

고체물질의 구성과 열전도 개념에 대한
과학비유탐구놀이 학습방법의 적용의 평가
- 초등학교 예비교사 대상으로 -

현 동 겐*

Assessment on Application of Learning Method of
Science Inquiry Play of Analogy for Conceptions
on Nature of Solid Matter and It's Heat

Hyun, Dong Geul

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the application of the learning method of the science inquiry play of analogy to the learning for the conceptions on the nature of solid matter and it's heat. The first year students of university of education participated in this learning. The frame of this assessment can be considered as the quantity and quality of the students' conceptual changes. The results of this work are the followings: Before the learning, the students had their own conceptions on the nature of solid matter and it's heat, and the average frequency of the scientific

* 제주교육대학교 과학교육과 부교수

conceptions in them was 51.1%. It was increased as 72.2% through the learning. The average frequency of the conceptual changes was 38.2%, the 26.5% in which was that of the changes from the misconceptions to the scientific conception. Then the average frequency of the change from a misconception to a scientific conception, the rectification ratio through this learning, was 62.7%. And the above 80% of the students thought the learning method of the science inquiry play of analogy was effective in the learning for scientific conceptions, and showed the affirmative responses on the class application of this method.

I. 서 론

전기, 자기, 열, 소리, 빛의 속성들은 전자, 원자, 이온, 분자 등의 입자들과 그들의 운동을 근간으로 하는 것들로서, 그 속성들을 입자론적으로 파악하는 미시적 관점은 관련된 현상들에 대한 거시적 기술의 기본적이고 필수적인 개념들이라 할 수 있다. 그러나 전기, 자기, 열, 소리, 빛 등에 대한 과학적 개념들은 단순히 수업이나 실험을 통해서 학습될 수 있는 것이 아닌 매우 추상적인 개념들이다.

추상적인 과학적 개념을 이해하는데는 형식적 조작 수준의 지적 능력을 요구한다. 구체적 조작수준에 있는 학생들은 이론을 형성하거나 구체적 사실과 동떨어진 추상적 개념을 이해할 수 없으며(Piaget, 1958), 학습해야 할 내용이 학생들의 지적 발달수준 이상의 조작능력을 요구할 때 지적 발달의 미숙한 학생들이 오개념을 소지할 수 있다(Nussbaum, 1983). 또한 추상적인 과학적 개념을 언어수단이나 실험만으로 가르치려고 한다면 구체적 조작수준에 있는 학생들의 지적 발달을 돕지 못한다(Piaget, 1958).

우리 나라 초·중등학교 학생들의 지적 발달수준은 대부분이 구체적 조작수준에 머물러 있어서 추상적인 내용을 학습하는데 어려움을 겪고 있으며 잘못된 개념을 쉽게 과학적 개념으로 변화되지 않는 요인 중의 하나로 해석하고 있다(이원식 등,

1979, 1986; 김현재 등, 1988, 1990; 김영희, 1988; 김도욱, 1991; 최재환 등, 1993; 한안진 등, 1996, 한문정, 1990; 안상면, 1992).

최근에 특정한 과학 주제, 특히 추상적인 과학적 개념에 관한 학습자의 오개념 유형에 대한 많은 연구들이 있지만, 그러한 오개념들을 올바른 과학적 개념으로 변화시킬 수 있는 구체적인 수업 전략에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다(한문정, 1990; 안상면, 1992). 김도욱(1991, 1995, 1996)은 물질관에 대한 과학적 개념 자체의 역사적 진보과정과 아동의 개념발달과정 사이의 유사성을 근거로 한 과학사 프로그램이 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키는 데 효과가 있다는 것을 보여 주었다.

현동걸(1998)은 구체적 조작수준에 있는 학생들의 지적 발달을 위한 한 방법으로 과학비유탐구놀이 학습방법을 구안하였다. 이 학습방법에서는 형식적 조작을 요하는 미시적이고 추상적인 과학적 개념을 구체적 내용을 수반하는 놀이형태의 활동으로 비유화하고, 학생들은 비유화된 구체적 내용들에 대하여 탐구활동을 수행하며, 이로부터 추출된 결과들을 비유적 추리와 반성적 사고 과정을 통하여 목표의 추상적 개념을 이해하게 된다. 결국 비유화된 구체적 내용들에서 추상적 개념에 이르게 하는 과정에서 학생들의 과학적 사고력의 신장과 과학적 개념을 습득하게 할 수 있다는 것이다.

또한 현동걸(1998)은 체계적 접근 모형을 기초로 Driver의 수업절차모형과 탐구수업 모형의 장점들을 활용하여 과학비유탐구놀이 학습방법을 오개념 교정학습에 적용을 위한 매우 구체적인 절차와 방법을 제안하였다.

본 연구는 과학비유탐구놀이 학습방법을 과학교육의 현장 적용의 선행단계로써, 초등학교 예비교사를 대상으로 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념에 대한 학습을 적용하여, 그 적용효과를 학습자의 개념변화의 관점에서 알아보았으며, 또한 본 연구의 결과를 안상면(1992)과 김도욱(1995, 1996)의 기체물질의 물질관에 관한 연구결과와 비교하여 검토하였다. 그러나 이러한 연구결과의 비교는 연구대상인 학생의 지적 수준, 교육량, 연구주제가 다른 관계로 다소의 무리한 점들이 있으나, 본 연구대상과 연구주제와 유사한 선행연구를 찾지 못했다는 점과, 과학비유탐구놀이학습의 오개념 교정에 대한 효과를 파악하기 위한 상대적이고 가략적인 비교는 될 수 있다는 점들이 그 구실이였다.

Ⅱ. 연구의 목적과 내용

1. 연구의 목적

본 연구의 목적은 형식적 조작을 요하는 추상적인 과학적 개념의 학습을 위하여 과학비유탐구놀이 학습방법을 적용하고 그 효과를 알아보는 것이다. 따라서 본 연구는 과학교육의 현장에 과학탐구비유놀이 학습방법의 적용을 시험하는 선행단계로써, 초등학교 예비교사를 대상으로 고체물질의 구성과 고체물질에 있어서 열전도에 대한 과학탐구비유놀이 학습을 적용하고, 이를 통하여 본 학습방법의 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념에 대한 학습효과와, 이들 개념에 대한 오개념 교정을 위한 한 학습방법으로 그 효과를 알아보는 것이다. 특히 연구대상인 교육대학생은 초등학교에서 과학을 가르쳐야 할 예비교사로서 과학의 여러 개념들을 학생들에게 올바르게 가르칠 수 있으려면 교사 자신들이 올바른 과학적 개념들을 형성하고 있어야 한다는 견지에서 그들의 정확한 과학적 개념의 체계를 구축할 수 있고, 그리고 학습방법의 학습의 계기를 제공하기 위한 것도 또 다른 면의 목적이다.

2. 연구의 내용

본 연구에서는 연구의 목적을 위하여 다음과 같은 구체적인 연구 내용을 설정하였다.

- 1) 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념과 개념의 변화를 조사할 수 있는 프로그램을 개발한다.
- 2) 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 초등학교 예비교사들의 개념을 조사하고 오개념의 유형을 분석한다.
- 3) 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념을 학습할 수 있는 과학비유탐구놀이 학습 프로그램을 개발한다.
- 4) 과학비유탐구놀이 학습 프로그램이 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도

에 대한 개념에 대한 학습과 그들에 대한 오개념의 교정학습에 적용의 효과를 분석한다.

5) 초등학교 예비교사들이 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 태도를 조사한다.

3. 연구의 제한점

본 연구에서는 남부지방에 위치하고 있는 교육대학교 학생을 대상으로 조사되었기 때문에 연구결과의 일반화는 표집 대상의 크기나 특성을 고려하여 매우 신중하게 이루어져야 하겠다. 학습 전후의 개념에 대한 설문이나 과학비유탐구놀이 학습에 옹한 피검자들의 성실도 정도와 설문 문항과 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 이해 정도가 본 연구의 결과에 영향을 줄 수 있다는 것을 배제할 수 없다. 또한 본 연구에서 과학비유탐구놀이 학습의 시행시 학습공간인 체육관 내에서 타교과의 수업이 진행으로 인한 학습공간의 분위기가 본 연구의 결과에 영향을 줄 수 있었다는 것도 배제할 수 없다.

Ⅲ. 이론적 배경

1. 과학비유탐구놀이 학습방법

과학비유탐구놀이 학습방법(현동걸, 1988)은 추상적인 과학적 개념의 습득과 동시에 과학적 사고력을 신장시키기 위한 방법이다. 형식적 조작을 요하는 추상적인 과학적 개념을 구체적 조작수준의 학생들에게 학습시킬 수 있고 과학적 사고력을 신장시키기 위한 학습방법으로 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 형식적 조작을 요하는 추상적인 과학적 개념을 구체적 조작수준의 학생들의 사고로서 이해할 수 있는 학생 자신들, 학생들의 신체·감각적 활동, 구체물, 방법, 규칙 등의 구체적인 내용을 수반하는 놀이 형태의 활동으로 비유화한다.

추상적인 과학적 개념들을 구체적인 내용을 포함하는 놀이형태의 활동으로 비유화하기 위해서는 추상적인 과학적 개념들이 포함되는 영역을 목표영역으로 하고,

이 목표영역의 모든 것에 대하여 조작적 정의와 비유적 추리의 과정을 통하여 비유 영역의 비유물을 생성시키기 위한 조작적인 비유의 조건들은 다음과 같다.

- (1) 목표모형에 유사한 대응관계를 갖도록 비유물을 조작적 정의를 해야 한다.
- (2) 비유물은 학생의 선개념이 고려되어 그것을 변화시킬 수 있도록 조작해야 한다.
- (3) 비유물은 목표모형보다 학생들에게 친숙하도록 조작해야 한다.
- (4) 비유물의 구조와 속성이 목표 모형에 비해 학생들이 이해하기 쉬워야 한다.
- (5) 비유물을 사람이나 사물 그 자체, 움직임, 또는 움직임을 규제하는 규칙 등의 구체적인 것으로 나타낼 수 있도록 조작적 정의를 해야 한다.

