

학습경험을 바탕으로 학생들이 제시하는 고등학교 화학교과 내의 어려운 개념과 문지방개념 분석연구

박은정*

숙명여자대학교 교육대학원
(접수 2013. 10. 23; 게재확정 2014. 1. 10)

Analysis and Identification of Students' Threshold Concepts in High School Chemistry

Eun Jung Park*

Education Department, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea.

*E-mail: ejpark2012@sookmyung.ac.kr

(Received October 23, 2013; Accepted January 10, 2014)

요 약. 본 연구는 과학학습의 어려움이나 낮은 흥미도의 한 원인으로 과학 교과학습에서의 중요한 통로 혹은 입구에 해당하는 문지방개념의 존재를 가정하고 특히 화학의 어떠한 개념들이 여기에 해당하는지를 알아보았다. 또한, 각 개념의 속성이 무엇이며 개념을 이해하고 “아~하”의 깨달음을 얻는 경험은 어떠한지도 함께 알아보았다. 이를 위해, 화학 II를 학습한 239명의 고등학생이 연구에 참여하였고 설문에 대한 응답으로 화학 교과의 어려운 개념이 무엇인지, 문지방에 해당하는 개념이 무엇인지, 혹은 문지방개념을 이해한 경험이 화학 학습에 어떠한 영향을 주었는지를 설명하였다. 몰과 원자구조가 화학 교과의 문지방개념으로 제시되었고 구체적으로는 제시된 두 개념이 문지방개념이 되는 속성이 무엇인지를 집중적으로 분석하였다. 문지방을 극복하고 이해하는 것은 각자의 경험에 따르지만, 문지방개념을 분석하는 기준은 각각의 경험에 일정한 준거를 제시하여 서로 다른 경험들을 객관화 시킬뿐 아니라 개념의 과학적 의미와 본성을 잘 드러내어 준다. 특히, 교사가 제시하는 화학의 문지방개념을 조사한 사전연구와의 비교는 문지방개념의 통합적 속성이 학생들의 학습과 과학흥미도 증진에 중요함을 보여준다.

주제어: 문지방개념, 어려운개념, 과학흥미도, 통합적속성

ABSTRACT. Concerning the difficulty of learning science and reduced interest in science, the authors of this study searched for potential threshold concepts which are portals or gateways in the field of science (particularly chemistry). The nature of these concepts and how to overcome their troublesomeness were further questioned. For this study, 239 high school students completed chemistry II provided information about what difficult concepts and potential threshold concepts in high school chemistry are and how they affect learning chemistry. In particular, the mastery experience of the threshold concepts was explored in detail. Two, “mole and atomic structure” were selected as threshold concepts in chemistry. Not only as important but also as threshold, this study emphasized the importance of the two concepts in terms of features characterizing them as threshold concepts. In particular, the features objectify subjective experiences of students and provide information describing the scientific meaning and distinctive nature of threshold concepts in science. Along with the data from teachers, this study shows the integrative feature as key criteria for students to make meaningful understanding of the two threshold concepts.

Key words: Threshold concepts, Difficult concepts, Interest in science, Integrative property

서 론

과학과 기술은 다양한 분야에서 빠른 성장을 이루고 있으며 새롭게 형성된 매체를 통해 손쉽게 접할 수 있는 정보로 가까이 다가와 있다. 이에 맞추어 과학적 소양을^{1,2} 갖추고 창의적 사고를^{3,4} 할 수 있는 인재를 양성하기 위한 시도가 과학교육 분야에서 여러모로 진행 중이다.⁵ OECD에

서 주관하는 학업성취도의 국제비교 연구(PISA: Program for International Student Assessment)의⁶⁻¹⁰ 결과를 들여다 보면 우리나라 만 15세(중3 혹은, 고등학교 1학년 대상) 학생들이 연구에 참여한 다른 국가의 학생들에 비해 높은 과학적 소양과 성취 수준을 갖추고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 교육 분야의 꾸준한 노력과 학업 성취에서의 좋은 성과에도 불구하고 일반 학교현장(특히, 고

등학교)에서 체험하는 과학교육의 현실에 대해서는 우려의 목소리가 높다. 이를 반영하듯, 우리나라 학생들의 과학에 대한 자아개념이나 흥미도는 상대적으로 다른 국가의 학생들에 비해 낮으며 학교 교육의 효용에 관해서는 많은 학생이 의구심을 가지는 것으로 나타났다. 실제 10여 년 전부터 사회적 문제로 대두한 이공계 대학 지원기피 현상¹¹⁻¹⁸ 그리고 수학능력 평가에서 선택되지 않은 과목에 대한 무관심과 낮은 지식수준은 함께 고민해야 할 문제가 되었다. 이는, 과학기술의 발전과 혜택은 좋은 것이지만, 그 발전의 근간이 되는 기초과학 분야의 미래 인재가 되겠다는 젊은이들이 많지 않다는 것을 의미한다. 과학적 소양을 갖춘 과학 인재를 양성하기 위해서는 과학에 관한 긍정적인 태도와 과학흥미도를 향상하는 것이 중요하며 이를 위한 분석적 연구와 실효성 있는 방법의 개발은 현재 과학교육계가 해결해야 할 중요 과제이다. 흥미도를 키워드로 진행한 많은 연구가 교사, 학습자료, 학교환경, 그리고 학생의 지적, 정서적 인지 발달 상태 등을 흥미도를 결정하는 주요 요인으로 분석하고 있다.^{19,20} 이와 관련해 저자는 본 연구에 앞서 우리나라 고등학교 학생들의 과학 흥미도를 알아보는 설문을 시행하였다.²¹ 설문문에 참여한 793명의 인문계 고등학교 학생들은 과학이 흥미 있는 또는 없는 구체적 이유를 주관식으로 서술하였는데, 절반 이상의 학생들이 과학이 재미있고 흥미롭다기보다는 이해나 공부가 어려운 과목이라고 생각하고 있었다. 특히, 구체적인 이유 없이 “그냥 어렵다,” “이해할 수 없다”고 응답한 학생들이 뜻밖에도 많았고, 특히 물리와 화학과목의²² 개념과 문제풀이가 어려워 과학에 대한 흥미를 잃고 학습을 포기하였다고 답한 학생들이 많았다. 이와 같은 결과는 저자에게 물리와 화학의 개념이 ‘이유 없이’ 그리고 ‘그냥’ 학생들에게 어렵다면 교사의 수업 방법이나 교재의 구성과 같은 외적인 요인보다 물리와 화학에서 거론된 개념들이 본질적으로 학습하기 어려운 속성을 가진 것은 아닐까? 라는 의문을 갖게 해주었다. 개념 자체가 가지고 있는 까다롭고 학습하기 어려운 속성(conceptual troublesomeness)은 Erik Meyer와 Ray Land의 2003년 연구에서²³ 정의된 “문지방개념(Threshold Concept)”의 특징 중 하나라는 것에 주목하여, 본 연구는 과학 교과 학습 과정, 특히 고등학교 화학 교과의 학습에서 “문지방(Threshold)”이 되는 개념들이 무엇인지를 알아보고자 한다.

문지방은 자연과학을 포함하여 다양한 영역에서 유사한 현상을 설명하기 위해 사용되는 다소 익숙한 용어이다. 문턱(doorsill or lower limit) 또는 들어가는 지점(entrance, point of entering or point of beginning)이라는 정의에서 알 수 있듯 문지방은 넘어야 하는 장벽일 수 있으며 동시에

새로운 영역으로 들어가는 입구 혹은 통로임을 의미한다. 문지방개념이라는 용어는 영국정부의 지원으로 경제-사회연구회(ESRC, Economic & Social Research Council)이 1999년부터 2012년까지 실시했던 교수-학습 연구 프로그램(TLRP, Teaching and Learning Research Program)의 과제(2001-2005, ETL Project: Enhancing Teaching-Learning Environments in undergraduate courses)에서 처음 사용되었다. ETL 프로젝트는 대학교의 교수-학습 환경을 개선하여 학생들의 학습효과를 향상하고 학문적 발전을 도모하기 위해 시행한 과제로, 여러 대학을 기반으로 하는 교육연구단체와 대학교가 공통의 팀이 되어 체계적인 대학평가를 하고 각 단과별(과학, 공학, 역사, 경제학과 등) 특성을 고려한 교육환경을 개선하는 방안을 마련하고자 하였다. 그 중, 경제학과와 교수를 포함한 전문가 집단을 대상으로 연구를 시작한 Meyer와 Land가 이끄는 팀은, 경제학에 정통한 전문가들이 경제학 학습의 핵심적 과제라고 거론한 개념 대부분이(예; 기회비용, 가격탄성력 등) 교육 과정이 요구하는 수준의 경제학내용을 숙달 혹은 정통(mastery)하는데 중심이 되는 개념이며 그들만의 공통된 특징을 가지고 있는 것을 밝혀내었다. 단지 각각의 교과에서 중요하거나 어려운 개념과는 다른 이 개념을 Meyer와 Land는 문지방 개념이라고 정의하였고 다른 교과 영역(과학, 인문학 등)으로도 연구를 확대하였다. 문지방을 넘어선다는 것, 즉 문지방개념을 이해한다는 것은 “아~하! 이것이었구나, 왜 이걸, 몰랐을까?” 같은 반응의 사고 전환을 경험하고 새로운 시각으로 현상과 현상을 둘러싸고 있는 정황을 이해하게 되는 것으로, 이때 문지방 개념은 이러한 “아~하”의 깨달음으로 가는 관문, 혹은 통로(portal or gateway)인 것이다. Meyer와 Land는 문지방개념이 가진 공통의 특징을 다음의 다섯 가지로 요약해서 설명하였다.²⁴

