

물리 문제 해결에 관한 최근 연구의 분석

박 학 규
(전주 우석 대학 물리학과)

권 재 술
(한국 교원 대학교 물리교육과)

I. 서론

우리 속담에 똑똑한 아이를 가리켜 “하나를 배우면 열을 안다.”는 말이 있다. 오늘날처럼 과학지식어의 폭발적으로 증가하고 있는 현실에 비추어 교육, 특히 과학교육에 있어서, 모든 지식을 가르치고 배운다는 것은 시간적인 제약을 받는 학교 교육에서 불가능할 뿐만아니라, 시간이 흐름에 따라 그 지식 또한 변화되므로 그 필요성이 상실된다. 따라서, 앞의 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 학습하는 데, 그들이 소유하고 있는 기존의 지식 또는 개념(Preconception)으로 말미암아 상당한 어려움이 있다는 것이, 학생들의 오인(誤認,

Misconception 또는 Alternative framework)에 관한 최근의 많은 연구에서 밝혀지고 있다. 즉, 가르친다고 해서 모두 배워지는 것은 아니라는 것이다.

또한, 1970년대 이후로 줄곧 과학교육 분야에서 탐구학습을 강조하는 이유도 같은 의미를 부여할 수 있다. 과학적 지식 및 개념의 통달이 어렵다면, 학생들을 위해 가능한 교육은 무엇인가? 그것은, 학생들에게 ‘탐구능력’ 하나를 가르침으로써 열에 해당하는 ‘과학지식과 개념’에 스스로 접근하고 이해할 수 있는 발판을 놓아주자는 것이다. 박승재(1991)는 “과학적 탐구활동은, 특별히 과학자에게만 유용하게 적용된다기 보다 현대에 있어서 거의 모든 연구와 관련되고, 거의 모든 학문 분야와 관련되어 있다. 그뿐만 아니라, 어떤 종류의 직업에서도 연구하고 발전하기 위해서, 여러 교과교육에 있어서는 단순한 지식의 암기가 아니라 이해와 적용을 위해서, 우리의 복잡한 일상생활의 여러 문제를 해결하기 위해서, 그리고 산업과 기업을 부흥시키기 위해서 과학적 탐

구력은 중요한 역할을 기대하게 한다.”고 주장하고 있다.

한편, 과학교육에서 개념학습, 탐구학습과 더불어 문제해결력(Problem Solving Skill)이 또한 강조되고 있다. 문제해결 능력의 배양은, 학교교육에서 하나의 교육목표로써 항상 강조되어 왔다. 그러나, 문제해결 과정에 대한 연구는 1960년대에 들어와서야 비로서 인지심리학적인 방법이 도입됨으로써 실증적으로 이루어지기 시작하였으며, 1980년대부터 구성주의(Constructivism)의 입장을 반영하여 여러 교과 영역 들내에서의 문제해결을 다룬 연구들이 활발해졌다(박운배, 1991). 이는, 1945년 수학문제 해결에 관한 Polya의 “How To Solve It”과, 1972년 여러가지 형태의 문제 해결에 관한 Newell과 Simon의 “Human Problem Solving”이 책으로 출판되면서, 인지심리학 분야에서 문제해결에 관한 연구가 더욱 활기를 띠고 있기 때문이다.

문제해결은 인지심리학(Cognitive Psychology)의 주된 연구 영역들중의 하나라고 할 수 있는 데, 그 인지심리학은 인간의 사고(思考)를 지배하는 기본기제(basic mechanism), 즉, 인간 지능의 성질과 그것이 어떻게 작용하는가를 이해하고자 한다(박학규, 권재술, 1990). 인지(認知) 혹은 사고(思考)는, 한 개인이 어떤 문제를 풀 때 발생되며 그에 따른 행동을 유발하게 된다는 입장에서, 이 분야의 학자들은 인지(Cognition)와 문제해결(Problem Solving), 그리고 인간의 사고(Human Thinking)를 같은 의미로 받아들이고 있다(김연주, 1987. Mayer, 1983). 1970년대 이후 인지심리학에 관한 연구가 많은 연구자들에 의해 대단히 활발하게 이루어지고 있는 데, 학습을 인지구조의 변화, 즉, 이미 파지하고 있는 지식체계의 변화로 보고, 자연과학 지식이 자연으로부터 발견되는 것이 아니라, 인간에 의해 구성된다고 주장하는 구성주의(Constructivism) 입장파(조희형, 1988), 최근 컴퓨터과학의 급속한 발달과 더불어 인간의 사고과정(Thinking Process)을 컴퓨터의 정보 처리과정에 비유하는 정보 처리과정 모형(Information Processing Model)이 인지심리학의 기초 이론 형성에 많은 영향을 미치고 있다(이영애, 1989). 인간의 뇌를 컴퓨터에 비유하는 데는 여러가지 제한점이 있기는 하지만, 인간의 수행(遂行)에 대한 심리학적 이론의 적절성을 검증하고 예시하고자 하는 컴퓨터 시뮬레이션(Computer Simulation)분야와, 인간들이 행하는 특정 직무를 가능한 한 효율적으로 수행하는 기제를

만드는 데 그 일차적인 목적을 두고 있는 인공지능(Artificial Intelligence) 분야는, 인간의 문제해결 능력을 컴퓨터에 접목시킨다는 관점에서 인지심리학의 발전과 깊은 관련을 맺고 있다(이관용, 1988).

이와 같이, 인지심리학과 컴퓨터과학의 발달과 더불어 과학교육, 특히 물리교육 분야에서 문제해결에 대한 관심이 고조되고 있으며, 많은 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 할 수 있다.

본 연구에서는, 우선 문제해결 과정의 체계적인 연구에 대하여 문헌 조사를 통해 살펴보고, 지난 10년 동안 미국과 서유럽에서 개최된 물리교육에 관한 국제 학술회의의 보고서들과, 최근 과학교육 관계 학술지에 발표된 물리문제 해결에 관한 연구논문들을 조사하여 연구 동향을 분석하고, 앞으로의 연구 방향을 제시하고자 한다.

