

원자모형과 전자배치 단원에 대한 고등학교 학생들의 학습 성취도 및 화학 II 교과서의 설명방식의 차이점에 대한 분석

김 창 곤

인하대학교 화학과
(2003. 2. 11 접수)

Analyses on the Degree of Learning Achievement by Students and on Differences of Explaining in High School Chemistry-II Textbooks for the Atomic Models and Electron Configurations

Chang Kon Kim

Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea
(Received February 11, 2003)

요 약. 본 연구에서는 고등학교 이과계열 학생들 중 화학II의 교과 과목을 선택한 2학년 34명과 3학년 38명의 학생들을 대상으로 “원자 모형과 전자배치” 단원의 개념들에 대한 학습 성취도를 알아보기 위하여 설문지를 사용하여 조사하였다. 또한 제 6차 교육과정에 의하여 편찬된 8종의 고등학교 화학 II 교과서에 기술된 이들 개념에 대한 설명 방식을 분석하고 개념설문지 조사 결과와 연계하여 그 개선점에 대하여 논의하였다. 개념설문지의 조사결과 조사대상 학생들의 학습 성취도는 2학년과 3학년 학생들 사이에서 분항별로 부분적인 차이를 보이기는 하지만 전체적으로는 그다지 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고등학교의 교과과정상 “원자 구조와 전자배치”에 대한 교과 과정이 2학년 1학기 초반에 다루어지고 있으며 이후에는 이러한 부분과 연계되는 개념들의 보충적인 학습이 지속적으로 이루어지지 않고 있음을 의미하는 것이라 할 수 있다. “원자모형과 전자배치” 단원의 효과적이고 체계적인 학습을 위해서는 기초적인 분광학과 양자역학 개념들에 대한 학습이 필수적으로 선행되어야 하나 현행 고등학교의 교과 구성상 이러한 개념들을 모두 소개하기는 어렵다. 그러므로 교과서의 “참고자료” 등의 부분에 양자역학과 분광학의 기본적인 사항들을 간략하게라도 기술하는 것이 학생들의 이해를 돕는 한가지의 보완 방법이 될 것이라 할 수 있을 것이다. 한편, 본 연구에서 분석한 화학II 교과서들은 전반적으로 유사한 형태 및 설명방식들을 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 몇 가지의 교과서들에서 Bohr의 원자 모형과 전자구름 모형을 설명하는 과정에서의 연계성이 부족하거나, 전자의 위치에 대한 오개념을 가질 수 있는 여지가 있는 것으로 분석되었다.

주제어: 원자모형, 전자배치, 화학 II 교과서, 설문조사

ABSTRACT. A questionnaire on “atomic models and electron configuration” was performed on 34 of 11th grade and 38 of 12th grade students who took the Chemistry-II course in order to examine the degree of learning achievement. Also eight Chemistry-II textbooks published in the 6th curriculum were analyzed for the similarities and differences in dealing with this topic and possible improvements were discussed in conjunction with the questionnaire. The results of this questionnaire showed that the degree of learning achievement on the topics between two different classes were not much different in general, although a little difference was found. This indicates that the topics have been taught in early 11th grade but subsequent supplemental teaching has not been performed. To study on the topics of “atomic models and electron configuration” effectively and systematically, knowledge on the basic spectroscopy and quantum mechanics should be preceded. However this could be practically difficult under the current high school curriculum. Therefore It would be

necessary to describe the basic concepts for the quantum mechanics and spectroscopy schematically in the "Reference Materials" section of the textbook, even if it is not very long. On the other hand, the Chemistry-II textbooks analyzed in this work reveal, in general, to have the similar organization and explanation modes. However it has been analyzed that a connection between the Bohr and electron-cloud atomic models might be insufficient or position of electrons might be possible to be misunderstood by students in some textbooks.

Keywords: Atomic Models, Electron Configuration, Chemistry-II Textbook, Questionnaire

서 론

중등교과 과정에서 과학교육의 중요한 학습 목표 중의 하나는 과학적 개념의 올바른 이해와 습득을 통한 과학적이며 합리적인 사고를 함양하는 것이라 할 수 있다. 즉, 중등교과 과정에서 올바른 과학적 개념을 형성하는 것이 상급 교과 과정의 보다 체계적이고 효율적인 학습은 물론 일상생활에서의 합리적인 문제 해결력의 신장을 위하여 매우 중요하다 할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 목표는 새롭게 도입된 제 7차 교육과정에서도 강조되고 있는 부분이기도 하다.¹ 그러나 구성주의 학습이론에 기초한 연구들에 의하면 학생들은 학습과정에서 수업전대로 과학적 개념을 받아들이는 것은 아니며, 수업 전에 가지고 있던 나름대로의 선개념과 관련하여 스스로의 개념을 구성해 간다는 것이다. 이러한 선개념은 때때로 올바른 과학적 개념과 다를 수 있으며, 이러한 경우 올바른 과학적 개념을 받아들이는데 방해요소가 되기도 하는 것으로 나타났다.^{2,3} 그러므로 학생들이 수업 전에 가지고 있던 선개념과 수업 후에 습득한 개념을 파악하는 것이 효과적인 수업을 위하여 중요하다 할 것이다.^{4,7}

한편, 우리나라 중·고등학생들의 과학 교과 과목에 대한 인식을 조사한 연구에 의하면, 상급학년이 될수록 과학과목을 어렵게 생각하고 있다고 보고되바 있다.^{8,9} 이러한 결과는 체계적인 과학 개념의 올바른 이해보다는 단편적인 지식의 주입식, 암기식의 교육방식으로부터 기인하는 것으로 볼 수 있다. 주입식, 암기식의 교육은 학생들이 수업에서 배운 과학적 개념들을 올바르게 체계적으로 이해하기보다는 단편적인 지식이나 공식들을 단순히 암기한 후 과학적인 문제의 해결에 필요한 공식들을 기계적으로 사용하는 경향이 있을 수 있다고 보고되바 있다.¹⁰ 이와 관련하여 우리나라의 학생들은 고학년이 될수록 과학에 흥미를 잃을 뿐만 아니라 학교에서 학습한 과학적 지식이 일상생활과는 관계가 없는

것으로 생각하는 경향이 있다고 하였다.^{11,12} 그러나 오늘날과 같은 치열한 과학 기술 경쟁시대에서 제만 문제들을 효과적으로 해결하기 위해서는 과학과 기술의 기초적이고 본질적 개념들을 올바르게 이해하는 것이 필수적이며, 이러한 기초는 학교에서의 교육이 그 토대를 제공하여야 할 것이다.

