

## 촛불 실험과 관련된 오개념 교정을 위한 지도방안 탐색

전 우 수

(공주 교육대학교)

### Exploration of the teaching method for the prescription of the misconceptions on the Candle Experiment

Jeon, Woosoo

(Kongju National University of Education)

#### ABSTRACT

There is an experiment in the elementary science textbook which a burning candle hold upright in a water tank and a beaker is converted over the burning candle, the candle flame goes out and the water rises into the beaker. Some reference books including teachers' guide for the elementary school teachers explain the reason why water rises that oxygen is "used up", so water rises the same volume of consumed oxygen into the beaker. But this explanation is only partially correct. In this study, discrepancies of the explanation that oxygen is "used up" are analyzed. Water rises by two major reasons. One is that water can rise to the level about 1/3 of the volume of consumed oxygen. The other is that the beaker is converted over the burning candle which produces hot CO<sub>2</sub> and water vapor, and the candle's flame heats the air around it to expand, after the candle flame goes out, the air in the beaker cools and water vapor changes to liquid water, so, air pressure in the beaker is reduced, and the water is pushed into the beaker by great air pressure outside. I demonstrate a inquiry teaching method of the candle experiment.

#### 1. 들어가는 말

6차 교육과정 자연과 6학년 2학기 연소 단원(교과서 76쪽)에 수조에 물을 담고 양초를 세운 후 불을 붙인 다음 비커로 덮고 관찰하는 실험이 있다(교육부, 1997). 촛불은 비커 속의 산소 소모로 꺼지게 되고 비커 속으로 물이 올라간다. 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이

유를 교사용 지도서를 비롯하여 초등교사들이 학생지도에 흔히 활용하는 여러 자료(새교실, 1998. 11., 1999. 11. ; 교육자료, 1998. 11., 1999. 11. ; 월간 열린수업, 1999. 11. ; 서울교대 과학교육 연구소, 1993.)에는 병 속의 산소가 소모되기 때문이라고 설명하고 있으나 이는 잘못된 것이다(권치순, 박범익, 전우수, 1990.; A.E.Lawson, 1997. ; J.B.Caplan, H.J.Gerritsen & J.S.LeDell, 1994)이는 부분적으로만 답이 될 수 있을 뿐 될

편 중요한 다른 이유가 있다. 따라서 여러 해 동안 거의 모든 초등학교에서 이 내용이 잘못 가르쳤을 것이고, 교과서가 개정되기까지 앞으로 2년 동안에도 잘못 지도할 가능성이 있다.

촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유는 비커 내부의 기압이 외부 기압보다 낮아져 외부 기압과 내부 기압이 평형을 이루는 높이까지 물이 밀려 올라가기 때문이다,

## II. 산소 소모 이론의 문제점

비커 속의 산소가 소모되기 때문에 비커 속으로 물이 올라가는 것이라는 설명의 문제점은 다음과 같다.

첫째, 산소가 소모되기 때문에 비커 속으로 물이 올라가는 것이라면, 촛불이 타는 동안 산소가 소모되는 만큼 물이 비커 속으로 계속하여 조금씩 올라갈 것이고, 불이 꺼지면 물이 올라가지 않아야 한다. 그러나 실제로는 촛불이 타는 동안에는 물이 별로 올라가지 않고 촛불이 꺼지려고 할 때부터 물이 올라가기 시작하여 촛불이 꺼지면 갑자기 물이 올라간다.

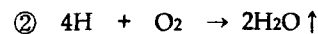
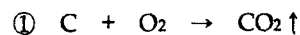
둘째, 산소가 소모되어 물이 올라가는 것이라면 공기 중의 산소의 비율은 약 21% 정도이기 때문에 산소가 연소 과정에서 완전히 소모되었다고 하더라도 물은 비커 부피의 21% 정도인 곳까지만 올라갈 수 있을 뿐이다. 실제로는 덮은 비커 속의 산소가 모두 소모되지는 않으므로 이보다 적게 올라갈 수 있을 뿐이다.

