물리 문제 해결 과정에서의 학생들의 사고 과정에 관한 연구*

박 학 규 · 권 재 술
(전주우석대학교)(한국교원대학교)

(1994년 1월 13일 받음)

I. 서 론

우리나라 중학교 과학과의 교과목표를 살펴 보면, "자연현상에 대한 흥미와 호기심을 가지고 과학의 지식과 방법을 습득하여, 과학적으로 사고하고 창의적으로 문제를 해결하는 능력을 기르게 한다"고 되어 있다. 또한 고등학교 과학과의 교과목표는 "자연을 과학적으로 탐구하는 능력을 신장시키고, 문제해결에 이를 활용하게 한다"를 세부목표 중의 하나로 제시하고 있다. 이와 같은 중·고등학교 과학과의 교과목표 달성을 위하여, 물리교육 분야에서의 주된 관심은, 물리적인 사실, 개념, 원리, 법칙 등의 단순한 기억보다는 이러한 것들을 바르게 이해하고, 자연 현상에 적용하여 미지의 문제를 해결하는 능력을 학생들에게 길러주는 일이라고 할 수 있다(박학규, 권재술, 1990).

문제해결 능력의 신장은 중·고등학교 과학과 교과목표 중의 하나로써 항상 강조되어 왔지만, 과학교육 분야에서의 문제해결 과정에 대한 국내의 연구는 아직 초보적인 수준에 머물고 있는 실정이다. 외국에서의 이 분야에 대한 연구도, 1960년대에 비로소 인지심리학적인 방법이 도입됨으로써 실증적으로 이루어지기 시작하였으며, 1980년대부터 학습에 대한 구성주의 입장과 인간 사고에 대한 정보처리모형을 반영하여 여러 교과 영역들에서의 문제해결을 다루는 연구들이 활발해졌다(박윤배, 1991).

문제해결은 인지심리학의 주된 연구 영역들 중의 하나라고 할 수 있는데, 그 인지심리학은 인간의 사고를 지배하는 기본기제(basic mechanism)를 이해하고자 한다. 인지 혹은 사고는, 한 개인이 어떤 문제를 해결할 때 발생되며 그에 따른 행동을 유발하게 된다는 입장에서, 이 분야의 학자들은 인지와 문제해결, 그리고 인간의 사고를 동일한 의미로 받아들이고 있다(Mayer, 1983).

최근 20여년 동안 인지심리학에 관한 많은 연구가 이루어지고 있는데, 학습을 인지구조의 변화, 즉 이미 파지하고 있는 지식체계의 변화로 보고, 자연과학 지식이 자연으로부터 발견되는 것이 아니라 인간에 의해 구성된다고 주장하는 구성주의 입장과, 최근 컴퓨터과학의 급속한 발달과 더불어, 인간의 사고과정을 컴퓨터의 정보처리과정에 비유하는 정보처리모형이 인지심리학의 기초 이론 형성에 많은 영향을 미치고 있다(이영애, 1989). 인간의 뇌를 컴퓨터에 비유하는 데는 여러가지 제한점이 있기는 하지만, 인간의 수행에 대한 심리학적 이론의 적절성을 검증하고 예시하고자 하는 컴퓨터 시뮬레이션 분야와, 인간들이 행하는 특정 직무를 가능한 한 효율적으로 수행하는 기계를 만드는 데 그 일차적인 목적을 두고 있는 인공지능 분야는, 인간의 문제해결 능력을 컴퓨터에 접목시킨다는 관점에서 인지심리학의 발전과 깊은 관련을 맺고 있다(이관용, 1988).

이와 같이, 인지심리학의 발달과 더불어, 국내에서도 교

* 이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

과교육 분야로는 수학교육 분야에서 수학 문제해결에 관한 연구가 수행되고 있으며, 과학교육, 특히 물리교육 분야에서 문제해결에 대한 관심이 고조되고 있고, 여러 기초 연구가 수행되고 있다. 이는 '문제해결력의 신장'이라는 교육목표의 달성을 위하여, 보다 더 효과적인 문제해결 방법 또는 문제해결에 관한 일반 원리가 무엇인가를 학생들에게 제시해 주기 위한 것이라고 여겨진다.

우리는 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 또는 알고 있는 개념이나 원리를 올바르게 적용하지 못하여 발생되었다고 보아야 타당할 것이다(이성왕, 1987).

따라서 학생들이 어떻게 문제를 해결하고 있으며, 그들이 문제해결에 실패하는 원인이, 그들이 사용한 문제해결 과정 자체의 결함에 있는가, 아니면 개념이나 원리를 올바르게 이해하지 못한 결과로 인하여, 비록 필요한 공식이나 법칙을 암기하고 있지만 그러한 개념이나 원리를 올바르게 사용하지 못하는 데 있는가를 구체적으로 알아 보는 일은 물리교육에서 필요한 일이다.

본 연구에서는, 물리 문제해결에 초보자인 고등학생들과 대학생들이 물리 분야의 전기회로 문제를 해결할 때, 그들이 사용한 사고과정을 발성사고법으로 조사하고 그 응답원안을 분석하여, 문제해결 과정에서 학생들은 어떠한 단계의 사고과정을 거쳐 문제를 해결하며, 문제를 해결하는 동안 그들의 인지구조 속에 구성한 문제공간의 유형과 그 특성은 무엇이고, 문제해결에 실패하는 원인은 무엇인가를 밝히고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

연구대상자는, 전라북도에 소재한 과학고등학교 1개교 전체 136명 중에서 사전(事前)지식 검사를 통해, 점수가 80점 이상이며 각 문항에 대한 응답의 확신도를 평균한 점수가 2.00이상인 학생들 중에서, 남녀 학생 23명을 임의로 선정하였다. 그리고 전북에 소재한 4년제 대학교(A교)의 물리학과 2, 3, 4학년 78명 중에서 20명을, 충북에 소재한 4년제 교사 양성 대학교(B교)의 과학교육과 3학년 20명 중에서 8명을 사전지식 검사를 통해, 고등학생의 경우와 같은 방법으로 선정하였다.

사전지식 검사는, 전기회로에 관한 객관식 5지 선다형 문제 20문항으로 여러 문헌을 참고하여 제작하였으며, 학생들이 전기회로와 옴의 법칙에 대하여 얼마나 알고 있는가를 측정하기 위하여 실시하였다. 또한 사전지식 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. 연구대상자로 선정된 학생들의 분포와 학년별 사전지식 검사의 평균 점수, 그리고 확신도의 평균 점수는 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구대상자의 분포와 학년별 사전지식 검사결과

검사결과 / 대상자	고 1년	고 2년	고 3년	대2년 (A교)	대3,4년 (A교)	대3년 (B교)
대상자 수	8	8	7	11	9	8
사전지식 평균 점수	96	94	97	90	85	94
확신도의 평균 점수	2.94	2.99	2.86	2.73	2.66	2.77

연구대상자 중 A교 4학년 학생은 3명뿐으로 대상자 수가 적기 때문에, 따로 학년을 구분하지 않고 A교 3학년 학생들과 함께 묶어서 자료를 처리하였다.

<표 1>에서 보는 바와 같이, 학생들이 속한 집단이 서로 다르기 때문에 고등학생과 대학생의 점수를 직접 비교하기는 곤란하지만, 선발된 대부분의 연구대상자들은 전기회로와 옴의 법칙에 대하여 잘 알고 있다고 판단되며, 사전지식 검사문항에 대하여 자신있게 문제를 풀었음을 알 수 있다.

검사문항은 다양한 사고과정을 거쳐 해결될 수 있으며, 실제 학교 수업현장에서 사용되는 5개의 문항을 여러 문헌을 참고하여 선정하였다. 선정된 5개의 문항은 중학생 10명과, 대학생 5명을 대상으로 예비검사를 거쳐 수정 보완하였으며, 검사문항은 다음과 같다.

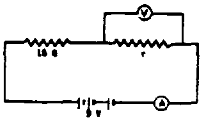
문항1. 아래 그림과 같이 미지의 저항 r과 15Ω의 저항을 직렬연결하고 9V의 전압을 걸어 주었다. 전류계의 눈금이 0.4A를 가리키고 있다면, 이때 미지의 저항 r에 걸린 전압은 얼마인가?

문항 2. 아래 그림과 같이 전기회로를 연결하고 회로에 흐르는 전류를 전류계로 측정하였더니 0.5A의 눈금을 가리켰다. 실험 도중에 10Ω의 니크롬선이 끊어졌다면 전류계에 흐르는 전류는 얼마인가?

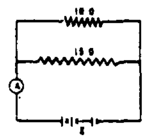
문항 3. 아래 전기회로에서 전류계에 0.1A의 전류가 흐르고 있다. 전원 E에서 공급되는 전압은 얼마인가?

문항 4. 아래 전기회로에서 전류계에 0.3A의 전류가 흐르고, 미지의 저항 r의 양단에 걸린 전압이 9V이었다. 이 회로 전체의 합성저항은 얼마인가?

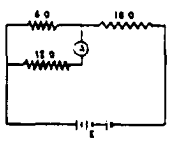
문항 5. 아래 전기회로에서 전압계가 3V를 나타냈다면 저항 r은 몇 Ω인가?



