

물리문제해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 사고과정에 관한 연구*

권재술 · 이성왕
한국 교원대학교

(1988년 5월 30일 받음)

I. 서론

물리 교육에서 중요한 것은 사실, 개념, 원리의 기억보다는 이러한 원리를 바르게 이해하고, 이러한 원리를 자연 현상에 적용하여 미지의 문제를 해결하는 능력을 키워주는 일이다. 그렇기 때문에 과학교육에서는 탐구력 신장이 매우 중요한 목표로 되어 있는 것이다.

탐구 과정, 다시 말하여 문제해결 과정을 이해하는 것은 물리교육에서 매우 중요한 일이다. 그러나 물리 문제를 해결하는 데 필요한 사고과정을 밝혀내는 일은 간단하지가 않다. 학교교육 현장에서 많이 볼 수 있는 바와 같이 어떤 학생은 주어진 물리문제를 쉽게 해결하는 데도 불구하고 어떤 학생은 실패한다. 지금까지 많은 경우에 있어서 문제해결에 실패한 경우,

* 이 연구는 1987년도 문교부 학술연구 조성비의 지원으로 이루어진 것임

왜 그 학생이 실패하게 되었는가에 대해서 구체적으로 의문을 가져보지 않고 막연히 학생의 능력이 부족하다고 결론지어 왔다. 그러나 교육의 목적이 능력 부족인자를 능력 있는자로 길러야 한다는 점을 생각할 때, 그들이 실패한 원인이 무엇인가를 구체적으로 밝히지 않고는 올바른 교육이 될 수 없는 것이다.

특히, 물리 문제 중, 가속도와 힘에 관련된 문제, 작용-반작용에 관련된 문제 등 매우 가시적이고 구체적인 문제에 있어서도 많은 학생들이 문제 해결에 어려움을 느끼고 있다.

학생들이 이러한 문제 해결에 실패하는 원인은, 학생들이 가지고 있는 역학개념의 구조 또는 학생들의 인지구조상에 문제가 있기 때문으로 판단된다. 물리 문제 해결에 실패하는 학생들로 하여금 물리학습을 원만하게 하도록 하기 위해서는 이러한 학생들이 그릇되게 가지고 있는 인지구조를 밝히는 일이 중요하다. 문제 해결에 실패하는 사람, 예컨대 물리 초심자들의 사고 과정에 무엇이 잘못되어 있는가를 알기

위해서는 문제해결에 성공하는 사람, 예컨대 물리학 교수의 사고 과정을 비교해 보는 일이다.

이러한 관점에서 여러 학자들은 문제 해결과 관련하여 다음과 같은 의문점을 해결하고자 노력하여 왔다.

첫째, 어떤 사고과정, 즉 어떤 단계를 거쳐 문제를 해결하는가?

둘째, 문제 해결 과정의 각 단계에서는 어떠한 전략, 방법을 사용하는가?

일찍이 Polya(1957)는 그의 저서 'How to Solve it'에서 수학적문제의 효율적 해결과정으로 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 반성 등의 4단계 문제해결 과정 모형과 여러가지 전략을 제시하여 이 분야의 개척자가 되었다. 그후 Larkin(1976), Linn(1982:211); Schoenfeld(1980), Woods(1980), Wright, Williams(1986) 등이 Polya의 모형과 유사한 문제해결 과정 모형을 개발하였다.

Larkin(1987), Larkin과 Reif(1979)는 입문 과정의 물리학을 공부하고 있는 대학생(초심자)과 물리학과 교수(전문가) 각각 1명씩을 대상으로 물리문제 해결 시 나타나는 사고과정을 조사 분석하여 다음과 같은 결과를 얻어 보고하고 있다.

첫째, 물리 문제를 해결하려 할 때 초심자는 그 문제 상황에 관련된다고 생각되는 공식을 즉흥적으로 찾아 적용하려고 하지만 전문가는 공식을 적용하기에 앞서 문제의 상황을 정성적으로 재음미한다.

둘째, 초심자는 제시된 문제의 상황을 변형하지 않고 그대로 활용하지만 전문가는 문제의 상황을 변형하여 활용한다.

학습자의 문제 해결력을 신장시키기 위해서는 초심자로서의 학습자의 사고과정 뿐만 아니라 학습지도 담당하고 있는 전문가로서의 교수(혹은 교사)의 사고과정을 조사할 필요가 있다. 왜냐하면 학습자의 사고과정만을 조사하여 학습자의 사고과정에 적절한 내용과 학습지도 방법을 추출하여 학습지도를 한다면 쉬운 내용의 답습이나 비교적 낮은 수준의 사고과정의 교육에 그칠 우려가 있기 때문이다. 고등한 사고과정은 전문가의 사고과정을 조사함으로써 추출될 수 있다고 생각된다. 이러한 견지에서 Larkin(1978), Larkin과 Reif(1979)의 연구는 과학과 학습지도에 시사하는 바가 크다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일반 물리학의 역학분야의 문제를 해결할 때 물리

학을 공부하고 있는 대학생(초심자)과 물리학을 지도하고 있는 교수(전문가)의 사고과정을 조사 분석하여 그들간의 차이점을 밝히고자 한다.

1. 연구 문제

본 연구에서는 물리 문제의 해결시 나타나는 사고 과정에 전문가와 초심자 사이의 차이점을 다음과 같은 측면에서 살펴보고자 한다.

가. 초심자와 전문가 사이에는 물리 문제 해결과정에서 어떤 차이가 나는가?

- (1) 문제해결에 소요되는 전체 시간면에서
 - (2) 문제해결에 사용되는 전략면에서
 - (3) 문제해결 과정의 각 단계에 소요되는 시간의 전체 시간에 대한 백분율면에서
 - (4) 문제해결 과정의 문제 이해 단계에서 그림을 그릴 경우, 그림에 표시되는 정보의 양과 내용면에서
- 나. 문제의 난이도에 따라 문제 해결 과정은 다른가?

- (1) 초심자의 경우
- (2) 전문가의 경우

2. 용어의 정의

가. 전문가와 초심자

일반적으로 전문가는 해당분야에 대한 지식과 경험이 풍부한 사람을 지칭하며 초심자는 해당 분야에 대한 지식과 경험이 적은 사람을 지칭한다. 그러나 결코 경험을 통한 기능적인 면과 지식의 다소에 의해서만 전문가와 초심자를 구분할 수 있는 기준은 아닐 것이다. Larkin, et.al.(1980)에 의하면 전문가는 초심자보다 많은 지식을 가지고 있으며 어떤 문제에 접했을 때 관련 지식을 쉽게 끌어낸다는 점은 사실이며 전문가의 지식은 단순히 개념, 원리, 법칙 등이 개별적으로 기억되어 있는 것이 아니라 5~6개 정도의 관련 개념들이 무리지어 하나의 단위(Chunk)로 기억되어 있다는 것이다. 이는 곧 전문가는 백과사전과 같이 해당 분야에 대한 지식을 많이 가지고 있을 뿐만 아니라 그 지식들이 상위개념과 하위개념간의 관련이 체계적으로 잘 조직되어 있기 때문에 문제에 접했을 때 관련 개념을 쉽게 끌어내며 관련 개념의 적용범위와 한계를 명확히 규정지을 수 있고 문제를 해결하는 데