II. 문제해결 과정 연구의 고찰

1. 문제해결의 정의

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, 문제해결 과정을 보다 효과적으로 연구하기 위해서는 “문제(Problem)”를 명확하게 정의할 필요가 있다. 일반적으로 “문제”에 관한 정의에는 첫째, 그 문제가 현재 어떤 상태로 존재하며(원상태, 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(김연주, 1987. Mayer, 1983). 따라서, 문제해결은, ‘주어진 초기 문제상황에 관련이 있는 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해내고 활용하여, 그들 상호간의 관계를 맺어주고 조직화함으로써 목표상황에 이르는 일련의 체계적인 사고과정’이라고 정의할 수 있다(박학규, 권재술, 1990).

주어지는 ‘문제’의 내용에 따라서 문제해결을, 일반적인 문제해결(General Problem Solving, 또는 Domain-independence of Problem Solving)과 분야관련 문제해결(Domain-specificity of Problem Solving)로 분

류할 수 있다(Tuma, Reif, 1980). 일반적인 문제해결은, 인지심리학 또는 문제해결 연구의 이상적이고 궁극적인 목표로써 문제해결의 일반 원리(General Principle)를 찾고자 하는 것이며, 분야관련 문제해결은, 수학 물리학 언어학 등 특정 분야와 관련된 문제의 해결로써 수학교육 물리교육 등 교과교육의 중요한 연구과제라고 할 수 있다.

또한, 인지과정 혹은 문제해결 과정을 보는 관점에 따라서 연구 분야를 분류할 수도 있다. 최근에 연구가 활발한 대표적인 분야들을 열거하면, 인지, 문제해결 혹은 사고를 문제해결 방법의 탐색으로 간주한 컴퓨터 시뮬레이션(Computer Simulation of Human Thinking)과 의미기억의 탐색으로 간주한 의미기억표상이론(Theory of Semantic Memory Representation) 및 성장과정으로 간주하는 신Piaget 인지발달이론(Neo-Piagetian Cognitive Development Theory) 등이다. 이와 더불어 전통적인 이론들로는, 인지, 문제해결 혹은 사고를 문제의 재구성이라고 본 형태심리학(Gestalt Theory of Thinking)과 가설 검증이 인지, 문제해결 혹은 사고의 주요 부분이라고 주장하는 개념 학습에 관한 연구, 그리고 학습은 강화의 원리에 근거하여 이루어진다는 연결주의이론(Associationist Theory of Thinking) 등이 있다(김언주, 1987. Mayer, 1983).

문제해결이란 문제를 풀 때 발생하는 하나의 사고과정이라는 입장에서, 많은 연구자들이 이러한 사고과정을 좀 더 세분하여 여러 단계로 구분하고, 각 단계의 세부적인 사고내용들을 열거함으로써 일반적인 문제해결 과정의 모형을 제안하였다. 예컨대, Polya(1957)는 그의 저서 "How To Solve It"에서 수학문제의 효율적인 해결과정으로 문제의 이해, 계획의 고안, 계획의 실천 그리고 반성 등 4단계의 문제해결 과정 모형을 제안하고, 각 단계에서 이루어지는 사고내용을 구체적으로 제시하였다. 그리고 Larkin(1978)은 일반물리 과정을 이수하고 있는 대학생과 물리학과 교수를 대상으로 문제해결 과정을 조사하여, 정보 수집, 계획, 문제 풀기 그리고 검증 등 4단계의 문제 해결 과정 모형을 제시하였다. 이외에 Wallas(1926), Shoenfeld(1980), Woods(1980), Linn(1982), Wright와 Williams(1986) 등이 Polya의 모형과 유사한 문제해결 과정 모형을 제안하였다(권재술, 이성왕, 1988. 김언주, 1987. Mayer, 1983).

2. 문제해결의 교육

문제해결 과정의 연구와 더불어 문제해결의 교육에 관한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 문제해결 연구의 궁극적인 목적이, 보다 효과적이고 일반적인 문제해결 방법을 찾아서 학생들에게 가르침으로써 학생들의 문제해결 능력을 향상시키는 데 있다는 관점에서, 문제해결과 교육은 밀접한 관련을 맺고 있다. 1978년 미국 Carnegie-Mellon 대학에서는 "문제해결과 교육: 교수법과 연구과제"라는 주제로 학술회의가 개최되었는데, 이 회의 목적은 1) 문제해결에 관심이 있는 연구자들과 교육자들을 한자리에 모아서 그들 상호간에 유익한 정보의 교환, 2) 다양한 교육 내용에 걸친 문제해결력 교육의 진작 및 정당화, 3) 문제해결력의 실제적인 교수법과, 문제해결에 관한 앞으로의 연구를 위한 제언 등이었다(Tuma, Reif, 1980).

따라서, 문제해결 전반에 걸친 논의가 다양하게 이루어졌다. 이 회의에서 Norman(1980)은 문제해결의 교육을 위한 인지공학(cognitive engineering)의 체제화를 제안하고, 학습방법, 기억방법, 문제해결방법에 관한 일반원리를 개발하여 그것들에 대한 응용강좌를 개설해야 하고, 또한 이러한 방법들을 교과과정에 삽입해야 한다고 주장하였다. 그리고, Reif(1980)도 인지과학을 연구대상과 연구목적에 따라 표1과 같이 4분야로 분류할 수 있으며, 인지심리학의 이론을 사람에게 적용하는 인지공학, 즉 문제해결의 교육에 관한 많은 연구의 필요성을 강조하였다(Tuma, Reif, 1980).

