

동료 교수법 기반의 과학교사 연수를 위한 단계형 개념검사문항 개발 -바늘구멍 사진기의 원리 학습을 중심으로-

이지원 · 김종원 · 김규환 · 황명수 · 김종복*

한국교원대학교

Developing Sequential ConcepTests for In-service Science Teachers' Training based on Peer Instruction: Focus on 'Principle of Pinhole Camera'

Lee, Ji-Won · Kim, Jong-Won · Kim, Kyu-Hwan · Hwang, Myung-Su · Kim, Jung-Bog*

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study is to develop sequential concept tests (ConcepTest) for teachers' conceptual change on the straight propagation of light through in-service training of science teachers by peer instruction. We revised the ConcepTests for attaining the goal concept by implementing similar training courses for teachers three times and analyzing the results using both Hake gain and verbal protocol. The final form helped most teachers to reach the goal concept. While teachers are solving a given concept problem test, they had shown not only significant cognitive conflict to select one among candidate answers, but also used the concept obtained through the previous problem. The sequential ConcepTests developed in this study can be useful for training elementary and secondary teachers or pre-service teacher education.

Key words: in-service teachers training, peer instruction, conceptests, pinhole camera, straight propagation of light

I. 서 론

학생들의 성취에 가장 영향을 미치는 변인은 교사이기 때문에(Hansen & Feldhusen, 1994; Weiss *et al.*, 2003), 많은 교사들이 수업의 질적 향상과 전문성 신장을 위해 재교육을 받고자 한다. 재교육의 수단으로 많이 선택되고 있는 것 중 하나는 교사 연수이며, 교사들은 필요에 따라 실험 및 실습, 면대면 강의, 인터넷 강의 등 다양한 형태의 연수를 선택하여 수강한다. 하지만 과학과 교사연수는 실험연수가 주를 이루고 그 외에 과학영재연수, 발명교육연수 등이 이루어지기 때문에(정재훈, 김영신, 2010) 과학적 개념이해를 다루는 연수는 다른 연수들에 비해 상대적으로 부족하다고 할 수 있다. 전문가로서 과학교사가 갖추어야 할 교수내용지식(PCK)이 강조되고 있고 이는 수업 전문성의 핵심이지만(Schulman, 1986; 1987; 조희형, 고영자, 2008), 과학내용지식(SMK) 또한 과학교육에 있어서 기본적인 부분이라 할 수 있음에도 불

구하고 이에 대한 중요성이 경시되는 경향이 있다(곽영순, 2009). 또한 교사들의 개념을 다룬 많은 선행연구에서 교사들이 가진 오개념을 지적하고 있는데(이건호, 1999; 이재봉 등, 2004; 백성혜 등, 2009) 교사 연수는 올바른 과학적 개념으로의 변화를 위한 좋은 수단이 된다.

동료 교수법(Peer Instruction)은 개념이해 측면에서 매우 효과가 큰 교수학습법이다. 동료 교수법은 Harvard 대학의 Eric Mazur에 의해 1991년 개발된 교사-학생, 학생-학생 간 상호작용을 통해 개념을 학습하는 교수법으로(Crouch, 1998; Crouch & Mazur, 2001; Mazur, 1997), 수많은 연구를 통해 그 효과가 검증되었다(김규환, 2012; 이은희, 2011; 이희진, 2011; Cortright *et al.*, 2005; Fagen *et al.*, 2002; Lasry *et al.*, 2008; Lorenzo *et al.*, 2006; Nicol & Boyle, 2003; Rao & Dicarolo, 2000; Turpen & Finkelstein, 2009). Crouch *et al.* (2007)의 연구에 따르면 384명의 교사들 중 약

*교신저자: 김종복(jbkim@knu.ac.kr)

**2012.10.17(접수), 2013.01.15(1심통과), 2013.02.15(2심통과), 2013.02.26(3심통과), 2013.03.02(최종통과)

***이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-327-B00523)

80%가 동료 교수법의 적용을 통해 학생들의 개념이 개선되거나(20%) 확실히 개선되었다고(60%) 응답하였다. 국내에서 중등과학교사를 대상으로 동료 교수법을 적용한 이은희(2011)의 연구는 비전형적 상황의 개념검사문항을 사용하였을 때 개념변화를 일으키는 데 긍정적인 효과가 있었음을 보여주었다.

동료 교수법은 주제에 대한 개념검사문항(ConceptTest)을 제공하고 학생들끼리 서로 자신의 답에 대해 토론하는 수업 방식이다(Mazur, 1997). 개념검사문항의 사용은 동료교수법의 가장 큰 특징으로, 개념검사문항의 특징은 단순히 방정식에 수를 대입해서 풀 수 있는 문제가 아니라 학생들을 사고하도록 만드는 문제를 의미하며(Crouch *et al.*, 2007), 학생들의 오개념 연구를 기반으로 개발된다. 주어진 개념검사문항에 대해 자신의 논리를 펼쳐 다른 사람을 설득하거나, 다른 사람의 이야기를 들으면서 과학적으로 옳은지 그른지를 따져가는 과정을 통해 학생들은 사고를 집중시키고 자신들의 개념에 대한 이해를 고찰하게 된다. 따라서 김종원 등(2012)의 연구에서 교사들이 연수 형태로서 동료교수법을 선호한 이유 중 ‘개념이해에 도움이 된다’는 응답 비율이 높은 것은 이에 따른 결과이다.

동료교수법을 교사연수에서 사용하기 위해서는 교사들의 수준에 맞는 개념검사문항을 출제하는 것이 중요하다. 논리적인 비약이나 개념의 누락 없이 이해할 수 있도록 개념검사문항을 제시하는 순서 또한 중요하다. 동료 교수법과 기존의 소집단 토론 학습이나 협동 학습과의 두드러진 차이는 바로 개념검사문항에 있다. 학습자들은 개념검사문항을 보고 자신이 가지고 있던 개념으로 그 문제 상황을 설명해내야 하며 그 설명을 다른 학습자와 공유한다. 다른 학습자가 가진 의견을 듣고 그 의견의 과학적 논리성을 따지게 된다. 논의가 진행됨에 따라, 그들의 논의는 그들 자신의 이론적 구조 안에서 전보다 더 세련되어져 간다. 따라서 교사 연수에서 동료 교수법을 사용한다면 개념검사문항이 얼마나 잘 개발되었고 배치되었는가가 연수의 성과를 좌우한다고 할 수 있다.

개념검사문항의 개발 원칙은 오개념을 올바른 과학적 개념으로 수정하는 것이다. 개념검사문항은 인지갈등 전략에 바탕을 두고 있다. 학습자들은 개념검사문항과 직면했을 때 자신이 가지고 있는 개념을 명료화하고, 이 개념을 문제 상황에 적용해보는 과정 속에

서 자신의 부족함을 발견할 기회를 얻게 된다. 학습자는 처음 문제를 접했을 때, 문제에 주어진 선택지 중 여러 선택지 중에서 어떤 것을 골라야 할지 갈등한다. 어떤 한 선택지에 대해서 선택의 이유를 자신의 인지구조로 명확하게 설명한다 하더라도 동료 토론 중에 다른 사람이 설명하는 것을 논리적으로 반박하지 못하고 그럴듯하다고 받아들인다면 원래 자신이 가지고 있던 의견과 갈등이 일어나게 된다. 개념검사문항은 학습자에게 이러한 인지갈등이 일어날 수 있는 수준에서 개발되어야 한다.

