

고등학생의 프로토콜 분석을 통한 과학 탐구능력과 개념 중심의 탐구능력 대범주별 과학 문제 해결 특성

이항로

(대전과학고등학교)

Inquiry Problem Solving Characteristics among Categories with Science Process Skills and Concepts by High School Student's Protocol Analysis

Lee, Hang-Ro

(Taejon Science High School)

ABSTRACT

In this study, the characteristics of science inquiry problem solving were analyzed in the interactions between science process skills and science concepts by each related its category. Nine types of problem solving, which were based on two elements and the thinking aloud were found largely by protocol analysis, but six types when integrated similar thinking processes. There were quite differences in the representative types between students who succeeded and failed when science inquiry items were solved in the abilities of recognizing problems and generating hypotheses or those of drawing conclusions and evaluating. But there were not complete differences in those types between students who succeeded and failed when they were solved in the abilities of designing and performing experiments or those of interpreting and analyzing data. The data were divided into independent variables: D_1, D_2, D_3, D_4, D and C_1, C_2, C_3, C_4, C and dependant variables; E_1, E_2, E_3, E_4, E . The former consisted of the content-free science process skill achievement levels by each category of science inquiry skill and the science concept achievement levels, the latter the science inquiry problem achievement levels by each category of science inquiry skill. The regression equations were acquired within the 0.05 significant level by regression analysis : $E_1 = 0.03 + 0.16D_1 + 0.29C_1$, $E_2 = -0.203 + 0.21D_2 + 0.45C_2$, $E_3 = -0.32 + 0.13D_3 + 0.47C_3$, $E_4 = 0.61 + 0.09D_4 + 0.29C_4$, $E = -1.41 + 0.13D + 0.47C$ (E : the achievement of science problems, D : the achievement of science process skills, C : the achievement of science concepts).

Key words : science process skill, scientific concept, science problem, problem solving, thinking aloud, protocol.

I. 서론

실증주의에 바탕을 둔 과학 교육 철학은 과학 교육

방법을 실험을 통한 탐구 학습을 강조하게 하였다. 탐구학습을 통해 달성하고자 하는 목표가 범 내용적 (content free)인 특성을 지닌 과학 탐구능력의 신장

*1999년 2월 13일 받음.

이라는데 의견의 합치를 보고 그에 대한 평가 방법의 연구가 진행되어 왔다. 이를 지지하면서 수행된 지난 수십 년간의 연구 결과들의 대부분은 탐구능력 평가 도구의 개발이나 방법이 현실과 유리된 부분이 많음이 보고된 바 있다. 더욱이 과학 탐구능력을 구성하고 있는 하위의 모든 요소들을 범 내용적으로 측정하고 평가하기에는 한계가 있음이 지적되고 있다.

이와 같이 과학교육을 보는 패러다임이 변하면서 실증주의에 근거한 과학 교육 못지 않게 학습자들은 자신들이 이미 가지고 있던 관련 과학 개념과 새로이 접하게 되는 과학 개념을 다양한 형태로 구성해 간다는 구성주의에 그 바탕을 둔 과학교육 방법을 강조하게 되었다.

대부분의 과학교육학자들이 정의하는 바와 같이 과학은 탐구 활동이라는 과정을 통해 생성되는 산물로 이루어진다고 볼 수 있다. 결국 과정이란 과정적인 지식으로 조작적 지식의 동의어로 볼 수 있으며, 인간 사고에 있어서 외부 상황과는 상당히 독립적인 인간 사고의 본질적이고 일반적인 면에서 과학 탐구능력을 의미하는 것으로 해석되고 있다.

이러한 능력에 대한 현장 검증 연구를 통해 Lawson(1982)은 문제 해결이나 학습이 성공적으로 되기 위해서는 구체적인 학습 내용에 관한 지식은 오히려 필요 조건이지 충분 조건이 되지 못하다는 점을 지적한 바 있다.

또한 산물이란 위에서 언급한 능력의 결과로 나타나는 지식 체계로 선언적 지식으로 표상적 지식의 동의어로 볼 수 있다. 이는 인간 사고에 있어서 외부 상황에 따라 적절히 대처하는 특수적인 면으로 과학적 개념을 의미하는 것으로 국내외의 수많은 학자들이 개념에 대한 연구를 수행하여 보고한 바 있다.

Mayer(1983)는 여러 연구자들의 주장을 근거로 하여 일반적으로 문제 해결에 필요한 요소로서 문제에 관련된 특수 지식과 문제 해결 전략에 관련된 일반 능력이 요구된다고 하였다.

김언주(1987)는 문제 해결에 관한 연구와 프로그램을 분석한 결과 일반적인 의미에서의 창의력과 같은 과학적 논리를 가르칠 수 있다는 주장이 압도적이거나 특정 교과의 내용을 떠난 창의력과 같은 과학적 논

리의 개발은 그리 효과적이지 못하다는 주장이 더 우세해 지고 있다는 점을 보고한 바 있다.

이와같은 논리들은 내용 의존적(content specific)인 과학 탐구능력 신장을 강조하고 평가할 경우에는 보다 개선된 대안적 과학과 교수 학습 및 평가 방법이 가능함을 함의하는 것으로 볼 수 있다. 그 동안 문제 해결 사고 과정에 관한 국내외 연구를 살펴보면 문제 해결 실패자와 성공자의 문제 해결 과정에 관한 연구(권재술·이성왕, 1988; 이성왕, 1988; 권재술·박학규, 1990), 문제 해결 과정에서의 학생들의 사고 과정 특성 분석(박학규·권재술, 1991; 박학규·이용현, 1993; 홍미영·박운배, 1995), 문제 해결과 문제 공간 유형 분석(박학규, 1993), 탐구 사고력 문제 해결 과정에서 나타난 유형과 특징(김익균·황유정, 1993), 문제 해결 전략에 관한 연구(이명자 등, 1996; 노태희·전경문, 1997a, 1997b), 문제와 문제 해결자 특성에 따른 화학 문제 해결 : 문제 해결 시간과 전이 분석(노태희·전경문, 1997c), 문제 해결력과 개념 이해도간의 연구(노태희 등, 1995; 노태희·임희준, 1996; 이항로, 1998) 등이 있다.