<표 1> 연구대상과 연구목적에 따른 인지과학의 분류

연구대상	연구목적 (descriptive)	이론 (Prescriptive)	응용 (Prescriptive)
컴퓨터	컴퓨터과학	인공지능	
사람	인지심리학	인지공학	

또한, 이 회의에서 Simon(1980)은 여러가지 연구들을 근거로 하여, '해박하면서도 접근이 용이한 지식이 없는 전문성은 존재하지 않는다'고 주장하였다. 즉, 어떤 분야의 전문가가 되기 위해서는, '분야관련 지식'을 대량으로 소유하고 있어야 할 뿐만 아니라, 이 지식을 다루는 과정인 '일반기능'을 소유해야 한다. 이와 관련하여 그는 문제해결에 있어서 '분야관련지식'과 '일반기능'을 가위의 두 날과 같다고 비유한다. 따라서, 어떤 분야의 전문가 양성 교육에서는 그 분

야에 관련된 지식과 일반기능의 배양이 동시에 이루어져야 한다는 것이다. 문제해결 교수법에는 '분야관련학습'과 '일반기능학습'이 있는데, Simon은, '문제해결 방법은 특정 교과 영역과 관련시켜 가르쳐야 한다'고 주장한다. 즉, 학생들은 예와 연습문제를 해결하는 동안에 해당 교과목에 관한 지식을 습득하는 동시에, 절차에 관한 지식인 일반기능이 적용되는 경우와 그렇지 못한 경우를 경험해야 한다는 것이다 (김언주, 1987. Mayer, 1983. Tuma, Reif, 1980).

1983년 프랑스의 Paris VII 대학에서는 물리교육 연구에 관한 국제 연구모임이 개최되었는데, Reif (1983)는 '물리학에 관한 문제해결의 이해와 교육'이라는 주제 강연에서, 1) 물리학과 같은 자연과학 분야에서, 효과적으로 문제를 해결할 수 있게 해주는 지식의 형태와 내재된 사고과정은 무엇인가? 2) 이러한 통찰들이, 학생들에게 문제해결 능력을 가르치기 위한 체계적인 방법을 고안하는 데, 어떻게 사용될 수 있는가? 에 대하여 그동안의 연구를 바탕으로 하여 깊이있게 논의하였다(LIRESPT, 1983).

문제해결은, 특히 물리학과 같은 자연과학 분야에서, 상당히 복잡한 인지적인 과제라고 할 수 있는데, 그러한 문제해결의 교육은 훨씬 더 복잡한 인지적인 과제라 할 수 있을 것이다. Reif(1983)는 이 강연에서, 문제해결의 교육을 위한 교수/학습 과정의 체계적이고 분석적인 이해를 위하여, "학습과정(Learning)이란, 학생이 초기상태로부터, 전에는 할 수 없었던 일을 할 수 있게 되는 최종의 목표상태로 옮겨가는 하나의 과정이다. 마찬가지로, 교수과정(Teaching)이란, 학생의 학습을 진작시킬 목적으로 교사와의 계획적인 상호작용에 의해 도움을 받는 하나의 학습과정이다"라고 정의하였다. 그리고, 이러한 정의를 바탕으로 교수/학습 과정을 4가지 모형으로 분석하여 제시하고 있는데, 1) 초보자 모형(Model of novice student) 2) 바람직한 행위 모형(Model of desired performance) 3) 학습 모형(Model of learning) 4) 교수 모형(Model of teaching) 등이 그것이다.

이러한 교수/학습 과정의 4가지 모형을 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

1) 초보자 모형 : 학습전, 초보자인 학생의 초기상태에 대한 적절한 지식은 대단히 중요하다. 따라서, 이 단계에서는, 학생의 관찰가능한 특성들과 행위들에 대한 상세한 내역이 필요하다. 더우기, 겉으로 나타나는 학생의 행위에 대한 내재된 사고과정과 지식의 형태를 밝히는 이론적인 모형이 필요하다.

2) 바람직한 행위 모형 : 학습후, 학습의 결과로써 획득하게 되는 학생의 최종상태에 대한 적절한 지식이 중요하다. 이 단계에서는, 도달되어야 할, 바람직하고 관찰가능한 학생의 행위들의 상세한 내역이 필요하다. 더우기, 이러한 바람직한 행위(성공적인 문제해결)에 이르게 하는, 내재된 사고과정과 지식의 형태를 밝히는 이론적인 모형이 필요하다. 특정한 과제에 대한 바람직한 행위의 이론적인 모형은, 반드시 그 분야의 실제적인 전문가의 행위와 일치하지는 않는다. 부분적으로는, 전문가들의 행위를 관찰하여 이론적인 모형을 제안할 수는 있겠지만, 그들의 행위는 다년간의 경험을 통해 얻은 막대한 양의 지식을 바탕으로 거의 자동적으로 일어날 수도 있기 때문에, 초보자에게 가장 적합한 이론적인 모형이 되지는 못할 것이다. 따라서, 이 모형은, 학생들에게 단지 전문가처럼 행동하기를 가르치기 보다는, 그 자신에게 알맞는 '행위의 이론적인 모형'에 기초를 둔 명백한 지식과 사고과정이 가르쳐져야 한다는 의미에서 대단히 중요하다.

3) 학습 모형 : 학생을 주어진 초기상태(학습전)에서 바람직한 최종상태(학습후)로 변화시켜 줄 수 있는 학습과정의 이론적인 모형이 필요하다. 말할 필요도 없이, 이러한 모형은, 초기상태와 목표상태에 포함되는 사고과정과 지식의 형태에 대한 적절한 이해에 바탕을 두고 있어야 한다. 특히, 이 모형은 연속적인 학습과정 속에 들어있는 중간적인 상태들의 순서를 명시해야 할 필요가 있다.

4) 교수 모형 : 학생과 학습과제(학습환경) 및 학생과 교사 사이의 적절한 상호작용에 의해, 앞의 학습 모형이 실제로 어떻게 이용되는가를 명시하는 이론적인 모형이 또한 중요하다. 이러한 교수 모형은, 각 수업단계의 성격, 학습과제와 학습자료의 설계 등을 명시해야 한다.

