

# 교과서 실험 종류에 따른 중3 학생들의 “일정성분비의 법칙”에 관한 이해도 비교

한유화 · 이민숙 · 백성혜\*

천안공업고등학교 · 광양제철중학교 · 한국교원대학교

## Comparison of 9th Grade Students' Understanding According to Experiments on the “Law of Definite Proportions” in Science Textbooks

Han, Yuhwa · Lee, Minsook · Paik, Seounghey\*

Cheonan Technical High School · Gwangyang Jecheol Middle School · Korea National University of Education

**Abstract:** In this study, students' thoughts were searched according to the types of experiments related to the “law of definite proportions” in 9th grade science textbooks. The most common four types of experiments in textbooks were selected and analyzed for this study. It was found that the experiments needed various preconceptions and complex inferring process by students. But most of the students could not catch the concept understanding desired from the experiments. They just perceived simple observation from their senses. These phenomena were common regardless of types of experiments. These means that the level of preconceptions and inferring process for the interpretation of the experimental data did not match with students' level of thoughts. The goals of the experiments in science textbooks are to increase students' inquiry ability, and to acquire science concepts by themselves from the experiment results. But if the contents of experiments are not suitable to students' understanding level, the educational effects of the performance of these experiments were not positive. Therefore, these experiments need contents revisions for students to acquire the concept related to the “law of definite proportions” by themselves.

Key words: 9th grade, experiment, law of definite proportions, science textbook, students' understanding

### I. 서 론

실험이란 자연 현상에 통제를 가함으로써 나타나는 현상이나 결과를 관찰함으로써 비교적 제한된 장면에서 타당하고 논리적인 결론을 도출해 나가는 과정으로 과학교육에서는 매우 중요한 활동이라고 할 수 있다(최돈형, 1990). 따라서 과학 학습 지도에서 꼭 필요한 방법 중 하나는 실험 수업이며, 학교 교육 현장에서는 실험을 통하여 과학 개념의 이해를 높이고 탐구 과정의 습득 및 과학적 호기심 유발을 도와줄 수 있다고 생각하여 왔다(Bybee & DeBoer, 1994; Nott, 1997; Shulman *et al.*, 1973; White, 1996). Bybee (2000)는 실험을 통해 학생들은 과학 개념이나 기능 등을 효율적으로 습득할 수 있다고 주장하였으며,

Lazarowitz와 Tamir(1994), Bryce와 Robertson(1985) 등은 학생의 흥미 및 동기 유발에 실험 수업이 매우 효과적이라고 주장하였다. 그 외에도 실험 수업은 여러 가지 측면에서 학습의 효과를 증진한다는 연구 결과들(최병순, 1988; Hart *et al.*, 2000; Hofstein & Lunetta, 1982; Tobin, 1990)이 여러 편 제시되고 있다.

특히 물질의 성질과 변화를 다루는 화학은 실험실에서 직접 물질을 섞어주고 변화를 측정하며 그 이유를 추론하는 방식으로 접근하는 교육이 보편적이기 때문에 중등학교에서는 다양한 형태의 실험 수업을 도입하고 있다. 이와 관련하여 Friedler와 Tamir(1990)은 학생들이 과학을 배울 때 실험을 해야 하는 이유로, 과학은 매우 복잡하고 추상적인 과목이라는 점, 탐구 능력과 지적 기능을 발달시키는 능동적인 활동

\* 교신저자: 백성혜(shpaik@knu.ac.kr)

\*\* 2006.08.30(접수) 2006.11.21(1심통과) 2006.12.26(2심통과) 2007.01.27(최종통과)

에의 참여는 탐구 교육 과정의 필수적인 요소라는 점, 실험은 문제 해결, 분석, 일반화, 비판적 사고, 적용, 종합, 평가, 의사 결정, 창의성과 같은 인지적 능력의 발달을 촉진한다는 점, 실험은 다양한 종류의 기술을 발달시킨다는 점, 학생들은 실험을 좋아하며, 실험은 지나치게 사소하거나 너무 어렵지 않고 의미 있는 경험이 될 수 있는 기회를 제공한다는 점 등을 들었다. 또한 실험 중심 수업을 통해 학생들이 현재 가지고 있는 과학 지식을 증진하고 그들의 지적이고 심미적인 이해를 높일 수 있다고 제안하였다.

그러나 이와는 반대로 교육 현장에서 이루어지고 있는 실험 수업이 다양한 요인에 의해 본래 의도하였던 교육적 목적을 달성하지 못하고 있다고 지적한 연구들도 여러 편 있다. Stake와 Easley(1978), Tobin과 Gallagher(1987) 등의 연구에 따르면, 실험 활동은 학생들의 학습이나 과학의 이해에 큰 도움을 주지 못하는 것으로 나타났다. Hodson(1996)은 실험 수업의 유형이 적절하지 못함으로 인해 학생들에게 오히려 많은 혼란을 줄 수 있다는 점을 경고하였고, Hofstein과 Lunetta(2004)는 실험의 내용과 실제 수업이 일치하지 않거나, 요리책식의 수업 전개, 평가의 부재 등의 문제로 인해 실험 수업의 교육적 목적이 제대로 달성되지 못하고 있다고 주장하였다. 또한 Tobin(1986)은 실험 수업의 비효율적인 진행 원인으로 교사의 실험 안내 및 설계에 대한 이해 부족을 꼽았다. Hodson(1990), Millar 등(1998)도 수업의 목표를 달성하기에 적합한 실험을 선택하는 교사의 능력이 실험 수업의 성공에서 중요한 요인이라고 보았다. 그 외에도 여러 가지 다양한 요인으로 인해 학생들은 실험을 수행하면서 교사나 교과서가 원하는 방향의 교육적 효과를 얻지 못하고, 결국 교사가 실험을 통해 자신이 가르치고자 하는 결론을 주입하는 학습이 보편적으로 이루어지고 있다는 주장들이 많은 연구(Nott & Smith, 1995; Nott & Wellington, 1996; White, 1996)에서 제안되었다. 이렇게 실험 수업이 비효율적인 교육 효

과를 나타낸다면, 학생들은 과학을 이해하지 못하고 어려워하거나 암기하는 방식으로 받아들이게 될 가능성이 높다.