또한 촛불꽃의 크기, 양초의 길이, 덮는 그릇(자연과 교과서에는 비커를 사용하도록 하고 있으나 집기병, 메스실린더, 유리병 등의 투명한 유리 그릇이면 모두 사용할 수 있다)의 크기나 모양, 덮는 방법 등에 관계없이 그릇 속으로 올라가는 물은 항상 덮은 그릇 전체 부피의 일정 비율에 해당하는 높이까지만 올라가야 한다. 왜냐하면 덮은 그릇 속에는 공기가 들어 있고 실험실내의 공기 중의 산소의 비율은 거의 같기 때문이다. 그러나 실제 실험 결과는 촛불꽃이 클수록, 양초의 길이가 짧을수록, 덮은 그릇이 작을수록, 천천히 덮을수록 덮은 그릇 속으로 물은

더 높이 올라간다.

셋째, 산소가 소모되어 물이 올라가는 것이라면 촛불의 개수를 2개, 3개로 증가시키며 같은 실험을 하더라도 비커 속으로 올라가는 물의 높이는 같아야 할 것이다. 왜냐하면 비커 속에 들어있는 산소의 양은 같을 것이기 때문에 소모되는 산소의 양도 같아야 하기 때문이다. 그러나 실제 실험한 결과는 촛불의 개수를 2개, 3개로 증가시키며 따라 올라가는 물의 높이도 증가한다. 촛불의 개수가 많아지면 올라가는 물의 높이가 비커의 절반을 넘는 경우도 있다.

넷째, 양초는 보통 파라핀으로 만드는데, 양초가 불순물 없이 순수한 파라핀으로 만들어졌다고 가정하면 양초 연소시 일어나는 화학 반응은 아래와 같다. 파라핀은  $C_nH_{2n+2}$ (여기서  $n$ 은 16에서 40사이의 자연수인데 26에서 30사이의 것이 많다)의 혼합물이다(이화학 사전, 1972 ; 제물세계 대백과 99 CD, 1999 ; J.B.Caplan, H.J.Gerritsen & J.S.LeDell, 1994)



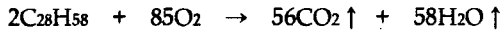
연소 과정에서 발생하는  $CO_2$ 와  $H_2O$ 는 기체 상태이다.

화학 반응①을 살펴보면 산소 1분자가 소모되어 이산화탄소 1분자가 생겼으므로 비커 속의 기체의 부피는 감소하지 않는다. 오히려 발생된 이산화탄소는 소모된 산소보다 온도가 매우 높으므로(발생되는 순간은 촛불꽃의 온도와 거의 같다) 팽창되어 있어 비커 내부의 기체의 부피는 증가하여야 한다.

화학 반응②를 살펴보면 산소 1분자가 소모되어 수증기 2분자가 생겼으므로 비커 속의 기체의 부피는 증가하여야하나 기체 상태의 수증기는 곧 식으면서 액체인 물로 응결되므로 부피 감소가 일어날 수 있다. 연소시 발생하는 수증기의 온도는 촛불꽃의 온도와 거의 같은데 이 수증기가 물로 응결되면 부피 감소가 대단히 크다. 즉 이 경우에 산소가 소모되어 물이 올라가는 것이다.

양초의 연소 과정에서 일어나는 두 반응의 비율을 정량적으로 알아보기 위하여  $n=28$ (이 값이  $n$ 의 중앙값이므로)인 경우를 완전 연소를 가정

하여 살펴보면



85개의 산소 분자 중 56분자는 이산화탄소 발생에 사용되었고 29분자는 수증기 발생에 사용되었다. 즉 소모된 산소의 약 34% 정도만 수증기 발생에 사용되었으므로 덮은 그릇에 들어있던 전체 공기 부피의 약 7.1% 정도의 공기 부피가 감소한 셈이다.

이는 근사적으로 비교하는 것이 보다 쉽다. 즉 양초에 있는 수소 원자가 탄소 원자보다 약 2배 정도 많으므로 앞의 화학 반응 ①에서 소모되는 산소의 양이 화학 반응 ②에서보다 2배 정도 더 많다. 따라서 양초가 연소하며 소모된 산소 때문에 비커 속으로 물이 올라가는 것이라면 발생된 수증기가 모두 물로 응결된다고 하더라도 원래 비커 속에 있던 산소 양의 약 1/3 정도에 해당하는 높이까지만 물이 올라갈 수 있을 뿐이다. 그러나 실험실의 온도와 상대습도에 따라 다르나 발생된 수증기가 모두 물로 응결되지는 않기 때문에 실제로는 이보다도 물은 낮게 올라갈 수 있을 뿐이다. 즉 산소 소모에 의한 효과에 의해서는 비커 안의 산소가 연소에 모두 사용된다고 하더라도 전체 비커 부피의 7% 이하에 해당하는 높이까지만 물이 올라갈 수 있을 뿐이다.

