

초등학생을 위한 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램의 개발 및 적용

박재화 · 신동훈
(서울교육대학교)

The Development and Application of Program for Scientific Experimental Design Knowledge Generation in Elementary School

Park, Jae Hwa · Shin, Dong Hoon
(Seoul National University of Education)

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a program for elementary school students' scientific experimental design knowledge generation. This study also investigated the effects of their experimental design ability, as well as the change in the type and elaborateness of their experimental design by applying the program. The subjects of this study was 4 classes in 6th grade of an elementary school located in Seoul, KOREA. The classes were divided into experimental and comparative groups. While the treatment was applied to the experimental group, the comparative group was taught using conventional methods. The pre-test and post-test for students' capability of building scientific experimental design knowledge were conducted to compare the ability of experimental design, the change in the type and elaborateness of experimental design. The findings in this study are as follows: First, the program appeared to be effective in improving experimental design ability. Furthermore, the program appeared to be more effective in generating a higher level of the experimental design type and elaborateness. Therefore, in order to improve experimental design knowledge generation ability, the program can be utilized as effective learning model in elementary school.

Key words : experimental design, knowledge generation, experimental design ability, type of experimental design, elaborateness of experimental design

I. 서 론

산업사회에서 지식 기반 사회로 패러다임이 변화하면서 교육의 역할 역시 지식의 수용 능력보다는 지식의 생성 능력 향상을 요구하게 되었다(Kang, 1997). 과학의 본성 면에서도 과학 지식이란 절대 불변의 것이 아니라, 새로운 연구와 발견에 의해 계속 변해가는 것이므로 과학 지식 자체를 수용하는 것보다는 과학 지식이 생성되는 과정과 방법이 더욱 중요하다고 할 수 있다.

과학 지식이 생성되는 방법 중에서 가설-연역적

방법은 의문 상황을 인과적으로 설명하는 가설을 검증하기 위해 변인을 선택하여 실험을 설계하고, 계획한 실험 설계에 따라 실험을 수행하여 가설의 진위 여부를 검증하는 과정을 거쳐 과학 지식이 생성되는 방법이다(Kwon *et al.*, 2003a; Park, 2003; Lawson, 2000). 이러한 과학 지식의 생성에서 핵심적인 과정 중의 하나가 고안한 가설을 검증할 수 있는 실험을 설계하는 과정이다(Klahr, 2000). 가설을 검증하기 위한 실험 설계를 하는 것은 과학 탐구 능력 중 하나로 과학적 사고력을 향상시키는데 중요한 과정이며(Martin, 1997; McPherson, 2001), 기존의

개념이나 방법을 새롭게 조합해내는 창의성을 요구하기 때문에 창의성 함양에도 효과적이다(Kim, 1999; McPherson, 2001; Kwon *et al.*, 2003b; Jeong, 2008).

그러나 초등학생들은 새로운 것을 알아보려는 탐구심은 강하지만, 변인 통제 능력, 실험 방법을 고안하는 능력은 매우 서투르다(Lee, 2002). Kim and Choi (2005)의 연구에서는 초등학생들은 탐구 주제와 관련된 변인을 제대로 파악하고 통제하는데 어려움을 겪고 있어서 여러 변인을 통합하여 실험 설계하는 능력이 부족하다고 주장하였다. 또한 Shin and Kim (2010)은 초등학생들이 자유 탐구 활동에서 실험 설계를 할 때, 대조군과 실험군 설정 및 변인 통제에 어려움을 느끼고 있다고 하였다. 이는 과학교육 현장에서 적용되고 있는 많은 교수-학습 모형이나 전략들이 과학적 지식을 생성하기보다는 이미 밝혀진 과학 이론이나 법칙들을 효과적으로 전달하는데 초점을 두고 있기 때문이다(Kwon *et al.*, 2004; Kim & Choi, 2005).

학생들이 경험하는 실험 설계 과정은 실제 과학 연구에서 과학자들이 경험하는 것과는 많은 차이가 있다. 초등학교에서 실험 설계는 대부분 교사에 의해 제시되는 수업이 67.8%로 관찰되었고, 실험 설계조차 없이 교사에 의해 마련된 실험 도구를 가지고 바로 실험에 착수하는 수업도 14.4%로 관찰되었으며, 학생에 의해 실험 설계가 이루어지는 수업은 고작 4.8%에 불과하였다(Yang *et al.*, 2006). 그에 반해 학생들은 교사의 설명 및 교과서를 보고 따라하기 식의 실험 설계보다는 학생들이 모둠 구성원들의 토의를 통하여 직접 실험을 계획해 보는 활동을 좋아하는 것으로 나타났다(Cho *et al.*, 2008).

따라서 실험 설계를 지식 생성의 관점에서 접근하는 교수-학습 전략이 필요하다. 이에 Jeong(2008)은 실제 실험 설계 시 어려움에 부딪칠 때 도움을 줄 수 있는 가설 검증 방법 고안 교수-학습 절차를 개발하였다. 그리고 Yoo *et al.*(2010)은 중학생을 대상으로, Lee(2011)은 고등학생을 대상으로 실험 설계 지식을 생성할 수 있는 교수-학습 프로그램을 개발하여 적용 효과를 분석하였다. 하지만 초등학생을 대상으로 실험 설계 지식을 생성할 수 있는 교수-학습 프로그램을 개발하여 교육적 효과를 분석한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 초등학생들이 주도적으로 실험 설계를 할 수 있게 하며, 교사에게 지속

적인 지원 및 도움을 줄 수 있는 과학적 실험 설계 지식 생성 교수-학습 프로그램을 개발하여, 이 프로그램이 초등학생의 실험 설계 능력 향상과 실험 설계의 유형 및 정교성 변화에 어떤 효과가 있는지를 알아보는 것이다.

II. 연구 절차 및 방법

1. 연구 대상

이 연구에서는 서울 소재 초등학교 6학년에 재학 중인 4개 학급을 대상으로 실험 집단 2개 학급, 비교 집단 2개 학급으로 연구 집단을 선정하였다. 실험 집단은 남학생 24명, 여학생 21명이고, 비교 집단은 남학생 24명, 여학생 21명으로 총 90명을 대상으로 하였다.

2. 연구 절차

초등학교 6학년을 대상으로 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램을 개발하여 실험 설계 능력과 실험 설계의 유형 및 정교성 변화에 미치는 효과를 알아보기 위하여 Fig. 1과 같은 연구 절차를 수행하였다.

3. 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램 개발 방법

1) 프로그램 주제 추출

6학년 2학기 교육과정의 범위 안에서 현상을 제시하여 가설을 생성하고, 가설 검증을 위한 실험 설계 활동 구성에 적합한 6개의 탐구 주제를 Table 1과 같이 추출하였다.

