

## 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업 적용의 효과: 고등학교 화학 I을 중심으로

조 희 · 최애란\*

이화여자대학교 과학교육과  
(접수 2014. 10. 31; 게재확정 2014. 12. 24)

### The Effects of the Argument-Based Claim and Evidence Writing Approach: Focus on High School Chemistry

Hui Jo and Aeran Choi\*

Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea. \*E-mail: achoi@ewha.ac.kr  
(Received October 31, 2014; Accepted December 24, 2014)

**요 약.** 본 연구는 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 교수·학습 전략을 적용하여 조별 논의 후와 학급 논의 후에 주장과 증거 글쓰기의 변화, 비판적 사고력의 변화, 수업에 대한 인식을 알아보는 것을 목적으로 하였다. 서울 소재 고등학교 2학년 2개 학급의 학생 72명을 대상으로 한 학기 동안 화학 I의 10개의 주제에 대하여 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업을 하였다. 조별 논의 후에 주장 점수는 9개 주제에서 증거점수는 10개 모든 주제에서, 학급 논의 후에 주장 점수는 7개 주제에서 증거 점수는 10개 모든 주제에서 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 설문에서 학생들은 조별 논의를 하는 과정에서 문제 상황을 이해하게 되어 주장과 증거를 만들 수 있었고, 학급 논의를 통해 충분한 증거를 제시할 수 있었다고 응답하였다. 학생들의 비판적 사고 능력 점수가 통계적으로 유의미하게 향상된 결과 또한 이를 뒷받침한다.

**주제어:** 논의, 주장과 증거, 글쓰기

**ABSTRACT.** The purpose of this study was to examine changes in student writings of claim and evidence after group and class discussions; changes in students' critical thinking; and students' perceptions on an argument-based claim and evidence writing approach. Seventy two grade 11 students from two classes of a high school located in Seoul participated in ten chemistry activities using the argument-based claim and evidence writing approach. Claim scores for 9 topics and evidence scores for 10 topics significantly improved after group discussion. There were also statistically significant differences in claim scores for 7 topics and evidence scores for 10 topics after class discussion. Participant students responded to an open-ended survey that group discussion helped them to figure out the problem context and class discussion guided them to provide with more sufficient evidence. There were also statistically significant increases in sub-scores of the Cornell Critical Thinking Test after the intervention.

**Key words:** Argumentation, Claim and evidence writing, High school chemistry

## 서 론

과학자들은 탐구 문제를 해결하기 위해 데이터를 수집, 해석하여 주장과 그것을 뒷받침하는 증거를 제시하고 다른 과학자들과 토론하고 협의하는 과정에서 과학 지식을 형성한다.<sup>1</sup> 과학 지식이 과학자들의 논의를 통한 탐구과정으로 얻어지는 성과인 만큼 초, 중, 고등학생들의 과학 학습도 수동적인 과학 지식의 수용에 의한 것이 아니라 논의를 바탕으로 한 탐구를 통해 이루어져야 할 것이다.<sup>2-4</sup> 최근 발표된 미국의 국가 과학 교육 목표(Next Generation Science Standards: NGSS)에서도 과학 실천(scientific practice)에서

증거에 기반을 둔 논의를 통해서 진정한 과학 개념 학습이 가능하다고 주장하고 있다.<sup>5</sup> 말로 이루어지는 논의 뿐만 아니라, 표, 그림, 그래프, 수식, 모형 등을 포함한 글쓰기 또한 과학 탐구 활동에서 강조되고 있다.<sup>6</sup> 과학자들은 과학을 하는 과정에서 글쓰기를 통해 생각을 정리하고 과학적 개념을 재조직하여 새로운 아이디어를 창출한다. 과학 글쓰기 활동이 학생들에게도 문제에 대한 주장을 제시하고 데이터와의 논리적 관계를 바탕으로 정당화 하고 정교화 하는 기회를 제공한다는 연구 결과들이 보고되어 왔다.<sup>7-10</sup> 이러한 관점에서 우리나라 2007 개정 과학 교육과정에서도 학생들의 비판적 사고력 신장의 중요성을 강조하며 교

수·학습 방법으로 과학글쓰기를 제안하고 있다.<sup>11,12</sup>

그러나 대부분의 현장과학교사들이 논의와 과학 글쓰기 활동을 경험하지 못하였고, 이러한 수업에 대하여 어려움과 부담감을 느끼고 있다는 선행 연구의 결과는 현장 교사에게 구체적 교수·학습 전략을 제공해 줄 필요가 있음을 시사한다.<sup>13,14</sup> 이러한 관점에서 과학 탐구에서 논의와 글쓰기를 강화시킨 여러 가지 전략들이 제시되어 왔는데,<sup>27</sup> 그 중 Keys 등에 의해 개발된 탐구적 과학 글쓰기(Science Writing Heuristic(SWH) approach)는 학생들이 문제 상황에서 논의와 글쓰기를 통해 능동적으로 사고하고 과학적 지식을 구성하여 학습을 하도록 안내하는 틀을 제공한다.<sup>7</sup> 탐구적 과학 글쓰기(SWH)에서 학생들은 스스로 탐구 의문을 제기하고, 이를 해결하기 위한 실험을 설계, 수행하고 결과를 해석하여 주장과 증거를 제시한다. 또한 동료 간의 논의를 통해 자신의 탐구과정을 돌아보는 반성적 사고를 하게 된다.<sup>15-17</sup>