이러한 연구 결과들이 가지는 교육적 함의를 고려할 때, 우리가 학교 수업에서 제시하는 실험의 내용과 전개 방식을 통해 수요자인 학생들이 제대로 교육적 목적을 달성해 나갈 수 있는지, 다시 말해서 의도된 교육과정이 과학 교과서에 제시된 실험의 수행 과정을 통해 제대로 구현되고 있는지에 대한 점검이 이루어질 필요가 있다고 본다. 특히 학생들이 학습에 어려움을 겪는 단원의 내용을 통해서 이러한 문제를 점검해 보는 것은 의미 있는 일이라고 생각한다. 이 연구에서는 제6차 교육과정에서는 중학교 2학년에 수록되었던 내용이지만, 보편적으로 학생들이 어려워한다는 인식이 많음에 따라 제7차 교육과정에서는 중학교 3학년으로 이동하여 제시되었던 중학교 9학년 과학 교과서의 ‘물질 변화의 규칙성’ 단원에 수록된 일정성분비의 법칙을 확인하는 실험을 중심으로 다양한 교과서의 실험 종류에 따라 학생들의 이해 정도에 어떠한 차이가 발생하는지 알아보고, 실험 수업을 통해 의도하였던 교육적 효과가 제대로 발현되는지를 알아보았다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 실험 종류 분석

이 연구를 위해 제 7차 교육과정에 근거하여 개발된 중학교 3학년 과학 교과서 9종의 내용을 분석하였다. 교과서의 내용은 대부분 실험을 제시하고, 이를 근거로 개념을 도입하는 방식으로 전개되어 있었으며, 일정성분비의 법칙을 알아보기 위하여 제시된 실험은 대략 6종류였다. 그 중에 학생들이 직접 해보는 실험이 아닌 시범 실험 등의 내용을 제외하고 학교 현장에서 보편적으로 이루어지는 4종류의 실험을 선정하였다(표 1). 그리고 이 실험을 수행한 학생들의 이해 정도를 비교하여 알아보았다.

표 1

일정성분비의 법칙을 확인해 보는 중학교 3학년 과학 교과서 실험 내용

실험 종류	실험 재료	실험에 대한 설명
요오드화납 생성반응	질산납 수용액, 요오드화칼륨 수용액	일정량의 질산납 수용액에 요오드화칼륨 수용액의 양을 변화시켜 넣음으로써 생성되는 요오드화납의 노란색 양금 높이 변화를 관찰
탄산칼슘 생성반응	염화칼슘 수용액, 탄산나트륨 수용액	일정량의 염화칼슘 수용액에 탄산나트륨 수용액의 양을 변화시켜 넣음으로써 생성되는 탄산칼슘의 흰색 양금 높이 변화를 관찰
수소기체 생성반응	염산, 마그네슘	일정량의 염산에 마그네슘의 양을 변화시켜 발생한 수소의 양을 풍선의 부피 변화로 관찰
산화구리 생성반응	구리, 산소	구리의 양을 변화시키면서 가열하여 산소와 반응시킨 후 생성물의 질량을 측정하고, 구리와 반응한 산소의 질량을 계산

2. 연구 대상 및 자료 수집

연구 대상으로는 전남의 중소도시에 소재한 중학교에서 9학년 남·여 합반으로 구성된 8개 학급 260명을 선정하였다. 4가지 실험 종류 중에서 각각 하나의 종류를 선정하여 2개 학급씩 투입하여 수업하고, 실험 후 학생들이 작성한 보고서를 수집하여 분석하였다. 수업을 지도한 교사는 교직 경력 9년의 여자 교사 1명이다.

4종류의 실험을 학생들이 수행하기 전에 교사는 일정성분비의 법칙에 관한 교과서 내용을 먼저 수업하였고, 교과서에 제시된 실험 순서를 가능한 그대로 따르도록 지시하였다. 그리고 관찰하는 반응을 나타나는 화학변화를 교과서 수준으로 간단히 설명하였다. 예를 들면 ‘요오드화칼륨 + 질산납 → 요오드화납(양금) + 질산칼륨’이라는 내용을 제시하였다. 이 학년까지는 이온의 개념이 도입되지 않기 때문에 학생들에게 이온단이나 수용액 속에 해리된 이온을 도입하여 정확하게 표현하는 것에는 무리가 따르므로, 현 7차 교육과정에서 요구하는 수준으로 학습을 진행하였다.

내용을 설명하고 실험을 하는 경우와 실험을 한 후에 내용을 정리하는 방식의 차이에 따라 학생들의 이해도에 차이가 발생할 수 있으나, 선행 연구(정성자, 백성혜, 2006)에서 교사들이 보편적으로 수업하는 방식이 내용을 설명하고 실험을 하는 형태였으므로 이 연구에서는 이러한 방식으로 수업을 진행하였다.