Reif(1983)는 이러한 모형의 이해를 돕기 위해, 내과의사가 환자를 치료하는 과정을 예로 들어 설명하고 있다. 아픈 상태인 환자의 초기상태로부터, 신체적으로 정상적인 상태인 환자의 최종상태로 변화시키는 것이 내과 치료의 과정이라고 볼 때, 이러한 치료과정은 교수/학습의 과정과 매우 유사하다. 내과의사가 환자를 치료하는 과정을 살펴보면, 1) 의사는, 환자의 초기상태에 대한 적절한 이론적인 모형, 즉, 환자의 질병 상태에 대한 올바른 이해가 필요하다. 2) 의사는, 환자의 바람직한 최종상태에 대한 적절한 이론적인 모형, 즉, 정상적인 신체 기능에

대한 올바른 이해가 필요하다. 3) 의사는, 변화 과정에 대한 적절한 이론적인 모형, 즉, 알맞는 치료법과 의약품의 처방을 개발하는 데, 전문적인 이론적인 통찰들을 사용하여야 한다. 4) 마지막으로 의사는, 실제로 치료법이 어떻게 사용되어야 하는가에 대한 이론적인 모형을 가지고 있어야 한다. 만일 환자가 처방된 치료법을 따르게 하고 의약품을 복용하게 할 수 있는 방법이 없다면, 아무리 질병에 대해 완벽하게 이해하고, 아무리 좋은 의약품이 있어도 아무 소용이 없기 때문이다.

또한, 그는, 관찰가능한 지적(知的)행위에 대하여 분명하게 예측할 수 있도록, 이론적인 인지 모형들이 충분히 상세하고 명료해야 한다고 주장한다. 즉, 이러한 인지 모형들이 관찰이나 실험에 의해 검증될 수 있도록, 내재된 인지 과정들에 대한 유익한 정보들이 충분히 자세하게 기술되어야 하며, 다른 과학분야에서와 마찬가지로, 이론적인 모형과 관찰, 실험 사이에 유익한 상호작용이 있어야 한다는 것이다. 이러한 이론적 모형은 관찰을 제한할 수도 있고, 적당한 관찰에 의해 검증되어야 하며, 반대로 관찰된 사실들이 어떤 이론적인 모형을 제안할 수도 있을 것이다(LIRESPT, 1983).

3. 문제해결의 연구 방법

문제해결을 연구하는 심리학자들의 주된 목적은, 문제해결자의 사고과정의 본질을 찾아 내는 것이라고 할 수 있다. 사고과정의 본질을 밝히기 위해서는 문제해결자의 사고과정을 신뢰성있고 상세하게 끌어내어야 한다(이성왕, 1987). 문제해결자의 사고과정을 조사하는 방법으로는, 발성사고법(thinking aloud method), 내성법(introspection, self-reporting technique, 혹은 회상적 면접법, retrospective interview), 지필검사법(written test)등이 있다. 그리고, 이와 같은 방법으로 밝혀진 사고과정을 확인, 검증하는 데, 또는 이론적으로 제안된 인간의 사고과정을 컴퓨터 프로그램화하여 인간의 사고과정을 조사하는 데, 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)이 사용되기도 한다.

발성사고법은, 피험자들에게 그들의 사고과정을 분명히 언어화하고, 문제를 푸는 동안 '소리내어 생각하도록' 요구함으로써 얻어지는 언어적인 응답원안(protocol)을 분석하는 방법이다. 이 방법은, 여러 가지 방법 중에서 가장 효과적인 사고과정 조사방법이라고 대부분의 연구에서 제안하고 있으나, 약점과

제한점 또한 많다(박운배, 1991). 문제점들을 살펴보면, (1) 언어 데이터의 객관성과 신뢰성 문제, (2) 응답원안에서 법칙을 찾기가 어렵다, (3) 어린 학생에게 사용하기 힘들다, (4) 부호화하는 데 있어서 이론적인 선행경향의 개입 가능성, (5) 행동으로부터 사고과정을 추론하는 데 따른 문제점, (6) 모든 —어떤 경우에는 아주 중요한—사고과정을 다 소리내기가 어렵다, (7) 성취에 나쁜 영향을 미친다, (8) 피험자는, 안전하다거나 바르다고 여기는 것만을 말하려고 하는 경향이 있다, (9) 모든 종류의 과제에 사용될 수는 없다, 예컨대, 고도로 자동화된 과제나 대단히 복잡한 문제의 경우, (10) 한 단어나 문장의 의미를 알기가 어렵다, (11) 응답원안의 분석에서, 명제들을 너무 말 그대로 해석하는 위험이 있다, 등이다. 그래서, 이와 같은 발성사고법의 약점을 보완하기 위해, 회상적 면접(retrospective interview)을 병행하여 사용할 것이 권장되고 있다. 그러나 비록 언어적 프로토콜이 항상 모든 형태의 문제를 해결하는 데 포함된 인지과정의 정확한 기록은 아니라고 하더라도, 그것은 많은 문제들에 관한 유용한 정보를 제공해 준다(이성왕, 1987. 이관용, 1988. 김언주, 1987. Mayer, 1983. 박운배, 1991).

내성법은, 문제해결자가 문제를 다 푼 다음, 풀이 과정에서 사용한 전략, 행위등을 연구자에게 자세히 이야기함으로써 문제해결자의 사고과정을 조사하는 방법이다. 즉, 내성법은 피험자의 자기보고(self-report)에 의존한다. 따라서, 그 보고된 자료가 피험자의 주관적 경험이 아니라 객관적 보고라고 가정할 수 있을 때, 그 자료를 과학적인 자료로 취급할 수 있다. 자기보고는 모든 사람이 보고 들을 수 있는 반면, 개인의 경험은 그렇지 못하기 때문이다. 이 방법은, 기록된 내용보다 상세한 정보를 얻을 수 있다는 장점은 있으나, 보고된 내용이 실제의 사고 과정과 연관이 적을 수도 있으며, 피험자가 자신의 사고 경험을 정확히 보고할 수 없을 수도 있고, 또한 부정적인 풀이 방법은 이야기하지 않으려고 한다는 약점을 지니고 있다(이성왕, 1987. 김언주, 1987. Mayer, 1983).

