

## 물리변화와 화학변화에 대한 중등학교 과학 교과서의 개념 분석

백성혜\* · 김선경†  
한국교원대학교 화학교육과  
†광주전산고등학교  
(2002. 9. 17 접수)

### An Analysis of Concepts related to Physical and Chemical Change on Middle and High School Science Textbooks

Seoung-Hey Paik\* and Sun-Kyoung Kim†

Department of Chemistry Education, Korean National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

†Kwanju Computer Technology High School, Kwanju 500-803, Korea

(Received September 17, 2002)

**요 약.** 이 연구에서는 물리변화와 화학변화에 대한 중·고등학교 과학교사들의 인식을 조사한 선행연구 결과를 바탕으로 과학교과서에서는 두 변화에 대해 어떻게 정의하고 있는지 살펴보았다. 이 연구를 위해 중학교 2학년 과학 교과서부터 고등학교 화학교과서에 이르기까지 총 44종의 교과서를 분석하였다. 과학교과서 분석 결과, 물리변화와 화학변화에 대한 개념이 제시되어 있지 않거나, 제시되어 있다 할지라도 성질유형의 설명에 치우쳐 있었다. 또한 물리변화와 화학변화가 관련되어 설명이 이루어지지 않았고, 제시된 물리변화의 예들이 화학변화의 예들과 혼동되었다. 이러한 서술내용은 물리변화와 화학변화를 배우는 학생들과 가르치는 과학교사들에게 혼란을 유발시킬 가능성이 있다. 따라서 물리변화와 화학변화에 대한 과학교과서의 진술방식을 명확하고 일관성 있는 설명체제로 재구성할 필요가 있다.

**주제어:** 과학교과서, 물리변화 개념, 화학변화 개념, 중학교, 고등학교

**ABSTRACT.** This study examined the types of explanations related to physical change and chemical change in the science textbooks of middle and high school based on the prior study of science teachers' understanding. For this research, the researchers analyzed 44 textbooks of middle school science and high school chemistry. As a result, there were no explanation or property type explanation represented in most of the textbooks related to physical and chemical change concepts. Also, there are few relationship represented between physical change and chemical change, and the examples related to physical change and chemical change were confused. These representations of textbooks can give rise to confusion of understanding of teachers and learners. So, it needs to re-design the explanation types correctly and constantly in science textbooks related to physical change and chemical change.

**Keywords:** Science Textbook, Concept of Physical Change, Concept of Chemical Change, Middle School, High School

### 서 론

연구의 목적 및 필요성. 대부분 화학과 관련된 교과서의 서두에는 먼저 화학에 대한 정의가 소개되어 있다. 제시된 화학의 정의를 한가지 살펴보면 화학은 물

질의 성질과 물질의 변화를 다루는 학문이며, 물질의 구조를 연구하는 학문이라는 것이다. 다시 말해, 물질에는 어떤 종류들이 있고, 어떻게 구성되어 있으며, 또 어떤 특성을 지니고, 어떤 변화를 일으키는지에 대해 그 원리를 이해하고 탐구하는 학문이 바로 화학이라고

하겠다.

모든 것은 물질로 구성되어 있으며, 이러한 물질의 변화에 대해 연구하는 학문이 화학인 만큼 자연세계를 이해하는 데에 화학의 기초개념인 화학변화를 이해하는 것은 중요한 일이 아닐 수 없다. 또한, 학생들의 화학개념 이해의 발달측면에서 Krajcik는 학생들이 화학을 이해하려면 물리변화나 화학변화와 같은 기본적인 화학개념을 통합하고 관련지어야 한다고 지적했다.<sup>1</sup>

학생들의 화학에 대한 오개념을 조사한 Nakhleh<sup>2</sup>는 그의 연구에서 많은 학생들이 화학을 어려워하는 이유 중의 하나가 바로 기본적인 화학개념들을 올바르게 이해하지 못하기 때문이라고 말한다. 이는 화학에 있어서 물리변화와 화학변화 같은 기초개념의 정확한 개념정립이 화학을 이해하기 위한 필수적인 요소임을 강조하고 있는 것이다.

Stavridou와 Solomonidou<sup>3</sup>는 그들의 연구에서 이러한 화학반응의 기본적인 이해를 위해 물리변화와 화학변화사이의 구분은 반드시 필요하며, 비록 이 두 변화 중 어떠한 변화로도 분명하게 구분할 수 없는 현상이 있다 할지라도 물리변화와 화학변화사이의 구분은 중등교육에서 화학을 배우는 학생들에게 매우 중요하다고 강조한다. 그러나, 많은 선행연구들<sup>4,5</sup>에서 학생들이 이 두 변화를 구분함에 있어 상당히 혼란스러워하고 있으며, 물리변화를 화학변화로 오인하거나 화학변화를 물리변화로 잘못 알고 있는 경향이 있다는 연구 결과가 보고되어 있다. 이러한 오인은 물질의 변화가 입자적인 관점에서 접근해야함에도 불구하고 많은 학생들이 입자적 관점으로 생각하지 못하고 현상학적으로 치우쳐서 생각하기 때문으로 풀이된다. 그러므로 물질의 변화를 확실히 구분하기 위해서는 입자적 관점에서의 기술이 반드시 필요하다.<sup>2,3,6,8-11,13-23</sup>

지금까지 대부분의 연구는 물리변화와 화학변화에 대해 학생들이 가지고 있는 오개념 조사에 치중해있거나, 교수학습 순서를 재조직하여 입자적인 관점으로 먼저 학습한 후, 그 학습의 효과를 알아보는 연구에 치우쳐 있었다. 그러나, 실제적으로 물리변화와 화학변화에 대해 오개념을 갖게 하는 근본적인 원인에 대한 연구는 그리 많지 않다.

많은 오개념 연구에서 알 수 있듯이 화학변화에 대해 잘못 이해하는 대부분의 이유는 학생들이 입자적인 관점을 사용하지 못하거나 이해하지 못하기 때문인데, 이렇게 학생들이 입자적인 관점을 사용하거나 이해하지

못하는 근본적인 원인 중의 하나로 학생들을 지도하는 과학교사들의 잘못된 인식과 과학교과서의 기술상의 오류도 배제할 수 없을 것이다.

