

변칙 사례에 대한 학생들의 반응 유형

노태희 · 임희연 · 강석진
(서울대학교)

Types of Students' Responses to Anomalous Data

Noh, Taehee · Lim, Heeyeon · Kang, Sukjin
(Seoul National University)

ABSTRACT

In this study, the types and the characteristics of students' responses to anomalous data were investigated. The criteria for classifying students' responses were 'acceptance of validity of anomalous data', 'acceptance of inconsistency between anomalous data and initial theory', and 'change of belief in initial theory'. Seven types of responses were identified as follows: Rejection, reinterpretation, exclusion, uncertainty, peripheral theory change, partial belief change, and theory change. Absolute belief in the initial theory and doubts about methodological accuracy were found to be the major reasons for rejecting anomalous data. The students did not accept the inconsistency between anomalous data and initial theory because they ignored the experimental procedures and focused on the similarity of the experimental results.

Key words : anomalous data, initial theory, cognitive conflict, type of responses.

I. 서 론

학생들은 과거 경험을 통해 형성된 선개념을 이용하여 새로운 과학 개념을 학습하거나 과학적 현상을 이해한다. 그러나 이러한 선개념은 비과학적인 것일 수도 있으며, 따라서 학습에 방해가 되기도 한다 (Chambers & Andre, 1997). 학생들의 비과학적 선개념을 수정하기 위해 개념 변화 이론이 제시되었는데, 선개념에 대한 불만, 새로운 개념에 대한 이해, 새로운 개념의 그럴듯함, 새로운 개념의 유용성 등이 개념 변화의 전제 조건으로 제안되었다 (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). 선개념에 대한 불만은 가장 근본적인 요소인데, 학생들이 자신의 생

각에 문제가 있음을 느끼지 못한다면 새로운 이론을 받아들이지 않을 것이다 (Posner, et al., 1982). 이 선개념에 대한 불만을 유도하기 위해 흔히 변칙 사례 제시를 통한 인지 갈등 유발 전략이 사용되었다 (Baird & White, 1984; Dreyfus, Jungwirth, & Eliovitch, 1990). 변칙 사례는 Piaget가 제시한 비평형화나 Kuhn이 주장한 과학 지식의 혁명적 변화에 필수적인 요소로서 (김명자, 1996; Chinn & Brewer, 1998), 학생들의 선개념을 과학적 개념으로 변화시키는 과정에서도 중요한 역할을 담당한다. 즉, 학생들이 자신의 선개념으로 설명할 수 없는 상황을 접한 후 선개념의 한계를 인식하고 포기할 때, 비로소 효과적인 개념 변화가 일어난다는

* 2000년 2월 20일 받음

점이 강조되어 왔다(권난주와 권재술, 1998; Beeth, 1998).

그러나 변칙 사례를 통해 인지 갈등이 유발될 것이라는 기대와 달리, 인지 갈등 유발 전략이 항상 성공적이지는 않음이 보고되었다. 학생들은 선개념으로 설명할 수 없는 상황을 접하더라도, 갈등을 느끼기보다는 그 현상을 무시하거나 자신의 기존 생각에 근거하여 현상을 설명하려는 경향이 있었다(김익균, 1997 Dreyfus, et al., 1990:). 학생들은 선개념을 포기하지 않은 채 임시방편적인 새로운 대안 가설을 형성하여 현상에 대한 설명을 시도하기도 하였다(Nussbaum, 1989). 또한, 변칙 사례를 예외적인 현상으로 간주함으로써 갈등을 회피하기도 하였다(Hashweh, 1986).

이와 같은 사실에 주목하여 변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 심층적으로 이해하고자, Chinn과 Brewer(1993, 1998)는 과학사, 심리학 및 과학 교육 연구를 바탕으로 변칙 사례에 대한 반응 유형 분류 체계를 고안하고, 이를 대학생에게 적용하였다. 연구 결과, 무시(ignoring), 거부(rejection), 배제(exclusion), 보류(abeyance), 재해석(reinterpretation), 주변 이론의 변화(peripheral theory change), 이론 변화(theory change), 타당성 판단 불가(uncertainty) 등의 8가지 반응 유형을 발견하였다. 거부나 재해석 반응 비율이 높은 반면 이론 변화 반응은 소수에 지나지 않아, 교사의 의도와 달리 변칙 사례에 대한 학생의 반응이 다양하며 인지 갈등 유발이 쉽지 않음을 시사하였다.