한국교육개발원의 연구보고서에 의하면, 일반적으로 학교 현장에서의 교육은 교과서를 중심으로 이루어지고 있으며 교과서 이외의 자료들을 사용하는 경우는 매우 드물다고 하였다.¹³ 또한 학생들 역시 과학공부를 할 때 우선 활용하는 자료로 교과서(54%)와 노트(17%)를 사용하고 있다는 연구결과도 있다.¹⁴ 그러므로 학교에서 이루어지는 과학교육에 있어서 교과서의 내용 및 구성이 학생들의 과학적 개념의 올바른 이해와 습득에 매우 중요하게 작용하게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 화학 및 물리학의 주요 개념들 중의 하나인 원자보형과 원자내의 전자배치 및 궤도함수 등에 관한 설명 방식에 대하여 고등학교 화학 II 교과서를 중심으로 그 차이점을 분석하고 학생들의 이해 정도에 대하여 조사하였다. 물론 본 연구에서는 제 6차 교육과정에 의하여 편찬된 교과서들의 내용 및 이를 학습한 학생들을 대상으로 하였으나, 현재의 고등학교 2학년부서는 새로 개정된 제 7차 교육과정에 의하여 학습하고 있으므로 그 차이가 있을 수 있다. 그러나 제 7차 교육과정의 화학 II 교과서의 내용에도 본 연구에서 분석한 단원들이 포함되어 있으므로 제 7차 교육과정에서 화학 II를 학습하는 학생들의 보다 효율적인 학습 방법의 개발을 위해서도 의미가 있다 할 수 있다. 더욱이 전라북도 교육과학연구원의 참고자료에 의하면 이들 단원에 대한 개념의 상당 부분을 물리 II의 교과목에서 다루는 것이므로 화학II의 교과목에서는 상대적으로 간단하게 다룰 것을 권고하고 있다.¹⁵ 그러나 제 7차 교육과정에서의 과학 교과목들에 대한 심화, 선택과정에 의하여 화학 II와 물리 II의 교과목들을 동시에 선택하여 학습하는 학생들

은 상대적으로 많지 않을 것으로 예상된다. 따라서 이들 단원에 대한 학습 성취도는 제 6차 교육과정에 비하여 오히려 지하될 것이 우려되므로 보다 효율적인 학습을 위한 참고자료로서 본 연구를 수행하였다.

원자모형과 원자내의 전자배치 및 궤도함수 등에 관련된 개념의 올바른 이해는 물질의 본질에 대한 기초적인 개념의 습득은 물론, 이들 원자들로 이루어진 화합물의 Lewis 구조, 단일결합과 이중결합과 같은 화학 결합, 화학반응 등 화학 과목에서 다루는 주요 개념들에 대해 보다 함의적이고 체계적인 이해를 위해서도 필수적인 것이라 할 수 있다. 그러나 현대적 개념의 원자모형과 원자 궤도 및 전자배치 등에 관련된 사항들은 본질적으로 양자역학을 토대로 하여 확립된 개념이므로 에너지의 불연속성, 입자·파동 이중성 및 불확정성의 원리 등과 같은 양자역학에 대한 개념들을 이해하여야만 올바르게 이해할 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고, 현실적으로 현재의 중·고등학교의 교과과정에서 이러한 양자역학에 대한 개념들은 Newton 역학으로 대변되는 고전역학 체계의 개념들에 비하여 상대적으로 학생들에게 익숙하지 않은 실정이다. 따라서 양자역학 체계를 기반으로 발전된 현대적 의미의 원자모형과 궤도함수 등에 대한 개념들을 대다수의 학생들이 올바르게 이해하기는 어려운 것이며, 결과적으로 개념의 이해보다는 단순 암기식의 학습이 될 우려가 크다고 할 수 있다. 그러나 이제까지 이에 대한 학생들의 이해 정도를 조사한 연구는 거의 없는 실정이므로 본 연구에서 고등학생들을 대상으로 현대적 의미의 원자 구조와 전자배치 및 궤도함수 등에 대한 개념의 이해정도를 알아보고, 고등

학교 화학 II 교과서를 중심으로 이들 개념에 대한 설명 방식의 차이점들을 분석해 그 개선점에 대하여 논의하여 보고자 한다.

연구 내용 및 방법

개념이해 설문지의 개발 및 조사. 본 연구에서는 고등학생들의 현대적 의미의 원자모형과 전자배치 및 궤도함수 등과 관련된 개념들에 대한 학습성취도의 정도를 조사하여, 이에 대한 보다 적절한 학습 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 고등학생들을 대상으로 개념이해 설문지를 개발하여 화학 전공교수 및 고등학교 화학교사 각각 3인으로부터 자문 및 타당성을 검증 받은 후, 동일한 교과서(I)를 사용하는 인천 시내 인문계 고등학교 2개교의 이과계열 2학년 및 3학년 각 1개반씩을(2학년 34명, 3학년 38명) 대상으로 설문지의 조사를 수행하였다. 설문지는 원자모형의 기본 개념에 대한 4문항, 원자 내 전자에 대한 이해도 4문항, 궤도함수 및 전자배치 개념에 대한 4문항 등, 총 3개 범주 12문항으로 구성하였다(Table 1). 이때 모든 문항은 학생들의 이해정도를 알아보기 위하여 (1)전혀 모름, (2)약간 알고 있음, (3)잘 알고 있음의 세 가지 객관식 선택 항목으로 징하였고, 필요시 보충적인 사항들을 개별적으로 기술하도록 구성하였다. 설문지의 조사 시기는 화학II 교과서의 원자구조 및 전자배치의 교과과정이 2학년의 1학기 과정에 포함되므로 이 과정의 학습이 모두 끝난 2학기 중반에 실시하였다.

화학 II 교과서의 분석. 제 6차 교육과정에 의하여 편

Table 1. Contents of the questionnaire.

Category	No	Content
[Section-1] Concepts of atomic models	1-1	Concept of the wave-particle duality
	1-2	Concept of quantization of energy
	1-3	Concept of uncertainty principle
	1-4	Differences between Rutherford and Bohr atomic models
[Section-2] Concepts of electronic states of atoms	2-1	Concept of electron cloud model
	2-2	Differences between a ground state and an excited state
	2-3	Concept of an electron spin
	2-4	Concepts of quantum numbers
[Section-3] Concepts of atomic orbitals and electron configurations	3-1	Concepts of Pauli's exclusion principle and Hund's rule
	3-2	Concepts of atomic orbitals and shapes
	3-3	Ordering of energy levels of atomic orbitals
	3-4	Concept of hybrid orbitals

찬된 8종의 고등학교 화학 II 교과서를 수집하여 원자 모형과 전자배치 단원의 내용과 설명 방식의 유사점 및 차이점에 대하여 분석하였고, 설문지 조사의 결과와 연계하여 그 개선점에 대하여 논의하였다. 본 연구에 사용된 8종의 화학 II 교과서는 입의로 다음과 같이 A-H로 분류하였다.