실험 보고서는 주로 교과서에 제시된 실험의 과정과 결과에 대해 기록하도록 작성한 점에서 기존의 실험 보고서와 크게 다르지 않았다. 그러나 학생들의 사고의 깊이를 알아보기 위하여 몇 문항을 추가하였다. 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응의 경우에는 두 용액을 섞고 양금의 높이가 일정해진 후의 반응에서 양금 외에 용액 속에 들어 있는 물질 등에 대해 작성하도록 하여 학생들의 사고를 알아보았다. 또한 실험을 통해 양금의 높이가 일정해지는 규칙성을 발견할 수 있었는지에 대해 물어보았다. 수소기체 생성반응의 경우에는 용액 대신에 두 물질을 섞었을 때 기체 외에 플라스크에 남은 물질이 무엇인지 물어보는 문항으로 바꾸었으며, 기체의 부피가 일정해지는 규칙을 발견할 수 있는지 물어 보았다. 산화구리 생성반응에서는 요오드화납 생성반응, 탄산칼슘 생성반응이나 수소기체 생성반응에서 요구하는 추론 과정이 필요하지 않았으므로, 반응 후 플라스크 안에 혹은 용액 안에 남은 물질에 대한 질문은 제외하였다. 이 실험에서는 반응물을 일정하게 제한하지 않기 때문에 반응하는 구리의 양과 산소의 양이 계속 증가하는데 이러한 결과로부터 질량비의 규칙성을 찾아낼 수 있

는지 질문하였다. 그리고 모든 종류의 실험 보고서에서는 마지막으로 실험을 하면서 궁금한 점 등을 자유롭게 적도록 하였다.

III. 연구결과 및 논의

1. 실험 결과에 대한 이해 수준 비교

일정성분비의 법칙을 추론하기 위해서 요오드화납 생성반응, 탄산칼슘 생성반응과 수소 기체 생성반응에서는 두 물질 중 한 물질의 양을 일정하게 유지한 후 다른 물질의 양을 변화시켜가며 반응시킬 때 나타나는 결과를 관찰하고 그래프로 작성하도록 하였다. 산화구리연소반응의 경우에는 구리 가루의 질량을 다르게 하여 연소시킨 후 구리와 반응한 산소의 질량을 계산하여 역시 그래프로 작성하도록 하였다. 실험 결과를 통해 학생들은 실험 종류별로 어떻게 해석하고 어떤 수준으로 이해하는지 알아보기 위해 ‘반응시키면 어떤 변화가 일어나는가?’라는 항목의 질문에 답하도록 하였다.

표 2에 의하면, 대부분의 학생들은 실험 결과를 통해 단순한 관찰 사실 이상을 이해하지 못하는 것으로 나타났다. 이 항목으로 분류된 학생들은 주로 “노란색으로 변한다.”, “기체가 발생한다.”, “색이 변한다.”, “금속이 녹는다.”, “퐁선이 부풀어 오른다.”, “냄새가 난다.” 등과 같은 오감을 통한 관찰 결과에 해당하는 응답을 하였다. 이는 가장 낮은 수준의 실험 결과에 대한 이해라고 할 수 있다. 비교 관찰 수준으로 이해하는 비율은 연소반응의 경우에 18.2%로 가장 높았다. 이 항목의 응답유형에는 “질량이 증가한다.”, “산소와 결합하여 부기워진다.”, “마그네슘의 양이 많을 수록 기체가 많이 생긴다.” 등과 같이 실험을 통해 나타난 결과에 대한 해석에서 변인에 따른 종속적 변화를 인식하는 수준으로 응답하는 것에 해당된다. 이는 단순 관찰 수준보다는 위계적으로 볼 때 더 높은 수준이라고 할 수 있으나, 교육과정에서 요구하는 수

표 2 실험 결과에 대한 이해 정도 비교

응답유형	응답수(%)			
	요오드화납 생성 반응	탄산칼슘 생성반응	수소기체 생성반응	산화구리 생성반응
단순 관찰	50(78.1)	61(95.3)	46(70.0)	50(75.8)
비교 관찰	5 (7.8)	1 (1.6)	6 (9.0)	14(18.2)
규칙성 발견*	4 (6.3)	1 (1.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
기타	5 (7.9)	0 (0)	14(21.2)	3 (4.5)

\* 교육과정에서 요구하는 이해 수준

준은 규칙성을 발견하는 수준이므로 이보다 더 높은 수준을 학생들에게 요구한다고 할 수 있다. 규칙성을 발견하는 수준은 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응에 참가한 학생들 중에서만 관찰되었다. 이 항목으로 분류된 학생들은 주로 “양금의 높이가 처음에는 증가하다가, 나중에는 일정해진다.”라는 응답을 하였다. 그러나 이러한 응답 비율은 6.3%, 1.6% 정도로 매우 낮았다. 그러나 수소기체 생성반응이나 산화구리 생성반응의 경우에는 규칙성을 이해하는 학생이 한 명도 없었다. 따라서 일정성분비의 법칙에 관련된 교과서의 다양한 실험들은 학생들이 물질 반응의 규칙성을 이해하기에는 적절하지 않다고 볼 수 있다.

수소기체 생성반응의 경우에는 기타에 해당하는 응답 중에서 많은 학생들이 ‘풍선이 열에 의해 부풀어 오르는 것’으로 생각하는 오개념을 갖고 있었다. 이 실험의 결과를 해석하는데 매우 중요한 아보가드로 법칙의 전제 조건인 ‘일정한 온도와 압력’에 대한 개념이 학생들에게 없음을 알 수 있다. 또한 이 실험 결과를 수소가 발생하는 화학변화로 이해하지 못하고 열에 의한 공기의 부피 팽창이라는 물리적 변화로 이해하고 있음을 알 수 있었다.

