

CASE 프로그램에 의한 초등학생들의 인지가속 효과

최병순 · 한효순 · 신애경 · 김선자 · 박종윤[†]
(한국교원대학교) · (이화여자대학교)[†]

Effects of a Cognitive Acceleration Program on Primary School Students

Choi, Byung-Soon · Han, Hyosoon · Shin, Aekyoung ·
Kim, Sunja · Park, Jong-Yoon[†]
(Korea National University of Education) · (Ewha Womans University)[†]

ABSTRACT

This study investigated the effects of the cognitive acceleration program devised for accelerating the development of formal reasoning ability of students. 'Thinking Science' activities developed by the Cognitive Acceleration through Science Education(CASE) project were implemented to 420 students in 5th grade aged 10+ in four elementary schools over a period of two years. Homogeneity between the experimental group and control group was tested with SRT II, and the improvement of formal reasoning ability of the students was tested with SRT III. The results were analyzed by treatment, gender, and cognitive levels of the students.

Statistically significant gains were shown in the CASE group compared with those in the control group. Cognitive level of girls in the CASE group increased as compared with the control group, while there was moderate effect in boys for the primary school. These results implied that the thinking science activities were effective in cognitive acceleration of girls aged 10+. It was shown that much more CASE students in concrete operational level shifted to formal operational level as compared with the control group while there were no significant effects in the other levels for primary school.

Key words: cognitive acceleration, cognitive level, elementary science, formal operation, logical thinking, thinking science

I. 서론

피아제의 인지발달 이론이 교육에 시사하는 가장 주요한 의미는 아동들의 언어와 사고는 성인과는 다르므로 효율적인 교육을 위해서는 학습자들의 사고특성을 잘 파악하여 그들의 이해수준에 적절한 내용을 그들의 이해방식에 맞는 교수법을 이용하여 가르쳐야

한다는 것이다. 실제로 아동의 기본 과학개념 발달과 사고의 발달에 관한 연구결과들은 특정 연령에 있는 아동들이 가지는 학습의 한계를 예측 가능하게 할 뿐만 아니라, 교육과정의 평가나 새로운 학습활동 개발의 지표로 이용되어 왔다. 피아제의 이론에 의하면 현존하는 사물이나 현상에 국한하여 조작적 사고가 가능한 구체적 조작기 아동들은 평균 15~16세 정도

2 초등과학교육 제22권 제1호, pp. 1~14 (2003)

에 이르면 단지 관찰 가능한 결과에만 집착하지 않고 실제로 나타난 현상은 가능한 여러 결과 중의 하나일 수 있다는 점을 인식할 수 있는 형식적 조작기에 도달한다고 하고 있다. 그러나 우리나라 학생들의 인지 수준을 조사한 지금까지의 연구결과에 의하면 이에 못 미치는 것으로(한중하 등, 1982; 문홍무와 최병순, 1987; 최병순, 1987) 발표되고 있다. 비교적 대규모 표집집단을 대상으로 조사한 결과(한중하 등, 1982)에서 14~16세 연령층에 있는 우리나라 학생들의 80% 정도는 구체적 조작기에 있고, 20% 정도만이 형식적 조작기에 도달한 것으로 나타났다.

학생들이 과학을 어려워하는 주요 원인 중의 하나로 학생들이 과학을 어려워하는 주요 원인 중의 하나로 과학 교과내용이 요구하는 인지수준이 학생들의 인지수준에 비해 높기 때문이라는 연구 결과(Shayer, 1972)가 나온 이후, 학생들의 인지수준에 맞추어 과학교과 내용을 조정하거나, 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교과 내용을 학습시키고자 하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

인지수준 차이로 생기는 문제점을 해결하기 위한 적극적인 대처 방안으로 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교육의 효과를 증진시키려는 노력이 영국의 Adey와 Shayer 그리고 그의 동료들에 의해 1970년대 초반부터 지금까지 진행되어왔다. 이들은 1987년 과학교육을 통하여 학생들의 인지발달을 가속시키는 과학교육 프로그램(Cognition Acceleration through Science Education, 이하부터는 CASE라 약함)을 개발했다. CASE는 Piaget의 인지발달 이론과 Vygotsky의 상호작용을 강조한 사회구성주의 이론을 근간으로 개발한 과학교수-학습교재, '생각하는 과학(Thinking Science, Adey et al., 1995)'에 있는 30가지의 활동을 2년 동안에 걸쳐 수행하게 하여 구체적 조작기에 있는 학생들을 형식적 조작이 가능한 인지수준에 도달하도록 도와주는 과학교육 프로그램이다. 이들은 영국내 학교에 CASE 적용을 통해 인지 가속의 가능성을 시사하는 일련의 연구결과들을 꾸준히 발표해오고 있으며(Adey, 1987; Adey & Shayer, 1994b; Adey & Shayer 2002), 홍콩, 중국, 핀란드, 그리고 싱가포르 등지에서도 활발한 연구와 더불어 적

극적인 도입을 추진하고 있다(Kuusela & Hautamaki, 2002). 장기간 지속적인 투입으로부터 얻은 경험과 이론을 토대로 초등학교 저학년은 물론 유아들을 위한 프로그램들을(Adey et al., 2002) 계속해서 발표하고 있다.

우리나라에서는 과학교육에 대한 높은 관심과 인식에도 불구하고, 초·중등학교의 학생들이 과학을 어렵게 느끼고, 학년이 올라갈수록 과학을 기피하는 문제점을 다각도로 연구해온 결과, 과학 교과내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 인지수준과의 커다란 격차가 주요원인이 된다는 연구 결과가(한중하 등, 1982; 문홍무와 최병순, 1987; 최병순, 1987; 최병순과 허명, 1987; 박중윤 등, 1993; 강순희 등, 1996; 박중윤과 강순희, 1996; 강순희 등, 1999) 보고된바 있다. 이에 따라 우리나라에서도 효율적인 과학 교육을 통해서 학생들의 전반적인 인지수준을 향상시키고, 더불어 다른 과목의 성취도를 향상시키는 일반 전이로 이어질 수 있다는 주장(Adey, 1987)과 사고력 신장을 강조한 교육과정을 적용한 성공적인 결과들을 신뢰한 일부 과학교육학자들에 의해 CASE 프로그램을 적용해 보려는 개별적인 시도가 있었다. 그 결과 초등학생과 중학생을 대상으로 했던 일련의 연구(김현재와 장경례, 1991; 김영식, 1999; 조성남, 2000; 김영준, 2001; 이덕렬, 2001; 한윤덕, 2001)에서 부분적으로 인지가속이 확인되었지만, 단기간의 연구준비와 적용 및 소수의 연구대상 등의 문제점들이 많이 노출되었다. 현재, 이러한 연구 경험을 바탕으로 영국의 CASE 프로그램 개발자들과의 활발한 교류와 그들과 함께 연구한 경험이 있는 과학교육자들의 협조로 장기적이고 포괄적인 연구를 진행해오고 있다(홍현수, 2001; 최미화, 2002; 남정희 등, 2002; 한효순 등, 2002).

본 연구에서는 구체적 조작기에 있는 학생들의 인지수준을 형식적 조작기 수준으로 발달시키기 위해 고안된 CASE 프로그램을 초등학교 5학년 학생들에게 2년 동안 지도한 후 인지가속의 효과를 알아보기 위해 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

- (1) CASE 프로그램은 학생들의 인지발달 가속에 효과가 있는가?

