

초등·중등학교 과학교과서에 나타난 열, 온도 개념에 대한 분석

백성혜 · 박영주
(한국교원대학교)

Analysis of Concepts Related to Heat and Temperature in Elementary and Secondary School Science Textbooks

Paik, Seoung-Hey · Park, Young-Ju
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

In this study, we identified the conceptions of heat and temperature on a basis of the science history, and analyzed the explanation types in elementary, and secondary school science textbooks. From these data, we tried to discover the cause of students' misconceptions. The results revealed that the explanation types of the textbooks don't include modern sight. Different conceptions developed in different era mixed in the textbooks. We can infer that students who learn heat and temperature concept by the textbooks could have misconceptions because of the above problems.

Key words: heat, temperature, elementary school, middle school, high school, science textbook, chemistry textbook, physics textbook, cause of misconception

I. 서 론

열과 온도에 관련된 개념은 일상생활과 밀접한 관계가 있고, 물리, 화학, 생명과학의 기초를 제공하는 필수적인 부분인 중요한 개념(김용은, 1997)이기 때문에 초등학교 교육과정부터 중·고등학교 과학교육과정까지 꾸준히 다루어진다.

그러나 국내외에서 많은 연구들이 학생들이 열과 온도를 구별하지 못하거나 어려워한다고 지적하였다(Abraham *et al.*, 1992; Linn & Songer, 1991; Harrison *et al.*, 1999; 권기태, 1993; 신미라, 1999;

김은경, 2001). 그리고 Linn 과 Songer(1991)는 이렇게 열과 온도를 잘 구별하지 못하는 가장 큰 이유를 교재의 내용에 있다고 주장하였다.

이 연구에서는 제6차 교육과정에 근거하여 개발된 초등학교 자연 교과서, 중학교 과학 교과서 및 고등학교 공통과학 교과서, 화학 교과서, 물리 교과서에서 열과 온도에 관련된 개념이 어떠한 방식으로 설명되어 있는지 살펴보고, 과학사적으로 변천해 온 개념과 비교해 봄으로써 학생들이 가지는 오류의 원인을 교과서의 측면에서 분석해 보고자 하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

1. 열과 온도 개념의 변천과정

열에 대한 개념은 고대부터 찾아볼 수 있다. 히포크라테스의 4체액설에 따르면 열, 냉, 건, 습의 4원소들이 섞여서 황담즙, 흑담즙, 점액, 혈액의 4체액이 형성된다고 주장하였다. 그리고 그는 열병환자에게 찬 것을 주면 좋다는 이론을 주장하였다(오진곤, 1996). 그러나 그 후로도 오랫동안 열은 항상 과학자들과 철학자들에게 수수께끼로 간주되었다. 19세기 초까지도 열의 본질은 열소라고 생각하였다. 즉 열은 열소의 기계적인 운동으로 생각하였다.

열을 물질이라고 전체하고 이론을 전개한 사람 중에는 스코틀랜드의 과학자 블랙이 있다. 그는 열소가 무게가 없고 탄력성이 있는 유체의 한가지 원소라고 보았다. 따라서 원소처럼 물질과 분리되거나 결합하고 이때 열이 발생한다고 보았다. 그 당시의 과학자들은 열이 뜨거운 물체에서 차가운 물체로 흐르는 물질, 즉 "열소(caloric)"이라는 가상적인 물질로 보았다. 프랑스의 과학자 라부아지에와 베르톨레는 칼로리 이론(caloric theory)을 받아들였다(Ronan, 1982).

18세기에는 이러한 해석이 화학 분야에도 적용되었다. 고체의 용해와 액체의 증발은 열소와 고체 및 액체의 화학적 작용이고, 마찰열은 화학적으로 혹은 기계적으로 물질에 결합하고 있던 열소가 물질로부터 빠져나오는 현상으로, 그때 발생하는 열량과 마찰의 양은 서로 비례한다고 생각하였다. 그러다가 19세기 중엽에는 열을 물질로 보는 것이 잘못된 것임을 깨닫고 열을 역학적인 시각으로 보려는 시도가 생겨나게

되었다. 영국 물리학자였던 럼퍼드는 무기제조장에서 포신을 뚫을 때 다량의 열이 발생하는 사실로부터 열은 두 물체의 상호작용에 의해 생기는 것임을 알게 되었다. 이로써 열은 에너지의 한 가지 형태이며, 모든 에너지는 서로 전환한다는 사실이 인식되었다(오진곤, 1996).

열의 본질적인 문제가 철학적인 고찰부터 시작되었다면, 온도 측정의 발전은 열과 무관하게 정량적인 방법의 추구로부터 발달하였다. 18세기는 여러 종류의 온도계가 발달하면서 처음으로 온도의 개념이 형성되었다. 1724년에는 화씨 온도계가 등장하였고, 1730년에는 알코올 온도계가, 그리고 1742년에는 섭씨 온도계가 등장하였다. 이러한 온도계의 발명으로 형성된 온도의 개념은 물질 속에 내재되어 있는 열소의 양을 측정하는 척도였다. 따라서 온도가 같은 물체는 같은 열을 가지는 것으로 생각하였다. 그러나 블랙은 같은 온도를 가진 물체라도 열전달 속도가 다를 수 있고, 어떤 물체가 열을 흡수할 수 있는 능력, 즉 비열의 개념을 도출하였다. 이로부터 그는 물체의 온도가 같다고 해도 같은 열을 가지는 것은 아니라고 보았다.

그 후 열역학의 법칙들이 밝혀지면서 오늘날에는 온도가 물체를 구성하는 입자들의 무질서한 운동에너지의 정도에 비례하는 양($1/T = \Delta S / \Delta E$)으로 정의되었으며, 온도차에 의해 생기는 분자 운동에너지의 전달을 열이라 정의하게 되었다. 또한 물질을 구성하는 입자는 결합에너지의 형태가 변화하면서 열이 방출될 수 있다는 개념도 형성되었다. 열과 온도의 개념이 발달한 과정을 표로 정리하여 보면 다음과 같다.

Table 1. Change of concepts related to heat and temperature according to age

Age	Heat	Temperature
Ancient Greece~18C	The element of substance such as caloric.	A measuring amount of heat in substance.
19C	A form of energy such as work.	
20C	The transfer of energy due to temperature difference between of two substances. In a microscopic point of view, the transfer of energy due to molecular collisions.	A proportional amount related to the average kinetic energy of molecules.

