

과학 교과서에서 기압과 대기압에 대한 설명 방식의 차이점 분석

백성혜 · 송주현
(한국교원대학교 화학교육과)

Analysis of Differences of Explanation on Gas Pressure and Atmospheric Pressure in Science Textbooks

Paik, Seoung-Hey · Song, Ju-Hyun
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

In this study, we analyzed differences of explanation on gas pressure and atmospheric pressure in elementary and secondary school science textbooks and general chemistry and general earth science textbooks based on three types of explanation criteria: first, explanation of mass; second, explanation of air pressure on unit area; third, explanation of molecular motion. The results were as follows. Elementary science textbook belonged to the first type. All of the secondary school chemistry textbooks belonged to the third type. But most of the general chemistry textbooks belonged to the first and second type. Most of the earth science textbooks for secondary school and most of the general earth science textbooks belonged to the first type. Therefore, the differences of explanation could disturb students' understanding on gas pressure and atmospheric pressure.

Key words: gas pressure, atmospheric pressure, mass, air pressure, molecular motion

I. 서 론

과학교육에서 과학 개념들의 통합에 대한 시도는 매우 중요하게 간주되어 왔다(조희형과 박승재, 1998). 그러나 이러한 시도에도 불구하고 동일한 자연 현상에 대한 내용을 다루는 경우에 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역에서 개념에 대한 서술 방식에 차이가 존재하고 있다. 과학 개념들에 접근하는 방식은 과학자마다 다를 수 있으나, 과학을 배우는 학생들의

입장에서 보면 과학 개념에 대한 서술 방식의 차이는 과학 개념을 정확하게 이해하는데 큰 방해로 작용할 수 있는 것이다.

이러한 문제를 가지는 내용 중의 하나로 기압과 대기압을 생각해 볼 수 있다. 기압과 대기압은 공기의 압력 또는 기체의 압력 등의 개념으로도 나타낼 수 있으며, 주로 화학과 지구과학 영역에서 다루는 내용이다. 그런데 화학에서 접근하는 방식과 지구과학에서 접근하는 방식 사이에는 통일되지 못한 시각의 차

이가 존재하고 있다.

기압이나 대기압에 관련된 학생들의 개념을 조사하거나 교수법의 효과를 알아보는 연구들(Novick & Nussbaum, 1981; Shepardson & Moge, 1994; Stavy, 1988; 국동식, 1991; 김옥현, 1993; 김정민, 1996; 김학목, 1993; 박재원, 2001; 박찬구, 1998; 이현숙, 2000)이 꾸준히 이루어지고 있다. 이는 기압이나 대기압에 관련된 개념을 학생들이 학습하는데 어려워하고 있다는 점을 반영하는 것이라고 볼 수 있다.

Stavy(1988)는 기체 자체가 학생들에게 보이지 않는 속성을 가지고 있는 형식적인 것이기 때문에 학생들은 기체를 학습하기 이전에 기체에 대한 지식이 매우 빈약하다고 지적하였다. 그리고 이는 일상생활에서 매우 제한된 수의 기체를 접하기 때문이라고 설명하였다. 이러한 이유 때문에 기체의 성질로 나타나는 기압이나 대기압의 개념을 학생들이 이해하기가 어려울 가능성이 있다.

Shepardson과 Moge(1994)의 연구에서는 학생들이 공기와 중력은 불가분의 관계로 인식하였으며, 기압이 중력의 원인이라 생각한다고 밝혔다. 박찬구(1998)는 초등학교 학생들이 대기압의 작용 방향, 대기압과 공기의 이동, 고기압과 저기압 등에 대한 개념은 학습 후에도 과학적 개념으로 거의 변화되지 못하였음을 밝혔다. 이는 이러한 개념이 공기의 무게로 인해 유발되는 대기압의 개념과 일치하지 못하기 때문으로 생각된다. 류승아 등(1999)은 학생들이 기압을 중력방향과 관련이 있다고 생각하고 있으며, 대기압과 풍선 안의 압력과의 평형 개념과 압력과 부피에 관련된 개념이 매우 부족하다는 점을 지적하였다.

김학목(1993)은 학생들이 대기압은 누르는 압력이므로 대기압의 작용 방향을 위에서 아래로 작용한다고 생각하며, 공기 중에 떠 있는 물체의 경우에는 아래에서 위로 대기압이 작용하고 바람의 영향을 받는다고 생각하고 있음을 밝혔다. Driver 등(1985)의 연구에서도 학생들이 기체는 한쪽 방향으로만 힘을 작용하는 것으로 이해함을 밝혔다.

국동식(1991)은 대기압에 대한 학생들의 대체 개념을 중학교 1학년에서 고등학교 2학년까지 학년별로

조사하였는데, 학생들이 대기압에 대한 이해가 구체적이지 못하고 매우 피상적이었음을 밝혔다. 또한, 학생들이 대기압을 중력과 관련지어 이해한다는 점을 대체 개념으로 지적하고 있으나, 이는 대기압을 공기의 무게로 설명하기 때문이라고 생각된다. 만약 기압이 무게 때문에 형성되는 것이라고 가르친다면, 주사기의 피스톤을 손으로 누를 때 중력과 다른 방향으로 힘을 가해도 주사기 내부의 기압이 증가할 수 있음을 설명하지 못할 것이다.

현재까지 이러한 문제를 해결하기 위한 방안을 제안한 연구들이 있었다. Tytler(1998)는 학생들이 대기압에 관해 학습하는데 어려움을 느끼는 이유는 입자적인 현상을 응용하는데 어려움이 있기 때문이라고 지적하고, 입자적인 현상을 응용할 수 있도록 가르쳐야 한다고 주장하였다. Novick과 Nussbaum(1981)은 기체의 성질을 이해하기 위해서는 입자적 관점을 이해하고, 기체 입자와 입자 사이의 진공 개념과 입자의 운동 개념 등을 이해하는 것이 선행되어야 한다고 주장하였다. 그리고 고등학교와 대학교 학생들조차 이러한 개념이 제대로 형성되어 있지 않음을 문제점으로 지적하였다. Sanger 등(2000)은 입자적인 현상을 묘사한 컴퓨터 애니메이션을 포함한 교수법이 기압에 관련된 학생들의 과학적 개념 향상에 도움이 된다고 밝혔다.

