

물결파의 간섭 현상에 대한 중학생들의 설명 가설 생성을 위한 비유추론 비계 전략의 효과

김원숙, 김영민*

부산대학교

An Effect of Analogy Scaffolding for Middle School Students' Explanatory Hypothesis Generation on Water Wave Interference Phenomenon

Wonsook Kim, Youngmin Kim*

Pusan National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 October 2017

Received in revised form

28 November 2017

8 December 2017

Accepted 15 December 2017

Keywords:

water wave interference,
hypothesis generation, analogy
scaffolding, middle school
student

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the process of development of explanatory hypothesis being generated by middle school students and the factors that affect the process in water wave interference phenomena by analogy scaffolding. For this purpose, the processes on how explanatory hypotheses were generated, revised, and then elaborated by analogy scaffolding were investigated and analyzed. The subjects for the study were 60 eighth grades students in one middle school divided into 12 groups according to their cognitive level measured by GALT. The research findings are as follows: First, it was found that there is a regular pattern in development of explanatory hypothesis by students about water wave phenomenon; second, the cognitive level of the student affected apparently on the students' hypothesis development process, however, it was also observed that students with inferior cognitive level could form a scientific explanatory hypothesis in the second stage of the scaffolding; third, the analogy scaffolding actually helped the students in formulating hypothesis. In conclusion, analogical reasoning can be a meaningful and powerful strategy for secondary school students to formulate explanatory hypothesis.

1. 서론

과학적 가설형성은 과학의 발달에 있어서 필수적인 과정이며, 과학 교육에서도 과학적 탐구과정을 통해 가설 형성 능력을 함양하도록 하고 있다. 그러나 학생들로 하여금 이 과정들을 실제 경험하게 하는 것이 어렵기 때문에 많은 경우 이들 과정에 대해 설명으로 그치거나 탐구 활동에서도 과학적 가설 형성 과정에 대한 실습을 경험하게 하는 경우가 드물다.

과학자들은 많은 경우에 귀추를 통해 가설을 형성한다는 것이 여러 연구를 통해 알려져 있으며 (Hanson, 1958; Lawson, 2002), 그 사례들이 분석되고 정리되기도 하였다 (Kim, 2012, 2017). 예를 들면, Carnot(1824)는 수력기계로부터 귀추하여 Carnot 열기관 동작 원리에 대한 가설을 세웠으며, Galileo는 태양의 흑점을 지구의 구름으로부터 귀추하여 태양 표면의 한 가지 물질일 것이라는 가설을 세운 것 (Drake, 1957)이 그러한 예에 속한다. 또한 학생들의 가설 형성 과정에 대해 분석된 연구들도 많이 있으며 (Park, 2000; Kwon *et al.*, 2003a; Kwon *et al.*, 2003b; Jeong, Won, & Kwon, 2005; Park & Kang, 2006), 비유 추론을 이용하여 과학 개념을 이해시키거나, 비유 추론의 형식과 실천에 대한 연구들도 많다(Kim, 2012). 그러나 학생들의 가설 형성 능력을 향상시키기 위한 학습 전략에 대한 연구는

찾기 어렵다. Clement & Oveido(2003)는 사례 연구를 통하여 수업 과정에서 학생들의 가설형성이 교사에 의해 어떻게 촉진되고 발달하는지를 설명한 바 있다. 중학생들을 대상으로 하는 호홉기 수업에서 학생들에게 순환에 관한 어떠한 정보를 주기 전에 초기 질문을 통하여 초기 설명 모델을 만들도록 하고, 몇 가지 수업 전략을 써서 학생들로 하여금 자신의 설명 모델을 평가하고 수정하도록 하는 활동을 하였다. 이 수업에서는 비유(analogies), 모순된 사건(discrepant events), 직접적인 활동(hands-on activities), 컴퓨터 생성 애니메이션(computer generated animation)과 같은 전략을 사용하여 모형을 수정하도록 하였다. 이렇게 했을 때 학생들의 설명 모델은 수업이 이루어지는 동안 안정적으로 성장했으며 계속적으로 보다 전문가적인 모델로 가까이 가도록 지도함으로써 학생들의 개념 변화를 관찰할 수 있었다. 이는 학생의 개념 변화 과정이 연속적인 수정과 정교화를 통해서 일어난다고 가정된 Park(2002)의 연구와 맥락을 같이 한다. 또한 Clement & Oveido(2003)는 학생들이 Vygotsky의 근접발달영역(ZPD: the zone of proximal development)과 같은 '추론 영역(Reasoning Zone)'에 있게 하는 것이 중요하며, 모든 학생들이 목표 방향으로 생각의 움직임을 만들어 내는 것은 아니지만 추론 영역에서 평가와 수정을 한다면 목표를 향한 과정이 발생할 수 있다고 강조하였다. 비계 전략은 학생들의 사고를 근접발달영역으로 이끌거나 근접

* 교신저자 : 김영민 (minkyu@pusan.ac.kr)

** 본 논문은 김원숙의 2014년도 박사 학위 논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.6.1015

발달영역에 있는 학생들의 목표 개념 형성에 중요한 역할을 할 수 있다. 설명 선행조직자는 새로 학습될 자료의 안정적 정착을 위한 비계 설정 역할을 제공하며(Kwon *et al.*, 2013, p.205), 비유 또한 학습의 여러 단계에서 비계 설정으로서의 역할을 한다. 일반적으로 비계는 어려운 개념을 쉽게 설명하기 위해 설정되지만, 학생들 수준에서는 가설 형성을 수행하기 위해 설정될 수도 있다.

