

열의 오개념 교정을 위한 과학사의 도입에 관한 연구

이선경 · 김우희

(단국대학교)

(1995년 4월 7일 받음)

I. 서론

과학교육에 과학사를 도입하는 것은 19세기에 물리학자 이면서 철학자였던 Mach가 주장한 이래로, 많은 연구자들이 여러 가지 이점들을 제시하면서 꾸준히 강조(Brush, 1989; Bybee, 1991; Matthews, 1992)하여 왔다. 과학교육에 대해서 학습내용을 역사적 발전 순서에 따라서 가르치거나 그것이 생겨난 기원을 가르치는 형태의 학습방법인 기원론적(genetic) 접근을 제안한 Mach는 한 과학적 사실의 논리는 그것을 가르치는 논리와 반드시 일치하지는 않다는 점과 기원론적 접근을 통해 과학의 오류 가능성과 역사성을 가르칠 수 있음을 믿었다(양승훈, 1992). 과학교육에 과학사의 통합을 주장한 Jenkins는 과학사 교육에 관한 연구 결과를 분석하고 그 결과를 바탕으로 과학사를 가르쳐야 할 이유를 과학의 인간화, 흥미 유발, 과학의 본성 인식의 세 가지로 요약하여 제시하였다(박승재 · 조희형, 1994). 1970년 MIT에서 열린 심포지움에서 Klein은 역사가가 추구하는 사실의 복잡성과 과학자가 추구하는 예리하면서도 단순화된 통찰력을 겸하는 일은 어렵기 때문에 과학과정에서 가능한 역사는 사이비 역사(pseudo-history)일 뿐이라고 주장하면서(Matthews, 1992) 과학사를 과학교육에 적용할 때에 과학교육자들과 과학교사들이 좀 더 신중하게 다룰 것을 경중하였다.

과학교육에 과학사를 도입하는 문제는 찬반론이 엇갈리고 있으나 일반적으로 인정되고 있는 과학사의 역할은 다음과 같다.

첫째, 과학철학의 영역인 과학의 본질과 대상에 대한 고찰은 과학사내에서 이루어질 수 있으며, 과학사는 또한 다양한 과학적 실험들을 포함하고 있어 학생들은 과학사를 통하여 과학적 방법에 대하여 학습할 수 있다.

교과서는 완성된 지식체계, 즉 과학자 사회가 인정하는 패러다임(paradigm)에 적합한 사실, 법칙, 이론들을 결과론

적으로 서술하는 것이 특징이다. 현행 과학수업은 귀납주의를 바탕으로 하는 과학적 방법의 학습 혹은 실험진행의 결과로 인해 관찰을 통한 이론이 참이라는 오류를 갖기 쉽게 구성되어 있다. 정상과학의 영속을 위한 교육적 수단(Kuhn, 1970)으로 볼 수 있는 결과중심의 지식체계는 과학자가 되려는 과학도들에게 가장 쉽게 목표에 다다르게 하는 좋은 방법일 수도 있으나 과학을 완성된 체제물로 전달하게 되어 과학적 사실, 법칙, 이론들의 본질 즉 그것들은 발달과정에 있고 변화가능하며 잠정적이라고 하는 점을 무시하게 된다. 대부분의 현대 과학철학에서는 관찰이 그 이론 혹은 가설에 의존함을 주장한다. 과학사는 과학적 결과들의 발생과정을 포함하고 있어서 학생들에게 과학철학의 현대적 관점을 제공하는 데 도움을 줄 수 있으며 이론의 형성과 발달과정을 고찰함으로써 과학 이론의 잠정성을 보여준다. 또한 개념발달을 가지는 많은 예를 제공할 수 있으므로, 역사적 고찰은 과학의 이해를 도와줄 뿐 아니라 개념발달의 새로운 가능성도 제시해 준다(Matthews, 1992).

둘째, 과학은 인간이 끊임없이 탐구하고 연구하여 이루어 낸 산물이기 때문에 과학적 사실과 법칙들이 성립해 온 과정의 고찰은 과학이 인간적인 학문임을 고취시켜 학생들에게 흥미와 관심을 자연스럽게 유발하고 이를 학습에 지속시키는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

인문학과와 과학도들이 상대 영역의 지식 뿐만 아니라 인식의 차이가 심하며 이를 극복하는 문제가 시급하다고 지적하고 있는 Snow(1959)는 양극집단으로 분열되어 있는 서방 문화는 인문계 지식층과 과학자 간에 적대과 증으로써 서로 이해하지 못하고 있으며 이러한 문화적 차이는 인문학과 과학간의 영역이 너무도 구분되고 있고 서로에 대한 배타적인 인식에 기인한다고 주장한다. 과학을 역사적인 맥락에서 살펴보는 것은 인문학과 과학의 요소를 동시에 제공하므로, 과학사는 두 문화 사이의 교량으로서 작용하며 두 문화의 과도한 전문화를 약화시킬 수 있다. 과학의 역사로부터 과

학이 그 시대와 이전의 전반적 지적 활동 및 사회의 모든 측면과의 동적 상호작용임을 이해할 때 「두 문화」사이의 간극은 한걸음 좁혀질 것이다(김명자, 1982). 또한 과학사는 풍부한 사례를 통하여 과학을 위대한 인간의 행위의 결과로만 제시하는 것이 아니라 과학자들이 시행착오를 통하여 연구에 성공하는 모습들을 조명한다. 따라서 과학을 인간화하여 흥미를 제공함으로써 내적 학습동기를 유발할 수 있다.

