

학생의 인지 발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제해결 행동 비교

노태희 · 전경문 · 한인옥 · 김창민
(서울대학교)

(1996년 7월 12일 받음)

I. 서론

문제해결은 최근 과학교육에서 관심을 모으고 있는 분야 중 하나로서, 그동안 주로 진행되어 온 연구들은 문제해결시 개인의 사고과정을 조사하는 것과 학생들의 문제해결 능력 향상을 위한 교수 전략에 대한 것들로 나눌 수 있다(Eylon & Linn, 1988). 이 중 문제해결 과정을 조사하는 연구에는 지필 검사법, 내성법, 발생사고법, 회상적 면접법 등의 방법들이 사용되어 왔는데, 특히 발생사고법은 문제를 해결하면서 머리 속에 떠오르는 생각들을 그대로 말로 표현하게 하는 것으로서, 학생들이 실제로 생각하는 것에 대하여 가장 많은 정보를 제공하기 때문에 심리학자들이나 교육학자들 사이에서 유용하게 사용되고 있다(Larkin & Rainard, 1984). 그러나 문제를 풀면서 동시에 말로 표현하기 위해서는 더 많은 인지 용량이 요구되고 자동화된 과정은 말로 표현하기 어렵다는 등의 제한점을 지니므로, 대개의 연구에서는 사후 면담을 함께 병행한다. 또한 이러한 연구에는 비교적 많은 시간이 요구되므로 연구 대상의 수가 대체로 제한된다.

화학교육 연구 분야에서 발생사고법에 의한 문제해결 연구는 비교적 최근에 시작되었고, 대부분의 연구가 화학양론(Atwater & Alick, 1990; Gabel, Sherwood & Enochs, 1984; Nurrenbern, 1980)이나 화학평형(Camacho & Good, 1989) 영역에 치중해 있다. 또한 국내에서는 대학생을 대상으로 기체의 성질에 관한 문제해결 특성이 조사된 바 있으나(홍미영과 박윤배, 1994, 1995) 보다 다양한 영역에 대한 연구가 필요하다.

일부 연구들은 인지 심리학에서 많이 사용된 전문가(expert)와 초보자(novice)의 문제해결 특성을 비교하는 방식

으로 진행되었다(Camacho & Good, 1989). 그러나 문제해결 초보자인 학생들은 전문가처럼 충분한 지식이 없기 때문에 전문가의 문제해결 특성을 교육 현장에 적용하는 데에는 한계가 있다(Smith, 1991). 따라서 실제로 학생들이 어떤 과정을 거쳐 문제를 해결하고, 문제해결에 영향을 주는 변인은 무엇이며, 학생들이 문제해결에 실패하는 원인은 무엇인지 등에 대해 구체적으로 조사해 볼 필요가 있다. 이러한 맥락에서 최근 문제해결에 성공하는 초보자와 실패하는 초보자의 특성을 비교하는 연구들이 진행되고 있으나 아직까지 중학생들의 화학 문제해결 과정을 조사한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 또한 이러한 연구들이 대부분 소수의 인원을 대상으로 하거나 문제해결 과정 내의 일부 특징만을 비교, 기술한 것이므로, 보다 많은 수의 학생들을 대상으로 순차적인 문제해결 과정 전반에 걸친 체계적인 비교 연구를 수행할 필요가 있다.

문제해결에 영향을 주는 변인에 관한 연구들은 논리적 사고능력, 비례논리 능력 등의 문제해결자 변인과 문제의 상황, 추리단계, 정보량 등의 문제 변인의 측면으로 구분할 수 있다. 특히 문제해결자 변인인 논리적 사고능력이나 비례논리 능력은 문제해결 능력과 유의미한 상관관계를 갖는 것으로 보고되어 왔다(Friedel, Gabel, & Samuel, 1990; Chandran, Treagust & Tobin, 1987). 그러나 이러한 문제해결자 변인과 구체적인 문제해결 행동 사이의 관계를 조사한 연구는 많지 않으며 그 결과들도 상반된다(Atwater & Alick, 1990; Gabel, Sherwood & Enochs, 1984; Nurrenbern, 1980). 한편 문제의 변인 중 하나인 상황(context)은 지난 20여 년 간 교육학과 인지 심리학에서 많은 관심의 대상이 되어 온 것으로서, Song과 Black(1991)은 과학적 과정 기술 중 적용

(application)에 관한 성취도는 과학적 상황에서 유의미하게 높은 반면 해석(interpretation)에 관한 성취도는 일상적 상황에서 유의미하게 높다고 보고한 바 있다. 또한 흥미영과 박윤배(1996)의 연구에서는 학생들이 과학적 상황의 문제보다 일상적 상황의 문제를 해결하는데 더 많은 어려움을 겪으며 풀이에 대한 자신감도 없으나, 상황에 따른 문제해결 전략의 차이는 나타나지 않았다. 따라서 문제해결 과정에 대한 상황 효과(context effect)는 보다 다양한 측면에서 조사될 필요가 있다.

이와 같은 필요성에 의거하여 본 연구에서는 문제해결 초보자인 중학생들을 대상으로 일상적 상황과 과학적 상황으로 구성된 밀도와 용해도 문제해결 과정을 조사하고, 문제해결 각 단계 내의 구체적인 행동을 학생들의 인지발달 수준, 문제해결 성공여부, 그리고 문제의 상황에 따라 비교하고자 한다. 또한 학생들이 문제해결에 실패하는 원인을 문제해결 단계 및 선행지식의 측면에서 분석하고자 한다. 본 연구의 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

- 1) 문제해결 초보자인 중학생들은 어떤 사고과정을 거쳐 화학문제를 해결하는가?
- 2) 학생들의 인지발달 수준에 따라 문제해결 행동에 차이가 있는가?
- 3) 문제해결 성공자와 실패자의 문제해결 행동에 차이가 있는가?
- 4) 문제의 상황에 따라 학생들의 문제해결 행동에 차이가 있는가?
- 5) 학생들이 문제해결에 실패하는 원인 및 잘못된 선행지식은 무엇인가?