A: 소현수와 4인(두산), B: 송호봉외 1인(형설출판사), C: 박원기외 1인(지학사), D: 이원식외 2인(교학사), E: 최명순외 4인(한샘출판사), F: 김시중외 4인(금성출판사), G: 징구조외 2인(동아서적), H: 박택규외 2인(박영사).

연구의 제한점. 본 연구는 인천광역시 소재 동일한 교과서를 사용하는 2개 인문계 고등학교 이과계열 학생들 중 화학 II의 교과목을 선택한 2학년 34명과 3학년 38명만을 대상으로 하였으므로 본 연구의 결과를 일반화하기에는 한계가 있을 것이다.

연구 결과 및 고찰

설문지 결과 분석. Table 2에는 조사대상 2학년 및 3학년 학생들의 개념설문지에 대한 문항별 이해 정도의 비율을 정리하였고, 2학년과 3학년 학생들의 문항별 이해 정도는 약간의 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 예를 들면, 문항 [2-3]의 전자스핀의 개념에 대해서는 2학년의 64.7%의 학생들이 어느 정도는 알고 있는 것으로 응답하였으나 3학년 학생들은 68.4%가 전혀 모르는 것으로

나타났다. 반면에 문항 [3-1]의 Pauli의 배타원리와 Hund의 규칙에 대해서는 정면대로 3학년의 98.4%가 알고 있는 것으로 응답하였으나 2학년은 단지 29.4%만이 알고 있는 것으로 응답하였다. 이러한 결과는 동일한 교과서를 사용한다 하더라도 학교에 따른 담당 교사의 수업 방식의 차이에서 기인하는 것으로 예상되기는 하지만, 이러한 결과는 이 단원과 관련된 물리 II의 교과목의 학습 여부 등과 같은 다른 부수적인 외부요인들에 의하여도 크게 영향을 받을 수 있는 것이므로 이에 대한 합리적인 분석을 위해서는 동일한 학교의 2, 3학년을 대상으로 한 연구와, 다른 종류의 교과서를 사용한 경우 등의 연구들을 병행한 보다 종합적인 연구가 필요할 것이다.

그럼에도 불구하고, 전체적으로는 2학년과 3학년 사이의 문항별 학습 성취도에 대한 차이는 그다지 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 화학 II 과목의 교과과정상 원자구조와 전자배치에 대한 단원이 2학년 1학기 초반에 다루어지고 있으며 이후에는 이러한 부분과 연계되는 보충적인 학습이 지속적으로 이루어지지 않고 있음을 의미하는 것이라 할 수 있을 것이다. 즉 화학 II 과목의 교과과정 중 원자 구조 및 전자배치 부분과 밀접하게 연관되는 부분은 화학결합과 분자구조 단원의 Lewis 구조 및 단일결합과 이중결합에 관한 것인데, 이 단원은 전자배치 부분에서 학습한 원자가전자 및 원자 오비탈의 개념을 부분적으로 이용하고는 있으나 그 연관성의 정도는 그다지 중요하지 않게 다루어지고 있는

Table 2. Level of understanding on the questionnaire of the 11th and 12th grade students.^(a)

Category		Level of understanding					
		No understanding(%)		Partly understanding(%)		Well understanding(%)	
		11th	12th	11th	12th	11th	12th
[Section-1]	1-1	28(82.4)	31(81.6)	6(17.6)	6(15.8)	0(0.0)	1(2.6)
	1-2	24(70.6)	25(65.8)	9(26.5)	11(29.0)	1(2.9)	2(5.2)
	1-3	32(94.1)	38(100.0)	2(5.9)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
	1-4	12(35.3)	5(13.2)	18(52.9)	30(78.9)	4(11.8)	3(7.9)
[Section-2]	2-1	3(8.8)	1(2.6)	24(70.6)	30(79.0)	7(20.6)	7(18.4)
	2-2	6(17.7)	0(0.0)	20(58.8)	29(76.3)	8(23.5)	9(23.7)
	2-3	12(35.3)	26(68.4)	18(52.9)	11(29.0)	4(11.8)	1(2.6)
	2-4	18(52.9)	25(65.8)	12(35.3)	9(23.7)	4(11.8)	4(10.5)
[Section-3]	3-1	24(70.6)	1(2.6)	8(23.5)	33(86.9)	2(5.9)	4(10.5)
	3-2	10(29.4)	6(15.8)	19(55.9)	30(78.9)	5(14.7)	2(5.3)
	3-3	13(38.2)	1(2.6)	12(35.3)	22(57.9)	9(26.5)	15(39.5)
	3-4	28(82.4)	36(94.7)	5(14.7)	2(5.3)	1(2.9)	0(0.0)

^(a) 34 and 38 students for the 11th and 12th grade, respectively, were participated in this questionnaire.

실정이다. 따라서 2학년과 3학년 학생들간의 원자 구조 및 전자배치 부분에 대한 개념의 이해정도가 그다지 크지 않게 나타난 것이라 할 수 있다.

한편, Table 2에서 볼 수 있듯이 [Section-1]의 원자 모형의 기본개념에 대한 문항들 중에서 [1-4]의 Rutherford와 Bohr의 원자모형의 차이점에 대한 문항을 제외한 현대적 원자모형의 기본 개념이 되는 입자-파동 이중성, 에너지의 불연속성 및 불확정성의 원리에 대한 기본 개념들에 대한 이해도가 2학년과 3학년 모두에서 매우 낮게 나타났음을 알 수 있다. 특히 현대적인 원자모형의 기본을 이루는 양자역학의 입자-파동 이중성에 대한 기본 개념의 이해 정도(문항[1-1])는 2학년과 3학년 모두 82%의 학생들이, 에너지의 불연속성에 대한 이해정도(문항[1-2])는 2학년의 71% 및 3학년의 66%의 학생들이, 그리고 전자 구름 원자모형의 기본이 되는 불확정성의 원리(문항[1-3])에 대하여는 2학년과 3학년 모두 거의 모든 학생이 전혀 모르고 있는 것으로 응답했다.

