

변칙 사례의 특성이 인지 갈등과 개념 변화에 미치는 영향

姜錫鎭 · 金順珠 · 盧泰熙*

서울대학교 화학교육과

(2001. 4. 2 접수)

The Effects of the Characteristics of Anomalous Data on Students' Cognitive Conflict and Conceptual Change

Sukjin Kang, Soonjoo Kim, and Taehee Noh*

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

(Received April 2, 2001)

요 약. 본 연구에서는 '연소 전후 질량 보존' 개념의 학습에서 변칙 사례의 개수와 표현 방식이 학생들의 인지 갈등과 개념 변화에 미치는 효과를 조사하였다. 남녀 공학 중학교 2학년 128명을 대상으로 선개념 검사, 변칙 사례에 대한 반응 검사, 개념 검사를 실시하였다. 변칙 사례는 개수(1개/2개)와 표현 방식(글/글+그림)에 따라 네 종류로 제시하였다. 연구 결과 변칙 사례를 두 개 읽은 학생들이 하나 읽은 학생들보다 더 많은 인지 갈등을 일으켰다. 그러나 변칙 사례의 표현 방식에 따른 인지 갈등 유발 정도는 유의미한 차이가 없었다. 개념 검사 점수에 대한 이원 변량 분석 결과, 변칙 사례의 특성에 따른 차이는 유의미하지 않았다.

ABSTRACT. In this study, the effects of the number and the presentational type of anomalous data on students' cognitive conflict and conceptual change in studying 'conservation of mass before and after combustion' were investigated. The subjects were 128 eighth graders in a co-ed middle school. A preconception test, a test of response to anomalous data, and a conception test were administered. Four types of anomalous data varying the number (one/two) and the presentational type (text/text+figure) were presented. The results indicated that students with two anomalous data showed more cognitive conflicts than those with one. However, no significant differences in the degree of cognitive conflict were found by the presentational types of anomalous data. The ANOVA results indicated that there were no significant differences by the characteristics of anomalous data in the conception test scores.

서 론

학생들의 선개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위한 개념 변화 전략에서 중요한 요소는 학생들의 기존 개념 체계로 설명되지 않는 새로운 현상에 의한 인지 갈등 유발이다.¹ 개념 변화 전략에서는 학생들이 인지 갈등을 해소하기 위해 자신의 개념을 수정하거나 새로운 개념을 받아들일 것으로 가정하고 있기 때문이다. 인지 갈등을 유발하기 위해 흔히 사용되는 방법으로 변칙 사례의 제시를 들 수 있다.² 그러나 기대와 달리, 변칙 사례를 통한 인지 갈등 유발 전략이 항상 성공적이

지는 않았다.³ 변칙 사례를 제시했을 때, 학생들은 이론 변화 뿐 아니라 무시, 거부, 배제, 보류, 재해석, 판단 불가, 주변 이론 변화, 신념 감소 등 다양한 반응을 보였다.^{4,7} 즉, 학생들에게 변칙 사례를 제시한다고 해서 반드시 유의미한 인지 갈등이 일어난다고 보장할 수 없으므로, 인지 갈등을 통한 개념 변화를 촉진하기 위해 어떤 종류의 변칙 사례를 어떻게 제시해야 하는가에 관해 연구할 필요가 있다.

Chinn과 Brewer는 제시하는 변칙 사례의 개수에 따라 학생들의 인지 갈등 정도가 달라질 가능성을 제안하였다.⁶ 즉, 변칙적인 자료를 하나만 제시할 경우에는 개

념 변화가 일어나기에 불충분할 수 있고⁸ 방법적인 측면에서 비판받거나 재해석될 여지가 많은 반면, 변칙적인 자료를 여러 개 제시할 경우에는 거부나 재해석과 같은 반응을 줄이고 이론 변화를 증진시킬 수 있을 것이다.⁹ 그러나 과학 교수에서 여러 개의 변칙 사례를 제시했음에도 불구하고 이론 변화가 쉽지 않았다는 결과¹⁰도 보고되고 있어, 개념 변화에서 변칙 사례의 개수에 의한 효과는 분명하지 않다.