II. 연구 대상 및 절차

1. 연구 대상

연구 대상 선정을 위해 서울시 소재 중학교 1학년 두 학급(94명)에 축소본 논리적 사고력 검사(short-version Group Assessment of Logical Thinking; Roadrangka, Yeany & Padilla, 1983)를 실시하였다. 발생사고법의 특성을 고려하여 1학기말 전과목 평균 50점 이하의 학생 7명은 표집에서 미리 제외시키고, 두 학급 학생들의 성별과 인지발달 수준의 비율을 고려하여 42명을 비례 유층표집(proportional stratified sampling)하였다. 학생들의 성별 및 인지발달 수준의 분포는 <표 1>과 같다.

<표 1> 학생들의 성별 및 인지발달 수준의 분포(%)

인지발달 수준	논리적 사고력 검사 대상			발성사고법 연구 대상		
	남	여	계	남	여	계
구체적 단계	21(22.3)	11(11.7)	32(34.0)	9(21.4)	5(11.9)	14(33.3)
전이 단계	14(14.9)	21(22.3)	35(37.2)	6(14.3)	9(21.4)	15(35.7)
형식적 단계	16(17.0)	11(11.7)	27(28.7)	8(19.0)	5(11.9)	13(31.0)
계	51(54.3)	43(45.7)	94(100)	23(54.8)	19(45.2)	42(100)

2. 문제해결 검사 문항

학생들의 문제해결 특성을 조사하기 위한 검사 문항은 일상적 상황과 과학적 상황의 밀도 문제 1쌍과 용해도 문제 1쌍으로 구성되어 있다. 쌍을 이루는 두 문제에서 상황(context) 이외의 조건은 가급적 유사하도록 제작하였다. 연구자가 개발한 문제를 중학교 과학교사 2인과 과학교육 전문가가 검토하고 지필검사 형식의 예비검사(pilot test)를 거친 후, 중학교 2학년 9명을 대상으로 발생사고법에 의한 예비연구(pilot study)를 실시하였다. 문제를 수정, 보완한 후 동일한 과정으로 검토, 예비검사, 예비연구를 재실시하였다. 본 연구에 사용한 문제는 다음과 같다.

[일상적 상황의 밀도 문제] 슈퍼마켓에서 파는 어떤 젤리 한 봉지에는 똑같은 젤리가 20개 들어있었는데, 젤리 하나의 크기는 3cm^3 이고 20개 전체의 중량은 150g이었다. 또 사이다 350mL의 중량은 420g이고, 쥬스 400mL의 중량은 1120g이었다. 화체에 넣으려고 이 사이다 350mL와 쥬스 400mL를 섞었더니 700mL가 되었다. 여기에 젤리 하나를 넣어보면 바닥에 가라앉겠는가? 위에 뜨겠는가?

[과학적 상황의 밀도 문제] 똑같은 알루미늄 조각 20개가 있는데, 각각의 부피는 2cm^3 이고 20개 전체의 질량은 108g이었다. 또 어떤 황산구리 수용액 300mL의 질량은 1080g이고, 알코올 550mL의 질량은 440g이었다. 이 황산구리 수용액 300mL와 알코올 550mL를 섞었더니 전체 용액의 부피가 800mL가 되었다. 여기에 알루미늄 조각 하나를 넣어보면 바닥에 가라앉겠는가? 위에 뜨겠는가?

[일상적 상황의 용해도 문제] 냉장고에서 꺼낸 4°C 의 물 10컵에는 설탕이 22스푼까지 녹을 수 있고, 85°C 로 데운 물 10컵에는 설탕이 46스푼까지 녹을 수 있다. 4°C 에서 물

6 컵을 그릇에 붓고 설탕을 넣은 후 충분히 저어 주었더니 일부가 바닥에 가라앉았다. 위에 있는 설탕물을 전부 따낸 후, 바닥에 남은 설탕을 모두 녹이는데 85℃에서 물 3 컵이 필요했다. 처음에 넣은 설탕은 몇 스푼이었을까?

[과학적 상황의 용해도 문제] 물 100g에 녹을 수 있는 황산구리의 최대량은 5℃에서 16g이고, 45℃에서 32g이다. 5℃에서 물 70g에 황산구리를 넣고 유리막대로 충분히 저어 주었더니 일부가 녹지 않고 남았다. 이 혼합물을 거름종이로 거른 후, 남아 있는 황산구리를 모두 녹이는데 45℃에서 물 40g이 필요했다. 처음에 넣은 황산구리는 몇 g이었을까?

3. 본 연구 절차

밀도 및 용해도의 내용이 포함된 중간고사 실시 전에 2차례에 걸쳐 발생사고법을 연습하였고, 중간고사 후에 3차 연습 및 본 문제풀이를 시작하였다. 수학이나 화학 문제를 이용하여 매회 연구자 3인이 순회 지도하였으며, 1차 연습과 2차 연습에서는 두 명씩 짝을 지어 연습하고 3차 연습에서는 개별적으로 연습하도록 하였다. 선행연구(Bowen, 1994; Larkin & Rainard, 1984; Pestel, 1993)를 토대로 준비한 안내지를 이용해 발생사고법 및 짝의 역할을 설명하고, 사전연구에서 준비한 비디오 녹화물을 방영하여 발생사고법을 이용한 문제풀이의 예도 제시하였다. 발생사고법에 대한 안내지의 내용 중 일부를 제시하면 다음과 같다.

문제를 소리내어 읽으시오.

문제를 풀면서 머리 속에 떠오르는 생각을 모두 말하십시오.
적절한 단어를 찾느라 애쓸 필요가 없습니다.

.

짝의 역할: 친구가 문제를 해결하는 과정을 잘 듣고 이해하십시오.
친구가 침묵을 지키면 무슨 생각을 하고 있는지 물어 보십시오.