이와 같이 변칙 사례에 대한 학생들의 반응이 다양함을 고려할 때, 학생들의 반응에 대한 체계적인 분석은 인지 갈등을 효과적으로 유발하기 위한 방안의 기초가 될 수 있을 것이다. 또한, 변칙 사례에 대한 학생들의 반응 조사 연구가 매우 부족하며, 대상 개념이나 대상 학생에 따라라도 변칙 사례에 대한 반응이 상이할 가능성이 있으므로, 화학 관련 개념에서 변칙 사례에 대한 학생들의 반응 유형을 분류하고 특성을 조사할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 보다 효과적으로 인지 갈등을 유발하기 위한 방안 탐색의 일환으로 화학 관련 개념에서 변칙 사례에 대한

고등학생의 반응 유형을 분류하고 특성을 조사하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상 및 절차

본 연구는 서울시에 소재한 고등학교 1학년 여학생 156명을 대상으로 하였다. 목표 개념을 선정 한 후, 초기 이론과 변칙 사례에 대한 이해 정도를 확인하기 위하여 고등학교 1학년 학생들을 대상으로 예비 검사를 실시하였다. 예비 검사 결과를 바탕으로 반응 검사지를 수정·보완한 후, 과학 교육 전문가 4인으로 부터 타당성을 검증 받았다. 학생들은 검사지에 제시된 초기 이론과 변칙 사례를 읽은 후, 변칙 사례에 대한 자신의 생각을 기록하였다. 학생들의 응답에 기초하여 반응 유형을 분류하고 특성을 분석하였다.

2. 변칙 사례에 대한 반응 검사지

변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 조사하기 위해 '밀폐된 용기 속에서 양초가 연소될 때 수면이 상승하는 원인(권혁순, 1991; 김조연, 1999; Lawson & Birk, 1994; Lawson, Abraham, & Renner, 1989)'을 소재로, 선행 연구(Chinn & Brewer, 1998)를 참고하여 검사지를 제작하였다. 반응 검사지는 초기 이론 제시부, 변칙 사례 제시부, 변칙 사례에 대한 반응 조사부로 구성되어 있다.

초기 이론 제시부에는 밀폐된 용기 속에서 양초의 연소 후 수면이 상승하는 현상에 대해 과학자의 입장에서 산소 소모를 원인으로 제시하고 있다(부록 1). 초기 이론인 산소 소모 이론은 연소 시 소모된 산소의 빈자리를 채우기 위해 수면이 상승한다는 내용으로서, 흔히 발견되는 학생들의 대안적 개념(권혁순, 1991; Lawson, Abraham, & Renner, 1989)을 반영하였다. 초기 이론 제시 후, '옳다', '보통이다', '옳지 않다'의 3단계 리커트 척도 문항을 통해 이론에 대한 학생들의 확신 정도를 조사하였다. 변칙 사례 제시부에서는 산소 소모 이론으로 설명되지 않는 상

황을 제시하였다(부록 2). 동일한 실험을 여러 학생들이 해 본 결과 촛불이 꺼진 후에야 수면이 갑자기 상승하였고 이는 산소가 소모됨에 따라 수면이 서서히 상승해야 하는 초기 이론으로는 설명되지 않는다는 주장이 제시되어 있다. 예비 연구 결과 학생들이 변칙 사례와 초기 이론의 차이를 인식하지 못하는 경향이 있었으므로, 시각화를 통한 상황 이해가 가능하도록 수면 상승 시기의 차이를 그림으로 제시하였다. 반응 조사부에는 '변칙 사례를 믿을 수 있는가?', '변칙 사례와 초기 이론이 일치하는가?', '초기 이론에 대한 확신이 변화가 있는가?' 등의 질문을 제시하였다. 각 질문은 '그렇다', '보통이다', '아니다' 중에서 하나를 선택한 후, 그 이유를 자세히 기록하도록 구성하였다.

