

귀추법 관점에서 중학교 과학 교과서에 제시된 아보가드로의 가설에 대한 내용 분석*†

백성혜, 김준예‡

이 연구에서는 과학적 방법으로서 귀추법에 대해 살펴보고, 아보가드로의 가설이 도출되는 과정을 귀추법 관점에서 살펴보았다. 또한 아보가드로의 가설이 중학교 과학교과서에서 어떠한 방식으로 서술되어 있는지 살펴보았다. 그 결과, 과학교과서에서는 아보가드로의 가설이 도출되기까지의 사고 과정에 대한 충분한 안내가 부족함을 확인할 수 있었다.

【주요어】 귀추법, 아보가드로의 가설, 중학교, 과학교과서.

1. 서론

과학 교육의 주된 목표 중 하나는 과학의 본성에 대한 학생들의 이해가 발달하도록 도와주는 것이다. 과학의 본성에 관한 문제는 과학교육의 인식론적 토대를 이루고 있다.¹⁾ 현재 진행 중인 우리나라의 제7차 과학교육과정에서도 과학의 본성을 다루어야 함을 명시하고 있으며,²⁾ 미국에서도 과학의 본성에 대한 이해가 과학적 소양의 성취에 중요한 요소로 간주되고

* 접수완료: 2008.10.24 / 심사 및 게재확정: 2009.5.8 / 수정완성본 접수: 2009.5.18

† 이 논문은 2009년도 과학문화연구센터의 지원에 의하여 연구되었음

‡ 제1저자: 백성혜(한국교원대 화학교육과) 공동저자: 김준예(한국교원대 석사)

1) Nussbaum(1989).

2) 교육부(1998).

있다.³⁾ 또한 여러 연구자들이 과학교육에서 과학의 본성에 대한 관점을 도입할 필요가 있음을 주장하여 왔다.⁴⁾

특히 과학의 본성에 대한 관점의 도입은 학생들에게 논리적이고 분석적인 사고를 훈련시킬 수 있으며, 추론과 비판적 사고를 가능하게 하고, 과학의 문제들에 대해 깊이 있는 이해가 가능하도록 한다는 점에서 필요할 뿐 아니라, 과학교사들에게도 과학에 대한 보다 풍부한 이해를 가능하게 하고, 학생들이 과학을 배울 때 겪는 어려움에 대한 이해를 제공하며, 다양한 교육적 논쟁에 대한 평가 안목을 길러준다는 측면에서도 유익하다.

또한 과학의 본성에 대해 올바른 인식을 가진 과학 교사는 학생들을 긍정적인 방향으로 지도할 수 있다.⁵⁾ 교사 교육의 효과를 알아본 연구에서 과학의 본성을 잘 숙지하고 있는 교사는 학생들이 추리하고, 가설을 세우고, 창조하는 일에 긍정적인 영향을 준다고 하였다.⁶⁾ 또한 교사들은 학생들에게 자신이 가지고 있는 과학의 본성에 대한 인식을 효과적으로 전달한다.⁷⁾

비록 정규 과학교육을 통하지 않고서도 사람들은 일상에서의 경험 등을 통해 과학의 본성에 대해 나름대로의 견해를 갖게 된다.⁸⁾ 그러나 이러한 과정만으로 과학의 본성에 대해 올바른 관점을 정립할 수 있다고 보기 어렵다.⁹⁾

지금까지 이루어진 연구에 따르면, 과학의 본성에 대한 학생들이나 교사들의 이해는 미약하다.¹⁰⁾ 특히 과학 교과서는 과학의 본성에 관련된 다양한 관점을 형성하기 위한 안내서로 매우 부족하다.¹¹⁾ 대부분 과학 교과서

3) AAAS(1993), NRC(1996).

4) Matthews(1994).

5) Gallagher(1991), Palmquist & Finley(1997).

6) Akerson & Volrich(2006).

7) Zeidler & Lederman(1987).

8) 소원주 등(1998).

9) Lederman(1992), Shapiro(1996).

10) 권성기, 박승재(1995), 반은기(2000), 서성미(1996), 소원주(1998), 장병기(1995).

11) 전은경(2006).

는 전형적으로 귀납적 방식으로 진술되어 왔으며,¹²⁾ 과학의 잠정성을 무시한 채 최종 산물인 지식만을 강조하는 경향이 있다.

그러나 오늘날 과학 교과서에 제시되는 중요한 과학 개념들 중에는 귀추법으로 해석되는 내용들이 많다. 이때 귀추법은 ‘어떤 한 상황에서 성공적인 기존의 설명을 새로운 상황에서의 임시적 설명으로 차용하고 적용하는 가설 창안의 정신적 과정’¹³⁾으로, 확장적인 추론을 통해 어떤 현상이 일어나는 원인에 관해 설명할 수 있게 하는 추리 방법¹⁴⁾이라 할 수 있다. 그렇기 때문에 기존의 연역법, 귀납법만으로는 설명하기 어려운 과학 지식의 성장과정과 가설의 생성과정을 설명하는데 적합한 것으로 여겨지고 있다.¹⁵⁾

또한 과학적 방법으로서 귀추법은 합리성에 대한 새로운 기준을 제공할 뿐만 아니라, 모든 새로운 과학적 발견의 기초가 될 수 있다¹⁶⁾. 그 예로 유전자나 세균의 존재, 해양성과 명황성의 존재, 다윈의 자연선택, 공룡멸종 가설, 대륙 이동설 등은 귀추법에 의해 형성되었다고 할 수 있다. 귀추법은 확실성에서는 연역법이나 귀납법에 비해 부족하지만, 생산성 면에서 볼 때 매우 중요한 역할을 하기 때문에 궁극적으로 과학적 사유의 출발점은 연역이나 귀납이 아니라 귀추법이라고 할 수 있다.

근래에 들어서 국내 과학 교육계에서도 귀추법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 탐구과정으로서 가설생성 과정의 특성을 논의하는데 초점을 둔 연구,¹⁷⁾ 귀추법을 구체적으로 실천하는 방안에 초점을 둔 연구,¹⁸⁾ 귀추법을 지식 생성이나 과학적 탐구방법과 관련지어 논의한 연구¹⁹⁾ 등이 활발히 이루어져 왔다. 이들 연구들은 공통적으로 귀추법이 가설을 생성하

12) Sutton(1996).

13) Lawson(1995)

14) 오필석, 김찬중(2005), 이초식(2000).

15) 정용재, 송진웅(2006), Hanson(1958).

16) 김영진(2004).

17) 권용주 등(2004), 권용주 등(2003b), 권용주 등(2000).