2. 열과 온도의 개념에 대한 선행연구

열과 온도에 관련된 개념 연구의 대상은 초등학교부터 대학생, 일반인, 과학자까지 매우 다양하다. 권기태(1993), 김익진(1999), 김은경(2001) 등은 초등학교생들을 대상으로 연구하였고, 신미라(1999)는 중학생, Harrison 등(1999)은 고등학교 2학년(11학년) 학생, Lubben 과 Campbell(1999)은 대학생들을 대상으로 연구하였는데, 연구 대상이었던 학생들은 학년에 상관없이 매우 다양한 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다. Lewis & Linn(1994)은 학생 뿐 아니라 어른과 전문가를 대상으로 조사했는데 역시 다양한 오개념이 나타났다. 그 중에는 열을 뜨거운 열로 생각하고 냉을 반대 개념으로 생각하는 경향(Erickson, 1979), 열을 물질로 이해하는 경향, 물질의 속성으로 이해하는 경향, 의지와 감정을 가진 물활론적인 사고로 이해하는 경향 등이 있었다.

열과 온도에 관련된 연구 논문 중에는 연구자들 자체가 관련 개념에 관하여 잘못된 시각을 가지고 있다는 공방이 있기도 하였다. Pushkin(1996)은 Lewis & Linn(1994)의 논문을 비평하면서, 열 에너지라는 용어의 사용이 부적절함을 지적했다. 그리고 thermal energy의 흐름이 바로 열(heat)이기 때문에 열 에너지(heat energy)라는 용어를 사용하는 대신에 열(heat)이라는 용어를 사용하는 것이 더 적절하다고 주장하였다. Lewis & Linn(1996)은 Pushkin의 이러한 비평에 반박하여 heat energy의 사용은 열이 에너지의 한 형태임을 강조하기 위한 것이기 때문에 적절한 용어라고 주장하였다.

열과 온도에 관련된 다양한 선개념을 수정하기 위한 방안을 제안한 연구들도 있다. 이선경과 김우희(1995)은 과학사의 도입을 제안하였고, 김영주와 김익균(1995)은 타 과학교과와의 연계성을 주장하였다. Jones et al.(2000)은 선수지식과 뒤이은 개념 발달의 중요성을 지적하였다. 그리고 Linn et al.(1993)은 컴퓨터 보조 프로그램인 CLP(Computer as Lab Partner)의 사용을, Linn & Songer(1991)는 비유 모델 사용의 효과를 주장하였다. 또한 김진만(1995)은 인지방략적 질문 모형의 효과를, 양신호(1995)는

초인지 활동을 통한 수업 효과를 주장하였다. 강순희 등(1994)도 중학생을 위한 교수 전략의 효과를 연구하였다.

III. 연구의 방법

이 연구에서는 제 6차 교육과정에 근거하여 개발된 초등학교 자연 교과서, 중학교 과학 교과서 및 고등학교 공통과학 교과서, 화학 교과서, 물리 교과서에서 열과 온도 개념을 직접 다루는 단원이나, 내용을 이해하는데 있어 열과 온도 개념이 필수적으로 요구되는 단원을 중심으로 어떠한 설명 유형을 보이는지 분석하였다. 분석은 교과서 본문의 내용을 중심으로 하였으나 일부 참고자료나 읽어보기와 같은 항목에서 열이나 온도의 개념이 소개된 경우에는 이러한 내용도 분석에 포함하였다.

1. 분석 교과서

분석한 교과서는 초등학교 3학년부터 6학년까지의 자연 교과서(교육부, 1998), 중학교 2학년 과학 교과서 8종과 중학교 3학년 과학 교과서 8종, 고등학교 공통과학 11종, 화학 II 교과서 12종, 물리 I 교과서 14종, 물리 II 교과서 13종 등 총 72 권이다. 분석 대상 교과서 중에서 초등학교(Elementary school) 교과서는 영어의 첫자를 따고 학년과 학기를 아라비아 숫자로 표기하여 E31, E42, E61, E62 등으로 표기하였다. 중학교(Middle school) 2학년(Secondary grade) 교과서는 영어의 첫자와 첫 저자의 이름 순서에 따라 MS1~MS8, 3학년(Third grade) 교과서는 MT1~MT8, 고등학교 1학년(High school First grade) 때 배우는 공통과학은 HF1~HF11, 화학(Chemistry) II는 C II 1~C II 11, 물리(Physics) I은 P I 1~P I 14, 물리 II는 P II 1~P II 13 등의 기호를 사용하여 표기하였다.

2. 분석 틀

교과서에서 제시하고 있는 온도의 개념은 크게 2가

지 유형으로 구분하였다. 유형 분류에서 정확하게 온도를 정의하지 않고, 온도는 무엇에 비례한다와 같이 표현한 경우에도 관련된 용어가 포함된 경우에는 동일한 유형으로 분류하였다.

유형1은 “물체의 차고 더운 정도를 수량적으로 나타내 주는 것”으로 설명한 경우이다. “차고 따뜻한 정도를 온도라 하며, 온도는 온도계로 잽니다.(E31)”와 같이 그 안에서 동일한 의미로 해석할 수 있는 설명도 포함시켰다. 유형2는 “평균 분자 운동에너지의 척도”로 설명한 경우이다. “물체의 온도는 분자들의 평균적인 운동에너지를 나타낸다.(HF1)”와 같이 온도를 직접 설명하고 있지는 않지만, “이상 기체분자의 평균 운동에너지는 절대 온도에 비례한다.(PⅡ3)”와 같이 온도와 분자의 평균운동에너지가 비례관계가 있음을 보여주는 설명도 이 유형에 포함시켰다. 또한 “분자운동의 척도”로 설명한 경우도 포함시켰다.

