

플로지스톤설에서 산소설로의 개념 변화 과정에서 변칙 사례와 대안 가설에 대한 과학자들과 학생들의 반응 비교

노태희 · 윤정현 · 강훈식 · 강석진*

서울대학교 · 진주교육대학교*

A Comparison of Scientists' and Students' Responses to Discrepant Event and Alternative Hypothesis in the Conceptual Change Processes from the Phlogiston Theory to the Oxygen Theory

Noh, Taehee · Yun, Jeonghyun · Kang, Hunsik · Kang, Sukjin*

Seoul National University · Jeonju National University of Education*

Abstract: In this study, we investigated students' responses to a discrepant event and an alternative hypothesis which had been presented in the conceptual change processes from the phlogiston theory to the oxygen theory, and compared them with scientists' responses. The data concerning scientists' responses to the discrepant event and the alternative hypothesis were gathered from the relevant literature on the history of science. Subjects were 148 eighth graders who possessed the target misconception about combustion through a preconception test. After having been presented with the discrepant event and the alternative hypothesis, students were asked to respond to the test of response to discrepant event. Although similar types of responses were obtained from both scientists and students, there was also a clear difference. Scientists tended to focus on explaining the problems of the discrepant event, whereas students tended to ignore and/or exclude the discrepant event in order to maintain their previous beliefs. Only a few students were also found to change their beliefs after having been presented with the alternative hypothesis.

Key words: discrepant event, alternative hypothesis, cognitive conflict, conceptual change, phlogiston theory

I. 서 론

과학 지식의 변화 과정에서 기존의 이론으로 설명되지 않는 변칙 사례의 등장에 대해 과학자들은 때로는 자신의 이론을 고집하지만, 결국 자신의 이론을 수정하거나 새로운 이론을 만들어 낸다(Kuhn, 1970). 변칙 사례로 인한 기존 이론의 위기 상황이 과학 혁명이라는 패러다임 변화로 해결되는 과정과 유사하게, 학생들은 인지 갈등을 통해 개념 변화를 일으킬 것으로 생각할 수 있다. 이러한 가정을 바탕으로 과학교육 분야에서는 변칙 사례를 이용한 인지 갈등 유발 전략의 효과를 조사한 연구들이 많이 이루어졌다. 그러나 기대와 달리 학생들은 변칙 사례를 접한 후에도 자신들의 선개념을 쉽게 포기하지 않아 실질적인 개념 변

화가 일어나기 어려운 것으로 보고되고 있다(Limón, 2001).

개념 학습 과정에서 나타나는 학생들의 사고방식이 새로운 이론의 수용 과정에서 나타나는 과학자들의 사고방식과 유사한 것으로 간주했던 기존의 주장들에 대해, 일부 연구자들은 여러 측면에서 상대적으로 미숙한 학생들의 개념 변화 과정이 과학 지식의 변화 과정과 다를 가능성을 제기했다(Brewer, 2005; Kuhn, 1997; Thagard, 1990). 이러한 맥락에서 학생들의 개념 변화에 필요한 조건을 탐색하기 위하여 과학 이론의 변화 과정에서 역사적으로 나타난 과학자들의 사고 유형과 선개념을 포기하고 새로운 과학적 개념을 학습하는 과정에서 나타나는 학생들의 사고 유형을 비교·분석하려는 노력이 이루어져 왔다. 그런데 변칙

* 교신저자: 강석진(kangsj@jue.ac.kr)

** 이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-042-B00212)

*** 2006.05.23(접수) 2006.11.28(1심통과) 2006.12.14(2심통과) 2006.12.14(최종통과)

사례에 대한 과학자와 학생들의 반응 유형을 분류한 선행 연구(Chinn & Brewer, 1993, 1998)에서는 다양한 반응 유형을 밝혀내는 것에 중점을 두었을 뿐, 실제로 과학자와 학생들이 동일한 변칙 사례에 대해 어떤 사고 과정을 거치는지에 대해서는 의미 있는 정보를 제시하지 못했다. 따라서 학생들의 개념 변화 과정에 대한 실질적인 정보를 얻기 위해서는 동일한 변칙 사례를 대상으로 과학자와 학생들의 반응을 비교해 볼 필요성이 있다.