18) 김영학(2004), 정용재, 송진웅(2006), 정진수 등(2005).

19) 오필석, 김찬중(2005), 권용주 등(2003a), 박종원(2000).

는데 있어서 중요한 역할을 담당하며, 지식 생성이나 과학적 탐구에 있어서도 중요한 역할을 담당한다고 지적하고 있다.

그러나 아직까지 과학교육에서 가장 중요한 역할을 차지하는 과학교과서의 서술 방식에서 가설들에 대한 귀추법 관점이 제대로 도입되고 있는지에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 이 연구에서는 중학교 과학 3 교과서에 제시된 아보가드로의 가설을 중심으로 과학 교과서의 서술 방식을 귀추법의 관점에서 분석해 보고자 한다.

2. 귀추법

귀추법은 19세기의 철학자 Charles S. Peirce가 귀납법이나 연역법과는 다른 또 하나의 추론 방법으로 제안한 이래, Hanson에 의해 보다 정교한 형태로 제시되었고, 이후에 과학철학이나 인지 과학과 같은 다양한 분야에서 연구되어 왔다.²⁰⁾ 특히 과학 지식이 생성되는 과정으로 귀추법이 제안된 이래, 귀추법은 자연현상을 설명하는 과학지식의 형성에서 요구되는 핵심적인 추론 방식으로 인식되어 왔다.²¹⁾ Peirce는 ‘과학의 모든 아이디어들은 귀추법에 의해서 생성된다.’고 보았으며, 다음과 같이 형식으로 제안하였다.²²⁾

규칙: 이 주머니에서 나온 모든 콩은 희다.

결과: 이 콩들은 희다.

사례: ∴ 이 콩들은 이 주머니에서 나왔다.

이러한 귀추법은 단지 일반적인 규칙을 특정한 사례에 적용하여 결과를 도출하는 연역법과는 다른 것이다. 귀납은 어떤 것이 참이라는 한정된 양

20) 박준호(2005), 오피석, 김찬중(2005), Magani(2001).

21) Lawson(1995), Wenham(1993).

22) 박준호(2005)

의 사례들로부터 일반화하여 그 어떤 것이 모든 경우에 있어서 참이라고 추리한다. 이와는 달리 귀추법은 일반적 규칙과 결과로부터 특정한 사례를 도출하는 종합추리이다. 이때 도출된 특정 사례(이 콩들은 이 주머니에서 나왔다.)는 관찰된 결과를 일반적 규칙의 한 사례로 설명하는 것으로서, 진위여부가 임시적인 명제, 즉 설명가설이다. 이를 새로운 법칙이나 규칙의 제안으로 볼 수도 있으며, 연역 논리에 해당하는 후건긍정식으로 볼 수도 있다. 그런 점에서 ‘규칙-결과-사례’ 순으로 Peirce가 제안한 귀추법 단계가 부적절하다고 지적하거나, 혹은 마지막 단계로 제시하는 사례라는 용어 자체가 귀추법에 부적절하다고 지적할 수도 있다. 그러나 그가 제안한 사례에는 구체적인 사실들 뿐 아니라 새로운 법칙이나 규칙의 제안도 포함된다 고 간주할 수 있다는 점에서 귀추법으로 볼 수 있다.

귀추법은 결론이 참이란 사실에 근거하여 전제 역시 참이라고 추리하는 ‘후건긍정의 오류’를 범하고 있는 추리인 점에서 이를 연역법의 한 유형이라고 볼 수도 있다. 그러나 귀추법은 명시적인 논거를 분명하게 드러내지는 않았지만, 아무 근거 없이 전개되는 것이 아니라 두 전제의 유사성에 근거를 두고 있는 추리이다. 따라서 전제에 대한 명시적인 논거를 중요하게 다루지 않는 연역법과는 차별화된다고 할 수 있다.

또한 귀추법은 귀납법과 마찬가지로 오류가능성을 지닌 확장적인 종합 추리라는 특성을 가지고 있다. 그러나 귀납법은 관찰된 결과가 비슷한 모든 경우에 동일하게 일어날 것이라고 추리하지만, 귀추법은 우리가 직접적으로 관찰한 결과와는 질적으로 다른 어떤 것을 가정한다는 점에서 차이가 있다. 즉, 귀추법은 관찰된 결과를 일반적 규칙에 의해 새롭게 해석함으로써 설명을 도출한다²³⁾는 특징을 귀납법과 달리 가지고 있는 것이다.

Peirce는 귀추법의 도식을 보다 명확하게 하기 위하여 귀추법의 형식을 다음과 같이 수정하였다. 이러한 수정에는 가설을 발견하는 방법에 더 초점을 둔 의도가 포함되어 있다.²⁴⁾

23) 정용재, 송진웅(2006).

24) 박준호(2005)

놀라운 사실 C가 관찰되었다.

그러나 만일 H가 옳다면, C는 당연히 일어날 것이다.

그러므로 H가 옳다고 짐작할 이유가 있다.

이러한 귀추의 도식을 발견의 논리로 해석하려는 시도는 Hanson에 의해 더욱 정교화 되었다. Hanson²⁵⁾은 과학적 발견의 패턴을 논의하면서, 귀추란 ‘하나의 사실을 관찰한 다음, 그 사실을 만든 것이 무엇인지 말하도록 하는 것’이라고 정의하였으며, 다음과 같이 귀추의 도식을 제안하였다.

약간의 놀라운 현상 $p_1, p_2, p_3 \dots$ 가 확인된다.

그러나 만약 H가 옳다면, $p_1, p_2, p_3 \dots$ 는 놀랍지 않을 것이다

- 그것들은 H의 당연한 귀결일 것이다. H는 $p_1, p_2, p_3 \dots$ 를 설명할 것이다.

그러므로 H를 본격적으로 연구할 - 그것을 가능한 가설로 제안할 - 좋은 이유가 있다.

이러한 도식의 초점은 가설 H의 진리성이 아니라 이를 수용해야 할 이유이다. 그런 의미에서 가설을 발견하는 논리는 일종의 전략적 규칙이라고 할 수 있다.

과학교육에서도 귀추법의 중요성이 부각되면서 ‘과학자들이 기존에 잘 알려진 규칙들을 통해 잘 설명되지 않는 현상을 접하게 되었을 때 새로운 규칙성을 창안하여 그 현상을 설명하는 과정’²⁶⁾이나 ‘이미 알려진 다른 현상에 대한 설명 방식을 아직 설명되지 않은 새로운 현상에 빌려와 새로운 설명을 제안하는 사고’²⁷⁾ 등으로 소개하고 있다. 또한 귀추법의 추론 과정에서 활용되는 추리 전략으로 자료의 재구성(data reconstruction) 전략, 연쇄적 귀추(chained abduction) 전략, 발견법적 일반화(heuristic generalization) 전략, 유추(analogy) 전략, 존재에 관한(existential) 전략, 결합 혹은 인과적 결합(combination, or causal combination) 전략, 모델 구성 및 조작(model

25) Hanson(1958).