이상의 선행 연구들은 주로 학생들의 선개념과 오개념 조사나 개념 학습을 위한 교수 학습 방법에 관심을 두었으며, 기압이나 대기압 자체에 대한 교과서적 정의의 문제는 거의 다루지 않았다. 또한, 대다수의 선행 연구들은 주로 초등학교부터 고등학교까지의 문제점만을 지적하였으며, 대학교까지 그 연구 대상을 넓힌 경우는 거의 없었다. 따라서 이 연구에서는 초등학교에서부터 대학교까지의 과학 교과서 분석을 통하여 학생들이 가지는 기압과 대기압에 대한 선개념의 원인을 찾아보고, 이에 대한 해결 방안을 모색하여 보고자 한다.

II. 연구 방법

이 연구에서는 제 6차 교육과정의 초등학교, 중학교,

고등학교 교과서 중에서 기압이나 대기압에 관련된 내용을 다루고 있는 내용을 중심으로 분석하였다. 또한 많은 대학교에서 교과서로 주로 채택하고 있는 대학교 일반화학 교과서 16종과 일반지구과학 교과서 11종을 분석하였다. 초등학교 교과서는 한 종류이므로 E1으로, 중학교 과학 교과서는 영문 약자를 따서 MS로 표기하였으며, 저자의 자모음 순서나 알파벳 순서에 따라 일련의 번호를 붙여 분석하였다. 고등학교 화학 II는 HC로, 지구과학 I 교과서는 HE로, 지구과학 II 교과서는 HEII로 표기하였으며, 대학교 일반화학 교과서는 UC로, 일반지구과학 교과서는 UE로 표기하였다.

이 연구에서는 분석 대상 교과서에서 기압이나 대기압에 관련된 진술문을 선택하고, 이 진술문들을 비교하여 기압이나 대기압을 설명하는 방식의 유형을 추출하였다. 분석에는 중학교 과학 교사 3인과 과학교육 전공 석사과정 대학원생 2인, 그리고 과학교육 전문가 1인이 참여하였다. 대학원생 2인과 과학교육 전문가에 의해 개별적으로 진술문의 유형을 일차 분석한 후에, 교과서의 진술 원문과 분류된 항목을 점검하여 관련되는지를 보았으며, 의견이 일치하지 않는 경우에는 토의를 거쳐서 분류틀을 조정하거나 새로운 분류틀을 첨가하는 방식으로 진행하였다. 합의점에 도달한 유형의 경우에는 중학교 현직 교사 3인에 의해 이차 분석을 실시하여 내용 타당도를 점검받았다. 이로부터 추출된 설명 유형은 크게 3가지이다.

유형 1은 “무게로 설명한 경우”이다. 예를 들면 “지표면도 공기의 무게에 의하여 압력을 받고 있다. 이러한 공기의 압력을 기압이라고 한다.”(MS1)와 같은 설명이 이에 해당한다. 무게는 중력의 개념을 포함하는 것이기 때문에 무게로 기압을 설명하게 되면, 무중력 상태에서는 기압이 존재하지 못한다고 생각할 수 있다. 그러나 우주선을 타고 우주로 나가면 무중력 상태일 수 있으나, 그 우주선 안의 기압은 1기압을 유지할 수 있다. 비행기가 높은 고도를 유지하는 경우에도 비행기 외부의 기압은 낮을 수 있지만, 비행기 내부는 1기압을 유지할 수 있다. 따라서 무게로 기압을 설명하는 유형은 무중력과 진공의 혼동을 유발할 수 있는 설명으로 보고 설명 유형 중 하나로 구분

하였다.

유형 2는 “단위 면적에 작용하는 공기의 압력”으로 설명한 경우를 분류하였다. 예를 들면, “기체가 용기 벽의 단위 면적에 가하는 힘을 그 기체의 압력이라고 한다.”(Oxtoby *et al.*, 2000)와 같이 설명한 경우가 이에 해당한다. 그런데 압력의 원래 정의가 ‘단위 면적에 작용하는 힘’이기 때문에 기체의 압력인 기압을 ‘기체가 단위 면적에 작용하는 힘’으로 정의하는 것은 단지 용어를 재진술하여 제시한 수준 이상이라고 보기 어렵다. 즉 기압의 원인 자체를 설명하지 않고 단지 용어를 풀이하는 수준으로 제시한 유형이라고 볼 수 있다. 따라서 이 유형은 무게로 기압을 설명한 유형 1과 구분하여 분류하였다.

유형 3은 “기체 분자 운동으로 설명한 경우”이다. “기체 압력은 분자가 끊임없이 운동을 하면서 용기의 내벽과 충돌함으로써 일어나는 결과이다.”(Corwin, 2000)와 같은 설명이 이에 해당한다. 무게로 기압을 설명한 유형 1과 달리 이 유형은 분자운동으로 기압을 설명하였기 때문에 무중력권에서도 다양한 기압이 존재할 수 있는 이유를 설명해 줄 수 있다. 또한 이 유형의 설명은 화학분야에서 다루는 기체 법칙 중 하나인 보일-샤를의 법칙과도 연결되기 때문에 학생들이 하나의 원리로 두 가지 이상의 현상을 접목시켜 이해할 수 있다는 장점을 가진다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 초등학교 교과서의 설명 유형 분석

초등학교 5학년 1학기 자연 교과서에서는 고무풍선을 이용해 공기가 무게가 있음을 확인하는 실험을 한다. 즉, 같은 양의 공기를 넣은 고무풍선 두 개를 수평이 되도록 양팔 저울에 장치하고, 한쪽의 풍선을 터뜨려 저울의 팔이 터지지 않은 풍선 쪽으로 기울는 것을 관찰시킨다. 그래서 공기의 압력은 공기의 무게 때문에 생기는 현상이라고 설명하며, 이를 기압으로 표현한다. 즉, 무게로 설명한 유형 1로 설명하고 있다. 따라서 초등학교 학생들이 공기의 압력 또는 기압은 공기의 무게가 작용하는 방향, 즉 중력 방향으로 작

용할 것이라고 생각하는 것은 자연스러운 현상이다.