개발된 개념검사문항을 배치하는 전략으로써, 학습자가 가진 개념에서 출발하여 목표 개념까지 도달해 나가는 단계에 따른 배치를 생각할 수 있다. 많은 연구자들이 단지 인지갈등을 주는 것만으로는 개념변화가 일어나기 어렵다는 점을 지적하였다. 이에 따라 인지갈등을 이용한 개념 변화 과정을 연구하는 많은 연구자들(Chan *et al.*, 1997; Clement, 2008; Limón, 2001; Posner *et al.*, 1982; She, 2002)은 인지갈등 과정과 그 이후의 개념 변화 과정을 이분화하여, 이후의 개념 변화를 위한 적절한 학습 전략을 연구해왔다. Clement(1993)는 과학 학습에서 모순된 상황을 보여주어 자신의 생각과 직접 대비하는 전략 이후에 과학적 개념으로의 변화를 위해 다리놓기 전략을 제안하였다. 다리놓기 전략은 하나의 인지갈등 문항이 다음 단계를 위한 디딤돌이 되어 목표 개념에 단계적으로 도달하도록 돕는 전략이다. 또한 Vosniadou *et al.* (2001)은 개념은 단계적으로 순서에 따라 변화 가능하기 때문에 수업이나 교육과정은 이러한 순서에 맞게 구성하여야 함을 지적하였다. 따라서 동료교수법을 적용한 교사 연수를 위한 개념검사문항은 교사들이 가지고 있던 개념에서 새로운 과학적 개념으로의 변화를 유도할 수 있도록 단계적으로 개발될 필요가 있다.

개념검사문항의 개발과 배치 이후에는 이 문제들이 연수 대상인 교사들의 현재 개념구조와 인지 과정에 맞는지를 확인할 필요가 있다. 문제의 타당도를 검증하기 위해서는 전문가의 검토 뿐 아니라 학습 대상자의 직접적인 의견이 필요하다. Ding *et al.* (2009)은 학습 대상자가 출제자의 의도와 다르게 문제를 해석함을 발견하고, 전문가 검토 이후에 ‘학생 전문가’의 의견을 인터뷰하였다. 이들은 물리 전문가들이 놓친 타당성을 발견하거나, 문제의 표현을 좀 더 알기 쉽도

록 하기 위한 부분을 민감하게 분석해내었다. 이러한 결과는 출제 의도를 학습자가 그대로 받아들이지 못할 수 있으며, 이것은 반드시 학습자의 의견이 반영된 수정 작업이 필요함을 의미한다. 이는 전문가들이 보는 방식이 학습대상자와 다르기 때문인데(Chi et al., 1981), 학습자들에게 문제가 의도한 바를 잘 전달하기 위해서는 학습자들에게 의견을 물어야 한다. 다수를 대상으로 하는 연수를 위한 내용이므로 전문가 검토 이후에 계속적인 수정으로 보완해나가기야 하므로 여러 차례의 투입을 통해 다듬고 수정해가는 과정이 필요하다.

이에 따라 이 연구에서는 교사 연수를 여러 차례 시행하는 동안 개발된 개념검사문항이 교사들의 유의미한 인지갈등을 이끌어 내었는지, 단계형 개념 문제는 개념변화에 효과적이지를 지속적으로 평가하고 모니터링하였으며 이 결과를 바탕으로 개념 변화 정도를 높일 수 있도록 개념검사문항들의 구성과 배치를 계속적으로 수정하였다. 이렇게 개발된 교사들의 빛의 직진에 대한 개념 이해를 도울 수 있는 단계형 개념검사문항을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연수 대상 및 내용

연수의 대상은 다음과 같다. I 광역시의 교육청에서 주관하여 2010년 10월과 11월에 실시한 초·중 과학교사 전문성 신장연수 대상자 중 동부지역 초·중등 합반 42명(초등학교 교사: 23명, 중학교 교사: 19명)과 서부지역 초·중 2개반 61명, 중등 2개반 66명을 대상으로 초기 개념검사문항을 이용한 동료 교수법 형태의 수업을 2시간 동안 진행하여 그 결과를 정리하였다. 3번에 걸친 수정 과정과 투입대상은 표 1과 같다.

표 1
개념검사문항의 수정 과정

투입한 개념검사문항	종류	대상	시기
초기 개념검사문항	과학교사 전문성 신장 연수	초등교사 84명, 중등교사 85명	2010.10-11
첫 번째 수정본	과학교사 전문성 신장 연수	초등교사 11명, 중등교사 49명	2011.7
두 번째 수정본	교육대학원 강의	초등교사 78명, 중등교사 5명	2011.7-8
최종 개념검사문항	과학교사 전문성 신장 연수	초등교사 40명, 중등교사 23명	2011.8-9

교육 대학원 수업도 현직 교사를 대상으로 한 재교육, 즉 연수의 일종으로 보았으며 이때에도 개발된 개념검사문항의 수정이 이루어졌으므로 과정에 포함하였다. 최종적으로 최종 개념검사문항은 2011년 9월 C도의 교육청에서 주관하여 실시한 과학교사 연수에서 초등교사 40명, 2011년 8월 중등교사 23명에게 투입하여 그 결과를 정리하였다.

교사들이 학생들에게 직접 가르쳐야 하는 내용들 중, '어느 정도는 알고 있지만 충분히 이해되지 않은', 혹은 '안다고 생각하고 있지만 오개념이었던' 물리 개념을 교사 연수에서 다루는 것은 교육현장에 매우 필요한 일이고 연수 본연의 목적에도 부합하는 일이다. 따라서 교사 연수에서는 현장에 바로 적용할 수 있으면서 교사들의 오개념이 많아서 개념의 수정이 필요한 내용을 다루어야 한다. 빛 단원은 초, 중등에 반복적으로 나오지만 초, 중등 교사들의 빛 개념 실태에 대해 조사한 선행연구(이건호, 1999; 이재봉 등, 2004; 백성혜 등, 2009)에 따르면 빛 개념 이해에 어려움이 많음이 지적되었다. 이에 따라 동료교수법을 활용한 교사 연수의 주제는 '빛의 직진'으로 설정하였고, 빛의 직진 개념을 초등교사와 중등교사 연수에 함께 적용할 수 있도록 초등 교과서에 제시된 소재인 '바늘구멍 사진기'를 사용하였다. 초등교사의 경우, 빛의 직진에 관한 내용은 교과서에 제시되어 있어 학생들에게 직접 가르쳐야 하는 내용이다. 중학교에서도 광학 내용을 다루고 있는데 빛의 직진은 기본 개념에 해당한다고 볼 수 있다. 이에 따라 초등교사와 중등교사에 함께 적용할 수 있는 개념검사문항을 개발하였다.