Young(1800, 1801, 1803)은 물결과에서의 간섭 현상을 비유 추론하여 빛의 간섭 현상을 설명하는 설명가설을 생성하였다. Young의 이러한 사고과정을 적용하여 학생들에게 설명 가설 생성 활동의 기회를 제공한다면 내용이 조작적이지도 않으며 새로운 과학개념의 발견을 경험하게 하는 의미 있는 활동이 될 것이다. 이러한 생각에 근거하여 본 연구자들은 Young이 수행했던 비유추론 과정을 학생들로 하여금 수행해 보게 했을 때 학생들이 빛의 간섭 현상에 대해 얼마나 정교하게 가설을 형성하는가를 분석하고, 학생들의 가설 형성 능력 향상을 위한 교수 전략을 모색해 보고자 하였으나, 이 과정에서 한 가지 문제에 봉착하였다. Young이 수행했던 비유추론의 과정을 학생들이 그대로 수행하기에는 어려운 측면이 많이 있다는 점이다. 그 중에 가장 큰 문제는 학생들이 물결과에서의 간섭 현상을 잘 이해하지 못해 그 다음 단계로의 진행이 매우 어렵다는 점이다. 그러므로 본 연구에서는 물결과에서의 간섭 현상 자체를 목표 개념으로 두고 이에 대한 설명가설을 생성해 보게 하는 활동을 통해 물결과에서의 간섭 현상을 이해시키는 방법을 생각하였다. 이 과정 또한 학생들이 수행하기 어렵기 때문에 비유추론을 활용하는 비계 전략을 함께 도입해 보았다. 비유추론을 활용하는 비계 전략이 도입되었을 때 학생들은 물결파의 간섭 현상에 대한 설명 가설을 얼마나 성공적으로 형성하는지를 분석하였다. 이를 위해 학생들이 물결과 간섭 현상에 대한 자신들의 설명가설을 생성한 다음, 이를 계속적으로 수정하고 보완할 수 있도록 하는 수업 과정 모형을 개발하였으며, 이를 중학생들을 대상으로 적용하였다. 이를 통해서 실제 학생들의 설명가설이 변화하고 발달하는 과정을 조사하고 이에 영향을 미치는 요인을 분석하였으며, 학생들의 설명가설이 변화하고 발달하는데 비계 전략이 어떤 역할을 하였는지를 분석하였다.

본 연구에서의 연구 문제는 다음과 같다.

중학생들이 물결파의 간섭 현상에 대한 설명가설을 세우는 수준은 어떠한가?

물결파의 간섭 현상에 대한 중학생들의 설명 가설형성 과정에서 비유추론의 역할은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 B광역시에 소재하고 있는 한 개 중학교에서 ‘빛과 파동’ 내용을 학습한 중학교 2학년 2개 반 60명의 학생을 대상으로 하였다. 가설형성 활동이 인지 수준과 관련이 있다는 선행연구(Park & Kang, 2006)에 기초하여 인지수준별로 가설 생성에 어떠한 차이가 나타나는지 알아보기 위해서 연구 대상 학생들에게 논리적 사고력 검사지(GALT) 원본(Roadranka, Yeany, Padilla, 1983)을 투입하여 인지수준별로 소집단 편성을 하였다. 학생들의 인지수준을 고려하여 4~6명을

1개 조로 하는 이질집단(형식-전환-구체, 전환-구체)과 동질집단(형식적 조작기, 전환기, 구체적 조작기)으로 소집단을 구성하였다. 완성된 프로그램은 12개 조에 적용하였다. 인지수준별 소집단 편성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Small groups according to cognitive level

Cognitive level	Name of group	Number of groups
Formal reasoning	A	1
Transient	B, C, D, E	4
Concrete reasoning	F, G	2
Mixed(Formal-Transient-Concrete)	H, I, J, K	4
Mixed(Transient-Concrete)	L	1
계		12

2. 수업과정 모형 및 수업자료의 개발

Young의 비유추론에 의한 설명가설 형성 과정을 근거로 하여 개발된 초기 수업 과정 모형은 [Figure 1]과 같다. 우선 물결과 투영장치 실험을 통하여 물결파의 간섭현상을 관찰하게 한 다음, 이러한 현상이 왜 일어나는지에 대해 설명해 보게 하였다. 대부분 그 이유를 설명하기 어려워하기 때문에 그 다음으로는 비계전략으로 비유추론 활동을 해 보게 하였다. 우선 물결과 투영에서 밝고 어두운 무늬가 나타나는 이유를 설명해 주고 무아레 무늬를 이용하여 밝고 어두운 무늬가 나타나는 현상을 관찰하게 하고 이로부터 목표 현상의 원인을 유추하게 하는 수업을 계획하였다.

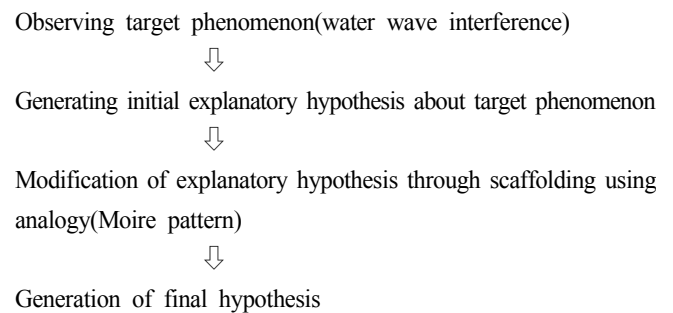


Figure 1. Initial instructional process model

우선 이 모형을 이용한 학습이 의미 있게 적용될 수 있는지를 확인하기 위해 예비 수업과정을 거쳤다. 물결과 투영 실험을 수행하게 하고 그 결과를 해석하는 과정을 4개 학급에 적용하면서 이 과정에서 학생들이 어려워하는 점이 무엇인지를 분석하였다. 그 결과 학생들은 물결과 투영장치에 나타나는 물결파의 상을 보고 파동의 현상으로 인식하는데 시간이 많이 소요됨을 확인하였다. 이를 해소시키기 위해 무아레무늬를 이용한 비유추론을 비계 전략으로 사용하였으나 하나의 점파원에 의한 물결파를 의미하는 동심원 모양의 줄무늬가 있는 OHP 필름을 보고 검은색 동심원 줄무늬와 투명한 동심원 줄무늬가 무엇을 의미하는지 잘 이해하지 못하는 학생들이 상당 수 있었다. 그래서 물결과 투영장치에 나타나는 물결파의 상을 파동으로 이해할 수 있도록 동영상 보여 주었으며, 동심원 모양의 줄무늬가 있는

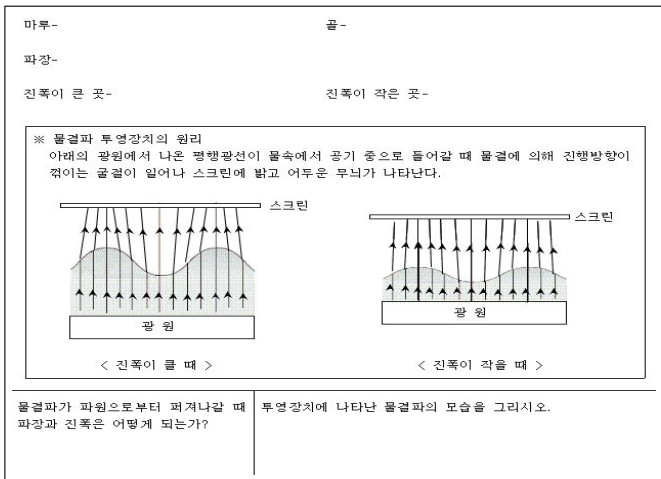


Figure 2. Teaching material for explaining the dark and bright pattern of water wave

OHP 필름의 줄무늬를 파동으로 생각하는 시간을 따로 가질 필요가 있었다. 그 학습 내용은 [Figure 2] 및 [Figure 3]의 활동지에 제시하였으며, 학생들로 하여금 이 활동지를 작성하게 한 후 이에 대해 발표하고 토론하도록 하였다.