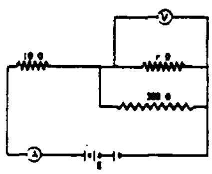
문항 1의 회로도



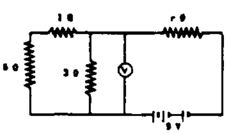
문항 2의 회로도



문항 3의 회로도



문항 4의 회로도



문항 5의 회로도

문제해결 과정 검사문항의 특성을 살펴 보면 다음 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보는 바와 같이, 문항 1은 저항이 직렬로 연결된 전기회로 문제로써, 회로 전체의 전류와 전압 그리고 부분적인 저항이 주어져 있으며, 구해야 할 물리량은 미지의 저항에 걸린 회로의 부분 전압이다. 문항 2는 저항이 병렬로 연결된 전기회로 문제로써, 회로 전체의 전류와 각각의 부분 저항이 모두 주어지고, 실험 도중 저항이 변화되었을 때 회로에 흐르는 전체의 전류를 구하는 문제이다. 문항 3에서는, 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제

<표 2> 검사문항의 특성

문항	연결상태	초기상태						목표상태
		전류		전압		저항		
		전체	부분	전체	부분	전체	부분	
1	직렬	O	X	O	X	X	O	부분 전압
2	병렬	O	X	X	X	O	O	전체 전류
3	혼합	X	O	X	X	O	O	전체 전압
4	혼합	O	X	X	O	X	O	전체 저항
5	혼합	X	X	O	O	X	O	부분 저항

O: 주어진 물리량, X: 주어지지 않은 물리량

로써, 회로를 구성하는 각각의 부분 저항 모두와, 병렬연결된 하나의 저항에 흐르는 부분 전류가 주어지고, 회로에 걸린 전체 전압을 구하는 문제이다. 문항 4는 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제로써, 회로에 흐르는 전체 전류와 병렬연결된 저항의 양단에 걸린 회로의 부분 전압과 회로를 구성하는 일부의 저항이 주어지고, 회로 전체의 합성저항을 구하는 문제이다. 문항 5는 저항이 직렬과 병렬로 혼합 연결된 전기회로 문제로써, 회로 전체에 걸린 전압과 각각의 저항값이 주어진 병렬연결된 부분의 전압이 주어지고, 직렬연결된 미지의 저항을 구하는 문제이다.

각 검사문항의 해결 방법을 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 전기회로에 대한 문제에 대하여 옴의 법칙을 단순히 적용하여 문제를 해결하는 '미시적 접근'이고, 다른 하나는 옴의 법칙을 사용하기는 하지만 전기회로에 대한 여러 가지 회로의 특성을 이용하여 보다 더 간단하게 문제를 해결하는 '거시적 접근'이다. 이와 같은 관점에서 각 문항의 해결방법을 분석하면 다음 <표 3>과 같다.

<표 3>에서 문항 1과 문항 2에 대한 해결방법을 살펴 보면 다음과 같다.

문항 1:

거시적 접근: 직렬회로에서의 전체 전압은 각 저항에 걸린 전압의 합과 같다는 회로의 성질을 이용하기 위해, 이미 주어진 15Ω의 저항의 양단에 걸린전압을 먼저 구하고 전체 전압에서 이 전압을 빼주는 방법이다.

미시적 접근: 옴의 법칙을 단순히 적용하기 위하여, 미지의 저항 r을 먼저 구하고 이미 주어져 있는 회로 전체의 전류를 옴의 법칙에 대입하는 방법이다.

문항 2:

거시적 접근: 병렬연결 회로의 특성인 전체 전압이 변하지 않는다는 사실과 전류와 저항 사이의 반비례 관계를

한국과학교육학회지 제14권 1호 pp. 85~102(1994)

<<표 3> 각 문항의 해결방법에 따른 분류

문항	미시적 접근	거시적 접근
1	미지저항 r의 계산 $V_2 = I\,r$ 의 적용	$V_1 = I\,R_1$ 의 적용 직렬회로의 성질 이용 ($V_t = V_1 + V_2$)
2	회로의 합성저항과 전체 전압의 계산 ($V = I_{15} \times R_{15}$)	병렬회로의 성질 이용 전류와 저항의 반비례 관계이용 ($I_{10} : I_{15} = R_{15} : R_{10}$)
3	회로의 합성저항과 전체 전압의 계산 ($V = I_t\,R_t$)	전압과 저항의 비례 관계이용 부분 전압의 계산 ($V_t = V_{12} + V_{18}$)
4	미지저항 r의 전류 미지저항 r의 계산 회로 전체의 합성저항	회로 전체의 전압과 전류 이용 병렬부분의 전압과 전류 이용 전압과 전류의 비례 관계 이용
5	회로전체의 전류 계산 r에 걸린 부분 전압 ($V_r = I_r\,r$)	병렬부분의 합성저항 전압과 저항의 비례 관계 이용 ($V_3 : V_r = R' : r$)

이용하여, 전체 전압을 구하지 않고 15Ω의 저항에 흐르는 전류를 구하는 방법이다.

미시적 접근: 옴의 법칙을 단순히 적용하기 위하여, 먼저 회로 전체에 걸린 전압을 구하고, 하나의 저항이 끊어진 뒤에 남은 저항이 전체의 저항이므로 옴의 법칙에 대입하여 답을 구하는 방법이다.

본 연구에서는, 피험자들에게 그들의 사고과정을 분명히 언어화하고, 문제를 해결하는 동안 '소리내어 생각하도록' 요구하여 그 과정을 녹음하는 발성사고법을 사용하였다. 그리고 연구자는 한 사람의 관찰자로서 직접 조사에 참여하여 문제해결 과정을 녹음하고 피험자와 면접을 하였다. 그리고 문항의 배열 순서에 따라 학생들의 문제해결 과정에 미치는 영향을 최소화 하기 위하여, 먼저 학생 자신의 추첨에 의해 문항의 해결 순서를 정하고, 5개의 문항을 각각 1문항씩 차례로, 정해진 순서에 따라 제시하여 해결하게 하였다.

자료의 수집절차는, ① 사전 지식상태의 점검, ② 실시상의 유의사항 전달 및 발성사고법의 연습, ③ 발성사고법에 의한 문제풀이 실시, ④ 재확인 및 회상적 면접, ⑤ 응답원안의 작성 등 다섯 단계를 거쳐 자료를 수집하였다.

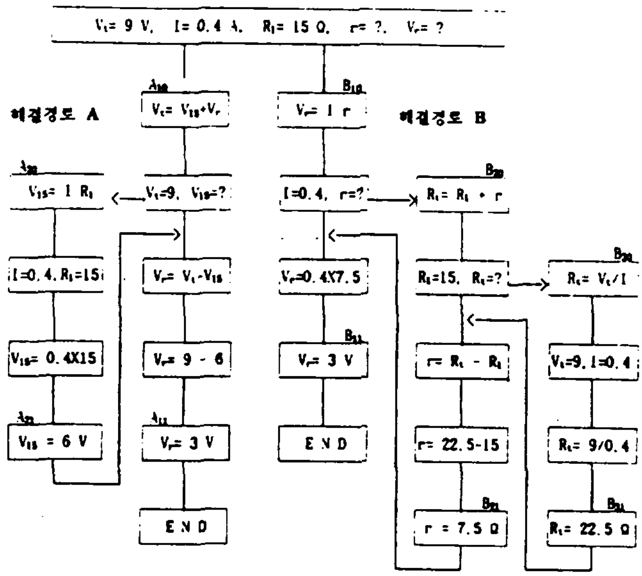
이러한 방법으로 얻은 자료를 문제해결 결과, 문제해결 과정, 문제공간 그리고 문제해결의 실패 원인 등 네 분야로 나누어 분석하였다.

학생 개개인의 문항별 문제해결 결과는, 문제해결에 성공한 경우 1, 실패한 경우 0, 그리고 계산과정상의 단순한 잘못 또는 실수로 말미암아 올바른 답을 구하지 못한 경우 0.5로 점수화하여 분석하였다. 여기서 실패한 경우라도, 문제해결 과정에서 최종의 목표상태에 올바르게 도달하지는 못하였지만, 문제해결 과정 자체가 100% 잘못되었다는 의미는 아니다. 본 연구에서는 논의의 편의상, 정답에 이르지 못하였으며, 문제해결 과정 중에 중요한 잘못이 포함되어 있는 경우는 모두 문제해결의 실패로 간주하여 0점으로 처리하였다. 다만, 계산과정상의 단순한 실수로 인해 정확한 답에 이르지 못한 경우를 실패한 경우와 구별하여 0.5로 점수화하였는데, 이는, 문제 풀이가 모두 끝난 뒤에 가진 사후면담에서 연구자가 확인한 결과, 문제해결자가 실제로 가지고 있는 계산기능상의 문제가 아니라 본 연구에서의 조사방법인 발성사고법의 영향에 따른 잠시동안의 착각에 의한 단순한 실수로 연구자가 판단하였기 때문이다. 따라서 이와 같은 점수체계상의 문제점을 충분히 이해하고 문제해결 결과를 살펴야 할 것이다.

