

## 원소와 원자 개념에 대한 과학 교과서 진술의 문제점 분석, 과학 개념의 역사적 변천을 중심으로

白盛惠\* · 柳五鉉 · 金東煜<sup>1</sup> · 朴國泰

한국교육대학교 화학교육과

<sup>1</sup>대구교육대학교

(2001. 2. 13 접수)

### The Problems of Science Textbook Contents Related to Element and Atom in the Viewpoint of Science History

Seoung Hey Paik\*, Oh Hyeon Ryu, Dong Uk Kim<sup>1</sup>, Kuk Tae Park

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

<sup>1</sup>Taegu National University of Education, Taegu 705-715, Korea

(Received February 13, 2001)

**요 약.** 이 연구의 목적은 원소와 원자에 관련된 개념의 과학사적 변천과정을 분석하는 것이다. 과학적 관점에서 볼 때, 고대 그리스 시대부터 보일과 라부아지에 시대, 돌턴 시대, 그리고 현대까지 원소의 개념은 다양한 변화를 겪었다. 원자의 정의는 고대 그리스 시대부터 라부아지에 시대에 이르기까지 원소의 개념과 혼동되어 왔다. 또한 이 정의는 돌턴과 러더퍼드에 의해서도 변화되었다. 원소와 원자의 정의에 대한 중등학교 과학 교과서와 대학교 일반화학 교재의 설명을 분석한 결과, 다양한 시대의 각기 다른 정의들이 혼재되어 있는 것으로 나타났다. 또한 한 교과서의 정의는 다른 교과서의 정의와 상반되는 것으로도 분석되었다. 이러한 경향성은 4차 과학교육과정부터 6차 과학교육과정까지 지속되었다. 따라서 우리는 원소와 원자의 개념을 보다 명확하게 정의하여 학생들이 과학적 개념을 더 잘 습득할 수 있도록 도움이 필요하다고 본다.

**ABSTRACT.** This study aimed to analyze the evolution of general ideas concerning the element and the atom. In the scientific viewpoint, the modern idea of the element has been variously revised by the ancient Greeks, Boyle-Lavoisier, and Dalton. The definition of the atom was confused with that of the element from the ancient Grecian era to Lavoisier's era. The definition was also changed by Dalton and Rutherford. An analysis of the definitions of element and atom as presented in science textbooks for secondary school students and in general chemistry textbooks revealed that these definitions from diverse eras are confusing and inadequately explicated. The definition presented in one textbook was contradictory to the definitions in other textbooks. This tendency has been sustained in the textbooks from the 4th to 6th science curriculum. Therefore, we need to clarify the definitions of element and atom in order to help the students gain a better understanding of these scientific concepts.

### 서 론

연구의 필요성 및 목적. 중·고등학생들의 과학 교과서에 대한 인식을 조사한 연구<sup>1)</sup>에 따르면 중학교에서 고등학교로 갈수록 학생들은 과학을 어렵게 인식한다고 한다. 이러한 문제가 유발된 원인을 조사한 연구

도 여러 편 있는데, 그 중에는 교육과정에서 제시하는 내용이 시대적으로 볼 때 낙후되었으며, 이러한 교육과정의 문제점이 교과서의 집필에 그대로 반영되고 있다고 주장한 연구<sup>2)</sup>도 있다.

교과서는 학교 현장에서 매우 중요한 역할을 차지한다.<sup>3)</sup> 한국교육개발원의 연구 결과에 따르면 모든 교과

수업은 교과서를 가장 중심 되는 교재 및 학습 교재로 사용하고 있고, 수업의 순서는 교과서 내용의 제시 순서를 따르는 방식으로 전개되고 있으며, 교과서에 실린 내용들은 아무리 사소한 것이라도 중요한 의미를 가진 것으로 다루어진다고 한다. 또한, 대부분의 수업에서 교과서의 모든 내용은 빠짐없이 철저히 취급되며, 교과서 이외의 자료들을 많이 사용할 것을 권장하고 있지만, 실제 수업에서 그렇게 하는 경우가 매우 드물다고 밝혔다. 따라서, 교과서에 어떤 내용을 어떤 형태로 제시하느냐 하는 것은 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.<sup>5</sup>

현재까지는 교과서의 내용 조직에 관한 연구가 주로 주제에 대한 위계 연구<sup>6,7</sup>나 교육과정 연계성 측면<sup>15,20</sup>에서의 연구중심으로 이루어져 왔다. 그러나 아직까지 과학사적 관점에서 교과서의 내용 조직을 분석한 연구는 거의 없다. 학생들의 오개념이 지금은 폐기된 과거의 과학 개념과 유사하다<sup>21,22</sup>는 측면에서 과학사를 구성주의적 시각으로 해석한 연구<sup>23</sup>나 현대 과학의 이해를 위하여 과학사의 도입이 필요하다는 주장의 연구<sup>24,31</sup>들이 일부 있을 뿐이다. 일부 연구들<sup>32,33</sup>은 현대 과학을 가르치는 데에 있어서 과학사의 도입이 불필요함을 주장하기도 하였다.

따라서 이 연구에서는 화학의 주요 개념 중의 하나인 원소와 원자의 개념을 중심으로 이러한 개념들이 역사적으로 어떻게 변천되어 왔는지를 조사하고, 중등학교 과학 교과서에서 다루는 원소와 원자 개념이 이러한 변

천 과정 중 어떠한 관점에서 진술되었는지를 분석함으로써 교과서 내용 조직의 문제점을 통해 학생들이 올바른 과학 개념을 형성하는 데에 있어서 가지는 어려움의 원인을 찾아보고자 하였다. 연구의 내용을 구체적으로 진술하면 다음과 같다.

1. 과학사적으로 원소와 원자의 개념이 변천한 과정을 분석한다.

2. 제4차 교육과정에서부터 제7차 교육과정까지의 중등학교 과학 교과서에 제시된 원소와 원자의 개념 유형을 과학사적 변천 과정을 중심으로 분석한다.

## 연구 방법 및 절차

**분석 자료 및 분류.** 이 연구에서는 원소와 원자의 정의를 분석하기 위하여 제4차 교육과정에서부터 제6차 교육과정까지의 중등학교 과학 교과서와 그리고 대학교에서 사용하는 일반화학 교재 7종을 선택하였다. Table 1에는 중학교 교과서를, Table 2에는 고등학교 교과서를, Table 3에는 대학교 일반 화학 교재를 구분하여 제시하였다. 교과서를 나타내는 기호 중 앞의 숫자는 교육과정의 차수를 나타낸 것이고, 가운데 영분은 중학교(Middle school), 고등학교(High school), 대학교(University)의 영분 첫 자를 나타낸 것이며, 맨 뒤의 숫자는 교과서 종별을 아라비아 숫자로 나타내는 것이다. 같이 분석한 중학교 기술·산업 교과서는 TS로 표기하였다.