셋째, 과학사는 학생들로 하여금 과학이 사회와 무관한 독립적이고 고립적인 학문이 아니라 사회와의 상호작용을 통해 발달해 온 학문임을 인식하고 사회적 맥락속에서 과학을 고찰하여 과학에 윤리적인 측면을 제공함으로써 자발적으로 가치판단을 내릴 수 있도록 돕는다.

지식 특히 자연과학적 지식은 가치중립적인 것이라는 견해는 오랫동안 과학이 가치나 윤리에 관한 질문들로부터 무관하다는 것을 뒷받침해 주고 있으나, 현대는 급격한 과학기술의 발전에 수반된 여러 가지 저해요인들이 심각하여 지므로 자연과학적 지식의 가치의존성이 강조되고 있다. Conant는 비과학 전공자가 단순히 과학적 사실 총체를 기억하는 것보다 과학과 사회의 연관성을 이해하는 것이 훨씬 중요하다고 지적하면서 정치적, 사회적, 문화적 영역에서의 역사적인 자료를 과학과정에 소개할 것을 주장했다(Hendrick, 1992). 오늘날의 과학은 갑자기 생성된 것이 아니라 수많은 발달을 거쳐왔으므로 현대의 과학을 이해하기 위해서는 과학이 발달해 온 과정의 고찰이 필요하다. 따라서 역사를 통하여 과학과 사회, 경제, 문화, 기술 사이의 연관성을 살펴보는 일은 학생들이 현대의 과학을 이해하는 데 많은 도움을 줄 것이다.

넷째, 과학사는 과학교사 교육에 필요하다. 과학교사들이 전공과목에 대한 지식뿐만 아니라 포괄적인 지식과 폭넓은 안목을 갖고 아이들의 과학을 이해하는 데 과학사 교육은 필요하다.

과학교사는 학생들의 과학에 대한 태도에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 위치에 있다(Russell, 1981). 교사의 언어는 학생의 언어에 영향을 주며 과학교사가 제시하는 내용 지식뿐만 아니라 과학적 세계관과 태도는 학생들의 과학에 대한 태도에 영향을 미친다. Sherratt는 훌륭한 과학교사는 과학의 다른 인접분야들에 대한 광범위한 이해를 갖고 다양한 실험방법을 행할 수 있으며, 논리학자, 철학자이며 동시에 학생들에게 Galileo, Newton, Faraday, Darwin과 같은 천재들의 개인적오류, 삶, 업적들에 대해 이야기해주는 역사가라고 묘사하였다(Matthews, 1992). 과학교사가 갖는 과학에 대한 풍부한 이해와 학습내용의 정당성과 유용성에 대한 충분한 사고는 학생들에게 학습의욕을 고취시키는 데 도움을 줄

수 있다. 교육자로서의 과학교사들은 다양한 과학의 모습들을 조명하고 과학의 발달을 이해하며 현대의 과학기술에 대한 판단력을 가지고 있어야 하며 이와 동시에 가르치려고 하는 정확한 과학개념과 학생들이 과학적 개념을 어떻게 배우는가에 대한 충분한 지식이 있어야 한다(조희형, 1985). 따라서 과학사는 과학교육과 과학교사 교육에 필수적이다.

다섯째, 과학사는 과학개념의 역사적 변천과정에 대한 이해와 과학 오개념의 교정에 기여할 수 있다. 효과적인 교수-학습을 위해서는 학습자가 어떻게 개념을 형성하고 변화하며 확장하여 지식을 획득하는지에 대한 연구를 바탕으로 하여야 하며 과학사에서 나타나는 개념 변천을 통해 학생의 개념 변화를 촉진할 수 있다.

이상에서 제시한 다섯 가지 역할들은 논의의 편의를 위하여 나눈 것이며 과학사의 도입은 동시에 여러 가지 역할들을 할 수 있다.

우리 나라에서 과학사를 과학교육에 도입하는 문제를 구체적으로 논의(현종오, 1991; 양승훈, 1992; 송진웅, 1993)하게 된 것은 근래의 일이다. 제6차 교육과정 개정을 위한 과학교육자들의 연구에도 통합교과인 공통과학에 과학사를 도입해야 한다는 제안과 과학의 과학사적 접근영역이 많이 논의되었으나 실제 교과서의 집필에는 결국 배제되었다(이규석, 1993). 이와 같이 과학사를 과학교육에 도입하는 문제는 그 필요성에도 불구하고 현실화되기 어려운 실정이다. 본 연구자는 이러한 문제점을 인식하고 과학교육에서 과학사가 할 수 있는 역할들 중에서 특히 개념의 역사적 전개가 과학 오개념 교정에 할 수 있는 역할을 조명할 것이다. 그에 따라 구체적인 대상으로 경험에서 일찍이 학습하게 되지만 오개념을 갖기 쉬운 열개념을 선정하였다. 여러 문헌들을 통하여 학생들의 열개념을 조사하고 교과서 내에 열개념에 대한 설명이 적절한가를 파악하고 그 대안으로서 역사적인 전개의 필요성을 논의하려고 한다.