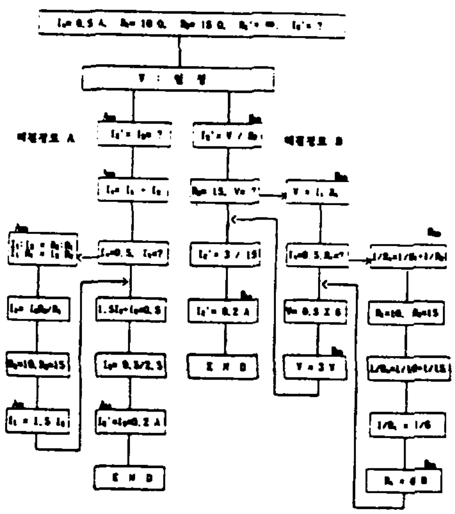
문제해결 과정의 분석은, 이성왕(1987)이 작성한 문제해결 과정 코딩시스템을 사용하였다. 이 문제해결 과정 코딩시스템은 표 4와 같다.

<표 4> 문제해결 과정 코딩시스템

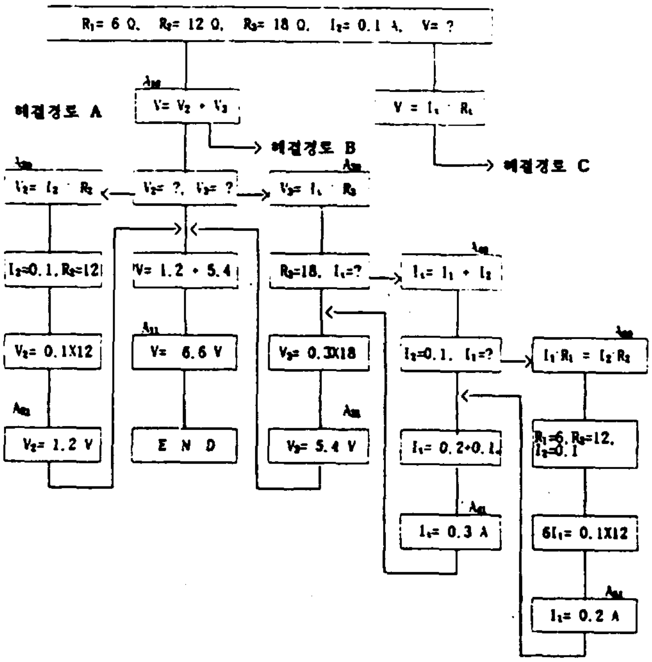
1. 문제의 이해	U
(1) 원문 읽기	U_1
(2) 여러가지 양을 기호로 표시하기	U_2
(3) 정보 끌어내기(핵심 문장·구 인식하기. 자기 용어로 의역하기)	U_3
(4) 미지수 확인하기	U_4
(5) 해를 대략적으로 산정하기	U_5
2. 계 획	P
(1) 조건에서 유도해 낼 수 있는 양 찾기	P_1
(2) 조건간의 관계 찾기	P_2
(3) 적용할 원리, 법칙 생각하기	P_3
(4) 적용할 원리, 법칙은 문제상황에 적절한 것인가를 확인하기	P_4
(5) 해결 절차를 구상하기	P_5
3. 계획의 수행	C
(1) 조건간의 관계, 원리, 법칙 등을 이용하여 방정식 세우기	C_1
(2) 보조적 공식을 이용하여 불필요한 양을 소거하기	C_2
(3) 방정식에 수치를 대입하여 해 구하기	C_3
4. 검 증	E
(1) 해의 부호, 값, 단위 등을 확인하기	E_1
(2) 정성적 예측과 해의 일치 여부를 확인하기	E_2
(3) 해가 문제의 조건에 합당한 것인지 확인하기	E_3
(4) 다른 방법으로 푼 결과와 일치하는지 확인하기	E_4



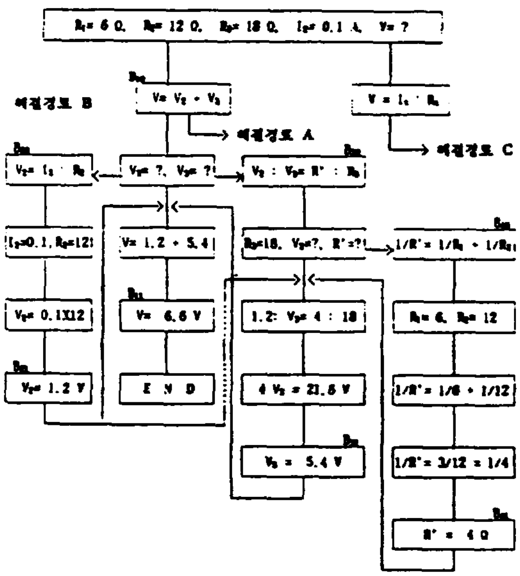
<그림 1> 문항 1의 기본적인 문제공간(A,B)



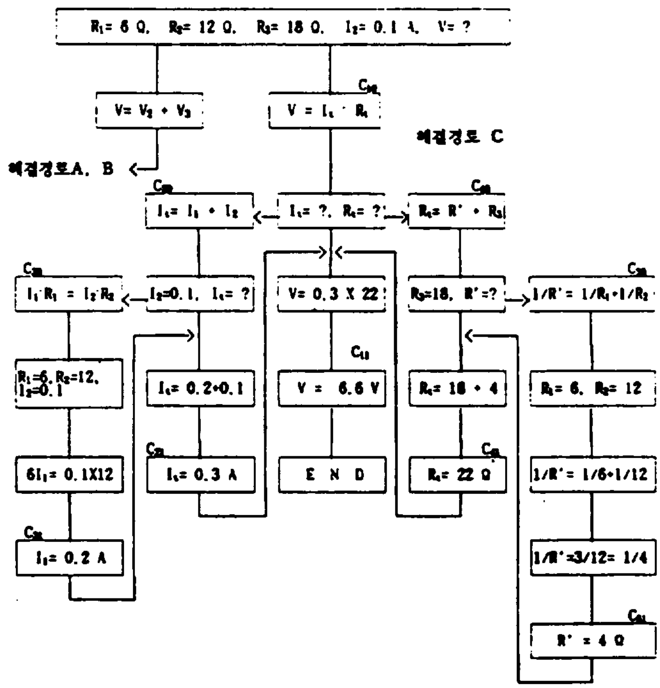
<그림 2> 문항 2의 기본적인 문제공간(A,B)



<그림 3> 문항 3의 기본적인 문제공간(A)



<그림 4> 문항 3의 기본적인 문제공간(B)



<그림 5> 문항 3의 기본적인 문제공간(C)

<표 5> 기본적인 문제공간의 해결경로 유형

문항	유형	문제공간의 해결경로
1	1A-1	A-A-A-A_{11}-E
	1B-1	B-B-B-B-B-B_{11}-E
2	2A-1	A-A-A-A-A_{11}-E
	2B-1	B-B-B-B-B-B_{11}-E
3	3A-1	A -[A-A / A-A-A-A-A-A]- A_{11}-E
	3B-1	B -[B - B / B - B - B - B] - B_{11} - E
	3C-1	C -[C - C - C - C / C - C - C - C] - C_{11} - E
4	4A-1	A-A-A-A-A-A_{11}-E
	4B-1	B-B-B-B_{11}-E
	4C-1	C-C-C-C-C-C_{11}-E
	4D-1	D-D-D-D-D-D-D-D-D-D_{12}-E
5	5A-1	A -[A - A / A - A] - A_{11} - E
	5B-1	B -[B - B / B - B - B - B]- B_{11} - E
	5C-1	C -[C - C / C - [C - C / C - C] - C]- C_{11} - E

본 문제해결 과정 코딩시스템은 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등 4단계로 구성되어 있으며, 각 단계에서 표출될 수 있는 구체적 행동을 문헌조사와 사전연구에 의해 추출하고, 일반적인 용어로 진술한 것이다. 코딩시스템에서 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 아래 첨자로 하여 U_1, U_2, … P_1, P_2, … 등과 같이 표시하였다.

본 연구에서 이 코딩시스템을 이용하는 방법은, 우선 이미 작성되어 있는 학생들의 응답원안을 구 또는 절로 구분하고, 각각의 구나 절에 해당하는 구체적 행동을 선택하였다. 분석자 개인의 주관적인 판단에 의한 오류를 최소화하기 위하여 세 명의 대학생을 동원하여 분석하고, 연구자가 이를 종합하여 결정하였다.

문제공간의 분석은, 먼저 연구자가 문항 분석을 통해 문제해결에 필요한 각 문항의 기본적인 문제공간을 작성하였으며, 여기서는 문항 1, 2, 3의 기본적인 문제공간만을 <그림 1>에서부터 <그림 5>까지 제시하였다.

기본적인 문제공간의 구조는, 주어진 문제의 초기상태로부터 목표상태에 이를 수 있는 물리적 원리나 법칙을 먼저 생각해 내고, 그 원리나 법칙을 적용하기 위해 필요한 정보를 찾아 낸다. 만일 직접 찾아지지 않는 정보(미지수)가 존재하면 그 정보를 찾기 위한 새로운 원리나 법칙을 생각해 내고, 그것을 먼저 해결하여 필요한 정보를 얻어서 그 다음 단계의 계산과정을 수행하는 방법으로 구성되어 있다. 이러한 과정의 반복적인 수행에 의해 문제해결에 이르는 방법은, 일반적인 문제해결 전략들 중의 하나인 수단-목표 분석 전략에서 하위목표를 설정하여 문제공간을 형성하는 방법이라고 할 수 있다.