Ahtee와 Varjola<sup>8</sup>는 그들의 연구에서 중학교 학생들뿐만 아니라 고등학생 심지어 대학생들까지도 물리변화와 화학변화를 잘 구분하지 못하거나 이해하지 못하는 것으로 보고했다. 이러한 경향은 Abraham, Williamson과 Westbrook<sup>9</sup>의 연구에서도 찾아 볼 수 있는데, 이러한 연구 결과가 시사하는 점은 바로 학생들이 가지는 오개념 자체에 대한 연구뿐만 아니라, 학생들이 물리변화와 화학변화를 잘 이해하지 못하거나 구분하지 못하는 근본적인 이유에 대한 연구가 필요하다는 것이다.

강대훈<sup>10</sup>은 교사의 인식이 과학교과의 학습에 가장 큰 영향을 미친다는 연구 결과를 보고했으며, 백성혜<sup>25</sup>는 학생들이 과학을 어려워하는 이유를 가르치는 교사와 교과서의 내용체계가 정확한 개념정립을 하지 못했기 때문으로 볼 수 있다고 밝혔다. 이러한 선행연구 결과에 따라 물리변화와 화학변화에 대한 중·고등학교 과학교사들의 인식을 조사한 김선경<sup>26</sup>의 연구 결과, 물리변화와 화학변화를 구분함에 있어서 많은 과학교사들이 혼란스러워 하고 있으며, 두 변화와 관련된 개념들에 대해 잘못된 인식을 가지고 있는 것으로 드러났다. 또한 과학교사들이 갖는 물리변화와 화학변화에 대한 개념의 근거로 대부분 가르치고 있는 과학교과서를 들고 있어 과학교사들이 가지는 잘못된 인식과 혼란성의 원인을 어느 정도는 중·고등학교 과학교과서의 잘못된 서술내용에서 찾아 볼 수 있을 것이라고 밝혔다. 이에 이 연구에서는 물리변화와 화학변화에 대한 과학교사들의 인식을 조사한 김선경<sup>26</sup>의 연구 결과를 바탕으로 과학교사들의 잘못된 인식과 혼란성에 영향을 미칠 수 있는 중·고등학교 과학교과서 분석을 통해 궁극적으로는 물리변화와 화학변화에 대한 학생들의 올바른 개념정립에 도움을 주고자 한다.

## 연구 방법 및 절차

이 연구는 김선경<sup>26</sup>의 물리변화와 화학변화에 대한 과학교사 80명의 인식 조사 결과를 바탕으로 과학교과서의 개념을 분석하였다. 개념의 구분기준 유형을 간단히 소개하면 다음과 같다.

**구분기준 유형.** 선행연구 고찰을 통해 물리변화와 화학변화를 구분한 방식을 네 가지로 분류했으며, 여기

서 분류한 유형은 물리변화와 화학변화에 대한 과학적 개념을 정의해 놓은 것이 아니라 학생들이 쉽게 가질 수 있는 물리변화와 화학변화에 대한 오개념들도 포함된다. 이 연구에서는 결과를 중시하는 화학변화와 과정을 중시하는 화학반응을 같은 개념으로 보았으며, 선행 연구 고찰을 통해 분류한 구분기준 유형들은 다음과 같다.

① 성질유형: 물질의 본질이나 성질, 속성과 관련된 변화. 어떤 물질이 반응하여 물질의 성질은 변화하지 않고 그 상태나 모양만 변화하면 물리변화. 그 물질과는 전혀 다른 성질의 새로운 물질로 변화하면 화학변화로 구분.<sup>3, 5, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 27</sup>

② 가역 비가역유형: 반응의 가역성여부와 관련된 변화. 반응이 가역적이면 물리변화, 비가역적이면 화학변화로 구분.<sup>12, 19</sup>

③ 화학결합유형: 반응 후 원자(원소)의 재배열(새로운 화학 결합의 형성)여부와 관련된 변화.

반응 후 원자(원소)의 재배열(새로운 화학결합의 형성)이 일어나지 않았으면 물리변화, 일어났으면 화학변화로 구분.<sup>3, 6, 8, 10, 14, 16, 17, 19, 29, 22, 27</sup>

④ 열 출입 유형: 열의 출입과 관련된 변화. 열을 많이 흡수하거나 방출하면 화학변화로 구분.<sup>26</sup>

과학교과서 내용 분석. 물리변화와 화학변화의 예들은 그 정의가 제시되어 있지는 않지만 초등학교 자연교과서에서부터 광범위하게 사용되고 있다. 이 연구에서는 제 6차 교육과정에 따라 개발되어 현재 사용되고 있는 중학교 2학년 과학교과서 8종(MS1~MS8)<sup>29, 36</sup>과 고등학교 공통과학(IS1~IS12)<sup>37, 48</sup>, 화학 I(HCI 1~HCI 12)<sup>49, 60</sup>, 화학 II(HCII 1~HCII 12)<sup>61, 72</sup> 각 12종을 분석대상으로 하였다.

분석에 사용된 과학교과서는 편의상 저자의 가나다

순을 기준으로 기호화하였으며, 분석한 과학교과서의 단원들은 화학변화와 관련된 단원들로 한정하였다.

### 연구 결과 및 논의

과학교과서의 물리변화와 화학변화에 대한 구분기준 유형 분석. 과학교과서에서 물리변화와 화학변화에 대해 어떻게 정의하고 있는가를 알아보기 위해 중학교 2학년 과학교과서 8종, 고등학교 공통과학, 화학 I, 화학 II 교과서 각 12종으로 총 44종의 교과서를 분석하였다. 중학교 2학년 과학교과서와 고등학교 공통과학, 화학 I, II교과서에 제시된 물리변화와 화학변화의 정의를 구분기준 유형에 따라 분류한 분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와 같이 44종의 과학교과서를 분석한 결과 설명이 없는 경우가 대부분이거나 물리변화와 화학변화의 정의가 제시되어 있는 경우도 성질유형으로 정의한 교과서가 대부분을 차지하고 있었다. 특히 물리변화는 화학변화와 달리 화학결합의 유형으로 설명한 교과서가 하나도 없었다. 물리변화와 화학변화는 같은 구분 기준을 가지고 설명하는 것이 바람직하다고 판단되는데, 물리변화의 구분 기준과 화학변화의 구분 기준을 다르게 제시한 교과서도 많았다.