이러한 결과는 현재 고등학교의 교과구성상 입자-파동 이중성에 대한 기본적인 개념은 주로 물리 II 단원 IV의 파동과 입자단원에서 다루고 있으나, 제 6차 교육과정이 도입되면서 대학수학능력시험에 공통과학 이외에 물리 II, 화학 II, 생물 II 또는 지구과학 II의 과목들 중 단 한 과목만을 선택하여 시험 보게 되면서부터 화학 II를 선택한 학생들이 물리 II를 중복하여 선택하지 않는 결과를 반영하는 것이라 할 수 있다. 이러한 현상은 혁신적이라고 불리는 제 7차 교육과정이 적용되는 학생들에 있어서는 더욱 심화될 것으로 우려된다 할 수 있다. 즉 제 7차 교육과정이 적용되는 학생들에 있어서는 인문계와 자연계의 구별이 없고, 고등학교 2, 3학년의 선택 교육과정의 운영에 의해 경우에 따라서는 지구과학 한과목만 선택하거나 과학을 전혀 선택하지 않아도 좋도록 되어 있으므로 이러한 현상이 더욱 심화될 것으로 우려된다 할 수 있다.

반면에 대부분의 화학 II 교과서에서 다루고 있는 문항 [1-4]의 Rutherford와 Bohr의 원자모형에 대하여는 2학년의 65%, 그리고 3학년의 87%의 학생들이 그 차이점을 알고 있는 것으로 응답하였다. 이러한 결과는 학교 현장에서의 교육은 교과서를 중심으로 이루어지고 있다는 한국교육개발원의 연구 결과¹³ 및 학생들 역시 과학공부를 할 때 우선 활용하는 자료로 교과서와 노트를 사용하고 있다는 연구결과와 잘 일치하는 것이라 할 수 있다.¹⁴ 그럼에도 불구하고 Rutherford와 Bohr의 원

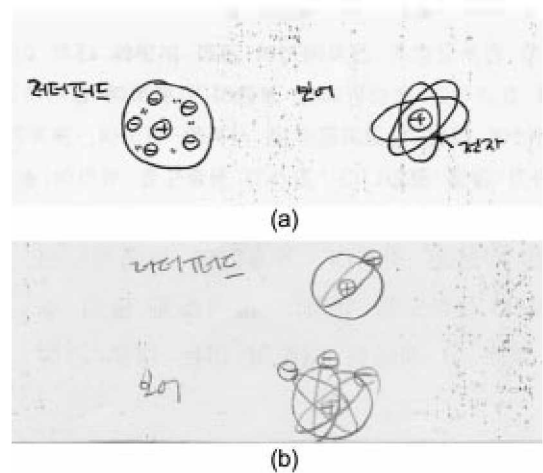


Fig. 1. Some samples of answers on question [1-4] of the questionnaire among students who partly or well understood. (a) This student confused the Thomson and Rutherford atomic models. (b) An example showing misunderstanding the Rutherford and Bohr atomic models.

자모형의 차이점에 대하여 알고 있다고 응답한 학생들 중 몇몇은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 Rutherford의 원자모형과 Thomson의 원자모형을 혼동하고 있는 것으로 나타났으며(Fig. 1a), Bohr의 원자모형과 Rutherford의 원자모형의 차이점을 명확하게 구별하지 못하고 있는 것으로 나타났나(Fig. 1b).

[Section-2]의 원자내의 전자상태에 대한 개념들에서 문항[2-1]의 전자 구름에 대한 개념은 대다수의 학생들이 알고 있는 것으로 응답하였는데, 이는 전자 구름 모형의 기본적인 개념이 되는 불확정성의 원리에 대한 문항[1-3]에서 조사대상 학생들의 대다수가 전혀 알고 있지 못하다고 응답한 결과와는 상반되는 것이라 할 수 있다. 이러한 결과는 대부분의 화학 II 교과서들에서 전자 구름 모형의 기본 원리가 되고 있는 불확정성의 원리에 대한 개념적인 설명은 생략하고 단순히 전자 구름 모형에 대한 현상적인 설명만을 기술하고 있기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서 학생들에게 전자 구름 모형에 대한 학습이 단순 암기식의 교육이 아닌 보다 체계적이고 올바른 과학적 개념을 형성하도록 하기 위해서는 불확정성의 원리에 대한 기본적인 설명을 전자 구름 모형의 설명에 앞서 간단하게라도 기술하는 것이 효과적일 것으로 생각된다.

문항[2-2]의 전자의 바닥상태와 들뜬 상태에 대한 개념의 이해정도는 2학년과 3학년 모두에서 상대적으로

높은 것으로 나타났는데 이러한 결과 역시 대부분의 화학 II 교과서들에서 Bohr의 원자모형에서 전자의 궤도간 전이에 해당하는 에너지 차이를 설명하며 전자들의 바닥상태와 들뜬 상태에 대하여 설명하고 있기 때문일 것으로 추정할 수 있다.

반면에 문항[2-4]의 전자의 상태를 기술하는 양자수 개념에 대해서는 상대적으로 이해도가 낮은 것을 알 수 있는데, 조사 대상 학생들이 사용하는 교재(1)¹⁾에서 양자수에 대한 개념을 자세히 다루고 있지 않기 때문으로 분석할 수 있다. 이러한 상황은 일반적으로 대부분의 고등학생들에게 있어 공통적인 현상일 것으로 예측할 수 있는데, 이는 대부분의 화학 II 교과서들에서 이들 양자수에 대한 개념을 다루고 있지 않기 때문이다. 물론 이들 양자수에 대한 개념은 고등학교 교과과정에서 자세히 다루기에는 적절치 않은 면이 있음을 인식하지만 전자배치 및 원자 오비탈의 보다 명확한 개념적인 설명을 위하여 간단하게나마 기술하는 것이 타당한 것으로 생각한다.