각각의 문항에 대하여 기본적인 문제공간 안에서 가능한 문제해결 경로가 2가지 이상 존재하는데, 각 경로마다 A, B, C 등의 영문자와 숫자를 붙여 'A_{ij}'형의 기호로 표시하였다(예, A_{10}, A_{11}, A_{20}, A_{21}, B_{10}, B_{11} 등). 이것은, 각각의 문항에 대하여 응답원안에 제시되어 있는 학생들의 문제해결 경로를 분석하는데 사용하기 위한 것이었으며, 이를 바탕으로 학생들의 문제공간의 유형과 그 특성에 대하여 분석하였다.

각 문항의 기본적인 문제공간에 대한 해결경로의 유형을 제시하면 <표 5>와 같다.

<표 5>에서 알 수 있는 사항은 다음과 같다. 문항 1과 문항 2의 경우, 각각 독립된 해결경로의 수가 2개씩 있으며, 문항 4에서는 4개의 독립된 해결경로가 있음을 알 수 있다. 그리고 그 해결경로가 모두 선형적인 관계를 유지하고 있는 것은, 각각의 하위목표들이 종속적임을 의미한다. 따라서 첫번째 첨자가 가장 작은 '1'에서 시작하여 점진적으로 낮은 위치에 놓여 있는 하위목표를 향하고 있으며, 첫번째 첨자가 가장 큰, 제일 낮은 위치에 놓여 있는 하위목표가 달성되면, 한 단계씩 점차적으로, 달성된 그 하위목표보다 상대적으로 상위에 위치한 또 하나의 하위 목표를 해결함으로써 최종의 목표상태에 이르는 과정을 나타낸다. 문항 3과 문항 5의 경우에는 각각 3개씩의 독립된 해결경로가 존재함을 알 수 있으며, 각각의 경로들은 선형이 아니라 병치된 형태를 나타내고 있다. 이는 각각의 경로들에서 일부의 하위목표들이 서로 독립된 관계를 가지고 있음을 의미한다. 따라서 이와 같이 병치된 경로는, 최종의 목표상태에 이르기 전에 어느 경로를 먼저 통과하여도 문제해결에 영향을 미치지 않는다.

학생들의·문제해결 단계의 분석과 문제공간의 분석에서 밝혀낼 수 없는 문제해결의 실패 원인도 또한 있을 것이다. 이러한 원인들은 학생들의 문제해결 과정을 전체적으로 점검함으로써 찾아낼 수 있으며, 이러한 원인을 분류하면 구체적이고 명확하게 학생들의 사고과정을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 문제해결 결과의 분석

51명의 학생들로부터 수집된 응답원안 자료를 이용하여, 전체 학생들의 문항별 문제해결의 성공자와 실패자의 수를 분석한 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 전체 학생들의 문항별 문제해결의 성공자와 실패자의 수

성패\문항	문항1	문항2	문항3	문항4	문항5	계
성 공	40(78)	47(92)	41(80)	28(55)	42(82)	198(78)
실 패	11(22)	3(6)	7(14)	19(37)	9(18)	49(19)
계산실수	0(0)	1(2)	3(6)	4(8)	0(0)	8(3)
계	51 (100)	51 (100)	51 (100)	51 (100)	51 (100)	255 (100)

(　)안은 %

문제해결 과정과 답이 모두 옳은 경우는 '성공'으로, 정답에 이르지 못하였으며 문제해결 과정 중에 중요한 잘못이 포함되어 있는 경우는 '실패'로 간주하였다. 그리고 문제해결 과정은 올바르지만 계산과정상의 단순한 실수로 말미암

아 올바른 답을 구하지 못한 경우는 '계산실수'로 분류하였다.

전체적으로 문제해결에 성공한 사례수와 실패한 사례수를 살펴 보면, 총 사례수 255건 중에서 78%인 198건이 문제를 성공적으로 해결하였으며, 19%인 49건이 문제해결에 실패하였고, 3%인 8건이 계산상의 단순한 실수를 범하여 문제를 성공적으로 해결하지 못하였다.

<표 6>에서 보는 바와 같이 문항별로 살펴 보면, 문항 2에서 92%인 47명이 문제해결에 성공하여 가장 높은 성공율을 보였으며, 문항 1, 3, 5에서는 대략 80% 정도의 거의 비슷한 성공율을 보였고, 문항 4에서는 55%인 28명이 문제해결에 성공하여 가장 낮은 성공율을 보였다. 이와 같은 결과로 보아 각 문항의 난이도를 알 수 있는데, 문항 4의 난이도가 가장 높고, 문항 1, 3, 5는 난이도가 중간이며, 문항 2의 난이도가 가장 낮다고 할 수 있다.

그리고 각 학년에 따라 문제해결에 성공한 문항 수를 살펴 보기 위하여, 계산과정에서 단순한 실수를 한 경우를 50%의 성공으로 간주하고, 학년별 문제해결에 성공한 문항 수에 따른 학생 수를 분석한 결과를 <표 7>에 제시하였다.

<표 7> 학년별 문제해결에 성공한 문항 수에 따른 학생 수

	문제해결에 성공한 문항수									성공한
학년	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.0	소계	평균문항수
고 1	2	0	2	1	2	0	0	1	8	3.6
고 2	4	0	3	1	0	0	0	0	8	4.4
고 3	5	0	1	1	0	0	0	0	7	4.6
소계	11	0	6	3	2	0	0	1	23	4.2
대 2[A]	2	1	3	1	3	1	0	0	11	3.8
대 3[B]	3	0	2	0	1	0	2	0	8	3.8
대 3-4[A]	3	1	1	0	2	1	1	0	9	3.8
소계	8	2	6	1	6	2	3	0	28	3.8
합 계	19	2	12	4	8	2	3	1	51	4.0

[A]: A 대학교 학생, [B]: B 대학교 학생

<표 7>에서 보는 바와 같이, 전체적으로는 학생 한 사람이 평균 4.0문항을 성공적으로 해결하였으며, 고등학생은 한 사람이 평균 4.2문항을, 그리고 대학생의 경우는 한 사람이 평균 3.8문항을 성공적으로 해결하였다. 개별적으로는 다섯 문항을 모두 성공적으로 해결한 학생은 37%인 19명이고, 세 문항 이상을 해결한 학생이 88%인 45명이었으며, 한 문항만을 성공적으로 해결한 학생이 2%인 1명이었다. 전체적으로 고등학생이 대학생보다 성공율이 높은 것으로 나타났는데, 이는, 옴의 법칙과 전기회로에 대하여 학습한 후의 경과시간이 대학생들에 비해 고등학생들이 비교적 짧기 때문으로 판단되며 다른 이유로는, 고등학생들은 특별히 선발된 집단이기 때문에 집단 간의 차이에서 오는 영향이 요인으로 작용하였을 것으로 판단된다.

그리고 각 학년별로 문제해결에 성공한 평균 문항 수를 살펴 보면, 대학생의 경우에는 3.8문항으로 학년에 따른 별다른 차이가 나타나지 않았으나, 고등학생의 경우에는 3학년 학생들이 평균 4.6문항으로 가장 많은 문항을 성공적으로 해결하였으며, 1학년 학생들이 평균 3.6문항으로 가장 적은 문항을 해결하였다. 고등학생의 경우에는 학년이 높아질수록 더 나은 문제해결 결과를 나타내고 있는데, 이는 예상했던 바와 부합된다고 할 수 있다.

2. 문제해결 과정의 분석

학생들이 문제를 해결하는 동안에 거치는 사고과정의 단계를 살펴 보기 위하여, 각 문항의 문제를 해결할 때 나타난 학생들의 구체적 행동을 시간 순서에 따라, <표 4>에 제시한 문제해결 과정 코딩시스템을 이용하여 분석하였다.

문제해결에 성공한 사람과 실패한 사람의 사고과정의 차이를 알아 보는 것이 주목적이므로 전체 연구대상자의 해결과정을 모두 분석하지 않고, 문제해결 성공자와 실패자를 학년별로 각각 1명씩 총 6명을 가능한 한 중복되지 않도록 선정하였다. 그러나 실패자의 경우, 문항에 따라서는 실패자의 수가 적으므로 중복 선정된 대상자도 있었으며, 문항 2의 경우에는 실패자가 3명뿐이어서 이들만을 대상으로 분석하였다. 문제해결 과정에서의 구체적인 행동에 대한 이러한 자료들로부터, 문제해결 단계가 문제해결의 성공과 실패 사이에 어떠한 관계가 있는가를 살펴 보기 위해 문제해결 단계에 따른 성공자와 실패자의 문항별 분포를 분석한 결과는 다음의 <표 8>과 같다.

<표 8> 문제해결 단계에 따른 성공자와 실패자의 문항별 분포

문항	문제해결 단계						합계
	3 단계			4 단계			
	성공	실패	소계	성공	실패	소계	
1	4	5	9	2	1	3	12
2	6	3	9	0	0	0	9
3	4	3	7	2	3	5	12
4	0	1	1	6	5	11	12
5	5	3	8	1	3	4	12
합계	19(33)	15(26)	34(60)	11(19)	12(21)	23(40)	57(100)

( )안은 %

<표 8>에서 보는 바와 같이, 문제해결 과정의 네 단계를 모두 거쳐 문제를 푼 학생이 40%였으며, 세 단계만을 거쳐 문제를 해결한 학생이 60%이었다. 이를 문제의 난이도와 관련하여 살펴 보면, 난이도가 가장 낮은 문항 2에서는 문제해결 과정의 분석 대상자 전원이 검증 단계를 생략한 세 단계의 사고과정만을 거치고 있었으며, 난이도가 가장 높은 문항 4에서는 92%인 문제해결 과정의 분석 대상자 거의 대부분이 사고과정의 네 단계를 모두 거쳐 문제를 해결하였다. 이러한 결과로 볼 때, 문제해결에 초보자인 학생들은, 문제의 난이도가 낮은 문항을 해결할 때는 대부분 검증 단계를 거치지 않는 것으로 나타났다.