이와같은 사고 과정 특성을 갖는 인지 능력들을 중심으로 한 과학 문제 해결에 대한 연구는 많은 과학교육자들의 관심을 받아왔으나(박학규, 1991; 김찬중, 1998), 학생들의 개념 변화나 문제 해결력 향상을 위한 교수 방법의 효과를 조사하는 연구는 대부분 개념 이해나 문제 해결 중에서 하나의 관점에 초점을 맞추어 이루어졌다고 지적한바 있다(Mettes et al., 1980; Rogan, 1988). 또한 진정한 의미의 문제 해결은 개념 이해를 수반하는 통합적인 성격을 지닌 것으로 지적한 바와 같이(Gabel et al., 1992), 두 가지를 모두 고려한 교수 전략 및 대안적 평가 체제를 연구 개발 할 필요가 있다(김찬중, 1998; 이항로, 1998).

과학 문제를 해결하는 과정에서 실증주의에 바탕을 둔 범 내용적인 과학 탐구능력과 구성주의에 바탕을 둔 과학 개념의 상호 작용 효과를 보다 심층적으로 연구하면 위에서 지적된 과학 문제 해결 사고 과정 연구의 편중 현상, 과학 탐구능력 신장을 위한 교

수 학습 방법 및 평가에서의 현실에 대한 유리감과 한계성을 어느 정도 극복하고 보다 총체적인 교수 학습 방법 및 평가에 대한 단서를 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

위와 같은 연구의 필요성에 의하여 본 연구에서는 과학 탐구능력과 과학 개념의 조합으로 구성된 과학 탐구 문제 해결의 사고 과정에 대한 프로토콜을 분석하여 첫째, 과학 탐구 문제 해결 과정에서 탐구 단계에 따라 문제 해결 유형과 특성은 어떻게 다른가, 둘째, 과학 문제 해결 과정에서 탐구 단계에 따라 과학 개념과 탐구능력의 상호 작용은 어느 정도인가를 밝혀 과학 탐구 문제 해결의 교수 학습 방법과 평가에 대한 시사점을 찾고자 하였다.

II. 연구의 방법

본 연구는 과학 탐구능력과 과학 개념을 중심으로 과학 탐구 문제를 해결해 가는 과정을 사고발성법으로 녹음하여 작성한 프로토콜을 이용하여 분석한 정성적 연구와 두 요소 간의 상호 작용 효과를 분석하는 정량적 연구로 나눌 수 있으며, 구체적인 방법과 절차를 기술하면 다음과 같다.

1. 연구의 절차

본 연구는 문제 해결 과정과 과학 탐구능력 평가에 대한 이론 연구, 평가도구 선정, 사고발성법 대상 선정, 사고발성법 적용, 과학 탐구능력 대범주별 문제 해결 특성 분석, 통계 분석을 위한 대상 선정, 평가도구 투입, 통계 분석, 결론 및 논의의 순으로 진행되었다.

2. 과학 문제 해결력 도구 선정

본 연구에서 이용한 평가 도구에 대한 문항 구성을 나타내면 다음 Table 1과 같다.

위의 Table 1에 나타난 바와 같이 본 연구에서 사용한 과학 탐구 문제 해결력 평가도구는 문제 인식 및 가설 설정, 탐구의 설계 및 수행, 자료의 해석 및 분석, 결론 도출 및 평가 능력을 측정하는 문항이 각각 5문항씩으로 총 20문항이다. 또한 문제 인식 및 가설 설정 능력을 측정하는 문항 해결에 관련된 개념은 13문항, 탐구의 설계 및 수행 능력을 측정하는 문항 해결에 관련된 개념은 10문항, 자료의 해석 및 분석 능력을 측정하는 문항 해결에 관련된 개념은 16문항, 결론 도출 및 평가 능력을 측정하는 문항 해결에 관련된 개념은 10문항으로 총 39문항이다. 따라서 본 연구에서 사용한 과학 탐구문제를 해결하기 위해서는 4종의 과학 탐구능력과 39개의 관련 과학 개념의 인지와 습득 및 적용을 필요로 한다. 따라서 20 문항으로 구성된 과학 탐구 문제해결력 평가도구, 20문항으로 구성된 과학 탐구능력 평가도구, 39문항으로 구성된 과학 개념 평가도구 등 3종(이항로, 1998)을 이용하였다.

3. 사고발성법 대상자 표집

과학 탐구능력과 관련 과학 개념이 과학 탐구 문제 해결력에 영향을 주는 정도에 대한 정성적 분석 결과가 통계적으로 의미 있는 것이 되기 위해서는 통계학의 중심 극한 정리(Rohatgi, 1990; 최종석, 1992)에 근거하여 최소한의 인원이 30명이기 때문에 본 연구

Table 1. Item composition of a test used in this study

Science process skill category	Items distribution					Sum
Formulating a problem and generating a hypothesis	1/5	5/1	9/3	13/2	17/5	5/13
Designing and conducting an experiment	2/2	6/3	10/2	14/2	18/1	5/10
Interpreting and analyzing data	3/4	7/1	11/2	15/6	19/3	5/16
Synthesizing results and evaluating	4/2	8/3	12/2	16/2	20/1	5/10
Sum	4/13	4/8	4/9	4/12	4/10	20/39

* item number/related science concepts

Table 2. Sample for thinking aloud method

Track Grade	Human science track		Natural science track		Sum
	Male	Female	Male	Female	
12	35	39	37	41	
Sum	74		78		152

에서는 이 보다 1명 많은 31명으로 하였다. 본 연구에서의 사고발성법과 회상적 면담에 참여한 학생의 수는 위의 Table 2와 같다.

사고발성법 적용을 위하여 표집한 연구 대상 집단은 위의 Table 2에 나타난 바와 같이 고등학교 3학년을 성별 계열별로 구분하여 표집하였는데, 인문사회 과정의 경우는 남자 35명, 여자 39명으로 총 74명이었고, 자연 과정의 경우는 남자 37명, 여자 41명으로 총 78명으로 전체는 152명이었다.