필요한 논리적 사고력도 잘 갖추고 있음을 의미한다고 할 수 있다. 그러나 초심자는 해당 분야에 대한 지식이 적고 지식이 조직된 구조에 있어서도 매우 초보적인 위계조직이라 할 수 있으며 문제를 해결해본 경험도 적고 논리적 사고력에서도 전문가에 훨씬 못 미치는 수준이라 할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 전문가와 초심자는 경험을 통하여 습득된 기능, 논리적 사고력, 지식과 지식의 조직 등을 준거로 구분될 수 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 물리학과 교수는 물리학 전반에 걸친 지식을 많이 가지고 있고 그 지식들이 위계적으로 잘 조직되어 있으며 물리 문제를 해결해본 경험이 많아 수학적 기능이 우수하고 잘 분화된 논리적 사고력을 지니고 있다고 가정하며, 물리 교육과 학생은 상대적으로 물리학 전반에 걸친 지식이 적고 그 지식들이 매우 초보적인 위계 조직을 이루고 있으며 물리 문제를 해결해본 경험이 적어 수학적 기능이 초보적이고 논리적 사고력도 아직 분화되는 과정에 있기 때문에 초보적인 수준에 그치는 것에 불과한 것으로 가정하여 초심자로 정의하였다.

나. 문제

문제란 그 해결에 이르는 알고리즘이 제시되어 있지 않은 과제를 수행하도록 요구되는 상황을 말한다. 문제 상황에 임해 있을 때 문제 해결자는 문제를 가지고 있다는 사실은 분명히 인식하고 있지만 즉시 도달할 수 없는 목표를 달성하기 위하여 적절한 행동을 찾고 있는 중임을 뜻한다.

Mayer(1983)는 학자들에 따라 문제를 약간씩 다르게 정의하고 있지만 대부분의 심리학자들이 주장하는 문제의 특성 중에서 공통된 특성을 세 가지로 요약하고 있다.

- (1) 주어진 상황(Givens) : 조건, 정보, 대상물 등으로서 문제 해결의 출발점이 된다.
- (2) 목표 상황(Goals) : 문제가 요구하는 최종적인 상태를 말하며 문제를 해결하기 위하여 주어진 상황을 변형하여 목표 상황을 추출하는 사고를 요한다.
- (3) 장애(Obstacles) : 목표 상황에 도달하기 위하여 선결해야 할 과제 또는 목표 상황에 도달할 수 있는 과정을 알지 못하는 상태, 문제 해결자는 주어진 상황을 변형시키는 방법은 알고 있지만 정확한 해는 아직 알지 못한다.

결국 문제는 어떤 초기 상황에 있으며 초기 상황을

변형하여 새로운 상황이 도출되어야 문제를 해결할 수 있다는 것을 뜻한다. 이와같은 문제의 정의는 기하학, 장기, 수수께끼, 물리학 등의 문제를 포함시킬 정도로 포괄적이라 할 수 있다.

Reitman(1965)은 문제의 초기 상황과 목표 상황이 얼마나 잘 명시되어 있는가에 따라 문제를 4가지 범주로 나누고 있다.

(1) 초기상황과 목표상황을 잘 정의하고 있는 문제 : 예) 「돼지의 귀로 명주 지갑을 어떻게 만들 수 있을까?」 초기상황인 돼지의 귀와 목표 상황인 명주지갑이 명백하다.

(2) 초기상황은 명확히 정의되어 있으나 목표상황이 명확치 못한 문제 : 예) 「어떻게 하여 스텔라 자동차의 주행거리를 더욱 연장할 수 있을까?」 초기상황인 주행거리는 어느 정도 연장해야 하는지 명백치 못하다.

(3) 초기상황은 명확치 못하나 목표상황은 명확한 문제 : 예) 「태양의 흑점이 생기는 매카니즘을 설명하십시오」 목표상황인 태양의 흑점은 명확하지만 초기상황인 매카니즘은 명확치 못하다.

(4) 초기상황과 목표상황 모두 명확치 못한 문제 : 예) 「빨간색이고 평평 소리를 내는 것은 무엇인가?」 초기상황인 빨간색, 평평소리를 내는 주체가 명확치 못하고 목표상황에 대한 구체적 진술도 없다. 이 범주에 속하는 문제는 어린 아이가 엉뚱한 질문을 하는 정도라 할 수 있다.

Reitman(1965)의 분류는 문제의 구조적 변인 중 초기상황과 목표상황의 특성에 준거를 둔 분류방법으로 동일한 문제라도 문제 해결자의 출발점 지식에 따라 문제의 해당 범주가 달라질 수 있다.

Greeno(1978)는 문제의 전반적인 구조를 준거로 문제를 다음과 같은 세 가지 유형으로 분류하고 있다.

- (1) 유추의 구조를 가진 문제 : 이러한 유형의 문제를 풀 때에는 관련 규칙이나 패턴을 찾아야 하며 그 예로는 계열성의 완성문제, 비교유추문제를 들 수 있다.
- (2) 변형문제 : 초기상황에 제시되어 있고 목표 상황에 도달하기 위해서는 일련의 조작을 해야 하는 문제로 술항아리문제, 하노이탑문제 등이 이에 해당된다.
- (3) 배열문제 : 모든 요소들이 제시되어 있고 그 요소들을 배열하여 해를 찾을 수 있는 문제를 말하며 글

자수수께끼, 암호산수문제 등이 이에 속한다.

그렇지만 모든 문제가 명확한 한계를 갖는 것은 아니기 때문에 Reitman(1965)이나 Greeno(1978)가 제시한 범주의 어느 하나에만 해당되는 것은 아니며 오히려 여러 범주에 동시에 해당되는 경우가 많다. 학교 교육의 물리 교재에서 취급하는 물리 문제는 대부분 정보들을 제시하고 있다. 이는 초기상황이 명백하다는 점을 의미하며 어느 한 양을 구체적으로 지칭하여 구하도록 요구하고 있는 점은 목표상황이 명백하다는 사실을 의미한다. 이러한 사실로 미루어 물리 교재에 있는 대부분의 물리 문제는 Reitman(1965)에 따르면 초기상황과 목표상황이 명백한 문제에 해당되고 Greeno(1978)의 분류에 따르면 유추의 구조를 가진 문제라 할 수 있다. 그러나 동일한 문제라도 문제 해결자에 따라 달라질 수 있다.

3. 연구의 제한점

본 연구의 일반화에 따르는 제한점은 다음과 같다.

첫째, 문제 해결시 이루어진 사고과정을 빠짐없이 도출했다고 하기는 어렵다.

둘째, 연구 대상자가 전국적으로 고르게 분포되어 있지 못하고 그 수도 작다.