그 근거는 설문지[Section-3]의 문항들 중 [3-1]의 원자내 전자 배치에 관련된 Pauli의 배타원리와 Hund의 법칙에 대한 이해 정도의 조사에서 입증된다 할 수 있다. 즉 문항 [3-1]에 대한 조사대상 학생들의 이해도는 2학년의 71%가 전혀 모름에 응답하였으나, 3학년의 경우는 반대로 거의 대부분(97%)의 학생들이 약간 내지는 잘 알고 있다는 응답을 하였다. 그러나 앞선[Section-2]의 문항 [2-3]과 [2-4]의 전자스핀과 양자수에 대한 개념의 이해도는 3학년 학생들이 2학년 학생들과 유사하거나 오히려 낮게 나타나고 있다. 이러한 결과는 전자 스핀이나 양자수에 대한 개념은 모르더라도 3학년 학생들의 경우 대학수학능력시험에 대비한 시험공부로서 Pauli의 배타원리에 의하여 각 원자 궤도함수(오비탈)내에 2개의 전자들이 채워질 수 있으며, Hund의 법칙에 의하여 각각의 오비탈들에 먼저 전자들이 하나씩 채워진다는 전자배치에 대한 사항들을 개념적인 이해보다는 단순 암기식으로 학습한 결과로서 나타난 현상으로 추정할 수 있을 것이다. 이러한 추정은 Pauli의 배타원리와 Hund의 법칙에 대하여 알고 있다고 응답한 3학년 학생들 중 상당수가 다음 Fig. 2에 나타난 것과 같은 오류를 범하고 있는 것에서 이들 개념들에 대한 올바른 이해가 이루어지지 않고 있는 것임을 확인할 수 있다. 즉 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 상당수의 학생들이 Pauli의 배타원리와 Hund의 규칙에 대하여 혼동하거나 개념적인

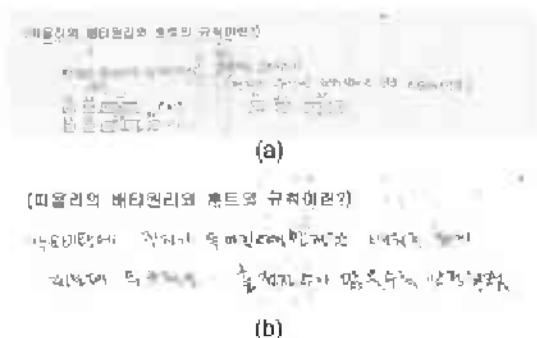


Fig. 2. Two examples of the mis-understanding on Pauli's exclusion principle and Hund's rule among students who partly or well understood the question [3-1] of the questionnaire.

오류를 범하고 있는 것을 알 수 있다.

더 나아가 이러한 단순 암기식의 학습 결과는 문항 [3-3]의 오비탈들의 에너지 준위와 이들 오비탈에 전자들이 채워지는 순서에 대한 2학년과 3학년 학생들의 이해 정도의 차이에서 보다 명확하게 나타난다고 할 수 있다. 즉 문항 [3-3]은 본질적으로 양자역학에 기초한 모든 원자 궤도함수의 개념을 종합한 것이기는 하지만 현실적으로 고등학교의 교과과정에서는 이들 오비탈들의 에너지 준위에 대한 순서를 쌍용원리에 의하여 암기식으로 교육하고 있는 실정이며, 따라서 이에 대한 이해 정도가 2학년 학생들의 34%가 전혀 모른다고 응답한 반면에 3학년 학생들의 경우는 단지 3%의 학생만이 모른다고 응답한 결과는 3학년 학생들이 대학입시에 대비한 학습 결과로서 나타난 것이라 할 수 있을 것이다. 이러한 고등학교에 있어서의 단순 암기식의 학습이 대학생들을 대상으로 조사한 연구들에서 연구 대상 학생들이 Lewis 구조를 잘 이해하지 못하고 있다는 결과들과^{16,17)} 밀접하게 관계가 있을 것으로 예상할 수 있다. 즉 최근의 연구 결과에 의하면, 원자의 전자배치나 최외각 전자들에 대해서는 연구 대상 대학생들의 대부분이 완전히 이해하고 있는 반면에 Lewis 구조에 대해서는 잘 이해하지 못하고 있는 것으로 보고된바 있다. 특히 일부 학생들은 Lewis 구조에 대하여 octet 규칙에 따라 원자의 최외각 전자들을 채배치한다는 올바른 개념을 가지고 있으면서도 문제에 제대로 적용시키지 못하였는데 이는 과학적 개념을 문제에 적용시키는 응용력이 부족하기 때문인 것으로 분석하였다.¹⁷⁾ 결과적으로 이러한 현상은 전자배치에 대한 고등학교에서의 학습이 단순 암기식으로 이루어진 결과로도 무관하지는 않을 것이다.

마지막으로 문항 [3-4]의 혼성 궤도함수에 대한 이해 정도는 이러한 문항이 일반적으로는 고등학교의 교과 과정 이상의 수준이라 할 수 있지만, 고등학생들의 학습 수준 정도를 알아보기 위한 척도로서 의미가 있을 것이다. 즉 혼성궤도 함수 자체의 개념은 원자구조 및 전자배치 부분의 학습 과정과는 직접적인 연관이 없을 지라도 이어지는 화학결합과 화합물 단원에서 분자의 모양을 예측하고 설명함에 있어 원자 오비탈의 개념을 사용하여 그 기초를 제공하는 개념이므로 학생들의 학습 수준의 정도를 조사하기에는 유용할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 이러한 혼성궤도 함수에 대한 이해 정도는 조사대상 2학년 18%, 및 3학년 5%로 매우 낮은 것으로 나타나 조사 대상 학생들의 교과과정 이외의 보충적인 학습은 대체적으로 이루어지고 있지 않은 것으로 분석되었다.

화학 II 교과서의 분석. 본 연구에서 분석한 8종의 화학 II 교과서들의 “원자모형과 전자배치” 부분의 구성과 설명방식은 전반적으로 유사한 형태들을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 즉, 세부적으로는 그 구성방식들이 약간씩 다르기는 하지만 대체적으로 (i) 전자기복사와 수소원자 스펙트럼, (ii) 원자모형들의 설명, (iii) 원자 궤도함수(오비탈), (iv) 원자궤도내의 전자배치의 설명방식으로 내용이 구성되어 있다.