II. 과학사의 과학 오개념 교정 역할

학습심리의 이론적 배경이 되는 과학철학에 있어서, 과학 지식의 사회성을 강조하는 Kuhn과 Lakatos에 의하면 과학적 이론의 수용준거는 과학사회에 있으며 그 사회의 합의의 준거가 된다(조희형, 1985). Kuhn은 과학자 사회의 합의에 의한 공통의 견해를 '패러다임(paradigm)'이라 하였으며 그 패러다임에 기초하여 행하여지는 과학활동을 '정상과학(normal science)'이라고 하였고, Lakatos는 과학자들의 공통견해를 '이론적으로 견고한 핵(hard core)'이라 하고 이를

바탕으로 '연구 프로그램(research program)'이 행해진다고 하였다. 정상과학은 패러다임내에서 활발하게 이루어지며 패러다임은 정상과학이 해결해야 할 문제를 제공하고 해결 방안도 제시한다. 그러나 패러다임이 해결할 수 없는 이상(anomaly)현상이 도래하고 이상현상까지도 명확하게 해결할 수 있는 새로운 이론을 과학자 사회에서 인정하게 되면 새로운 패러다임에 의해 과학활동이 행해지며 이러한 과정을 과학혁명(scientific revolution)이라 한다. Kuhn의 과학혁명에 해당하는 것이 라카토스의 연구 프로그램의 변화라고 볼 수 있으며 연구 프로그램은 경쟁적인 연구 프로그램에 대해서 진보하거나 퇴행한다. 이러한 과학지식의 발달 패턴을 학습에도 적용할 수 있다(Posner et al, 1982).

구성주의 이론을 받아들인 Piaget와 Ausubel은 학습을 인지구조, 즉 개념체계의 변화로 정의하고 있다. Piaget는 지식의 발달은 새로운 개념의 도입시 학습자의 동화와 조절에 의한 인지구조의 변화로 보고 학습내용은 학습자의 인지구조에 적당히 새로운 것이어야 함을 시사하였다(Posner et al, 1982). Ausubel은 새로운 개념이 학습자의 인지구조에 유의미할 때 새로운 개념과 기존의 개념의 상호작용에 의해서 학습이 일어난다고 보고(Novak, 1977) 학습에 가장 중요한 요소는 학습자가 이미 알고 있는 것이라고 강조하였다(Sequire and Leite, 1991). 그들은 모두 수업 이전에 학습자는 이미 관련개념이 형성되어 있으며 이 개념이 과학학습에서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 새로운 학습경험이 쉽게 학습자에게 받아들여지지 않는다고 주장한다(김익균, 1991). 학생들은 보통 새로운 견해보다 현재 견해를 더 지속하려는 경향이 있다. 따라서 새로운 견해는 현재의 견해와 일치하거나 심지어는 뒷받침하기 위해서 잘못 해석되어지고, 받아들여질 때에도 현재의 견해와 분리되거나 혼돈을 낳기도 하며 자신의 세계관에 맞추어 형성된다(Osborne et al, 1986). 학습자가 파지하고 있는 그 선입관이 당대의 과학적 개념과 다른 오개념(misconception)일 때 개념의 변화 과정에 문제가 발생한다. 오개념은 학습자 개인마다 다르고 개념변화에 작용하여 새로운 오개념을 낳을 수 있기 때문이다. 따라서 학습 이전에 학습자의 오개념을 인식하고 학습자의 개념을 효과적으로 변화시켜 오개념을 제거하기 위한 학습전략이 필요하다.

정확히 같은 단계를 따르진 않아도 과학사에서 나타나는 개념 발달과 학생의 개념 발달 사이의 유사성에 대한 증거가 있다(Sequire and Leite, 1991). <표 1>은 힘과 운동에 관련된 학생들의 오개념과 과학사에서 나타났던 유사한 생각들을 대비시켜 정리한 것이다. 학생들 사이에서 발견되는 주요 오개념들이 이미 과학사에서 발견되기 때문에 교사들

은 그에 대한 지식으로부터 학생들의 오개념을 예상할 수 있게 된다. 이에 따라 교사는 학생들의 개념 변화를 고무하기 위해 '학생들의 개념'에서 '현재의 과학개념'으로 역사적 단계를 이용할 수 있다. 그런데 과학사에서 나타나는 개념들이 확립되거나 폐기되는 과정이 힘들게 이루어지듯이 학생들이 가지고 있는 일부 개념들도 견고하여 변하기 어렵다. <표 1>에서 처럼, 역학 학습에서 많은 학생들은 중세 과학자들이 주장했던 임페투스 이론(impetus theory)을 가지고 있다.

역사적으로 운동에 대한 이론이 중세 Aristotle적인 해석에서 새로운 운동 개념으로 바뀌기에는 과학자들의 '패러다임 전이(paradigm shift)'라는 혁명적인 과정이 필요했다. 학생들의 개념 변화도 대상개념과 학생에 따라 점진적이거나 급진적일 수 있으나(Schecker, 1992) 쉽게 성취되지는 않는다(Matthews, 1992). 과학개념 변화를 위해서는 학생들 스스로 자신의 현재 개념이 작용하는 데 불충분하다는 것을 인식하도록 해야 한다. 아무리 좋은 교수 방법이 주어지더라도 개념변화의 필요성을 인식하지 못하면 새로운 개념을 자신의 인지구조에 동화시키지 않는다.

