래 부분에 있는 분자들은 그대로 있다.	17	15	32
B3.  기체 분자의 수가 적어지면서 부피도 줄어들었다.	1	7	8
B4.  펌프 후 분자들이 입구 쪽으로 빨려 가기 때문에 남은 분자들이 입구 쪽에 몰려 있다.	0	2	2
B5. 기타	2	1	3
C. 분자 수가 감소하면 충돌 횟수가 감소하여 분자들이 더 활발히 운동하기 때문에 부피가 증가한다.	12	8	20
D. 분자 수가 감소하면 분자들의 운동 에너지가 감소한다.	0	3	3
E. 분자간의 충돌 횟수가 줄어들어 압력이 감소한다.	1	4	5
F. 압력이 감소하여 분자 수가 감소한다.	10	5	15
G. 압력이 감소하여 기체의 부피가 증가한다.	0	11	11
H. 압력이 감소하여 분자들의 충돌 횟수가 감소한다.	6	4	10
I. 압력이 감소하여 기체의 부피가 증가함으로써 분자 운동이 활발해진다.	3	8	11
J. 기타	1	3	4

5. 20 °C, 3 기압에서 수소 기체로 가득 차 있는 꼭 닫힌 강철 탱크가 있다. 이것의 온도를 -5 °C로 낮추었다. 20 °C에서 강철 탱크 안에 들어 있는 수소 기체의 분포를 그림 1에 나타내었다.
 -5 °C에서의 강철 탱크와 수소 기체의 분포를 그림 2에 그려라.
 (수소의 기준 끓는점은 -252.8 °C이다.)



〈그림 5〉 ‘압력-온도 관계’ 문항

〈표 8〉 ‘압력-온도 관계’ 문항에서 나타난 학생들의 오개념

오개념	빈도		
	CAI	통제	계
A. 입자 수 변화(그림)			
A1. 입자 수 감소	15	15	30
A2. 입자 수 증가	2	2	4
B. 불균일한 분포(그림)			
B1.  기체에서는 온도와 부피가 비례하므로, 온도가 낮아졌기 때문에 기체의 부피가 줄어들는다.	4	16	20
B2.  온도가 낮아져서 분자들의 활동이 아주 작기 때문에 마치 고체처럼 일정한 배열을 한다.	4	3	7
B3.  온도가 낮아져서 운동이 감소하여 기체가 바닥에 가라앉는다.	2	1	3
B5. 기타	0	2	2
C. 탱크의 모양 변화(그림)			
C1.  탱크의 부피가 줄어들다는 것으로 고체는 온도 변화에 덜 민감하다는 것과 탱크의 내부 압력이 3 기압임을 고려하지 않았다.	7	13	20
D. 온도가 낮아지면 부피가 감소하고 충돌 횟수가 증가하여 분자 운동 속도가 빨라진다(압력이 증가한다).	0	4	4
E. 온도가 낮아지면 분자 운동이 활발해진다.	2	7	9
F. 온도가 낮아지면 분자 운동이 덜 활발하여 압력이 커진다.	0	2	2
G. 기체 상태이므로 별 변화가 없다.	0	3	3
H. 기타	1	1	2

IV. 결론 및 제언

물질의 입자성에 대한 학생들의 개념 이해도를 향상시키기 위해 본 연구에서는 고등학교 이과 계열 여학생들을 대상으로 물질의 동적인 입자성을 강조한 CAI가 개념 이해도에 미치는 교수 효과를 조사하고, 개념 검사의 응답 분석을 통해 학생들의 오개념을 분석하였다.

연구 결과, 물질의 동적인 입자성을 강조한 CAI는 기체 법칙에 대한 학생들의 개념 이해도를 효과적으로 향상시켰다. CAI 집단에서 과학적 이해를 보인 학생들과 부분적 이해를 보인 학생들이 증가하고, 오개념을 포함한 부분적 이해를 보인 학생들이 상당수 감소한 것으로부터 물질의 동적인 입자성을 강조한 CAI에 의해 기체 법칙에 대한 학생들의 과학적 개념이 향상되었을 뿐만 아니라 오개념도 상당히 감소하였음을 알 수 있었다.

CCT의 응답에서의 오개념을 분석한 결과 상당수의 학생들이 '기체 입자가 닫힌 계 안에서 균일하게 분포한다'는 개념을 제대로 이해하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 따라 부피가 줄어들어 기체 분자들이 중앙에 분포한다든지, 온도가 낮기 때문에 운동이 활발하지 않아서 아래쪽에 분포한다거나 온도가 높아서 분자들이 상승하므로 위쪽에 분포한다는 등의 다양한 오개념이 있었다. 극단적으로 기체의 벽에 충돌함으로써 기체의 압력이 발생한다는 생각에서 용기의 벽에 분자들이 붙어 있도록 그린 응답도 발견되었다.