한편, 변칙 사례에 의한 인지 갈등 유발을 개념 변화의 필수적인 요소로 간주했던 기존의 주장과 달리, 최근의 연구에서는 인지 갈등과 개념 변화 사이의 관계가 유의미하지 않거나(노태희 등, 2001), 유의미하더라도 기대만큼 두드러지지 않은 것으로 보고되고 있다(Kang *et al.*, 2004). 이는 개념 변화 과정에서 중요한 것은 변칙 사례에 의한 인지 갈등이 아니라 오히려 새로운 개념의 학습 과정일 가능성을 시사한다(노태희 등, 2001). 그런데 변칙 사례를 설명할 수 있는 새로운 과학 이론이 제안된 이후에도 일부 과학자들은 여전히 새로운 과학 이론을 수용하지 못하는 경우를 과학사에서 찾을 수 있다(Kuhn, 1970; Salzberg, 1991). 이러한 과학자의 사례는 학생들이 교사가 제시한 과학 개념을 받아들이지 않고 기존의 선개념을 고수하는 모습과 유사하다. 만약 과학사의 사례를 통해 새롭게 제시된 대안 이론이 과학의 발달 과정에서 담당하는 역할에 대한 구체적인 정보를 얻을 수 있다면, 학생들의 개념 변화 메커니즘을 이해하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 따라서 학생들이 제시된 새로운 개념을 학습하는 과정과 과학자들이 새로운 과학 이론을 수용하는 과정을 비교·분석해 볼 필요성이 있다.

이 연구에서는 과학자 사회의 페러다임이 플로지스톤설에서 라부아지에의 산소설로 혁명적으로 변화했던 사례를 대상으로, 당시의 변칙 사례와 대안 가설에 대한 과학자들의 반응을 과학사 문헌을 바탕으로 조사하고, 과학자들이 접했던 것과 유사한 변칙 사례와 대안 가설을 학생들에게 제시하여 이에 대한 학생들의 반응을 조사하여 비교·분석했다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상 및 절차

이 연구는 연소 개념을 학습하지 않은 중학교 2학년 학생 210명을 대상으로 했다. 연소와 관련하여 플로지스톤설과 유사한 오개념을 지닌 학생들을 선택하기 위해 선개념 검사를 실시했다. 플로지스톤설에 의

문을 제기하는 변칙 사례로 금속 연소 실험을 제시한 후, 변칙 사례에 대한 반응 검사를 실시했다. 그 후, 라부아지에의 산소설에 기초한 대안 가설과 이를 뒷받침하는 수은 연소 실험을 함께 제시하고, 학생들의 반응을 다시 조사했다.

2. 검사 도구

선개념 검사지는 연소 개념에 대한 선행 연구(강석진 등, 2001)의 검사지를 바탕으로 ‘종이를 태운 후에 재의 질량은 어떻게 될까?’라는 질문에 답을 선택하고 이유를 서술하도록 구성했다.

변칙 사례에 대한 반응 검사지는 선행 연구(Kang *et al.*, 2004)의 검사지를 바탕으로 초기 이론 제시부, 변칙 사례 제시부, 반응 조사부의 세 부분으로 구성했다. 초기 이론 제시부에서는 학생들이 흔히 지니고 있는 오개념인 ‘물질이 연소하면 그 속의 타는 물질이 없어지면서 질량이 감소한다’는 주장을 제시하고, 이에 대한 학생들의 동의 여부를 조사했다. 변칙 사례 제시부에서는 초기 이론과 모순되는 마그네슘 연소 시 질량 증가 실험 결과를 제시했다. 반응 조사부에서는 변칙 사례의 타당성 인정 여부, 초기 이론과 변칙 사례 사이의 불일치성 인정 여부, 초기 이론에 대한 신념의 변화 정도를 표시하고 각각의 이유를 기술하도록 했다.

대안 가설에 대한 반응 검사지는 변칙 사례를 설명하기 위해 한 학생이 실험을 하고, 그 결과를 바탕으로 새로운 주장을 제시하는 방식으로 구성했다. 주장의 내용은 라부아지에가 제안했던 ‘물질이 연소하는 것은 공기 중의 산소와 그 물질이 결합하는 것이다’는 산소설 및 이를 뒷받침하는 수은 연소 실험 내용으로 구성했다. 대안 가설에 대한 반응을 조사하기 위해, 학생들에게 대안 가설과 초기 이론과의 불일치성 인정 여부와 대안 가설의 타당성을 표시하고 이유를 자세히 서술하도록 했다.