그리고 가역 비가역 유형이나 열출입 유형으로 설명하는 교과서는 없는 것으로 나타났다. 따라서 선행연구들과 교과서들의 생각으로부터 분류된 유형 중 이 두 유형은 과학 교과서 이외에서 그 원인을 찾아야 할 것이다.

화학변화의 개념이 처음으로 소개되는 중학교 2학년에 보편적으로 제시된 화학변화의 정의는 다음과 같다.

메탄올이 연소하여 생성된 물과 이산화탄소는 메탄올처럼 타지도 않으며, 끓는점이나 밀도가 다르다. 마그네슘이 연소하여 생성된 산화마그네슘은 마그네슘과

Table 1. Classification of physical and chemical change concepts in science textbooks

Classification	No explanation	Property	Chemical bond
Physical change	MS1, MS2, MS4, MS5, MS7, MS8	MS3, MS6	-
	IS1~IS12	-	-
	HCI 2~HCI 12	HCI 1	-
	HCII 2~HCII 5, HCII 8~HCII 12	HCII 1, HCII 6, HCII 7	-
Chemical change	-	MS1~MS8	-
	IS1~IS4, IS8~IS12	IS5, IS7	IS6
	HCI 2, HCI 3, HCI 5, HCI 7~HCI 11	HCI 1, HCI 6, HCI 12	HCI 4
	HCII 2, HCII 5, HCII 11, HCII 12	HCII 1, HCII 4, HCII 6~HCII 8	HCII 3, HCII 8~HCII 10

달리 불을 붙어도 타지 않으며 녹는점과 밀도도 다르다. 이와 같이 어떤 물질이 그것과는 성질이 전혀 다른 새로운 물질로 변하는 현상을 화학변화라고 한다.<sup>36</sup>

처음 화학변화의 개념이 다루어지고 있는 중학교 2학년 교과서에서는 예로 든 내용처럼 모든 교과서가 성질유형으로 정의해 두었으나 원자와 분자를 다룬 다음 단원에서는 8종 중 4종의 교과서가 본문 중에 화학결합유형을 적용하여 화학변화를 설명하고 있었다. 다음은 그 중 하나의 예를 제시한 것이다.

물질이 화학반응에 의하여 다른 물질로 변화하는 경우에 원자들은 다른 원자로 바뀌거나 없어지지 않는다. 또한 원자들의 수나 질량도 변하지 않으며, 다만 재배열되어 새로운 화합물을 만드는 것이다.<sup>37</sup>

이렇게 앞에서 정의된 화학변화의 구분유형과는 다르게 다른 단원에서는 다른 유형으로 설명한 경우를 중학교 2학년 과학교과서에서 뿐만 아니라 고등학교 공통과학과 화학 1·II 교과서에서도 찾아 볼 수 있었다.

그러나, 이처럼 물리변화와 화학변화를 성질유형으로 정의해두고 다른 단원에서는 화학결합유형으로 물리변화와 화학변화를 설명하고 있는 경우에 두 설명을 연결 지을 수 있는 어떠한 설명도 제시되어 있지 않았다.

이처럼 물리변화와 화학변화를 구분하는 기준들 간에 연계성이 없을 경우, 이를 가르치는 교사들과 배우는 학생들이 물리변화와 화학변화를 구분함에 있어 혼란을 유발할 가능성이 있다. 선행연구<sup>38</sup>에서도 과학교사들이 물리변화와 화학변화를 구분하는 기준의 혼란을 느끼고 있음이 지적되었다.

**성질유형과 관련된 과학교과서 분석 결과.** Gagné는 구체적 개념의 학습을 위해서 사례 뿐 아니라 비사례를 제시하는 것이 중요하다고 지적하였다.<sup>39</sup> 따라서 학생들이 물리변화나 화학변화를 이해하려면 그에 대한 구체적인 사례와 함께 비사례도 알아야 한다. 그러나 분석한 44종의 교과서 중 단 6종만이 비사례의 내용을 다루고 있었다. 중학교 2학년 교과서에 제시된 전형적인 물리변화의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

얼음이 불로 변하고 불이 수증기로 변하거나 소금이 불에 녹아 소금물이 될 때에는 그 형태만 변할 뿐이고 성질은 변하지 않는다. 이러한 변화를 물리변화라고 한다.<sup>40</sup>

물리변화를 제시할 때 대부분 사용하는 예는 상태변화나 용해현상이다. 그러나, 학생들이 중학교 1학년에서 배우는 물질의 고유한 성질은 끓는점, 어는점, 용해도, 밀도 등이다. 물론 순물질만의 이러한 성질이 고유한 것이지만, 혼합물에서는 이러한 성질이 고유하다고 말할 수 없으나, 교과서에서는 물질을 순물질과 혼합물로 구분하여 순물질만이 고유한 성질을 가진다는 점을 명확하게 언급하지 않고 있다.

따라서 성질의 변화로 물리변화와 화학변화를 정의하게 된다면 소금을 불에 녹여 만든 소금불이나 설탕을 불에 녹여 만든 설탕물의 경우도 처음의 물질과는 다른 끓는점이나 어는점, 밀도 값을 나타내기 때문에 화학변화로 구분될 수 있을 것이다. 이러한 점은 교사들을 대상으로 성질의 변화로 물리변화와 화학변화를 구분하게 하였을 때 나타났던 선행연구<sup>36</sup>의 혼란에 대한 원인으로 고려해 볼 수 있을 것이다. 즉 선행연구에서는 단순히 소금이 불에 녹는 변화를 붙였을 때에는 68명의 과학 교사가 물리변화라고 답하였으나, 이때 전기가 통하는 성질이 변화한다는 점을 강조하자, 그 중에 28명이 이 변화를 화학변화라고 바꾸어 응답한 것으로 나타났다. 따라서 과학 교사들조차 소금이 불에 녹아 소금불이 되면 혼합물이므로 순물질의 고유한 성질 변화로 생각하면 안된다는 사실을 인식하지 못함을 알 수 있다.

Fig. 1<sup>36</sup>는 중학교 2학년 교과서에서 화학변화의 개념을 도입하기 위해 사용한 강철 솥 연소실험 과정을 나타낸다.