최근 국내 여러 연구에서 탐구적 과학 글쓰기 교수·학습 활동이 과학 개념의 이해, 과학적 글쓰기, 과학 탐구 능력, 논의의 활성화에 도움이 된다는 연구 결과가 보고된 바 있다.<sup>10,18-21</sup> 탐구에서의 논의와 글쓰기를 통한 진정한 의미의 과학 교수·학습은 과학 교육 목표에서 강조하고 있는 바와 같이 K-12 모든 학년의 학생들에게 적용되어야 하고 그 내용은 학년이 높아질수록 단계적으로 심화 정교화 될 수 있다.<sup>5</sup> 특히 NGSS에서는 말로 하는 논의뿐만 아니라 글쓰기가 포함된 8가지 과학 실천 각각에 대하여 K-12 각 학교 급의 학생들이 성취해야 하는 수준을 단계적으로 제시하고 있는데, 이는 초, 중, 고등학생 모두에게 논의와 글쓰기가 포함된 과학 탐구의 실천이 교수 학습 과정으로서 중요함을 강조하는 것이다. 그러나 대부분의 탐구적 과학 글쓰기 교수·학습에 관한 국내 선행 연구는 초등학교, 중학생, 또는 대학생에 대상으로 한 연구들로, 고등학생을 대상으로 한 연구는 찾아보기 힘들다. 이러한 관점에서 강의식, 확인 실험 위주의 과학수업에 익숙한 고등학교 학생들에게 논의와 글쓰기가 포함된 과학 탐구 수업 적용하는 경우에도 초등학교와 중학교 학생들에게서와 같이 긍정적인 학습 효과가 나타날지 알아보는 것이 의미가 있을 것이다. 또한 대학 입시 준비, 교육과정, 제한된 시간 등의 부담을 크게 느끼는 고등학생들이 논의와 글쓰기가 포함된 과학 탐구 수업을 어떻게 인식하는지 알아본다면 고등학교 과학교육 현장에 중요한 시사점을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기존의 탐구적 과학 글쓰기(SWH) 학생 틀을 국내 중학생들을 대상으로 보완한 선행 연구에서의<sup>22</sup> 학생들을 바탕으로 논의를 강조한 주장 증거 글쓰기 교수 학습 과정 안으로 수정·보완하여 적용하였다. 탐구적 과학

글쓰기(SWH)에서는 학생들이 조별 토론을 거쳐 주장과 증거 글쓰기를 하도록 유도 하고 있으나 조별 토론이나 학급 토론 이후에 수정되거나 변화된 주장과 증거 제시를 명시화하도록 하지는 않는다. 본 연구의 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기에서는 조별 또는 학급 토론이 활발히 이루어지도록 유도하고 이를 통해 수정 보완된 주장과 증거를 단계적으로 명시화하여 쓰도록 안내하였다. Toulmin, Zeidler, Kelly, Sandoval 등이 수행한 여러 선행 연구에서 보고한 바와 같이 학생들은 자신의 주장을 뒷받침하기 위한 적합하고 정확하며 충분한 근거를 제시하는 것을 어려워한다.<sup>23-26</sup> 또한 학생들은 선택한 근거가 주장을 뒷받침하는 이유를 설명하지 않는 경우가 많다고 보고되어 왔다. 이러한 학생들의 주장과 증거 제시에 관한 어려움에 관련된 여러 선행 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 조별 논의 및 학급 논의 이후에 제시된 주장과 증거가 타당성, 정확성, 충분성의 기준으로 질적 변화가 있는지 알아보고자 하였다. 즉, 학생들은 제시된 의문에 대한 주장과 증거 글쓰기 I을 하고, 조별 논의를 통해 수정·보완된 주장과 증거 글쓰기 II를 한다. 이후, 학급 논의 활동을 통해 최종적으로 정교화 된 주장과 증거 글쓰기 III를 한다. 마지막으로 전체 탐구과정을 스스로 돌아보는 반성적 사고 글쓰기를 하도록 안내한다. 즉, 학생들이 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 I, II, III의 과정을 거치면서 주장과 증거에 변화가 있는지와 학생들이 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 교수 학습 과정의 경험을 어떻게 인식하는지 알아보고자 한다. Rivard, Wallace, Keys 등이 수행한 여러 선행 연구는 데이터를 조직화하고 해석하여 주장과 증거를 제시하는 과학 글쓰기에서 논리적 비판적 사고력이 중요하다고 주장하였다.<sup>8,27,28</sup> 이러한 관점에서 논의를 강조한 주장 증거 글쓰기 수업 적용 후에 학생들의 비판적 사고력에 변화가 있는지도 알아보고자 한다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 조별 논의 후와 학급 논의 후에 학생들의 주장과 증거 글쓰기에 변화가 있는가?

둘째, 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업 적용 후에 학생들의 비판적 사고력에 변화가 있는가?

셋째, 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업 경험에 대한 학생들의 인식은 어떠한가?

## 연구 방법

본 연구에서는 자연 과정 2개 학급의 수업 방법을 동일하게 진행하여야 하는 학교 현장의 사정으로 비교집단이 없는 단일집단 사전사후 검사를 실시하였다.<sup>29</sup>

**연구 대상**

본 연구에서 교수·학습 과정 안을 개발하고 수업을 한 교사가 근무하는 서울 소재 Y여자고등학교 2학년 자연과 정 2개 학급 72명을 연구 대상으로 하였다. 학급 내 조 편성은 전년도 과학 학업 성적을 기준으로 5~6명의 이질집단으로 구성하였다.

**논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 교수·학습 전략 개발**

본 연구에서 적용한 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 교수·학습 전략은 탐구적 과학 글쓰기(Science Writing Heuristic approach)을 바탕으로 수정·보완한 것으로 Table 1과 같다. 우선, 교사가 동영상이나 실험 등 다양한 학습 자료를 이용하여 학생들의 동기를 유발하고, 학습 목표에 맞는 문제를 인식하도록 돕는다. 학생들은 문제를 해결하기 위해 제시문을 해석하거나 실험을 설계·수행 한다. 결과를 해석하여 주장과 증거 글쓰기 I를 한다. 조별 논의 후 수정되거나 보완된 주장과 증거 글쓰기 II를 한다. 조별로 주장과 증거를 발표하고, 과학 용어가 포함된 읽기자료와 자신의 주장과 증거를 비교하여 평가하는 학급 논의 후, 더욱 정교화된 주장과 증거 글쓰기 III을 한다. 마지막 단계인 반성적 사고 글쓰기에서는 수업을 되돌아보면서 자신의 주장과 증거가 어떻게 변화되었는지, 어떤 활동이 어려웠는지 등을 서술한다.

**주제 선정 및 교수 학습 과정안 개발**

2009 개정 교육과정 화학 I의 4개 대단원 중 1학기 교육 과정에 포함되어 있는 단원 I, II, III 중에서 주제 10개를 선정하였다. 10개의 주제는 양금생성반응, 화학반응식의 의미, 원자 구성 입자와 원자모형, 보어원자 모형, 오비탈,

오비탈 전자배치, 주기율표, 주기적 성질, 이온결합과 공유결합, 녹는점과 끓는점 등이다.