역사는 학생들에게 대체 개념을 제공한다. 그 개념들이 선입관과 일치하는 개념이든 아니든 간에 그런 개념들은 학생들이 자신의 개념과 비교하고 이를 발전시키거나 확인하는 계기를 제공하므로 구성주의자들이 말하듯이 학생들의 적절한 개념구성에 도움을 줄 것이다(조희형, 1985). 그리고 과학사에서 나타나는 이론 변화에서 과학자들이 겪었던 개념 변화의 연구들은 학생들의 개념변화를 촉진하기 위하여 학습-지도에 유용한 자료로서 제공될 수 있다.

III. 연구 내용 및 결과

현행 교수-학습에 기본이 되는 것은 학생들과 교사들에게 제공되는 교과서이다. 수업은 교과서의 내용에서 벗어나기 어려운 것이 현실이므로 교과서는 교수-학습하려는 내용들을 일관성있게 제시하고 논리적으로 전개하여야 한다. 조사내용은 다음과 같다.

첫째, 문헌조사를 통하여 학생들은 열개념에 대해 어떠한 오인들을 가지고 있는지 알아보았다.

둘째, 각급 교과서에 1)열개념과 관련개념이 수록되어 있는 상황을 조사하고 2)열개념 자체에 대한 설명의 인용을 통하여 교과서 내에 열개념을 정의내리고 설명하는데 있어서 어떤 문제점이 있는지를 조사하였다.

<표 1> 힘과 관련된 학생들의 오개념과 과학사(권재술·김범기, 1993)

뉴턴의 생각	학생들의 생각	과학사의 생각
무거운 물체는 가벼운 물체와 마찬가지로 같은 속도로 떨어진다.	무거운 물체는 가벼운 물체보다 빨리 떨어지며 속도는 점점 증가한다.	속도는 떨어지는 동안에 증가한다.(Albert de Saxe, 13C)
진공에서 모든 물체는 같은 가속도로 떨어진다.	진공에서 물체는 떨어지지 않는다.	진공에서 자유낙하는 불가능하다.(Aristotle, B.C.4C)
중력은 거리에 관계된 힘이다. 물리적 접촉없이도 어떤 거리에서나 작용할 수 있다.	중력은 물리적인 접촉을 필요로 한다. 진공에서는 움직일 수가 없다.	중력은 힘이 전파될 때 물리적 접촉이 필요하다.(Averroes,13C)
물체는 외부의 알짜힘이 없다면 일정한 속도로 움직이던 물체는 일정한 속도로 계속 움직이려고 한다.	운동방향으로 힘이 작용한다.	운동은 기동력에 의해서 지속된다.(Buridan, 14C)
물체는 운동과 반대방향으로 힘이 작용하면 멈춘다.	물체는 모든 힘을 다 소비했을 때 멈춘다.	물체는 기동력이 없어질 때 멈춘다.(Buri -dan, 14C)
운동과 정지는 유사한 법칙으로 지배되는 현상이다.	운동과 정지는 다른 규칙이 지배하는 상태이다. 정지는 설명할 필요가 없는 자연스러운 상태이다.	물체가 강제운동을 할 때 공기는 일정한 속력을 갖게 한다.(Aristotle, B.C.4C)
일정한 힘은 일정한 가속도를 갖게 한다.	일정한 힘은 일정한 속력을 갖게 한다.	물체가 강제 운동을 할 때 공기는 일정한 속력을 갖게 한다. (Aristotle,B.C.4C)
힘은 가속도에 비례한다.	힘은 속도에 비례한다.	기동력은 속도에 비례한다.(Buridan, 14C)
속도가 느려지는 운동은 마이너스 가속도에 의해서 일어난다.	속도가 느려지는 운동은 운동방향 힘의 감소에 의해서 일어난다.	속도가 감소하는 이유는 기동력이 감소하기 때문이다. (Buridan, 14C)
힘은 물체 사이에 상호작용때문에 쓰인다.	물체는 힘을 소유하거나 획득한다.	물체는 기동력을 획득하거나 증가할 수 있다.(Buridan,14C)

현재까지의 학생들의 개념 조사와 교과서 내의 열개념 정의는 열의 본질 중 전도 현상에만 국한되어 있으므로 본 연구는 열의 대류나 복사에 대한 조사는 제외하였다.

1. 학생들의 열개념에 대한 국내의 연구 결과 조사

국내에서 수행된 연구 중 유재혁(1987)은 중고생을 대상으로 중학교 3학년에서 '열과 온도'와 관련된 단원을 학습하기 전에 어떤 선입견을 갖고 있으며 이 생각들이 학습이 진행되면서 어떻게 변하는가를 조사 분석한 연구에서, 학생들은 열을 물질적 실체로 이해하려는 경향이 강하며 이것은 학습이 진행되면서 어느 정도는 수정되나 여전히 물질적 실체로 생각하는 학생이 많음을 보였다. 학생들은 열을 분자의 운동 에너지가 전달되는 것으로 생각하기 힘들기 때문에 물질 개념으로 설명하려는 경향이 있으며 이것은 17세기에서 19세기 사이에 널리 받아들여졌던 열소의 개념을 학생들이 되풀이하여 받아들이고 있다고 하였다. 조봉제(1987)는 중·고등학교 학생들의 에너지에 대한 개념형성 조사에서

학생들이 열소설을 주장한 과학자들과 마찬가지로 냉기나 온기의 열소에 의해 열이 이동한다는 오개념을 갖고 있다고 하였다.