첫째, 문지방개념은 전환적(transformative) 경험을 수반한다. 개념의 정의에서 설명한 것처럼 문지방개념을 이해하는 것은 학습하는 중 혹은 학습을 통해 학생들이 그 개념이나 관련 주제에 대한 사고나 행동, 관점이 완전히 바뀌는 ‘유레카 모먼트(eureka moment)’를 경험하는 것이다. 즉, 새로운 시각으로 관련 교과의 내용을 바라볼 수 있게 되고, 이를 통해 “아~하”를 경험하는 인식론적 혹은 존재론적 변화(ontological as well as a conceptual shift)를 말하는 것이다. 둘째, 문지방개념은 통합적(integrative)이다. 이는 문지방개념은 단일 개념으로만 의미가 있는 것이 아닌 통합적 사고나 이해로 “아~하”하는 경험하게 하는 주요 연결고리임을 말한다. 따라서 배경이론이나 관련된 다른 개념들을 함께 이해하도록 돕는 핵심개념으로 보아야 한다는 것이다. 이는 문지방개념을 이해하는 것은 문

맥적, 상황적 배경 속에서 중심이 되는 개념의 본질적 의미와 상관관계를 이해하게 되는 것을 뜻하며 이를 통해 “아-하”하는 진정한 사고의 전환을 경험하게 되는 것이다. 셋째, 문지방개념은 대체로 비가역적(irreversible)이다. “아-하”라는 깨달음을 경험하였기 때문에 한번 습득한 개념과 지식은 쉽게 잊어버리지 않는 확고한 지식으로 남게 되는 것이다. 넷째, 문지방개념은 영역경계(bounded)를 가진다. 늘 그런 것은 아니지만, 종종 이러한 개념들은 교과나 학문적 영역으로 구분된다. 다섯째, 문지방개념은 학생들의 흥미도 설문에서 제시된 것처럼 개념 자체가 본질적으로 까다롭거나 어려울(troublesome) 수 있다. Perkins는²⁵ 구성주의 관점에서 문지방을 넘어서는 경험을 하지 못한 기계적 암기나 반복에 의한 학습은 표면적 이해 수준에 머문다고 한다. 이처럼, 학습 과정에서 문지방을 넘는 것이 어렵고 극복해야 할 장벽이 되는 것은 각각의 개념이 가진 까다로움 혹은 어려움의 고유속성에 기인한다고 보고, 관련된 여러 개념을 비교 분석하여 다음의 다섯 범주로 분류하였다: (1) conceptually difficult, (2) alien, (3) ritual, (4) inert and (5) tacit knowledge. 첫째 범주는, 개념 자체가 복잡하고 어려운(conceptually difficult knowledge) 경우로 추상적이거나 일상적 경험과 일치하지 않아 개념의 이해나 예측에 오류를 많이 범하게 되는 경우이다. 특히, 수학과 과학 분야의 많은 개념이 이 범주에 해당한다고 한다. 예로, McCloske의²⁶ 연구를 보면 학생들이(고등학생, 대학생 포함) ‘물질의 등속도 운동’의 개념, 즉 마찰력이나 중력의 작용이 없다면 일정한 속도로 물체는 끊임없이 움직일 것이라는 설명은 현실적 관찰과는 일치하지 않아서 이해하기 어려운데 이러한 사례가 이 첫 번째 범주에 해당한다고 볼 수 있다. 둘째, 개념이 학생의 경험이나 지식에 비추어 익숙하지 않거나 낯선(alien knowledge) 경우이다. 예로, 역사적 맥락에서 보아야 할 개념이나 현상을 현재의 지식이나 가치로 해석해 내려 할 때 겪는 이해의 어려움이 여기에 해당한다.²⁷ 셋째, 개념이 특별한 의미 없이 통상적으로 사용되는(ritual knowledge) 경우이다. 특히, 수학이나 과학과목에서 많이 사용하는 공식들이나 다이어그램, 그래프 등의 경우, 공식 또는 풀이 과정이나 표현이 의미하는 바를 알지 못하고 의례적이고 반복된 과정에 의해 문제를 해결하거나 결론(답)을 얻는 경우가 많다. 이처럼 의례적 과정을 통해 문제는 풀었지만 혹은 개념은 암기하였지만, 본질적 의미를 이해하지 못한 경우가 여기에 해당한다고 볼 수 있다. 넷째, 개념이 잠재되어 드러나지 않는(inert knowledge) 경우이다. 다시 말하면, 알긴 아는데 혹은 배웠는데 실제 상황이나 문제 풀이에 무엇을 어떻게 적용해야 하는지 알지 못하는 것을 의미하는데, 이것은 문지방개념의 통합적 속성과도 연결되는 부

분이다. 예로, 교과서의 각 장에 있는 예제문제는 잘 풀면서, 단원 끝의 종합문제는 어떻게 해야 할지 모르는 경우가 많다. 이와 달리 관련된 개념, 상황, 현상을 잘 이해하고 적용할 수 있을 때 즉, 통합적 속성을 파악하고 그 연결고리를 찾을 때에는 문지방이라는 장벽, 특히 잠재적 비활성화를 극복하고 실질적으로 유의미한 이해를 얻을 수 있다. 마지막으로, 개념이 암묵적인(tacit knowledge) 경우이다. 과학의 “질량과 무게”의 예처럼 복잡하거나, 미묘한 차이로 다르거나, 상호 모순적이거나, 비직관적인 개념들을 이해하는 과정에서 경험하는 까다로움이나 어려움이라고 할 수 있다.

이상과 같은 문지방개념의 특징들은(transformative, integrative, irreversible, bounded, & troublesome) 각 개념의 과학적 의미를 분명히 알려주고 있을 뿐 아니라 각각의 개념이 내포하고 있는 본질적인 어려움의 속성을 구체적으로 드러내 준다. 그러므로 학생들이 경험하는 학습의 어려움을 해석하는 데 도움이 되며 또 나아가 학생들이 겪을 학습의 어려움을 예측하는 근거가 되기도 한다. 일반적으로 학생들의 입장에서 어렵다고 생각되는 개념들은 과학 교육과정에서 강조하는 중요한 개념일 수도, 과학사에서 논쟁의 중심이었던 개념일 수도, 전문가(교사포함) 입장에서 이해시키기 어렵게 생각되는 복잡한 개념일 수도 있지만, 각 개인의 학습 능력과 선행 학습과 경험에 따라 다양할 수 있다. 이와 같은 상황에서 학생들이 과학학습에서 어려워하는 개념이 무엇인지를 찾아 실태를 파악하는 것이 중요하다. 그러나, 학생들이 제시한 모든 개념을 각각 다루는 것보다는 각 교과목의 핵심이 되며 학생들이 극복해야 할 어려움의 속성을 포함하는 문지방개념을 찾아내어 학생들이 어렵다고 생각하는 부분과의 최대접점을 찾고 이해를 돕는 방안을 모색하는 것이 더욱 유의미할 것으로 생각된다. 여기서 학생들의 문지방개념이 무엇인지를 파악하는 것과 더불어 교사나 과학 전문가들이 각자의 경험에 바탕을 두고 선정한 문지방개념을 비교하는 과정은 첫째, 각 교과목을 정통하기 위한 핵심개념과 그 속성이 무엇인지 알게 되고, 둘째, 학생들이 교과목의 내용을 어느 정도 소화해 내는지를 알려주는 분석의 척도가 되어, 셋째, 수업을 준비하는 교사에게 유용한 정보가 된다. 즉, 문지방을 극복하고 개념을 이해했던 교사의 직접적 경험은 Vygotsky의 근접발달영역, ZPD(zone of proximal development)를²⁸ 설정하고 도움닫기 마련에 필요한 교재와 수업을 준비하는 데 중요한 정보가 되어 궁극적으로는 학생들이 문지방을 극복하고 개념을 이해하는 데 도움이 될 것이다. 이처럼 문지방개념을 습득하는 것은 개념의 이해를 넘어 사고의 방식과 교과 내에서의 실행을 학습하는 이점이 있다는 것을 Davies의 연구는²⁹ 강조하고 있다. 이런 맥락

에서 본 연구는 기초과학, 특히 다른 과목에 비해 흥미를 덜 가진다고 지적된 교과목 중 하나인 고등학교 화학 교과를 배우고 있는 3학년 학생들이 어렵다고 생각하는 개념과 문지방에 해당하는 개념이 무엇인지를 알아보려고 한다. 또한, 본 연구에 앞서 실행된 고등학교 화학교사를 대상으로 한 문지방개념 조사 연구의 결과,^{논문 준비중} 즉 교사들이 제시하는 고등학교 화학 교과와 문지방개념을 학생들의 개념과 비교 하여 두 집단의 차이점과 공통점이 제시하는 교육학적 의미를 찾아보고자 한다. 학생들이 직접 제시하는 어려움의 원인은 학생들의 학습경험을 이해하는 것 뿐 아니라 낮은 과학흥미도(특히, 화학)를 해석하는 데에도 도움이 될 것으로 보인다. 나아가서 기초과학인 화학 교과에서 의미 있게 다루어져야 할 개념들을 파악하고 그 본질을 깊이 이해하는 것은 학생들의 기초과학 학습을 돕고 흥미를 유발할 수 있는 교재와 교수법 개발에 상당히 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다.