밀도 및 용해도에 관한 본 문제 풀이는 2주에 걸쳐 개별면담으로 진행하였다. 연구자 3인이 선행연구와 사전연구를 토대로 면담시 유의사항을 논의한 후, 학생들의 인지발달 수준의 비율을 고려해 3집단으로 나누어 면담하였다. 본 문제는 일상적 상황의 두 문제를 과학적 상황의 두 문제보다 먼저 제시하되, 용해도 문제가 먼저 제시된 수와 밀도 문제가 먼저

제시된 수가 동일하도록 하였다. 문제해결 후 사후 면담을 통해 연구자가 의문점을 질문하였으며, 본 문제 풀이에 관한 모든 과정은 비디오 녹화 및 음성 녹음을 하였다.

4. 자료 분석 방법

우선 녹화 및 녹음 테이프와 학생들이 풀어낸 문제지를 참조하여 응답원안(protocol)을 작성하였다. 학생들의 순차적인 문제해결 과정을 조사하기 위해서 선행연구(권재술과 이성왕, 1988; 홍미영과 박운배, 1994; Larkin, 1978)를 토대로 분석틀을 설정한 후, 사전연구를 통해 본 연구의 대상인 중학생들의 문제해결 과정에 알맞게 <표 2>와 같이 변형하였다.

<표 2> 순차적인 문제해결 과정 분석틀

A 이해

- A1 문제 읽기
- A2 문제를 다시 읽기
- A3 정보 끌어내기
- A4 변인의 값 적기
- A5 그림 그리기
- A6 자기 용어로 의역하기
- A7 목표 및 미지수 확인하기

B 계획

- B1 하위목표 설정하기
- B2 조건 사이의 관계 찾기
- B3 적용할 개념, 문제, 경험 등을 생각하기
- B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계 찾기

C 풀이

- C1 식 세우기
- C2 계산
- C3 식의 답 구하기
- C4 답에 대한 이유
- C5 (하위) 문제의 답 구하기

D 검토

- D1 유도해 낸 물리량의 의미 파악하기
- D2 계산 과정을 훑어보기
- D3 물리량을 다른 방식으로 유도해 보기
- D4 논리적·화학적으로 타당하지 확인하기

'A2 문제를 다시 읽기'는 문제의 60-70% 이상을 그대로 다시 읽은 경우에 해당하고, 'A3 정보 끌어내기'는 핵심구나 문장을 확인하거나 문제의 의미를 파악해 내는 과정을 뜻하며, 'A7 목표 및 미지수 확인하기'는 문제에서 구해야 할 것

을 확인하는 과정이다. 'B1 하위목표 설정하기'는 주어진 문제를 하위문제로 나누어 우선적으로 도달해야 할 목표를 설정하는 행동을 의미하며, B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계 찾기'는 각각의 하위문제에서 유도해 낸 물리량들 사이의 관계를 찾아 전체적으로 조직하는 행동을 의미한다. 'C1 식 세우기/C2 계산/C3 식의 답 구하기'와 구별되는 풀이과정인 'C4 답에 대한 이유'는 물리량의 크기를 비교하는 행동 등으로서 거의 밀도 문제해결 과정에서 나타났다.

<표 2>에 의해 개인의 순차적인 문제해결 과정을 분석하고, 이를 토대로 문제해결 각 단계별 행동들의 빈도를 조사하여 학생들의 인지발달 수준, 문제해결 성공여부, 문제의 상황에 따라 비교하였다. 또한 학생들이 문제해결에 실패한 원인을 문제해결 단계 및 선행지식의 측면에서 분석하였다. 분석의 신뢰도를 높이기 위하여 인지발달 수준과 성별, 면담자를 고려해 선정된 9명의 응답원안을 이용해 분석을 연습·논의하고, 9명의 응답원안을 다시 선정하여 분석자간 일치도 (intercoder agreement)를 구한 후, 모든 응답원안을 연구자 1인이 분석하였다.

III. 결과 및 논의

1. 논리적 사고력 검사 및 문제해결 결과 분석

12문항으로 구성된 논리적 사고력 검사의 평균은 5.9, 표준편차는 2.5이었고, 크론바하 알파(Cronbach α)로 구한 내적 신뢰도는 0.72이었다. 문제해결 결과는 바르게 해결한 경우(성공자), 계산만 틀린 경우(계산실수), 틀리게 풀거나 포기한 경우(실패자)로 나누어 분석하였다<표 3>. 밀도 문제의 경우 일상적 상황과 과학적 상황의 정답률이 동일하였으나, 용해도 문제의 경우 일상적 상황에서 실패자의 수가 약간 더 많았다. 지필검사 형식의 예비검사 결과보다 발생사고법에 의한 본 연구의 문제해결 정답률이 더 낮았는데, 이는 말로 표현하는데 더 많은 인지 용량이 요구되기 때문인 것으로 파악된다.

<표 3> 문항별 성공자 및 실패자수(%)

구분	용해도 일상	용해도 과학	밀도 일상	밀도 과학
성공자	12(28.6)	13(31.0)	1(2.4)	1(2.4)
계산실수	3(7.1)	5(11.9)	0(0.0)	0(0.0)
실패자	27(64.3)	24(57.1)	41(97.6)	41(97.6)
계	42(100)	42(100)	42(100)	42(100)

실패한 학생 중 일부는 사후 면담 과정 가운데 자신의 실수를 발견하였다. 본 연구 대상인 42명의 논리적 사고력 검사 점수와 일상적 상황 및 과학적 상황의 용해도 문제의 성공여부 사이의 상관계수는 각각 .37과 .39로서 .05 수준에서 유의미하였다.

2. 순차적인 문제해결 과정 분석 및 문제해결 행동의 빈도 분석

순차적인 문제해결 과정에 대한 분석자간 일치도는 평균 0.94이었고<표 4>, 분석의 예는 <표 5>에 제시하였다.

