

## 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 중학교 1학년 학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교 분석

박진선<sup>†</sup> · 김동진 · 박세열 · 황현숙 · 박국태\*

한국교원대학교 화학교육과

<sup>†</sup>여월중학교

(접수 2011. 9. 16; 게재확정 2011. 10. 17)

### Comparative Analysis of Conceptual and Algorithmic Problem Solving Ability on Boyle's Law and Charles's Law in Middle School 1st Grade Students

Jin-Sun Park<sup>†</sup>, Dong-Jin Kim, Se-Yeol Park, Hyun-Sook Hwang, and Kuk-Tae Park\*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea.

\*E-mail: ktpark@knu.ac.kr

<sup>†</sup>Yeowul Middle School, Gyeonggi 421-220, Korea

(Received September 16, 2011; Accepted October 17, 2011)

**요 약.** 이 연구는 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 중학교 1학년 학생들의 인지수준과 배경 요인에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교한 것이다. 연구를 위해 개념과 수리 문제 해결력 검사지를 개발하여, 중학생들의 인지수준과 배경 요인에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교하고, 기억 보유 효과를 알아보았으며, 어떠한 개념을 가지고 문제를 해결하였는지 분석하였다. 연구 결과, 모든 인지수준에서 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 높았으며, 구체적 조작기와 과도기의 중학생들의 경우 그 차이가 통계적으로 유의미하였다. 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 대한 기억 보유 효과 비교에서 형식적 조작기 중학생들은 기억 보유 효과가 있었다. 중학생들의 배경 요인에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교에서 사교육을 받은 중학생들과 받지 않은 중학생들 사이의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 그러나 과학 활동 경험과 과학 관련 진로 희망 여부에서는 과학 활동 경험이 있고 과학 관련 진로를 희망하는 중학생들이 그렇지 않은 중학생들보다 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력이 모두 통계적으로 유의미하게 높았다. 중학생들의 문제 해결 과정을 분석해 본 결과, 거시적인 현상을 단순히 기억하여 과학적 개념에 대한 올바른 이해 없이 문제를 해결하려는 경향이 있었다. 그러므로 중학생들의 비과학적인 개념을 사전에 파악하여 이를 과학적인 개념으로 바꿀 수 있는 교수-학습 전략이 필요하다.

**주제어:** 개념 문제 해결력, 수리 문제 해결력, 보일의 법칙, 샤를의 법칙

**ABSTRACT.** The purpose of this study was to compare the conceptual and algorithmic problem solving ability on Boyle's law and Charles's law according to cognitive levels and characteristics of students in middle school 1st grade students. For this study, questionnaire items of conceptual and algorithmic problem solving ability were developed, and the problem solving ability according to cognitive levels and characteristics of students was compared. The long-term memory effect in conceptual and algorithmic problem solving ability according to cognitive levels was investigated, and problem solving process were analyzed by questionnaire items. In the results of this study, conceptual problem solving ability was higher than algorithmic problem solving ability in all cognitive levels. There was statistically significant difference in concrete operational period and transitional period students. In comparison of the long-term memory effect in conceptual and algorithmic problem solving ability, formal operational period students had the long-term memory effect. There was no statistically significant difference in the conceptual and algorithmic problem solving ability according to private education among the characteristics of students. But there was statistically significant difference in the problem solving ability according to experiences of the scientific activities and hopes to related scientific careers. From results of analysis of problem solving process, it is known that the students had a tendency to just remember macroscopic phenomena and to solve the problems without understanding the concepts. Therefore, teaching and learning strategy is necessary to replace unscientific concepts by the scientific concepts through identifying students's unscientific concepts in advance.

**Key words:** Conceptual problem solving ability, Algorithmic problem solving ability, Boyle's law, Charles's law

## 서 론

과학교육에서 개념의 이해와 수리 문제 해결은 매우 중요하게 다루고 있는 목표들로,<sup>1</sup> 수리 문제를 해결하는 것은 그 문제의 바탕에 있는 개념을 이해하고 있는 것이라고 가정되어 왔다.<sup>2</sup> 그러나 수리 문제에 대한 해결력이 개념 문제에 대한 해결력보다 높아 수리 문제를 올바르게 해결하더라도 수리 문제의 바탕이 되는 개념을 이해하고 있는 것은 아니라고 볼 수 있다.<sup>3,7</sup> 높은 수리 문제 해결력을 가졌으나 낮은 개념 문제 해결력을 가진 학생들은 개념 문제도 수리적으로 해결하려는 경향을 보였으며,<sup>8</sup> 이것은 과학교육이 학습자의 과학적 개념에 기초한 과학적 사고의 발달에 힘써야 함에도 불구하고 실제로는 수리적 문제를 푸는데 치중하고 있었기 때문이라고 할 수 있다.<sup>4,6,7</sup>

과학교육의 목표는 학생들의 과학 학습에 대한 흥미와 호기심 배양, 과학적 태도 함양, 과학기술사회의 상호작용에 대한 이해, 과학의 기초적인 개념 습득을 지향하고 있다. 2009 개정 과학과 교육과정은 미래 과학기술 사회가 요구하는 높은 수준의 창의성과 인성을 고루 갖춘 합리적 인재를 양성하는 것을 목표로 하고 있으며, 과학기술 시대가 요구하는 높은 수준의 창의성과 인성을 길러주기 위해서는 과학교육의 방향도 달라져야만 한다.<sup>9</sup>

학생들의 관심을 끌기 위해 가르치기 어려운 과학 개념을 뼈바림으로써 과학을 쉽고 재미있게 만들어야 한다는 주장에서 벗어나지 못하면, 학생들은 학교 교육을 통해 우리 주변에서 발생하는 문제를 이해하기 위해 꼭 필요한 과학 지식을 배울 수가 없게 된다.<sup>9</sup> 어려운 과학 개념이나 실생활과 자연에서 관찰할 수 있는 단순한 과학적 원리를 강조하는 수준을 넘어서 과학의 맥락을 이해함으로써 현실 생활에서 일상적으로 직면하게 되는 과학적 문제를 충분히 이해하고 합리적으로 판단할 수 있는 능력을 길러주어야 한다.

과학적 사고의 발달을 위해서는 과학적 개념을 정확히 알고 이를 토대로 하여 수리적 문제를 해결해야 할 것이다. 그러므로 학습자의 과학적 개념의 이해 정도를 파악하고 이와 수리적 문제의 해결력과의 관계를 알아보는 것은 중요하다고 할 수 있다. 더욱이 2007 개정 교육과정에서는 학생들의 과학적 개념의 이해와 탐구 능력의 신장에 중요성을 두고 있는 만큼 이와 관련된 연구의 필요성이 증가하고 있다.<sup>10</sup>

2007 개정 교육과정에는 화학 관련 법칙이 중학교 1학년에서 3학년까지 분산되어 있는데, 그동안 화학 관련 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교한 연구들<sup>3,7</sup>은 주로 중등학교의 고학년 학생들이나 대학생들을 대상으로 연구가 이루어졌다. 그리고 모든 화학

관련 법칙을 배운 후에 연구가 이루어졌기 때문에 각각의 법칙을 배웠을 당시의 학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 대해서는 알 수가 없었다.

한편, 과학 학업 성취도는 학생 관련 배경 요인에 의해 영향을 받으며,<sup>11</sup> 외적 요인보다는 내적 요인에 의해 긍정적인 영향을 받는다고 하였다. 특히 과학의 경우 과학 관련 체험 활동이 풍부하여 학생들의 과학적 태도에 영향을 줄 수 있는 요인이 될 수 있으므로, 학생 관련 배경 요인이 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에도 영향을 미칠 수 있다고 생각된다.

2007 개정 교육과정에서 중학교 학생들에게 수리적 문제의 해결력보다는 개념의 이해와 탐구 중심의 문제 해결력을 강조하고 있으므로, 중학생들의 배경 요인들이 개념 문제 해결력 및 수리 문제 해결력과 어떠한 상관관계가 있는지 알아볼 필요가 있다. 그러나 과학 관련 체험 활동을 통한 중학생들의 배경 요인들에 따른 화학 관련 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았기 때문에 이에 대한 연구가 필요한 것이다.