열 개념에 대한 설명유형은 크게 3가지로 구분하였다. 유형1은 “에너지의 한 형태”로 설명한 경우이다. “줄의 실험으로 열도 운동에너지나 위치에너지와 같이 에너지의 한 형태라는 것을 알게 되었다.(MT1)”와 같은 설명이 이에 속한다. 유형2는 “온도 차이로 이동한 에너지”로 설명한 경우이다. “온도 차이 때문에 한 물체에서 다른 물체로 이동하는 에너지를 열이라고 한다.(PⅡ10)”와 같은 설명이 이에 속한다. 유형3은 “온도 변화를 일으키는 원인”으로 설명한 경우이다. “열평형 상태로 되는 것은 온도가 높은 물체로부터 온도가 낮은 물체로 무엇인가가 이동하여 물체의 온도를 변화시키기 때문이다. 이 때, 온도 변화를 일으킨 원인을 열이라고 한다.(HF5)”와 같은 설명이 이에 속한다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 초등학교 자연 교과서 분석

온도는 3학년 1학기 날씨 단원에서는 ‘온도계기’에 관련된 활동으로 처음 제시된다. 이 활동에서는 한 손은 따뜻한 물에, 다른 손은 찬물에 넣은 후, 두 손을 미지근한 물에 함께 넣고 두 손의 느낌을 비교해

보도록 한다. 그리고 찬물과 따뜻한 물, 그리고 미지근한 물의 온도를 온도계로 측정하여 손의 느낌과 온도계의 눈금과의 차이를 비교하게 한다. 이러한 활동 후에 온도의 정의를 ‘차고 따뜻한 정도’라고 정의하고 온도는 온도계로 잽다는 설명이 뒤따른다.

그러나 손보다 온도가 낮은 찬물에 담가 손의 온도가 상대적으로 낮아지면 미지근한 물이라도 따뜻하게 느낄 것이고, 따뜻한 물에 손을 담가 손의 온도가 상대적으로 높으면 같은 미지근한 온도의 물이라도 차게 느낄 것이다. 따라서 차고 따뜻하다는 감각적인 체험은 온도의 정의로 적합하다고 볼 수 없다. 이 활동은 오히려 열에 관련된 활동이라고 보는 것이 타당하다. 열은 상대적으로 높은 온도에서 낮은 온도로 이동하는 에너지의 관점이라고 볼 때, 손과 물이라는 두 물체의 온도 차에 의해 열이동이 일어나는 현상을 관찰하는 활동이라고 할 수 있기 때문이다. 만약 미지근한 물에 손을 오래 담그면 그 물과 손의 온도가 동일해져서 결국 차거나 따뜻한 느낌은 없게 될 것이다. 즉 물체 사이의 온도 차이가 없어서 열이동을 감각으로 느낄 수 없게 될 것이다. 그러나 이러한 감각을 느끼지 못한다고 해서 온도가 없다고 말할 수는 없다.

따라서 이러한 수업을 통해 학생들은 온도의 개념과 열 개념을 혼동할 가능성이 높다. 여기서는 이러한 활동 후에 온도는 온도계로 측정하는 것, 즉 수량적인 개념으로 온도를 제시하였다. 따라서 학생들이 차고 따뜻한 정도, 즉 열의 개념을 수량적으로 측정할 값이 바로 온도라고 생각할 가능성이 있다. 이러한 사고는 이론적 배경에서 살펴본 바와 같이 18세기에 온도계가 발달하였을 당시 열과 온도의 관계로 이해되었던 상황과 매우 유사하다.

4학년 2학기에는 열과 물체의 변화 단원에서 처음으로 열을 언급하고 있으나, 열의 이동 속도나 열에 의한 물체의 변화에 초점을 두고 정작 열의 정의 자체는 빠져 있다. ‘열과 온도’란 단원에서는 온도계의 종류와 물을 가열할 때 온도변화에 대해서 알아보는 활동을 한다. 따라서 온도의 개념은 온도계를 이용하는 것에 한정되어 있고, 열 개념에 관련해서는 알코올 램프를 이용한 가열의 시각만 제시되어 있다. 이

는 선행연구(Erickson, 1979; Driver et al, 1985; 권기태, 1993; 신미라, 1999; 김은경 등, 2001)에서 지적하였던 학생들의 오개념과 관련이 깊다. 즉 열을 뜨거운 것과만 연결시키고 냉의 반대 개념으로 받아들일 수 있는 가능성이 높아질 것이다.

6학년 2학기의 '여러 가지 에너지' 단원에서는 바람을 불어 바람개비가 돌아가는 현상을 관찰함으로써 바람의 에너지를, 가열하여 발생한 수증기를 이용해 바람개비가 돌아가는 현상을 관찰함으로써 열에너지를 다룬다. 가열하여 발생하는 상태변화에 의해 수증기의 입자 운동으로 바람개비가 도는 경우와, 바람에 의해 즉, 공기 입자가 바람개비에 부딪혀 바람개비가 도는 경우는 모두 기체의 입자 운동 에너지가 전달되어 나타나는 동일한 현상이다. 따라서 모두 에너지의 전달이라는 측면에서 열 개념을 보여주고 있는 것이다. 그러나 전달되는 에너지의 근원이 알코올 램프의 가열과 같은 경우이면 열에너지로, 입이나 선풍기에 의해 일어나는 바람의 경우에는 바람의 에너지로 설명하고 있다. 따라서 이 경우 열에너지는 가열의 개념에만 초점이 맞추어져 있기 때문에 앞서 4학년 2학기의 '열과 온도' 단원에서 지적한 문제점을 여전히 가지고 있다고 볼 수 있다.

6학년 2학기 '에너지 전환' 단원에서는 모래가 든 유리병에 온도계를 꽂고 마찰시켜 온도 변화를 관찰하고, 유리병이 따뜻해지고 온도가 올라가는 이유를 열에너지로 설명하도록 한다. 그리고 돋보기로 태양 빛을 모아 양초를 녹이는 실험을 통해 태양에너지를 설명하고 있다. 그러나 마찰에 의해 발생하는 에너지가 온도계에 전달되는 과정에서도 에너지의 전달이라는 열의 개념이 포함된다고 할 수 있다. 또한 양초가 녹는 이유도 복사열 즉, 광자에 의해 열이 이동한 것이므로 결국 열의 개념을 설명하고 있다고 할 수 있다. 그러나 여기서는 이를 열과 관련지어 설명하지

않고 태양에너지라고 표현함으로써 이 두 개념을 분리하여 제시하였다.