한편, 이중 매체 학습에서는 학습의 메커니즘을 이중 부호화(dual coding) 이론으로 설명하는데, 이 이론에서는 인간의 장기 기억이 시각적 체계와 언어적 체계로 구성되어 있으며 두 체계에 동시에 통합된 정보, 즉 이중으로 부호화된 정보가 더 잘 기억된다고 한다.¹¹ 그런데 단어나 문장 등의 언어 정보보다는 그림과 같은 시각 정보가 이중 부호화되는 경향이 크므로,¹² 시각적 자료를 활용한 수업이 단순한 언어적 수업보다 학습 효과가 높을 수 있다. 실제로, 화학 학습에서 시각적 자료를 활용한 경우 학생들의 개념 이해가 향상되었으며,¹³ 글로 제시된 읽기 자료보다 그림을 첨가한 것이 학생들의 이해를 증진시켰다.^{14,15}

따라서, 본 연구에서는 '연소 전후의 질량 보존' 개념에서 변칙 사례의 특성 중 개수와 표현 방식이 학생들의 변칙 사례에 대한 반응, 인지 갈등 유발, 개념 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 개수 측면에서는 변칙 사례를 1개 또는 2개 제시했을 때의 효과를 비교하였고, 표현 방식의 측면에서는 글로 표현한 변칙 사례와 글과 그림으로 함께 표현한 변칙 사례의 효과를 조사하였다.

연구방법

연구 대상 및 절차

본 연구는 서울시에 위치한 남녀 공학 중학교의 2학년 학생 128명을 대상으로 하였다. 학생들의 사전 개념을 조사하기 위해 선개념 검사를 실시하고, 변칙 사례에 대한 반응 검사를 실시하였다. 그 후, 학생들은 2족 분량의 학습지를 이용하여 과학적 원리를 학습하였는데, 학습지에는 학생들의 적극적인 학습을 유도하기 위해 간단한 물음을 포함시켰다. 과학적 개념에 대한 학습이 끝난 직후 개념 검사를 실시하였다.

검사 도구

선개념 검사. 선개념 검사지는 연소 개념에 대해 선

행 연구¹⁶의 검사지 형식을 기초로 연구자들이 개발하였다. 이 검사는 '종이를 태우면 질량이 어떻게 될까'라는 질문에 답하고 그 이유를 자세히 설명하도록 구성되어 있다. 이 검사지는 2회의 예비 검사 결과를 바탕으로 개발하였다. 우선, 중학교 1학년과 3학년 각각 34명을 대상으로 예비 검사를 실시하여 선개념 검사에 사용될 소재와 대상 학년이 적절한지 검증하였다. 문항과 대상을 수정한 후 다시 중학교 2학년 32명을 대상으로 2차 예비 검사를 실시하고, 그 결과를 토대로 문항을 완성하였으며, 과학교육 전문가 3인에게 타당도를 검증 받았다.

변칙 사례에 대한 반응 검사. 변칙 사례에 대한 반응 검사지는 선행 연구¹⁶의 검사지 형식을 기초로 초기 이론 제시부, 변칙 사례 제시부, 반응 조사부의 세 부분으로 구성되어 개발하였다. 초기 이론 제시부에서는 연소와 관련하여 학생들이 많이 지니고 있는 것으로 보고된¹⁷ '물질이 연소하면 그 물질의 구성 요소 중 일부가 없어지기 때문에 질량이 감소한다'는 주장을 제시한 후, 이에 대한 확신의 정도를 나타내도록 하였다. 변칙 사례 제시부에서는 '급속히 연소하면 질량이 증가한다'는 초기 이론과 일치하지 않는 실험 결과를 제시하였다.

변칙 사례 제시부는 총 4종류로 제작하였다. OTF 집단에 제시한 변칙 사례는 Fig. 1과 같다. 이 변칙 사례에서는 연소 전·후 마그네슘의 질량 비교 실험 결과를 글과 그림으로 모두 표현하였다. TTF 집단에는 마그네슘 뿐 아니라 구리의 연소 전·후 질량을 비교한 실험 결과도 글과 그림으로 표현하여 2개의 변칙 사례를 제시하였다. OT와 TT 집단에는 각각 OTF와 TTF 집단에 제시한 변칙 사례에서 그림을 제외하고 글만으로 구성된 변칙 사례를 제시하였다. 각 집단에 제시된 변칙 사례의 특성은 Table 1과 같다.