26) 오필석, 김찬중(2005).

27) 박종원(2000).

construction and manipulation) 전략, 특히 정보의 채택(adaption novel information) 전략, 제거(elimination) 전략 등을 제안하기도 하였다.²⁸⁾ 이러한 전략들은 귀추법에서 가장 중요한 두 번째 단계인 가설을 생성하는 과정에서 도입된다.

자료의 재구성 전략은 관찰한 자연 현상들과 문제들을 해결하기 위해 필요하다고 생각하거나 염두에 두고 있는 규칙들을 쉽게 추리하도록 정보들을 재배열 하거나 증거를 선별하여 구성하는 전략을 말한다. 멘델레예프가 주기율표를 발견하는 과정에서 각 원소들의 특성을 카드로 적어 나열하여 규칙성을 찾아내는 과정은 이러한 전략으로 설명할 수 있다. 연쇄적 귀추 전략은 복수의 규칙들을 순차적으로 연계하여 하나의 시나리오를 구성하고 이를 통하여 문제 상황을 설명하려는 시도를 의미한다. 발견법적 일반화 전략은 경험적으로 얻는 자료들 속에서 패턴을 찾아 임시적으로 일반화하고, 이를 규칙으로 삼아 추론하는 사고를 의미한다. 예를 들어 멘델레예프가 이미 발견된 원소의 주기적 규칙성으로부터 알루미늄, 실리콘, 붕소 등과 같은 물질이 존재할 것이라고 예언할 수 있었던 과정에는 이러한 발견법적 일반화 전략이 활용되었다고 할 수 있다. 유추 전략은 비슷한 상황에서 성공적으로 기능하였던 규칙들을 차용하여 현재 주어진 현상에 대한 새로운 설명을 제시하는 전략이다. 예를 들어 원소의 주기적 성질이 반복되는 이유를 음악에서 사용하는 옥타브 규칙을 차용하여 설명하려고 한 시도가 이에 해당한다. 이를 오늘날에도 옥텟 규칙이라고 부른다. 존재에 관한 전략은 아직 알려지지 않은 새로운 대상의 존재를 가정하고, 이를 토대로 추론하는 전략이다. 이 연구에서 대상으로 삼은 아보가드로의 가설은 그 당시 밝혀지지 않은 존재인 분자를 가정하고, 이를 토대로 기체반응의 법칙을 설명하려고 시도하였다는 점에서 존재에 관한 전략을 활용하였다고 할 수 있다. 그 외에도 멘델이 우성과 열성 유전자의 존재를 가정하고 이로부터 독립의 법칙이나 우열의 법칙을 설명하였던 과정도 같은 전략으로 볼 수 있다. 결합 전략은 둘 이상의 규칙들을 결합하여 새로운 규칙을

28) 오필석(2006)

형성하고, 이 새로운 규칙을 이용하여 추론하는 전략을 말한다. 모델 구성 및 조작 전략은 관심이 있는 대상의 모습이나 움직임, 기능 등을 토대로 모델을 형성하고, 이를 통해 현상을 설명하는 전략을 말한다. 예를 들어 두 물질이 균일하게 섞이는 과정을 콩과 좁쌀이 서로 고르게 섞이는 모델로 설명하는 전략이 이에 해당한다. 제거 전략은 대안적인 규칙이나 가설들을 여러 가지 기준을 통해 평가하거나 서로 비교하여 그럴듯하지 않은 것들을 배제하는 전략을 말한다.

3. 아보가드로의 가설에 대한 귀추적 사고 과정

아보가드로의 가설이 도출되는 과정에서 직접적으로 관련되어 있는 법칙들의 발견 과정을 시대 순서대로 제시하면 그림 1과 같다.

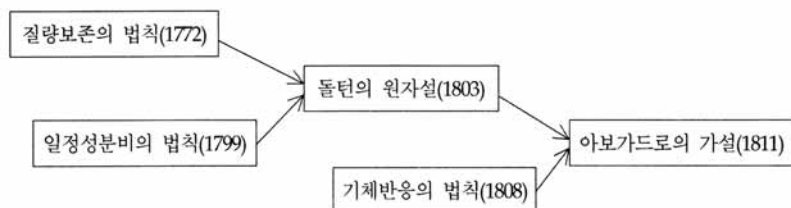


그림 1. 아보가드로의 가설에 관련된 발견들의 순서²⁹⁾

그러나 돌턴의 원자설과 기체반응의 법칙으로부터 아보가드로의 가설이 도출되기 위해서는 몇 가지 다른 사고의 연결이 필요하다. 우선, 아보가드로의 가설은 기체의 부피와 입자의 개수 관계를 포함하고 있기 때문에 기체의 부피비의 규칙성만을 제시하는 기체 반응의 법칙이나, 물질의 질량비의 규칙성을 입자의 수로 설명해 주는 돌턴의 원자설과 연결하기에는 부족

29) 박태규 역(1993).

합이 있다. 아보가드로가 기체 반응의 법칙을 설명하기 위하여 ‘일정한 압력과 온도에서 기체의 종류에 상관없이 일정한 부피 안에 일정한 개수의 입자가 있다.’라는 가설을 도출하게 된 사고 과정을 이해하기 위해서는 귀추적 추론이 필요하다.

Peirce는 ‘과학의 모든 아이디어들은 귀추법에 의해서 생성된다.’고 보았다. 이러한 주장에 근거할 때 아보가드로가 가설을 도출하는 과정도 귀추법에 근거하여 형성되었다고 볼 수 있다. 아보가드로의 가설 도출 과정은 Peirce의 이러한 주장을 입증하는 좋은 사례를 보여준다. 귀추법에 따라 아보가드로의 가설이 도출되는 과정을 추론하여 보면 다음과 같다.

화학 반응에서 기체의 부피비가 항상 일정한 정수비를 나타내는 놀라운 사실이 관찰되었다.

그러나 만일 ‘일정한 압력과 온도에서 기체의 종류에 상관없이 일정한 부피 안에 일정한 개수의 입자가 있다.’고 가정하면, 기체반응의 법칙은 당연히 일어날 것이다.

