

열역학적 관점에 근거한 구름발생 실험의 문제점 분석 및 개선방안에 대한 고찰

박동조 · 백성혜 · 강성주
(김포중학교) · (한국교원대학교 화학교육과)

An Analysis of Problems Related to Cloud Making Experiments in School Science Textbooks and Development of an Experiment Based on the Thermodynamic Theories

Park, Dong-Joe · Paik, Seung-Hey · Seong-Joo Kang
(Kimpo Middle School) · (Korea National University of Education)

ABSTRACT

In this study, we compared the contents of cloud making experiments in middle school science textbooks of 5th and 6th science curriculum from the viewpoint of methods and apparatus. And we analyzed the problems of the experimental methods and apparatus based on the thermodynamic theories. A new experiment was developed to solve the problems, and the effects of new experiment were compared with those of the experiments in the textbooks.

Key words: cloud making experiments, thermodynamic theories

I. 서론

1. 연구의 목적

과학을 가르치는 데에 있어서 실험활동은 매우 중요한 역할을 담당한다. 따라서 대부분의 과학 교과서에서는 가능한 한 과학적 개념과 관련된 실험을 제시함으로써 가르치고자 하는 과학적 개념의 이해를 돕는 형태로 내용을 구성하고 있다.

그러나 실험에 따라서는 이러한 의도와는 달리 실험 내용이나 결과가 관련 과학 개념을 설명하거나 이해하는데 적합하지 못하거나, 오히려 잘못된 결과 해

석 및 오개념 형성을 유발하는 경우도 있다. 이 연구에서는 5차 교육과정과 6차 교육과정의 여러 과학 교과서에서 꾸준히 제시되고 있는 구름 발생에 관한 실험에서 이러한 문제점을 찾아 보고자 한다. 그리고 이러한 문제점을 개선하기 위한 실험을 개발해 보고자 한다.

2. 연구문제

(1) 5차 교육과정과 6차 교육과정의 초등학교 자연 교과서와 중학교 과학 교과서에 제시된 구름발생 실험 또는 수증기 응결 실험 내용을 실험 방법 및 실험

*2001년 3월 19일받음.

기구 등의 측면에서 비교 분석한다. 그리고 열역학적 관점에서 문제점을 살펴본다.

(2) 열역학적 관점에서 보다 정확한 구름 발생 실험 장치를 개발하고, 실험결과를 기존의 교과서 실험 결과와 비교하여 그 효과를 알아본다.

3. 분석 대상 교과서

이 연구에서는 5종의 5차 교육과정 중학교 과학 교과서(권숙일 등, 1988; 김순식 등, 1988; 김시중 등, 1988; 송인명 등, 1988; 정창희 등, 1988)와 8종의 6차 교육과정 중학교 과학 교과서(강영희 등, 1994; 권재술 등, 1994; 김시중 등, 1994; 김진규 등, 1994; 박봉상 등, 1994; 송인명 등, 1994; 우규환 등, 1994; 정창희 등, 1994), 그리고 초등학교 자연 교과서(교육부, 1999)를 분석하였다. 5차 교육과정 과학 교과서는 참고 문헌의 순서에 따라 5A ~ 5E로, 6차 교육과정 과학 교과서는 6A ~ 6H로, 초등학교 자연 교과서는 ES로 표기하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

1. 구름 생성의 원리

일반적인 구름발생 과정은 '공기상승 → 단열팽창 → 온도하강 → 응결점 도달 → 구름생성'의 순으로 진행된다. 지표부근에서 가열된 공기덩어리는 밀도가 작아지므로 위로 빠른 속도로 상승하게 되고, 이때 주위와 열 교환을 무시할 수 있게 되어 주위 기압이 낮아짐에 따라 공기덩어리는 단열팽창하게 된다. 이 경우 공기덩어리는 외부에서 열이나 에너지를 받지 않고 팽창하면서 외부공기에 대해 일을 하므로 자신이 가진 에너지를 소비하게 되어 온도는 낮아진다. 온도가 낮아지면서 포화된 습윤 공기는 응결하여 구름이 형성되는데, 이 때 응결잠열을 방출한다.

따라서 공기가 단열팽창하면서 떨어지는 온도와 수증기가 응결하면서 방출하는 열로 인해 상승하는 온도를 구름 생성에서는 모두 고려해야 한다. 그러나

공기가 단열팽창할 때 반드시 온도가 떨어지는 것은 아니다. 엔탈피가 일정한 조건에서 실제기체가 단열 팽창할 때는 조건에 따라서 온도가 올라가기도 한다. Joule-Thomson 계수는 엔탈피가 일정할 때 압력에 대한 온도변화를 나타내는 계수인데, 다음과 같이 표현된다.

$$\mu = (\partial T / \partial p)_H$$

이 식에서 $\mu > 0$ 이면 기체가 팽창할 때 온도는 떨어지며, $\mu < 0$ 이면 기체가 팽창할 때 온도가 올라간다. 보통의 압력조건과 실온에서 대개의 기체는 Joule-Thomson 계수가 양의 값을 가져 팽창시 온도가 떨어지지만, 수소의 경우에는 193 K 이상에서는 팽창시 온도가 올라가고 193 K 이하에서는 팽창시 온도가 내려간다. Joule-Thomson 계수의 질소, 수소, 헬륨에 대한 그래프는 (Fig. 1)과 같다.