그리고 공기의 압력이 중력 방향만이 아니라 모든 방향으로 작용함에 대해 실험하고, 주사기의 피스톤을 이용하여 힘이 작용할 때 주사기 안과 밖의 공기 압력을 비교하여 고기압과 저기압을 설명한다. 그러나 기압을 공기의 무게로 인해 생기는 것으로 정의하기 때문에 주사기의 피스톤을 손으로 누를 때 중력과 다른 방향으로 힘을 가해도 주사기 내부의 기압이 증가할 수 있음을 설명하는 고기압과 저기압에 관련된 내용과 기압의 정의는 일치하지 않는다.

초등학교 6학년 1학기 자연 교과서에서 기체를 입자적 물질관으로 제시하고 기체의 구성 입자들이 매우 활발하게 운동하는 상태로 표현하지만, 이러한 기체에 대한 설명을 5학년 1학기 자연 교과서에 제시된

기압의 개념과 관련짓고 있지 않다. 따라서 교과서에 초등학교 고학년 학생들이 대기압의 작용 방향, 대기압과 공기의 이동, 고기압과 저기압 등에 대한 개념을 어려워 할 수도 있다고 본다.

2. 중학교 교과서의 설명 유형 분석

중학교 2학년 과학 교과서에서는 화학 영역과 지구과학 영역에서 기체의 압력 즉, 기압을 다루고 있다. 그런데 화학 영역에서 설명하는 유형과 지구과학 영역에서 설명하는 유형 사이에는 큰 차이가 있다. 이를 초등학교, 고등학교, 대학교의 경우와 비교한 결과를 Table 1에 제시하였다.

Table 1을 보면, 중학교의 화학 영역에서는 모든

Table 1. Explanation types of gas pressure and atmospheric pressure in science textbooks

School	Type 1	Type 2	Type 3	No explanation
Elementary school	Fifth grade E1			
Middle school	Chemistry part		MS1, MS2, MS3, MS4, MS5, MS6, MS7, MS8	
	Earth science part	MS1, MS2, MS3, MS5, MS6, MS8	MS7	MS4
High School	Chemistry II		HC1, HC3, HC4, HC5, HC6, HC7, HC9, HC10, HC11, HC12	HC2, HC8
	Earth science I	HE1, HE3, HE4, HE6, HE7, HE8, HE9, HE10	HE5	HE2
	Earth science II	HE II 1, HE II 4, HE II 7, HE II 8, HE II 9, HE II 10, HE II 11, HE II 12	HE II 2, HE II 3, HE II 5	HE II 6
College	General chemistry	UC5, UC6, UC9, UC10	UC1, UC2, UC3, UC4, UC7, UC13, UC14, UC15, UC16	UC8, UC11, UC12
	General earth science	UE1, UE2, UE3, UE6, UE7, UE8, UE9, UE10, UE11	UE4	UE5, UE9, UE11

교과서가 기압을 기체 분자 운동으로 설명한 유형 3으로 설명하고 있다. 예를 들면 다음과 같다.

“밀폐된 그릇 속에 기체를 넣어 두면, 그릇 속의 기체 분자는 끊임없이 충돌하게 된다. 이 때 기체 분자가 그릇의 벽에 충돌하면 그 벽은 힘을 받게 되는데, 이 힘에 의해 기체의 압력이 생긴다. 또 기체의 분자 운동은 모든 방향으로 똑같이 일어나므로, 아래쪽 방향으로만 작용하는 고체의 압력과는 달리 기체의 압력은 기체를 담은 그릇의 모든 방향에 똑같이 작용한다. 이와 같이 기체가 압력을 나타내는 것도 분자운동 때문이다.” (MS5)

이러한 설명의 특징은 기압의 설명에서 지구의 중력을 고려하지 않는다는 것이다. 따라서, 이 경우에는 기압을 기체의 무게에 의해 나타나는 현상으로 이해하여 중력 방향으로 작용하는 힘과 같은 오개념이 형성될 이유가 없다.

지구과학 영역에서는 대부분이 유형 1로 설명하였다. 단지 한 교과서(MS7)만 유형 3으로 설명하고 있으며, 설명 없이 기압이라는 용어만 사용한 교과서(MS4)도 있었다. 유형 1은 기압을 “공기층이 누르는 무게”로 설명하는 경우이다. 이러한 설명의 가장 큰 문제는 바로 “중력 방향으로 기압이 작용한다”는 생각을 유발한다는 것이다. 왜냐하면 무게는 바로 중력에 의해 나타나는 현상이기 때문이다. 이러한 사실은 기압이나 대기압에 관련된 학생들의 오개념을 연구한 논문(국동식, 1991; 김학목, 1993)에서도 지적하였다.

대다수의 중학교 과학 교과서에서는 화학과 지구과학 영역의 기압에 대한 설명 유형이 동일한 교과서 내에서 서로 달랐다. 유일하게 한 교과서(MS7)만이 화학과 지구과학 영역에서 동일한 유형인 유형 3으로 설명을 하였다. 그리고 화학 영역에서는 유형 3으로 설명한 후에 지구과학 영역에서는 기압이나 대기압에 대한 설명 없이 기압과 대기압이란 용어를 사용한 교과서(MS4)도 있었다. 따라서 대다수의 학생들은 중학교 과학 교육과정을 통해 기압이나 대기압에 관해서 서로 다른 개념을 가질 가능성이 높다.

중학교 과학 교과서의 지구과학 영역 단원 구성을 보면, 공기를 가열하거나 냉각함으로써 기압의 변화

를 알아보고, 이렇게 될 때 형성되는 고기압과 저기압의 차이로 바람이 부는 원리를 보편적으로 제시하고 있다. 그러나 기압에 대한 설명은 주로 유형 1로 제시되어 있기 때문에 학생들은 온도에 따라 기압이 변화되는 원리를 이해하기 어려울 것이다. 기체 분자 운동의 개념이 포함된 유형 3에 의해서만 이러한 온도에 따른 기압의 변화를 설명할 수 있기 때문이다.