2. 연수 프로그램의 진행 순서 및 시간

동료 교수법을 활용한 교사연수의 구체적인 순서는

그림 1과 같다. 학습할 개념에 대한 간단한 강의 후 개념검사문항을 제시한다. 논의 없이 자신의 생각으로 답을 투표한 후 정답률이 30~70% 범위일 때 다른 답을 표시한 사람을 찾아 서로 논의하면서 생각을 정교화하고 수정한다. 정답률이 70% 이상일 때에는 대체로 올바른 개념을 가지고 있다고 보고 다음 단계로 넘어간다. 정답률이 30~70% 범위에 들어서 논의의 과정을 거쳤다면 재투표를 하는데, 대부분의 경우 정답률이 70% 이상으로 올라간다. 본 연구자들은 연수의 효과를 높이기 위해 동료 교수법의 기본 순서에 시범 실험 및 안내된 개별실험과 강사의 설명을 제공하여 개념 이해를 돕는 단계를 추가하였다. 개념검사문항에 대한 초기 정답률이 30% 이하일 때와 상호 토론과 재투표 후 정답을 확인할 때 이 단계를 시행하였다.

이 연수 프로그램은 2시간을 기준으로 만들어졌으며 개념의 변화 정도를 측정하기 위한 사전, 사후 검사 시간 각 5분, 중간 쉬는 시간 10분이 포함되어 있다.

3. 개념검사문항의 개발과 수정

개념검사문항은 빛의 직진과 관련된 것으로 『Tutorials in Introductory Physics (McDermott & Shaffer, 2002)』와 『Peer Instruction (Mazur, 1997)』, Wosilait *et al.* (1998)을 참고로 하였고 동료 교수법 수업 형태로 만들기 위해 선다형 보기를 구성

하였다. 문항의 개수는 2시간의 연수에서 상호 토론 시간을 충분히 줌으로써 개념 변화를 돕는 것과 동시에, 개념변화에 필요한 충분한 문항수를 다루는 것에 중점을 두었다. 연구 참여자인 과학교사들의 경우 1시간당 3~4개 정도의 개념 문제를 인지과부하나 의욕 상실 없이 충분한 상호토론 시간을 가지면서 해결해 나갈 수 있었기 때문에, 문항은 전체 연수 2시간 동안 6개 혹은 7개를 제시하였다.

가. 개념검사문항의 개발 방향

동료교수법을 활용한 교사연수를 위한 개념검사문항의 개발 방향은 다음과 같다.

첫째, 오개념을 바탕으로 인지갈등을 줄 수 있는 문항의 제작이다. 이를 위해 교사들이 가지고 있는 광원에서 빛이 나오는 모습과 구멍 뚫린 가림판이 있을 때 광원에서 빛이 나와 스크린에 도달한 모습에 대한 오개념을 조사하였다. 조사 방법은 두 가지를 사용하였는데, 첫 번째는 광원의 유형과 빛의 진행에 대한 오개념 관련 선행연구를 조사한 것이고, 두 번째는 다른 과학교사 전문성 신장 연수에 참여한 초등교사 35명을 대상으로 두 가지 개방형 질문에 응답한 결과를 분석하였다. 광원에서 빛이 나오는 모습, 구멍 뚫린 가림판이 있을 때 광원에서 빛이 나와 스크린에 도달하는 모습을 질문하였는데 이에 대한 응답 결과와, 이와 같은 결과가 나타난 선행연구를 표 2에 정리하였다.

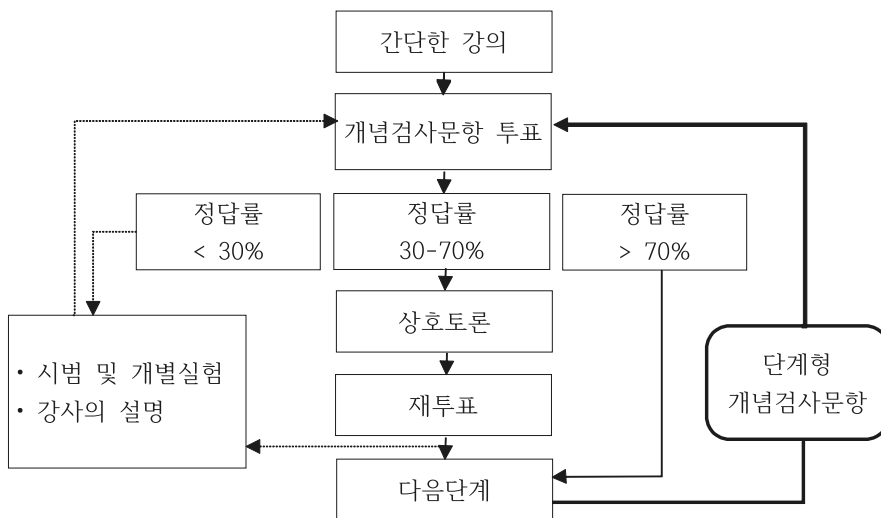










그림 1 동료 교수법을 적용한 교사연수모형

표 2
빛의 진행에 대한 교사들의 오개념

질문	오개념	백분율 (%)	출처
광원에서 빛이 나오는 모습	점광원을 제외한 다른 광원에서는 한 점에서 한 빛만 나온다. 	97	이재봉 등(2004) Gallili & Hazan(2000)
	선광원에서 나온 빛은 광원과 수직방향으로 평행광이 나온다. 	26	이재봉 등(2004) Gallili & Hazan(2000)
	유한크기의 광원은 중심에서 방사형으로 빛이 뿔어나온다. 	97	Gallili & Hazan(2000)
구멍 뚫린 가림판이 있을 때 광원에서 빛이 나와 스크린에 도달하는 모습	광원의 종류와 관계없이 구멍이 있으면 빛이 교차한다. (점광원) 	47	Rice & Feher(1987)
	구멍이 있으면 광원을 향해서 빛이 모인다. (유한광원) 	31	Feher & Rice(1988)
	광원의 종류와 관계없이 빛이 구멍을 통과하면 스크린에 광원의 형태가 뒤집혀 보인다. (점광원) 	97	Rice & Feher(1987)
	광원의 종류와 관계없이 빛이 구멍에 도달하면 구멍의 크기만한 평행광이 통과한다. (유한광원) 	14	Rice & Feher(1987)
	구멍이 렌즈 역할을 하여 빛이 구멍을 통과하면 꺾인다. (유한광원) 	12	Rice & Feher(1987)

둘째, 올바른 과학적 개념으로의 변화를 돕는 단계적 배치로 인지적 다리 놓기이다. 광원과 바늘구멍 사진기에 대한 오개념은 광원에 대한 이해, 즉 광원의 유형과 광원에서 빛이 어떻게 진행되는가에 대한 이해의 부족에서 기인한다. 따라서 개념검사문항을 통해 도달하여야 할 최종 목표는 ‘유한크기의 광원은 점광원의 집합’이라는 개념이다. 이에 따라 오개념을 바탕으로 만들어진 개념검사문항을 배치할 때, 그림 2와 같이 광원의 개수를 점점 늘려감으로써, 광원에 따

라 보이는 모습이 다름을 순차적으로 이해할 수 있도록 하고자 한다.