4. 과학 문제 해결 유형 분류 체계 설정

과학 탐구 문제를 해결하는 데 필요한 변인들을 중심으로 문제 해결 유형 분류 체계를 설정하기 위하여 초보자와 전문가의 지구과학 교사들의 문제 해결과정 에 대한 Barba와 Rubba(1993)의 연구, 문제 해결 과정 연구 방법에 대한 김익균 등(1993)의 연구, 고등학교 3학년 128명을 대상으로 과학 탐구 문제의 풀이 과정을 상세하게 기술하게 하고 정답을 선택하도록 한 지필 검사의 답안지를 자세히 분석한 본 연구자의 결과를 이용하였다.

또한 과학 탐구능력의 적용 유무, 개념의 적용 유무를 대 범주로 한 분류 체계(Table 3)를 설정한 후 이를 근거로 가능한 문제 해결 유형을 분류한다.

본 연구에서 이와 같은 분류 체계를 이용하는 방법은 학생 개개인의 선다형 과학 탐구 문제 해결력 평가도구에 대한 문항별 반응 결과와 사고발성법 및 회상적 면담을 통하여 이미 작성되어 있는 프로토콜을 구 또는 절로 구분하고, 각각의 구나 절에 해당하는 구체적 행동을 다음의 Table 3에 제시한 해당 기호를 코딩하는 방법을 이용하였다.

5. 통계 분석을 위한 대상 표집

본 연구에서 이용한 과학 탐구능력 평가도구, 과학 탐구 문제 해결력 평가 도구, 과학 개념 평가 도구를 현장에 투입 한 후 성취도 간의 상관 관계나 인과 관계를 통계적으로 밝히기 위하여 고등학교 3학년 640명을 표집하였다(Table 4).

다음 Table 4에 제시한 표집 대상은 발생사고법 적용을 위한 대상으로 표집되었던 학생들은 반복되는 시험의 효과 때문에 통계 처리에 포함시킬 경우 통계 분석에 영향을 줄 것으로 판단되어 제외시켰다.

6. 통계 분석

본 연구에서 이용한 3종의 평가도구를 Table 4에 제시한 고등학생 3학년 640명에게 투입하여 얻은 원

Table 3. Problem solving characteristic coding system

The case of problem solving	Symbol
The case of applying a science process skill perfectly	Pa
The case of applying a science process skill partially	Pp
The case of not applying a science process skill	Pn
The case of applying all science concepts correctly	Ca
The case of applying a science concept partially	Cp
The case of applying a science concept wrong	Cw

Table 4. Sampling for statistical analysis

Track Sex Region	Human science track		Natural science track		Sum
	Male	Female	Male	Female	
Large city	53	54	55	54	216
Medium city	54	55	53	55	217
Small city	53	50	53	51	207
Sum	160	159	161	160	640

자료(raw data)를 SPSS/PC(ver 7.0)를 이용하여 유의 수준 0.05에서 상관 관계와 회귀 분석을 실시하였다. 이때 과학 탐구능력 성취도, 과학 탐구 문제 해결력 성취도, 과학 개념 성취도간의 상관 관계를 과학 탐구능력 대범주별로 구하였다. 과학 탐구능력 성취도와 과학 개념 성취도가 과학 탐구 문제 해결력을 각각 어느 정도 설명할 수 있는지를 알아보기 위하여 과학 탐구 문제 해결력을 종속 변인으로 하고 다른 성취도를 독립 변인으로 하여 회귀 방정식을 구하고, 앞에서 분석한 과학 문제 해결 과정에 대한 정성적 분석 결과와의 상호 관계를 논의 하였다.

III. 연구의 결과 및 논의

과학 문제를 해결하는 사고 과정 특성을 문제 관련 과학 개념과 과학 탐구능력의 상호 작용을 정성적이며 정량적인 방법으로 과학 탐구능력 대범주별로 실시하였으며 그 결과를 제시하면 다음과 같다.

1. 문제 해결 유형 분석

학생들이 과학 탐구 문제 해결력 평가도구를 구성하는 총 20문제를 해결한 선다형 평가 결과, 문제를 해결하는 과정을 기록한 지필 검사의 답안지, 사고발성법을 이용하여 문제 해결 과정을 시간 순서대로 녹음한 테이프를 다시 원고화한 응답 원안을 분석하여 과학 문제 해결 특성 및 유형을 분석하였다. 응답 원안을 분석할 때 기록이 불명확하거나 녹음 상태가 불확실한 경우만을 모아 피험자에게 자세한 풀이 과정이나 녹음된 내용을 확인하는 회상적 면접법을 실시

하여 정교화 하였다. 문제 해결 과정에서 이용한 요소에 대한분석에서 본 연구자의 주관적인 판단을 최소화하기 위하여 선다형 과학 탐구문제 해결력 평가도구의 각 문항에 대한 반응 결과, 지필 평가 답안지, 응답원안을 3명의 과학 교사에게 의뢰하여 각 문항별로 구 또는 절로 구분하고 각각의 구 또는 절에 해당하는 요소를 본 연구에서 제시한 문제 해결 유형 코딩 시스템 Table 3을 이용하여 해당 기호를 부여하도록 하였다. 본 연구자가 코딩한 결과와 3명의 과학 교사가 코딩한 결과를 종합하여 본 연구자가 최종적인 문제 해결 요소와 유형을 판단하였다.

각 문항별로 성공자와 실패자들이 문제를 해결할 때 표출한 문제 해결 과정 요소에 관한 총 사례수인 1,240개(20문항×성공자 31명+20문항×실패자 31명)의 프로토콜을 모두 분석하여 분류한 과학 탐구 문제해결 유형을 나타내면 다음 Table 5와 같다.

위에 Table 5에 제시한 바와 같이 9가지로 분류된 문제 해결 유형들은 문제 해결력의 입장에서의 과학 탐구문제를 해결해 가는 과정과 단계 분석에서 나타나지 않는 과학 탐구능력과 개념의 적용 유무에 따른, 성공자와 실패자의 문제 해결 특성, 문제 해결 실패의 원인을 분석하는 데 이용되었다.