3. 고등학교 교과서의 설명 유형 분석

고등학교 화학 II 교과서와 지구과학 I, II 교과서에서 다루고 있는 기압의 설명 유형을 분석하여 Table 1에 제시하였다. 고등학교 화학 II에서는 두 교과서(HC2, HC8)를 제외하고는 유형 3으로 기압을 설명하고 있다. 이 두 교과서에서는 기압에 관한 정의를 제시하지 않았는데, 아마도 중학교에서 학생들이 이 개념을 이해하였다고 가정한 것 같다. 반면, 지구과학 I과 지구과학 II 교과서에서는 여전히 유형 1의 설명이 많았다. 특히, 고등학교에서는 중학교와 달리 정역학 평형이라는 개념을 도입하여 Fig. 1과 함께 다음과 같이 기압을 설명하였다.

Fig. 1. Hydrostatic equilibrium.

“이 공기 기둥에는 아래쪽을 향하는 중력이 작용하는데, 공기의 밀도를 ρ 라고 하면 단위 부피의 공기에 작용하는 중력의 값은 ρg 이다. 이 공기 기둥이 정지해 있기 위해서는 연직 기압 경도력과 중력이 서로 평형을 이루어야 하므로... 이러한 두 힘의 평형을 정

역학 평형이라고 한다. 일반적으로 지구의 대기는 정역학 평형을 유지하고 있으므로 대기의 운동은 주로 수평 방향의 기압차에 의하여 일어나게 된다.”(HE4)

대다수의 고등학교 지구과학 I과 II의 교과서에서는 기압을 유형 1로 설명하였다. 따라서 학생들은 기압을 “대기의 무게에 의한 압력”으로 이해하게 된다. 그러나 Fig. 1에 의한 설명은 기압 자체를 이해하는데 큰 걸림돌이 될 수 있다. 왜냐하면 중력과 평형을 유지하는 기압 경도력이 존재하여 공기 기둥이 정지해 있게 되며, 수평 방향의 기압차가 존재하여 대기의 운동이 일어나야 하는데, 이 수평 방향의 기압차는 기압의 본래 정의였던 대기의 무게와 관련이 없이 형성되어야 하기 때문이다.

Fig. 1로 기압을 설명한 지구과학 II 교과서(HEII4)에는 수평 방향의 기압차를 표현하기 위하여 Fig. 2와 같은 그림을 제시하고 있다.

Fig. 1과 같이 공기 기둥의 밀도가 ρ 이고, 이 기둥의 무게에 의해 기압이 형성된다면 Fig. 2처럼 왜 같은 공기 기둥의 위치에 존재하는 두 공기 중 하나는 가벼운 공기가 되고 다른 하나는 무거운 공기가 되어서 수평 방향으로 기압차가 유발될 수 있는지 설명할 수 없게 된다. 따라서 지구과학 I과 II의 교과서에서 제시하는 유형 1로는 학생들이 기압과 이러한 기압 차이에 의해 유발되는 공기의 이동 개념을 명확하게 습득하기 어려울 것이다.

일부 지구과학 I과 II의 교과서는 중학교 과학 교과

서와 달리 유형 2로 설명하는 경우가 나타났다. 그리고 지구과학 I의 한 교과서(HE2)는 유형 3으로 설명하였다. 한편, 지구과학 II의 한 교과서(HEII6)는 기압이나 대기압에 대한 설명을 제시하지 않았는데, 중학교나 고등학교 지구과학 I에서 이 개념을 이미 제시하였기 때문일 것이다.

유형 2는 단위 면적에 작용하는 공기의 압력으로 기압이나 대기압을 설명하는 유형이다. 이러한 설명에서는 유형 1과 달리 무게라는 용어가 사용되지 않았다. 그러나 유형 2의 설명 중 일부에서는 무게의 개념이 포함되어 있다고 볼 수 있다. 예를 들면, “단위 면적 위에 놓인 공기가 나타내는 압력을 대기압 또는 기압이라고 한다.”(HEII3)라는 문장에서는 “단위 면적 위에 놓인”이라는 표현을 사용하여 위에서 아래 방향으로 작용하는 힘의 개념을 내포하고 있다.

지구과학 I과 II 교과서에서 기압을 설명할 때, 기체 물질에 대한 이해가 거의 고체 물질에 대한 이해와 같다는 사실을 알 수 있다. 즉, 기체의 덩어리를 마치 벽돌과 같은 고체 덩어리와 같이 취급한다는 것이다. 그러므로 대부분의 학생들은 대부분 이러한 표현을 통해 중학교에서 학습한 “단위 면적 당 누르는 힘”으로서의 압력의 개념을 떠올리게 될 것이다. Fig. 3은 중학교 교과서(HC8)에서 벽돌이 스펀지 위에서 누르는 단위 면적 당 힘, 즉 압력을 묘사한 경우이다.

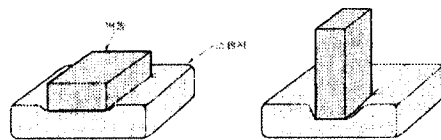


Fig. 3. Pressure explanation using a brick.

압력의 개념과 유형 2의 설명을 통해 학생들은 고체의 성질과 기체의 성질을 유사한 것으로 이해하게 될 가능성이 높다. 고체와 기체의 가장 큰 차이는 구성하는 입자의 결합 형태일 것이다. 기체의 경우에는 구성 입자들 간에 결합력이 무시될 수 있을 만큼 작지만, 고체의 경우에는 구성하는 입자들이 서로 단단히 결합하고 있어 형태가 일정하게 된다. 따라서 고

Fig. 2. Pressure gradient force.

체의 경우에는 중력 방향으로만 압력이 유발될 수 있지만, 기체의 경우에는 구성 입자들이 자유로운 운동으로 인해 사방으로 압력이 나타날 수 있는 것이다. 기체가 나타내는 압력, 즉 기압과 고체가 나타내는 압력 사이의 차이점을 언급한 일반화학 교과서 (Bonder & Pardue, 1998)에서는 이 차이를 다음과 같이 설명하였다.

“기체의 압력과 무게에 따른 압력 사이에는 중요한 차이점이 있다. 여성의 구두 뒤꿈치나 70,000 lb의 짐을 실은 트럭에 의해 가해지는 압력은 모두 한 쪽 방향으로 작용하는 것이다. 예를 들면 트럭은 바퀴 밑의 지면 위에 모든 압력을 가하게 된다. 반면 기체의 압력은 모든 방향에서 서로 같다.”