전반적으로 초등학교에서 제시하는 열은 뜨거운 것, 온도는 이러한 열을 측정하는 도구 이상을 제시해 주지 못하고 있기 때문에 과학사적으로 볼 때 18세기의 수준을 넘지 못한다고 볼 수 있다.

2. 중학교 교과서 분석

중학교 2학년의 태양복사에너지 단원과 3학년의 에너지 단원에서 나타난 열과 온도 개념의 설명 유형을 초등학교 자연 교과서에 나타난 설명 유형과 비교하여 Table 2와 Table 3에 제시하였다.

Table 2. Explanation types of temperature concept in elementary and middle school science textbooks

School	Type 1	Type 2	No explanation
Elementary school	E31		E42, E61, E62
Middle school			MS1~MS8, MT1~MT8

중학교 2학년의 모든 교과서에서 공통적으로 태양복사에너지를 배우면서 열과 온도 개념을 접하지만, 열이나 온도의 정의는 명확하게 제시하지 않았다. 그러나 대부분 교과서에서 열을 에너지와 관련지어 설명하고 있었고, 중학교 2학년의 일부 교과서(MS1, MS2, MS6)에서는 문장 안에서 열에너지를 열과 동일한 의미로 사용하였다. 예를 들면 MS1 교과서에서는 다음과 같이 설명하였다.

전구에서 발생된 열은 복사에 의하여 전구에서 손바닥

Table 3. Explanation types of heat concept in elementary and middle school science textbooks

School	Type 1	Type 2	Type 3	No explanation
Elementary school				E31, E42, E61, E62
Middle school	MT1~MT8			MS1~MS8

까지 직접 전달되었다. 이와 같이, 복사에 의해 이동한 열에너지를 복사에너지라고 한다.

이렇게 열과 열에너지를 동의어로 사용하게 되면 선행연구인 Pushkin(1996) and Lewis & Linn(1994)의 논문에서 지적되었듯이 문제가 발생할 수 있다. 따라서 물체의 내부 에너지와 관련된 개념인 열에너지(thermal energy)와 온도 차이에 의해 이동하는 에너지의 개념인 열(heat)을 구분하여 사용할 필요가 있을 것이다. 특히 외국에서는 열에너지와 열에 대한 용어가 매우 다르기 때문에 개념을 구분하여 제시하면 학생들이 이 두 개념을 혼동할 가능성이 적지만, 우리 나라에서는 열과 열에너지라는 용어가 유사하여 이를 구분하는 데에 있어서 어려움이 더 클 수 있을 것이다. 이렇게 되면 선행 연구에서 고찰한 바와 같이 열은 과거에 형성되었던 물체가 가지는 고유한 양의 개념으로 이해될 가능성이 높게 된다.

또한 초등학교에서 태양 에너지를 배울 때에는 복사의 개념을 열에너지와 구분하여 제시하였는데, 중학교에서는 대부분의 교과서에서 태양복사에너지를 열과 관련지어 설명하고 있다.

열이 중간 물질을 거치지 않고 직접 먼 곳까지 이동하는 현상을 열의 복사라고 한다. 태양의 열에너지는 태양과 지구 사이의 아무 것도 없는 공간을 거쳐왔으므로, 복사에 의하여 직접 지구로 온 것이다. 그러므로 태양에서 오는 에너지를 태양 복사 에너지라고 한다(MS2).

그리고 모든 교과서에서 태양 복사 에너지를 측정하는 실험을 소개하고 있는데, 스티로폼으로 둘러싸여 있는 검은 구리통에 물을 넣은 후 온도계를 꽂고 햇빛을 받게 하여 변화하는 물의 온도를 측정하는 것이다. 이 실험을 통해 학생들은 태양 복사 에너지와 온도가 관계가 있음을 알 수 있을 것이다. 그러나 정작 온도의 정의가 없기 때문에 자신들이 한 활동을 통해 열과 온도에 대한 어떠한 개념을 형성해야 하는지 알기 어려울 것이다.

한 교과서(MS8)에서는 연구과제로 '열과 온도를 어떻게 구별할 수 있을까?'라는 내용을 소개하면서

물질을 가열하면서 온도의 변화를 측정하는 실험을 하고 그 차이를 생각해 보도록 하지만, 실험 내용을 통해서는 가열하면 온도가 올라간다는 사실만을 제시하였다. 또 다른 교과서(MS3)에서는 다음과 같이 표현하였다.

같은 양의 열을 가해도 물질의 종류에 따라 또 물질의 상태에 따라 온도 변화는 달라진다. 이와 같이 온도와 열은 밀접한 관계를 가지나 반드시 비례하지는 않는다.

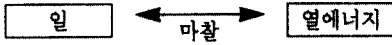
따라서 온도와 열이 관련이 있음을 언급하였으나 구체적으로 어떻게 관련되는지에 대해서는 언급하지 못하였다. 이는 비열에 관련된 개념이므로 열과 물질의 고유한 성질을 관련지어 이해하는 것이 필요한 개념이다. 또한 교과서에서는 잠열이나 상태변화할 때 필요한 열의 개념을 제시하면서 가열하여도 반드시 온도가 올라가지 않음을 제시하는데, 이 역시 물질의 고유한 상태와 관련이 있는 개념이다. 따라서 이러한 상황을 통해 열과 온도를 관련짓게 되면 열이 물질의 고유한 성질이라고 이해하는 오류(전우수, 1993; Engel-Clough & Driver, 1985; Driver, et al., 1985; Lewis & Linn, 1994; Jones, et al., 2000; 최행숙 등, 2001)로 연결될 가능성이 있다.

중학교 3학년에서는 일과 에너지 단원 중 열과 역학적 에너지를 다루는 내용에서 열의 개념을 제시한다. 공통적으로 모든 교과서에서 줄의 실험을 소개하면서 열에 의해 일을 할 수 있음을 보여주어 열이 에너지의 한 형태임을 설명하고 있다. 즉 모든 교과서가 유형 1로 제시하였다.

그리고 대부분의 교과서에서 열을 열에너지라고 표현함으로써 이를 동의어로 사용하였는데, 이는 2학년의 일부 교과서에서 나타난 것과 차이를 보인다. 예를 들면 한 교과서(MT6)에서는 다음과 같이 열을 열에너지로 부르며, 일이 열에너지로 전환된다고 설명하고 있다.