외국에서 수행된 연구 결과(Driver et al, 1985)를 보면, 아동들은 2~3세에 자신들의 경험을 설명하기 위해 '열(heat)'과 '뜨거움(hot)'이라는 용어를 사용한다고 한다. 8~9세가 되면, 열을 차거움에서 뜨거움으로 연속 변화하여 뜨거워지는 물체의 '뜨거운 상태(state of hotness)'로 설명하기 시작한다. 8~12세의 아동은 열을 생물체(living objects), 열의 근원(sources of heat), 물체의 뜨거움 정도, 상태 변화, 팽창 등과 같이 물체에 미치는 열의 영향 등과 관련시키려는 경향이 있다. 12~16세 아동들을 대상으로 행한 열은 무엇인가에 대한 질문에서, 16세 아동들 중 소수만이 열을 에너지로 설명하고 12-16세 아동들의 3분의 1과 그 이하 연령의 대부분 아동들이 열을 뜨거운 물체(hot body) 혹은 열근원(heat source)에서 방출된 것으로서 간주하고 있다. 14~16세 아동들 다수가 열에 대한 정규교육(formal instruction)을 받았음에도 불구하고 대부분의 학생들은 여전히 '열

(heat)을 수업에서 학습한 의미보다 일상에서 차갑고 뜨거운 물체를 접하면서 구성된 의미와 연관시키는 것처럼 보인다. Tiberghien의 연구결과를 보면, "방열기가 어떻게 방울 따뜻하게 하느냐"는 질문에 많은 학생들이 담배연기가 방안에 퍼지는 것과 같이 열도 방열기를 빠져나가 방울 데운다고 응답한다(서울대 물리학습 연구실, 1993). 이는 학생들이 열은 본래적으로 움직이려고 하는 성향이 있는 것으로 파악한다는 것을 나타내주고 있다.

학생들이 갖는 열개념의 일반적인 상황은 다음과 같다(서울대 물리학습연구실, 1993).

첫째, 열을 뜨거운물의 상태로 인식한다. 둘째, 열을 뜨거운 물체나 물질적 실체로 이해한다. 셋째, 뜨거운물의 대립개념으로 한기를 생각하고 쌍방적 흐름으로 본다. 넷째, 열전도에서 열의 상대적 강약(relative strength / weakness)이나 물체의 열에 대한 강도기준을 생각하는 경향이 있다. 다섯째, 열을 에너지 전달의 한 과정으로 보지 못하고 열량으로 파악한다. 여섯째, 열전도를 물질의 속성으로 파악한다. 일곱째, 많은 은유적 표현과 혼용되어 개념분화가 이루어지지 않고 있다. 여덟째, 열, 에너지, 그리고 온도와의 구분을 잘하지 못하고 있다. 아홉째, 문체상황을 기술할 때 변수(예: 온도, 열, 에너지)를 사용하지 않으며 전이(transition)나 상호작용에 대한 개념이 없다.

2. 교과서에 수록된 열개념 조사

현재 중·고등학교에서 사용하고 있는 중학교 과학1의 4종, 과학3의 3종, 고등학교 과학II상의 7종, 과학II하의 7종, 물리의 6종, 화학의 6종 교과서를 기초하여 조사하였다.

1) 각급 교과서에 수록된 열과 관련개념 조사

과학1에서는 대부분의 교과서들이 열과 열평형, 열의 이동현상을 설명하고 있으며 과학3에서는 열을 일로 변환할 수 있고 일에서 변환되어지는 에너지로 설명하고 있다. 과학II상은 중학교의 내용을 반복하여 더 자세하고 수학적으로 다루고 있으며 과학II하는 화학반응에서 열의 출입에 필요한 개념들을 정의하여 사용하고 있다. 물리에서는 이상의 열개념에서부터 열의 이동, 열기관, 물질의 상태에서 발생하는 열에 이르기까지 다양하고 포괄적으로 설명하고 있으며 화학에서는 화학반응에서 발생하는 다양한 종류의 열을 취급하고 있다. <표 2>는 과학교과서내에 수록된 열개념과 어떠한 관련 개념들이 다루어지고 있는지를 나타내었다.

<표 2>에서 나타난 것처럼 중학교 과학과목에서부터 고등학교 물리, 화학에 이르기까지 열과 관련개념은 상당히 많으며 열에 대한 내용이 단기학습으로 끝나는 것이 아니라 각급 학교 과학교육과정에서 장기적으로 심화, 확장되면서 다루어지고 있다는 것을 알 수 있다.

2) 과학 교과서내에 수록되어 있는 열개념 정의에 대한 내용 조사

과학 교과서내에 수록되어 있는 열개념 대한 내용을 역사적으로 대립되어 온 '열소설(Caloric theory)'과 '운동설(Kinetic theory)'로 나누어 살펴보고 열소설에서 운동설로의 발달과정에 어떻게 접근해 가고 있는지를 조사하였다. 조사는 전체 34종의 교과서 중 열개념 정의를 언급하지 않은 과학3의 1종, 과학II상의 1종, 과학II하의 7종, 물리의 5종, 화학의 6종 교과서, 즉 20종을 제외한 나머지 14종 교과서를 대상으로 하였다.