연구방법 및 절차

연구 대상과 배경

고등학교 화학 교과에서의 어려운 개념과 문지방개념을 알아보기 위해 고등학교 화학교사와 학생들을 대상으로 연구가 진행되었다. 우선, 교사를 대상으로 한 연구는 본 연구에 앞서 실행되었으며, 서울, 경기, 그리고 부산 지역을 거점으로 한 일반계 공립 고등학교에 근무 중인 20명의 현직 화학교사가 설문과 인터뷰에 응답하였다. 본 연구는 화학 교과를 학습하는 고등학교 학생들을 대상으로 하였다. 학업성취도와 학교가 속한 지역의 사회-경제적 배경의 다양성을 고려해 서울 시내의 다른 지역에 위치한 3곳의 일반계 공립 고등학교와 한 군데의 과학 고등학교에 재학 중인 학생들이 참여하였다(Table 1). 198명의 일반계 고등학교 학생들은 모두 3학년생으로 본 연구가 실행된 2013년 1학기 말인 7월에는 (기말고사를 본 직후이며 여름방학 이전에 설문을 시행하였다.) 화학 I과 II의 교과 내용을 모두 학습한 후였다. 일반계 고등학교와 달리 화학 I, II 과정에 해당하는 교과를 마치고 심화과정을 학습 중이었던 41명의 과학 고등학교 2학년생들도 연구에 함께 참여하였다.

Table 1. Number of students participated in this study and their academic years (HS: high school)

School Type	HS A	HS B	HS C	Science HS
Number of Students	72	66	60	41
Academic Year	12 th	12 th	12 th	11 th

Table 2. Questionnaire used in this study to identify threshold concepts in high school chemistry

	Based on your own experience of science learning in high school, what do you think are the three most difficult concepts in high school chemistry? (1) (2) (3)
9	Why do you think that each concept was difficult for you to understand? (1) (2) (3)
	If there were ways that helped you to understand the difficult concepts, could you check the appropriate case from the list or explain it on (5)?
10	(1) Don't understand and gave up (2) Don't understand but memorized (3) Understand by asking questions to teachers (4) Understand by reading references (5) Others
	Based on your own experience of science learning in high school, what do you believe are potential threshold concepts, that is "a-ha!" concepts, in high school chemistry?
11	
12	Could you explain your mastery experience (or moment of awareness) of each threshold concept in detail?
13	What are the values of overcoming threshold concepts to learn curriculum materials in the field of chemistry?

연구 방법

학생설문

학생들의 문지방개념 조사는 13개의 문항으로 구성된 설문으로 진행되었다. 설문은 해당하는 항목에 √ 표기하거나 질문에 대한 주관식 답을 직접 써넣도록 구성하였다. 학교, 이름, 과학흥미도, 학업성취도, 수학능력시험 대비 선택과목 등의 8개의 문항은 배경정보로 사용되었고 나머지 다섯 문항(Table 2); 화학 교과에서의 어려운 개념들과 그 이유, 어려운 개념을 이해하기 위해 사용한 방법, 화학 교과와 문지방개념들, 문지방개념을 이해한 경험, 문지방개념을 이해한 것의 학습적 효과에 관한 질문과 응답이 본 연구의 중심과제로 사용되었다. 설문의 문항은 전문가와 학생을 대상으로 나노과학영역의 문지방개념 존재 여부를 조사한 Park과 Light의 2010년 연구의³⁰ 설문문항을 참조하였다. 위의 연구에서 설문의 문항은 먼저 시행된 전문가와의 개방형 인터뷰를 분석하여 문지방개념을 구별하기 위해 함께 거론되었던 주요 범주들을 기준으로 구성하였고 과학교육 전문가 2인(박사학위 소지)와 나노과학 분야의 전문가 3인(각각 화학, 물리, 재료과학 박사학위 소지)가 함께 내용의 타당성을 검토하였다. 본 연구에서는 과학교육전문가 2인이 기존의 문항을 고등학생들

을 위한 설문으로 재구성하였다. 연구에 사용된 설문은 부록 1에 첨부하였다. 연구를 허락한 해당 학교 과학교사들의 수업시간 일부가 설문에 할당되었고 두 명의 연구원이 주어진 시간 동안(30분) 학생들이 설문에 답을 쓸 수 있도록 도왔다. 참여한 연구원들은 문지방개념을 “아-하”의 경험이라는 쉬운 표현으로 정의와 특성을 충분히 설명한 후 학생들이 설문을 작성하도록 지도하였다.

자료 분석 및 해석

학생들의 설문은 세 명의 관련 분야 연구원들에 의해 항목별로 분석되었다. 번호에 표기를 요구하는 문항 외의 주관식 응답들은 세 연구원이 여러 차례에 걸쳐 가능한 항목을 찾아내고 이를 근거로 일치된 코드를 만들고 완성된 코드로 학생들의 응답을 다시 평가하였고 동시에 평가할 때의 연구자들 간의 신뢰도 측정을 위해 응답 일치율을 구하였다. 문항 4, 5, 9, 11, 12, 13이 여기에 해당하는 항목이며, 항목별 일치도를 구한 후 응답이 일치하지 않는 경우 세 명의 연구자가 다시 회의하고 재평가하여 공통의 분석결과를 얻었다. 항목별 일치도의 평균이 88.5%를 넘었고 재평가 결과 일치하지 않은 응답은 세 연구원이 모인 회의에서 이견을 조율하고 다시 평가하여 일치된 공통의 코드를 얻었다. 어려운 개념과 문지방개념의 분석은 연구에 참여한 고등학교가 사용하고 있는 교과서의 바탕이 되는 교육과정의 내용체계가 기준으로 사용되었다(부록 2 참고). 단, 과학 고등학교 학생들의 응답분석 경우는 대학수준의 일반화학 교재를 참고로 하되 고등학교 교과를 바탕으로 한 기준을 수정(확장 또는 첨가)하여 사용하였다. 어려운 이유와 극복의 경험에 관한 설명 등의 질문은 각각 77개, 27개로 분석되었던 초기 범주를 세 명의 연구원이 토론하고 한 명의 과학교육전문가의 의견을 구해 내용의 포함성과 복잡성에 기준을 두고 범주를 줄여나갔다.

연구 결과 및 논의

어려운 개념

아래의 Fig. 1은 239명의 이과 계열 고등학생들이 제시한 화학 교과 내의 어려운 개념과 문지방개념으로 제안

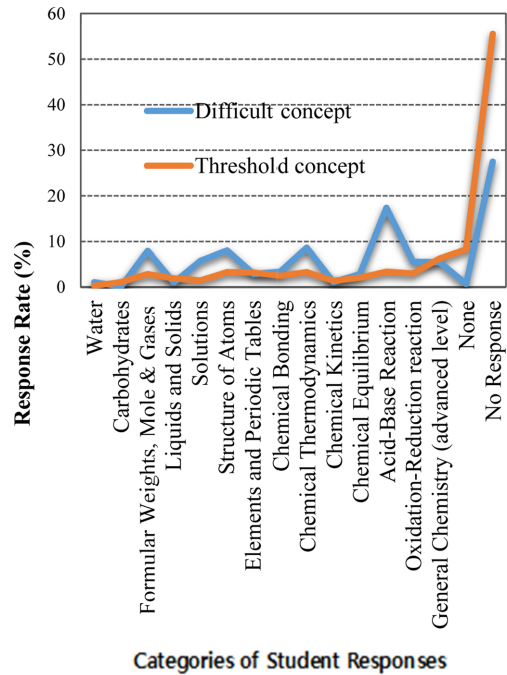


Figure 1. Representative Concepts and Percent numbers of Student responses for the difficult and threshold concepts in high school chemistry.

된 개념들의 항목과 응답률(%)을 함께 나타낸 것이다.

교육과정의 내용체계를 바탕으로 학생들이 제안한 구체적인 개념들을 포괄적 범위의 단일명 아래 분류하였다(부록 2 참조). 소수의 (10명 이내) 학생들이 화학 I의 물 단원과 탄화수소 화합물 단원의 표면장력, 모세관현상, 화학결합을 어려운 개념으로 표현하였고 그 외 대부분의 응답은 화학 II의 다양한 개념들을 고등학교 화학 교과서의 어려운 개념으로 제시하고 있음을 알 수 있다. Fig. 1의 항목과 부록2의 개념들을 구체적으로 살펴보면 학생들이 제시한 여러 영역의 다양한 개념 중 아래의 4가지 항목이 특히 어렵다고 하였다: (1) 물질의 상태와 용액 단원의 화학식량과 몰 & 기체, (2) 물질의 구조 단원의 원자구조, 화학반응 단원의 (3) 산과 염기의 반응 그리고 (4) 화학반응과 에너지.