반응 조사부에서는 변칙 사례의 타당성 인정 여부, 초기 이론과 변칙 사례 사이의 불일치성 인정 여부, 초기 이론에 대한 믿음의 변화 정도를 학생들이 표시하고, 그 이유를 쓰도록 하였다. 변칙 사례에 대한 반응 검사지는 2차례의 예비 검사를 통하여 수정·보완하였으며, 과학교육 전문가 3인에게 타당도를 검증 받았다.

개념 검사. 연구자들이 개발한 개념 검사지는 총 4문항으로서, 주어진 답지 가운데 하나를 선택하고 그 이유를 설명하도록 구성하였다. 개념 검사지도 2차례의 예비 검사를 통해 내용을 수정하고 난이도를 조정하였으며, 과학교육 전문가 3인에게 타당도를 검증 받았다.

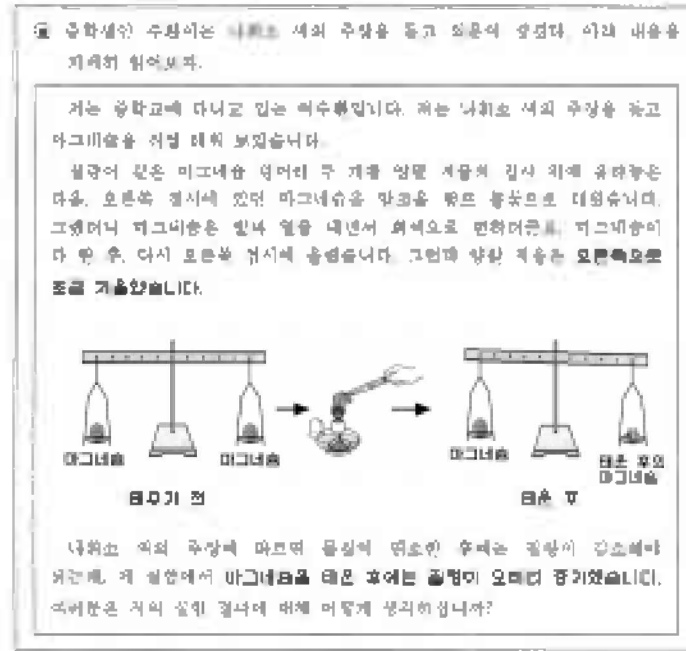


Fig. 1. 변칙 사례 제시부.

Table 1. 각 집단에 제시된 변칙 사례의 특성

집단	개수	표현 방식
OT	1개	글
OTF	1개	글+그림
TT	2개	글
TTF	2개	글+그림

자료 분석

결과 분석에서는 ‘물질이 연소하면 그 물질의 구성 요소 중 일부가 없어지기 때문에 질량이 감소한다’는 목표 선개념을 지니고 있고, 초기 이론이 옳다고 동의한 59명(남: 30, 여: 29)의 학생들만을 대상으로 하였다. 변칙 사례에 대한 학생들의 반응은 변칙 사례의 타당성 인정 여부, 변칙 사례와 초기 이론 사이의 불일치성 인정 여부, 초기 이론에 대한 신념의 변화 정도를 기준으로 분류하였으며, 인지 갈등 유발 정도는 초기 이론에 대한 신념 변화 정도를 기준으로 4단계로 정량화 하였다.⁵ 개념 검사는 과학적인 개념을 2점, 불완전한 개념을 1점, 비과학적인 개념을 0점으로 채점하였다. 반응 유형 분류와 개념 검사 채점에서는 연구자 2인의 일치도를 구한 후, 차이를 검토하는 과정을 반복하였다. 최종적인 분석자간 일치도가 90% 이상에 도달한 후(반응

유형 분류: 90.0%, 개념 검사 채점: 91.3%), 연구자 1인이 모든 반응 유형 분류와 개념 검사 채점을 하였다. 인지 갈등 점수에 대해 모수 통계의 기본 가정을 검토한 결과 정상성과 동변량성이 만족되지 않았으므로, 비모수 통계 방법인 Mann-Whitney U 검증을 실시하였다. 변칙 사례의 특성에 따른 개념 점수 비교에서는 이원 변량 분석(two-way ANOVA)을 실시하였다.