이러한 설명방식의 구성에서 전자기 복사와 수소원자 스펙트럼에 관한 설명 부분은 입자·파동 이중성 및 에너지 상태의 불연속성 등과 같은 양자역학의 개념에 기초한 현대적 원자모형의 설명을 위하여 필수적으로 필요한 부분이기도 하지만, 본 연구에서 분석한 8종의 교과서들에 기술되어 있는 내용들만으로는 이러한 내용이 원자모형의 설명을 위하여 어떠한 연관성을 갖는지 대다수의 학생들이 이해하기가 쉽지 않을 것으로 분석되었다. 즉 본 연구에서 분석한 8종의 화학 II 교과서들에서는 전자기 복사 및 수소원자 스펙트럼의 실험 결과들로부터 수소원자 궤도에너지 준위의 불연속성에 대한 개념들을 설명하고 있는데, 이러한 부분은 분광학은 물론 양자역학의 기초적인 개념에 대하여 익숙하지 않은 학생들이 올바르게 이해하기는 쉽지 않을 것이다. 예를 들면, 몇 가지 종류(B, C, D, E, G, H)의 교과서에서 수소원자 스펙트럼의 결과로부터 수소원자 궤도 에너지 준위의 불연속성을 설명하기 위하여 특정한 에너지를 가지는 궤도에 위치하는 전자들 계단 또는 사다리에 위치한 물체들에 비유하여 이들 물체들이 계단이나

사다리의 면에는 안정하게 위치할 수 있으나 층계 사이에는 존재할 수 없다는 설명을 하고 있다. 이러한 비유들이 Bohr의 원자모형을 설명하기에는 적절한 것이라 할 수 있으나 자칫 전자 자체의 에너지가 불연속적으로 변하는 “상태”의 개념으로 이해되기보다는 전자들의 “위치”에 대한 단순한 공간적인 개념으로 잘못 이해할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 이러한 예상은 앞에서 분석한 입자·파동 이중성과 에너지의 불연속성에 대한 이해 정도에 대한 설문 조사(문항[1-1] 및 [1-2])에서 조사대상 학생 2학년과 3학년 모두에서 대다수가 이해하지 못하고 있는 결과에서 확인할 수 있는 것이며, 이러한 경우 학생들이 에너지의 불연속성에 대해 잘못된 오개념을 가질 수 있는 가능성이 크다고 할 수 있을 것이다.

한편, 대부분의 교과서들에서 Bohr의 원자모형을 이용하여 바닥 상태와 들뜬 상태의 전자 에너지 상태에 대하여 설명한 후, 이러한 상태들 사이의 전자의 이동에 수반하는 에너지 변화에 대하여 수소원자 전스펙트럼의 Balmer, Lyman 및 Paschen 계열 등의 전이로 전자들의 궤도간 이동에 의한 에너지 변화를 설명하고 있다. 즉 Bohr의 원자모형은 전자들이 원자핵 주위의 일정한 궤도를 회전하는 것으로 설명하여 궤도간 전자들의 전이에 의한 에너지 변화를 계단이나 사다리의 비유와 같은 설명과 연관지어 학생들이 상대적으로 쉽게 이해할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이러한 예상은 설문조사에서 Bohr의 원자모형(문항 [1-4]) 및 바닥상태와 들뜬 상태(문항 [2-2])에 대한 학생들의 상대적으로 높은 이해 정도와 잘 일치하는 것이라 할 수 있다.

그러나 이어지는 궤도함수(오비탈)의 부분에서는 Bohr의 원자모형이 수소 원자의 스펙트럼은 잘 설명할 수 있었으나 전자가 많은 원자들의 스펙트럼의 경우는 잘 맞지 않는 제한적인 모형으로 현재는 Bohr의 모형이 전자 구름 모형에 의하여 수정되었다고 기술하고 있는데, 이러한 기술 방식은 학생들에게 Bohr의 원자모형을 이용한 설명들이 실제적으로 타당한 것인지에 대하여 혼란을 줄 수 있을 것이다. 즉 대부분의 화학 II 교과서들에서 Bohr의 원자모형에 대하여는 상대적으로 자세히 기술하고 있으며, 특히 전자가 원자핵 주위의 일정 궤도를 회전하는 “공간”적인 개념과 같이 기술하여 전자들의 바닥상태와 들뜬 상태를 설명한 후에 곧이어 전자 구름 모형에서는 전자가 핵 주위의 일정 궤도를 회전하고 있는 것이 아니라 단지 핵 주위의 특정 공간에서 전

자를 발견할 확률만을 구할 수 있다고 설명하고 있다.

이러한 기술 방식은 앞에서 논의한 바와 같이 설문지의 조사에서 분항 [1-1]과 [1-2]의 입자-파동 이중성 및 전자자체의 에너지가 불연속적으로 변하는 ‘상태’의 개념에 대한 학생들의 이해도가 부족한 경우에는 선행학습으로 Bohr의 원자모형에 익숙해진 학생들에게 개념적인 혼란을 야기할 수 있을 것으로 예상된다. 물론 몇 종의(A, B) 교과서들은 Bohr의 원자모형이 전자 구름 모형에 의하여 수정되었다 하더라도 Bohr의 원자모형에 의하여 예측된 수소원자의 궤도에너지 준위가 전자 구름 모형에 의하여 계산된 에너지 준위와 잘 일치한다고 설명하고 있기는 하지만 대부분의 교과서에서는 이러한 연관관계에 대한 기술이 대체적으로 부족한 것으로 분석되었다.

다음으로 Bohr의 원자모형을 수정한 전자 구름 모형에 대한 설명방식은 교과서에 따라 약간의 차이를 보이고 있지만 대체로 다음과 같은 세 가지 형태로 분류할 수 있다.

(i) 전자의 속도가 매우 빠르므로 운동하는 전자의 위치를 정확히 측정할 수 없으며 단지 핵 주위의 공간 영역에 존재하는 확률로서 나타낼 수 있다(D, E, F, G).

(ii) 전자가 입자성과 파동성을 함께 가지고 있으므로 전자의 운동을 정확히 추적할 수는 없으며 특정한 위치에서 전자를 발견할 확률을 계산할 수 있다(A).

(iii) 하이젠베르크의 불확정성 원리에 의하여 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없으며 전자가 원자핵 주위에서 발견되는 영역을 확률적으로 나타내어야 한다(B, H).

이상과 같은 전자 구름 모형에 대한 설명들은 그 기술 방식이 약간 다르다 하더라도 공통적으로 확률의 개념에 의하여 전자의 위치를 나타낼 수 있다는 것인데, 이러한 확률의 개념에 의한 전자의 상태에 대한 설명에서 본 연구에서 분석한 8종의 교과서들 중 4종의 교과서들에서 위에서 분석한 설명방식 (i)과 같이 단순히 ‘전자가 매우 빠른 속도로 운동하므로 이와 같이 빠른 속도로 운동하는 전자의 위치를 정확히 측정할 수 없다’고 기술하는 것은 학생들에게 불확정성의 원리에 대한 오개념을 형성할 수 있는 설명 방식이므로 수정되어야 할 것으로 분석되었다.