지필검사법은, 문제해결자가 문제를 풀면서 일어나는 모든 사고과정과 풀이 방법을 기록하는 방법이다. 피험자가 솔직하게 부정적인 풀이 방법까지 모두 기록한다면, 동시에 많은 피험자를 상대로 사용할 수 있는 좋은 방법이 되겠지만, 대부분의 피험자는 자신의 부정적인 면을 감추려 하기 때문에 부정

적인 풀이 방법은 표출되지 않는다는 약점이 있다 (이성왕, 1987. 김연주, 1987. Mayer, 1983).

Ⅲ. 물리문제 해결의 최근 연구 동향 분석

미국과 서유럽에서 지난 10여년 동안 물리교육의 연구는, 학생들의 오인(誤認)에 관한 연구와 문제해결의 연구가 주류를 이루고 있다고 해도 과언이 아니다. 1983년과 1987년 2차례에 걸쳐 미국 Cornell 대학에서는, “과학과 수학에서의 오인”을 주제로 국제 학술 세미나가 개최되었다. 1987년의 세미나 보고서를 살펴보면, 주제에서 알 수 있는 바와 같이, 전체 발표논문 177편중에서 오인에 관한 연구가 주류를 이루고 있지만, 문제해결 연구는 대략 20여편으로 분류할 수 있으며, 그 중 10편 정도가 물리문제 해결에 관한 연구이었다.

그리고, 1983년 프랑스의 Paris VII 대학에서는 물리교육 연구에 관한 국제 연구모임(Workshop)이 개최되었는데, 이 연구모임의 제1분과가 문제해결(Problem Solving)이었으며, 6편의 연구논문 발표가 있었다. 그밖의 분과 토의는, 학생의 개념(Student's Conceptions), 연구 일반(Generalities-Research)과 교육 일반(Generalities-Teaching)이었다. 또한, 1984년 네덜란드의 Utrecht 대학에서는 물리교육, 특히 역학분야의 교육에 관한 국제 학술회의가 개최되었는데, 문제해결의 분과 모임은 따로 없었지만 학생의 개념 체계 연구 분과(Research on Student's Frameworks)의 논문 발표에서 7편 정도의 문제해결에 관한 연구 발표가 있었다. 그밖에 최근 구미 각국의 과학교육 관계 학술지에는 문제해결에 관한 연구논문이 다수 게재되고 있는 실정이다.

이와 같이, 구미 각국에서 물리교육에서의 문제해결 연구가 활발히 진행되고 있는 데 비하여, 국내에서의 연구는 대단히 미약할 뿐만아니라, 이제 시작 단계에 있다고 해도 지나치지 않을 것이다. 아직은 외국의 많은 연구들도 이론이 정립되지 않은 초보 단계를 벗어나고 있지 못하므로, 국내에서도 보다 많은 관심과 연구가 과학교육 연구자 및 일선 교육자들에게 기대되는 분야이다.

본 연구에서는, 지난 10여년간 미국과 서유럽에서 개최되었던, 앞서 논의한 학술회의의 연구 보고서들과, 학술잡지에 발표된 물리문제 해결에 관한 연구

들을 조사하여 그 연구 동향을 분석하였다.

1. 분석 자료의 선정

본 연구에서 사용한 분석 자료는, 3차례에 걸친 ‘물리교육에 관한 국제 학술회의의 연구 보고서’들과, 연구자가 조사한 과학교육에 관한 3종류의 학술지, 그리고 인지과학에 관한 학술지로서 그 목록은 다음과 같다.

1) 1983년 6월 26일부터 7월 13일까지 프랑스의 파리 7대학에서 개최된, 물리교육의 연구에 관한 제 1회 국제 Workshop의 연구 보고서.

LIRESPT(1983). Proceedings of the First International workshop : Research on Physics Education. La Londe Les Maures, University of Paris VII, France

2) 1984년 8월 20일부터 25일까지 네덜란드의 Utrecht 대학에서 개최된, 물리교육에 관한 국제 학술회의의 보고서.

Lijnse(1985). Proceedings of A Conference on Physics Education : The many faces of teaching and learning mechanics—in secondary and early tertiary education—. W.C.C.—Utrecht, University of Utrecht, The Netherlands

3) 1987년 7월 26일부터 29일까지 미국의 Cornell 대학에서 개최된, 과학과 수학에서의 오인과 교육 전략(교수 방법)에 관한 제 2회 국제 학술 세미나의 보고서.

Novak(1987). Proceedings of the Second International Seminar : Misconceptions & Educational Strategies in Science & Mathematics. Cornell University, Ithaca, New York, U. S. A.

4) 미국 과학교육 협회에서 발간하는, 1984년부터 1990년까지의 과학교육 학술지, Journal of Research in Science Teaching(JRST), Volume 21(1984)—27 (1990).

5) Science Education(S. E.), Volume 70(1986)—74 (1990).

6) International Journal of Science Education(IJSE), Vol. 9(1987)—10(1988).

7) Cognitive Science(C.S.), Volume 13(1989)—14 (1990).

이러한 자료들로부터 조사한, 문제해결에 관한 논문은 모두 98편이었으며, 이를 학문 분야별로 분류하면 <표 2>와 같다.

연구에 사용된 문제의 내용이 물리학, 생물학, 화

학, 수학 중 어느 한 분야에 속하면 그 분야에 관련된 연구로 분류하였으며, 이러한 학문 영역에 속하지 않거나 분류할 수 없을 때 기타로 분류하였다. 이 중에서 물리학을 내용으로 연구한 37편의 연구 논문을 본 연구의 대상으로 하였다.

(표 2) 학문 분야별 문제해결 연구 논문수

JOURNAL	분야				
	物	生	化	數	기타 계
Paris(83)	7	1			2 10
Utrecht(85)	7				7
Cornell(87)	10	4		4	1 19
JRST(84-90)	4	5	5		12 26
S.E.(86-90)	5	1			7 13
IJSE(87-88)	1		1		5 7
C.S.(89-90)	3			3	10 16
합 계	37	11	6	7	37 98

2. 분석 방법

물리학을 연구의 내용으로 한 문제해결 연구를 다음의 준거와 영역의 분류에 따라 분석하였다.