산화구리 생성반응의 경우에는 연소가 일어날 때 구리와 반응하는 산소 기체의 질량이 매우 작기 때문에 중학교 실험실 여건에서 실험적 오차가 매우 커서 심지어 구리의 질량이 증가한 것이 아니라 약간 감소하는 것으로 관찰한 학생들도 4.5% 정도 있었다.

**2. 수용액 속에 남아 있는 물질에 대한 이해**

요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응, 수소기체 생성반응의 경우에는 학생들이 일정성분비의 법칙을 이해하기 위해 ‘반응물들이 일정량씩 결합하는 것’에 대한 인식이 있어야 한다. 실험을 통해 학생들이 이러한 이해를 할 수 있는지 알아보기 위해 일정량으로 통제된 물질보다 과량의 반응 물질을 가하여도 요오드화납, 탄산칼슘의 양이 더 이상 변화 없이 일정하게 나타나는 구간에서 ‘수용액 속에 들어 있는 것은 무엇인지’를 질문하였다. 수소기체 생성반응에서도 ‘기체 외에 플라스크에 남아있는 물질이 무엇인지’ 질문하여 학생들의 응답 결과를 표 3에 제시하였다. 연소 반응에 참여한 학생들의 경우에는 반응물 중 하나의 양을 통제하고 실험한 것이 아니므로 이 질문을 제시하지 않았다.

반응 후 수용액에 남아 있는 물질은 과량으로 넣어 준 물질과 요오드화납, 탄산칼슘 양금생성 또는 수소기체 생성에 직접 관여하지 않는 구경꾼 물질이라고

**표 3**  
반응 후 수용액에 남아 있는 물질에 대한 학생들의 이해

응답유형	응답수(%)		
	요오드화납 생성 반응	탄산칼슘 생성반응	수소기체 생성반응
과량으로 넣은 물질+구경꾼물질*	12(18.8)	12(18.8)	18(27.3)
과량으로 넣은 물질	8(12.5)	16(25.0)	31(47.0)
구경꾼 물질	12(18.8)	11(17.2)	6 (9.1)
기타	32(50.0)	25(39.1)	11(16.7)

\*교육과정에서 요구하는 이해 수준

이해하는 것이 현 교육과정에서 요구하는 수준이라고 할 수 있다.

요오드화납 생성반응의 경우에 정확한 답은 요오드화 이온, 칼륨 이온, 질산 이온이어야 하지만, ‘과량으로 넣은 물질 + 구경꾼 물질’의 항목으로 분류된 학생들의 응답은 ‘질소, 산소, 칼륨, 요오드’와 같이 이온과 원자단, 혹은 원소를 구분하지 못하는 경우(1.6%)와, ‘요오드화칼륨, 질산’, ‘질산칼륨, 요오드’, ‘요오드화칼륨, 질산칼륨’ 등과 같이 수용액 속에서 해리되어 있는 물질과 결합한 화합물을 구분하지 못하는 경우(17.2%)가 대부분이었다. 그리고 정확하게 이온의 개념으로 답한 경우는 한 명도 없었다. 탄산칼슘 생성반응과 수소기체 생성반응의 경우도 마찬가지였다.

또한 플라스크에 남아 있는 물질은 과량으로 넣어 준 반응물이라고 생각하는 학생들의 비율이 수소기체 생성반응에서 47.0%로 가장 높았다. 그러나 남아있는 물질이 과량으로 넣어준 반응물이라고 응답한 경우에는 양이 제한된 반응물과 과량으로 넣어준 반응물 사이에 일어나는 화학변화와 이로부터 생성되는 물질에 대한 이해가 없다고 할 수 있다. 이러한 이해 수준의 학생들이 수소기체 생성반응에서는 거의 절반에 가까웠으며, 탄산칼슘 생성반응의 경우에도 1/4 수준에 달한다는 점은 매우 큰 문제라고 할 수 있다.

**3. 실험 종류에 따라 나타난 학생 이해도 비교**

실험을 마친 후에 학생들이 자신이 했던 실험을 어느 수준으로 이해하고 있는지를 알아보기 위해 실험에서 가장 궁금했던 것, 더 알고 싶은 것, 어려웠던 것을 모두 적어보도록 하였으며, 이를 통해 실험 종류에 따라 학생들이 일정성분비의 법칙에 관련된 내용을 어느 정도 이해하고 있는지 알아보았다. 그 결과를 분석하여 표 4에 제시하였다.

