

## 物理問題 解決過程에서 中學生들의 思考過程의 特性 分析

박 학 규 이 용 현  
(전주우석대학교 물리학과) (군산대학교 물리학과)

(1993년 4월 16일 받음)

### I. 서 론

#### 1. 연구의 필요성 및 목적

우리나라 중학교 과학과의 교과목표를 살펴보면, '자연 현상에 대한 흥미와 호기심을 가지고 과학의 지식과 방법을 습득하여, 과학적으로 사고하고 창의적으로 문제를 해결하는 능력을 기르게 한다.'라고 되어 있다. 이와 같은 과학과의 교과목표 달성을 위하여, 물리교육 분야에서의 주된 관심은, 물리적인 사실·개념·원리·법칙의 단순한 기억보다는 이러한 것들을 바르게 이해하고, 자연 현상에 적용하여 미지의 문제를 해결하는 능력을 학생들에게 길러주는 일이다. 따라서 학생들이 어떻게 문제를 해결하고 있는가, 즉 그들의 문제해결 과정을 이해하는 것은 물리교육에서 매우 중요하다고 할 수 있다(박학규, 권재술, 1990).

우리나라 속담에 똑똑한 아이를 가리켜 "하나를 배우면 열을 안다."는 말이 있다. 이 속담을 약간 수정하여, "하나를 가르쳐서 열을 알 수 있게 한다."고 하면 일반적인 교육의 인지적 목표가 될 수 있을 것이다. 이러한 의미에서, 그동안 전통적으로 과학교육에서 과학지식보다는 개념과 원리를 중시하고, 이의 이해에 역점을 두어 왔다. 그러나, 학생들이 과학적인 개념을 학습할 때, 그들이 소유하고 있는 기존의 지식 또는 개념(preconception)으로 말미암아 상당한 어려움이 있다는 것이, 학생들의 오개념(misconception)에 관한 최근의 많은 연구에서 밝혀지고 있다. 즉, 가르친다고 해서 모두 배워지는 것은 아니라는 것이다(박학규, 권재술, 1991).

또한, 1970년대 이후 줄곧 과학교육 분야에서 탐구학습을 강조하는 이유에도 같은 의미를 부여할 수 있다.

과학적 지식 및 개념의 통달이 어렵다면, 학생들을 위해 가능한 교육은 무엇인가? 그것은, 학생들에게 '탐구 능력' 하나를 가르침으로써 열에 해당하는 '과학지식과 개념'에 스스로 접근하고 이해할 수 있는 발판을 놓아 주자는 것이다.

이러한 맥락에서, 과학교육에서는 개념학습, 탐구학습과 더불어 문제해결력이 강조되고 있다. 문제해결 능력의 배양은 학교교육에서 하나의 교육목표로써 항상 강조되어 왔지만, 문제해결 과정에 대한 연구는 1960년대에 들어와서야 비로소 인지심리학적인 방법이 도입됨으로써 실증적으로 이루어지기 시작하였으며, 학습에 대한 구성주의적 입장과 인간 사고에 대한 정보 처리과정 모형을 반영하여 여러 교과 영역들에서의 문제해결을 다루는 연구들이 활발해졌다(박운배, 1991). 과학교육, 특히 물리교육 분야에서 문제해결에 대한 많은 연구가 수행되고 있는데, 이는 '문제해결력의 신장'이라는 교육목표의 달성을 위하여, 보다 더 효과적인 문제해결 방법을 찾아서 학생들에게 제시해 주기 위한 것이라고 할 수 있다.

종종 학교교육 현장에서, 물리학적 사실, 개념, 원리, 법칙 등을 올바르게 이해하지 못하고 단순히 암기만 하여, 매우 간단하고 초보적인 문제조차도 단지 암기한 공식에 수치를 대입해서 결과를 얻으려 하기 때문에 결국 문제해결에 실패하는 학생들을 쉽게 찾아 볼 수 있다. 이러한 결과는 학생 자신의 노력이나 능력 부족의 탓으로만 간주될 수 없고, 학생들이 체계적인 문제해결 방법을 모르거나 잘못된 개념체제로 인하여 발생된 것으로 보아야 타당할 것이다(이성왕, 1987).

본 연구에서는, 물리문제의 해결에 초보자인 중학생들

이 물리 분야의 전자기학 문제를 풀 때, 어떠한 사고과정을 거쳐 문제를 해결하며, 문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람의 사고과정의 차이는 무엇이고, 어떠한 문제공간을 거쳐 해결에 이르는가를 밝혀보고자 한다.

## 2. 연구 문제

본 연구에서는 중학교 2학년 과학 중에서 전기회로에 대한 옴(Ohm)의 법칙을 내용으로 하는 문제를, 직렬 연결과 병렬 연결 각각 1 문항씩과 혼합 연결 3 문항 등 모두 5 문항을 작성하여 중학교 3학년 학생들을 대상으로 문제해결에서 나타나는 사고과정을 조사하게 된다.

물리문제 해결에 초보자인 중학생들의 문제해결 과정을 조사하고, Polya(1957)와 Larkin(1978) 등이 주장하는 4 단계의 문제해결 과정의 측면과 문제해결 과정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션의 이론적 기초가 되는 문제공간(problem space)의 개념을 이용하여 학생들의 용답원안(protocol)을 분석함으로써 다음과 같은 문제점을 밝히고자 한다.

1. 문제해결 과정면에서 학생들은 어떠한 사고과정의 단계를 거쳐 문제를 해결하는가?
2. 문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람의 사고과정의 차이는 무엇인가?
3. 연구자가 문항 분석을 통해 작성한 문제공간과 학생들의 문제공간 사이에는 어떠한 차이가 있는가?

## 3. 용어의 정의

### 1) 문제(problem)

문제란 그 해결에 이르는 연산방식(algorithm)이 제시되어 있지 않은 과제를 수행하도록 요구되는 상황을 말한다. 문제의 상황에 있을 때 문제해결자는 문제를 가지고 있다는 사실은 분명히 인식하고 있지만, 즉시 도달될 수 없는 목표를 달성하기 위하여 적절한 행동을 찾고 있는 중임을 의미한다.

일반적으로 "문제"에 관한 정의에는 첫째, 그 문제가 현재 어떤 상태로 존재하며(초기상태, given state), 둘째, 다른 어떤 상태로 변화되는 것이 바람직하며(목표상태, goal state), 셋째, 그 변화를 성취할 수 있는 직접적이고 분명한 방법이 없다(장애, obstacles)는 세 가지 특징이 포함된다(김언주, 1987. Mayer, 1983).

### 2) 문제해결(problem solving)

문제해결을 한마디로 정의하기는 쉽지 않다. 거의 모든 인간의 인지 활동이 문제해결 지향적이라 할 수 있으며, 인간의 사고 과정(Human Thinking Process)이 바로 문제해결 과정이라 할 수 있다. 그러나 앞서 논의한 바와 같이 문제를 정의한다면, 물리교육 분야에서의 문제해결은, '주어진 초기 문제상황에 관련이 있는 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해 내고 활용하여, 그들 상호간의 관계를 맺어주고 조직화함으로써 목표상황에 이르는 일련의 체계적인 사고과정'이라고 정의할 수 있다(박학규, 권재술, 1990).

### 3) 문제공간(problem space)

문제공간(problem space)의 개념은 문제해결 과정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션의 중요한 이론적 기초가 된다.

문제공간은, 과제의 분석을 통해 얻어지는 것으로 문제해결자가 선택하거나 도달할 수 있는 가능한 모든 상태와 경로들의 집합을 의미한다. 그리고, 문제해결자의 문제공간이란 그 해결자가 문제해결 과정에서 선택한 여러 상태와 경로들의 집합을 의미한다.

Mayer(1983)는 문제해결자의 문제공간이란 다음과 같은 요인들을 포함하는 그 사람의 내적 표상(internal representation)이라고 지적하였다.

초기 상태 : 주어진 조건 또는 초기 조건에 대한 표현.

목표 상태 : 마지막 상태 또는 목표 상태에 대한 표현.

중간 문제 상태 : 한 상태에 연산자를 적용하여 만들어지는, 목표 상태가 아닌 중간 의 새로운 상태.