그러므로 이 가정이 옳다고 짐작할 이유가 있다.

그러나 이러한 가설이 도출되기 위해서는 관련된 지식과 함께 추론적 사고 과정이 필요하다. 문헌에서 직접적으로 아보가드로가 수행한 추론적 사고 과정을 찾아보기는 어렵지만, 그 당시 이루어졌던 과학자들의 연구 결과를 살펴보면 아보가드로의 사고에 영향을 미쳤으리라 추론할 수 있는 지식들을 찾아볼 수 있다. 역사학이 과거의 조각들로부터 추론을 통해 그럴 듯한 가설을 만드는 과정이라고 한다면, 이 연구 역시 아보가드로 당시의 과학적 지식들과 아보가드로가 주장한 가설 사이에서 그럴 듯한 추론을 통해 아보가드로의 사고 과정을 추리해 보는 과정이라고 할 수 있다. 이러한 연구의 의미는 존재하였던 사실 그 자체의 발굴이라기보다, 과학자들의 사고 과정을 추론해 봄으로써 과학의 발견 과정에 대한 의미의 재해석을 통해 과학철학적 관점을 학생들에게 지도하는 것이 가능한가에 대한 답을 추구하는 과정이라는 데에서 찾아볼 수 있다.

아보가드로의 가설이 도출되는데 큰 영향을 미친 과학자 중 하나인 돌턴

은 대기를 연구하던 중에 대기가 여러 기체의 혼합된 상태이며, 기체의 전체 압력은 섞인 기체의 비율에 따라 각각 독립적인 압력의 합으로 나타날 수 있다는 기체의 분압 법칙을 알아내었다. 그리고 돌턴은 기체가 물질임에도 불구하고 눈에 보이지 않는 이유를 설명하기 위하여 눈에 보이지 않을 만큼 작은 입자인 원자설을 도입하였다.

원자의 개념은 그리스 시대의 데모크리토스부터 시작되었다고 할 수 있으나, 실험적으로 나타난 자연 현상을 설명하기 위해 과학적 추론 개념으로 이를 도입한 것은 돌턴이 처음이라고 할 수 있다. 그는 원자가 질량을 가지는 구체적인 물체라고 가정하였으며, 이를 토대로 질량보존의 법칙이나 일정성분비의 법칙과 같은 경험적인 실험 결과를 잘 설명할 수 있었다.

돌턴은 원자의 개념으로 기체의 분압 법칙도 설명하였는데, 기체를 구성하는 입자들 중에 같은 종류의 입자들끼리는 서로 척력이 작용하기 때문에 기체는 일정한 부피 안에 압력을 가지게 된다고 보았다. 그 당시 돌턴은 분자의 운동에 따른 압력의 개념은 가지고 있지 못하였으나, 일정한 부피의 수소 기체에 수소를 더 넣으면 압력이 증가하는 이유를 설명하기 위하여 서로 척력이 작용하기 때문이라고 생각하였던 것이다. 따라서 일정한 압력을 유지하려면 척력이 작용하는 만큼 부피를 늘려 주어야 한다고 생각하였다.

돌턴과 같은 시대 프랑스의 화학자 게이뤼삭은 1805년 수소와 산소 및 수증기의 부피 비 사이에는 항상 2:1:2의 간단한 정수비가 성립한다는 사실을 발견하였다. 그리고 1808년 그는 더 많은 기체의 결합 반응을 조사하여 기체반응의 법칙을 발표했다.³⁰⁾ 그 당시 과학자들은 질량보존의 법칙이나 일정성분비의 법칙 등 다양한 화학 반응의 규칙성을 잘 설명해 줄 수 있었던 돌턴의 원자설을 지지하고 있었다. 게이뤼삭도 자신의 발견이 돌턴의 원자설을 강력하게 지지해 주기를 희망하였으나, 돌턴의 원자설로는 기체 반응의 법칙을 설명하기가 어려웠다. 왜냐하면 돌턴의 원자설은 원자의 질량에 대한 정보는 포함하고 있었으나, 원자들이 모여 형성하는 기체의 부

30) 양승훈 등(1996).

피에 대한 정보는 명확하지 않았기 때문이다.

게이뤼삭의 실험 결과를 해석할 수 있도록 해 준 것은 돌턴이 아니라 아보가드로였다. 아보가드로는 자신이 살던 시대보다 훨씬 전에 영국에서 살았던 과학자 보일이 발표하였던 논문을 접하게 되면서 그의 가설을 만들게 되었다.³¹⁾ 그가 읽은 보일의 논문에는 “어떠한 기체든지 압력이 증가하면 부피는 감소한다. 그리고 그 비율은 기체의 종류에 상관없이 거의 일정하다.”는 의미의 결론이 있었다. 다시 말하면, 1L의 기체가 수소이든, 산소이든 상관없이 압력에 따라 변화하는 부피의 비가 거의 일정하다는 것이다.

그 당시 아보가드로는 대부분의 과학자들이 받아들이고 있었던 돌턴의 ‘원자설’을 지지하면서 기체 반응의 법칙을 설명하기 위한 그럴듯한 새로운 가설을 창안하려고 노력하였다. 이러한 과정에서 그가 추리한 전략은 우선 복수의 규칙들을 순차적으로 연계하여 하나의 시나리오를 구성하는 연쇄적 귀추 전략이었다고 할 수 있다. 그는 보일의 법칙과 돌턴의 법칙을 연결하여 하나의 시나리오를 구성하였기 때문이다.

즉, 보일의 법칙인 ‘기체의 종류에 상관없이 $P(\text{압력}) \times V(\text{기체의 부피}) = K(\text{상수})$ ’라는 규칙성과 돌턴의 기체 부분 압력의 법칙인 ‘일정한 부피 안에 기체의 압력은 그 기체를 구성하는 입자의 수(정확하게는 이에 따른 척력)에 비례한다.’는 규칙성을 연계하여 ‘일정한 기체의 부피 안에서 일정한 압력을 유지하는 이유가 그 기체 안에 존재하는 입자의 수 때문이라면, 기체의 종류에 상관없이 모든 기체는 일정한 부피 안에 일정한 입자가 존재하지 않을까?’라고 생각하였을 것이다. 이러한 그의 가설은 기체 반응에서 부피 비의 규칙성을 입자의 존재로 설명하기 위해서였다.

그리고 이러한 자신의 추론을 제거 전략을 사용하여 평가해 봄으로써 그럴듯한지 아닌지 판단하고자 하였을 것이다. 그는 일정성분비의 법칙에 자신의 가설을 도입하는 과정에서 모순을 발견하였다. 그 모순은 바로 돌턴의 원자설을 받아들인다면 원자가 쪼개지지 않아야 하는데, 만약 산소 기체가 돌턴의 가정대로 산소 원자로 구성되어 있다면 한 부피의 산소 기체

31) 백성혜(2006).