여기에서 점광원이라는 것은 이상적으로는 점이지만 광학에서는 광원의 크기가 한 파장 정도의 크기일 때를 말한다. 실제적으로는 상호작용하는 물체에 비해 광원의 크기가 매우 작을 때나 광원이 매우 멀리 떨어져 마치 한 점에서 빛이 나오는 것처럼 보일 때 점광원으로 간주 할 수 있다. 따라서 이 연구에서 바늘구멍이나 가림판의 구멍에 비해 꼬마전구의 필라멘

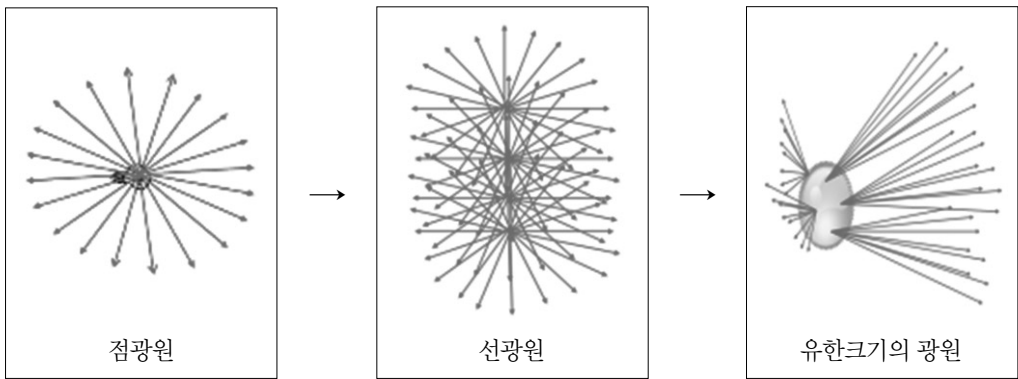


그림 2 광원의 종류를 바탕으로 한 개념검사문항의 배치 순서

트는 매우 작으므로 꼬마전구나 LED를 점광원 취급한다. 선광원은 1차원의 유한크기 광원을 의미하며 여기에서는 선형의 필라멘트를 사용하였다. 유한크기의 광원은 점광원의 집합체를 의미하며 실제로는 입체적이지만 바늘구멍이나 가림판의 구멍에 대해 면으로 작용한다. 즉 이 연구에서는 광원을 점, 선, 면의 단계로 순차적으로 확장하여 제시함으로써, 유한크기 광원이 점광원의 집합이라는 이해에 도달하도록 구성하였다.

나. 초기 개념검사문항

개념검사문항의 개발 방향에 따라 처음 개발된 문제는 총 6개이고 배치 순서에 따라 그림 3에 제시하였다. 첫 번째 문제는 점광원이 2개이고 삼각형 구멍이 1개인 상황이다. 이 문제는 빛이 구멍을 통과하면 형태가 뒤집혀 보인다는 선개념(Rice & Feher, 1987)과 광원이 2개일 때 구멍을 통과한 빛이 모인다는 선개념(Feher & Rice, 1988)을 수정하기 위한 것이다. 두 번째 문제는 점광원이 1개이고 형태가 다른 구멍이 2개인 상황으로, 첫 번째 문제에서 다른 상황, 즉 구멍을 통과할 때 뒤집히거나 모이지 않고 빛이 직진해서 나아간다는 것을 적용할 수 있도록 하기 위해 출제되었다. 하나의 개념에 대해서 다른 맥락에 적용할 수 있는 문제를 제시해서 개념을 적용하는 연습을 하는 것은 새롭게 배운 개념을 적용해보는 과정으로서 매우 중요하기 때문이다(Lee et al., 2011). 세 번째 문제 역시 앞에서 배운 개념을 새로운 맥락에 적용하는 문제로, 거리와 높이가 다른 점광원이 2개이고 구멍이 1개인 상황이다. 거리와 위치가 적용되기 때문에 난이도가 조금 높아진다고 볼 수 있다. 네 번째 문제

는 7차 교육과정 초등학교 교과서(5학년 1학기 빛 단원)에 제시된 것(그림 4)과 유사한 상황으로, 유한 크기의 광원을 위쪽에서 비스듬히 비추었을 때 긴 틈새로 빛이 어떻게 나오는가를 묻는 문제이다. 바닥에 밝게 보이는 부분만 빛의 경로로 생각하는 선개념(김규환과 김종복, 2011)을 수정하기 위한 것이다.

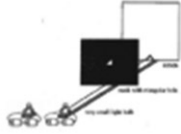


그림 4 7차 초등학교 5학년 빛 단원에 제시된 직진 실험 (교육인적자원부, 2005)

다섯 번째 문제는, 첫 번째부터 세 번째 문제까지와는 광원의 종류를 달리하여 선광원을 다루고 있다. 선광원과 삼각형 구멍 1개의 상황으로 광원의 종류가 선광원으로 바뀌었을 때를 묻는 상황이다. 이는 점광원의 개수가 늘어난 것으로 생각할 수 있는데 이를 통해 바늘구멍 사진기의 원리를 유추해낼 수 있도록 하기 위함이다. 마지막으로 여섯 번째 문제에서 바늘구멍

초기 1번 문제-광원 2개, 구멍1개

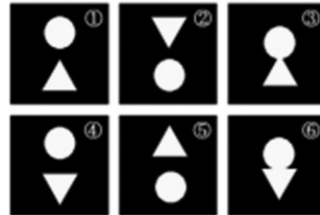
Q1. 삼각형 구멍이 뚫린 그림판 앞에 두 개의 꼬마 전구를 켜고 스크린에 나타난 모습을 보면?



1. 위아래 좌우가 뒤집힌 하나의 큰 삼각형이 나타난다.
2. 위아래 좌우가 뒤집힌 두 개의 삼각형이 나타난다.
3. 바로선 하나의 삼각형이 나타난다.
4. 바로선 두 개의 삼각형이 나타난다.
5. 모르겠다.

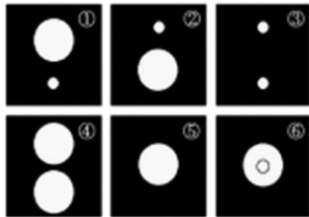
초기 2번 문제-광원 1개, 구멍 2개

Q2. 오른쪽 그림과 같은 상황에서, 스크린 위에 나타난 형태와 가장 가까운 것은?