Table 1. 중학교 교과서

교육과정	교과서	지은이	기호	출판사	발행년도	권인정 종수
4차	과학	교육부	4M1	교육부	1984	1종
5차	과학	송인병 외 7	5M1	교학사	1988	5종
		정창희 외 11	5M2	교학사		
		김시중 외 11	5M3	금성교과서		
		권숙일 외 11	5M4	동아출판사		
		김순식 외 8	5M5	지학사		
6차	과학	송인병 외 7	6M1	교학사	1994	8종
		정창희 외 11	6M2	교학사		
		김시중 외 13	6M3	금성교과서		
		강영희 외 12	6M4	동아출판사		
		박봉상 외 7	6M5	동화사		
		공구영 외 12	6M6	지학사		
		우규환 외 7	6M7	천재교육		
		권재술 외 8	6M8	한샘출판사		
	기술·산업	김탁옥 외 5	6TS1	지학사	1997	1종

Table 2. 고등학교 교과서

교육과정구분	교과서	지은이	기호	출판사	발행년도	비고		
4차	화학 I	김시중 외 3	4H1	금성교과서	1983			
		소현수 외 3	4H2	동아출판사				
		이원식	4H3	동아서적				
	화학 II	김시중 외 3	4H4	금성교과서				
		소현수 외 3	4H5	동아출판사				
		이원식	4H6	동아서적				
5차	과학II하	이원식 외 2	5H1	교학사	1989	8종		
		박태규 외 2	5H2	금성교과서				
		정구조 외 3	5H3	노벨문화사				
		박태홍 외 3	5H4	동아서적				
		소현수 외 3	5H5	동아출판사				
		박대순 외 1	5H6	연구사				
		박원기	5H7	지학사				
5차	화학	이원식 외 2	5H8	교학사	1989	8종		
		김시중 외 2	5H9	금성교과서				
		소현수 외 3	5H10	동아출판사				
		박태홍 외 1	5H11	동아서적				
		오세직 외 3	5H12	분호사				
		서정신 외 3	5H13	지학사				
		박원기	5H14	학연사				
6차	화학 I	오세직 외 3	6H1	교학사	1998	11종		
		소현수 외 4	6H2	두산동아				
		정구조 외 2	6H3	동아서적				
		우규환 외 3	6H4	진재교육				
		박택규 외 3	6H5	금성출판사				
		장용순 외 1	6H6	형설출판사				
		여수동 외 3	6H7	청문각				
		최병순 외 4	6H8	한샘출판사				
	화학 II	이운주 외 2	6H10	고려서적			1998	12종
		오세직 외 3	6H11	교학사				
화학 II	김시중 외 4	6H12	금성교과서	1998	12종			
	정구조 외 2	6H13	동아출판사					
	박택규 외 2	6H14	박영사					
	최병순 외 4	6H16	한샘출판사					
	여수동 외 3	6H15	청문각					

**분석 방법 및 절차.** 과학사적으로 원소와 원자의 정의가 어떻게 변천되어 왔는지를 알아보기 위해서, 이 연구에서 사용할 원소와 원자에 대한 정의는 사전이나 교과서 혹은 대학 교재의 정의를 참고하지 않고 관련 과학사 교재 내용에서 인용하여 분석하였다. 원소와 원자의 정의는 과학사적인 개념 발달 순서에 따라 분류하였고, 제4차 교육과정에서부터 제6차 교육과정까지의 중등학교 과학 교과서와 그리고 최근의 대학교 일반화

학 교재에 제시된 정의들은 이러한 분류 기준에 근거하여 분석하였다.

과학사적으로 추출한 정의들이 보편적이고 타당한지를 검증하기 위해서 여러 과학사 서적과 비교하여, 연구자간의 이견이 있을 경우 의견 조정을 거쳐 내용을 분석하였다. 또한 연구자의 오류를 줄이고 타당도를 높이기 위하여 과학 교육 전문가 2인과 현장 교사인 과학교육 전공 대학원생 4인의 검토과정을 거쳤다. 분

Table 3. 대학교 일반화학 교재

교재	지은이	기호	출판사	발행년도
일반 화학	Ebbing 외 1	U1	교보문고	1998
일반 화학	Zumdahl	U2	일신사	1994
일반 화학	Hurly 외 1	U3	자유아카데미	1992
화학의 세계	Josten 외 1	U4	자유아카데미	1995
현대일반화학	Oxtoby 외 2	U5	청문사	1994
최신일반화학	Kotzand 외 1	U6	탐구당	1994
일반화학	Kotz 외 1	U7	자유아카데미	1992

석기간은 1999년 9월부터 시작하여 2000년 7월까지였으며, 매주 정기적인 모임을 통해 분석이 이루어졌다.

**연구의 제한점.** 연구에서 분석 기준이 되는 자료는 그 당시 과학자들의 원 논문이 아닌, 이들의 업적을 재 분석하여 기술한 과학사 교재의 내용이다. 따라서 재해석의 오류를 방지하기 위하여 가능한 한 여러 관련 과학사 문헌을 분석하여 보편적인 관점을 취하고자 노력하였고 연구자 사이에 해석의 차이가 있을 경우 이를 조정하는 과정을 반복하여 거쳤지만, 재해석의 오류가 발생할 수 있다.

### 연구 결과 및 논의

**원소의 개념에 대한 역사적 변천.** 과학사적으로 볼 때 원소의 개념은 기원전 7세기부터 문헌적으로 드러나고 있다. 그 당시 고대인들은 우주의 생성과 변화, 그리고 민불의 근원이 무엇인가에 대하여 해답을 구하려고 노력하였으며, 그 결과 민불은 한 가지 물질로 이루어져 있다는 단원론을 제시하였다. 아리스토텔레스(Aristoteles, B.C. 384-322)는 우선 엠페도클레스(Timpeokles, B.C. 약 490-430)가 제안하고 플라톤(Platon, B.C. 약 427-347)이 채용한 물, 공기, 불, 흙으로 구성된 4 원소설을 받아들여, 4 원소가 물질의 성질과 변화를 좌우한다고 주장하였다. 이들이 주장하는 원소의 정의는: 구체적인 물질 개념이 아니라 추상적인 성질이나 성분의 개념이었다고 볼 수 있다. 이러한 주장은 중세 연금술사들에게까지 많은 영향을 미쳤는데, 이들은 4 원소설 대신에 약간 변형된 3 원소설을 주장하였다.<sup>31</sup>

17세기에 들어서면서, 성공할 가능성이 거의 없는 연금술사 대신 물질을 대상으로 연구하는 많은 과학자들이 등장하게 되었다. 이 중 한 사람인 영국의 화학자 보

일(Boyle, 1627-1691)은 고대 그리스 시대의 4 원소와 중세 연금술사의 3 원소설에서 주장하는 원소와는 다른 개념으로 원소를 정의하였다. 고대의 원소 개념에는 물질의 개념보다는 성질 혹은 성분의 개념이 더 강하였지만, 보일은 "실험을 통해 이 이상 더 간단한 성분으로 쪼갤 수 없는 물질"이 바로 원소라고 정의하였다.<sup>35,36</sup> 여기서 중요한 점은 바로 원소의 정의가 어떤 '추상적인 개념'으로부터 '구체적인 물질 개념'으로 변화되었다는 점이다.

