

# 정성적, 정량적 문제에 대한 고등학생들의 물리 문제해결과정 분석

박윤배\* · 조윤경

경북대학교

## Analysis of Physics Problem Solving Processes of High School Students to Qualitative and Quantitative Problems

Park, Yunebae\* · Cho, Yoon-Kyung

Kyungpook National University

**Abstract:** The purpose of this study was to analyze physics problem solving processes to qualitative and quantitative problems in the area of 'Force and Motion' in high school science. The students who have already learned the area of 'Force and Motion' during the first semester of 10th grade have taken physics test to choose students who have basic knowledge of physics. Eight students were selected. After explaining the purpose and the procedure of this study, think-aloud method was instructed to the students, and the students practiced it. After that, the students solved three problems in each quantitative and qualitative type. Then, the questionnaire of belief system on physics and physics problem solving and the prerequisite knowledge test were administered. By recording the students' solving processes, protocol was made and analyzed. After solving problems, the students expressed their confidence, intimacy, and preference. Quantitative problems needed much time at planning step than qualitative problems did. Moreover, solving time was longer and repeating frequency was more than those of qualitative problems. It seemed because even though the students qualitatively knew the answer, they should determine the given quantitative conditions, consider formulae, and recall the specific numbers. Since the students usually got access to many quantitative items in their physics study, they were accustomed to solve problems by using formulae. In addition, they put confidence in formulae, so they tended to solve problems quantitatively. As the result, they preferred quantitative problems to qualitative problems.

Key words: problem solving, physics, qualitative and quantitative problem, think-aloud method, protocol analysis

### I. 서론

학생들의 물리 문제해결기능(problem solving skill)을 신장시키기 위해서는 문제해결에 영향을 미치는 변인들을 알아내어 그 결과를 수업 과정과 교육 과정, 그리고 평가에 반영하는 것이 필요하다. 그러나, 대부분의 연구들은 문제해결과정에서 나타나는 해결자들의 일반적인 특징을 찾으려는 목적으로 비교적 많은 수의 연구 대상자들을 선정하였으므로, 사례연구를 통하여 개별적인 사고 과정의 심층적인 분석은 부족하였다(박학규와 권재술, 1994).

박윤배(1991)의 연구결과에 의하면, 해결자가 보유하고 있는 지식체계의 충실도와 문제해결 결과가 반드시 일치하지는 않았다. 이에는 두 가지 해석이 가능한

데, 첫째는 문제해결을 결과로 평가해서는 안 된다는 것과, 둘째로 문제해결에는 보유지식의 충실도 이외에 다른 변인들이 작용하고 있다는 것이다. 문제해결과정은 문제의 특성과 문제 해결자 특성의 상호작용으로 이루어진다.

문제해결기능의 신장을 위해서 문제해결을 가르쳐야 한다는 데에는 논란이 없지만, 어떤 상황의 문제를 해답에 대한 개념적, 해석적 지식없이 수치적으로만 해결하는 것은 의미가 없다(McMillan & Swadener, 1991). 학생들은 평소 물리학습에서 정량적 문제를 많이 다루므로 정량적 문제에 대해 친밀도가 높으며, 정성적 문제도 정량적으로 해결하려는 경향이 있다. 여기서 말하는 정량적 문항이란 문제를 해결하는데 필요한 물리량이 문제에 구체적 수치로 주어지고 이

\*교신저자: 박윤배(yypark@knu.ac.kr)

\*\*2005.4.29(접수) 2005.7.13(1심통과) 2005.7.22(최종통과)

들 물리량의 관계에 대하여 수치로 답하도록 하는 문항을 말하며, 정성적 문항이란 문제에 수치는 주어지지 않고 물리량을 기호로 나타내고 이들 물리량 사이의 관계나 예측되는 현상을 개념적으로 설명하도록 하는 문항을 말한다. 본 연구에서는 고등학교 수준에서 ‘힘과 운동’에 관한 정량적, 정성적 문제에 따른 문제해결과정을 조사, 분석하여 어떤 차이가 있는지를 알아보고자 한다.