<표 2> 열과 관련개념 조사

	공통적으로 수록된 개념	그 외의 개념
과학 1	온도, 열량, 열평형, 비열, 전도, 복사, 열에너지	기온, 열팽창
과학 3	열, 온도, 열량, 열팽창, 열에너지, 열기관, 열의 일당량	
과학II상	열, 절대온도, 열량, 열평형, 비열, 열용량, 열의 일당량, 열에너지	열효율, 열팽창, 열기관, 열운동, 내부에너지, 전도, 대류, 복사, 증발열, 응축열, 용해열, 응고열, 마찰열, 열소
과학II하	발열반응, 흡열반응	연소열, 승화열, 열량계
물 리	열, 열량, 온도, 열평형, 비열, 열용량, 열의 일당량, 전도, 대류, 복사, 열운동, 열팽창, 열효율(열기관), 내부에너지, 용해열, 기화열(증발열)	액화열, 응고열, 승화열, 승온열(잠열)
화 학	흡열반응, 발열반응, 연소열, 용해열, 증화열, 용해열, 증발열, 승화열, 분해열	열용량, 절대온도, 열운동, 엔탈피

18세기는 많은 현상들에 대한 과학연구가 증가하였는데 그 당시 과학자들은 물질은 생성되지도 않고 파괴되지도 않는다는 물질보존의 원리를 바탕으로 열을 물질로서 간주하였다. 과학자들은 '열소'를 무게로 잴 수 없고 다른 물질속으로 투과하거나 녹아들어가는 성질을 가진 물질로서 정의하고, 온도가 다른 두 물체를 접촉시킬 때 '열소'는 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동함으로써 평형을 이루게 된다고 설명하였다. '열소설'은 열용량, 열평형, 잠열, 비열 등의 많은 열현상을 설명하였다. 이러한 열소설에 입각한 열과 관련개념의 내용 전개는 다음과 같다.

14종 교과서 중 9종 교과서 내의 열평형과 열의 이동 부분에서 더운 물로부터 찬 물로 열이 이동한다는 것과 같은 내용이 '열소설'과 일맥상통하게 설명되어지고 있으며 이 내용은 과학1에서부터 고등학교 물리 교과서에 이르기까지 계속 같은 설명으로 되어 있다. 인용하면,

...열은 ...온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다(과학1 A, 과학II상 C,F) ...

...더운 물로부터 찬 물로 열이 이동함에 따라 열을 잃은 더운 물은 차가워지고 열을 얻은 찬 물은 더워져서(과학1 B, C)...

...온도가 높은 물체는 온도가 낮은 물체보다 열을 많이 가지고 있다(과학1 D)...

...더운 물체와 찬 물체가 서로 닿아 열이 이동하게 될 때(과학II상 D)...

...평형상태가 될 때까지 더운 물체로부터 차가운 물체로 무엇인가 이동하여(과학II상 B)...

...더운 물체는 열을 방출하고 찬 물체는 열을 흡수(과학II상 A)...

'열소설'과 달리, 현재의 열개념에 토대가 되고 있는 '운동설'은 열은 물질이 아니라 가열된 물체의 운동일 뿐이라고 주장한다. 열현상을 '운동설'에 입각하여 설명하고 있는 5종의 교과서 내용을 인용하면,

...일에 의하여 열이 발생하는 것으로 보아 운동 에너지가 열로 전환(과학3 A)...

...두 물체가 마찰하여 열이 발생하였다는 것은 마찰로 인하여 금속막대를 이루는 분자가 운동하는 속력이 빨라짐으로써 분자의 운동에너지가 증가.....탁구공의 공기는 더운 물로부터 열에너지를 받아 분자의 운동이 활발해지기 때문에(과학3 C)...

...접촉면을 통해서 고온 물체의 활발한 열운동의 에너지가 저온 물체로 옮겨가서 전체가 균일한 열운동의 상태로...이 때, 두 물체 사이에 열운동에 의한

에너지의 이동이 끝나서 온도가 같아진 상태를 열평형형이라고 한다(과학II상 E)...

...열을 받은 부분의 온도가 높아지고 분자 운동이 활발해져 부피가 팽창하므로 밀도가 작아지게 된다(과학II상 B)...

...원자나 분자의 이러한 운동을 열운동이라고 하며 온도가 높아질수록 더욱 활발해진다(과학II상 A)...

같은 열현상을 설명할 때 과학1과 일부 과학II상에서는 열소설에, 과학3과 일부 과학II상에서는 운동설에 입각하여 설명하고 있다. 이처럼 각각의 교과서는 두 설명방식 중 하나만을 선택하여 설명하고 있으며 과학II상의 7종 중 4종의 교과서와 물리의 1종 교과서에서만 열개념이 열소설에서 운동설로 변화하였음을 짧게 언급하고 있다. 인용하면,

..옛날 사람들은 열을 열소라는 가벼운 물질이라고 생각하였다. 그 후 미국의 럼퍼드 등에 의하여 마찰력에 거슬러서 일을 하면 열이 발생한다는 것을 알았으며 열은 물질의 일종이 아니라 에너지의 일종이라고(과학II상 A)...