연산자 : 한 상태에서 다른 상태로 옮겨 갈 수 있게 하는 것.

Ernst와 Newell(1969) 그리고 Simon(1978)은, 문제공간이란 문제해결자가 알고 있는 모든 상태 또는 가능한 모든 일련의 연산자들의 집합이라고 정의하였다.

결국, 문제해결이란 문제해결자가 문제공간에서 정확한 행로를 찾는 것이라고 할 수 있다.

### 4) 발성사고법(thinking aloud method)

발성사고법은, 피험자들에게 그들의 사고과정을 분명히 언어화하고, 문제를 푸는 동안 '소리내어 생각하도록' 요구하고 그 과정을 녹음하는 방법을 말한다.

### 5) 용답원안(protocol)

발성사고법에 의해 녹음된 내용을 원고화한 것을 말

한다.

#### 4. 연구의 제한점

본 연구는 사례연구(case study)의 성격을 띠고 있으며, 연구에 따르는 제한점은 다음과 같다.

(1) 문제를 해결할 때 피험자들의 사고과정을 빠짐없이 도출했다고 단정하기는 어렵다. 왜냐하면 문제를 해결할 때 녹음을 하고 연구자가 관찰자로서 참여하는 등의 외적 조건에 따르는 영향을 전적으로 배제할 수는 없으며, 문제해결시 피험자가 사고한 내용을 빠짐없이 언어로 표현하였다고 보기는 어렵기 때문이다.

(2) 연구방법상 많은 피험자를 동원할 수 없는 사례연구로써 본 연구의 대상자로는 중학교 3학년 학생 10명을 선정하였는데, 이는 표집수가 적고 분포가 고르지 못하므로 본 연구의 결과를 전체 학생들에게 일반화하는 데는 어려움이 있을 수 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상자 선정

연구 대상자는, 전라북도 진안군에 소재한 남녀 공학인 중학교 3학년 43명 중에서 사전(事前) 지식 검사를 통해, 점수가 60점 이상이며 각 문항에 대한 응답의 확신도를 평균한 점수가 2.00 이상인 남녀 학생 10명을 선정하였다.

중학교 3학년 학생을 연구 대상자로 선정한 이유는, 이미 2학년 과정에서 전기회로에 대한 내용을 학습하였으므로, 전기회로의 직렬 연결과 병렬 연결에서의 저항을 계산하는 방법과 옴의 법칙에 대하여 잘 알고 있을 것으로 가정하였기 때문이다. 또한 이들은 대부분 인문계 고등학교에 진학 예정인 학생들로 고입 연합고사를 준비하고 있는 학생들이다.

사전 지식 검사는, 전기회로에 관한 객관식 5지 선다형 문제 20문항으로 여러 문헌을 참고하여 연구자가 제작하였으며, 학생들이 전기회로와 옴의 법칙에 대하여

<표 1> 사전 지식 검사 결과

학 생	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>
점 수	85	90	75	90	100	95	85	85	65	80
확신도(평균)	3.00	2.95	2.75	2.90	2.95	2.90	3.00	2.65	2.15	2.40

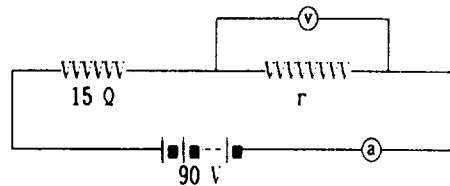
얼마나 알고 있는가를 측정하기 위하여 실시하였다. 또한 사전 지식 검사에서는 각 문항의 답을 선택한 후 자신의 응답에 대한 확신정도를 스스로 기록하게 하였다. 확신척도는 완전한 추측에 의한 응답인 경우 0, 거의 추측에 의한 응답인 경우 1, 거의 확실한 응답인 경우 2, 완전히 확실한 응답인 경우 3으로 하였다. 연구 대상으로 선정된 학생들의 사전 지식 검사 결과와 확신도를 평균한 결과는 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 선발된 대부분의 연구 대상자들은 전기회로와 옴의 법칙에 대하여 잘 알고 있다고 판단되며, 사전 지식 검사 문항에 대하여 자신있게 문제를 풀었음을 알 수 있다.

### 2. 검사 문항

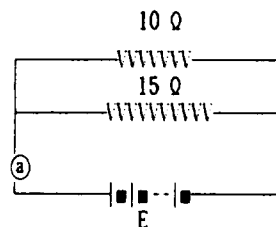
연구에 사용한 검사 문항은, 여러 문헌을 참고하여 다양한 사고과정을 거쳐 해결될 수 있는 5개의 문항을 제작하였다. 저항의 직렬 연결 회로와 병렬 연결 회로에 관한 문항이 각각 1문항이며, 직렬과 병렬이 혼합되어 있는 문항이 3문항이다. 문제해결 과정 검사 문항은 다음과 같다.

1. 아래 그림과 같이 미지의 저항  $r$ 과 15Ω의 저항을 직렬 연결하고 90V의 전압을 걸어 주었다. 전류계의 눈금이 4A를 가리키고 있다면, 이 때 미지의 저항  $r$ 에 걸린 전압은 얼마인가?

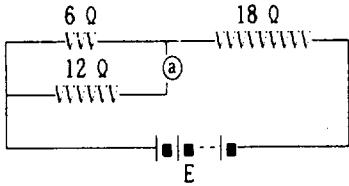


Ⓧ : 직류 전압계 ⓐ : 직류 전류계

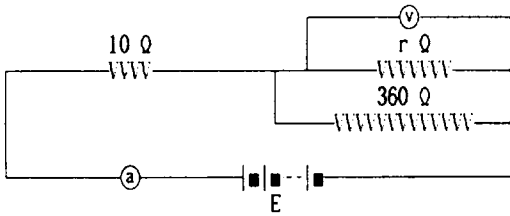
2. 아래 그림과 같이 전기회로를 연결하고 회로에 흐르는 전류를 전류계로 측정하였다더니 5A의 눈금을 가리켰다. 실험 도중에 100의 니크롬선이 끊어졌다면 전류계에 흐르는 전류는 얼마인가?



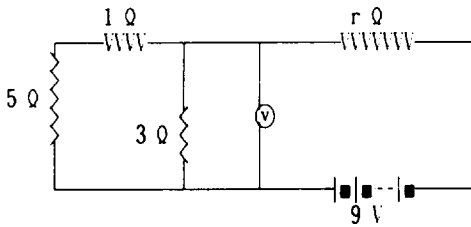
3. 아래 전기회로에서 전류계에 1A의 전류가 흐르고 있다. 전원 E에서 공급되는 전압은 얼마인가?



4. 아래 전기회로에서 전류계에 0.5A의 전류가 흐르고, 미지의 저항 r의 양단에 걸린 전압이 18V이었다. 이 회로 전체의 합성저항은 얼마인가?



5. 아래 전기회로에서 전압계가 3V를 나타냈다면 저항 r은 몇 Ω인가?



연구에 사용된 각 문항의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 문항 1 : 저항이 직렬로 연결된 전기회로 문제로서, 회로 전체의 전압과 전류가 주어지고, 미지의 저항에 걸린 전압을 구하는 문제이다. 해결 방법은 크게 두 가지로 분류해 볼 수 있는데, 하나는 미지의 저항 r을 먼저 구하고 옴의 법칙을 적용하는 방법이고, 다른 하나는 이미 주어진 15Ω의 저항에 먼저 옴의 법칙을 적용하여 이 저항의 양단에 걸린 전압을 구하고 전체 전압에서 이 전압을 빼주는 방법이다.

(2) 문항 2 : 저항이 병렬로 연결된 전기회로 문제로서,

회로 전체의 전류와 각각의 저항이 주어지고, 실험도중 저항이 변화된 경우 회로에 흐르는 전류를 구하는 문제이다. 해결 방법은 크게 두 가지로 분류해 볼 수 있는데, 하나는 회로 전체에 걸린 전압을 먼저 구하여 옴의 법칙을 적용하는 방법이고, 다른 하나는 병렬 연결 회로의 특성인 전체 전압이 변하지 않는다는 사실을 이용하여 전체 전압을 구하지 않고 15Ω의 저항에 흐르는 전류를 구하는 방법이다.