## II. 연구 방법 및 절차

### 1. 연구대상

대구광역시 소재한 D 여자고등학교 1학년 학생을 대상으로 하였다. 전체 1학년 학생 중에서 1학기 전체 성적이 상위 10%에 들어가는 학생 42명에게 연구대상 선발을 목적으로 역학문제 9문제씩(만점 14점)을 풀게 하였다. 선발시험 성적순으로 선정된 학생들에게 연구 목적과 방법을 간략하게 설명하고, 연구에 참여할 의사가 있음을 확인하였다. 그 결과 참여의사를 보인 8명(김, 남, 박, 서, 윤, 이, 정, 조)이 본 연구에 참여하였다.

1학년을 그 대상으로 선정한 이유는 1학기 때 ‘힘과 운동’ 부분을 배웠으므로 개념이 이미 형성되어 있기 때문이고, 문제해결에 필수적으로 요구되는 기본적인 물리지식을 어느 정도 갖추고 있는 학생을 선정하기 위하여 성적이 상위권이며, 선발시험을 거쳐 성적이 좋은 학생들을 대상에 포함시켰다(표 1 참조).

표 1 연구에 참여한 학생들의 기본 자료

	정	김	윤	남	박	조	이	서
1학기말 과학성적	90	81	87	89	90	85	91	93
선발시험 성적	9	9	7	6	9	9	8	7

### 2. 검사도구

#### 1) 선행지식검사

학생들이 본검사 문제를 풀기 위한 기본적인 물리 지식과 절차적 지식을 갖추었는가를 알아보기 위한 것으로, 연구자들이 고등학교 공통과학과 여러 교재를 참고하여 제작하였다.

이 검사는 크게 개념이해 부분과 개념응용 부분으로 나뉜다. 개념이해 부분은 학생들의 정성적인 이해를 알아 보기 위한 것으로, 등가속도 운동, 가속도의 법칙, 작용·반작용의 법칙, 역학적 에너지 보존의 법칙

에 관한 기본 내용을 물었다(네 문항). 개념응용 부분은 기본 개념의 적용 능력과 계산과정을 알아 보기 위한 것으로, 개념이해에서 나온 공식과 원리들을 적용 시켜서 간단히 풀 수 있는 문제들(네 문항)이다.

#### 2) 본검사

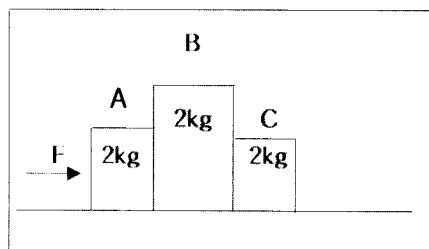
문제의 유형에 따른 학생들의 문제해결 과정을 분석하기 위해서 본검사 문제는 정량적 문항 3문제와 정성적 문항 3문제로 구성되어 있다. 이 문제들은 고등학교 수준의 여러 교재들과 김상동(1998)이 개발한 문제 등을 참고하여 연구자들이 제작하였다. 연구자는 10문제씩의 정량/정성문항을 만들어 동일한 학교 2학년 자연계 학생들을 통해 두 차례의 예비검사를 거쳤고, 일반물리를 수년간 가르친 경험이 있는 교수와의 토론을 거쳐 3문제씩의 정량/정성 문항을 만들었다(표 2 참조).

표 2 본검사 문제의 내용

문제 1	중력장 내의 운동(포물선 운동) -등가속도 운동, 등속도 운동, 역학적 에너지 보존의 법칙
문제 2	물체계의 수평운동 -가속도의 법칙, 작용·반작용의 법칙
문제 3	중력장 내의 운동(자유낙하운동) -상대가속도, 등가속도 운동

A형 문제지는 1번의 정량적 문제, 2번의 정성적 문제, 3번의 정량적 문제로 구성하였고, B형 문제지는 1번의 정성적 문제, 2번의 정량적 문제, 3번의 정성적 문제로 구성하였다. 예로 문제 2의 정성, 정량 문제를 그림 1에 제시하였다.

정량 2. 마찰이 없는 수평면 위에 질량이 2kg으로 같은 물체 A, B, C가 그림과 같이 서로 접촉하여 놓여 있다. A에 힘 12N이 가해질 때 AB 사이의 접촉면과 BC 사이의 접촉면에 작용하는 힘의 크기는 각각 얼마인가?



정성 2. 마찰이 없는 수평면 위에 질량이 같은 물체 A, B, C가 그림

과 같이 서로 접촉하여 놓여 있다. A에 힘 F가 가해질 때 AB 사이의 접촉면에 작용하는 힘  $F_{AB}$ 와 BC 사이의 접촉면에 작용하는 힘  $F_{BC}$ 의 크기를 비교하여야.