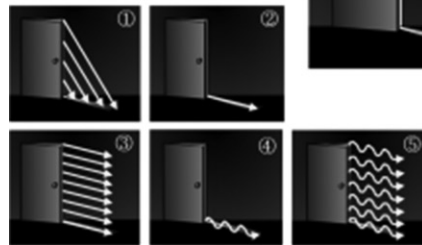
초기 3번 문제-위치 다른 광원 2개, 구멍 1개

Q3. 오른쪽 그림과 같이 가림판으로부터 거리가 다르며 위 아래에 설치된 상황에서, 스크린 위에 나타난 형태와 가장 가까운 것은?(전)



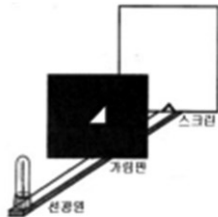
초기 4번 문제-문틈으로 들어오는 빛

Q4. 오른쪽 그림과 같이 조금 열린 문틈으로 빛이 들어왔다. 빛의 진행경로로 올바른 것은?



초기 5번 문제-선광원, 구멍 1개

Q5. 오른쪽 그림과 같이 선광원이 사용된 상황에서, 스크린 위에 나타난 형태와 가장 가까운 것은?



초기 6번 문제-바늘구멍 사진기의 원리

Q6. 바늘구멍 사진기로 물체를 보면 뒤집혀 보인다. 그 이유는 무엇인가?

1. 빛이 직진하기 때문이다.
2. 바늘구멍을 통과하면 빛이 뒤집히기 때문이다.
3. 바늘구멍에서 빛이 서로 꼬이면서 진행방향이 바뀌기 때문이다.
4. 바늘구멍은 카메라의 볼록렌즈와 같은 역할을 하기 때문에, 볼록렌즈에서처럼 도립 실상[거꾸로 된 실상]을 맺기 때문이다.
5. 이 중에 답이 없다.

그림 3 초기 개념검사문항

사진기로 물체를 보면 뒤집혀 보이는 이유를 물음으로써 광원에 대한 개념과 바늘구멍 사진기의 원리를 이해했는지를 최종적으로 점검한다.

다. 수정 방법

개념검사문항의 내용과 배치를 수정하기 위한 첫

번째 방법으로 각 문항별로 토론 전후의 정답률과 Hake gain을 비교하였다. 개념검사문항이 제시되었을 때 학습자 간에 토론을 통한 활발한 상호작용이 일어나는데, 이 상호작용은 학습자의 개념을 명료화하고 과학적 개념으로 변화하게 하는데 도움을 준다 (Mazur, 1997). 따라서 토론 전후의 개념검사문항 정

답률을 살펴보면 학습자의 개념이 토론을 통해 어느 정도로 변화하였는지, 즉 그 개념검사문항이 얼마나 학습자의 개념변화에 도움을 주었는지를 알 수 있다. 또한 토론 전 정답률은 교사들이 가진 초기 개념이 문제를 다룰 수 있는 수준이 되는지를 알려주는 척도가 된다. 따라서 토론 전 정답률이 낮은 문제는 그 앞에 다른 문제를 추가하여 인지적 다리 놓기를 해 주는 방향으로 문제를 수정하였다.

개념검사문항을 처음 제시받았을 때와 토론 후 다시 제시받았을 때의 정답률의 변화 정도가 어느 정도로 의미 있는지를 알아보기 위해서 Hake gain을 사용하였다. Hake(1998)가 소개한 Hake gain은 최고로 도달 가능한 점수의 폭에 대한 실제 변화된 점수의 비를 뜻한다.

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{\text{사후}} \rangle - \langle S_{\text{사전}} \rangle}{100\% - \langle S_{\text{사전}} \rangle}$$

g 값은 수업이 얼마나 효과적인가를 나타내는 척도이다. 이는 사전 정답률이 얼마인지에 관계없이 표준적인 값을 보여주기 때문에 비교집단 없이 한 집단 내의 변화 정도를 알아볼 수 있다. 보통 0.7이상이면 우수한 수준이고, 0.3에서 0.7까지는 보통 수준이고 0보다 크고 0.3보다 작은 경우는 낮은 수준의 변화를 의미한다(Hake, 1998). 음의 값으로 나타나는 경우는 토론 이후에 점수가 떨어지는 경우이다. 또, $S_{\text{사전}}$ 은 처치 전 정답률, $S_{\text{사후}}$ 는 처치 후 정답률을 의미한다. 이 연구에서는 개인별 점수가 아니라 문항별 정답률을 기준으로 Hake gain을 산출하였다. 그 이유는 이 연구에서는 개인의 점수변화폭을 분석하고자 한 것이 아니라, 집단의 변화를 각 문항별로 알아보고자 하였기 때문이다. Hake gain은 토론을 통해 개념변화가 얼마나 진행되었는지를 알려주는 척도이다. 이러한 개념변화는 다음 문제의 이해에 영향을 끼친다. 즉, 개념검사문항이 단계형으로 구성되어 있을 때 앞 문제의 Hake gain이 낮으면 다음 문항으로의 진행이 어려울 것이라고 예측할 수 있다. 따라서 토론을 진행했음에도 Hake gain이 낮으면 토론만으로는 개념을 변화시키기 어려운 문항이라고 판단하여 문항의 형태를 수정하거나 다른 문항을 추가하여 인지적 건너뛸을 최소화하는 방향으로 수정하였다.

두 번째로, 개념검사문항의 내용과 배치를 수정하

기 위해 연수를 받은 교사들을 대상으로 인터뷰를 실시하였고 연수 중 대화 내용을 녹음하였다. 인터뷰는 각 연수마다 6명을 무작위 선정하여 연수 중 쉬는 시간과 연수 후 시간을 이용하여 개별적으로 시행하였다. 인터뷰는 문제를 풀면서 이해가 어려웠던 부분이나 수정하면 좋을 것 같은 부분에 대해 개방형으로 질문하였고 이에 대한 응답을 전사하여 정리하였다. 또한 연수 중 동료 토론 과정에서 동료들끼리 일어나는 대화 내용 및 연수를 진행하는 강사에게 질문하는 내용을 녹음하여 그 내용을 전사하고 정리하였다. 최종 개념검사문항은 이러한 수정 과정 전체를 포괄하며, 각각의 연수 과정 속에서 이루어진 문제의 추가, 삭제, 수정을 모두 기술하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 토론 전후 정답률 비교를 통한 개념검사문항의 수정

초기 개념검사문항을 초등학교 교사 84명, 중학교 교사 85명에게 투입한 결과는 과학교사 연수에서 동료 교수법의 효과 및 교사의 인식에 대한 김종원 등(2012)의 연구 결과에 제시되어 있다. 이 결과를 바탕으로 문제를 다음과 같이 수정하였다.