특히, 많은 학생이 언급한 산-염기 반응 항목의 응답을

Table 3. Sub-categories in acid-base reaction and percent numbers of student responses for the difficult concepts in high school chemistry

Acid-Base Reaction	Listed Concepts	Response rate (%)
Definition	definition, nature	9.3
Acid-base strength	ionization constant, strength, degree of ionization, acid-base equilibrium	2.0
Water autoionization	autoionization of water, pH value	0.0
Neutralization reaction	titration, indicators, titration curve	6.0
Salt	salt, solvolysis	0.0
Buffer solution	buffer, buffer capacity,	0.1

구체적으로 살펴보면(Table 3), 산, 염기의 다양한 정의, 적정곡선 혹은 적정반응, 이온화도를 기반으로 한 산-염기의 세기 비교를 어렵다고 생각하는 것으로 나타났다.

“내용 자체가 뒤죽박죽”

“개념이 어렵고 응용이 많아 이해가 안 됨”

“그냥 자연현상을 설명하는 것 같은데, 여러 가지 반응이 복합적으로 작용하여 직관으로 이해가 어렵다. 배우려니 어렵다.”

“개념을 다양한 실험에 적용하여 문제를 풀어야 하므로 어렵다.”

“정의도 많고 계산도 많고 외울 것도 많아서 어렵다.”

“산화수로 계산하거나 어떤 것이 산인지 염기인지 구별하기 어렵다.”

“산의 종류? 아레니우스 헛갈려요.”

“중화반응의 과정과 그래프가 이해하기 어려움”

“농도에 따라 중화점이 바뀐다, 그래프 해석이 어렵다.”

“그래프의 종류가 너무 많다.”

“적정의 반응식이 어렵고 계산을 해야 하는 것이라서”

발췌문은 연구에 참여한 고등학교 학생들이 설문에서 산-염기 개념이 어려운 이유로 써놓은 답의 예이다. 응답에서 보듯이 산-염기의 개념이 복잡하고 직관적으로 이해가 잘되지 않을 뿐 아니라 적정과 관련된 계산이 어려운 것으로 보인다. 또한, 적정곡선에 관해서는 경우의 수가 많고 이론과 연결해 해석하는 것이 어려워, 문제해석과 이론적용을 위한 사고의 전환에 어려움을 겪는다고 서술하고 있다. 같은 단원의 산화-환원 반응에 대해서는 반응의 특성과 산화수의 개념을 적용하여 화학 반응식을 완성하는 것을 어렵게 생각하고 있으며 특히, 예가 많고 과정이 복잡한 물질의 반응식들에 대해서는 왜 이렇게 반응이 진행되는지 이해하지 못한 채 외우는 경우가 많아서 사실 그 의미를 잘 모르겠고, 혼란스럽다는 설명이었다.

“반응 자체가 어려운 내용이 많아서 이해하기가 힘들다.”

“산화, 환원반응식의 계수를 맞추는 것이 어렵다.”

“반응의 종류가 너무 많고, 당량점 검출법도 경우에 따라 다르다.”

“산화-환원이 어떻게 전자를 잃는 반응인지 헛갈리고, 균형반응식 맞추기도 어렵고, 공식 대입하기도 헛갈려서

“산화수 규칙을 외워 문제를 풀어야 하는데 무슨 말인지 모르겠고 복잡하다.”

화학반응과 에너지 단위에서는 엔탈피(변화), 엔트로피, 자유에너지 등의 새롭게 등장하는 용어를 어려운 개념으로

제시하였다. 아래의 발췌문에서도 알 수 있듯이 학생 대부분이 엔탈피, 엔트로피 등과 같이 화학 II 과정에서 처음으로 배우게 되는 새로운 용어들은 추상적이고 익숙하지 않아 과학자들만이 이해하는 전문용어와 같고, 직관적 이해를 하는데 곤란함을 겪는다고 했다.

“헛갈린다.”

“모르겠다, 아마 과학자들만 아는 내용?”

“문제 풀면서 이해하려고 한다, 잘은 모르겠다.”

“이해 불가!”

“현실적으로 와 닿지 않는다.”

“상식선에서 이해되지 않는다.”

“그냥 거부감이 들고 이해 자체를 못하겠다.”

“현상으로 이해하는 것이 불가능하다.”

“엔탈피, 엔트로피도 모르겠는데, 모두를 알아야 하는 자유에너지는 휴~”

이와 같은 열화학/역학 분야의 개념이해와 오개념, 학습의 어려움에 관해서는 많은 사전연구에서 본 연구의 학생들 반응과 유사한 결과를 제시하였다.³¹⁻³⁵ 문제풀이나 계산 과정에서 개념의 이해 없이 문제를 푸는 방법만 외웠다는 경우의 응답이 화학평형의 평형상수와 물질의 상태와 용액 단위의 몰(mole) 부분에서 많이 제기되었다. 특히 평형상수와 농도를 구하느라 계산은 많이 하지만, 정작 화학평형의 상태가 의미하는 것이 무엇인지 이해하지 못하고 있으며, 몰을 단위로 이해하는 것과 용액의 농도를 구하는 과정에 들어가야 하는 단위변환 과정을 상당히 어렵게 생각하고 있는 것으로 나타났다. 응답자 중 많은 학생이 기계적인 암기에 의존해 계산과 문제풀이를 하느라 이처럼 복잡한 풀이 과정들이 개념이나 이론과 어떻게 연결되는지를 알지 못하며 이는 다시, 다른 문제 상황에서 어떻게 적용하고 변환해야 하는지를 알지 못하는 어려움으로 나타났다. 아래의 발췌문은 학생들이 몰과 화학평형의 개념이해를 못 하는 것과 동시에 문제 풀이에 대해 느끼는 어려움을 잘 드러내 준다.

“공식이 간단한 것 같지만, 문제를 풀면 잘 모르겠다.”

“개념이해가 잘 안 돼서 외웠다.”

“쉬운 문제는 잘 풀 수 있는데, 계산이 조금만 복잡해지면 머리가 아파진다.”

“몰수 계산을 하는 데 있어 수학에 자신이 없고 실력이 부족하여 자주 틀리기 때문”

“너무 큰 수를 몰로 정의하여 모르겠다.”

“아보가드로 수?, 몰수는 해도 해도 암기가 안 된다.”

“계산 식이 많고 복잡하다.”

“처음 접했을 때 거부감이 컸고, 지금도 모르겠다.”

“이해도 못 하는데, 여러 공식 등을 다 외우기가 힘들다.”

“내가 계산을 잘 못해서”

(물개념에 관한 응답)

“평형이 이동하고 여러 가지 상황에서 고려해야 할 조건이 많아서 헷갈린다.”

“복잡하다.”

“그래프해석이 어렵다.”

“역반응이라는 새로운 개념의 등장으로 물질의 양에 따라 상대적인 양을 구하는데, 모르겠다.”

“배울 때는 그러려니 했는데, 막상 문제를 풀려니 못하겠다.”

(화학평형에 관한 응답)

또한, 실험으로 관찰할 수 없고 구체적 물리적 형체를 상상하기조차 쉽지 않으며 발달의 역사에 따라 새로운 이론 혹은 법칙 또, 이를 뒷받침하는 모형들이 다양하게 등장하는 원자의 구조를 이해하기가 쉽지 않은 것으로 나타났다. 특히, 보어의 모형에서 벗어나 현대적 원자모형으로 원자의 구조를 이해하는 것, 오비탈, 에너지 준위, 주양자수 등의 개념은 추상적이고 직관적 이해가 어려운 개념이어서 결과적인 사실들 혹은 공식만 외워 시험에 대비했다고 설명하고 있다. 이에 덧붙여, 이 단원은 선생님의 설명도 부족했다고 생각하거나 반대로 교사의 수업과 관계없이 학생 스스로 원자구조와 관련된 개념들을 이해하기에는 공간, 지각 능력이 부족하다고 생각하고 있었다. 재미있는 것은 같은 단원의 주기율표는 어렵다고 생각하는 학생들이 적었지만, 표가 가진 의미를 설명해야 하는 주기율표 내의 주기적 성질은 원자의 구조에 관한 기초적 지식이 부족해서 관련된 부분을 (이온화 에너지, 원자반지름, 전기음성도, 전자친화도 등) 이해하는 것이 어려운 것으로 드러났다. 이러한 이유로 주기율표의 특성을 이해한다기보다는 암기하여 시험에 임하는 학생들이 많은 것을 알 수 있었다.

“원자의 오비탈 구조는 익숙하지 않은 개념이고 납득하기 힘들다.”

“보이지 않는 것을 상상하는 것이 어렵다.”

“전자구름? 에너지 준위? 뜬구름 같고 예상도 안 된다.”

“직관적으로 원자의 구조를 이해하지는 못했지만, 옥텟트 규칙은 이해한 것 같다.”

“설명을 들어도 모르겠다.”

“보어의 원자모형이 왜 잘못되었는지 모르겠다.”

“2D를 3D로 전환해서 생각 못 하겠다, 나의 한계이다.”

“공간적 상상력이 부족해서 모르겠다.”

“규칙이나 공식은 암기되는데, 원자의 구조는 뭘 암기해

야 할지 모르겠다. 시험도 예측할 수 없다.”