강철 솥의 연소실험 과정에서는 새로운 성질을 가진 물질의 생성을 확인하기 위해 연소 전의 강철 솥과 연소 후 생성된 산화철에 전류를 흐르게 한다. 즉, 연소 전의 강철 솥은 전류가 흐르지만, 연소 후 생성된 산화

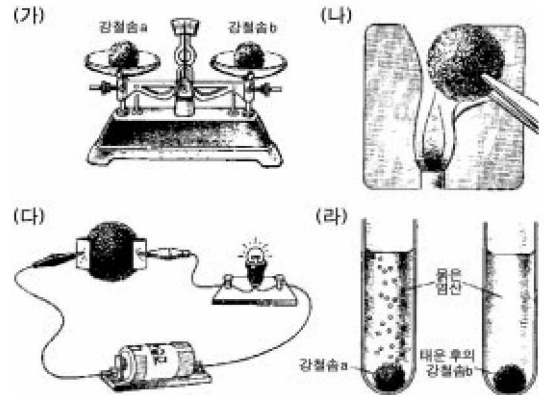


Fig. 1. A ball of iron combustion experiment process.

Table 2. Classification of physical and chemical property conceptions of science teachers<sup>(9)</sup>

	b.p.& m.p.	density	conduction	solubility	acid. base	taste	color	smell	magnet	ox-reduction
Physical property	61(76)	69(86)	57(71)	44(55)	3(4)	37(46)	58(72)	42(53)	63(79)	0(0)
Chemical property	17(21)	8(10)	19(24)	32(40)	75(94)	38(48)	19(24)	34(43)	13(16)	76(95)
The others	2(3)	3(4)	4(5)	4(5)	2(2)	5(6)	3(4)	4(4)	4(5)	4(5)

찰은 전류가 흐르지 않기 때문에 새로운 성질을 가진 물질임을 확인하게 하여 이렇게 성질이 다른 새로운 물질이 만들어지는 것이 화학변화라는 것이다.

이러한 원리로 본다면, 이온 결합 물질이 물에 용해되면 전기전도도의 성질이 변화하므로 소금이 물에 녹는 변화도 화학변화라고 할 수 있다. 이에 대한 반론으로 전기가 통하는 성질 등은 용해도나 끓는점과 마찬가지로 물리적 성질이고, 성질의 변화로 화학변화가 일어났다고 말할 때에는 화학적 성질을 의미한다고 생각할 수 있다. 마치 '물질의 성질이 수분질의 성질'을 의미하는 것이라고 주장하는 것처럼, '성질의 변화는 화학적 성질의 변화'라고 주장하는 것이다.

그러나 이는 물리변화와 화학변화의 정의가 가지고 있는 문제점을 물리적 성질과 화학적 성질로 넘겨버린 것에 지나지 않는다. 왜냐하면 물리적 성질과 화학적 성질의 구분 역시 물리적 변화와 화학적 변화의 구분만큼 모호하기 때문이다. 80명의 과학교사들을 대상으로 조사한 연구<sup>26)</sup>에 따르면, 각 성질을 물리적 성질과 화학적 성질로 나누는 데 일관성이 나타나지 않았다 (Table 2).

특히 맛, 냄새와 같은 건보기 성질이 물리적 성질에 속한다고 생각하는 교사의 수와 화학적 성질에 속한다고 생각하는 교사의 수는 거의 비슷하였다. 그리고 전도도나 끓는점, 녹는점, 색 등을 화학적 성질이라고 생각하는 교사는 20%를 넘었다. 이러한 결과는 많은 교사들이 물리적 성질과 화학적 성질을 명확하게 구분하는데 어려움을 느낀다는 점을 보여준다. 따라서 물리적 성질과 화학적 성질로 물리변화와 화학변화를 설명하는 것은 많은 혼란을 유발할 가능성이 있다.

그럼에도 불구하고 이러한 성질 유형으로 물리변화와 화학변화를 정의한 교과서에서는 두 성질에 대한 설명 없이 성질의 변화로 물리변화와 화학변화를 정의하고 있었다. 이러한 성질에 대한 정의는 분석한 44종 중 화학 I 교과서에서 1종(HCI 6), 화학 II 교과서에서 2종(HCII 1, HCII 7)으로 총 3종에만 소개되어 있었으나,

이 또한 물리변화의 정의와 화학변화의 정의가 같은 기준으로 제시되지 않았다.

**가역 비가역유형과 관련된 과학교과서 분석 결과.** 가역 비가역유형은 가역반응이던 물리변화로, 비가역반응이던 화학변화로 구분하는 것으로 성질유형과는 달리 명백하게 잘못된 것이라고 볼 수 있다. 그러나 이러한 설명을 교과서에서 찾아볼 수 있다. 다음은 중학교 2학년 과학교과서에서 제시하고 있는 혼합물과 화합물에 대한 설명내용이다.

소금불이나 설탕불은 물에 소금이나 설탕이 녹아 있는 혼합물이다. 이러한 혼합물은 물질의 특성을 이용하여 각각의 성분 물질로 분리할 수 있다.<sup>11)</sup>

두 가지 이상의 물질이 섞여 있을 때에는 각 물질이 본래의 성질을 그대로 지니고 있어서 처음의 물질로 쉽게 분리할 수 있다. 그러나 두 물질이 반응하여 각 물질의 성질과 전혀 다른 성질의 새로운 물질로 변하여 처음의 물질로 쉽게 분리되지 않는 경우가 있다. ... 이와 같이 두 가지 이상의 물질이 서로 화학변화를 일으킬 때 생기는 새로운 물질을 화합물이라고 한다.<sup>11)</sup>

중학교 1학년 과학교과서에서는 건보기 성질과 함께 물질의 특성이 제시되어 있다. 여기서 배우는 물질의 특성은 물리적 성질이라고 말하는 밀도, 끓는점, 용해도 등이며 이를 이용하여 혼합물을 분리하는 실험을 통해 혼합물은 혼합되기 전의 물질로 분리될 수 있음을 실험을 통해 배우게 된다. 즉, 이러한 실험들은 혼합물이 쉽게 각각의 성분물질로 분리할 수 있는 가역반응임을 뜻한다. 또한 대부분의 교과서는 화합물은 쉽게 분리되지 않음을 강조한다.

다음은 중학교 2학년 과학교과서에 제시된 혼합물과 화합물의 성질을 비교하기 위해 실린 철과 황의 혼합물과 화합물 실험결과의 일부를 발췌한 것이다.