기체를 고체와 같이 취급하는 경우, 단위 면적 위에 놓인 공기 덩어리의 밀도를 균일하다고 볼 가능성이 높다. 마치 벽돌이 균일한 밀도를 가지고 스펀지를 내리 누르는 것으로 가정하는 것과 마찬가지이다. 그러나 실제로 공기층은 중력에 의해 Fig. 4와 같이 균일하지 않은 상태의 밀도를 가진다.

Fig. 4. Heterogeneous air density (소철섭 등, 1997).

만약 작은 범위의 공기층을 가정하여 이 공기 덩어리가 균일하다고 가정한다고 하면 중력에 의해 유발될 수 있는 기압의 차이를 고려할 수 없게 된다. 중력에 의해 유발되는 기압의 차이는 바로 Fig. 4에서 묘사한 바와 같이 균일하지 않은 공기의 밀도에 의해 나타나는 것이기 때문이다. 그러나 보편적으로 기압을 $P = \rho gh$ 로 표현할 때 여기서는 공기층의 밀도 ρ 가 균일하다고 가정한다. 이 식은 토리첼리가 수은주의 높이로부터 대기압을 계산할 때 사용하였던 식인데, 이 때 수은 기둥의 밀도는 균일하다고 가정하였다. 이는 수은이 금속 액체이기 때문에 높이에 따른 밀도차가 없다는 점에서 벽돌의 경우와 유사한 상황으로 볼 수 있다. 이러한 고체나 액체의 균일 밀도에 대한 시각이 기체에 잘못 적용된 이유 때문에 학생들은 기압이 왜 중력에 의해 유발될 수 있는지 그 원인을 이해하기 어렵게 될 것이다.

또한, 공기의 밀도가 균일하다는 가정을 통해서 온도 차이에 의해 유발되는 고기압과 저기압의 형성을 이해하기 어렵다. 대다수의 고등학교 지구과학 교과서에서는 대기의 순환을 설명하면서 온도 차이가 발생하면 대기의 이동이 일어난다는 사실을 설명하고 있다. 해륙풍이나 대륙풍, 산곡풍의 원인도 온도 차이에 따라 발생하는 기압의 차이로 설명한다. 그러나 이러한 현상은 기압에 대한 설명 유형 1이나 2로는 이해하기 어렵다. 온도에 따른 분자 운동의 개념을 이해할 수 있는 유형 3에 의해서만 그러한 현상이 일어나는 원인을 이해할 수 있을 것이다.

기압에 대한 설명 유형 2는 무게의 개념을 명확하게 제시하지 않았으므로 중력 방향 이외에도 단위면적 당 공기의 압력이 작용할 수 있다고 가정하여도 여전히 문제점을 가진다. 즉, 유형 1은 중력 방향으로 작용하는 무게의 개념으로, 유형 3은 분자 운동의 개념으로 기압이 발생하는 원인을 설명하였으나, 유형 2의 경우에는 왜 이러한 공기의 압력, 즉 기압이나 대기압이 발생하는지에 대해 전혀 설명을 하고 있지 않기 때문이다.

고등학교 지구과학 I 교과서 중에서 유형 3을 도입한 교과서는 한 종류(HE2)뿐이었다. 그러나 동일한 교과서 저자에 의해 쓰여진 지구과학 II에서는 설명에

일관성을 가지지 못하고 유형 2의 설명으로 바뀌었다. 따라서 만약 동일한 학생들이 이러한 교과서로 지구과학 I을 학습하고 연이어 지구과학 II를 학습하게 된다면 기압이나 대기압에 관해 서로 다른 두 가지 유형의 개념을 가지게 될 가능성이 높다.

4. 대학교 교과서의 설명 유형 분석

대학교 일반화학과 일반지구과학 교과서 분석 결과, 중·고등학교 교과서의 화학 영역에서는 기압과 대기압에 대한 설명이 주로 유형 3이었는데 반해, 대학교 일반화학 교과서에서는 유형 1과 유형 2의 설명이 더 많았다. 즉, 중·고등학교 화학 교과서의 설명과 다르고, 오히려 고등학교의 지구과학 설명 유형과 매우 흡사한 경향을 나타내었다.

일반지구과학 교과서는 대부분 유형 1로 설명하고 있으므로, 중·고등학교 지구과학 교과서의 설명 유형과 매우 유사하다. 그러나 일부 교과서에서는 유형 1과 함께 유형 3의 설명을 제시하였는데, 중·고등학교 지구과학 교과서에서는 이러한 설명 형식이 거의 분석되지 않았기 때문에 대학교 지구과학 교과서의 특징이라고 볼 수 있다.

유형 1이나 유형 2와는 달리 유형 3에서는 온도에 따른 기압의 차이를 설명할 수 있다. 즉, 같은 두께의 공기가 중력 방향으로 내리 누른다고 하여도 만약 온도가 달라진다면, 입자 운동 속도가 달라지기 때문에 공기의 밀도에 차이가 생긴다. 온도가 높으면 분자 운동이 활발해져서 공기의 밀도가 상대적으로 희박해지며, 따라서 저기압이 된다. 반대로 온도가 낮으면 분자 운동이 느려져서 공기의 밀도가 상대적으로 조밀해지며, 따라서 고기압이 된다. 바람은 공기의 밀도 차이에 의한 확산의 개념으로 설명이 가능해진다.

그런데, 만약 공기의 밀도가 균일하다면, 이 공기의 위와 아래 부분의 기압이 달라질 수 있을까? 국동식(1991) 연구에서는 밀도가 균일하다고 하여도 공기층의 두께, 또는 높이가 달라지면 기압이 달라진다고 가정하였다. 그러나 이러한 가정에는 큰 문제가 있다. 왜냐하면 Fig. 4에 제시한 것과 같이 공기의 밀도는 중력 때문에 균일하지 않기 때문이다. 만약 중력을

무시할 정도의 범위여서 중력을 무시하고 공기의 밀도를 균일하다고 가정한다면, 기압은 균일한 밀도의 위와 아래쪽이 달라질 수 없다. 이는 보일의 법칙에 위배되기 때문이다. 그렇다면 공기의 밀도를 균일하다고 가정하고, 공기층의 두께에 따라 기압이 달라지는 것으로 기압을 설명하는 것에는 문제가 있다고 할 수 있다. 즉, 밀도가 균일하다고 가정한다면 기압은 달라질 수 없고, 밀도가 다르다고 가정해야 중력에 의해 공기층의 아래 방향이 더 공기의 밀도가 조밀해져서 기압이 커지는 것을 설명할 수 있기 때문이다. 비행기를 타고 갈 때 비행기 내부의 기압은 1기압이 유지되지만, 그 이유가 비행기 위에 있는 공기층의 무게 때문은 아닐 것이다. 비행기의 기압을 지상의 기압과 같게 유지시키는 것은 공기의 밀도를 지상과 동일하게 유지시키는 장치 때문일 것이다.