<표 4> 문제해결 과정 분석에 대한 분석자간 일치도

구분	용해도 일상	용해도 과학	밀도 일상	밀도 과학	평균
분석자간 일치도	0.96	0.93	0.93	0.94	0.94

형식적 조작기에 있는 F1은 문제를 이해한 후(A), 'B2 조건 사이의 관계 찾기'를 통해 우선적으로 해결해야 할 하위문제를 인식하여 하나씩 해결하고(BC BC) 'B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계찾기'를 통해 하위문제의 답들을 연결지음으로써 정답을 구해 내었다(BC). 전이 단계 및 구체적 조작기에 있는 T1과 C1 역시 B1 하위목표 설정하기/B2 조건 사이의 관계 찾기/B3 관련된 개념, 문제, 경험 등을 생각해 내기' 등에 의한 계획 수립 후 하위문제를 하나씩 해결하고, 'B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계 찾기'를 통해 하위문제의 답들을 연결지음으로써 성공하였다. T1은 '유도해 낸 물리량의 의미 파악하기'의 검토과정을 거치기도 하였다(D). 그러나 이들은 불필요한 과정을 일부 거치기 때문에 BC가 반복되는 횟수가 많고, C1은 계획없이 임의로 풀이를 시도해 보기도 하였다(AC). 형식적 조작기에 있는 F2는 문제를 이해하고(A) 하위문제로 쪼개어 물리량을 유도해 낸 후(BC BC BC BC) 'B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계찾기'를 통해 그 사이의 관계도 바르게 설정하지만 'C2 계산' 과정상의 실수로 인하여 실패하였다(BC). 전이단계에 있는 T2는 부적절한 계획 하에서 풀이하여 실패하였고(ABC ABC), 구체적 조작기에 있는 C2는 적절한 계획을 수립하지 못하여 문제해결을 포기하였다(AB A).

전반적으로 학생들은 문제를 이해한 후 BC 혹은 ABC 단계를 반복적으로 거치는 것으로 나타났다. 이는 문제해결에 필요한 정보를 일시에 추출하지 못하고 소수의 정보를 추출

<표 5> 순차적인 문제해결 과정 분석의 예

학생	문제해결 과정
F1:	A1A2A3A7B2C1C2C3C5 B2C1C2C3 B4C1C2C3C5 A B C B C B C
T1:	A1A3A1B2C1C2C3C1C2 B2C1C2C3 B4C1C2C3C5D1 B2C1C2C3C1C2C3C1C2C3 B4C1C2C3C5 A B C B C B C D B C B C
C1:	A1A3C1C2C3C5 B2C1C2C3C5 B3C1C2C3C5 B1B2C1C2C3 B4B2C1C2C3C1C2C3C5 A C B C B C B C B C
F2:	A1A3B2B1C1C2C3 B2C1C2C3C5 B1B2C1C2C3 B2C1C2C3C5 B4C1C2C3C5 A B C B C B C B C B C
T2:	A1A2B2C1C2C3C5 A3B2C1C2C3C1C2C3C5 A B C A B C
C2:	A1B3 A6A7A2 A B A

해 가면서 하위문제를 하나씩 해결하는 경향이 있기 때문으로 생각된다(박학규와 이용현, 1993).

순차적인 문제해결 과정 분석 결과를 토대로 각각의 문제 해결 행동에 대한 빈도를 조사하였다<표 6>. 'A1 문제 읽기 /A3 정보 끌어내기/B2 조건 사이의 관계찾기/C1 식 세우기 /C2 계산 /C3 식의 답 구하기/C4 답에 대한 이유/C5 (하위) 문제의 답 구하기' 등의 8개 범주들은 70% 이상 나타난 행동이었고, 나머지 12개 범주들은 50% 이하로 나타난 행동이었다.

3. 인지발달 수준과 문제해결 성공여부에 따른 문제해결 행동 비교

12개 범주에 대한 빈도를 학생들의 인지발달 수준 및

문제해결 성공여부에 따라 비교하였다<표 7>. 인지발달 수준별 비교는 전체 문항에 대해 실시하였고, 성공여부에 따른 비교는 계산 실수도 실패자에 포함하여 용해도 문제 2문항에 대해 실시하였다.

인지발달 수준이나 문제해결 성공여부에 관계없이 많은 학생들이 'A2 문제를 다시 읽기' 과정을 거치며, 문제를 2회 이상 다시 읽은 학생들도 7.7-18.6% 있었다. 문제를 다시 읽는 것은 'A1 문제 읽기'에서 충분히 집중하지 않았거나 (Halpin, 1991) 주어진 문제가 친숙하지 않고 어려운 경우에 나타나는 행동으로 볼 수 있다. 인지발달 수준별로 비교해보면 이 행동이 나타난 학생의 비율이 가장 높은 집단은 전이 단계(45.0%)이었으나, 문제를 2회 이상 다시 읽은 학생의 비율은 구체적 조작기(14.3%)에서 가장 높았다. 또한 문제해결

<표 6> 문제해결 행동의 빈도 분석(%)*

행동	빈도	행동	빈도	행동	빈도	행동	빈도
A1	168(100)	B1	69(41.1)	C1	151(89.9)	D1	22(13.1)
A2	71(42.3)	B2	134(79.8)	C2	151(89.9)	D2	5(3.0)
A3	135(80.4)	B3	47(28.0)	C3	151(89.9)	D3	1(0.6)
A4	40(23.8)	B4	57(33.9)	C4	62(73.8)	D4	2(1.2)
A5	16(9.5)			C5	150(89.3)		
A6	37(22.0)						
A7	65(38.7)						

* C4는 밀도 문제 2문항의 합계이고 나머지 범주는 4문항의 합계임.

성공자보다는 실패자 중에 문제를 다시 읽는 학생(57.6%)이 많았고, 2회 이상 다시 읽는 행동도 실패자(18.6%)에게서 더 많이 나타났다.

'A4 변인의 값 적기'는 구체적 조작기에 있는 학생(46.4%) 및 문제해결에 실패한 학생들(37.3%)이 더 많이 사용하였으며, 이 중 많은 수가 2-4회까지 변인의 값들을 적는 것으로 나타났다. 이들은 주어진 정보의 의미를 파악하기도 전에 무조건 그 값들을 적으려고 한다거나(Camacho & Good, 1989) 불필요한 정보들까지 적으려는 경향이 있었다.