따라서 이 연구는 화학 관련 법칙 중 2007 개정 교육과정에 의해 중학교 1학년 과학에 제시되어 있는 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 중학생들의 개념 문제와 수리 문제에 대한 해결력을 인지수준에 따라 비교 분석하고, 기억 보유 효과를 알아보고자 하는 것이다. 또한, 중학생들의 배경 특성에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 알아보고, 중학생들이 보일의 법칙과 샤를의 법칙을 어떠한 개념을 가지고 해결하는지를 알아봄으로써, 교수-학습 방법에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 연구 방법

### 연구 대상

연구 대상은 K도 소재 Y중학교의 남·여 혼성으로 구성된 1학년 6개 학급의 학생 189명이었는데, 연구 대상 중학생들에 대한 배경 특성은 Table 1과 같다.

연구 대상 중학생(Table 1)으로 남학생이 여학생보다 5명이 더 많으며, 과학에 대한 흥미도가 보통 이상인 학생들이 60% 이상이지만 체험학습과 같은 과학 활동 경험이 없는 학생들이 더 많고, 과학 관련 진로에 대해서는 부정적인 생각을 가지고 있는 학생이 긍정적인 생각을 가지고 있는 학생보다 더 많다. 그리고 학교의 정규 교육과정 이외의 과학 관련 다른 교육을 받고 있는 학생들이 많았다. 연구 대상 중학생의 인지수준으로 구체적 조작기가 60.8%, 과도기가 31.7%, 형식적 조작기가 7.4%로 인지수준이 낮은 편이다.

**Table 1.** Percentages of characteristics of the middle school 1st grade students (N = 189)

		Number of student	Percent (%)
Gender	Male	97	51.3
	Female	92	48.7
Science interesting	Very low	10	5.3
	Low	30	15.9
	Normal	81	42.9
	High	54	28.6
	Very High	14	7.4
Private education	Yes	128	67.7
	No	61	32.3
Experience of scientific activity	Yes	63	33.3
	No	126	66.7
Hope to related scientific careers	Yes	20	10.6
	No	80	42.3
	-	89	47.1
Cognitive level	Concrete operational	115	60.8
	Transitional	60	31.7
	Formal operational	14	7.4

### 검사 도구 및 분석

연구 대상 중학생들의 인지수준은 논리적 사고력 검사지인 GALT-축소본<sup>12</sup>을 사용하여 측정하였으며, 검사의 소요 시간은 45분이었다. 인지 수준 검사 결과, 12문항 중 정답의 개수가 4개 이하의 경우 구체적 조작기, 5~7개의 경우 과도기, 8개 이상의 경우 형식적 조작기로 분류하였다.

이 연구에서 개발하여 사용한 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제와 수리 문제에 대한 해결력 검사지는 법칙별로 개념 문제와 수리 문제 각각 3문제씩 총 12문제의 5지 선다형으로 화학 교육 전문가 5인으로부터 타당도 검증을 받았으며, 신뢰도(Cronbach's alpha)는 0.764이

었다. 검사지의 문제 구성과 내용은 Table 2와 같으며, 각 문제마다 답을 택한 이유를 적게 하여 학생들의 문제 해결 과정을 분석하였다.

개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 검사지는 중학교 1학년 과학에서 보일의 법칙과 샤를의 법칙이 제시된 분자의 운동 단원을 학습하고 충분한 복습이 이루어진 중간고사 실시 후인 5월 중순의 수업시간에 1차로 투입하였으며, 검사 시간은 45분이었다. 그리고 중학생들의 기억 보유 효과를 알아보기 위하여 7월 초순의 수업시간에 같은 검사지를 2차로 재투입하였으며, 검사 시간은 45분이었다. 문제 해결력 검사지는 각 문제당 1점씩 총 12점을 만점으로 채점을 하여 정답 평균으로 문제 해결력을 비교하였다. 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 통계적으로 비교하기 위해서 문제별 정답 평균에 *t*-검증을 실시하였으며, 통계적인 유의미 수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

## 연구 결과 및 논의

### 중학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교

중학교 1학년 학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제와 수리 문제의 정답률과 문제 해결력을 통계적으로 비교한 것은 Table 3과 같다.

Table 3을 살펴보면, 보일의 법칙에서 개념 문제 해결력이 1.70으로 수리 문제 해결력 1.61보다 높으나 그 차이는 통계적으로 유의미한 것은 아니다. 그러나 샤를의 법칙에서는 개념 문제 해결력이 1.38이고, 수리 문제 해결력이 0.86으로 개념 문제 해결력이 통계적으로 유의미하게 높다. 그리고 두 법칙 모두의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력은 각각 3.08, 2.47로 개념 문제 해결력이 통계적으로 유의미하게 높다. 한편, 각 법칙의 개념 문제 해결력을 비교해 보면, 보일의 법칙에 대한 해결력이 샤를의 법칙

**Table 2.** Contents of conceptual and algorithmic problem solving questionnaire items on Boyle's law and Charles's law

Category	Type	Question	Content
Boyle's law	Conceptual	1-1	Figure of cylinder increasing pressure
		1-2	Graph of pressure change on volume
		1-3	Examples of Boyle's law
	Algorithmic	2-1	
		2-2	Table of pressure, volume, and pressure × volume data
		2-3	
Charles's law	Conceptual	3-1	Figure of balloon decreasing temperature
		3-2	Graph of volume change on temperature (°C)
		3-3	Examples of Charles's law
	Algorithmic	4-1	
		4-2	Equation of Charles's law
		4-3	

**Table 3.** Comparison of solving abilities in conceptual and algorithmic problems

(N = 189)

Category	Type	Question	Answer (%)	M <sup>a</sup>	SD	t	p
Boyle's law	Conceptual	1-1	85.7	1.70	0.856	1.160	0.247
		1-2	38.6				
		1-3	45.5				
	Algorithmic	2-1	70.4	1.61	1.160		
		2-2	43.4				
		2-3	47.1				
Charles's law	Conceptual	3-1	58.2	1.38	0.913	7.827	0.000*
		3-2	21.7				
		3-3	58.2				
	Algorithmic	4-1	30.7	0.86	0.891		
		4-2	42.9				
		4-3	12.2				
Total <sup>b</sup>	Conceptual		3.08	1.455	5.898	0.000*	
	Algorithmic		2.47	1.776			

<sup>a</sup>Perfect 3.00, <sup>b</sup>perfect 6.00, \* $p < 0.05$ .

에 대한 해결력보다 더 높다. 또한, 수리 문제 해결력에서도 보일의 법칙에 대한 해결력이 샤를의 법칙에 대한 해결력보다 더 높으며, 그 차이가 개념 문제 해결력보다 더 크다.

이러한 연구 결과는 중학교 1학년 학생들이 보일의 법칙보다 샤를의 법칙을 더 어려워하고 있으며, 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 더 높음을 나타내 주는 것이다. 즉, 압력( $P$ )이 일정할 때 기체의 부피는( $V$ ) 절대 온도( $T$ )에 비례한다( $V=kT$ )는 샤를의 법칙을 온도가 일정할 때 기체의 압력( $P$ )과 부피( $V$ )는 서로 반비례한다( $PV=k$ )는 보일의 법칙보다 더 어려워하며, 이들 법칙에 관한 수리 문제를 개념 문제보다 더 어려워하는 것이다.

Table 3에서 문제별 정답률을 살펴보면, 그래프를 이용한 개념 문제인 1-2와 3-2의 정답률이 다른 개념 문제의 정답률에 비해서 상당히 낮다. 그래프를 이용한 개념 문제는 그래프를 보고 변인들 사이의 관계를 해석해야 하는데, 이러한 변인들 사이의 관계 진술 능력은 중학생들의 경우 높지 않기 때문이다.<sup>13</sup> 그리고 그래프를 작성하고 이해하는 데는 논리적 사고력과 비례논리 및 변인통제 논리가 중요한데,<sup>14</sup> 대부분의 중학교 1학년 학생들은 이러한 능력이 부족한 구체적 조작기와 과도기의 인지수준을 가지고 있기 때문으로 생각된다. 또한, 중학교 1학년 학생들이 그래프와 관련된 문제를 접할 기회가 적어 그래프와 관련된 문제에 대해 두려워하는 요인이 있는 것<sup>15</sup>도 이유가 될 수 있다.

Table 3에 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 높게 나타나 있다. 이는 2007 개정 교육 과정에서 개념과 탐구 중심의 학습을 강조하기 때문에 중학생들이 수학적으로 계산하는 수리 문제에 익숙하지 않아 그것이 점수가

낮은 결과로 이어지는 것으로 추측된다.<sup>2</sup> 그리고 수리 문제 해결에 대한 학습이 관련 개념 문제 해결력의 향상에 어느 정도 도움이 되기 때문에,<sup>2</sup> 교육 현장에서는 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 수리 문제의 해결 과정을 이해하게 할 수 있는 교수-학습 방법<sup>1</sup>을 마련하여 학생들의 수리 문제 해결력을 향상시킬 수 있도록 해야 할 것이다.