각 주제에 대한 교수·학습 과정안과 활동지를 개발하고 수업을 한 교사는 사범대에서 화학교육을 전공한 경력 2년 차 현직 화학 교사로서 개발 및 적용 과정에서 과학교육 전문가 1명과 협의를 하였다. 이 교사는 대학원에서 화학 논리및논술교육론 수강, 탐구적 과학 글쓰기 워크샵 5회 30시간 참여 및 본 연구 이전에 고등학교 자연과정 2학년 학생을 대상으로 3개월 동안 탐구적 과학 글쓰기 수업을 해본 경험이 있다.

**주장과 증거 글쓰기 분석틀 개발**

본 연구에서는 논의에 관한 여러 선행 연구를<sup>2, 15, 30-31</sup> 바탕으로 과학교육 전문가 1인, 대학원에 재학 중인 현직 교사 2인이 논의를 통해 주장과 증거 글쓰기 분석틀을 개발하였다(Table 2). 탐구 문제에 대한 결론인 주장(claim)과 그것을 뒷받침하는 증거(evidence)는 각각 표현방법에 따라 글로 표현된 ‘서술 주장’, ‘서술 증거’와 그림, 글, 그래프 등 다중표상으로 표현된 ‘다중표상 주장’, ‘다중표상 증거’로 나누어 분석하였다. 서술 점수와 다중표상 점수를 합하여 ‘주장 총합 점수’, ‘증거 총합 점수’를 구하였다.

주장을 글로 서술한 부분은 개수, 정확성, 충분성, 타당성의 요소로 분석하였고, 그림, 그래프, 표, 수식 등 다중표상으로 표현된 부분은 개수, 정확성, 충분성, 타당성, 내재성(embeddedness)요소로 분석하였다. 각 요소는 0, 1, 2의 3단계로 분석하였다. ‘개수’의 요소는 개수마다 1점을 부여하였다. 예를 들어 주제 8은 ‘주기율표의 오른쪽, 위로 갈수록 이온화 에너지가 커지는 경향성이 있다’ ‘주기율표의 오른쪽 위로 갈수록 전기음성도가 커지는 경향성이

**Table 1.** Argument-Based Claim and Evidence Writing Approach

Stage	Teacher	Student
Identifying Questions	Engage students in identifying questions, use various types of teaching materials, and stimulate students motivations	Examine materials and identify problems/questions
Data Collection and Analysis	Provide students with appropriate and valid data and guide students to plan investigations and analyze data	Analyze and interpret data that are given to them or collected from their own investigations
Claim and Evidence I	Guide each student to propose claims and evidence based on interpretation of data	Propose claims and provide evidence individually
Group Negotiation	Use questioning strategies, provide feedbacks to students, and facilitate each group negotiation	Negotiate claims and evidence within a group
Claim and Evidence II	Guide students to propose revised claims and evidence based on group negotiation	Propose revised claims and evidence based on group negotiation
Class Negotiation	Use questioning strategies, provide feedbacks to students, facilitate class negotiation, and help students construct accurate science concepts	Negotiate claims and evidence across groups
Claim and Evidence III	Guide students to propose revised claims and evidence based on class negotiation	Propose revised claims and evidence based on class negotiation
Reflection	Guide students to reflect what and how they learn science	Reflect the whole procedure with respect to science learning

**Table 2.** Analysis Framework for Evaluating Claim and Evidence Writing

Component		Level			
		0	1	2	
Claim	Text	Number	1 point per each claim		
		Accuracy	inaccurate	may include inaccurate claim	accurate
		Sufficiency	insufficient	may include insufficient claim	sufficient
		Validity	invalid	may include invalid claim	valid
	Multi modes	Number	1 point per each mode		
		Accuracy	inaccurate	may include some inaccurate multi modes	accurate
		Sufficiency	insufficient	may include some insufficient multi modes	sufficient
		Validity	invalid	may include some invalid multi modes	valid
Evidence	Text	Number	1 point per each evidence		
		Source	superstition	prior knowledge	data interpretation
		Accuracy	inaccurate	may include inaccurate evidence	accurate
		Sufficiency	insufficient	may include insufficient evidence	sufficient
	Multi modes	Validity	invalid	may include invalid evidence	valid
		Number	1 point per each mode		
		Accuracy	inaccurate	may include some inaccurate multi modes	accurate
		Sufficiency	insufficient	may include some insufficient multi modes	sufficient
	Validity	invalid	may include some invalid multi modes	valid	
	Embeddedness	unembedded	may include some unembedded modes	embedded	

있다' '주기율표의 왼쪽 아래로 갈수록 원자 반지름이 작아지는 경향성이 있다' 의 3가지 주장이 가능하다. '정확성'은 주장에 포함된 과학 내용의 옳고 그름을 판단하는 요소이다. 예를 들어, 러더퍼드 알파입자 산란실험 결과를 해석하여 학생들이 제시한 주장이 '작은 크기의 원자핵이 가운데 있고 주위를 전자가 자유롭게 돌고 있다' 일 때는 정확성에 2점, '(+) 전하를 가진 큰 원자핵 여러 개가 원자 표면전체에 고르게 박혀있다' 일 때는 원자핵의 존재를 언급하였으나 일부 옳지 않은 부분이 있으므로 1점이 부여되었다. '원자 구조 모양은 물고기이다'는 주장은 틀린 내용이므로 0점이 부여되었다. '충분성'은 변인 관계 또는 과학 개념을 구체적으로 서술하는지를 평가하는 요소인데, 변인 관계를 구체적으로 진술한 경우 2점, 각 변인과의 관계가 구체적이지 않은 진술인 경우는 1점, 요인(변인)만 언급 한 경우 0점을 부여하였다. 예를 들어, '주기율표의 주기적 성질' 주제에서 '주기율표의 주기가 커지고 족 번호가 작을수록 원자 반지름이 크다'의 주장은 구체적인 변인 관계가 충분히 서술되었으므로 충분성에 2점이 부여되었다. '주기율표의 주기가 커질 때와 족 번호가 작아질 때 원자반지름의 크기가 규칙적인 경향성을 보인다'의 주장은 변인관계가 서술되었으나 다소 불충분한 서술로 충분성에 1점이 부여되었다. '원자반지름은 주기와 관계있다'의 주장은 불충분한 서술로 0점이 부여되었다. '타당성'은 학습 목표와 관련된 내용으로 주장을 서술하