- (2) 성별에 따라 CASE 프로그램의 효과는 어떻게 다른가?
- (3) 학생들의 인지수준에 따라 CASE 프로그램의 효과는 차이가 있는가?

O ₁	X ₁	O ₂	X ₂	O ₃
O ₁		O ₂		O ₃

O₁: SRT II 검사
 X₁: 15 '생각하는 과학' 활동
 O₂: SRT III 검사
 X₂: 15 '생각하는 과학' 활동
 O₃: SRT III 검사

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 참여자

형식적 조작기의 학생들이 나타나기 시작하는 10-11세 정도의 초등학교 5학년 학생들을 연구대상으로 선정하였다. 경기도 파주시에 있는 2개 학교, 청주시에 있는 1개 초등학교의 8학급에서 197명이 실험집단으로 참여했다. CASE 프로그램을 적용한 교사들의 평균 교육경력은 16년이었으며, 2년 동안 CASE와 관련된 프로그램의 내용과 운영에 관한 각종 연수와 세미나에 참여하여 '생각하는 과학'에 있는 활동에 대한 교수법을 익혔다. 실험집단과 같은 지역에 위치한 유사한 환경의 3개 초등학교의 11학급에서 223명을 통제집단으로 선정하였다. 이들의 과학수업은 14년 이상의 교육경력을 가진 각 학급의 담임 선생님이 진행했다.

표 1. 연구에 참여한 학교, 학급, 학생수

집단	학교	학급	학생
실험반	3	8	197
통제반	2	11	223
총	5	19	420

2. 연구 절차

SRT II를 이용하여 모든 학생들의 사전 인지수준을 조사한 후, 2000년 3월부터 2002년 2월까지 2년 동안 CASE 프로그램을 투입하였다. 학생들의 인지수준의 변화를 알아보기 위해 처치개시 1년 후 중간검사를 실시했으며, 2년에 걸쳐 30가지 활동을 마친 후 사후 인지수준 검사를 실시하였다. 이 연구의 설계는 〈그림 1〉과 같다.

그림 1. 사전-중간-사후 검사 통제집단 설계

3. 수업 내용

과학교육 전문가들로 구성된 CASE 연구팀이 CASE 프로그램의 교수학습 활동교재인 'Thinking Science'(Adey et al., 1995)를 번역하여 '생각하는 과학'이라는 제목의 활동책자를 만들고 CASE 프로그램의 교육전략(Adey & Shayer, 1994b)에 의거한 교사용 안내서를 제작하여 사용하였다. '생각하는 과학'을 가르치고자 하는 교사들은 주로 교사연수를 통해 CASE 교수전략과 가르칠 내용을 익혔으며, 개별적인 모임이나 CASE 홈페이지의 게시판과 e-mail을 통한 교류로 활동의 취지와 교사의 역할 등에 대해 논의했다.

CASE 프로그램의 효과를 알아보기 위해 같은 양의 수업시간에 통제반에는 정규 과학교육과정에 따라 교과서 중심의 과학교과 수업을 여러 가지 실험과 시범활동과 함께 권장하는 교수법에 따라 실시하였다. 실험집단에서는 교육과정에 따른 과학교과 수업과 '생각하는 과학' 활동을 병행하여 실시하면서 내용이 서로 중복되는 경우 교육과정에 따른 과학교과에 배정된 수업시간을 줄이고 '생각하는 과학' 활동으로 대체하면서 시간을 확보했다. 실질적으로 양쪽 집단에서 실시한 과학교과수업 시수는 같았다. 인간의 중추적인 정신작용은 성숙과 환경의 영향을 받기 때문에 학생들이 새로운 것을 학습하거나 문제해결을 위한 접근과정을 익히는데 상당한 시간이 소요되는 것을 감안하여 2년 동안 평균 2주마다 한가지 활동씩 2차시 연속수업으로 수행하였다. CASE 프로그램에서 강조된 다섯 가지의 전략인 구체적 준비, 인지갈등, 구성영역 활동, 메타인지, 그리고 연계과정이 적용된(Adey & Shayer, 1994b) '생각하는 과학'에 있

4 초등과학교육 제22권 제1호, pp. 1~14 (2003)

는 30가지의 활동 내용은 <표 2>와 같다.

4. 자료 수집

인지수준을 판정하는 도구로 영국 Chelsea 대학의 CSMS (The Concepts in Secondary Mathematics & Science) 팀이 개발한 과학적 사고력 검사 (Science Reasoning Tasks, SRT라 약함)를 사용하

였다. 현재까지 개발된 7종류(SRT I-VII)의 검사도구 중 사전검사로는 초등학교 5학년생들의 인지수준을 고려하여 측정범위가 1~3A 수준인 SRT II를 사용하였으며, 중간검사와 사후검사로는 SRT III검사로 가능한 논리적 사고 발달단계의 측정범위가 2A/2B~3B 수준까지인 SRT III를 사용하였다. 과학교육 전 문가들로 구성된 CASE 연구팀이 검사도구를 번역하고, 검사에 필요한 도구들을 직접 제작하여 예비검사

표 2. '생각하는 과학'의 활동 목록

번호	단 원 명	활 동 내 용	논리유형
1	무엇이 변하는가?	· 변인의 속성 · 관계 개념의 이해	변인
2	두 가지 변인	· 원인변인과 결과 변인과의 관계	
3	공정한 실험	· 공정한 실험의 필요성 인식	
4	관계란 무엇인가?	· 실험 결과의 그래프화	
5	구슬 굴리기	· 유형의 구별	
6	툽니바퀴와 비	· 비와 비율을 알고 계측하기	비례
7	그림과 현미경	· 그림의 척도와 현미경을 사용하여 확대, 축소의 관계 이해	
8	외바퀴 손수레	· 지렛대에서 추를 사용한 비구하기	
9	나무 줄기와 가지	· 나무의 마디수와 굵기와의 관계	상보성
10	양팔 저울	· 평형 막대에서 거리와 무게와의 관계에서 반비례의 개념확인	
11	전류, 전선의 길이와 굵기	· 전선의 길이와 굵기에 따른 전류와의 반비례 관계	
12	전압, 전류 관계	· 전압과 전류의 곱으로써 전력의 반비례 관계	
13	동전 굴리기	· 동전으로 양면이 나올 확률 조사	확률
14	조합	· 주어진 여러 가지 원소로 조합 만들기	조합
15	차 맛보기	· 확률의 개념 활동	
16	상호 작용	· 두 변인들간의 상관관계	변인
17	쥐며느리의 행동	· 공정한 실험에 의한 생물과 환경과의 상관관계	상관관계
18	처치와 효과	· 처치와 효과에 따른 변인들 사이의 상관관계	
19	그림본 추출	· 그림본 추출을 통한 확률적 사고와 자료해석	확률
20	주사위 던지기	· 확률 개념 종합 및 심화 학습	
21	그룹 짓기	· 여러 가지 사물을 그 특성에 따라 분류	분류
22	발전된 분류	· 새들의 특성에 따라 포괄적으로 분류	
23	물질의 상태 분류하기	· 물질의 상태를 관찰하고 그 모델을 사용하여 설명하기	형식적모델
24	용해 현상 설명하기	· 용해 현상을 관찰하고 설명하기	
25	화학 반응 설명하기	· 화학 반응을 분자론에 근거하여 형식적 모델로 설명	
26	압력	· 압력 개념을 통한 복합 개념의 의미 파악	복합변인
27	뜨기와 가라앉기	· 부피와 질량과의 관계에서 밀도의 개념 형성	
28	경사면	· 경사면에서 평형을 이루는 변인과 규칙성 찾기	평형
29	양팔 저울에서의 평형	· 양팔 저울에서 평형을 이루는 변인과 규칙성 찾기	
30	잠수부	· 복합 변인과 평형 개념으로 액체의 밀도 구하기	복합변인