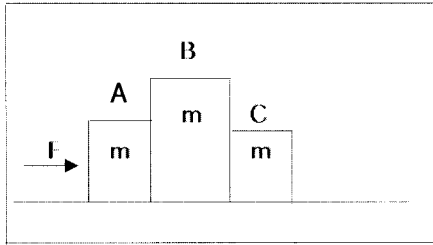


그림 1 문제 2의 정량 정성 문항

### 3. 연구절차

연구가 진행되는 동안 학생들은 개별적으로 연구자와 4차례 만났다. 첫 만남에서는 연구의 목적과 방법을 설명하고, 발생사고법을 소개한 다음, 견본으로 녹음한 테이프를 들려주고 각자 연습하게 하였다. 선언적 지식들에 대한 기억을 상기시키기 위해서 해당내용을 20분 동안 간단히 복습을 하고, 집에서 따로 복습을 하거나, 문제 푸는 연습을 하지 말 것을 당부하였다. 두 번째 만남에서는 A형 검사지 3문제를 발생사고법으로 풀고, 2주 후에 B형 검사지 3문제를 발생사고법으로 풀고, 선행지식검사를 실시하였다. 마지막 만남에서는 피험자와의 회상적 면담을 통하여 녹음되지 않았거나 알아듣기 애매한 부분에 대해서 해결자가 문제 해결 도중 어떤 생각을 하고 있었는가를 질문하였고, 해답에 대한 자신감, 문제의 친밀도와 선호도를 조사하였다.

### 4. 자료처리 및 분석

선행지식검사를 한 후에 개념이해와 개념응용으로 나누어 부족한 선행지식을 알아보았고, 학생들의 문제 해결 과정을 녹음한 테이프와 문제를 푼 연습지를 종합하여 응답 원안을 만들었다. 응답 원안을 통하여 학생들이 문제해결에 사용한 원리나 공식, 그리고 그것들을 선택하는 근거를 어디에 두고 있는가에 의해 문제해결 전략을 결정하였다(Ericsson & Simon, 1984; Polya, 1957). 학생들의 문제해결전략으로는 박윤배(1991)와 Larkin 등(1980)이 정리한 대로, 문제에 제시되어 있는 물리량을 포함하는 식을 사용하여 점차 해답으로 나가는 전진 전략인 지식-개발(Knowledge-Development) 전략, 최종적으로 기대한 물리량을 포함하는 식을 먼저 찾은 다음에, 모르는 물리량을 알아나가는 역진 전략인 수단-목적(Means-Ends) 전략, 도움

이 되리라고 생각되는 물리량이나 식을 임의로 사용하는 임의(Random) 전략으로 나누어 분석하였다.

학생들의 문제해결 단계 및 단계별 소요 시간의 비율, 해결단계 반복횟수를 알아보기 위해서 홍미영(1995)이 제시한 문제해결의 각 단계 분류표를 적용하였다. 문제유형에 따른 해결결과, 사용공식, 해결전략, 단계별 평균 시간 비율, 해결단계 반복횟수, 자신감, 친밀도, 선호도, 특징 및 오인 등도 분석하였다.

## III. 연구결과 및 논의

### 1. 문제 1의 해결과정

1번 문제는 중력장 내의 같은 높이에서 같은 속력으로 연직 위, 수평, 연직 아래로 던졌을 때, 지면에 닿는 순간의 속도를 구하는 문제로서, 역학적 에너지 보존의 법칙을 이용하면 쉽게 풀 수 있는 문제이다. 등가속도 운동과 등속도 운동 그리고 포물선 운동의 이해를 바탕으로 속력합성을 생각해서 풀 수도 있다.

학생들의 선행지식을 살펴보면, ‘정’을 제외한 나머지 학생들은 모두 등속도 운동과 등가속도 운동, 역학적 에너지 보존의 법칙의 개념 이해와 개념 응용문제에서 옳게 답하였으므로 오개념이 드러나지 않았다. ‘정’은 역학적 에너지 보존의 법칙에 대한 개념은 이해하고 있었으나 응용문제에서는 제대로 적용을 못하였으므로, ‘정’은 역학적 에너지 보존의 법칙에 대해서 잘 알고 있지 못하다고 볼 수 있었다.