표 4  
일정성분비의 법칙에 관련된 실험에 대한 학생들의 이해도 비교

	응답수(%)			
	요오드화납 생성 반응	탄산칼슘 생성 반응	수소기체 생성 반응	산화구리 생성 반응
화학반응에 대한 이해 부족	43(64.2)	22(33.4)	36(50.0)	36(60.0)
일정성분비에 대한 이해 부족	7(10.9)	11(15.2)	27(37.5)	6(10.0)
실험 오류로 인한 이해 부족	17(26.6)	21(32.8)	8(11.1)	8(13.3)
기타	3 (4.7)	6 (9.5)	1 (1.4)	5 (8.4)

실험을 통해 학생들은 반응에서의 규칙성을 찾아 화합물이 생성될 때 일정한 성분비로 생성된다는 것을 알아야 하지만, 많은 학생들은 자신이 실험한 반응 자체에 대한 이해마저도 부족한 상태라는 것을 알 수 있었다. 요오드화납 생성반응에서는 ‘왜 노란색 앙금이 생길까?’, ‘앙금의 화학식과 그 이름은?’, ‘앙금외의 물질 이름은 무엇인가?’ 등 64.2%의 학생들이 요오드화납 생성반응 자체에 대한 이해 부족으로 생기는 질문을 하였다. 수소기체 생성반응과 산화구리 생성반응에서도 ‘염산에 마그네슘을 넣었을 때 열이 생기는 이유는 무엇일까?’, ‘풍선이 부풀어 오르는 이유는 무엇인가?’, ‘구리의 색이 바뀌는 이유는?’, ‘구리를 가열하면 질량이 왜 증가하는가?’ 등 실험 결과 자체를 제대로 이해하지 못하는 질문이 각각 50.0%와 60.0%로 전체의 반 이상을 차지하였다.

일정성분비에 대한 이해 부족에 해당하는 질문 유형에는 ‘실험으로 어떻게 일정성분비의 법칙을 설명할 수 있을까?’, ‘두 용액의 부피를 바꾸어 실험하면 어떤 결과를 얻을 수 있는가?’ 등이 있었다. 이것은 자신들이 다른 실험을 통해 일정성분비의 법칙을 이해하지 못하였음을 의미하는 것이다. 특히 수소기체 생성반응의 경우에 이러한 비율이 37.5%로 매우 높았다. 수소기체 생성반응 실험을 한 후에 일정성분비의 법칙과 관련짓지 못한 학생들은 과량으로 넣어준 금속 마그네슘이 플라스크에 남아 있는 것을 보고 ‘플라스크에 마그네슘이 남는 이유는 무엇인가?’, ‘풍선의 크기가 증가하다가 일정해지는 이유는?’ 등 실험 결과를 통해 해석하거나 추론해야 할 내용에 대해 질문함으로써 이 실험이 일정성분비의 법칙을 이해하는데 도움을 주지 못하였음을 나타내었다.

실험의 결과가 의도한 대로 나오지 않아 관련 개념을 이해하는데 도움을 주지 못한 질문의 예로 ‘우리 조에서 실험한 결과 왜 앙금의 높이가 일정해지지 않는가?’, ‘앙금의 높이가 증가하다가 감소하다가 하는 이유는?’ 등의 질문이 있었다. 이러한 실험 오류로 인한 이해 부족에 해당하는 유형이 요오드화납 생성반응에서 26.6%, 탄산칼슘 생성반응에서 32.8%로, 수소기체 생성반응, 11.1%, 산화구리 생성반응 13.3%보다 많았다. 산화구리 생성반응에서는 구리를 가열할 때 질량 증가율이 매우 적고, 질량이 증가하지 않거나 오히려 감소하는 경우가 생겨 ‘구리를 가열했는데 왜 질량이 감소하는가?’, ‘구리를 가열할 때 정확히 언제까지 가열해야 하는가?’ 등의 질문이 나타났다.

실험의 결과를 가지고 일정성분비의 법칙을 해석하기 위해서는 다양한 사전 개념들과 복잡한 추론 과정이 필요하다. 예를 들어 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응의 경우, 한 반응물의 양을 일정하게 하고 다른 반응물의 양을 증가시키는 실험 설계를 통해 반응물 중 하나의 양이 한정되어 있다면 다른 반응물의 양이 증가하여도 생성물의 양은 어느 정도 이상 증가하지 못한다는 관찰 사실로부터 ‘화합물을 이루는 각 성분 원소의 질량비는 항상 일정하다’는 개념을 도출해야 한다. 이는 두 종류 이상의 물질이 서로 화학 반응을 할 때 그들 사이의 무게 비율이 일정하므로 반응 결과 생성된 화합물의 조성비도 항상 일정하다는 추론을 필요로 한다.

요오드화납 생성반응의 경우에는 요오드화칼륨이 화합물이고, 수용액 상태에서 요오드 물질과 칼륨 물질로 분리되어 존재한다는 사실을 알아야 한다. 또한 질산납 수용액의 경우도 질산이라는 물질과 납이라는 물질로 분리되어 존재한다는 사실을 알아야 한다. 수용액 안에서 분리된 물질 중에는 요오드와 납처럼 서로 만나게 되면 새로운 화합물이 형성되어 앙금으로 침전되는 경우도 있다는 것도 알아야 한다. 또한 수용액 안에서 왜 어떤 물질들은 만나서 화합물인 앙금이 되는데, 어떤 물질들은 화합물을 만들지 않는가, 등에 대한 근본적인 이해를 위해서는 정전기적 결합이 포함되는 이온의 개념이 필요하다. 그러나 중학교 3학년까지는 더 이상 쪼개지지 않는 가장 작은 입자인 돌턴의 원자와 다른 물질로 나누어지지 않는 기본 성분인 원소의 개념만을 다룬다. 따라서 일정성분비의 법칙을 이해하기 위해 도입하는 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응 실험에서 다루는 이온의 개념을 학생들이 도출하는 것은 어려운 상태이다. 이온의 개념은 국민공통기본교육과정의 마지막 학년인 고등학교 1학년이 되어서 비로소 원자의 구성 입자와 함께

배우게 된다. 따라서 수용액 속의 각 물질들이 서로 만나면 결합하거나 결합하지 않는 상황에 대해 추론하기 어렵다.