2) 과학적 실험 설계 지식 생성 교수-학습 절차 구성

Jeong(2008)의 가설 검증 방법 고안 교수-학습 절차를 기본으로 하고, Kwon *et al.*(2011)의 실험 설계 사고 과정 및 교수-학습 방법에 나와 있는 과정인 ‘가설의 평가 기준 고안’ 과정을 실험 설계 지식 생성 과정에 포함시켰다. 그리하여 요소 파악 → 변인 선정 → 실험 방법 고안 → 평가 기준 고안의 순으로 이루어지는 실험 설계 지식 생성 과정을 구성하였고, 이를 토대로 실험 설계 지식 생성 교수-학습

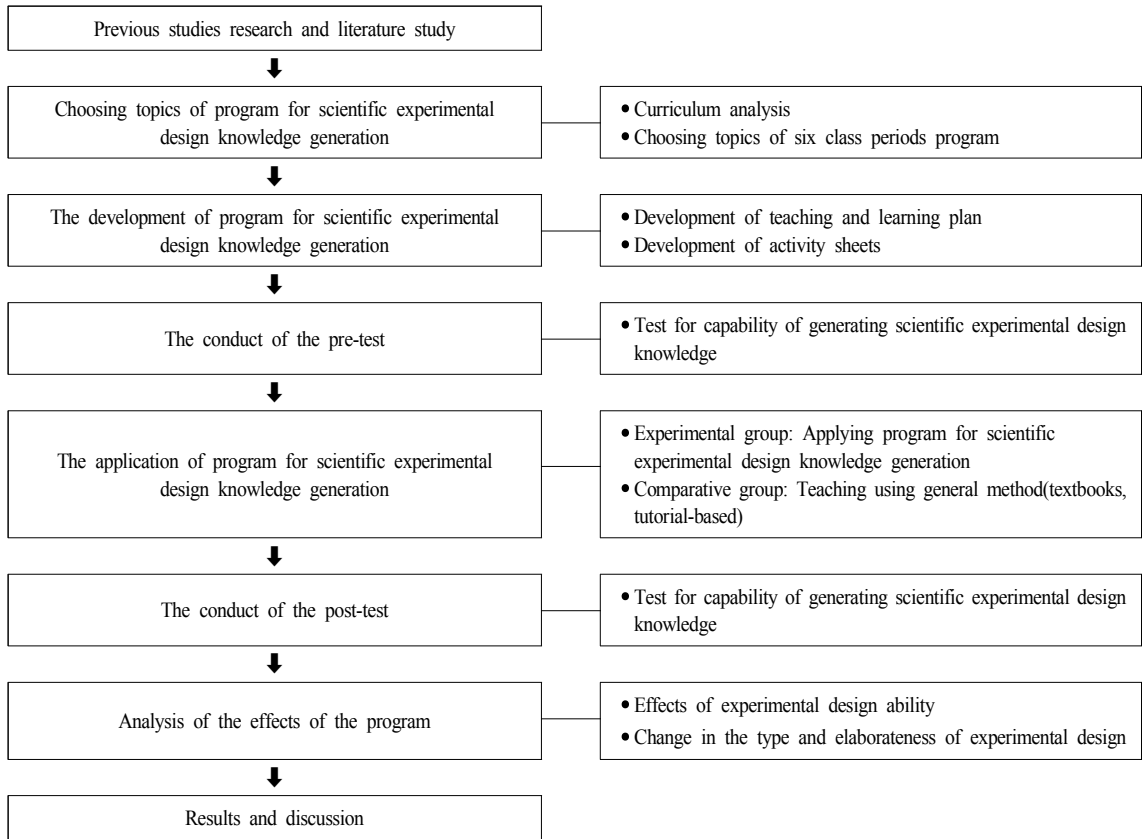


Fig. 1. Procedure of this study

절차를 Fig. 2와 같이 구성하였다.

3) 프로그램의 타당도 검증

개발된 6차시 프로그램의 타당도를 검증받기 위해 과학 교육 전문가 1인, 초등 과학 교육 전공 석사 과정 6인, 박사 과정 1인과 10회의 세미나

Table 1. Subject of program for scientific experimental design knowledge generation

Period	Related section	Phenomenon	Hypothesis
1	2. A variety of gases	If you press any air balloon, the size of the balloon is reduced.	When a force is applied to gas of the balloon, the size of the balloon is smaller because the volume of gas is small.
2	2. A variety of gases	If you put dented ping-pong ball in hot water, ping-pong ball becomes tight.	If the gas temperature of dented ping-pong ball rises, ping-pong ball becomes tight because the volume of gas is large.
3	3. Energy and tools	When riding a seesaw, I sit far from the fulcrum of the seesaw to lift a heavier friend than me.	If the distance between the fulcrum of the seesaw and sitting place is far from, less power can be lifting heavy friend.
4	3. Energy and tools	When moving the meals cart into the classroom, using the slope can be easily moved.	If you move the meals cart by using the slope, the slope can be easily moved because it costs less power.
5	4. Combustion and extinguishing	Covering cap, the fire of the spirit lamp is turned off.	Covering the lid of the alcohol lamp, the fire goes off because it reduces the amount of oxygen.
6	4. Combustion and extinguishing	In a fire place, there are both charred stuff and little unburned stuff.	In a fire place, because flash point is different depending on the type of goods degree on burning is different.

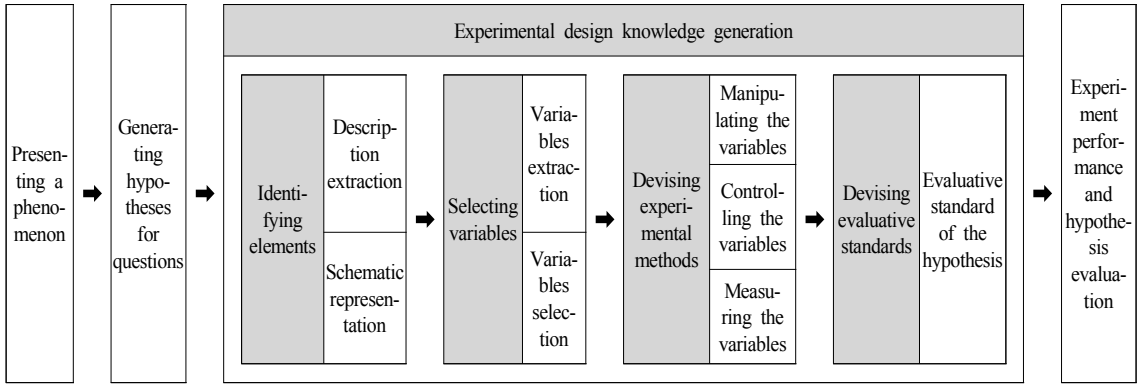


Fig. 2. Teaching and learning process for scientific experimental design knowledge generation

를 통하여 내용 검토와 수정·보완하는 과정을 거쳤다.