열은 위치 에너지나 운동 에너지와 같이 에너지의 한 형태라는 것을 알게 되었다. 따라서, 열은 열에너지라고 부른다. 열량의 단위로는 kcal 뿐만 아니라 에너지의 단위

인 도 사용한다. 일반적으로 일은 마찰에 의하여 열에너지로 전환되는데, 이것을 간단히 나타내면 다음과 같다.



단지 한 교과서(MT1)에서만 “열이 역학적 에너지(일)로 전환된다”와 같이 표현하고 열에너지라는 용어를 사용하지 않았다. 이러한 표현은 앞서 중학교 2학년의 경우에 지적한 바와 같은 문제를 포함하고 있다. 중학교 3학년 ‘에너지의 전환과 보존’이라는 내용에서도 열에너지라는 용어가 제시되는데, 이 경우에는 초등학교와 유사하게 전자기와 같은 도구를 이용한 가열 상태에서만 열에너지라는 개념을 제시하고 태양복사에너지와 열에너지는 관련짓지 않았다. 단지 일부 교과서(MT6, MT3)에서만 태양으로부터 열에너지가 방출된다는 것을 표현하였다.

3. 고등학교 공통과학 교과서 분석

공통과학에서는 열과 온도 개념의 이해가 기본적으로 요구되는 물질 단원의 흡열·발열반응 내용과 열과 온도 개념을 직접 다루는 에너지 단원의 에너지 흐름과 보존 내용을 중심으로 분석하였다. 에너지 단원에서 태양복사에너지의 개념도 다루는데, 이 내용은 중학교에서 분석한 내용과 크게 다르지 않기 때문에 고등학교 공통과학의 교과서 분석에서는 제외하였다. 교과서에 나타난 열과 온도에 대한 설명 유형은 Table 4와 5에 제시하였다. 한 교과서에서 두 가지 유형 이상으로 설명되어 있는 경우 모두 분류에 포함시켰다.

분석 결과, 초등학교나 중학교와 달리 고등학교 1학년 교과서에서는 다양한 유형이 제시되었다. 특히 온

Table 4. Explanation types of temperature concept in science textbooks for 10th grade students

Type 1	Type 2	No explanation
HF4~HF8, HF11	HF1, HF5, HF8, HF9	HF2, HF3, HF10

Table 5. Explanation types of heat concept in science textbooks for 10th grade students

Type 1	Type 2	Type5	No explanation
HF1~HF3, HF6, HF11	HF4, HF7	HF5	HF8~HF10

도를 현대적인 관점인 평균 분자운동에너지의 시각에서 설명한 교과서도 4개(HF1, HF5, HF8, HF9)나 되었다. 그리고 열의 경우도 가장 현대적인 관점이라고 볼 수 있는 유형 2로 제시한 교과서가 2개(HF4, HF7) 있었다. 그러나 열과 온도를 모두 일관성 있게 현대적 관점으로 제시한 교과서는 없었다.

온도나 열의 개념을 정의하지 않고 용어를 사용하는 교과서도 3종류씩 있었는데, 설명하지 않았다는 것은 온도나 열의 정의를 학생들이 이미 알고 있다고 가정한 것이라 볼 수 있다. 그러나 온도의 정의 역시 중학교에서 거의 제시되지 않았다. 그렇다면 초등학교에서 제시한 온도의 정의로 고등학교 1학년까지 이해할 가능성이 있다는 의미가 된다. 초등학교에서 제시한 온도의 정의가 열전도의 개념과 뒤엉킬 가능성이 있는 “차고 따뜻한 정도”임을 고려한다면 이러한 점은 문제점이라고 하지 않을 수 없다.

열의 정의는 중학교에서 대부분 유형 1인 에너지의 개념으로 제시되어 있다. 따라서 고등학교 1학년 공통과학에서 설명이 없는 경우도 유형 1로 설명한 경우와 같이 볼 수 있으므로, 대다수의 공통과학 교과서가 유형 1로 열의 개념을 제시하였다고 볼 수 있다. 유형 1의 열 개념은 온도와 관련짓지 않기 때문에 학생들이 온도 차이로 인해 이동하는 에너지의 개념으로 열을 이해하지 못할 것이다. 그렇다면 초등학교부터 꾸준히 제시되어 온 열과 온도의 긴밀한 관계를 고등학교 학생들조차도 이해하기 어려울 것이다.

고등학교에서도 중학교의 경우와 마찬가지로 열과 열에너지를 동의어로 사용한 경우(HF1, HF2, HF7, HF11) 등이 분석되었다.

물질 단원에서는 모든 종류의 교과서에서 열이나 온도를 정의하지 않고 다음과 같이 발열반응과 흡열반응을 설명하였다.

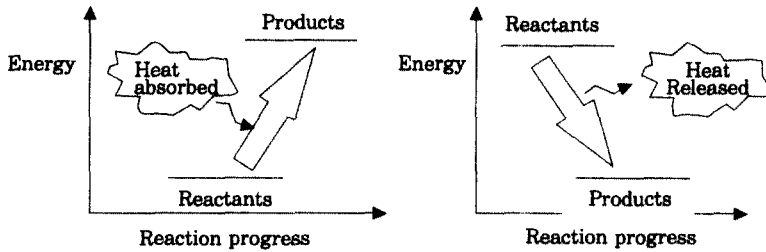


Fig. 1. Diagram of energy change in exothermic and endothermic reaction (HF3)

열을 방출하면서 일어나는 반응을 발열반응, 열을 흡수 하면서 일어나는 반응을 흡열 반응이라고 한다. (HF3)

그리고 열의 흡수와 방출을 대부분의 교과서에서 에너지의 변화(HF1~HF3, HF5~HF11)로 제시하였다. 단지 일부 교과서(HF2, HF4, HF6)에서만 에너지 대신에 엔탈피의 개념으로 열의 흡수와 방출을 설명하기도 하였다. 그러나 부피와 엔트로피가 일정할 때에는 계가 내부에너지를 낮추는 방향으로 변화하는 것이고, 압력과 엔트로피가 일정할 때에는 엔탈피가 낮아지는 방향으로 계가 이동하는 것이다. 따라서 대부분의 화학 반응은 대기압에서 실험을 하기 때문에 압력이 일정하다고 볼 수 있고, 또한 빠른 시간에 반응이 일어나기 때문에 단열 상태를 고려할 수 있어서 엔트로피가 일정하다고 볼 수 있다. 이러한 점 때문에 에너지보다는 엔탈피로 변화를 표현하는 것이 더 정확한 것이라고 본다. 엔탈피로 제시한 세 교과서에서조차 이러한 이유를 제시하지 않고 에너지의 대체 개념 정도로 엔탈피를 제시하였기 때문에 학생들이 에너지와 엔탈피의 관련성과 화학반응에서 엔탈피를 고려하는 이유 등을 알기 어려울 것이다.