또한 양초의 불완전 연소에 의한 효과도 일부 있을 것으로 생각되나 이는 연소 조건에 따라 다를 수 있으므로 여기서는 무시하기로 한다.

### III. 다른 가설

첫째, 연소할 때 발생된 이산화탄소가 물에 잘 녹으므로 비커 속의 기체의 부피가 감소하므로 물이 올라간다고 생각할 수 있다. 그러나 이산화탄소가 공기보다 물에 잘 용해되기는 하나 그렇게 빠른 시간에 그렇게 많은 양이 용해되지는 않는다. 이를 검증하려면 이산화탄소를 비커에 모은 후 이 비커를 물이 든 수조에 거꾸로 세워 놓고 물이 얼마나 올라가는지 관찰하면 된다. 그 결과는 촛불 실험에서 보통 물의 높이 변화를 관찰하는 1, 2분 이내에는 물이 거의 올라가지 않는다. 따라서 이 실험에서는 이산화탄소의 용

해에 의한 효과는 거의 무시할 수 있다.

둘째, 연소시 발생된 수증기가 물로 응결되기 때문에 비커 속의 기체의 부피가 감소하므로 비커 속으로 물이 올라간다고 생각할 수 있다. 이 부분은 위에서 검토한 바와 같다.

촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 것은 산소 소모, 연소시 발생된 이산화탄소의 용해 그리고 발생된 수증기가 물로 응결되기 때문이라는 설명이 공통적으로 갖고 있는 문제점은 어느 경우이건 촛불의 개수를 2개, 3개로 증가시키며 같은 실험을 하더라도 비커 속으로 올라가는 물의 높이는 같아야 한다는 점이다. 왜냐하면 덮은 비커 속의 산소의 양은 일정할 것이고 따라서 소모된 산소의 양, 발생된 이산화탄소의 양 그리고 발생된 수증기의 양은 모두 일정해야 할 것이기 때문이다. 따라서 이 세가지 가설들은 모두 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유를 설명할 수 없다.

### IV. 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유

첫째, 앞의 II의 네번째에서 살펴본 바와 같이 연소시 발생한 수증기가 물로 응결되어 비커 내부의 기체의 부피가 감소하므로 물이 올라간다. 그러나 이 경우는 연소과정에서 소모된 산소 부피의 약 1/3 정도로, 덮은 비커 전체 부피의 7%를 초과하여 물이 올라갈 수 없다. 실제로는 연소시 비커내의 산소가 모두 소모되지 않으므로 이보다도 낮은 높이까지만 올라갈 수 있을 뿐이다. 즉 자연과 교사용 지도서를 비롯한 여러 문헌에서 산소가 소모되어 물이 올라간다고 설명한 부피의 약 1/3 정도만 물이 올라갈 수 있다.

둘째, 촛불은 연소하며 뜨거운 기체를 발생한다. 이 기체는 대부분 연소 과정에서 생성된 이산화탄소와 수증기, 그리고 촛불에 공급된 공기 중 연소 반응에 관여하지 않은 그러나 덩어진 질소 기체이다. 이 중 이산화탄소와 수증기의 발생 초기의 온도는 촛불꽃의 온도와 거의 같다. 비커로 촛불을 덮을 때 이 뜨거운 기체를 함께 덮게 되고 촛불이 꺼지면 냉각되어 부피가 감소

하므로 비커 속으로 물이 올라간다. 이때 부피 감소에 가장 큰 비율을 차지하는 것은 물로 응결되는 수증기이다.