4. 검사 도구

1) 과학적 실험 설계 지식생성력 검사지(A형과 B형)

Kwon *et al.*(2004)이 개발한 과학적 지식생성력 검사 도구에서 실험 설계 지식 생성과 관련된 문제 중에 초등학생 수준에서 이해하기 쉬운 언어와 상황으로 구성된 것을 선택하고 수정·보완하였다. 과학적 실험 설계 지식생성력 검사지 A형은 사전 검사, B형은 사후 검사 도구로 사용하였다. 이 도구의 타당도는 과학교육 전문가 1인, 초등 과학 교육 전공 석사 과정 6인과 10회의 세미나 과정을 통하여 검증받았다.

2) 서술형 설문 조사 및 면담

실험 집단에서 10명의 학생들에게 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램과 관련한 서술형 설문 조사를 하고, 질문에 답한 내용이 추상적인 학생에 한하여 구체적인 답변을 듣기 위해 추가적인 면담을 실시하였다. 서술형 설문 조사 문항의 내용은 적용한 프로그램이 실험 설계 능력을 향상시키는데 도움이 된다고 생각하는지, 전에 비해서 실험을 설계하는 것에 대하여 자신이 생겼는지, 적용한 프로그램에 대한 선호도 등에 대해 물어보고, 왜 그렇게 생각하는지 구체적으로 적을 수 있도록 구성하였다. 이 설문 내용은 과학교육 전문가에게 내용 타당도를 검토 받았다.

5. 결과 분석 방법

1) 학생별 실험 설계 내용 분석

실험 설계 내용 분석들은 Kwon *et al.*(2008)이 개발한 분석틀을 활용하여 비교 집단과 실험 집단의 학생별 사전 검사와 사후 검사 결과를 실험 설계의 유창성, 다양도, 유형, 가설의 평가 기준 유무, 변인 통제 유무, 정교성을 기준으로 분석하였다.

2) 실험 설계 능력 지수의 통계적 분석

학생별로 실험 설계 내용을 분석한 결과를 토대로 Kwon *et al.*(2008)이 개발한 실험 설계 능력 지수 산출식(Table 2)을 이용하여 점수를 산출하였다. 이는 실험 설계의 유형, 정교성, 유창성, 다양도를 반영하여 나타낸 값으로 현장 교사 3인과 함께 교차 채점에 의해 신뢰도를 확보하였다. 비교 집단과 실험 집단의 사전 검사와 사후 검사 결과를 실험 설계 능력 지수로 산출하여 독립표본 *t*-검정을 통해 집단 간의 사전 검사와 사후 검사 결과의 차이를 통계적으로 분석하고, 종속표본 *t*-검정을 통해 집단 내의 사전 검사와 사후 검사 결과의 차이를 통계적으로 분석하였다. 통계 프로그램은 Kim and Baker(2012)가 개발한 i-STATISTICS 1.0.30을 이용하여 데이터를 분석하였다.

3) 실험 설계의 유형 및 정교성의 변화 분석

학생별로 실험 설계 내용을 분석한 내용을 토대로 비교 집단과 실험 집단의 실험 설계의 유형과 정교성 분석하였다. 그리고 비교 집단과 실험 집단의 실험 설계 유형과 정교성 변화 양상을 살펴보고,

Table 2. Index calculation of scientific experimental design ability (Kwon, *et al.*, 2008)

Index calculation of scientific experimental design ability	
=	First experimental design{Diversity of experimental design×(Value of the experimental design types for verification of descriptor 1×Value of the experimental design elaborateness)+(Value of the experimental design types for verification of descriptor n×Value of the experimental design elaborateness)}+...The n-th experimental design

차이점을 분석하였다.

4) 실험 설계 유형 및 정교성의 수준에 따른 단계 구분

Kwon *et al.*(2008)에 의해 연구된 실험 설계 능력 지수 산출식의 평가 기준에 근거하여 실험 설계 유형 및 정교성의 수준에 따라 단계를 Table 3과 같이 구분하였다. 비교 집단과 실험 집단의 학생 개인별로 사전 검사와 사후 검사의 실험 설계 내용을 Table 3에 근거하여 단계화하고, 두 집단의 사전·사후 간의 실험 설계 단계 수준이 어떻게 변화했는지를 미시적으로 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램

1) 과학적 실험 설계 지식 생성 교수-학습 과정안 개발

Fig. 2와 같은 과학적 실험 설계 지식 생성 교수-학습 절차를 토대로 교수-학습 과정안을 개발하였다. 특히 실험 방법 고안 과정에서 모듈별로 실험 방법에 대해 토의를 할 때 교사가 순회하면서 학생들에게 구체적으로 어떤 발문을 할 수 있는지 예시 발문들을 다양하게 제시하였다. 또한 ‘교사의 모듈별 순회 지도시 수업 장면의 예’를 다르게 해주어

야 할 조건을 제대로 파악하지 못한 경우, 함께 해주어야 할 조건이 실험 방법에 제대로 반영이 되지 않은 경우, 더 상위 수준의 실험 설계 유형을 고안할 수 있도록 도와주는 경우, 추상적인 실험 설계를 하였을 경우 등의 사례별로 구체적으로 나타내었다.

2) 과학적 실험 설계 지식 생성 활동지 개발

실험 설계 지식 생성 과정에서 활용할 수 있는 과학적 실험 설계 지식 생성 활동지를 개발하였다. 지나치게 개방적인 형태로 만들면, 학생들이 실제 활동에서 불안감과 부담감을 느낄 수 있어서(Kim *et al.*, 2006), 요소 파악, 변인 선정, 실험 방법 고안, 평가 기준 고안 순으로 이루어진 실험 설계 지식 생성 과정에 따라 구체적인 물음을 제시하고, 활동 안내가 자세하게 포함되도록 구성하였다. 초등학생의 수준에 맞게 실험에 주로 이용할 수 있는 도구를 제시하고, 학생들이 실험의 목적에 맞게 그 실험 도구를 어떤 용도로 사용해야 할지, 몇 개가 필요할지, 추가적으로 필요한 실험 도구가 있는지 등을 생각해 볼 수 있도록 활동지를 구성하였다. 특히, ‘실험 방법 고안’ 과정에서 작성하는 표에는 ‘실험 방법을 쓰기에 앞서서 생각할 점’을 제시하여 모듈별로 실험 방법을 고안할 때 활발한 상호작용이 이루어질 수 있도록 하는 적절한 비계(scaffolding) 역할(Wood *et al.*, 1976)을 할 수 있도록 하였다. 또한 모듈별로 실험 방법을 순서대로 구체적으로 쓰고, 이를

Table 3. Stage depending on the level of the experimental design type and elaborateness

Elaborateness \ Type	Type	Direct observation method	Similar phenomena comparison method	Negative comparison method	Positive comparison method	Positive-negative comparison method	Proportion comparison method
Control variables ×	Abstract	Level 1	Level 2		Level 3		Level 5
	Concrete	Level 6	Level 7		Level 8		Level 10
Control variables ○	Abstract	Level 9 _B	Level 11		Level 12 _A	Level 13	Level 15
	Concrete	Level 12 _B	Level 14		Level 16	Level 17	Level 18

그림으로 나타내게 하여 설계한 실험에 대한 이해도를 높이고, 실제 실험을 수행할 때 용이하게 하였다.