둘째, 목표모형의 속성에 따라 학생들은 비유물 그 자체로서 가상적인 역할을 분담하고 직접적인 신체·감각적인 활동 즉 과학비유탐구놀이를 하게 한다. 그리고 이러한 신체·감각적인 활동이 놀이로써 기능을 갖기 위해서 다음과 같은 다음과 같은 조건을 갖추도록 구성해야 한다.

- (1) 재미가 있게 구성해야 한다.
- (2) 다양한 수준의 학생들이 그 능력에 맞는 다양한 활동이 가능하게 구성해야 한다.
- (3) 참여자는 협력과 약간의 경쟁이 있어야 한다.
- (4) 과학적인 탐구의 본질이 반영시켜야 한다.

셋째, 이러한 비유화된 놀이 형태의 활동의 구체적인 내용들을 대상으로 탐구활동을 수행하게 하고, 탐구활동의 결과를 추출하여 반성적 사고와 비유적 추리 과정을 통하여 목표의 추상적 개념으로 전환하는 일련의 사고과정을 거쳐 새로운 개념을 형성하게 하게 한다. 즉, 과학비유탐구놀이의 비유영역에서 모든 것들은 구체적이고 문제해결에 필요한 모든 요소가 정량화될 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 실질적이고 근본적인 탐구활동을 할 수 있다. 학생들은 과학비유탐구놀이에서 일어나는 모든 것들을 대상으로 관찰하고, 분류하고, 측정하는 활동으로부터 얻어진 자료를 해석한다. 그리고 해석된 결과를 목표영역으로 비유적 추리과정과 반성적 사고과정을 거치면서 목표영역의 속성 즉 추상적인 과학적 개념과 사실들을 이해할 수 있다. 과학비유탐구놀이는 교사의 의도에 따라서 단순하거나 혹은 고차원적으

로 구성될 수 있으며, 또한 교사는 과학비유탐구놀이 학습이 적용될 상황을 고려하여 적절한 탐구활동 모형을 사용할 수 있다.

2. 물질과 열에 대한 입자론적 해석

1) 거시적 기술과 미시적 기술

물리적 현상을 해석하는 데 있어서 보통 물질의 어떤 부분에 주목하여 이 부분 이외의 바깥 부분과 분리시켜 취급한다. 이 때 주목되어지는 부분을 계(system)이라고 하고 바깥 부분을 외계라고 한다. 계가 외계와 어떤 상호작용을 하는가를 파악함으로써 계의 거동을 설명할 수 있다. 또한 물리적 현상을 해석하기 위해서는 계의 거동을 기술하기에 적합한 관측이 가능한 양을 정하지 않으면 안된다.

계의 거동을 전체적 관점에서 취급하는 것을 거시적이라고 하며, 이 때 다루어지는 양들을 거시적인 양들이라 한다. 많은 거시적인 양들, 예를 들면 압력, 부피, 온도, 내부에너지 등은 직접적으로 우리의 지각과 관계되어 있다. 열이 수반되는 변화에서 거시적인 양들을 연관짓는 법칙들은 열역학의 기초를 형성한다.

또한 미시적 관점을 취할 수 있다. 예로서 계를 구성하는 원자나 분자의 거동을 기술하는 이들의 속도, 에너지, 질량, 각운동량, 그리고 입자들의 충돌 등과 같은 입자들간의 상호작용 등을 들 수 있다. 이러한 미시적 성질들은 직접적으로 우리의 감각으로 느낄 수 없는 추상적인 것들이다.

어떠한 계에서든지 거시적 양과 미시적 양은 같은 현상의 다른 기술이므로 서로 관련되어야 한다. 특히 거시적 양은 미시적 양으로 표현할 수 있어야 한다. 거시적으로 보면 물질의 온도는 온도계를 사용하여 측정할 수 있다. 미시적으로는 물질을 구성하는 입자들의 운동에너지와 연관되어 있다. 이와 같이 물질의 열적 현상을 거시적으로 나타내는 열역학적인 법칙은 정량적으로 통계적인 언어로써 표현되어진다.

2) 고체, 액체, 기체

물질은 보통 고체, 액체, 기체의 세 상태 중 한 가지 상태로 존재하는 것으로 분

류된다. 일상적인 경험에 의하면 고체는 일정한 부피와 모양을 가지고 있다는 것으로, 액체는 일정한 부피는 가지고 있지만 일정한 모양을 가지고 있지 않다는 것이며, 그리고 기체인 경우는 부피와 모양이 모두 일정하지 않다는 것이 거시적인 관점이다.

모든 물질은 원자나 분자라는 입자의 어떤 분포로 구성된다는 미시적인 관점에서 보면, 고체물질은 구성입자들의 배열이 규칙적인 주기성을 가진 결정성 고체물질(crystalline solid matter)과 불규칙적인 배열의 비결정성 고체물질(amorphous solid matter)로 분류할 수 있다. 이러한 고체물질에서 그 구성입자들이 전기적인 상호작용에 의해 서로 일정한 위치에 거의 고정되어 있으며 각각 평균적인 위치에서 진동하며, 온도가 낮아질수록 그 진동이 더 작고 입자들은 일정한 위치에 고정된다고 볼 수 있다. 고체물질에 열이 가해지면 입자의 진동의 진폭이 커지게 된다. 진동하는 입자는 이웃하는 입자들과의 전기적인 힘의 평형을 깨뜨려, 이에 따른 상호작용의 과정으로 이웃하는 입자들이 진동하게 된다. 이들은 마치 용수철에 의해 서로 연결되어 있는 것처럼 연쇄적으로 진동이 전달된다.

같은 물질일 경우 액체물질은 고체물질보다 높은 온도에서 생긴다. 액체물질에서는 구성입자간의 전기적인 힘이 구성입자를 일정한 위치에 고정시킬 수 있을 만큼 충분히 크지 않기 때문에 구성입자들은 액체 속에서 불규칙하게 운동한다. 고체물질이나 액체물질을 압축시키면 구성입자간의 강한 반발력이 내부적으로 생겨 그 부피를 유지하려 한다.

기체물질에서는 구성입자들이 불규칙하게 운동하며 구성입자간의 힘이 매우 약하다. 기체물질의 구성입자 간의 평균적인 거리는 구성입자의 크기에 비해 매우 크다. 때때로 구성입자들이 서로 충돌하기도 하지만 대체로 구성입자들은 거의 자유롭게 운동하며 입자들간의 상호작용이 없다.

3) 온도와 열

온도의 개념은 뜨겁거나 차갑다는 사람의 감각작용으로부터 유래된다. 그러나 사람의 냉온감각을 정량화 하는 것은 한계가 있으므로 객관적으로 나타낼 수 있는 방법, 즉 온도계의 수치로 그 냉온상태를 나타낸다.

온도가 다른 두 물체가 서로 접촉하면 그 온도들은 서로 같아질 때까지 변화한

다. 즉, 높은 온도의 물체의 온도는 내려가고 낮은 온도의 물체의 온도는 올라간다.

19세기초까지는 이른바 눈에 보이지 않는 열소(caloric)라는 물질이 각 물체 속에 들어 있다고 가정함으로써 이 현상과 이와 관련된 현상을 설명하였다. 즉, 온도가 높은 물체는 온도가 낮은 물체보다 더 많은 열소를 가지고 있다고 믿었으며 두 물체가 접촉하면 온도가 같아질 때까지 온도가 높은 물체에서 낮은 물체로 옮겨간다고 믿었다. 이러한 열소설은 열전도나 열량계 내에서의 물질의 혼합 등을 많은 현상을 만족할 만한 방법으로 설명할 수 있었다. 그러나 이러한 열을 총량이 변하지 않는 어떤 물질로 간주하려는 개념은 결국에 가서는 실험적 사실과 양립할 수 없었다.

온도의 변화는 두 물체 사이에 어떤 형태이든 에너지의 이동 때문에 일어난다. 이 에너지는 내부에너지이다. 내부에너지는 물체를 구성하는 입자 즉 원자 또는 분자의 운동과 관계되는 에너지로서 이동되는 내부에너지를 열이라고 한다. 결국 열이란 오직 온도차에 의해서만 전달되는 에너지이다.

4) 열에 의한 물체의 변화와 열전도

전반적으로 물체의 열에 의한 변화는 물체를 구성하고 있는 입자 즉 원자나 분자들 간의 평균 거리의 변화에 기인한다. 고체의 원자인 경우 보통의 온도에서 그들은 서로 상호작용을 하며 평형위치에서 10^{-10}m 정도의 진폭을 가지고 진동하고 있다. 고체물질의 온도가 증가하게 되면 원자들은 더 진폭으로 진동하게 되고 원자들 간격은 더 큰 진폭으로 진동하게 된다. 결국 고체물질은 전체적으로 팽창하게 된다. 어떤 물체의 열 팽창은 그 물체의 처음의 크기에 비하여 충분히 작다면 크기의 변화는 근사적으로 온도의 변화에 비례한다고 볼 수 있다(Serway 등, 1995).

열에너지는 전도, 대류, 복사의 세 가지 방법으로 한 곳에서 다른 곳으로 전달될 수 있다. 그러나 두 곳의 온도가 같으면 계와 그 주위 사이에 순수한 열전달은 조금도 일어나지 않는다.

고체물질의 구성입자인 분자나 원자는 실온에서 그들의 평형위치에서 진동하고 있다고 할 수 있다. 고체물질 막대의 한 끝을 가열하면 그 근처에 있는 입자들은 점점 큰 진폭으로 진동하게 된다. 이처럼 폭넓게 진동하는 입자들은 이웃하는 입자

와의 상호작용으로 그들의 에너지 일부를 전달하게 된다. 그리하여 점차적으로 막대를 따라서 입자들의 진동 폭이 증가하게 되고 이러한 현상이 막대의 끝에 이루어진다. 이와 같이 고체물질 내의 열전달을 구성입자의 상호작용에 의한 것으로 설명할 수 있지만 열전도율은 물질의 성질에 의존한다. 이러한 고체물질에서 열의 전달되는 방식을 열전도(heat conduction)이라고 한다.