셋째, 검사 도구인 물리 문제의 내용이 역학분야인 Newton의 운동법칙으로 한정되어 있다.

II. 연구방법 및 절차

1. 연구 대상자 선정

연구대상자는 크게 초심자와 전문가로 양분하고 초심자로는 4년제 교사양성대학의 물리교육과 2학년 학생 중 무선표집을 통하여 20명을, 전문가로는 4개의 4년제 대학의 물리학과 교수 5명을 선정하였다. 초심자로 물리교육과 2학년 학생을 선정한 이유는 1학년때 이미 일반물리학을 학습하였기 때문에 평가문항의 내용인 역학개념이 이미 형성되어 있어 인지활동을 관찰하는데 적절한 것으로 판단되기 때문이며 또한 전문가의 경우 초심자에 비하여 대상자수가 적은 이유는 현실적으로 많은 수의 교수를 선정하여 연구를 하기에 어렵고 일반물리수준의 문제해결에 교수간의

개인차를 무시해도 무방할 것으로 판단되었기 때문이다.

2. 검사문항

연구에 사용한 검사문항은 난이도 상, 중, 하별로 각각 1문항씩 총 3문항이며, 검사문항의 선정절차는 다음과 같다.

(1) 난이도 검사에 사용될 문항의 추출

연구자가 대학의 일반물리학 교재로 사용하고 있는 4종류의 교재에 있는 역학단원의 연습문제 중 Newton의 운동법칙을 내용으로 하는 15문항을 추출하고 이를 물리학과 교수3명으로 하여 내용타당도를 검토하고 예상난이도를 표시하도록 의뢰하였다. 최종적으로 교수3명의 예상난이도가 일치되는 문항으로 예상난이도 상, 중, 하별로 각각 3문항씩 총 9문항을 선정하였다.

(2) 난이도 검사의 실시

선정된 9문항을 모두 주관식으로 출제하여 본 연구의 실험대상이 아닌 4년제 교사양성대학의 물리교육과 2학년 학생 25명을 대상으로 1시간에 걸쳐 난이도 검사를 실시하였으며 답안지는 문제를 풀어난 과정을 바로고 정확한 답을 구한 경우와, 과정은 바르나 암산 등의 사소한 실수로 답이 틀리는 경우는 정답으로 그렇지 못한 경우는 오답으로 채점하였다.

(3) 연구에 사용될 문항의 선정

문항의 난이도는 전체응시자 수에 대한 정답자수의 백분율값이 40%미만 경우는 상, 40%이상 70%미만인 경우는 중, 70%이상인 경우는 하로 정하고 예상난이도와 난이도검사 결과가 일치하는 문항중에서 난이도 별로 각각 1문항씩 선정하였다. 연구에 사용한 문항은 문제1, 문제2, 문제3이 차례로 난이도 하, 중, 상이다(그림1).

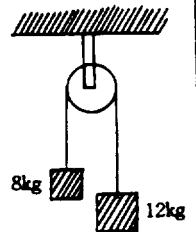
(문제1) 수평한 길 위에서 1,000kg의 차가 0.2m/sec^2 의 가속도를 내도록 하는 데 5,000N의 수평력이 필요했다.

마찰력은 얼마인가?

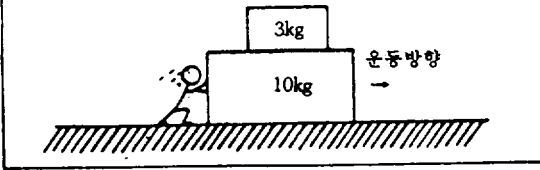
(Buche, 1984)

(문제2) 질량 8kg과 12kg 물체가 그림과 같이 도르래의 양쪽에 끈으로 매달려 있다. 이계의 가속도는?

(Orear, 1979)



(문제3) 어떤 사람이 10kg의 상자 위에 3kg의 상자를 올려 놓고 밑에 있는 상자를 밀었을 때, 10kg의 상자는 2m/sec^2 의 가속도를 3kg의 상자는 1m/sec^2 의 가속도를 가지고 모두 양쪽으로 운동하였다. 3kg의 상자가 10kg의 상자에 수평방향으로 가한 힘은? (Arfken, 1987)



〈그림1〉 연구에 사용한 문항

3. 조사방법

Larkin, Rainard(1984)는 사고발성법은 신뢰도가 높지만 면담기술 및 자료수집 방법에 대해 세심하다고 지적하면서 3단계의 자료수집절차를 제시하고 있다. 본 연구에서는 Larkin, Rainard(1984)의 3단계 자료수집절차를 토대로 작성된 4단계 절차에 따라 자료를 수집하였다.

(1) 제1단계 : 실시상의 유의사항 전달 및 연습

〈예문〉 지금부터 학생에게 문제를 풀도록 하겠습니다. 학생은 문제를 자신의 방식대로 풀으십시오. 사실은 학생이 문제를 잘 푸느냐 못푸느냐에 관심이 있는 것은 아니고 학생의 사고과정만이 필요합니다.(이하생략)

(2) 제2단계 : 문제풀이 실시

문제를 풀고 있을 때 연구자는 되도록 말을 하지 않으며 꼭 필요한 경우에는 중립적이고 비지시적 말한다.

(3) 제3단계 : 재확인

문제를 다 푼 후 이미 언어로 표현된 것중에서 명확하지 못한 내용을 알아보기 위하여 질문을 한다.

(4) 제4단계 : 프로토콜(protocol)의 작성

문제를 풀때 기록한 내용과 녹음된 내용을 시간적인 순서에 따라 원고화한다.

4. 조사의 실시

연구자는 한 사람의 관찰자로서 직접 조사에 참여하게 되며 물리교육과 2학년 학생은 연구자의 연구실

에서 한번에 1명씩 1시간 정도의 시간을 할애하여 조사하였고 물리학과 교수는 해당 교수의 연구실에서 1시간 정도의 시간내에 조사를 하였다. 대학생의 경우에는 동일 대학의 학생이므로 조사가 끝날 때까지 수시로 검사문항의 유출여부를 확인하였다.

5. 프로토콜의 분석

프로토콜은 크게 세 분야로 나누어 연구자와 물리학과 교수 1명이 각각 분석하고 차이가 있는 부분은 협의하여 결정하였다.

(1) 문제 해결 과정면

(2) 문제 해결 과정에서 사용된 전략면

(3) 문제 해결 과정에서 그림을 그린 경우에 그림에 표시된 정보의 양과 내용면

가. 문제 해결 과정의 분석

문제 해결 과정은 Larkin(1978)의 문제해결과정 모형을 토대로 연구자가 작성한 문제해결과정 코딩시스템을 사용하여 분석하였다. 문제해결과정 코딩시스템은 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 4단계로 구성되어 있으며 각 단계에서 표출될 수 있는 구체적 행동은 사전연구에서 추출된 행동과 Larkin(1978)의 모형의 각 단계에 진출된 행동을 종합하여 일반적 용어로 진술하였다(표1).