3. 분석 방법

연소에 관련된 변칙 사례나 대안 가설에 대한 과학자들의 반응 유형을 조사하기 위해 국내외의 과학사 관련 단행본 및 논문을 분석했다. 플로지스톤설에서 산소설로의 과학 이론 변화 과정에서 특정한 반응을 보였던 과학자들에 대한 심층적인 정보는 과학사 전문 학술지인 *Annals of Science*, *Isis*, *Osiris*, *History of Science*, *Philosophy of Science* 등이 수록되어 있는 JSTOR(<http://www.jstor.org>)이나 ERIC(<http://www.eric.ed.gov>)을 통해 수집한 선행 연구(예를 들어, Gu-

erlac, 1961; Poirier, 1996; Salzberg, 1991)를 바탕으로 조사했다. 과학자들의 변칙 사례에 대한 반응은 선행 연구(Chinn & Brewer, 1998; Kang *et al.*, 2004)를 참고하여 거부, 재해석, 배제, 판단 불가, 보류, 주변 신념 변화, 신념 변화의 7가지 반응 유형으로 분류했다. 과학자들의 반응 유형에 사용된 기준은 변칙 사례(금속 연소 후 질량 증가 실험)에 대한 타당성 인정 여부, 플로지스톤설로 새로운 변칙 사례의 설명 가능 여부, 플로지스톤설에 대한 신념 변화 여부 등이었다. 학생들의 반응 분석에서는 선개념 검사서 목표 오개념을 지니고 있었고, 변칙 사례에 대한 반응 검사서에서도 초기 이론이 옳다고 동의한 148명의 학생들을 대상으로 했다. 학생들의 반응 유형은 변칙 사례에 대한 반응 검사지와 대안 가설에 대한 반응 검사지에 나타난 응답을 바탕으로 거부, 재해석, 배제, 판단 불가, 신념 감소, 주변 신념 변화, 신념 변화의 7가지 반응 유형으로 분류했다. 학생들의 반응 유형 분류도 선행 연구에서 사용한 분류 기준, 즉 불일치 사례의 타당성 인정 여부, 불일치 사례와 초기 이론의 일치 여부, 초기 이론에 대한 확신의 변화 여부를 바탕으로 했다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 변칙 사례에 대한 과학자들의 반응 유형 분석

플로지스톤설을 위협한 변칙 사례였던 금속 연소 후의 질량 증가 실험 결과에 대해 과학자들이 초기에 보인 반응은 크게 거부와 배제였다. 연소를 플로지스톤의 손실로 생각했던 18세기의 과학자들은 금속 연소 실험에 대해 격렬한 논쟁을 벌였는데, 일관되지 못한 실험 결과로 인하여 연소되면 모든 금속의 질량이 증가하는지, 아니면 일부 금속은 질량이 증가하고 일부는 감소하는지에 대해 과학자마다 주장이 달랐다(Guerlac, 1961; Poirier, 1996). 즉, 이 당시에는 실험 과정과 측정 기구의 오류 등을 지적하면서 변칙 사례를 거부하거나 예외적인 상황으로 취급(배제)했던 과학자들이 많았던 것으로 볼 수 있다(이병윤, 1998). 이후, 드 모르보(Guyton de Morveau)가 모든 금속은 연소 후에 질량이 증가한다는 실험 결과를 보고 했고, 이로 인하여 플로지스톤설 과학자들은 더 이상 변칙 사례를 거부하거나 배제하지 못했지만, 대신 그 당시에는 설명되지 않았던 변칙 사례가 언젠가는 설명될 수 있으리라 기대하고 판단을 보류하는 경향을 보였다(Brewer & Chinn, 1994).

변칙 사례의 등장으로 플로지스톤설이 위기에 처했을 때 과학자들이 가장 흔히 나타낸 반응은 관련된

주변 이론을 수정함으로써 초기 이론을 보호하는 것이었다. 플로지스톤설을 지지한 대표적인 과학자였던 슈탈(Georg Ernest Stahl), 블랙(Joseph Black), 러더퍼드(Daniel Rutherford), 캐번디쉬(Henry Cavendish), 프리스틀리(Joseph Priestly), 쉘레(Karl Wilhelm Scheele), 바이엔(Pierre Bayen), 베르만(Torbern Olof Bergman) 등은 모두 변칙 사례를 설명하기 위해 플로지스톤설을 수정했다. 플로지스톤설의 가장 대표적인 수정안은 슈탈이 제안한 음의 플로지스톤설이다(Brewer & Chinn, 1994; Salzberg, 1991). 음의 플로지스톤설은 금속의 연소 시 질량이 증가하는 현상에 대해 음의 질량을 가진 플로지스톤이 손실되었기 때문으로 설명하는 이론이다. 이 외에도 플로지스톤설의 수정안들이 많았는데, 이는 당시에 융성했던 기체 화학 연구를 통해 많은 기체들이 발견되었고 이 기체들의 성질을 설명하기 위해서는 플로지스톤설의 변형이 필요했기 때문이다(Poirier, 1996; Salzberg, 1991).