(3) 문항 3 : 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제로서, 회로를 구성하는 각각의 저항값과 병렬 연결된 하나의 저항에 흐르는 전류가 주어지고, 회로 전체에 걸린 전압을 구하는 문제이다. 해결 방법은 크게 두 가지로 분류해 볼 수 있는데, 하나는 회로 전체의 합성 저항을 구하고 전체 전류를 구하여 옴의 법칙을 적용하는 방법이고, 다른 하나는 전체의 합성 저항을 구하지 않고 회로 전체에 걸린 전압을 구하는 방법이다.

(4) 문항 4 : 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제로서, 회로 전체에 흐르는 전류와 병렬 연결된 저항의 양단에 걸린 전압이 주어지고, 회로 전체의 합성 저항을 구하는 문제이다. 해결 방법은 크게 두 가지로 분류해 볼 수 있는데, 하나는 미지의 저항 r을 먼저 구하고 회로 전체의 합성 저항을 구하는 방법이고, 다른 하나는 회로 전체에 걸린 전압을 먼저 구하고 옴의 법칙을 적용하는 방법이다.

(5) 문항 5 : 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제로서, 회로 전체에 걸린 전압과 각각의 저항값이 주어진 병렬 연결된 회로의 양단의 전압이 주어지고, 직렬로 연결된 미지의 저항을 구하는 문제이다. 해결 방법은 먼저 병렬 연결 회로 부분에서 회로 전체에 흐르는 전류를 구한 다음 옴의 법칙을 적용하여 미지의 저항 r의 값을 결정해야 되는데, 전체 전류를 구하는 방법을 두 가지로 분류해 볼 수 있다. 하나는 회로 전체의 합성 저항을 구하고 전체 전류를 구하는 방법이고, 다른 하나는 전체의 합성 저항을 구하지 않고, 병렬 연결 회로에서는 각각의 저항에 흐르는 전류가 저항값에 반비례한다는 병렬 연결 회로의 특성을 이용하여 회로 전체에 흐르는 전류를 구하는 방법이다.

### 3. 조사 방법

본 연구에서는, 피험자들에게 그들의 사고과정을 분명히 언어화하여 문제를 푸는 동안 '소리내어 생각하도록' 요구하고 그 과정을 녹음하는 발성사고법을 사용하였다. 문제 풀이가 끝난 다음, 연구자는 피험자와의

면담을 통해 녹음되지 않았거나 발음이 불분명한 부분에 대하여 보충하는 회상적 면접을 병행해서 실시하였다.

Larkin과 Rainard(1984)는, 발생사고법은 비교적 신뢰도가 높은 사고과정의 조사방법이지만, 면담기술 및 자료수집 방법에 대한 세심한 주의가 필요하다고 지적하면서 3단계의 자료수집 절차를 제시하고 있다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 다음과 같이 4단계 절차에 따라 자료를 수집하였다(이성왕, 1987).

(1) 제 1 단계 : 실시상의 유의사항 전달 및 연습

예문) 지금부터 학생에게 문제를 풀도록 하겠습니다.

학생은 이 문제를 자신의 방식대로 푸십시오. 사실은 학생이 문제를 잘 푸느냐, 못 푸느냐에 관심이 있는 것은 아니고 학생의 사고과정만이 필요합니다. 어떤 사람은 문제를 풀 때 중얼거리는데 학생도 그렇게 하면 됩니다. 다만 큰 소리로 중얼거리면 됩니다. 어떠한 경우라도 생각한 내용은 언어로 계속 표현해야 하며, 별 의미가 없다고 판단되더라도 학생이 생각하고 있는 것, 시행하고 있는 것은 모두 말하여야 합니다.

그러면 학생이 말하는 것을 녹음하겠습니다. (녹음기를 작동시킨다)

이것은 연습문제인데 이 문제를 크게 말하면서 풀어보십시오.

(2) 제 2 단계 : 문제풀이 실시

문제를 풀고 있을 때 연구자는 되도록 말을 하지 않으며 꼭 필요한 경우에는 증립적이고 비지시적인 말만을 한다.

예문) 지금 무엇을 생각하고 있습니까? 지금 기록하고 있는 것은 무엇입니까?

(3) 제 3 단계 : 재확인, 회상적 면접

문제를 다 풀고 난 다음 이미 언어로 표현된 것 중에서 명확하지 못한 내용을 알아보기 위하여 질문을 한다.

예문) 답을 구한 과정을 상세히 말해 보십시오. 이것(특정의 것)에 대하여 자세히 말해 보십시오. 이 방정식을 쓸 때 어떤 생각을 하였습니까?

(4) 제 4 단계 : 응답원안(Protocol)의 작성

문제해결 과정에서 학생이 기록한 내용과 녹음된 내용을 시간적인 순서에 따라 원고화한다.

4. 조사의 실시

연구자는 한 사람의 관찰자로서 직접 조사에 참여하여 문제해결 과정을 녹음하고 피험자와 면접을 하였다.

문제해결 과정의 조사 실시 기간은 1992년 10월 5일부터 17일까지 2주일 동안이며, 학생들이 수업을 마친 후 하루에 2명씩, 개인당 1시간 정도의 시간을 갖고 조사를 실시하였다. 개인에 따라서는 조사 시간이 1시간을 약간 넘는 경우도 있었는데 그러한 경우에는 시간의 제약을 두지않고 조사가 끝날 때까지 계속 실시하였다.

조사 장소는 피험자들이 다니는 학교의 과학관 실험준비실에서 실시하였다.

그리고 피험자들이 같은 학교 학생들이기 때문에 조사가 완전히 끝날 때까지 검사문항이 노출되지 않도록 하기 위하여 조사 실시 전과 후에 문항을 노출시키지 말 것을 주의시키고 그 여부를 수시로 확인하였다.

5. 응답원안의 분석 방법

응답원안은 크게 두 분야로 나누어 분석하였다.

(1) 문제해결 과정면에서

가. 학생들은 어떠한 사고과정을 거쳐 문제를 해결하는가?

나. 문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람의 사고과정의 차이는 무엇인가?

(2) 문제공간의 측면에서

가. 연구자가 문항 분석을 통해 문제공간을 미리 작성한다.

나. 연구자가 사전에 작성한 문제공간과 학생들의 문제공간 사이에는 어떠한 차이가 있는가?

1) 문제해결 과정의 분석 방법

문제해결 과정은 Larkin(1978)의 문제해결 과정 모형을 바탕으로 문헌 조사와 사전 연구를 통해 이성왕(1987)이 작성한 문제해결 과정 코딩 시스템을 사용하였다.

본 문제해결 과정 코딩 시스템은 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등 4단계로 구성되어 있으며, 각 단계에서 표출될 수 있는 구체적 행동을 문헌 조사와 사전 연구에 의해 추출하고, Larkin의 모형에서 각 단계에 진출된 행동들을 종합하여 일반적인 용어로 진술한 것이다. 코딩 시스템에서 문제해결 과정의 각 단계는 문제의 이해를 U, 계획을 P, 계획의 수행을 C, 검증을 E로 표시하였으며, 각 단계에서 표출될 수 있는 구체적 행동은 해당 단계의 문자에 아라비아 숫자를 첨가하여 U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, 등과 같이 표시하였다. 코딩 시스템은 표 2에 제시하였다.

〈표 2〉 문제해결 과정 코딩 시스템

1. 문제의 이해	I
(1) 원문 읽기	I <sub>1</sub>
(2) 어려가지 양을 기호로 표시하기	I <sub>2</sub>
(3) 정보 끌어내기 (핵심 문장이나 구 인식하기, 자기 용어로 의역하기)	I <sub>3</sub>
(4) 미지수 확인하기	I <sub>4</sub>
(5) 해를 대략적으로 산정하기	I <sub>5</sub>
2. 계획	P
(1) 조건에서 유도해 낼 수 있는 양 찾기	P <sub>1</sub>
(2) 조건간의 관계 찾기	P <sub>2</sub>
(3) 적용할 원리, 법칙 생각하기	P <sub>3</sub>
(4) 적용할 원리, 법칙은 문제상황에 적절한 것인가를 확인하기	P <sub>4</sub>
(5) 해결 절차를 구상하기	P <sub>5</sub>
3. 계획의 수행	C
(1) 조건간의 관계, 원리, 법칙 등을 이용하여 방정식 세우기	C <sub>1</sub>
(2) 보조적 공식을 이용하여 불필요한 양을 소거하기	C <sub>2</sub>
(3) 방정식에 수치를 대입하여 해 구하기	C <sub>3</sub>
4. 결 증	E
(1) 해의 부호, 값, 단위 등을 확인하기	E <sub>1</sub>
(2) 정성적 예측과 해의 일치 여부를 확인하기	E <sub>2</sub>
(3) 해가 문제의 조건에 합당한 것인지 확인하기	E <sub>3</sub>
(4) 다른 방법으로 된 결과와 일치하는지 확인하기	E <sub>4</sub>

2) 문제공간의 분석 방법

문제공간의 분석은, 먼저 연구자가 문항 분석을 통해 문제해결에 필요한 각 문항의 문제공간을 작성하였고, 각각의 문항에 대하여 응답원안에 나타난 학생들의 문제공간을 분석하였다.