일반적으로 금속은 열의 양도체이고 석면, 유리, 코르크, 종이 같은 물질은 부도체이다. 금속이 양도체인 것은 금속 내에서 상대적으로 자유로이 이동하며 한 영역에서 다른 영역으로 에너지를 전달할 수 있는 자유전자가 다수 있기 때문이다. 구리와 같은 열의 양도체에서는 구리이온들의 진동이나 자유전자의 운동을 통하여 열전도가 일어난다.

액체물질이나 기체물질에서는 구성입자간의 전기적인 힘이 구성입자를 일정한 위치에 고정시킬 수 있을 만큼 충분히 크지 않거나 거의 없기 때문에 구성입자들은 액체물질이나 기체물질 내에서 불규칙하게 운동하게 한다. 이들의 운동을 분자운동론을 기초하여 똑같이 취급하는데 정량적인 해석은 무리가 따르나, 내부에너지가 그 구성입자들의 운동에너지로 되어 있다는 개념은 이들에 관한 여러 성질을 이해하는데 큰 도움이 된다(Borowitz 등, 1983).

액체물질나 기체물질에서 온도가 높은 물체에 접촉된 구성입자들은 이로부터 에너지를 받아 운동을 하게 된다. 그리고 운동하는 도중 다른 구성입자들과 탄성충돌에 의하여 그들의 에너지의 일부를 전달하여 다른 구성입자들을 운동하게 한다. 구성입자들은 평균적으로 온도가 낮은 물체 쪽으로 운동하거나 충돌이 없을 때는 그들 자신이 온도가 낮은 물체에 이동하게 되며, 결국 낮은 온도의 물체와 충돌하게 되어 그들의 에너지 일부를 전달하게 된다. 이러한 액체물질이나 기체물질에서 열의 전달되는 방식을 열대류(heat convection)이라고 한다.

IV. 과학비유탐구놀이학습 프로그램

1. 비유개념의 조작

본 연구에서는 고체물질을 구성하는 원자나 분자를 학습자들 그 자신들로 열에너지

지를 작은 공으로 조작적으로 정의하고, 그리고 그 이외에 이들에 수반되는 모든 개념들을 비유적 추리과정을 통하여 목표영역에 대응되는 구체적 내용으로 하는 비유영역을 형성한다.

1) 비유영역의 형성

'물질을 구성하는 분자나 원자를 학생 각 자신으로 정의한다'와 '열에너지는 작은 공으로 정의한다'라는 물질의 구성과 열에 대한 조작적 정의를 전제로 고체물질의 속성과 열을 수반하는 이들에 대한 현상을 목표영역으로 한 비유영역을 <표 1>과 같이 형성할 수 있다.

2) 비유의 한계에 대한 논의

목표영역에 대응되는 비유영역의 각 비유의 한계에 대해서 학생들과 충분한 논의가 이루어져야 한다. 만일 열에너지를 테니스공이나 탁구공 같은 구체물로 조작적 정의를 하는 과정에서 학생들이 열을 물질적인 실체(김현재 등, 1990; 서울대 물리학습연구실, 1993)로 인식하여 잘못된 개념으로 이끌 수도 있고(Rumelhart 등, 1981), 잘못된 선개념을 강화시킬 수 있다. 그러므로 목표영역의 열에너지의 속성에 대응되도록 비유영역에서의 구체적인 비유물에 대한 비유의 한계에 대해서 학생들과 충분한 논의가 되어야 한다.

물질과 열에 대한 과학비유탐구놀이 학습에서 다음과 같은 비유의 한계는 다음과 같다.

- (1) 물질을 구성하는 분자나 원자로 비유화된 학생들은 신체, 체력, 기술적인 면에서 실제 차이가 있을지라도 모두 같다고 간주한다.
- (2) 열에너지로 비유화된 작은 공은 실제 볼 수 있고 만질 수도 있으며, 그 질량, 무게, 부피 등을 측정할 수 있는 구체물이지만, 에너지의 속성에 따라 볼 수도 없고 보이지도 않고 질량, 무게, 부피 등도 없는 비물질로서 이를 갖고 있는 학생의 거동이나 이에 상응되도록 정의된 온도 등으로서만 나타낼 수 있다.
- (3) 비유화된 영역인 놀이에서 측정되는 공의 이동거리, 이동시간, 이동속도는 실제 열의 이동거리, 이동시간, 이동속도가 아니며, 다만 이들로부터 비유적

추리과정나 반성적 사고과정을 거쳐 목표영역의 속성을 이해하기 위한 것이다.

〈표 1〉 고체물질의 구성과 열전도에 대한 목표영역과 비유영역

목 표 영 역	비 유 영 역
1. 고체물질의 구성입자들이 일정한 위치에 존재한다.	1. 사각형 내의 학생들은 일정한 점에 위치한다.
2. 에너지를 갖고 있지 않은 구성입자들은 일정한 위치에 고정되어 있다.	2. 공을 갖고 있지 않은 학생은 일정한 위치에서 움직일 수 없다.
3. 실온에서는 이에 해당하는 에너지를 갖고 구성입자들은 가지고 고정된 위치에서 평균적인 범위에서 진동한다.	3. 공을 1개를 받은 학생들은 일정한 위치에서 공 1개에 해당하는 행동 범위, 즉 1보 이내의 범위에서 움직일 수 있다.
4. 열은 온도차에 의하여 이동되는 에너지이다.	4. 공은 많은 쪽에서 작은 쪽으로 운반해야 한다.
5. 고체물질의 한 끝에 열에너지가 가해지면 부근의 입자들의 진동의 진폭이 커지게 된다.	5. 사각형의 한 끝으로부터 공을 받아 2개의 공을 가진 학생들은 2보 이내의 범위를 움직일 수 있다.
6. 폭 넓게 진동하는 입자들은 이웃하는 입자와의 상호작용으로 그들의 에너지 일부를 전달하게 된다.	6. 2보 이내의 범위에서 움직이는 학생들은 접촉할 수 있는 이웃하는 학생들에게 한 개의 공을 전달할 수 있다.
7. 점차적으로 가열하는 부근에서 멀리 있는 입자들의 진동 폭이 증가와 주위의 입자와의 상호작용에 의하여 에너지는 더 멀리 있는 입자에게 전달된다.	7. 점차적으로 공의 공급원으로부터 멀리 있는 학생들의 운동범위의 확장파 이웃하는 학생들과의 접촉이 일어나는 과정에서 공은 멀리 있는 학생들에게 전달할 수 있다.

2. 과학비유탐구놀이학습의 구성 원칙

과학비유탐구놀이학습은 단순한 놀이가 아니라 과학학습의 한 과정이기 때문에 놀이의 흥미로움과 과학의 탐구적인 면이 이상적으로 결합되도록 구성되고 진행되어야 한다.

고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도 개념 학습을 위한 과학비유탐구놀이는 다음과 같은 사항을 고려하여 구성해야 한다.

- 가. 개념의 변화가 일어나도록 구성해야 한다.
- 나. 학생들의 신체·감각적인 능력에 맞도록 구성해야 한다.
- 다. 육체적·정신적 성취를 느낄 수 있도록 구성해야 한다.
- 라. 협력과 경쟁을 바탕으로 학습을 운영할 수 있도록 구성해야 한다.

또한 과학비유탐구놀이는 과학학습의 한 과정으로서 진행되어지므로 그 구성과 진행방법은 탐구로서의 과학이라는 과학의 특성과 학습자의 지적 발달과 학습목표를 고려하여 학생들 스스로 과학적 개념들을 발견하고 체득하는 과정을 통하여 올바른 과학적 태도를 함양할 수 있어야 하고, 또한 학생의 학습경험은 학생의 정보처리 능력과 잘 부합되어야 한다. 따라서 과학비유탐구놀이는 학습자들의 지적 발달단계에 부합되고 과학의 발달에 관한 특성을 고려하여 경험수업 모형, 발견수업 모형, 발견수업 모형을 기초로 그 구성과 진행방법을 구상할 수 있다.

과학비유탐구놀이의 구성과 진행방법은 비유영역의 비유물들의 행동유형과 행동범위를 목표영역의 속성에 대응되도록 정하거나 제한시킬 수 있도록 정해야 한다. 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도의 개념에 대한 과학비유탐구놀이 학습의 기본적인 구성과 방법은 비유영역의 내용들을 근거로 다음과 같이 구상할 수 있다.

1) 고체물질의 구성 개념에 대한 과학비유탐구놀이학습

가. 놀이 목표

- 가) 고체물질의 구성을 입자적 개념으로 이해할 수 있다.
- 나) 고체물질의 구성입자의 운동을 이해할 수 있다.

나. 준비과정

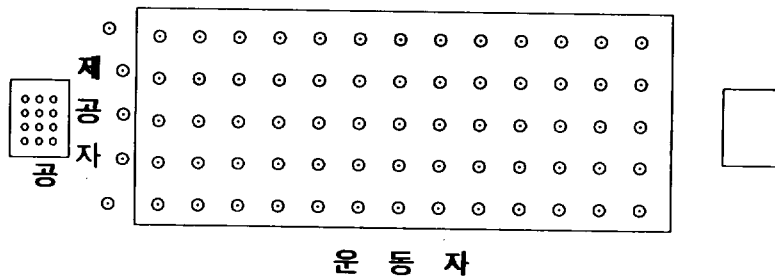
- 가) 작은 공(예로서, 테니스공)들과 이를 담을 바구니를 준비한다.

나) 학급의 인원을 적절한 인원수로 분단을 편성한다.

다) 운동장에 분단의 일부 학생들을 3보 간격으로 오와 열을 맞추어 정렬시킬 수 있는 직사각형을 그리고 학생들의 위치할 지점을 표시한다(그림 1).