'A5 그림 그리기'의 행동은 이해단계의 행동들 가운데 가장 낮은 빈도를 나타내었으며, 학생들은 문제해결에 필요한 일부 정보만을 그리는 경향이 있었다. 이러한 결과는 전문가 는 모든 정보를 정확히 그림에 표시하나 초보자들은 대략적

인 정보만을 표시한다는 선행연구(권재술과 이성왕, 1988)와 일치하는 것이다. 또한 집단별로 비교해보면 구체적 조작기 학생(17.9%) 및 문제해결 실패자들(8.5%)이 이 행동을 상대적으로 많이 나타내었는데, 홍미영과 박윤배(1994) 역시 학생들은 문제가 어렵다고 판단될 때 그림을 그린다는 결과를 얻은 바 있다.

'A6 자기 용어로 의역하기'의 과정을 거친 학생의 비율이 높은 집단은 인지발달 수준별로는 전이 단계, 형식적 조작기, 구체적 조작기의 순이었고, 문제해결 성공여부로는 성공자, 실패자의 순이었다.

한편 Camacho와 Good(1989)은 성공적인 문제해결자가 풀이에 앞서 목표를 확인하는 경향이 있다고 보고하였으나, 본 연구에서는 구체적 조작기 학생(48.2%) 및 문제해결 실패

<표 7> 인지발달 수준 및 문제해결 성공여부에 따른 문제해결 행동의 빈도(%)¹⁾

행동	인지발달 수준			문제해결 성공여부	
	형식적 (13명x4문항)	전이 (15명x4문항)	구체적 (14명x4문항)	성공자 (12명+13명)	실패자 (30명+29명)
이해단계					
A2	21(40.4)	27(45.0)*	23(41.1)	12(48.0)	34(57.6)*
A2(2-3회)	4(7.7)	8(13.3)	8(14.3)*	3(12.0)	11(18.6)*
A4	6(11.5)	8(13.3)	26(46.4)*	3(12.0)	22(37.3)*
A4(2-4회)	2(3.9)	4(6.7)	18(32.1)*	1(4.0)	12(20.3)*
A5	1(1.9)	5(8.3)	10(17.9)*	2(8.0)	5(8.5)*
A6	8(15.4)	22(36.7)*	7(12.5)	9(36.0)*	17(28.8)
A7	14(26.9)	24(40.0)	27(48.2)*	9(36.0)	23(39.0)*
A7(2-4회)	1(1.9)	4(6.7)	8(14.3)*	0(0.0)	5(8.5)*
계획단계					
B1	27(51.9)*	22(36.7)	20(35.7)	13(52.0)*	25(42.4)
B3	19(36.5)*	14(23.3)	14(25.0)	6(24.0)*	9(15.3)
B3(2-7회)	7(13.5)*	3(5.0)	4(7.1)	1(4.0)*	2(3.4)
B4	19(36.5)	17(28.3)	21(37.5)*	13(52.0)*	15(25.4)
B4(2-4회)	7(13.5)*	7(11.7)	6(10.7)	3(12.0)*	3(5.1)
검토단계					
D1	11(21.1)*	7(11.7)	4(7.1)	6(24.0)*	10(16.9)
D2	0(0.0)	1(1.7)	4(7.1)*	0(0.0)	5(8.5)*
D3	1(1.9)*	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	1(1.7)*
D4	2(3.9)*	0(0.0)	0(0.0)	1(4.0)*	1(1.7)

¹⁾ 각 집단 내에서 해당하는 행동을 나타낸 학생의 비율.

* 해당하는 행동을 나타낸 학생의 비율이 가장 높은 집단.

자(39.0%)들이 'A7 목표 및 미지수 확인하기'의 행동을 많이 드러내었고, 2회 이상 목표를 확인하는 학생의 비율도 이들 집단에서 가장 높았다. 이들은 적절한 해결책을 찾지 못한 채 무엇이 문제인지만을 반복해서 확인하는 경향을 보였다. Park(1988)도 문제의 목표를 확인하는 횟수가 학생들의 인지발달 수준이나 문제해결 성공여부와 부적인 상관을 보인다고 보고한 바 있다.

이해단계의 행동에 대한 결과들을 종합해 보면, 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자들은 'A6 자기 용어로 의역하기'와 같은 행동보다는 'A4 변인의 값 적기/A7 목표 및 미지수 확인하기' 등의 행동을 많이 나타내었으므로 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자들에 비해 상대적으로 문제의 이해에 어려움을 겪는다는 것을 알 수 있다.

계획단계의 행동인 'B1 하위목표 설정하기'는 성공적인 문제해결에 필요한 발견술(heuristics)로 간주되어 온 것으로서(Asieba & Egbugara, 1993), 형식적 조작기 학생(51.9%) 및 문제해결에 성공한 학생(52.0%)에게서 더 많이 나타났다.

'B3 적용할 개념, 문제, 경험 등을 생각하기'의 행동 역시 형식적 조작기 학생(36.5%) 및 성공자(24.0%)에게서 많이 나타났으며, 이러한 행동을 2회 이상 드러낸 학생들도 이들 집단에서 상대적으로 많았다. 그러나 밀도 문제의 경우 대부분의 학생들이 잘못된 개념을 생각해 내는 경우가 많았고, 구체적 조작기 학생들은 관련된 개념보다는 과거의 경험을 생각해 내어 문제해결에 적용하려는 경향을 나타내었다. AtWater

와 Alick(1990)도 회상이 문제해결의 성공을 보장하지는 않는다고 보고하였다.

'B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계찾기'는 구체적 조작기 학생(37.5%) 및 문제해결 성공자(52.0%)에게서 더 많이 나타났으나, 이 행동을 2회 이상 드러낸 학생은 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자 가운데 많았다.

계획단계의 결과들을 종합해 보면, 형식적 조작기 학생들 및 문제해결에 성공한 학생들이 대체로 계획단계의 행동을 더 많이 나타낸다는 것을 알 수 있으며, 이는 문제해결의 성공을 위해 계획단계가 중요하다는 것을 의미한다.