#### 인지수준에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교

중학교 1학년 학생들의 인지수준에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교한 것은 Table 4와 같다.

Table 4를 살펴보면, 구체적 조작기의 중학생들은 보일의 법칙에서 개념 문제 해결력이 1.52, 수리 문제 해결력이 1.28로 개념 문제 해결력이 통계적으로 유의미하게 높다. 샤를의 법칙에서 개념 문제 해결력이 1.12, 수리 문제 해결력이 0.57로 개념 문제 해결력이 통계적으로 유의미하게 높으며, 두 법칙 모두의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에서도 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 통계적으로 유의미하게 높다.

이렇게 구체적 조작기 중학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력이 낮은 것은 구체적 조작기의 중학생 대부분이 과학 성취도가 낮으며, 수학적 공식에 대한 이해도도 낮을 뿐만 아니라 수리 문제를 읽고 공식에 대입하는 것조차 어려워하기 때문인 것으로 보인다. 이러한 중학생들의 경우 샤를의 법칙의 수리 공식을 거의 외우지 못하였으며, 수리 문제 해결 과정에서 단순히 답지를 선택하는 모습을 보이기도 하였다.

Table 4에서 과도기의 중학생들에 대해 살펴보면, 보일의 법칙의 경우 수리 문제 해결력이 2.02로 개념 문제 해

**Table 4.** Comparison of solving abilities in conceptual and algorithmic problems according to cognitive levels

Cognitive level	Category	Type	M <sup>a</sup>	SD	<i>t</i>	<i>p</i>
Concrete operational ( <i>n</i> = 115)	Boyle's law	Conceptual	1.52	0.820	2.434	0.016*
		Algorithmic	1.28	1.056		
	Charles's law	Conceptual	1.12	0.870		
		Algorithmic	0.57	0.703		
	Total <sup>b</sup>	Conceptual	2.64	1.299		
		Algorithmic	1.84	1.473		
Transition operational ( <i>n</i> = 60)	Boyle's law	Conceptual	1.88	0.804	-1.000	0.321
		Algorithmic	2.02	1.157		
	Charles's law	Conceptual	1.67	0.837		
		Algorithmic	1.17	0.942		
	Total <sup>b</sup>	Conceptual	3.55	1.443		
		Algorithmic	3.18	1.780		
Formal operational ( <i>n</i> = 14)	Boyle's law	Conceptual	2.36	0.929	-0.822	0.426
		Algorithmic	2.57	0.938		
	Charles's law	Conceptual	2.29	0.611		
		Algorithmic	1.93	0.829		
	Total <sup>b</sup>	Conceptual	4.64	1.008		
		Algorithmic	4.50	1.401		

<sup>a</sup>Perfect 3.00, <sup>b</sup>perfect 6.00, \**p* < 0.05.

결력 1.88보다 높으나 통계적으로 유의하지는 않다. 수리 문제 해결력이 개념 문제 해결력보다 높은 것으로 보아 수리 문제를 해결하기 위해 꼭 관련 개념의 이해를 선행해야 하는 것은 아니라는 것을 말해주며,<sup>4,5</sup> 개념 문제 해결에 대한 학습은 관련된 수리 문제 해결력에 도움이 되지 못한다는 연구 결과<sup>1</sup>와 같은 맥락이라고 할 수 있다. 또한, 고등학교 학생들의 화학 수리 문제 해결력과 개념 이해도를 비교한 연구<sup>3</sup>에서도 같은 맥락의 연구 결과가 나왔다. 즉, 수리 문제는 관련 개념을 잘 이해하지 못해도 관련 수리 공식을 외우기만 하면 해결할 수 있다는 것이다.

구체적 조작기의 중학생 대부분은 수리 공식을 잘 외우지 못하였으나, 과도기의 학생들은 비교적 간단한 보일의 법칙의 수리 공식을 잘 기억하고 있었다. 그리고 보일의 법칙의 수리 문제가 압력, 부피, 압력 × 부피의 값이 표로 제시되어 과도기의 중학생들이 표를 이용하여 문제를 잘 해결하였다. 반면, 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력이 1.67로 수리 문제 해결력 1.17보다 통계적으로 유의하게 높다. 이것은 샤를의 법칙에 관한 수리 문제는 과도기의 중학생들에게도 개념 문제보다 어려운 것임을 나타내 주는 것이다. 그리고 두 법칙 모두의 개념 문제 해결력이 3.55로 수리 문제 해결력 3.18보다 통계적으로 유의하게 높으므로, 과도기의 학생들은 수리 문제보다 개념 문제를 더 잘 해결할 수 있는 것이다.

Table 4에서 형식적 조작기의 중학생들에 대해 살펴보면, 보일의 법칙의 경우 수리 문제 해결력이 2.57로 개념

문제 해결력 2.36보다 높고, 샤를의 법칙의 경우 개념 문제 해결력이 2.29로 수리 문제 해결력 1.93보다 상당히 높으나, 모두 통계적으로 유의하지는 않다. 그러나 형식적 조작기의 중학생 수가 14명으로 적어서 추리 통계보다 기술 통계로 보면, 형식적 조작기의 중학생들이 보일의 법칙에 대한 수리 문제의 공식을 더 잘 기억하여 개념 문제보다 더 잘 해결한다는 것을 알 수 있다. 한편, 샤를의 법칙의 경우 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 높는데, 이는 인지수준이 높은 중학생들이라고 하더라도 샤를의 법칙에 대한 수리 문제를 해결하는데 어려움을 겪고 있다는 것을 잘 나타내 주는 것이다. 즉, 중학생들이 샤를의 법칙에 대한 개념 이해보다 다음과 같은 섭씨온도로 표현된 샤를의 법칙의 수리 공식에 대한 이해에 더 어려움을 겪고 있다는 것을 알 수 있다.

$$V = V_0 + V_0 \frac{1}{273} t$$

*V*: 기체의 부피, *V*<sub>0</sub>: 0 °C에서 기체의 부피, *t*: 섭씨온도(°C)

Table 4에서 인지수준에 따라 두 법칙 모두의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교해 보면, 두 가지 문제 해결력 사이의 차이가 구체적 조작기에서 0.80(2.64-1.84), 과도기에서 0.37(3.55-3.18), 형식적 조작기에서 0.14(4.64-4.50)로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 인지수준이 높을수록 개념 문제와 수리 문제를 해결할 수 있는 논리적 사고력<sup>16</sup>이 높을 뿐만 아니라, 수리 문제 해결력이 개념

문제 해결력보다 더 증가한다는 것을 잘 나타내 주는 것이다. 교육 현장에서 볼 때, 인지수준이 높은 학생일수록 수리 문제를 접할 기회가 더 많고, 수리 공식을 더 잘 외우므로 관련 개념의 정확한 이해보다 단순하게 수리 공식을 외워 문제를 해결할 수 있기 때문으로 생각된다.

**인지수준에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 대한 기억 보유 효과 비교**

중학교 1학년 학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제해결력에 대한 기억 보유 효과를 알아보기 위한 1차 검사와 2차 검사의 결과는 Table 5와 같다.

Table 5를 살펴보면, 모든 부분에서 2차 검사의 문제 해결력이 1차 검사의 문제 해결력에 비해 감소했음을 알 수 있으며, 보일의 법칙에 대한 수리 문제 해결력 차이를 제외한 모든 부분에서 그 차이가 통계적으로 유의미하다. 이것은 보일의 법칙의 수리 문제 해결력에는 기억 보유 효과가 있지만 다른 부분에서는 기억 보유 효과가 없음을 의미한다. 즉, 보일의 법칙의 수리 문제를 해결할 때 사용한 수리 공식을 다른 것들보다 더 오래 기억하고 있는 것이다. 그리고 두 법칙 모두에 대한 개념 문제 해결력과 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력에는 기억 보유 효과가 없으므로, 이를 인지수준에 따라 보일의 법칙과 샤를의 법칙의 개념 문제와 수리 문제별로 세분하여 알아볼 필요가 있다.

인지수준에 따른 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에 대한 기억 보유 효과를 알아보기 위하여 1차 검사와 2차 검사의 문제 해결력을 비교한 것은 Table 6과 같다.