결과 및 논의

변칙 사례에 대한 반응 유형 분포

‘연소 전후의 질량 보존’ 개념을 다룬 본 연구에서 학생들의 반응 유형을 분류한 결과, 거부, 배제, 판단 불가, 주변 이론 변화, 신념 감소, 이론 변화의 6가지 반응 유형이 나타났다. 즉, 학생들의 기존 지식 체계와 경험은 상이하므로, 동일한 현상을 제시하더라도 받아들여지는 방식은 다양할 수밖에 없으며,¹⁸ 그 결과 변칙 사례의 제시가 반드시 유의미한 갈등 유발을 보장하지 못함을 확인할 수 있다. 변칙 사례의 특성에 따른 반응 유형별 분포는 Table 2와 같다.

변칙 사례에 대한 학생들의 반응을 조사한 선행 연구들에서는 개념이나 연구 대상에 따라 반응 유형이 다양

Table 2. 변칙 사례에 대한 반응 유형 분포(%)

반응유형 \ 집단	OT	OTF	TT	TTF	계
거부	4(23.5)	4(28.6)		3(25.0)	11(18.6)
배제	4(23.5)	2(14.3)	2(12.5)		8(13.6)
판단 불가	4(23.5)	3(21.4)	4(25.0)		11(18.6)
주변 이론 변화	1(5.9)	2(14.3)	4(25.0)	2(16.7)	9(15.3)
신념 감소	1(5.9)		2(12.5)	1(8.3)	4(6.8)
이론 변화	3(17.6)	3(21.4)	4(25.0)	6(50.0)	16(27.1)
계	17(100)	14(100)	16(100)	12(100)	59(100)

하게 나타났다.^{4,7,16,19} 본 연구에서 나타난 반응 유형 분포의 가장 큰 특징은 재해석 반응이 없다는 점이다. 재해석은 인지 갈등 유발을 위해 제시한 변칙 사례가 오히려 초기 이론을 지지하는 증거로 작용하여, 학생들이 초기 이론에 근거하여 변칙 사례의 타당성을 인정하는 반응 유형이다. 따라서, 재해석이 일어나기 위해서는 초기 이론과 변칙 사례 사이에 어느 정도의 유사성이 존재해야 한다.^{4,5} 그러나 본 연구의 경우 초기 이론에서는 연소 후 질량이 감소한다는 주장을 제시한 반면, 변칙 사례는 연소 후 질량이 증가하는 실험 결과를 제시하였다. 즉, 초기 이론과 변칙 사례가 일치하지 않는다는 점이 명백했으므로, 학생들이 재해석할 여지가 없었던 것으로 생각할 수 있다.

한편, 학생들의 반응 유형에 대한 선행 연구^{4,7,16,19}와 비교했을 때, '물질이 타면 질량은 항상 감소해야 하므로, 증가하는 경우는 예외이다'라고 응답하는 배제(13.6%)나 '물질이 탈 때 항상 질량이 줄어드는 것이 아니라, 일부 물질은 질량이 증가할 수도 있다'는 주변 이론 변화(15.3%) 반응이 많았다. 즉, 본 연구에서 변칙 사례로 제시한 '금속의 연소' 실험은 학생들에게 타당하고 믿음만한 결과로 받아들여졌으나, 초기 이론에 대한 신념 또한 강하여 주어진 변칙 사례를 예외적인 현상으로 취급하여 배제하거나 초기 이론을 약간 수정하는 방식의 반응이 많았음을 알 수 있다. 또한, 금속의 연소는 학생들이 이미 과학 수업에서 배운 내용이지만, '내가 직접 실험을 해 보지 않아서 어떤 의견이 옳은지 알 수 없다'는 판단 불가 반응 유형도 적지 않았다(18.6%). 이는 학교 과학에서 가르치는 내용이 학생들의 지식 체계 속에 의미 있게 통합되지 못했고, 그 결과 학생들은 같은 실험에 대해서도 새롭게 여기고 판단을 유보한 것으로 볼 수 있다.