“주기율표는 안 어려운데, 주기적 성질은 외워야 해서 어렵다.”

“원자의 구조는 이해가 안 되지만, 주기율표의 성질은 암기하면 되므로 시험에서 좋은 성적을 받았다.”

“전자구름과 오비탈을 배웠지만, 원자구조를 상상하지는 못하겠다.”

응답의 분포에서 서로 다른 지역군으로 선정된 일반계 고등학교 간의 차이는 크지 않았지만, 아래의 예시처럼, 과학고등학교의 학생들 응답에서는 본 연구가 진행되는 학기에 학습하고 있던 고등 화학(대학 일반화학 교재)의 개념들과 실제 연구과제로 사용했던 실험이나 관찰에서의 개념들이 여러 번 언급되었다(예; 유기화학-반응 메커니즘, 열화학, LFT, MO 등).

“유기 메커니즘의 반례가 너무 많아서 상황상황 끼워 맞추는 내용이다, 현상을 설명하는 과목이다 보니 가끔 억지스럽다.”

“화학 1, 2의 지식을 가지고 유기반응을 이해하기 어렵다, 자세한 메커니즘이 없다.”

“공간 지각 능력이 부족해서 유기 이성질체의 방향을 따질 때 힘들”

“열전달 과정에서, 부호의 개념(열의 이동 방향)을 잡기 어려웠다.”

“열화학의 경우, 물리와 연관 지어지는 개념이 싫다, 부호가 반대다.”

“LFT를 알기 위한 수학이 너무 복잡함”

“결정 장은 의미가 깊은 것 같은데 모르겠음”

특히, 학생들이 언급한 어려운 개념들을 이해하기 위해 어떠한 도움을 받았는지를 알아보았던 10번 문항에 대한 답변으로는 교과서 혹은 참고서를 반복적으로 보고 스스로 이해하려고 노력하였다는 답이 가장 많았고(32%), 선생님께 질문해서 개념을 이해하려 하였다는 응답도 있었지만(14.5%), 적지 않은 학생들이(55.4%) 이해를 못 해 학습을 포기하거나 이해를 하지는 못했지만, 단순히 반복적으로 개념이나 문제풀이의 과정을 암기하는 방식으로 시험이나 평가에 대비한 것으로 밝혀졌다. 소수에 해당하는 학생들은 예를 들어, “표를 만들어 암기한다,” “시험에서 틀린 문제를 암기한다.” 등, 각각이 사용한 여러 형태의 암기 전략을 서술하기도 하였다.

문지방개념

위의 Fig. 1에 제시된 그래프와 학생들의 응답을 살펴

보면 학생들은 고등학교 화학과목에서 이해가 잘되지 않는 개념들에 비해, 문지방 개념을 찾는데 어려움을 보였다. 절반이 넘는 수의(55.6%) 학생들이 답을 쓰지 못했고, 8.3%의 응답자는 “문지방개념은 없는 것 같다.” 또는 “나는 개념들을 제대로 이해한 것 같지 않다”와 같은 대답을 하였다. 학생들의 설명을 바탕으로 생각해 보면 연구에 참여한 고등학교의 학생이(특히 세 일반계 고등학교) 과학 수업에서 “아~하”의 이해를 경험하는 경우의 수는 많지 않은 것으로 보인다. 학생들의 응답에 문지방개념으로 제시된 개념들을 살펴보면 많은 개념이 어려운 개념과 일치하는 것을 볼 수 있다. 이처럼, 까다롭거나 어려운 개념 이면서 이해하였을 때 전환적 속성을 보이는 것은 문지방개념의 특징이다. 하지만 어려운 개념이 문지방개념인 것은 아니다. 본 연구에서 학생들은 여러 개념을 거론하였지만, 문지방개념의 특성(transformative, integrative, irreversible, bounded, troublesome)을 분명히 제시하고 그 경험적 근거를 제공한 답안의 수는 적었다. 설문지의 응답이 제한적이고 학생들의 “아~하” 경험은 교사나 전문가의 수준과 달리 단편적이어서 전체 학생의 문지방개념이라고 일반화하기는 어렵지만, 문지방에 해당하는 개념의 까다로움이나 어려움을 극복하고 학생 수준의 “아~하”를 경험한 것으로 분석된 화학의 개념은 몰(mole)과 원자의 구조(atomic structure)인 것으로 나타났다. 첫째, 화학 교과에서 중요한 몰개념은 원자, 분자 단위의 작은 입자, 아보가드로 수(6.02×10^{23}), 그리고 물질의 양이나 수를 나타내는 단위 개념 등을 이해해야 하므로 학생들에게는 복잡하고 어려운 개념으로 알려졌다.³⁶⁻³⁹ 본 연구에서도 어려운 개념으로 언급된 것처럼 학생들은 몰개념의 이해뿐 아니라 관련된 문제풀이를 상당히 까다로운 과정으로 인식하고 있었다. 이와 관련해, 몰개념은 문지방개념으로서의 까다로움(conceptually difficult, inert, & alien knowledge)과 통합적 속성(integrative property)을 잘 드러내고 있음을 알 수 있다. 소수이기는 하지만, 몇몇 학생들은 단위로서의 몰개념을 이해하고 통합적 시각으로 관련된 문제를 해석해 나감으로 “아~하”를 경험한 것으로 보인다.

“몰이 새로운 단위처럼 쓰인다는 걸 알기 전까지는 6.25×10^{23} 이라는 큰 수가 다가가기 힘들었고 분자량과 관련 있다는 사실도 이해하기 힘들었다.”

“농도 개념이 도대체 왜 필요한지 그 필요성을 느끼지 못하다가, 화학 시간에 발표를 준비하던 도중 설탕물과 소금물의 농도를 비교하기 위해서는 % 농도보다 몰농도/몰랄농도가 매우 유용하다는 것을 알게 되는 과정에 몰의 의미를 갑자기 깨달아서 흥미를 갖고 조금 더 열심히 공부할 수 있었다.”

“몰이라는 용어를 그냥 이름만 알고 있었는데, 개념을 이

해하고 나니깐 많은 것을 연관 지어 생각할 수 있었고, 계산을 왜 하는지 아~하! 하였음”

“문제를 많이 풀어서 어디에 적용해야 할지를 생각하다 보니 몰의 의미를 이해하게 되고 아보가드로수에 관해서도 알아보게 되고 적용력이 커졌음”

둘째, 원자의 구조는 대표적으로 직관으로 이해하기 힘들고 어려운 개념(conceptually difficult knowledge)으로 학생들이 겪는 이해의 어려움에 관해서는 이미 많은 연구가 진행되었다.⁴⁰⁻⁴² 또한 문지방개념의 통합적 속성(integrative property) 가장 잘 나타내어주는 개념으로, 본 연구에 참여한 학생들은 “원자의 구조”가 여러 다른 개념과 연결되어 있는 관계를 각각 체험으로 이해하는 과정-과정에서 “아~하!”를 경험하였다고 한다. 즉, 원자구조가 주기율표에서 이해가 어려워 암기에 의존했던 원소들의 주기적 성질을(원자반지름, 이온화 에너지, 전기 음성도, 전자친화도 등) 근원적으로 설명할 때, 탄화 수소화합물의 구조와 결합이 왜 이런지를 설명할 때, 이온/공유 등의 화학결합을 도식화한 모델들이 나타내는 의미를 설명할 때, 산화-환원 반응의 산화수 개념 등을 설명할 때 학생들은 “아~하!” 한 것으로 나타났다. 두 집단 간의 통계적 비교를 하지는 않았지만, 원자구조의 개념이해는 과학고등학교 학생과 일반계 고등학교 학생과의 편차를 잘 드러내 주었다. 일반계 고등학교 학생들이 주로 위에 열거된 관련 개념(주기율표, 산화-환원반응, 화학결합 등)을 학습하는 과정에서 “아~하!”를 경험하였다면, 과학고등학교 학생들의 개념이해는 고등 화학의 영역으로 확대된 것을 알 수 있다. 예로, 원자구조의 개념이해는 오비탈, 더 나아가서는 MOT (molecular orbital theory) 혹은 LFT (ligand field theory), 자기성 등을 함께 이해하는 바탕이 되었고 이러한 관련성을 이해한 몇 학생들은 “아~하!”를 경험하게 되었다고 진술했다. 하지만 설문의 응답을 통해 두 집단 간 이해도 정도의 차이를 평가하는 것은 제한적임을 밝혀둔다.

“억지로 이해하고 있던 분자, 원자구조를 오비탈을 이해하고 아~하.”

“모형에 해당하는 그림과 개념을 연결하지 못했는데, 원자모형을 순서대로 하나씩 배우면서 이론이 변하고 다른 점을 알게 되면서 원자구조를 이해하게 되고, 오비탈도 알게 됨.”

“원자구조를 이해하고 나니 전자배치를 알게 되고 물질의 공공하던 상자성, 반자성이 어떻게 형성되는지 알게 되어 정말 뿌듯했다.”

“전자배치와 오비탈의 모형을 통해 원자구조를 알 때 아~하 하였음.”

“오비탈과 최외각 전자를 배우고 주기율표가 왜 그런 모

양인지 알게 되었습니다.”