Table 6에 의하면, 구체적 조작기 중학생들의 경우 보일

의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력이 1차 검사에 비하여 2차 검사에서 감소했으나 통계적으로 유의미한 것은 아니므로 기억 보유 효과가 있는 것으로 생각 할 수 있다. 그러나 문제 해결력이 1차 검사와 2차 검사에 걸쳐 0.52-1.52로 매우 낮고, 특히 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력이 1차 0.57, 2차 0.52로 거의 비슷하게 매우 낮으므로, 구체적 조작기 중학생들이 5지 선다형 검사에서 우연에 의해 답한 것일 가능성이 크므로 실질적인 기억 보유 효과라고 할 수가 없다. 즉, 이들 학생들은 수리 문제 해결과 높은 상관성이 있는 논리적 사고력<sup>16</sup>이 부족하기 때문에 5지 선다형 검사에서 우연에 의해 답하는 경향이 크며, 과학 개념의 학습 시 원리를 이해하지 않고 시험에 대비하여 단순 암기식으로 학습하기 때문에 학습에 의한 기억 보유 효과로 보기 어려운 것이다.

Table 6에서 과도기 중학생들의 경우 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력이 감소했으나 보일의 법칙에서만 통계적으로 유의미하다. 그러므로 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력에는 기억 보유 효과가 있는 것이다. 이것은 샤를의 법칙에 대한 개념 문제는 보일의 법칙에 대한 개념 문제에 비하여 논리적 사고력이 더 필요하기 때문으로 생각된다.

그리고 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력은 감소했으나 샤를의 법칙에서만 통계적으로 유의미하다. 그러므로 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력에는 기억 보유 효과가 없으나 보일의 법칙에 대한 수리 문제 해결력에는 기억 보유 효과가 있는 것이다. 이러한 기억 보유 효과는 보일의 법칙에 대한 수리 문제가 표로 제시되어 있어 과도기의 중학생들이 쉽게 문제를 해결한 것으로 보인다. 그리고 샤를의 법칙의 수리 문제 해

**Table 5.** Long-term memory effect in conceptual and algorithmic problems (N = 189)

Type	Category	Test	M <sup>a</sup>	SD	t	p	
Conceptual	Boyle's law	1st	1.70	0.856	3.015	0.003*	
		2nd	1.50	0.909			
	Charles's law	1st	1.38	0.913	1.986	0.048*	
		2nd	1.24	0.907			
	Total <sup>b</sup>		1st	3.08	1.455	3.293	0.001*
			2nd	2.75	1.526		
Algorithmic	Boyle's law	1st	1.61	1.160	0.886	0.377	
		2nd	1.54	1.123			
	Charles's law	1st	0.86	0.891	2.235	0.027*	
		2nd	0.71	0.852			
	Total <sup>b</sup>		1st	2.47	1.776	2.070	0.040*
			2nd	2.25	1.577		

<sup>a</sup>Perfect 3.00, <sup>b</sup>perfect 6.00, \*p < 0.05.

**Table 6.** Long-term memory effect in conceptual and algorithmic problems according to cognitive levels (N = 189)

Cognitive level	Type	Category	Test	M <sup>a</sup>	SD	<i>t</i>	<i>p</i>
Concrete operational (n = 115)	Conceptual	Boyle's law	1st	1.52	0.820	1.967	0.052
			2nd	1.35	0.879		
		Charles's law	1st	1.12	0.870		
			2nd	0.96	0.852		
	Algorithmic	Boyle's law	1st	1.28	1.056	0.984	0.327
			2nd	1.18	0.979		
		Charles's law	1st	0.57	0.703		
			2nd	0.52	0.705		
Transition operational (n = 60)	Conceptual	Boyle's law	1st	1.88	0.804	2.175	0.034*
			2nd	1.65	0.917		
		Charles's law	1st	1.67	0.837		
			2nd	1.65	1.022		
	Algorithmic	Boyle's law	1st	2.02	1.157	0.115	0.909
			2nd	2.00	1.164		
		Charles's law	1st	1.17	0.942		
			2nd	0.87	0.853		
Formal operational (n = 14)	Conceptual	Boyle's law	1st	2.36	0.929	1.147	0.272
			2nd	2.14	0.770		
		Charles's law	1st	2.29	0.611		
			2nd	1.86	0.770		
	Algorithmic	Boyle's law	1st	2.57	0.938	0.249	0.807
			2nd	2.50	0.760		
		Charles's law	1st	1.93	0.829		
			2nd	1.64	1.216		

<sup>a</sup>Perfect 3.00, \**p* < 0.05.

결력에 기억 보유 효과가 없는 것은 수리 문제를 해결할 때 개념의 이해에 바탕을 두지 않고 수리 공식을 단순히 외워 문제를 해결하기 때문에 시간이 지남에 따라 단순히 외우기만 했던 수리 공식의 망각 정도가 더 컸던 것으로 보인다.

Table 6에서 형식적 조작기 중학생들의 기억 보유 효과를 살펴보면, 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력은 1차 검사에 비해 2차 검사에서 조금씩 감소했으나 통계적으로 유의미한 것은 아니므로, 모든 부분에서 기억 보유 효과가 있는 것이다. 특히, 보일의 법칙에 대한 수리 문제 해결력이 가장 적게 감소하였으므로, 이에 대한 기억 보유 효과가 가장 큰 것이다. 이것은 보일의 법칙에 대한 수리 문제가 압력과 부피의 관계를 표로 제시한 것이기 때문에 논리적 사고력이 비교적 발달된 형식적 조작기의 중학생들이 쉽게 해결하므로, 이에 대한 기억 보유 효과가 가장 큰 것으로 생각된다. 한편, 보일의 법칙에 비해서 샤를의 법칙의 기억 보유 효과가 적는데, 이는 중학생들이 샤를의 법칙에 대한 문제를 단순 암기에 의해 해결하려는 경향에 기인하는 것

으로 볼 수 있다.

이러한 연구 결과로부터 중학생들에게 수리 문제를 제시할 때 단순히 공식을 제시하는 것보다 표와 같은 방법을 적절히 이용할 경우 중학생들의 문제 해결력이 더 높아질 수 있음을 알 수 있는 것이다. 그리고 그림으로 제시된 개념 문제에 기억 보유 효과가 있음이 알려져 있으며,<sup>16</sup> 중학교 과학 수업에서 아무 의미도 모르고 암기해야 하는 기계적인 학습은 중학생들의 호응을 얻지 못하고 있다.<sup>17</sup> 따라서 중학생들에게 새로운 과학적 법칙이나 개념을 학습 시킬 때는 표나 그림과 같은 방식을 사용하여 기존의 학습 내용과 연결 짓는 교수-학습 방법으로 수업 내용을 구성함으로써, 중학생들의 기억 보유 효과를 향상시킬 수 있도록 해야 할 것이다.

#### 중학생의 배경 특성에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교

중학생들은 자신이 가지고 있는 환경에 따라서 각자의 배경 지식을 가지게 되며, 배경 지식을 토대로 새로운 개념을 받아들인다고 한다.<sup>18-20</sup> 그러므로 이러한 배경 지식

은 중학생들의 학업 성취도에 영향을 미칠 수 있다. 중학생들의 배경 특성에 따른 보일의 법칙과 샤를의 법칙 모두에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력을 비교한 것은 Table 7과 같다.

Table 7에서 사교육이란 중학생들이 학교에서 받는 정규 교육 이외에 과외나 학원 수강, EBS 강의, 기타 인터넷 강의 등에서 받는 교육을 의미하고, 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 사교육을 경험한 중학생들(Yes)과 그렇지 않은 중학생들(No)로 분류한 것이다. 보일의 법칙과 샤를의 법칙 모두에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력은 사교육을 받은 중학생들이 받지 않은 중학생들보다 높으나 통계적으로 유의미한 차이는 아니다. 사교육을 받은 중학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력이 받지 않은 중학생들보다 높은 것은 중학생들이 사교육을 통해 개념 문제나 수리 문제들에 더 많이 노출되어 문제 풀이를 많이 했기 때문으로 생각할 수 있다. 그러나 이러한 문제 해결력의 차이는 통계적으로 유의미한 것이 아니므로, 사교육이 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제해결력 향상에 실질적으로 영향을 미친다고 할 수 없다.