물결과 파동에서의 간섭 현상을 보고 설명가설을 생성할 때 학생들의 상당수는 두 파동이 서로 충돌한다는 충돌 개념을 가지고 있음을 알게 되어 이러한 오개념을 중첩의 개념으로 변화시킬 필요가 있었다. 이를 위해서 용수철 실험을 실시하여 두 개의 파동이 서로 만나면 중첩하는 현상을 관찰할 수 있는 단계를 비계 단계로 두어 두 파동이 충돌하는 것이 아니라 중첩하는 현상을 이해하도록 하였으며, 이 단계를 무아레 무늬 비유보다 먼저 두는 것이 효과적임을 확인하였다. 그리고 마지막으로 다른 조의 결과를 비교하여 자신의 모형을 최종 수정하도록 하였으며, 이 단계를 추가하여 비계 설정 단계는 모두 세 단계가 되었다. 학생들의 수준 및 예비 적용 결과를 고려하여 개발

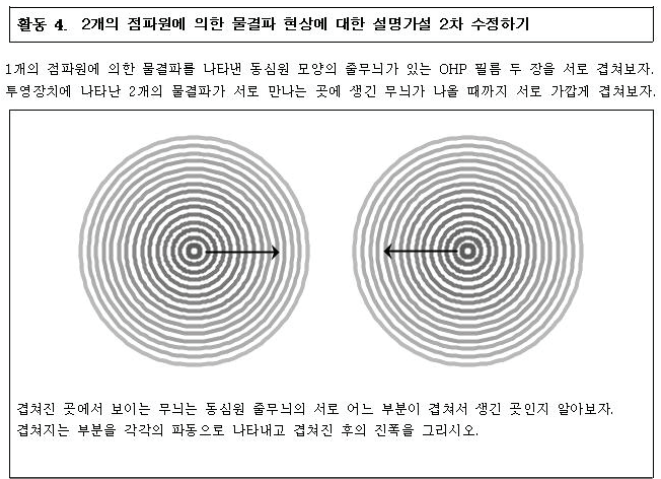


Figure 3. Teaching material for explaining interference pattern of water wave by using Moire pattern

된 수업과정 모형은 [Figure 4]와 같다.

3. 자료 수집 및 분석 방법

학생들이 생성하는 설명가설의 발달 과정을 알아보기 위해서 소집단 별로 작성한 학생들의 활동지를 중심으로 분석하였으며, 활동지에서 서술한 내용 중 명확한 의미 파악이 필요한 부분에 대해서는 비구조화된 사후 면담을 실시하여 자료를 보충하였다. 또한 소집단별로 설명가설을 생성하는 활동 과정 중에 학생들의 질문이 있거나 학생 대화중에 의미 파악이 필요한 경우 학생들과 나눈 대화를 연구자의 녹음기로 녹음하여 이러한 자료도 결과를 분석하는데 활용하였다. 학생들도 설명가설 생성 활동에서의 논의 내용을 스마트폰의 녹음기능을 사용하여 녹음하였다. 그러나 한 학급이 동시에 탐구 활동이 진행되다 보니 다른 조의 소리가 녹음되거나 소음이 많이 들어가고

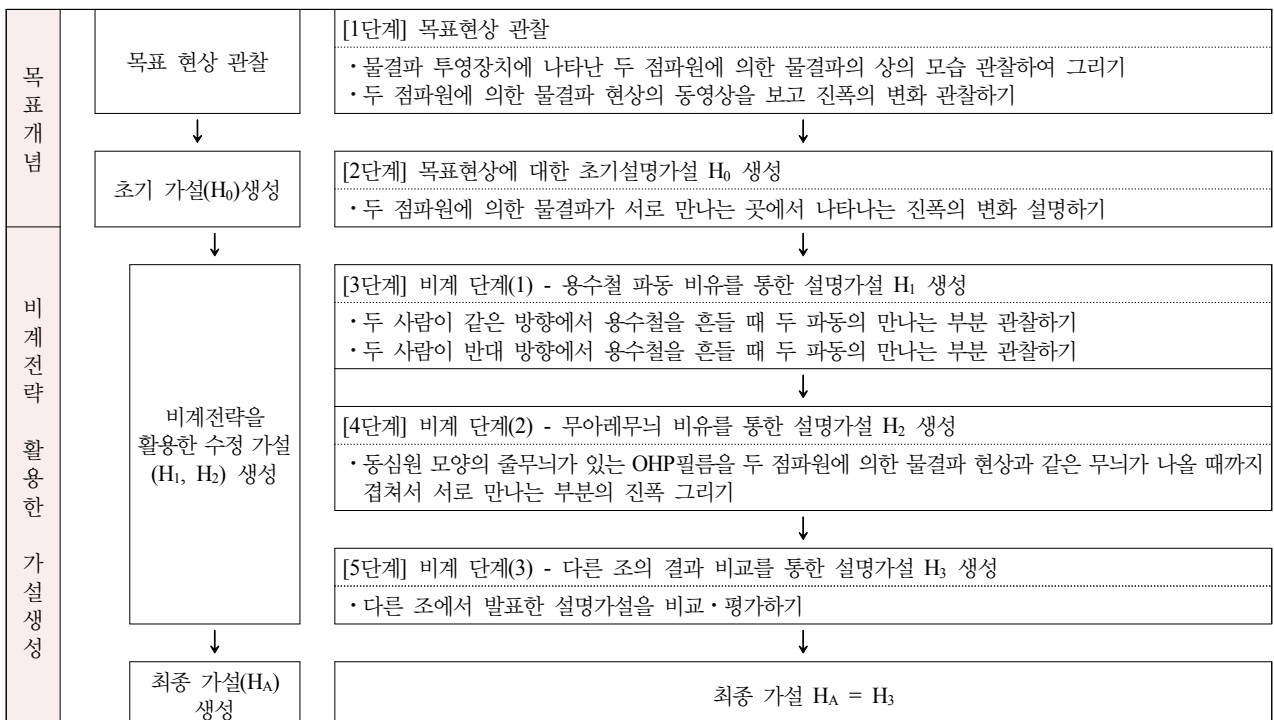


Figure 4. Instructional process model for formulation of explanatory hypothesis about water wave interference

잘 들리지 않는 부분이 있어 일부의 전사내용만 사용할 수 있었다. 연구자는 탐구 활동을 진행하면서 학생들을 관찰하고 기록하여 이러한 내용도 결과를 분석하는데 활용하였다.

