

물리문제 해결에 관한 초심자의 프로토콜 분석 연구

박 학 규

(전주 우석대학 물리학과)

권 재 술

(한국 교원대학교 물리교육과)

I. 서 론

물리교육에서의 주된 관심은, 물리적인 사실·개념·원리·법칙의 단순한 기억보다는 이러한 원리를 바르게 이해하고, 자연현상에 적용하여 미지의 문제를 해결하는 능력을 학생들에게 길러주는 일이다. 따라서 학생들의 문제해결 과정을 이해하는 것은 물리교육에서 매우 중요하다고 볼 수 있다.

인지심리학은 인간의 사고를 지배하는 기본 기제 (basic mechanism) 즉 인간 지능의 성질과 그것이 어떻게 작용하는가를 이해하고자 한다. 인지 혹은 사고는 개인이 어떤 문제를 풀 때 발생되며 그에 따른 행동을 유발하게 된다는 입장에서, 이 분야의 학자들은 인지와 문제해결 그리고 인간의 사고를 같은 의미로 받아들이고 있다. 1950년대 이후 인지심리학에 관한 연구가 여러 분야의 많은 연구자들에 의해 활성화되고 있으며, 특히 컴퓨터 과학의 발달과 더불어 정보처리적 접근 방법이 인지심리학의 기초 이론의 형성에 많은 영향을 미치고 있다.

1970년대 이후 물리교육 분야에서도 이와같은 인지심리학의 발달과 더불어 문제해결에 대한 관심이 고조되고 있는데, 이는 문제해결력의 신장이라는 교

육목표를 달성하기 위하여 보다 효과적인 문제해결 방법이 무엇인가를 학생들에게 제시해 주기 위한 것이라고 할 수 있다. 1980년대 들어와서 물리분야와 관련된 문제해결 연구가 여러 나라에서 많은 연구자들에 의해 수행되고 있지만 우리나라에서는 아직 활발한 연구가 이루어지지 않고 있다.

물리문제 해결은, 주어진 조건하에서 문제의 상황에 관련이 있는 사실·개념·원리·법칙 등을 생각해내고 활용하여, 그들 상호간의 관계를 맺어주고 조직화함으로써 목표상황에 이르는 일련의 체계적인 사고과정 (Thinking process) 이라고 정의할 수 있다. 문제해결의 연구방법 즉, 사고과정의 조사방법으로는 발성사고법 (Thinking aloud) 이 많이 이용되고 있는데, 이 방법에 의해 수집된 프로토콜의 분석방법은 학자에 따라 다르며, 아직 정립되어 있지 못하다.

Mayer (1983)는, 여러 연구자들의 주장을 근거로 하여 일반적으로 문제해결 과정에 필요한 요소로써, 문제에 관련된 특수지식 (Domain-specific Knowledge) 과 문제해결 전략에 관련된 일반기능 (General Skill) 이 요구된다고 하였다. 특히, 그는 수리적인 문제해결에 있어서는, 문제의 해석과 이해와 관련된 지식으로 언어지식 (Linguistic Knowledge). 의미지식

(Semantic Knowledge) 그리고 스키마지식(Schema Knowledge)이 필요하며, 문제해결에 관련된 지식으로 절차지식(Procedural Knowledge)과 전략지식(Strategic Knowledge)이 요구된다고 하여, 문제해결에 필요한 지식들을 세분화하였다.

본 연구에서는 Mayer의 수리적인 문제해결에 대한 세부지식을 바탕으로 하여, 권재술과 이성왕(1988)이 “물리문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 과정에 관한 연구”에서 이미 보고한 바 있는 초심자의 프로토콜을 분석하였다.

1. 연구목적

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 1) 물리문제 해결 과정을 조사한 프로토콜의 분석 방법의 모색.
- 2) 오답자의 개인별 오답 원인 분석을 통해 개인별 지식의 결함요소 진단.
- 3) 오답 원인의 종합 분석을 통해 물리학의 학습지도 계획 수립에 필요한 자료 제공.

2 용어 정의

초심자(Novice) : 특정 분야에 대한 지식, 논리적 사고력 및 수학적 기능 등이 초보적인 수준에 있는 사람으로, 본 연구의 대상자인 대학2년생은 물리학 분야에 있어서 초보적인 단계에 있다고 볼 수 있으므로 초심자로 규정하였다.