2. 탐구능력 대범주별 과학 탐구 문제 해결 특성 분석

위에 Table 3에 제시한 문제 해결코딩 시스템을 적용하여 코딩한 다음 Table 5에 속하는 문제 해결 유형을 결정한 결과를 중심으로 과학탐구능력 단계별 과학 탐구 문제 해결특성을 기술하면 다음과 같다.

Table 5. Problem solving types

Science process skills	Complete adaptation			Partial adaptation			Non adaptation			
		P_a			P_p			P_n		
Scientific concept										
Complete adaptation	C_a	$P_a C_a$ (1st type)			$P_p C_a$ (2nd type)			$P_n C_a$ (3rd type)		
Partial adaptation	C_p	$P_a C_p$ (2nd type)			$P_p C_p$ (4th type)			$P_n C_p$ (5th type)		
Wrong concept	C_w	$P_a C_w$ (3rd type)			$P_p C_w$ (5th type)			$P_n C_w$ (6th type)		

Table 6. Problem solving types distribution and percentage on formulating problem and generating a hypothesis

Type	P_a			P_p			P_n			Sum
	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	
Item number										
1	11/0	5/2	0/6	9/0	5/6	1/15	0/0	0/0	0/2	31/31
5	10/1	3/1	2/5	8/1	4/6	4/15	0/1	0/0	0/1	31/31
9	10/0	5/1	0/2	11/1	5/6	0/17	0/1	0/0	0/3	31/31
13	16/1	0/4	0/1	15/2	0/18	0/3	0/1	0/1	0/0	31/31
17	16/2	2/3	0/5	11/1	2/2	0/10	0/1	0/1	0/6	31/31
Sum	63/4	15/11	2/19	54/5	16/38	5/60	0/4	0/2	0/12	155/155
Sum of frequency	67	26	21	59	54	65	4	2	12	310
Percentage	40.6/2.6	10.0/7.1	1.3/12.3	34.8/3.2	10.3/24.5	3.2/38.7	0.0/2.6	0.0/1.3	0.0/7.7	100/100
Ratio of mean	21.6	8.4	6.8	19.0	17.4	21.0	1.3	0.6	3.	100
Successor/failure										

* numbers in the cell mean the sum of case

다음 Table 6, 7, 8, 9에서 각각의 성공자 실패자별 빈도수와 백분율은 31명에 대한 빈도수와 백분율이며, 소계란의 빈도수와 백분율은 성공자와 실패자의 합인 62명에 대한 값을 나타낸다.

1) 문제 인식 및 가설 설정 범주형 과학 탐구 문제 해결 과정 분석

문제 인식 및 가설 설정 문제를 해결하는 과정에서 사용한 문제 해결 유형별 빈도수 분포와 백분율을 나타내면 다음 Table 6과 같다.

위의 Table 6에 제시한 바와 같이 문제 해결 과정 유형을 살펴보면 유형 $P_a \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 40.6%인 63명, 실패자의 경우는 2.6%인 4명, 전체적으로는 21.6%인 67명, 유형 $P_a \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 10.0%인 15명, 실패자의 경우는 7.1%인 11명, 전체적으로는 8.4%인 26명, 유형 $P_a \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 1.3%인 2명, 실패자의 경우는 12.3%

인 19명, 전체적으로는 6.8%인 21명, 유형 $P_p \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 34.8%인 54명, 실패자의 경우는 3.2%인 5명, 전체적으로는 19.0%인 59명, 유형 $P_p \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 10.3%인 16명, 실패자의 경우는 24.5%인 38명, 전체적으로는 17.4%인 54명, 유형 $P_p \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 3.2%인 5명, 실패자의 경우는 38.7%인 60명, 전체적으로는 21.0%인 65명, 유형 $P_n \cdot C_a$, 유형 $P_n \cdot C_p$, 유형 $P_n \cdot C_w$ 는 성공자는 한 명도 없었으며 유형 $P_n \cdot C_a$ 는 실패자의 경우 2.6%인 4명, 전체적으로 1.3%인 4명, 유형 $P_n \cdot C_p$ 는 실패자의 경우 1.3%인 2명, 전체적으로 0.6%인 2명, 유형 $P_n \cdot C_w$ 는 실패자의 경우 7.7%인 12명, 전체적으로 3.8%인 12명이었다.

2) 탐구의 설계 및 수행 범주형 과학 탐구 문제 해결 과정 분석

탐구의 설계 및 수행 능력 문제를 해결하는 과정에

서 사용한 문제 해결 유형별 빈도수와 백분율을 나타내면 다음 Table 7과 같다.

위의 Table 7에 제시한 바와 같이 문제 해결 과정 유형을 살펴보면 유형 $P_a \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 9.7%인 15명, 실패자의 경우는 0.6%인 1명, 전체적으로는 5.2%인 16명, 유형 $P_a \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 1.3%인 2명, 실패자의 경우는 2.6%인 4명, 전체적으로는 1.9%인 6명, 유형 $P_a \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 한 명도 없었으며 실패자의 경우는 15.5%인 24명, 전체적으로는 7.7%인 24명, 유형 $P_p \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 71.0%인 110명, 실패자의 경우는 1.3%인 2명, 전체적으로는 36.1%인 112명, 유형 $P_p \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 14.8%인 23명, 실패자의 경우는 27.1%인 42명, 전체적으로는 21%인 65명, 유형 $P_p \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 3.2%인 5명, 실패자의 경우는 37.4%인 58명, 전체적으로는 20.3%인 63명, 유형 $P_x \cdot C_a$, 유형 $P_x \cdot C_p$, 유형 $P_x \cdot C_w$ 는 성공자는 한 명도 없었으며, 유형 $P_x \cdot C_a$ 와 유형 $P_x \cdot C_p$ 는 실패자의 경우 각각 2.6%인 4명, 전체적으로 1.3%인 4명, 유형 $P_x \cdot C_w$ 는 실패자의 경우 10.3%인 16명, 전체적으로 5.2%인 16명이었다.

3) 자료의 해석 및 분석 능력 범주형 과학 탐구 문제 해결 과정 분석

자료의 해석 및 분석 능력 문제를 해결하는 과정에

서 사용한 문제 해결 유형별 빈도수와 백분율을 나타내면 다음 Table 8과 같다.