변칙 사례의 개수에 따른 학생들의 반응 유형 분포에

서는 글만 제시된 경우에는 변칙 사례를 한 개 제시한 집단보다 두 개 제시한 집단에서 거부나 배제 반응이 적었고 주변 이론 변화 반응이 많았다. 또한, 글과 그림을 함께 제시한 경우에는 변칙 사례를 두 개 제시한 집단에서 배제나 판단 불가 반응이 적었고 이론 변화 반응이 많았다. 즉, 정도의 차이는 있지만 전반적으로 변칙 사례의 개수가 증가함에 따라 초기 이론에 대한 학생들의 생각이 흔들리는 경향이 있었다. 한편, 변칙 사례의 개수가 하나일 경우에는 표현 방식에 무관하게 반응 유형의 분포가 유사하였다. 그러나 변칙 사례를 두 개 제시한 경우에는 글과 그림으로 표현했을 때 배제와 판단 불가 반응이 감소하고 거부와 이론 변화 반응이 증가하였다. 즉, 개수와 표현 방식의 양 측면에서 변칙적인 사례가 강조될 경우, 학생들의 반응은 변칙 사례 자체를 거부하거나 반대로 초기 이론에 대한 믿음을 포기하는 등 양극화되는 경향이 있었다.

변칙 사례의 특성에 따른 인지 갈등 유발 정도

인지 갈등 점수의 전체 평균은 1.44(SD=1.21)였으며, 변칙 사례를 두 개 제시한 집단의 평균이 1.86(SD=1.11)으로서 하나만 제시한 집단의 1.06(SD=1.18)보다 높았다. Mann-Whitney U 검정으로 변칙 사례의 개수에 따른 인지 갈등 점수를 비교한 결과, 통계적으로 유의미한 차이가 있었다(Table 3).

즉, 본 연구의 결과는 학생들에게 변칙 사례를 하나 제시할 때보다 두 개 이상 제시할 때, 더 강한 인지 갈

Table 3. 변칙 사례의 개수에 따른 인지 갈등 점수의 Mann-Whitney U 검증 결과

평균 순위		U	p
1개	2개		
24.90	35.64	276.000	.013*

*p<.05

Table 4. 변칙 사례의 표현 방식에 따른 인지 갈등 점수의 Mann-Whitney U 검증 결과

평균 순위		U	p
글	글+그림		
28.98	31.29	395.500	.596

등이 유발되는 것으로 해석할 수 있다. 학생들이 제시된 변칙 사례를 자신의 기존 이론에 통합하기 위해서는 새로운 자료가 믿을 만한지, 자료를 설명할 수 있는지, 그리고 기존 이론이 변화될 필요가 있는지 등을 판단하는 과정이 필요하다.⁶ 따라서, 변칙 사례를 여러 번 제시한다면, 이러한 과정을 거칠 기회가 많이 주어지므로 인지 갈등이 보다 효과적으로 유발되는 것으로 생각할 수 있다.

변칙 사례의 표현 방식에 따라 인지 갈등 점수를 비교한 결과, 글과 그림으로 제시한 집단의 평균이 1.54 (SD=1.30)로서, 글만 제시한 집단(M=1.36, SD=1.14)보다 높았으나 Mann-Whitney U 검증에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다(Table 4).

글만 제시하기보다 글과 그림을 함께 제시함으로써 학생들의 이해를 증진시킬 수 있다는 선행 연구¹⁵의 결과와 달리, 본 연구에서는 학생들의 인지 갈등 유발 정도에서 표현 방식에 따른 효과는 없었다. 이러한 결과는 우선, 변칙 사례에 대한 학생들의 관련 경험이 많았기 때문일 수 있다. 즉, 본 연구에서 변칙 사례로 제시한 급속의 연소 실험은 이미 학생들이 과학 수업을 통하여 경험하였으므로, 실험의 내용을 그림으로 표현하더라도 변칙 사례의 상황에 대한 학생들의 정신적 표상에 도움이 되지 않은 것으로 생각할 수 있다.²⁰ 그러나 2개의 변칙 사례를 글과 그림으로 제시했을 때 거부와 이론 변화 반응의 비율이 높았던 결과를 고려할 때, 글과 그림이 함께 제시될 경우 학생들의 반응이 초기 이론에 대한 확신과 초기 이론의 포기로 양극화되어 결과적으로 표현 방식의 효과가 상쇄되었을 가능성도 있다.

변칙 사례의 특성에 따른 개념 변화 정도

과학적 원리 학습 후 개념 변화 정도를 측정된 개념 검사 점수의 평균과 표준 편차는 Table 5와 같다. 이원 변량 분석 결과, 개념 검사 점수에서 변칙 사례의 개수와 표현 방식에 따른 주 효과나 상호작용 효과는 모두 유의미하지 않았다(Table 6).