나. 문제 해결 과정에서 사용된 전략

문제해결자가 문제를 풀때 사용하는 전략은 여러 가지가 있을 수 있으나 모든 문제에 적용할 수 있고 선행연구에서 초심자와 전문가의 차이점으로 밝혀진 바 있는 거꾸로풀기와 바로풀기에 초점을 맞추어 분석하였다. 실제의 분석에 있어서 거꾸로풀기(WB), 바로풀기(WF)중 어느 쪽에 해당되느냐를 판별할 때 혼동이 될 수 있는데 거꾸로풀기는 문제에서 요구하는 미지수를 구하기 위하여 필요한 정보만을 하나씩 차례로 찾아나아가는 경우로 문제에서 추출될 수 있는 모든 정보를 활용하지 않을 수도 있다. 바로풀기는 미지수를 염두에 두고는 있지만 문제의 상황에서 얻을 수 있는 모든 정보를 추출한 후 정보와 미지수의 관계를 맺어줌으로써 문제를 해결하는 경우로, 대체로 문제에서 추출할 수 있는 모든 정보를 활용한다.

다. 그림에 표시되는 정보의 양과 내용

문제 해결 과정에서 그림을 그린 경우에 그림에 표시된 정보의 양과 내용에 따라 크게 두 집단으로 나누

〈표1〉 문제 해결 과정 코딩시스템

1. 문제의 이해	A
(1) 원문읽기	A ₁
(2) 그림이나 표 그리기	A ₂
(3) 여러가지 양을 기호로 표시하기	A ₃
(4) 정보 끌어내기(핵심 문장이나 구 인식하기, 자기 용어로 의역하기)	A ₄
(5) 미지수 확인하기	A ₅
(6) 해를 대략적으로 산정하기	A ₆
2. 계획	P
(1) 조건에서 유도해 낼수 있는 양을 찾는다	P ₁
(2) 조건간의 관계 찾기	P ₂
(3) 적용할 원리, 법칙 생각하기	P ₃
(4) 적용할 원리, 법칙은 문제 상황에 적절한 것인지 확인하기	P ₄
(5) 해결 절차를 구성하기	P ₅
3. 계획의 수행	C
(1) 조건간의 관계, 원리, 법칙등을 이용하여 방정식 세우기	C ₁
(2) 보조적 공식을 이용하여 불필요한 양 소거하기	C ₂
(3) 방정식에 수치를 대입하여 해 구하기	C ₃
4. 검증	E
(1) 해의 부호, 값, 단위등을 확인하기	E ₁
(2) 정성적 예측과 해의 일치 여부 확인하기	E ₂
(3) 해가 문제의 조건에 합당한 것인지 확인하기	E ₃
(4) 다른 방법으로 푼 결과와 일치하는지 확인하기	E ₄

었다.

(1) 그림에 표시된 정보의 양이 문제를 푸는데 필요한 정보의 일부이며 내용면에서도 대략적으로 표시한 경우(A₄)

(2) 문제를 푸는데 필요한 모든 정보를 정확하게 그림에 표시한 경우(A₂)

Ⅲ. 연구결과 및 논의

분석된 자료는 다음과 같이 세 부분으로 나누어 기술하였다.

- (1) 개인별 연구결과
- (2) 연구문제별 연구결과 분석 및 논의

(3) 문제 해결에 있어서 정답자, 오답자의 연구결과 비교

자료의 분석에는 기술통계(Descriptive statistics)를 활용하여 평균값을 구하는 정도에 그쳤다.

1. 개인별 연구결과

난이도 상, 중, 하의 문제를 풀때 나타난 구체적 행동을 시간적 순서에 따라 정리한 표에 나타난 특징을 살펴보기로 하겠다. 그림을 그려 문제를 이해하려고 할 경우 난이도 상인 문항에서 초심자는 8명, 전문가는 3명, 난이도 중인 문항에서는 초심자는 7명, 전문가는 4명이며 난이도 하인 문항에서는 초심자는 9명, 전문가는 4명으로 나타나 있는 점으로 미루어 초심자 보다는 전문가쪽이 자주 그림을 그리는 것을 알 수 있다. 구체적 행동중 A₆(해를 대략적으로 산정하기)를 난이도 중인 문항의 해결에서 초심자중 단1명만이 사용하였으며 또한 문제의 해결에서 해의 정확성을 위해 거치는 검증단계에서 문제를 푸는 여러가지 방법을 생각하고 각각의 방법으로 푼 결과를 비교함으로써 해의 정확성을 검증하는 경우인 E₄를 전문가 1명이 난이도 상과 중인 문항에서 활용하고 있다는 점도 주목할 만한 사실이다. 문제해결에 소요된 전체시간, 문제해결과정의 각 단계별 백분율, 문제해결의 성공 실패여부, 사용된 전략을 살펴보기로 하자.

첫째, 문제해결에 소모한 시간면에서 초심자는 난이도 상인 문항에서 최저 165초에서 최고 1063초의 시간을, 난이도 중인 문항에서 최저 134초;최고 853초를, 난이도 하인 문항에서는 최저 94초, 최고 404초를 소모하여 심한 개인차를 보이고 있으며 특히 가장 많은 시간을 소모한 초심자와 제일 적은 시간을 소모한 초심자 모두 문제해결에 실패하였다는 점이 특징이다. 전문가는 난이도 상인 문항에서 최저 165초, 최고 307초를 난이도 중인 문항에서 최저 92초, 최고 307초, 난이도 하인 문항에서 최저 100초, 최고 247초의 시간을 소모하였으며 전문가 사이에도 개인차를 엿볼 수 있다.

둘째, 문제 해결 과정의 백분율면에서 초심자는 난이도 상인 문항의 경우 문제의 이해단계에 최저 5%, 최고 58%, 계획단계에 최저 20%, 최고 64%, 계획수행 단계에 최저 3%, 최고 64%, 검증단계에 최저 0%, 최고 49%에 이르는 시간을 할애하고 있고, 난이

도 중인 문항의 경우에는 문제의 이해 단계에 최저 5%, 최고 42%, 계획단계에 최저 10%, 최고 59%, 계획의 수행 단계에 최저 15%, 최고 76%, 검증단계에 최저 0%, 최고 44%에 이르는 시간을 할애하고 있으며, 난이도 하인 문항에서는 문제의 이해 단계에 최저 9%, 최고 49%, 계획단계에 최저 0%, 최고 51%, 계획의 수행 단계에 최저 10%, 최고 83%, 검증단계에 최저 0%, 최고 28%에 이르는 시간을 할애하고 있다. 전문가는 난이도 상인 문항의 경우 문제의 이해 단계에 최저 15%, 최고 54%, 계획단계에 최저 18%, 최고 36%, 계획수행 단계에 최저 4%, 최고 37%, 검증단계에 최저 0% 최고 26%의 시간을 할애하고 있고, 난이도 중인 문항에서 문제의 이해 단계에 최저 12%, 최고 43%, 계획단계에 최저 5%, 최고 25%, 계획의 수행 단계에 최저 25%, 최고 63%, 검증단계에 최저 0%, 최고 23%의 시간을 할애하고 있으며 난이도 하인 문항에서 문제의 이해 단계에 최저 26%, 최고 50%, 계획 단계에 최저 2%, 최고 34%, 계획의 수행 단계에 최저 26%, 최고 62%, 검증 단계에 최저 0%, 최고 32%의 시간을 할애하고 있다. 이와같은 결과로 보아 문제 해결 과정의 백분율면에서 초심자와 전문가 모두 심한 개인차를 보이고 있다.