였는지 즉, 의문과 주장사이의 관계성을 평가하는 요소이다. 예를 들어, '이온결합과 공유결합 물질의 녹는점과 끓는점'의 주제에서 탐구 문제는 '어떤 요인이 이온결합 물질과 공유결합 물질의 녹는점과 끓는점에 영향을 미치는가?' 이었다. 이에 대하여 '이온결합 물질은 전하량이 클수록 이온간 거리가 짧을수록 끓는점이 높다' 와 같은 주장은 의문에 적합한 설명이므로 타당성에 2점이 부여되었다 '이온결합 물질과 공유결합 물질 모두 끓는점이 높다' 라는 주장은 끓는점에 영향을 주는 요인에 대한 설명을 하지 않아 타당성에 1점을 부여하였다. '이온결합 물질은 금속과 비금속의 결합이라 수용액에서 전기 전도성이 있다' 라는 주장은 옳은 내용이나 의문에 대한 답으로서의 타당성은 0점을 부여하였다. '내재성'이란 다중표상에 대하여 글 문맥상에 설명되어있는 것을 의미한다. 예를 들어서 '주기율표의 주기적 성질'의 주제에서 이온화 에너지를 그래프로 표현하고 '왼쪽 그래프를 보면 x축은 원자번호, y축은 이온화 에너지이며, 원자번호가 커질수록 이온화 에너지가 커지는 경향성이 있다' 라는 설명을 쓴 경우는 내재성이 높으므로 2점을 부여하였다. '왼쪽을 보면 이온화 에너지가 커진다' 라고 진술한 경우 설명을 덧붙였으나 내용이 충분하지 못하므로 1점을 부여하였다. 단순히 그래프만 그려 놓고 설명을 덧붙이지 않으면 내재성에 0점을 부여하였다.

주장을 뒷받침하는 증거도 서술로 표현된 증거의 개수,

출처, 정확성, 충분성, 타당성과 다중표상으로 표현된 증거의 개수, 정확성, 충분성, 타당성, 내재성의 요소로 분석하였다. 각 요소는 0, 1, 2의 3단계로 분석하였다. 증거의 신뢰성에 영향을 줄 수 있는 ‘출처’는 주어진 객관적인 제시문, 실험결과, 읽기 자료 등을 분석하여 제시한 증거는 2점, 본인이 가지고 있던 과학 지식을 바탕으로 한 경우는 1점, 비과학적 지식인 경우는 0점을 부여하였다. ‘정확성’은 증거에 포함된 내용의 옳고 그름을 판단하는 요소이다. 증거의 ‘타당성’은 주장을 뒷받침하기에 얼마나 적합한 증거인가 즉, 증거와 주장과 관련성에 대한 요소이다.

### 비판적 사고력 검사지

Ennis와 Millman이 제작한 Cornell Critical Thinking Test, Level  $\chi$ 를 이용하여 수업 적용 전·후 동형 검사를 실시하였다.<sup>32</sup> 이 검사지는 니코마 호성탐사를 떠난 뒤 소식이 단절된 탐사우주선을 찾기 위해 두 번째로 발사된 탐사우주선에 관한 가설적 상황을 바탕으로 주어진 문항을 읽고 정답을 선택하는 3지선다형으로 이루어져 있다. 비판적 사고의 하위요인인 귀납추론, 관찰의 신뢰성, 연역추론, 추측에 대한 4개 영역, 총 76문항으로 이루어져 있으며 45분 동안 검사한다. 각 영역의 최고점은 귀납추론 25점, 관찰의 신뢰도 24점, 연역추론은 24점, 추측은 10점이다. 영역 I은 귀납추론 요인을 측정하는 부분으로, 진술문을 읽고 세 가지 선택 사항 중 가장 있을 법한 결론을 선택하는 것이다. 영역 II에서는 관찰의 신뢰성 요인을 측정한다. 여기서는 두 개씩 짝을 지은 진술문 중에서 어느 것이 옳은 정보인지를 선택함으로써 자료의 오류나 가설의 정당화를 평가할 수 있는 능력을 측정하는 것이다. 영역 III은 연역추론 요인을 측정하는 부분으로 귀납 추론을 측정하는 방법과 다르게, 이미 알고 있는 명제를 전제로 하여 새로운 명제를 결론으로 이끌어내는 능력을 측정한다. 주어진 진술문이 옳다는 가정 하에, 선택지 세 개 중에서 논리적으로 옳은 선택지가 어떤 것인지를 선택하게 한다. 영역 IV는 추측요인을 측정하는 단계로 진술문의 가정으로서 어떤 것이 옳은 선택지인지를 선택함으로써, 가정을 확인하는 능력을 측정하는 단계이다. 이 검사지는 비판적 사고력에 관한 여러 선행 연구에서 검사 도구로 이용되어 왔고, 신뢰도는 0.67–0.99이다. 각 영역-총점간의 상관도는 0.58–0.87이다.

### 학생 인식 설문지

논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업 적용 후 수업에 대한 학생들의 인식을 알아보고자 전체 학생 72명을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문지는 과학교육 전문가

1인과 본 연구에서 수업을 계획하고 수행한 교사가 협의를 거쳐 개발하였고, 수업 참여도, 주장과 증거 정교화, 이점, 어려운 점, 앞으로 화학 수업에서 적용 등에 대한 선택형 21문항과 서술형 5문항의 총 26문항으로 구성되어 있다.

### 자료 분석

10개의 주제에 대한 72명의 학생들의 주장과 증거 글쓰기 자료는 본 연구에서 개발된 분석틀을 이용해 분석하였다. 학생들의 주장과 글쓰기 자료 분석에 있어 본 연구에서 수업을 계획 수행한 교사와 다른 한명의 대학원생간의 평가자간 일치도는  $P_A=0.92$ 이다. PASW 18.0 통계 프로그램을 사용하여 대응표본 t-검정으로 조별 논의 전과 후, 조별 논의 후와 학급 논의 후에 주장과 증거에서 유의미한 점수 차이가 있는지 알아보았다. 수업 처치 전·후의 비판적 사고력 검사 결과도 대응 표본 t-검정으로 유의미한 차이가 있는지 알아 보았다. 수업에 대한 학생들의 인식을 묻는 선택형 설문 문항은 응답의 빈도수로, 서술형 문항은 응답 결과를 내용 분석하였다.