또한 설명방식 (ii)와 (iii)과 같은 설명 방식에 의한 전자 구름 모형에 대한 기술은 양자역학적인 개념상 그 기술 방식은 올바르다 할지라도 이러한 간략한 설명 방식은 앞에서 기술한 바와 같이 양자역학에 대한 기본적

인 개념들에 대하여 익숙하지 않은 학생들이 제대로 이해하기는 쉽지 않을 것으로 예상할 수 있다. 즉 Table 2에서 볼 수 있듯이 입자-파동 이중성과 불확정성의 원리에 대한 이해도를 조사한 설문지의 조사 분항 [1-1] 및 [1-3]에서 조사 대상 학생들의 대다수가 잘 알지 못하고 있는 것으로 나타나 전자 구름 모형에 대한 설명 방식 (ii)와 (iii)과 같은 단순한 기술에 의하여는 학생들의 이해도가 매우 낮을 것으로 예측할 수 있다.

따라서 이러한 전자의 에너지 상태의 불연속성과 전자 구름 모형 등과 같은 기본적인 개념들에 대한 올바른 이해를 돕고, 혹시 발생할 수 있는 오개념의 가능성을 최소화하기 위해서는 기초적인 분광학과 양자역학의 개념에 대한 설명이 선행되거나 보충되어야 할 것으로 분석되었다. 물론 이러한 과정은 현재의 고등학교의 교과구성상 물리 II의 단원 IV의 파동과 입자단원에서 다루고 있으므로 이러한 과정에 의하여 어느 정도 보완될 수 있을 것이다. 그러나 현실적인 문제점은 앞에서 이미 언급한 바와 같이 현재의 고등학교 교과과정상 학생들이 공통과학 이외에 물리 II, 화학 II, 생물 II 또는 지구과학 II의 과목들 중 단 한 과목만을 선택하여 학습하던 되므로 화학 II를 선택한 학생들이 물리 II를 중복하여 선택하지 않는다는 것이다. 결과적으로 화학 II를 선택한 학생들이 기초적인 분광학과 양자역학의 개념에 대해 실제적으로 학습할 수 있는 기회는 교과 구성상 본 연구에서 분석한 전자배치와 원자구조 단원이 유일하다 할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 약점을 보완하려면 현재 몇몇의 교과서들에서 기술되어 있는 것보다 같이 심화학습 또는 참고사항 등의 부분에 양자역학의 입자-파동 이중성이나 에너지의 불연속성 등에 대한 기본적인 사항들을 간략하게라도 기술하는 것이 학생들의 이해를 돕는 보완 방법중의 하나가 될 것이라 할 수 있을 것이다. 물론 이와 같이 추가적인 설명을 기술하는 방식이 현실적으로 교과서의 분량과 수업시간 등의 제한으로 인하여 쉽지 않을 것이다. 그럼에도 이들 단원의 내용들이 화학결합 등과 같이 중요한 화학적 개념의 기초가 될 뿐만 아니라, 대학교의 자연 및 공학계열에서 교양필수 내지는 교양선택의 과목으로 이수하여야 하는 일반화학의 교과내용에 필수적으로 포함되어 있으므로 상급 교과과정과의 보다 효율적인 연계를 위하여도 지속적인 연구를 통하여 합리적인 개선점이 도출되어야 할 것이다.

마지막으로 설문조사의 결과 한가지 흥미로운 결과

를 볼 수 있다. 즉 Pauli의 배타원리와 Hund의 법칙과 같은 오비탈내의 전자배치의 실제적인 기본이 되는 전자스핀(분항 [2-3])에 대한 이해도는 오히려 3학년들이 낮게 나타났음에도 불구하고, Pauli의 배타원리와 Hund의 법칙(분항 [3-1])과 오비탈의 에너지 준위의 순서(분항 [3-3])와 같은 원자내 전자 배치 방식에 대한 이해정도는 3학년이 2학년 학생들에 비하여 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대부분의 화학 II 교과서들에서 전자스핀에 대한 개념의 언급이 없이 단순히 Pauli의 배타원리와 Hund의 법칙에 의하여 원자 오비탈내에는 최대 2개의 전자만이 채워질 수 있으며 동일한 에너지 상태를 갖는 오비탈들에는 전자 반발을 최소화하기 위하여 먼저 1개씩의 전자들이 채워진다고 기술하고 있기 때문으로 해석할 수도 있을 것이다. 그러나 실제로는 3학년 학생들의 경우 전자스핀의 개념을 인지하지 못하고 있다하더라도 수확능력시험에 대비하여 전자배치에 대해서는 단순 암기방식으로라도 2학년보다는 상대적으로 많이 학습한 결과에서 기인한 가능성이 보다 클 것으로 예상할 수 있을 것이다. 따라서 전자스핀에 대한 자세한 설명은 고등학교의 교과범위를 벗어난 것이라고 할 수도 있으나, 원리의 설명이 없는 현재와 같은 Pauli의 원리와 Hund의 법칙에 대한 기술 방식은 체계적인 과학 개념의 올바른 이해보다는 단편적인 지식의 주입식, 암기식의 교육방식으로 치우칠 수 있는 소지를 내포하고 있다고 볼 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 인문계 고등학교 이과계열 학생들 중 화학 II의 교과 과목을 선택한 2학년과 3학년 학생들의 ‘원자모형과 전자배치’ 단원에 대한 개념 이해정도를 알아보기 위하여 개념설문지를 사용하여 조사하였고, 제 6차 교육과정에 의하여 편찬된 8종의 고등학교 화학 II 교과서의 기술 방식들에 대한 유사점 및 차이점을 분석하여 개념설문지 조사 결과와 연계하여 그 개선점에 대하여 논의하였다.

개념설문지의 조사결과 ‘원자모형과 전자배치’ 단원에 대한 조사대상 학생들의 이해정도는 2학년과 3학년 학생들 사이에서 분항별로 부분적인 차이를 보이기는 하지만 전체적으로는 그다지 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 특히 ‘원자모형과 전자배치’ 단원에서의 체계적이고 올바른 과학적 개념의 형성을 위하여 필

수적이라 할 수 있는 입자파동 이중성, 에너지의 불연속성 및 불확정성의 원리 등과 같은 기본적인 양자역학 개념들에 대한 이해도는 조사 대상 2학년은 물론 3학년 학생들에 있어서도 매우 낮은 것으로 나타났으며, 단지 단순 암기식의 학습을 통하여 학습하였을 것으로 예상되는 오비탈들의 에너지 준위의 순서 및 이들 오비탈들에 대한 전자배치 부분에 있어서만 3학년이 2학년 학생들에 비하여 상대적으로 이해도가 높은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 고등학교의 교과과목상 ‘원자모형과 전자배치’에 대한 교과 과목이 인문계 고등학교 이과 계열의 2학년 1학기 초반에 다루어지고 있으며 이후에는 이러한 부분과 연계되는 개념상의 보충적인 학습이 지속적으로 이루어지지 않고 있음을 나타내며, 단지 3학년에 있어 대학 입시에 대비한 부분적인 암기식의 학습만이 주로 이루어지고 있음을 의미하는 것이라 할 수 있을 것이다.