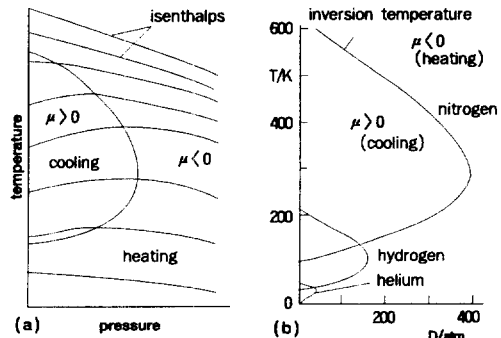


Fig. 1. The graph of Joule-Thomson's coefficient for hydrogen, nitrogen and helium

이상기체의 경우 일정한 압력에서 T_1, V_1 인 상태에서 T_2, V_2 로 가역적으로 단열팽창되었다고 가정하면 열역학 제1 법칙으로부터 다음과 같은 관계식을 유도 할 수 있다.

$$T_2 = T_1(V_1/V_2)^{\gamma-1}$$

이때 γ 는 몰열용량의 비 C_p/C_v 를 가리키며 상온에서 병진운동과 회전운동에 대한 에너지 등분배만 일어난다고 하면, 단원자분자 기체에서의 값은 5/3, 이원자분자 기체에서는 7/5, 비선형 다원자분자 기체에서는 4/3의 값을 가진다. 공기의 경우에는 상온에서 1.40이며, 고온에서는 진동운동에도 일부 에너지 등분배가 일어나므로 1.35의 값을 가진다. 이 값을 이용하여 기체를 가역적으로 단열팽창시킬 때 부피변화 대 온도변화 값을 계산할 수 있다. 그리고 가역단열 팽창 시의 부피와 압력과의 관계식은 다음과 같다.

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = \text{constant}$$

계가 외부의 힘에 의해 빠르게 압축되거나 팽창될 때는 단열과정으로 볼 수 있으며, 이 때 온도계는 압축이나 팽창과정에 따라 빠르게 반응할 수 없으므로, 즉 온도계와 계와의 열적 평형이 빠르게 일어날 수 없으므로 P 와 T , 또는 V 와 T 의 관계를 실험실에서 측정하기는 쉽지 않다. 한편 계의 변화가 느리게 진행되어 등온이 유지되는 가역 과정에서는 P , V 관계를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = nRT = \text{constant}$$

계의 부피가 V_1 에서 V_2 로, 또는 V_2 에서 V_1 으로 팽창 또는 압축되었다고 가정한다면(단, $V_2 > V_1$), 계가 한 일(w)은 다음과 같이 표현된다.

$$w = -P_{\text{ex}}(V_2 - V_1) \text{ 또는 } w = -P_{\text{ex}}(V_1 - V_2)$$

이때 $-P_{\text{ex}}(V_2 - V_1)$ 는 계가 팽창하면서 외부에 일을 해준 경우이고, 음의 값을 가진다. 따라서 이때의 내부에너지 변화 dU 는 $dq + dw$ 인데, dw 가 음의 값을 가지므로 $dq = 0$ 인 단열과정에서는 내부에너지가 줄어들게 된다. 반면에 $-P_{\text{ex}}(V_1 - V_2)$ 는 계가 압축되면서 dw 가 양의 값을 가지므로 단열과정에서 내부 에너지가 증가하게 된다.

한편 액체가 반지름 r 의 방울로 분산되었을 때 액체의 증기압력(p)을 나타내는 Kelvin식은 다음과 같다.

$$P = P^* \text{EXP}(2\gamma V_M / rRT)$$

(P 는 반지름 r 인 작은 방울에서 액체의 증기압력, P^* 는 보통 액체의 증기압, γ 는 액체의 표면장력, V_M 은 액체의 몰부피)

이 식에 따르면 공기의 단열팽창에 의한 물방울 형성의 초기 과정에 있어서는 액체 물방울의 반지름 r 이 매우 작아 이 액체 물방울은 높은 증기압력을 가지게 되므로 이로 인해 물방울이 다시 증발하여 과포화 상태로 있게 된다. 즉 열역학적으로는 수증기가 불안정 하나 운동학적 효과 때문에 물방울이 생기지 않는다. 그러나 분명히 하늘에는 구름 즉 물방울이 생기므로 다음과 같은 과정을 생각할 수 있다. 첫째, 처음부터 큰 물방울을 형성하여 증발효과가 나타나지 않는 경우이다. 그러나 이런 자발적인 핵 형성의 중심이 생길 기회는 많지 않다. 둘째, 소립자의 행적을 추적하는 안개상자의 원리처럼 다른 종류의 알갱이 즉 응결핵의 도움을 받는 경우이다. 이 때 응결핵은 물분자가 들러붙을 수 있는 표면을 제공하는 것이며 대부분의 수증기 응결은 응결핵의 영향 때문이라 생각된다.

2. 구름생성 원리에 관련된 선행연구

윌슨(Wilson, 1899)은 1895년 3월 먼저 없는 공기 속에서 수증기가 응결하는 최초의 실험장치를 만들었고 이 장치를 사용하여 지속적인 실험결과 구름상자에서 나타나는 응결현상을 몇 영역으로 나눌 수 있었다. 그는 이러한 연구를 통해 다음과 같은 사실들을 밝혔다.