1) 연구 목적

'문제해결의 교육'에 관한 교수/학습 과정의 체계적이고 분석적인 이해를 위하여, 앞서 논의한(II-2) Reif(1983)의 교수/학습 과정의 4가지 모형을 연구 목적의 분석을 위한 준거로 설정하였다. 4가지 모형의 어느 한 부류에 속하지 않거나 분석이 불가능할 경우에는 기타로 분류하였다.

- 가) 초보자 모형(Model of novice student, MNS)
- 나) 바람직한 행위 모형(Model of desired performance, MDP)
- 다) 학습 모형(Model of learning, MOL)
- 라) 교수 모형(Model of teaching, MOT)
- 마) 기 타

2) 연구 방법

물리문제 해결의 연구 방법으로는 크게 이론적인 연구와 실험적인 연구로 분류할 수 있다. 이론적인 연구는, 선행 연구의 문헌 조사를 통한 문제해결 과정의 이론적인 고찰이나, 피실험자를 동원하지 않는 연구를 의미한다. 실험적인 연구로는, 앞에서 논의한(II-3) 발생사고법, 내성법, 지필검사법과 컴퓨터 시뮬레이션이 있다. 따라서, 연구 방법의 분석은, 가) 이론적인 연구 나) 발생사고법 다) 내성법 라)

지필검사법 마) Computer Simulation 등 5가지로 분류하였다.

3) 연구 대상

연구 대상은 초등, 중등, 대학 및 교사로 구분하여 분석하였으며, 연구 대상이 중복된 경우에는 각각에 모두 포함시켰다. 그리고, 특정한 연구 대상이 없는 경우에는 기타로 분류하였다.

4) 연구 내용

연구 내용은, 연구에 사용한 문제를 물리학의 세부 영역인, 역학 분야와 전자기학 분야 및 기타로 분류하였다. 두 분야를 모두 사용한 연구는, 각각의 분야에 모두 포함시켰으며, 특정 분야를 다루지 않았거나 분석할 수 없을 경우 기타로 분류하였다.

3. 분석 결과 및 고찰

1) 연구 목적에 따른 분석

물리문제 해결에 관한 37편의 연구 논문을 연구 목적에 따라 분석한 결과는 (표 3)과 같다. 학습전, 초보자인 학생의 초기상태에 대한 적절한 지식이 필요하다는 점에서, 최근 연구가 대단히 활발한 학생의 오인에 관한 연구를 초보자 모형에 관한 연구로 분류할 수 있다. 그러나, 여기서는 오인에 관한 연구는 분석 대상에 포함시키지 않았다.

(표 3) 연구 목적에 따른 물리문제 해결 연구의 분석

JOURNAL	Paris	Utrecht	Cornell	JRST	S.E	IJSE	C.S.	계
MNS	3	6	6	1	3	1	2	22
MDP	1		2				1	4
MOL	1			1				2
MOT		1	2	1	1			5
기 타	2			1	1			4
합 계	7	7	10	4	5	1	3	37

분석 결과에 의하면, 초보자 모형(MNS)에 관한 연구가 전체 37편중 59%에 이르는 22편이었다. 이는, 초보자인 학생들을 대상으로 문제해결 과정에 나타나는 사고과정의 조사에 대부분의 연구가 집중되어 있음을 의미한다. 바람직한 행위 모형(MDP)의 연구는 4편이었으며, 학습 모형(MOL)과 교수 모형(MOT)을 고안하려는 연구도 각각 2편과 5편의 발표가 있었다. 문제해결의 연구가 문제해결자의 사고과정의 본질을 찾는 데 있다는 관점에서, 초보자의 사고과정 조사가 선행되어야 하는 것은 당연하다고 할 수 있다. 따라서, 초보자 모형에 관한 연구가 보

다 더 활발해야 할 것이며, 이에 기초하여 바람직한 행위 모형, 학습 모형과 교수모형의 개발에도 많은 연구가 필요하다.

2) 연구 방법에 따른 분석

연구 방법에 따른 물리문제 해결 연구의 분석 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 연구 방법에 따른 물리문제 해결 연구의 분석

JOURNAL	Paris	Utrecht	Cornell	JRST	S.E	WSE	C.S.	계
이론	4		4	1			1	10
발성사고	1	2		1		1	2	7
내성법		1	1		1			3
지필검사	2	4	4	2	4			16
컴퓨터			1					1
합계	7	7	10	4	5	1	3	37

분석 결과에 의하면, 이론적인 연구가 전체 37편 중 27%인 10편이었으며, 실험적인 연구가 73%인 27편이었다. 실험적인 연구들을 연구 방법에 따라 분류하면, 지필검사법에 의한 연구가 16편으로 가장 많았으며, 발성사고법과 내성법을 사용한 연구가 각각 7편과 3편이 발표되었으며, 컴퓨터 프로그램을 이용한 연구도 1편이 발표되었다.

지필검사법의 여러가지 단점에도 불구하고 이 방법이 가장 많이 사용되었다는 것은, 많은 피험자를 대상으로 동시에 많은 자료를 얻을 수 있으며, 문제 해결 과정의 일반적인 경향성을 살피는 데는 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되기 때문이다. 발성 사고법에 의한 사고과정의 보다 더 활발한 조사 연구가 필요하며, 이에 기초한 컴퓨터 시뮬레이션 연구도 보다 더 활발한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

3) 연구 대상에 따른 분석

연구 대상에 따른 물리문제 해결 연구의 분석 결과는 <표 5>와 같다.

분석 결과에 의하면, 대학생을 대상으로한 연구가 51%인 20편으로 가장 많았으며, 다음으로 중·고등학생을 대상으로한 연구가 8편이었다. 국민학생과 교사를 대상으로한 연구는 각각 2편씩이었으며, 주로 이론적인 연구에서 특정 대상을 선택하지 않은 경우가 7편이었다. 그리고, 연구 대상을 중·고등학생과 대학생, 대학생과 교사로 중복 선택한 경우가 각각 1편씩이었다.