플로지스톤설을 포기하고 산소설을 제안한 라부아지에(Antoine Laurent Lavoisier)는 사실상 플로지스톤설 과학자들의 발견을 다른 관점에서 해석했을 뿐 새롭게 발견한 것은 없었다. 즉, 프리스틀리나 캐번디쉬와 같은 플로지스톤설 과학자들이 화학 현상을 정성적인 측면에서 이해했던 것과 달리, 라부아지에는 정교한 실험 기구를 이용하여 정량적 접근을 시도했다. 이러한 정량적 접근은 플로지스톤설의 모순점을 노출시켰고, 산소설의 제안으로 이어졌다(이병윤, 1998; Basu, 2003).

2. 변칙 사례에 대한 학생들의 반응 유형 분석

변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 분류한 결과는 Table 1과 같다. 많은 학생들이 거부, 배제, 주변 신념 변화 반응을 보였으며, 신념 변화 반응을 보인 학생은 1명에 불과했다. 초기 이론에 대한 신념이 변하지 않고 변칙 사례를 거부하거나 배제하는 반응은 51%의 학생들(거부: 42명, 배제: 33명)에게서 나타났다. 학생들은 제시된 실험 결과에 대해 ‘직접 실험해 봐야 믿을 수 있다’면서 변칙 사례를 인정하지 않거나 ‘모든 법칙에는 예외가 있듯이 마그네슘만 무거워지는 것일 수 있다’면서 변칙 사례를 예외로 취급하는 반응을 보였다.

변칙 사례를 거부하거나 배제한 학생들이 초기 이론에 대한 신념을 유지한 이유로 가장 많이 제시한 것은 이전 경험이나 배경 지식에 근거한 초기 이론의 타당성(31명, 21%)이었다. 이 학생들은 너무나 중이의 연소와 같이 자신의 경험에 기초한 예를 들면서 ‘물질은 연소하면 일부가 없어져서 연기 같은 형태로

Table 1
Students' and scientists' responses to the discrepant event

Types of responses	Students	Scientists
Rejection	42 (28%)	some phlogistonists ^{a,b,c}
Exclusion	33 (22%)	some phlogistonists ^{a,c}
Uncertainty	16 (11%)	some phlogistonists ^c
Abeance	-	some phlogistonists ^d
Belief decrease	16 (11%)	-
Peripheral belief change	40 (27%)	Bayen, Bergman, Black, Cavendish, Priestley, Rutherford, Stahl, Scheele
Belief change	1 (1%)	Lavoisier
Total	148(100%)	

^a 이병윤(1998),

^b Guerlac (1961)

^c Salzberg (1991)

^d Brewer & Chinn (1994)

날아가고 질량이 감소한다'고 응답했다. 이러한 생각은 고대에서 18세기에 이르기까지 과학자들 사이에도 광범위하게 존재했던 '연소는 무엇인가를 잃는 분해 현상'이라는 직관적 사고의 한 형태로 볼 수 있다. 일부 학생들(12명, 8%)은 변칙 사례를 배제할 때 '금속 안에는 타는 물질이 없으므로 연소하는 물질이 아니다'라고 응답했는데, 이는 타지 않는 물질에는 플로지스톤이 없다고 생각한 플로지스톤설 과학자들의 사고와 유사한 측면이 있다. 그러나 금속의 산화 과정도 플로지스톤으로 설명했던 과학자들과 달리, 이 학생들은 금속은 연소하는 물질이 아니라고 생각하고 있으므로, 플로지스톤설 성립 이전의 과학자들이 외관상으로는 태워도 연기가 발생하지 않는 금속의 하소(calcination)와 연소(combustion)를 명확히 구분하지 못했던 것과 비슷한 상태로 이해할 수 있다.

27명(18%)의 학생들은 초기 이론을 제시한 과학자의 권위에 근거해서 자신의 신념을 유지하는 반응을 보였다. Mason(2003)은 학생들의 인식론적 특성이 변칙 사례에 대한 반응이나 이후의 개념 변화 과정에 영향을 미칠 수 있다고 제안했는데, 이 연구에서도 학생들은 과학 지식이나 과학자에 대해 전능한 권위를 부여하는 경향을 보였다. 한편, 기존 이론으로 설명되지 않는 변칙 사례에 대한 판단을 유보할 때 과학자들은 보류 반응을 보인 반면, 학생들은 판단 불가 반응(16명, 11%)을 보였다. 이는 과학자들의 경우 플로지스톤설에 대해 확고한 개념 체계를 가지고 있었기 때문에 추후의 연구를 통해 플로지스톤설로도 변칙 사례를 설명할 수 있을 것이라는 신념이 강했지만, 배경 지식이 부족한 학생들은 자신의 신념에 대해 확신이 부족하여 판단 불가 반응을 보인 것으로 해석할 수 있다.