전반적으로 학생들은 검토단계를 별로 거치지 않았으나 형식적 조작기 학생 및 문제해결에 성공한 학생들일수록 검토를 더 많이 하는 경향을 보였다. 검토의 유형에도 차이가 있었는데 형식적 조작기 학생 및 성공자들이 주로 거친 검토 단계는 'D1 유도해 낸 물리량의 의미 파악하기'이었으나 구체적 조작기 학생 및 실패자들은 'D2 계산 과정을 훑어보기' 정도인 것으로 나타났다. 'D3 물리량을 다른 방식으로 유도해 보기' 및 'D4 논리적, 화학적으로 타당한지 확인하기'의 행동을 나타낸 학생은 거의 없었다.

4. 문제의 상황에 따른 문제해결 행동 비교

이해단계의 행동들 중 'A6 자기 용어로 의역하기'는 과학적 상황(22.6%)의 문제해결 과정에서 더 많이 나타났으나

<표 8> 문제의 상황에 따른 문제해결 행동의 빈도(%)¹⁾

행동	일상	과학	행동	일상	과학
이해단계			계획단계		
A2	38(45.2)*	33(39.3)	B1	35(41.7)*	34(40.5)
A2(2-3회)	13(15.5)*	7(8.3)	B3	24(28.6)*	23(27.4)
A4	21(25.0)*	19(22.6)	B3(2-7회)	9(10.7)*	5(6.0)
A4(2-4회)	16(19.1)*	8(9.5)	B4	29(34.5)*	28(33.3)
A5	10(11.9)*	6(7.1)	B4(2-4회)	14(16.7)*	6(7.1)
A6	18(21.4)	19(22.6)*	검토단계		
A7	35(41.7)*	30(35.7)	D1	13(15.5)*	9(10.7)
A7(2-4회)	8(9.5)*	5(6.0)	D2	3(3.6)*	2(2.4)
			D3	1(1.2)*	0(0.0)
			D4	2(2.4)*	0(0.0)

¹⁾ 용해도 문제와 밀도 문제의 합계.

* 해당하는 행동이 더 많이 드러난 문제 쌍.

나머지 행동들은 모두 일상적 상황에서 더 많이 나타났다 <표 8>. 'A2 문제를 다시 읽기/A4 변인의 값 적기/A7 목표 및 미지수 확인하기' 등을 2회 이상 드러낸 학생수도 일상적 상황에서 더 많았다. 이러한 결과는 학생들이 일상적 상황의 문제를 이해하는데 더 많은 어려움을 겪고 있음을 의미한다.

계획단계에 속하는 행동들은 일상적 상황에서 약간 더 많이 나타났는데, 'B3 적용할 개념, 문제, 경험 등을 생각하기'와 'B4 유도해 낸 물리량 사이의 관계찾기'를 여러 번 드러낸 학생수도 일상적 상황에서 더 많았다(10.7%, 16.7%). 이러한 결과는 일상적 상황의 문제에서 학생들이 풀이에 대한 적절한 계획을 수립하기 위해 더 많은 노력을 기울인다는 것을 의미하며, 학생들이 일상적 상황에서 쓰이는 용어들의 의미를 과학적인 개념과 연결시키고 관련된 공식을 선택하는데 어려움을 겪기 때문인 것으로 해석할 수 있다(홍미영과 박운배, 1995).

'D1 유도해 낸 물리량의 의미 파악하기/D2 계산 과정을 훑어보기/D3 물리량을 다른 방식으로 유도해 보기/D4 논리적, 화학적으로 타당한지 확인하기' 등의 모든 검토단계 행동들도 일상적 상황에서 더 많이 나타났다(1.2~15.5%). 학생들은 일상적 상황의 풀이에 대해 별로 자신감을 갖지 못하므로, 자신의 풀이과정에 대해 다시 생각해 보려는 경향이 있는 것으로 파악된다. 이러한 결과는 홍미영과 박운배(1995)가 과학적 상황에서 검토단계에 사용하는 시간 비율이 더 높다고

보고한 것과는 상반되는 것으로 전반적으로 검토단계를 거친 학생수가 작았다는 점을 고려해 볼 때 문제의 상황에 따른 검토단계의 행동 및 시간은 재조사될 필요가 있다.

5. 문제해결 실패 원인과 잘못된 선행지식 분석

분석자간 일치도가 1.00임을 확인한 후, 학생들이 문제해결에 실패한 원인을 이해단계에서 실패한 것, 계획단계에서 실패한 것, 풀이단계에서 실패한 것, 잘못된 선행지식에 의한 것 등으로 나누어 분석하였다<표 9>. 전체적으로 이해단계에서 실패하는 학생은 거의 없었고, 주로 적절한 계획을 수립하지 못하여 포기하거나 계획이 없는 상황에서 여러 가지 시도를 하거나 부적절한 계획하에서 풀이하는 등 계획단계에서 실패하는 학생들이 많았다. 특히 계획단계에서의 실패는 과학적 상황(75.9%, 34.1%)보다는 일상적 상황(86.7%, 43.9%)의 문제에서 더 많이 나타났다. 문제를 올바르게 이해하고 적절한 계획을 수립하였음에도 불구하고 잘못된 식을 세우거나 계산실수를 하는 등 풀이단계에서 실패하는 학생들도 일부 있었다. 밀도 문제의 경우에는 잘못된 선행지식으로 실패하는 학생의 수가 가장 많았으며(53.7%, 58.5%) 이로 인해 밀도 문제에 대한 성공률은 매우 낮았다. 따라서 학생들의 문제해결 능력을 향상시키기 위해서는 개념 이해를 강조하여야 하고, 문제해결 학습시 특히 계획 단계의 발견술을 강

<표 9> 문제해결 실패 원인(%)