를 거쳐 수정·보완하여 사용하였다. SRT II는 질량과 부피 보존에 관한 14개의 문항으로 구성되어 있으며(Adey & Shayer, 1994a), SRT III는 진자의 왕복 횟수에 길이, 무게, 추를 미는 세기와 같은 변인이 어떤 영향을 미치는지를 구별해내는 능력을 조사하기 위한 것이다. 인지수준 검사는 모든 학생이 잘 볼 수 있는 크기의 기구를 사용하여 규정된 절차에 따라 시범실험을 보여 주고, 질문에 답하도록 되어 있다. 학생의 이해를 돕기 위해 각 문항마다 실험과 관련 있는 그림을 실었으며, 검사에 소요되는 시간은 45분이다. 이 검사의 신뢰도는 K-R의 신뢰계수 $r=0.78$ 이고, 검사-재검사 상관관계는 $r=0.64\sim 0.85$ 이다(Shayer & Wylam, 1978; Adey & Shayer, 1994b). 이 연구에서는 일반적으로 분류해온 인지수준 발달단계를 세분화한 Genevan 척도(Adey & Shayer, 1994b)를 사용하여 자료를 수집하고 분석하였다(표 3).

표 3. 피아제의 인지분류를 개정한 Genevan 척도

인지단계	수준	표기	척도
전	초기	1A	1
	일반	1B	2
구체적	초기	2A	3
	중기	2A/2B	4
	성숙기	2B	5
	과도기	2B/3A	6
형식적	초기	3A	7
	성숙기	3A/3B	8
	일반	3B	9

III. 연구 결과 및 논의

1. 인지가속 효과 분석

CASE 프로그램을 적용하기에 앞서 SRT II를 사용하여 집단간 인지수준의 동질성을 조사하였다. SRT II의 인지수준 판정범위인 전조작기(2A 미만)에서 형식적 조작기(3A)까지 6단계를 Genevan 척도에 따라 점수화하여 그 분포를 알아보았다(그림 2).

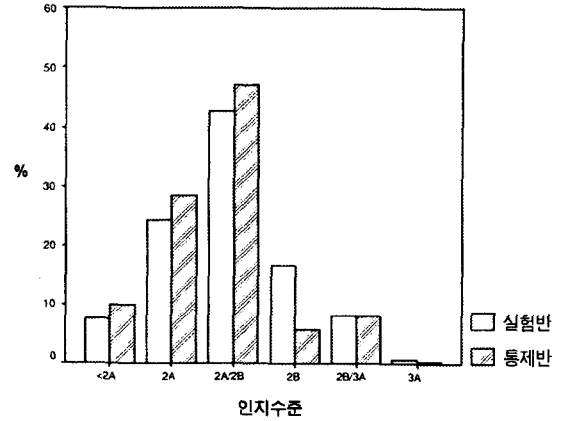


그림 2. 사전 SRT 검사결과에 따른 인지분포

전체적으로 실험반과 통제반이 비슷한 양상의 정상분포를 보이고 있으나, 후기 구체적 조작기(2B)에서 실험반이(16.8%) 통제반(5.8%)보다 2.9배 많은 분포를 보인 반면, 통제반은 중기 구체적 조작기 이하의 수준에서 실험반보다 많은 것으로 나타났다. 전체적인 인지수준의 분포는 중기 구체적 조작기인 2A/2B(실험반 42.6:통제반 47.1)가 가장 많았으며, 다음으로 전기 구체적 조작기인 2A(실험 24.4:통제 28.7)와 후기 구체적 조작기인 2B(실험 16.8:통제 5.8)의 순으로 나타났다. 형식적 조작기에 도달한 학생은 실험반과 통제반에서 각각 1명씩 나타났다. 결과적으로 실험반에서는 91.9%의 학생들이, 통제반에서는 89.7%의 학생들이 구체적 조작기에 분포하고 있는 것으로 나타났다.

〈표 4〉에 나타난 바와 같이 초등학생들의 평균 인지수준은 중기 구체적 조작기(2A/2B)에 있었으며, 실험 집단과 통제 집단의 평균 인지수준은 각각 3.95, 3.75로 실험 집단이 다소 높게 나타났다. t-검증 결과 두 집단의 인지수준은 0.05 유의수준(t 임계값=1.960)에서 통계적으로 차이가 있는 것으로 판정했다.

표 4. 집단별 사전 인지수준 비교

집단	n	M	SD	t	p
실험반	197	3.95	1.04	1.985*	.048
통제반	223	3.75	1.02		
총	420	3.84	1.04		

* $p < .05$

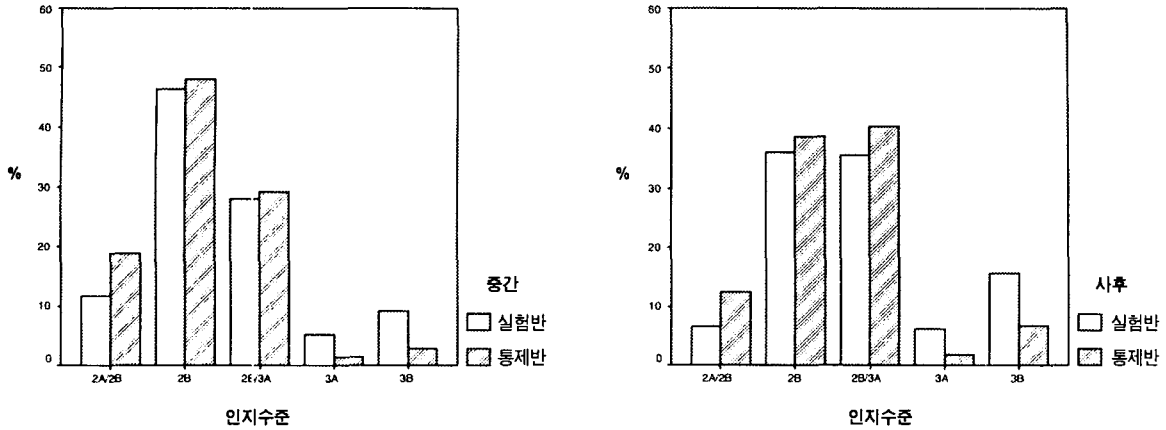


그림 3. 중간과 사전 SRT 검사결과에 따른 인지분포

CASE 프로그램이 학생들의 인지수준 발달에 효과가 있는가를 알아보기 위해 처치 1년 후 실시한 중간검사와 2년 후 실시한 사후검사 결과 나타난 인지수준별 분포는 그림 3과 같다. 사전검사 결과에 의한 분포(그림 2)와는 달리 전조작기와 초기 구체적 조작기에 있는 학생이 나타나지 않은 것은 SRT III의 검사한계(2A/2B~3B) 때문이다. 실험반은 물론 통제반의 인지수준이 상위수준 쪽으로 대거 이동한 경향은 자연적인 인지발달과 학교교육의 효과가 함께 나타난 것으로 해석된다.