이와 유사한 주장은 18세기 프랑스의 화학자 라부아지에(Lavoisier, 1743-1794)에 의해서도 제기되었다. 그는 "지금까지의 실험 방법에 의하여 그 이상 단순한 물질로 분해되지 않는 것을 원소라고 보아야 하고, 새로운 방법에 의하여 분해가 증명되기까지는 화합물로 보지 말아야 한다"라고 주장하였다.<sup>37</sup> 이때부터 원소는 화합물과 대조되는 개념으로 새롭게 정의되었으며, 실험적으로 더 이상 분해될 수 없는 물질을 기준으로 원소와 화합물이 분류되기 시작하였다. 라부아지에는 불을 분해하여 불이 수소와 산소로 이루어진 화합물이라는 사실을 증명함으로써 당시까지 사람들이 믿고 있었던 고대 4 원소설을 버리고 새로운 원소 개념을 확립하는데 큰 공헌을 하였다.

원소를 원자와 구분하여 구체적인 입자 개념으로 제시한 사람은 영국의 화학자 돌턴(Dalton, 1766-1827)이었다. 돌턴은 라부아지제의 질량 보존의 법칙, 프루스트(Proust, 1754-1826)와 게이뤼삭(Gay-Lussac, 1778-1850)의 일정성분비의 법칙을 설명하기 위하여 원자설을 제창하였다. 여기서 그는 "각 원소는 각각 일정한 성질과 질량을 가진 원자라고 하는 작은 입자로 이루어졌으며, 화합물은 서로 다른 종류의 원자가 결합한 입자"라고 가정하였다.<sup>37</sup> 여기서 참고로 돌턴이 제시한 화학 기호를 나타낸 Fig. 1과 기체의 분압법칙을 설명하

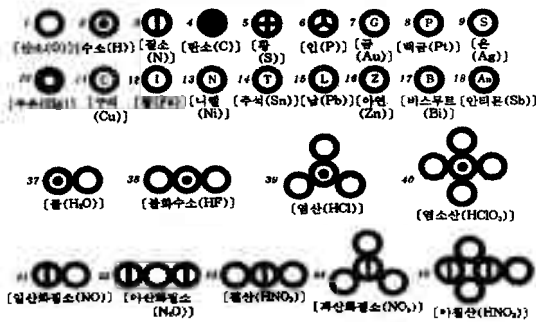


Fig. 1. 돌턴의 화학 기호.<sup>36</sup>

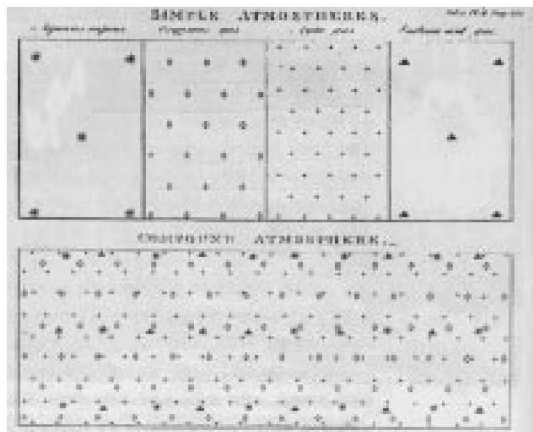


Fig. 2. 대기 중 기체를 표현한 돌턴의 그림.<sup>36</sup>

기 위하여 제시한 Fig. 2를 제시하였다. Fig. 1에는 돌턴이 생각한 원소와 화합물의 개념이 포함되어 있다. 화합물의 예로 돌턴은 염산이 산소 원자 3개와 수소 원자 1개로 구성되었다고 생각하였다.

Fig. 2에는 돌턴이 생각한 원소의 개념이 잘 표현되어 있다. 그는 기체를 연구하면서 기체는 각각의 고유한 원자들로 구성되어 있다고 보았다.<sup>38</sup> 즉 그는 기체를 고유한 한 종류의 원자로 이루어진 원소로 보았던 것이다. 그가 생각한 원소의 개념에는 같은 종류 원자끼리의 결합은 포함되지 않았다. 이 개념은 ‘실험적으로 더 이상 분해되지 않는 물질’로서의 보일이나 라부아지에의 정의에도 위배되지 않는다. 같은 종류의 원자로 이루어져 있기 때문에 더 분해하여도 늘 같은 종류만 나오기 때문이다. 마치 사과 더미 속에서 사과를 나누어 보았을 때 사과로만 분리되는 것과도 같은 것이다. 그는 원자들의 크기나 모양이 모두 다르므로 제각각 다른 수반류 공간을 채우고 있기 때문에 이러한 결과로 기체

의 분압이 나타난다고 보았다.<sup>40</sup> 따라서 보일이나 라부아지에 시대에는 실험적인 분리 사실에 기초하여 원소가 화합물과 대조되는 시각으로 이해되었다면, 돌턴 시대부터는 원소는 원자론에 입각하여 이해되기 시작하였다고 볼 수 있다. 즉 동일한 종류의 원자로 구성된 물질로서 원소의 개념이 이 때 비로소 형성되었다.

아보가드로가 같은 종류의 원자가 결합한 분자의 개념을 형성한 후에는 원소의 정의가 다소 달라지게 된다. 왜냐하면 돌턴의 원소와 달리, 아보가드로의 정의에 따르면 원소가 분해되어 새로운 물질이 형성될 수 있기 때문이다. 즉 동일한 산소 원자 세 개가 결합하여 형성된 오존 분자는 쪼개지면 산소 두 원자가 결합한 산소 분자나 혹은 산소 원자를 형성하는데, 이 두 물질은 성질상 같은 물질이라고 보기 어렵기 때문이다.

그 후 실험적 사실들을 근거로 원자에 대한 이해가 획기적으로 변화되었다. 1911년에 물리학자 러더퍼드(Rutherford, 1871-1937)에 의해 양성자의 존재가 확인되고,<sup>38</sup> 1913년 소디에 의해서 화학적 성질이 거의 같으면서 원자량이 다른 동위원소(isotope)가 존재함이 인식되었다.<sup>39,40</sup> 1919년에는 영국의 애스턴(Aston, 1877-1945)이 발견한 질량 스펙트럼의 방법에 의해 대다수의 원소에 동위원소가 다수 존재하는 사실이 알려졌다.<sup>41</sup> 이에 따라 돌턴이나 아보가드로 시대의 원자 개념으로부터 형성된 원소의 정의는 2세기 관점의 원자 개념을 통해 새롭게 변화되었다. 그 새로운 정의는 바로 ‘양성자의 수가 같은 입자나 입자들로 이루어진 물질’<sup>42</sup>의 개념이다.

이러한 정의에 따르면 질량수가 1인 수소(<sup>1</sup>H) 원자, 질량수가 2인 중수소(<sup>2</sup>H) 원자, 질량수가 3인 삼중수소(<sup>3</sup>H) 원자, 수소 이온(H<sup>+</sup>), 그리고 두 개의 수소 원자로 이루어진 수소 분자(H<sub>2</sub>)는 모두 같은 원소(elements) 기호를 사용하고, 따라서 같은 원소(elements)로 구분된다. 그러나 질량수가 1인 수소(<sup>1</sup>H) 원자, 질량수가 2인 중수소(<sup>2</sup>H) 원자, 질량수가 3인 삼중수소(<sup>3</sup>H) 원자 각각은 다른 원자라고 볼 수 있다. 이들의 공통점은 양성자의 수가 같다는 점 뿐이다. 과거와 달리 새로운 원소 개념에는 동위원소의 개념을 포함시키야 하기 때문에 원소의 정의는 돌턴이나 아보가드로 시대의 정의로부터 변화를 겪을 수밖에 없었다.