III. 연구 결과

1. 목표 현상 관찰 결과

학생들이 물결과 발생장치와 투영장치를 통해서 두 점파원에 의한 물결과 현상을 어떻게 관찰하는지 알아보기 위해서 두 점파원에 의한 물결과 현상을 관찰하여 이를 그림으로 그리게 하였다. 학생들이 물결과 발생장치에서 나오는 물결과와 투영장치의 스크린에 나타난 물결파의 상을 동시에 관측하기를 바랐으나, 거의 모든 학생들이 물결과 발생장치에서 나오는 물결파는 직접 관찰하지 않았으며, 크고 밝은 물결파의 상이 나타나는 투영장치에만 집중하여 관찰하였다.

12개 조의 관찰 그림 중에서 두 점파원에서의 파동 전파를 표현했고, 파동이 만났을 때 변화를 표현한 것들을 <Table 2>에 제시하였다. 관찰 그림 A에 있는 조들은 물결이 겹쳐져서 밝고 어두운 무늬가 나타나는 것을 관찰한 조이고, 관찰 그림 B에 있는 조들은 중첩 현상을 관찰하지 못하고, 진폭이 없는 마디 선만을 관찰한 소집단들이다. 관찰 그림 A에 속한 조 중에는 물결에서 평평한 부분이 골과 마루가 만난 것이라고 관찰 현상을 설명한 소집단(A-5)도 있었다. 두 점파원이 있는 부분만을 주로 관찰한 소집단은 두 점파원이 있는 사이에 일직선이 나타난다고 관찰하거나 볼록렌즈 모양이 나타난다고 관찰하여 마디 선을 관찰하지 못하고 특징적으로 눈에 띄는 모양만을 관찰하였다. 물결과 투영장치의 스크린에 나타나는 상을 관찰하였을 때 대부분의 학생들이 진폭이 없어 상이 생기지 않는 마디 선을 관찰 가능하였지만 진폭이 더 커지는 것은 관찰하기 힘들어 했다. 따라서

두 개의 점파원에 의한 물결과 현상을 투영장치를 통해서만 관찰하기에는 한계가 있으며 본 연구에서는 관찰에서 누락 되는 부분을 관찰할 수 있도록 진폭이 변하는 모습을 시각적으로 보여주는 동영상상을 통해서 보완하였다.

2. 목표 현상에 대한 초기 설명가설 H₀ 생성

두 점파원에 의한 물결과 현상에 대해 학생들이 생성한 초기 설명가설은 <Table 3>과 같다. 두 점파원에 의한 물결과 현상의 초기 설명가설 생성에서 과학적 가설(논리성과 과학 개념을 사용한 가설)을 생성한 소집단은 없었으며, 과학적 가설은 아니지만 나름대로의 설명가설을 생성한 소집단은 9개 조(75%), 현상만 기술하고 설명가설을 생성하지 못한 소집단은 C, E, L, 3개 조(25%)로 나타났다. 현상만 기술한 소집단은 설명가설에 대한 이해가 부족하여 현상에 대한 이유를 쓰기 보다는 현상 자체를 기술한 것으로 보인다. 설명가설을 생성한 내용을 좀 더 구체적으로 분석해 보면, 불완전한 중첩의 원리로 설명한 소집단은 D조 한 개(8%)이며, 막연히 중첩하기(겹치기) 때문이라고 설명한 소집단은 F와 J, 2개 조(17%), 그리고 두 물결파가 충돌하기 때문이라고 설명한 소집단은 나머지 6개 조(50%)로서 많은 학생들이 물결파가 서로 만나면 충돌한다는 개념을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

물결파가 충돌한다는 생각을 보인 I 조의 탐구 활동 중 교사와의 대화 내용은 다음과 같다.

JY : 파동도 반사라는 용어를 써요?

교사 : 반사라는 용어를 쓰냐고? 반사를 어디서 생각하는. 어디가 반사한다는 건데?

JH : 파동이 서로 부딪치면 튕겨나갈 수 있죠?

Table 2. Students' own figures after observing water wave interference phenomenon

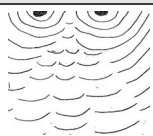
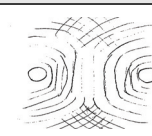
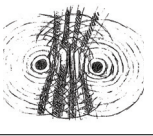
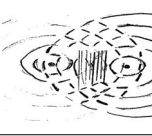
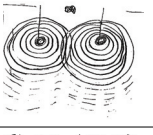
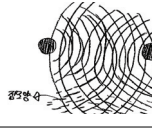

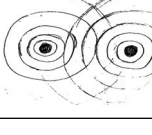


관찰 그림 A	관찰 설명	관찰 그림 B	관찰 설명
1 	체크무늬가 생기고 동시에 체크무늬의 엇갈림으로 직선이 생김	1 	일자무늬, 체크무늬
2 	일자무늬와 둥근 모양의 무늬가 생김	2 	일자모양
3 	점선처럼 띄엄띄엄 있어 사이에 길이 있는 듯 보임	3 	두 물결파가 만나서 럭비공 같은 무늬가 겹쳐 보임. 또 그게 겹쳐서 퍼져나가면서 점처럼 보임.
4 	두 물결파가 각각 오른쪽, 왼쪽으로 움직이면서 겹쳐지는 부분이 사각형 모양으로 나타남.	4 	볼록거울 모양, 물고기 비늘모양
5 	두 물결파가 겹쳐져서 체크무늬가 생기고 물결 두 개(골,마루)가 만나 평평해짐	5 	볼록렌즈 같은 모양이 생김

Table 3. Students' initial explanatory hypothesis(H₀) for explaining target phenomenon