프로토콜(Protocol) : 발생사고법에서 녹음된 음성을 기록한 원고.

발성사고법(Thinking aloud) : 문제해결 과정에서 떠오르는 생각들을 큰 소리로 표현하게 하고 이를 녹음하는 사고과정의 한 조사방법.

언어지식(Linguistic knowledge) : 문제에 진술된 어휘에 관한 지식.

의미지식(Semantic knowledge) : 물리적인 사실·원리·개념·법칙 및 기호해석에 관한 지식.

스키마지식(Schema knowledge) : 문제의 유형에 관한 지식.

절차지식(Procedural knowledge) : 조작절차 및 계산과정상에 필요한 지식.

전략지식(Strategic knowledge) : 이상의 지식 사

용을 통제하는 지식으로 일반적 문제해결 기법이라 할 수 있으며, 여러가지 유용한 지식을 이용하는 방법에 대한 지식을 말하고, 주어진 문제를 더 작은 문제들로 분해하는 것 등이 이에 속한다.

II. 연구방법

1. 프로토콜 자료

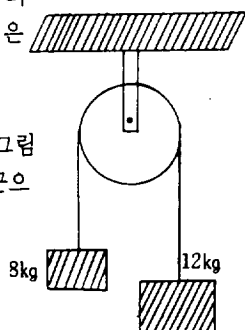
권재술, 이성왕(1988)이 “물리문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 과정에 관한 연구”에서 초심자로부터 수집한 프로토콜 자료를 사용하였다.

선행연구에서는 난이도 검사와 내용타당도 조사를 거쳐 난이도 상·중·하인 세 문항을 선정하여 검사문항으로 하였으며, 전문가로는 4개의 4년제 대학 물리학과 교수 5명을 대상으로 하고 초심자로는 4년제 교사 양성 대학의 물리교육과 2학년 학생 20명을 대상으로 발생사고법을 이용하여 문제해결 과정을 조사하였다. 그리고 Larkin(1978)의 문제해결 과정모형을 토대로, 문제해결 과정을 문제의 이해·계획·계획의 수행·검증의 4단계로 구분하여 각 단계에서 표출되는 구체적 행동을 분석하고 초심자와 전문가의 차이점을 비교하였다.

본 연구에서는 세 문항에 대한 프로토콜 자료중에서 난이도 하와 중에 해당하는 문제1과 문제2에 대한 초심자의 프로토콜 자료를 분석하였다. 연구에 사용한 검사문항은 그림1과 같다.

(문제 1)
수평한 길 위에서 1,000kg의 차가 0.2 m/s²의 가속도를 내도록 하는데, 5,000 N의 수평력이 필요했다. 마찰력은 얼마인가? (Buche, 1984)

(문제 2)
질량 8kg과 12kg의 물체가 그림과 같이 도르래의 양쪽에 끈으로 매달려 있다. 이 계의 가속도는? (Orear, 1979)



<그림 1> 연구에 사용한 검사문항

2. 문항분석

조사에 사용한 검사문항을, Mayer의 지식 분류에 기초하여 5가지 지식의 영역으로 나누어 분석하였다. 분석한 지식의 종류를 부호화하여 초심자의 프로토콜 자료 분석에 이용하였다.

3. 초심자의 프로토콜 분석

문항분석을 기초로하여 초심자의 프로토콜을 분석하였다. 필요한 지식을 올바르게 이해하고 있거나 사용하는 경우(O), 잘못 이해하고 있거나 잘못 사용하는 경우(E), 그리고 프로토콜상에서 표현하고 있지 않은 경우(X)로 구분하여 분석하였으며, 문제의 정답을 맞힌 경우(S)와 오답을 한 경우(F)로 구분하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 논의

1. 문항분석

(1) 문제1의 문항분석

문제1의 해결에 필요한 지식을 분류하면 다음과 같다.

가) 언어지식 : 문제에 진술된 어휘에 관한 지식으로, 수평한 길, 위, 차, 가속도, 수평력, 마찰력 등의 언어지식을 갖고 있어야 한다.