그리고 연구자가 작성한 문제공간과 학생들의 문제공간 사이에는 어떠한 차이가 있는가를 비교 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

분석된 자료는 다음과 같이 두 부분으로 나누어 분석 및 논의하였다.

(1) 개인별 연구 결과 (2) 연구 문제별 결과

1. 개인별 연구 결과

문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람을 표 3에 제시하였다. 문제해결에 성공한 경우 1, 실패한 경우 0, 그리고 문제해결 과정과 정답 중에서 일부만 맞은 경우

1/2로 나타내었다. 평균적으로 한 사람이 2.85 문항을 해결하였으며, 5 문항 모두 성공적으로 해결한 학생은 1명(S<sub>5</sub>)뿐이었다.

〈표 3〉 개인별 문제해결의 성공실패 여부

문항\학생	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	계
문항 1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9.0
문항 2	0	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	1/2	0	1	5.5
문항 3	1	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	6.0
문항 4	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	5.0
문항 5	0	0	1/2	1	1	1/2	0	0	0	0	3.0
계	3.0	2.0	2.5	3.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5	2.5	28.5

1: 성공, 0: 실패, 1/2: 과정과 답 중 일부만 맞음, ∅: 문제해결 포기자

문항 1 은 대부분의 학생인 9명이 올바르게 해결하였으며, 문항 2 는 3명은 해결에 성공하고 5명은 해결과정과 정답 중 일부만 성공하였다. 문항 3에 대해서는 2명은 올바르게, 그리고 나머지 8명은 일부만 해결에 성공하였으며, 문항 4 는 5명이 해결에 성공하였고, 문항 5 는 2명은 올바르게, 그리고 2명은 일부만 성공하였다.

표 3에 나타난 특징을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

문항 1 에서, 학생 S<sub>3</sub>는 미지의 저항 r만을 구하고 문제해결을 마쳤기 때문에 실패한 경우이다. 문항 2에서, S<sub>2</sub>와 S<sub>7</sub>은 해결과정은 옳지만 중간 계산과정에서 오류를 범하고 있으며, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>8</sub>은 문제에 주어진 조건을 충분히 고려하지 않았기 때문에 성공적으로 문제를 해결했다고 보기 어려운 경우이다. S<sub>1</sub>은, 저항이 끊어진 상황에서도 처음의 전체 전류(5A)가 변하지 않고 그대로 15Ω의 저항에 흐른다고 생각하는, 병렬연결 회로에 대한 오개념을 가지고 있으며, S<sub>9</sub>은 어떻게 풀어야 할지 몰라서 도중에 문제해결을 포기하였다. 문항 3에서는, 7명(S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub>)이 문제에 주어진 전류 1A를 회로 전체에 흐르는 전류로 잘못 알고 문제를 풀었으며, S<sub>10</sub>은 병렬회로에서 구한 전류를 합하지 않고 계산을 하였다. 문항 4에서는, 4명(S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub>)이 어떻게 풀어야 할지 몰라서 도중에 문제해결을 포기하였으며, S<sub>10</sub>은, 미지의 저항(r)에 흐르는 전류를 회로 전체의 전류(0.5A)로 잘못 적용하여 문제를 해결하였다. 문항 5에서는, 3명(S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub>)이 회로가 낫설고 복잡해서 문제해결을 포기하였고, 2명(S<sub>3</sub>, S<sub>6</sub>)은 회로 전체의 전류 계산 또는 저항 r에 걸린 전압을 잘못 적용하는 오류를 범하였으며, 나머지 3명(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>10</sub>)은 병렬연결 부분의 합성 저항을 구하는 과정에서 오류를 범하였다.

각 문항의 문제를 풀 때 나타난 구체적인 행동을 시간 순서에 따라 분석한 결과는 다음 표 4에서 표 8까지와 같다.

<표 4> 문항 1의 개인별 문제해결에서 나타난 구체적인 행동

S <sub>1</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>2</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>3</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (0)
S <sub>4</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>5</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> L <sub>2</sub> G <sub>1</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>6</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>7</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>8</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>9</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> L <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>10</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> E <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)

1 : 성공, 0 : 실패, ½ : 과정과 답 중 일부만 맞음

<표 5> 문항 2의 개인별 문제해결에서 나타난 구체적인 행동

S <sub>1</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>5</sub> E <sub>3</sub> (0)
S <sub>2</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>5</sub> E <sub>2</sub> L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> E <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>3</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (½)
S <sub>4</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>5</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>6</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>7</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>8</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>9</sub>	: L <sub>1</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>10</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>2</sub> (1)

1 : 성공, 0 : 실패, ½ : 과정과 답 중 일부만 맞음

<표 6> 문항 3의 개인별 문제해결에서 나타난 구체적인 행동

S <sub>1</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>2</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>3</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> E <sub>2</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>1</sub> E <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>4</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>5</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> E <sub>2</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>6</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>7</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>8</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>9</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (½)
S <sub>10</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> (½)

<표 7> 문항 4의 개인별 문제해결에서 나타난 구체적인 행동

S <sub>1</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>3</sub> E <sub>1</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> L <sub>4</sub> E <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>2</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> E <sub>2</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>3</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> L <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> C <sub>1</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>4</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>5</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> L <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>6</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> C <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> L <sub>4</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>7</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>8</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>9</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>10</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (0)

<표 8> 문항 5의 개인별 문제해결에서 나타난 구체적인 행동

S <sub>1</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (0)
S <sub>2</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (0)
S <sub>3</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (½)
S <sub>4</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (1)
S <sub>5</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (1)
S <sub>6</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> E <sub>1</sub> (½)
S <sub>7</sub>	: L <sub>1</sub> P <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>8</sub>	: L <sub>1</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>9</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> P <sub>1</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> G <sub>3</sub> P <sub>4</sub> (문제해결 포기) (0)
S <sub>10</sub>	: L <sub>1</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> L <sub>3</sub> P <sub>1</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>2</sub> G <sub>3</sub> L <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> P <sub>3</sub> G <sub>3</sub> (0)

2. 연구 문제별 결과

분석된 개인별 자료를 연구 문제에 따라 살펴보면 다음과 같다.

연구문제 1. 문제해결 과정면에서 학생들은 어떠한 사고과정의 단계를 거쳐 문제를 해결하는가?

각 문항별 문제해결 과정에서 학생들이 사용한 사고과정의 단계를 표 9에서 표 13에 제시하였고, 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

표 9. 문항 1의 해결과정

S1	: U P C P C P C E
S2	: U P C P C P C
S3	: U P U P C P C E
S4	: U P U P C P C P C
S5	: U P C P U P C U P C E
S6	: U P U P U P C P C P C E
S7	: U P C U P C P C U P C
S8	: U P U P C U P C E
S9	: U P C E U P C E
S10	: U P C P E U P C E

표 9에 나타난 바와 같이, 문항 1에서는 4 단계의 문제해결 과정 중 문제의 이해(U), 계획(P), 계획의 수행(C) 등의 3 단계만을 거쳐 문제를 푼 학생이 3명이고, 검증(E) 단계를 포함하는 4 단계 모두를 거친 학생이 7명이었다.

표 10에 나타난 바와 같이, 문항 2에서는 3 단계(U, P, C)만을 거쳐 문제를 푼 학생이 5명이었으며, 4 단계(U, P, C, E) 모두를 거친 학생이 3명이었다.