그리고 기체 분자 운동의 개념인 유형 3의 설명이 중학교와 고등학교 화학 영역에서 꾸준히 제시되다가 대학교 일반화학에서 줄어들고, 오히려 대학교에서 학생들의 오개념을 유발할 가능성이 높은 유형 1과 2의 설명을 보편적으로 제시한다는 점은 문제점이라고 생각된다.

IV. 결론 및 제언

1. 결론

이 연구에서는 초등학교에서부터 대학교까지의 과학 교과서에 제시된 기압과 대기압에 대한 설명 방식의 차이점을 분석하였다. 기압과 대기압에 대한 설명 방식을 크게 3가지 유형으로 구분하였다. 즉, 무게로 설명하는 유형 1과 단위 면적에 작용하는 공기의 압력으로 설명하는 유형 2 그리고 기체 분자 운동으로 설명하는 유형 3으로 구분하였다. 이 중에서 유형 1은 학생들에게 무중력과 진공에 관련된 오개념을 유발시킬 가능성이 있다. 유형 2는 단순히 용어를 풀이해 놓은 수준이기 때문에 이러한 설명을 통해 학생들이 기압이나 대기압을 이해할 수 있으리라 기대하기 어렵다. 설명 유형 3은 기체를 구성하는 매우 작은 입자들의 움직임으로 기압을 설명한 것이다.

유형 1과 유형 3의 가장 큰 차이점은 아마도 물질을 이해하는 관점의 차이일 것이다. 즉, 물질을 연속적인 물질관으로 이해하는가, 아니면 입자론적인 물질관으로 이해하는가가 이러한 설명 유형의 차이를 나타내주는 것이라고 생각한다. 입자론적인 물질관은 돌턴 이후에 형성되었고, 이러한 입자론적인 물질관은 화학의 발달에 지대한 영향을 미쳤다. 기압을 이해하는데 있어서 가장 중요한 개념인 보일과 샤를의 법칙도 이러한 입자론적인 물질관으로 설명하고 있다. 즉, 분자의 운동으로 설명한다. 이러한 분자 운동에 대한 개념이 있어야 비로소 기압이 중력 방향만이 아니라 모든 방향으로 작용하는 이유를 이해할 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 중·고등학교 과학 교과서의 지구과학 영역에서는 기압이나 대기압에 대한 설명을 주로 연속적인 물질관으로 제시하였다. 즉, 벽돌과 같은 고체나 수은과 같은 액체 덩어리가 나타내는 현상에 비유하여 기체의 압력을 설명함으로써 기압이나 대기압이 공기 덩어리의 무게에 의해 나타나는 현상으로 제시하였는데, 이 때 공기 덩어리의 밀도는 벽돌이나 수은과 마찬가지로 균일하다고 가정하는 것이다. 이러한 관점에는 공기를 구성하는 입자의 운동에 관련된 개념을 찾을 수 없는 것이다.

우리가 공기에 아무런 작용도 가하지 않을 때, 공기를 구성하는 입자들은 자체의 무게 때문에 자연스럽게 중력 방향으로 조밀하게 배열된다. 이로 인해 유발되는 기압은 중력과 긴밀한 관련을 가진다. 이 때문에 많은 중·고등학교 과학 교과서와 대학교 교과서에서 무게의 개념으로 기압을 설명하였다고 생각된다. 그러나 이러한 무게의 개념이 기압 개념의 설명에 도입됨으로써 학생들은 기압이 중력 방향으로만 작용하는 힘으로 이해하는 오개념을 형성하게 될 가능성이 높다.

뉴턴이 공기의 마찰을 무시하거나 중력을 무시한 상태로 등속 운동이나 가속 운동에 관련된 여러 가지 법칙들을 형성하였듯이, 우리는 기압의 개념에서 중력의 개념을 배제하고 사고할 수 있도록 학생들을 가르칠 필요가 있다고 생각한다. 무중력 상태의 예로 우주선 안에서 1 기압을 유지할 수 있는 이유가 이

해될 수 있을 때, 학생들은 비로소 기압과 중력의 상호 관련성을 정확히 이해하고 이들을 독립적으로 받아들일 수 있을 것이다. 물론 지구라는 특수한 상황에서는 기압과 중력이 상호 긴밀한 관련성을 가지게 되지만, 처음부터 이러한 상호 관련성으로 기압을 설명한다면, 학생들이 가지게 되는 기압에 관련된 많은 오개념들을 적절하게 수정할 수 있는 기회를 가지기 어려울 것이라고 생각된다.

과학사적으로 고찰할 때, 기체를 물질로 받아들이기 시작한 18세기 이전에는 물질을 연속적인 물질관으로 이해하였다. 기체가 물질로 연구되기 시작하면서 비로소 물질을 구성하는 매우 작은 입자의 개념이 도출되기 시작하였으며, 이러한 입자론적인 관점은 자연 현상을 이해하는데 매우 혁신적인 시각을 제공하였다. 이 때문에 1965년에 노벨 물리학상을 수상한 파인만(2000)은 현재 인류가 미래의 자손에게 단 하나의 유산만 물려줄 수 있다면 "이 세상은 입자로 구성되어 있다"는 사실을 알려주어야 한다고 말하기도 하였다.