실패 원인	용해도 일상	용해도 과학	밀도 일상	밀도 과학
이해단계(A)에서 실패				
문제를 잘못 이해함	1(3.3)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
문제를 이해하지 못함	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
문제를 이해하지 못함	1(3.3)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)
계획단계(B)에서 실패				
계획을 못 세워 포기함	26(86.7)	22(75.9)	18(43.9)	14(34.1)
계획없이 풀이를 시도함	2(6.7)	2(6.9)	0(0.0)	0(0.0)
부적절한 계획하에 풀이함	4(13.3)	1(3.4)	7(17.1)	5(12.2)
부적절한 계획하에 풀이함	20(66.7)	19(65.5)	11(26.8)	9(22.0)
풀이단계(C)에서 실패				
잘못된 식을 세움	3(10.0)	7(24.1)	1(2.4)	3(7.3)
잘못된 식을 세움	0(0.0)	1(3.4)	1(2.4)	3(7.3)
계산실수	3(10.0)	6(20.7)	0(0.0)	0(0.0)
잘못된 선행지식				
잘못된 선행지식	0(0.0)	0(0.0)	22(53.7)	24(58.5)
계	30(100)	29(100)	41(100)	41(100)

<표 10> 밀도 문제에서 드러난 학생들의 잘못된 선행지식(%)

잘못된 선행지식의 유형	밀도 일상	밀도 과학	계
질량이 작은 것이 뜬다	18(42.9)	16(38.1)	34(40.5)
부피가 작은 것이 뜬다	0(0.0)	4(9.5)	4(4.8)
고체를 액체에 넣으면 항상 가라앉는다	1(2.4)	0(0.0)	1(1.2)
밀도 = 부피/질량	0(0.0)	1(2.4)	1(1.2)
혼합액의 밀도 = 밀도 + 밀도	4(9.5)	4(9.5)	8(9.5)
혼합액의 부피 = 부피 + 부피	13(31.0)	6(14.3)	19(22.6)
혼합액에서 줄어든 부피만이 서로 섞인 것	1(2.4)	1(2.4)	2(2.4)
줄어든 부피는 각 액체에서 반씩 줄어든 것	4(9.5)	4(9.5)	8(9.5)

조해야 한다는 것을 알 수 있다.

밀도 문제 해결과정 중 드러난 잘못된 선행지식들의 유형을 <표 10>에 정리하였다. 발생사고법으로 문제를 해결한 42명 중 40% 정도의 학생들이 물체가 뜨고 가라앉는 것을 결정하는 상황에서 밀도 개념을 회상하지 못하고 단순히 질량만을 비교하였는데, 이것이 학생들이 실패하게 된 주된 원인이었다. 그 외 부피가 작은 것이 뜬다고 생각한 학생들도 있었고, 고체를 액체에 넣으면 항상 가라앉는다고 생각하기도 하였다. 밀도 공식을 '부피/질량'으로 잘못 기억하는 학생도 있었다. 두 액체를 섞으면 질량이 보존된듯이 밀도와 부피도 보존된다고 생각하는 학생들도 많았다. 평균 9.5%의 학생들이 혼합액의 밀도를 구할 때 두 액체의 밀도를 각각 구한 후 더하였고, 22.6%의 학생들이 두 액체가 섞일 때 부피가 줄어드는 것을 이상하게 여겼다. 줄어든 부피만이 서로 섞인 것이라는가, 두 액체에서 반씩 동일하게 줄어든 것이라고 생각하는 경우도 있었다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 중학생 42명의 화학 문제해결 과정을 분석하고, 문제해결 각 단계 내의 구체적인 행동을 학생들의 인지 발달 수준, 문제해결 성공여부, 문제의 상황에 따라 비교하였다. 또한 학생들이 문제해결에 실패하는 원인을 문제해결 단계 및 선행지식의 측면에서 분석하였다. 이러한 연구를 통해 얻어낸 결론 및 제언은 다음과 같다.

1. 대부분의 학생들은 이해, 계획, 풀이과정을 거쳐 문제를 해결하며 일부 학생들은 검토단계의 행동을 보였다. 또한 각 단계가 반복되는 횟수나 단계 내의 구체적인 문제해결 행동에서 개인차가 존재하였다.

2. 문제를 이해하지 못하거나 잘못 이해하는 학생은 거의

없었다. 그러나 구체적인 문제해결 행동을 비교해 본 결과 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자의 경우는 자신의 용어로 의역하는 행동이, 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자의 경우는 변인의 값을 적는 등의 행동이 많이 나타났으며, 과학적 상황의 문제에서는 자신의 용어로 의역하는 행동이, 일상적 상황의 문제에서는 문제를 다시 읽고 목표 및 미지수를 확인하는 등의 행동이 많이 나타났다. 이러한 결과는 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자가 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자에 비해 문제를 이해하는데 더 많은 어려움을 겪고 있으며, 학생들이 과학적 상황의 문제보다는 일상적 상황의 문제를 이해하는데 더 많은 어려움을 겪고 있음을 의미한다.

3. 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자는 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자에 비해 하위목표를 설정하고 적용할 개념, 문제, 경험 등을 생각해 내는 등 계획단계의 행동을 많이 나타내었다. 또한 과학적 상황의 문제보다 일상적 상황의 문제에서 계획단계 내의 모든 행동들이 더 많이 나타났다. 그러나 이 단계에서 실패한 학생수가 더 많은 것도 일상적 상황의 문제이었다. 이는 학생들이 익숙하지 않은 일상적 상황의 문제에 대한 계획을 수립하는데 더 많은 노력을 기울이지만 그 성과는 별로 없다는 것을 의미한다.

4. 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자보다는 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자가 검토단계를 더 많이 거쳤고, 구체적 조작기 학생 및 문제해결 실패자는 단순히 계산과정을 훑어보는 정도에 그쳤으나 형식적 조작기의 학생 및 문제해결 성공자는 유도해 낸 물리량의 의미를 파악하는 행동을 많이 나타내었다. 또한 모든 검토단계의 행동들은 과학적 상황보다는 일상적 상황의 문제에서 더 많이 나타났는데, 이는 학생들이 일상적 상황의 풀이과정에 대해 더 자신감이 없으므로 다시 생각해 보려는 경향이 있는 것으로 해석할 수

있다. 그러나 전반적으로 학생들은 검토단계를 별로 거치지 않았으며, 특히 물리량을 다른 방식으로 유도해 본다거나 자신이 구한 답이 논리적, 화학적으로 타당한지를 확인하는 학생은 거의 없었다. 따라서 학생들에게 단순히 계산과정을 확인하는 것 이외에 문제해결 전반에 대해 검토하는 과정을 교수에서 강조할 필요가 있다.