변칙 사례를 설명하기 위해 초기 이론을 수정하는 주변 신념 변화 반응을 보인 학생들은 40명(27%)이었다. 플로지스톤설의 수정안을 제시했던 과학자들과 유사하게, 학생들은 기존 신념은 포기하지 않은 채 변칙 사례를 설명하기 위해 자신들의 선개념이나 배경 지식을 활용하는 경향을 보였다. 학생들이 변칙 사례를 설명하는 과정에서 가장 많이 활용한 개념은 물질의 상태 변화(13명, 9%)와 물질의 특성(17명, 12%)이었다. 즉, 학생들은 '마그네슘도 타지만, 녹는 과정에서 고체 분자 사이가 벌어져 질량이 더 커질 수 있다'거나 '물질마다 특성이 다르고, 금속에는 열을 받으면 무거워지는 성질을 가진 성분이 있다'고 응답했다. 이러한 학생들의 생각은 아리스토텔레스적 관념에 영향을 받아 질량의 변화에 큰 의미를 부여하기보다 정성적으로 화학 현상을 이해하는 데 치중했던 플로지스톤설 과학자들의 사고방식과 유사한 면이 있다. 일부 학생들(5명, 3.4%)은 '종이 같은 물질과 마그네슘 같은 금속 물질은 그 속에 포함된 티는 물질의 양이 다르다' 또는 '종이는 태우면 빠져나가는 물질이 많고, 마그네슘은 적다'고 응답했는데, 이는 연소 후의 질량 변화를 설명하기 위해 물질 속에 있는 플로지스톤의 양을 측정했던 베르만의 설명과 유사하다(안기철, 1992; Schuffe & Thomas, 1971). 또한, '마그네슘을 불에 대면 타는 물질이 달라붙는다' 또는 '마그네슘에 불이 붙어서 늘어나는 것 같다'고 응답한 학생들(6명, 4%)이 있었는데, 이러한 생각은 플로지스톤설 성립 이전에 연소 후 질량 증가 현상에 대해 '불의 입자가 붙어서 무거워진다'고 설명한 보일(Robert Boyle)의 불 입자설 개념과 유사하다(Poirier, 1996; Salzberg, 1991).

3. 산소설에 대한 과학자들과 학생들의 반응 유형 비교

플로지스톤설로 설명되지 않는 변칙 사례를 해결하기 위해, 라부아지에에는 정밀한 실험 결과를 바탕으로 산소설을 주장했다. 그러나 과학사를 살펴보면, 라부아지에의 산소설을 수용한 과학자들도 있었지만, 계속해서 플로지스톤설을 고수하면서 변칙 사례를 설명하려고 시도한 과학자들도 있었다. 키완(Richard Kirwan)이나 베르톨레(Claude Berthollet)와 같은 과학자들은 산소설을 받아들이고 플로지스톤설을 포기했지만, 반대로 프리스틀리, 캐번디시, 셸레, 베르만 등의 과학자들은 끝까지 플로지스톤설을 고수했다. 예를 들어, 산소설을 검증하기 위해 많은 과학자들이 모인 가운데 수은 연소 실험을 한 적이 있었는데, 산소설의 주장대로 수은이 가열되면서 기체의 부피가 눈에 띄게 감소

하는 결과가 나왔다. 그러나 프리스틀리는 이 현상이 산소의 소모로 인한 것이 아니라 플로지스톤의 발생으로 기체가 수축된 것이라고 주장하면서 기존의 플로지스톤설을 고수했다(Guerlac, 1961; Salzberg, 1991).

한편, 대안 가설인 산소설을 접한 학생들의 반응은 크게 초기 이론에 대한 신념을 계속 유지하는 유형(NBC; 126명, 85%)과 제시된 대안 가설을 수용하여 신념을 바꾸는 유형(BC; 21명, 14%)으로 구분할 수 있었다(Table 2). 초기 이론에 대한 신념을 유지하는 학생들은 제시된 대안 가설에 관련된 불만족이나 오개념으로 인하여 기존 신념을 포기하지 않는 유형(NBC-I)과 제시된 대안 가설이 아닌 자신의 새로운 가설을 주장하는 유형(NBC-II), 그리고 대안 가설을 부분적으로 받아들여 초기 이론의 주변 이론을 변화시키는 유형(NBC-III)으로 분류할 수 있었다.