개념 변화가 일어나기 위해서는 기존 개념이 재구조화 과정, 즉 새로운 정보를 설명하거나 기존 정보를 재해석하는 과정을 거쳐 새로운 구조로 바뀌어야 한다.²¹

Table 5. 변칙 사례의 특성에 따른 개념 검사 점수의 평균

	글	글+그림	계
1개	3.24(.36)	3.29(.39)	3.26(1.57)
2개	2.94(.37)	3.08(.42)	3.00(1.28)
계	3.09(1.51)	3.19(1.36)	3.14(1.43)

Table 6. 개념 검사 점수에 대한 이원 변량 분석 결과

변량원	자승화	자유도	평균 자승화	F	p
개수	.906	1	.906	27.481	.120
표현 방식	.140	1	.140	4.231	.288
개수×표현 방식	.033	1	.033	.015	.902

따라서, 인지 갈등 점수에서는 변칙 사례의 개수에 따라 유의미한 차이가 있었으나 개념 검사 점수에서 차이가 없었던 본 연구의 결과는 학생들에게 제시한 변칙 사례가 표면적으로 인지적 비평형을 유발했을 뿐,⁹ 기존 개념의 심층적인 재구조화까지 이끌지는 못한 것으로 해석할 수 있다. 새로운 개념이 기존 개념을 능가하는 인식론적 지위를 확보하기 위해서는²² 기존 개념에 대한 불만족 유발 뿐 아니라 새로운 개념의 이해와 정착에도 관심을 두어야 할 것이다. 한편, 인지 갈등 유발과 개념 변화 사이의 관계가 분명하지 않은 것은 개념 변화의 과정이 이제까지 가정해왔던 경로와 다르게 진행되거나,³ 인지 갈등과 개념 변화 사이에 다른 과정적 변인이 작용했기 때문일 수도 있다.^{5,16}

결론 및 제언

개념 변화 수업에서 학생들에게 변칙적인 사례를 제시하더라도 항상 유의미한 갈등이 유발되지는 않으므로, 인지 갈등을 통한 개념 변화를 촉진하기 위해 변칙 사례의 특성을 강화할 필요성이 제기되었다. 본 연구에서는 개수와 표현 방식 측면에서 변칙 사례를 제시한 후, 이에 따른 학생들의 인지 갈등 유발 정도와 개념 변화 정도를 비교하였다.

변칙 사례를 하나 제시했을 때보다 두 개 제시했을 경우 학생들의 인지 갈등 점수가 높았다. 이러한 결과는 개념 변화 수업에서 두 개 이상의 변칙 사례를 제시할 경우, 학생들이 기존 개념과 모순되는 변칙 사례를 보다 타당하게 받아들이고 새로운 개념의 필요성을 느낄 가능성이 커짐을 시사한다. 그러나 같은 개념에 대해 다양한 표상을 제공하면 학생들의 내용 이해가 항상

될 것이라는 주장¹³과 달리, 변칙 사례를 표현하는 방식에 따라서는 인지 갈등 유발 정도에 유의미한 차이가 없었다.

개수나 표현 방식과 같은 변칙 사례의 특성에 따라 학생들의 개념 변화 정도를 비교한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 이러한 결과는 인지 갈등의 유발이 반드시 개념 변화를 보장하지 못함을 의미하므로, 학생들의 개념 변화를 촉진하기 위해 인지 갈등 이외에 필요한 요인이 무엇인지 밝힐 필요성이 있다. 이를 위해서는 우선 학생들이 자신의 기존 개념을 포기하고 새로운 개념을 형성해 가는 인지적 과정을 이해하고, 이 과정에 기여할 수 있는 조건이나 방안에 대해 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 결과, 제시하는 변칙 사례의 개수를 늘임으로써 학생들의 인지 갈등은 어느 정도 증가시킬 수 있었으나, 거부, 재해석, 배제 등 초기 이론에 대한 신념을 포기하지 않는 반응도 여전히 많았다. 따라서, 변칙 사례를 통해 학생들이 새로운 개념의 필요성을 느끼도록 하기 위해서는 다양한 측면에서 변칙 사례를 보다 강화할 필요가 있다. 예를 들어, 변칙 사례의 권위 수준²³이나 신뢰성²⁴을 강화한다면, 학생들이 변칙 사례를 무시하거나 거부할 확률이 줄어들 수 있을 것이다. 한편, 본 연구에서는 변칙 사례에 의해 인지 갈등이 많이 유발되더라도 반드시 효과적인 개념 변화로 이어지지는 않았다. 따라서, 개념 변화에서 변칙 사례에 의한 인지 갈등 유발의 효과를 조사하기 위해서는 변칙 사례를 제시하지 않은 집단과 제시한 집단의 비교 연구가 이루어져야 할 것이다.