가 두 부피의 수소 기체를 만나 두 부피의 수증기 기체가 될 때, 수소와 결합하는 산소는 한 부피에서 두 부피로 나누어지면서 반으로 쪼개져야 하는 문제가 발생하는 것이다. 산소든, 수소든, 수증기든 기체의 종류에 상관없이 항상 같은 입자 수만큼 같은 부피 안에 들어 있다고 가정하였을 경우에 말이다.

그 당시 돌턴은 원소를 동일한 원자로 이루어진 물질로 정의하였고, 원소는 같은 원자들만으로 구성되어 있기 때문에 더 이상 분해되지 않는 물질로 보았다. 따라서 더 이상 다른 물질로 분해되지 않는 원소인 산소 기체는 산소 원자로 구성되어야 한다. 하지만 이를 받아들이다면, 아보가드로는 산소 원자를 쪼개지 않고 기체 반응의 법칙을 설명하기 위하여 자신이 가정한 “일정한 기체의 부피 안에는 기체의 종류에 상관없이 같은 수의 입자가 들어 있어야 한다.”는 전제를 성립시킬 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 아보가드로는 분자의 존재를 가정하였다. 즉, 수소 기체나 산소 기체 안에는 비록 한 종류의 수소나 산소 원자들이 들어 있지만, 이들이 독립적으로 존재하는 것이 아니라 분자의 형태로 결합하여 하나의 입자로 존재하기 때문에 산소 기체 1부피가 수증기 기체 2부피로 바뀔 때 산소 원자가 쪼개지는 것이 아니라 산소 분자가 쪼개져서 각각 하나의 산소 원자가 수증기 입자를 구성하게 된다는 것이다. 이러한 사고 과정을 도식으로 나타내면 그림 2와 같다.

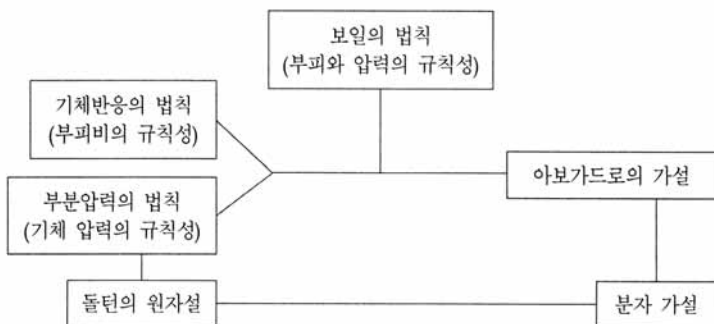


그림 2. 아보가드로의 가설에 대한 귀추적 사고 과정 도식

아보가드로가 겪었을 것이라고 가정할 수 있는 그림 2의 사고 과정을 단계별로 정리하여 제시하면 다음과 같다.

배경지식 1(돌턴의 원자설): 돌턴의 원자설로 질량보존의 법칙, 일정성분의 법칙 등 다양한 화학반응의 규칙성을 설명할 수 있었으므로, 물질이 원자라는 입자로 되어있다는 가설은 지지할 만하다.

배경지식 2(부분압력의 법칙): 돌턴은 '일정한 부피 안에 작용하는 기체의 압력은 그 기체를 구성하는 입자의 수(정확하게는 입자들 사이의 척력)에 비례한다.'고 주장하였다.

새로운 현상 관찰(기체반응의 법칙): 게이뤼삭이 '일정한 압력에서 기체들이 반응할 때에는 항상 일정한 부피비로 반응한다.'는 규칙성을 관찰하였다.

배경지식 3(보일의 법칙): 보일은 '기체의 종류에 상관없이 $P(\text{압력}) \times V(\text{기체의 부피}) = K(\text{상수})$ '라는 규칙성을 발표하였다.

새로운 가설 제안(아보가드로의 가설): 배경지식 2와 배경지식 3을 이용하여 아보가드로는 '기체의 종류에 상관없이 일정한 압력에서 일정한 부피의 기체 안에는 같은 수의 원자가 들어 있다.'고 가정하였다.

불일치 상황: 새로운 가설을 적용해서 기체반응의 법칙을 설명하면, 균일한 기체 성분을 만들기 위하여 돌턴의 원자가 반으로 쪼개져야 한다. 그러나 돌턴은 더 이상 분해되지 않는 기본 알갱이로 원자를 제안하였다.

가설 수정(분자 가설): 기체를 구성하는 입자는 원자가 아니라, 원자들이 결합한 분자라고 가정한다. 수소와 산소 같은 원소의 경우에는 한 종류의 원자로 이루어져 있으므로, 같은 종류의 두 원자가 결합한 분자가 존재해야 한다.

새로운 현상 설명: 수정된 가설(일정한 부피의 기체 안에는 같은 수의 원자가 들어 있다.)에 의하면 기체반응의 법칙에서 부피비의 규칙성이 관찰되는 이유를 설명할 수 있다.

따라서 아보가드로는 자신의 가설을 지지하기 위하여 만들어낸 새로운 존재인 분자를 가정하고, 이를 토대로 추론하는 존재에 관한 전략을 사용하였다고 말할 수 있다. 그가 가정한 분자의 존재는 매우 그럴 듯하게 원소로서의 산소 기체의 특성과 기체반응의 법칙에서 나타나는 부피비의 규칙성을 설명하여 주었다. 또한 분자의 존재를 가정한 것은 '더 이상 쪼개지

지 않는 원자의 존재를 지지하고, 원자들이 모여 형성하는 기체의 부피에 대한 정보를 제공해 줌으로써 돌턴의 원자설을 더욱 공고히 할 수 있는 계기를 마련한 것이라고 할 수 있다. 따라서 돌턴의 원자설과 아보가드로의 가설은 서로 대치되는 가설이 아니며, 분자의 존재를 포함한 아보가드로의 가설은 돌턴의 원자설의 부족한 부분을 보완함으로써 설명의 폭을 더욱 확장시키기 위하여 형성된 보조 가설이라고도 할 수 있다.