Table 2
Students' and scientists' responses after being presented with the alternative hypothesis

Types of responses	Students	Scientists
No belief change(NBC)		
NBC- I	39(26%)	-
NBC- II	32(22%)	Bergman, Cavendish, Priestley, Scheele
NBC- III	41(28%)	-
Belief change(BC)		
BC- I	8 (5%)	-
BC- II	10 (7%)	Berthollet, Kirwan

NBC-I 유형의 학생들(39명, 26%)은 기체의 성질에 대한 오개념에 근거하여 대안 가설을 거부하는 경향이 뚜렷했다. 즉, ‘공기와 결합한다고 질량이 늘어날까?’ 또는 ‘공기는 가벼운데 결합한다고 무거워질까?’와 같은 의문을 제기하며 대안 가설의 오류를 주장하는 학생들이 적지 않았다. 과학자들에게서는 나타나지 않았던 이러한 반응이 많은 학생들에게 나타났다는 사실은 학생들의 배경 지식이 부족할 경우 대안 가설의 수용 과정이 방해받을 가능성을 시사한다. 한편, 일부 학생들은 ‘만약 기체와 결합한다면 종이는 연소 시 왜 무게가 줄어들까?’, ‘왜 기체와 물질이 결합하는 걸까?’, ‘왜 태울 때만 기체와 결합하는 걸까?’ 등의 의문을 제기했다. 이러한 응답은 초기 이론으로는 잘 설명되던 기존의 자연 현상이 대안 가설로는 설명이 되지 않아 발생하는 인지 갈등 유형(권재술, 1989)으로 볼 수 있다. 과학사에서 이와 비슷한 인지 갈등을 발견할 수 있다. 라부아지에의 산소설은

초기에 상대적으로 불안정한 이론 체계였기 때문에, 플로지스톤설로는 설명이 가능하던 자연 현상이 오히려 산소설로는 설명되지 않는 경우가 있었다. 즉, 라부아지에의 산소설은 ‘연소가 단순히 산소와의 결합이고 산소가 공기 중 어디에나 존재한다면, 왜 모든 물질들이 연소하지 않는가?’라는 플로지스톤설 과학자들의 공격에 부딪혔다(Guerlac, 1961; Salzberg, 1991). 따라서 대안 가설에 의해 유발되는 인지 갈등은 새로운 과학 이론 형성의 초기 단계나 개념 학습의 초기 단계에서 공통적으로 나타나며, 이러한 인지 갈등은 과학적 개념이 학생들의 인지 구조에 정착되는 과정에서 해결되어야 할 중요한 문제인 것으로 생각할 수 있다.

제시된 대안 가설 대신 자신의 새로운 가설로 변칙 사례를 설명하는 NBC-II 유형의 학생들(32명, 22%)은 ‘수은이나 마그네슘과 같은 금속은 열을 받으면 전성이나 연성과 같은 성질에 의해 무거워진다’ 또는 ‘종이 같은 물질은 가벼운 물질로 되어 있고, 금속은 무거운 물질로 되어 있어서 태우면 무거워진다’고 응답했다. 이 학생들은 주로 변칙 사례에 대해 주변 신념 변화 반응을 보였던 학생들이며, 변칙 사례에 대한 반응에서의 논리를 비슷하게 유지하는 경향이 있었다.

기존 신념은 고수하면서도 변칙 사례를 설명하기 위해 대안 가설을 일부 수용하는 NBC-III 유형의 학생들(41명, 28%)은 ‘종이가 타는 현상은 물질에서 무엇인가 빠져나가서 질량이 감소하는 것이고, 마그네슘이나 수은 같은 금속은 공기 중의 기체와 결합하여 무거워지는 것이다’ 또는 ‘수은도 타면서 물질은 줄지만, 그 안으로 무거운 기체가 들어가면서 무거워진 것이다’고 응답했다. 이 학생들도 기존 이론에 대한 신념을 포기하지 않았다는 측면에서는 NBC-II 유형의 학생들과 유사한 면이 있지만, 상충되는 두 가지 이론이 공존함으로 인해 인지 구조의 통일성이 감소하더라도 변칙 사례를 설명하기 위해 대안 가설을 일부 수용한다는 점에서 차이가 있다. 한편, 과학자들은 설명 과정에서 하나의 이론 체계를 이용한 통일성을 추구하려는 특성이 있으므로, NBC-III 유형에 해당하는 과학자는 없었다.