촛불이 타고 있는 동안에는 물의 높이에 별 변화가 없는 것은 연소할 때 발생된 뜨거운 기체는 발생 후 비커 속에서 냉각되지만 초가 타며 계속적으로 뜨거운 기체를 공급하기 때문이다. 그러나 촛불꽃이 작아지며 꺼져가기 시작하면 연소를 통해 공급되는 뜨거운 기체보다 냉각에 의한 기체 부피 감소가 더 커지게 되고 따라서 물이 올라가기 시작한다. 촛불이 꺼지면 더 이상 뜨거운 기체가 공급되지 않기 때문에 급격히 냉각되어 기체의 부피가 감소하고 따라서 갑자기 물이 올라간다. 촛불의 개수를 2개, 3개로 증가시키며 비커로 덮을 때 그만큼 뜨거운 기체를 더 많이 덮게 되고, 따라서 촛불이 꺼진 후 그만큼 부피 감소가 커지므로 비커 속으로 물이 그만큼 더 올라가게 된다. 이 효과를 배제시키려면 불을 붙이지 않은 양초를 비커로 덮은 다음 양초에 불을 붙여야 하나 이는 복잡한 장치를 필요로 한다.

따라서 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유는 위의 두가지 모두가 해당되지만 촛불의 개수가 많아지거나, 촛불꽃의 크기가 크거나, 비커를 천천히 덮을수록 두번째 이유가 더 중요하게 기여한다. 그 이유는 촛불에서 발생된 뜨거운 기체를 그만큼 많이 비커로 덮게 되기 때문이다. 또한 덮는 그릇의 크기가 작을수록 그릇 속으로 물이 높이 올라가는데 이는 그릇 속의 전체 기체 부피 중 상대적으로 그만큼 뜨거운 기체의 비율이 많아지기 때문이다(앞의 II의 두 번째 내용 참고).

촛불이 꺼진 후 물이 올라가는 이유는 이와 같이 고려해야 할 사항이 많은 다소 복잡한 실험이므로 초등 6학년 어린이에게 이를 모두 지도하기는 어렵다.

이 실험은 연소할 때 산소가 필요함을 알아보는 실험이므로 비커로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 것을 관찰하여 산소가 소모되었기 때문이라는 내용만 학습하고, 비커 속으로 물이 올라가는 현상과 관련된 내용은 지도하지 않는 것이 좋을 것이다.

촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 현상과 관련된 내용을 지도하려 할 때에는, 양초가 연소될 때 무엇이 생기는지(자연과 교과서 77, 78쪽) 학습한 다음, 또는 연소 단원을 모두 학습한 후 이 내용만 따로 떼어내어 양초의 개수를 달리하며 실험하여 지도하여야 할 것이다. 왜냐하면 초등 6학년 어린이들이 “촛불이 꺼진 후 물이 올라가는 이유는 촛불을 덮을 때 촛불에서 발생되는 뜨거운 기체를 비커로 덮게 되고 촛불이 꺼지면 이 기체가 냉각되어 부피가 감소하기 때문”이라는 설명을 찾아내기는 매우 어렵기 때문이다. 대학교 2학년 학생들도 이런 설명을 찾는데 대부분 실패한다. 따라서 모든 어린이에게 이 내용을 지도하기보다는 과학만 학생들에게 충분한 시간을 두고 탐구하게 하는 것이 좋을 것이다(VI참고).

## V. 길이가 다른 촛불 실험

길이가 다른 세 개의 양초에 불을 붙이고 똑같은 실험을 하면 어떤 양초가 먼저 꺼질까?

이 질문에 대하여 이산화탄소가 공기보다 무겁다는 내용을 학습한 학생들은 대부분 길이가 짧은 촛불이 먼저 꺼질 것이라고 답한다. 이런 경향은 학년이 높아질수록 더 증가하며 교사들도 압도적으로 이렇게 생각한다. 그 이유를 촛불이 연소할 때 이산화탄소가 발생되고 이산화탄소는 공기보다 무겁기 때문에 아래로 가라앉고 따라서 길이가 짧은 촛불이 먼저 꺼질 것이라고 설명한다(서울 과학 교사 모임, 1995.)

그러나 실제로 실험을 해보면 길이가 긴 촛불이 먼저 꺼지고 길이가 짧을수록 늦게 꺼진다.

그 이유는 앞의 실험에서와 마찬가지로, 촛불이 연소할 때 발생되는 이산화탄소는 촛불꽃과 비슷한 온도이고 따라서 가볍기 때문에 덮은 비커의 위 부분부터 채워지고 차차 아래로 채워지게 되고 따라서 길이가 긴 촛불에 먼저 산소 공급이 차단되기 때문에 길이가 긴 촛불이 먼저 꺼지게 되는 것이다. 이는 더운 기체가 위에 있고 찬 기체가 아래 있으면 대류가 일어나지 않기 때문이기도 하다. 흔히 이산화탄소는 공기보

다 무겁다고 생각하는데 이는 두 기체가 같은 온도일 때에 무겁다는 말이다.