3. 자료 분석

변칙 사례에 대한 반응을 조사하기 위해서는 초기 이론으로 제시된 산소 소모 이론에 확신이 있어야 하므로, 156명의 학생 중 대안적 개념을 대변하는 초기 이론이 옳다고 생각하는 128명을 대상으로 결과를

분석하였다. 선행 연구(Chinn & Brewer, 1998; Kuhn, 1989)를 참고하여, '변칙 사례의 타당성 인정', '변칙 사례와 초기 이론 사이의 불일치성 인정', '초기 이론에 대한 확신의 변화' 등을 반응 유형 분류의 기준으로 설정하였다. 연구자 2인이 학생들의 응답을 분류하고 일치도를 구한 후, 차이를 검토하는 과정을 반복하였다. 최종적으로 구한 분석시간 일치도가 93%에 도달한 후 연구자 1인이 모든 응답을 분류하였다.

III. 결과 및 논의

'변칙 사례의 타당성 인정 여부', '변칙 사례와 초기 이론 사이의 불일치성 인정 여부', '초기 이론에 대한 확신의 변화 여부' 등의 세 가지 기준에 따라 학생들의 응답을 거부(rejection), 재해석(reinterpretation), 배제(exclusion), 판단 불가(uncertainty), 주변 이론의 변화(peripheral theory change), 신념의 일부 변화(partial belief change), 이론 변화(theory change) 등의 7가지 유형으로 분류하였다(Table 1).

Table 1. Types of students' responses to anomalous data

Response to anomalous data	Acceptance of validity of anomalous data	Acceptance of inconsistency between anomalous data and initial theory	Change of belief in initial theory
Rejection	No	Yes	No
Reinterpretation	Yes	No	No
Exclusion	Yes	Yes	No
Uncertainty	Yes or No	Yes or No	uncertainty
Peripheral theory change	Yes	Yes or Neutral	Partially yes-adding factor without changing core theory
Partial belief change	Yes	Yes or Neutral	Partially yes-a little change of belief in initial theory
Theory change	Yes	Yes	Yes

1. 거부

'거부'는 초기 이론에 대한 확신이 강하여 변칙 사례를 인정하지 않는 반응 유형이다. 당연히 변칙 사례와 초기 이론은 일치하지 않는다고 생각하며 변칙 사례를 접한 후에도 초기 이론에 대해 강한 확신을 가지고 있다. 12.5%의 학생들이 이러한 반응 유형에 해당하였다. 이 유형에 해당하는 많은 학생들은 변칙 사례 자체를 있을 수 없는 일로 간주하는 경우가 많았는데, 초기 이론에 대한 신념이 깊이 내재되어 있을수록 인지 갈등 유발이 어려움을 알 수 있다. 변칙 사례의 타당성을 부인하는 또 다른 대표적인 이유는 실험 시의 방법, 기술, 조건 등 변칙 사례의 상황에 대한 의심이었는데, 특히 변칙 사례가 학생들의 실험을 통해 제시된 점에 주목하여 그 권위를 무시하는 반응이 많았다. 즉, 학생들이 변칙 사례의 타당성을 인정하기 위해서는 변칙 사례가 제시되는 상황이나 조건의 타당성이 동시에 강조되어야 하며, 변칙 사례의 권위 수준도 고려되어야 함을 시사한다. 그 외에도 반복 실험의 부족이나 초기 이론을 지지하는 과거의 경험 등을 근거로 변칙 사례의 타당성을 의심하는 학생들이 있었다.

한편, Chinn과 Brewer(1998)의 연구에서 가장 많았던 거부 반응이 본 연구에서는 상대적으로 적었던

데(Table 2), 이는 변칙 사례의 특성에 기인한 것으로 생각된다. 전문적 과학 지식에 가까운 변칙 사례를 이용한 Chinn과 Brewer의 연구와 달리, 본 연구에서 제시된 변칙 사례는 상대적으로 학생들에게 친숙하고 이해하기 쉬운 상황이었다. 따라서, 새로운 개념에 대한 이해가 전제될 때 그 개념에 대한 수용이 가능하듯이(Posner, et al., 1982), 변칙 사례에 대한 학생들의 이해가 용이하여 이를 인정하는 반응이 증가한 것으로 해석할 수 있다. 즉, 학생들이 쉽게 이해할 수 있는 변칙 사례를 제시한다면 인지 갈등이 보다 효과적일 것이다.

2. 재해석

'재해석'은 주어진 변칙 사례를 초기 이론에 근거하여 나름대로의 방식으로 재해석하는 반응 유형으로서, 초기 이론에 비추어 볼 때 변칙 사례가 해석되기 때문에 그 타당성을 인정하는 경우이다. 변칙 사례는 초기 이론과 일치하므로 초기 이론을 지지하는 또 다른 증거로 작용하고, 초기 이론에 대한 확신에도 변함이 없다. 21.9%의 학생들이 재해석의 반응을 나타내었다.