## 연구 결과

### 조별 논의 후 주장과 증거 글쓰기

조별 논의 전과 후의 주장과 증거 글쓰기 점수 차이를 대응표본 t-검정으로 분석하였다(Table 3). ‘주장 총합 점수’는 양금생성반응 주제를 제외하고 모든 주제에서 조별 논의 후에 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 양금생성반응 주제에서 제시될 수 있는 주장은 단 한가지 밖에 없었고 조별 논의 전과 후에 변화가 없었다. ‘증거 총합 점수’는 모든 주제에서 조별 논의 전보다 조별 논의 후에 통계적으로 유의미하게 향상되었다.

### 학급 논의 후 주장과 증거 글쓰기

조별 논의 후와 학급 논의 후의 주장과 증거 점수 차이도 대응표본 t-검정으로 분석하였다(Table 4). ‘주장 총합 점수’는 양금생성반응, 오비탈, 주기율표 등을 제외하고 7개 주제에서 학급 논의 후에 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 주기율표의 주제에서는 학생들이 학급 논의 후에 다중표상의 형태로 주장을 작성하면서, 주장 서술 점수가 감소하고 다중표상 주장점수가 증가하였으나 주장 총합 점수는 통계적으로 유의미한 차이는 아니었다. 양금생성반응이나 오비탈 주제는 조별 논의 후에 작성된 주장이 이미 명확한 한 가지의 주장이어서 학급 논의 후에 변화가 없었다. ‘증거 총합 점수’는 모든 주제에서 학급 논의 후에 통계적으로 유의미하게 향상되었다.

**Table 3.** Paired Samples t-Test for Claim and Evidence Before and After Group Argumentation

Topic		Before Group Discussion		After Group Discussion		Mean Difference	SD	t	p
		Mean	SD	Mean	SD				
Precipitation reaction	Claim	7.00	0.00	7.00	0.00	0	0	–	–
	Evidence	6.46	2.46	8.01	1.56	1.55	2.67	4.92	.000*
Chemical equation	Claim	5.11	1.98	6.63	1.10	1.52	1.84	7.02	.000*
	Evidence	5.43	3.74	7.71	2.60	2.28	3.70	5.23	.000*
Atomic theory	Claim	4.11	3.46	5.58	3.12	1.47	3.32	3.76	.000*
	Evidence	2.99	3.71	5.79	4.53	2.80	2.96	8.02	.000*
Bohr's atomic model	Claim	5.00	3.45	7.24	2.52	2.24	3.18	5.96	.000*
	Evidence	4.25	3.75	7.76	3.62	3.51	3.76	7.93	.000*
Atomic orbitals	Claim	6.31	2.09	7.00	0.00	0.69	2.09	2.82	.006*
	Evidence	4.76	3.67	7.54	2.84	2.77	3.14	7.50	.000*
Electron configuration	Claim	7.69	1.49	8.36	1.66	.67	1.84	3.08	.003*
	Evidence	5.58	3.00	7.32	2.26	1.74	2.58	5.71	.000*
Periodic table	Claim	5.15	2.48	5.99	2.03	.84	2.86	2.48	.015*
	Evidence	5.69	4.19	9.17	1.39	3.48	4.42	6.68	.000*
Periodic properties of elements	Claim	6.60	1.73	7.83	2.02	1.23	2.27	4.58	.000*
	Evidence	4.68	4.07	8.71	2.34	4.03	4.15	8.24	.000*
Ionic and covalent bonds	Claim	5.52	1.29	6.49	1.31	.97	1.51	5.42	.000*
	Evidence	4.81	3.83	6.88	2.39	2.08	3.18	5.55	.000*
Melting and boiling points	Claim	4.86	1.75	6.19	0.69	1.33	1.73	6.56	.000*
	Evidence	4.51	3.20	8.21	2.04	3.70	3.46	9.07	.000*

\* &lt; .05

**Table 4.** Paired Samples t-Test for Claim and Evidence Before and After Class Argumentation

Topic		Before Class Discussion		After Class Discussion		Mean Difference	SD	t	p
		Mean	SD	Mean	SD				
Precipitation reaction	Claim	7.00	0.00	7.00	0.00	0	0	–	–
	Evidence	8.01	1.56	9.23	2.38	1.23	2.50	4.17	.000*
Chemical equation	Claim	6.63	1.10	7.02	0.88	.38	1.01	3.24	.002*
	Evidence	7.71	2.60	8.86	1.70	1.15	2.72	3.57	.001*
Atomic theory	Claim	5.58	3.12	6.43	3.54	.85	2.89	2.49	.015*
	Evidence	5.79	4.53	8.85	3.93	3.06	4.90	5.30	.000*
Bohr's atomic model	Claim	7.24	2.52	8.51	3.16	1.28	2.96	3.67	.000*
	Evidence	7.76	3.62	10.22	4.02	2.45	4.29	4.85	.000*
Atomic orbitals	Claim	7.00	0.00	7.00	0.00	0	0	–	–
	Evidence	7.54	2.84	9.13	2.65	1.60	2.22	6.11	.000*
Electron configuration	Claim	8.36	1.66	8.89	1.81	.53	1.59	2.81	.006*
	Evidence	7.32	2.26	9.47	1.48	2.15	2.58	7.06	.000*
Periodic table	Claim	5.99	2.03	6.36	1.60	.37	1.74	1.81	.074
	Evidence	9.17	1.39	10.36	1.70	1.19	1.99	5.06	.000*
Periodic properties of elements	Claim	7.83	2.02	8.76	2.60	.94	1.93	4.13	.000*
	Evidence	8.71	2.34	10.38	2.77	1.68	2.88	4.94	.000*
Ionic and covalent bonds	Claim	6.49	1.31	6.91	1.43	.43	1.05	3.45	.001*
	Evidence	6.88	2.39	7.95	2.13	1.07	2.23	4.07	.000*
Melting and boiling points	Claim	6.19	0.69	6.63	0.91	.43	.97	3.76	.000*
	Evidence	8.21	2.04	9.41	1.60	1.20	2.38	4.28	.000*