불균일한 분포와 더불어 기체의 압력에 대한 정확한 정의를 이해하지 못함으로써 발생하는 오개념도 많이 있었다. 많은 학생들이 기체의 압력이 기체 분자들 사이의 충돌에 의한 것이라고 생각하거나, 기체의 압력이 분자 수에 비례한다는 정량적인 관계를 이해하지 못하였다. 특히, 외부 압력의 변화에 따라 부피가 변했을 때 기체 분자들의 운동 상태가 변하는 과정과 온도 변화에 따라 기체 분자들의 운동 상태가 변하여 결과적으로 부피가 변하는 과정을 혼동하는 경우가 많았다. 이러한 오개념으로 인해 압력에 따라 부피가 변할 때 운동 속도나 에너지가 변한다고 설명하거나, 온도에 따라 부피가 변할 때 부피가 변했기 때문에 기체 분자들의 운동 속도나 상태가 변한다고 선후 관계를 혼동하는 등 다양한 응답 유형이 있었다.

이처럼 물질의 동적인 입자성을 강조한 CAI를 실시한 결과 전통적인 수업 방식에 비해 학생들의 개념 이해도가 효과적으로 향상되고 오개념이 상당히 줄어들었지만, 학생들은 여전히 많은 오개념을 가지고 있었다. 이는 본 연구에서의 컴퓨터 프로그램이 학생들에게 시각적인 인상은 강하게 주었지만 학습 내용을 제대로 전달하지 못한 것에 기인한 것으로 보인다. 따라서 CAI를 실시할 경우에는 애니메이

선에 대한 설명이나 생각해 볼 내용들을 컴퓨터 프로그램에서 체계적으로 설명·확인해 주거나, 프리젠테이션 등을 통한 교사의 설명 강화나 협동학습의 적용 등을 통해 보다 효과적인 설명 방식을 취할 필요가 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 시설의 한계를 고려하여 두 사람이 한 대의 컴퓨터를 사용하여 CAI를 실시하였다. 이러한 과정에서 두 사람 사이의 상호작용 효과가 작용할 수 있으므로 한 사람이 한 대의 컴퓨터를 사용했을 때의 효과와 다를 수 있다. 또한, 본 연구의 결과는 고등학교 여학생들만을 대상으로 한 것으로, 컴퓨터 조작 능력이나 사고력이 고등학생보다 낮은 학생들이나, 남학생 또는 남녀공학의 학생들을 대상으로 CAI의 효과를 계속적으로 조사할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 노태희, 우규환, 임희준, 서인호(1995). 이과 계열 고등학생의 화학 계산 문제해결력 과 개념 이해도 비교. 화학교육, 22(3), 144-156.
- 노태희, 임희준, 우규환(1995). 화학양론과 기체 상태에 대한 중·고등학생의 개념 이해도 비교. 한국과학교육학회지, 15(4), 437-453.
- 노태희, 전경문, 김혜경(1996). A reliable method to scale students' conceptions of matter and diffusion. 화학교육, 23(1), 42-50.
- Allessi, S., & Trollip, S. (1985). *Computer-based instruction*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695-697.
- Haidar, A. H., & Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938.
- Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61(2), 179-211.
- Magidson, E. M. (1977). One more time: CAI is not dehumanizing. *Audiovisual Instruction*, 22(8), 20-21.
- Merrill, D. M. (1983). CDT: Component Display Theory. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical

- misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- 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.
- Noh, T., & Scharmann, L. C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 199-217.
- 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.
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 253-254.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.
- Zeidler, D. L., & McIntosh, W. J. (1989). The effectiveness of laser disc generated models on conceptual shifts in college students. *Proceedings of the 62th Annual NARST Conference*. San Francisco, CA. Eric Document (ED 305 271).

<Abstract>

The Influence of Computer-Assisted Instruction Emphasizing
the Particulate Nature of Matter on High School Students'
Conceptual Understanding in Chemistry

Noh, Taehee · Kim, Changmin

(Department of Chemistry Education, Seoul National University)

This study examined the influences of computer-assisted instruction (CAI) upon high school students' conceptual understanding about gas laws. The CAI programs were designed to supply animated molecular motions for emphasizing the particulate dynamic nature of matter. The CAI and the control groups (2 classes) were selected from a girls high school in Seoul, and taught about gas laws for four class hours. After the instructions, students' conceptions were measured by the Chemistry Conceptions Test (CCT). Data analysis indicated that the CAI group had better conceptual understanding than the control group. Several misconceptions concerning target concepts were identified.