표 3 문제 1의 해결과정 비교

유형	바르게 푼 경우	사용한 전략들	단계별 소요시간 평균(%)	반복회수
정량	2/8	지식-개발: 3	이해: 49초( 9.4)	1회: 3
		수단-목적: 3 임의: 2	계획: 97초( 18.7) 실행: 360초( 69.2) 검증: 4초( 2.7) 합: 520초(100)	
정성	2/8	지식-개발: 3	이해: 26초( 8.8)	1회 : 2
		수단-목적: 3 임의: 2	계획: 18초( 6.1) 실행: 236초( 80.3) 검증: 14초( 4.8) 합: 294초(100)	

표 3에 있는 것처럼, 정량적 문제를 바르게 푼 학생은 2명이고, 틀리게 푼 학생은 5명, 포기한 학생이 1명이었다. 바르게 푼 두 학생은 역학적 에너지 보존의 법칙을 사용하였다. 틀리게 푼 학생들은 역학적 에너

지 보존의 법칙을 생각하지 못하고 등가속도 운동이라는 사실을 강하게 인식하였고, 포물선 운동에서 속도의 수직방향 성분만 고려하거나, 막연히 수평방향으로 속도가 분산되어 연직상방이나 연직하방의 경우보다 지면도달속도가 작을 것이라고 생각하였다.

정성적 문제의 해결 결과도 정량적 문제와 동일한데, 정량적 문제를 바르게 푼 ‘조’와 ‘서’가 정성적 문제 해결에도 성공하였다. ‘조’는 개념적으로 정답을 구하고도 다시 공식에 직접 대입하여 정량적으로 풀고자 했으나, 연직상방의 경우 높이  $h$ 를 어떻게 잡아야 할지 몰라서 다시 등가속도 공식을 이용하는 등 해결과정이 복잡해졌고 해결시간도 길어졌다. 이것으로 보아 ‘조’는 역학적 에너지 보존의 법칙을 정확히 이해하지 못한다고 볼 수 있다.

사용한 전략을 살펴보면, 정량과 정성 문제에서 모두 3명의 해결자가 지식·개발 전략을 사용하였고 3명의 해결자가 수단·목적 전략, 그리고 2명의 해결자가 임의 전략을 사용하였다. 정량적 문제 해결에 성공한 ‘조’와 ‘서’는 지식·개발 전략을 사용하였다. 문제해결에 사용된 시간을 살펴보면, 정량적 문제는 정성적 문제에 비해 2배 가까이 많은 시간이 소요되었으며, 정량적 문제는 정성에 비해 계획단계에서 많은 시간을 사용하였고 정성적 문제는 실행과 검증단계에서 많은 시간을 사용하였다. 해결단계 반복횟수는 정량적 문제가 정성적 문제에 비해 많았다. 해답에 대한 자신감과 친밀도 및 선호도를 살펴보면, 정성보다 정량적 문제를 좀 더 생소하게 생각하였고 정량, 정성 구분 없이 비교적 낮은 자신감과 선호도를 보였다.

2. 문제 2의 해결과정

앞에서 본 2번 문제는 질량이 같은 3개의 물체가 수평면에 서로 접촉하여 놓여 있고 힘을 가했을 때 접촉면 사이에 작용하는 힘을 구하는 문제로서, 가속도의 법칙과 작용·반작용의 법칙을 이용하면 풀 수 있는 문제이다.

해결자들의 선행지식을 살펴보면, ‘정’과 ‘윤’을 제외한 6명의 해결자들은 가속도의 법칙, 작용·반작용의 법칙의 개념 이해와 개념 응용문제에서 바르게 답하였으므로 오개념이 드러나지 않았다. ‘정’과 ‘윤’은 가속도의 법칙과 작용·반작용의 법칙에 대한 개념은 이해하고 있었으나 응용문제에서 ‘정’은 제대로 적용을 못하였고, ‘윤’은 등가속도 운동의 공식을 이용하면서 틀리게 풀었다.