<표 8>에서, 문제해결 성공자와 실패자들의 사고과정의 단계면에서는 문항별로 거의 비슷한 분포를 나타내고 있으며, 문항 3과 문항 5의 경우에는 검증 단계를 포함한 문제해결의 네 단계를 모두 거친 실패자의 수가 성공자의 수보다 더 많은 것으로 나타났다. 이는 네 단계를 거쳤다고 하여 반드시 문제해결의 성공을 보장하는 것은 아니라는 것이다. 비록 검증 단계를 거쳤다고 하더라도, 문제해결 과정 전반에 걸친 검토를 하지 않고, 단순히 계산과정상의 잘못을 확인하는 정도이기 때문에 결국 문제해결에 실패하는 경우가 대부분이었다. 문제해결의 성공자 중에서도, 이와 같이 단순히 자신의 계산과정을 확인하는 정도의 검증을 거치는 경우가 문항 4에서 두 명이 있었다.

전체적으로 문제해결 단계의 순서면에서는, 문제의 이해(U), 계획(P), 계획의 수행(C), 검증(E) 등을 차례로 거쳐 문제를 해결하고 있으며, 문제의 이해 단계를 거친 후에 4단계 중 일부 단계(U-P-C 또는 P-C)를 반복적으로 거치는 비교적 복잡한 사고과정을 따라 문제를 해결하고 있다. 이와 같이, 일부의 단계가 반복적이고 순환적으로 사용되고 있는 것은, 문제해결에 필요한 전반적인 문제의 구조에 대한 이해가 이루어지지 않은 상태에서, 문제에 제시된 소수의 정보와 문제해결자가 생각해낸 원리를 토대로 차례로 하나씩 문제를 해결하려는 경향이 있기 때문으로 판단된다.

3. 문제공간의 분석

1) 학생들의 문제공간 유형

학생들의 문제공간 유형을 분석하기 위해서, 각 문항의 기본적인 문제공간을 바탕으로 학생들의 응답원안에서 그들이 사용한 문제해결의 경로를 추적하여 각 문항별로 표를 작성하였다. 여기서는 문항 1에 대한 학생들의 문제해결 경로를 분석한 결과만을 구체적으로 살펴 보고, 나머지 문항에 대한 논의는 이를 종합하여 그 결과만을 제시하였다.

문항 1에 대한 학생들의 문제해결 경로를 몇 가지 유형으로 분류할 수 있는데, 이를 제시하면 다음의 <표 9>와 같다.

<표 9> 문항 1에 대한 학생들의 문제해결 경로 유형

문제해결 경로 유형	성공	실패	계
유형 1A-1 : A_{10}-A_{20}-A_{21}-A_{11}-E	2		2
유형 1A-2 : A_{20}-A_{21}-A_{10}-A_{11}-E	25		25
유형 1B-1 : B_{10}-B_{20}-B_{30}-B_{31}-B_{21}-B_{11}-E	1		1
유형 1B-2 : B_{30}-B_{31}-B_{20}-B_{21}-B_{10}-B_{11}-E	12	11	23
합계	40	11	51

학생들의 문제해결 경로의 유형을 분류할 때, 그들의 해결경로는 연구자가 문항 1의 기본적인 문제공간에서 제시한 두 가지의 경로(A, B) 중에서 어느 하나의 경로만을 일관되게 따르지 않고 두 경로의 요소들이 복합적으로 나타나는 경우가 많았는데, 그들이 해결에 이른 경로라고 판단되는 경로만을 선택하였다. 예를 들면, '고01'의 경우, 실제로 이 학생이 구성한 문제해결 경로는 'B_{20}-B_{30}- A_{20}-A_{21}-A_{10}-A_{11}-B_{10}-B_{21}-E'와 같았지만, 그가 해결에 이른 경로는 'A_{20}-A_{21}-A_{10}-A_{11}-E'의 경로를 따른 것으로 판단되기 때문에 '유형 1A-2'로 분류하였다. 그리고 '대01'의 경우, 실제로 이 학생이 구성한 문제해결 경로는 'A_{20}-A_{21}-A_{10}-A_{11}-B_{30}-B_{21}-B_{10}-B_{11}-E'이다. 이 학생은 '문제공간 A'를 이용하여 이미 답을 구하고 난 다음, 다시 '문제공간 B'를 이용하여 답을 구한 경우로써, 그가 실제로 문제해결에 이른 경로는 'B_{30}-B_{31}-B_{20}-B_{21}-B_{10}-B_{11}-E'의 경로를 따른 것으로 판단되기 때문에 '유형 1B-2'로 분류하였다.

<표 9>에 나타난 바와 같이, '유형 1A-1'과 '유형 1B-1'은 연구자가 제시한 기본적인 문제해결 경로(<표 5>)로 전체 51명의 학생 중에서 세 명만이 이러한 문제공간을 사용하였다. 대부분의 학생들은 '유형 1A-2'와 '유형 1B-2'를 사용하였는데, '유형 1A-2'를 사용한 학생 25명은 모두 문제해결에 성공하였으며, '유형 1B-2'를 사용한 학생 23명 중에 12명이 문제해결에 성공하였다. '유형 1B-2'를 사용한 학생들 중에서 11명의 학생들이 문제해결에 실패하였는데, 이들은 실제 구해야 하는 미지저항에 걸린 전압(B_{11})을 구하지 않고, 단지 미지의 저항 r(B_{21})만을 구하고 문제해결을 마쳤기 때문에 문제해결에 실패하였다.

앞의 <표 9>에서 제시한, 문항 1에 대한 학생들의 문제해결 경로 유형의 분류는, 비록 다양한 해결경로를 거쳐 문제를 해결하였을 경우라도 그 학생이 실제로 답에 이른 경로만을 연구자의 판단에 의해 분석하였기 때문에, 문제공간의 여러

요소들을 거치는 해결경로의 다양성이 분석에서 제외되었다. 따라서 학생들이 형성한 문제공간의 다양성을 파악하기 위해 문항 1의 해결경로에 대한 자료를 이용하여 학생들이 실제로 형성한 문제공간의 유형을 분석한 결과는 <표 10>과 같다.

<표 10> 문항 1에 대한 학생들의 실제 문제공간 유형

문제공간 유형		성공	실패	합계
단일형	A	16	0	16
	B	12	10	22
	소계	28	10	38 (75%)
혼합형	AB	2	0	2
	ABA	4	0	4
	BA	4	0	4
	기타	2	1	3
	소계	12	1	13(25%)
합계		40	11	51(100%)

<표 10>에서 단일형이란, 학생들이 문제를 해결하는 동안 하나의 해결경로를 따라 끝까지 문제를 해결한 경우이고, 혼합형은 문제 자체의 구조 속에 존재하는 두 가지의 해결경로를 왔다 갔다한 경우로써 이런 학생들은 시행착오적인 경향을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

<표 10>에 나타난 바와 같이, 문항 1은 비교적 난이도가 낮은 문제로써 전체 51명 중에서 75%인 38명이 단일한 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였으며, 그 중 10명이 문제해결에 실패하였다. 이들 실패자 10명은 모두 문제의 해인 'B_{11}'에 이르지 못하고 'B_{21}'에서 문제해결을 마친 경우이다. 혼합형의 'AB'를 사용한 학생은 2명으로 모두 문제해결에 성공하였으며, 1명은 문제공간 A에서 문제해결을 마쳤고, 다른 1명은 문제공간 B에서 문제해결을 마쳤다. 혼합형의 'ABA'와 'BA'를 사용한 학생은 각각 4명씩으로 모두 문제해결에 성공하였으며, 초기단계에서는 문제공간 A 또는 B로 시작하여 결국 문제공간 A로 문제해결을 마친 경우로써, 이들은 <표 9>에서 '유형 1A-2'로 분류되었던 학생들이다.

혼합형의 '기타'에는 'BAB(고01)'와 'BXA(대06)'가 각각 1명씩이며, 모두 문제해결에 성공하였다. 이들은 모두 문제공간 A에서 문제해결을 마친 경우로써, <표 9>에서 '유형 1A-2'로 분류되었던 학생들이다. 그리고 '기타'에는 'BXB(대19)'가 포함되어 있는데, 문제공간 B로 문제해결을 마쳤으며 문제해결에 실패하였고, <표 9>에서 '유형 1B-2'로 분류되었던 학생이다.

이와 같은 방법으로 각 문항에 대하여 분석한 결과를 종합하여, 전체 학생들의 문항별 실제 문제공간의 유형을 제시하면 <표 11>과 같다.