2. 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램의 효과

1) 과학적 실험 설계 내용 분석 및 실험 설계 능력 지수 산출

Kwon *et al.*(2008)이 이용한 분석틀을 활용하여 비교 집단과 실험 집단의 학생별 사전 검사와 사후 검사 결과를 실험 설계의 유창성, 다양도, 유형, 평가기준 유무, 변인 통제의 유무, 정교성을 기준으로 분석하였다. 실험 설계 내용 분석의 객관성을 유지하기 위해 현장 교사 3인과 함께 10개의 검사지를 예비적으로 분석해 봄으로써 분석 기준을 명확히 인지한 이후에 본격적으로 분석을 하였다. 실험 설계 내용 분석 과정은 Fig. 3에 나타나 있는 학생들의 사전 검사지와 사후 검사지를 예로 들어 설명하고자 한다.

먼저 Fig. 3의 사전 검사지는 닭이 알을 낳는 개수가 단백질 섭취량에 따라 차이가 나는지를 확인하는 설명 요소가 하나인 실험을 설계하도록 구성되어 있다. 학생 C1은 단백질 섭취량이 많은 경우

와 그렇지 않은 경우를 비교함으로써, 가설의 진위를 검증하는 방법을 사용하였기 때문에 ‘긍정-부정 비교법’이고, 실험을 통해 가설의 진위 여부를 판단할 수 있는 평가 기준이 바르게 고안이 되어 있다. 그러나 실험 설계의 정교성 측면에서 단백질 섭취량을 제외한 다른 변인들을 통제하는 과정이 나타나 있지 않고, 단백질 섭취량 등이 정량적으로 제시되어 있지 않은 ‘추상적인 실험 설계’라고 분석할 수 있다.

다음으로 Fig. 3의 사후 검사지는 소금물에 절여진 배추의 무게가 소금물의 진하기에 따라 차이가 나는지를 확인하는 설명 요소가 하나인 실험을 설계하도록 구성되어 있다. 학생 E44는 소금물의 진하기를 5가지로 비례적으로 조작하고, 이에 따라 나타나는 현상의 비례적 차이를 확인하는 방법으로 ‘비례 비교법’이라 할 수 있다. 그리고 실험을 통해 가설의 진위 여부를 판단할 수 있는 평가 기준이 바르게 고안이 되어 있다. 실험 설계의 정교성 측면에서 보면 소금물의 진하기를 제외한 배추의 생산지, 배추를 넣어 절이는 시간, 전자저울의 종류 등의 변인을 통제하는 과정이 나타나 있고, 소금물의 진하거나 배추의 양, 배추를 담그는 시간 등이 정량적으로 제시가 되어 있고, 실험 도구 명칭도 제시되어 있는 ‘구체적인 실험 설계’라고 분석할 수 있다.

The examples of pre-test created by student C1		The examples of post-test created by student E44	
Experimental methods	한 닭에게는 단백질이 많이 있는 사료를 주고, 다른 닭에게는 단백질이 적게 든 사료를 주어 두 닭이 알을 낳는 개수를 세는 실험을 한다.	Experimental methods	1) 같은 방안에 5개씩 5개의 배추 무게를 둔다. 2) 50개의 배추를 5팀으로 나눈다. 3) 1팀에는 소금 10g, 2팀에는 15g, 3팀에는 20g, 4팀에는 25g, 5팀에는 30g의 소금을 넣고 10kg의 물을 넣고 하루동안 절인다. 4) 다음날(24시간 후), 배추를 모두 동시에 꺼내서 배추의 무게를 전자저울에 달아보고 배추의 무게를 비교한다. (같은 배추)
Evaluative standards	단백질이 많이 든 사료를 먹은 닭이 단백질이 적게 든 사료를 먹은 닭보다 알을 많이 낳았을 것이다.	Evaluative standards	1팀이 무게가 가장 많이 나가고 다음 2,3,4,5 순으로 무게가 많이 나간다.

Fig. 3. The examples of pre-test and post-test created by elementary school students

이상의 예시와 같은 방법으로 비교 집단과 실험 집단의 학생이 고안한 실험 설계 내용을 분석하고, Kwon *et al.*(2008)이 개발한 Table 2와 같은 실험 설계 능력 지수 산출식에 근거하여 실험 설계 능력 지수를 산출하였다.

2) 실험 설계 능력 지수의 변화

사전 검사와 사후 검사에서 집단 간의 실험 설계 능력 지수를 독립표본 *t*-검정으로 분석한 결과는 Table 4와 같다. 사전검사에서는 비교 집단과 실험 집단 간에 통계적으로 의미있는 차이가 나타나지 않았다. 그러나 사후 검사에서는 실험 집단이 비교 집단보다 통계적으로 유의미하게 높았다($p < 0.001$). 즉, 비교 집단과 실험 집단이 사전 검사에서는 동일한 수준의 집단이었으나, 사후 검사에서는 실험 집단의 실험 설계 능력 지수가 향상되었다고 추론할 수 있다.

다음으로, 비교 집단과 실험 집단의 집단 내에서 실험 설계 능력 지수 변화를 종속표본 *t*-검정으로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 비교 집단은 사전 검사와 사후 검사의 결과는 통계적으로 의미 있는 차이가 없었다. 반면, 실험 집단은 사전 검사에서 11.53이고, 사후 검사에서 23.78로 사후 검사가 사전 검사의 결과보다 통계적으로 유의미하게 높았다($p < 0.001$).

3) 실험 설계의 유형과 정교성의 변화

비교 집단과 실험 집단의 사전 검사와 사후 검사에서 실험 설계의 유형과 정교성 분석 결과는 Table 6, 7과 같다.

(1) 실험 설계의 유형 변화

비교 집단의 실험 설계의 유형은 Fig. 4와 같이 사전 검사와 사후 검사 모두 긍정-부정 비교법이 가장 많이 나타났고, 다음으로 긍정 비교법이 많았다. 가장 하위 수준의 유형인 직접 관찰법은 사전 검사에서는 3개였으나, 사후 검사에서는 오히려 11개로 늘어났다.