“원자 구조를 배우고 원자핵이 전자에 미치는 실질적 힘을 생각하면서 전기음성도의 크기비교를 어떻게 하는지 선생님으로부터 질문에 대한 답을 듣고 아~하를 경험함.”

“그냥 용어를 안 들어 봐서 외웠는데, 실제 예를 통해 이해하고 아~하! 하게 됨.”

“2 단원의 전기음성도, 이온화 E, 전자친화도 부분에서 개념에 관해 정의 정도만 어렵듯이 알고 있다가 나중에 원자구조를 자세히 알게 되고 그 관계를 이해하게 되었을 때 아~하.”

“원자의 구조를 알고 외웠던 산화수? 산화, 환원반응에 나오는 숫자의 의미를 알게 됨.”

“유기화합물의 구조를 외워서 싫었는데, 원자구조를 생각해 보니 그럴 것 같아서 아~하! 했음.”

문지방개념을 이해하는 경험은 대부분 수업 중이나 개인학습 중에 일어나는 것으로 보인다. 아래 Table 4에 학생들이 설명한 문지방개념 이해의 과정(문항 12)과 응답률을 나타내었다.

표에서 읽을 수 있는 것처럼 문지방을 극복한 학생들의 경험사례는 문지방개념이 가지고 있는 특징을 잘 보여주고 있다. 가장 눈에 띄는 것은 사례 대부분이 통합적 (integrative) 속성을 알아내고 “아~하”를 경험했다는 것이다. 구체적으로 보면, 개념을 학습한 후 다시 그 개념과 관련된 개념 혹은 상위의 개념을 배우게 될 때 (20.2%) 혹은 먼저 학습 하였던 개념이나 관련 이론의 구체적 과정, 절차 혹은 설명을 학습게 될 때 “아~하!” 이것이었구나!를 경험한다고 하였다 (27.6%). 문지방개념으로 원자구조를 거론한 학생들의 주요 응답도 이 두 항목에 집중되어 있음을 알 수 있다. 또한, 실험하거나 현상을 관찰할 때 (5.3%) 왜 하는지, 무엇을 하고 있는지를 이해하지 못하고 실험의 순서만 따라가는 학생들이 적잖다. 즉, 무엇이, 왜, 어떻게 요리

Table 4. Distribution of student responses explaining the overcoming experience of threshold concepts

The overcoming experience of threshold concepts	Response rate (%)
While learning through specific descriptions, procedures, processes	27.6
Through repetitive and rote memorization	6.9
While learning other subjects (especially, physics and mathematics)	2.1
While learning concepts related or in higher order	20.2
When explaining experimental results/procedures or phenomena that occur in nature	5.3
When interpreting figures/graphs/models/structures etc.	10.1
When applying the formula or solving problems by using the formula	14.4

되는지 알지 못하고 그저 조리법 순서대로 따라 하는 것과 다를 바가 없다. 그 연결고리를 찾았을 때, 즉 실험의 목적과 과정이 이제껏 교실에서 학습한 내용을 어떻게 적용하고 알아가는 것인지를 알 때 비로소 의미 있는 이해, 한번 이해하면 잊히지 않는 학습의 효과를 보는 것이라 할 수 있다. 여기에서 직접실험이나 연구의 기회가 더욱 많은 과학고등학교의 학생들은 실제로 실험을 이행하거나 R&E 프로그램(대학이나 연구소 등과 연계하여 학생들이 과학자와 만나서 대화하거나 그들의 실험에 직접 참여할 기회를 얻도록 하는 프로그램)으로 연구에 참여하여 직/간접체험과 고찰의 기회를 얻는 과정에서 이론적 배경을 이해하게 된 경우가 더 많이 언급되었다. 또 다른 상황으로 문제풀이나 계산과정에서의 연결고리 찾기를 들었다(14.4%). 선행된 흥미도 조사에서 물리, 화학 과목에서 특히 많이 언급되는 대답 중 하나는 수학적 계산을 포함하는 문제풀이 과정에 대한 것이다. “문제풀이나 계산이 많거나 어려워 공식에 따른 문제풀이나 계산을 하다 보면, 과학을 하는 것인지 수학을 하는 것인지 알 수 없는 경우가 많고 더 나아가, 이론이 문제풀이에 어떻게 적용되는지 알 수 없어서 과학이 흥미롭지 않다”고 대답한 학생들이 많았다. 특히, 물개념과 관련해서는, 앞서 언급했듯이 계산과정에서의 단위 변환이나 적절한 공식의 적용 등이 학생들에게는 학습이 어려운 이유였다. 이럴 때 특히, 그 개념을 제대로 이해하고 농도를 구하거나 관련된 여러 공식에 대비할 때, 무슨 값들이 변수이며 무엇이 언어질지를 명확히 알 수 있을 것이다. 화학에서 수식을 다룰 경우뿐 아니라, 다른 과목(예를 들면, 물리나 수학 등)의 수업과정 중에도 화학 시간에 배웠던 개념들과의 연결고리를 찾고(2.1%) “아~하”를 경험하는 것으로 보인다. 화학에서 다루는 물질과 반응의 많은 이론이 실제 보거나, 만져볼 수 있지 못한 경우가 많다. 이러한 속성 때문에 그림, 그래프, 모델 등이 과학의 개념이나 이론을 설명하는 방법으로 많이 사용되고 있다. 여기서도 연결고리를 찾는 것은 중요하다. 나타내어진 양상뿐 아니라 본질적인 특성을 파악하고 표현양식과의 관계를 인식할 때 (10.1%) 유의미한 이해를 한 것이라 볼 수 있다. 이는 학생들이 문지방개념의 까다로움을 극복하고 통합적 속성을 인지하느냐 하는 것과 맞닿아 있다고 할 수 있다. 이처럼 통합적 속성을 이해하는 것은 사고의 전환을 일으켜 깨달음을 얻기 위한 도움단계와 같다.

교사와 학생의 문지방개념 비교

본 연구에 참여한 학생들이 선정한 문지방개념(물과 원자구조)을 교사의 인터뷰를 바탕으로 진행한 앞선 연구의 결과와 비교해 보면, 우선 20명의 고등학교 화학교

Table 5. Students' vs Teachers' threshold concepts in high school chemistry

Threshold Concepts Identified by Students	Threshold Concepts Identified by Teachers
Mole	Mole
Structure of Atoms	Structure of Atoms
	Periodic Table
	Ideal Gas Law
	Orbitals
	Chemical Bonding
	Chemical Equilibrium

사는 아래의 Table 5에 제시된 것처럼, 몰, 이상기체 상태 방정식, 주기율표, 원자의 구조, 오비탈, 화학결합과 화학평형을 화학 교과 내의 문지방개념으로 제시하였다.

연구에 참여한 교사와 학생은 몰과 원자구조를 문지방개념으로 꼽고 있으며, 구체적으로는 학생과 교사 모두 문지방개념으로서의 두 개념이 나타내는 개념의 까다롭음과 통합적 속성에 주목하고 있다. 그러나 교사들은 1여 시간 동안 진행된 인터뷰에서 원자구조의 개념에서 드러나는 통합적 속성뿐 아니라 원자구조를 설명하는 이론의 변화와 함께하는 개념의 전환적 속성도 강조하고 있다. 이는, 원자구조의 현대적 모형이 완성되는 과정들을 체계적으로 또한 흐름으로 이해하는 과정 자체가 과학의 진화나 개념이 가진 본질적 의미를 파악하게 하며 개념의 표면적 이해를 넘어 “아~하!”를 경험하는 데 도움을 준다고 한다. 예를 들면 원자의 구조가 까다롭고 어려운 개념이지만, 통합적 속성과 전환적 속성을 고려하여 수업을 설계하고 그 속성들을 깨닫도록 수업을 진행할 때, 학생들은 앞서 배워왔던 선행지식을 새롭게 해석하고 사고의 전환을 경험하며 이해를 확장해 나갈 수 있다는 것이다. 교사들이 제시한 다른 문지방개념을 자세히 들여다보면, 앞의 두 개념(몰, 원자구조)에서와 같이 통합적 속성이 잘 나타나 있는 것을 알 수 있다. 이들 개념이 가지는 통합적 속성은 “전체적 맥락을 보는,” “하나의 그림을 그리는,” “큰 줄기를 잡으면” “한 줄에 달아 이어보면” 같은 교사들의 직접적 표현으로 재해석되어 설명되었다. 구체적으로 보면, 이상기체 방정식 역시 통합적 속성을 잘 드러내는 문지방 개념이다. 간결한 식, $PV = nRT$ 로⁴³⁻⁴⁵ 온도, 압력, 부피 등의 변수로 이상기체의 상태를 나타내지만, 분자운동론, 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 돌턴의 법칙과 아보가드로 법칙 등으로 표현되는 여러 현상을 통합적으로 설명하는 개념이기도 하다. 또한, 이 개념은 본 연구에서 학생들이 문제풀이/계산 등의 과정으로 인해 어려움을 겪는다고 밝힌 개념이기도 하다. 교사들이 문지방개념으로 제시한 주기율표, 오비탈, 화학결합의 경우, 소수의 몇 학생들은 위의 세 개념을 문지방개념으로 제안하기도 하였으

나, 학생 대부분은 이해의 정도가 부족하여 여전히 어려운 개념이었고 제안한 몇 학생들은 문지방개념으로서의 속성을 잘 파악하고 있다기보다는 원자구조를 “아~하!”를 하게 만든 하위 혹은 상위의 개념이라고 생각하고 있는 것으로 보인다. 교사들의 응답을 자세히 들여다보면, 학생들은 이 개념들이 원자구조와 갖는 관련성에 “아~하!” 경험하는 수준의 이해도를 가지고 있지만, 교사들은 세 개념 각각이 해당 분야로 통하는 문을 열어주는 문지방(threshold or gateway)로서의 역할을 하고 있음을 분석적으로 제시하고 있다. 이에 관해서는 학습진행(learning progression)이나⁴⁶ 멘탈모델의 발달(mental model development)의⁴⁰ 관점에서 원자구조를 해석했던 사전연구와 비교해 체계적이고 보강된 연구가 진행 중이다.