표 4에 있는 것처럼, 이 문제를 바르게 푼 학생은 정량, 정성에서 동일하였다. 바르게 푼 학생들은 가속

표 4 문제 2의 해결과정 비교

유형	바르게 푼 경우	사용한 전략들	단계별 소요시간 평균(%)	반복회수
정량	6/8	지식·개발: 8	이해: 27초 (18.6)	1회: 2
			계획: 21초 (14.5)	
			실행: 93초 (64.1)	
			검증: 4초 (2.8)	
			합: 145초(100)	
정성	6/8	지식·개발: 7 수단·목적: 1	이해: 44초 (20.8)	1회: 1 2회: 1
			계획: 14초 (6.6)	
			실행: 134초 (63.2)	
			검증: 20초 (9.4)	
			합: 212초(100)	

도의 법칙과 작용·반작용의 법칙을 사용하여 해결하였다. 틀리게 푼 ‘정’과 ‘남’은 적합한 개념과 공식을 사용했으나, 물체에 작용하는 알짜 힘과 접촉면 사이에 작용하는 힘을 구분하지 않고 질량이 같으면 접촉면 사이에 작용하는 힘도 같다고 오인하였다. 특히, ‘정’의 경우는 정성적 문제에서 접촉면이라는 말에서 마찰력을 생각해 냈고, ‘접촉하는 넓이가 큰 경우에 마찰력도 크다’라는 틀린 지식을 적용시키며 우연히 정답을 얻었으나, 과정이 전혀 틀리므로 해결에 실패한 것으로 간주하였다.

문제해결에 사용한 전략을 살펴보면, 정성적 문제에서 ‘정’을 제외한 모든 학생들이 나머지 문제에서 지식·개발 전략을 사용하였다. 문제해결에 사용한 시간을 살펴보면, 다른 문항에 비해 총 소요시간은 짧았고, 정량적 문제가 정성적 문제에 비해 소요시간이 더 길었다. 정량은 계획단계에서, 정성은 검증단계에서 높은 시간 비율을 보였다. 해결단계 반복횟수는 정량, 정성 문항 큰 차이 없이 다른 문제에 비해 낮으며, 최소의 필요한 단계를 거치며 해결되었다.

해답에 대한 자신감과 친밀도 및 선호도를 살펴보면, 대부분 학생들이 높은 자신감을 보이며 검증없이 해결에 성공했다. 대부분의 학생들이 친밀한 문제라고 했고, 정성적 문제에 대해서 ‘정’만이 생소하다고 답하였다. 학생들은 정성보다 정량적 문제를 더 선호하였고, 해결에 실패한 ‘정’과 ‘남’은 낮은 선호도를 보였다. 이상의 사실을 종합해 보면, 문제 2는 학생들에게 가장 쉬운 문제였음을 알 수 있다.

3. 문제 3의 해결과정

3번 문제는 중력장 내에서 상자 속에서 자유낙하하는 돌이 있는데 상자가 정지한 상태와 상자가 등가속도로 낙하하는 상태를 구분해서 돌이 낙하하는 데 걸

리는 시간을 구하는 문제로서, 상대가속도 개념을 가지고 등가속도 운동 공식을 이용하면 풀 수 있는 문제이다. 해결자들의 선행지식을 살펴보면, 모든 학생들이 등가속도 운동과 상대가속도의 개념 이해와 개념 응용 문제에서 옳게 답하였으므로 오개념이 드러나지 않았다.

표 5  
문제 3의 해결과정 비교

유형	바르게 풀 경우	사용한 전략들	단계별 소요시간 평균(%)	반복회수
정량	4/8	지식-개발: 5 수단-목적: 1 임의: 2	이해: 74초( 20.5)	1회: 2 2회: 1 3회: 1
			계획: 28초( 7.8)	
			실행: 228초( 63.1)	
			검증: 31초( 8.6)	
			합: 361초(100)	
정성	7/8	지식-개발: 6 수단-목적: 1 임의: 1	이해: 44초( 13.0)	1회 : 2
			계획: 46초( 13.6)	
			실행: 225초( 66.6)	
			검증: 23초( 6.8)	
			합: 338초(100)	

표 5에 있는 것처럼, 정량적 문제를 바르게 푼 학생은 4명이고, 틀리게 푼 학생이 4명이었다. 상대가속도를 바르게 구해서 푼 학생은 1명이고, 같은 시간에 이동거리가 같아야 한다는 개념으로 접근해서 푼 학생이 2명인데, 그 중 1명은 계산과정에서 2.5를 25로 잘못 기입하는 실수로 틀린 답을 구했지만 과정이 모두 맞아 해결에 성공한 것으로 인정했다. 틀리게 푼 이유는 상대 가속도를 정확히 알고 있지 않아 혼란을 겪었거나, 관계없는 무중력상태와 관성을 생각하고 등가속도 운동인데 등속도 관계식으로 이동거리를 구하는 실수를 하였고, ‘남’은 문제를 제대로 이해하지 못하여 해결 실마리를 찾지 못하고 이것 저것을 시도하다가 결국 포기하였다.