실험 집단의 실험 설계의 유형은 Fig. 5와 같이 사전 검사에서는 비교 집단과 유사하게 긍정-부정 비교법, 긍정 비교법 순으로 많이 나타났다. 그러나 사후 검사에서는 비례 비교법이 가장 많이 나타났고, 긍정-부정 비교법이 다음으로 많이 나타났다. 사전 검사에 비해 사후 검사에서 긍정 비교법과 긍정-부정 비교법은 줄어들고, 가장 상위 수준의 유형인 비례 비교법이 눈에 띄게 늘어났다. 이는 모둠별로 실험 방법을 고안할 때 활발한 상호작용이 이루어질 수 있도록 활동지나 교사의 발문을 통해 적절한 비계(scaffolding)를 제공함으로써 긍정 비교법이나 긍정-부정 비교법에서 상위 수준의 실험 설계 유형인 비례 비교법으로 발전하였다고 볼 수 있다.

Table 4. The result of independent samples *t*-test on experimental design ability

Test	Group	M	SD	N	<i>t</i>	<i>p</i>
Pre-test	Comparative group	13.38	8.68	45	-1.1291	0.2619
	Experimental group	11.53	6.68	45		
Post-test	Comparative group	12.49	9.86	45	4.5755***	0.0000
	Experimental group	23.78	13.29	45		

*** $p < .001$

Table 5. The result of dependent samples *t*-test on experimental design ability

Group	Test	M	SD	N	<i>t</i>	<i>p</i>
Comparative group	Pre-test	13.38	8.68	45	-0.4965	0.6220
	Post-test	12.49	9.86			
Experimental group	Pre-test	11.53	6.68	45	6.1738***	0.0000
	Post-test	23.78	13.29			

*** $p < .001$

Table 6. Analysis on the type and elaborateness of experimental design in pre-test

Group	Type	Elaborateness				Total
		Control variables ×		Control variables ○		
		Abstract	Concrete	Abstract	Concrete	
Comparative group	Direct observation	3				3
	Similar phenomena comparison			1		1
	Negative comparison	3				3
	Positive comparison	15		2		17
	Positive-negative comparison	10	2	7	1	20
	Proportion comparison	2	1			3
	Total	33	3	10	1	47
Experimental group	Direct observation	1				1
	Similar phenomena comparison	2				2
	Negative comparison	1				1
	Positive comparison	13				13
	Positive-negative comparison	19		3		22
	Proportion comparison	5	3	1		9
	Total	41	3	4	0	48

Table 7. Analysis on the type and elaborateness of experimental design in post-test

Group	Type	Elaborateness				Total
		Control variables ×		Control variables ○		
		Abstract	Concrete	Abstract	Concrete	
Comparative group	Direct observation	11				11
	Similar phenomena comparison	3		1	1	5
	Negative comparison	1				1
	Positive comparison	10		1		11
	Positive-negative comparison	7	2	7	1	17
	Proportion comparison				1	1
	Total	32	2	9	3	46
Experimental group	Direct observation	1				1
	Similar phenomena comparison		2			2
	Negative comparison					0
	Positive comparison	6				6
	Positive-negative comparison	5	3	3	3	14
	Proportion comparison	1	5	3	13	22
	Total	13	10	6	16	45

(2) 실험 설계의 정교성 변화

비교 집단의 실험 설계의 정교성은 Fig. 6과 같이 사전 검사와 사후 검사 모두 변인 통제를 하지 않은 실험 설계와 추상적인 실험 설계가 많았다.

실험 집단의 실험 설계의 정교성은 Fig. 7과 같이

사전 검사에서는 비교 집단과 유사하게 변인 통제를 하지 않은 실험 설계와 추상적인 실험 설계가 대부분이었다. 이는 두 집단 모두 학생들이 가설을 검증하기 위한 실험 방법을 고안하기는 하지만, 정확한 변인을 찾아내어 구별하는 능력이나 실험 설

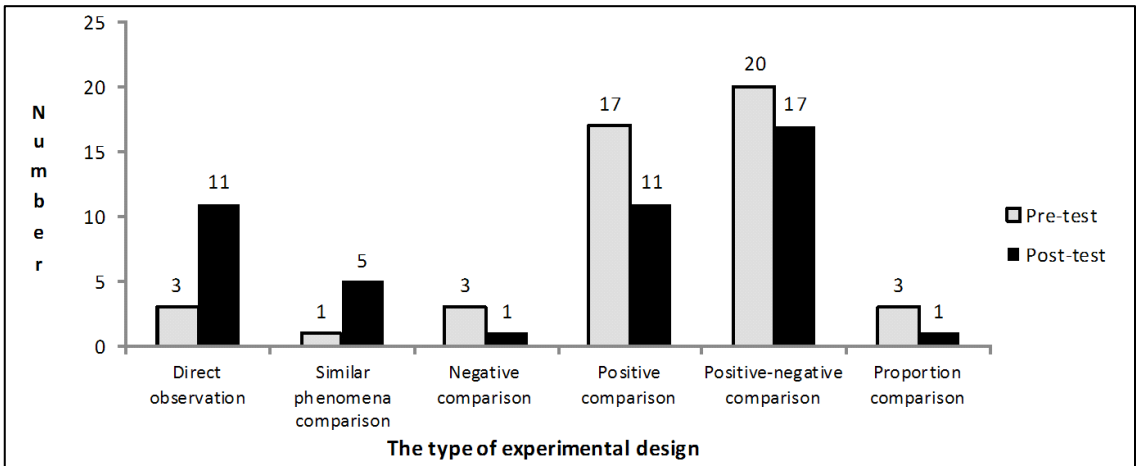


Fig. 4. The change in the type experimental design of comparative group

계를 구체적으로 하는 능력이 훈련되지 않은 것으로 판단된다(Han *et al.*, 2002). 그러나 실험 집단의 사후 검사에서는 변인 통제를 하지 않은 실험 설계가 줄어들고, 변인 통제를 한 실험 설계가 22개(48.9%)로 늘어났다. 또한 추상적인 실험 설계가 줄어들고, 구체적인 실험 설계가 26개(57.8%)로 늘어났다. 이는 실험 집단이 모듈별로 고안한 실험 방법으로 직접 실험을 수행하는 과정을 경험함으로써 모듈별로 실험을 설계할 때 실제로 실험 수행이 가능하도록 구체적인 실험 도구 명칭을 제시하고, 구체적인 수치와 양을 나타내게 된 것이라고 판단된다. 또한 원인이 되는 변인을 제외한 다른 변인이 실험에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 이 프로그램을 통해 직접 겪어 봄으로써 더 정확한 실험 결과를 얻기 위

해 통제해야 할 변인들을 실험 설계시 반영하려는 모습이 나타났다고 할 수 있다.