조	인지수준	초기 설명가설 H ₀	특징
A	형식	두 개의 점파원에 의해 생긴 물결파는 처음에는 일정하게 나가다가 서로 만나게 되면 서로의 진행을 방해하여 엇갈리게 나아가게 된다. 두 개의 파동이 만나 서로의 진행을 방해하여 에너지가 줄어들므로 진폭이 줄어든다.	물결파 충돌
B	전환	물결파 두 개가 겹쳐져서 체크무늬가 생기고 물결 두 개가 충돌하여 점점 진폭이 낮아진다.	물결파 충돌
C	전환	진폭은 점점 줄어듦. 끝으로 가면 갈수록 색이 연해지는 걸 보면 진폭이 줄어드는 걸 알. 두 부분이 만나는 곳은 진폭이 일정치 않고 불확실함	현상 기술
D	전환	마루와 마루 골과 골이 만나면 진폭이 커지고 명암차이가 커져서 보이고 마루와 골, 골과 마루가 만나 없어진다. 그래서 무늬가 생김	중첩의 원리
E	전환	파동이 이동하면서 파동으로 이동하던 에너지가 점점 줄어들어 진폭이 작아진다.	현상 기술
F	구체	두 물결파가 만나서 체크무늬를 만든다. 왜냐하면 두 물결파가 겹치기 때문에 반원 두 개가 겹친 체크 무늬가 나온다.	막연한 중첩
G	구체	마루가 서로 부딪혀서 흐릿해지므로 진폭이 줄어든다.	물결파 충돌
H	혼합(형식-전환-구체)	공과 공의 가운데는 두 파동의 충돌로 인해서 진폭이 가장 크고 공쪽으로 갈수록 진폭이 작아지고 중심에서 멀어질수록 진폭이 작아진다.	물결파 충돌
I	혼합(형식-전환-구체)	일정한 속력으로 나아간 2개의 파장이 서로 부딪쳐 휘어지거나 서로 겹쳐져 일정한 무늬가 생긴다.	물결파 충돌
J	혼합(형식-전환-구체)	진폭은 변하지 않고 일정하다. 마루끼리 만나서 겹치게 되기 때문에	막연한 중첩
K	혼합(형식-전환-구체)	양쪽 물결이 서로 만나며 부딪혀 주변물이 흡수되어 진폭이 작아지고 충격이 점점 줄어들어 진폭이 줄어든다.	물결파 충돌
L	혼합(전환-구체)	물결파가 겹치는 부분에 여러 개의 직선이 있다. (파원과 가까운 부분) 중간에 있는 부분은 색이 진하기 때문에 진폭이 좁다. (파원에서 먼 부분) 바깥쪽 부분은 색이 연하므로 진폭이 넓다.	현상 기술

학생들의 충돌에 대한 생각을 확인하기 위해서 학생 JY, 학생 JH와 각각 사후 면담을 실시하였다.

교사 : 두 파동이 만나면 반사하느냐고 물어봤지?
 JY : 네
 교사 : 그건 왜 그렇게 생각했어?
 JY : 반사한다는 것이... 부딪치면 다시 이렇게 퍼져 나갈 수... 부딪치고 다시 이렇게 튕겨서 퍼져나갈 수 있잖아요. 꼭 반사는 아닌데 그냥 반사랑 비슷한 거 같아서
 교사 : 그러면 물결이 만나면 튕긴다고 생각한다는 거지?
 JY : 만나면 다시 예
 교사 : 그렇게 생각하는 무슨 떠오른 이미지 같은 거 있어?
 JY : 튕기면서 체크무늬 같은 것도 생기는 것 아니에요?
 교사 : 두 파동이 만나면 충돌한다는 생각을 할 때 떠오른 이미지가 있어?
 JH : 알갱이는 틈이 있잖아요. 그래서 섞이는데 물결 파동은 틈이 없잖아요. 그래서 부딪힐 것 같아요

학생 JY와 학생 JH는 인지수준이 각각 형식적 조작기와 구체적 조작기에 속하는 학생들이다. 그런데 위 두 대화에서 보면 두 학생 모두 두 파동의 충돌 개념을 가지고 있음을 알 수 있다. 이것을 보면

두 점파원에 의해 생긴 동심원 모양의 물결파가 서로 만나면 충돌한다는 생각은 학생들의 인지수준과는 관계가 없는 선개념일 수 있음을 보여준다. JH의 경우 물결파에는 틈이 없어 물결파가 충돌할 수밖에 없다는 나름의 논리를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 두 점파원에 의한 물결파 현상에 대한 초기 설명가설(H₀)의 인지수준별 분포는 <Table 4>와 같으며 집단 간의 차이는 나타나지 않았다.

3. 비계 설정 단계(1)을 통한 수정 설명가설 H₁ 생성

수업 과정 단계3에서는 학생들에게 파동이 중첩한다는 사실을 알게 하고 파동으로 현상을 설명하도록 도와주기 위해서 비계 전략 활동으로 용수철 파동 실험을 실시하였다. 두 사람이 서로 같은 방향으로 용수철을 흔들어 두 파동이 만나는 부분을 관찰하고 서로 반대 방향으로 용수철을 흔들어 두 파동이 만나는 부분을 관찰하게 하여 진폭의 변화를 알아보도록 하였다. 이러한 활동을 한 후에 생성한 설명가설 H₁을 분석하였으며 그 결과는 <Table 5>와 같다.

이 단계에서 과학적 가설을 생성한 소집단은 1개 조(A)뿐이다. 기대했던 D조(전환기)는 가설에 변화가 없었고 오히려 A조(형식적 사고)가 초기 설명가설에서는 두 개의 물결파가 만나면 서로의 진행을

Table 4. Relationship between initial hypothesis level(H₀) and students' cognition level

초기 설명가설 H ₀	혼합 (형식-전환-구체)	혼합 (전환-구체)	구체	전환	형식	조의 수
중첩의 원리 (과학적 가설)						0(0%)
불완전한 중첩의 원리				D		1(8%)
막연한 중첩	J		F			2(17%)
충돌	H, I, K		G	B	A	6(50%)
생성 못함		L		C, E		3(25%)
계	4	1	2	4	1	12(100%)

Table 5. Change of students' explanatory hypotheses after instructional stage 3

조	H ₀	H ₁	변화**
A*	진폭이 작아짐(충돌)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
B	진폭이 작아짐(충돌)	진폭이 작아짐(마루+골)	+
C	생성 못함	생성 못함	0
D	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 무늬가 열어짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 무늬가 열어짐(마루+골)	0
E	생성 못함	진폭이 커짐(힘의 겹침)	+
F	막연한 중첩	생성 못함	-
G	진폭이 작아짐(충돌)	속도의 다름으로 설명	-
H	진폭이 커짐(충돌)	진폭이 커짐(중첩)	+
I	부딪쳐 휘어짐(충돌)	파동이 겹침(중첩)	+
J	진폭이 변하지 않음(중첩)	진폭이 변함(중첩)	0
K	진폭이 작아짐(충돌)	진폭이 커짐(힘의 겹침)	0
L	생성 못함	무늬가 없어짐(충돌)	+