과학 활동에 경험이 있는 중학생들(Yes)이 경험이 없는 중학생들(No)보다 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력이 모두 통계적으로 유의미하게 높다. 이것은 과학 활동에 대한 경험이 중학생들의 과학적 및 논리적 사고력에 긍정적인 영향을 미치기 때문이다. 그리고 과학 활동에 경험이 있는 중학생들은 경험이 없는 중학생들보다 수리 문제 해결력은 0.80, 개념 문제 해결력은 0.54 더 높으므로, 과학 활동이 수리 문제 해결력 향상에 효과적이라고 할 수 있다.

한편, 과학관 방문 등의 과학 활동은 추후 비슷한 경험

을 하게 될 때 높은 수준의 과학적인 이해를 하는데 간접적으로 기여하거나 정규 과학 학습에 흥미를 느끼게 하는 등의 긍정적인 영향을 미칠 수 있다고 했다.<sup>18</sup> 즉, 과학 활동은 중학생들에게 과학에 대한 흥미를 유발시키고, 여러 가지 과학적인 문제 상황에 노출시켜 이를 해결하게 함으로써 과학 문제 해결력을 향상시키는데 도움이 될 수 있는 것이다.

과학 관련 진로를 희망하는 중학생들(Yes)이 희망하지 않는 중학생들(No)보다 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력에서 모두 통계적으로 유의미하게 높다. 이는 과학 관련 진로를 희망하는 중학생들 대부분은 과학 성적과 논리적 사고 수준이 높으므로 과학에 대한 학업에 적극적이기 때문으로 생각된다.

상기의 연구 결과로부터 알 수 있듯이 중학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력은 과학 활동 경험이나 과학 관련 진로 교육과 같은 체험 학습으로부터 긍정적인 영향을 받는다고 볼 수 있다. 특히, 중학생들은 과학에 대해 가지고 있는 이미지에 의해 과학 관련 진로 여부가 결정될 수 있으므로,<sup>19</sup> 과학과 관련된 다양한 경험과 발표, 토의, 실험 활동 등과 같은 능동적인 수업 환경은 과학에 대한 긍정적인 이미지를 구축하게 하는 것은 물론 과학 관련 진로에도 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있다.<sup>20</sup>

그러므로 중학교 과학 수업에서 과학과 관련된 다양한 경험을 제공하고, 학생들이 스스로 경험하고 생각할 수 있는 학생 주도의 능동적 학습 환경을 조성하는 것은 학생들의 과학 법칙에 대한 문제 해결력을 높일 수 있을 뿐만 아니라 과학 교육의 교수-학습 방법에서도 매우 중요하다는 것을 시사하는 것이다.

**Table 7.** Comparison of solving abilities in conceptual and algorithmic problems on Boyle's law and Charles's law according to characteristics (N = 189)

Characteristic	Category		n	Total <sup>a</sup>	SD	t	p
Private Education	Conceptual	Yes	128	3.19	1.478	1.485	0.139
		No	61	2.85	1.388		
	Algorithmic	Yes	128	2.62	1.858	1.708	0.089
		No	61	2.15	1.558		
Experience of scientific activity	Conceptual	Yes	63	3.44	1.522	2.473	0.014*
		No	126	2.90	1.390		
	Algorithmic	Yes	63	3.00	1.805	2.986	0.003*
		No	126	2.20	1.707		
Hope to related scientific careers	Conceptual	Yes	20	3.60	1.273	2.022	0.046*
		No	80	2.88	1.470		
	Algorithmic	Yes	20	3.40	1.603	2.320	0.022*
		No	80	2.41	1.726		

<sup>a</sup>Perfect 6.00, \*p < 0.05.

**중학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 문제 해결 과정 분석**

중학생들은 과학 문제를 해결하는데 있어서 자신이 가지고 있는 개념을 사용하기 때문에 중학생들의 문제 해결 과정을 조사하면, 중학생들이 가지고 있는 과학적 개념과 문제 해결 방식을 파악할 수 있으며, 비과학적 개념도 알 수 있다. 그러므로 개념 문제와 수리 문제를 해결할 때 답을 선택한 이유를 적게 하여 문제를 해결하는데 어떠한 개념을 사용하는지 정성적으로 알아보았는데, 중학생들이 사용하는 개념 유형을 분석하기 위해 작성한 답의 일부를 그대로 인용하였다.

중학생들은 기체에 압력이 가해지면 충돌수가 증가할 것이라는 것은 비교적 잘 알고 있었다. 그러나 충돌수가 증가하는 것은 기체에 가하는 압력이 증가함에 따라 부피가 작아지므로 기체 분자 사이의 거리가 줄어들기 때문이라고 대답하기 보다는 문제에서 제시된 그림을 보고 공간이 좁기 때문에 충돌수가 증가한다고 응답하는 중학생들이 많았다. 그리고 기체에 압력이 가해지면 분자의 운동이 활발해진다고 생각하는 중학생들도 있었다. 이는 분자의 충돌수와 분자의 운동에너지를 혼동하기 때문에 나타나는 결과라고 볼 수 있다.

다음은 보일의 법칙에 대한 그림을 이용한 개념 문제 1-1(Fig. 1)에서 중학생들이 기체에 압력이 가해지면 충돌수가 증가한다는 것에 대한 이유를 적은 예들이다. 여기서 S는 중학생을 의미하며, 숫자는 중학생을 구별하기 위한 일련번호이다.

- S1: 분자 사이의 거리가 좁아져서
- S2: 압력을 받을수록 충돌 횟수가 늘어난다.
- S3: (나) 안에 부피가 작아져서 (나)의 기체 충돌 횟수가 증가할 것 같아서
- S4: 기체의 밀도가 증가하기 때문에
- S5: 갑자기 공간이 넓다가 공간이 좁아지면서 분자의 충돌횟수가 증가한다.
- S6: 실린더 속에 기체의 부피가 감소해서
- S7: 압력을 가해서 분자 운동이 활발해져서

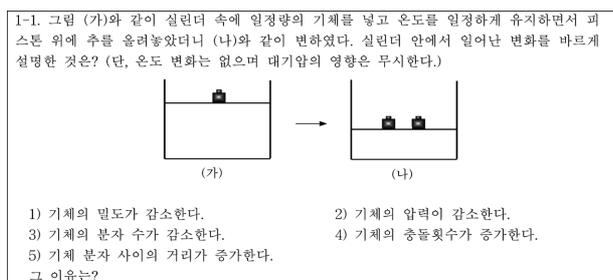


Fig. 1. Conceptual problem on Boyle's law of 1-1.

S8: 기체의 분자 수는 일정하고 부피가 줄어들어 충돌수가 많아지므로

S9: 외부 압력이 커지면서 부피가 감소해 기체 분자들의 거리가 짧아졌기 때문이다.

이러한 중학생들은 압력에 의해 기체의 부피가 줄어드는 것에 초점을 맞추기 보다는 충돌수가 늘어나는 것에 초점을 맞추고 있으며, 인과적 관계를 알기보다는 문제에서 주어진 그림의 해석에 치중하는 모습을 보였다.

그리고 보일의 법칙이 기체에 작용하는 압력과 부피 사이의 관계라는 것을 인지하지 못하고, 압력에 대한 내용이 나오면 모두 보일의 법칙으로 생각하는 경향이 있었다. 정답을 택하였다고 하더라도 그 이유를 알기보다는 단순히 배운 내용을 암기했기 때문에 그 이유를 적절히 밝히지 못하는 중학생들도 많이 있었다.

다음은 보일의 법칙에 대한 실생활 활용과 관련된 개념 문제 1-3(Fig. 2)에서 중학생들이 보일의 법칙과 관련된 실생활의 현상으로 하늘 높이 올라간 고무풍선이 터질 것이라고 정답을 선택한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

- S10: 고무풍선이 압력을 받아 터질 것 같아서
- S11: 밖의 압력이 커져서
- S12: 하늘 높이 올라가면 압력이 늘어나기 때문
- S13: 올라갈수록 압력이 커져서
- S14: 보일의 법칙은 부피와 압력과 관계가 있고, 반비례이기 이기 때문에. 보기 (5)는 압력이 높아지면 부피가 줄어들어 풍선이 터지는 반비례이기 때문이다.
- S15: 보일의 법칙은 온도와 압력의 상태가 반비례라서
- S16: 압력은 낮아지고 부피는 커져서
- S17: 위로 올라갈수록 외부 압력이 약해져 풍선 안 기체의 부피가 커지기 때문이다.
- S18: 주변에 누르는 공기가 사라져서

이러한 중학생들은 하늘 높이 올라간 풍선이 터지는 이유로 외부의 압력이 작아지기 때문으로 생각하기보다 하늘 높은 곳에선 풍선을 누르는 압력이 커지기 때문으로 생각하는 것이다. 이는 중학생들이 하늘 높이 올라갈수록

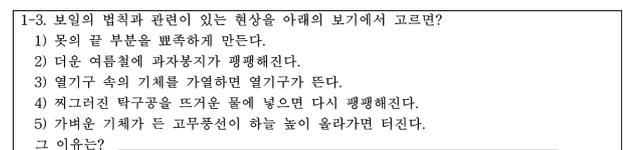


Fig. 2. Conceptual problem on Boyle's law of 1-3.