4) 개인별 실험 설계 수준에 따른 단계화 및 단계의 변화

(1) 개인별 실험 설계 수준에 따른 단계화 및 단계의 변화 분석

Table 3을 기준으로 하여 비교 집단과 실험 집단의 학생 개인별로 사전 검사와 사후 검사의 실험 설계 내용을 단계화하고, 단계 변화 양상을 분석하였다. 예를 들어 Fig. 8과 같은 학생 E21의 사전 검사지에서 실험 설계 내용을 분석하면 ‘긍정-부정 비교법’의 유형(㉠)에 해당되며, 변인 통제가 되지 않

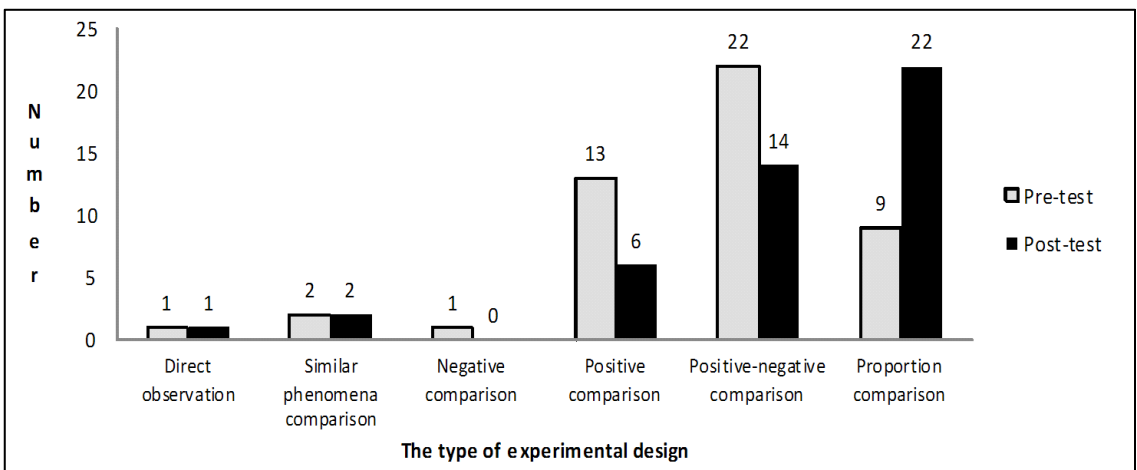


Fig. 5. The change in the type experimental design of experimental group

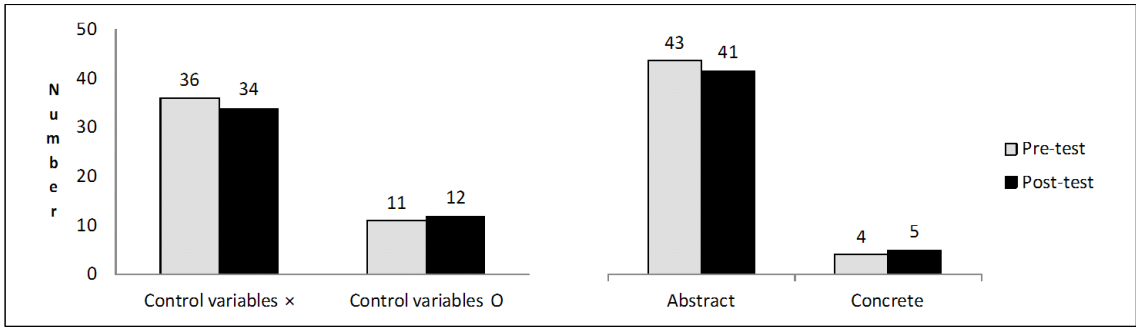


Fig. 6. The change in the elaborateness experimental design of comparative group

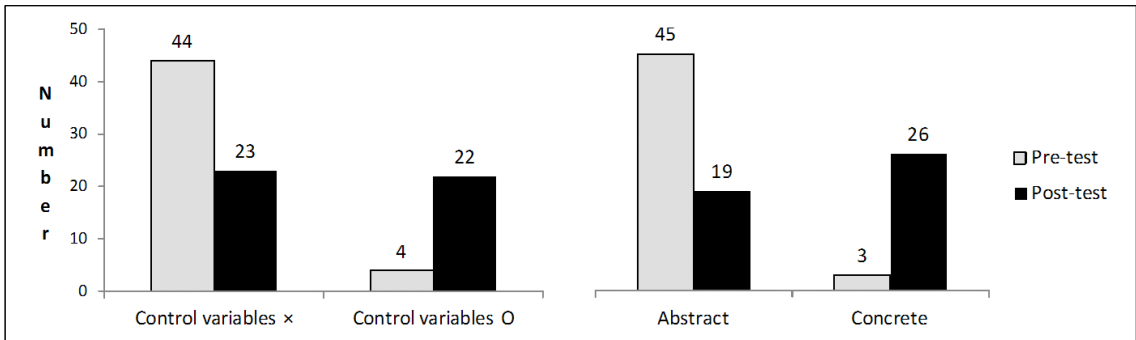


Fig. 7. The change in the elaborateness experimental design of experimental group

The examples of pre-test created by student E21		The examples of post-test created by student E21	
Experimental methods	<p>① 닭 꼬리를 각각 다른 곳에 둔다. ② 닭한마리는 단백질이 풍부한 사료를 다른 닭한마리는 일반 사료를 준다. ③ 사료를 주고 하루 동안 관찰한다. ④ 다음날 각각 알을 낳은 개수를 확인 한다.</p>	Experimental methods	<p>관찰: 같은 무게인 배추 2포기, 소금이 100g 들어간 소금물, 소금이 200g 들어간 소금물, 대야 2개, 저울 2개</p> <p>1) 같은 무게인 배추 2포기를 각각 대야 2개에 담는다. 2) 한쪽은 소금이 100g 들어간 소금물을 다른 한쪽에는 소금이 200g 들어간 소금물 1000 ml씩 넣는다. 3) 이 배추가 들어간 대야 2개를 같은 곳에다 놓고 4시간 정도 기다린다. 4) 내간 후... 소금이 100g 들어간 소금물에 절인 배추와 소금이 200g 들어간 소금물에 절인 배추의 무게를 눈금이 들다 0으로 맞추어서 봤을때 무게를 잰다. 5) 어떠한 무게를 측정한다.</p>
Evaluative standards	<p>각각 알 낳은 개수가 다를 것이고 단백질이 풍부한 닭이 낳은 알의 개수가 더 많을 것 같다.</p>	Evaluative standards	<p>소금이 200g 들어간 소금물에 절인 배추가 더 무겁게 나갈 것이고, 소금이 100g 들어간 소금물에 절인 배추가 더 많은 무게가 나갈 것이다.</p>
Analysis of the experimental design	<p>① <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 추상</p>	Analysis of the experimental design	<p>① <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> 구체</p>
Level	4	Level	17

Fig. 8. The examples of analysis of the change in level of experimental design

고(×) 구체적인 수치나 실험 도구가 제시되지 않은 추상적인 실험 설계(추상)이다. 그러나 사후 검사에서는 ‘긍정·부정 비교법’(Ⓣ)으로 유형은 같지만, 소금물의 진하기를 제외한 처음 배추의 무게, 대야를 놓아두는 장소, 배추를 절이는 시간 등의 변인이 통제가 되어 있고(○), 구체적인 수치와 실험 도구 명칭이 제시되어 있는 구체적인 실험(구체)으로 설계하였다. 이는 실험 설계의 수준이 Table 3을 근거로 하여 단계화하였을 때 사전 검사에서는 4단계, 사후 검사에서는 17단계로 13단계가 향상된 것으로 분석할 수 있다.