* 과학적 가설을 생성한 조

** 발전적 변화의 경우 +, 변화가 없는 경우 0, 퇴행적 변화의 경우 -

방해한다는 파동의 충돌 개념을 가지고 있었지만 이 단계의 활동을 한 후에 파동이 중첩한다고 알게 되었으며 마루와 마루, 골과 골이 만나면 진폭이 커지고 마루와 골이 만나면 진폭이 작아진다는 과학적인 설명가설을 생성하였다. 이들의 가설은 다음과 같다. “두 개의 파동에서 시작된 서로 진행하는 방향이 다른 파동이 만나는데 그 만나는 부분이 마루와 마루가 만나거나 골과 골이 만나는 부분은 진폭이 커지만 마루와 골이 만나는 부분은 진폭이 줄어들기 때문이다.” 그 외의 10개 조는 과학적인 설명가설을 생성하지 못했으나 6개 조(B, E, H, I, J, L조)에서는 <Table 5>에서 보는 바와 같이 설명가설의 발전된 변화가 있었다. 초기 설명가설을 생성하지 못한 E조와 L조는

설명가설을 생성하게 되었으며, 파동이 충돌한다고 생각한 B, H, I조는 파동의 중첩으로 설명가설을 생성하였다. J조는 초기 설명가설에서 중첩해도 진폭은 변하지 않는다고 생각하였으나 용수철 파동 실험을 통해서 진폭의 변화를 알게 되었다. 그러나 5개 조(C, D, F, G, K조)에서는 이 활동을 통해서 설명가설의 발전된 변화가 나타나지 않았다. 초기 설명가설을 생성하지 못한 E조는 이 단계의 활동 후에 설명가설을 생성하게 되었으나 진폭이 커지는 이유를 두 파동이 만나서 서로의 힘이 겹쳐졌기 때문이라고 설명하였으며, K조는 힘이 큰 상태의 물결이 서로 만나면 진폭이 커진다고 설명하여 파동에는 힘이 있고 이런 힘이 겹쳐져서 진폭이 커진다고 설명하였다. 이는 용수철

Table 6. Changes in students' explanatory hypotheses after 4th stage of instructional process model

조	H ₁	H ₂	변화**
A*	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	0
B	진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 작아짐(마루+골)	0
C	생성 못함	진폭이 커짐(골+골)	+
D	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 무늬가 열어짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골)	0
E*	진폭이 커짐(힘의 겹침)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
F	생성 못함	진폭이 변함(중첩)	+
G	(속도의 다름)	생성 못함	0
H	진폭이 커짐(중첩)	진폭이 커짐(중첩)	0
I*	(중첩)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
J*	진폭이 변함(중첩)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
K	진폭이 커짐(힘의 겹침)	진폭이 커짐(마루+마루) 진폭이 작아짐(마루+골, 골+골)	+
L	무늬가 없어짐(충돌)	무늬가 없어짐(충돌)	0

* 과학적 가설을 생성한 조

** 발전적 변화의 경우 +, 변화가 없는 경우 0, 퇴행적 변화의 경우 -

을 흔드는 실험을 하면서 힘을 주어 용수철을 흔들었을 때 파동이 생기는 것을 보고 이러한 생각을 하게 된 것으로 보인다. E조는 설명 가설에서 '마루 진폭에 비례하는 만큼 골의 진폭도 작아진다.'고 표현하고 있는데 이는 마루와 반대 방향으로 커진다는 것을 의미하고 있음을 사후에 확인하였다.

4. 비계 설정 단계(2)를 통한 수정 설명가설 H₂ 생성

이 단계에서는 두 점파원에 의한 물결파의 진폭의 변화를 설명하기 위해서 두 물결파가 서로 만나는 부분을 관찰하기 위한 동심원 줄무늬가 있는 투명 OHP 필름을 겹쳐보는 활동(무아래 무늬 관찰)을 하였다. 이러한 활동을 한 후에 생성된 설명가설의 변화는 <Table 6>과 같다.

이 단계에서 과학적 가설을 생성한 소집단은 4개 조(A, E, I, J조)이다. 이 중에서 이전의 단계에서 과학적 설명가설을 생성한 A조를 제외하면 3개 조(E, I, J조)가 이 단계의 활동을 통해서 과학적 설명가설을 생성하였으며, 그 내용은 E조는 “두 파동이 만나 진폭이 커진 부분은 골과 골이 만나고 마루는 마루를 만나 서로 합쳐져서 커지고 파동의 진폭이 작은 부분은 마루와 골이 만나서 진폭의 크기가 줄어들기 때문이다.”라고 설명하였으며, I조와 J조도 유사한 설명을 보였다. 그 외의 8개 조는 과학적인 설명가설을 생성하지 못하였으나 이 중 3개 조(C, F, K조)에서 설명가설의 발전된 변화가 있었다. 초기 설명가설을 생성하지 못한 C조와 F조는 설명가설을 생성하게 되었으며, 두 파동의 힘이 겹쳐져서 진폭이 커진다고 설명했던 K조는 마루와 골이라는 파동의 겹침으로 진폭의 변화를 설명하였다. 그러나 마루와 마루가 중첩되면 진폭이 커진다고 과학적으로 설명하였지만 마루와 골이 만나거나 골과 골이 만나면 진폭이 작아진다고 하여 과학적 가설을 생성하지 못하였다. 5개 조(B, D, G, H, L조)에서는 이 활동을 통해서 설명가설의 발전된 변화가 나타나지 않았다. 초기 설명가설을 생성하지 못한 C조는 이 단계의 활동을 통해서 “골 부분이 서로 만나게 되면 더 깊어져서 어두워 보이고 만나지 않는 마루 부분은 밝게 보여 만나는 부분 안 만나는 부분이 섞여 울퉁불퉁하고 일정하지 않게 보인다.”는 설명가설을 생성하였다. 동심원 줄무늬가 있는 투명 OHP 필름을 서로 겹쳐보는 활동을 할 때 검은 동심원 줄무늬가 서로 겹쳐졌을 때는 색이 진하게 나타나는 것을 보고 골과 골 부분이 서로 겹쳐져서 진폭이 더 커졌다는 것을 이해할 수 있었으나 투명한 줄무늬를 서로 겹쳐졌을 때는 투명하다보니 마루 부분이 만나지 않는다고 생각하게 되어 중첩의 생각이 흐려지는 것을 볼 수 있었고 결국 마루와 마루가 만나서 생기는 진폭의 변화는 설명하지 못했다. 수정 전 탐구 프로그램의 적용에서도 한 조가 동심원 줄무늬가 있는 투명 OHP 필름을 겹쳐보는 활동 후에 다음과 같은 설명가설을 생성하였다. “줄무늬가 진한 부분은 파동 2개가 각각의 마루와 골이 겹쳐서 진폭이 클 것이고, 줄무늬가 희미한 부분은 파동이 1개 밖에 없어서 희미한 무늬가 나오는 듯함”

파동이 1개 밖에 없다는 게 무슨 말인지 알아보기 위해서 활동 이후에 사후 면담을 실시하였으며 그 내용은 다음과 같다.

교사: 이거 좀 설명해 볼래?