다. 놀이의 구성, 규칙 및 방법

가) 놀이의 역할 분담



〈그림 1〉 고체물질의 구성 놀이의 구성

(가) 진행자 : 놀이의 진행을 맡는다.

(나) 운동자 : 직사각형 내의 위치 점에 있는 학생으로 공 1개를 받으면 1보 이내의 범위에서 운동을 해야 한다.

(다) 제공자 : 직사각형의 외부에서 직사각형내의 학생들에게 공을 제공한다.

(라) 기록자 : 공의 개수, 공을 갖고 있는 시간, 움직인 시간 등 필요한 모든 자료를 기록한다.

나) 놀이의 규칙과 방법

(가) 사각형 내에서 운반자가 공을 가지지 않은 상태에서는 전혀 움직일 수 없다.

(나) 사각형 내에서 운반자가 공 1개를 가졌을 때는 1보 이내의 범위에서 계속 움직여야 한다.

라. 놀이의 진행

분단의 학생들이 직사각형 안의 위치점 위에 정렬하게 하고 공을 1개도 주지 않았을 때, 놀이의 규칙에 따라 전혀 움직이지 말아야 한다. 진행자의 신호를 시작으로

로 오랫동안 움직이지 않는 분단이 이기는 것으로 한다. 그리고 위치점에 정렬된 학생들에게 공 1개씩 제공하여 규칙에 따라 진행자의 신호를 시작으로 1보 이내의 범위에서 가장 오랫동안 계속 움직이는 분단을 이기는 것으로 한다.

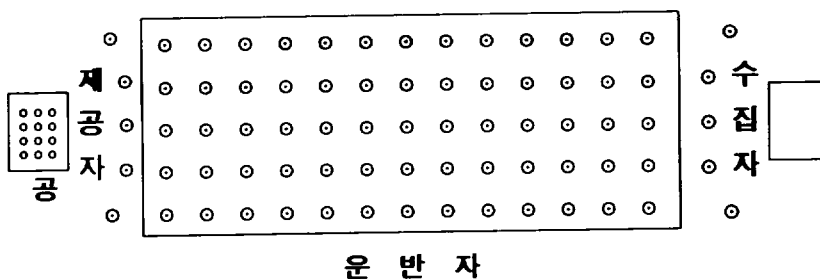
2) 고체물질 내의 열전도 개념에 대한 과학비유탐구놀이

가. 놀이 목표

- 가) 고체물질의 구성을 입자적 개념으로 이해할 수 있다.
- 나) 고체물질 내에서의 열전도를 입자의 운동으로 이해할 수 있다.
- 다) 열적 평형을 이해할 수 있다.

나. 준비과정

- 가) 작은 공들과 이들을 담은 바구니를 준비한다.
- 나) 학급의 인원을 적절한 인원수로 분단을 편성한다.
- 다) 운동장에 분단의 일부 학생들을 3보 간격으로 오와 열을 맞추어 정렬시킬 수 있는 직사각형을 그리고 학생들의 위치할 지점을 표시한다.
- 라) 공이 든 바구니는 직사각형의 한 번 밖에 위치하게 하면 그 마주 보는 변에 빈 바구니를 위치하게 한다(그림 2). 그리고 제공자 쪽의 바구니에 사각형 내의 운반자 수의 3배수의 공을 준비한다.



〈그림 2〉 열전도 놀이의 구성

다. 놀이의 구성, 규칙 및 방법

가) 놀이의 역할 분담

- (가) 진행자 : 놀이의 진행을 맡는다.
- (나) 운반자 : 직사각형 내의 위치점에 있는 학생으로 공을 이웃하는 학생에게 전달할 수 있다.
- (다) 제공자 : 직사각형의 외부의 공 바구니가 있는 변에 위치하여 직사각형내의 운반자에게 공을 제공한다.
- (라) 수집자 : 제공자와 마주한 빈 바구니가 있는 변에 위치하여 직사각형 내의 운반자들에 의하여 전달된 공을 수집한다.
- (마) 기록자 : 공의 개수, 공의 전달시간 등 필요한 모든 자료를 기록한다.

나) 놀이의 규칙과 방법

- (가) 사각형 내의 운반자가 공을 가지지 않은 상태에서는 전혀 움직일 수 없다.
- (나) 사각형 내의 운반자가 공 1개를 가졌을 때는 1보 이내의 범위에서 계속 움직여야 한다.
- (다) 공은 한번에 1개씩만 제공하거나 전달할 수 있다.
- (라) 사각형 내의 운반자가 공 2개를 가졌을 때는 2보 이내의 범위에서 움직일 수 있다.
- (마) 공 2개를 가진 학생은 이웃하는 학생에게만 공 1개를 전달할 수 있으며, 공은 반드시 손으로 건네주어야 하면 던지거나 굴려서 전달해서는 안 된다.
- (바) 공은 많은 쪽에서 적은 쪽으로 운반해야 한다.
- (사) 양 쪽의 바구니와 사각형 내의 공의 수가 이 같아질 때까지만 운반해야 한다.

라. 놀이의 진행

이미 공 1개씩을 가지고 움직이고 있는 위치점에 정렬된 운반자 학생들에게 사각형의 외부에 있는 제공자 학생들이 제공하는 공을 진행자의 신호를 시작으로 규칙에 따라 빈 바구니가 있는 수집자 학생들 쪽으로 운반한다. 이 때 양 쪽의 바구니와 사각형 내의 공의 수가 빨리 같아지는 분단이 놀이에서 이기는 것으로 한다.

V. 연구방법 및 절차

1. 연구대상 및 절차

과학비유탐구놀이 학습방법의 과학교육의 현장에 적용하기 위한 그 선행단계로써 과학비유탐구놀이 학습방법의 효과를 조사를 목적으로 하는 본 연구는 우리 나라 남부지방에 위치한 교육대학교 1학년 학생 48명을 대상으로 하였다. 연구대상의 학생들은 교육대학교 1학년으로서, 대학교에서 물질의 구성과 열전도에 관한 수업을 아직 받은 적은 없지만, 이미 초, 중, 고등학교를 거치면서 물질의 구성과 열전도에 관한 수업을 받은 적이 있어서 나름대로 고체물질의 구성과 고체물질 내에서의 열전도에 대한 개념체계를 형성되어 있다고 볼 수 있다.

본 연구의 목적을 위하여 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다.

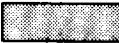

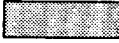

- 1) 연구대상 학생들의 과학비유탐구놀이학습 시행 전후의 고체물질의 구성과 열전도에 대한 사전개념을 조사하기 위하여 검사도구 개발한다.
- 2) 연구대상 학생들의 과학비유탐구놀이학습 시행 전의 고체물질의 구성과 열전도에 대한 사전개념을 조사한다.
- 3) 과학비유탐구놀이학습의 주제에 대한 목표, 준비과정, 구성, 규칙, 진행방법 등과 학습주제의 목표영역과 이에 따른 비유영역을 학습한다.
- 4) 과학비유탐구놀이를 진행한다.
- 5) 연구대상 학생들의 고체물질의 구성과 열전도 개념을 위한 과학비유탐구놀이 학습 후의 개념과 과학비유탐구놀이학습에 대한 태도를 조사한다.
- 6) 연구대상 학생들의 고체물질의 구성과 열전도에 대한 개념을 위한 과학비유탐구놀이학습의 시행 전과 후의 개념의 변화, 과학비유탐구놀이학습에 대한 학생들의 태도를 분석하고 검토한다.
- 7) 기타: 과학비유탐구놀이가 끝난 다음에 놀이에서 겪은 경험들을 비유적 추리와 반성적 사고의 과정을 통하여 새로운 개념의 습득하거나 오개념을 교정하는 단계는 본 연구에서는 실시하지 않았다(현동걸, 1998).

2. 고체물질의 구성과 열전도에 대한 개념조사

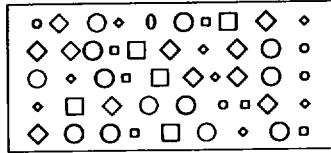
연구대상의 학생들의 과학비유탐구놀이학습 전의 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념과 과학비유탐구놀이학습 후의 개념의 변화를 조사하기 위하여, 본 연구에서는 <표 2>와 같은 설문형의 검사도구를 개발하여 사용하였다.

개발된 검사도구는 육안 관측이 불가능한 물질을 이루고 있는 분자나 원자 규모의 미시세계에 대한 학생들의 생각을 '신기한 안경'이라는 상상적인 도구를 통하여 표현하게 하는 설문지 방법이다. 설문지는 고체물질의 구성과 온도에 따른 구성입자의 운동성, 그리고 고체물질 내에서의 열전도에 대한 개념을 조사하는 모두 4개의 문항으로 구성되어 있으며, 각 문제는 고체물질 내의 미시세계에 대한 생각을 그림으로 표현하고 그 표현에 대한 설명을 요구하는 2-3개의 항으로 되어 있다.

<표 2> 개념 조사를 위한 설문지

고체물질의 구성과 열전도에 대한 개념 파악을 위한 설문	
<p>당신은 지금 당신이 생각하는 모든 것을 볼 수 있는 아주 신비한 안경을 쓰고 있습니다. 이 설문과정이 끝날 때까지 계속 신비한 안경을 쓰고 다음의 설문들에 응하여 주십시오.</p>	
<p>[1] 아래의 왼쪽 그림은 전형적인 고체의 아주 얇은 판으로, 실온(현재 강의실의 온도)에 놓여 있습니다. 지금 당신이 신비한 안경을 쓰고 있어, 고체의 내부의 모든 것을 자세히 관찰할 수 있습니다.</p> <p>1. 관찰한 고체의 내부 상황을 오른쪽의 사각형 틀 속에 그리세요.</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>2. 위와 같이 그린 이유를 설명하세요.</p>	
<p>[2] 현재 강의실의 온도가 점점 내려가 내려갈 수 있는 최하의 온도인 절대온도 0도에 도달했다고 가정하십시오. 이 최하의 온도에 아래의 왼쪽 그림은 전형적인 고체의 아주 얇은 판이 놓여 있습니다.</p> <p>1. 절대온도 0도에서의 고체판의 내부 상황을 그리세요.</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>2. 위와 같이 그린 이유를 설명하세요.</p>	

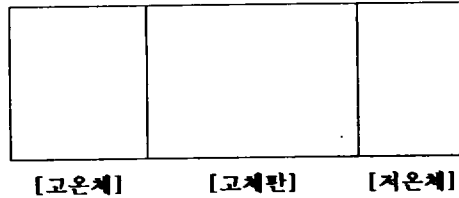
[3] 아래 그림은 한 학생이 신비한 안경을 쓰고 실온(현재 강의실의 온도)에 놓여 있는 전형적인 얇은 고체판의 내부의 상황을 그린 것입니다.