전체적으로 실험반과 통제반이 비슷한 양상의 분포를 하고 있으나, 통제반은 구체-형식적 과도기인 2B/3A 이하의 하위수준에서 실험반보다 많은 것으로 나타났다. 실험반은 형식적 조작기(3A) 이상의 상위수준에서 통제반보다 많은 분포를 보였다.

중간검사 결과에 의한 전체적인 인지수준 분포에서는 후기 구체적 조작기인 2B(실험 46.2:통제 48.0)가 가장 많았으며, 다음으로 구체-형식적 과도기(2B/3A; 실험 27.9:통제 29.1), 중기 구체적 조작기(2A/2B; 실험 11.7:통제 18.8), 후기 형식적 조작기(3B; 실험 9.1:통제 2.7), 전기 형식적 조작기(3A; 실험 5.1:통제 1.3), 중기 형식적 조작기(3A/3B; 실험 0.5:통제 0) 순으로 나타났다.

사후검사 결과에 의한 전체적인 인지수준 분포에서는 구체-형식적 과도기(2B/3A; 실험 35.0:통제 40.4)와 후기 구체적 조작기(2B; 실험 36.0:통제

38.6)가 비슷한 크기로 우세한 정도를 보였으며, 다음으로 후기 형식적 조작기(3B; 실험 15.7:통제 6.7), 중기 구체적 조작기(2A/2B; 실험 6.6:통제 12.6), 전기 형식적 조작기(3A; 실험 6.1:통제 1.8), 중기 형식적 조작기(3A/3B; 실험 0.5:통제 0) 순으로 나타났다.

각 집단에서 형식적 조작기에 도달한 학생들의 분포를 검사별로 정리한 결과(그림 4) CASE 프로그램에 따라 지도를 받은 학생들의 인지수준 향상이 두드러지게(3.7배~2.6배) 나타났다. 구체적 조작기에 있는 학생들의 인지수준을 형식적 조작기 수준으로 받

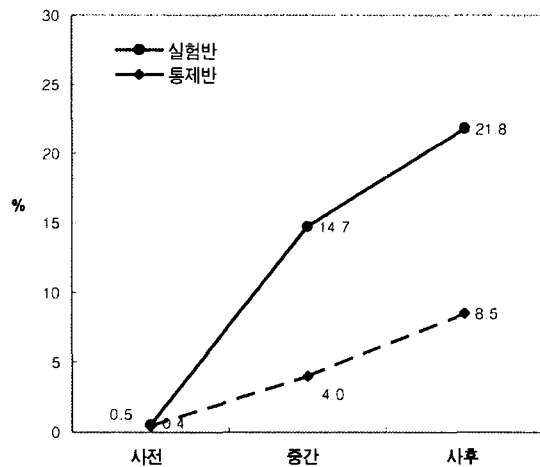


그림 4. 형식적 조작기에 도달한 학생수 변화 (%)

달시키기 위해 적용한 CASE 프로그램의 목표(Adey & Shayer, 1994a; 1995)가 적절히 반영된 것으로 해석된다.

CASE 프로그램의 적용 효과를 공변량 분석한 결과 중간검사와 사후검사 모두 실험반과 통제반 사이에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(표 5). 실험반과 통제반의 교정평균 차이가 중간검사에서는 0.32, 사후검사에서는 0.40로 나타났다. 이를 Effect Size를 이용하여 비교하면(한효순 등, 2002) 중간검사에서 실험반의 평균 상승이 통제반 보다 높았고, 학습 효과도 유의미하게 나타났다(ES=0.41). 이러한 경향은 사후검사에서도 거의 같은 정도의 효과(ES=0.40)로 나타났다. ES=0.4는 실험반의 평균점수가 통제반의 평균점수보다 표준편차의 0.4배 향상됐음을 의미한다. 즉 실험반에서 상위 50%에 해당하는 학생의 점수가 통제반의 상위 35%에 해당하는 것으로, 유의미한 처치효과가 나타난 것으로 판정된다.

2. 성별에 따른 인지가속 효과 비교

학생들의 성별에 따라 CASE 프로그램의 효과를 알아보기 위해 우선 사전 인지수준 분포를 성별로 비교한 결과 전체적으로 실험반과 통제반이 비슷한 양상의 분포를 하고 있다(그림 5). 실험반에서는 여학생들이 중기 구체적 조작기인 2A/2B와 구체-형식적 과도기인 2B/3A에서 남학생들보다 많은(차이=7.8%, 1.8%) 분포를 보였다. 실험반의 전체적인 인지수준의 분포는 중기 구체적 조작기인 2A/2B(남 39.2:여 46.0)가 가장 많았으며, 다음으로 전기 구체적 조작기인 2A(남 25.8:여 23.0)와 후기 구체적 조작기인 2B(남 17.5:여 16.0), 전조작기인 <2A(남 9.3:여 6.0), 그리고 형식적 조작기인 3A(남 1.0:여 0) 순으로 나타났다.

반면 통제반 여학생들은 2A/2B 이상의 상위수준에서, 남학생들은 하위수준(2A와 <2A)에서 우세한 분포를 보였다.

표 5. 중간과 사후 SRT 검사에 대한 ANCOVA 결과

검사	집단	n	M	SD	M*	MS	F	p
중간	실험반	197	5.63	1.29	5.59	10.491	9.302	.002
	통제반	223	5.24	0.95	5.27			
사후	실험반	197	6.04	1.45	6.01	16.883	10.360	.001
	통제반	223	5.58	1.16	5.61			

*조정평균

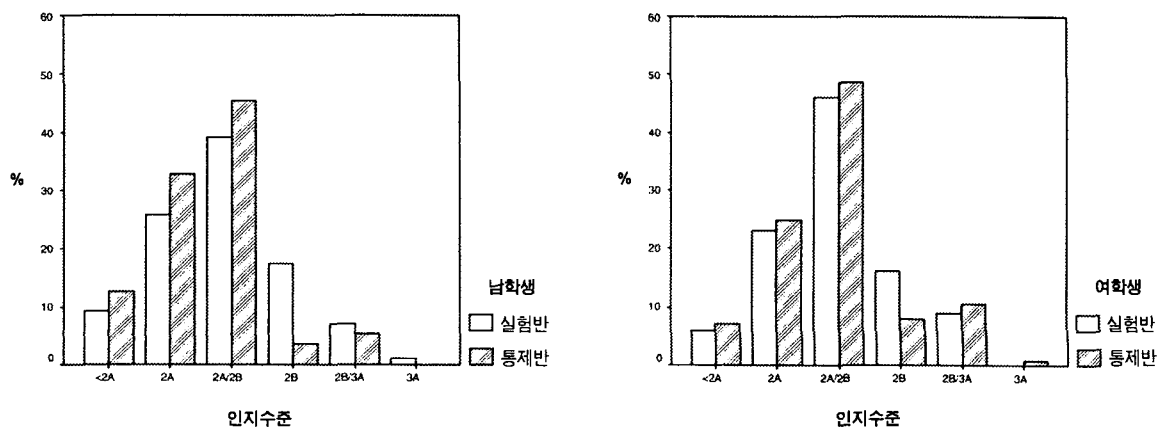


그림 5. 사전 SRT 검사결과에 따른 초등학생들의 성별 인지분포

<표 6>은 남·여학생들의 사전 인지수준을 비교한 것으로 실험반과 통제반 모두 여학생들의 인지수준이 높은 것으로 나타났으며, t 검증 결과 실험반에서는 남·여학생들의 인지수준에 유의미한 차이가 없는 것($p>0.05$)으로 나타났으나, 통제반에서는 유의미한 차이가 있는 것($p<0.05$)으로 나타났다.