여기서 중요한 점은 아보가드로의 가설에서 핵심이 되는 사고는 분자라는 모델이 아니라는 점이다. 그가 가정한 분자의 존재는 아보가드로의 가설에서 견고한 핵이 아니다. 그의 가설의 핵심은 “일정한 부피의 기체 안에는 기체의 종류에 상관없이 항상 같은 입자가 존재한다.”는 것이었으며, 이러한 가설을 보호하기 위하여 분자라는 존재를 가정한 것이므로, 분자모델은 가설의 핵이라기보다는 보호대³²⁾에 해당한다고 할 수 있다. 이때 보호대는 핵을 견고하게 구성하기 위하여 제공되는 부수적인 부분이라고 할 수 있다.

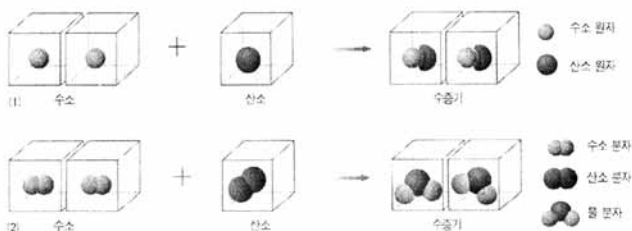
그러나 아보가드로의 가설을 지지하기 위하여 제안한 분자모델은 결정적인 문제점을 내포하고 있었다. 그것은 동종의 두 원자가 결합할 근거가 없었다는 점이다. 특히 돌턴의 기체 부분 압력의 법칙에서 도입한 기체의 압력은 동종 입자들 간의 척력으로 표현되었으므로, 서로 척력이 작용하는 두 동일 원자들이 하나의 입자로 결합하는 것에 대한 설명이 없이 그의 가설을 과학자들이 받아들이는 것은 쉽지 않았다. 따라서 보호대에 해당하는 분자모델이 핵에 해당하는 아보가드로의 가설을 견고하게 지지해주지 못하였기 때문에 아보가드로가 죽는 날까지 그의 가설은 널리 받아들여지지 못하였다. 이 상황은 러더퍼드가 원자핵을 발견하였을 때, 톰슨의 원자모형처럼 양성자와 전자가 서로 균일하게 섞여 있지 않고 양성자끼리 뭉쳐있는 이유를 찾기 어려웠던 경우에 비유할 수 있을 것이다. 중성자의 존재로부터 양성자끼리 뭉칠 수 있는 이유를 찾은 것처럼, 결국 분자의 존재는 동종 원자들 간의 전자 공유에 대한 이론이 형성되기 전까지는 받아들이기 어려운 가설이었을 것이다.

32) 신중섭, 이상원 역(2003).

4. 아보가드로의 가설에 관련된 교과서 내용 분석

7차 교육과정에서 개발된 9종의 중학교 과학 교과서 내용을 분석한 결과, 보편적으로 2가지 유형의 서술 방식을 취하는 것으로 나타났다. 유형별로 대표적인 서술 내용을 제시하면 다음과 같다.

게이뤼삭은 같은 온도, 같은 압력에서 수소 기체와 산소 기체가 결합하여 수증기가 생성 될 때 수소 : 산소 : 수증기의 부피의 비는 2 : 1 : 2 가 됨을 알았다. 이것을 모형으로 표현하면 다음과 같다(단, 아보가드로는 같은 부피 속에는 같은 수의 입자가 들어 있다는 것을 가정했다).



실제로 수소는 두개의 수소원자가 결합하여 한 개의 새로운 입자를 이루고 있으며, 산소는 두개의 산소 원자가 결합하여 한 개의 새로운 입자를 이룬다. 이와 같이 아보가드로는 몇 개의 원자로 이루어진 새로운 기본 입자를 분자라고 하였다. 분자는 물질의 고유한 성질을 그대로 지닌 가장 작은 입자로 분자의 크기나 모양은 물질의 종류에 따라 다르다. 아보가드로는 분자라는 새로운 입자를 도입함으로써 게이뤼삭의 실험 결과를 무리 없이 설명할 수 있었다.

그림 3. (주)블랙박스³³⁾에 제시된 기체반응의 법칙과 아보가드로의 가설에 대한 설명.

33) 김정률 등(2002).

그림 3의 교과서 내용을 보면, 게이뤼삭이 발견한 기체반응의 법칙을 모형으로 설명하면서 아보가드로의 가설은 괄호 안에 전제 조건으로 제시하고, 아보가드로가 분자라는 개념을 도입하여 게이뤼삭의 실험 결과를 무리 없이 설명한 것으로 소개하고 있다. 이러한 설명 방식을 도식으로 표현하면 그림 4와 같다.

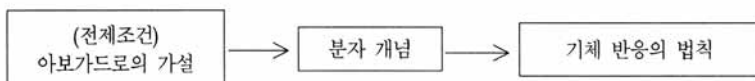


그림 4. (주)블랙박스에 제시된 기체반응의 법칙과 아보가드로의 가설에 대한 설명 도식.

그러나 이러한 설명 방식은 이미 아보가드로의 가설을 전제로 하기 때문에 아보가드로의 가설이 형성되는 과정에 대한 논리적 추론을 어렵게 한다. 또한 가설을 지지하기 위하여 만든 보호대에 해당하는 분자가 기체반응의 법칙을 설명하는 핵으로 소개하는 문제점을 가지고 있다.

게이뤼삭은 기체에 관한 실험 결과를 다음과 같이 정리하였다. ‘온도와 압력이 같으면 반응하는 기체와 생성되는 기체의 부피사이에는 간단한 정수비가 성립한다.’ 이것을 기체반응의 법칙이라고 한다.



게이뤼삭은 1:1의 비율로 결합하는 기체 원소는 같은 온도와 압력에서는 같은 부피를 차지할 것이라는 생각을 하였으나 그림 3-19에 나타낸 것과 같이 돌턴의 원자 모형으로는 원자가 깨어지는 모순이 생겨 설명할 수가 없게 되었다.



기체 반응의 법칙을 설명하기 위해 아보가드로는 다음과 같은 가설을 제안하였다. ‘온도와 압력이 같으면 모든 기체는 같은 부피 속에 같은 수의 입자를 포함한다.’ 또 그림에 나타난 것과 같이 수소와 산소는 각각 2개의 원자가 모여 1개의 새로운 입자를 이루며, 수증기는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개가 모여 1개의 새로운 입자를 이룬다고 설명하였으며, 몇 개의 원자가 결합하여 생성된 새로운 기본 입자를 분자라고 하였다. 이 제안으로 기체반응의 법칙을 그림 3-20과 같이 설명할 수 있게 되었다. 아보가드로의 가설은 그가 죽은 후에야 아보가드로의 법칙으로 인정받게 되었다.



그림 5. (주)교학사³⁴⁾에 제시된 기체반응의 법칙과 아보가드로의 가설에 대한 설명.