한편, 제시된 대안 가설을 수용함으로써 초기 이론에 대한 신념을 포기한 학생들은 21명(14%)이었다. 그런데 일부 학생들(8명, 5%)은 대안 가설을 이용하여 기존의 현상을 전혀 다른 방식으로 해석하는 경향을 보였다(BC-I). 즉, ‘종이는 연소하면 기체와 결합하지 않고, 수은과 마그네슘은 연소하면 기체와 결합한다’ 또는 ‘수은과 마그네슘은 기체와 결합할 수 있

는 원소가 많고, 종이는 적다'고 응답했다. 이 학생들의 경우 초기 이론에 대한 신념은 포기했지만, 이러한 변화는 단순히 오개념으로 인한 대안 개념의 해석상 오류에 기인한 것 일뿐 학습에서 의도했던 개념 변화 유형은 아니다. 반면, 새로운 개념을 자신의 기존 인지 구조에 유의미하게 통합한 학생들(BC-II)은 10명(7%)에 불과하여 진정한 의미에서의 개념 변화는 매우 어려운 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 제언

변칙 사례를 이용한 인지 갈등 유발 전략은 과학 이론의 변화 과정과 학생들의 개념 변화 과정이 유사할 것이라는 가정에 근거하고 있다. 플로지스톤설로 설명하기 곤란한 변칙 사례에 대한 학생들의 반응과 과학자들의 반응을 비교한 결과, 이러한 가정을 지지하는 증거들이 발견되었다. 예를 들어, 자신의 초기 이론에 대한 신념을 고수하기 위해 변칙 사례를 실험상의 오류로 간주하여 거부하거나 예외로 취급하는 반응은 과학자들과 학생들에게서 공통적으로 나타났다. 또한, 과학자들은 변칙 사례를 설명하기 위해 관련 개념들을 초기 이론에 추가하거나 변형했으며, 학생들도 변칙 사례의 타당성을 인정하는 과정에서 초기 이론에 대한 신념을 포기하기보다는 주변 이론의 수정을 통해 기존의 핵심적인 이론을 유지하려는 경향을 보였다.

한편, 과학자들의 경우 변칙 사례의 실험 결과가 일관되게 제시된 이후에는 거부나 배제 반응이 거의 사라지고 보류나 주변 신념 변화 반응을 많이 보였지만, 학생들은 거부, 배제, 판단 불가 반응이 많았다. 즉, 과학자들은 기존 이론과 일치하지 않는 변칙 사례에 집중하여 심층적 분석과 반복 실험을 통해 변칙 사례를 공격함으로써 자신들의 신념을 고수했으나(Guerlac, 1961; Poirier, 1996), 학생들은 변칙 사례에 초점을 맞추기보다는 자신들의 선개념으로 설명이 용이한 기존 현상들에 집중함으로써 선개념을 보호하려는 경향을 보였다. 학생들과 과학자 모두에게 많이 나타났던 주변 신념 변화 반응도 그 구체적인 양상에서는 차이점이 있었다. 의견상으로는 학생들도 과학자들과 유사하게 자신의 기존 개념 체계를 변형시켜 새로운 개념 체계를 만들어내는 것처럼 보였다. 그러나 학생들의 주장을 구체적으로 분석해 보면, 이들의 대안적 개념 체계는 대부분 부족한 배경 지식 또는 오개념에 기인한 것이었고, 그 결과 새롭게 형성된 학생들의 개념 체계는 이후의 개념 변화 과정에 방해물로 작용할 가능성이 높았다. 변칙 사례를 설명하기 위해

학생들이 만들어내는 개념 체계는 과학 이론의 형성 과정에서 과학자들에 의해 수정된 이론과는 특성이나 역할이 상이할 가능성이 높다. 따라서 학생들의 개념 변화 과정에 대한 실질적인 정보를 얻기 위해서는 변칙 사례 제시 후에 형성된 학생들의 새로운 개념 체계에 대해 보다 심층적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한, 개념 변화가 성공하기 위해서는 과학자들처럼 학생들이 변칙 사례를 심층적으로 분석하고 처리하도록 유도할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다.