재해석의 반응을 보인 학생들은 주로 변칙 사례와 초기 이론의 실험 결과가 동일하다는 점에 주목하였다. 변칙 사례를 제시할 때 수면 상승 시기의 차이를 강조하였음에도 불구하고, 학생들은 수면 상승이라는 결과는 동일하므로 과정상의 차이를 무시하였다. 그 외에도 실험 조건, 기술의 차이, 다른 요인의 영향 등으로 인해 서로 다른 결과가 생긴 것은 인정하지만, 이러한 조건들이 통제된다면 변칙 사례와 초기 이론은 일치할 것이라는 반응을 보인 학생들이 있었다.

재해석은 거부와 더불어 선행 연구 및 과학사 측면에서도 많이 발견되는 반응으로서(김익균, 1997; Dreyfus et al., 1990), 변칙적인 사례를 오히려 초기 이론을 지지하는 증거로 인식한다는 점에 문제가 있다. 인지 갈등을 유발하기 위해서는 변칙 사례의 타당성 뿐 아니라, 초기 이론과의 불일치성을 인정하게 하는 방안을 마련하는 것 또한 중요한 문제이다. 본

Table 2. Comparison of the students' responses (%)

Type of responses	This study	Univ. of Illinois ¹
Ignoring	.	8.4
Rejection	12.5	34.3
Reinterpretation	21.9	24.2
Exclusion	5.5	2.2
Abeyance	.	9.6
Uncertainty	12.5	17.4
Peripheral theory change	7.0	1.7
Partial belief change	12.5	.
Theory change	28.1	2.2

¹ Taken from Chinn & Brewer (1998)

연구에서 실험 결과가 동일하다는 점에 주목하여 일치성을 주장한 경우가 많았음을 고려할 때 가능한 한 초기 이론과의 공통점을 배제한 변칙 사례를 제시하는 것이 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

3. 배제

'배제'는 변칙 사례의 타당성과 초기 이론과의 불일치성도 인정하지만, 변칙 사례를 예외적인 경우로 간주하여 초기 이론에 대한 확신을 유지하는 반응 유형이다. 5.5%의 학생들이 이러한 반응 유형에 해당하였다.

배제는 논리적인 측면에서는 타당하지 않은 반응처럼 보인다. 그러나 기존 이론으로 설명되지 않는 현상을 관찰하더라도, 다른 설명을 제시할 수 없다면 기존 이론이 거부되지 않았던 과학사의 예에서 볼 수 있듯이(Laudan, 1977), 본 연구에서의 배제 반응도 변칙 사례의 정확한 원인과 초기 이론의 문제점을 찾지 못했기 때문에 나타난 것으로 볼 수 있다.

4. 판단 불가

'판단 불가'는 변칙 사례를 접한 후 초기 이론에 대한 신념의 유지나 변경에 대해 결정을 내릴 수 없다는 입장이다. 타당성 인정과 불일치성 판단에서 일정한 경향성이 없으며, 전반적으로 확실한 판단을 내리지 못한다. 12.5%의 학생들이 이러한 반응을 보였다.

판단 불가의 반응을 보인 학생들 중 대다수는 변칙 사례와 초기 이론이 실험 과정은 서로 다르나 결과는 동일하다는 점을 이유로 제시하였는데, 이는 본 연구에서 사용한 변칙 사례의 특성에 기인한 것으로 생각된다. 따라서, 변칙 사례와 초기 이론 사이의 차이점을 명백히 제시할 때, 이러한 반응을 감소시킬 수 있을 것이다. 지식이 부족하여 판단을 내릴 수 없다는 학생들도 있었는데, 이는 적절한 배경 지식이 변칙 사례를 통한 인지 갈등 유발에 중요한 요소임을 의미한다. 학습자에게 적절한 수준의 배경 지식이 구성되어 있을 때 이론 변화의 가능성이 높아진다는 주장(Chinn & Brewer, 1993)은 이러한 해석을 간접적

으로 지지한다.