나) 의미지식 : 물리적인 사실·원리·개념·법칙 및 기호해석에 관한 지식으로, 질량의 단위(kg), 가속도의 단위(m/s²), 힘의 단위(N), Newton의 운동의 제2법칙($F = ma$); 마찰력($F_f = \mu N$), 수직항력($N = mg$), 및 마찰계수(μ) 등의 의미를 이해하고 있어야 한다.

다) 스키마지식 : 문제의 유형에 관한 지식으로, 마찰력(F_f)은 수평력(F_i)에서 물체의 가속도를 내는데 필요한 순힘(F_{Σ})을 빼주면 된다는 것을 알아야 한다.

라) 절차지식 : 조작절차와 계산과정상의 지식으로, 물체에 작용한 순힘(F_{Σ})의 계산과정, 수평력에서 물체에 작용한 순힘을 빼서 마찰력을 구하는 계산과정, 그리고 마찰계수×수직항력의 계산과정을 틀리지 않고 풀 수 있어야 한다.

<표 1> 문제1의 문항분석 결과

의미	SE1 : $F = ma$, Newton의 운동의 제2법칙의 이해
지식	SE2 : $F_f = \mu N$ 의 이해 SE3 : 수직항력 $N = mg$ 의 이해 SE4 : 마찰계수(μ)의 이해
스키마 지식	SC : 마찰력(F_f)은 수평력(F_i)에서 물체의 가속도를 내는데 필요한 순힘(F_{Σ})을 빼주면 된다.
절차 지식	P1 : $F_{\Sigma} = ma$ 의 계산 과정 P2 : $F_i = F_f - F_{\Sigma}$ 의 계산 과정 P3 : $F_i = \mu N$ 의 계산 과정
전략 지식	ST1 : $F_{\Sigma} = ma$ 의 관계 이용 ST2 : $F_i = F_f - F_{\Sigma}$ 의 관계 이용 ST3 : $F_i = \mu N$ 의 관계 이용

마) 전략지식 : 여러가지 유용한 지식을 이용하는 방법에 대한 지식으로 일반적인 문제해결 기법이라고 할 수 있는데, 이 문제에 대한 전략지식으로는, $F = ma$ 를 이용하여 물체에 작용한 순힘을 구하기, 수평력에서 물체에 작용한 순힘을 빼주어 마찰력을 구하기, 그리고 마찰력은 마찰계수 곱하기 수직항력이라는 관계를 이용하기 등의 전략지식이 필요하다.

이와같은 분석을 기초로 각각의 지식을 부호화하면 표1과 같다. 문항분석에서 제시된 지식중에서 언어지식 모두와 의미지식중 일부를 초심자의 프로토콜 분석에 포함시키지 않았다. 그 이유는 조사결과 물리교육과 2학년 학생으로서 어휘에 관련된 언어지식과 의미지식 중 단위에 관련된 지식은 모두 갖고 있는 것으로 판단되었기 때문이다.

(2) 문제2의 문항분석

문제2의 해결에 필요한 지식을 분류하면 다음과 같다.

가) 언어지식 : 질량, 도르래, 물체, 양쪽, 끈, 매달리다, 계, 가속도 등의 언어지식을 갖고 있어야 한다.

나) 의미지식 : 질량의 단위(kg), 중력가속도(9.8

<표 2> 문제2의 문항분석 결과

의미 지식	SE 1: Newton의 운동의 제2법칙의 이해 SE 2: 중력 mg의 이해 SE 3: Newton의 운동의 제3법칙, 장력의 이해
스키마 지식	SC 1: $F_{net} = F_2 - F_1 = ma = (m_1 + m_2)a$ 의 형태로 문제인식 SC 2: $T - m_1g = m_1a, m_2g - T = m_2a$ 의 형태로 문제인식
절차 지식	P 1: $F = mg$ 의 계산과정 P 2: $F_{net} = F_2 - F_1$ 의 계산과정 P 3: $m = m_1 + m_2$ 전체 질량 구하기. P 4: $F_{net} = ma$ 에서 a를 구하는 계산과정. P 5: a, T의 크기와 방향을 올바르게 설정하기. P 6: $T - m_1g = m_1a, m_2g - T = m_2a$ 의 연립방정식 풀이과정 P 7: $a = (m_2 - m_1)g / (m_1 + m_2)$ 의 계산과정
전략 지식	ST 1: $F = mg$ 의 관계이용. ST 2: $F_{net} = F_2 - F_1$ 의 관계 이용. ST 3: $m = m_1 + m_2$ 계의 전체 질량 고려. ST 4: $F_{net} = ma$ 의 관계 이용 ST 5: a, T를 사용하려고 하기 ST 6: $T - m_1g = m_1a, m_2g - T = m_2a$ 의 방정식 세우기 ST 7: T를 소거하여 a를 구하기