그러나 발열반응이나 흡열 반응에서 일어나는 변화 중에서 그래프의 세로축 에너지 값이 의미하는 것은 반응물과 생성물의 결합에너지(혹은 퍼텐셜 에너지) 값이다. 단열 상태에서 총 내부에너지가 보존된다면 이러한 결합에너지의 변화는 물질의 운동에너지 변화를 유발한다. 따라서 반응물의 결합에너지보다 생성물의 결합에너지가 더 낮으면, 그만큼 운동에너지가 증가하게 된다. 즉 물질의 온도가 상승하게 된다.

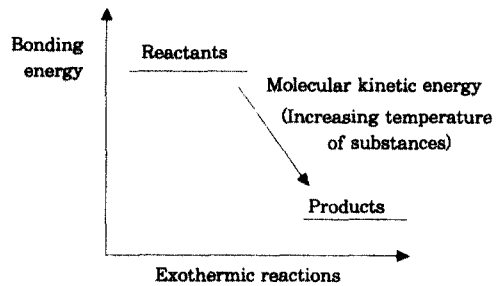


Fig. 2. Diagram of bonding energy change in exothermic reaction

이와 같이 변화되는 에너지가 물질 내부의 결합에너지인지 운동에너지인지 구분해 주지 않고 단순히 에너지라고 표현하면, 학생들은 발열반응이 일어날 때 물질의 총 내부에너지가 감소한다고 생각할 수 있다. 보통 물질로부터 열이 방출되면, 물질의 내부 에너지가 외부의 계로 전달되어서 물질 자체의 온도는 내려가기 때문이다.

따라서 물질의 내부 에너지가 감소하였는데도 불구하고 물질 자체의 온도가 올라가는 이유를 이해하기 어려울 것이다. 오히려 학생들은 발열 반응이 일어나면 물질의 내부 에너지가 감소하므로 물질의 온도가 내려가고, 흡열 반응이 일어나면 물질의 내부 에너지가 증가하므로 물질의 온도가 올라간다고 생각할 가능성이 있다. 이러한 사고 속에는 물질의 결합에너지 중 일부가 물질의 운동에너지로 전환되고, 이러한 전환 결과로 인해 물질의 온도가 상승한다는 점과 물질의 온도보다 낮은 온도라는 조건의 외부 계와 접촉할 경우에 외부 계로 열이동이 일어나게 된다는

점에 대한 이해가 빠져 있는 것이다. 이를 고려하여 발열 반응과 흡열 반응을 설명한 교과서는 한 종류(HF11) 뿐이었다.

화학반응에서는 항상 열의 출입이 따른다. 즉, 화학반응은 반응 물질이 반응하면서 열을 주위로 방출하는 발열 반응과 반응 물질이 주위로부터 열을 흡수하는 흡열 반응으로 구분된다.

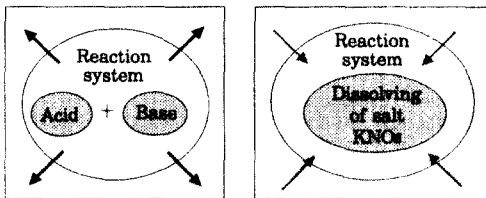


Fig. 3. The heat transfer of chemical reactions

대부분의 교과서가 제시하는 것과 같이, 만약 반응 열을 다룰 때 외부의 계로 열출입이 있다는 가정을 하지 않고 물질의 내부 계만을 고려한다면 단열이라는 조건이 중요하다. 즉 이 경우에는 열의 출입이 없기 때문에 열이라는 개념을 사용할 수 없다. 열이란 외부의 계를 고려하여야 하며 외부 계와의 온도 차이에 의해 유발되는 분자운동 에너지의 전달이라고 보아야 하기 때문이다. 발열(exothermic)이나 흡열(endothermic)이라는 용어 자체가 열(heat)의 개념이 아니라 열에너지(thermal energy)의 개념으로 제시된 것이라면, 이는 물질의 내부 에너지의 개념으로 대체될 수 있기 때문이다.

대부분의 교과서에서 산-염기 반응의 중화열을 측정할 때 외부의 계를 차단하기 위하여 스티로폼 컵을 사용한다. 이 때 반응계에 직접 온도계를 꽂아 온도의 변화를 측정(Fig. 4)하는데 이 때 반응을 통해 물질의 내부 에너지 중 결합에너지의 일부가 분자운동 에너지로 변화한다. 이를 온도계로 측정하는데, 이 경우 외부계 사이의 단열이 가정되기 때문에 이러한 실험을 통해 반응 혹은 생성물의 온도는 측정할 수 있으나 열을 측정하는 것으로 제시하는 것은 문제가 될 수 있다고 본다.

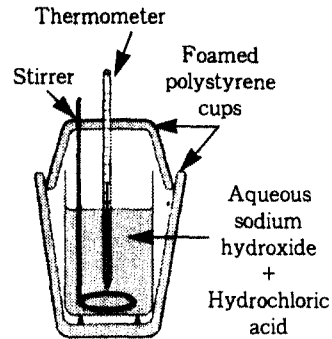


Fig. 4. Heat measuring method of neutralization reaction(HF4)

4. 고등학교 화학 교과서 분석

화학 I에서는 화학반응에서 가열하여 반응시킨다는 정도로만 언급하고 있고 열과 온도에 대한 내용을 찾을 수 없기 때문에 분석에서 제외하였다. 화학 II에서는 기체분자운동론의 가정으로부터 온도를 설명하고 있고, 반응열 부분에서 열을 언급하고 있다. 따라서 이 단원의 내용을 분석하여 설명유형을 정리하여 Table 6과 7에 제시하였다.