위의 Table 8에 제시한 바와 같이 문제 해결 과정 유형을 살펴보면 유형 $P_a \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 34.2%인 53명, 실패자의 경우는 1.9%인 3명, 전체적으로는 18.1%인 56명, 유형 $P_a \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 7.1%인 11명, 실패자의 경우는 5.2%인 8명, 전체적으로는 6.1%인 19명, 유형 $P_a \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 한 명도 없었으며 실패자의 경우는 1.3%인 2명, 전체적으로는 0.6%인 2명, 유형 $P_p \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 44.5%인 69명, 실패자의 경우는 3.9%인 6명, 전체적으로는 24.2%인 75명, 유형 $P_p \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 12.3%인 19명, 실패자의 경우는 38.7%인 60명, 전체적으로는 25.5%인 79명, 유형 $P_p \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 1.9%인 3명, 실패자의 경우는 26.5%인 41명, 전체적으로는 14.2%인 44명, 유형 $P_x \cdot C_a$, 유형 $P_x \cdot C_p$, 유형 $P_x \cdot C_w$ 는 성공자는 한 명도 없었으며, 유형 $P_x \cdot C_a$ 는 실패자의 경우 2.6%인 4명, 전체적으로 1.3%인 4명, 유형 $P_x \cdot C_p$ 는 실패자의 경우 9.0%인 14명, 전체적으로는 4.5%인 9명, 유형 $P_x \cdot C_w$ 는 실패자의 경우 11.0%인 17명, 전체적으로 5.5%인 17명이었다.

4) 결론 도출 및 평가 능력 범주형 과학 탐구 문제 해결 과정 분석

Table 7. Problem solving types distribution and percentage on designing and conducting an experiment

Type Item number	P_a			P_p			P_x			Sum
	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	
2	4/0	0/0	0/1	20/0	5/12	2/14	0/1	0/0	0/3	31/31
6	3/1	0/0	0/20	25/0	2/5	1/0	0/2	0/0	0/3	31/31
10	2/0	1/1	0/1	17/0	11/9	0/10	0/0	0/3	0/7	31/31
14	2/0	0/2	0/1	25/0	4/5	0/21	0/	0/	0/1	31/31
18	4/0	1/1	0/1	23/2	1/11	2/13	0/1	0/1	0/2	31/31
Sum	15/1	2/4	0/24	110/2	23/42	5/58	0/4	0/4	0/1	155/155
Sum of frequency	16	6	24	112	65	63	4	4	16	310
Percentage	9.7/0.6	1.3/2.6	0.0/15.5	71.0/1.3	14.8/27.1	3.2/37.4	0.0/2.6	0.0/2.6	0.0/10.3	100/100
Ratio of mean	5.2	1.9	7.7	36.1	21.0	20.3	1.3	1.3	5.2	100
Successor/failure										

* numbers in the cell mean the sum of case

결론 도출 및 평가 능력 문제를 해결하는 과정에서 사용한 문제 해결 유형별 빈도수 분포와 백분율을 나타내면 다음 Table 9와 같다.

다음의 Table 9에 제시한 바와 같이 문제 해결 과정 유형을 살펴보면 유형 $P_a \cdot C_a$ 는 성공자의 경우는 55.5%인 86명, 실패자의 경우는 5.2%인 8명, 전체적으로는 30.3%인 94명, 유형 $P_a \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 12.9%인 20명, 실패자의 경우는 5.8%인 9명, 전체적으로는 9.4%인 29명, 유형 $P_a \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 0.6%인 1명, 실패자의 경우는 14.2%인 22명, 전체적으로는 7.4%인 23명, 유형 $P_p \cdot C_a$ 는

성공자의 경우는 20.0%인 31명, 실패자의 경우는 2.6%인 4명, 전체적으로는 11.3%인 35명, 유형 $P_p \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 9.7%인 15명, 실패자의 경우는 20.2%인 31명, 전체적으로는 14.8%인 46명이었다. 유형 $P_p \cdot C_w$, 유형 $P_n \cdot C_a$, 유형 $P_n \cdot C_p$ 는 성공자의 경우는 한 명도 없었으며, 실패자의 경우는 각각 38.1%인 59명, 0.6%인 1명, 1.9%인 3명이었으며, 전체적으로는 각각 19.0%인 59명, 0.3%인 1명, 1.0%인 3명이었다. 유형 $P_n \cdot C_w$ 는 성공자의 경우는 1.3%인 2명, 실패자의 경우는 12.9%인 18명이었으며, 전체적으로는 6.5%인 20명이었다.

Table 8. Problem solving types distribution and percentage on interpreting and analyzing data

Type Item number	P_a			P_p			P_n			Sum
	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	
3	10/1	5/3	0/1	12/0	4/17	0/3	0/1	0/4	0/1	31/31
7	12/0	0/1	0/1	17/0	1/6	1/14	0/1	0/2	0/6	31/31
11	9/0	3/1	0/0	14/2	5/10	0/11	0/1	0/1	0/5	31/31
15	11/0	3/3	0/0	10/2	7/15	0/6	0/1	0/1	0/3	31/31
19	11/2	0/0	0/0	16/2	2/12	2/7	0/0	0/6	0/2	31/31
Sum	53/3	11/8	0/2	69/6	19/60	3/41	0/4	0/14	0/17	155/155
Sum of frequency	56	19	2	75	79	44	4	14	17	310
Percentage	34.2/1.9	7.1/5.2	0.0/1.3	44.5/3.9	12.3/38.7	1.9/26.5	0.0/2.6	0.0/9.0	0.0/11.0	100/100
Ratio of mean	18.1	6.1	0.6	24.2	25.5	14.2	1.3	4.5	5.5	100
Successor/failure										

* numbers in the cell mean the sum of case

Table 9. Problem solving types distribution and percentage on synthesizing results and evaluating