세째, 문제 해결시 사용한 전략면에서 난이도 상인 문항에서 초심자는 바로풀기를 1명, 거꾸로풀기를 18명, 전문가는 바로풀기 3명, 거꾸로풀기를 2명이 하였고 난이도 중인 문항에서 초심자는 바로풀기를 12명, 거꾸로풀기를 8명, 전문가는 5명 모두 바로풀기를 하였고 난이도 하인 문항에서 초심자는 바로풀기를 9명, 거꾸로풀기를 11명이 하였으며 전문가는 4명이 바로풀기를 1명이 거꾸로풀기를 하였다.

네째, 문제 해결에 있어서 정답자와 오답자를 살펴보면 난이도 상인 문항에서 초심자는 19명 모두 오답을 하였고 전문가는 4명이 정답을 1명이 오답을 하였으며 난이도 중인 문항에서 초심자는 10명이 정답, 10명이 오답을, 난이도 하인 문항에서 초심자는 14명이 정답, 6명이 오답을 하였고, 전문가는 난이도 중, 하인 문항에서 모두 정답을 하였다.

2. 연구문제별 연구결과 분석 및 논의

분석된 개인별 자료를 통계처리하여 얻은 결과를 연구문제에 따라 살펴보자.

문제 1 초심자와 전문가 사이에는 물리문제 해결과정에서 어떤 차이가 나는가?

(1) 문제해결에 소요되는 전체 시간면

문제의 난이도별로 초심자와 전문가의 소모한 시간을 살펴보면 난이도 하인 문항에서 초심자는 172초, 전문가는 161초, 난이도 중인 문항에서 초심자는 303초, 전문가는 191초, 난이도 상인 문항에서는 초심자가 433초, 전문가는 351초를 소모하였다(표2). 초심자와 전문가가 소모한 시간을 비교해보면 난이도 하인 문항에서는 거의 차이가 없으며 난이도 중인 문항과 난이도 상인 문항에서는 초심자는 전문가가 소모한 시간의 약 1.5배 정도의 시간을 소모하였다.

난이도 하인 문항에서 초심자와 전문가가 소모한 시간에서 거의 차이가 나지 않은 이유로는 문제가 단순하여 문제의 내용인 개념간의 관련을 찾기가 용이하고 수학적 계산도 간단하기 때문인 것으로 판단된다. 난이도 중인 문항과 난이도 상인 문항에서 전문가가 초심자보다 빠르고 정확하게 문제를 해결할 수 있었던 원인으로는 전문가는 지식이 잘 조직되어 있기 때문에 문제의 상황에 관련된 개념, 원리, 법칙 등을 쉽게 찾아 활용하지만 초심자는 그렇지 못한 점을 들 수 있으며 또한 수학적인 기술면에서도 전문가가 초심자보다 우월하다는 점도 빼놓을 수 없다.

(2) 문제 해결 과정에서 사용한 전략면

난이도 하인 문항에서 초심자는 11명이 바로풀기를, 9명이 거꾸로풀기를 하였고 전문가는 4명이 바로풀기를, 1명이 거꾸로풀기를, 난이도 중인 문항에서 초심자는 12명이 바로풀기를, 8명이 거꾸로풀기를, 전문가는 5명 모두 바로풀기를 하였다. 또한 난이도 상인 문항에서 초심자는 1명이 바로풀기를, 18명이 거꾸로풀기를, 전문가는 3명이 바로풀기를 2명이 거꾸로풀기를 하였다(표2). 초심자는 난이도 중, 하인 문항에서 바로풀기와 거꾸로풀기를 거의 5:5정도로 사용하고 있으나 난이도 상인 문항에서는 거꾸로풀기가 바로풀기보다 단연 우세한 것으로 나타나 있다. 전문가는 난이도 중인 문항과 난이도 하인 문항에서 바로풀기가 거꾸로풀기보다 단연 우세하고 난이도 상인 문항에서는 바로풀기가 거꾸로풀기보다 약간 우세하다. 위와같은 결과로 보아 전문가는 바로풀기를 주로 사용하고 초심자는 거꾸로풀기를 자주 사용한다고 할 수 있다. 초심자의 경우 난이도 중, 하인 문항에서 5:5정도로 바로풀기와 거꾸로풀기를 한 것

(표 2) 문제해결에 소모한 시간, 전략, 각 단계별 백분율

난이도	문제 해결자	문제해결과정의 단계별 백분율 전략					문제해결에 소모한 시간	
		A (%)	P (%)	C (%)	E (%)	WF		WB
상	초심자	30	44	20	6	1	18	433(초)
	전문가	37	30	20	13	3	2	351(초)
중	초심자	18	33	44	5	12	8	303(초)
	전문가	30	13	51	6	5	0	191(초)
하	초심자	27	28	41	4	11	9	172(초)
	전문가	35	15	39	11	4	1	161(초)

A : 문제의 이해, P : 계획, C : 계획의 수행, WF : 바로풀기, WB : 거꾸로 풀기.

은 난이도 중인 문항은 거의 모든 일반물리학 교재에서 이와 동일하거나 유사한 문항을 다루고 있는 점과 본 연구에 표집된 초심자는 1학년때 일반물리학을 이미 학습하였다는 점을 생각할때 초심자의 대부분은 이 문항을 풀어본 경험을 가지고 있고 그로 인하여 바로풀기를 하려는 경향이 강하게 나타났을 가능성이 있고 난이도 상인 문항에서 거꾸로풀기가 단연 우세한 사실로 미루어 문제가 어려워질수록 거꾸로풀기를 하려는 경향이 높다고 할 수 있다.

(3) 문제 해결 과정의 각 단계에 소요되는 시간의 전체 시간에 대한 백분율

문제 해결 과정의 각 단계에 소모한 시간의 전체 시간에 대한 백분율을 살펴보면 전문가는 난이도 하인 문항에서 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증의 단계에 35%, 15%, 39%, 11%, 난이도 중인 문항에서는 30%, 13%, 51%, 6%, 난이도 상인 문항에서는 37%, 30%, 20%, 13%로, 초심자는 난이도 하인 문항에서 27%, 28%, 41%, 4%, 난이도 중인 문항에서 18%, 33%, 44%, 5%, 난이도 상인 문항에서는 30%, 44%, 20%, 6%로 나타나 있다(표2).