<표 5> 연구 대상에 따른 물리문제 해결 연구의 분석

JOURNAL	Paris	Utrecht	Cornell	JRST	S.E	WSE	C.S.	계
초 등			2					2
중 등	1	3	2	1	1			8
대 학	4	3	4	2	4	1	2	20
교 사	1		1					2
기 타	2		3	1			1	7
합계	8	8	10	4	5	1	3	39

대학생을 연구 대상으로 삼은 논문이 많은 이유는, 연구자들이 주로 대학에 근무하는 교수 또는 대학원생들이기 때문에 연구 대상의 선정이 비교적 용이하다는 점과, 대학생이 물리학에 관한 초보자라는 입장에서 물리문제 해결 과정의 좋은 연구 대상이기 때문으로 풀이된다. 국민학생과 중·고등학생들에 대한 연구가 앞으로 많이 이루어져야 할 것이며, 학교 현장의 교사들이 물리교육에 대해 지속적인 관심을 갖고 알맞는 물리문제를 개발하여 학생들에게 투입한다면 좋은 연구 결과들이 많이 나올 수 있을 것으로 기대된다.

4) 연구 내용에 따른 분석

연구 내용을 물리학의 세부 학문 영역에 따라 분석한 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 연구 내용에 따른 물리문제 해결 연구의 분석

JOURNAL	Paris	Utrecht	Cornell	JRST	S.E	WSE	C.S.	계
역 학	2	7	4	3	4	1	3	24
전자기학	4		2					6
기 타	2		4	1	1			8
합계	8	7	10	4	5	1	3	38

분석 결과에 의하면, 역학 분야를 다룬 연구가 전체의 63%인 24편이었으며, 전자기학을 연구 내용으로 한 논문이 16%인 6편이 발표되었으며, 두 분야를 모두 다룬 연구도 1편이 있었다. 그리고, 주로 이론적인 연구에서 특정 분야를 연구 내용으로 삼지 않은 경우가 8편이었다.

박윤배(1991)에 따르면, 물리학 중에서도 역학 분야가 가르치고 배우기에 어렵고, 단순히 공식을 모두 암기하고 있다고 해서 주어진 문제를 성공적으로 해결할 수는 없기 때문에, 상당히 많은 물리문제 해결 연구가 역학 영역을 그 대상으로 다루어 왔다고 주장한다. 앞으로의 연구에서는 역학 분야 뿐만아니

라, 물리학의 다른 분야에 관한 문제해결 연구가 이루어질 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

구미 각국에서 물리교육에서의 문제해결 연구가 활발히 진행되고 있는 데 비하여, 국내에서의 연구는 대단히 미약하다. 그러나, 아직은 외국의 많은 연구들도 이론이 정립되지 않은 초보단계를 벗어나고 있지 못하므로, 국내에서도 보다 많은 관심과 연구가 과학교육 연구자 및 일선 교육자들에게 기대되는 분야이다.

본 연구에서는, 3차례에 걸친 '물리교육에 관한 국제 학술회의의 연구 보고서'(LIRESP, 1983. Lijnse, 1985. Novak, 1987)들과, 과학교육에 관한 3종류의 학술지(J. of Res. in Sci. Tea., Sci. Ed., Int'l. J. of Sci. Ed.) 및 인지과학에 관한 학술지(Cog. Sci)에서 발췌한 문제해결 관련 논문 98편중, 물리문제 해결에 관한 37편의 연구 논문을, 연구 목적, 연구 방법, 연구 대상, 그리고 연구 내용에 따라 분석하고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 초보자의 사고과정 모형(MNS)에 관한 연구가 전체 37편중 59%에 이르는 22편이었다. 이는, 초보자인 학생들을 대상으로 문제해결 과정에 나타나는 사고과정의 조사에 대부분의 연구가 집중되어 있음을 의미한다.

문제해결의 연구가 문제해결자의 사고과정의 본질을 찾는 데 있다는 관점에서, 초보자의 사고과정 조사가 선행되어야 하는 것은 당연하다. 따라서, 초보자의 사고과정에 관한 연구가 보다 더 활발히 수행되어야 하며, 이에 기초하여 문제해결의 교육을 위한 바람직한 행위 모형, 학습 모형과 교수모형의 개발에도 많은 연구가 필요하다.

2) 연구 방법으로는, 이론적인 연구가 전체 37편 중 27%인 10편이었으며, 실험적인 연구가 73%인 27편이었다. 실험적인 연구들을 조사 방법에 따라 분류하면, 지필검사법에 의한 연구가 16편으로 가장 많았으며, 발성사고법과 내성법을 사용한 연구가 각각 7편과 3편이 발표되었다.

많은 연구자들이 여러가지 단점에도 불구하고, 현재로서는 가장 효과적인 사고과정의 조사 방법이라고 인정하는 발성사고법에 의한 문제해결의 연구가 더욱 요구되며, 이에 기초한 컴퓨터 시뮬레이션도

보다 더 활발한 연구가 필요하다.

3) 대학생을 대상으로 한 연구가 51%인 20편으로 가장 많았으며, 다음으로 중·고등학생을 대상으로 한 연구가 8편이었다. 이는, 연구자들이 주로 대학의 교수들이기 때문에 연구 대상의 선정이 비교적 용이하다는 점과, 대학생이 물리학에 관한 초보자라는 입장에서 물리문제 해결 과정의 좋은 연구 대상이기 때문으로 풀이된다. 국민학생과 중·고등학생들에 대한 연구가 앞으로 많이 이루어져야 할 것이다.

4) 물리학의 여러 분야중, 역학 분야를 다룬 연구가 전체의 63%인 24편이었으며, 전자기학을 연구 내용으로 한 논문이 16%인 6편이 발표되었으며, 그리고, 주로 이론적인 연구에서 특정 분야를 연구 내용으로 삼지 않은 경우가 8편이었다. 앞으로의 연구에서는 역학 분야 뿐만아니라, 물리학의 다른 분야에 관한 문제해결 연구가 이루어질 필요가 있다.