정성적 문제의 해결 결과는 ‘박’을 제외한 7명의 학생들이 모두 바르게 풀었는데, ‘서’만이 수식이나 공식을 사용하지 않고 개념위주의 정성적인 방법으로 문제를 해결했고, ‘정’은 엘리베이터를 탄 경험을 떠올리며 문제와 무관한 관성력으로 문제에 접근하여 가속도의 차이를 구해내고 문제해결에 성공하였다. ‘김’은 상대가속도의 개념으로 수식없이 정성적으로 접근했으나 상대가속도가  $g+a$ 인지,  $g-a$ 인지 혼동하였는데 마지막에 문제와 무관한 반작용을 언급하면서  $g-a$ 를 선택하여 바른 답을 구하였다. 이것으로 보아 정확한 상대가속도 개념을 가지지는 못했음을 알 수 있었다. 나머지 3명의 해결 성공자들은 공식과 수식위주의 정량적인 방법으로 문제를 해결하였다. ‘남’은 “바로 보고 알 수

있는 문제네. 뭐, 그냥 한 번 숫자적으로 확실히 계산해 본거지”하면서, 개념적으로 바로 보고 풀 수 있는 문제를 공식을 사용하여 답을 구한 뒤에 정성적인 방법으로 검증하였다. ‘조’도 ‘정’과 마찬가지로 관성을 생각하고 가속도의 차이를 구한 뒤, 공식에 의존하여 정답을 구하였다. 정량과 정성 문제 모두 실패한 ‘박’은 문제이해나 해결과정은 모두 바르게 했는데, 상대가속도를  $g+a$ 로 잘못 구해서 틀린 답을 구하였다.

문제해결에 사용한 전략을 살펴보면, 정량과 정성 문제에서 거의 비슷하였다. 상대 가속도를 혼동한 ‘김’과 정량적으로 푼 다음 정성적으로 검증한 ‘남’을 제외하고는 문제 해결에 성공한 학생들 모두가 지식-개발 전략을 사용하였다. 문제해결에 사용된 시간을 살펴보면, 정량적 문제가 정성적 문제에 비해 총 소요시간이 길었으며 정량은 이해단계에서, 정성은 계획단계에서 높은 시간 비율을 보였다. 문제해결에 실패한 ‘정’, ‘남’, ‘박’은 해결단계를 여러 번 되풀이하는 복잡한 과정을 나타내었다. 정량적 문제가 정성적 문제에 비해 해결단계 반복횟수가 많았다.

해답에 대한 자신감과 친밀도 및 선호도를 살펴보면, 문제해결 결과와 자신감이 관련이 있으나, ‘정’은 정량적 문제에서 결과가 생각보다 복잡하게 나왔다고 의심했지만 자신감은 다른 학생들에 비해 높았고 다른 문제에서도 그러한 경향을 보였다. 대부분의 학생들은 정성, 정량 문제를 모두 생소하게 생각하였는데, ‘정’만이 엘리베이터와 연관시켜서 정성적 문제가 친밀하다고 했다. 선호도에 있어서는 정량, 정성 구분 없이 고른 점수를 보였으며, ‘이’는 생소한 문제라서 높은 선호도 점수를 준다고 하였고, ‘남’과 ‘서’도 생소한 문제지만 높은 선호도를 보여 주었다.

#### 4. 결과정리 및 논의

표 6  
문제 유형에 따른 문제해결과정 비교

유형	바르게 풀 경우	사용한 전략들	단계별 소요시간 평균(%)	반복회수
정량	12/24	지식-개발: 16 수단-목적: 4 임의: 4	이해: 50초( 14.6)	1회: 7 2회: 3 3회: 2
			계획: 49초( 14.3)	
			실행: 227초( 66.4)	
			검증: 16초( 4.7)	
			합: 342초(100)	
정성	15/24	지식-개발: 16 수단-목적: 5 임의: 3	이해: 38초( 13.5)	1회: 5 2회: 1
			계획: 26초( 9.3)	
			실행: 198초( 70.4)	
			검증: 19초( 6.8)	
			합: 281초(100)	

정량적 문제와 정성적 문제에 있어서의 해결 결과, 사용공식, 해결전략, 단계별 평균시간 비율, 해결단계 반복횟수, 자신감, 친밀도와 선호도 등의 차이를 살펴 보았다. 해결과정 및 결과의 차이를 문제 유형에 따라 요약하면 표 6과 같다.