첫째, 점광원이 2개이고 구멍이 하나인 1번 문제 앞에 점광원 1개 문제를 추가하였다. 초기 개념검사문항의 1번 문제는 토론 전 정답률이 33.3%로 낮고 Hake gain도 0.21로 낮다. 즉 강의와 개념 문제 사이에 인지적인 건너뛸이 있었다는 것을 알 수 있다. 점광원이 1개 일 때 가림판에 생기는 모습이 어떠한지 알지 못하면 점광원이 2개일 때는 예상하기 어렵다. 정답률을 분석해본 결과, 유한크기 광원이 점광원의 집합이라는 개념을 목표 개념으로 봤을 때 시작점을 점광원 1개로 하는 것이 교사들의 수준에 맞다고 판단되었다. 또한, 첫 번째 문제에서 난이도가 너무 높을 경우 실패감을 주어 학습의욕을 떨어뜨리는 부작용이 있을 수 있다. 따라서 점광원 1개 문제에서 시작하여 목표 개념과 교사들이 가지고 있는 개념 사이에 좀 더 쉬운 첫 단계를 추가하였다.

둘째, 구멍의 개수나 형태와 같은 문제의 조건은 모두 일치시키고 광원의 개수만 늘려나가는 방식으로 문항을 배치하였다. 유한크기의 광원은 점광원 집합

이라는 개념을 강조하기 위해서는 문제의 흐름을 사고의 흐름과 맞출 필요가 있다. 점광원이 1개이고 형태가 다른 구멍이 2개인 2번 문제는 초등교사의 경우는 토론 전 정답률이 88.9%로 높고, 중등 교사의 경우는 토론 전 정답률은 10%로 낮지만 Hake gain이 0.85로 높다. 1번 문제를 풀었기 때문에 학습 효과로 2번 문제의 정답률이나 Hake gain이 높아질 가능성과, 광원의 개수가 1번 문제는 2개인데 2번 문제는 1개로 줄었으므로 2번 문제의 난이도가 1번 문제보다 낮을 가능성 두 가지 모두를 생각해볼 수 있다. 위치가 다른 광원 2개와 구멍 1개인 3번 문제에서 초등교사는 토론 전 정답률도 44.4%로 의미 있는 토론의 범위에 들고 Hake gain도 0.73으로 높은 반면, 중등 교사의 경우 Hake gain이 -0.02로 음의 값을 가짐을 알 수 있다. 초등교사는 1번 문제를 통해 학습한 내용을 2번 문제에 잘 적용하고, 난이도가 높아진 3번 문제에서 어려움에 부딪혔다가 토론 과정을 통해 Hake gain이 상승한 것으로 해석할 수 있다. 하지만 중등 교사의 경우는 Hake gain이 음의 값으로 오히려 토론 후에 더 떨어진 것으로 보아, 많은 수의 교사들이 1, 2번 문제를 통해 개념을 명확하게 이해하지 못하였음을 알 수 있다. 이는 광원이 다시 2개가 되어 문제의 난이도가 다시 높아진 데에서도 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 즉 문제가 진행됨에 따라 광원의 개수와 구멍의 개수가 경향성을 가지지 않기 때문에 혼란이 오는 것이다. 또한, 선광원을 다루는 5번의 토론 전 정답률은 관련 개념을 재강의한 후 측정된 것임에도 불구하고 초등 11.8%와 중등 31.8%로 낮았는데, 이는 앞에서 다룬 4개의 문제에서 주어진 광원이 '점광원 2개-1개-2개-광원의 종류 불명확'이었기 때문에 앞 문제들을 통해 선광원이 점광원의 집합이라는 개념으로 이동해오지 못했음을 생각할 수 있다. 이에 따라 혼란을 줄 수 있는 2, 3번 문제를 삭제하였고 광원의 개수만 증가해나가서 선광원이 점광원의 집합임을 인식할 수 있도록 수정하였다.

2. 교사 인터뷰와 토론내용 분석을 통한 개념검사 문항의 수정

첫째, 점광원 1개 문제에서 2개 문제로 넘어가기 전에, 가림판의 삼각형 구멍이 매우 작을 경우를 묻는 문제를 추가하였다. 교사들은 점광원이 1개일 때 스코

린에 바로 선 삼각형이 보이는 이유를 구멍이 크기 때문으로 생각하였다. 만약 구멍이 바늘구멍처럼 작다면 상황이 달라질 것이라고 예상하였다. 물론 구멍이 파장에 비교할 정도로 작으면 회절 현상이 일어나 회절무늬가 나타나게 된다. 주변에 밝고 어두운 무늬들이 많이 나타나 깨끗한 삼각형 모양을 관찰할 수 없다. 바늘구멍의 크기가 1mm라면 가시광의 중심 파장이 500nm 라고 할 수 있기 때문에, 회절 현상은 무시할 수 있으며 빛을 광선으로 취급할 수 있다(김중복 등, 2006; Hecht, 2002). 교사들은 바늘구멍 사진기에 의해 거꾸로 된 상이 관찰된다고 강하게 믿고 있어 이러한 예측을 하는 것으로 보인다. 이 문제의 출제 의도는 바늘구멍 사진기를 이용하여 스크린에 나타난 물체의 모습(여기서는 광원의 모습)를 관찰하는 것인데, 교사들은 구멍의 모양이 나타나는 것으로 생각하는 경향이 있다. 이에 따라 구멍의 크기가 작을 때의 상황을 묻는 문제를 추가하여 이러한 오개념을 수정하도록 하였다. 아래 대화에서 T는 연수를 진행한 강사, S는 연구 참여자이다.

S1: 근데, 여기 삼각형.. 구멍 크기가 얼마나 되요?

T: 크기가 관계있나요?

S2: 엄청 작거나 하면...달라질 거 같은데요?

S1: 바늘구멍으로 보면 뒤집혀서 보이잖아요..구멍이 크니까 바로 보이는 거 아니예요? (바로 선 삼각형으로 보인다는 의미)

둘째, 문틈으로 들어오는 빛의 경로를 묻는 4번 문제를 삭제하였다. 이 문제를 살펴보면 광원의 종류가 제시되어 있지 않다. 그림의 상황으로 보아 암묵적으로 일반적인 전등, 혹은 햇빛이라고 생각하고 문제를 풀게 된다. 광원의 종류가 달라지면 답도 달라질 수 있다. 따라서 이 문제는 바닥에 도달하는 빛이 1번 선택지와 같이 진행하는지에 대해 알고 있는지 묻고자 하는 의도를 가지고 제작되었다. 하지만 3번도 답이 될 수 있다는 주장을 할 가능성이 있기 때문에 같은 개념을 묻더라도 상황을 명확하게 제시하는 방향으로의 수정이 필요하다.

S1: 밖에서 멀리서 (빛이) 들어오면 이렇게 평행하게 들어오지 않나요?

S2: 근데 아까 점광원은 사방으로 뿔어나가잖아요..

그럼 이런 식으로, 그럼 답이 없는데?

S3: 광원 위치에 따라서 달라질 거 같은데..? 이렇게 될 수도 있고, 이런 식도 되고...