그림 5의 교과서 내용을 보면, 게이뤼삭의 기체반응의 법칙을 돌턴의 원자모형으로 설명하면 원자가 깨지는 모순이 나타난다고 제시하고 있다. 이 모순은 아보가드로의 가설인 ‘일정한 부피 안에 존재하는 입자의 수는 기체의 종류에 상관없이 일정하다’는 전제가 되어야 가능한 것³⁵⁾인데, 아보가드로의 사고 과정에 대한 서술 없이 아보가드로의 가설과 분자 개념을 제시한 후, 기체반응의 법칙을 제대로 설명할 수 있게 되었다는 내용만을 제시하고 있다. 따라서 이 교과서의 설명 방식도 역시 아보가드로의 가설

34) 강만식 등(2002).

35) 백성혜(2006).

이 도출되는 과정에 대한 논리적 사고가 제대로 진술되어 있지 못하다. 또한 아보가드로의 가설과 분자에 대한 제안으로 제대로 기체반응의 법칙을 설명하게 되었다고 설명한 후에, 아보가드로의 가설은 그가 죽은 날까지 인정받지 못하였음을 언급하였으나, 그 이유에 대한 설명도 제시되어 있지 못하다. 그림 5에 제시한 교과서 서술 내용을 도식으로 나타내면 그림 6과 같다.

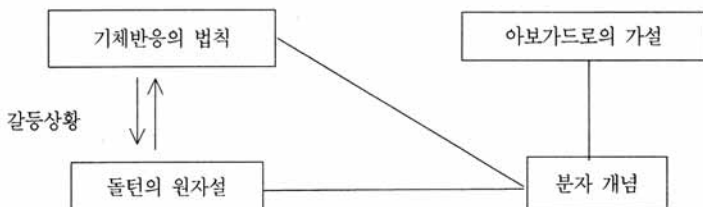


그림 6. (주)교학사에 제시된 기체반응의 법칙과 아보가드로의 가설에 대한 설명 도식.

5. 과학교육에 주는 함의

이 연구에서는 아보가드로가 가설을 추론하는 사고 과정을 귀추법 관점에서 살펴보고, 그의 가설에 대한 중등 과학교과서의 서술 방식의 특징을 살펴보았다. 그 결과, 과학 교과서에서는 아보가드로의 가설이 도출되기까지의 사고 과정에 대한 충분한 안내가 부족함을 확인할 수 있었다. 특히 아보가드로의 가설이 참이라는 대전제 하에 기체반응의 법칙이 돌턴의 원자를 쪼개는 문제를 야기하는 것처럼 설명하거나, 이러한 문제를 해결하기 위해 아보가드로가 분자라는 개념을 도입하였다는 설명함으로써 아보가드로의 가설이 도출되는 과정에 대한 사고를 배제하고 있다는 문제점이 있었다.

학생들에게 과학의 가설과 법칙들을 소개할 때 이들이 유기적으로 연계되면서 발달되어 가는 과정을 설명함으로써 법칙과 가설과의 관계를 이해하고, 스스로 관찰 가능한 법칙들을 설명하는 가설의 도출 과정에 대한 경험을 할 수 있게 하는 것은 매우 중요한 학습 과정이라고 할 수 있다.

또한 법칙을 설명하는 가설이 가지는 한계를 인식하고, 보다 나은 설명의 필요성을 통해 새로운 가설을 도출하는 과정을 경험하는 것도 매우 중요하다. 예를 들어 질량보존의 법칙이나 일정성분비의 법칙을 설명하는 돌턴의 원자설이 가지는 한계, 즉 질량비의 규칙성은 설명이 가능하지만 기체 부피비의 규칙성은 설명하기 어렵다는 한계점을 인식하고, 이를 설명하기 위하여 새로운 가설의 필요성을 인식하는 단계가 관련 과학 교과서에서는 제시될 필요가 있다. 이를 통해 학생들은 가설과 법칙의 차이를 인식하고, 법칙을 설명하기 위한 가정적 가설의 역할을 이해하게 될 것이다. 이러한 과정은 과학의 본성을 깨닫는데 매우 중요한 단계라고 할 수 있다.

그 다음 단계에서 여러 가지 법칙들을 순차적으로 연계하여 하나의 시나리오를 구성하는 연쇄적 귀추 전략이나, 형성한 가설이 그럴듯한지 아닌지 판단해 보는 제거 전략, 새로운 대상의 존재를 가정하고 이를 토대로 추론하는 존재에 관한 전략 등을 경험해 볼 수 있도록 할 필요가 있다. 이때 이미 밝혀진 정형화된 사고 과정을 수동적으로 따라가지 않도록 하고, 학생들이 스스로 자신의 전략을 활용하여 창의적인 가설을 만들어 보고 이를 점검해 보는 과정을 경험할 수 있도록 하는 것이 과학교육에서 중요하다. 이러한 역할은 과학교육과정의 내용 구성, 과학 교과서의 서술 방식 뿐 아니라 과학 교사들의 수업 지도 측면에서도 중요하게 다루어져야 한다.

귀추법은 매우 창조적인 사고 과정이라고 할 수 있지만, 학생들이 창의적인 가설 설정을 할 수 있으려면 미리 알고 있어야 하는 배경 지식도 중요하다. 또한 귀추적 사고 과정을 제대로 이해하기 위해서는 가설 형성 이전에 이를 위해 필요한 배경지식 중에서 어떤 특정한 규칙들이 선택되고 관련지어지는가에 대한 이해도 필요하다.³⁶⁾ 이러한 사고 과정에 대한 경험

36) 오필석(2006).

이 있어야 비로소 가설이 도출되기 위해 필요한 전략들을 이해하고 아보가드로의 가설이 도출되는 과정을 귀추적으로 사고할 수 있게 될 것이다.

아보가드로처럼 가설을 도출하는 과정은 과학의 발달에서 매우 중요한 역할을 수행하며, 이러한 사고를 오늘날 학생들에게 학습시키는 것은 과학의 본성에 대한 인식을 형성하는데 매우 중요하다. 또한 탐구의 과정으로서 귀추법은 가설을 생성하는 과정에 대한 이해로 매우 중요하므로, 교육과정과 교과서에서 이러한 귀추적인 사고의 논리적 전개를 제시하는 것 역시 중요하다. 따라서 앞으로 이러한 분야에 대한 지속적인 연구가 이루어질 필요가 있다고 본다.