문제해결에 성공한 경우는 총 24경우 중에서 정량적 문제가 12회, 정성적 문제가 15회로 큰 차이가 없었다. 이러한 결과는 정량적 문제에서 높은 정당률을 보인다는 양혜정(1994), 김상동(1998) 등의 연구결과와는 달랐다. 이러한 차이는 문제 3의 경우에, 정량적 문제는 시간을 계산하게 하였고, 정성적 문제는 어느 쪽이 큰지를 비교하게 하였는데, 여기서 학생들은 정성 문제를 훨씬 더 잘 해결한 것이 원인이 되었다.

한편, 사용한 공식과 해결전략에서도 차이가 없었다. 소요시간을 보면 정량적 문제가 정성적 문제에 비해 총 소요시간이 길었고, 정량은 정성에 비해 계획단계에서, 정성은 정량에 비해 검증단계에서 시간사용 비율이 높게 나왔다. 이것은 정량적 문제는 계획단계에서 주어진 조건을 확인하여 공식을 써야 한다는 생각으로 적당한 공식을 생각하는 과정을 거치게 되고, 답도 구체적인 숫자로 해야 한다는 부담이 있어 좀 더 조건간의 관계 확인에 신중함을 보인 것으로 판단된다. 계획단계 없이 곧장 실행에 들어간 18문제 중 12 문제가 정성적 문제이었는데, 계획단계가 없는 이유는 문제가 생소하고 어려워 계획을 세우기 힘들어서 곧장 실행으로 들어갔거나, 반대로 친밀한 문제여서 자신있게 곧장 실행으로 들어갔기 때문이다. 정성적 문제는 공식의 사용 없이 개념적으로 접근하므로 공식을 찾는 데 시간을 쓰지 않아도 되고, 크기비교의 답을 구하면 되므로 정량에 비해 부담이 적어 문제 이해에서 개념이 잡히면 계획단계 없이 곧장 실행으로 들어가는 경우가 많았던 것 같다. 이와는 다른 경향을 보인 문제 2에서는 그림에 나타난 도막의 크기가 다른데도 질량이 같다고 한 문제에 학생들이 혼동을 하였거나, 정성적인 문제라고 해도 계산과정을 다 거쳐야 하므로 시간이 더 걸린 것으로 해석된다.

해결단계 반복횟수는 정량적 문제와 정성적 문제에서 큰 차이를 보여, 정량적 문제에서 반복한 경우가 정성적 문제에 비해 더 많았다. 이것은 정량적 문제는 구체적인 계획과 개념없이 공식부터 생각해두고 공식에 의존하며 실행했다가 여의치 않으면 다시 계획 후 실행, 검증, 이해 등의 단계를 반복하거나, 정성적으로 답을 알아도 정량적인 답을 구하기 위해서 공식선택과 수식사용에 시간을 쓰며 계획, 검증, 다시 실행하여 정량적인 답을 구한 뒤, 다시 정성적으로 검증하는 경우도 있었고, 공식을 이용하여 문제를 푸는 과정에서 문

제해결에 필요 없는 물체의 질량을 두고 잠시 고민하느라 검증을 거쳐서 실행을 반복하는 경우도 있었다. 반면에, 정성적 문제는 구체적인 정량값을 구하는 것이 아니어서 부담이 적고, 생각의 자동화가 일어나서 문제를 보는 순간 해결절차가 떠올랐기 때문으로 보인다.