셋째, 바늘구멍 사진기가 뒤집혀 보이는 원인을 묻는 6번 문제를 유한크기 광원이 들어가는 상황 제시형으로 변경하였다. 6번 문제는 초, 중등 교사 모두 72.2%, 65%로 사전 정답률이 높다. 이는 난이도가 낮아서 토론을 할 필요가 없음을 의미한다. 하지만 인터뷰 결과, 1번 답지는 ‘빛은 직진한다’는 기본적인 과학적 개념을 서술해 놓은 것이기 때문에 당연히 옳아서 다른 답지를 분석할 필요가 없다고 생각했음을 알 수 있다. 이 문제로는 개념을 이해해서 풀었는지, 정답지의 매력도가 높아서 맞춘 것인지 알 수 없다. 따라서 이 문제는 바늘구멍 사진기의 원리를 잘 알고 있는지 제대로 측정할 수 있도록 수정이 필요함을 알 수 있었다. 또한 문제의 유형이 상황을 제시하고 어떻게 될지를 예측하는 것이 아니라 6번과 같이 현상에 대한 이유를 묻는 형태이면 토론에 어려움이 있다. 반면에 상황 예측 문제는 토론 과정에서 근거를 대야 하기 때문에 활발한 토론을 이끌어내기 쉽다. 그림 5는 초기 개념검사문항에서 원인을 묻는 형태였던 것을 상황 제시형으로 변형하여 제시하였다.

T: 바늘구멍 사진기 원리가 연수 하면서 이해가 되셨나요?

S: 네..근데..아직 좀 잘 모르겠는게.. 처음에 삼각형 바로 보였는데 (똑바로 선 삼각형이 보였는데) 바늘구멍 사진기로 보면 뒤집어져 보이잖아요..그게

왜 그런지 잘 모르겠어요. 둘 다 맞는데..

T: 6번 문제 맞추셨어요?

S: 네..근데 그거는..빛이 직진한다는 거는 당연하잖아요..다른 보기도 확실히 틀린 거 같고..빛의 직진은 확실하니까..근데 아직 잘 모르겠어요. (바늘구멍 사진기가 뒤집혀 보이는 원인)

넷째, 선광원과 유한크기광원 문제 사이에 상하좌우 반전을 이해할 수 있도록 선형으로 된 1자 광원과 4자 광원 문제를 추가하였다. 선광원이 점광원의 집합이라는 것을 이해하였다더라도 선광원이 있을 때 스크린에 보이는 모습이 1자 형태이기 때문에 바로 선 것인지 거꾸로 선 것인지 알 수 없다. 선광원에서 유한크기의 광원 단계로 바로 넘어갈 경우, 그림 5와 같이 점광원, 선광원, 유한크기 광원 모두 가림판에 뚫린 삼각형 모양 그대로 바로 선 삼각형이 보일 것이라는 오개념이 생기는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라, 대칭적이지 않고 선형으로 된 문제를 추가하여 유한크기의 광원으로 가기 전에 선광원과 유한크기의 광원을 연결할 수 있는 연결다리로 사용하였다. 그림 6은 유한크기 광원에 대한 오개념의 예이다.

S1: 그럼 이것도 이렇게 바로 선 삼각형 나오는 거 아니에요?

S2: 아니죠.. 앞에 선광원 보면..삼각형 쪽 이어 나오잖아요..전구 모양 그대로 나오는거 아니에요?

S1: 그럼 전구모양 바로 나오는 거예요?

S2: 잘 모르겠어요...

Q6. 바늘구멍 사진기로 물체를 보면 뒤집혀 보인다. 그 이유는 무엇인가?

1. 빛이 직진하기 때문이다.
2. 바늘구멍을 통과하면 빛이 뒤집히기 때문이다.
3. 바늘구멍에서 빛이 서로 꼬이면서 진행방향이 바뀌기 때문이다.
4. 바늘구멍은 카메라의 볼록렌즈와 같은 역할을 하기 때문에, 볼록렌즈에서처럼 도립 실상[거꾸로 된 실상]을 맺기 때문이다.
5. 이 중에 답이 없다.



그림 5 상황 제시형으로 변형한 유한크기광원 문제

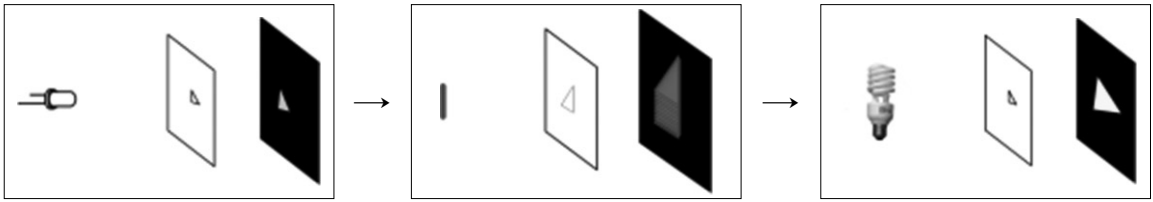


그림 6 점광원, 선광원에서 바로 유한크기의 광원으로 넘어간 경우에 생기는 오개념의 예

다섯째, 보기 제시방법을 직관적으로 알아볼 수 있도록 변경하였다. 초기 개념검사문항은 보기 구성을 글로 하여 교사 스스로가 장면을 시각화해야하는 어려움이 있었다는 인터뷰 내용에 따라 최종 개념검사문항에서는 직관적으로 이해할 수 있도록 보기를 그림 7로 제시하였다.

3. 최종 개념검사문항

최종 개념검사문항과 초기 개념검사문항의 개요를 정리하여 그 흐름을 비교하면 그림 8과 같다. 초기 개념검사문항에서 광원과 구멍의 개수 조건을 여러 가지로 변형시켰던 2, 3번 문제가 삭제되었고, 광원의 종류가 불분명하였던 4번 또한 삭제되었다. 바늘구멍 사진기의 원리를 묻는 6번 문제는 상황 제시형으로 변형되어 5, 6, 7번에 배치되었다. 최종 개념검사문항에서는 점광원에 대한 기본 개념의 이해와 난이도 조절을 위해 점광원 1개일 때를 묻는 1번 문제가 추가되었고, 바늘구멍처럼 작아지면 광원의 종류와 관계없이 뒤집혀 보일 것이라는 오개념을 수정하기 위해 2번 문제가 추가되었다. 삭제되거나 변형되지 않은 문

제는 점광원 2개 문제와 선광원 문제이다. 배치의 단계는 점광원, 선광원, 유한크기의 광원 순서이고 최종 개념검사문항들은 학습자가 이러한 연결을 더 잘 파악할 수 있도록 구성하였다. 최종 개념검사문항 중 문제 1번과 2번은 이해를 돕기 위해 문제를 화면에 제시함과 동시에 문제 상황에 해당하는 삼각형 구멍이 뚫린 가림판과 점광원을 교사들에게 직접 보여주었고, 3번부터는 구멍의 크기 등 문제 상황을 좀 더 자세히 서술하여 문제만 제시하였다. 그림 9는 최종 개념검사문항이다.