참고문헌

- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 박은호, 이창진, 김일희, 장병기, 정병훈, 윤용, 이태욱, 한천옥(2002), 『중학교 과학 3』, (주)교학사.
- 권성기, 박승재(1995), 「교육대학생의 과학의 본성 개념과 구성주의 학습관의 연관성 및 변화조사」, 『한국과학교육학회지』 15권 1호, pp.104-114.
- 권용주, 정진수, 박운복, 강민정(2003a), 「선언적 과학 지식의 생성 과정에 대한 과학철학적 연구-귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로-」, 『한국과학교육학회지』 23권 3호, pp.215-228.
- 권용주, 정진수, 강민정, 김영신(2003b), 「과학적 가설 지식의 생성과정에 대한 바탕이론」, 『한국과학교육학회지』 23권 5호, pp.458-469.
- 권용주, 이해정, 신동훈, 정진수(2004), 「귀추적 과학지식의 생성에서 나타나는 감성의 유형」, 『한국생물교육학회지』 32권 4호, pp.204-212.
- 김영진(2004), 『화이트헤드의 가능태와 현실태에 관한 연구』, 영남대학교 박사학위논문.
- 김정률, 고현덕, 김재현, 김남일, 임용우, 동효관, 김선주, 남철주, 김영순, 이준용(2002), 『중학교 과학 3』, (주)블랙박스.

- 박종원(2000), 「학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석: 과학적 가설의 정의와 특성을 중심으로」, 『한국과학교육학회지』 20권 4호, pp.667-679.
- 박준호(2005), 「퍼스의 귀추와 가설의 방법」, 『범한철학』 37권, pp.65-85.
- 박태규 역(1993), 『화학사·상식을 다시 보다. -교과서의 오류는 왜 생겼는가?』, 전파과학사.
- 반은기(2000), 「고등학생의 과학철학적 관점에 대한 연구」, 『한국과학교육학회지』 20권 1호, pp.88-100.
- 백성혜(2006), 「과학 교과서에 제시된 아보가드로 가설과 법칙에 관한 설명의 문제점」, 『과학철학』, 9권 2호, pp.159-184.
- 서성미(1996), 『과학의 본성에 대한 고등학교 학생들의 이해도 분석』, 서울대학교 석사학위논문.
- 소원주(1998), 『과학교사의 과학철학적 관점과 과학 서술 방식이 중학생들의 과학관의 변화에 미치는 영향』, 한국교원대학교 박사학위 논문.
- 소원주, 김범기, 우종옥(1998), 「중학교 과학교사들의 과학 철학적 관점에 관한 연구」, 『한국과학교육학회지』, 18권 2호, pp.221-231.
- 신중섭, 이상원 역(2003), 『과학이란 무엇인가?』, 서광사.
- 양승훈, 송진웅, 김인환, 조정일, 정원우(1996), 『과학사와 과학교육』, 민음사.
- 오필석, 김찬중(2005), 「지구과학의 한 탐구 방법으로서 귀추법에 대한 이론적 고찰」, 『한국과학교육학회지』, 25권 5호, pp.610-623.
- 오필석(2006), 「지구환경적 문제 해결 과정에서 귀추적 추론을 위한 규칙 추리 전략들」, 『한국과학교육학회지』, 26권 4호, pp.546-558.
- 이광만, 허 동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상윤, 복완근, 정익현, 박정일, 박병훈, 이천기, 송양호, 박지극, 정수도, 김경수(2002), 『중학교 과학 3』, (주)지학사.
- 이성묵, 채광표, 김기대, 이문원, 권석민, 손영운, 노태희, 정지오, 서인호, 김영수, 김윤택, 이세영(2002), 『중학교 과학 3』, (주)금성출판사.
- 이초식(2000), 『귀납논리와 과학철학』, 철학과 현실사.
- 장병기(1995), 「과학 수업 및 과학의 본성에 대한 초등 교사의 인식」, 『초등과학교육혁신을 위한 국제학술심포지움 및 하계학술논문발표회』,

pp.35-49.

전은경(2006), 『과학 교과서 및 교사의 인식론적 관점과 고등학생들의 과학에 대한 관점과의 관련성 분석』, 한국교원대학교 석사학위논문.

정용재, 송진웅(2006), 「Peirce의 귀추법에 관한 이론적 고찰을 통한 과학교육적 함의 탐색」, 『한국과학교육학회지』, 26권 2호, pp.703-722.

AAAS (1996), *Science - A Process Approach*, Washington: American Association for the Advanced Science.

Akerson, V. L., & Volrich, M. L.(2006), "Teaching Nature of Science Explicitly in a First-Grade Internship Setting", *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4): pp.377-394.

Gallagher, J. J.(1991), "Prospective and practicing secondary school science teachers' knowledge and beliefs about the philosophy of science", *Science Education*, 75(1): pp.121-133.

Hanson, R. N.(1958), *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press.

Lawson, A. E.(1995), *Science teaching and the development of thinking*, Belmont, CA: Wordsworth Publishing Company.

Lederman, N. G.(1992), *Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research*.

Matthews, M. R.(1994), *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*. London: Routledge.

Magnani, L.(2001), *Abduction, reason, and science: Process of discovery and explanation*, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

National Research Council(1996), *National science education standards*, Washington, DC: National Academic Press.

Nussbaum, J.(1989), "Classroom Conceptual change: Philosophical Perspectives", *The History & Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State Univ.: Florida, pp.278-291.

Palmquist, B. C., & Finley, F. N.(1997), "Preservice teacher's views of the

nature of science during a postbaccalaureate science teaching program", *Journal of Research on Science Educational Leadership*, OCT.: pp.22-25.

Spapiro, B. L.(1996), "A case study of change in elementary student teacher thinking during an independent investigation in science", *Science Education*, 80(5): pp.535-560.

Sutton, C.(1996), "Beliefs about science and beliefs about language", *International Journal of Science Education*, 18(1): pp.1-18.

Wenham, M.(1993), "The nature and role of hypotheses in school investigations", *International Journal of Science Educations*, 15(3): pp.231-240.

Zeidler, D. L. & Lederman, N. G.(1987), *The effect of teachers' language on students' conceptions of the nature of science*, This paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching(60th, Washington, DC, April 22-25).

Analysis of content related to Avogadro's hypothesis in secondary school science textbook based on the viewpoint of abduction

Seoung-Hey Paik, Jun-Ye Kim

In this research, we survey abduction as a scientific method, and the process of coming to Avogadro's hypothesis on the viewpoint of abduction. We also analyze the description methods of secondary school science textbooks. As the results, we find that there is not sufficient guidance of the thinking process of Avogadro's hypothesis in the science textbooks.

[Key words] abduction, Avogadro's hypothesis, secondary school, science textbook.