이처럼 화합물인 황화철은 철과 황의 혼합물과는 달리, 물질의 분리에서 사용한 간단한 방법으로는 그 성분 물질이 철과 황으로 분리할 수 없다.<sup>15)</sup>

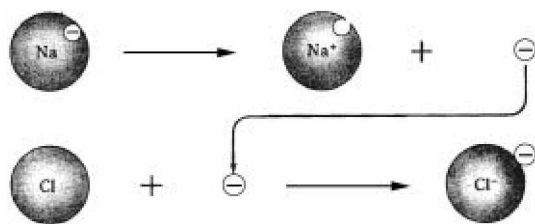


Fig. 2. Model of atom ionization.

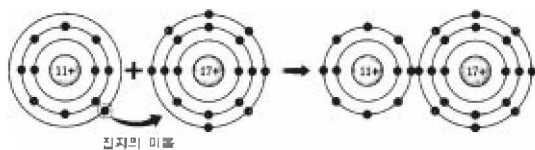


Fig. 3. Formation of sodium chloride.

선행연구<sup>26</sup>에서 지적한 바와 같이 많은 교사들이 물리변화와 화학변화의 기준을 가역 비가역유형으로 잘못 인식하는 이유를 이러한 교과서 서술에서 찾아볼 수 있을 것이다.

**화학결합유형과 전자이동유형에 관련된 과학교과서 분석 결과.** Fig. 2<sup>27</sup>는 중학교 3학년 교과서에 제시된 중성 원자가 이온화되는 모형을 나타내며, Fig. 3<sup>28</sup>은 화학교과서에 보편적으로 제시되어 있는 염화나트륨의 형성 과정을 나타낸다.

Fig. 2와 Fig. 3과 같이 많은 과학교과서에서는 염화나트륨과 같은 이온 결합 물질의 생성을 (1), (2)의 정전기적 인력이 아닌 공유 결합과 비슷한 전자이동으로 설명하고 있거나, 이온 결합을 루이스 점 전자식으로 표현하고 있다. 이것은 이온 결합이 형성되거나 깨지는 경우에 전자의 이동이 일어날 것이라는 잘못된 판단을 유발할 가능성이 있다. 그러나 실제로 이온 결합의 경우에는 용해되면서 결합이 해리될 때 전자의 이동이 일어나지 않는다. 단지 용매와의 수화 에너지가 보다 안정해지는데 방향이면 자발적으로 용해가 일어나는 것이다. 선행연구<sup>26</sup>에서도 염화칼륨이 물에 녹는 변화와 소금이 물에 녹는 변화를 화학변화라고 생각한 과학교사가 80명 중에서 각각 12명과 11명이었는데, 그 이유로 전자의 이동을 선택하였다.

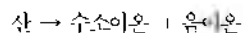
이에 오창호<sup>25</sup>도 과학교과서에서 이온 결합을 설명함에 있어 루이스 점 전자식을 사용하기 때문에 마치 공유 결합의 형성 과정과 별다른 차이를 알 수 없게 함으로써 이온 결합과 공유 결합을 혼동하는 오류를 범하게

할 수 있다고 지적함으로써 이러한 교과서의 서술내용이 잘못된 인식을 제공하는 근간이 될 수 있음을 시사하고 있다.

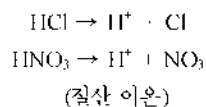
또한 많은 수의 과학교사들은 염산과 황산과 같은 공유결합물질이 불과 반응하는 현상을 소금이 불에 녹는 현상과 동일하게 생각하는 것으로 나타났다.<sup>26</sup> 그리고 이 두 현상을 모두 물리변화라고 생각하였다. 이러한 현상은 산이 물과 반응할 때 수소 이온이 공유결합으로부터 해리되는 것을, 소금이 불에 용해될 때 나트륨 이온이나 염소 이온이 해리되는 것과 동일하게 생각하기 때문일 것이다. 이렇게 생각하는 교사들은 대부분 이 현상에서 전자의 이동 관점을 가지고 있지 않았다.

이러한 경향성과 관련하여 중학교 3학년 교과서에 보편적으로 서술된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

산은 수용액에서 다음과 같이 이온화한다.

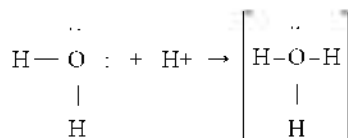


염화수소나 질산과 같이 한 분자에 수소 원자를 한 개 가지고 있는 산은 수용액에서 다음과 같이 이온화한다.<sup>26</sup>



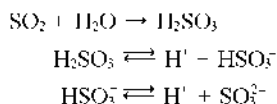
이러한 예들은 중학교 3학년 과학교과서뿐만 아니라 고등학교에서 사용하는 교과서에서도 종종 찾아 볼 수 있었는데, 화학 I 교과서에서는 배위공유결합의 한 예로 옥소늄 이온( $\text{H}_3\text{O}^+$ )을 설명하고 있으나 산성물질의 수용액상에서 이온화 현상을 설명할 때에는 중학교 3학년 수준을 벗어나지 못하고 있었다. 다음은 한 화학 I 교과서<sup>29</sup>에 제시된 옥소늄 이온( $\text{H}_3\text{O}^+$ )에 대한 설명과 산성과 염기성 단원에서의 서술내용을 비교한 것이다.

공유 결합을 할 때 공유 전자쌍을 한쪽 원자에서만 제공하든 경우도 있다. 예를 들면 옥소늄 이온  $\text{H}_3\text{O}^+$ 은  $\text{H}_2\text{O}$ 와  $\text{H}^+$ 가 결합한 것으로  $\text{H}_2\text{O}$ 의 O 원자가  $\text{H}^+$ 에 비공유 전자쌍을 제공하여 이루어진다.



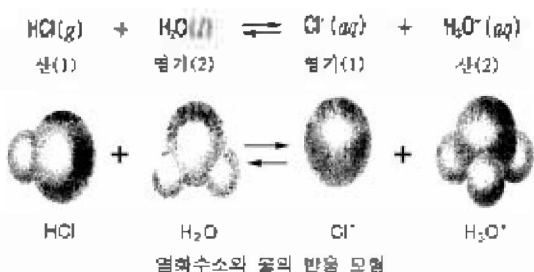
옥소늄 이온

이산화황은 색깔이 없고 자극성 냄새가 나는 유독한 기체로 물에 비교적 잘 녹는다. 이산화황이 물에 녹으면 아황산 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>이 되며 이 수용액은 약한 산성을 띤다. 이것을 화학반응식으로 나타내면 다음과 같다.