위의 결과를 자세히 살펴보면 전문가는 문제의 이해 단계에 30% 이상의 시간을 할애하는 반면에 초심자는 30% 미만의 시간을 할애하고 있으며 계획 단계에 전문가는 30% 미만의 시간을 할애하는 반면에 초심자는 30% 이상의 시간을 할애하고 있다. 계획의 수행 단계에서 전문가와 초심자 사이에 큰 차이는 없다고 할 수 있고 다만 문제가 어려워질수록 이 단계에 소모하는 시간이 상대적으로 줄어든다는 사실을 찾아볼 수 있다. 검증 단계에서는 전문가가 초심자보다 많은 시간을 할애하는 것으로 나타나 있다.

위에 나타난 전문가와 초심자의 차이로부터 전문

가는 초심자에 비하여 문제의 이해단계에 많은 시간을 할애함으로써 문제에 직접 제시된 정보와 문제의 조건으로부터 추출할 수 있는 정보들을 가능한한 많이 추출하여 이용하고 있으며 그로 인하여 계획단계에서는 비교적 적은 시간을 소모하고도 정보들간의 정성적 관계를 정확히 찾아 방정식을 세우고 쉽게 해를 구하며 해의 정확성에도 많은 주의를 기울이고 있다고 할 수 있다.

(4) 문제해결 과정의 문제의 이해 단계에서 그림을 그린 경우 그림에 표시되는 정보의 양과 내용면

문제해결과정에서 문제에 직접 제시되어 있거나 문제의 조건으로부터 추출한 정보들을 그림에 표시함으로써 문제를 이해하려고 한 문제해결자 수는 난이도 하인 문항에서 초심자는 9명, 전문가는 4명, 난이도 중인 문항에서 초심자는 7명, 전문가는 4명, 난이도 상인 문항에서 초심자는 8명, 전문가는 3명으로 나타나 있다(표3). 표집한 인원수를 고려할 때 초심자는 20명중 7명내지 9명이 그림을 그렸고 전문가는 5명중 3명내지 4명이 그림을 그린 것으로 미루어 전문가가 초심자보다 자주 그림을 그린다.

<표3>에서 그림에 표시된 정보의 양과 내용면에서 문제해결에 필요한 모든 정보를 정확히 그림에 표시한 경우와 일부의 정보를 대략 그림에 표시한 경우를 살펴보면 초심자는 난이도 하인 문항에서 7명이 일부의 정보를 대략적으로 그림에 표시하였고 2명만이 모든 정보를 정확히 표시도 중인 문항에서 했으며, 난이도 5명이 일부의 정보를 대략적으로, 2명이 모든 정보를 정확히 그림에 표시하였고 난이도 상인 문항에서는 8명이 일부의 정보를 대략적으로 그림에 표시하고 있다. 반면에 전문가는 문제의 난이도에 관계없이 그림을 그린 경우에는 모두 모든 정보를 정확히 그림에 표시하였다.

단기기억에서 한번에 처리할 수 있는 정보량이 한정되어 있고 장기기억에 정보를 저장하는 데에는 약간의 시간이 필요하다는 점을 감안할 때 문제에 직접 제시되어 있거나 문제의 조건으로부터 추출할 수 있는 정보들을 그림에 모두 표시해둠으로써 문제를 풀어가는 도중에 필요한 정보를 잊어 다시 찾아야할 경우나 정보간의 관계를 조사할 경우에는 상당히 편리하게 이용할 수 있으며, 최종적으로 해가 문제조건에 적절한 것인지를 확인하는 경우에도 그림에 표시된 정보들의 관계를 다시 한번 살펴봄으로써 쉽게 목적

(표 3) 그림을 그린 문제해결자 수

난이도	초심자			전문가		
	A ₁	A ₂	계	A ₁	A ₂	계
상	·	8	8	3	·	3
중	2	5	7	4	·	4
하	2	7	9	4	·	4

A₁ : 모든 정보를 정확히 그림에 표시, A₂ : 일부의 정보를 대략적으로 표시

을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

문제 2 문제의 난이도에 따라 문제해결 과정은 다른가?

(1) 초심자의 경우

난이도 하인 문제를 해결한 과정을 살펴보면 4단계의 문제해결과정 중 문제의 이해(A), 계획(P), 계획의 수행(C) 등의 3단계만을 거쳐 문제를 해결한 초심자는 17명, 4단계(A, P, C, E)를 모두 거쳐 문제를 해결한 초심자는 3명이다. 또한 각 단계의 순서면에서 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등을 차례로 거쳐 문제를 해결한 초심자가 12명, 문제의 이해 단계를 거친후 일부의 단계(P, C)를 순환적으로 거쳐 비교적 복잡한 과정을 따라 문제를 해결한 초심자가 8명으로 나타나 있다.

여기서 주목해야 할 점은 문제의 이해 단계는 문제해결과정의 어느 단계 사이에서도 나타나고 있다는 사실이다. 난이도 중인 문항에서는 4단계의 문제해결과정 중 문제의 이해, 계획, 계획의 수행 등 3단계만을 거쳐 문제를 해결한 초심자가 16명, 4단계를 모두 거쳐 문제를 해결한 초심자가 4명이며, 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 단계를 차례로 거쳐 문제를 해결한 초심자는 8명, 문제의 이해단계를 거친후 4단계의 일부(P, C)가 순환되는 과정을 거쳐 문제를 해결한 초심자가 12명으로 나타나 있다. 난이도 상인 문항에서는 4단계의 문제해결과정 중 문제의 이해, 계획, 계획의 수행 등 3단계만을 거쳐 문제를 해결한 초심자가 15명, 검증단계를 포함하여 4단계를 모두 거쳐 문제를 해결한 초심자는 4명으로 나타나 있으며 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증의 단계를 모두 또는 일부를 차례로 거쳐 문제를 해결한 초심자는 11명, 문제의 이해 단계를 거친후 4단계 중 일부(P, C)가 순환되는 과정을 거쳐 문제를 해결한 초심자는 8명으로 나타났으며 문제의 이해 단계는 문제해결과정의 어느 단계 사이에도 나타나고 있는 점이

주목된다.

이와같은 결과로 미루어 문제는 난이도에 관계없이 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 단계를 차례로 거쳐 해결될 수 있으며 문제의 이해 단계가 수시로 나타나는 것은 인간의 단기기억에서 처리될 수 있는 정보량은 한정되어 있다는 사실을 단적으로 보여주는 결과라고 할 수 있고 복잡한 과정, 즉 일부의 단계가 순환적으로 나타나는 경우는 문제해결에 필요한 정보를 일시에 추출하지 못하고 추출된 정보를 토대로 하나씩 차례로 문제를 해결하는 경우, 즉 여러개의 부분목표를 가진 문제로 나누어 해결하려는 경우가 이에 해당된다.