과학사적인 관점에서 지금까지 고찰한 원소의 개념은 크게 4가지로 변천하여 왔다. 첫째, 고대 그리스 시대의 정의로, 물질이 아닌 성질이나 성분의 개념이다.<sup>43</sup>

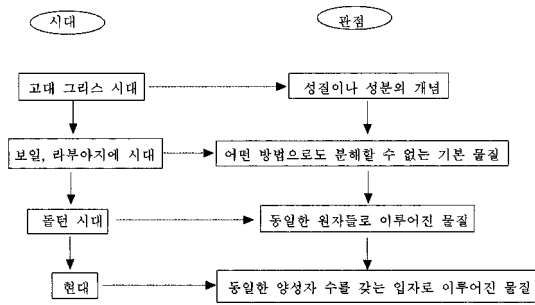


Fig. 3. 원소 개념의 관점 변화.

둘째, 보일과 라부아지에 시대의 정의로 “현재까지의 어떤 방법으로도 분해할 수 없는 기본 물질”의 개념이다. 셋째, “동일한 원자들로 이루어진 물질”이라는 돌턴의 정의이다. 마지막으로, 양성자를 포함한 현대적 원자 구조가 밝혀진 후의 개념, 즉 “동일한 양성자 수를 갖는 입자로 이루어진 물질”이라는 정의이다. 이를 Fig. 3에 정리하여 제시하였다.

**과학 교과서에 제시된 원소 정의 분석.** 교육부에서 검정된 제6차 교육과정의 중학교 과학 2 교과서에서는 원소를 Table 4와 같이 정의하고 있다.

Table 4에 제시된 교과서 원소의 정의는 3가지 관점으로 분석할 수 있다. 첫째, 교과서 6M1, 6M2, 6M5, 6M6, 6M8에 제시된 “물질을 이루는 기본 성분”이라는 정의는 그리스 시대의 원소 정의와 유사성이 있음을 알 수 있다. 즉, 물질로서의 정의보다는 성질이나 성분으로서의 정의에 가깝다.

둘째, 교과서 6M3, 6M4, 6M7에 제시된 “물리적 혹은 화학적 방법으로 더 이상 나눌 수 없는 기본 물질”이라는 원소 정의는 보일과 라부아지에 시대의 정의라고 할 수 있다.

셋째, 각 교과서에 차례로 제시된 “은, 산소, 수소와 같은 물질”은 현대의 원소 정의에 속한다고 볼 수 있다. 차례로 든 금속 물질과 분자들은 모두 동일한 양성자를 가진 입자로 구성된 물질에 해당하기 때문이다. 이러한 예 안에는 동위원소의 개념도 포함된다고 볼 수 있다. 혹은 불이나 이산화탄소와 같은 화합물과 대조시켰다고도 볼 수 있다. 이러한 심으로 볼 때에는 여전히 보일과 라부아지에 시대의 정의에서 벗어나기 어렵다. 그러나 정의가 아닌 사례만으로는 그 의미를 명확히 분석하기는 쉽지 않다.

교과서를 분석한 결과, 원소의 정의에는 여러 시대의 개념들이 혼란되어 있음을 알 수 있다. 과학사적으로 여러 번 변천 과정을 겪었던 개념들이 뒤섞여서 한번에 정의된다면 학생들이 원소의 개념을 명확하게 이해하기 어려울 것이다. 과학사적으로 변천과정을 풀어주거나 아니면 돌턴의 원자설처럼 학생들의 지식 수준에 적합한 어느 한 시대의 정의를 제시하는 것이 더 바람직할 것이라고 본다.

이러한 개념 정의에 있어서의 시대적 모순이 과거 교육과정의 과학 교과서에서부터 계속되어 왔는지 확인하여 보았다(Table 5). 분석 결과, 중학교 4차, 5차 교육과정의 중학교 2학년 과학 교과서에도 원소의 개념이 6차 교육과정의 과학 교과서의 분석 내용들과 유사하게

Table 4. 중학교 6차 교육과정 과학 교과서에서의 원소에 대한 정의

교과서 종류	설명 유형
6M1, 6M2, 6M5, 6M6, 6M8	원소란 은이나 산소와 같이 물리적 또는 화학적 방법으로는 더 이상 나눌 수 없는 기본이 되는 성분을 뜻한다.
6M3, 6M4, 6M7	수소나 산소와 같이 어떠한 화학 변화로도 두 가지 또는 그 이상의 다른 물질로 나눌 수 없는 한가지의 기본 물질을 원소라고 한다.

Table 5. 중학교 4차, 5차 교육과정 과학 교과서의 원소에 대한 정의

교육과정	교과서 종류	설명 유형
4차	4M1	구리와 같이 더 이상 분해되지 않는 한 종류의 순수한 물질.
	5M1	수소, 산소, 탄소, 철 등과 같이 더 이상 분해되지 않는 물질의 기본 성분.
5차	5M2	수소나 산소와 같이 물질을 구성하는 기본이 되는 성분.
	5M4	구리나 수은등과 같이 화합물이나 순수물질을 이루는 기본 성분.
	5M5	더 이상 분해되지 않는 한 종류로 된 순수한 물질.

Table 6. 고등학교 4차, 5차, 6차 교육과정 화학 교과서의 원소에 대한 정의

교육과정	교과시종류	설명유형
4차	화학I	4H1 정의 없음
		4H2 원자 번호가 같은 한 가지 원자들로만 이루어진 물질
		4H3 물질을 구성하는 기본적인 성분. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 간단한 물질로 쪼갤 수 없는 성분.
화학II	4H4, 4H5, 4H6 정의 없음	
	과학II하	5H1 물질을 구성하는 기본적 성분으로. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 쪼갤 수 없는 성분을 말한다.
5H2 물질을 이루는 기본적인 성분		
5H6 물질을 이루는 기본 성분. 한가지 원자들로만 이루어진 물질(훈원소)		
5H3, 5H4, 5H5 정의 없음. 원소 주기율표 제시		
5차	화학	5H8 물질을 구성하는 기본적 성분으로. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 쪼갤 수 없는 성분을 말한다.
		5H9 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 쪼갤 수 없는 물질을 구성하는 기본적인 성분
		5H10 보다 간단한 물질로 분해될 수 없는 물질.
		5H11 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 쪼갤 수 없는 성분
		5H12, 5H13 정의 없음
화학I	6H1 원소란 물질을 이루고 있는 기본적인 성분으로. 보통의 화학적 방법으로 더 간단한 물질로 나눌 수 없는 순수한 성분이다.	
	6H2 탄소, 수소, 산소와 같이 더 이상 분해되지 않는 물질을 원소라고 한다.	
	6H3 원소는 물질을 구성하는 기본 성분으로. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 간단한 물질로 쪼개이지 않는다.	
	6H4 원소란 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 나눌 수 없는 한 가지 종류의 순수한 물질이다.	
6차	화학II	6H10 물질을 구성하는 본질로서. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 쪼갤 수 없는 성분을 원소라고 한다.
		6H11 세상의 모든 물질을 구성하는 기본성분
		6H12 수소와 산소같이. 물질을 구성하는 기본 성분을 원소라고 한다.
		6H13 물질을 구성하는 기본성분으로. 보통의 화학적 방법으로는 더 이상 간단한 물질로 쪼개지지 않는다.
		6H14 자연계에 존재하는 모든 물질은 원소라는 기본성분으로 구성되어 있다.
		6H15 물질을 이루는 기본적인 성분을 원소라고 한다.