한편, 학습자의 인지적 특성이나 정서적 특성에 따라 인지 갈등 유발 및 개념 변화 정도가 달라질 수 있으므로, 학습자에 따라 적절하게 변칙 사례를 제시하기 위해서는 학습자 변인과 변칙 사례의 특성 사이의 관계에 대해서 조사할 필요가 있다. 또한, 개념의 성격이나 대상 학생에 따라서도 변칙 사례에 의한 인지 갈등이나 개념 변화가 다르게 나타나는 결과^{5-7, 16, 19}를 고려할 때, 여러 학년을 대상으로 연소 개념 이외의 다양한 개념에 대해 변칙 사례의 특성에 따른 인지 갈등과 개념 변화의 관계를 연구할 필요가 있다.

인용문헌

- Guzzetti, B. J.; Williams, W. O.; Skeels, S. A.; Wu, S. M. *Journal of Research in Science Teaching* **1997**, *34*, 701.
- Neale, D. C.; Smith, D.; Johnson, V. G. *Elementary School Journal* **1990**, *91*, 109.
- Dreyfus, A.; Jungwirth, E.; Eliovitch, R. *Science Education* **1990**, *74*, 555.
- 노태희; 임희연; 강석진 *한국과학교육학회지* **2000**, *20*, 288.
- 노태희; 임희연; 강석진 *한국과학교육학회지* **2000**, *20*, 634.
- Chinn, C.; Brewer, W. F. *Review of Educational Research* **1993**, *63*, 1.
- Chinn, C.; Brewer, W. F. *Journal of Research in Science Teaching* **1998**, *35*, 623.
- Park, J.; Kim, I. *Research in Science Education* **1998**, *28*, 365.
- Gorsky, P.; Finegold, M. *Instructional Science* **1994**, *22*, 75.
- Burbules, N. C.; Linn, M. C. *Journal of Educational Psychology* **1988**, *80*, 67.
- Bell-Gradler, M. E. *Learning and instruction: Theory into practice*. Macmillan Publishing Company: New York, 1986.
- Paivio, A. *Mental representation: A dual coding approach*. Oxford University Press: New York, 1986.
- Noh, T.; Scharmann, L. C. *Journal of Research in Science Teaching* **1997**, *34*, 199.
- Holmes, B. C. *Journal of Educational Psychology* **1987**, *79*, 14.
- Mayer, R. E.; Bove, W.; Bryman, A.; Mars, R.; Tapangco, L. *Journal of Educational Psychology* **1996**, *88*, 64.
- 노태희; 임희연; 강석진 *서울대학교 사대논총인쇄중*.
- Driver, R. In *Children's ideas in science*; Driver R.; Guesne E.; Tiberghien A., Eds.; Open University Press: Milton Keynes, 1985; p 145.
- Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. In *Children's ideas in science*; Driver R.; Guesne E.; Tiberghien A., Eds.; Open University Press: Milton Keynes, 1985; p 1.
- 강석진; 신숙희; 노태희 *대한화학회지* 제출중.
- Mayer, R. E.; Sims, V. K. *Journal of Educational Psychology* **1994**, *86*, 389.
- Martin, B. L.; Mintzes, J. J.; Clavijo, I. E. *International Journal of Science Education* **2000**, *22*, 303.
- Duschl, R. A. *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. Teachers College Press: New York, 1990.
- Chinn, C.; Brewer, W. F. In *International handbook of science education*. Fraser, B. J.; Tobin, K. G., Eds.; Kluwer Academic Publishers: London, UK, 1998; p 97.
- Hass, R. G. In *Cognitive responses in persuasion*. Petty R. E.; Ostrom T. M.; Brock T. C., Eds.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, 1981; p 141.