(2) 실험 설계 수준에 따른 단계 변화 비교

비교 집단과 실험 집단의 학생 개인별 실험 설계 수준에 따른 단계화 및 단계 변화를 분석한 결과를 토대로 사후 검사에서의 실험 설계 단계가 사전 검사에서의 실험 설계 단계보다 낮아진 경우를 ‘단계 저하’, 동일한 경우를 ‘단계 유지’, 높아진 경우를 ‘단계 향상’이라고 나타내었다. ‘단계 저하’에 해당하는 학생이 비교 집단은 22명(48.9%), 실험 집단은 5명(11.1%)으로 비교집단이 훨씬 많았다. ‘단계 유지’에 해당하는 학생은 비교 집단이 6명(13.3%), 실험 집단은 4명(8.9%)으로 약간의 차이가 있었다. ‘단계 향상’에 해당하는 학생은 비교 집단은 17명(37.8%)에 그쳤지만, 실험 집단은 36명(80.0%)으로 월등히 높았다. 비교 집단과 실험 집단에서 단계가 향상된 학생들의 실험 설계 단계가 어느 정도 향상하

였는지를 비교 분석하여 나타내면 Fig. 9와 같다. 전체적으로 실험 집단이 비교 집단에 비해 실험 설계 단계 향상된 정도가 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 특히 11단계 이상으로 향상된 정도가 큰 학생들을 살펴보면 비교 집단은 1명이지만, 실험 집단은 15명이나 해당된다.

이러한 연구 결과는 투입한 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램이 학생들에게 직접적으로 가설을 검증할 수 있는 실험 방법을 고안하는 기회를 제공했으며, 실험을 설계하는 과정에서 모둠원들 사이의 활발한 상호작용을 촉진하였기 때문에 나타난 것이라고 할 수 있다(Gerber et al., 2001).

5) 서술형 설문 조사 및 면담 결과

실험 집단에서 학생 (가)~학생 (차)까지 남학생 5명, 여학생 5명으로 총 10명의 학생들에게 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램과 관련한 서술형 설문 조사를 하고, 질문에 답한 내용이 추상적인 학생에 한하여 구체적인 답변을 듣기 위해 추가적인 면담을 실시하였다.

서술형 설문 조사 및 면담 결과를 종합해 보면, ‘실험 설계’의 과정을 여러 가지 하위 과정이 포함되어 있다는 것을 반영한 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램을 통해 학생들이 하위 과정들을 단계적으로 밟아 가며 직접 실험 방법을 고안함으로써, 실험 설계 능력 향상에 도움을 주었다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Kwon et al.(2011)의 주장

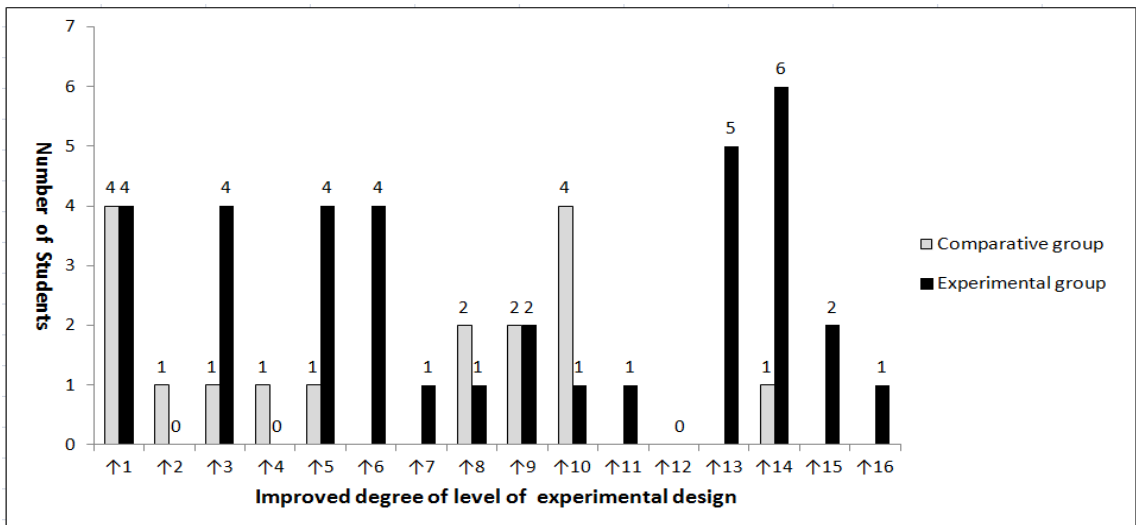


Fig. 9. Improved degree of level of experimental design

과 일치한다. 또한 실험 방법 고안 과정에서 학생들은 모둠별 활동을 즐거워하였고, 상호 작용을 통해 서로 도움을 받았다고 하였다. 과학은 사회적 활동이며, 과학 지식은 집단적 의사소통의 결과이기 때문에, 이러한 과학의 본성에 비추어 보아(Kang & Noh, 2000), 상호 작용적인 활동을 촉진하는 소집단 활동은 그 의미가 크다고 할 수 있다. 다만, 모둠을 구성할 때 효과적인 상호 작용이 이루어지도록 이질적인 소집단으로 구성하고(Lou *et al.*, 1996), 모둠 활동 시 소외되는 학생들이 없도록 서로의 의견을 존중하는 태도를 지도할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램은 실험 설계 능력 향상에 효과적이다. 실험 집단과 비교 집단이 사전 검사에서는 통계적으로 의미 있는 차이가 없는 동일한 수준의 집단이었으나, 사후 검사에서 실험 집단이 비교 집단보다 통계적으로 유의미하게 높았다($p<0.001$). 또한 비교 집단의 실험 설계 능력 지수는 사전 검사와 사후 검사 간의 통계적으로 의미 있는 차이가 없었으나, 실험 집단은 사전 검사에 비해 사후 검사에서 학생들의 실험 설계 능력은 통계적으로 유의미하게 향상하였다($p<0.001$).