...그 후 물질변화가 생기지 않는다는 사실로부터 열은 물질이 아니라...18세기의 물리학이나 화학은 열의 본성을 물질의 일종인 열소라고 하였다. 그러나 산업혁명으로 능률적인 기계의 발명이 요구되면서 열과 일의 관계에 대한 연구가 거듭되어 열과 일은 같은 것이며 열은 에너지의 일종이라는 이론이 지배적이었다(과학II상 B)...

...19세기 초까지는 이러한 현상에 대하여 물체 내부에 열소라고 부르는 물질의 요소가 존재한다고 가정하여 설명하였다..이러한 열소설은 열전도와 같은 현상을 설명할 수 있었으나 마찰에 의한 열이 물질일 수 없다는 결정적인 사실을 입증한 사람은(과학II상 D)...

...열을 매우 가벼운 물질의 일종으로 생각하였던 때도 있었다. 그러나 물체의 마찰에 의해서 열이 발생하는 것을 알게 된 다음부터는 열이 물질이 아니고 에너지의 일종이라고(과학II상 E)...

...16세기까지는 열과 온도의 구별이 분명치 않았으나 차츰 물체의 온도를 높이는 원인을 열이라고 생각하게 되었고, 또한 열은 질량이 없는 물질로 생각하여 그것을 열소라고 부르게 되었다. 1978년 럼퍼드는...포신에 구멍을 뚫을 때 열이 발생하는 것은 천공기의 운동 때문이며 열은 운동의 한 형태라고 결론을 내렸다(물리 A)...

전체적으로 열 자체에 대한 논의는 교과서내에 열에 대한 응용개념과 수식을 다루는 것에 비해 분량면에서 매우 적은 부분을 차지하고 있으며 그 내용은 '열소설'과 '운동설'에 해당하는 내용들이 두 이론의 발달 과정을 무시한 채 단편적으로 언급되어 있다. 또한 '열소설'을 언급하기는 하나, 당시에 열을 물질로 간주했다는 결론적인 이야기일 뿐이지 '열소설'이 열현상들을 어떻게 설명했는지에 대한 논의나 '열소설'이 '운동설'로 변천된 과정은 다루고 있지 않다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 획일적이고 단편적인 지식 중심 체계로 되어 있는 과학교육을 개선하고 과학교육의 효과와 질을 향상시키기 위한 한 방법으로서 과학사의 도입을 제안하고, 구체적인 대상으로 열개념을 선정하여 이에 대한 교과서의 내용 전개가 적절한 개념학습을 위해 바람직한가를 조사, 분석하여 그 개선 방안으로 열개념의 역사적 전개 필요함을 제안하였다.

과학사는 과학을 완성된 개별학문으로서가 아니라 역사적으로 사회와의 관계속에서 과학자들의 노력으로 완성되어가는 과정들을 담고 있으므로 과학의 본성과 인간적인 측면을 강조하여 흥미를 유발할 수 있고 과거를 통해 현재 과학의 위치를 숙고하는 좋은 기회를 제공한다. 그 외에도 과학개념의 주요 발달단계를 제공하므로 학생들의 오개념을 예측하고 이를 변화시키는 중요한 자료로 사용되므로 과학 교사 교육에 필수적이라고 할 수 있다.

이상의 과학사가 줄 수 있는 여러 가지 장점들 중에서 역사적으로 개념발달을 거쳐 온 개념학습을 위해 과학사를 도입할 것을 주장하며 역사적 고찰을 통해 학생들이 열개념에 대한 적절한 의미를 갖게 하도록 하기 위한 것이다. 그러나 '열이란 무엇인가'에 대한 역사적 전개를 하기 위해서는 주된 흐름을 역사적 사건으로 할 것인가, 시간의 흐름에 따라 전개할 것인가, 과학자 위주로 전개할 것인가 등의 문제를 풀어야 한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 역사를 도입하여 학생들에게 확실하게 제시할 수 있는 목표가 무엇인지를 결정하여야 한다. 과학교과서 내에 수록되어 있는 열개념을 조사한 결과에 따르면, 열개념은 전반적인 열현상과 에너지 변환의 학습으로 심화되고 있어 중요한 개념으로 다루어지고 있지만 교과서 내의 내용을 살펴보면 대부분이 과학사적으로 오개념이었던 '열소설'과 현재 확립된 이론인 '운동설'을 편의에 따라 차용하여 설명하고 있음을 알 수 있다. 또한 학생들의 열개념에 대한 연구들에서 공통적으로 발견되는

것은 학생들이 학습 후에도 여전히 열을 물질적 입자로 생각하려는 경향이 크다는 것이다. 조사 내용으로 미루어 보아 현재의 교과서 내의 열개념 전개는 학생들의 오개념을 제거하고 적절한 개념을 형성하는 데에 도움이 되지 못한다. 즉 개념형성을 위한 교과서 내용의 연계성이 부족하다고 볼 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 현재의 교과서에 열개념을 역사적으로 전개하여 어떻게 열소설에서 운동설로 변화되어 왔으며 열소설이 그 당시 과학자들로 하여금 지지받았던 이유를 제시하여 학생들이 자신의 개념에 대하여 사고하는 계기를 마련해야 할 것이다. 따라서 본 연구자가 제시하는 열개념의 역사적 전개 순서는 다음과 같다.