<표 11> 문제공간 유형에 따른 문항별 전체 학생수

문항	단일형 성공	단일형 실패	단일형 계산실수	단일형 소계	혼합형 성공	혼합형 실패	혼합형 소계	합계
1	28	10	0	38	12	1	13	51
2	45	0	1	46	2	3	5	51
3	37	4	3	44	4	3	7	51
4	13	2	4	19	15	17	32	51
5	39	6	0	45	3	3	6	51
합계	162	22	8	192(75)	36	27	63(25)	255(100)

<표 11>에서 보는 바와 같이, 전체적으로 총 255건의 사례 중에서 75%인 192건이 단일한 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였고, 그 중에서 162건이 문제해결에 성공하였으며 22건이 실패하였다. 그리고 25%인 63건이 각 문제공간의 여러 요소를 왔다 갔다하는 혼합된 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였고, 그 중에서 36건이 문제해결에 성공하였으며 27건이 실패하였다.

문항별로는, 난이도가 가장 낮은 문항 2와, 비교적 낮은 문항 1, 3, 5에서는 대부분의 학생들이 단일형의 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였으나, 난이도가 가장 높은 문항 4에서 두드러지게 혼합형의 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였는데, 이는 문항의 난이도가 높을 경우 학생들이 시행착오적인 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다.

2) 학생들의 문제공간 특성

학생들이 문제해결 과정에서 구성한 문제공간의 특성을 알아 보기 위하여, 우선 문제해결의 접근 방법에 따라 연구자가 작성하여 제시한 각 문항의 기본적인 문제공간을 다음의 <표 12>와 같이 분류하였다.

<표 12> 문항별 기본적인 문제공간의 특성

문항	문제공간의 특성: 거시적 접근	문제공간의 특성: 미시적 접근
1	A	B
2	A	B
3	A, B	C
4	A, B, C	D
5	A	B, C

<표 12>에서 '거시적 접근'은, 옴의 법칙을 사용하기는 하지만 전기회로에 대한 여러 가지 회로의 특성을 이용하여 보다 더 간편하게 문제를 해결하는 방법이며, '미시적 접근'은 전기회로에 관한 문제에 대하여 옴의 법칙을 단순히 적용하여 문제를 해결하는 방법이다.

또한 학생들이 문제해결 과정에서 형성한 문제해결 경로의 특성을 알아 보기 위하여 연구자가 작성하여 제시한 각 문항의 기본적인 문제해결 경로와 학생들이 사용한 문제해결 경로의 특성을 다음의 <표 13>과 같이 분류하였다.

<표 13> 문항별 문제해결 경로의 특성

문항	문제해결 경로의 특성 하위목표 설정	거꾸로 풀기
1	1A-1, 1B-1	1A-2, 1B-2
2	2A-1, 2B-1, 2B-3	2B-2
3	3A-1, 3B-1, 3C-1	3A-2, 3B-2, 3C-2
4	4A-1, 4B-1, 4C-1, 4D-1	4A-2, 4B-2, 4C-2, 4D-2
5	5A-1, 5B-1, 5C-1	5A-2, 5B-2, 5C-2

<표 14> 문제공간의 특성에 따른 문항별 전체 학생수

문항	거시적 접근 성공	거시적 접근 실패	거시적 접근 실수*	거시적 접근 소계	미시적 접근 성공	미시적 접근 실패	미시적 접근 실수*	미시적 접근 소계	기타 실패	합계
1	27	0	0	27	13	11	0	24	0	51
2	0	0	0	0	47	0	1	48	3	51
3	22	0	1	23	19	4	2	25	3	51
4	17	2	0	19	11	7	4	22	10	51
5	8	2	0	10	34	4	0	38	3	51
합계	74	4	1	79(31%)	124	26	7	157(62%)	19(7%)	255(100%)

(문제공간의 특성)

*: 계산과정상의 단순 실수

이미 앞의 연구 방법에서 논의된 바와 같이, 기본적인 문제해결 경로는 수단-목표 분석전략을 이용하여 문제의 초기상태로부터 연쇄적인 '하위목표를 설정'하고, 그 하위목표들을 하나씩 차례로 해결함으로써 결국 최종의 목표상태에 이르는 방법이다. 그런데 실제로 학생들이 사용한 문제해결 경로를 살펴 보면, 그들은 문제에 주어진 정보(초기상태) 중에서 쉽게 찾아낼 수 있는 물리량을 우선 구하고 난 다음, 그것을 이용하여 또 다시 알아낼 수 있는 새로운 물리량을 찾는 과정을 반복함으로써 최종의 목표상태에 이르는 경로를 사용하였다. 이는 연쇄적인 '하위목표 설정' 방법의 순서를 거꾸로 이용하고 있다는 점에서 연구자가 제시한 기본적인 문제해결 경로와 구별된다. 따라서 이와 같은 학생들의 문제해결 경로를 '거꾸로 풀기' 방법을 이용한 문제해결이라고 규정하였다.

<표 13>에서 문항 2의 경우, '유형 2B-3(B_{20}-B_{30}-B_{31}-B_{21}-B_{10}-B_{11}-E)'은 학생들이 사용한 해결경로의 한 유형으로, 올바른 '하위목표 설정(B_{10}-B_{20}-B_{30}-B_{31}-B_{21}-B_{11}-E)' 방법과 일치하지는 않았지만, 부분적으로는 이러한 방법을 따른 것으로 판단하여 '하위목표 설정' 방법에 의한 해결경로라고 분류하였다.

이러한 기준에 의해, 문제공간의 특성에 따라 각 문항에 대한 전체 학생들의 문제해결 결과를 제시하면 다음의 <표 14>와 같다.

<표 14>에 나타난 바와 같이, 전체적으로 총 255건의 사례 중에서 62%인 157건이 미시적 접근을 이용하여 문제를 해결하였으며, 31%인 79건이 거시적 접근을 이용하여 문제를 해결하였다. 그리고 문항별로 살펴 보면, 문항 1, 3, 4에서는 두 가지 접근의 사용 빈도가 거의 비슷하게 나타나고 있으나, 문항 2와 문항 5에서는 대부분의 학생들이 미시적 접근을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 각각의 접근을 사용한 사례들 중에서 문제해결에 실패한 비율을 살펴보면, 거시적 접근을 이용한 79건 중 4건이 실패하여 5%의 실패율을 보였으며, 미시적 접근을 이용한 157건 중 26건이 실패하여 17%의 실패율을 보였다. 따라서 거시적 접근에서의 실패할 가능성보다는 미시적 접근에서의 실패할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

<표 15> 문제해결 경로의 특성에 따른 문항별 전체 학생수

문항	문제해결 경로의 특성									합계
	하위목표 설정				거꾸로 풀기				기타	
	성공	실패	실수*	소계	성공	실패	실수*	소계	실패	
1	3	0	0	3	37	11	0	48	0	51
2	24	0	1	25	23	0	0	23	3	51
3	5	4	0	9	36	0	3	39	3	51
4	1	1	2	4	27	8	2	37	10	51
5	5	0	0	5	37	6	0	43	3	51
합계	38	5	3	46(18%)	160	25	5	190(75%)	19(7%)	255(100%)

*: 계산과정상의 단순 실수

그리고 단순한 계산과정상의 실수 사례 총 8건 중에서 대부분인 7건이 미시적 접근에 의한 문제해결에서 단순한 실수를 범한 것으로 나타났다. 이는 거시적 접근에 비해 문제공간의 구조가 상대적으로 더 복잡한 미시적 접근에서 계산과정의 실수를 더 많이 할 가능성이 있을 것이라는 예상과 잘 부합되는 사실이다.

이러한 결과로부터, 물리 문제해결에 초보자인 학생들이 전기회로에 관한 문제를 해결할 때, 여러 가지 회로의 특성을 이용하여 보다 더 간편하게 문제를 해결하는 거시적 접근보다는, 옴의 법칙을 단순히 적용하여 문제를 해결하는 미시적 접근을 더 많이 사용하고 있음을 알 수 있다. 이는, 학생들이 전기회로의 성질을 이용하여 전체적인 문제의 구조를 파악하기 전에, 우선적으로 옴의 법칙을 단순히 적용하려는 경향이 있기 때문으로 판단된다.

문제해결 경로의 특성에 따라 각 문항에 대한 전체 학생들의 문제해결 결과를 제시하면 다음의 <표 15>와 같다.

<표 15>에 나타난 바와 같이, 전체적으로 총 255건의 사례 중에서 75%인 190건이 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용하였으며, 18%인 46건이 하위목표 설정에 의한 문제해결 방법을 이용하였다. 그리고 문항별로 살펴 보면, 난이도가 가장 낮은 문항 2에서는 두 가지 해결경로의 사용빈도가 거의 비슷하게 나타났으나, 나머지 다른 문항들에서는 대부분의 학생들이 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용한 것으로 나타났다. 또한 경로의 특성에 따라 문제해결에 실패한 비율을 살펴 보면, 하위목표 설정에 의한 문제해결 경로를 이용한 46건 중 5건이 실패하여 11%의 실패율을 보였으며, 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 경로를 이용한 190건 중 25건이 실패하여 13%의 실패율을 보였다. 따라서 하위목표 설정 방법에서의 실패할 가능성보다는 거꾸로 풀기 방법에서의 실패할 가능성이 다소 높은 것으로 나타났다. 그리고 단순한 계산과정상의 실수 사례 총 8건 중에서 3건은 하위목표 설정 방법에 의한 문제해결에서, 나머지 5건은 거꾸로 풀기에 의한 문제해결에서 단순한 실수를 범하였다.