다만, 화학을 심도 있게 다루는 화학 II 교과서의 산과 염기의 반응 단원에서 다음과 같은 설명을 찾아 볼 수 있었다.

연화수소 수용액에서의 산·염기를 생각해 보자.



여기에서 옥소늄 이온은 실제로 양성자 H<sup>+</sup>가 수 개의 H<sub>2</sub>O 분자에 의해서 수화되어 있으나, 이것을 간단히 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)으로 나타낸 것이다.<sup>62</sup>

그러나, 이러한 설명들은 화학 II 교과서에서만 다루어질 뿐 거의 대부분의 교과서들은 이러한 시각을 제시하지 않고 있기 때문에 앞서 언급한 것과 같은 혼동, 즉 산을 불하는 과정과 용질을 용해시키는 과정을 동일하게 이해하는 문제가 발생할 수 있다고 본다. 이러한 혼동을 줄이기 위해서는 이온결합이나 공유결합과 같은 화학결합의 시각과 해리가 일어날 때 전자의 이동 유무 등에 대한 이해가 있어야 할 것이다.

**열 출입과 화학변화와의 관련성에 대한 과학교과서 분석 결과.** 물질의 변화에는 항상 에너지 출입이 수반된다. 즉, 물리변화가 일어나든지 화학변화가 일어나든지 간에 에너지 변화가 함께 수반되는데, 선행연구<sup>26</sup>에서는 과학 교과서들 중 63.8%가 질산암모늄이 용해될 때 열을 많이 흡수하기 때문에 이를 화학변화로 구분하였다. 이러한 원인은 대부분의 교과서가 화학변화의 개념을 도입할 때 연소실험에서부터 시작하며 이러한 연소로부터 화학변화의 개념을 이끌어 내는 점에서 찾

을 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 발열반응과 흡열반응, 반응열등의 개념이 모두 화학반응 단원에 제시되어 있기 때문에 열 출입이 화학반응에서만 나타나는 현상으로 잘못 오인될 가능성이 높다.

다음은 중학교 2학년 과학교과서와 공통과학에서 화학변화와 관련된 내용을 일부 발췌한 것이다.

에탄올이나 강철숯, 그리고 마그네슘의 연소와 같이 어떤 물질이 성질이 전혀 다른 새로운 물질로 변하는 현상을 화학변화라고 하며 연소는 화학변화의 한 현상이다.<sup>32</sup>

화학변화의 특징적인 현상

① 열이나 빛이 발생한다. 화학변화가 일어날 때에는 항상 열의 출입이 있다. 예를 들면, 붉은 염산과 수산화나트륨 수용액이 중화반응을 일으킬 때에는 용액의 온도가 올라가는데, 그것은 중화반응이 일어나면서 열이 발생하기 때문이다.<sup>39</sup>

또한, 대부분의 과학교과서는 물리변화와 화학변화의 개념을 소개할 때는 소금을 불에 녹여 만든 소금물을 혼합물로서 그러한 과정은 성질을 잃지 않고 상태만 변하므로 물리변화로 소개하고 있지만, 열 출입과 관련해서는 화학변화로 소개함으로써 일관성 없게 서술되어 있는 부분들을 찾아 볼 수 있었다.

다음은 고등학교 공통과학에 제시된 발열반응과 흡열반응에 관한 내용과 실험이다.

어떤 물질이 화학변화 하는 동안에 그 주위가 뜨기워 지거나 차가워지는 등의 온도변화가 뒤따르는 것을 알 수 있다. 이것은 어떤 물질이 다른 물질로 변화할 때에는 에너지 출입이 있음을 의미하며... 몇 가지 물질의 화학변화가 일어날 때 주위의 온도변화를 측정하여 봄으로써 에너지를 방출하는 화학변화와 에너지를 필요로 하는 화학변화로 구분하여 보자.<sup>44</sup>

이 실험에서 3 번은 염화나트륨을 물에 녹인 후 온도측정을 통해 이 반응이 에너지를 방출하는 화학변화인지 아니면 에너지를 필요로 하는 화학변화인지를 알아보는 실험이다.

많은 경우 고체물질의 용해열 측정의 예로 이온 결합 물질을 불에 녹여 온도를 측정하는 방식을 사용하고 있는데, 이러한 실험재료로 쉽게 찾아 볼 수 있는 예가 바

**실험 3. 열의 변화와 물질 변화**

☞ 매니저를 빙글리하는 화학 변화와 매니저를 빙으로 하는 물리 변화의 예를 있는 대로 들어 보자.

☞ 200mL 물이 비커, 온도계, 양팔 저울, 나무 도막, 시험관, 보개, 베스 실린더, 피펫, 약포서, 약습기판, 수산화나트륨, 염화나트륨, 질산암모늄

**과정 1**

1 비커에 증류수를 약 50mL 가량 넣고, 증류수의 온도를 측정하여 기록하자.

2 수산화나트륨 약 4g 가량을 용액에 나누어 적당 1에서 준비된 증류수 속에 넣고 저어 주면서 그 때마다 용액의 온도를 측정하여 기록하자.

○ 온도는 어떻게 변화하는가?

3 염화나트륨에 대해서도 1-2의 과정으로 실험하여 보자.

4 비커에 증류수 50mL 가량을 넣고 다음, 이 비커를 물을 뿌린 나무 도막 위에 놓고 비커에 담긴 증류수의 온도를 측정하여 기록하자.

5 질산암모늄 5g 가량을 가열 4의 비커에 넣고 용액을 저어 주면서 용액의 온도를 측정하여 보자.

○ 온도는 어떻게 변화하는가?

6 과정 4의 비커를 살짝 들어올려 보자.

○ 어떠한 현상을 관찰할 수 있는가?

보 이 실험과 같은 염화나트륨이다.

교과서 내에서조차 이처럼 앞서 소금이 물에 녹는 변화를 물리변화의 예로 제시했다가 용해열과 관련해서는 화학변화의 예로 제시하는 일관성 없는 서술을 하고 있음을 알 수 있다.