Table 6. Explanation types of temperature concept in chemistry textbooks for 11th and 12th grade students

Type 1	Type 2	No explanation
	C II 1, C II 3, C II 5~C II 7, C II 9~C II 12	C II 2, C II 4, C II 8 C II 1~C II 12

Table 7. Explanation types of heat concept in chemistry textbooks for 11th and 12th grade students

Type 1	Type 2	Type 3	No explanation
			C II 1~C II 12

대부분의 교과서에서는 '기체분자 운동론'을 다룰 때 온도를 기체 분자의 평균 운동에너지와 비례하는 것으로 설명하여 모든 교과서에서 유형2로 설명하였다. 그러나 액체나 고체 상태에서의 온도는 정의하지

않으며, 열의 정의는 어느 단원에서든 설명하지 않고 반응열과 같은 내용을 다루는 것으로 분석되었다.

반응열에서는 흡열반응과 발열반응을 설명하고, 연소열이나 분해열 등과 같은 반응열의 종류를 설명하고 있다. 이때 방출되는 열이나 흡수되는 열의 개념에는 외부의 계로 전달되는 분자운동에너지의 관점이 아니기 때문에, 정확한 열 개념의 형성에 혼란을 가져올 수 있을 것이다.

5. 고등학교 물리 교과서의 분석

물리교과의 경우 열과 온도를 직접적으로 설명하고 있는 단원을 중심으로 분석하였다. 물리 I은 에너지 단원에서 에너지의 흐름과 보존을 설명한 부분과 물리 II는 에너지와 열 단원에서 기체의 분자 운동, 열역학의 법칙을 설명한 부분을 분석하였으며, 그 결과를 Table 8과 9에 제시하였다.

물리 I 교과서에서는 온도를 '물체의 뜨겁고 찬 정도를 수량적으로 나타낸 것'으로 정의한 유형 1로 설명하거나 정의가 없는 경우가 대부분이다. 그러나 물리 II에서는 유형 1과 함께 분자 운동에너지의 척도로 표현한 유형 2가 보편적으로 제시되었다.

열은 대부분 줄의 실험 장치를 소개하면서 유형 1과 같이 열이 에너지의 한 형태라고 설명하거나, 정의가 없는 경우가 대부분이었다. 열을 온도차에 의해 이동한 에너지라는 유형 2로 설명한 교과서는 많지 않았고(P I 10, P II 10), 분자운동에너지와 연결시킨 교

과서는 하나(P II 1)뿐이었다. 이 교과서에서는 온도의 정의도 분자 운동과 관련지어 설명함으로써 설명의 일관성을 유지하였다. 그리고 대부분 교과서에서 열과 열에너지를 구분 없이 사용하고 있었다.

한 가지 특이한 것은 물리 교과서 대부분이 '열운동'이라는 용어를 사용하고 있었다는 것이다. 화학에서는 열운동이란 용어를 사용한 교과서가 적은 반면, 물리에서는 대부분의 교과서에서 분자운동을 열운동이라 명명하였다.

V. 결론 및 제언

열과 온도의 개념은 초등학교부터 고등학교까지 과학 중 물리, 화학, 지구과학의 고른 영역에서 계속적으로 제시되는 중요한 과학 개념이다. 그러나 이에 관련된 선행연구들은 학생들이 개념을 올바르게 이해하는데 큰 어려움을 가지고 있음을 지적하였다. 이 연구에서는 과학사적으로 변천해온 다양한 관점이 과학 교과서에 불분명하게 혼합되어 제시되어 있을 가능성으로부터 이러한 문제의 원인을 파악하기 위하여 교과서의 설명 유형을 분석하였다.

분석 결과, 열의 개념은 과학사적으로 볼 때 과거에 형성되었던, 오늘날과는 다른 개념과 혼재되어 있었다. 예를 들어 열은 열에너지, 열량 등의 개념과 혼동되어 제시되어 있었고, 발열, 흡열 등의 용어를 통해 내부에너지, 분자운동에너지와 구분되지 않고 사용되고 있음이 밝혀졌다. 그리고 온도 개념 역시 열전도

Table 8. Explanation types of temperature concept in physics textbooks for 11th and 12th grade students

Type 1	Type 2	No explanation
P I 1, P I 6~P I 9, P I 12, P II 1~P II 4, P II 6~P II 11	P I 3, P I 6 P II 1~P II 10, P II 13	P I 2, P I 4, P I 5, P I 10, P I 11, P I 13, P I 14, P II 12

Table 9. Explanation types of heat concept in physics textbooks for 11th and 12th grade students

Type 1	Type 2	Type 3	No explanation
P I 1, P I 4, P I 6, P I 8, P I 10~P I 14, P II 1~P II 3, P II 5, P II 6, P II 10, P II 11, P II 13	P II 1	P I 7, P II 7, P II 11, P II 12	P I 2, P I 3, P I 5, P I 7, P I 9, P II 4, P II 8, P II 9, P II 12

을, 열량을 측정하는 도구나 수치 등의 형태로 제시되어 있어 혼란을 유발할 가능성이 높았다. 이러한 상황은 교육적인 의미 때문이라기 보다는 교과서 자체가 올바른 개념을 정립하지 못하고 과거의 혼란을 극복하지 못하였기 때문이라고 본다.

교과서 중에는 개념의 정의를 제시하지 않음으로써 이러한 혼동을 드러내지 않은 경우도 많았다. 그러나 개념의 정의조차 없이 초등학교, 중학교, 고등학교에서 물리, 화학, 지구과학의 영역에 따라 제각각 서로 다른 의미로 열과 온도라는 개념을 제시한다면 학생들이 이 개념을 스스로 정확한 의미로 정리하여 이해하기란 불가능할 것이다. 용어는 동일하게 반복되어 제시되지만, 그 용어가 의미하는 바가 서로 다르기 때문이다. 이러한 경우 논리적 유의미가에 치명적이기 때문에 학습이 제대로 일어날 수 없다고 오스벨(Ausubel, 1969)은 지적하였다.