5. 주변 이론의 변화

'주변 이론의 변화'는 변칙 사례의 타당성 및 초기 이론과의 불일치성은 인정하지만, 초기 이론의 핵심에 대한 신념은 포기하지 않은 채 이론의 부분적인 수정이나 추가를 요구하는 반응이다. 이러한 반응은 Lakatos식(1970)의 이론 구조에 비유할 때, 단단한 핵심 이론은 유지하면서 바깥 부분의 유연한 이론에 대해 수정을 가하는 경우이다. 7%의 학생들이 이러한 반응 유형에 속하였다.

6. 신념의 일부 변화

'신념의 일부 변화'는 타당성을 인정하거나 불일치성을 판단하는 측면에서는 주변 이론의 변화와 동일하다. 그러나 주변 이론의 변화가 초기 이론의 부분적인 수정이나 추가를 요구하는데 반해, 신념의 일부 변화는 초기 이론에 대한 확신만 감소한 것이라는 점에서 구별된다. 학생들은 초기 이론에 대한 신념을 완전히 포기하지 못한 이유를 분명히 제시하지 않은 채, '처음엔 산소 소모 이론을 믿었지만 학생들의 실험 결과가 다르다는 점에서 마음이 조금 흔들린다'는 식으로 막연하게 문제점을 지적하였다. 이 유형은 Chinn과 Brewer(1998)의 연구에서와 달리 새롭게 분류된 유형으로서 12.5%의 학생들이 속했다. 초기 이론에 대한 신념만 일부 변한 반응은 변칙 사례에 대한 대안적 개념의 부재에 기인했을 가능성이 있다. 학생들은 초기 이론이 변칙 사례를 설명할 수 없음을 인정하지만, 이를 대신할 만한 과학적 개념 또한 고려할 수 없는 상황이므로 초기 이론을 완전히 포기하지 못하고 확신만 조금 약해진 상태로 추측된다.

7. 이론 변화

'이론 변화'는 변칙 사례의 타당성과 초기 이론과의 불일치성을 인정하여 초기 이론에 대한 신념을 완전히 포기하는 반응 유형이다. 본 연구에서는 28.1%

의 학생들이 완전한 이론 변화 반응을 보였으며, 신념의 일부 변화 및 주변 이론의 변화까지 포함한다면 47.6%의 학생들이 변칙 사례를 접한 후 초기 이론에 대한 신념이 변한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대다수가 초기 이론에 대한 신념을 고수하고 부분적이거나 완전한 이론 변화 반응을 보인 학생이 극소수였던 선행 연구(Chinn & Brewer, 1998)와 상반된다. 그 원인으로 우선 변칙 사례의 특성을 생각할 수 있다. '공룡 멸종의 원인' 등을 소재로 학생들이 이해하기 어려운 초기 이론과 변칙 사례를 제시한 선행 연구와 달리, 본 연구에서는 간단한 상황 제시만으로도 쉽게 시각화 할 수 있는 사례를 제시하여 갈등이 효과적으로 유발된 것으로 해석할 수 있다. 논리 제시보다 실제로 현상을 보여준 현상 제시 방법을 이용할 때 인지 갈등 유발이 효과적이었다는 결과(김범기와 권재술, 1995)를 고려할 때, 개념 변화를 위해서는 학생들이 직접 관찰할 수 있거나 시각화가 가능한 변칙 사례를 사용해야 할 것이다. 또 다른 원인으로 연구 참여자의 특성을 생각할 수 있다. 대학생을 대상으로 한 선행 연구(Chinn & Brewer, 1998)와 달리, 본 연구에서는 고등학교 1학년 학생이 대상이었으므로, 변칙 사례에 대한 비판적 사고가 부족하여 변칙 사례를 무조건적으로 수용했을 가능성도 있다.

IV. 결론 및 제언

과학 개념을 습득하는 데 장애가 되는 대안적 개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위해 변칙 사례를 이용한 인지 갈등 유발 전략이 흔히 사용되어 왔다. 그러나 변칙 사례의 제시가 인지 갈등 유발을 보장하지 못한다는 결과들도 보고되고 있으므로, 본 연구에서는 인지 갈등을 효과적으로 유발하기 위한 방안을 탐색하기 위해 화학 관련 개념에서 변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 분류하고 그 특성을 조사하였다.

'변칙 사례에 대한 타당성 인정', '변칙 사례와 초기 이론 사이의 불일치성 인정', '초기 이론에 대한 확신의 변화'를 기준으로 반응 유형을 분류한 결과, '거부', '재해석', '배제', '판단 불가', '주변 이론의 변화', '신념의 일부 변화', '이론 변화' 등 7가지 유

형이 나타났다.