우선 먼저 없는 공기에서 공기의 처음 부피 대 나중 부피의 팽창비가 1.25 이하에서는 응결이 생기지 않는다. 그리고 팽창비가 1.25~1.31에서는 물방울이 아주 적게 생겼다가 팽창비가 1.31을 넘어서면 물방울 수가 급격하게 증가한다. 마지막으로 팽창비가 1.37 이상일 때는 짙은 안개가 생성된다.

공기 중에서 일어나는 그의 실험결과를 볼 때 실험실에서 쉽게 응결현상을 관찰하려면 팽창비가 1.31 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 또한 그는 X-선 이

나 우라늄 선을 투여하면 팽창비가 1.25에서 응결이 증가하는 것을 발견했고 따라서 이 때의 응결핵은 광선에 의해서 생기는 이온의 작용에 의한 것이라고 결론지었다. 다양한 기체에서와 다양한 온도에서의 그의 실험결과 중 일부를 정리하면 (Table 1)과 같다.

3. 구름발생 실험에서 고려해야 할 사항

중학교 과학 교과서에 실린 대다수의 구름발생 실험에서는 주사기나 압력 펌프 등을 이용하여 외부에서 일을 해주도록 설계되어 있다. 외부에서 물리적인 힘을 가해 계를 압축 또는 팽창시킨다면, 계의 내부 에너지 변화는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$dU = dq + dw$$

이때 dw 는 팽창 또는 압축에 의한 일의 출입을 나타내며, 계의 내부에너지 변화에 기여한다. 계가 단열 팽창 할 때는 $dU = dq + dw$ 에서 $dq = 0$ 이며 계가 주위로 일을 하게 되어 $dw < 0$ 이 되므로 $dU < 0$ 이되고, 따라서 계의 내부에너지가 감소하므로 계의 온도가 낮아지게 되는 것이다.

또한 대부분의 교과서에서는 구름을 형성시키는 플라스크 내부에 소량의 물을 첨가하여 습윤 공기를 형성하도록 설계되어 있다. 따라서 이 경우에는 르샤틀리에의 원리를 고려하여야 한다. 즉 평형에 있는 계가 섭동을 받게 되면 계는 그 효과를 극대화시키려는 방향으로 반응을 일으킨다. 예를 들어 액체와 기체가

평형에 있는 계에서 압력을 줄이면 계는 이 압력을 다시 상승시키기 위하여 액체상에서부터 기화가 일어나 기체 수를 증가시킴으로써 압력이 증가되는 방향으로 평형이 이동하게 된다. 즉 물과 수증기가 평형 상태에 있는 계에서 압력을 감소시키면, 계에 있던 액체인 물에서 증발이 더 빨리 일어나게 된다. 따라서 공기가 포함하는 수증기의 양이 증가하게 된다.

이를 종합해 볼 때, 교과서에 제시된 실험의 결과 해석에 있어서는 구름이 생성되는 원리 이외에도 액체상과 기체상의 평형이동에 대한 항목이 반드시 고려될 필요가 있다.

4. 구름생성 실험에 대한 문제점 및 개선에 관련된 선행 연구

전인영(1994)은 탐구 실험을 통해 이루어지는 수업에도 불구하고 현재와 같은 교수방법으로는 중·고등학교 학생들의 구름생성과 관련된 개념 형성이 제대로 이루어지지 못함을 지적하였다.

김민화(1998)는 구름발생 실험기구를 개선하기 위해 온도변화를 측정할 수 있는 디지털 온도계를 사용해서 압축과 팽창시 온도차이가 0.1~0.2 °C 정도 나타나는 실험 kit를 만들어 수업한 결과, 학습성취도가 증가했음을 발표했다. 그러나 그의 실험 kit의 단점은 온도변화가 매우 미미하다는 점이다. 또한 팽창이나 압축시의 부피비가 윌슨의 연구와 비교했을 때 수증기 응결을 보기에는 적당하지 못하다.

Hayn과 Baird (1985)는 단열압축에 대한 실험에서

Table 1. Results of Wilson's Experiment

Ratio of expansion	Temperature(°C)	Sort of gas	Ray	Result
1.241	18	air	X-ray	no drops
1.247	18	air	X-ray	very few drops
1.259	18	air	X-ray	fog
1.251	13	air	Uranium ray	no drops
1.253	13	air	Uranium ray	1 or 2 drops
1.305	13	air	Uranium ray	fog

온도측정을 위하여 온도계 대신 열전쌍을 사용하였다. 그 결과, 단열압축시의 온도변화가 열역학적인 이론값과 비슷하게 측정되는 실험방법을 발표했다. 하지만 이 실험장치는 매우 비쌌 뿐 아니라 실험방법도 복잡하기 때문에 학교 현장에서 사용하기에는 적당하지 못하며, 또한 실험이 단열변화시의 온도 측정에만 국한되어 있으므로 수증기 응결과는 무관한 실험이라는 문제점을 가진다.