m/sec² 또는 약 10 m/sec²), Newton의 제2운동법칙 ($F = ma$), 중력 ($F = mg$), Newton의 제3운동법칙(장력)등의 의미를 이해하고 있어야 한다.

<표 3> 문제 1의 프로토콜 분석 결과

지식	초심자	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20
의미 지식	SE1	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O
	SE2	X	X	X	O	O	O	O	X	O	X	X	X	O	O	X	X	O	O	X	O
	SE3	X	X	X	O	O	O	E	X	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X	X	O
	SE4	X	X	X	X	E	E	E	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X	X	X	X
스키마 지식	SC	O	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O
	P1	E	O	O	O	E	E	X	O	O	O	O	O	O	O	X	E	O	O	O	O
절차 지식	P2	E	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O

다) 스키마지식: 계 전체에 미치는 순힘은 두 물체에 각각 작용하는 중력의 차이이며 이 순힘에 의해 두 물체는 같은 크기의 가속도를 얻게 된다고 문제를 인식하던가, 또는 각각의 물체에 작용하는 힘들, 즉 장력과 중력의 차이에 의해 각각의 물체는 가속도를 얻게 된다고 문제를 인식할 수 있는 문제 유형에 관한 스키마지식이 필요하다.

라) 절차지식: 중력의 계산과정 ($F = mg$), 두 중력의 차이에 의한 순힘의 계산과정 ($F_{net} = F_2 - F_1$), 전체 질량의 합산 ($m = m_1 + m_2$), Newton의 운동의 제2법칙에서 가속도 a를 구하는 과정 ($F_{net} = ma$), 가속도 a와 장력 T의 방향과 크기를 올바르게 설정하는가, 장력 T와 가속도 a를 포함한 연립방정식의 풀이과정, 그리고 가속도 a를 구하는 계산과정 ($a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g$)등을 올바르게 수행할 수 있어야 한다.

마) 전략지식: $F = mg$ 의 관계 이용, 순힘 $F_{net} = F_2 - F_1$ 의 관계 이용, 계의 전체 질량($m = m_1 + m_2$)의 고려, 순힘 $F_{net} = ma$ 의 관계 이용, 가속도 a와 장력 T의 사용, 연립방정식 세우기($T - m_1g = m_1a, m_2g - T = m_2a$), 연립방정식에서 T를 소거하여 a를 구하기 등의 전략지식이 필요하다.

이와같은 분석을 기초로 각각의 지식을 부호화하면 표2와 같다. 문제1에서와 마찬가지로 문항분석에서 제시된 지식중에서 언어지식 모두와 의미지식 중 일부를 초심자의 프로토콜 분석에 포함시키지 않았다.

2. 프로토콜 분석

초심자의 프로토콜을 분석한 결과는 <표 3> <표 4>와 같다.

P3	X X X X O O E X X X X X X X X X X X X X X	
전략 지식	ST1	O O O O O O X O O O O O O O O X O O O O O
	ST2	O O O O X X X O O O O O O O O X O O O O O
	ST3	X X X X O O O X X X X X O O X X X X X X
정답 오답 여부	F S S S F F F S S S S S S S S F F S S S S	