제시되어 있음을 확인할 수 있었다.

중학교 2학년 과학 교과서의 물리 영역에서는 전기 단원에서 이미 양성자의 개념이 포함된 현대적인 원자 개념이 제시됨에도 불구하고 화학 영역에서는 이러한 원자 개념을 토대로 한 원소 개념이 전혀 제시되지 못하였음을 알 수 있다. 그렇다면 현대적 관점의 원자 개념을 화학교육과정에서 가르치도록 명시된 고등학교의

경우에는 원소의 개념이 달라지는지 확인하여 보았다 (Table 6). 이 때 중학교와 마찬가지로 4차부터 6차 교육과정까지의 화학 교과서를 분석하여 시대적인 변화도 살펴보았다.

Table 6에서 보면 놀랍게도 제4차 교육과정의 한 교과서만이 현대적인 관점인 양성자의 정의로 원소의 개념을 제시하였고, 그 외에 제5차와 제6차 교육과정의

Table 7. 대학교 일반 화학 교재에서의 원소 정의

교재 종류	설 명 유형
U1	모두 같은 원자번호를 갖는 원자로 이루어진 물질.
U2	물리적 혹은 화학적 방법에 의해 더 이상 간단한 물질로 분해될 수 없는 물질.
U3	원소는 들이나 그 이상의 순수한 물질로 나눌 수 없는 물체의 한 가지 종류이다.
U4	화학적인 변화과정을 거쳐 더 간단한 화학물질로 분해되지 않는 물질
U5	원소라고 하는 것은 통상적인 화학적 혹은 물리적 방법으로는 더 이상 보다 간단한 물질로 분해할 수 없는 물질을 말한다.
U6	원소들은 원자라고 부르는 조그만, 불연속적인, 가를 수 없는, 파괴되지 않는 알갱이로 되어 있다

교과서에서는 현대적 관점이 전혀 제시되지 않았다. 그리고 여전히 과거의 여러 원소 개념이 혼재된 상태에서 정의되고 있었다. 특히 물질보다는 성분이나 성질의 개념을 강조한 그리스 시대의 정의가 빠지지 않고 제시되어 있었다. 이러한 점은 중학교의 여러 과학 교과서와 매우 흡사하다. 중학교 과학 교과서의 경우에는 현대적인 원자의 개념이 아직 제시되기 전이라는 이유 때문에 원소의 현대적 정의가 제시되기 어려울 수 있다고 판단할 수 있지만, 고등학교의 화학 교과서에서 이미 현대적인 원자 구조를 배우는 배에도 불구하고 이를 기초로 한 현대적인 관점의 원소 정의가 제시되지 않은 점은 문제점이라고 볼 수 있다.

대학교에서 사용하고 있는 일반화학 교재에서는 원소의 정의를 어떻게 제시하고 있는지 분석하였다(Table 7).

Table 7에서 분석한 대학교 일반화학 교재 7종 가운데 단 하나의 경우(U1)만이 현대적 관점으로 원소를 정의하였다. 그러나 이 경우에도 설명의 일부에서는 역시 보일과 라부아지에의 관점이 혼란되어 있었다. 그러나 대학교 일반화학 교재의 경우 고대 그리스의 정의인 성분의 개념은 중학교나 고등학교 교과서와 달리 전혀 나타나지 않았다. 그리고 대부분의 교재에서는 “더 이상 분해할 수 없다”는 보일과 라부아지에의 관점으로 제시되어 있었다. 따라서 대학교 일반화학 교재의 정의는 보편적으로 보일과 라부아지에 시대의 관점에 머물러 있다고 할 수 있다.

**원자의 개념에 대한 역사적 변천.** 고대 그리스 시대부터 원자에 대한 개념은 이미 형성되어 있었으며, 이러한 개념은 입자적인 물질관을 형성하는 기초가 되었다. 이에 대비되는 물질관은 바로 연속적인 물질관이다. 연속적인 물질관에는 원자적 개념이 포함되어 있지 못하다. 기원전 4세기경 아리스토텔레스는 “물질은 연속적인 것이어서 무한히 더 작은 입자로 쪼개어 나갈 수

있다”는 연속적인 물질관을 제시하였다. 한편, 그리스의 철학자 레오키포스(Leukippos, B.C. 500-428)와 데모크리토스(Democritus, B.C. 470-380)는 “물질을 계속해서 쪼개어 나가면 최종적으로 원자에 이르고 원자는 더 이상 쪼갤 수 없다”는 원자설을 주장하였다. 그러나 이들이 주장한 원자설은 매우 사변적인 것이었기 때문에 17세기 이후 보일 등의 과학자들에 의해 입자철학(corpuscular philosophy)이 다시 등장하기 전까지는 과학의 발달에 큰 기여를 하지 못하였다.<sup>14</sup> 따라서 상당히 오랜 기간 동안 연속적인 물질관이 물질에 대한 이해의 주류를 이루었다고 볼 수 있다.

18세기에 들어서면서 화학 반응에 관련된 다양한 정량적인 실험 자료의 수집이 라부아지에 등 많은 과학자들에 의해 이루어졌으며, 이러한 정량적인 실험 자료로부터 입자론적 물질관으로서의 원자설이 돌턴에 의해 체계적으로 정리되었다.<sup>15</sup> 돌턴은 그의 저서 화학 철학의 신세계(A New System of Chemical Philosophy, 1808)에서, 원자는 그 종류가 많고, 크기와 무게가 서로 다르며, 물질마다 단위 부피 당 들어있는 원자의 수는 모두 다르다<sup>16</sup>고 주장하였다. 이러한 돌턴의 원자는 오늘날 과학자들이 이해하는 원자의 개념과는 매우 다르지만, 최초로 정량적인 실험 결과로부터 입자론적 물질관을 정립하였다는 점에 있어서 매우 중요한 관점의 변화라고 할 수 있다.

그 후 1903년 톰슨(Thomson)이 음극선 실험에서 전자의 존재를 밝히고, 이를 근거로 양으로 하전된 입자와 전자가 서로 흠뻑히 박혀 있는 푸딩 모양의 원자 모형이 제안되었다. 또한 1911년 러더포드(Rutherford)는 방사선 실험으로 원자는 양전하를 띤 원자핵이 가운데에 조밀하게 있고, 그 주위를 전자가 돌고 있는 원자 모형을 제안하였다. 이렇게 발달한 원자의 개념은 더 이상 쪼갤 수 없는 물질의 기본 입자라는 돌턴의 원자론



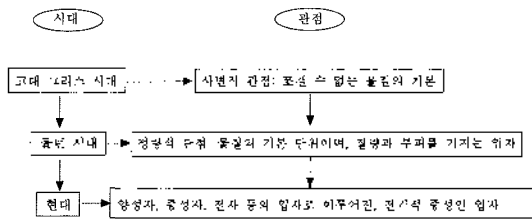


Fig. 4. 원자 개념의 관점 변화.