\* &lt; .05

**Table 5.** Paired Samples t-Test for Critical Thinking Before and After the Intervention

	Mean Difference	SD	t	p
Induction	1.47	3.47	3.59	.001**
Observation, Credibility	2.12	2.56	7.04	.000***
Deduction	3.66	3.83	8.12	.000***
Assumption	1.36	1.92	6.01	.000***

\*\*<0.01, \*\*\*<0.001

**비판적 사고력**

귀납추론 평균점수는 사전 14.53점에서 사후 16.00점으로, 관찰의 신뢰도 평균점수는 사전 16.99점에서 사후 19.11점으로, 연역추론 평균점수는 사전 11.06점에서 사후 14.72점으로, 추측 평균점수는 사전 5.39점에서 사후 6.75점으로 모든 영역에서 향상되었다. 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업 전과 후에 학생들의 비판적 사고 점수에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위하여 대응표본 t-검정 분석을 하였다(Table 5). 귀납추론, 관찰의 신뢰도, 연역추론, 추측 모든 영역에서 수업 적용 전 후에 통계적으로 유의미하게 향상되었다.

학생들은 문제 해결을 위해 제시문을 해석하거나 실험 데이터를 분석하는 귀납적 추론과정을 거쳐서 주장을 만들어낸다. 또한 주장을 뒷받침하는 타당하고 정확하고 충분한 증거를 선택하는 과정에서 학생들은 비판적 사고를 하게 된다. 조별 논의와 학급 논의를 통해 자신의 주장과 증거를 다른 학생들에게 설득시키고, 다른 학생들의 주장과 증거를 듣고, 자신의 주장과 증거에 대한 타당성, 신뢰성, 충분성을 검토하고, 보다 타당하고 충분하고 정확한 주장과 증거를 선택하기도 한다. 이러한 일련의 활동이 귀납적 추론, 연역추론, 관찰의 신뢰성, 추측 능력 등의 비판적 사고 능력을 향상시키는데 기여한 것으로 보인다.

**학생 인식**

논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업에 대하여 ‘학습 내용을 좀 더 깊이 있고, 다양한 면에서 생각하게 한다’에 대해서 45명(63.5%), ‘탐구 주제와 관련된 나의 생각을 보다 정교하게 발전시키도록 도와준다’에 대해서 41명(57.0%), ‘다양한 의견을 듣고 합의와 토론을 통하여 타당하고 신뢰로운 의견을 선택, 결정하는 능력이 길러진다’에 대해서 44명(61.2%)이 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 결과는 조별 논의와 학급 논의 활동이 도움이 되었음을 시사한다. 또한, 주장과 증거를 만들고 정교화 할 때 조별 논의 활동이 도움이 되었는지에 대한 문항에 대해서 72명 중 49명(68.1%)이 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답하였다. 그 이유로 ‘내가 이해되지 않았던 부분에 대해 이해에 도

움이 되었다’ ‘내가 생각하지 못했던 것을 알 수 있었다’ 등으로 서술한 결과도 이를 뒷받침 한다. 학급 논의 활동이 주장과 증거를 만들고 정교화 할 때 도움이 되었는지에 대한 문항에 대하여 72명 중 50명(68.9%)이 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답하였다. 그 이유에 대한 서술형 문항에 학생들은 ‘조별 논의에 비해 더 다양한 주장과 증거를 얻을 수 있다’ ‘조별 논의 보다 학급 논의에서 좀 더 이해할 수 있었던 내용이 많아서 증거로 쓸 경우가 많았다’ ‘다른 조의 의견을 들어보고 미처 생각하지 못했던 부분까지 알 수 있었다’ 등으로 서술하였다. 조별 논의 활동은 이해되지 않았던 문제 상황이나 제시문을 해석하고 주장과 증거를 만드는데 도움이 되고, 학급 논의 활동은 다양한 주장과 증거를 듣고, 자신의 주장과 증거를 정교화 하는데 도움이 되는 것으로 인식하였다. 또한 학생들에게 주장과 증거를 만들고 정교화 할 때 가장 도움이 된 활동이 무엇인지 선택하는 문항에 대하여 학급 논의를 29명(40.3%), 조별 논의 활동 26명(36.1%), 읽기자료 9명(12.5%), 글쓰기 6명(8.3%), 반성적 사고 2명(2.8%)이 선택하였다. 이러한 결과는 대다수의 학생들이 조별 논의 및 학급 논의 활동이 자신의 생각을 정교하게 발전시켜 학습내용을 더 깊이 있게 생각하도록 도우며 합의와 토론을 통해 타당한 결정을 하도록 도왔다고 인식한다는 것을 시사한다.

또한 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업의 좋았던 점에 대한 서술형 문항에 답한 65명의 학생들 중 25명(38.5%)은 ‘알게 된 과학 이론이 더 오래갔다’ ‘내가 글을 작성함으로써 이해가 더 잘되었다’ 등 개념 이해에 도움이 되고, 지식이 기억에 오래 남는다고 하였다. 24명(36.9%)의 학생들은 ‘머리속에 흩어진 내용을 다시 정리할 수 있었다’ ‘여러 자료를 해석해 나의 이론을 만들 수 있었다’ ‘더 깊이 있게 생각할 수 있었다’ 등 능동적이고 적극사고 사고 과정이 좋았다고 응답하였다. 26명(40%)의 학생들은 ‘수업시간에 무조건 적극적으로 참여해야 한다’ ‘내가 몰랐던 부분을 서로 이야기함으로써 알아갈 수 있다’ 등 적극적인 수업 참여와 논의 활동에 대한 즐거움에 대하여 언급하였다. 또한 ‘강의식 수업에 비하여 적극적으로 참여하게 된다’에 35명(48.6%)이 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답한 결과도 이를 뒷받침한다. 반면에 학생들은 ‘학급 논의는 조별 논의 보다 많은 사람 앞에서 이야기해야 해서 힘들다’ ‘많은 인원 앞에서 틀린 개념을 말할까봐 두렵다’ ‘학급 논의 시간에 다루는 내용이 어렵다’ 등 학급 논의 참여의 어려움에 대해서도 언급하였다. 이는 중학생들이 자신감이 부족하여 주장과 증거에 대해 말하기를 주저하고 다른 사람의 의견에 반박하는 활동이 저조하다는 광경화와 남정희의 연구와도 일치하는 결과이다.<sup>27</sup>