5. 학생들이 문제해결에 실패하는 가장 큰 이유는 선행지식이 부족하거나 적절한 계획을 수립하지 못하기 때문인 것으로 나타났다. 문제해결 성공을 위해 교과지식의 학습이 필요함은 물론이고, 문제를 작게 나누어 하위목표를 설정한다든지, 유도해 낸 물리량을 전체적으로 잘 조직할 수 있는 능력 등의 배양이 필요하다.

6. 검토과정을 거친 학생들이 많지 않은 점, 형식적 조작기 학생 및 문제해결 성공자가 계획단계 및 검토단계의 행동들을 상대적으로 많이 나타낸 점, 그리고 문제해결 실패자 중 많은 수가 계획단계에서 실패한 점 등으로 미루어 볼 때, 학생들의 문제해결 능력을 향상시키기 위해서는 특히 계획과 검토과정을 강화시킨 문제해결 교수 전략의 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- 권재술, 이성왕 (1988). 물리문제해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제해결 사고과정에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 43-55.
- 박학규, 이용현 (1993). 물리문제 해결과정에서 중학생들의 사고과정의 특성 분석. 한국과학교육학회지, 13(1), 31-47.
- 홍미영, 박운배 (1994). 대학생들의 기체의 성질에 대한 문제해결 과정의 분석. 한국과학교육학회지, 14(2), 143-158.
- 홍미영, 박운배 (1995). 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학 문제해결 과정의 차이 분석. 한국과학교육학회지, 15(1), 80-91.
- Asieba, F.O., & Egbugara, O.U. (1993). Evaluation of secondary pupils' chemical problem-solving skills using a problem-solving model. *Journal of Chemical Education*, 70(1), 38-39.
- AtWater, M.M., & Alick, B. (1990). Cognitive development and problem solving of Afro-American students in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(2), 157-172.
- Bowen, C.W. (1994). Think-aloud methods in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 71(3), 184-190.
- Camacho, M., & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Chandran, S., Treagust, D.F., & Tobin, K. (1987). The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(2), 145-160.
- Eylon, B., & Linn, M.C. (1988). Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58(3), 251-301.
- Friedel, A.W., Gabel, D.L., & Samuel, J. (1990). Using analogs for chemistry problem solving: Does it increase understanding? *School Science and Mathematics*, 90(8), 674-682.
- Gabel, D.L., Sherwood, R.D., & Enochs, L. (1984). Problem-solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233.
- Halpin, M.L. (1991). *Strategies students use to solve chemistry problems*. Unpublished doctoral dissertation, North Carolina State University.
- Larkin, J.H. (1978). *Skilled problem solving in physics: A hierarchical planning model* (Working Paper). Group in science and mathematics education, University of California.
- Larkin, J.H., & Rainard, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(3), 235-254.
- Nurrenbern, S. (1980). *Problem-solving behaviors of concrete and formal operational high school chemistry students when solving chemistry problems requiring formal reasoning skills*. Dissertation Abstracts International, 40, 4986-A.
- Park, Y. (1988). Expert-novice differences of mental representation and problem solving strategy in mechanics problems. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 8(2), 43-52.
- Pestel, B.C. (1993). Teaching problem solving without modeling through "thinking aloud pair problem solving". *Science Education*, 77(1), 83-94.
- Roadranga, V., Yeany, R.H., & Padilla, M.J. (1983). *The*

- construction and validation of Group Assessment of Logical Thinking (GALT)*. Paper presented at the annual meeting of NARST, Dallas.
- Smith, M.U. (1991). A view from biology. In M.U. Smith (Ed.), *toward a unified theory of problem solving: Views From the Content Domains* (pp.1-20). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Song, J., & Black, P.J. (1991). The effect of task contexts on pupils' performance in science process skills. *International Journal of Science Education*, 13(1), 49-58.

(ABSTRACT)

Comparison of Chemistry Problem Solving Behaviors in the Aspects of Cognitive Developmental Level of Student and Context of Problem

Taehee Noh · Kyungmoon Jeon · Inok Han · Changmin Kim
(Seoul National University)

The purposes of this study were to analyze chemistry problem solving processes of middle school students and to compare their problem solving behaviors in the aspects of the cognitive developmental level of student, the success in problem solving, and the context of problem. Their failures in solving problems were also analyzed in the aspects of problem solving stage and prior knowledge. Forty-two students individually solved four problems regarding density and solubility using a think-aloud method. Students' responses were analyzed after intercoder agreement for analyzing problem-solving processes had been established to be 0.94.

The results were as follows:

1. Most students solved chemistry problems following the stages of understanding, planning, and solving, while few exhibited the behaviors of the reviewing stage. There was also individual difference in the number of the stages repeated and their behaviors at each stage.
2. Most students were successful in understanding problems. However, unsuccessful and/or concrete-operational students had more difficulties in understanding problems than successful and/or formal-operational students, and students tended to have more difficulties in understanding problems in everyday contexts than in scientific contexts.
3. Successful and/or formal-operational students exhibited more behaviors of the planning stage than unsuccessful and/or concrete-operational students. Students showed more behaviors of the planning stage, but failed more at this stage, in everyday contexts than in scientific contexts.
4. Most students did not review their solutions. Successful and/or formal-operational students exhibited these behaviors more than unsuccessful and/or concrete-operational students. Students tended to exhibit the behaviors more in everyday contexts than in scientific contexts.
5. Many students failed to solve problems correctly due to the lack of prior knowledge and the inability to plan appropriately.