McNairy(1996)는 단열과정에서 압력과 부피에 대한 실제기체의 몰열용량비 γ 의 실험 값을 구할 수 있는 실험장치를 개발하여 공기, 이원자분자 기체인 질소, 삼원자분자 기체인 이산화탄소의 γ 값을 구하여 이론값과 비교하였다. 그 결과, 실험값과 이론값의 오차가 3~6% 정도로 잘 일치하였다. 이와 유사한 실험장치를 가지고 Lamb 과 White(1996)는 팽창과 압축에 관한 실험을 하였는데, 그 결과, 단열과정에서는 압력변화에 대한 온도변화가 너무 빨리 일어나므로 측정하기가 어렵다는 점을 지적하고, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 온도를 짧은 시간에 측정할 수 있는 열전쌍과 strip-chart recorder를 사용한 실험 결과를 발표했다. 그러나 이 실험은 기록장비를 구하기 어렵고, 실험에 적당한 컴퓨터와 interface card 등이 필요하므로 중·고등학교의 여건에서 사용하기에는 적절하지 못하다는 문제점이 있다.

이밖에 Moore(1984)는 단열과정에 대한 실험장치를, Chang(1983), Hoover 와 Moran(1979), Mills 와 Huston(1991)등은 단열과정에 대한 이론적 내용을 연구 발표하였다.

이상의 여러 선행 연구들을 살펴볼 때, 구름발생에 관한 실험이나 단열팽창에 관한 실험은 계속적인 연구의 대상이었음을 알 수 있다. 그러나 현재까지의 연구들은 주로 실험 장비나 여건 면에서 대학 실험실 수준이므로 일선 중·고등학교에 적용하기 어려운 면이 있고, 이러한 실험에서 요구하는 이론 역시 중·고등학교 수준을 넘어서는 것들이다. 따라서 이론적인 면에서나 장비 면에서 볼 때 중·고등학교에서 쉽게 적용하고 사용할 수 있는 새로운 실험 kit의 개발이 요구된다고 본다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 교과서에 제시된 구름 발생 실험의 유형 및 문제점 분석

5차 교육과정과 6차 교육과정의 초등학교 자연 교과서와 중학교 과학교과서에 소개된 구름발생 실험은 크게 세 종류로 구분된다.

1) 주사기를 이용하여 기체의 부피를 팽창시키는 실험

5D, 5E, 6A, 6D, 6F, 6G, 6H 등 5차 교육과정의 2종류 교과서와 6차 교육과정의 5종류 교과서에서 이러한 형태의 실험을 제시하고 있다. 이 실험에서는 등근바닥 플라스크에 물을 조금 넣고 주사기를 잡아 당겼다가 압축시키는 과정을 반복하면서 플라스크 안의 변화를 관찰한다. 이 때 주사기를 잡아 당기는 것은 내부 공기의 팽창에 해당하지만, 그 팽창비는 윌슨의 논문에 나타난 임계팽창비(나중부피/처음부피)에 비해 매우 작기 때문에 이러한 실험을 통해 수증기의 응결 현상을 관찰하는 것은 이론적으로 불가능하다.

실험에서는 보편적으로 100 mL 또는 250 mL 나 300 mL 정도 크기의 등근바닥 플라스크를 사용하는데, 윌슨의 구름상자와 비교해 볼 때 300 mL 플라스크를 기준으로 수증기가 포화된 공기를 93 mL 이상 팽창시켜야 물방울의 응결을 관찰 할 수가 있다. 그러기 위해서는 주사기의 용량이 실험에 제시된 것보다 엄청나게 커야 한다.

더구나 학생들은 실제 실험활동에서 한번만 공기를 팽창시키고 내부의 변화를 관찰하는 것이 아니라, 주사기를 외부에서 힘을 가해 잡아당기고 다시 힘을 가해 밀어 넣는 과정을 반복하기 때문에 계의 입장에서 는 외부로부터 일을 받은 것이 된다. 왜냐하면 피스톤을 뒤로 뺄 때는 주위가 일을 받는 것이고, 피스톤을 밀 때는 주위가 일을 해주는 것이므로 때는 양과 미는 양이 같으면 알짜로 일을 주지도 받지도 않으므로 온도변화가 없어야 하지만 피스톤의 마찰 등으로 인한 열이 계로 들어가기 때문이다. 따라서 설사 이

실험이 단열과정으로 일어난다 하더라도 외부에서 가해진 일의 일부가 열로 바뀌기 때문에 온도의 하강이 관찰되기 어려울 것이다. 또한 실험을 통해 수증기가 응결하면서 방출되는 잠열까지 고려한다면 이 실험을 통해 단열 팽창에 따른 온도의 하강을 관찰하기는 어려울 것이다.