1. 고체 내부의 상황을 바르게 그렸나요?, 아니면 틀리게 그렸나요? '바르다' 또는 '틀리다'라고 생각하는 이유를 설명하세요.
2. 위의 그림에서 여러 모양의 도형들은 무엇을 표현했다고 생각합니까? 그리고 도형들 사이에는 무엇이 있다고 생각합니까?

[4] 얇은 고체판이, 아래의 왼쪽 그림과 같이, 왼쪽에는 섭씨 100도 이상의 높은 온도의 물체(고온체)에, 그리고 오른쪽에는 섭씨 0도 이하의 낮은 온도의 물체(저온체)에 접촉된 상태로 놓여 있습니다.

1. 고체의 내부에서 일어날 수 있는 상황을 오른쪽의 사각형 틀 속에 그리세요.



2. 위와 같이 그린 이유를 설명하세요.

VI. 연구결과 및 논의

1. 고체물질의 구성에 대한 개념과 그 변화

연구대상 학생들의 고체물질의 구성에 대한 과학비유탐구놀이 학습 전과 후의 개념의 파악은 개념 조사를 위한 설문지 <표 2>의 문항들의 응답 결과의 그림과 그 이유로부터 파악이 가능했다. 학생들의 그림 유형을 분석하면, 고체물질의 구성에서 구성입자의 모양에 대한 학생들의 생각은 <표 3>에서 보여주는 바와 같이 '같은 크기의 원들'로, '여러 크기의 원들'로, 그리고 '식물의 세포모양으로 연결된 다각형'

등으로 표현하고 있으며, 그 빈도들은 각각 70.9%, 20.8%, 그리고 8.4%이다. 이들 중 '같은 크기의 원' 유형은 안상면의 물질 구성에 대한 계통도(안상면, 1996)에서 입자적 물질관의 범주로 분류되지만, '여러 크기의 원'과 '다각형' 유형들은 연속적 물질관의 범주로 분류된다. '여러 크기의 원' 유형으로 표현한 학생들은 고체물질의 구성을 마치 콘크리트나 벽돌과 같은 고형의 혼합물의 구성으로 생각하는 오류를 범하고 있다.

이러한 유형들에 대한 명칭은 학생들의 37.5%가 분자로, 29.1%가 원자로, 25.0%가 입자로, 4.2%가 분자 또는 원자(분자/원자)로, 그리고 4.2%가 작은 물체 등으로 <표 4>에서와 같이 부여하고 있다. 이러한 결과는 안상면(1992)의 초등학교 6학년, 중학교 2학년, 고등학교 1학년 등의 학생을 대상으로, 그리고 김도욱(1996)의 초등학교 6학년 학생을 대상으로 기체물질의 구성에 대한 연구에서의 구성 유형을 점, 선, 단색화, 큰 덩어리 등으로 범주화에 비한다면, 연구대상 학생들이 고등학교에서 대학교로 이르는 과정에서 입자적 물질관이 크게 향상되어 있음을 시사한다.

과학비유탐구놀이학습 후의 고체물질의 구성입자의 모양을 '같은 크기의 원'으로 표현한 학생의 빈도는 91.8%로, 학습 전의 70.9%에서 20.9%의 개념의 변화를 보이며, 학습 후 다각형 유형으로 표현하는 학생은 없었다. <표 3>에서 보여주는 바와 같이 실온에서 저온으로 온도의 변화에 따른 고체물질의 구성입자의 모양에 대한 개념의 변화는 나타나지 않았으며, 과학비유탐구놀이학습 후에도 나타나지 않았다. 그러나 학습 후 고체물질의 구성입자에 대한 명칭으로 분자라는 명칭의 사용 빈도는 66.6%로 학습 전의 37.5%보다 29.1%가 증가했다.

<표 3> 고체물질의 구성입자의 모양에 대한 개념의 변화

구 분	학 습 전		학 습 후		
	개 념	빈 도(%)	같은 원	다른 원	기 타
실 온	같은 원	70.9	66.7	4.1	0.0
	다른 원	20.8	16.7	4.1	0.0
	다 각 형	8.4	8.4	0.0	0.0
	계	100	91.8	8.2	0.0
절대온도	같은 원	70.8	66.7	4.1	0.0
	다른 원	20.8	16.7	4.1	0.0
	다 각 형	8.4	8.4	0.0	0.0
	계	100.0	91.8	8.2	0.0

〈표 4〉 고체물질의 구성입자의 명칭에 대한 의식의 변화

학 습 전		학 습 후				
개 념	빈도(%)	입 자	분 자	원 자	분자/원자	물 체
입 자	25.0	12.5	12.5	0.0	0.0	0.0
분 자	37.5	4.2	33.3	0.0	0.0	0.0
원 자	29.1	0.0	16.6	12.5	0.0	0.0
분자/원자	4.2	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0
물 체	4.2	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0
계	100.0	16.7	66.6	12.5	4.2	0.0

고체물질에서 구성입자들의 배열상태에 대한 학생들의 생각은 그림이나 그 이유의 설명으로 파악할 수 있었으며, 학생들의 학습 전후의 개념의 변화는 〈표 5〉에서 보여 주고 있다. 과학비유탐구놀이 학습 전에는 학생들의 고체물질의 배열상태에 대한 생각의 빈도는 실온에서나 절대온도 0도에서나 규칙적인 배열이 79.2%, 불규칙적인 배열이 20.8%의 빈도 등으로 나타났다. 여기에서 논의되는 불규칙적 배열이란 비결정성의 고체물질에서 나타나는 불규칙성의 의미가 아니라, '중력의 영향으로 아래로 갈수록 입자들 사이가 좁아지며....', '온도가 내려가면 입자의 크기가 축소되어....', '위로 갈수록 입자의 크기가 커져....', '온도가 내려가면 입자들이 움푹되어....' 등으로 구성입자들이 중력의 영향을 받거나 그 크기가 변한다는 학생들의 오개념에 기인되는 불규칙적인 배열을 의미한다. 본 연구에서 '전형적인 고체물질'이라는 설문의 조건의 제시 때문인지 비결정성 고체물질에 대한 언급은 없었다.

〈표 5〉 고체물질의 배열상태에 대한 개념의 변화

구 분	학 습 전		학 습 후	
	개 념	빈 도(%)	불규칙적 배열	규칙적 배열
실온상태	불규칙적 배열	20.8	4.2	16.6
	규칙적 배열	79.2	8.2	70.8
	계	100.0	12.4	87.5
절대온도 0도 상태	불규칙적 배열	20.8	4.2	16.6
	규칙적 배열	79.2	8.2	70.8
	계	100.0	12.4	87.5

학습 후에는 규칙적인 배열이 87.5%, 불규칙적인 배열이 12.4%의 빈도로 변화되었으며, 실온에서나 절대온도 0도에서 역시 같은 빈도들이었다. 이러한 실온이나 절대온도 0도에서 빈도가 같음은 대부분의 학생들이 실온에서의 고체의 배열상태가 저온으로 온도가 내려가면서는 그 배열의 규칙성은 변하지 않는다는 생각을 갖고 있다는 것으로 나타났다.

학생들의 그림으로부터 입자간 연결상태에 대한 개념을 실온에서와 절대온도 0도에서, 그리고 학습 전후하여 <표 6>에 나타난 결과와 같이 추출할 수 있었다. 학생들의 입자간 연결상태의 유형들은 '공간', '선', 그리고 '밀착된 상태' 등이었으며, 이러한 유형들의 빈도는 학습 전의 실온에서는 각각 58.4%, 16.6%, 그리고 25.0%이었으나, 학습 후에는 각각 70.8%, 20.8%, 그리고 8.4%로 변화하였다. 절대온도에서의 입자간 연결상태는 학습 전의 각각 50.0%, 20.8%, 그리고 29.2%에서 학습 후에는 각각 66.6%, 20.8%, 그리고 12.6%로 개념의 변화가 있었다.

학생들의 입자간의 연결에 선이나 스프링을 사용하는 것은 분자나 고체의 개념의 학습에서 선이나 스프링을 사용하여 일정한 입자간 간격이나 입자간의 상호작용을 표현하는 분자나 고체의 모형의 영향에서 기인하는 유형으로 생각되며, 입자간의 밀착상태는 연속적인 물질관의 한 유형으로 볼 수 있다.

선에 의한 연결이 공간 유형과 같이 입자론적 물질관의 한 유형으로 범주시킬 때, 실온에서의 입자간 연결상태는 학습 전의 75.0%의 입자적인 물질관의 연결에

<표 6> 고체물질의 입자간 연결상태에 대한 개념의 변화

구분	학 습 전		학 습 후		
	개 념	빈 도(%)	공 간	선	밀 착
실 온	공 간	58.4	54.2	4.2	0.0
	선	16.6	8.3	8.3	0.0
	밀 착	25.0	8.3	8.3	8.4
	계	100	70.8	20.8	8.4
절 대 온 도 0 도	공 간	50.0	41.6	4.2	4.2
	선	20.8	12.5	8.3	0.0
	밀 착	29.2	12.5	8.3	8.4
	계	100.0	66.6	20.8	12.6

대한 개념은 학습 후 91.6%로, 학습 전의 25.0%의 연속적인 물질관의 연결에 대한 개념은 학습 후 8.4%로 변화되었다. 또한 절대온도 0도에서는 각각 70.8%과 29.2%에서 87.4%와 12.6%로 변화했다. 실온에 비하여 절대온도 0도에서 '밀착 상태'의 빈도가 높은 이유는 학생들은 온도가 내려감에 따라 입자들의 움축되어 밀착된 상태에 이른다고 생각하는 것으로 나타났다.