주) S: 정답, F: 오답, O: 올바른 이해, 사용, X: 프로토콜상에 존재하지 않음, E: 잘못 이해 또는 잘못 사용

〈표 4〉 문제 2의 프로토콜 분석 결과

지식	초심자	초심자																			
		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20
의미 지식	SE1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	SE2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	SE3	O	X	O	E	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X
스키마 지식	SC1	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	SC2	O	X	O	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
절차 지식	P1	O	O	O	O	O	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	E	O	E	O
	P2	O	O	O	E	O	O	O	X	O	O	O	E	O	O	O	O	O	O	O	O
	P3	O	O	E	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	E	O	O	O	O
	P4	O	O	E	O	E	E	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	E
	P5	E	X	E	E	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P6	E	X	E	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	P7	E	X	E	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
전략 지식	ST1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	ST2	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	E	O	O	O	O	O	O	O	O
	ST3	O	O	X	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	E	O	O	O	O
	ST4	O	O	E	O	E	E	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	ST5	O	X	O	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ST6	E	X	E	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ST7	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
정답, 오답 여부		S	S	F	F	F	F	S	S	S	S	S	F	S	S	S	F	F	S	F	F

주) S: 정답, F: 오답, O: 올바른 이해, 사용, X: 프로토콜상에 존재하지 않음, E: 잘못 이해 또는 잘못 사용

3. 오답자 개인별 오답 원인 분석

(1) 문제1의 오답자별 원인 분석

가) N1: 프로토콜에서 전략지식은 바르게 진술하고 있으나 계산과정(P1, P2)이 잘못되어 정답을 얻지 못했다. $(500N + 1000\text{Kg} \times 0.2\text{m/s} = 5500N$ 이라고 보고함)

나) N5: 절차의식(P1)에서 오류($1000 \times 0.2 = 500$)를 범하고 있으며, 마찰계수에 대한 오해(SE4,

$$\mu = \frac{\text{작용력}}{\text{수평력}} = \frac{500N}{1000N} = 0.1) \text{를 범하고 있다.}$$

다) N6: 절차지식(P1)에서 오류($100 \times 0.2 = 500$)를 범하고 있으며, 의미지식(SE4)에서 마찰계수($\mu = \text{수평력} / \text{작용력}$)를 오해하고 있다.

라) N7: 의미지식에서 Newton의 제2운동법칙(SE1)을 전혀 고려하지 않고 있으며, 수평력 $F_x = \mu ma \cos \theta$ 로 초기 조건에서 주어지지 않은 θ 를 생각해내고 임의로 $\theta = 0$ 이라고 생각해서 마찰계수 μ 를 구했다.

$$(5000 = \mu \times 1000 \times 0.2, F_x = \mu ma \cos \theta \text{ 이용})$$

마) N15: 문제를 전혀 이해하지 못했으며, 수직항력($N = mg$)을 고려하고 있으나 마찰력에 포함된다

고 보고 수평력과 마찰력의 크기가 같다고 결론을 내렸다.

바) N16: 절차지식(P1)에서 계산상의 오류를 범했다.

(2) 문제2의 오답자별 원인 분석

가) N3: 스키마지식(SC2)를 사용하여 풀이를 시도하였지만 (ST5:0, 가속도 a와 장력 T의 설정이 잘 못되어 (P5:E) 연립방정식을 세우지 못하고(ST6:E), 다시 스키마지식(SC1)을 이용하여 문제풀이를 시도했다. 계의 전체 질량(ST3:X)을 고려하지 않고, 질량의 차이(P3, P4:E)를 가지고 가속도를 구했다. ($12\text{kg} \times 10\text{m/sec}^2 - 8\text{kg} \times 10\text{m/sec}^2 = 4\text{kg} \times a$)

나) N4: 스키마지식(SC2)를 적용하였으나 장력의 크기(SE3:E)와 가속도의 방향(P5:E)을 잘못 설정하여 문제풀이에 실패하고, 다시 스키마지식(SC1)을 적용하였지만 계의 순힘(P2:E)을 구할 때 앞에서 잘못 구한 가속도를 대입함으로써 문제해결에 실패하였다.

다) N5: 순힘(F_{net})과 전체 질량(m)를 모두 바로 계 구한 뒤에 가속도 a를 구할 때는, $F_{\text{net}} = ma$ 에서 F_{net} (40N) 대신 12kg의 물체에 작용하는 중력(120N)을 사용하였다. (P4, ST4:E)

라) N6: 계산과정(P1:E)에 오류를 범하고, 순힘(F_{net})을 8kg의 물체가 받는 힘으로 보고 (P4, ST4:E)가속도를 구하였다.