따라서 이러한 현저한 관점의 차이가 교과서의 기압이나 대기압 설명 방식에 그대로 공존하는 한, 학생들이 스스로 이러한 두 가지 설명 유형의 차이점을 이해하고 기압이나 대기압에 관하여 보다 과학적으로 정확한 개념을 습득하기는 어려울 것이라고 본다. 특히, 고기압이나 저기압과 같은 내용을 기체의 온도와 압력, 부피와의 관계로 이해할 때, 이러한 현상은 보일-샤를의 법칙에서 다루는 내용과 서로 상충되는 것처럼 보이기도 한다. 예를 들어, 보일과 샤를의 법칙에서는 일정한 부피의 용기 안에 기체를 가열하면 온도와 기압은 비례하게 된다. 즉, 온도가 올라가면 기압도 상승하게 된다. 그러나 대기의 온도가 높아지면 저기압이 되고, 대기의 온도가 냉각되면 고기압이 된다. 즉, 고기압과 저기압의 경우에는 온도와 기압은 반비례 관계가 되는 것이다. 이러한 차이점에 대한 설명은 Lutgens & Tarbuck(1998)의 "대기: 기상학 기초"란 교과서에서도 잘 나타나 있다.

이러한 설명 방식의 차이는 바로 가정의 차이에 있다. 보일과 샤를의 법칙에서는 온도가 증가하면 기체의 분자운동이 활발해지는데 일정한 용기를 가정하였

기 때문에 부피가 팽창할 수 없어서 용기에 부딪치는 입자로 인해 유발되는 압력이 증가하는 것이다. 반면, 고기압이나 저기압과 같은 현상은 대기 중에서 관찰되는 것이기 때문에 일정한 부피의 용기를 고려할 필요가 없다. 따라서 가열된 공기는 자유롭게 팽창하거나 수축할 수 있어서 온도가 올라가면 기체의 분자 운동이 활발해지고 기체 입자들 사이의 거리가 멀어지기 때문에 기체의 밀도가 낮아지게 되는 것이다. 이것이 온도가 높아지면 저기압이 되는 원리인 것이다. 하지만 대부분의 과학 교과서에서는 이러한 가정의 차이를 설명하지 않는다. 따라서 학생들이 스스로 깨달아서 이러한 설명 방식 차이를 구분해야 한다. 만일 그렇지 못한다면 학생들은 이렇게 상충되어 보이는 서로 다른 개념으로 보일-사물의 법칙과 고기압이나 저기압의 원리를 받아들인 상태를 대학교까지 지속하게 될 것이다.

2. 제언

현재까지 많은 과학교육 연구에서 기압이나 대기압에 관련된 학생들의 선개념들을 분석하여 왔다. 그러나 이러한 분석 결과는 어쩌면 우리가 그렇게 가르쳤기 때문에 나타났을지도 모른다. 특히 화학과 지구과학 교과서가 전반적으로 특정 유형의 설명을 선택하는 경향이 나타나는 이유는 교과서 저자의 서술 방식의 차이라기보다는 학문적으로 기압의 개념을 접근하는 방식의 차이에서 비롯된 것처럼 보인다. 물론 분석 대상 교과서 중 극히 일부 교과서는 학문의 차이에도 불구하고 다른 유형의 설명을 선택하는 경우도 나타났으나, 전반적으로는 학문적인 특성을 드러내었다고 본다. 이러한 판단은 이 연구에서 선택하여 분석한 교과서를 설명 유형별로 분석하여 나타난 경향성으로부터 해석된 것이기 때문에 앞으로 계속 연구가 필요한 부분이라고 생각한다.

초등학교부터 대학교까지 계속 가르쳐야 할 주요 개념 중 하나인 기압이나 대기압을 어떻게 가르치는 것이 효과적인지에 대해서는 구체적인 연구 결과 없이 어떠한 결론을 내리기가 쉽지 않다. 그러나 연구자들은 유형 3의 형태로 초등학교부터 일관되게 기압

과 대기압의 개념을 제시하는 것이 여러 가지 유형의 개념을 섞어서 학문의 특성에 따라 다르게 제시하는 것보다 더 나을 것이라고 제안해 본다. 특히, 6차 교육과정까지는 초등학교 6학년에서 입자 운동의 개념을 용해나 확산, 그리고 온도 변화와 관련지어 제시하였기 때문에 충분히 초등학교 고학년 학생들이 입자 운동의 관점에서 기압이나 대기압을 이해할 수 있을 것이라고 판단할 수 있다. 따라서 6차 교육과정과 같이 초등학교 5학년에서 기압이나 고기압과 저기압, 그리고 바람이 부는 원리와 같은 개념을 제시하고 이와 독립적으로 다른 학년에서 용해 현상이나 확산 현상, 온도의 변화에 따른 현상 등으로 입자 운동을 제시하지 말고, 이를 통합하여 같은 학년에서 처음부터 제시해 주는 것이 학생들이 학습하는 입장에서 볼 때 더 타당할 것이라 생각한다. 어느 학년이 이러한 개념을 통합적으로 가르치기에 적합한가 하는 점은 앞으로 연구되어야 할 주제이지만, 선행 연구(박재원, 2001)에 따르면 초등학교 5학년 학생들도 입자의 개념으로 기압을 이해하는 것이 가능하다고 밝혔으므로 이러한 연구 결과도 고려할 필요가 있을 것이다. 앞서 지적하였듯이 유형 1은 무중력과 진공을 혼동하게 만드는 매우 부정확한 설명 유형이며, 유형 2는 용어를 풀이하는 수준 이상이라고 보기 어렵기 때문에 가능한 한 중학교와 고등학교 그리고 대학교에서도 일관되게 유형 3의 형태로 기압이나 대기압을 설명하는 것이 바람직하다고 본다. 구성주의적 입장에서 볼 때, 학생들에게 보다 쉬운 설명이라는 이유로 유형 1이나 유형 2를 제시한다면 오히려 학습에 도움이 되기 보다는 오개념이 형성되어 올바른 과학 개념으로 발전하는데 걸림돌이 될 가능성이 높아지므로 이러한 다양한 설명 유형의 제시를 지속하는 것은 학습자의 입장에서 볼 때 바람직하지 못하다고 생각한다.

또한 이러한 연구 결과를 토대로, 학생들 뿐 아니라 이들을 가르치는 교사들을 대상으로 기압이나 대기압을 어떠한 유형으로 이해하고 있는지 조사함으로써 학생들의 이해와 교사의 이해, 그리고 교과서의 설명 방식과 상관관계에 대해서도 연구할 필요가 있다고 본다.