과학비유탐구놀이 학습 전과 후의 고체물질의 구성 입자간 공간에 대한 개념의 파악은 개념 조사를 위한 설문지 <표 2>의 문항 (3)의 응답 결과로부터 학생들의 고체물질을 구성하는 입자간 공간에 대한 개념을 조사하고 그 유형을 분석하였다. <표 7>은 고체물질의 구성입자간의 공간에 대한 개념의 유형들과 과학비유탐구놀이 학습 전후의 그 개념들의 변화를 보여준다.

과학비유탐구놀이 학습 전의 학생들의 고체물질의 구성입자간의 공간에 대한 개념들은 '진공'과, '아무 것도 없다', '비어 있다' 등의 진공상태를 표현하는 과학적 개념을 가진 학생의 빈도가 20.8%로 나타났으며, '공기', '구성입자와 같은 입자', '구성입자와 다른 입자', '인력이나 척력과 같은 힘', '열에너지' 등으로 채워져 있다는 빈도는 각각 8.4%, 20.8%, 20.8%, 25.0%, 그리고 4.2% 등이었다. 이러한 무엇인가로 채워져 있다는 생각들은 연속적 물질관으로 범주화되는 오개념의 유형으로 그 빈도는 79.2%로 나타났다.

과학비유탐구놀이 학습 후의 학생들의 고체물질의 구성입자간 공간에 대한 개념들은 과학적 개념인 '진공'의 빈도가 62.2%로 나타났으며, 힘, 공기, 같은 입자, 다른 입자 등의 오개념 유형에 대한 빈도는 37.8%이며, 세부적인 빈도들은 <표 7>

<표 7> 고체물질의 구성입자간 공간에 대한 개념의 변화

학 습 전		학 습 후					
개 념	빈도(%)	진 공	공 기	같은입자	다른입자	힘	열에너지
진 공	20.8	16.6	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0
공 기	8.4	4.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
같은 입자	20.8	16.6	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0
다른 입자	20.8	12.3	4.2	0.0	4.2	0.0	0.0
힘	25.0	12.5	0.0	4.2	0.0	8.4	0.0
열에너지	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0
계	100.0	62.2	8.4	8.4	8.4	12.6	0.0

에서와 보여준다. 고체물질의 구성입자간 공간에 대한 과학적 개념인 진공의 빈도는 학습 전의 빈도 20.8%에 비해 학습 후 41.4%로 현저한 개념의 변화를 보였다.

실온에서와 절대온도 0도에서 고체물질의 구성입자의 운동성에 대한 학생들의 개념들을 조사하고 분석한 결과를 <표 8>에서 보여준다. 학생들의 고체물질의 구성입자의 운동에 대한 생각들의 표현을 크게 자유운동, 진동, 정지상태로 유형화시켰다. 학생들의 구체적인 표현이 '브라운 운동과 같은 자유스럽게 운동한다', '제멋대로 움직인다', '이동한다', '병진운동을 한다' 등을 자유운동으로, '제한된 범위에서 운동한다', '제자리에서 움직인다', '진동한다', '흔들린다' 등을 진동으로, 그리고 '움직이지 않는다', '고정되어 있다', '정지한다' 등을 정지상태로 그 운동성의 유형들을 분류했다.

과학비유탐구놀이학습 전 실온에서 고체물질의 구성입자의 운동에 대한 개념들은 과학적 개념인 진동상태에 대한 빈도가 16.7%, 오개념인 자유운동의 빈도와 정지상태의 빈도가 각각 12.5%, 70.8%로 나타났다. 절대온도 0도에서는 과학적 개념인 정지상태의 빈도가 83.3%, 오개념인 자유운동과 진동상태의 빈도가 각각 4.2%와 12.5%로 나타났다. 실온에서나 절대온도 0도에서 정지상태의 빈도가 높은 것은 고체물질이 기체물질이나 액체물질과 달리 고정되어 있어 그 흐름이나 운동을 관찰하거나 경험할 수 없고, 단지 직관에만 의존해야 하는 고체물질의 속성 때문인 것으로 생각된다.

<표 8> 고체물질의 구성입자의 운동에 대한 개념의 변화

구분	학 습 전		학 습 후		
	개 념	빈 도(%)	자유운동	진 동	정 지
실 온	자유운동	12.5	0.0	4.2	8.3
	진 동	16.7	0.0	12.5	4.2
	정 지	70.8	8.4	29.1	33.3
	계	100.0	8.4	45.8	45.8
절대온도 0도	자유운동	4.2	0.0	0.0	4.2
	진 동	12.5	0.0	4.2	8.3
	정 지	83.3	0.0	8.3	75.0
	계	100.0	0.0	12.5	87.5

과학비유탐구놀이학습 후에는 실온에서 과학적 개념인 진동상태에 대한 빈도가 45.8%로 학습 전에 비하여 29.1%가 증가를 보이고, 오개념인 자유운동과 정지상태의 빈도들은 각각 8.4%, 45.8%로 감소되었다. 절대온도 0도에서는 과학적 개념인 정지상태의 빈도가 87.5%, 오개념인 자유운동과 진동상태의 빈도는 감소되어, 각각 0%와 12.5%로 나타났다.

2. 고체물질 내의 열전도에 대한 개념과 그 변화

연구대상 학생들의 고체물질의 내에서 열전도에 대한 과학비유탐구놀이학습 전과 후의 개념의 파악은 개념 조사를 위한 설문지 <표 2>의 문항 [4]의 응답 결과의 그림들과 그 이유로부터 파악이 가능했다.

학생들의 그림과 그 이유를 분석하면, 학생들의 열전도에 대한 생각들은 고온체에서 저온체로 열의 일방적인 흐름과, 고온체에서 저온체로 뜨거운 열의 흐름과 동시에 저온체에서 고온체로 차가운 열의 흐름으로, 즉 뜨거운 열의 흐름과 차가운 열의 흐름 대립적인 흐름으로 생각하고 있다.

고체물질 내의 열전도에 대한 학생들의 개념은 학생들은 열전도를 열의 흐름으로 보는 인식에서 고온체에서 저온체로 일방적 전도와 그리고 고온체와 저온체 사이의 뜨거운 열과 차가운 열의 쌍방 대립적 전도의 유형으로 나타났다. 열이 고온체에서 저온체로 일방적인 전도는 과학적 개념, 그리고 쌍방 대립적 개념을 오개념이라 할 수 있다. 쌍방 대립적인 개념 유형을 갖은 학생들의 열전도에 대하여 '고온체 쪽의 고체는 열에 의하여 부피의 팽창, 저온체 쪽은 냉각에 의하여 부피의 수축', '뜨거운 열은 차가운 곳으로 이동해서 ..., 차가운 열은 뜨거운 곳으로 이동해서...', '뜨거운 열전도로 입자간 간격이 넓어지고..., 차가운 열전도로 인하여 입자간 거리가...' 등으로 표현했다.

열의 일방적 전도와 쌍방 대립적 전도에 대한 개념의 빈도와 과학비유탐구놀이학습 후의 개념 변화는 <표 9>에서 보여 준다. 학습 전의 열의 일방적 전도와 쌍방대립적 전도의 빈도들은 각각 29.2%와 70.8%에서, 학습 후 75.0%와 25.0%로, 열의 일방적 전도의 빈도가 46.0% 증가하는 반면 열의 쌍방 대립적 전도는 같은 양의 감소를 보였다.

〈표 9〉 고체물질 내의 열전도 방향에 대한 개념의 변화

학 습 전		학 습 후	
개 념	빈 도(%)	일 방 적	쌍 방 대 립 적
일 방 적	29.2	29.2	0.0
쌍 방 대 립 적	70.8	45.8	25.0
계	100.0	75.0	25.0

학생들은 고체물질 내에서의 열전도를 에너지의 한 전달과정으로써 구성입자의 운동성보다는 열량의 이동으로 보는 경향이 있다. 즉 열전도를 뜨거운 상태의 이동으로 보고 이로 인한 입자간 간격이 넓어짐이나 팽창으로 인한 배열상태의 변화 등으로, 그리고 고온체에서 열이나 열에너지 등으로 표현한 열소설적인 개념으로 물질적 실체의 전달로 설명하고 있다.

고체물질에서의 열전도가 일어나는 미시적인 과정에 대한 학생들의 개념의 유형을 분류하고, 과학비유탐구놀이 학습 전후의 변화를 분석한 결과를 〈표 10〉에서 보여준다. 과학비유탐구놀이 학습의 전에는 열전도의 과정을 고체물질의 구성입자의 배열상태의 변화의 관점으로, 그리고 열소설적인 관점에서 설명한 학생들의 빈도들은 각각 50.0%과 16.7%로 나타났다. 구성입자의 운동으로 설명한 학생들의 빈도는 33.3%로 나타났으나, 이 33.3%중 29.1%의 학생이 마치 액체물질이나 기체물질의 열전도를 설명하는 대류운동과 같이 고체물질의 구성입자가 저온체 쪽으로 병진운동으로 설명하는 오개념을 갖고 있으며, 오직 4.2%의 학생만이 구성입자의 진동을 수반한 상호작용으로 에너지를 저온체 쪽으로 전달한다는 과학적 개념을 갖고 있었다.