Type Item number	P_a			P_p			P_n			Sum
	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	C_a	C_p	C_w	
4	15/1	6/3	1/3	8/0	1/10	0/8	0/1	0/3	0/2	31/31
8	17/0	5/2	0/4	4/0	5/9	0/9	0/0	0/0	0/7	31/31
12	14/1	5/1	0/6	5/0	5/2	0/19	0/0	0/0	2/2	31/31
16	22/4	0/0	0/2	9/3	0/1	0/17	0/0	0/0	0/4	31/31
20	18/2	4/3	0/7	5/1	4/9	0/6	0/0	0/0	0/3	31/31
Sum	86/8	20/9	0/22	31/4	15/31	0/59	0/1	0/3	2/18	155/155
Sum of frequency	94	29	23	35	46	59	1	3	20	310
Percentage	55.5/5.2	12.9/5.8	0.6/14.2	20.0/2.6	9.7/20.0	0.0/38.1	0.0/0.6	0.0/1.9	1.3/12.9	100/100
Ratio of mean	30.3	9.4	7.4	11.3	14.8	19.0	0.3	1.0	6.5	100
Successor/failure										

* numbers in the cell mean the sum of case

Table 10. Correlation matrix between science problem achievement, science process skills and scientific concepts

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C
D ₁	1														
D ₂	0.38	1													
D ₃	0.45	0.37	1												
D ₄	0.46	0.40	0.42	1											
D	0.75	0.69	0.77	0.77	1										
E ₁	0.30	0.26	0.27	0.32	0.39	1									
E ₂	0.28	0.31	0.29	0.36	0.41	0.45	1								
E ₃	0.34	0.36	0.35	0.38	0.48	0.48	0.56	1							
E ₄	0.25	0.25	0.27	0.28	0.35	0.42	0.38	0.48	1						
E	0.38	0.38	0.39	0.43	0.53	0.76	0.78	0.82	0.72	1					
C ₁	0.46	0.39	0.40	0.46	0.57	0.39	0.48	0.52	0.44	0.60	1				
C ₂	0.42	0.39	0.41	0.51	0.58	0.45	0.49	0.52	0.42	0.61	0.71	1			
C ₃	0.44	0.37	0.41	0.48	0.57	0.45	0.52	0.55	0.42	0.63	0.70	0.76	1		
C ₄	0.47	0.38	0.40	0.46	0.57	0.43	0.42	0.48	0.41	0.56	0.69	0.69	0.69	1	
C	0.51	0.44	0.46	0.54	0.65	0.49	0.54	0.59	0.48	0.68	0.88	0.89	0.88	0.88	1

p<0.05

3. 과학 탐구능력 대범주별 문제 관련 과학 개념과 탐구능력의 상관 관계

정성적인 연구에서 나타난 연구 결과인 지구과학 문제 해결에 영향을 주는 변인들이 과연 과학 탐구 문제 해결력 평가에 어떠한 영향을 주는지 통계적인 방법으로 검증하고자 하였다.

과학 탐구능력 점수, 과학 탐구 문제 점수, 과학 개념 점수간의 상관 관계를 과학 탐구능력 대범주별 총점별로 구분하여 나타내면 위 Table 10과 같다.

위의 Table 10에서 기호 D, E, C는 각각 과학 탐구능력 점수, 과학 탐구 문제 점수, 과학 개념 점수를 나타내며 아래 첨자 1, 2, 3, 4는 각각 과학 탐구능력을 구성하는 대범주인 문제 인식 및 가설 설정, 탐구의 설계 및 수행, 자료의 해석 및 분석, 결론 도출 및 평가 능력을 나타낸다. 예를 들어 D₁은 탈 내용적인 과학 탐구능력 평가도구를 구성하는 문제 인식 및 가설 설정능력을 측정하는 문항의 합, E₁은 과학 탐구 문제 해결력 평가도구를 구성하는 내용 의존적인 문제 인식 및 가설 설정 능력을 측정하는 문항의 합, C₁은 과학 개념 평가도구를 구성하는 문항 중에서 E₁을 해결하는데 필요한 최소의 과학 개념을 측정하는

문항의 총합으로 해석하면 된다.

따라서 위의 Table 10에 제시된 바와 같이 문제 인식 및 가설 설정 범주에 속하는 과학 탐구 문제 해결력은 관련 탐구 능력, 과학 개념과 각각 유의 수준 0.05에서 0.30, 0.39의 상관 관계를 보이고 있다. 탐구의 설계 및 수행 능력 범주에 속하는 과학 탐구 문제 해결력은 관련 탐구능력, 과학 개념과 각각 유의 수준 0.05에서 0.31, 0.49의 상관 관계를 보이고 있다. 자료의 해석 및 분석 범주에 속하는 과학 탐구 문제 해결력은 관련 탐구능력, 과학 개념과 각각 유의 수준 0.05에서 0.35, 0.55의 상관 관계를 보이고 있다. 결론 도출 및 평가 범주에 속하는 과학 탐구 문제 해결력은 관련 탐구능력, 과학 개념과 각각 유의 수준 0.05에서 0.28, 0.41의 상관 관계를 보이고 있다.

4. 과학 탐구능력, 과학 탐구 문제, 과학 개념 성취도간의 회귀 분석

과학 탐구능력, 과학 개념의 성취 수준이 과학 탐구 문제 해결력 성취도를 어느 정도 설명할 수 있는지를 알아보기 위하여 과학 탐구 문제 해결력 성취도

를 종속 변인으로 하고 다른 성취 수준을 독립 변인으로 하여 회귀 분석을 실시하였다.

1) 과학 탐구능력 성취도와 과학 탐구 문제 해결력 성취도 간의 회귀분석

과학 탐구능력 성취도가 과학 탐구 문제 해결력 성취도를 어느 정도 설명해 주는 가를 알아보기 위하여 회귀 분석을 실시하였다. 과학 탐구능력 평가도구의 과학 탐구능력 대범주별 성취 수준인 D_1, D_2, D_3, D_4, D 를 독립 변인으로 하고, 과학 탐구 문제 해결력 평가도구의 과학 탐구능력 대범주별 성취 수준인 E_1, E_2, E_3, E_4, E 를 종속 변인으로 하여 산출한 회귀식은 $E_1=0.54+0.42D_1, E_2=0.12+0.44D_2, E_3=0.40+0.42D_3, E_4=0.08+0.31D_4, E=-2.35+0.69D$ 이었다.