이러한 결과로부터 물리 문제해결에 초보자인 학생들이 전기회로에 관한 문제를 해결할 때, 수단-목표 분석전략을 이용하여 문제의 초기상태로부터 연쇄적인 '하위목표를 설정'하고 그 하위목표들을 하나씩 차례로 해결함으로써 결국 최종의 목표상태에 이르는 보다 더 체계적인 해결경로보다는 문제의 초기상태에서 직접 찾아낼 수 있는 물리량을 우선적으로 구하고 난 다음, 그것을 이용하여 또 다시 알아낼 수 있는 새로운 물리량을 찾는 과정을 반복함으로써 최종의 목표상태에 이르는 '거꾸로 풀기'에 의한 문제해결 경로를 사용하고 있음을 알 수 있다. 이는 대부분의 학생들이 전기회로 문제에서 전체적인 문제의 내용을 파악하기 전에 주어진 정보를 이용하여 직접 구할 수 있는 각 회로 요소들에 대한 물리량, 즉 전압, 전류 및 합성저항 등을 먼저 구하는 경향이 있기 때문으로 판단된다.

문제공간의 특성과 문제해결 경로의 특성에 따라, 문제해결의 성공 사례수(계산과정상의 단순한 실수 사례를 포함)와 실패 사례수를 각각 분석하여 제시하면 다음의 <표 16>, <표 17>과 같다.

계산과정의 단순한 실수를 범한 사례 8건을 성공 사례에 포함시켜 분석하였는데, 이는 문제해결 과정의 측면에서 거의 성공이라고 간주할 수 있기 때문이다.

<표 16>에서 보는 바와 같이, 계산과정상의 단순한 실수 사

<표 16> 문제공간 특성과 문제해결 경로의 특성에 따른 문제해결 성공 사례수

문제해결	문제공간의 특성		
경로의 특성	거시적 접근	미시적 접근	합계
하위목표 설정	5 (2%)	36 (17%)	41 (20%)
거꾸로 풀기	70 (34%)	95 (46%)	165 (80%)
합 계	75 (36%)	131 (64%)	206(100%)

(계산과정상의 단순한 실수 사례 8건 포함)

<표 17> 문제공간 특성과 문제해결 경로의 특성에 따른 문제해결 실패 사례수

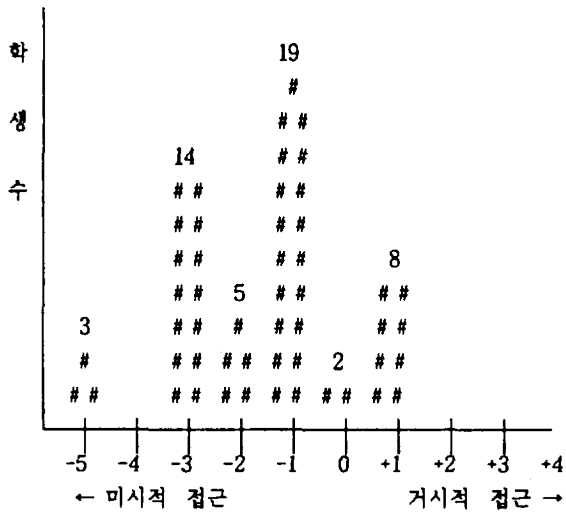
문제해결	문제공간의 특성			
경로의 특성	거시적 접근	미시적 접근	기타	합계
하위목표설정	0	5(10%)	0	5(10%)
거꾸로 풀기	4(8%)	21(43%)	0	25(51%)
기 타	0	0	19(39%)	19(39%)
합 계	4(8%)	26(53%)	19(39%)	49(100%)

례 8건을 포함한, 문제해결의 성공 사례수 총 206건 중에서 46%인 95건이 미시적 접근이면서 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용하였으며, 34%인 70건이 거시적 접근이면서 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용하였고, 17%인 36건이 미시적 접근이면서 하위목표 설정에 의한 문제해결 방법을 이용하였으며, 단지 2%인 5건만이 거시적 접근이면서 하위목표 설정에 의한 문제해결 방법을 이용하였다.

<표 17>에서 보는 바와 같이, 문제해결의 실패 사례수 총 49건 중에서 43%인 21건이 미시적 접근이면서 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용하였으며, 8%인 4건이 거시적 접근이면서 거꾸로 풀기에 의한 문제해결 방법을 이용하였고, 10%인 5건이 미시적 접근이면서 하위목표 설정에 의한 문제해결 방법을 이용하였다. 그리고 거시적 접근이면서 하위목표 설정에 의한 문제해결 방법을 이용하여 문제해결에 실패한 사례는 전혀 없었으며, 접근 방법이나 경로의 특성을 분류할 수 없는 기타가 39%인 19건이었다.

이러한 결과로부터 문제해결의 성공자와 실패자 모두에게서 나타나는 문제공간의 두드러진 특성은 옴의 법칙을 단순히 적용하여 문제를 해결하는 미시적 접근과 전체적인 문제의 내용을 파악하기 전에 주어진 정보를 이용하여 직접 구할 수 있는 각 회로 요소들에 대한 물리량을 우선적으로 구하는 거꾸로 풀기에 의한 문제해결을 하고 있다는 사실이다.

전체 학생들이 각 문항을 해결하는 동안 사용한 문제공간의 특성을 얼마나 일관되게 적용하고 있는가를 알아 보기 위해 개인별 문항별 학생들의 문제공간을 분석하였다. 개인별 문항별 학생들의 문제공간 특성을 분석한 자료를 이용하여 학생 개개인이 사용한 문제공간의 특성을 그래프로 나타내면 다음의 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 개인별 학생들의 문제공간 특성 분포

앞에서 학생들의 문제해결 경로 유형을 분석할 때 이미 논의한 바와 같이 학생들이 여러 문제공간의 요소들을 복합적으로 사용한 경우, 연구자가 판단하여 그들이 문제해결에 이른 실제 경로만을 선택하였다. 그리고 기본적인 문제공간의 특성에 따라, 거시적 접근에 의한 문제공간을 '+1'로, 미시적 접근에 의한 문제공간을 '-1'로, 그리고 접근 방법을 분류할 수 없는 '기타(X)'의 경우 '0'으로 표기하였으며, 학생 개인에 대한 '합계'는 이들을 산술적으로 합하였다. 따라서 학생 개인에 대한 '합계'가 양수인 경우에는 거시적 접근에 대한 빈도가, 그리고 음수인 경우에는 미시적 접근에 대한 빈도가 상대적으로 많음을 의미한다.

<그림 6>에서 보는 바와 같이, 대부분의 학생들이 옴의 법칙을 단순히 적용하는 미시적 접근을 비교적 일관되게 사용하는 경향이 있음을 알 수 있다.

4. 문제해결의 실패 원인 분석

학생들이 문제해결 과정에서 진술한 응답원안을 이용하여, 각 문항의 문제해결에 실패한 원인을 분석한 결과를 제시하면 다음의 <표 18>과 같다.

<표18> 항별 실패 원인별 문제해결의 실패자 수

원인\문항	문1	문2	문3	문4	문5	계
문제표상 오류	11	0	5	19	9	44(90%)
계산과정 오류	0	1	2	0	0	3(6%)
오 개 념	0	1	0	0	0	1(2%)
기 타	0	1	0	0	0	1(2%)
계	11	3	7	19	9	49(100%)

<표 18>에서 알 수 있는 바와 같이, 실패 사례수 총 49건 중에서 90%인 44건이 문제의 표상 또는 이해에 잘못이 있는 것으로 나타났다.

'문제표상의 오류'는 문제의 이해단계에서 실제 구해야 할 물리량을 파악하지 못하고 문제에 나타난 미지의 저항값만을 구한 다음에 문제해결을 마친 경우(문항 1과 문항 4)와 주어진 정보에 대한 오해로 말미암아 실패한 경우(문항 3, 문항 4, 문항 5), 그리고 문제의 구조를 이해하지 못하여 문제해결을 포기한 경우 등이 포함되었다. '계산과정의 오류'는 반비례 관계를 비례 관계로 잘못 적용한 경우(문항 2)와 회로 전체의 전류를 구하는 과정에서 잘못한 경우(문항 3) 등이 포함되었다. 그리고 저항이 변하여도 전류가 일정하다고 생각하는 회로에 대한 잘못된 개념을 적용한 학생(문항 2)을 '오개념'에 의한 문제해결의 실패로 분류하였으며, 회로의 성질을 전혀 고려치 않고 아무 생각없이 저항과 전류 사이의 비례 관계를 무작정 적용하였다고 대답한 학생(문항 2)을 '기타'로 분류하였다.

이와 같은 결과로부터 문제해결의 출발점인 문제의 이해단계에서 문제를 어떻게 표상하는가 또는 인식하는가에 따라, 즉 올바른 문제의 표상이 문제해결의 성공과 실패에 대단히 큰 영향을 미치고 있다는 사실을 알 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 제언

물리 문제해결에 초보자인 고등학생과 대학생들이 물리 분야의 전기회로 문제를 해결하는 동안의 사고과정에 대한 응답원안을 이용하여 그들의 문제해결 과정의 각 단계와 문제공간의 유형 및 특성, 그리고 문제해결의 실패 원인을 분석한 결과로부터, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 문제해결 과정에서 학생들은 어떠한 단계의 사고과정을 거치는가?