열과 온도의 기본적인 개념이 교과서에 제대로 정립되지 못한 상태에서 보온, 단열, 열팽창, 열전도, 비열, 열용량 등의 개념으로 교과 내용을 확장하여 가르치는 일이 초기의 오류를 수정할 수 있는 방법이 되지는 못할 것이다. 열과 온도의 개념을 제대로 정립하는 것은 과학자의 일이겠지만, 이를 정확히 파악하고 학생들에게 적절한 언어의 형태로 제시하는 노력은 과학교육에서 말아야 할 부분이다. 과학교육계에서 이러한 일에 노력하지 못한다면, 20-30년간 꾸준히 나타난 열과 온도에 대한 학생들의 오개념(Erickson, 1979; 1980; Driver, et al., 1985; Engel-Clough & Driver, 1985; Sciarretta et al., 1990; Linn & Songer, 1991; 권기태, 1993; 전우수, 1993; Lewis & Linn, 1994; 신미라, 1999; Harrison et al., 1999; Jones et al., 2000, 최행숙 등, 2001)은 앞으로도 계속 나타나게 될 것이다.

비고스키(한순미, 2001)는 언어가 사고에 미치는 영향을 강조하였으며, 이를 정신의 도구로 보았다. 즉 언어를 통해 사고가 형성된다고 본 것이다. 이러한 점에 비추어 이 연구에서도 문장의 표현을 통해 유발할 수 있는 개념의 문제점을 파악하고자 하였다. 열과 온도의 개념과 같이 시대가 변천하면서 그 개념이 변화하여 온 과학적 용어들은 많이 있다. 그런데 많

은 교과서에서 이러한 과학사적인 변천을 고려하지 않고 교과서에 과거의 잘못된 정의로 개념을 제시하기도 하고, 비록 정의 자체는 올바르게 제시한 경우에도 과거에 잘못된 개념을 사용하여 표현한 것을 수정 없이 사용함으로써 행간에 또 다른 상반된 개념을 동시에 제시하는 이러한 오류를 앞으로 피하기 위한 노력이 필요하다고 본다.

적 요

이 연구에서는 과학사적 관점을 토대로 온도와 열의 개념 유형을 구분하고, 초등·중등학교 과학 교과서에서 열과 온도에 대해 진술하는 개념을 분석하여 학생들이 가질 수 있는 오개념의 원인을 파악하고자 하였다. 분석 결과, 초등학교부터 고등학교까지 과학 및 화학, 물리 교과서에서 제시하는 열과 온도의 개념이 현대적인 관점을 제시하지 못하고, 과학사적으로 변천해온 개념들이 뒤섞여서 제시되고 있다. 이러한 문제점은 학생들이 열과 온도에 대한 정확한 개념을 획득하는데 방해가 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 강순희, 박종윤, 정재용(1994) 중학생의 열과 온도에 대한 선입개념을 고려한 수업방안 개발. 화학교육, 21(3), 148-161
- 교육부(1998). 초등학교 3, 4, 6학년 자연 교과서. 국정교과서주식회사.
- 권기태(1993). 국민학교 아동들의 열과 온도에 대한 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김영주, 김익균(1995). 고등학교 물리교과의 에너지와 열 단원과 타 과학교과의 연계성에 대한 학생들의 이해. 물리교육, 13(1), 1-10.
- 김용은 역(1997). 대학물리학. 서울: 도서출판 대웅.
- 김은경(2001). 초등학생의 열과 온도에 대한 이해수준과 대안개념 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김익진(1999). 초등학생의 열 개념 유형과 온도 개념 형성의 관계. 대구교육대학교 석사학위논문.
- 신미라(1999). 중학생의 열이동에 관한 개념 조사. 한

- 국교원대학교 석사학위논문.
- 양신호(1995). 초인지 활동을 통한 중학생의 결과 온도 개념 변화에 관한 연구. 공주대석사학위논문.
- 오진곤(1996). 화학의 역사. 서울: 전파과학사.
- 이선경, 김우희(1995). 열의 오개념 교정을 위한 과학사의 도입에 관한 연구. 한국교육학회지, 21(3), 148-161.
- 전우수(1993). 국민학생의 과학 오개념 조사 연구. 초등과학교육, 12(2), 145-166.
- 최행숙, 김은경, 백성혜, 이길재, 정완호(2001). 초등학생들의 열과 온도에 대한 대안개념 조사. 초등과학교육, 20(1), 123-138.
- 한순미(2001). 비고츠키와 교육. 서울: 교육과학사.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M & Westbrook, S. L.(1994). A Cross-Age Study of the Understanding of Five Chemistry Concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Ausubel, D. P.(1969). *School Learning*. NY: Holt, Rinehart & Winson.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, England: Open University Press.
- Engel-Clough & Driver, R.(1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.
- Erickson, G. L.(1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63(2), 221-230.
- Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F.(1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55-87.
- Jones, M. G., Carter, G., & Rua, M. J.(2000). Exploring the development of conceptual ecologies: Communities of concepts related to convection and heat. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 139-159.
- Lewis, E. L. & Linn, M. C.(1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 657-677.
- Lewis, E. L. & Linn, M. C.(1996). Where Is the Heat?: A Response to David Pushkin. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(3), 335-337
- Linn, M. C., & Songer, M. B.(1991). Teaching thermodynamics to middle school students: What are appropriate cognitive demands? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 885-918.
- Linn, M. C., Songer, N. B., Lewis, E. L., & Stern, J.(1993). Using technology to teach thermodynamics: Achieving integrated understanding. In D. L. Ferguson(Ed.), *Advanced educational technologies for mathematics and science* (Vol 107)(pp. 5-60). Berlin: Springer Verlag.
- Lubben, F. & Campbell, N.(1999). Students' Use of Cultural Metaphors and Their Scientific Understandings Related to Heating. *Science Education*, 83(6), 761-774.
- Pushkin, D. B.(1996). A Comment on the Need to Use Scientific Terminology Appropriately in Conception Studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(2), 223-224.
- Ronan, C. A.(1982). *Science: Its History and Development Among the World's Cultures*. Facts-on File, New York.
- Sciarretta, M. V.(1990). On the thermal properties of materials: *International Journal of Science*, 12(4), 369-379.

* 중·고등학교 교과서는 인용문헌에서 생략하였음.