따라서 과학 탐구능력 평가에서의 문제 인식 및 가설 설정 능력, 탐구의 설계 및 수행 능력, 자료의 해석 및 분석 능력, 결론 도출 및 평가 능력, 총점에서 각각 1점을 맞으면 과학 탐구 문제 해결력 평가에서는 각각 0.42점, 0.44점, 0.42점, 0.31점, 0.69점을 맞을 수 있는 것으로 나타났다. 과학 탐구능력 성취도와 과학 탐구 문제 해결력 성취도간의 설명력이 가장 높은 능력과 낮은 능력은 탐구의 설계 및 수행 능력과 결론 도출 및 평가 능력으로 나타났다.

2) 과학 개념 성취도와 과학 탐구 문제 해결력 성취도 간의 회귀분석

관련 과학 개념 평가 도구에서의 성취도가 과학 탐구 문제 해결력 평가에서의 성취 수준을 어느 정도 설명해 주는 가를 알아보기 위하여 회귀 분석을 실시하였다. 과학 탐구능력 대범주별로 과학 탐구 문제 해결에 필요한 최소의 과학 개념 성취 수준인 C_1, C_2, C_3, C_4, C 를 독립 변인으로 하고, 과학 탐구 문제 해결력의 과학 탐구능력 대범주별 성취 수준인 E_1, E_2, E_3, E_4, E 를 종속 변인으로 하여 산출한 회귀식은 $E_1=0.90+0.45C_1, E_2=0.34+0.49C_2, E_3=0.30+0.62C_3, E_4=1.00+0.38C_4, E=0.72+0.63C$ 이었다.

따라서 관련 과학 개념 평가에서 문제 인식 및 가설 설정 능력, 탐구의 설계 및 수행 능력, 자료의 해석 및 분석 능력, 결론 도출 및 평가 능력, 총점에서 각각 1점을 맞으면 과학 탐구 문제 해결력 평가에서

는 각 0.45점, 0.49점, 0.62점, 0.38점, 0.63점을 맞을 수 있는 것으로 나타났다. 관련 과학 개념과 과학 탐구 문제 해결력간의 설명력이 가장 높은 것과 낮은 것은 자료의 해석 및 분석과 결론 도출 및 평가이나, 전체적으로는 관련 과학 개념 평가의 결과와 과학 탐구 문제 해결력 평가의 결과는 반드시 일치한다고 볼 수는 없다.

3) 과학 탐구능력, 과학 개념 성취도와 과학 문제 해결력 성취도 간의 회귀분석

과학 탐구 문제 해결 과정에서 관련 과학 탐구능력 과 과학 개념이 상호 작용할 때 둘 중에서 어느 요소가 과학 탐구 문제 해결력의 성취 수준을 어느 정도 설명해 주는 가를 알아보기 위하여 회귀 분석을 실시하였다. 과학 탐구능력 대범주별 탐 내용적인 과학 탐구능력 성취도인 D_1, D_2, D_3, D_4, D , 관련 과학 개념 성취도인 C_1, C_2, C_3, C_4, C 를 독립 변인으로 하고, 내용 의존적인 과학 탐구 문제 해결력의 과학 탐구능력 대범주별 성취도인 E_1, E_2, E_3, E_4, E 를 종속 변인으로 하여 산출한 회귀식은 $E_1=0.03+0.16D_1+0.29C_1, E_2=-0.203+0.21D_2+0.45C_2, E_3=-0.32+0.13D_3+0.47C_3, E_4=0.61+0.09D_4+0.29C_4, E=-1.41+0.13D+0.47C$ 이었다.

따라서 과학 탐구 문제 해결력 평가에서 다른 변수가 일정하다고 할 때, 과학 탐구능력 평가의 결과와 관련 과학 개념 평가의 결과가 과학 탐구 문제 해결력 평가의 결과를 설명하는 정도를 과학 탐구능력 대범주별로 분석하면 다음과 같다.

문제 인식 및 가설 설정 능력의 경우 과학 탐구능력 성취도, 관련 과학 개념 성취도에서 각각 1점을 맞으면 과학 탐구 문제 해결력 성취도에서 각각 0.16, 0.29점, 탐구의 설계 및 수행 능력의 경우 각각 0.21, 0.45 점, 자료의 해석 및 분석 능력의 경우 각각 0.13, 0.47 점, 결론 도출 및 평가의 경우 각각 0.09, 0.29점을 맞는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 논의

고등학교 학생들이 과학 문제를 해결할 때의 사고

과정을 사고발성법을 이용해 작성한 프로토콜을 분석하여 과학 탐구능력 대범주별 과학 탐구 문제 해결 특성에 대한 결론과 과학교육에 주는 의의는 다음과 같다.

첫째, 과학 탐구 문제 해결 관련 과학 탐구능력과 과학 개념을 중심으로 한 문제 해결 유형은 9가지였으며, 두 요소의 상호 작용에 대한 질적 차이를 고려하면 6가지로 나타났다. 과학 교육에서 추구하는 이상적인 문제 해결 유형은 제 1형이고 가장 바라지 않는 유형은 제 6형으로 나타났다. 따라서 보다 효율적인 과학 탐구 문제 해결력 신장 교육을 위해서는 학생들이 문제를 해결해 가는 사고 과정 분석에 기초한 다양한 교수 학습법의 개발이 필요함을 의미한다.

둘째, 과학 탐구능력 대범주 중 문제 인식 및 가설 설정 능력이나 결론 도출 및 평가 능력을 측정하는 과학 탐구 문제를 해결하는 유형은 성공자와 실패자가 대체로 다르나 탐구의 설계 및 수행 능력이나 자료의 해석 및 분석 능력을 측정하는 과학 탐구 문제를 해결하는 유형은 성공자와 실패자가 같은 유형도 있었다.

그러므로 문제를 해결하는 사고 과정이 동일한 데도 불구하고 성공자가 실패자로 또는 실패자가 성공자로 평가될 위험성이 내재된 것으로 판단될 수 있어 문제 해결 과정과 결과를 동시에 측정하는 대안적 평가 체제 개발이 필요함을 의미한다.