표 10. 문항 2의 해결과정

- 
- S1 : U P U E
  - S2 : UP UPC U E UP E PC UPC
  - S3 : U P U P C P C P C P C E
  - S4 : U P C P C P C
  - S5 : U P C U P C U P C
  - S6 : U P C P C P C
  - S7 : U P C U P C U P C
  - S8 : U P C P C
  - S9 : U (문제해결 포기)
  - S10: U P C P C P C P U P C P C E
- 

문항 3에서는 3 단계(U, P, C)만을 거쳐 문제를 푼 학생이 6명이었으며, 4 단계(U, P, C, E) 모두를 거친 학생이 4명이었다(표 11).

표 11. 문항 3의 해결과정

- 
- S1 : U P C P C P C P C
  - S2 : U P U P C P C U P C
  - S3 : U P C E P C U P E U P E U P C
  - S4 : U P C E P C U P C
  - S5 : U P C E U P C P C P C E
  - S6 : U P C P C P C
  - S7 : U P C P C U P C
  - S8 : U P C P C P C
  - S9 : U P C P C P C
  - S10: U P C P C E P C P C
- 

문항 4의 경우는, 4명이 문제풀이 도중에 포기를 하였기 때문에 그들은 해결과정의 분석에서 제외하고, 남은 6명 중에서 3 단계(U, P, C)만을 거쳐 문제를 푼 학생이 2명이었으며, 4 단계(U, P, C, E) 모두를 거친 학생이 4명이었다(표 12).

문항 5에서도, 3명이 문제풀이 도중에 포기를 하였기 때문에 그들은 해결과정의 분석에서 제외하고, 남은 7명

중에서 3 단계(U, P, C)만을 거쳐 문제를 푼 학생이 2명이었으며, 4 단계(U, P, C, E) 모두를 거친 학생이 5명이었다(표 13).

표 12. 문항 4의 해결과정

- 
- S<sub>1</sub> : U P C E P C P C P C P C E U E
  - S<sub>2</sub> : U P U P C P C P E (포기)
  - S<sub>3</sub> : U P C P U P C U E P U P C P C P C E
  - S<sub>4</sub> : U P C (문제해결 포기)
  - S<sub>5</sub> : U P U P C P U E U P C E U P C P C P C P C
  - S<sub>6</sub> : U P C U P U P C P C P C E C P C P C
  - S<sub>7</sub> : U P C P C P C P C P C P C
  - S<sub>8</sub> : U (문제해결 포기)
  - S<sub>9</sub> : U P C P (문제해결 포기)
  - S<sub>10</sub>: U P C P C P C
- 

표 13. 문항 5의 해결과정

- 
- S<sub>1</sub> : U P U P C P C P C P C E
  - S<sub>2</sub> : U P U P C P C U P C E
  - S<sub>3</sub> : U P C E P C P C U P C P C E
  - S<sub>4</sub> : U P C P C P U P C
  - S<sub>5</sub> : U P C U P C U P C E
  - S<sub>6</sub> : U P U P C P C P C E
  - S<sub>7</sub> : U P C P (문제해결 포기)
  - S<sub>8</sub> : U (문제해결 포기)
  - S<sub>9</sub> : U P U P C P (문제해결 포기)
  - S<sub>10</sub>: U P U P C P C U P C P C P C
- 

일반적인 특징을 살펴보면, 각 단계의 순서면에서 문제의 이해(U), 계획(P), 계획의 수행(C), 검증(E) 등을 차례로 거쳐 문제를 해결하고 있으며, 문제의 이해(U) 단계를 거친 후에 4 단계 중 일부 단계(P, C)를 순환적으로 거치는 비교적 복잡한 사고과정을 따라 문제를 해결하고 있으며, 상당히 많은 학생(18명, 문제해결 포기자 제외)들은 검증 단계를 거치지 않고 있음을 알 수 있다. 또한, 문제의 이해 단계에서 정보 끌어내기(U<sub>3</sub>)와 미지수 확인하기(U<sub>4</sub>)가 문제해결 도중에 반복적으로 사용되고 있는데, 이는, 인간의 단기 기억에서 처리될 수 있는 정보량이 한정되어 있다는 사실을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 학생들은 문제의 난이도에 관계없이 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 그리고 검증 등의 단계를 차례로, 또는 반복적으로 거쳐 문





문제해결을 포기한 학생들의 응답원안을 살펴보면, 이들은 문제의 이해 단계에서 올바르게 문제표상을 하지 못하므로 어떻게 문제를 풀어야 할지 몰라서 증도에 문제풀기를 포기하는 것으로 나타났다. 따라서 문제해결의 출발점이라고 할 수 있는 문제의 이해 단계에서 문제를 어떻게 표상 또는 인식하는가가 대단히 중요한 역할을 한다고 말할 수 있다.

연구문제 3. 연구자가 문항 분석을 통해 작성한 문제공간과 학생들의 문제공간 사이에는 어떠한 차이가 있는가?

먼저 연구자가 문항 분석을 통해 문제해결에 필요한 각 문항의 문제공간을 부록의 그림 1에서부터 그림 12에 제시하였다.

각각의 문항에 대하여 가능한 문제공간이 2가지 이상 존재하는데, 각 문제공간마다 A, B, C를 붙여 구분하고 학생들이 사용한 문제공간을 분류하는 데 사용하였다. 학생의 문제공간이 연구자가 작성한 문제공간과 일치하지는 않으나 유사하다고 판단될 때는 (')을 붙여 구분하였으며, 문제공간을 파악할 수 없거나 문제해결을 도중에 포기한 경우에는 X로 표시하였다.

학생들이 각 문항의 해결에서 사용한 문제공간을 분석한 결과는 표 17과 같다.

<표 17> 문항별 학생들의 문제공간 분석

문항\학생	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>
문항 1	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A
문항 2	X	B	C'	A'	C	C	C	X	X	C
문항 3	B	B	B	B	A	A	B	B	B	A
문항 4	A	A'	C	X'	D	D	D	X'	X'	B'
문항 5	B	A	B	B	B	B	X'	X'	X'	B

X: 문제해결 포기자, X': 문제공간이 유사한 경우

표 17에 나타난 바와 같이, 문항 1의 경우 9명이 미지의 저항 r을 구한 다음 옴의 법칙을 적용하는 문제공간 B를 사용하였으며, 1명만이 직렬회로에서의 전압에 대한 정성적인 관계를 적용하는 문제공간 A를 사용하였다.

문항 2의 경우에는, 회로 전체의 전압을 구한 다음 옴의 법칙을 적용하는 문제공간 C를 사용한 사람이 5명이었으며, 병렬회로에서의 전압에 대한 정성적인 관계를

적용하는 문제공간 A와 B를 사용한 사람이 각각 2명과 1명이었다. 이들 8명 중에서, 정량적인 접근 방법이라고 할 수 있는 문제공간 C를 사용한 3명만이 문제해결에 성공하였다.

문항 3의 경우에는, 회로 전체의 전류와 저항을 구한 후에 옴의 법칙을 적용하는 문제공간 B를 사용한 사람이 7명이었으며, 회로 전체의 전류를 구한 후에 회로에서의 전압에 대한 정성적인 관계를 적용하는 문제공간 A를 사용한 사람이 3명이었다. 이들 중에서, 각각 한 사람씩만 문제해결에 성공하였다.

문항 4의 경우에는, 미지의 저항 r을 구한 다음에 병렬 회로에 대한 합성저항을 구하는, 보다 정량적인 접근 방법인 문제공간 D를 사용한 사람이 3명이었으며, 미지의 저항 r을 구하지 않고 회로에 대한 정성적인 관계를 적용하는 문제공간 A, B, C를 사용한 사람이 각각 2, 1, 1명이었다. 이들 중에서, 문제공간 D의 3명과 문제공간 A, C의 각각 1명이 문제해결에 성공하였다.

문항 5의 경우에는, 병렬회로 부분의 합성저항을 구한 다음에 회로 전체의 전류를 구하고 옴의 법칙을 적용하는 문제공간 B를 사용한 사람이 6명이었으며, 회로 전체의 전류를 구하지 않고 저항과 전압에 대한 정성적인 관계를 적용하는 문제공간 A를 사용한 사람이 1명이었다. 이들 중에서, 문제공간 B를 사용한 2명만이 문제해결에 성공하였다.