학생들은 정성적 문제 24경우 중에서 12회를 정량적으로 해결했는데, 이는 평소 물리학습에서 정량적 문제를 많이 접하여 수식을 사용하여 문제 푸는 일에 익숙해 있고, 수식에 의해 나온 결과를 더 신뢰하기 때문이다. 이러한 결과는 문제해결에 초보자인 중학생들은 대부분 정량적인 문제해결 방법에 의존하고 있다는 박학규와 이용현(1993)의 연구결과와 일치한다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 문제해결에 필요한 기본적인 지식을 갖춘 고등학생들을 대상으로 정성적 문제와 정량적 문제를 해결할 때 나타나는 차이를 알아 보았다. 적은 수의 학생을 대상으로 적은 수의 문제를 사용하였으므로, 일반적인 법칙을 말할 수는 없고, 다만 잠정적인 가설차원에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있겠다. 정량적 문제에서는 계획단계의 시간비율이 정성적 문제에 비해 더 높고 총 소요시간도 길게 나타났으며, 해결단계의 반복횟수도 더 많았다. 그 이유는 정량적 문제는 정성적으로 답을 알아도 주어진 정량적 조건을 확인하고 적당한 공식을 생각하여 구체적인 숫자로 답해야 하기 때문이었다. 문제해결에 성공하는 정도와 전략사용에는 차이가 없었다. 그러나, 학생들은 정성적 문제를 정량적으로 해결하려는 경향이 있었으며, 정량적 문제를 더 선호하였다. 이것은 평소의 학습경험이 자신들의 태도로 형성되고 있음을 보여준다고 할 수 있다.

전반적으로 학생들은 문제해결에서 계획단계와 검증단계를 소홀히 하는 경우가 많았는데 실행에 들어가기 전에 체계적인 계획을 세우고, 실행 후에는 검증을 거쳐 문제해결의 효율을 높일 수 있도록 문제해결 단계를 모두 거치는 습관을 가지도록 지도할 필요가 있겠다. 물리 성적이 우수한 학생이라도 공식 위주의 정량적인 방법으로 문제에 접근하고 정성적인 개념을 파악하지 못하는 경우가 있으므로, 편중되지 않는 균형된 학습이 이루어지도록 지도하고, 그에 맞는 평가 방법을 개발할 필요가 있겠다.

#### 요약

본 연구는 ‘힘과 운동’에 관한 정량적, 정성적 문제에 따른 문제해결과정을 분석하여 어떤 차이가 있는지를 알아보려고 실시되었다. 본 연구의 대상은 여자고등학교 1학년 학생 8명이었다. 이들은 문제해결에 필요한 내용지식을 보유하고 있는 학생들이었다. 선행 지식 검사와 정량적 문제 3개와 정성적 문제 3개로 구성된 본검사를 사용하였다.

연구결과, 정량적 문제에서는 계획단계의 시간비율이 정성적 문제에 비해 더 높고 총 소요시간도 길게 나타났으며, 해결단계의 반복횟수도 더 많았다. 정량적 문제에서 해결에 성공하는 정도는 정성적 문제에서 별 차이가 없었고, 전략사용에도 차이가 없었다. 학생들은 평소 물리학습에서 정량적 문제를 많이 접하므로 수식과 공식을 사용하여 문제 푸는 일에 익숙해 있고, 수식과 공식에 의한 결과를 더 신뢰해서 정성적 문제를 정량적으로 해결하려는 경향이 있었으며, 정성적 문제보다 정량적 문제를 더 선호하였다.

## 참고 문헌

- 김상동 (1998). 학생들의 인지양식에 따른 역학에 관한 정성적 문항과 정량적 문항의 난이도 비교. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 박윤배 (1991). 역학문제해결에 있어서의 오류 유형. 물리교육, 9(1), 14-23.
- 박학규, 권재술 (1994). 물리 문제해결과정에서의 학생들의 사고 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 14(1), 85-102.
- 박학규, 이용현 (1993). 물리 문제해결과정에서 중학생들의 사고 과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47.
- 양혜정 (1994). 전기회로에 관한 정성적 문항과 정량적 문항의 난이도 비교. 한국교원대학교 대학원 과학교육학과 석사학위논문.
- 홍미영 (1995). 문제와 문제해결자의 특성이 화학 문제해결에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 과학교육과 박사학위논문.
- 홍미영, 박윤배 (1995). 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학 문제해결 과정의 차이 분석. 한국과학교육학회지, 15(1), 80-91.
- Ericsson, K.A., & Simon, H.A. (1984). Protocol analysis. Cambridge, MA: MIT Press.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Models of competence in solving physics problems. Cognitive Science, 4, 317-345.
- McMillan III, C. & Swadener, M. (1991). Novice use of qualitative versus quantitative problem solving in electrostatics. Journal of Research in Science Teaching, 28, 661-670.
- Polya, G. (1957). How to solve it(2nd Ed.), Garden City, N.Y. : Doubleday & Company, Inc.