〈표 10〉 고체물질의 열전도 미시적 과정에 대한 개념의 변화

학 습 전		학 습 후			
개 념	빈 도(%)	배열상태	병 진	진 동	열 소
배 열 상 태	50.0	16.7	16.7	12.4	4.2
병 진	29.1	4.2	16.7	8.2	0.0
진 동	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0
열 소	16.7	0.0	4.2	8.3	4.2
계	100	20.9	37.6	33.1	8.4

과학비유탐구놀이 학습 후에는 열전도 과정을 구성입자의 운동성으로 설명하는 학생들의 빈도는 70.7%로 증가한다. 그러나 이 70.7%중 33.1%의 학생만이 구성입자의 진동으로 고체물질의 열전도를 설명하지만, 학습 전의 4.2%의 빈도에 비하면 현저히 증가된 빈도이다.

3. 과학비유탐구놀이 학습 전후의 개념 변화의 분석

과학비유탐구놀이 학습 전후의 연구대상 학생들의 개념들을 변화와 고수, 그리고 개념의 이동의 관점에서 분석하였다. <표 11>과 <표 12>에서 그 분석 결과들을 보여준다. <표 11>으로부터 학생들이 학습 전의 개념들이 과학비유탐구놀이 학습 후 변화되는 양상, 즉 학습 전의 과학적 개념이 학습 후에도 고수(C→C), 학습 전의 오개념이 학습 후에도 고수(M→M), 학습 전의 오개념이 학습 후 과학적 개념으로

<표 11> 고체물질의 구성과 열전도에 대한 개념의 변화율

개 념		변 화 율(%)			고 수 율(%)	
		M→C	M→M'	C→M	M→M	C→C
입자모양	실 온	25.0	0.0	4.2	4.2	66.6
	절대온도 0도	25.0	0.0	4.2	4.2	66.6
배열상태	실 온	16.7	0.0	8.3	4.2	70.8
	절대온도 0도	16.7	0.0	8.3	4.2	70.8
연결상태	실 온	16.6	8.3	4.2	16.6	54.3
	절대온도 0도	25.0	8.3	8.4	16.6	41.7
입 자 간 공 간		45.6	12.6	4.2	20.9	16.7
운동성	실 온	33.4	16.6	4.2	33.3	12.5
	절대온도 0도	12.5	0.0	8.3	4.2	75.0
열 전 도 의 방 향 성		45.8	0.0	0.0	25	29.2
열 전 도 의 미 시 과 정		29.1	29.1	0.0	37.6	4.2
평 균		26.5	6.8	4.9	15.6	46.2
영 역 계		38.2			61.8	

[범례] M: 오개념, M': 다른 오개념, C: 과학적 개념

〈표 12〉 고체물질의 구성과 열전도에 대한 개념의 이동율

개 념		오 개 념(%)			과학적개념(%)	
		M→C	M→M'	M→M	C→M	C→C
입자모양	실 온	85.7	0.0	14.3	5.9	94.1
	절대온도 0도	85.7	0.0	14.3	5.9	94.1
배열상태	실 온	80.0	0.0	20.0	10.5	89.5
	절대온도 0도	80.0	0.0	20.0	10.5	89.5
연결상태	실 온	40.0	20.0	40.0	7.2	92.8
	절대온도 0도	50.0	16.7	33.3	16.7	83.3
입 자 간 공 간		57.9	15.8	26.3	20.0	80.0
운 동 성	실 온	40.0	20.0	40.0	25.0	75.0
	절대온도 0도	75.0	0.0	25.0	10.0	90.0
열 전 도 의 방 향 성		64.7	0.0	35.3	0.0	100
열 전 도 의 미 시 과 정		30.4	30.4	39.2	0.0	100
평 균		62.7	9.3	28.0	10.2	89.8

(범례) M: 오개념, M': 다른 오개념, C: 과학적 개념

변화(M→C), 학습 전의 오개념이 학습 후 다른 오개념으로 변화(M→M'), 그리고 학습 전의 과학적 개념이 학습 후 오개념으로 변화(C→M) 등을 전체적인 관점에서 파악할 수 있다.

과학비유탐구놀이학습 후에도 오개념을 고수하는 비율(M→M)은, 개념에 따라 많은 차이는 있으나, '실온에서의 고체의 구성입자의 운동성'과 '열전도의 미시적 과정'에 대한 개념들에서 각각 33.3%와 37.6%로 비교적 높은 비율이 나타나지만, 그 이외는 25% 이하의 비율들이며, 전체적인 평균은 15.6%로 나타났다. 과학적 개념들에 대한 고수율(C→C)은, '입자간 공간' '실온에서의 고체의 구성입자의 운동성'과 '열전도의 미시적 과정'에 대한 개념들에서 각각 16.7%, 12.5%와 4.2%로 고수율이 낮은 개념들 이외는, 비교적 높으며, 전체적인 평균은 46.2%로 나타났다.

과학비유탐구놀이 학습 후에 오개념에서 과학적 개념으로 변화하는 비율(M→C)은 '입자간 공간'과 '열전도의 방향성'에 대한 개념들에서 약 45%로 비교적 높은 비

올이며, 평균적으로 26.5%의 비율로 나타났다. 오개념에서 다른 오개념으로 개념의 변화 비율($M \rightarrow M'$)은 '열전도의 미시과정'에 대한 개념에서 29.1%의 비교적 높은 비율이 나타나지만 전체적으로 그 평균은 6.8%이었으며, 과학적 개념에서 오개념으로 변화하는 비율($C \rightarrow M$)은 모든 개념들에서 10% 이하의 비율로써, 그 전체적인 평균은 4.9%로 나타났다.

〈표 12〉으로부터 오개념이나 과학적 개념에서 다른 개념으로 이동되는 양상을 그 비율로써 파악할 수 있다. 과학비유탐구놀이 학습 후, 학습 전에 지니고 있는 과학적 개념이 오개념으로 이동되는 비율($C \rightarrow M$)은 전체적으로 25% 이하의 비율이며, 그 평균은 10.2%이다. 이러한 저조한 비율은 상대적으로 학습 전에 지니고 있는 과학적 개념이 학습 후에도 고수하는($C \rightarrow C$) 비율을 높인다. 이러한 과학적 개념의 높은 고수율은 학생들이 학습 전부터 이미 지니고 있는 과학적 개념은 학습을 통하여 강화되거나 심화되었다고 할 수 있는 과학비유탐구놀이 학습의 효과라고 생각할 수 있다. 그리고 학습 전의 오개념이 다른 오개념으로 이동($M \rightarrow M'$)하거나 학습 전의 오개념을 고수($M \rightarrow M$)하는 평균적 비율은 각각 9.3%와 28.0%로써, 그 합이 37.3%이다.

학습 전에 지니고 있는 오개념이 과학적 개념으로 이동되는 비율($M \rightarrow C$), 즉 오개념 교정율은 '열전도의 미시적 과정', '실온에서 구성입자의 운동성', 그리고 '실온에서 구성입자들간의 연결상태' 등에 대한 개념들의 이동율인 30.4%, 40.0%, 그리고 40.0%를 제외하고는 50% 이상의 높은 비율들로써, 그 전체적 이동율의 평균은 62.7%로 나타났다.

이러한 과학비유탐구놀이 학습에 의한 오개념의 교정율 62.7%를 타연구의 결과와 비율적인 면을 고려할 때, 전통적인 수업 후에 조사된 안상면(1992)의 연구결과에서 나타난 27.4%의 오개념 교정율보다는 35.3%가 높은 비율이며, 과학사 수업 후에 김도욱(1996)의 연구결과에서 나타난 50.8%의 오개념 교정율보다 11.9%가 높은 교정율을 보인다. 이러한 결과의 비교는 과학비유탐구놀이 학습방법이 과학적 개념이 아닌 오개념들을 과학적 개념으로 변화시키는데 매우 효과가 있음을 입증하는 것이다. 또한 이러한 결과들은 과학비유탐구놀이 학습방법이 형식적인 사고를 요구하는 추상적인 개념의 학습방법으로써 그 활용도가 높을 것이라는 것을 시사하고 있다.

4. 예비교사의 과학비유탐구놀이학습에 대한 태도

과학비유탐구놀이학습 후에 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 학생들의 태도와 예비교사로서 과학비유탐구놀이 학습방법의 초등학생의 교육현장에 적용할 경우 초등학생들의 예상되는 태도를 설문지를 통하여 조사하였다. 그 결과는 매우 긍정적인 반응을 <표 13>과 같이 보여주었다.

'과학비유탐구놀이 학습방법이 흥미있었는가(흥미도)?' 하는 질문에 대하여 '아주 흥미있었다(아주 높다)' 16.7%, '흥미있었다(높다)' 70.8%, '보통이다' 12.5%, 그리고 '흥미없다(낮다)'라고 응답한 학생은 없었다. '과학비유탐구놀이 학습을 통하여 고체물질의 구성과 고체물질의 열전도에 대한 개념을 이해할 수 있었는가(개념의 이해도)?' 하는 질문에 대하여 '아주 잘 이해할 수 있었다(아주 높다)' 4.2%, '이해할 수 있었다(높다)' 75.0%, '보통이다' 16.6%, 그리고 '이해할 수 없었다(낮다)'라고 응답한 학생의 빈도는 4.2%이었다. 그리고 '과학적 개념을 학습을 하는데 과학비유탐구놀이 학습방법을 적용하고 싶은가(적용 희망도)?'라는 질문에 대하여 '매우 하고 싶다((아주 높다) 25.0%, '하고 싶다(높다)' 62.5%, '보통이다' 12.5%, 그리고 '하고 싶지 않다(낮다)'라고 응답한 학생은 없었다.