마) N12: 계의 순힘(F_{net})을 구하는 전략지식과 절차지식(ST2, P2:E)에서 오류를 범했다. 즉 12kg의 물체에 미치는 중력($F_{12} = +12 \times 9.8\text{N}$)과 8kg의 물체에 미치는 중력($F_8 = -12 \times 9.8 + 8 \times 9.8 = -4 \times 9.8\text{N}$)을 각각 구하고 순힘을 ($F_{\text{net}} = F_{12} + F_8 = 8 \times 9.8\text{N}$) 구하여 $F_{\text{net}} = ma$ 에 대입해서 가속도 a를 구했다.

바) N16: 계의 전체 질량을 구할 때 합하지 않고 차이를 구해서 사용하였다. (P3, ST3:E) ($F_{\text{net}} = (m_2 - m_1)a$)에서 a를 구함.)

사) N17: 중력의 계산에서 처음에는 8kg중 12kg중으로 생각하다가 실제 계산과정에서는 8N, 12N으로 처리하였다.(P1:E)

아) N19: 중력의 계산과정에서 산술적인 오류를 범하였다. (P1:E)

($F_{12} = 12 \times 9.8 = 116.6$, 실제로는 117.6이다)

자) N20: 최종적으로 가속도 a의 계산에서 오류를 범하였다. (P4:E)

$$(a = \frac{39.2}{20} = 1.86, \text{정답: } 1.96)$$

4. 분석결과 및 논의

문제1의 경우 오답자는 6명이었으며 이를 오답원인에 따라 분류해 보면, N5, N6, N7, N15의 학생들은 의미지식, 스키마지식, 절차지식, 전략지식 모두에 결함을 나타내고 있으며, 그중 N5, N6의 학생들은 마찰계수에 대한 오인이 있음을 발견할 수 있다. N1, N16의 학생들은 계산과정상의 사소한 실수를 보인 것으로 간주되어 물리교육적인 측면에서 문제해결에 완전히 실패했다고는 보기 어려울 것이다. 특히 표3에서 보이는 바와 같이 (SE2, SE3, SE4), 검사대상 학생 20명중 12명이 마찰력을 운동에 대한 저항력으로 파악하기 보다는 마찰계수와 수직항력을 먼저 고려한다는 것은 물리교육적인 측면에서 주목할만한 점이다.

문제2의 경우 오답자는 9명이었으며 이를 오답원인별로 분류해 보면, N3, N6, N16의 학생들은 계의 전체 질량(P3, ST3)을 고려하지 않거나 잘못 사용하였으며, N4, N5, N12의 학생들은 계의 순힘(P2, ST2)을 잘못 구했거나 구했더라도 나중에 계산과정(P4)에 적용하지 않았다. N17, N19, N20의 학생들을 산술적인 계산상의 착오로 간주되며, 물리교육적인 측면에서 문제해결에 실패했다고 보기는 어렵다. 이와같은 Atwood machine 문제를 Newton의 운동의 제3법칙을 적용하는 문제(SC2)로 인식하는 학생은 20명의 검사대상자 중 4명 뿐이었으며, 그중 1명만이 스키마지식(SC2)를 사용하여 올바르게 문제를 해결하고 있음은 물리교육에 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 물리교육과 2학년을 대상으로, Newton의 운동법칙을 내용으로 하는 난이도 중·하의 문제를 풀 때 나타나는 사고과정을 조사한 프로토콜을, Mayer(1983)의 수리적 문제해결 과정에 필요한 지식의 분류를 토대로 하여 분석하였으며 연구결과로부

터 얻은 결론 및 제언은 다음과 같다.