중간 인지수준 분포를 성별로 비교한 <그림 6>을 보면 실험반에서는 여학생들이 구체-형식적 과도기인 2B/3A(남 21.6:여 33.0)에서, 남학생들은 형식적 조작기인 3A(남 6.2:여 4.0)에서 보다 많은(차이 =11.4%, 2.2%) 분포를 보인 반면 통제반에서는 여학생들이 후기 구체적 조작기인 2B(남 41.8:여 54.0), 구체-형식적 과도기인 2B/3A(남 27.3:여 31.0), 후기 형식적 조작기인 3A(남 1.8:여 0.9%)에서, 남학생들은 중기 구체적 조작기인 2A/2B(남 27.3:여 10.6)에서 보다 많은 분포를 보였다.

<표 7>은 사전 인지수준을 공변인으로 하여 중간 검사 결과를 공변량 분석한 것으로 실험반에서는 남

학생들이, 통제반에서는 여학생들의 인지수준이 높은 것으로 나타났다. 여학생들($MS=1.389$, $F=1.371$, $p=.243$; $ES=0.189$)에게서는 유의미한 인지가속 효과를 찾아볼 수 없었으나 남학생들에게서는 ($MS=10.014$, $F=8.215$, $p=.005$; $ES=0.663$) 상당한 효과가 있었다.

사전 인지수준을 공변인으로 하여 중간검사 결과를 이원공변량 분석한 결과에 의하면 0.05 유의수준에서 CASE 프로그램에 의한 주효과가($MS=10.693$, $F=3.728$, $p=.303$) 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 처치프로그램과 성별간 상호작용 효과는 ($MS=2.877$, $F=2.556$, $p=.111$) 나타나지 않았다.

사후 인지수준 분포를 성별로 비교한 <그림 7>을 보면 실험반에서는 여학생들이 구체-형식적 과도기인 2B/3A(남 32.0:여 38.0)와 초기 형식적 조작기인 3A(남 2.1:여 10.0)에서, 남학생들은 후기 구체적 조작기인 2B(남 41.2:여 31.0)와 중기 구체적 조작기인 2A/2B(남 9.3:여 4.0)에서 보다 많은 분포를 보였다.

표 6. 성별 인지수준 비교

성	집단	n	M	SD	t	p
남학생	실험반	97	3.91	1.09	2.419	0.016*
	통제반	110	3.56	.951		
여학생	실험반	100	3.99	1.00	.429	0.668
	통제반	113	3.93	1.06		

* $p < .05$

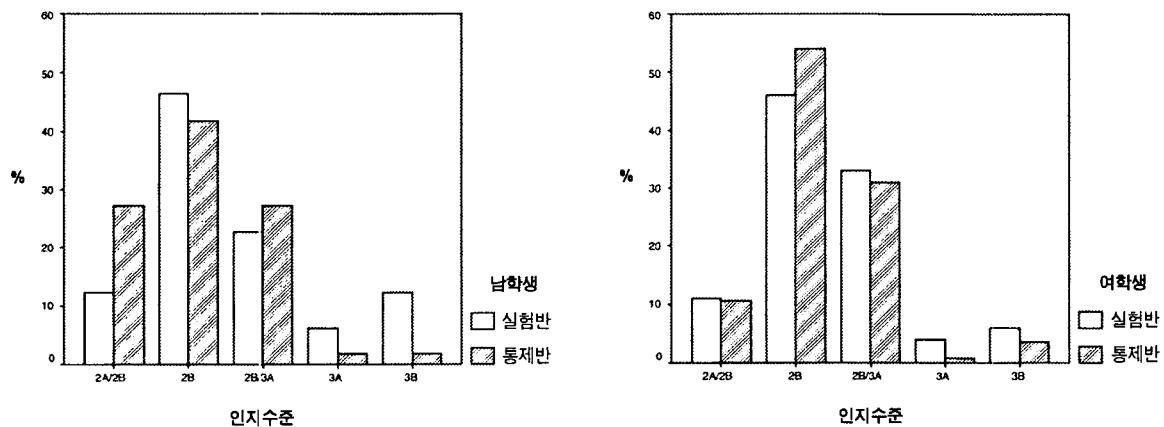


그림 6. 중간 SRT 검사결과에 따른 학생들의 성별 인지분포

표 7. 중간 SRT 검사에 대한 성별 ANCOVA 결과

성	집단	n	M	SD	M*	MS	F	p
남학생	실험반	97	5.72	1.44	5.70	10.014	8.215	.005**
	통제반	110	5.11	0.95	5.21			
여학생	실험반	100	5.54	1.13	5.49	1.389	1.371	.243
	통제반	113	5.36	0.95	5.33			

*조정평균

**p < .05

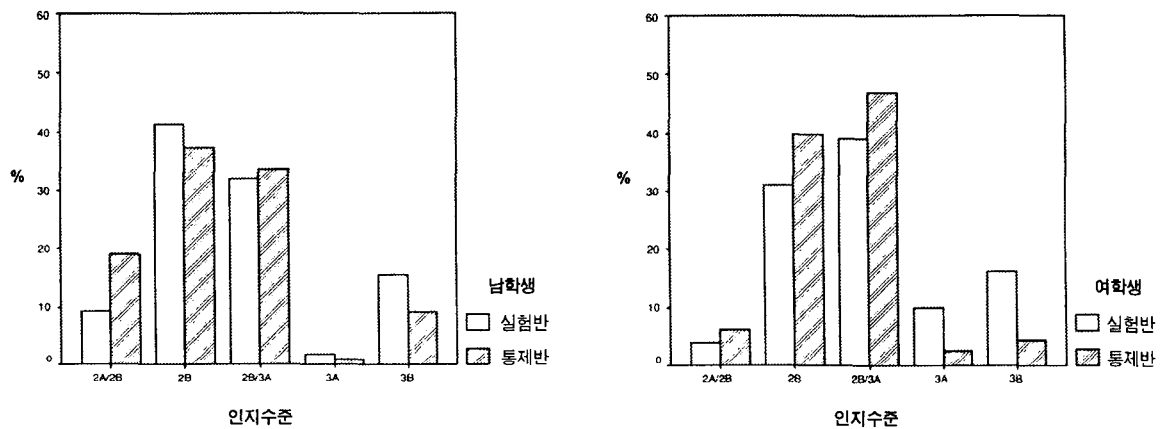


그림 7. 사후 SRT 검사결과에 따른 학생들의 성별 인지분포

표 8. 사후 SRT 검사에 대한 성별 ANCOVA 결과

성	집단	n	M	SD	M*	MS	F	p
남학생	실험반	97	5.89	1.49	5.87	3.530	1.860	.174
	통제반	110	5.53	1.33	5.60			
여학생	실험반	100	6.19	1.41	6.15	15.287	11.133	.001
	통제반	113	5.64	0.97	5.61			

*조정평균

반면 통제반에서는 여학생들이 구체-형식적 과도기인 2B/3A(남 33.6:여 46.9)와 형식적 조작기인 3A(남 0.9:여 2.7)에서, 남학생들은 중기 구체적 조작기인 2A/2B(남 19.1:여 6.2)와 후기 형식적 조작기인 3B(남 9.1:여 4.4)에서 보다 많은 분포를 보였다. 특히 형식적 조작기로 인지수준이 향상된 학생들을 면밀히 검토하면, 남·여학생들 모두 통제반보다 실험반에서 더 많은 수의 형식적 조작기 학생들이 나타났다. 실험반에서는 남·여의 비율이 17.6:26.0으로 여학생들이 많았으나, 통제반에서는 남·여의 비율이

10.0:7.1로 남학생들 수가 많았다. 즉, CASE 프로그램은 여학생들에게 아주 효과적이었던 것으로 판정된다.