대기 압력이 작아진다는 것을 모르기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

다음은 보일의 법칙에 대한 개념 문제 1-3(Fig. 2)에서 보일의 법칙과 관련된 현상을 단순히 압력이라는 것에만 초점을 맞추어 비과학적인 답인 “못의 끝 부분을 뾰족하게 만든다”를 선택하여 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

- S19: 접촉 면적을 좁게 하기 때문에
- S20: 압력을 가해서 망치로 부수는 것이라서
- S21: 닿는 면적이 좁으면 압력은 커진다는 내용이기 때문에
- S22: 보일의 법칙은 압력인데, 이 보기가 압력에 대해 나왔다.
- S23: 끝을 뾰족하게 하니까 압력이 끝까지 모아져서 박기가 쉬울 것 같아서
- S24: 끝부분의 압력을 세게 하여
- S25: 압력과 관계가 있어서
- S26: 못의 끝은 부피가 작게 해 압력을 크게 했기 때문에 압력과 부피에 관련되어 있어 보일의 법칙과 관련이 있는 현상이다.

보일의 법칙은 온도가 일정할 때 기체에 작용하는 압력과 부피사이의 관계를 밝히는 것으로,  $압력(P) \times 부피(V) = 일정(k)$ 이라는 공식으로 표현하기도 한다. 이 공식은 비교적 간단한 형태를 보이기 때문에 중학생들이 비교적 잘 기억하고 있었다. 그러나 이를 그래프에서 적용하는 것에는 어려움을 겪고 있었다. 하지만 이를 표로 제시한 수리 문제에서는 쉽게 적용하는 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 그래프를 이용한 문제에 대한 중학생들의 친숙도가 낮기 때문인데, 중학생들은 문제를 해결하는데 있어서 그 문제에 대한 친숙도와 자신감 및 선호도가 중요한 영향력을 미치게 되기<sup>21</sup> 때문이다.

보일의 법칙에 대한 수리 문제 2-1, 2, 3(Fig. 3)은 압력, 부피,  $압력 \times 부피$ 를 표로 제시한 것이다. 다음은 보일의 법칙에 대한 수리 문제 2-1, 2, 3을 개념이나 표에서 보이는 경향성으로 문제를 해결하려는 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

- S27: 1.0 다음 숫자가 2.0이므로
- S28: 압력이 높을수록 부피는 줄어들기 때문에
- S29: 숫자가 제일 작아서
- S30: 앞이 1.0 atm이고, 뒤가 2.5 atm이기 때문
- S31: 압력과 부피의 곱은 일정하기 때문에
- S32: 25.0 → 20.0 → 15.0 → 10.0으로 생각해서

다음은 일정한 온도에서 압력을 변화시켰을 때 어떤 기체의 부피 변화를 나타낸 표이다.

압력(atm)	1.0	(가)	2.5	4.0	
부피(mL)		25.0		(나)	10.0
압력 × 부피(atm · mL)			50.0		(다)

2-1. (가)의 값은 얼마인가?  
 1) 2.0 atm    2) 2.5 atm    3) 3.0 atm    4) 4.5 atm    5) 5.0 atm  
 그 이유는? \_\_\_\_\_

2-2. (나)의 값은 얼마인가?  
 1) 5.0 mL    2) 10.0 mL    3) 12.5 mL    4) 15.0 mL    5) 17.5 mL  
 그 이유는? \_\_\_\_\_

2-3. (다)의 값은 얼마인가?  
 1) 10.0 atm · mL    2) 30.0 atm · mL    3) 50.0 atm · mL  
 4) 80.0 atm · mL    5) 90.0 atm · mL  
 그 이유는? \_\_\_\_\_

Fig. 3. Algorithmic problem on Boyle's law of 2-1, 2, 3.

- S33: 규칙적으로 변해서
- S34: 2.5보다 작아야 하기 때문에

이러한 중학생들은 보일의 법칙이 표로 제시된 문제 상황에서  $압력(P) \times 부피(V) = 일정(k)$ 이라는 공식에 대입하여 문제를 풀기보다는 알고 있는 개념이나 표에서 보이는 경향성으로 문제를 해결하려는 모습을 더 많이 보인다. 이러한 것로부터 중학생들이 수리 문제에 대하여 두려움을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

다음은 샤를의 법칙에 대한 그림을 이용한 개념 문제 3-1(Fig. 4)에서 분자 수의 변화에 관심을 가지고 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

- S35: 수는 무조건 일정
- S36: 분자 수는 온도에 의해서 변하지 않는다.
- S37: 기체 분자 수는 온도, 부피 변화 등에 변하지 않기 때문에
- S38: 분자 수는 안변한다고 배운 것 같은데..
- S39: 기체 분자 수는 고유의 성질이기 때문에 감소하지 않는다.
- S40: 기체 분자 수는 아무리 변하고 싶어도 변하지 못한다.
- S41: 그 안에서 기체가 없어지지 않았기 때문에

3-1. 고무풍선을 불어 가지 달린 삼각 플라스크에 연결한 후, 이 플라스크를 얼음 속에 넣었다니 풍선의 크기가 줄어들었다. 이 때 삼각 플라스크 안에서 일어나는 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

1) 기체 분자 수가 감소한다.    2) 기체 분자의 압력이 감소한다.  
 3) 기체 분자 사이의 거리가 감소한다.    4) 기체 분자의 운동 속도가 감소한다.  
 5) 기체 분자의 충돌 횟수가 감소한다.  
 그 이유는? \_\_\_\_\_

Fig. 4. Conceptual problem on Charles's law of 3-1.

S42: 기체 분자를 추가하거나 감소시키지 않아서

S43: 밀폐된 공간에서 분자 수는 변하지 않아서

이러한 중학생들은 밀폐된 공간에서 온도가 변해도 기체의 분자 수나 질량은 변하지 않는다고 생각하거나, 밀폐된 공간에서 분자의 출입이 없다고 생각하는 것보다 분자 수는 변하지 않는다거나 줄어들지 않는다는 식으로 암기하는 것이다.

다음은 샤를의 법칙에 대한 그림을 이용한 개념 문제 3-1(Fig. 4)에서 풍선의 부피 변화에 관심을 가지고 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

S44: 풍선에 있던 기체가 줄어들어서 풍선의 크기가 줄어든 것이기 때문

S45: 기체 분자의 충돌회수는 증가할 것 같아서

S46: 풍선 안에 있던 공기가 줄어들어 압력이 감소한다.

이러한 중학생들은 샤를의 법칙에서 온도에 의해 풍선의 부피가 줄어든 것을 보고 기체의 양이 줄어들었다고 생각하거나, 또는 보일의 법칙과 혼동을 일으켜 풍선의 부피가 줄어들기 때문에 충돌수가 증가할 것이라 생각하는 것이다.

다음은 샤를의 법칙에 대한 그림을 이용한 개념 문제 3-1(Fig. 4)에서 온도와 분자의 운동속도에 대해 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

S47: 다 같은 속도로 움직일 것 같아서

S48: 온도가 낮으면 기체 분자의 수가 줄어들기 때문에 분자의 운동속도가 감소한다.

S49: 기체의 온도가 감소하면서 기체 분자의 수는 똑같지만 분자 운동이 느려진다.

이러한 중학생들은 온도가 낮아지면 분자의 운동이 느려진다고 생각하거나, 또는 그 이유에 대해서는 생각하지 못한 것이다. 그리고 온도에 의해 분자의 운동 에너지가 결정되어 운동 속도가 변한다는 것을 알고 있는 중학생은 극소수에 불과하였다.