앞의 II의 두 번째 이유 설명에서 양초의 길이가 짧을 때 올라가는 물의 높이가 높아진다고 했는데 이는 길이가 짧을수록 오랫동안 산소를 공급받을 수 있고 따라서 그만큼 수증기를 많이 발생할 수 있기 때문이다. 그러나 전체 물의 상승 높이에 미치는 이 효과는 그리 크지 않다.

## VI. 탐구를 통한 촛불실험 지도방안

다음은 교대 2학년 학생들에게 본인이 촛불실험을 지도하였던 과정이다. 대학생들은 3,4명이 한 조가 되어 이 실험을 수행하였다. 이 실험 전체를 수행하는데 1차시 50분 간의 3차시가 소요되었다. 이를 초등 학생에게 동일하게 적용하기는 어려울 것이나, 탐구를 통한 과학학습 지도에 참고할 수 있을 것이다.

수조에 물을 1-2cm 정도 채우고(물감을 약간 풀면 관찰하기 편하다), 생일케익용 양초 1개를 알맞은 길이로 잘라 고무찰흙을 이용하여 세우고 불을 붙인 다음 비커나 유리병으로 덮고 관찰하게 한다.

1. 관찰 결과를 발표시킨다. 대학생들이 발표하는 관찰 결과는

(1) 비커를 덮으니 비커 안의 수면이 밖의 수면보다 낮아졌다.

(2) 비커를 덮을 때 또는 덮은 직후에 비커 밖으로 기포가 나온다.

(3) 촛불이 처음에는 잘 타다가 불꽃이 차차 작아져 꺼진다.

(4) 촛불이 꺼지면 비커 속으로 물이 올라간다.

(5) 비커 안에 습기가 찼다.

(6) 비커가 뜨거워졌다.

(7) 불이 꺼지려고 할 때부터 물이 천천히 올라가다가 꺼지는 순간 물이 갑자기 올라갔다.

(9) 촛불이 꺼지면서 연기가 피어오른다. 이 연기는 비커의 위 면에 닿은 후 비커 옆 벽 쪽을 타고 내려온다.

(10) 촛불이 꺼지고 일단 수면의 높이가 정해

지면 시간이 지나도 별 변화가 없다.

(11) 덮었던 비커를 들어올릴 때 당기는 힘이 느껴졌다.

(12) 촛불이 꺼진 후 비커를 덮으면 수면에 아무 변화도 없었다.

(13) 비커의 위 면에 그을음이 생겼다.

등이다. 관찰 결과에 대한 발표가 충분히 이루어진 후

2. 촛불이 꺼진 후 왜 비커 속으로 물이 올라갈까? 그 이유를 설명할 수 있는 가능한 가설을 모두 세워보라고 제시하면 학생들은 산소 소모를 맨 먼저 생각해 낸다. 이때, “산소 소모 때문에 물이 올라가는 것이라면 양초가 타고 있는 동안 물이 조금씩 계속하여 올라가다가 촛불이 꺼지면 물이 올라가지 않아야 하는데 우리의 관찰 결과는 (4)와 (7)처럼 되는데 이는 어떻게 설명할까?” 라고 질문하며 다른 가능성은 없는지 생각해보도록 한다. 그러면 이산화탄소의 용해, 발생된 수증기의 응결 등을 생각해 낸다. 이 세 가지 이외에도 잘못된 여러 가지 가설을 생각해 내는데 이는 토의를 통하여 제거한다. 그러나 초등 학생들이 이 세 가지 가설을 모두 세우려면 교사의 상당한 유도가 필요할 것이다. 예를 들면, “산소가 소모된다고 했는데 정말 산소는 없어져버리고 마는가, 혹시 다른 것으로 변하지는 않는가” 와 같은 질문이다. 이런 세 가지 가설을 세운 후