수소기체 생성반응의 경우에는 염산과 금속이 만나면 수소기체가 발생한다는 사실을 알고 있어야 한다. 이 내용은 초등학교에서부터 산의 성질 단원에서 다루는 내용이다. 그러나 이 실험은 생성된 화합물의 성분 원소의 질량비를 확인하는 과정이 아니라, 두 반응물로부터 만들어진 생성물인 수소 기체의 부피만을 확인한다. 따라서 부피비로부터 질량비를 추론하기 위해서는 ‘일정한 온도와 압력의 조건에서 모든 기체는 같은 부피 속에 같은 수의 입자를 포함한다.’고 하는 아보가드로의 법칙에 대한 이해가 전제되어야 실험 결과에 대한 해석이 가능하다. 이 실험을 제시할 때 아보가드로의 법칙을 도입하는 과정이 생략되어 있기 때문에 학생들이 생성물의 부피를 측정하여 질량비의 규칙성을 나타내는 일정성분비의 법칙을 도출하는 과정이 어려울 수 있다. 즉, 일정한 기체의 부피는 그 안에 일정한 수의 분자가 존재하는 것을 의미하며, 이 분자를 구성하는 원자의 질량비가 항상 같다는 것을 이로부터 추론하여야 한다. 또한 많은 기체 생성 반응의 경우에는 열과 압력의 변화가 동반되기 때문에 학생들이 온도와 압력이 일정하다는 가정을 수용하여 일정 성분비의 법칙을 추론하기가 어려울 수 있다. 또한 보다 정확하게 정의하자면, 수소기체는 화합물이 아니라 한 종류의 원소로 이루어진 물질이기 때문에, ‘화합물을 이루는 각 성분 원소의 질량비의 규칙성’을 확인하는 일정성분비의 법칙에는 적절하지 않은 물질이라고 볼 수 있다. 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응, 수소기체 생성반응의 경우에는 생성물인 화합물의 성분 원소 질량비를 확인하기 어렵기 때문에, 그 대신에 두 반응물이 일정량만 반응하는 것을 관찰하고 이를 통해 생성물의 성분 원소 질량비가 일정하다는 것을 추론하는 과정이 필요하다. 그러나 수소기체 생성반응의 경우에는 반응물 중에 마그네슘과 염소는 서로 만나서 앙금과 같은 새로운 화합물을 형성하지 않고 수용액 속에 그냥 분리되어 녹아 있는 상태이기 때문에 앙금생성 반응과 달리 반응물이 일정량만 반응하는 과정을 통해 일정성분비의 법칙을 추론하는 것이 더욱 힘들다.

산화구리 생성반응은 구리 가루의 산화 반응을 통해 생성된 산화구리의 질량을 측정하여 구리와 반응한 산소 기체만의 질량을 계산하고 이를 통해 구리와 산소가 항상 일정한 질량비로 반응하여 화합물을 생성한다는 것을 알게 하는 실험이다. 요오드화납 생성반응, 탄산칼슘 생성반응, 수소기체 생성반응에 비해

주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 반응이며, 반응 물질이 모두 한 종류의 화합물을 생성하기 때문에 성분 물질의 확인이 쉽다. 이 실험은 직접 생성물의 질량비를 계산하여 생성된 화합물을 이루는 각 성분 원소의 질량비가 항상 일정하다는 규칙성을 확인하기 때문에 반응물의 하나를 일정하게 두고, 다른 반응물의 질량을 변화시키면서 생성물의 양이 증가하다가 더 이상 증가하지 않는 과정을 통해 생성물을 구성하는 성분 원소의 비가 항상 일정하다는 추론을 할 필요가 없다. 또한 생성물의 부피로부터 질량을 추론하는 과정도 불필요하기 때문에 많은 사고 과정이 생략될 수 있다는 점이 장점이라고 할 수 있다. 그러나 반응하는 구리가 완전히 연소되지 않는 경우가 있기 때문에 결합한 산소의 질량을 측정할 값이 부정확할 수 있다는 문제가 있다. 또한 구리와 반응하는 산소 기체의 질량은 기체의 부피에 비해 매우 작기 때문에 중학교 실험실 여건을 고려해 볼 때 실험적 오차가 커서 반응의 규칙성을 확인하는 과정이 쉽지 않다는 단점도 있다.

#### IV. 요약, 결론 및 제언

이 연구에서는 제7차 교육과정 중학교 9학년 과학 교과서의 일정성분비의 법칙에 관한 실험들을 학생들이 수행하면서 관련 개념을 획득하는데 어떤 어려움을 겪는지 알아보려고 하였다. 특히 같은 개념을 획득하기 위해 제시하는 실험의 종류가 달라졌을 때 학생들의 이해에 어떠한 차이가 발생하는지에 대해서도 분석하였다.