교사: (활동지를 가리키며) 여기서 여기는 파동이 두 개고 여기는 한 개밖에 없다는 게 무슨 말인지?

SY: 제가 흰색 부분을 없다고 착각했나 봐요.

교사: 흰색 부분을, 이 투명한 부분이 없다고 생각했다는 거지?

SY: 네

이 조는 면담 후에 자신들이 착각한 사실을 확인하고 수정하여 이후의 활동에서 과학적 가설에 근접한 설명가설을 완성하였다. 이 조의 완성된 설명가설은 다음과 같다:

“줄무늬가 진한 부분은 파동 2개가 완전히 겹쳐서 진폭이 커져 진하게 보이는 것이고 줄무늬가 희미한 부분은 각각의 마루와 골이 만나서 진폭이 작아지기 때문에 희미한 무늬가 나오는 것이다.”

학생들은 동심원 줄무늬가 있는 투명 OHP 필름을 겹쳐보는 활동에서 투명한 줄무늬가 밝은 마루 부분이라는 것을 알면서도 투명하다 보니 파동이 없다고 생각하거나 만나지 않는다고 생각하여 설명가설을 생성하는 것을 볼 수 있어 학생들은 설명가설을 생성할 때 실험 도구의 영향을 받는 것을 알 수 있다.

5. 비계설정 단계(3)을 통한 최종 설명가설 H₃ 생성

이 단계에서는 다른 조에서 발표한 설명가설을 자신의 조에서 생성한 설명가설과 비교 평가하도록 하여 설명가설의 수정을 유도하였으며, 최선의 설명으로서의 가설을 생성하도록 하였다. 이러한 활동을 한 후에 생성한 설명가설의 변화는 <Table 7>과 같다.

이 단계의 활동을 통해서 과학적 가설을 생성한 소집단은 5개 조(A, B, E, I, J조)이다. 이전 단계에서 과학적 설명가설을 생성한 4개 조를 제외하면 1개 조(B조)가 이 단계의 활동을 통해서 과학적 설명가설을 생성하였다. 그 외의 7개 조는 과학적인 설명가설을 생성하지 못했으나 이 중 3개 조(G, H, L조)에서 설명가설의 발전된 변화가 있었다. 초기 설명가설을 생성하지 못한 G조는 설명가설을 생성하게 되었으며, 중첩되어 진폭이 커진다고 설명했던 H조는 마루와 골이라는 파동의 겹침으로 진폭의 변화를 설명하였다. 그러나 마루와 마루가 중첩되면 진폭이 커지고 마루와 골이 만나면 진폭이 작아진다고 하여 과학적으로 설명하였지만 골과 골이 만나면 진폭이 조금 커진다고 하여 과학적 가설을 생성하지 못하였다. 두 파동이 만나면 충돌한다는 설명가설을 생성했던 L조는 중첩의 개념으로 설명가설을 생성하였다. 4개 조(C, D, F, K조)에서는 이 활동을 통해서 설명가설의 발전된 변화가 나타나지 않았다. C조는 이 단계의 활동 후에도 투명한 마루 부분을 여전히 만나지 않는 부분이라고 생각하였으며, 결국 마루와 마루, 마루와 골이 만나서 만드는 진폭의 변화를 설명하지 못하여 과학적 가설에 도달하지 못하였다. D조는 마루와 마루, 골과 골이 만나면 진폭이 커진다고 과학적으로 설명하였지만 마루와 골이 만나서 무늬가 열리는 것을 진폭의 변화로 설명하지 못하여 과학적 가설에 도달하지 못하였다. F조는 이 단계의 활동 후에 중첩하면 진폭이 커지는 것은 알게 되었지만 마루와 골이라는 파동의 만나는 부분으로는 설명하지 못하였다. K조는 마루와 마루가 만나면 진폭이 커지고 마루와 골이 만나면 진폭이 작아지는 것은 과학적으로 설명하였으나 골과 골이 만나면 진폭이 작아진다고 하여 과학적 설명가설에 도달하지 못하였다.

Table 7. Changes in students' hypotheses after 5th stage of instructional process model

조	H ₂	H ₃	변화**
A*	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	0
B*	진폭이 작아짐 (마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
C	진폭이 커짐 (골+골)	진폭이 커짐(골+골)	0
D	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골)	0
E*	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	0
F	진폭이 변함(중첩)	진폭이 커짐(중첩)	0
G	생성 못함	진폭이 변함(중첩)	+
H	진폭이 커짐(중첩)	진폭이 커짐(마루+마루) 진폭이 조금 커짐(골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	+
I*	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	0
J*	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	진폭이 커짐(마루+마루, 골+골) 진폭이 작아짐(마루+골)	0
K	진폭이 커짐 (마루+마루) 진폭이 작아짐 (마루+골, 골+골)	진폭이 커짐(마루+마루) 진폭이 작아짐(마루+골, 골+골)	0
L	무늬가 없어짐(충돌)	(중첩)	+

* 과학적 가설을 생성한 조

** 발전적 변화의 경우 +, 변화가 없는 경우 0, 퇴행적 변화의 경우 -

IV. 결론 및 시사점

잘 알려진 창의적인 과학자들이 가설을 형성한 과정을 학생들로 하여금 그대로 따라 해 보게 하는 활동은 과학자들의 실제적인 가설 형성 활동을 체험해 보게 되고 가설 형성에 대한 실질적인 이해를 가질 수 있다. 그러나 과학자들이 가지고 있는 수준의 과학 지식을 가지고 있지 못하면 가설 형성 과정을 그대로 경험해 보기 어렵고 그 과정이 여러 단계를 거칠 경우 그것을 경험하는 것은 더욱 어렵다. 따라서 본 연구에서는 그러한 과정의 일부를 선정하여 그 과정을 확대하고 당시 과학자는 지식으로 알고 있던 부분을 가설 형성 과정을 통해 학습하게 하는 활동을 전개하였다. 물결과에서의 간섭 현상에 대해 Young은 이미 알고 있는 지식으로 이를 바탕으로 빛의 간섭 현상에 대한 가설을 형성하였지만 학생들은 이 내용을 이해하는 과정이 필요하며 이 과정을 가설 형성으로부터 출발해 보았다. 그 결과 이전의 연구에서는 발견되지 않았던 두 점파원에 의한 동심원의 물결과가 서로 만나면 충돌한다는 학생들의 오개념을 확인하였으며, 현상에 대한 가설 생성을 위해서는 관찰 자체가 정확하고 풍부해야 하는데, 학생들 중에는 물결과가 중첩하는 현상을 잘 관찰하지 못하는 학생들이 상당 수 있었다. 실제 학습 과정에서는 이들의 관찰 결과를 보완해 줄 수 있는 과정이 필요하다. 또한, 두 점파원에 의한 물결과 현상에 대한 설명가설의 발달 과정을 보면 파동이 충돌하는 것이 아니라 중첩한다는 것을 이해해야 하며, 중첩한다는 의미에 있어서는 마루와 마루가 만날 때와 골과 골이 만날 때 두 경우 모두 진폭이 커진다는 것을 이해해야 하며, 골과 마루가 만날 때 진폭이 없어진다는 것을 이해해야 한다. 이렇게 두 점파원에 의한 물결과 간섭 현상에 대한 설명가설의 발달 과정에는 어떤 패턴이 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 학생들의 설명가설 생성 활동에서 인지수준의 영향이 나