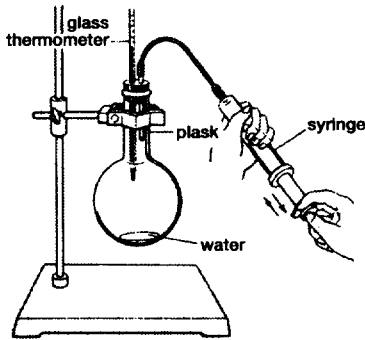


Fig. 2. Cloud making experiment using injector

또한 이 실험에서는 향 연기를 주입하면 주사기를 잡아당길 때 뿐 아니라 주사기를 밀 때도 플라스크가 흐려지는 현상이 보인다. 온도의 하강이 관찰되지 않음에도 불구하고, 향 연기를 조금 넣고 실시하면 실제 플라스크가 뿌옇게 흐려지는 현상을 쉽게 관찰할 수 있는 이유를 구름의 생성 원리뿐 아니라 다른 곳에서도 찾아볼 필요가 있다. 그 중에 하나는 르사틀리에의 원리이다. 주사기로 인해 기체의 부피가 팽창함으로써 기체의 압력이 감소하면 플라스크 내부에 있던 액체 상태의 물에서 증발이 더 잘 일어나게 된다. 따라서 이 과정을 여러 번 반복하면 공기 중의 수증기량이 증가하여 과포화 된다고 볼 수 있다. 그 후에 다시 주사기를 잡아당기면 단열팽창이 일어나고 이 때 향 연기에 수증기가 들러붙어서 플라스크 내부가 뿌옇게 흐려지는 것이다. 주사기의 피스톤을 밀 때 플라스크가 뿌옇게 흐려지는 것은 수증기의 분압과 관계가 있다. 주사기의 피스톤을 뒤로 빼면 계의 부피가 늘어나므로 수증기의 분압이 낮아지게 되며, 물과 수증기가 평형을 이루기 위해서는 수증기가 더 생겨야 한다. 그 후 주사기의 피스톤을 밀면 계의 부피

가 줄어들면서 수증기의 분압이 높아지게 되어 포화 수증기압 이상이 되면 향연기에 수증기가 들러붙어서 응축이 일어나는 것이다. 따라서 이 실험의 현상을 이해하기 위해서는 단열팽창 개념뿐 아니라 르사틀리에의 원리에 따른 상태변화의 개념 및 수증기의 분압에 관한 개념이 필요하다고 볼 수 있다. 실제실험에서는 주사기를 뒤로 뺄 때뿐 아니라 밀 때도 플라스크 내부가 뿌옇게 흐려지며 피스톤 왕복운동을 여러 번 반복할수록 오히려 온도가 눈금이 상승하는 것으로 확인되었다.

2) 공기펌프를 이용하여 기체의 압력을 증가시키는 실험

5차 교육과정의 한 종류 교과서(5A)와 6차 교육과정의 두 종류 교과서(6C, 6E)에서 이러한 형태의 실험을 제시하고 있다. 이 실험은 주사기 대신에 공기펌프를 사용하였다는 점을 제외하고는 주사기를 이용한 실험과 매우 유사하다. 그러나 주사기 실험과는 달리 단열팽창에 의한 수증기 응결만 일어난다는 면에서 큰 차이가 있다. 공기펌프를 이용할 경우에는 플라스크 내부의 기체의 압력을 증가시킨 후에 펌프의 마개를 열어 압축된 공기를 팽창시키면서 기압의 감소에 따른 수증기의 응결 현상을 관찰하는 것이다.

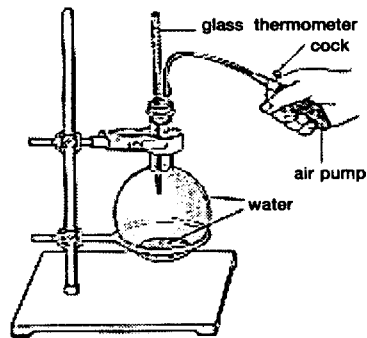


Fig. 3. Cloud making experiment using air pump

구름이 생성되는 것은 공기가 1기압에서 더 낮은 기압으로 내려가는 현상이지만, 이 실험에서는 그 대신에 더 높은 기압에서 1기압으로 내리는 현상을 관

찰하는 것이다. 기체의 단열팽창에 관한 식 $T_2 = T_1(V_1/V_2)^{\gamma}$ 에서 공기의 γ 값은 상온에서 1.40이다. 만약 실험을 17 °C에서 실시하고, 내부 기압을 2기압으로 올린 후에 이를 1기압으로 단열팽창한다면, T_2 값을 열역학 제1법칙에 근거한 식으로부터 이론적으로 계산하면 약 -53.2 °C이어야 한다.

그러나 실제로 이러한 온도의 하강을 관찰하기는 쉽지 않다. 그 이유는 열평형 과정의 문제에서 찾아볼 수 있다. 이러한 단열팽창 실험에서 온도의 변화는 0.3~0.5초 사이에서 정밀한 기구로 측정될 때에만 관찰될 수 있다. 단열팽창은 순간적으로 일어나는 일이며, 그 후에는 주위로부터 열을 받아 서서히 열평형에 도달하기 때문이다. 그런데 온도계는 온도계와 측정하려는 물질 사이의 열평형에 도달해야 그 물질의 온도를 나타내기 때문에 순간적으로 일어나는 온도 하강에 대한 측정이 쉽지 않은 것이다. 특히 정확하고 실험에서 사용하는 유리 온도계의 경우에는 이러한 문제가 더욱 심각하다. 온도계의 사용법 중에 측정하고자 하는 물질에 넣고 최소한 5분 이상 기다려야 하는 것이 바로 이를 의미한다. 이렇게 되면 이미 주위로부터 열이 유입되었기 때문에 단열의 개념을 가질 수 없게 된다.

더구나 플라스크를 압축하는 과정에서 플라스크의 입구를 막고 있던 고무마개가 내부의 압력 증가로 인해 빠지거나 유리로 만든 플라스크 자체가 깨질 가능성이 있다. 따라서 유리 플라스크의 내부 압력을 크게 증가시키기 어려운 점이 있다.