전체 72명 중 33명(45.8%)의 학생들이 논의를 강조한

주장과 증거 글쓰기 수업의 여러 가지 활동 중에 주장과 증거 글쓰기 활동이 가장 어려웠다고 대답하였다. 그 이유로는 ‘머릿속에 있는 생각을 정리해서 글을 쓰기 어려웠다’ ‘무슨 내용을 써야할지 모르겠다’ ‘주장과 증거를 논리적으로 서술하기 힘들었다’ ‘어떤 형식으로 글을 써야 할지 몰라서 많이 어려웠다’ 등을 언급하였다. 학생들이 자신의 주장과 증거를 글로 표현하는 것에 익숙하지 않아 주장과 증거에 어떤 내용을 어떤 형식으로 써야하는지 어려워하는 것으로 보인다. 13명(18.1%)의 학생들은 반성적 사고 글쓰기를 선택하고, 그 이유로 작성 시간이 오래 걸리고 귀찮다고 응답하였다.

논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 교수·학습 활동을 앞으로의 화학 수업에 적용하는 것에 대해서는 긍정적(36.1%)인 응답이 부정적(18.1%)인 응답보다 많았다. 많은 학생들은 보통(45.8%)이라고 응답하였다. 구체적인 이유를 서술한 39명 중 26명(66.7%)의 학생들은 과학 개념이 기억에 오래 남고, 내용 이해를 더 잘 할 수 있게 된다고 하였고, 13명(33.3%)은 반대로 ‘선생님이 개념을 알려주는 것보다 개념을 이해하기 어렵기 때문에 앞으로 수업에 적용하지 않았으면 좋겠다’고 하였다. 과학 개념 이해에 관련된 상충된 의견은 과학 글쓰기가 학생들에게 어려운 활동이나 교사의 적절한 안내와 지도가 수반된다면 학생들의 과학 개념 이해에 도움이 될 것임을 시사한다. ‘화학에 대한 자신감이 생긴다’와 ‘화학에 대한 흥미와 관심이 생긴다’에 대해서는 각각 15명(20.9%), 24명(33.3%)의 학생들만이 ‘그렇다’ 또는 ‘매우 그렇다’로 응답하여 흥미나 자신감의 영역에 도움이 되었다고 생각하는 학생들이 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

## 결 론

본 연구 결과 조별 논의 및 학급 논의 활동을 통해 학생들의 주장과 증거 글쓰기의 수준이 향상된 것으로 분석되었다. 조별 논의 후 주장 총합 점수는 한 개 주제를 제외한 나머지 모든 주제에서, 증거 총합 점수는 모든 주제에서 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 학생 인식 설문에서도 조별 논의에 적극적으로 참여하였고 이를 통해 문제 상황을 이해하게 되어 주장과 증거를 만드는 데 도움이 되었다고 인식하는 것으로 드러났다. 또한 학급 논의 후에 주장의 총합 점수가 7개 주제에서, 증거의 총합 점수는 모든 주제에서 통계적으로 유의미하게 향상되었다. 학급 논의 과정에서 학생들은 읽기 자료에서 얻은 정보를 바탕으로 자신의 주장과 증거의 타당성, 신뢰성, 충분성 등을 검토하는 기회를 갖게 된다. 설문 분석 결과 학생들이 학급 논의 후에 더 다양한 증거를 제시할 수 있었고 자신의 주장과 증거를

수정·보완 하는데 도움이 되었다고 인식하는 것으로 나타났다. 학급 논의 활동을 통해 여러 학생들과 협의 하는 과정에서 객관적인 출처로부터 정확하고 충분하며 타당한 주장과 증거를 제시할 수 있게 되는 것으로 보인다. 또한 이를 통해 과학 개념 이해에 도움이 되었고 적극적인 수업 참여와 능동적인 사고과정을 경험했다는 학생들의 응답과 귀납적 추론, 연역추론, 관찰의 신뢰성, 추측 능력 등의 비판적 사고 능력이 향상된 결과는 본 연구의 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 활동이 고등학생들을 위한 과학 교수 학습 전략으로서 적극적으로 활용되어야 함을 시사한다.

설문에서 학생들은 학급 논의가 주장과 증거를 만들고 정교화 하는데 도움이 된다고 하였지만 학급 논의 참여에 대한 어려움을 토로하기도 하였고, 향후 수업 적용에 대한 부정적 인식을 언급한 학생들도 다수 있었다. 이는 학생들이 주장과 증거를 발표하고 의견을 나눌 수 있는 학급 논의의 기회를 더 많이 제공하고 논의 활동에 익숙해지도록 도와야 함을 시사한다. 또한 본 연구에서 수업을 한 교사가 학생들이 논의 활동에 적극적으로 참여할 수 있도록 안내하고 가이드하였으나 논의와 글쓰기에 익숙하지 않은 학생들이 필요로 하는 도움을 모두 제공하지는 못했을 수 있다. 모든 참여 학생들의 원활한 논의와 적극적인 주장과 증거 글쓰기 및 유의미한 학습 향상을 위해서는 장기간 지속적인 적용을 해야 할 것이다.<sup>34</sup> 논의와 글쓰기에 익숙하지 않은 학생들에게 교사가 적절한 질문을 하거나, 학생들이 표현한 것을 적합한 문장으로 바꾸어 다시 말해주고, 동의, 반박, 보충, 협의 등에 활용될 수 있는 질문이나 코멘트를 해주는 등의 다양한 모델링이 지속적으로 장기간 제시된다면 학생들의 자기 효능감을 향상시키는데 기여할 수 있을 것이다. 다시 말하면 수업에 참여하는 모든 학생들이 논의 활동에 대하여 긍정적으로 즉, 단순히 서로 평가하고 비판하는 활동이 아닌 동료들과 함께 과학적 지식을 만들어가는 과정으로 인식할 수 있도록 과학 학습 환경을 만들어 줄 수 있어야 할 것이다.