과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 초등학교 학생들의 예상되는 태도를 예비교사들에게 질문하였다. '과학탐구놀이 학습방법을 초등학생들에게 적용한다면 그들의 참

〈표 13〉 과학탐구비유놀이학습에 대한 학생들의 반응

(단위 : %)

		매우높다	높다	보통이다	낮다
예비교사	놀이의 흥미도	16.7	70.8	12.5	0.0
	개념의 이해도	4.2	75.0	16.6	4.2
	적용의 희망도	25.0	62.5	12.5	0.0
초등학생	학습의 참여도	50.0	41.7	8.3	0.0
	학습의 흥미도	54.2	37.5	8.3	0.0
	놀이의 이해도	8.3	70.8	16.7	4.2
	개념의 이해도	12.5	75.0	12.5	0.0

여도는 어떻겠는가(초등학생의 참여도)?'라는 질문에 대하여 '아주 높을 것이다' 50.0%, '높을 것이다' 41.7%이며, '보통이다' 8.3%, 그리고 '낮을 것이다'라는 응답은 없었으며, '과학탐구놀이 학습방법을 초등학생들에게 적용한다면 그들의 흥미도는 어떻겠는가(초등학생의 흥미도)?'라는 질문에 대하여 '아주 높을 것이다' 54.2%, '높을 것이다' 37.5%, '보통이다' 8.3%, 그리고 '낮을 것이다'라는 응답은 없었다. '과학탐구놀이 학습방법을 초등학생들에게 적용한다면 그들의 과학비유탐구놀이 자체에 대한 이해도는 어떻겠는가(초등학생의 과학탐구놀이 학습방법 자체의 이해도)?'라는 질문에 대하여 '아주 높을 것이다' 8.3%, '높을 것이다' 70.8%, '보통이다' 16.7%, 그리고 '낮을 것이다'라고 응답한 학생의 빈도는 4.2%이었으며, '과학탐구놀이 학습방법을 초등학생들에게 적용한다면 초등학생들의 학습하고자 하는 과학적 개념들의 이해도 어떻겠는가(초등학생의 개념 이해도)?'라는 질문에 대하여 '아주 높을 것이다' 12.5%, '높을 것이다' 75.0%이며, '보통이다'라고 응답한 학생의 빈도는 12.5%, 그리고 '낮을 것이다'라는 응답은 없었다.

위의 조사 결과는 과학비유탐구놀이 학습방법이 과학교육의 현장에서 교사와 학생들 모두에게 흥미유발과 학습효과 증진에 많은 기여를 할 수 있다는 긍정적인 가능성을 보여주고 있는 것으로 평가할 수 있다.

VII. 결 론

본 연구의 목적은 형식적 조작을 요하는 추상적인 과학적 개념의 학습을 위하여 구안된 과학비유탐구놀이 학습방법을 적용하고 그 효과를 조사하는데 그 일차적인 목적이 있었다. 즉 과학교육의 현장에 과학탐구비유놀이 학습방법의 적용의 선행단계로써, 초등학교 예비교사를 대상으로 고체물질의 구성과 고체물질에 있어서 열전도에 대한 과학탐구비유놀이 학습방법을 적용하고, 이를 통하여 고체물질의 구성과 고체물질 내의 열전도에 대한 개념에 대한 학습효과를 통하여 본 학습방법의 학습효과와, 그리고 오개념을 교정을 위한 한 학습방법으로써 그 효과를 알아보는 것이었다.

학습은 학생들이 학습 전에 이미 나름대로 형성된 개념들과 제공된 새로운 경험

들과의 상호작용을 통하여 그들의 개념체계를 재구성하는 과정이라고 보는 것이 구성주의적인 관점이다. 이러한 구성주의적 관점에서, 학습의 효과는 학습자의 개념 변화의 양과 질로 평가될 수 있으며, 또한 이들은 학습방법에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적인 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 평가의 틀은 자연스럽게 학습의 전과 후의 연구대상 학생들의 개념변화의 양과 질에 대한 검토로 귀결될 수 있었다.

본 연구의 결과를 총괄적으로 논하면, 과학비유탐구놀이 학습 전 학생들이 지닌 과학적 개념의 평균 빈도는 51.1%로 나타났다. 과학비유탐구놀이 학습을 통하여 학생들의 과학적 개념의 평균 빈도가 72.2%로 21.6%가 증가된 것으로 나타났다. 개념의 변화율은 38.2%로써, 이 중 오개념에서 과학적 개념으로 변화의 빈도는 26.5%, 오개념에서 다른 오개념으로 변화의 빈도는 6.8%, 과학적 개념에서 오개념으로 변화의 빈도는 4.9% 등으로 나타났다. 또한 과학적 개념과 오개념의 고수율은 각각 46.2%와 15.6%였다. 그리고 과학비유탐구놀이 학습을 통해서 오개념이 과학적 개념으로의 이동율, 즉 오개념 교정율은 62.7%이며, 과학적 개념에서 오개념으로의 이동율은 10.2%로 나타났다.

본 연구의 과학비유탐구놀이 학습의 오개념 교정율인 62.7%를 타연구의 결과와 비율적인 면을 비교할 때, 전통적인 수업 후에 조사된 안상면(1992)의 연구결과에서 나타난 27.4%보다는 35.3%가 높은 비율이며, 과학사 수업 후에 김도옥(1996)의 연구결과에서 나타난 50.8%보다 11.9%가 높게 나타났다. 이러한 결과의 비교는 과학비유탐구놀이 학습방법이 과학적 개념이 아닌 오개념들을 과학적 개념으로 변화시키는데 매우 효과가 있는 것으로 나타났으며, 또한 과학비유탐구놀이 학습방법이 형식적인 사고를 요구하는 추상적인 개념의 학습방법으로써 그 활용도가 높을 것이라는 것을 시사하고 있다.

과학비유탐구놀이 학습 후 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 학생들의 태도와 초등학교 예비교사로서 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 초등학생의 예상되는 태도에 대한 조사에서, 학생들의 과학비유탐구놀이 학습의 흥미도, 개념의 이해도, 그리고 교육현장에 적용 희망도 등에서 각각 87.5%, 79.2%, 그리고 87.5% 등의 '높다' 이상의 아주 긍정적인 반응을 얻었다. 또한 과학비유탐구놀이 학습방법에 대한 초등학교 학생들의 예상되는 태도의 조사에서, 학습 참여도, 학습 흥미도, 놀이 이

해도, 그리고 개념 이해도 등에 대한 예상 반응도는 각각 91.7%, 91.7, 79.1% 그리고 87.5% 등의 '높을 것이다'라고 나타났다. 과학비유탐구놀이 학습방법이 과학교육의 현장에서 교사와 학생들 모두에게 흥미유발과 학습효과 증진에 많은 기여를 할 수 있다는 긍정적인 가능성을 보여주고 있는 것으로 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김도욱(1991), 물개념의 학습에서 오인을 감소시키기 위한 수업모형의 효과, 서울대학교 박사학위논문, pp.65-113.
2. 김도욱(1995), 연소에 대한 오개념 교정을 위한 과학사 프로그램 적용 효과 - 국민학교 예비교사 대상으로-, 초등과학교육, 한국초등과학교육학회지, 14(2), pp.135-148.
3. 김도욱, 조양숙, 이희순(1996), 초등학교에서 물질관의 오개념 교정을 위한 과학사 프로그램의 적용, 초등과학연구, 한국초등과학교육학회지, 15(2), pp.305-314.
4. 김영희(1988), 국민학교 아동의 지적 발달 수준과 교과 내용의 수준 비교 연구, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 1988.
5. 김현재, 이철이, 채규준(1988), Piaget 사고 유형에 의한 4·6학년 자연과 내용분석", 과학교육, 통권 281호, pp.91-97 ; 통권282호, pp.85-89; 통권 283호, pp.116-122.
6. 김현재, 김한호(1990), 국민학교 아동의 온도 개념 형성에 관한 조사, 한국과학교육학회지, 10(1), pp.95-118.
7. 김현재, 남희정(1997), 물질에 대한 아동의 선개념과 수업효과, 초등과학교육, 한국초등과학교육학회지, 16(1), pp.135-152.
8. 서울대학교 물리학습연구실(1993), 학생의 물리 개념, 물리교육연구자료.
9. 안상면(1996), 입자론적 물질관에 대한 학생들의 개념 조사, 한국교원대학교 석사학위논문.
10. 이원식, 이상온(1979), Piaget의 발달단계이론과 화학교육, 과학교육연구논총, 서울대학교 사범대학 과학교육연구소, 4(1), pp.13-28.
11. 이원식, 최병순, 최원준(1986), 중고등학생들의 논리적 사고형성에 관한 연구 (Ⅱ·Ⅲ), 과학교육연구논총, 서울대학교 사범대학 과학교육연구소, 11(1), pp.17-36.
12. 최재환, 이운환, 김애자(1993), 국민학교 아동의 지적 발달과 자연과 교과서 내용과의 비교, 초등과학교육, 한국초등과학교육학회지, 12(2), pp.127-144.

13. 한문정(1990), 연소와 녹스는 현상에 대한 학생들의 개념 조사, -초·중·고학생을 대상으로, 서울대학교 석사학위논문.
14. 한안진, 김은숙(1996), 초등학교에서 다루어지는 간단한 전기회로 중심으로 한 교육대학교학생의 전기 및 자기의 이해도 검사, 초등과학교육, 한국초등과학교육학회지, 15(1), pp.29-44.
15. 현동걸(1998), 과학적 사고력의 신장을 위한 과학비유탐구놀이 학습방법의 구안, 초등과학교육, 한국초등과학교육학회지, 17(1), pp.61-73.
16. 현동걸(1998), 오개념 교정을 위한 과학비유탐구놀이 학습의 도입에 관한 연구, 제주교육대학교 논문집, 제27집, pp.239-284.
17. Borowitz and Beiser(1983), Essentials of Physics: 일반물리학, 권영대의 역, 서울: 광림사, 1983.
18. Nussbaum(1983), J., Classroom conceptual change: the lesson to be learned from the history of science. In H. Helm and J. D. Novak(eds.), Proceedings of the international Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics, Vol. 1, 272-281.
19. Piaget, J. and Inhelder, B.(1958), The growth of logical thinking from adolescent to childhood, New York: Basic Books Inc..
20. Rumelhart, D. E. and Norman, D. A.(1981), Cognitive skills and their acquisition, J. R. Anderson(ed.), Lawrence Erlbaum Associates.
21. Seeway, R. A. and Faughn, J. S.(1995), College Physics (4th eds.) : 일반물리학, 일반물리학교재편찬위원회 역, 서울: 청문각, 1998.