끝으로, 물리학이 자연 현상을 지배하는 일반적인 원리를 찾고자 하는 학문이라면, 물리교육에 있어서 문제해결의 연구는, 문제해결에 관여하는 인간 사고의 일반적인 원리(General Problem Solving Skill 또는 General Human Thinking Process)를 찾고자 하는 것이다. 그리하여 교육 효과의 극대화로서, 평범한 일반 학생에게도 '하나'를 가르쳐서 '열'을 알게 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 권재술, 이성왕(1988), 물리문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-56
- 김언주 (1987), 인지심리학 (이론과 적용). 정민사
- 김영민 (1985), 한국의 과학교육 연구내용 분석. 한국과학교육학회지, 5(2), 139-146
- 박승재 (1991), 과학적 탐구 사고력 평가. 서울대학교 사범대학 물리학습연구실
- 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
- 박재호, 김학수(1987), 문항분석에 의한 학습자의 이

- 해과정 조사-힘과 운동의 기술-. 물리교육, 5(2), 143-151
- 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
- 안태인 (1989), 생물교육 연구의 동향. 한국과학교육학회지, 9(1), 69-74
- 이관용 (1988), 인지심리학. 법문사
- 이관용 (1988), 인간기억 및 인지연구법. 법문사
- 이관용, 김기중, 박태진 (1984). 인간기억의 심리학. 법문사
- 이성왕 (1987), 물리문제 해결 과정에서의 전문가와 초심자의 사고과정의 비교 분석. 한국교원대학교, 석사학위논문
- 이영애 (1989), 인지심리학. 올유문화사
- 정희옥 (1989), 수업전 개념구조를 고려한 수업방법에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 9(2), 89-98
- 조희형 (1988), 과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학 교육에 대한 시사점. 한국과학교육학회지, 8(2), 33-42
- 조희형 (1988), 과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경. 한국과학교육학회지, 8(2), 59-64
- Chi, Lewis, Reimann, Glaser(1989), Self-Explanations : How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. Cognitive Science, 13(2), 145-182
- Cohen, Manion (1980), Research Methods in Education. Croom Helm, London, U. K.
- Elio, Scharf (1990), Modeling Novice-to-Expert Shifts in Problem-Solving Strategy and Knowledge Organization. Cognitive Science, 14(4), 579-639
- Griffiths, Thomey, Cooke, Normore (1988), Remediation of Student-Specific Misconceptions relating to three Science Concepts. J. RE. SCI. TEA., 25(9), 709-719
- Hudson(1986), A Comparison of Cognitive Skills between Completes and Dropouts in a College Physics Course. J. Re. SCI. TEA., 23(1), 41-50
- Lijnse (1985), Proceedings of A Conference on Physics Education : The many faces of teaching and learning mechanics. W.C.C.-Utrecht, University of Utrecht, The Netherlands
- LIREST (1983), Proceedings of the 1st Int'l workshop : Research on Physics Education. La Londe Les Maures, Univ. of Paris VII, France
- Larkin, Rainard (1984), A Research Methodology for Studying How People Think. J. RE. SCI. TEA., 21(3), 235-254
- Maloney (1988), Novice Rules for Projectile Motion. Science Education, 72(4), 501-513
- Mayer (1983), Thinking, Problem Solving, Cognition. W. H. Freeman and Company, NY, U. S. A.
- Mohapatra (1987), Can Problem-Solving in Physics give an Indication of Pupils' 'Process Knowledge'? Int'l. J. of Science Education, 9(1), 117-123
- Newell, Simon(1972), HUMAN PROBLEM SOLVING. Prentice-Hall Inc., NJ, U. S. A.
- Novak (1987), Proceedings of the 2nd Int'l Seminar : Misconceptions & Educational Strategies in Science & Mathematics. Cornell Univ., NY, U.S.A.
- Ornata, Lunetta (1988), Exploring Functions : A Strategy for Teaching Physics Concepts and Problem-Solving. Science Education, 72(5), 625-636
- Polya (1957), How To Solve It. Princeton Univ. Press, NJ, U.S.A.
- Raven(1987), A Study of the Use of Ratios in Science Problem Solving. Science Education, 71(4), 565-570
- Reif (1987), Instructional Design, Cognition, and Technology : Applications to the Teaching of Scientific Concepts. J. RE. SCI. TEA., 24(4), 309-324
- Robertson(1990), Detection of Cognitive Structure with Protocol Data : Predicting Performance on Physics Transfer Problems. Cognitive Science, 14(2), 253-280
- Scandura (1977), Problem Solving. Academic Press,

NY, U.S.A.

Tuma, Reif (1980), Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research. Lawrence Erlbaum, NJ, U.S.A.

Veldhuis (1990), The Use of Cluster Analysis in Categorization of Physics Problems. Science Education, 74(1), 105-118

ABSTRACT

An Analysis of Current Research on Physics Problem Solving

Hac-Kyoo Park

(Chonju Woosuk University)

Jae-Sool Kwon

(Korea National University of Education)

In this paper, current research papers on Physics Problem Solving were analyzed according to the types of research purpose, method, subject and content of Physics, by using 3 Proceedings and 4 kinds of Journal, that is, the International Workshop(1983, Paris, France) and Conference (1983, Utrecht, The Netherlands) and Seminar(1987, Cornell University, U. S. A.) on Physics Education, and Journal of Research in Science Teaching (1984-1990) and Science Education (1986-1990). and International Journal of Science Education(1987-1988) and Cognitive Science(1989-1990). There were 98 research papers on Problem Solving and among them 37 papers on Physics Problem Solving were selected for analyzing.

The results of analysis are as follows ;

- 1) The studies on Model of Novice Student were 22(59%), And those on Model of Desired Performance, on Model of learning and on Model of Teaching were all much the same.
- 2) The theoretical studies were 10(27%), and the experimental ones 27(73%). Among the experimental studies, there were 16(59%) by using the written test, and 7(26%) by using the thinking aloud method.
- 3) The studies about university students as subjects were 20(54%). Probably, it seems the reason that most of researchers on Physics Problem Solving were professors of university or graduate students.
- 4) Among the various fields of Physics, the studies on Mechanics were 24(63%) and those on Electromagnetics 6(16%). or graduate students.