(2) 전문가의 경우

난이도 하인 문제를 해결한 과정을 살펴보면 문제의 이해, 계획, 계획의 수행 등의 3단계만을 거쳐 문제를 해결한 전문가는 2명, 검증단계를 포함하여 4단계를 모두 거쳐 문제를 해결한 전문가는 3명이며 문제의 이해단계가 중간과정에 나타난 점만을 제외하면 4명의 전문가가 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증의 단계를 차례로 거쳐 문제를 해결하였고 1명이 일부의 단계(P, C)가 순환적으로 나타나는 과정을 거쳐 문제를 해결하였다.

난이도 중인 문항에서는 문제해결과정의 4단계 중 검증단계를 제외한 나머지 3단계를 거쳐 문제를 해결한 전문가가 3명, 4단계를 모두 거쳐 문제를 해결한 전문가는 2명이며, 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 단계를 차례로 거쳐 문제를 해결한 전문가가 3명, 문제의 이해 단계를 거친후 일부의 단계(P, C)를 순환적으로 거쳐 문제를 해결한 전문가는 2명이었다.

난이도 상인 문항에서는 검증단계를 제외한 나머지 3단계만을 거쳐 문제를 해결한 전문가는 2명, 4단계를 모두 거쳐 문제를 해결한 전문가는 3명이며, 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 단계를 차례로 거쳐 문제를 해결한 전문가는 4명, 문제의 이해, 계획, 계획의 수행을 순환적으로 거쳐 문제를 해결한 전문가가 1명이었다. 이와같은 결과는 전문가는 문제의 난이도에 관계없이 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 단계를 차례로 거쳐 문제를 해결하며 일부의 단계가 순환되는 경우는 모두 문제를 여러개의 부분목표를 가진 문제로 변형하여 풀기 때문에 나타난 것이다.

3. 문제해결에 있어서 정답자와 오답자의 연구 결과 비교

개인별 연구결과에서 개인에 따라 문제해결과정에서 상당한 차이가 있음을 알아보았다. 정답자와 오답자 사이의 차이에도 관심을 가지게 된다. 과연 정답자와 오답자 사이에는 문제해결과정의 각 단계별 백분율, 문제를 푸는데 소모한 시간, 전략, 그림에 표시된 정보의 양 및 내용 등을 살펴보기로 하자.

먼저 난이도 상인 문항은 표집된 초심자 모두 오답을 하였기 때문에 비교 대상에서 제외시켰다.

(표4)에서 난이도 중인 문항의 경우 정답자, 오답자, 전문가는 문제의 이해단계에 17%, 18%, 30%, 계획단계에 30%, 36%, 13%, 계획의 수행단계에 47%, 41%, 51%, 검증 단계에 6%, 5%, 6%의 시간을 할애하고 있으며 문제를 푸는데 소요된 전체 시간은 정답자, 오답자, 전문가는 각각 277초, 328초, 191초로 나타나 있다. 또한 전략면에서는 정답자는 6명이 바로풀기틀, 4명이 거꾸로풀기틀 하였으며 오답자는 6명이 바로풀기틀, 4명이 거꾸로풀기틀 하였으며 전문가는 5명 모두 바로풀기틀 하였다. 그림에 표시된 정보의 양과 내용면에서는 정답자는 10명중 3명이 그림을 그렸고 3명중 2명이 문제를 푸는데 필요한 일부의 정보를 대략적으로, 1명이 모든 정보를 정확하게 그림에 표시하였으며 오답자는 10명중 4명이 그림을 그렸고 4명중 3명이 문제를 푸는데 필요한 일부의 정보를 대략적으로, 1명이 모든 정보를 정확하게 그림에 표시하였으며 전문가는 5명중 4명이 그림을 그렸고 4명 모두 문제를 푸는데 필요한 모든 정보를 정확하게 그림에 표시하였다.

난이도 하인 문항의 경우에 정답자, 오답자 및 전문가는 문제의 이해 단계에 24%, 35%, 35%, 계획단계에 29%, 25%, 15%, 계획의 수행 단계에 41%, 40%, 39%, 검증단계에 6%, 0%, 11%의 시간을 할애하고 있으며 문제를 푸는데 소요된 전체 시간은 정답자, 오답자, 전문가는 각각 277초, 328초, 191초로 나타나 있다. 또한 전략면에서는 정답자는 8명이 바로풀기틀, 6명이 거꾸로풀기틀 하였으며 오답자는 3명이 바로풀기틀 3명이 거꾸로풀기틀 하였으며 전문가는 4명이 바로풀기틀 1명이 거꾸로풀기틀 하였다. 그림에 표시된 정보의 양과 내용면에서는 정답자는 14

(표 4) 정답자, 오답자, 전문가의 각 단계별, 소요 시간의 백분율, 시간, 전략, 그림에 표시된 정보.

난이도	문제해결자	각 단계별 백분율				전체소요 시 간	전략		그림		
		A	P	C	E		WF	WB	A ₂ '	A ₂	
중	초심자 {	정답자	17	30	47	6	277	6	4	2	1
		오답자	18	36	41	5	328	6	4	3	1
	전문가 {	정답자	30	13	51	6	191	5	0	0	4
		오답자	24	29	41	6	171	8	6	5	1
하	초심자 {	정답자	35	25	40	0	176	3	3	2	1
		오답자	35	15	39	11	161	4	1	0	4

명중 6명이 그림을 그렸고 6명중 5명이 문제를 푸는데 필요한 정보의 일부를 대략적으로, 1명이 모든 정보를 정확하게 그림에 표시하였으며 오답자는 6명중 3명이 그림을 그렸고 3명중 2명이 문제를 푸는데 필요한 정보의 일부를 대략적으로, 1명이 모든 정보를 정확히 그림에 표시하였고, 전문가는 5명중 4명이 그림을 그렸고 4명 모두 문제를 푸는데 필요한 모든 정보를 그림에 정확하게 표시하였다.

위의 결과로 미루어 볼때 문제의 난이도에 따라 약간의 차이는 있으나 정답자와 오답자 사이에는 문제를 푸는데 소요되는 시간에서 정답자가 오답자보다 빠르다는 점 이외에 전략, 그림에 표시되는 정보의 양 및 내용, 각 단계별 백분율에는 별 차이가 없음을 알 수 있다. 결국 초심자의 경우에는 정답자라 하더라도 전문가와는 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

IV. 요약, 결론 및 제언

1. 요약, 결론

본 연구는 대학교 물리학과 교수 5명과 물리교육과 2학년 학생 20명을 대상으로 Newton의 운동법칙을 내용으로 하는 난이도 상, 중, 하의 문제를 풀때 나타나는 사고과정을 조사하였고 조사된 내용을 Larkin (1978)의 문제해결과정 모형을 토대로 작성한 문제해결과정 코딩 시스템을 사용하여 분석하였으며 연구 결과로부터 추출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 전문가는 초심자보다 문제를 빠르게 해결한다.
- (2) 전문가는 초심자보다 그림을 그려 문제를 이해하려는 경향이 높으며 그림에 표시되는 정보의 양이

많고 그림의 내용도 정교하다.

(3) 전문가가는 바로풀기 전략을, 초심자는 거꾸로풀기 전략을 사용하려는 경향이 높다.