샤를의 법칙에 대한 그래프를 이용한 개념 문제 3-2(Fig. 5)에서 섭씨온도에 따른 기체의 부피 그래프의 기울기인  $\frac{1}{273}$ 은 기체의 열적 팽창 계수로, 이 그래프를 외삽하면 부피가 0인 온도  $-273^{\circ}\text{C}$ 를 찾아낼 수 있다.<sup>22</sup> 다음은 이에 대해 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

S50: 기체의 부피가 0 mL이면 없는 것이기 때문

S51: 온도가 낮아도 기체의 부피는 어느 정도 가지고

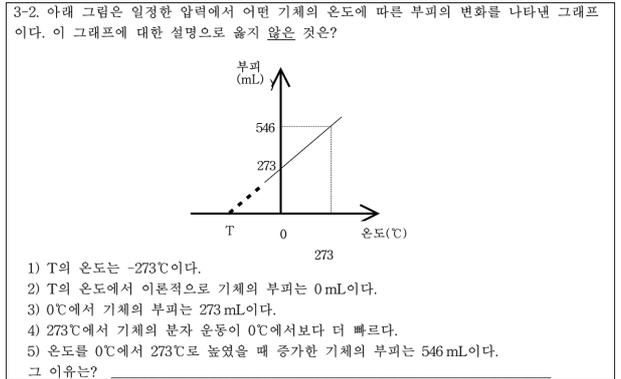


Fig. 5. Conceptual problem on Charles's law of 3-2.

있다.

S52: 온도가 내려가도 부피는 항상 가지고 있다.

S53: 이론적으로 하면 0 mL가 맞지만 모든 기체는  $-273^{\circ}\text{C}$ 가 되기 전에 상태변화를 해서 0 mL가 아니다.

이러한 중학생들은 기체의 부피가 이론적으로 0 mL가 될 수 없고, 아무리 낮은 온도에서도 기체는 부피가 존재한다고 생각하고 있으며, 그래프를 해석하기 보다는 알고 있는 개념에 끼워 맞추려는 경향을 보이고 있다. 그리고 중학생들은 자신이 가진 개념이 과학적 개념이기 보다는 비과학적 개념이나 대안 개념이기 때문에 그러한 생각에서 오는 혼동을 많이 가지고 있었다.

다음은 샤를의 법칙에 대한 실생활 활용과 관련된 개념 문제 3-3(Fig. 6)에서 샤를의 법칙을 온도와 부피의 변화로 단순하게 연관시켜 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

S54: 샤를의 법칙은 온도와 관련이 있는 것이기 때문에

S55: 온도 변화는 샤를의 법칙이다.

S56: 온도와 부피는 비례해서

S57: 온도가 높을수록 부피가 늘어나기 때문에

S58: 온도가 올라가서 부피가 커지는 현상이기 때문

이러한 중학생들은 샤를의 법칙을 단순히 온도가 증가할 때 부피가 증가하는 것과 관련된 법칙으로 생각하여 온도 및 부피와 관련된 현상을 모두 샤를의 법칙에 의한

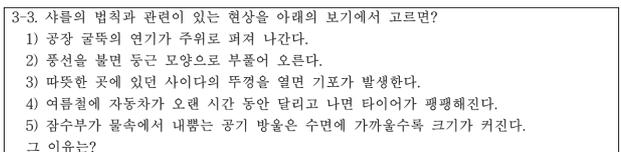


Fig. 6. Conceptual problem on Charles's law of 3-3.

것으로 생각하고 있다.

샤를의 법칙에 대한 수리 문제는 공식에서 다양한 변수를 구할 수 있도록 제시한 것이므로, 중학생들이 샤를의 법칙의 수리 공식에 대한 개념을 잘 알고 있다면 충분히 해결할 수 있는 문제이다. 그러나 중학생들은 샤를의 법칙 공식으로 증가한 온도에서 부피를 구하는 문제는 잘 해결하였으나, 증가한 부피나 온도를 구하는 문제는 어려워하였다. 이것은 중학생들이 개념의 이해 없이 공식을 외우고, 공식에 주어진 숫자를 기계적으로 대입하여 답만 구하는 문제 풀이에 길들여져 있기 때문으로 볼 수 있다. 이러한 것은 증가한 부피를 구하는 문제에서 전체 부피를 구하는 모습에서 두드러지게 나타났다.

수리 문제를 알고 있는 개념으로 해결하려는 모습은 샤를의 법칙의 수리 문제에서도 나타났는데, 온도가 높아지면 분자의 운동이 활발하기 때문에 부피가 증가한다는 개념을 알고 있는 중학생들은 높은 온도에서의 부피를 공식에 대입하여 구하기보다 보기에서 0에서의 부피보다 더 큰 부피를 골라 답을 선택하려고 하였다.

다음은 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 4-2(Fig. 7)에서 높은 온도에서의 부피를 공식이 아닌 개념적인 수준으로 응답한 중학생들이 적은 이유의 예들이다.

- S59: 273에서 늘어난 수는 373이기 때문에  
 S60: 온도를 높여주면 기체의 부피가 증가하는데 다른 답은 기체의 부피가 증가하지 않아서  
 S61: 온도를 높이면 부피는 커지니까

이러한 중학생들은 주어진 공식에 대입하여 문제를 해결하지 않고, 많은 문제에 대한 풀이 경험으로부터 문제 풀이 요령을 터득하여 문제에 대한 답을 선택하므로, 샤를의 법칙에 대한 과학적 개념을 제대로 가지고 있는지 알 수가 없다.

대부분의 화학개념은 물질의 입자적 성질이라는 개념으로 설명되는데, 입자는 감각기관을 통해 확인하지 못하는 추상적인 개념인 반면, 중학생들은 감각기관으로 받아들인 정보에 의존하므로 물질의 입자적 성질을 이해하는데 어려움을 겪게 된다.<sup>23</sup> 이러한 이유로 중학생들은 화학개념에 대해 비과학적인 개념을 많이 가지고 있는 것이다. 하지만 교사들이 생각하는 비과학적인 개념의 유형은 실제 중학생들이 가지고 있는 비과학적인 개념과 차이가 있었으며, 중학생들의 비과학적인 개념을 인지하지 못하

4-2. 0°C, 1 atm에서 부피가 273 mL인 기체가 있다. 이 기체의 온도를 100°C로 올려 주었을 때 기체의 부피는 몇 mL가 되겠는가? (단, 압력은 일정하다.)  
 1) 10 mL      2) 100 mL      3) 173 mL      4) 273 mL      5) 373 mL  
 그 이유는?

Fig. 7. Algorithmic problem on Charles's law of 4-2.

는 교사들은 수업에서 중학생들이 비과학적인 개념을 표출하더라도 이를 인식하지 못하게 되고, 결국 잘못된 선 개념을 토대로 새로운 비과학적인 개념을 형성하게 한다고 하였다. 그렇기 때문에 교사는 중학생들이 가지고 있는 비과학적인 개념을 파악하고 올바른 과학적인 개념으로 정립하도록 돕는 역할이 매우 중요하다.<sup>24,25</sup>

물질의 입자 개념은 화학의 주요 내용을 이해하는데 기본이 되는 중요한 개념이지만, 일상의 거시적인 세계에 익숙한 대다수의 중학생들은 미시적 수준으로 제시되는 물질의 입자 개념을 이해하고 사용하는데 어려움을 느끼고 있다.<sup>26,27</sup> 그러므로 눈에 보이지 않는 입자를 다루는 화학개념을 올바르게 정립하기 위해서는 다양한 수업 전략이 필요하며, 그림 그리기와 그림 분석하기와 같은 수업은 강의와 교과서 위주의 수업에 비해 효과적인 교수-학습 방법이 될 수 있다.<sup>28</sup> 또한, 애니메이션이나 모형 등 시각자료를 이용하는 것도 효과적일 수 있다.<sup>29</sup>

교사 위주의 수업 보다는 학생 주도적 학습 활동에 의한 상호작용이 중학생들의 화학 개념 학습에 도움을 줄 수 있을 것이다.<sup>30</sup> 또한, 중학생들 사이의 논의 과정을 강조한 교수-학습 전략이 중학생들의 과학 개념 이해에 효과적이고, 특히 구체적 조작기 중학생들에게는 긍정적인 영향을 미칠 수 있으므로,<sup>31</sup> 중학생들의 상호작용을 강조할 수 있는 교수-학습 전략의 개발이 필요한 것이다.