셋째, 문제 해결 관련 과학 탐구능력 및 과학 개념의 성취도와 가장 높은 상관 관계($r_1=0.35$, $r_2=0.55$)를 갖는 과학 탐구 문제는 자료의 해석 및 분석 능력의 범주에 속하는 문항이었으며, 그다음으로 높은 상관 관계($r_1=0.31$, $r_2=0.49$)를 갖는 과학 탐구 문제는 탐구의 설계 및 수행 능력의 범주에 속하는 문항으로 나타났다. 문제 인식 및 가설 설정이나 결론 도출 및 평가 능력의 범주에 속하는 과학 탐구 문제의 해결력은 관련 과학 탐구능력이나 과학 개념과 상호 교차하는 상관 관계가 있는 것으로 나타났다.

넷째, 문제 해결 관련 과학 탐구능력과 과학 개념이 상호 작용할 때 관련 과학 탐구능력 성취도가 과학 탐구 문제의 해결력을 가장 잘 설명해 주는 범주는 탐구의 설계 및 수행에 관련된 문항이고(기울기

=0.21), 관련 과학 개념 성취도가 과학 탐구 문제의 해결력을 가장 잘 설명해 주는 범주는 자료의 해석 및 분석 능력에 관련된 문항(기울기=0.47)인 것으로 나타났다.

적 요

자료의 해석과 분석 능력의 범주에 속하는 과학 탐구 문제의 학습에는 관련 탐구능력 보다 과학 개념을, 탐구의 설계 및 수행 능력의 범주에 속하는 과학 탐구 문제의 학습에는 관련 탐구능력과 과학 개념을 강조하는 학습법의 적용이 유효할 것으로 기대된다.

과학 탐구 문제를 해결해 가는 사고 과정을 심층적으로 분석해 보면 현재와 같이 성공자에게는 1점, 실패자에게는 0점을 부여하는 이분법적(dichotomous)인 평가 방법으로는 문제를 해결해 가는 과정이 동일한데도 불구하고 성공자와 실패자를 완전하게 별별하고 있지 못해 과학 교육 활동의 전반적인 정치(replacement) 활동에 문제가 내재할 가능성이 있음을 유추할 수 있다.

따라서 본 연구를 통해 밝혀진 바와 같이 과학 탐구 문제 해결 사고 과정 분석에 의한 제 1유형에는 1점, 제 2유형에는 0.8점, 제 3유형에는 0.6점, 제 4유형에는 0.4점, 제 5유형에는 0.2점, 제 6형에는 0점을 부여하는 대안적 다단계 평가 방법에 대한 이론적 실천적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 권재술, 박학규(1990), 물리 문제 해결에 관한 초심자의 프로토콜 분석 연구, 한국과학교육학회지, 10(1), 57-53.
- 권재술, 이성왕(1988), 물리 문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제 해결 과정에 관한 연구, 한국과학교육학회지, 8(1), 43-56.
- 김언주(1987), 인지심리학(이론과 적용), 서울 : 정민사.
- 김익균, 황유정(1993), 고등학생의 탐구 사고력 문제 해결 과정에 나타난 유형과 특징, 한국과학교육

- 학회지, 13(2), 152-162.
- 김찬중(1998). 초등 과학 우수 학생의 일상적 맥락의 과학 문제 해결 과정 : 서답형 문항에 대한 응답 분석. 한국과학초등과학교육학회지, 17(1), 75-87.
- 노태희, 우규환, 임희준, 서인호(1995). 이과 계열 고등학생의 화학 계산 문제 해결력과 개념 이해도 비교. 화학교육, 22(3), 144-156.
- 노태희, 임희준(1996). A comparison between algorithmic problem solving and conceptual understanding of Korean students with three types of problem. 화학교육, 23(6), 402-410.
- 노태희, 전경문(1997a). 물질의 분자 수준을 시각적으로 강조하는 4단계 문제 해결식 수업이 학생의 개념과 문제 해결 능력에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 17(3), 313-321.
- 노태희, 전경문(1997b). 중학생의 화학 문제 해결 전략. 한국과학교육학회지, 17(1), 75-83.
- 노태희, 전경문(1997c). 문제와 문제 해결자의 특성에 따른 화학 문제 해결: 문제 해결 시간과 전이 분석. 한국과학교육학회지, 17(1), 11-19.
- 노태희, 전경문, 한인옥, 김창민(1996). 학생의 인지 발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제 해결 행동 비교. 한국과학교육학회지, 16(4), 31-47
- 박학규(1993). 학생들의 물리 문제 해결과 문제 공간 유형 분석. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 박학규, 권재술(1990). 물리 문제 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) 물리 문제 해결 과정에서 중학생들의 사고 과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47.
- 이명자, 김미영, 이진희(1996) 연습이 화학 문제 해결에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 16(3), 295-302.
- 이성왕(1988) 물리 문제 해결 과정에서의 전문가와 초심자의 사고 과정의 비교 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이항로(1998) 과학 탐구능력과 개념 이해도가 대학 수학능력시험 지구과학 문제 해결에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사학위 논문.
- 최종석(1992). 기초통계학. 서울 : 정익사, 248-250.
- 홍미영, 박윤배(1995) 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학 문제 해결 과정의 차이. 한국과학교육학회지, 15(1), 80-91.
- Barba, R. H., and Rubba, P. A.(1993). Expert and Novice. earth and space science teacher's declarative, procedural and structural knowledge. *International Journal of Science Education*, 15(3), 272-282.
- Lawson, A. E.(1982). The reality of general cognition operation. *Science Education*, 66(2), 229-241.
- Mayer, R. E.(1983). *Thinking, Problem Solving, Cognition*. New York : Freeman and Company.
- Mettes, C.T.C.W., Pilot, A. Roossink, H.J., and Kramers-Pals, H.(1980). Teaching and learning problem solving in science: Part I. *Journal of Chemical Education*, 57(12), 882-885.
- Rogan, J. M.(1988). Development of a conceptual framework of heat. *Science Education*, 72(1), 103-113.
- Rohatgi(1990). *Statistical Inference*. John Wiley, 560-576.
- Park, Y. B.(1988). Expert-novice difference of mental representation and problem solving strategy in mechanics problems. 한국과학교육학회지, 8(2), 43-52.