둘째, 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램은 실험 설계의 유형 및 정교성 수준 향상에 효과적이다. 과학적 실험 설계 내용 분석틀에 의한 실험 설계의 유형 변화를 분석한 결과, 비교 집단과 실험 집단의 사전 검사에서 두 집단 모두 긍정-부정 비교법, 긍정 비교법 순으로 많이 나타났다. 사후 검사에서 비교집단은 여전히 긍정-부정 비교법, 긍정 비교법이 많이 나타났고, 가장 낮은 수준의 직접 관찰법이 오히려 더 늘었다. 이에 반해 실험 집단의 사후 검사에서는 긍정 비교법이나 긍정-부정 비교법이 줄어들고, 가장 상위 수준인 비례 비교법이 뚜렷하게 증가하여 가장 많이 나타났다. 다음으로 과학적 실험 설계 내용 분석틀에 의한 실험 설계의 정교성 변화를 분석한 결과, 비교 집단과 실험 집단의 사전 검사에서 두 집단 모두 변인 통제를 하지 않은 실험 설계와 추상적인 실험 설계가 많았다. 그러나 사후 검사에서의 결과는 비교 집단에서는 여전히 변인 통제를 하지 않은 실험 설계와

추상적인 실험 설계가 많았으나, 실험 집단의 사후 검사에서는 변인 통제를 하지 않은 실험 설계와 추상적인 실험 설계가 크게 줄어들고, 변인 통제를 한 실험 설계와 구체적인 실험 설계가 뚜렷하게 증가하였다. 또한 학생 개인별로 사전 검사와 사후 검사의 실험 설계 내용을 유형과 정교성 수준에 따라 단계를 구분하여 단계화하고, 단계 변화 양상을 미시적으로 분석한 결과, 비교 집단에 비해 실험 집단에서 ‘단계 향상’이 된 학생의 비율이 월등히 높았다.

이를 통해 과학적 실험 설계 지식 생성 학습 프로그램이 초등학생의 실험 설계 지식 생성 능력을 향상시키는데 효과적임을 확인할 수 있었다.

그리고 과학적 실험 설계 지식 생성 교수-학습 프로그램을 적용한 수업에서 교사-학생, 학생-학생 사이의 상호작용을 분석하여 프로그램의 효과를 알아보는 추후 질적 연구를 제안한다. 특히 모둠별로 토의를 하며, 직접 실험 설계를 하는 과정에서 교사-학생, 학생-학생 사이의 담화를 분석하여 어떤 상호작용을 토대로 실험 설계 능력이 향상되는지, 그 변화 과정을 살펴보는 것이 필요하다.

참고문헌

- Cho, H. J., Yang, I. H., Jeong, J. H., Shin, A. K. & Sohn, J. J. (2008). Analysis of the elementary school students' views about lab-based science learning. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(2), 117-133.
- Gerber, B. L., Cavallo, A. M. L., & Marek, E. A. (2001). Relationships among informal learning environments, teaching procedures and scientific reasoning ability. *International Journal of Science Education*, 23(5), 535-549.
- Han, H., Choi, B. S., Kang, S. & Park, J. Y. (2002). Effects of the variable activities in the 'Thinking Science' program on the ability of variable-controlling of elementary school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 22(3), 571-585.
- Jeong, J. S.(2008). Effects of the teaching and learning programs for science teachers' scientific hypothesis testing-method invention. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28(6), 664-674.
- Kang, S. & Noh, T. (2000). Effect of concept learning strategy emphasizing social consensus during discussion. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 20(2), 250-261.

- Kang, I. A. (1997). Why constructivism is it?-Information age, and learner-centered learning environment [왜 구성주의인가?-정보화시대와 학습자중심의 교육환경]. Seoul: Muneumsa.
- Kim, B. S., Lim, C. S. & Kim, E. J. (2006). Elementary school students' science learning characteristics in the affective domain and it's relationship to the levels of inquiry requirement in science experiment instruction. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25(4), 396-406.
- Kim, K. S. & Eva, L. B. (2012). i-STATistics v1.0.30, Statistical Data Analysis Program. SNUCSE/UCLA.
- Kim, S. J. & Choi, B. S. (2005). Characteristics of experimental design and evidence choice of elementary school students in problem solving process related to controlling variable. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 25(2), 111-121.
- Kim, Y. C. (1999). Creative problem solving: Theory of creativity, development and lessons [창의적 문제 해결: 창의성 이론, 개발과 수업]. Seoul: Kyoyukkwahaksa.
- Klahr, D. (2000). Exploring science: The cognition and development of discovery processes. London: The MIT Press.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Park, Y. B. & Kang, M. J. (2003a). A philosophical study on the generating process of declarative scientific knowledge-Focused of inductive, abductive, and deductive processes. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(3), 215-228.
- Kwon, Y. J., Ko, K. T. & Jeong, J. S. (2003b). The structure and generation process of deductive scientific-knowledge in the testing of biological hypotheses. *Biology Education*, 31(3), 236-245.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Ko, K. T. & Park, Y. B. (2004). The development of an instrument to assess the ability of science-knowledge generation. *Biology Education*, 32(1), 67-78.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Lee, I. S. & Choi, S. K. (2008). Development of the quotient equation of experimental design ability by analysis of the science high school students' hypothesis-testing methods generated in the whale task. *Biology Education*, 36(1), 40-51.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Shin, D. H., Lee, J. K., Lee, I. S. & Byeon, J. H. (2011). Generation and evaluation of scientific knowledge [과학지식의 생성과 평가]. Hakjisa.
- Lawson, A. E. (2000). The generality of hypothetics-deductive reasoning: making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482-495.
- Lee, M. O. (2002). The effect of free inquiry activities on the science process skills and scientific attitudes of elementary school students. Master's thesis, Graduate School of Education Korea National University of Education.
- Lee, S. J. (2011). Effects of the teaching and learning programs for scientific hypothesis testing-method invention in a high school biology class. Mater's thesis, Graduate School of Education Korea National University of Education.
- Lou, Y., Abrami, P. C., Spence, J. C., Poulsen, C., Chambers, B., & d'Apollonia, S. (1996). Within-class grouping: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 66(4), 423-459.
- Martin, D. J. (1997). Elementary science method. New York, Delmar Publisher.
- McPherson, R. (2001). Teaching & Learning the scientific method. *The American Biology Teacher*, 63(4), 242-245.
- Park, J. (2003). An analysis of the experimental designs suggested by students for testing scientific hypotheses. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(2), 200-213.
- Shin, H. H. & Kim, H. N. (2010). Analysis of elementary teachers' and students' views about difficulties on open science inquiry activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(3), 262-276.
- Wood, D. J., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100.
- Yang, I. H., Jeong, J. W., Hur, M., Kim, Y. S., Kim, J. S., Cho, H. J. & Oh, C. H. (2006). An analysis of laboratory instructions in elementary school science. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25(3), 281-295.
- Yoo, J. Y., Yun, S. G., & Jeong, J. S. (2010). Effects of the teaching and learning programs for scientific hypothesis testing-method invention in a middle school biology class. *Secondary Education Research*, 58(3), 313-332.