과는 매우 다르다고 할 수 있다. 현대적 관점의 원자는 양성자, 중성자, 전자 등 더 기본적인 입자들로 구성된 입자이며, 따라서 전자의 이동으로 인해 이온으로 변할 수도 있고 핵변환을 통해 다른 원자로 변화될 수도 있기 때문이다. 오늘날 소립자의 발견을 통해 양성자, 중성자, 전자도 더 이상 기본적인 입자가 아님이 밝혀졌지만, 중, 고등학교 화학이나 일반화학 수준에서는 이러한 소립자 개념이 보편적으로 다루어지지 않기 때문에 이 논문에서는 양성자, 중성자, 전자 이하의 기본 입자의 개념을 포함한 원자의 개념은 논의하지 않겠다 한다.

정리해 보면, 역사적으로 고찰해 볼 때 원자의 정의는 크게 3번의 변천 과정을 겪었다고 할 수 있다. 첫째는 고대 그리스 철학자의 사변적인 관점으로, '더 이상 쪼갤 수 없는 물질의 기본'으로서의 정의이다. 둘째는 돌턴의 정의로 원소나 화합물을 구성하는 구체적인 물질로서의 입자이다. 이 정의에는 원자량과 단위 부피당 분포하는 개수 등에 대한 구체적인 개념이 포함되어 있다. 돌턴의 정의에 따르면 원자는 더 이상 쪼개지지 않으며, 원소와는 구분되는 물질이다. 셋째는 현대적인 관점으로 양성자와 중성자, 전자로 구성된 전기적으로 중성인 단위 입자의 개념이다. 따라서, 현대적인 관점에 의하면 양성자, 중성자, 전자 등의 입자로 구성된 원자는 '더 이상 쪼개지지 않는' 기본 입자는 아니다. 이

를 Fig. 4에 정리하여 제시하였다.

**과학 교과서의 원자 정의 분석.** Table 8에 제4차 교육과정에서부터 제6차 교육과정까지의 과학 교과서에 제시된 원자의 의미를 분석하여 제시하였다. 대부분의 중학교 과학 교과서 화학 영역에서는 돌턴의 원자설로 원자를 정의하고 있다. 교육과정의 변천에도 불구하고 모든 과학 교과서에서 돌턴 시대의 원자 정의는 전혀 변화되지 않았다.

Table 8에서 6M1 과학 교과서는 돌턴의 원자설과는 다소 다른 의미를 하고 있다. 그런데 이 정의는 앞서 분석한 원자 정의의 3가지 관점에 비추어 볼 때 어느 관점에도 정확히 맞지 않는다. 굳이 이 정의를 나누기 위하여 이 연구에서 분석한 관점을 변화시킨다면, 돌턴 시대의 관점과 현대의 관점 가운데 한 관점으로 분류할 수 있을 것이다. 그 이유는 '물질의 특성을 가지지 않으면서 더 이상 나누어지지 않는 가장 작은 입자'라는 이 정의에는 분자의 개념이 포함되어 있기 때문이다. 즉 아보가드로의 관점으로 분류한다면, 물질의 특성을 가지는 가장 작은 입자는 '분자'이고, 따라서 분자가 쪼개져서 원자가 되면 더 이상 그 물질의 특성을 가지지 않게 된다는 점에서 원자의 정의에 '물질의 특성을 가지지 않는다'는 개념을 포함한 것이라고 볼 수 있다.

그러나 이러한 개념은 현대적 관점의 원자 정의와는 같지 않다. 왜냐하면, 정의의 전문문을 액면 그대로 해석할 경우, 원자는 '물질의 특성을 가지지 않는 입자'로 정의되기 때문이다. 현대적 물질관에서 물질의 정의는 '부피와 질량을 가지는 것'<sup>16)</sup> 혹은 '부피를 차지하고 감각적으로 지각할 수 있는 것'<sup>17)</sup>으로 볼 수 있다. 즉 눈으로 확인할 수 있는 크기의 부피나 질량이 아니고 매우 작은 부피와 질량을 가진 것이라 하더라도, 부피와 질량이 있다는 사실만 확인되면 물질로 분류할 수 있다. 이러한 점에 있어서 단독으로 존재하는 원자나 전자도 물

Table 8. 중학교 4차, 5차, 6차 교육과정 과학 교과서에서의 원자 정의

교육과정	교과서종류	설명유형
4차	4M1	돌턴의 원자설은 더 이상 쪼갤 수 없는 가장 작은 입자를 원자라고 하였다.
5차	5M1, 5M2, 5M4, 5M5	돌턴의 원자설, 더 이상 쪼갤 수 없는 가장 작은 입자
	6M2, 6M3, 6M4, 6M6, 6M7, 6M8	데모크리토스의 원자, 돌턴의 원자설을 설명함.
6차	6M1	물질의 특성을 가지지 않으면서 더 이상 나누어지지 않는 가장 작은 입자

Table 9. 중학교 2학년 과학 교과서의 물리 영역과 기술·산업 교과서의 원자 정의

교과서 종류	설명 유형
6M4, 6M6, 6M7, 6M8	물질을 이루고 있는 원자는 가운데에 1 전기를 띠고 있는 원자핵과 그 주위에 - 전기를 띠고 있는 전자들로 구성되어 있다.
6M2	과학자가 생각해 낸 원자 모형에 의하면 원자는 무거운 원자핵을 중심으로 하여 1개 또는 그 이상의 가벼운 전자가 그 둘레를 돌고 있는 구조로 구성.
6TS1	모든 물질은 수 많은 원자로 구성되어 있으며 이들 원자는 양전기를 띤 원자핵과 그 주위를 돌면서 음전기를 띤 전자로 구성되어 있다.

실에 해당한다고 본다. 또한 이들은 보여서 일부는 성질과는 다르지만 독자적으로 존재할 경우에도 고유한 성질을 가진다고 볼 수 있다. 따라서 모든 물질은 반드시 둘 이상의 원자가 결합한 분자의 형태로 구성되어야 물질의 특성을 나타내는 것이 아니므로 이러한 정의는 현대적 관점에 해당한다고 볼 수 없다.

Table 9에는 동일한 학년의 중학교 과학 교과서 내에 제시된 물리 영역과 기술·산업 교과서에 제시된 원자의 개념을 정리하여 제시하였다. 놀라게도 같은 학생들

이 배우게 되는 원자의 개념이 화학 영역에서 제시하는 원자의 개념 즉, 돌턴의 원자설과는 매우 달랐으며, 대부분 현대적 관점으로 제시되어 있었다.

과학의 다른 영역과 기술·산업 교과서의 진술 내용에 비추어 볼 때, 중학교 화학 영역에서도 이제는 돌턴의 원자설보다는 현대적 관점의 원자 개념을 제시하는 것이 학습의 수평적 연계 측면에서 타당할 것이라고 생각된다.

Table 10에는 고등학교 화학 교과서에 제시된 원자의 정의를 정리하여 제시하였다.