물리 문제해결에서 학생들은, 선행 연구자들이 문제해결의 일반적인 과정이라고 주장하는 사고과정의 네 단계(문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증)를 전반적으로 사용하고 있다. 그러나 문제의 난이도가 낮은 문항의 경우, 대부분의 학생들은 네 단계 중에서 검증 단계를 거치지 않고 있다. 그리고 비록 네 단계를 모두 거친 경우에도 각 단계의 질적인 면에서 차이가 있는데, 특히 검증 단계의 경우, 문제해결 과정 전반에 걸친 검토가 이루어지지 않고 단순히 계산과정상의 잘못을 확인하는 정도로 그치고 있다.

각 단계의 순서는 문제의 이해(U), 계획(P), 계획의 수행(C), 검증(E) 등을 차례로 거쳐 문제를 해결하고 있으며, 문제의 이해 단계를 거친 후에 네 단계 중 일부 단계(U-P-C, 또는 P-C)를 반복적으로 거치는, 비교적 복잡한 사고과정을 따라 문제를 해결하고 있다.

문제해결 성공자와 실패자들이 사용한 사고과정의 단계는 문항별로 거의 비슷한 분포를 나타내고 있으나, 각 단계의 질적인 면에서는 차이가 있는데, 특히 검증 단계의 경우, 문제해결 과정 전반에 걸친 검토가 이루어지지 않고, 단순히 계산과정상의 잘못을 확인하는 정도이기 때문에 결국 문제해결에 실패하는 경우가 대부분이었다.

2) 문제해결 과정에서 학생들이 사용한 문제공간의 유형과 그 특성은 무엇인가?

난이도가 비교적 낮은 문항들에서는 대부분의 학생들이 단일형의 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였으나, 난이도가 높은 문항에서는 두드러지게 혼합형의 문제공간을 형성하여 문제를 해결하였다. 이는 문항의 난이도가 높을 경우 학생들이 문제해결에 시행착오적인 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다.

학생들이 전기회로에 관한 문제를 해결할 때 그들이 형성한 문제공간의 유형을 문제해결의 접근 방법과 해결경로의 형태에 따라 분류할 수 있다. 접근 방법에 따른 유형에는 거시적 접근 유형과 미시적 접근 유형이 있으며, 해결경로의 형태에 따른 유형에는 연쇄적인 하위목표 설정 유형과

거꾸로 풀기 유형이 있다.

문제해결의 성공자와 실패자 모두에게서 나타나는 문제공간의 두드러진 특성은 옴의 법칙을 단순히 적용하여 문제를 해결하는 미시적 접근과 전체적인 문제의 내용을 파악하기 전에 주어진 정보를 이용하여 직접 구할 수 있는 각 회로 요소들에 대한 물리량을 우선적으로 구하는 거꾸로 풀기에 의한 문제해결을 하고 있다는 점이다.

문제해결의 접근에 따른, 문항별 학생 개개인의 문제공간의 특징은 대부분의 학생들이 전기회로에 관한 문제해결에서 옴의 법칙을 단순히 적용하는 미시적 접근을 비교적 일관되게 사용하고 있다는 점이다.

3) 학생들이 문제해결에 실패하는 원인은 무엇인가?

문제해결에 실패한 주된 원인은 문제의 표상 또는 이해에 잘못이 있는 것으로 나타났다.

따라서 문제해결의 출발점이라고 할 수 있는 문제의 이해 단계에서 올바른 문제의 표상이 문제해결에서 대단히 중요한 역할을 한다고 말할 수 있다.

본 연구는 물리 문제해결 과정에서 초보자들이 보이는 사고과정의 특징을 밝히는 데 그 목적이 있었으며, 문제해결에 대한 정보처리모형에서의 이론적 기초를 이루고 있는 문제공간의 개념을 인지심리학 분야에서 다루는 문제들에 비해 비교적 복잡한 인지적 과제라고 할 수 있는 물리문제의 해결에 적용하여 학생들의 문제해결 과정을 분석할 수 있음을 보였다.

문제해결을 마치고 난 다음 학생들과의 면담에 의하면, 대부분의 학생들이 자신의 사고과정을 거의 모두 표출한 것으로 여겨지며, 발성사고법에 의한 사고과정의 조사에 별다른 어려움이 없었다. 그리고 본 연구의 과정에서 학생들이 자신의 사고과정을 점검 또는 진단해 볼 수 있는 좋은 기회가 되고 도움이 되었으며, 지금까지 명시적이고 분석적인 방법으로 문제해결 과정에 대하여 교육을 받은 사실이 없다고 진술하는 것으로 보아 학생들의 문제해결력 향상을 위하여 이러한 문제해결 과정에 대한 교육의 필요성이 있다고 여겨진다.

본 연구에서의 연구 방법과 연구 결과 등을 바탕으로 앞으로의 연구 방향과 계속적인 연구 과제에 대한 제언은 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 사고과정의 조사 방법 중의 하나인 발성사고법을 사용하였는데, 이러한 조사 방법이 문제해결의 과정과 결과에 미치는 영향을 구체적으로 고려하지는 않았다. 따라서 이에 대한 보완적인 연구의 필요성이 있다.

2) 문제해결 과정에서 학생들의 일반적인 특징을 찾으려는 본 연구의 목적에 따라 사례연구로서는 비교적 많은 수의 연구대상자를 선정하였기 때문에 피험자의 개별적인 사고과정의 심층적인 분석이 이루어지지 않았다. 따라서 소수의 피험자를 대상으로한 그들의 문제해결 과정에 대한 심층적 분석 연구가 필요하다.

3) 학교교육에서 다루는 대부분의 물리문제들이 문제공간의 개념을 이용하여 그 문제의 구조를 파악할 수 있을 것으로 판단되므로, 물리학의 다른 영역에 대한 계속적인 연구가 필요하다. 또한 이러한 문제공간의 개념을 이용하면 주관식 문제의 평가에서 문제해결 과정에 대한 비교적 객관적인 평가기준을 설정할 수 있을 것으로 판단되므로, 물리교육의 평가에 문제공간의 개념을 적용할 수 있는 방안에 대한 후속 연구가 요구된다.

4) 학생들의 문제해결 과정에 대한 이러한 기초연구가 물리학의 여러 영역과 다양한 피험자들을 상대로 하여 앞으로 더욱 연구되어야 하며, 이러한 기초연구를 바탕으로 문제해결력을 신장시키고자 하는 물리교육의 교수-학습 과정에 이를 반영할 수 있는 방안이 검토되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

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

김언주(1987). 인지심리학(이론과 적용). 정민사.

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

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

박학규, 권재술(1991). 물리 문제 해결에 관한 최근 연구의 분석. 한국과학교육학회지, 11(2), 67-77.

박학규, 이용현(1993). 물리문제 해결과정에서 중학생들의 사고과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47.

이관용(1988). 인지심리학. 법문사.

이성왕(1987). 물리문제해결 과정에서의 전문가와 초심자의 사고과정의 비교 분석. 석사학위논문, 한국교원대학교.

이영애(1989). 인지심리학. 을유문화사.

Delacote, G., Tiberghien, A., & Schwartz, J.(1983). *Research on physics education. Proceedings of the first international workshop.* La Londe Les Maures, France:

University of Paris VII.

Larkin J. H., & Rainard, B.(1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching, 21*(3), 235-254.

Mayer, R. E.(1983). *Thinking, problem solving, cognition.* New York: W. H. Freeman and Company.

Newell, A., & Simon, H. A.(1972). *Human problem solving.* New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Polya, G.(1957). *How to solve it: A new aspect of mathematical method.* New Jersey: Princeton University Press.

Reif, F., Larkin, J. H., & Brackett, G. C.(1976). Teaching general learning and problem-solving skills. *American Journal of Physics, 44*(3), 212-217.

Reif, F.(1986). Scientific approaches to science education. *Physics Today, 1986*(11), 48-54.

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.* New York: Academic Press.

Tuma, D. T., & Reif, F.(1980). *Problem solving and education: Issues in teaching and research.* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

한국과학교육학회지 제14권 1호 pp. 85~102(1994)

(ABSTRACT)

A Study on Students' Thinking Processes in Solving Physics Problems

Park, Hac Kyoo
(Chonju Woosuk University)

Kwon, Jae-Sool
(Korea National University of Education)

The purpose of this study was to analyze students' physics problem solving processes and to find the patterns of their problem spaces when high school and university students solved the physics problems. A total of 51 students in a high school and in two universities participated in this study. Their thinking processes in solving 5 physics problems on electric circuit were recorded by using 'thinking aloud' method and were transfered into protocols. The protocols were analyzed by the coding system of problem solving process.

One of the major theoretical contributions of the computer simulation approach to problem solving is the idea of *problem space*. Such a concept of problem space was applied to physics problems on electric circuit in this study, and students' protocols were analyzed by the basic problem spaces which were made up from the item analysis by the researcher.

The results are as follows:

1) On the average 4.0 test items among 5 ones were solved successfully by all subjects, and all of the items were solved correctly by only 19 persons among all of them.

2) In regard to the general steps of problem solving process, there was little difference for each item between the good solvers and the poor ones. But according to the degree of difficulty of task there was a good deal of difference. For a complex problem all of 4 steps were used by most of students, but for a simple one only 3 steps except evaluating step were used by most of them.

3) It was found in this study that most of students used mainly the *microscopic approach*, that is, a method of applying Ohm's law on electric circuit simply and immediately, not using the properties of electric circuits. And also it was observed that most of students used the *solving from below*, that is, a solving path in which they were the first to calculate physical quantities of circuit elements, before they caught hold of the meaning of the given problem regardless of the degree of difficulty.