라부아지에의 산소설은 많은 과학자들이 플로지스톤설에 대한 신념을 포기하도록 유도했지만, 이 연구에서는 대안 가설을 접한 후에 진정한 의미의 신념 변화를 보인 학생이 매우 적었다. 즉, 학생들에게 대안적 개념을 제시하면 선개념에 대한 반성적 사고를 이끌어내어 기존 개념의 포기를 유도할 수 있으리라는 기대(Koslowski, 1996)와 달리, 학생들은 대안적 개념을 바탕으로 기존 개념에 대해 비판적으로 사고하기보다는 대안적 개념에 불만을 보이거나 대안적 개념의 일부 요소를 이용하여 기존 개념을 고수하는 경우가 더 많았다. 이는 학생들이 대안 가설과 관련하여 지니고 있는 여러 가지 개념들이 불완전하거나 오개념인 경우가 많아서 오히려 대안 가설의 수용을 방해하는 경향이 있었기 때문이다. 과학자들이 플로지스톤설을 포기하고 라부아지에의 산소설을 수용하게 되기까지는 활발한 서신 교환을 통한 비판적 사고가 중요한 역할을 했다고 알려져 있다(McCann, 1978; Thagard, 1990). 즉, 산소설을 비판하기 위해 산소설의 주장을 분석하고 다루었던 경험이 오히려 새로운 대안 이론으로 산소설을 수용하는데 중요한 역할을 했다는 것이다. 따라서 학생들의 개념 변화 과정에서도 단순히 학생들에게 대안적 개념을 제시해 주는 것만으로는 성공적인 개념 변화를 기대하기 어려우므로, 제시된 대안적 개념이 학생들에게 받아들여져 인지 구조에 통합되기까지의 과정이나 이 과정을 촉진하는 방안에 대한 보다 심층적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

국문 요약

이 연구에서는 플로지스톤설에서 산소설로의 개념 변화 과정에서 제시된 변칙 사례와 대안 가설에 대한 학생들의 반응을 조사하고, 이를 과학자들의 반응과 비교했다. 변칙 사례와 대안 가설에 대한 과학자들의 반응은 과학사 관련 문헌에서 수집했다. 선개념 검사를 실시하여 연소에 대한 목표 오개념을 지닌 중학교 2학년 학생 148명을 선발했다. 학생들에게 변칙 사례

와 대안 가설을 제시하고, 이에 대한 학생들의 반응을 조사했다. 연구 결과, 과학자들과 학생들에게서 유사한 반응 유형이 나타났지만, 동시에 명확한 차이점도 있었다. 과학자들은 변칙 사례의 문제점을 밝히고자 노력하는 경향이 있었지만, 학생들은 자신들의 초기 이론에 대한 신념을 고수하기 위해 변칙 사례를 거부하거나 배제하는 경향이 있었다. 또한, 대안 가설을 접한 후에 자신의 신념을 바꾸는 학생은 일부에 불과했다.

참고 문헌

- 강석진, 김순주, 노태희 (2001). 변칙 사례의 특성이 인지 갈등과 개념 변화에 미치는 영향. *대한화학회지*, 45(6), 589-594.
- 권재술 (1989). 과학 개념의 한 인지적 모형. *물리교육*, 7(1), 1-9.
- 노태희, 임희연, 강석진, 김순주 (2001). 학생의 인지적, 정서적 변인, 변칙 사례에 의한 인지 갈등, 개념 변화 사이의 관계. *한국과학교육학회지*, 21(4), 658-667.
- 안기철 (1992). Lavoisier의 화학 방법론 고찰. 경북대학교 석사학위논문.
- 이병윤 (1998). 라부아지에의 기체계량기 제작과 그 배경. 서울대학교 석사학위논문.
- Basu, P. K. (2003). Theory-ladenness of evidence: A case study from history of chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 34(2), 351-368.
- Brewer, W. F. (2005). In what sense can the child be considered to be a "little scientist?" Paper presented at the Inquiry Conference on Developing a Consensus Research Agenda, Rutgers University, NJ.
- Brewer, W. F., & Chinn, C. A. (1994). Scientists' responses to anomalous data: Evidence from psychology, history, and philosophy of science. *Philosophy of Science Association*, 1, 304-313.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Guerlac, H. (1961). *Lavoisier-the crucial year: The background and origin of his first experiments on combustion in 1772*. New York: Cornell University Press.
- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. (2004). Reexamining the role of cognitive conflict in science concept learning. *Research in Science Education*, 34(1), 71-96.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge: MIT Press.
- Kuhn, D. (1997). Constraints or guideposts? Developmental psychology and science education. *Review of Educational Research*, 67(1), 141-150.
- Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 357-380.
- Mason, L. (2003). *Personal epistemologies and intentional conceptual change*. Mahwah: Erlbaum.
- McCann, H. G. (1978). *Chemistry transformed: The paradigmatic shift from phlogiston to oxygen*. Norwood: Ablex.
- Poirier, J. P. (1996). *Lavoisier, chemist, biologist, economist*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Salzberg, H. W. (1991). *From caveman to chemist: Circumstance and achievements*. Washington: American Chemical Society Press.
- Schufle, J. A., & Thomas, G. (1971). Equivalent weight from Bergman's data on phlogiston content of metal. *Isis*, 62(4), 499-506.
- Thagard, P. (1990). The conceptual structure of the chemical revolution. *Philosophy of Science*, 57(2), 183-209.