**결론 및 제언**

지금까지 물리변화와 화학변화의 구분기준에 대한 중·고등학교 과학교과서를 분석한 결과 혼란을 야기할 수 있는 서술이 있음을 지적하였다. 화학에 있어서 화학의 기초개념들의 이해는 화학을 전반적으로 이해하는데 중심이 되기 때문에 이러한 잘못된 개념의 서술이 학생들과 교사들에게 상당히 중요한 영향을 미칠 수 있을 것이다. 따라서 과학교과서에서 물리변화와 화학변화를 서술함에 있어서 일관성 있고 체계적인 관점의 제시가 필요하다고 본다.

특히 물리변화와 화학변화를 구분하는 데에 있어서 성질의 변화나 가역 여부, 열의 출입 등을 언급하는 경우 이로 인해 많은 혼란이 유발될 가능성이 있으므로 이를 자제할 필요가 있음을 알 수 있다. 가능한 한 일관성 있게 화학결합의 시각으로 물리변화와 화학변화를 구분하면 좋지만, 중학교 저학년에서 이러한 개념의 도입이 어려운 경우 이에 대한 논의와 대책에 대한 합의가 과학교육 연구자들과 현장 과학 교사들 간에 있어야 할 것이라고 생각된다.

물리변화와 화학변화 개념을 다루는 학년이 현재는 중학교 2학년이지만, 어느 학년에서 가장 정확하게 과학적 개념이 도입될 수 있는가에 대한 연구가 뒤따라야 이러한 논의가 가능할 것이다.

또한 고등학교에서는 이미 다양한 과학 개념들이 제시된 후이므로, 이들에게 화학결합의 관점으로 물리변화나 화학변화를 제시하는 것은 어려운 일이 아닐 것이다. 그러나 앞서 지적한 바와 같이 고등학교에서도 일관성 있게 화학결합의 관점으로 이러한 변화를 설명한 교과서는 많지 않았다. 만약 초기에 성질이나 열 출입과 같은 개념을 도입할 수밖에 없다고 하더라도, 나중에 이를 화학결합의 개념으로 재설명하는 시도가 있다면 학생들이나 교사들의 혼란을 크게 줄여줄 수 있을 것이다.

그러나 어떠한 방식으로 물리변화와 화학변화를 설명하는 것이 가장 효율적인가에 대한 논의는 이를 비교하는 연구가 뒤따르지 않으면 구체적으로 언급하기 어렵다. 문제는, 선행연구<sup>26</sup>에서도 지적하였듯이, 이미 대학교까지 화학을 배운 과학 교사들조차 물리변화와 화학변화에 대한 정확한 구분기준을 가지지 못하고 혼란을 드러내었다는 점이다. 그리고 이 연구에서는 그 원인 중 일부가 과학교과서의 서술에서 찾을 수 있음을 보였다. 앞으로는 물리변화와 화학변화 뿐 아니라 다른 화학의 기초개념들에 대해서도 이러한 고찰이 이루어질 필요가 있다고 본다.

**인용 문헌**

1. Glynn, S. M.; Yeany, R. II.; Britton, B. K. *구성주의적 과학학습심리학*. 권성기 등 2인 역; 시그마프레스: 서울, 2000.
2. Nakhleh, M. B. *Journal of Chemical Education* **1992**, 69(3), 191-196.
3. Stavridou, II.; Solomonidou, C. *International Journal of Science Education* **1998**, 20(2), 205-221.
4. 장진근. *한국교육원대학교 석사학위 논문* 1999.
5. 황원수. *한국교육원대학교 석사학위 논문* 1994.
6. 강현석. *한국교육원대학교 석사학위 논문* 1993.
7. 류병덕. *한국교육원대학교 석사학위 논문* 1993.
8. Ahtee, M.; Varjola, I. *International Journal of Science Education* **1998**, 20(3), 305-316.
9. Abraham, M. R.; Williamson, V. M.; Westbrook, S. L. *Journal of Research in Science Teaching* **1994**, 31(2), 147-165.
10. Abraham, M. R.; Grzybowski, E. B.; Renner, J. W.