## 결론 및 제언

중학교 1학년 과학에 제시된 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 중학생들의 개념 문제와 수리 문제에 대한 해결력을 인지수준과 배경 특성에 따라 비교 분석하고, 기억 보유 효과와 어떠한 개념을 가지고 문제를 해결하는지를 알아본 연구의 결론과 제언은 다음과 같다.

첫째, 중학교 1학년 학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교에서 개념 문제 해결력이 수리 문제 해결력보다 높았다. 이는 2007 개정 교육과정에서 수학적 공식 보다는 개념과 탐구 중심의 학습을 강조하기 때문에 중학생들이 수리 문제를 접할 기회가 적었기 때문이다. 과도기나 형식적 조작기의 중학생들은 보일의 법칙에서 수리 문제 해결력이 개념 문제 해결력보다 높았는데, 이는 이들 중학생들이 표로 제시된 보일의 법칙의 수리 문제에 쉽게 적응했기 때문으로 보인다. 그러나 이들도 역시 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결에서 어려움을 겪으므로, 이에 대한 교수-학습이 더 전략적으로 이루어져야 할 것이다. 그러므로 이를 위한 교수-학습 전략에 대한 후속 연구가 필요하다.

둘째, 중학생들의 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결

력에 대한 기억 보유 효과 분석에서 구체적 조작기의 중학생들은 실질적인 기억 보유 효과가 없었는데, 이는 이 학생들이 논리적 사고력이나 비례논리가 부족하여 복잡한 수리 문제 해결을 미리 포기하고 우연에 의해 답을 선택했기 때문이다. 그러나 과도기의 중학생들은 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 보일의 법칙에 대한 수리 문제 해결력에 기억 보유 효과가 있었다. 이것은 샤를의 법칙에 대한 개념 문제는 보일의 법칙에 대한 개념 문제보다 논리적 사고력이 더 필요하기 때문이며, 보일의 법칙에 대한 수리 문제는 표로 제시되어 있어 이 학생들이 쉽게 해결 할 수 있었기 때문이다. 그리고 이 학생들은 수리 공식을 단순히 외워 수리 문제를 해결하기 때문에 수리 공식의 쉬운 망각으로 샤를의 법칙에 대한 수리 문제 해결력에서는 기억 보유 효과가 없었다. 한편, 형식적 조작기의 중학생들은 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 모든 부분의 문제 해결력에서 기억 보유 효과가 있었는데, 이는 이 학생들이 문제 해결에 대한 논리적 사고력을 가지고 있기 때문이다.

따라서 과학 교육 현장에서 인지수준이 낮은 중학생들에게 새로운 과학적 법칙이나 개념을 학습 시킬 때는 표나 그림과 같은 방식을 사용하여 기존의 학습 내용과 연결 짓는 교수-학습 방법으로 수업 내용을 구성하여 중학생들의 기억 보유 효과를 향상시켜야 할 것이다.

셋째, 중학생들의 배경 특성에 따른 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 비교에서 사교육이 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력 향상에 통계적으로 유의미한 효과가 없었지만, 과학 활동에 경험이 있는 중학생과 과학 관련 진로를 희망하는 중학생들은 그렇지 않은 중학생들에 비해서 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력이 통계적으로 유의미하게 높았다. 따라서 단순 암기와 문제 풀이의 훈련으로 이루어지는 사교육보다는 중학생들에게 문제 상황을 주고 스스로 생각하여 해결 할 수 있게 함으로써 과학적 및 논리적 사고력을 키울 수 있는 환경 조성이 중학생들의 문제 해결력에 더 큰 도움이 되므로, 이를 교육 현장에서 활용할 필요가 있다.

넷째, 중학생들이 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제와 수리 문제를 해결할 때 사용한 개념들을 분석해본 결과, 대부분의 중학생들이 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 과학적인 개념을 이해해서 문제를 해결하기보다 문제의 제시 양식이나 법칙과 관련된 현상, 단순한 암기나 문제 풀이 요령 등으로 문제를 해결하는 모습을 보였다. 그리고 많은 중학생들이 문제 해결 과정에서 비과학적인 개념들을 사용하고 있으므로, 과학 교사는 중학생들이 가지고 있는 비과학적인 개념을 파악하여 올바른 과학적인 개념으로 정립할 수 있도록 돕는 역할을 중요

하게 생각해야 한다.

이상의 결론으로부터 알 수 있듯이 중학교 1학년 학생들의 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 대한 개념 문제 해결력과 수리 문제 해결력은 인지적인 교육만 강조하는 교수-학습 방법보다는 과학 활동 경험이나 과학 관련 진로 교육과 같은 정의적인 교수-학습 방법에 더 긍정적인 영향을 받으므로, 이들 법칙과 관련된 다양한 경험과 발표, 토의, 실험 활동 등과 같은 능동적인 수업 환경 조성과 더불어 중학생들이 미시적 수준으로 제시되는 과학적 개념을 올바르게 정립할 수 있도록 그림 그리기와 그림 분석하기 및 애니메이션이나 모형 등 시각자료를 이용하는 다양한 교수-학습 전략이 필요하다.

## REFERENCES

1. Noh, T. H.; Kang, H. S.; Jeon, K. M. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2004**, *24*, 320.
2. Jang, N. H.; Kim, G. S.; Ryu, H. I. *J. Kor. Chem. Soc.* **2005**, *49*, 407.
3. Noh, T. H.; Kang, H. S.; Jeon, K. M. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2005**, *25*, 79.
4. Cracolice, M. S.; Deming, J. C.; Ehlert, B. *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, 873.
5. Zoller, U.; Dory, Y. J.; Lubezky, A. *Intern. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 185.
6. Nurrenbern, S. C.; Pickering, M. *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, 508.
7. Sawrey, B. A. *J. Chem. Educ.* **1990**, *67*, 253.
8. Nakhleh, M. B.; Mitchell, R. C. *J. Chem. Educ.* **1993**, *70*, 190.
9. Ministry of Education, Science and Technology, *2009 Science Curriculum*: Seoul, Korea, 2009.
10. Ministry of Education, Science and Technology, *2007 Science Curriculum*: Seoul, Korea, 2009.
11. Choi, W. H.; Jeong, E. Y. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2008**, *28*, 848.
12. Choi, Y. J.; Lee, W. S.; Choi, B. S. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **1985**, *5*, 1.
13. Kim, T. S.; Bae, D. J.; Kim, B. K. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2002**, *22*, 725.
14. Kim, Y. J.; Moon, S. J.; Kang, H. S.; Noh, T. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2009**, *29*, 168.
15. Costu, B. *J. Sci. Educ. Tech.* **2007**, *16*, 379.
16. Noh, T. H.; Lim, H. J. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **1996**, *16*, 278.
17. Park, D. C.; Song, J. W. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2009**, *29*, 593.
18. Wellington, J. *Phy. Educ.* **1990**, *25*, 247.
19. Lee, J. Y.; Kim, H. B.; Ju, E. J.; Lee, S. Y. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2009**, *29*, 934.
20. Yoon, J.; Pak, S. J.; Myeong, J. O. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2006**, *26*, 675.

21. Reid, N.; Yang, M.-J. *Res. Sci. Tech. Educ.* **2002**, *20*, 83.
  22. Shakhshiri, B. Z. *Chemical Demonstrations, Vol. 2*; The University of Wisconsin Press: Wisconsin, U.S.A., 1985; p 32.
  23. Ardac, D.; Akaygun, S. *J. Res. Sci. Teach.* **2004**, *41*, 317.
  24. Park, J. A.; Han, S. J.; Noh, T. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2010**, *30*, 42.
  25. Jang, M. D. *J. Kor. Soc. Elem. Sci. Educ.* **2010**, *29*, 32.
  26. De Vos, W.; Verdonk, A. H. *J. Res. Sci. Teach.* **1996**, *33*, 657.
  27. Lin, H.; Cheng, H.; Lawrenz, F. J. *Chem. Educ.* **2000**, *77*, 235.
  28. Han, J. Y.; Lee, J. Y.; Keack, J. H.; Noh, T. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2006**, *26*, 9.
  29. Sanger, M. J.; Campbell, E.; Felker, J.; Spencer, C. J. *Chem. Educ.* **2007**, *84*, 875.
  30. Kim, K. S.; Kim, S. Y.; Lee, J. M.; Noh, T. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2007**, *27*, 394.
  31. Kang, S. M.; Kwak, K. H.; Nam, J. H. *J. Kor. Assoc. Sci. Edu.* **2006**, *26*, 450.
-