교사들이 관찰하는 학생들의 “아~하!” 반응에 대한 경험을 서술한 인터뷰 내용을 자세히 살펴보면 교사들은 자신이 비교적 스스로 찾아가는 과정을 통해 “아~하!” 하였음을 기억하고 있는 데 반해, 학생들은 교사들이 사용한 특정 교수법에 상응하는 반응을 보였다고 진술했다. 학생이 질문하였을 때 여러 가지 다른 접근법으로 내용이나 상황을 자세히 설명해 주었을 때 학생들의 이해가 더 높았음을 기억하고 있었다. 구체적으로는 첫째, 다양한 예를 들어 설명할 때, 둘째, 비유나 그림 등 학생들의 눈높이에 해당하는 접근법을 사용하였을 때(한 선생님은 몰개념 설명을 위해 친숙하고 화학물질이라는 느낌이 나지 않도록 작은 알맹이의 과자를 사서 원자를 어떻게 세는 것이 좋을지 비교하며 생각을 유도했다고 한다.), 셋째, 개념도 등의 도구를 이용하여 개념 간의 혹은 과정과 개념, 이론 등의 상관관계를 직접 보여줄 때(한 선생님은 “가운데 다리 역할을 하는 이야기를 던졌을 때”라는 표현을 씀), 넷째, 드라마나 영화 등 학생들의 관심을 끌만한 상황을 끌어와서 화학의 개념을 설명하거나 과학사에 근거한 배경이나 기원을 이야기처럼 풀어서 설명할 때, 다섯째, 일부러 의도적인 질문으로 해당하는 개념이나 이론 혹은 상관관계를 알아가도록 유도할 때, 여섯째, 실제 체험할 수 있는 상황을 전개할 때, 마지막으로 예전 학습을 구체적으로 상기시킬 때 등에서 학생들이 “아~하!” 반응을 보였다고 한다. 이는 문지방을 극복한다는 것은 개인의 경험이지만, 교수법으로 도움받아 발전 혹은 더 많은 경험을 하도록 할 수 있다는 점에서 교사와 학생의 문지방개념을 파악하고 비교하는 연구의 교육학적 의의를 찾을 수 있다.

결과 및 제언

서울지역의 네 군데 학교에서 설문자료를 모은 본 연구의 결과가 우리나라 고등학교 3학년의 의견을 대표할 수는

없지만, 국제적 평가에서 거둔 높은 과학성취도 결과에 반해 학생들의 과학흥미도는 낮고, 그 원인으로 많은 학생이 과학이 그냥 낯설고 어려운 과목이어서라고 생각하고 있으며, 어렵다고 생각되는 개념을 이해하기보다는 학습을 포기하거나 단순 암기로 문제풀이에 집중하여 과학 학습에서의 “아~하” 경험이 적다는 결과는 진지하게 생각해 보아야 할 과제이다. 과학흥미도 조사에서 학생들이 과학이 흥미롭지 않다고 제시하는 많은 이유가 문지방개념의 문지방속성과 관련되어 있음을 알 수 있다. 즉, 개념 자체가 까다롭고 어렵고 교과에서 배우는 이론을 어떻게 적용해야 하는지(문제풀이, 실험, 현상의 해석 등)를 알지 못하는 것이 이유라고 한다면 이는 문지방개념의 까다로움과 통합적속성을 이해하지 못한 것과 일치한다. 이는 화학 교과의 문지방개념을 파악하고 그 속성을 이해하는 것이 왜 중요한지를 설명한다. 단지 교과의 중요한 개념을 중심으로 지도하는 것이 아닌, 교사, 과학교육자, 과학자들의 경험을 토대로 문지방개념을 찾고 개념이 갖는 본질적 속성을 드러내어 “아~하”의 경험을 유도할 수 있는 교재나 교수법을 개발한다면 학생들의 학습에서 겪어야 하는 시행착오와 과학에 대한 흥미도 감소를 줄이는 유용한 방법이 될 것이다. 교사들과 학생들의 문지방개념과 이해도의 차이는 예상되는 부분이지만, 교사들의 인터뷰를 보면, 많은 선생님도 유의미한 “아~하”를 경험한 것은 고등학생으로서 과학을 학습할 때보다도 교사로서 가르치고 학생으로부터 질문을 받을 때라고 진술한 것을 볼 수 있다. 이를 보면 학생 수준에서 문지방을 넘는 경험을 한다는 것은 쉽지 않음을 시사한다. 즉, 학생들의 과학학습과정에는 문지방개념보다 어려운 개념이 많다는 것을 의미한다. 물론, 학생들이 어렵다고 생각하는 개념 중 몇몇은 그 개념의 의미와 속성에 의해 문지방개념이 되는 잠재성을 보이는 것들도 많으며, 일부이기는 하지만, 이것을 경험한 학생들도 있음을 알 수 있다. 하지만 그 수는 적으며, 선생님들 역시, 일반 학생들이 문지방개념의 통합적 속성을 읽어내는 것은 어려운 것으로 예측한다. 이러한 결과는 무엇이 우리의 과학교육에서 더 강조되어야 하는지를 분명히 나타낸다. 문지방개념을 찾는 작업은 크게 보면 화학에서의 통합적이며 전환적 속성을 지닌 핵심개념을 찾아 개념이 가지고 있는 까다로움이나 어려움의 속성을 분석하고 드러내어 극복하는 방안을 고민하는 것이다. 이러한 작업은 학습진행의 스펙트럼을 밝히는 일에도, 과학개념학습의 어려움을 이해하고 예측하는 데도, 적절한 교수법을 개발하는 방법에도 많은 도움이 될 것으로 보인다.

Acknowledgments. 이 논문은 2012년도 정부(교육부)의

재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2012S1A5A8024386).

REFERENCES

- Hurd, P. D. *Science Education* **1998**, 82, 407.
- Sadler, T. D.; Zeidler, D. L. *Journal of Research in Science Teaching* **2009**, 46(8), 909.
- Lee, M.-K.; Erdogan, I. *International Journal of Science Education* **2007**, 29(11), 1315.
- Kind, P. M.; Kind, V. *Studies in Science Education* **2008**, 43(1), 1.
- Ministry of Education, Science & Technology. *2009 Revised Science Curriculum*; 2009.
- Bybee, R.; McCrae, B. *International Journal of Science Education*. **2011**, 33(1), 7.
- Bybee, R.; McCrae, B.; Laurie, R. *Journal of Research in Science Teaching* **2009**, 46, 865.
- Kim, K.; Si, K.; Kim, M.; Ok, H.; Im, H. *International Comparative Study for OECD Academic Achievement; PISA 2009 report*, Korea Institute of Curriculum and Evaluation: 2010.
- Lee, M.; Son, W.; No, Y. *Study Analyzing PISA 2006 Results: Scientific Literacy, Writing, Reading and Mathematics Literacy*, KICE report, Korea Institute of Curriculum and Evaluation: 2008.
- Kim, D.; Seo, H.; Kim, M. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2013**, 33(2), 538.
- Hwang, Y. Solutions for the Decrease Numbers of Students Who Applied to the Department of Science and Technology. Master's Thesis, Korea National University of Education, Cheongwon, Korea, 2006.
- Ministry of Education, Science and Technology. *Study About How To Reform the System of Teaching and Learning Science and Technology To Improve Workforce in the Field*; Research Report, 2008.
- Sadler, T. D.; Burgin, S.; McKinney, L.; Ponjuan, L. *Journal of Research in Science Teaching* **2010**, 47(3), 235.
- DeWitt, J.; Osborne, J.; Archer, L.; Dillon, J.; Willis, B.; Wong, B. *International Journal of Science Education* **2013**, 35(6), 1037.
- Kwak, Y.; Kim, C.-J.; Lee, Y.-R.; Jeong, D.-S. *Journal of Korean Earth Science Society* **2006**, 27(3), 260.
- Kim, S. Development Strategies on the Trend of Students Avoiding Science and Engineering. Master's Thesis, Yonsei University, Seoul, 2002.
- Kim, T. *Korean Policy Studies Review* **2005**, 14(1), 243.
- Kim, K.-S.; Lee, H.-C. *Journal of Science Education* **2009**, 33(1), 100.
- Krapp, A.; Prenzel, M. *International Journal of Science Education* **2011**, 33(1), 27.
- Hidi, S.; Renninger, A. *Educational Psychologist* **2006**, 41, 111.
- Park, E.-J.; Choi, K. *Journal of the Korean Association*