Table 10. 고등학교 4차, 5차, 6차 교육과정 과학 교과서에서의 원자 정의

교육과정	교과서종류	설명유형	
4차	화학 I	4II1	데모크리토스 원자, 돌턴의 원자설
		4H2	돌턴의 원자설, 현대적인 원자 모형
		4II3	데모크리토스 원자, 돌턴의 원자설, 원자기호와 원소기호 같음, 원자는 전하를 띤 중성 입자와 - 전하를 띤 전자로 구성
화학 II	4II4, 4II5, 4II6	정의 없음	
	과학II하	5II1, 5II2	데모크리토스 원자, 돌턴의 원자설
5II4, 5II5, 5II6		과학사적 원자설, 돌턴의 원자설	
5H3		원자 구조 제시	
5차	화학	5H7	돌턴원자설, 톰슨, 러더포드의 원자 모형
		5II8, 5II9, 5II10, 5II13	돌턴의 원자설
		5II11	원소를 이루는 기본 입자, 원소의 종류만큼 있다. 돌턴의 원자설
6차	화학 I	5II12	원소의 기본이 되는 가장 작은 단위 입자.
		6H6	데모크리토스 원자, 물질을 구성하는 기본 입자.
		6H2, 6H3, 6H7	데모크리토스의 원자, 돌턴의 원자설을 설명함.
		6H4, 6H8	데모크리토스의 원자, 돌턴의 원자설, 톰슨의 원자모형, 러더포드의 원자 모형, 보어의 원자모형, 현대적 원자 모형을 이용해서 원자 개념의 발달史를 설명함.
화학 II	6II8, 6II9, 6II10		
	6II11, 6II12, 6II13, 6II14	데모크리토스의 원자, 돌턴의 원자설을 설명함.	

플라멩게도 이미 이온이나 전자, 양성자, 중성자 등의 입자 개념이 도입된 후임에도 불구하고 원자의 정의 자체는 현대적인 관점으로 명확히 제시하지 않고 있었다. 현대적인 관점의 원자 정의는 제 4차 교육과정에서 2개(4H2, 4H3), 제 5차 교육과정에서 1개(5H7), 그리고 제 6차 교육과정에서 2개(6H4, 6H8)의 교과서에 불과하였다. 나머지 교과서에서는 원자의 정의 자체는 없고, 단지 전자와 양성자, 중성자 등으로 구성된 원자의 구조가 그림으로만 제시되어 있었다. 그리고 진술된 정의는 돌턴의 원자 정의가 보편적이었다.

이미 원자의 기본 입자인 전자, 중성자, 양성자 등의 개념이 도입되어 있는 고등학교에서 돌턴의 원자설이 제시되는 이유는 아마도 과학사적 도입의 교육적 효과 때문일 것이다. 그러나 이러한 효과를 감안한다고 하더라도, 고등학교에서는 과학사적 도입의 마지막에 명확하게 현대적 관점의 원자 정의를 포함하는 것이 더 타당하다고 본다.

Table 11에 제시된 대학교 일반화학 교재의 원자 정의는 보편적으로 현대적인 관점이었다. 물론 돌턴의 원자 정의를 빼놓지 않고 진술한다는 점은 고등학교 화학 교과서의 경우와 유사하다. 그러나 마지막에 현대적 관점에서의 변화를 분명히 보여주고 있다.

**결론 및 제언**

과학사적인 관점에서 지금까지 고찰한 원소의 개념은 '물질이 아닌 성질이나 성분'으로서의 고대 그리스 시대 정의, '분해할 수 없는 기본 물질'로서의 보일과 라부아지에 시대 정의, '동일한 원자들로 이루어진 물질'로서의 돌턴 시대 정의, 그리고 마지막으로, '동일한 양성자 수를 갖는 입자로 이루어진 물질'로서의 현대적

정의 등 4가지 유형으로 구분할 수 있다. 또한 원자의 개념은 '더 이상 쪼갤 수 없는 물질의 기본'으로서의 고대 그리스 시대 정의, '원소나 화합물을 구성하는 구체적인 물질'로서의 돌턴 시대 정의, 그리고 '양성자와 중성자, 전자로 구성된 전기적으로 중성인 단위 입자'로서의 현대적 정의 등 3가지 유형으로 구분할 수 있다.

이러한 원소와 원자의 정의는 서로 독립적으로 발달하였다고 보려는 서로 긴밀한 상호 관련성을 가지며 발달하여 왔다. 예를 들어 '분해할 수 없는 기본 물질'이라는 보일과 라부아지에 시대의 원소 정의는 '더 이상 쪼갤 수 없는 물질의 기본'이라는 고대 그리스 시대의 원자 정의와 매우 유사하다. 이 두 시대의 원소와 원자 정의의 유사성은 두 개념의 명확한 구분이 그 당시에 이루어지지 않았음을 시사한다. 돌턴 시대에 와서야 원소와 원자의 정의는 뚜렷하게 구분되기 시작하였는데, '동일한 원자들로 이루어진 물질'로 원소를 정의함으로써 물질의 기본 단위는 원소가 아닌 원자로 구분되었다. 또한 과학의 발달로 원자가 더 기본단위인 양성자, 전자, 중성자 등으로 구성된 입자임이 밝혀지면서, 원소의 정의는 '동일한 양성자 수를 갖는 입자로 이루어진 물질'로 정의가 변화되었다.

따라서 현대에 받아들여지고 있는 원소와 원자의 개념은 과거에 동일한 용어로 사용되었던 개념과는 매우 다르다고 할 수 있다. 그러나 아직까지 동일한 용어라는 이유 때문에 이러한 개념 정의적인 혼란이 교과서 내에 그대로 남아 있다는 점이 이번 연구에서 드러났다. 이러한 혼란은 교육과정이 변화하여도 교과서 내에 그대로 존재하는 것으로 나타났으며, 경우에 따라서는 오히려 과거의 교육과정에 근거한 교과서에서 보다 현대적 관점이 제시되고, 개정된 교육과정에 근거한 교과서에서는 이러한 관점이 다시 사라져버리는 경우도 나타

Table 11. 대학교 일반 화학에서의 원자 정의

교재 종류	설명유형
U1	원자본으로 설명, 돌턴의 원자설의 가정을 수정하는 정도로 정의, 뉴슨의 실험으로 전자의 발견 과정과 러더포드의 실험을 소개
U2	"돌턴의 원자론"이라는 단원명 사용, 뉴슨의 실험을 통한 전자 발견, Millikan의 실험, Rutherford의 실험 설명
U4	"돌턴의 원자론"이라는 단원명 사용, 톰슨 실험과 Millikan의 기름방울 실험으로 전자를 설명
U5	원소의 최소 입자, 톰슨 실험을 통한 원자 설명
U6	원소 고유의 성질을 보유하고 있는 최소의 원소 입자
U7	원자란 화학반응에 참여할 수 있는 원소의 가장 작은 입자, 톰슨의 실험, Rutherford 실험, 이후에 바로 주기율표를 설명

났다. 즉 교육과정이 개정되어도 과학의 발달로 인해 새롭게 이해되거나 정의된 개념들이 과학 교과서에 제대로 반영되지 못하였음을 알 수 있다. 또한 물리나 기술 과목 등에서는 현대적 관점으로 제시된 원자의 개념이 동일한 학년이나, 이보다 높은 학년의 화학 과목에서는 제시되지 않고 있는 문제점도 나타났다.