연구자가 제시한 각 문항의 문제공간은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 정성적인 접근 방법을 사용하는 문제공간이고, 다른 하나는 보다 정량적인 접근 방법을 사용하는 문제공간이다.

이런 기준에 의해, 문제해결을 포기하거나 문제공간 파악이 어려운 경우를 제외하고, 문제해결 과정에서 나타난 전체 학생들의 문제공간을 문항별로 분류하면 표 18과 같다.

<표 18> 문제해결 접근 방법에 따른 학생들의 문제공간 분석

방법 \ 문항	문항 1	문항 2	문항 3	문항 4	문항 5	계
정성적	1	3	3	4	1	12
정량적	9	5	7	3	6	30
계	10	8	10	7	7	42

또한, 문제해결에 성공한 학생들만을 따로 분리하여

그들의 문제공간을 문항별로 분류하면 표 19와 같다.

〈표 19〉 문제해결 접근 방법에 따른 성공자의 문제공간 분석

방법 \ 문항	문항 1	문항 2	문항 3	문항 4	문항 5	계
정성적	1	0	1	2	0	4
정량적	8	3	1	3	2	17
계	9	3	2	5	2	21

표 18과 19에 나타난 바와 같이, 문제해결에 초보자인 중학생들은 대부분이 정량적인 문제해결 방법에 의존하고 있으며, 문제해결 성공율도 정량적인 방법을 사용한 경우가 더 높음을 알 수 있다.

연구자가 제시한 문제공간과 학생들이 사용한 문제공간의 차이점을 살펴보면, 연구자의 문제공간은, 문제의 전반적인 이해를 바탕으로 먼저 필요한 물리학적 원리나 법칙을 생각하고, 그 원리나 법칙의 적용에 필요한 정보를 문제에서 추출하여 체계적으로 적용하는 순행플기(Working forward)의 방법을 사용하였다. 반면에, 학생들의 문제공간은, 문제에 주어진 정보로부터 추출해낼 수 있는 물리량을 먼저 구한 뒤에, 그 물리량이 사용되는 물리학적 원리나 법칙을 생각하여 대입하는 역행플기(Working backward)의 방법을 이용하고 있다. 따라서 학생들의 문제공간은, 해결과정의 시간적인 순서에 따라 체계적인 도표로써 나타내기가 곤란하였다.

#### IV. 결론 및 제언

발성사고법을 활용하여 물리문제의 해결에 초보자인 중학생들이 물리 분야의 전자기학 문제를 풀어나가는 과정에서 나타난, 그들의 사고과정과 문제공간의 특징을 밝히고자 했던 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 5개의 검사문항 중에서 평균적으로 한 사람이 2.85 문항을 해결하였으며, 5 문항 모두 성공적으로 해결한 학생은 1명뿐이었다.

2. 문제해결 과정의 특징을 살펴보면, 각 단계의 순서면에서 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등을 차례로 거쳐 문제를 해결하고 있으며, 문제의 이해 단계를 거친 후에 4 단계 중 일부 단계(계획, 계획의 수행)를 순환적으로 거치는 비교적 복잡한 사고과정을 따라 문제를 해결하고 있다. 이러한 일부 단계의 순환은, 문제

해결에 필요한 정보를 일시에 추출하지 못하고 추출된 소수의 정보를 토대로 차례로 하나씩 문제를 해결하는 경우, 즉 하나의 문제를 여러 개의 부분 목표를 가진 문제로 나누어 해결하려는 경향이 있기 때문으로 판단된다.

또한, 문제의 이해 단계 중에서, 정보 끌어내기( $U_3$ )와 미지수 확인하기( $U_4$ )가 문제해결 도중에 반복적으로 사용되고 있는데, 이는, 인간의 단기 기억에서 처리될 수 있는 정보량이 한정되어 있다는 사실을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

3. 문제해결의 성공자와 실패자 사이에 사고과정의 단계면에서는 두드러진 차이점을 발견할 수는 없었으나, 문제해결의 구체적인 행동면에서는 문항 4의 경우, 문제해결의 성공자는 계획 단계 중에서 해결절차를 구상하기( $P_3$ )를 사용하고 있는 것이 실패자의 경우와 달랐다.

전체적으로는, 계획 단계 중에서 해결절차를 구상하기( $P_3$ )를 사용한 학생은 모두 6명이었는데, 이들 중 4명이 문제해결에 성공하고, 1명만이 문제해결에 실패하였다. 이와 같은 결과로 미루어 보아, 문제의 계획 단계에서 전반적인 문제의 해결 절차를 구상하는 것이 중요하다고 판단된다.

문제해결을 포기한 학생들의 응답원안을 살펴보면, 이들은 문제의 이해단계에서 올바르게 문제표상을 하지 못하므로 어떻게 문제를 풀어야 할지 몰라서 중도에 문제풀기를 포기하는 것으로 나타났다. 따라서 문제해결의 출발점이라고 할 수 있는 문제의 이해 단계에서 문제를 어떻게 표상 또는 인식하는가가 대단히 중요한 역할을 한다고 말할 수 있다.

4. 문항 분석을 통해 제시한 각 문항의 문제공간은, 정성적인 접근 방법과 정량적인 접근 방법을 사용하는 문제공간으로 분류할 수 있는데, 문제해결에 초보자인 중학생들은 대부분이 정량적인 문제해결 방법에 의존하고 있었다.

연구자가 제시한 문제공간과 학생들이 사용한 문제공간의 차이점을 살펴보면, 연구자의 문제공간은, 문제의 전반적인 이해를 바탕으로 먼저 필요한 물리적 원리나 법칙을 생각하고, 그 원리나 법칙의 적용에 필요한 정보를 문제에서 추출하여 체계적으로 적용하는 순행플기(Working forward)의 방법을 사용하였다. 반면에, 학생들의 문제공간은, 문제에 주어진 정보로부터 추출해낼 수 있는 물리량을 먼저 구한 뒤에, 그 물리량이 사용되는 물리적 원리나 법칙을 생각하여 대입하는 역행플기(Working backward)의 방법을 이용하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 응답원안에 표출된 학생들의 문제공

간은, 해결과정의 체계적인 도표로써 나타낼 수가 없었다.

본 연구는, 물리문제 해결과정에서 초보자들이 보이는 사고과정의 특징을 밝히는 데 그 목적이 있었으며, 이러한 연구는, 대상을 중, 고등학생 및 대학생으로 확대하여 그들의 사고과정을 조사하는 후속 연구가 필요하다고 생각되며, 또한 물리 분야의 전반에 걸친 지속적인 연구가 필요하다고 생각한다.

또한 본 연구에서 사용한 문제공간을 사용하여 학생들을 지도하게 되면, 그들의 문제해결력 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

권재술, 이성왕 (1988). 물리문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-56.

김순식 외 (1992). 하이라이트 물상 자습서 (중2). 지학사.

김언주 (1987). 인지심리학 (이론과 적용). 정민사.

김영민 (1985). 한국의 과학교육 연구내용 분석. 한국과학교육학회지, 5(2), 139-146.

남창우, 이태균 (1988). 필승 물리 I 자습서. 교학사.

박운배 (1988). Expert-Novice differences of mental representation and problem solving strategy in mechanics problem. 한국과학교육학회지, 8(2), 43-52.

박운배 (1991). 역학문제해결에 있어서의 오류유형. 물리교육, 9(1), 14-23.

박종석, 조희형 (1986). 고등학생들의 유전에 대한 오인의 확인 및 유전학 지도방향. 한국과학교육학회지, 6(2), 35-42.

박학규, 권재술 (1990). 물리문제 해결에 관한 초심자의 프로토콜 분석 연구. 한국과학교육학회지, 10(1), 57-64.

송인명 외 (1988). 중학교 과학 2. 교학사.

이관용 (1988). 인지심리학. 법문사.

이관용 (1988). 인간기억 및 인지연구법. 법문사.

이돈우 (1992). 대학수학능력시험 (과학탐구영역 · 물리). 정법문화사.