3) 얼음을 이용하여 기체의 온도를 낮추는 실험

5차 교육과정의 한 종류 과학 교과서(5B)와 6차 교육과정의 한 종류 과학 교과서(6B)에서 이러한 형태의 실험을 제시하고 있다. 이 실험은 주사기나 공기펌프를 이용하여 기체의 부피를 팽창시키거나 기체의 압력을 증가시키는 실험과는 달리, 공기의 온도가 내려가면 수증기가 액체인 물방울로 변화하는 것을 관찰하는 것이다. 이 실험에서는 기체의 압력이나 부피 등에 대한 고려가 전혀 없다. 따라서 구름의 생성 원리인 단열팽창과는 아무런 관계가 없는 실험이라고 볼 수 있다. 초등학교 자연 교과서(ES)의 경우에는

안개와 이슬이 생성되는 원리에서 이와 유사한 실험을 제시하고, 그 다음에 구름이 생성되는 것에 대해서는 실험이 제시되지 않았으나, 따뜻한 공기가 위로 올라가면 온도가 낮아져서 작은 물방울로 변해 구름이 된다고 설명한다.

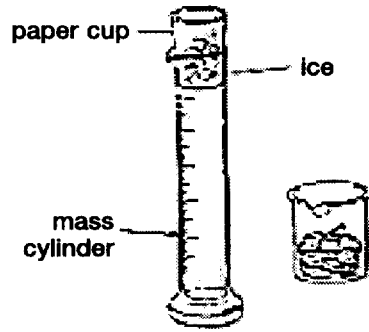


Fig. 4. Cloud making experiment using ice

2. 열역학적 관점에서 보다 정확한 구름 발생 실험 장치의 개발

1) 개발한 실험 장치

교과서에 제시된 주사기를 이용하여 기체의 부피를 팽창시킨 후 감소시키는 실험, 공기펌프를 이용하여 기체의 압력을 증가시킨 후 감소시키는 실험, 얼음을 이용하여 기체의 온도를 낮추는 실험 중에서 구름 발생의 원리와 가장 잘 일치하는 실험은 공기펌프를 이용하여 기체의 압력을 증가시킨 후 감소시키는 실험이라고 할 수 있다. 그러나 이 실험 역시 온도계의 열평형 문제와 플라스크의 압력을 증가시킬 때 깨질 위험성 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유리 온도계보다 예민한 디지털 온도계(SUMMIT SDT340)와 높은 압력에서도 견딜 수 있고 쉽게 깨지지 않는 1.5 L들이 탄산음료용 투명한 PET병을 이용한 실험을 개발하였다.

디지털 온도계의 크기 때문에 이 온도계를 사용하려면 적어도 공기를 담은 용기의 용량이 250 mL 이상이 되어야 하며, 이렇게 큰 용량의 공기를 작은 공

기펌프로 압축시키는 것은 어려운 일이다. 따라서 공기를 압축하는 방법으로 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 물로켓 발사용 공기펌프를 사용하였다. 물로켓 발사용 공기펌프는 대부분의 일선학교에 구비되어 있고, 압력계가 달려있기 때문에 용기 안의 압력 측정도 가능하다는 장점이 있다. 이 실험에서 사용한 공기펌프는 5 기압까지 공기압력을 높일 수 있었다.

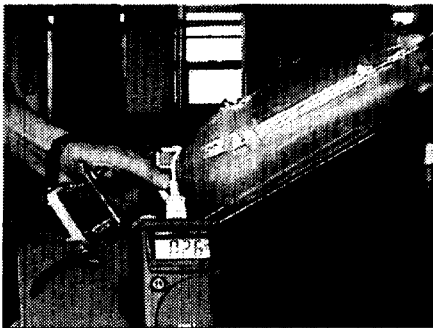


Fig. 5. Photograph of cloud making experimental device

2) 개발한 장치의 실험 결과

이 연구에서 개발한 실험장치의 개선에 따른 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 온도 변화

(Table 2~4)에 제시한 여러 가지 온도 조건에서 내부압력이 2기압으로 증가될 때 온도는 3 °C 정도

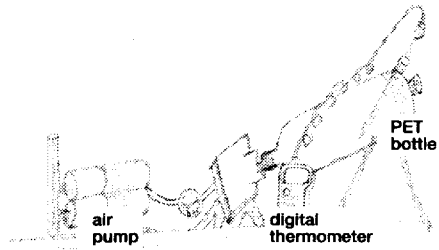


Fig. 6. Illustration of cloud making experimental device

Table 2. Temperature change results(outside temperature of PET bottle: 7°C, inside: 8°C)

Inside air pressure of PET bottle	Temperature	Temperature after adiabatic expansion		Time measured
		no smoke	smoke	
2	11°C	9°C	10°C	1 min.
2.8	13°C	10°C	11°C	1 min.

Table 3. Temperature change results(outside temperature of PET bottle: 10°C, inside: 11°C)

Inside air pressure of PET bottle	Temperature	Temperature after adiabatic expansion		Time measured
		no smoke	smoke	
2	14°C	11°C	12°C	1 min.
2.8	16°C	12°C	13°C	1 min.

Table 4. Temperature change results(outside temperature of PET bottle: 16°C, inside: 17°C)

Inside air pressure of PET bottle	Temperature	Temperature after adiabatic expansion		Time measured
		no smoke	smoke	
2	20°C	18°C	19°C	1 min.
2.8	22°C	18°C	19°C	1 min.