첫째, 열개념의 두 가지 이론을 제시한다.

둘째, 각각의 이론에 따른 열과 관련개념을 역사적 실례를 통하여 설명한다.

셋째, '열소설'에서 '운동설'로 대체되는 과정을 소개한다.

논문을 마무리하면서 몇가지 제언을 하고자 한다.

첫째, 열개념을 포함하여 교과서내에 역사적으로 변화발달을 거쳐 온 과학개념들의 역사적인 전개가 필요하다.

둘째, 과학개념의 역사적 발달 과정을 통하여 학생들의 개념변화를 촉진할 수 있는 다양한 교수-학습 방법이 개발되어야 한다.

셋째, 예비교사 교육과 현직교사 재교육에서 과학사에 대한 교육이 이루어져야 한다.

넷째, 보조 자료로서 부분적으로 교수-학습에 이용될 수 있는 교육용 과학사 자료집이 마련되어야 한다.

참 고 문 헌

- 권재술·김범기(1993). 과학 오개념 편람-역학편-. 한국교원대학교 물리교육연구실.
- 김명자(1982). 과학사와 과학교육. 과학사학회지, 제4권 제1호, 164-165.
- 김익균(1991). 대립개념의 증거적 비판 논의와 반성적 사고를 통한 대학생의 힘과 가속도 개념변화. 서울대학교 박사학위논문.
- 박승재·조희형(1994). 학습론과 과학교육. 서울대학교 물리학습연구실(1993). 학생의 물리개념. 물리교육 연구 자료.
- 송진용(1993). 과학교과의 새 교과서 구성 방향 및 체계, 1992년도 한국과학교육학회 동계 세미나 및 학술논문 발표회, 37-51.

- 송진용·박승재·장경애(1992). 초중고 남녀 학생의 과학수업과 과학자에 대한 태도. 한국과학교육학회지, 제13권 제3호, 109-117.
- 양승훈(1992). 과학사 과학철학 과학교육. 한국물리학회 물리교육분과 하계 발표회.
- 유재혁(1987). 열과 온도에 대해 중등학생들이 지닌 개념 조사. 서울대학교 석사학위논문.
- 이규석(1993). 고등학교 공통과학의 구성 및 교과서 집필 방향. 고등학교 공통과학 구성 및 집필방향에 관한 세미나, 3-20.
- 조봉제(1987). 중학생들의 에너지에 대한 개념 형성 조사. 서울대학교 석사학위논문.
- 조희형(1985). 과학개념의 선입관 및 과학교육 및 과학교사 교육과의 관계. 과학교육논총, 제10권 제1호, 121-130.
- 한국교육개발원(1992). 제6차 교육과정 각론 개정 연구 초·중·고등학교. 연구보고 RR92-9.
- 현종오(1991). 과학교육의 문제점과 극복의 전망(I). 과학시대, 창간호, 174-197.
- Brush, S.G.(1989). History of Science and Science Education. *Interchange*, 20(2), 60-70.
- Bybee, R.W.(1991). Integrating the History and Nature of Science and Social Studies Curriculum. *Science Education*, 75(1), 143-155.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A.(1985). Children's Ideas in Science. Philadelphia: Open University Press.
- Hendrick, R.M.(1992). The Role of History in Teaching Science. *Science & Education*, 1, 145-162.
- Kuhn, T.S.(1970). The Structure of Scientific Revolutions. Second Edition. Chicago: The University of Chicago.
- Matthews, M.R.(1992). History, Philosophy, and Science Teaching: The Present Rapprochement. *Science & Education*, 1, 11-47.
- Novak, J.D.(1977). A theory of Education. New York: Cornell University Press.
- Osborne, R.J., Bell, B.F., & Gilbert, J.K.(1986). Science Teaching and Children's View of the World. In Brown, J. et al. *Science in Schools*. Philadelphia: Open University Press.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change.. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Russell, T.L.(1981). What History of Science, How much, and Why? *Science Education*, 65(1), 51-64.
- Schecker, H.P.(1992). The Paradigmatic Change in Mechanics : Implication of Historical Processes for Physical Education. *Science & Education*, 1, 71-76.
- Sequire, M & Leite, L.(1991). Alternative Conceptions and History of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*, 75(1), 45-56.
- Snow, C.P.(1959). The Two Cultures, Science in Schools, Philadelphia : Open University Press.

ABSTRACT

**A Study on Introducing the Science of History
to Correct Misconception**

Sun-Kyung Lee · Uh-Hee Kim
(Dankook University)

The purpose of this study was to suggest that the history of science be introduced to students in the secondary school to help understand the developmental process of the scientific concepts, especially the concept 'heat'.

Reviewing the national and international researches related to students' concept 'heat' revealed that many students tend to grasp the wrong concept of heat based on the caloric theory. Studies on definitions and explanations of the concept 'heat' and related concepts in secondary school science textbooks indicated that the way 'heat' was described could not help students to correct their misconceptions.

In conclusion we need to include the historical and developmental process of scientific concepts such as heat in textbooks.