연구 결과, 실험의 결과에 대한 학생 이해 수준은 네 종류의 실험에서 공통적으로 70% 이상의 학생들이 단순히 감각을 통한 관찰 수준에 머물렀으며 교육과정에서 요구하는 수준인 규칙성을 발견한 실험은 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응이다. 그러나 6.3%, 1.6%로 매우 낮은 비율의 학생들만이 이에 해당한다. 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응은 노란색, 흰색의 앙금 생성물이 생겨 학생들의 호기심과 흥미를 자극하는 효과는 있었으나 앙금의 높이가 불규칙적으로 나타나 관찰조차 제대로 하기 어려운 문제가 발생하였다. 수소기체 생성반응에서는 기체의 발생으로 풍선이 부풀어 올라 학생들의 호기심과 흥미를 자극하는 효과는 있었으나 풍선의 크기를 객관적으로 비교하기 어려워 규칙성을 관찰한 학생들이 전혀 없었다. 산화구리 생성반응에서는 학생들이 비교적 이해하기 쉬운 실험으로 생각되었으나 실험을 통해 구리와 반응한 산소의 질량을 계산하여 규칙성을 찾아낸 학생들이 없었으며 오히려 질량이 감소하는

경우도 있었다. 따라서 실험결과를 가지고 학생들이 한 반응물의 양을 일정하게 통제시키고 다른 반응물의 양을 증가시켜도 생성물의 양은 어느 정도 이상 증가하지 못한다는 관찰 사실로부터 화합물의 성분들이 일정성분비로 반응한다는 규칙성을 찾아내기에는 적절하지 못하다는 것을 알 수 있다.

반응 후 생성물의 양이 더 이상 증가하지 않을 때 수용액 속에 남아 있는 물질에 대한 질문에서 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응에서는 18.8%의 학생들이 정확하게 이해하였고, 수소기체 생성반응에서는 27.3%의 학생들이 교육과정에서 요구하는 수준으로 이해하였다. 요오드화납 생성반응에서는 50%의 학생들이 무엇이 반응하고 무엇이 남는지 제대로 구분하지 못하였으며 수소기체 생성반응에서는 47%의 학생들이 과량으로 넣어 플라스크에 남아있는 눈으로 확인된 금속만이라고 응답하였다. 따라서 학생들은 수용액 안에서 물질이 어떻게 존재하고 어떤 물질들이 만나 양금을 생성하는지, 생성물이 무엇인지 등의 화학 반응에 대한 이해가 매우 부족하다는 것을 알 수 있다. 생성된 물질의 성분이 무엇인지 조사 명확하게 알고 있지 못하는 상황에서 이들 사이의 규칙성을 찾아내기에는 매우 어려운 수준이라 생각된다.

실험 종류에 따라 나타난 학생 이해도 비교를 위해 실험에서 가장 궁금했던 것, 더 알고 싶은 것, 어려웠던 것 등의 질문을 분석한 결과 요오드화납 생성반응에서는 64.2%의 학생들이 자신이 수행한 화학반응에 대한 이해 부족으로 인한 질문이었으며 산화구리 생성반응에서도 60%의 학생들이 금속과 기체의 반응을 제대로 이해하지 못하였다. 또한 탄산칼슘 생성반응에서는 32.8%의 학생들이 실험 결과의 오류로 생긴 질문을 하였다. 요오드화납 생성반응에 비해 탄산칼슘 생성반응은 흰색 양금이 가라앉는데 좀더 긴 시간이 필요한 것으로 해석할 수 있다. 수소기체 생성반응에서는 37.5%의 학생들이 실험을 통해서 규칙성을 찾아 일정성분비의 법칙을 해석하는데 있어 어려움을 갖고 있음을 알 수 있었다. 결국 학생들의 질문을 분석해 보면 대략 60% 이상의 학생들이 실험에 대한 기본적 지식 부족 내지는 실험의 오류로 실험 결과의 해석이 어려운 상황이므로 네 종류의 실험 모두 중학생들이 일정성분비의 법칙에 대한 개념을 획득하기 위한 정량적인 실험으로는 적절하지 못한 것으로 생각된다.

이렇게 다양한 종류의 실험들을 학생들이 수행하면서 이해를 하는 수준에 어떠한 차이가 있는지 알아본 결과, 대부분의 학생들은 실험을 통해 획득하기를 바

라는 개념의 이해를 제대로 하지 못하고 단순히 감각을 통한 관찰 수준에 머물러 있는 것으로 나타났다. 이러한 문제는 실험 종류에 상관없이 공통적이었다. 이는 실험 결과를 해석하기 위해 필요한 사전 개념이나 추론 능력의 수준이 학생들의 수준과 맞지 않았기 때문으로 볼 수 있다. 예를 들어 학생들은 수소기체 생성반응에서 풍선이 부풀어 오르는 현상이 열에 의한 팽창으로 나타난 것인지, 새로운 화합물로 기체가 생성되었기 때문인지 구분하지 못하는 경우도 있었다. 요오드화납 생성반응과 탄산칼슘 생성반응의 경우에는 학생들에게 이온의 개념이 없어서 양금이 생성되는 과정에 대해 제대로 이해하고 있지 못하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 양금이 만들어진 후에 수용액 속에 남아있는 물질에 대한 이해도 거의 없었다. 이는 학습의 위계상 화학반응에 대한 기초 지식이 부족하고, 화학결합이나 전자의 이동, 혹은 이온의 생성 등과 같은 주요 개념이 배제된 상태에서 이와 관련된 화학반응의 현상을 학생들에게 제시하여 일정성분비의 규칙성을 도출하게 함으로써 발생하는 문제라고 할 수 있다.

교과서에 제시된 실험들의 궁극적인 목적은, 학습자의 탐구 능력을 신장시키고 실험 결과를 통해 획득하고자 하는 주요한 과학 개념을 스스로 도출해 보도록 하는데 있다고 할 수 있다. 그러나 이 연구에서 분석한 실험들의 경우와 같이, 내용이 학습자의 이해 수준에 적합하지 않을 경우에는 이러한 실험의 도입은 오히려 교육적 측면에서 볼 때 긍정적인 면보다는 부정적인 면이 더 클 것이다. 따라서 직접적인 실험을 통해 이러한 규칙성을 확인하고 이를 통해 일정성분비의 법칙을 도출하는 과정이 학생들의 인지 수준에 적합하지 않다고 판단된다면, 직접적인 실험을 제시하기보다 모형 등을 통해 개념을 도입하는 것이 더 효과적일 수 있는지에 대해 연구가 이루어질 필요가 있다.