이성왕 (1987). 물리문제 해결 과정에서의 전문가와 초

심자의 사고과정의 비교 분석. 한국교원대학교 석사학위 논문.

조희형 (1988). 과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학 교육에 대한 시사점. 한국과학교육학회지, 8(2), 33-42.

한국교육개발원 (1990). 사고력 신장을 위한 프로그램의 개발 연구 (III). 한국교육개발원 연구 보고서.

Chi, M.T.H., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R.(1989). Self- explanations : How students study and use examples in learning to solve problems. Cognitive Science, 13(2), 145-182.

Cohen, L., & Manion, L. (1980). Research methods in education. Croom Helm, London, U.K.

Delacote, G., Tiberghien, A., & Schwartz, J.(1983). Research on physics education. Proceedings of the 1st Int'l workshop. La Londe Les Maures, Univ. of Paris VII, France.

Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas in science. Open University Press, Milton Keynes, England.

Elio, R., & Scharf, P.B. (1990). Modeling novice-to-expert shifts in problem-solving strategy and knowledge organization. Cognitive Science, 14 (4), 579-639.

Gentner, D., & Stevens, A.L. (1983). Mental models. Lawrence Erlbaum, New Jersey, U.S.A.

Griffiths, A.K., Thomey, K., Cooke, B., & Normore, G. (1988). Remediation of student-specific misconceptions relating to three science concepts. J. RE. SCI. TEA., 25(9), 709-719.

Howard, R.W. (1987). Concepts and schemata : An introduction. Cassell Educational, Artillery Row, London, U. K.

Hudson, H.T. (1986). A comparison of cognitive skills between completes and dropouts in a college physics course. J. RE. SCI. TEA., 23(1), 41-50.

Larkin, J., & Rainard, B. (1984). A research methodology for studying how people think. J. RE. SCI. TEA., 21(3), 235-254.

Lawson, A.E. (1979). The psychology of teaching for thinking and creativity. ERIC Clearinghouse, Ohio State Univ., U. S. A.

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. Nat'l Acc. for Research in Science Teaching (NARST) Monograph, U. S. A.
- Lijnse, P.L. (1985). The many faces of teaching and learning mechanics : in secondary and early tertiary education. Proceedings of a conference on physics education :W.C.C.- Utrecht, University of Utrecht, The Netherlands.
- McCormick, C.B., Miller, G., & Pressley, M. (1989). Cognitive strategy research : From basic research to educational applications. Springer - Verlag, New York, U. S. A.
- Maloney, D.P. (1988). Novice rules for projectile motion. Science Education, 72(4), 501-513.
- Mayer, R.E. (1983). Thinking, problem solving, cognition. W. H. Freeman and Company, New York, U. S. A.
- Mohapatra, J.K. (1987). 'Can problem-solving in physics give an indication of pupils' 'process knowledge' ? Int'l. J. of Science Education, 9(1), 117-123.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). Human problem solving. Prentice-Hall Inc., New Jersey, U. S. A.
- Novak, J.D. (1987). Misconceptions & educational strategies in science & mathematics. Proceedings of the 2nd int'l seminar. Cornell University, New York, U. S. A.
- Omasta, E., & Lunetta, V.N. (1988). Exploring functions : A strategy for teaching physics concepts and problem-solving. Science Education, 72(5), 625-636.
- Polya, G. (1957). How to solve it - A new aspect of mathematical method. Princeton University Press, New Jersey, U. S. A.
- Raven, R.J. (1987). A study of the use of ratios in science problem solving. Science Education, 71(4), 565-570.
- Reif, F. (1987). Instructional design, cognition, and technology : Applications to the teaching of scientific concepts. J. RE. SCI. TEA., 24(4), 309-324.
- Robertson, W.C. (1990). Detection of cognitive structure with protocol data: Predicting performance on physics transfer problems. Cognitive Science, 14(2), 253-280.
- Scandura, J.M. (1977). Problem solving: A structural/process approach with instructional implications. Academic Press, N.Y., U.S.A.
- Tuma, D.T., & Reif, F. (1980). Problem solving and education: Issues in teaching and research. Lawrence Erlbaum, New Jersey, U.S.A.
- Veldhuis, G.H. (1990). The use of cluster analysis in categorization of physics problems. Science Education, 74(1), 105-118.
- White, R.T. (1988). Learning science. Basil Blackwell, Oxford, U. K.

(ABSTRACT)

## An Analysis of the Characteristics on the Middle School Students' Thinking Processes in Solving Physics Problems

**Hac-Kyoo Park**

(Department of Physics, Chonju Woosuk University)

**Yong-Hyun Lee**

(Department of Physics, Kunsan National University)

This study was intended to find the characteristics of the middle school students' thinking processes and problem spaces when they solved the physics problems.

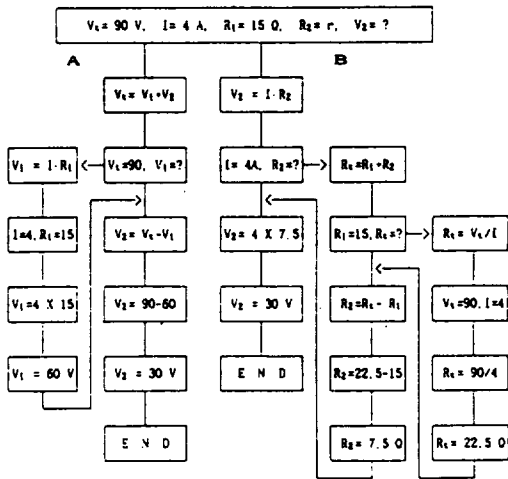
Ten ninth grade students in Chon-Buk Do, Korea were participated in this study. The researcher investigated their thinking processes in solving 5 physics problems on electric circuit. "Thinking aloud" method was used as a research method.

The students' thinking processes were recorded using an audio tape recorder and transferred into protocols. The protocols were analyzed by problem solving process coding system which was developed by Lee(1987) on the basis of Larkin's problem solving process model.

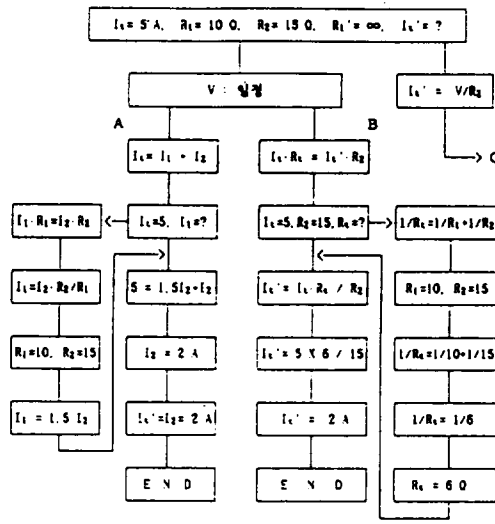
The results are as follows :

- (1) On the average 2.85 items were solved among 5 test items, and only one person could solve all of the items correctly.
- (2) Problems were solved in sequence of understanding the problem, planning, carrying out the plan, and evaluating steps regardless of the problem difficulty.
- (3) In regard to the thinking process steps, there was no difference between the good solvers and the poor ones. But in the detail performance of problem solving, the former was different from the latter in respect with using the design of general solving procedure.
- (4) The basic problem spaces by the item analysis were divided into two classes. One was the problem space by using qualitative approach in problem solving, and the other was one by using quantitative approach. As novices in physics problem solving, most of the students used the problem space by using the quantitative approach.