〈표 8〉은 사전 인지수준을 공변인으로 하여 사후 인지수준을 공변량 분석한 것으로 실험반과 통제반 모두 남학생들보다 여학생들의 인지수준이 높은 것으로 나타났다. 남학생들에게는(MS=3.530, F=1.860, p=.174; ES=0.271) 유의미한 인지가속 효과가 있는 것으로 나타났으며, 여학생들(MS=15.287, F=11.133, p=.001; ES=0.588)에게도 인지가속 효과가

높게 나타났다. $ES=0.5$ 는 실험반에서 상위 50%에 해당하는 학생의 점수가 통제반의 상위 31%에 해당하는 것으로, 일반적으로 교육계에서는 유의미한 처치효과가 나타난 것으로 판정한다.

사전 인지수준을 공변인으로 하여 사후 인지수준 검사 결과를 이원공변량 분석결과 0.05 유의수준에서 CASE 프로그램에 의한 주효과가($MS=16.755$, $F=8.916$, $p=.204$) 통계적으로 유의미한 것으로 나타났으며, 처치 프로그램과 성별간 상호작용 효과는 ($MS=1.880$, $F=1.155$, $F=.283$) 나타나지 않았다.

각 집단에서 형식적 조작기에 도달한 학생들의 분포를 검사별로 분석한 결과<그림 8> 남·여학생들 모두 통제반보다 실험반에서 더 많은 수의 형식적 조작기 학생들이 나타났다. 사후검사 결과 실험반에서는 남·여의 비율이 17.5:26.0으로 여학생들이 많았으나, 통제반에서는 남·여의 비율이 10.0:7.1이었다. 즉, 형식적 조작기에 도달한 학생의 비율 역시 CASE프로그램이 남학생들보다 여학생들에게 더 효과적이었던 것으로 나타났다.

3. 인지수준별 인지가속 효과 비교

학생들의 사전 인지수준에 따라 CASE 프로그램의

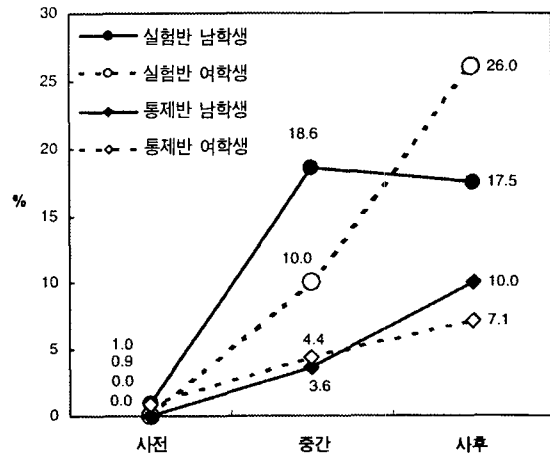


그림 8. 형식적 조작기에 도달한 성별 학생수 변화 (%)

효과에 차이가 있는지를 알아보기 위해 사전 인지수준에 따른 중간과 사후 인지수준을 분석한 결과는 <표 9>와 같다.

인지수준별로 분석한 결과 전조작기(<2A>) 학생들에게는 처치효과가 없는 것으로 나타났다. 전기 구체적 조작기(2A) 학생들은 중간검사에서 인지발달에 차이가 있는 것($ES=0.23$)으로 나타났으며, 이러한 효과가 꾸준히 증가하여 사후검사에서는 인지발달의 차이가 아주 현저하게($ES=0.70$) 나타났다. 중기 구체

표 9. 사전 인지수준별 중간과 사후 인지수준 변화 비교

사전	집단	중간				사후		
		n	M	SD	ES	M	SD	ES
<2A	실험반	15	4.87	0.83	-0.06	5.13	0.83	-0.21
	통제반	22	4.91	0.68		5.32	0.89	
2A	실험반	48	5.27	1.12	0.23	6.02	1.44	0.70
	통제반	64	5.08	0.82		5.36	0.93	
2A/2B	실험반	84	5.62	1.18	0.49	5.92	1.41	0.28
	통제반	105	5.21	0.83		5.58	1.20	
2B	실험반	33	5.97	1.31	0.54	6.61	1.50	0.23
	통제반	13	5.23	1.36		6.31	1.32	
2B/3A	실험반	16	6.69	1.74	0.27	6.25	1.57	0.05
	통제반	18	6.33	1.33		6.17	1.50	
3A	실험반	1	9.00		*NA	9.00		NA
	통제반	1	6.00			6.00		

*NA (Non-Applicable): 적용 불가

표 10. 사전 인지수준별 사후 인지수준 변화의 차이 비교

사전	집단	사후					총
		2A/2B	2B	2B/3A	3A	3B	
〈2A	실험반	3(20.0)	8(53.3)	3(20.0)	1(6.7)		15
	통제반	5(22.7)	6(27.3)	10(45.5)	1(4.5)		22
2A	실험반	1(2.1)	21(43.8)	18(37.5)		8(16.7)	48
	통제반	8(12.5)	31(48.4)	23(35.9)		2(3.1)	64
2A/2B	실험반	7(8.3)	32(38.1)	28(33.3)	6(7.1)	11(13.1)	84
	통제반	13(12.4)	43(41.0)	40(38.1)	1(1.0)	8(7.6)	105
2B	실험반	1(3.0)	5(15.2)	16(48.5)	3(9.1)	8(24.2)	33
	통제반		3(23.1)	7(53.8)	1(7.7)	2(15.4)	13
2B/3A	실험반	1(6.3)	5(31.3)	5(31.3)	2(12.5)	3(18.8)	16
	통제반	2(11.1)	3(16.7)	9(50.0)	1(5.6)	3(16.7)	18
3A	실험반					1(100.0)	1
	통제반				1(100.0)		1
총	실험반	13(6.6)	71(36.0)	69(35.0)	12(6.1)	31(15.7)	197
	통제반	28(12.6)	86(38.6)	90(40.4)	4(1.8)	15(6.7)	223

적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B) 학생들에게는 초기 1년 동안의 활동이(ES=0.49, 0.54) 후반기 활동보다(ES=0.28, 0.23) 인지발달 가속에 더 효과적이었던 것으로 나타났다. 과도기(2B/3A) 학생들에 대한 인지발달 가속효과는 중간검사 결과에서는 약간 있는 것으로(ES=0.27) 나타났으나 사후검사에서 나타나지 않았다(ES=0.05). 형식적 조작기(3A)의 학생은 통제처리 할 수 있는 한계에 미달하여 의미 있는 해석이 불가능하다.

위의 결과를 종합해보면, CASE 프로그램은 전기, 중기, 후기 구체적 조작기 순으로 효과가 있었다.

2년간의 CASE 프로그램 적용 후 사전 인지수준이 어느 단계의 인지수준으로 이동했는지 면밀히 분석한 결과는 〈표 10〉과 같다. 사전, 사후 검사도구의 측정 한계와 오차범위(±1단계)를 고려할 경우 〈표 10〉의 회색부분의 통제자료가 의미 있는 변화로 추정된다. 학생들의 사후 인지수준이 형식적 조작기(3A 이상)로 상향 변화된 비율은 실험반(21.8%)이 통제반(8.5%)보다 2.5배나 높았다. 이와 같은 인지가속은 초기, 중기, 그리고 후기 구체적 조작기 학생들에게서 명백하게 나타났다.