적 요

이 연구에서는 초등학교 자연 교과서, 중학교 과학 교과서, 고등학교 화학 교과서와 지구과학 교과서, 그리고 대학교 일반화학 및 일반지구과학 교과서 중심으로 기압과 대기압에 대한 설명 방식의 차이점을 3 가지 유형으로 분석하였다. 유형 1은 무게로 설명하는 경우이며, 유형 2는 단위 면적에 작용하는 공기의 압력으로 설명하는 경우이고, 유형 3은 기체 분자 운동으로 설명하는 경우이다. 과학 교과서 분석 결과, 초등학교 자연 교과서는 유형 1로, 중·고등학교 화학 영역 교과서에서는 모두 유형 3으로 설명하였으며, 지구과학 영역 교과서에서는 주로 유형 1로 설명하였다. 한편, 대학교 일반화학 교과서는 주로 유형 1과 유형 2로 설명하였으며, 일반지구과학 교과서는 중·고등학교 지구과학 영역 교과서와 마찬가지로 주로 유형 1로 설명하였다. 이러한 과학 교과서에서 기압과 대기압에 대한 설명 방식의 차이는 학생들이 기압과 대기압을 이해하는데 혼란을 가져올 수 있을 것이라고 생각된다.

감사의 글: 이 연구는 2001 교과교육공동연구소에서 지원한 연구비(과제번호 KRF-2001-030-D00045)로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 교육부(1999). 초등학교 5, 6학년 자연 교과서. 국정교과서주식회사.
- 국동식(1991). 대기압, 조석, 계절 변화에 대한 학생의 개념과 학년간 이해의 차이. 서울대학교 박사학위 논문.
- 권영식, 이동섭, 유희룡, 장철현, 최봉중, 최상원(1993). 최신일반화학. 도서출판 동화기술.
- 김소구, 심중섭(1987). 지구과학. 청문각.
- 김정민(1996). 과학 시범 활동이 국민학교 아동의 대기압 개념에 미치는 효과. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 김옥현(1993). 중등학생의 지구과학 개념과 오개념에 관한 연구. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김학목(1993). 대기압과 달의 운동에 관한 중학생들의 개념 분석. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 류승아, 구인선, 김봉곤, 강대호(1999). 기체의 성질에 대한 중·고등학생들의 오개념에 관한 연구. 대한화학회지, 43(5), 564-577.
- 박재원(2001). 초등학교 과학 수업에서 입자 모델을 사용한 컴퓨터 애니메이션 자료의 교수 효과. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 박찬구(1998). 대기압에 대한 초등학교 학생들의 개념 연구. 인천교육대학교 석사학위 논문.
- 소선섭(1985). 일반기상학. 교문사.
- 소철섭, 김동주, 김형식, 도성재, 백광호, 윤성택, 이진한, 최선규, 노의근, 이태영, 위수민(1997). 푸른행성지구환경과학 개론. 시그마프레스.
- 신진수, 강영식, 오인교, 이성홍, 양천희, 현성호(1997). 일반화학. 신광문화사: 서울.
- 심우만, 이상현, 최부돌, 최동원(2000). 최신일반화학. 광문각.
- 이송주, 임채평, 채희남, 박문숙, 장기(2000). 일반화학. 학문사.
- 이현숙(2000). 중학생들의 기압에 대한 개념을 향상시키기 위한 실험 방법 개선안. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 일반화학교과서편찬위원회(2000). 일반화학. 청문각.
- 조희형, 박승재(1998). 과학론과 과학교육. 교육과학사.
- 최무웅, 고의장, 정삼림(1990). 지구과학. 자유출판사.
- 파인만(2000). 파인만 씨, 농담도 잘하시네! (김희봉역). 사이언스북스.
- 한국기상학회(1999). 대기역학. 시그마프레스.
- 한국지구과학회(1998). 지구과학개론. 교학연구사.
- 화학교과서편찬연구회(2000). 기초일반화학. 녹문당.
- 화학교과서편찬위원회(1998). 최신일반화학. 도서출판 동화기술.
- Anthes, R. A.(1997). Meteorology. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall.
- Atkins, P., & Jones, L.(2001). 일반화학. 탐구당.
- Battan, L. J.(1984). Fundamentals of Meteorology. Englewood Cliffs, N. J.:

- Prentice Hall.
- Bonder, G. H., & Pardue, H. L.(1998). 일반화학. 범한서적주식회사.
- Brown, T. L., LeMay JR, H. E., & Bursten, B. E.(2001). 일반화학. 녹문당.
- Chang, R.(1997). *Chemistry*. 도서출판 회중당.
- Corwin, C. H.(2000). 일반화학. 탐구당.
- Daub, G. W., & Seese, W. S.(1998). 일반화학. (주)영풍문고.
- Driver, R., Guesene, E., & Tiberghien, A.(1985). *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press.
- Goldberg, D. E.(1997). 일반화학. 자유아카데미.
- Kotz, J. C. & Lemay JR, P. T.(1999). 최신일반화학. 탐구당.
- Lutgens, F. K. & Tarbuck, E. J.(1998). *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology*. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall.
- Miller, A., Thompson, J. C., Peterson, R. E., & Haragan, D. R.(1983). *Elements of Meteorology*. Columbus: C.E. Merrill Pub. Co.
- Moran, J. M., Mogan, M. D., & Pauley, P. M.(1994). *Meteorology: the atmosphere and the science of weather*. New York: Macmillan College Pub. Co.
- Novick, S., & Nussbaum, J.(1981). Pupil's understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Nachtrieb, N. H.(2000). 현대일반화학. 자유아카데미.
- Sanger, M. J., Phelps, A. J., & Fienhold, J.(2000). Using a computer animation to improve students' conceptual understanding of a can-crushing demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1517-1520.
- Shepardson, D. P., & Moge, E. B.(1994). The impact of a science demonstration on children's understandings of air pressure. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 243-258.
- Stavy, R.(1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Timberlake, K. C.(1998). 일반화학. 자유아카데미.
- Tytler, R.(1998). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20(8), 929-958.

* 중 · 고등학교 교과서는 인용문헌에서 생략하였음.