따라서 이러한 전자의 에너지 상태의 불연속성과 전자 구름 모형 등과 같은 기본적인 개념들의 올바른 이해를 돕고, 혹시 발생할 수 있는 오개념의 가능성을 최소화하기 위해서는 기초적인 분광학과 양자역학의 개념에 대한 설명이 선행되거나 보충되어야 할 것이다. 물론 제 6차 교육과정이 적용되고 있는 고등학교 학생들의 교과구성은 이상과 같은 양자역학적인 기본 개념들을 물리 II의 단원 IV의 파동과 입자단원에서 다루고 있으므로 이러한 과정에 의하여 어느 정도 보완될 수 있을 것으로 기대할 수 있으나, 현실적으로 제 6차 교육과정의 고등학교 교과과목상 학생들이 공통과학 이외에 물리 II, 화학 II, 생물 II 또는 지구과학 II의 과목을 중 단 한 과목만을 선택하여 학습하면 되므로 화학 II를 선택한 학생들이 물리 II를 중복하여 선택하지 않는다는 것이다. 결과적으로 화학 II를 선택한 학생들이 기초적인 분광학과 양자역학의 개념에 대해 실제적으로 학습할 수 있는 기회는 교과 구성상 본 연구에서 분석한 전자배치와 원자구조 단원이 유일하다 할 수 있을 것이다. 더욱이 앞으로 제 7차 교육과정이 적용되는 학생들에 있어서는 제 6차 교육과정과는 달리 인문계와 자연계의 구별이 없고 고등학교 2학년 및 3학년의 선택 교육과정의 운영에 따라 과학관련 교과목의 학습 기회현상이 더욱 현격할 것으로 우려되므로 이러한 현상은 더욱 심화될 것으로 예상할 수 있다.

그러나 학교 현장에서의 교육은 교과서를 중심으로

이루어지고 있다는 한국교육개발원의 연구보고서¹³ 및 학생들 역시 과학공부를 할 때 우선 활용하는 자료로 교과서와 노트를 사용하고 있다는 연구결과들과¹⁴ 잘 일치하는 것으로서 개념설분지의 조사에서 나타난 결과들을 보면 전반적으로 교과서에 기술된 사항들에 대한 조사 대상 학생들의 이해도는 부분적으로 잘못 이해하고 있다 하더라도 상대적으로 높게 나타난 것을 알 수 있다. 따라서 앞에서 논의한 바와 같이 현재의 고등학교의 교과 구성상 “원자보형과 전자배치” 단원의 효과적이고 체계적인 학습을 위해 필수적으로 선행되거나 보충되어야만 하는 기초적인 분광학과 양자역학에 대한 개념들에 대한 학습이 이루어지는 것이 현실적으로 어렵다면, 현재 몇 종의 화학 II 교과서들에서 기술되어 있는 방식과 같이 심화학습 또는 참고사항 등의 부분에 양자역학의 입사-파동 이중성이나 에너지의 불연속성 등과 같은 기본적인 사항들을 간략하게라도 기술하는 것이 학생들의 이해를 돕는 한가지의 보완 방법이 될 것이라 할 수 있을 것이다.

본 연구의 수행에 많은 도움과 조인을 해주신 이화여자 대학교의 박종윤 교수님과 인하대학교의 이익춘 교수님께 감사드립니다.

인용 문헌

1. 교육부, *과학과 교육과정*, 대학교과서 주식회사: 서울, 1997.
2. Wandersee, J. H.; Mintzes, J. J.; Novak, J. D. In *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*.

- Gable, D. L., Ed.: MacMillan Publishing Co.: New York, 1994, pp. 177-210.
 3. Pfund, H.; Duit, R. *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education*. Kiel: Institute of Science Education, University of Kiel, 1993.
 4. Driver, R.; Guesene, E.; Tiberghien, A. In *Children's Ideas in Science*. Driver, R.; Guesene, E.; Tiberghien, A. Eds.: Milton Keynes: Open University Press: 1985, p. 193.
 5. Gilbert, J. K.; Osborn, R. J.; Fensham, P. J. *Science Education* **1982**, *66*, 623.
 6. Gilbert, J. K.; Swift, D. J. *Science Education* **1985**, *69*, 681.
 7. Hashwch, M. Z. *European Journal of Science Education* **1986**, *8*, 229.
 8. 한유화; 강대훈; 양일호; 백성혜; 박국태 *대한화학회지*, **1999**, *43*, 340.
 9. 강대훈; 백성혜; 박국태 *화학교육* **1998**, *25*, 207.
 10. Bunce, D. M.; Gabel, D. L.; Samuel, J. V. *Journal of Research in Science Teaching*, **1991**, *28*, 505.
 11. 송진웅; 박승재; 장징애 *한국과학교육학회지* **1992**, *12*, 109.
 12. 권재술 *한국과학교육학회지* **1991**, *11*, 117.
 13. 한국교육개발원, 교과서 정책과 내용 구성방식 국제 비교 연구, 연구보고 PR95-17, 한국교육개발원, 1995.
 14. 김효진; 김연규; 박현주 *대한화학회지* **1999**, *43*, 552.
 15. 전라북도 교육과학정보원, *고등학교 교육과정해설(과학)*, URL: [http://board.cein.or.kr/board-mboard.cgi?db-edu7th.board81&path=cein_or_kr28&cmd=download.1.14&index-&filename=고등학교교육과정해설\(과학\).hwp](http://board.cein.or.kr/board-mboard.cgi?db-edu7th.board81&path=cein_or_kr28&cmd=download.1.14&index-&filename=고등학교교육과정해설(과학).hwp)
 16. Fountain, K. R. *Journal of Chemical Education* **1997**, *74*, 354.
 17. 이상원; 권정근; 김정미; 박국태 *대한화학회지* **1992**, *46*, 279.
- *본 연구에서 분석한 고등학교 화학II 교과서들은 참고문헌에서 생략하였음.