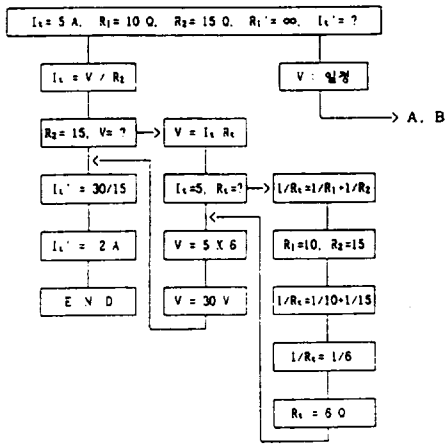
부록 : 각 문항의 문제공간



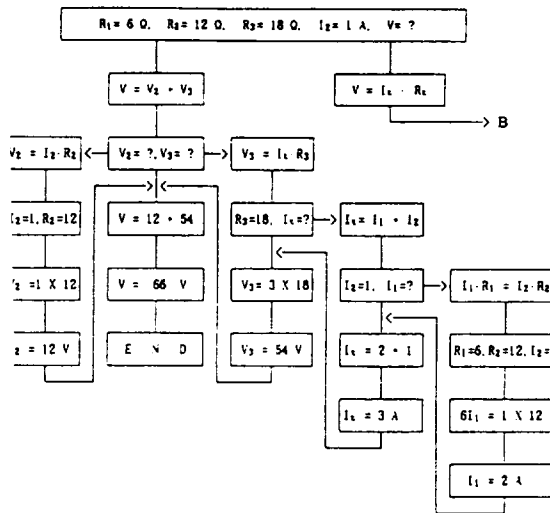
(그림 1) 문항 1의 문제공간 (A, B)



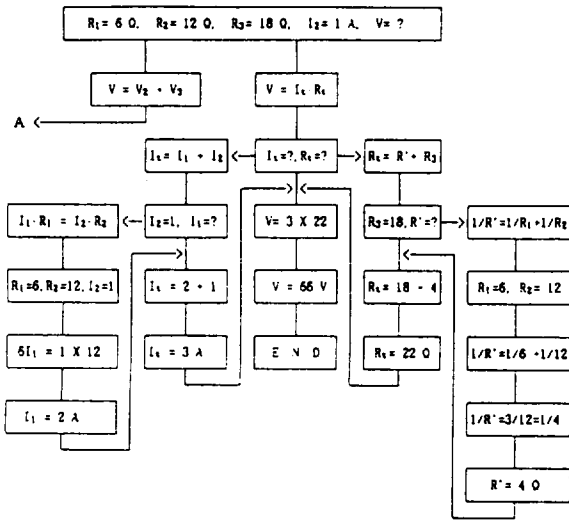
(그림 2) 문항 2의 문제공간 (A, B)



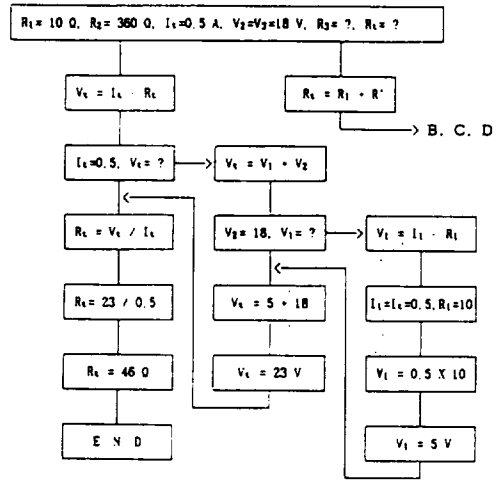
(그림 3) 문항 2의 문제공간(C)



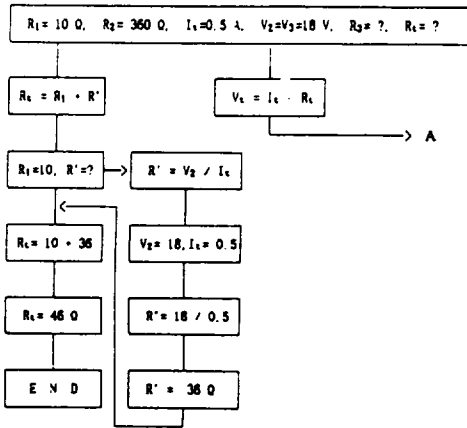
(그림 4) 문항 3의 문제공간 (A)



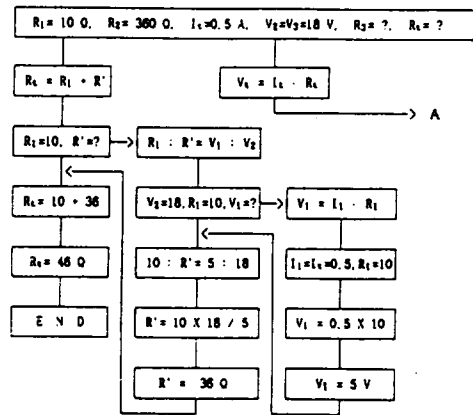
(그림 5) 문항 3의 문제공간 (B)



(그림 6) 문항 4의 문제공간 (A)

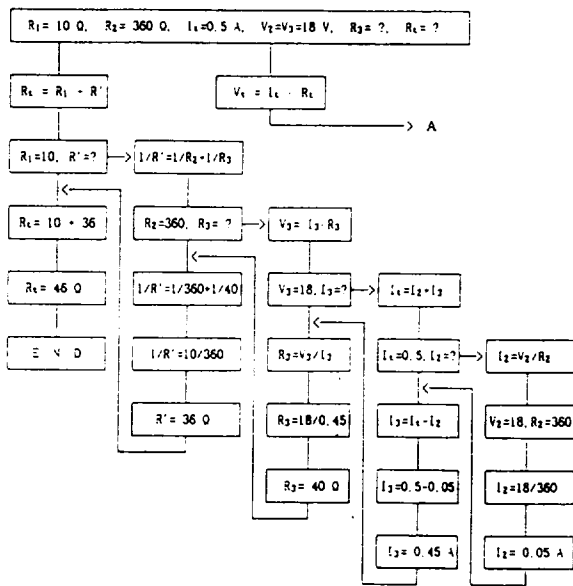


(그림 7) 문항 4의 문제공간 (B)

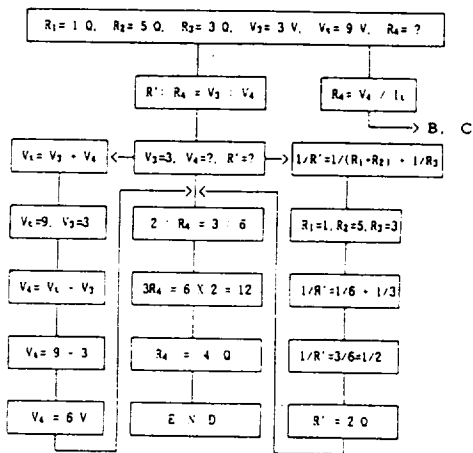


(그림 8) 문항 4의 문제공간 (C)

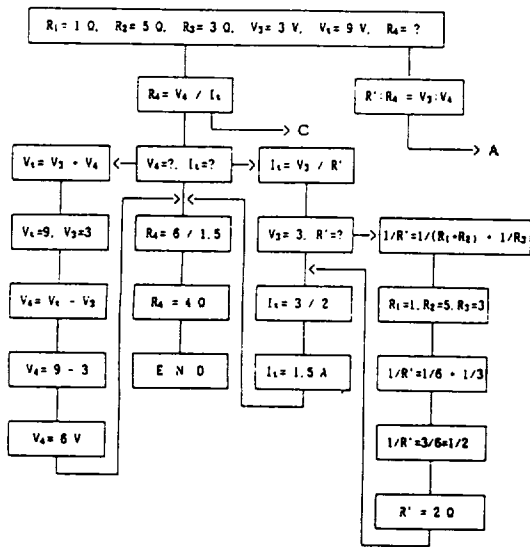




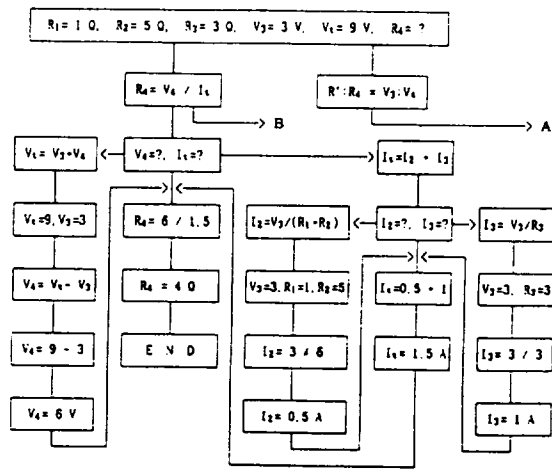
(그림 9) 문항 4의 문제공간 (D)



(그림 10) 문항 5의 문제공간 (A)



(그림 11) 문항 5의 문제공간 (B)



(그림 12) 문항 5의 문제공간 (C)