- Marck, E. A. *Journal of Research in Science Teaching* 1992, 29(2), 105-120.
11. Hesse, J. J.; Anderson, C. W. *Journal of Research in Science Teaching* 1992, 29(3), 277-299.
  12. Stavridou, H.; Solomonidou, C. *International Journal of Science Education* 1989, 11(1), 83-92.
  13. 김상환. 한국교원대학교 석사학위 논문 2001.
  14. 윤광현. 한국교원대학교 석사학위 논문 2001.
  15. 김주현; 이동준; 김선경; 강성수; 백성혜. *대한화학회지* 2000, 44(6), 611-624.
  16. 김혜경; 채우기; 권 균; 강대훈; 백성혜. *대한화학회지* 1999, 43(2), 213-224.
  17. 이혜란; 류오현; 임광수; 백성혜; 박국태. *대한화학회지* 1999, 43(4), 475-483.
  18. 이민수. 한국교원대학교 석사학위 논문 1998.
  19. Nieswandt, M. *Science Education* 2001, 85(3), 158-179.
  20. Barker, V.; Millar, R. *International Journal of Science Education* 2000, 22(11), 1171-1200.
  21. Barker, V.; Millar, R. *International Journal of Science Education* 1999, 21(6), 645-665.
  22. Boo, H. K. *Journal of Research in Science Teaching* 1998, 35(5), 569-581.
  23. 박현주. 한국교원대학교 석사학위 논문 1996.
  24. 강대훈. 한국교원대학교 박사학위 논문 2001.
  25. 백성혜. *화학교육* 2000, 27(1), 78-80.
  26. 김선경. 한국교원대학교 석사학위 논문 2002.
  27. 이현주. 한국교원대학교 석사학위 논문 1998.
  28. 권정근. 한국교원대학교 석사학위 논문 2001.
  29. 강영희; 조완규; 권숙일; 나일성; 소현수; 조희규; 이민호; 윤길수; 하효명; 서평웅; 김종권; 이영만; 목창수. *중학교 과학I*; 두산동아; 2000.
  30. 공구영; 김진규; 이광만; 허웅; 김택중; 정분호; 이기성; 김병규; 안태근; 김영규; 김수용; 정이현; 박병훈. *중학교 과학I*; 지학사; 2000.
  31. 권재술; 김범기; 최병순; 현종오; 이길재; 임진일; 정진우; 이연우; 홍성일. *중학교 과학II*; 한샘출판(주); 2000.
  32. 김시중; 정만호; 한복수; 우종욱; 이종만; 임경배; 정근화; 민경덕; 구창현; 이광석; 최돈형; 김병규; 이상진; 박범익. *중학교 과학I*; 금성출판사; 2000.
  33. 박봉상; 서정쌍; 박희송; 김윤우; 정대영; 허성일; 서광호; 최병수. *중학교 과학I*; 동화사; 2000.
  34. 송인명; 이훈우; 오세직; 최석남; 박영철; 문형태; 우영균; 박종흠. *중학교 과학I*; (주)교학사; 2000.
  35. 유규환; 홍종배; 안태인; 권병두; 진환웅; 송영진; 이광윤; 전선용. *중학교 과학I*; (주)천재교육; 2000.
  36. 정창희; 정창희; 이원식; 강만식; 이인규; 송희성; 윤홍식; 이급휘; 한인섭; 박우호; 문찬호; 윤 용. *중학교 과학I*; (주)교학사; 2000.
  37. 강만식; 정창희; 이원식; 홍승수; 이창진; 장병기; 윤 용. *공통과학*; (주)교학사; 2000.
  38. 강영희; 조완규; 권숙일; 나일성; 소현수; 조희규; 이민호; 윤길수; 하효명; 서평웅; 김종권; 이영만; 목창수; 이강식. *공통과학*; (주)두산; 2000.
  39. 권재술; 김범기; 최병순; 현종오; 이길재; 최진복; 정진우; 홍성일. *공통과학*; 한샘출판(주); 2000.
  40. 김수용; 강대호; 김봉근; 박기민; 박대순; 이기준; 이상욱; 이석형; 이필형; 임광택; 노일환. *공통과학*; 학습개발사; 2000.
  41. 김시중; 박승재; 이학동; 문정대; 우종욱; 정분호; 정만호; 채우기; 민경덕; 오희균; 성만웅; 이상진; 김봉섭; 송찬용; 김영수; 지원균. *공통과학*; 금성출판사; 2000.
  42. 박택규; 엄정인; 박인규; 백광호; 강수상; 김용균; 이명세; 이병인. *공통과학*; 박영사; 2000.
  43. 송인명; 이훈우; 김영유; 오세직; 박병민; 최석남; 박영철; 문형태; 김현섭; 우영균; 박종흠; 김철영. *공통과학*; (주)교학사; 2000.
  44. 유규환; 홍종배; 안태인; 권병두; 김영준; 이성복; 이희선; 손병주; 홍승운; 김용수; 임진일; 신성용. *공통과학*; (주)천재교육; 2000.
  45. 장남기; 박용안; 조희영; 서정쌍; 이수중; 권길오; 김무성; 이찬영; 김남일; 이진승; 선우종철; 이면우; 서인호. *공통과학*; (주)두산; 2000.
  46. 정혜문; 김영민; 김재영; 김찬중; 김창호; 방태철; 안태근; 윤길일; 이광만; 이범홍; 이양덕; 정홍태. *공통과학*; (주)지학사; 2000.
  47. 최돈형; 이문현; 한종하; 최우섭; 이상훈; 최승연; 허 명; 김정호; 노석규. *공통과학*; 대학교과서; 2000.
  48. 한복수; 허병권; 박승각; 정구조; 구창현; 박범익; 이광윤; 김주훈; 이태욱; 박수익. *공통과학*; 동아서적(주); 2000.
  49. 김연상; 윤세중; 오두환. *화학 I*; 범문사; 2000.
  50. 박원기; 윤석진. *화학 I*; (주)지학사; 2000.
  51. 박택규; 문정대; 채우기; 지원균. *화학 I*; 금성출판사; 2000.
  52. 소현수; 윤길수; 이영만; 허성일; 김용원. *화학 I*; (주)두산; 2000.
  53. 여수동; 여환진; 장영근; 이규옥. *화학 I*; 청분각; 2000.
  54. 오세직; 김종희; 박병민; 최석남. *화학 I*; (주)교학사; 2000.
  55. 유규환; 김강진; 이인길; 여상인. *화학 I*; (주)천재교육; 2000.
  56. 이원식; 한인섭; 윤 용. *화학 I*; (주)교학사; 2000.
  57. 정구조; 류재홍; 이대형. *화학 I*; 동아서적(주); 2000.
  58. 정규철; 김우탁; 김용균. *화학 I*; 박영사; 2000.
  59. 정용순; 송호봉. *화학 I*; 형실출판사; 2000.
  60. 최병순; 문영삼; 신재섭; 김대순; 현종오. *화학 I*; 한샘출판(주); 2000.
  61. 김시중; 문정대; 이종면; 구창현; 이상진. *화학 II*; 금성출판사; 2000.
  62. 박원기; 윤석진. *화학 II*; (주)지학사; 2000.
  63. 박택규; 정규철; 김우탁. *화학 II*; 박영사; 2000.
  64. 소현수; 윤길수; 이영만; 허성일; 김용원. *화학 II*; (주)두산; 2000.

65. 정용순: 송호봉. *화학 II*: 형실출판사: 2000.
66. 이수동, 여환진, 장영진, 이규우. *화학 II*: 청문각: 2000.
67. 오제직: 김종희, 박병빈, 최식남. *화학 II*: (주)교학사: 2000.
68. 우규화: 김강진, 이인길, 여상인. *화학 II*: (주)천재교육: 2000.
69. 이운주: 방태철, 이승열. *화학 II*: 고려서적주식회사: 2000.
70. 이원식: 한인섭: 윤 용. *화학 II*: (주)교학사: 2000.
71. 정구조: 류재홍: 이대형. *화학 II*: 동아시적(주): 2000.
72. 최병순: 문영삼, 신재집, 김대수: 현종오. *화학 II*: 한샘출판(주): 2000.
73. Gagné, R. M. 학습의 조건과 교수이론. 박성익, 최영수 번역: 교육과학사: 서울, 1996.
74. 권재술, 김범기: 최병순: 현종오: 이길재, 임건일, 정진우, 이연우: 홍성일. *중학교 과학 III*: 한샘출판(주): 2000.
75. 오창호. *한국교원대학교 석사학위 논문* 2001.
76. 강영희: 조완규: 권숙일: 나일성: 소현수: 조희구: 이만호: 윤길수: 하효명: 서평용: 김종원: 이영만: 복창수. *중학교 과학 III*: 두산동아: 2000.
-