3. 이를 검증하기 위한 실험을 설계하자. 라고 제시하고 10분 이상의 시간을 주어도 실험 설계를 제대로 하지 못한다. 대학생들은 실험 설계의 경험이 없어 실험 설계를 가장 어려워한다. 이때 학생들에게 실험 설계의 예를 들어주면 학생들이 실험을 설계하는데 도움을 줄 수 있다. 예를 들면, 이산화탄소의 용해를 검증하려면 “빈 비커에 이산화탄소를 모은 후 이를 수조에 거꾸로 얹어놓고 관찰하면 촛불 실험에서처럼 급속히 물이 비커 속으로 올라가야 할 것이다” 라는 실험 결과에 대한 예상이 가능하다. 각 조별로 설계한 내용을 칠판에 기록하게 하고 전체 토론을 통하여 실험 설계의 잘못된 점이나 개선 방안을 검토한다. 초등 학생들은 실험 설계에 더 큰 어려움을 느끼게 될 것이다. 따라서 상당한 정도의

교사의 제시가 필요할 것이다.

4. 실제로 해보자. 여러분의 가설이 맞았는가? 틀렸는가? 고 질문하면 실제 실험 결과, 앞의 세 가지 가설은 모두 문제가 있음을 인정한다. 그러면 “왜 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라갈까?” 라고 반복하여 질문하여도 대학생들은 새로운 이유를 찾으려 노력하기는 하지만 실제 현상을 제대로 설명할 수 있는 이유를 찾아내지 못한다. 이에 따라 그 이유를 찾아내기 위한 실험을 한가지 소개하겠다고 말하고 다음의 질문을 하였다. 따라서 초등 학생에게는, 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유를 앞의 세 가지 가설로는 설명할 수 없으니, 그 이유를 찾을 수 있는 다른 실험을 해보라고 유도하는 것이 무난할 것이다.

5. 길이가 각각 다른 세 개의 양초를 사용하여 실험하면 촛불이 꺼진 후 올라가는 물의 높이는 어떻게 될까? 또 어느 촛불이 먼저 꺼질까? 왜 그렇게 생각하는가? 라고 질문하면 세 개의 양초를 사용하여 실험하여도 올라가는 물의 높이는 같을 것이라고 답한다. 그 이유를 들은 비커 속의 공기의 양(산소의 양)이 일정할 것이므로 촛불의 개수에 관계없이 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 올라가는 물의 높이는 일정해야 할 것이라고 주장한다. 그리고 길이가 짧은 양초의 불이 먼저 꺼질 것이라고 생각한다 그 이유는 연소 시 이산화탄소가 발생하는데 이산화탄소는 공기보다 무거우므로 아래로 가라앉고 따라서 길이가 짧은 촛불이 먼저 산소 공급이 차단되어 짧은 촛불이 먼저 꺼질 것이라고 생각한다. 초등 학생도 충분한 논의를 거치면 대학생들과 같은 결론에 이를 것이다. 다만 어린이들은 길이가 짧은 촛불이 먼저 꺼질 것이라는 생각을 대학생들보다 더 강하게 가질 것이다. 왜냐하면 어린이들은 6학년 2학기 자연 교과서 72쪽의 실험을 통하여 길이가 짧은 촛불이 먼저 꺼지는 것을 관찰하였기(이 경우는 이산화탄소가 공기보다 무거워 길이가 짧은 촛불이 먼저 꺼진다.) 때문이다.

6. 실제로 해 보자. 여러분의 생각이 맞았는가? 틀렸는가?

실제 실험 결과는 촛불의 개수가 많아지면 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 더 높이 올라간

다. 그리고 길이가 긴 양초의 불이 먼저 꺼진다. 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 물이 올라가는 이유로 생각했던 산소 소모, 이산화탄소의 용해, 발생된 수증기의 응결 등은 촛불이 꺼진 후 비커 속으로 올라가는 물의 높이가 같아야 하나 이 실험의 결과는 다르므로 이 세 가지 가설은 모두 물이 올라가는 이유를 충분히 설명할 수 없음을 강조해 주었다. 대학생들은 자신들의 예상이 모두 틀렸음에 상당한 충격을 받는다. 이때,