올라갔으며, 내부압력이 2.8기압으로 증가될 때 온도는 5 °C 정도 올라갔다. 한편 PET병을 단열팽창 시키면서 1분 후 측정된 온도는 향 연기가 있을 때 1~2 °C (2기압), 향 연기가 없을 때 2~3 °C 정도 내려갔다. 향 연기는 구름의 생성을 보다 뚜렷하게 관찰하는 데에 도움을 주었으나, 향 연기 자체가 구름의 생성에 있어서 필수 조건으로 작용하지는 않았다.

2) 응결핵의 유무

이 실험 장치에 의하면 실험에서 응결핵이 있을 때는 짙은 구름이 만들어지며, 이 때 온도 변화는 응결핵이 없을 때보다 적었다. 이는 수증기가 응결할 때 잠열을 방출하여 공기의 온도를 올리기 때문으로 해석된다. 따라서 실험을 통해 온도 변화를 관찰하고, 이로부터 단열팽창으로 인한 구름의 생성 원리를 확인하기 위해서는 응결핵을 넣지 않고 실험하는 것이 더 나을 것이다.

기존의 실험 장치로는 응결핵이 없이 구름의 생성을 관찰하기 어려워 응결핵의 첨가가 필수적이었으나, 본 연구에서 개발한 실험 kit에서는 응결핵 없이도 구름의 생성이 확인될 수 있다는 장점이 있다. 구름이 생성되기 위해서는 언제나 응결핵이 필요한 것은 아님에도 불구하고 응결핵 없이는 구름이 생성되지 않는 기존의 실험 장치 때문에 학생들이 구름의 생성에 응결핵이 필수적인 것으로 잘못 생각할 수 있는 것도 이 실험 장치를 이용하면 줄어들 것이라고 본다.

3) 임계팽창비

월슨의 연구에 따르면 임계팽창비가 $1.25(V_2/V_1)$ 이하에서는 먼지가 없을 때 수증기 응결이 일어나지 않으며, 이 임계비에서는 먼지가 있을 때에도 약간의 응결만이 일어난다. 한편 먼지가 없을 때에는 임계비가 1.25~1.37 사이에서 눈으로 확인 가능한 뚜렷한 응결이 일어나며, 1.37이 넘을 때에는 짙은 안개가 형성된다. 따라서 기체의 팽창비를 1.25 이상으로 팽창시킬 수 있도록 실험 kit를 개발하는 것은 실험 결과의 신뢰성을 위해 필수적이라고 할 수 있다. 이 연구에서 개발한 장치는 이러한 기체의 팽창비를 고려하

여 제작되었기 때문에 기존의 주사기나 공기 펌프를 이용한 실험 장치가 가지는 한계점을 극복할 수 있었다.

IV. 요약, 결론 및 제언

이상의 실험결과를 요약하면 (Table 5)와 같다. (Table 5)에 제시한 실험 결과를 비교하여 보면, 주사기를 사용한 실험 장치에 의해서는 온도변화를 측정할 수 없을 뿐 아니라 응결핵을 반드시 넣어 주어야 하며, 여러번 되풀이하여 주사기를 펌프질하면 오히려 온도가 올라가는 결과를 나타낸다. 한편 공기펌프를 사용한 실험에서도 수증기 응결을 관찰하려면 응결핵을 넣어야 하고 압축시에는 온도변화를 미약하게 관찰할 수 있으나 팽창시에는 온도변화를 관찰하는 것이 불가능하다. 또한 강하게 압축할 경우에는 플라스크나 온도계가 파손되는 위험성이 있었다. 그리고 얼음을 이용한 실험은 수증기 응결을 관찰하기 위한 실험일 뿐 단열팽창에 의한 구름발생 실험이라고 보기는 어렵다. 한편 PET병과 디지털 온도계, 그리고 물로켓 발사용 펌프를 이용하여 개발한 본 실험의 장치로는 응결핵과 관계없이 구름발생을 관찰할 수 있고 압축이나 팽창시 온도변화도 뚜렷하게 측정할 수 있었으며 실험상의 안전에도 문제가 없다는 장점이 있었다.

과학 교육에서 실험은 반드시 필요한 교수학습 과정이나 잘못된 실험자료나 방법은 오히려 교육적 측면에서 역효과를 줄 수 있다. 따라서 무조건 실험을 강조할 것이 아니라 문제 있는 실험들을 계속해서 개선하여 일선 교육현장에서 보다 정확한 과학 개념 형성에 도움을 줄 수 있도록 노력하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 학생들이나 연구자들에 의해 끊임 없이 문제제기 되어 온 실험 중에 하나인 구름발생 실험의 내용을 분석하고, 이를 개선하기 위한 방안을 고안하였다.

앞으로 이와 유사한 문제점을 가질 수 있는 중등학교 실험 내용에 대한 분석과 개선을 위한 실험 자료의 개발이 계속 이루어져야 한다고 본다.