학생들은 조별 논의, 학급 논의, 주장과 증거 글쓰기, 읽기 자료 해석, 반성적 사고 글쓰기 등 여러 가지 활동 중 주장과 증거 글쓰기 활동을 가장 어려운 활동으로 인식하는 것으로 나타났다. 자신의 생각을 논리와 형식에 맞추어 주장과 증거의 글로 표현하는 것을 어려워하는 학생들에게 보다 적극적이고 구체적이며 체계적인 과학 글쓰기 교육을 제공해야 함을 시사한다. 대부분의 주제에서 다중표상 주장, 다중표상 증거의 점수가 서술주장, 서술 증거의 점수보다 상대적으로 낮았는데 이는 그림, 표, 그래프, 수식, 화학식 등의 다중표상을 사용하여 주장과 증거를 표현하는 것이 익숙하지 않고 어렵게 느낄 수도 있음을 시사한다. 학생



들의 적극적인 다중표상 활용은 지식을 효과적으로 체계화하고 심층적으로 이해하는데 도움이 될 뿐 아니라 진정한 과학 개념 학습의 지표이다.<sup>35,36</sup> 따라서 주장과 증거를 논리적으로 글로 서술하는 것 뿐 아니라 그림, 표, 그래프, 수식, 화학식 등과 같은 다중표상을 활용하여 표현하는 방법에 대한 구체적이고 체계적 교육이 필요할 것이다.

본 연구에서는 고등학교 여학생을 대상으로 화학 I과목에서 논의를 강조한 주장과 증거 글쓰기 수업을 한 학기 동안 적용하였다. 남학생이나 남녀 공학의 고등학생 등 연구의 대상을 보다 폭넓게 하고 화학 외에도 물리, 생명과학, 지구과학 등 다양한 학습 환경에서 연구를 지속적으로 할 필요가 있을 것이다.

## REFERENCES

1. Newton, P.; Driver, P.; Osborne, J. *International Journal of Science Education* **1999**, *21*, 553–576.
2. Sampson, V.; Clark, D. B. *Science Education* **2008**, *92*, 447–472.
3. Ford, M. *Science & Education* **2008**, *17*, 147–177.
4. Ford, M. *Science Education* **2008**, *92*, 404–423.
5. National Research Council. *The Next Generation Science Standards*; Washington, DC: National Academy Press, 2013.
6. Prain, V. *International Journal of Science Education* **2006**, *28*, 179–201.
7. Keys, C. W.; Hand, B.; Prian, V.; Collins, S. *Journal of Research in Science Teaching* **1999**, *36*, 1065–1084.
8. Rivard, L. P. *Journal of Research in Science Teaching* **1994**, *31*, 969–983.
9. Akkus, R.; Gunel, M.; Hand, B. *International Journal of Science Education* **2007**, *29*, 1745–1765.
10. Nam, J. H.; Kwak, K. H.; Jang, K. H.; Hand, B. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2008**, *28*, 922–936.
11. Ministry of Education and Human Resources Development. *2007 Science education curriculum* (Notification No. 2007-79 of the Ministry of Education); Seoul: Daehan Textbook, 2007.
12. Ministry of Education, Science, and Technology. *2009 Science Education Curriculum*. (Notification No. 2009-41 of the Ministry of Education); Seoul: Ministry of Education, Science, and Technology, 2009.
13. Lee, H. Y.; Cho, H. J.; Sohn, J. J. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2009**, *29*, 666–679.
14. Song, Y. M.; Yang, I. H.; Kim, J. Y.; Choi, H. D. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2011**, *31*, 788–800.
15. Choi, A.; Hand, B.; Greenbowe, T. *Research in Science Education* **2013**, *43*, 1763–1783.
16. Greenbowe, T. J.; Rudd, A. J.; Hand, B. M. *Journal of Chemical Education* **2007**, *84*, 2007–2011.
17. Hand, B.; Wallace, C.; Yang, E. M. *International Journal of Science Education* **2004**, *26*, 131–149.
18. Nam, J. H.; Lee, D. W.; Cho, H. S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2011**, *31*, 931–941.
19. Park, S. H.; Chung, Y. L. *Biology Education* **2012**, *40*, 367–383.
20. Jang, K. H.; Nam, J. H.; Choi, A. R. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2012**, *32*, 1099–1108.
21. Shin, S. Y.; Choi, A. R.; Park, J. Y. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2013**, *33*, 952–962.
22. Jang, K. H. The Effect of Argumentation-based Negotiation in the Science Writing Heuristic(SWH) Approach on Students' Question and Claim-Evidence; Ph. D. Thesis. Pusan National University, Korea, 2013.
23. Toulmin, S.; Rieke, R.; Janik, A. *An Introduction to Reasoning* (2<sup>nd</sup>Ed.); New York: Macmillan 1984.
24. Zeidler, D. L. *Science Education* **1997**, *81*, 483–496.
25. Kelly, G. J.; Drucker, S.; Chen, K. *International Journal of Science Education* **1998**, *20*, 849–871.
26. Sandoval, W. A. *The Journal of the Learning Sciences* **2003**, *12*, 5–51.
27. Wallace, C. S.; Hand, B.; Prain, V. *Writing and Learning in the Science Classroom*; Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Press 2004.
28. Keys, C. W. *Science Education* **1999**, *83*, 115–130.
29. Seong, T. J. *Research Methodology*; Seoul: Hakjisa 2007.
30. Kelly, G. J.; Takao, A. *Science Education* **2002**, *86*, 314–342.
31. Sandoval, W. A.; Millwood, K. A. *Cognition and Instruction* **2005**, *23*, 23–55.
32. Ennis, R. H.; Millman, J.; Tomko, T. N. *Cornell Critical Thinking Tests Level X & Level Z: Manual*; Pacific Grove, Ca.: Midwest Publications, 1985.
33. Kwak, K. H.; Nam, J. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2009**, *29*, 400–413.
34. Martin, A.; Hand, B. *Research in Science Education* **2009**, *39*, 17–38.
35. Kozma, R. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 205–226.
36. Ainsworth, S. E. *Computers & Education* **1999**, *33*, 131–152.