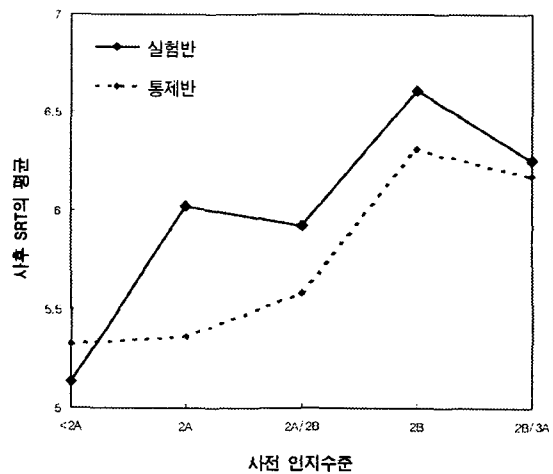


그림 9. 사전 인지수준별 사후 인지수준 변화 비교

IV. 결론 및 제언

과학교과 내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 인지수준이 맞지 않아 생기는 문제점을 극복하는 적극적인 대처 방안으로 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교과 내용의 이해를 도모하기 위해 구안된 CASE 프로그램을 초등학교 5학년 학생들에게 2년간 지도한 결과 인지가속에 매우 효과적인 것(MS=

16.883, $F=10.360$, $p=.001$; $ES=0.40$)으로 확인되었다. 특히 초기 1년 동안 실험반의 인지가속 효과는 ($MS=10.491$, $F=9.302$, $p=.002$; $ES=0.41$) 매우 큰 것으로 나타났다. 정규 과학교과만을 학습한 통제반보다 CASE 프로그램과 과학 교과를 함께 학습한 실험 반에서 인지가속 효과가 뚜렷하게 나타난 것으로 미루어 우리나라 초등 과학교육과정 수립에 인지수준에 대한 고려가 더욱 더 요구됨을 알 수 있다.

학생들의 성별에 따라 CASE 프로그램의 효과를 비교한 결과 초기 1년 동안은 여학생들보다 남학생들에게 효과가(ES 남:여=0.663:0.189) 컸으나, 2년 후에는 남학생들보다 여학생들에게서 큰 효과가(ES 남:여=0.271:0.588) 나타났다. 결과적으로 통제반의 경우 남학생과 여학생의 인지수준 향상이 비슷한 정도를 보였으나, 실험반의 경우 남학생에 비해 여학생의 인지수준 향상이 두드러지게 나타났다($MS=15.287$, $F=11.133$, $p=.001$; $ES=0.588$). 즉, 남학생보다 여학생들에게 처치효과가 높은 것으로 나타났다. 이는 인지수준이 형식적 조작기로 향상된 학생들의 분포에서도 같은 현상이 나타났다. 이로 미루어 CASE 프로그램은 실험반 여학생들에게 가장 효과가 컸던 것으로 판명되었다. 이는 여학생들의 인지수준 발달이 남학생들 보다 빨리 나타난다는 기존의 연구 결과도(Adey & Shayer, 1994) 일치하는 결과이다.

CASE 프로그램이 학생들의 사전 인지수준에 따라 어떻게 영향을 미치는가를 분석한 결과, 전기 구체적 조작기(2A) 학생들은 중간검사에서 인지발달이 있는 것($ES=0.23$)으로 나타났으며, 이러한 효과가 꾸준히 증가하여 사후검사에서는 인지발달이 아주 현저하게($ES=0.70$) 나타났다. 중기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B) 학생들에게서도 인지가속 효과가($ES=0.30$, 0.23) 나타났다, 과도기(2B/3A)와 전조작기(2A) 학생들에게 CASE 프로그램은 효과가 없는 것으로 나타났다. 학생들의 사후 인지수준이 형식적 조작기로 상향 변화된 비율은 실험반(21.8%)이 통제반(8.6%)보다 2.5배나 높았다. 이와 같은 인지가속은 초기, 중기, 그리고 후기 구체적 조작기 학생들에게서 명백하게 나타났다.

이상의 결과를 종합하면 CASE 프로그램은 구체적

조작기에 있는 초등학교 5학년 여학생들에게 효과적이었다.

과학 교과내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 실제 인지수준과의 격차로 인해 생기는 과학교육의 문제점을 좀 더 적극적으로 대처하는데 CASE 프로그램과 관련된 여러 가지 자료가 활용될 수 있을 것이다. 우리나라 초등학생들은 국제학업성취도 평가에서 두각을 나타내고 있으나 논리적 사고 능력이 낮다는 교육현실을 간과해서는 안된다. 과학 교육과정과 교재편성은 물론 교육개선안 수립에 이러한 문제점을 신중히 고려해야 한다.

통제집단과 실험집단의 인지수준 검사 결과를 비교하여 투입 프로그램에 의한 인지 수준 향상을 확인하였다. 실험집단의 인지수준 평균치가 통제집단 보다는 통계적으로 의미있게 높은 것으로 나타났으며, 특히 사전 인지 수준을 고려했을 때, 후기 구체적 조작기에 있는 학생들이 통제집단에 비해 구체/형식 과도기로 향상된 비율이 높았다. 이는 CASE 프로그램 활동이 후기 구체적 조작기에 있는 학생에게 많은 효과를 나타낸 것으로 볼 수 있으며, 또한 활동 프로그램이 학생들의 인지 발달에 도움이 되고 있음을 의미한다. 그러나 이러한 프로그램 효과는 오히려 단기간에 나타나기보다는 장기간에 걸쳐 나타날 것으로 예상된다. 과학교육을 통해 인지발달을 가속시킬 수 있다는 결과는 매우 중요한 의미를 갖는다. 즉, 인지가속의 효과가 규명된다면 앞으로의 과학교육과정 내용 구성에 적극적인 영향을 미칠 수 있을 것이다. 내용 영역중심의 구성에서 벗어나서, 과학적인 사고를 가능하게 하는 근본적인 논리의 발달을 촉진하는 방향으로 나아가는 원동력이 될 것이다. 이것은 교수, 학습, 발달, 그리고 교육에 대한 관점이 바뀌는 큰 변화를 가져올 수도 있음을 의미한다.

이 연구에서는 신경심리학적 해석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션으로 개발된 신경심리 검사는 신경심리 분야에서 두뇌성숙 검사도구로 유용하게 활용될 수 있을 뿐만 아니라 교육, 심리, 행동과학 분야의 다양한 인지 및 행동기능과 신경적 성숙 사이의 비교 연구에도 효과적으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 인지발달에 대한 신경심리학적 해석은 인지발달 과정을 구

체적으로 설명해 줄 수 있다. 이는 인지과정에 대한 보다 객관적인 신경학적 해석이라는 최근의 과학적인 연구 방법을 우리 나라의 과학교육현장에 보다 체계적으로 도입하는 적극적인 시도가 될 것이다.