변칙 사례에 대한 타당성 및 초기 이론과의 불일치성을 부인하는 것이 일반적이라는 선행 연구 결과들과 달리, 본 연구에서는 거부 반응은 크게 감소하였다. 반면, 이론 변화는 가장 주된 반응으로서, 부분적인 이론 변화의 경향을 보인 반응들을 포함하면 50%에 가까운 학생들이 변칙 사례를 통해 인지 갈등이 유발된 것으로 나타났다. 이는 변칙 사례가 시각화를 통해 쉽게 이해할 수 있었기 때문으로 해석된다. 인지 갈등을 효과적으로 유발하기 위해서는 변칙 사례로 학생들이 이해하기 쉬운 내용을 제시하거나, 관찰 가능한 현상을 제시해야 할 것이다. 부분적으로 이론이 변화된 반응은 주변 이론의 수정을 요구하는 유형과 신념이 일부 변한 유형으로 구분할 수 있었다. 신념의 일부 변화는 본 연구에서 새롭게 분류된 유형으로서 변칙 사례를 설명하는 새로운 개념이 없었던 점에 기인한 것으로 생각된다. 이는 변칙 사례와 과학 개념을 동시에 제시할 때 갈등 유발이 더욱 효과적일 가능성을 제안한다.

변칙 사례와 초기 이론의 동일한 실험 결과에 주목한 학생들은 변칙 사례를 초기 이론에 근거하여 재해석하는 반응을 보였다. 또한, 실험 결과의 동일성 및 과정적 차이를 동시에 고려한 학생들은 주로 판단 불가의 반응을 보였다. 이와 같이 변칙 사례와 초기 이론 사이의 유사성이 학생 반응에 미친 영향을 고려할 때 인지 갈등의 효과를 높이기 위해서는 초기 이론과 분명히 구별되는 변칙 사례를 제시할 필요가 있다.

인지 갈등 유발과 관련된 연구가 보다 다양하게 이루어지기 위해서는 본 연구의 변칙 사례에 대한 반응 유형과 특성 조사를 바탕으로 인지 갈등 유발 정도를 정량화 할 수 있는 방안이 연구되어야 할 것이다. 또한, 인지 갈등을 효과적으로 유발할 수 있는 방안을 탐색하기 위해 변칙 사례에 대한 반응에 영향을 미치는 학습자 변인이나 변칙 사례의 유형에 따른 효과 등에 대해서도 연구가 이루어져야 할 것이다.

적 요

본 연구에서는 변칙 사례에 대한 학생들의 반응 유

형과 특성을 조사하였다. 학생들의 응답 분류 기준은 '변칙 사례의 타당성 인정', '변칙 사례와 초기 이론 사이의 불일치성 인정', 그리고 '초기 이론에 대한 확신의 변화' 등이었다. 분류 결과, 거부, 재해석, 배제, 판단 불가, 주변 이론의 변화, 신념의 일부 변화, 이론 변화 등 7가지 반응 유형을 얻었다. 초기 이론에 대한 무조건적인 신뢰나 실험 방법의 정확성에 대한 의심이 변칙 사례를 거부하는 주된 원인이었다. 학생들은 변칙 사례와 초기 이론에 관련된 실험 과정은 무시하고 실험 결과의 유사성에 더 주목했기 때문에 불일치성을 인정하지 않았다.

참 고 문 헌

- 권난주와 권재술(1998). 인지갈등을 통한 개념수업 절차 모형의 적용. 한국과학교육학회지, 18(3), 261-272.
- 권혁순(1991). 과학 수업에 의한 학생들의 개념 변화 연구: 중학교 2학년의 연소 개념을 대상으로. 서울대학교 석사학위논문.
- 김명자(1996). 과학 혁명의 구조. 서울: 동아 출판.
- 김범기와 권재술(1995). 과학개념과 인지적 갈등의 유형이 학생들의 개념 변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 15(4), 472-486.
- 김익균(1992). 대립 개념의 증거적 비판 논의와 반성적 사고를 중심으로 한 물리 개념변화 모형. 한국과학교육학회지, 12(3), 77-90.
- 김조연(1999). 열 팽창·수축 효과가 통제된 실험 장치의 고안. 화학교육, 25(3), 36-38.
- Baird, J. R., & White, R. T. (1984). *Improving learning through enhanced metacognition: A classroom study*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans.
- Beeth, M. E. (1998). Teaching science in fifth grade: Instructional goals that support conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1091-1101.
- Chambers, S. K., & Andre, T. (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 107-124.
- Chinn, C., & 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., & Brewer, W. F. (1998). The empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change-some implications, difficulties, and problems. *Science Education*, 74(5), 555-569.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos, & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-196). London: Cambridge University Press.
- Laudan, L. (1977). *Progress and its problems: Toward a theory of scientific growth*. Berkeley: University of California Press.
- Lawson, A. E., & Birk, J. P. (1994). *Chemistry: A critical thinking approach*. Unpublished Research Report.