타났다. 그러나 전환기 학생들인 경우에는 비계 설정된 단계가 두 단계 이상 진행되었을 때 과학적인 설명가설을 생성하고 있어 형식적 사고 수준이 아닌 전환기에 있는 학생도 과학적인 설명가설을 생성할 수 있음을 확인하였다. 또한, 학생들의 설명가설 생성을 돕기 위한 비유 추론을 활용하는 비계 설정이 상당 수 학생들의 설명가설 생성에 실제로 도움을 주었음을 확인하였다. 이를 바탕으로 좀 더 많은 학생들의 가설 형성 능력에 도움을 줄 수 있는 전략의 개발이 필요해 보인다.

물결파의 중첩 현상은 일상생활을 통해 경험이 가능하지만 물결과 의 간섭 현상은 일상생활에서 경험하기 어렵다. 그래서 실험을 통해 경험하게 되고 이 현상이 간섭 현상인 것은 단순히 설명을 통해서 이해시키기는 어렵다. 이것을 가설 형성 과정을 통해 이해하도록 지도했음에도 최종적으로 과학적 개념을 가지지 못하는 학생들도 있음을 볼 때 이 현상을 설명하는 간섭 개념이 어렵다는 것을 알 수 있으며 이렇게 어려운 물결과 간섭 개념으로부터 비유 추론하여 빛의 간섭을 설명하는 것은 이중의 어려움이 있을 수 있다. 이에 대한 학습 방법에 대한 좀 더 체계적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

국문요약

이 연구의 목적은 물결파의 간섭 현상에 대해 학생들에 의해 생성 되는 설명 가설의 발달 과정과 그 과정에 영향을 미치는 요인들을 조사하는 것이다. 비유 추론 비계 과정을 활용했을 때 학생들에 의해 설명 가설이 어떻게 생성되고, 수정되고, 정교화되어 가는지를 조사 하고 분석하였다. 연구 대상 학생들은 B 광역시의 한 개 중학교에서 표집한 2개 학급 60명이며, 이 학생들을 인지 수준에 따라 12개 조로 소집단 편성하여 활동하도록 하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째,

물결과 현상에 대한 설명 가설의 발달 과정에 어떤 패턴이 있음을 발견하였다. 둘째, 가설의 발달 과정에서 학생의 인지수준의 영향이 분명히 나타났지만, 적절한 비계 전략에 의해 인지수준이 낮은 학생도 설명가설을 형성할 수 있음을 보였다. 셋째, 비유 추론을 활용한 비계 전략은 학생들이 가설을 형성하는 데 실제적인 도움을 주었다. 결론적으로 비유 추론은 중등학교 학생들이 가설을 형성하도록 하는 학습과정에 의미 있는 도구가 될 수 있다.

주제어 : 물결과 간섭, 가설 생성, 비유 추론 비계, 중학생

References

- Carnot, S. (1824). Reflections on the motive power of fire. In E. Mendosa (Ed.) (1988). Sadi Carnot: Reflections on the motive power of fire. New York: Dover Publications, Inc.
- Clement, J., Oveido, M. C. N. (2003). Abduction and analogy in scientific model construction. Proceedings of NARST, Philadelphia, PA, March 23-26.
- Drake, S. (1957). Discoveries and opinions of Galileo. New York: Dobleday Anchor Books.
- Jeong, J-S., Won, H-J., Kwon, Y-J. (2005). Application of the triple abduction model for improving the skills of scientific hypothesis generation, Journal of the Korean Association for Science Education, 25(5), 595-602.
- Hanson, N. R. (1958). Patterns of discovery. (trans: Song, J. and Cho, S., 1995). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kim, Y. (2010). Abductive reasoning and creativity in physics and physics education, New Physics: Sae Mulli, 60(7), 689-701.
- Kim, Y. (2012). Analogy and metaphor in science education and creativity. Seoul: Bookshill.
- Kim, Y., Seo, H-A., Park, J-S. (2017). Problem finding and abduction in science and science education. Seoul: Bookshill.
- 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 on inductive, abductive, and deductive processes. Journal of the Korean Association for Science Education, 23(3), 215-228.
- Kwon, Y-J., Jeong, J-S., Kang, M-J., Kim, Y-S. (2003b). A grounded theory on the process of generating hypothesis – knowledge about scientific episodes. Journal of the Korean Association for Science Education, 23(5), 458-469.
- Kwon, Y-J., Nam, J., Lee, K., Lee, H., and Choi, K. (2013). Science education: From thinking to learning. Seoul: Bookshill.
- Lawson, A. E. (2002). Science teaching and development of thinking. Belmont, CA: Wadsworth/Thomson Learning.
- Park, E. M., Kang, S. H. (2006). The effect of offering similar experience for hypothesis-generation based on abduction. Journal of the Korean Association for Science Education, 26(3), 356-366.
- Park, J. (2000). Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis – focused on the definition and the characteristics of scientific hypothesis. Journal of the Korean Association for Science Education, 20(4), 667-679.
- Park, J. (2002). An analysis of the processes of conceptual change through the successive refinement and articulation of student's conceptual framework – focused on the theoretical discussion-, Journal of the Korean Association for Science Education, 22(2), 357-377.
- Roadranka, V. Yeany, R.H. & Padilla, M.J. (1983). The construction and validation of GALT. A paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching. Dallas Texas.
- Young, T.(1800). Outlines of experiments and inquiries respecting sound and light. The Philosophical Transaction, 1800. In T. Young (1807), A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts. Vol. II., pp. 531-554, London: Printed for Joseph Johnson.
- Young, T. (1801). On the theory of light and colours. The Philosophical Transaction, 1801. In T. Young (1807), A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts. Vol. II., pp. 613-632, London: Printed for Joseph Johnson.
- Young, T. (1803). Experiments and calculations relative to physical optics. The Philosophical Transaction, 1803. In Young, T. (1807). A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, Vol. II, pp. 639-648, London: Printed for Joseph Johnson.