또한 이 연구에서는 보편적으로 학교 현장에서 수행되는 실험 수업의 방식에 따라 관련 내용을 먼저 설명한 후 실험하는 수업에서 학생들의 이해 유형을 알아보았으나, 실험 후 관련 내용을 정리하는 형태의 수업이 이루어졌을 때 학생들의 이해에 차이가 있는지에 대한 연구도 이루어진다면 이 연구의 결과와 의미 있는 비교가 될 수 있을 것이다.

이 연구에서는 동일한 한 교사의 실험수업에서 다루는 물질의 특성, 반응의 특성 등이 다를 때 학생들의 이해가 어떻게 달라지는지를 알아보았지만, 실험 결과를 가지고 추론하는 과정에서 교사의 역할은 매우

중요하다. 특히 학생의 수준에 맞게 적극적으로 재구성하여 제시하려는 교사의 노력이 있다면 물질의 특성이나 반응의 특성으로 인해 유발되는 학생 이해도의 차이는 극복될 가능성도 있다. 따라서 실험 수업에 대한 교사의 노력이 학생의 이해도에 미치는 영향에 대한 연구는 앞으로 꼭 필요한 부분이라고 생각한다.

## 국문 요약

이 연구에서는 중학교 9학년 과학 교과서의 실험 중에서 일정성분비의 법칙을 확인하는 실험을 중심으로 다양한 교과서의 실험 종류에 따라 학생들의 이해 수준에 어떠한 차이가 발생하는지 알아보았다. 이 연구를 위해 많은 교과서에서 제시된 4종류의 실험을 선정하고 분석하였다. 연구 결과, 실험의 결과를 해석하기 위해서는 다양한 사전 개념들과 복잡한 추론 과정을 필요로 하는 것으로 나타났다. 또한 대부분의 학생들은 실험을 통해 획득하기를 바라는 개념의 이해를 제대로 하지 못하고 단순히 감각을 통한 관찰 수준의 이해에 머물러 있는 것으로 나타났다. 이러한 문제는 실험 종류에 상관없이 공통적이었다. 이는 실험 결과를 해석하기 위해 필요한 사전 개념이나 추론 능력의 수준이 학생들의 수준과 맞지 않았기 때문으로 볼 수 있다. 교과서에 제시된 실험들의 궁극적인 목적은, 학습자의 탐구 능력을 신장시키고 실험 결과를 통해 획득하고자 하는 주요한 과학 개념을 스스로 도출해 보도록 하는데 있다고 할 수 있다. 그러나 이 연구에서 분석한 실험들의 경우와 같이, 내용이 학습자의 이해 수준에 적합하지 않을 경우에는 이러한 실험의 도입은 오히려 교육적 측면에서 볼 때 긍정적인 면보다는 부정적인 면이 더 클 것이다. 따라서 일정성분비의 법칙을 학생들이 실험을 통해 스스로 획득하기 위해서는 실험 내용의 재구성이 필요하다고 본다.

## 참고 문헌

정선자, 백성혜 (2006). 중학교 3학년 요오드화납 생성반응 실험의 수업 방식 차이와 학생들의 이해에 관한 연구. *대한화학회지* 50(5), 374-384.

최돈형 (1990). 중학생의 과학실험 활동과 과학학습 결과의 관계 분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

최병순 (1988). 인지발달과 탐구학습. *과학교육*, 15, 54-59.

Bryce, T. G. K., & Robertson, I. J. (1985). What can they do? A review of practical assessment in science. *Studies in Science education*, 12, 1-24.

Bybee, R., & DeBoer, G. (1994). Research on goals for the science curriculum. *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 357-387). New York: MacMillan.

Friedler, Y., & Tamir, P. (1990). Life in Science laboratory classroom at secondary level. In E. Hegarty Hazal(Ed.), *The student laboratory and the curriculum*, (pp.337-354). London: Rutledge.

Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655-675.

Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 7, (256), 33-40.

Hodson, D. (1996). Practical work in school science: Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18(7), 755-760.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.

Lazarowitz, R., & Tamir, R. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. Gobel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 94-128). New York: MacMillan.

Millar, R., Le Mar'e chal, J. F., & Buty, C. (1998). A map of the variety of labwork. Working paper 1. European Project: Labwork in science education (Contract No. ERB-SOE2-CT-95-2001). The European Commission.

Nott, M. (1997). Keeping scientists in their place. *School Science Review*, 78(285), 49-60.

Nott, M., & Smith, R. (1995). "Talking your way out of it", 'rigging', and 'conjuring': What science teachers do when practicals go wrong. *International Journal of Science Education*, 17, 399-410.

Nott, M., & Wellington, J. J. (1996). When the black box springs open: practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 18, 807-824.

Stake, R. E., & Easley, J. (1978). Case studies in science education. Urbana-Champaign University of Illinois, Center for instructional and curriculum evaluation.

Tobin, K. (1986). Secondary science laboratory activities. *European Journal of Science Education*, 8, 199-211.

Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403-418.

Tobin, K., & Gallagher, J. J. (1987). What happens in

high school science classrooms? *Journal of Curriculum Studies*, 19, 549-560.

White, R. T. (1996). The link between the laboratory and teaching. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761-774.