- for *Science Education* **2010**, 30(7), 920.
22. Lebard, R.; Thompson, R.; Michlich, A.; Quinnell, R. *Proceedings of the Australian Conference on Science and Mathematics Education* **2009**, 77.
 23. Meyer, J. H. F.; Land, R. *Higher Education* **2003**, 49(3), 373.
 24. Meyer, J. H. F.; Land, R. In *Overcoming Barriers to Student Understanding*; Meyer, J. H. F., Land, R., Eds.; Routledge: New York, 2006; p 3.
 25. Perkins, D. In *Overcoming Barriers to Student Understanding*; Meyer, J. H. F., Land, R. Eds.; Routledge: New York, 2006; p 33.
 26. McClosky, M. In *Mental Models*; Gentner, D., Stevens, A. L., Eds.; Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1983; p 299.
 27. Hahn, C. L. In *Cognitive and Instructional Processes in History and the Social Sciences*; Carretero, M., Voss, J. F., Eds.; Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1994; p 201.
 28. Vygotsky, L. S. *Mind in Society*; Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts, 1978; p 84.
 29. Davies, P. In *Overcoming Barriers to Student Understanding*; Meyer, J. H. F., Land, R., Eds.; Routledge: New York, 2006; p 70.
 30. Park, E.-J.; Light, G. In *Threshold Concepts and Transformational Learning*; Meyer, J. H. F., Land, R., Caroline, B., Eds.; Sense Publishers: Rotterdam, The Netherlands, 2010; p 259.
 31. Christensen, W. M.; Meltzer, D. E.; Ogilvie, C. A. *American Association of Physics Teachers* **2009**, 77, 907.
 32. Carson, E. M.; Watson, J. R. *The Royal Society of Chemistry* **2002**, 6(1), 4.
 33. Sozibilir, M. *The Royal Society of Chemistry* **2002**, 6, 73.
 34. Thomsan, P. L.; Schwenz, R. W. *Journal of Research for Science Teaching* **1998**, 35, 1151.
 35. Ribeiro, M. G. T. C.; Costa Pereira, D. J. V.; Maskill, R. *International Journal of Science Education*. **1990**, 12, 391.
 36. Staver, J. R.; Lumpe, A. T. *Journal of Research in Science Teaching* **2006**, 32(2), 177.
 37. Case, J. M.; Fraser, D. M. *International Journal of Science Education* **1999**, 21(12), 1237.
 38. Novik, S.; Menis, J. *Journal of Chemical Education* **1976**, 53(11), 720.
 39. Krishnan, S. R.; Howe, A. C. *Journal of Chemical Education* **1994**, 71(8), 653.
 40. Park, E.-J.; Light, G. *International Journal of Science Education* **2009**, 31(2), 233.
 41. Tsitsipis, G.; Stamovlasis, D.; Papageorgiou, G. *International Journal of Science and Mathematics Education* **2012**, 10(4), 777.
 42. Taber, K. S.; Garcia-Franco, A. *Journal of the Learning Sciences* **2010**, 19(1), 99.
 43. Kautz, C. H.; Heron, P. R. L.; Loverude, M. E.; McDermott, L. C. *American Journal of Physics* **2005**, 73, 1055.
 44. Kautz, C. H.; Heron, P. R. L.; Shaffer, P. S.; McDermott, L. C. *American Journal of Physics* **2005**, 73, 1064.
 45. Lederman, N. G.; Gess-Newsome, J. *Journal of Science Teacher Education* **1992**, 3(1), 16.
 46. Stevens, S. Y.; Delgado, C.; Krajcik, J. S. *Journal of Research in Science Teaching* **2010**, 47(6), 687.
-

부록 1. 연구에 사용된 설문 문항

1	학교	학년
2	이름	성별
3	과학은 어떤 과목이라고 생각하는지 아래 항목 중에서 적절한 대답에 표해주세요. a. 매우 흥미롭다 b. 흥미롭다 c. 그저 그렇다 d. 흥미롭지 않다 e. 싫어하는 과목이다	
4	과학이 흥미롭고 재미있다고 대답하였다면 (3번 문항에 a 혹은 b), 그 이유를 써주세요.	
5	과학이 흥미롭지 않고 싫은 과목이라면 (3번 문항에 c, d, e로 대답), 그 이유를 써주세요.	
6	수능을 위해 선택한 과학 과목이 무엇인지 써주세요. (여러 가지 답 가능)	
7	학업성적을 (전 과목기준) 아래 항목 중에서 표해주세요. a. 상 b. 중~상 c. 중 d. 중~하 e. 하	
8	화학교과목의 성적을 아래의 항목 중에서 표해주세요. a. 상 b. 중~상 c. 중 d. 중~하 e. 하	
9	화학 1과 2를 배웠던 것을 다시 생각해보면 해당 교과에서 무슨 개념이 (3가지) 가장 이해하기 어려웠고 그 이유는 무엇입니까? 위의 어려웠던 개념(들)을 이해하는 데 특히 도움이 되었던 방법이 있다면 표해주세요. (여러 가지 답이 가능하며 항목에 없는 경우 (4) 그 외 방법에 구체적으로 써주세요.) (1) 이해 못 함 (포기) (2) 이해는 못 했지만 암기 (3) 선생님의 (질문-응답) 설명으로 이해 (4) 교과서 혹은 참고서를 읽고 이해 (5) 그 외 방법	
10		
11	화학 1과 2를 학습한 경험을 돌이켜 볼 때 담당 교과 내의 “문지방 또는 아~하! 개념”은 무엇이라고 생각하는지 구체적으로 써주세요.	
12	위에서 거론한 문지방/아~하 개념들을 이해할 때의 “아~하” 했던 상황을 구체적으로 써주세요.	
13	위 질문에서 거론한 문지방/아~하 개념들을 이해하는 경험을 통해 해당 교과의 학습에 어떤 이점을 얻었는지 구체적으로 써주세요.	

부록 2. 화학 개념 분류기준

대단원	분류기준항목	소단원	구체적 개념들
화학 I	물	물	표면장력, 모세관 현상, 부착력
	탄화수소화합물	탄화수소화합물	삼중결합, 사슬결합, 탄소화합물, 이성질체
	화학식량과 물	화학식량 물	원자량, 분자량, 화학식량 물의 정의
물질의 상태와 용액	기체	기체	기체의 압력, 분자운동, 보일, 샤를의 법칙 이상기체 상태방정식 부분압력의 법칙
	액체와 고체	액체, 고체	증기압, 끓는점, 결정
	용액	상변화와 에너지	상변화, 상평형/그림, 상변화 에너지, 끓는점, 어는점, 녹는점
		용해, 용액	용해, 용매, 용질, 용액
		용해도	용해평형, 용액종류, 용해도, 용해도 곡선, 헨리의 법칙
물질의 구조	원자구조	농도	퍼센트, 몰, 몰랄농도, 몰분율, 농도의 확산 & 농도계산, 단위변환
		묽은용액 총괄성	증기압내림, 라울의 법칙, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압
		원자구성	원자구성, 전자배치
	원소와 주기율	원자모형	보어의 모형, 선스펙트럼, 전자배치의 원리, 현대적 원자모형, 전자껍질, 오비탈수, 주양자수, 혼성화
		원소의 표시	원자번호, 질량수, 동위원소, 화합물, 화합물종류
		주기율표	주기율, 주기율표, 금속/비금속, 전형/전이원소
		주기적성질	원자/이온반지름, 이온화에너지, 전자친화도, 유효핵전하, 이온, 공통이온
	화학결합	결합	이온결합, 공유결합, 금속결합
		분자의 모양	극성, 전자쌍 반발원리, 결합구조, 분자모양, 특성
		분자간의 힘	분산력, 쌍극자, 수소결합, 결합세기
화학반응과 에너지	화학반응식	화학반응식, 화학양론, 질량보존의 법칙, 반응의 종류	
	엔탈피	엔탈피, 엔탈피 변화	
	반응의 자발성	엔트로피, 자유에너지	
	열화학반응식	열화학, 열화학 반응식	
	반응열	반응열, 반응열종류, 측정 (열용량), 헤스의 법칙	
반응속도	반응속도	반응속도, 반응 속도식	
	반응의 경로와 에너지	활성화에너지, 유효충돌	
	반응속도에 영향을 주는 요인	농도, 압력, 표면적, 온도, 촉매, 아레니우스식, 적분속도론	
화학반응	화학평형	평형상태 평형의 법칙	평형상수, 반응진행방향, 르샤틀리에법칙, 암모니아 합성법
	산과 염기의 반응	정의	
		세기	이온화 상수, 세기, 이온화도, 산-염기평형
		물의 자동이온화와 pH	물의 자동이온화, pH 값
		중화적정	적정반응, 지시약, 적정곡선
	산화 환원의 반응	염	염과 가수분해
		완충용액	
		정의	정의, 특성
	산화 환원의 반응	반응	반응, 산화수, 반응식
		화학전지	전지, 표준환원전위
전기분해			
일반화학			유기메커니즘, MOT, LFT, 배위결합, 자성, 핵반응, 융합
없음			
무응답			기억안남, 이해 못함, 모름, 무응답