Table 5. Summary of results

Method of experiment	Condensation degree		Temperature change measured	Comment
	smoke	no smoke		
Using injector	observable	faintly observable	not observable	No adiabatic expansion. Sometimes temperature increases when compressions and expansions are repeat by injector.
Using air pump	observable	not observable often	less than 0.5°C	Hard to compress by the experimental device.
Using ice	observable	not observable	not observable	No adiabatic expansion. Only condensation phenomena by temperature change.
Using PET bottle, digital thermometer, and rocket air pump	observable	observable	about 4~5°C	Adiabatic expansion phenomena can be clearly observable.

적 요

이 연구에서는 5차 교육과정과 6차 교육과정의 중학교 과학 교과서에 제시된 구름발생 실험 내용을 실험 방법 및 실험 기구 등의 측면에서 비교 분석하였다. 그리고 열역학적 관점에서 문제점을 살펴보고 있으며 이러한 문제점을 개선하기 위한 실험을 개발하여 교과서 실험 결과와 비교함으로써 그 효과를 알아보았다.

감사의 글: 이 연구에 필요한 자료와 지원을 아끼지 않으신 포항공과대학 임경순 교수님과 과학문화연구센터에 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

강영희, 조완규, 권숙일, 나일성, 소현수, 조희구, 이민호, 윤길수, 하효명, 서평웅, 김종권, 이영만, 목창

수(1994). 중학교 과학 2 두산동아: 서울.
 공구영, 김진규, 이광만, 허 동, 김택종, 정문호, 이기성, 김병국, 안태근, 김영국, 김수웅, 정의현, 박병훈(1994). 중학교 과학 2 지학사: 서울.
 교육부(1999). 자연 5-1, 국정교과서주식회사: 충남.
 권숙일, 조완규, 강영희, 나일성, 김장환, 조희구, 이민호, 윤길수, 하효명, 김종권, 이영만, 목창수(1988). 중학교 과학 2, 동아출판사: 서울.
 권재술, 김범기, 최병순, 현종오, 이길재, 임건일, 정진우, 이연우, 홍성일(1997). 중학교 과학 2 (주)한샘출판: 서울.
 김민화(1998). 구름발생 실험기구의 개선. 경북대학교 교육대학원 석사학위논문.
 김순식, 이보열, 오수량, 정해문, 홍창포, 이범홍, 안희수, 양희, 양고석(1988). 중학교 과학 2 (주)지학사: 서울.
 김시중, 정완호, 한복수, 우종욱, 이종면, 임경배, 정근화, 민경덕, 구창현, 이광석, 최동형, 김병국, 이상진, 박범익(1994). 중학교 과학 2 금성출판사: 서

- 울.
- 김시중, 한복수, 임경배, 민경덕, 이종면, 김용석, 이광석, 국동식, 구창현, 최돈형, 박범익, 김종화 (1988). 중학교 과학 2. (주)금성교과서: 서울.
- 박봉상, 서정쌍, 박희승, 김윤우, 정대영, 허성일, 서광호, 최병수(1994). 중학교 과학 2. 동화사: 서울.
- 송인명, 이춘우, 오제직, 최석남, 박영철, 문형대, 우영균, 광중흙(1994). 중학교 과학 2. (주)교학사: 서울.
- 송인명, 이춘우, 한인전, 오제직, 이원규, 박영철, 우영균, 광중흙(1988). 중학교 과학 2. (주)교학사: 서울.
- 우규환, 홍종배, 안태인, 권병두, 진황운, 손영진, 이평윤, 전성용(1994). 중학교 과학 2. 천재교육(주): 서울.
- 임경순(1999). 율슨과 구름상자. 물리학과 첨단기술. March, 41~44.
- 전인영(1994). 구름생성과 관련된 개념에 대한 중·고등학생의 이해. 충북대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 정창희, 유경로, 정창희, 이원식, 강만식, 이인규, 송희성, 이인호, 유용(1988). 중학교 과학 2. (주)교학사: 서울.
- 정창희, 이원식, 강만식, 이인규, 송희성, 윤희식, 이금휘, 한인섭, 박은호, 문찬호, 유용(1994). 중학교 과학 2. (주)교학사: 서울.
- Chang, O. K.(1983). Kinetic Model for Adiabatic Reversible Expansion of a Monatomic Ideal Gas. *Journal of Chemical Education*, 60(8), 647~648.
- Hoover, W. G. and Moran, B.(1979). Pressure Work Exercises Illustrating the First and Second Laws. *American Journal of Physics*, 47(10), 851~856.
- Hayn, C. H. and Baird, S. C.(1985). Adiabatic Compression in a Fire Syringe. *The Physics Teacher*, 23(2), 101~102.
- Lamb, D. W. and White, G. M.(1996). Apparatus to Measure Adiabatic and Isothermal Process. *The Physics Teacher*, 34(3), 290~292.
- McNairy, W. W.(1996). Isothermal and Adiabatic Measurements. *The Physics Teacher*, 34(3), 178~180.
- Mills, D. S. and Huston, C. S.(1991). The "Sadly Carnot" Thermodynamic Cycle Revisited. *The Physics Teacher*, 29(3), 180~181.
- Moore, W. M.(1984). The Adiabatic Expansion of Gases and the Determination of Heat Capacity Ratio. *Journal of Chemical Education*, 61(12), 1119~1120.
- Wilson, C. T. R.(1899). On the Condensation Nuclei Produced in Gases by the Action of Rontgen Rays, Uranium Rays, Ultra-violet Light, and Other Agents. *Philosophical Transactions* 192, 403~453.