적 요

과학교과 내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 인지수준이 맞지 않아 생기는 문제점을 극복하는 적극적인 대처 방안으로 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교과 내용의 이해를 도모하기 위해 구안된 CASE 프로그램의 효과를 조사했다. 초등학교 5학년(11세) 420명의 학생들이 연구에 참가하였으며, 같은 분량의 시간동안 실험반에서는 교육과정에 따른 과학교과 수업과 '생각하는 과학' 활동을 병행하였고, 통제반에서는 과학교과 수업만을 수행하였다. 연구 초기에 논리적 사고력 검사(SRT II)를 이용하여 집단의 동질성을 비교하고, 2년 동안 실험반에 CASE 프로그램을 처치한 후 처치별, 성별, 인지수준별 인지가속 효과를 조사했다.

2년간 지도한 결과 CASE 프로그램이 인지가속에 매우 효과적인 것($MS=16.883$, $F=10.360$, $p=.001$; $ES=0.40$)으로 확인되었다. 특히 초기 1년 동안 인지가속에 매우 효과적인 것($MS=10.491$, $F=9.302$, $p=.002$; $ES=0.41$)으로 나타났다. 학생들의 성별에 따라 CASE 프로그램의 효과를 비교한 결과 남학생들 보다 여학생들이(ES 남:여=0.27:0.59) 좀 더 나은 효과를 보였다.

학생들의 사전 인지수준에 따른 CASE 프로그램의 효과를 분석한 결과, 전기 구체적 조작기(2A) 학생들은 중간검사에서 인지발달이 있는 것($ES=0.23$)으로 나타났으며, 이러한 효과가 꾸준히 증가하여 사후검사에서는 인지발달이 아주 현저하게($ES=0.70$) 나타났다. 중기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B) 학생들에게서도 인지가속 효과가($ES=0.30$, 0.23) 나타났으나, 과도기(2B/3A)와 전조작기(<2A) 학생들에게는 CASE 프로그램의 효과가 없는 것으로 나타났다. 학생들의 사후 인지수준이 형식적 조작기(3A 이상)로 상향 변화된 비율이 실험반(21.8%)이

통제반(8.6%)보다 2.5배나 높았다. 이와 같은 인지가속은 초기, 중기, 그리고 후기 구체적 조작기 학생들에게서 명백하게 나타났다.

우리나라 과학 교과내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 실제 인지수준과의 격차로 인해 생기는 과학교육의 문제점을 좀 더 적극적으로 대처하는데 CASE 프로그램과 관련된 여러 가지 자료가 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 강순희, 박종윤, 우애자, 허은규(1996). 중학교 화학 개념이 요구하는 과학적 사고력 수준과 학생들의 인지수준을 고려한 교수방안에 관한 연구(제1보). 화학교육, 23(4), 267-278.
- 강순희, 박종윤, 정지영(1999). 학습자의 인지수준과 학습내용의 인지요구도를 고려한 중등화학 학습 전략 개발에 대한 연구. 화학교육, 43(5), 578-588.
- 김영식(1999). 학생의 인지발달 수준에 따른 변인 통제 능력의 형성과 특수 전이 효과에 대한 연구. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 김영준(2001). CASE 프로그램의 적용과정에서 아동의 인지수준과 아동-교사의 상호작용이 문제해결 결과 논리적 사고력에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사 학위 논문.
- 김현재, 장경례(1991). 인지가속자료 적용을 통한 논리적 사고의 지도 효과. 한국초등과학교육학회지, 10(2), 159-173.
- 남정희, 김성희, 강순희, 박종윤, 최병순(2002). 변인 통제 문제해결 활동에서 학생들의 인지수준에 따른 상호작용 분석. 한국과학교육학회지, 22(1), 110-121.
- 문홍무, 최병순(1987). 고등학생들의 지적 발달 수준과 화학 교과 내용이 요구하는 조작 수준과의 관계 연구. 화학교육, 14(2), 116-127.
- 박종윤, 강순희(1996). 고등학교 과학 II(하) 교과서 내용이 요구하는 논리적 사고력 수준과 학생들의 인지수준 비교 연구(제2보). 화학교육, 23(5),

- 335-344.
- 박종윤, 강순희, 김선영, 김성희, 김인주, 이지현 (1993). 고등학교 화학 교과서 내용이 요구하는 과학적 사고력 수준과 학생들의 인지수준 비교 연구(제1보). 화학교육, 20(4), 285-294.
- 이덕렬(2001). CASE의 비례논리 학습 프로그램이 중학교 1학년 학생들의 비례논리 신장에 미치는 영향. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 조성남(2000). 비례논리 학습 프로그램에 의한 초등학교 6학년 학생의 비례논리 형성 및 지속 효과. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 최병순(1987). 학생들의 인지수준과 구체적 및 형식적 과학 교과 내용과의 관계 분석. 화학교육학회지, 14(1), 30-42.
- 최병순, 허명(1987). 중학생들의 인지수준과 과학 교과 내용과의 관계 분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 19-32.
- 최미화(2002). 'Thinking Science' 활동이 중학생의 인지가속에 미치는 효과 및 인지수준과 동기 유형에 따른 문제해결과정 분석. 한국교원대학교 박사 학위 논문.
- 한윤덕(2001). CASE의 변인통제 논리 학습 프로그램이 중학교 1학년 학생들의 변인통제 논리 신장에 미치는 영향, 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 한중하, 최돈형, 김영민(1982). 중·고등학교 학생의 과학적 사고발달에 관한 연구. 연구보고서, 한국교육개발원.
- 한효순, 최병순, 박종윤, 강순민(2002). '생각하는 과학' 프로그램의 변인활동이 초등학생의 변인통제 능력에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 22(3), 571-585.
- 홍현수(2001). 변인통제에 관한 과학 수업에서 학생들의 동기 수준에 따른 언어적 상호작용의 질적 분석. 이화여자대학교 석사 학위 논문.
- Adey, P.(1987). Science Develops Logical Thinking-Doesn't It? Part I: Abstract Thinking and School Science. *School Science Review*, 68, 622.
- Adey, P. & Shayer, M.(1994a). *Thinking Science* INSET. London: Routledge.
- Adey, P. & Shayer, M.(1994b). *Really raising standards: Cognitive intervention and academic achievement*. London: Routledge.
- Adey, P., Shayer, M., & Yates, C.(1995). *Thinking Science*. 2nd ed. London: Nelson & Sons Ltd.
- Adey, P. & Shayer, M.(2002). *Learning Intelligence*. London: Routledge.
- Adey, P., Robertson, A., & Venville G.(2002). *Let's Think!* London: NFER-Nelson Ltd.
- Adey, P., Robertson, A., & Venville G.(2002). Effects of a cognitive acceleration programme on year I pupils. *British Journal of Educational Psychology*, 72(1), 1-25.
- Harnish, F., Fones, M. & Gott, R.(1998). Cognitive acceleration through science education: alternative perspectives, *International Journal of Science Education*, 20, 755.
- Kuusela, J. & Hautamaki, J.(2002). Proceeding from the 10th International Conference of Thinking. Harrogate, UK.
- Shayer, M.(1972). *Piaget's work and science teaching*. M.Ed., University of Leicester.
- Shayer, M.(1996). *The Long Term Effects of Cognitive Acceleration on Pupil's School Achievement*. <http://www.themerve2.com/ca/Newres.html>.
- Shayer, M. & Wylam, H.(1978). The distribution of Piagetian stages of thinking in British middle and secondary school children. II - 14- to 16-year-olds and sex differentials. *British Journal of Educational Psychology*, 48, 62-70.
- Shayer, M., Adey, P., & Wylam, H.(1981). Group tests of cognitive development-ideals and a realisation. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(2), 157-168.