- (1) 물리문제 해결에 관한 프로토콜의 분석방법을 제시하였다.
- (2) 오답자의 개인별 오답원인 분석을 통해 개개인의 지식의 결합 요소를 발견할 수 있었다.
- (3) 프로토콜 분석결과, 많은 학생들이 마찰력을 운동의 저항력으로 파악하기 보다는 마찰계수와 수직항력을 먼저 고려한다는 사실과, 마찰계수에 대해 오인을 갖고 있는 학생들은 발견할 수 있었다.
- (4) 각각의 문제해결에서 산술적인 계산과정상의 사소한 실수를 보이는 학생들이 (문제1:2명, 문제2:3명) 있었는데, 이들은 물리교육적인 측면에서 문제 해결에 실패했다고 보기는 어렵다.
- (5) 물리교육에서 이와같은 문항분석과 프로토콜 분석을 이용한다면, 학습자 개개인의 지식의 결합 요소 발견이 용이하고, 주관식 시험문제의 출제 및 평가에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.
- (6) 5가지 지식의 종류중에서 어떤 지식이 물리문제 해결에 보다 더 중요한 역할을 하는가에 대한 후속 연구가 필요하다.
- (7) 학생들이 같은 지식을 서로 다른 문제들에서 일관되게 사용하는가의 여부를 확인하기 위해 이러한 분석방법이 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 권재술, 이성왕. 물리문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 과정에 관한 연구, 한국과학교육학회지 8(1), 43-55, 1988.
2. 이성왕, 물리문제 해결과정에서의 전문가와 초심자 사고과정의 비교분석. 한국 교원대학교 대학원, 석사학위논문. 1987.
3. 김연주, 인지심리학, 정민사, 1987.
4. 이관용, 인지심리학, 범문사, 1988.
5. 이영애, 인지심리학, 울유문화사, 1989.
6. Anderson, J. R., Cognitive Psychology and Its Implication. W. H. Freeman and Company, 1980.
7. Ashmore. Frazer. Casey. Problem Solving and Problem Solving Network in Chemistry, J. of Chemical

- Education, Vol. 56, No. 6, 1979.
8. Garrett. Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality, Int. J. Sci. Ed. 9(2), 1987.
9. Gil Perez. Torregrosa. M. J., A Model for problem solving in accordance with scientific methodology, European J. of Science Education. Vol. 5. No. 4. 1983.
10. Good. Kromhout. Bandler. Human and Machine Diagnosis of Scientific Problem-Solving Abilities, J. of Research in Science Teaching Vol. 23, No. 4, 1986.
11. Mayer, R. E., Thinking, Problem Solving, Cognition, W. H. Freeman and Company, 1983.
12. Mohapatra, J. K. Can problem-solving in physics give an indication of pupils' process knowledge? Int. J. Sci. Educ. Vol. 9, No.1 1987.
13. Morton Hunt, The Universe Within. A Touchstone Book, 1982.
14. Newell, A., Simon, H. A., Human Problem Solving, Prentice-Hall Inc. 1972.
15. Polya, G., How to solve it, Princeton Unive. Press, 1945.
16. Reif, F. Scientific approaches to science education Physics Today, Nov. 1986.
17. _____, Teaching problem solving: A scientific approach, The Physics Teacher, May 1981.
18. _____, Larkin, Brackett, Teaching general learning and problem-solving skills, Am, J. Phys. V. 44. No. 3, 1976.
19. Elaine Rich, Artificial Intelligence, McGraw-Hill. 1983.
20. Scandura, J. M., Problem Solving. A Structural/Process Approach with Instructional Implications, Academic Press. 1977.
21. Tuma, Reif, Problem Solving and Education : Issues in Teaching and Research, Lawrence Erlbaum Ass., 1980.
22. Wright, D. S., Williams, C. D., A WISE Strategy for Introductory Physics, The Physics Teacher, April 1986.

ABSTRACT

A Study on Analysis of Novice's Protocol in Solving Physics Problems

Hac-Kyoo Bak

Department of Physics, Jeonju Woosuk University

Jae-Sool Kwon

Department of Physics Education Korea National University of Education

In this study, novices' protocols were investigated on the basis of Mayer's analysis of mathematical problem solving. These protocols were obtained by Jae-Sool Kwon and Seong-Wang Lee (1988) by means of thinking aloud while 20 sophomore students in a department of physics education were solving physics problems on Newton's law of motion.

The results of investigation are as follows;

- (1) We proposed an effective method in analyzing protocols on physics problem solving
- (2) We could find the defective types of knowledge of individuals who got an incorrect solution, through analyzing the cause of failure individually
- (3) The fact that many students considered first the frictional force as multiplying the coefficient of friction by perpendicular force rather than as resistance of motion, was found

And students' misconception on the coefficient of friction was found.

- (4) If such analyses of test items and protocols are used in physics education, they will be very useful for finding the faults of problem-solving process, and for setting and scoring subjective problems in physics