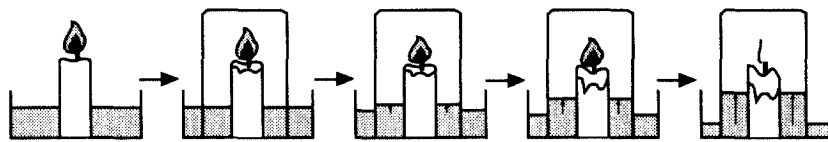
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). *A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills*, NARST monograph. NARST.
- Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, D., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

부록 1. 초기 이론 제시부

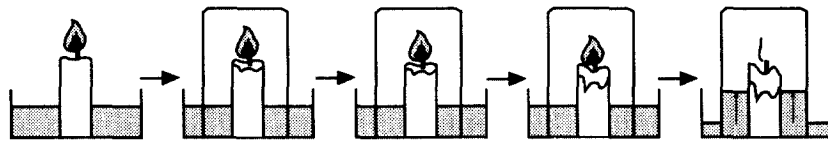
저는 과학자 백기상입니다. 제가 생각하기에 비커 안쪽의 수면이 높아지는 이유는 촛불이 타면서 산소가 소모되었기 때문입니다. 양초에 불을 붙이면 촛불이 커지는데, 이는 양초가 산소와 반응하여 연소되는 과정에서 빛과 열이 발생하는 것입니다. 즉, 촛불이 타기 위해서는 산소가 소모되는 것이지요. 그리고 산소가 소비된 양만큼 물이 올라가게 되는 것입니다. 중학교에서 과학 시간에 배웠던 내용을 기억해 보면 흰색 인을 유리종 안에 넣고 연소시켰을 때 산소가 모두 소모되어서, 대기 중 산소의 존재 비율만큼 수면이 높아졌던 것을 기억할 수 있을 것입니다. 양초를 태웠을 때 수면이 높아진 것도 이와 같은 원리지요.

부록 2. 변칙 사례 제시부

저는 A고에 재학생인 이수환입니다. 저희 반에서는 백기상씨의 이론을 듣고 조별로 직접 실험을 해 보았습니다. 네 명씩 한 조가 되어서요, 백기상씨의 실험에서와 같이 비커와 살레, 그리고 양초를 준비하였습니다. 양초를 살레에 고정시키고 물을 넣었지요. 양초에 불을 붙이고, 비커로 양초를 덮었습니다. 그리고는 실험을 하는 동안 저는 비커 안의 변화를 유심히 관찰했지요. 그런데, 이상한 점이 있더군요. 저희 조에서 유심히 관찰한 결과 유리병 안에서 촛불이 타는 동안에는 수면이 올라가지 않고, 촛불이 꺼진 후에야 수면이 점점 올라가는 것이었습니다. 저는 우리 조의 실험 결과가 잘못된 것이 아닌가 싶어, 다른 조의 실험 결과와 비교하였습니다. 다른 조의 친구들도 촛불이 꺼진 후에야 수면이 점차 올라가는 것을 보았다고 하였습니다. 백기상씨의 이론대로 양초 연소 시 산소 소모로 수면이 높아지는 것이라면 촛불이 꺼져 있는 동안 수면이 점차 높아져야 하지 않습니까? 저는 이러한 점에서 '산소 소모 이론'에는 문제가 있다고 생각합니다. 과학자 백기상씨, 저희들의 실험 결과를 어떻게 해석하시겠습니까?



〈산소 소모 이론에 따른 수면의 변화〉



〈수환이네 반 학생들의 실험 결과〉