7. 만약 틀렸다면 6의 실험 결과를 다시 설명하여 보자. 라고 제시하면 대학생들은 새로운 설명체계를 찾으려 노력하지만, “촛불의 개수가 증가하면 촛불 연소 시 발생한 뜨거운 기체를 더 많이 덮게되어 촛불이 꺼진 후 그만큼 냉각 효과에 의한 부피 감소가 커지기 때문에 물이 비커 속으로 더 높이 올라가게 되고, 촛불 연소 시 발생한 이산화탄소는 뜨겁기 때문에 팽창되어 가벼워 위쪽부터 채우므로 길이가 긴 촛불에 산소 공급이 먼저 차단되어 꺼지게 된다” 는 설명을 좀처럼 찾아내지 못한다. 이런 설명을 찾으려 하기 위해서는, 우선 길이가 긴 촛불이 먼저 꺼지는 이유를 찾으려 하는 것이 쉽고, 그 이유를 찾으면 첫번째 이유를 찾는 데도 도움이 된다. 따라서 적당한 유도 질문이 필요한데, 예를 들면, “이산화탄소는 무거워서 가라앉기 때문에 길이가 짧은 초의 불이 먼저 꺼질 것이라고 생각했었는데, 실험 결과 예상과 반대로 길이가 긴 초의 불이 먼저 꺼진 것은 이산화탄소는 무겁다고 생각했던 생각에 혹시 문제가 있었던 것은 아닐까?” 와 같은 유도성 질문이 필요하다. 두 가지 모두에 대하여 이런 설명을 찾는데 대학생들도 큰 어려움을 겪는 것으로 보아, 초등 어린이들이 이런 설명을 찾는 것은 대단히 어려울 것으로 생각된다. 두 가지 모두에 대한 이유를 제대로 찾는 다음

8. 지금까지의 결과를 참고로 하여 촛불이 꺼지면 왜 비커 속으로 물이 올라가는지 그 이유를 설명하여 보자. 라고 제시하였다. 그러면 대학생들은 촛불을 비커로 덮을 때 덮혀진 공기를 함께 덮게 되고, 촛불이 꺼지면 이 기체가 냉각되어 부피가 감소하게 되고, 따라서 비커 내부의

기체의 압력이 감소하게 되어 비커 외부의 공기의 압력과 차이가 생겨 그 압력이 같아질 때까지 비커 속으로 물이 밀려 올라간다는 설명을 하게 된다. 그런 다음 파라핀의 화학식과 연소시의 화학 반응을 검토하여 앞의 IV에서 검토했던 내용을 학생들과 토론을 통해 검토하였다. 그러나 초등 학생들에게는 화학 반응에 관련된 내용은 도입할 수 없을 것이다.

Thinking Approach. 1994 보고서(N.S.F. No. TP E-9054933) p43-47

16. J.B.Caplan, H.J.Gerritsen & J.S.LeDell, The hidden complexities of a "Simple" experiment. The Physics Teacher. Vol.32, 1994. p310-314

2000년 1월25일접수

### 참고문헌

1. 교육부. 자연(6-2) 교과서및교사용 지도서. 1997.
2. 새교실. 한국교원단체 총연합회. 1998. 11. p167
3. 새교실. 한국교원단체 총연합회. 1999. 11. p167
4. 교육자료. 한국 교육 출판. 1998. 11. p247
5. 교육자료. 한국 교육 출판. 1999. 11. p255
6. 월간 열린수업. 21c교육연구소(두루마리).1999. 11. p317
7. 서울교대 과학교육연구소. 재미있는 과학교실 서울인쇄공업협동조합. 1993. p58-59
8. 서울과학교사모임. 숨은과학3. 응진출판.1995. p69.
9. 권치순, 박범익, 전우수. 탐구활동을 통한 과학교수법. 전파과학사. 1990. p142-143
10. 岩波 理化學 사전 제 3판. 岩波書店. 1972.
11. 계몽 세계대백과 99 CD. 두산 동아. 1999.
12. 남철우, 송관섭, 한광래. 초등학교 자연과 보조 실험의 개발. 광주교대 논문집. 37 집. p338-339
13. 박종욱, 서상오. 초등학생의 기체 압력 개념 학습을 위한 멀티미디어 교수 학습 자료 개발. 논문집(청주교대 과학교육 연구소) 제 19집. 1998.
14. A.E.Lawson. What should students learn about the nature of science and how should we teach it? The American Biology Teacher에 제출 원고. 1997.
15. A.E.Lawson, J.P.Birk. Chemistry A Critical