과학자적으로 볼 때 과도기적인 정의들로 원소와 원자의 개념들이 제시하는 이유 중에는 교수학습의 효과적 측면에서 과학사적인 개념 설명이 필요<sup>26,32,48</sup>하다는 것과 현대적인 정의가 학습자의 인지 수준에 비추어 너무 어렵다고 판단되는 것 등<sup>30</sup>을 꼽을 수 있다. 그러나 이러한 이유에 근거한다 하더라도 과학 교과서에서 끝까지 현대적 관점을 명확하게 제시하지 않는 이유는 타당하게 설명되기 어렵다고 본다. 또한 교과서에 제시된 개념의 진술 자체가 한 시대의 관점을 명확하게 제시하는 것이 아니라, 여러 시대의 서로 다른 개념적 정의가 혼재된 형태로 제시되는 것은 정확한 개념 이해에 걸림돌로 작용하게 될 것이다. 따라서 앞으로 개정된 과학 교과서에서는 이러한 문제점들이 개선되어야 할 것이라고 본다.

원소와 원자 개념 이외에도 과학이 발달함에 따라 정의의 변천 과정을 겪었을 가능성이 있는 과학의 주요 개념들이 있을 것이다. 이러한 개념들이 교과서에서 어떻게 정의되고 있는지를 분석함으로써, 학습자가 과학 개념을 이해하는 데 있어서 어려움을 겪는 원인 중 하나일 수 있는 이러한 문제점을 계속적으로 규명해 보는 것도 의미가 있을 것이라고 본다. 또한 이러한 분원 연구를 통해 분석된 개념의 혼동이 실제 교육 현장에서 교사와 학생들에게서 나타나는 지에 대한 구체적인 연구를 실행해 볼 필요가 있을 것이다.

이 연구를 수행할 수 있도록 많은 지원을 아끼지 않으신 과학분화연구센터의 여러분들께 감사의 말씀을 드립니다.

## 인용문헌

1. 강대훈, 백성혜, 박국태 *대한화학회지* **1998**, 25(4), 207.
2. 한유화, 강대훈, 심일호, 백성혜, 박국태 *대한화학회지* **1999**, 43(3), 340.
3. 이규석 *고등학교 지구과학 교육과정 기본모형 연구*, 한국교원대학교 석사학위논문, 1992.
4. 김효진, 김위규, 박현주 *대한화학회지* **1999**, 43(5), 552.
5. 한국교육개발원 *교과서 정책과 내용 구성 방식 국제 비교 연구*, 연구보고서 PR95-17, 한국교육개발원, 1995.
6. 백성혜, 한재영, 채우기, 이정희, 강보인, 여상인 *화학교육* **1994**, 21(4), 226.
7. 임정환 *논리적 사고력과 과학탐구 기능요소의 위계적 분석*, 한국교원대학교 석사학위논문, 1992.
8. 佐藤隆博 *ISA1 구조학습법*, 명치도시: 동경, 1987.
9. Griffiths, A. K.; Kass, H.; Cornish, A. G. *Journal of Research in Science Teaching* **1983**, 20, 639.
10. Ekstrand, J. M. *Methods of Validating Learning Hierarchies with Applications to Mathematics Learning*, ERIC ED: 1982: 216.
11. Bart, W. M. *The Ordering Analytic Approach to Hierarchical Analysis*, ERIC ED: 1981: 205.
12. Gower, D. M.; Daniel, D. J.; Loid, G. *School Science Review* **1977**, 59, 285.
13. Seddon, G. M. *Research in Education* **1974**, 12, 63.
14. Okey, J. R.; Gagne, R. M. *Journal of Research in Science Teaching* **1970**, 7, 321.
15. 정완호, 최준희 *한국생물교육학회지* **1993**, 21(1), 71.
16. 유영근, 조·중·고등학교 지구과학 실험의 연계성 분석, 공주대학교 석사학위논문, 1991.
17. 김대영 *중등학교 과학교과서의 연계성 고찰*, 이화여자대학교 석사학위논문, 1989.
18. 박종윤, 김성희 *화학교육* **1988**, 15(2), 137.
19. 진수경, 조·중·등 전문 교육 내용간의 연계성 고찰, 서울대학교 석사학위논문, 1987.
20. 한병희 *화학교육* **1985**, 12(1), 22.
21. Sequeira, M.; Leite, L. *Science Education* **1991**, 75(1).
22. 송인명, 우영근, 김진중 *국민학교 및 중학교의 과학과 교육과정의 연계성에 관한 연구*, 공주시립대학 과학교육연구, 1976, 제 8집, 1.
23. Wandersee, J. H. *Journal of Research in Science Teaching* **1985**, 23(7), 581.
24. 이안태 *과학교육과정의 과학사 교육 개선에 관한 연구*, 고려대학교 석사학위논문, 1997.
25. 정현태 *과학사교육에 대한 과학교사들의 인식조사*, 한국교원대학교 석사학위논문, 1994.
26. 홍지기 *과학사의 도입을 통한 현행 중등학교 과학 교육 과정의 개선*, 연세대학교 석사학위논문, 1996.
27. 류진숙, 서정쌍, 김도옥 *화학교육* **1995**, 22(2), 64.
28. Solomon, J. *Science Teaching* **1992**, 29(5), 409.
29. 김우선 *과학사를 이용한 수업이 중학생의 과학과 관련된 태도에 미치는 영향*, 이화여자대학교 석사학위논문, 1997.
30. 이선경, 김우희 *한국과학교육학회지* **1995**, 15(3), 275.
31. 조양숙, 이도순, 김도옥 *한국중등과학교육학회지* **1996**, 15(2), 305.
32. 류미현 *과학사 프로그램의 개발 및 중학교 과학수업에서의 적용 효과*, 서울대학교 석사학위논문, 1998.

33. Irwin, A. R. *Science Education* **2000**, 84(1), 5.
34. 김영식: 임경순 *과학사 신론*, 다산출판사: 서울, 1999.
35. 이길상 *화학사*, 연세대학교출판부: 서울, 1984.
36. 박성태 *과학의 역사 1*, 까치: 서울, 1999.
37. 오진곤 *과학의 역사*, 전파과학사: 서울, 1993.
38. Ronan, C. A. *세계과학분명사 II*, 한길사: 서울, 1999.
39. 오진곤 *화학의 역사*, 전파과학사: 서울, 1993.
40. 김희준 *자연과학개론*, 자유아카데미: 서울, 1998.
41. 김순식: 이보열: 오수광: 정해분: 홍장표: 이범홍: 양교석: 안희수 *중학교 2학년 과학 교사용 지도서*, 지학사: 서울, 1988.
42. Ebbing, D. D.; Wrighton, M. S. *일반화학*, 교보문고: 서울, 1998.
43. 김정훈, 김용운: 나일성: 백광호: 민영기: 박성태: 박승재: 박이수: 박태규: 이상만: 신상운: 조완규 *세계사연과학사* **대제 12**, 한국과학기술진흥재단출판부: 서울, 1988.
44. 송진웅 *과학의 역사적 이해*, 대구대학교출판부: 경산, 1998.
45. Zumdahl, S. S. *일반화학*, 일신사: 서울, 1999.
46. Masterton, W. L. & Hurley, C. N. *일반화학 제 3판*, 자유아카데미: 서울, 1998.
47. Birk, J. P. *Chemistry*, Houghton Mifflin Company: U.S.A., 1994.
48. Jensen, M. S.; Finley, F. N. *Science Education* **1995**, 79(2), 147.

\*이 연구에서 분석한 중등학교 과학과 화학 교과서, 그리고 대학교 일반화학 교과서는 분석 대상 및 분류에서 언급하였으므로 참고문헌에서는 생략하였음.