(4) 전문가와 초심자는 문제의 이해, 계획, 계획의 수행, 검증 등의 순서에 따라 문제를 해결하며 전문가가는 초심자보다 문제의 이해, 검증 단계에 비교적 높은 비율의 시간을 할애하나 계획단계에는 비교적 낮은 비율의 시간을 할애한다.

(5) 문제해결과정은 문제의 난이도에 관계 없다.

(6) 초심자의 경우 정답자는 오답자에 비하여 짧은 시간에 문제를 해결하지만, 전략, 그림에 표시되는 정보의 양 및 내용면에서는 차이가 없으며 전문가와는 큰 차이가 있다.

2. 제언

본 연구는 물리 문제를 해결해 나가는데 필요한 바람직한 사고과정이 무엇인가를 알아내는 기초 연구라고 할 수 있다.

연구 과정을 통하여, 인간의 머리 속에서 이루어지고 있는 사고과정을 밖에서 알아내기가 얼마나 어려운가를 실감하였다. 그 첫째 이유로는 우선 우리가 분석하는 데이터는 피검사자의 음성에만 의존하고 있다는 데 있는 것 같다. 상식적으로 유추할 수 있듯이 언어는 실제 사고 과정의 극히 일부를 나타낼 뿐이다. 그것으로 그 사고과정의 핵심 부분이면 좋겠으나 많은 경우 언어로 표현된 것은 매우 복잡한 사고의 결과만을 나타내는 것이 대부분이다. 따라서 우리의 연구 결과로 얻은 결론은 자칫하면 연구자의 주관에 너무 큰 영향을 받을 우려가 있는 것이다.

두번째 이유로는 프로토콜의 분석 방법이다. 연구자 등이 아직까지 외국의 연구 방법을 모두 알고 있지는 않다고 하더라도 지금까지 문헌에 소개된 것으로 미루어 본다면, 연구자마다 각기 다른 방법으로 프로토콜을 분석하고 있다고 하여도 과언이 아니다. 그것은 아직도 공인받을 만한 연구방법이 없다는 뜻으로 해석될 수도 있는 것이다. 따라서 앞으로 보다 더 의미있는 연구를 위해서는 연구 방법의 개발과 보급이 시급하다고 생각된다.

본 연구는 이제 그 시작에 불과하므로 작은 문제부터 하나 하나씩, 또한 여러 연령층과 교과 영역에 걸쳐서 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 신현성, "수학적 문제해결과정의 분석 및 풀이방법 탐색" 강원대학교 논문집 제22집, 1985.
2. Arken, G.B. "대학물리학" 강회재 역(서울:형설출판사, 1987)
3. Atwood, M.E., and Polson, P.G. A process model for water jug problems. *Cognitive Psychology*, 1976, 8, 191-216.
4. Buche, F.J. "대학 일반 물리학" 유기수의 역. (서울:삼아사, 1984)
5. Chase, W.G., and Simon, H.A. Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 1973, 4, 55-81.
6. Gagne, R.M., and Smith, E.C. A study of the effects of verbalization on problem solving. *Journal of experimental psychology*, 1962, 63, 12-18.
7. Gallagher, J.J. A broader base for science teaching *Science Education*, 1971, 55(3), 329-338.
8. Good, R. Scientific problem solving by expert system. *J.R.S.T.*, 1984, 21(3), 331-340.
9. Holliday, D., and Resnick, R. *Fundamental of physics*. NEW YORK: John Wiley & Sons, Inc. 1984.
10. Larkin, J.H. Skilled problem solving in physics: A hierarchical planning model. Working paper, group in science and mathematics education, university of california, berkeley. 1978.
11. Larkin, J.H., and Reif, F. Understanding and teaching problem solving in physics. *Eur. J. Sci. Educ.*, 1979, 1(3), 191-203.
12. _____, et al., Expert and Novice performance in solving physics problems. *Science*, 1980, 208(2), 1335-1341.
13. _____, Teaching problem solving in physics: The psychological laboratory and the practical classroom. in D.T. Tuma and F. Reif (eds.), *Problem solving and evaluation: Issues in teaching and research*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1980.
14. _____, and Rainard, B.A. research methodology for studying how people think. *J.R.S.T.*, 1984, 21(3), 235-254.
15. Lindsay, P.H., and Norman, D.A. *Human information processing: An introductory to psychology*. NEW YORK: Academic press, 1972.
16. Maier, N.R.F. Reasoning in Human: The mechanism of equivalent stimuli of reasoning. *Journal of experimental psychology*, 1945, 35, 349-360.

17. Mayer, R.E. Thinking, Problem Solving, Cognition. NEW YORK. SAN FRANCISCO: W.H. Freeman and Company, 1983.
18. Orear, J. Physics. NEW YORK: Macmillan publishing Co., Inc., 1979.
19. Polya, G. How to solve it. Garden city, N.Y.: Doubleday Anchor, 1957.
20. Schoenfeld, A. Ed. by Lockhead, J. and Clement, J. Cognitive process instruction. Franklin Institute press, Philadelphia, 1980.
21. Woods, D. Problem solving news 14. This excellent news letter is available at nominal cost by writing to Woods at Mc Mcer University, Hamilton, Onatrio L854L7.
22. Wright, D.S., and Williams, C.D. A Wise strategy for introductory physics. The physics teacher, 1986, 4, 211-215.

ABSTRACT

A Comparative Analysis of Expert's and Novice's Thinking Processes in Solving Physics Problems

Jae-Sool Kwon · Seong-Wang Lee

Korea National University of Education

This study intended to find the differences between expert's and novice's thinking processes when they solve physics problems.

Five physics professors and twenty sophomore students in a physics department were participated in the study. The researcher investigated their thinking processes in solving three physics problems on NEWTON's law of motion. The researcher accepted so called "Thinking Aloud" method.

The thinking processes were recorded and transfered into protocols. The protocols were analysed by problem solving process coding system which was developed by the researcher on the basis of Larkin's problem solving process model.

The results were as follows:

- (1) There was no difference of time required in solving physics problem of low difficulty between expert and novices ;
but, it takes 1.5 times longer for novices than experts in solving physics problems which difficulties are high and average.
- (2) Novices used working forward strategy and working backward strategy at the similiar rate in solving physics problems which difficulties were average and low, while Novices mo mostly used working backward strategy in solving physic problems which difficulty was high. Experts mostly used working forward strategy in solving physics problems whose difficulties was average and low, however experts used working forward strategy and working backward strategy at the similiar rate in solving physics problem which difficulty was high.

- (3) Novices usually wrote only a few information on the diagram of figure they drawn, on the other hand experts usually wrote almost all the information which are necessary for solving the problems.
- (4) Experts spent much time in understand the problem and evaluation stage than novices did, however experts spent less time in plan stage than novices did.
- (5) Physics problems are solved in sequence of understanding the problem, plan, carrying out the plan, and evaluation steps regardless of problem difficulty.