4. 투입 결과

최종 개념검사문항을 투입하여 토론 전후 정답률 변화를 표 3에 제시하였다. 초기 개념검사문항과 달리 개념의 누락이나 도약으로 인해 재설명을 필요로 하는 부분은 없었다. 점광원 2개 문제부터 시작한 초기 개념검사문항을 수정하여 점광원 1개인 상황부터 시작했을 때 토론 전 정답률이 초등 74%, 중등 57%로 높게 나타났고 Hake gain을 살펴보면 개념 이해 정도도 초기 개념검사문항에 비해 높은 것을 알 수 있

Q1. 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 두 개의 꼬마 전구를 켜고 스크린에 나타난 모습을 보면?

1. 위아래 좌우가 뒤집힌 하나의 큰 삼각형이 나타난다.
2. 위아래 좌우가 뒤집힌 두 개의 삼각형이 나타난다.
3. 바로선 하나의 삼각형이 나타난다.
4. 바로선 두 개의 삼각형이 나타난다.
5. 옳지 않다.



맞힌 직전

한 번의 길이가 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에, 밝기가 같은 LED 2개를 위, 아래로 나란히 놓으면 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)

가림판 스크린

1. 전부 1개일 때보다 큰 크기로 된 삼각형 1개
2. 전부 1개일 때보다 큰 크기로 된 삼각형 1개
3. 전부 1개일 때와 같은 크기의 똑바로 된 삼각형 2개
4. 전부 1개일 때와 같은 크기의 거꾸로 된 삼각형 2개

그림 7 보기 문항 구성의 변화 예시

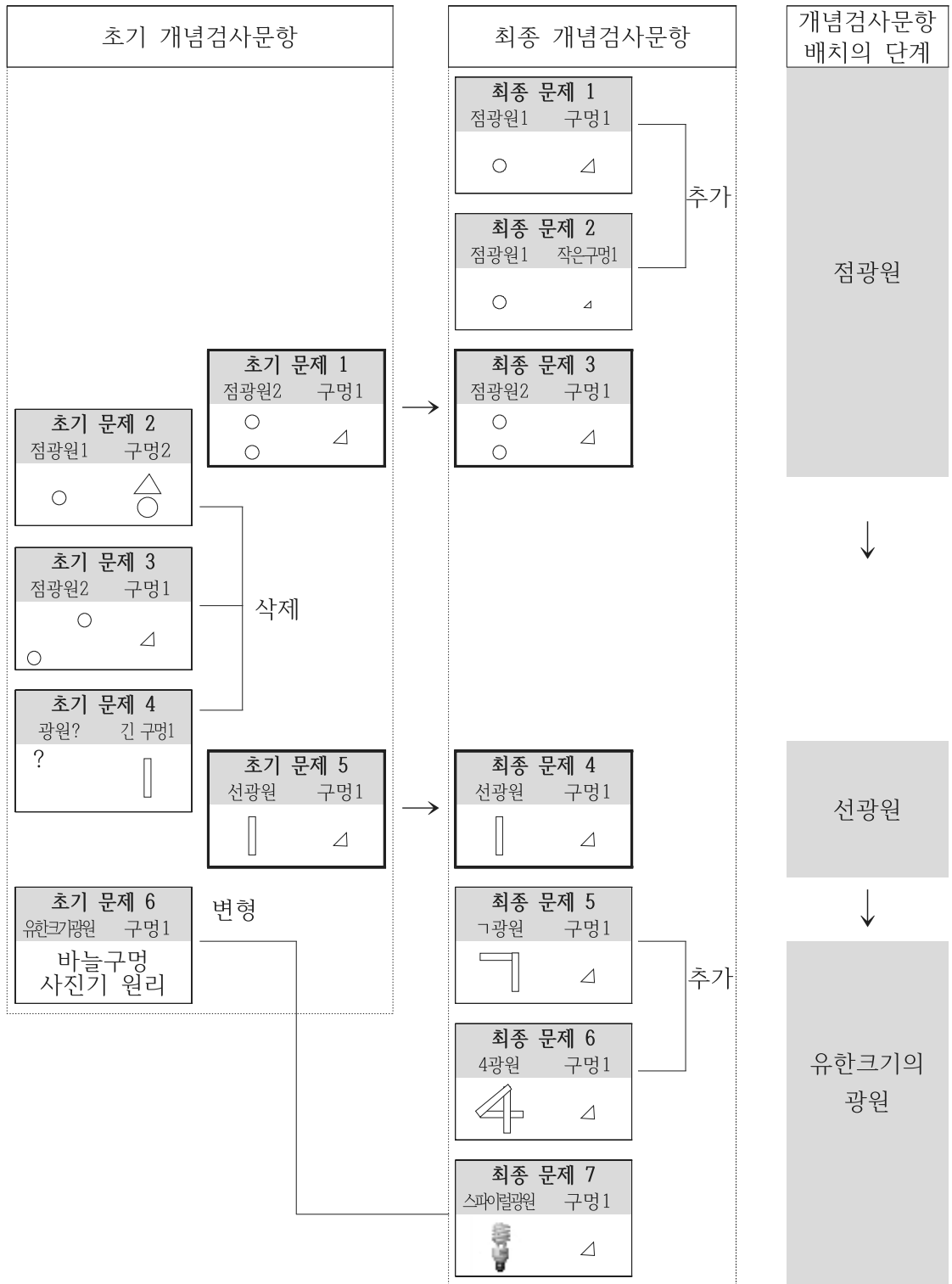
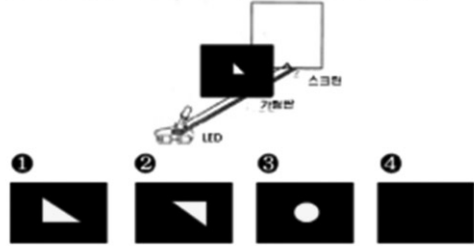


그림 8 초기 개념검사문항과 최종 개념검사문항의 흐름 비교

최종 1번 문제

빛의 직진

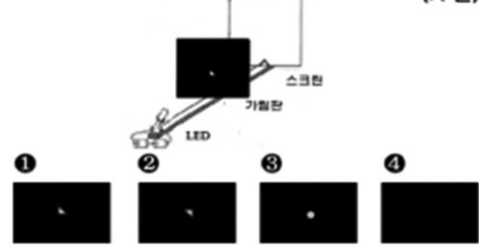
삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 LED를 1개 켜면 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)



최종 2번 문제

빛의 직진

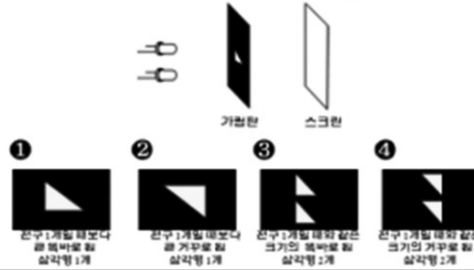
아주 작은 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 LED를 1개 켜면 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)



최종 3번 문제

빛의 직진

한 변의 길이가 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에, 밝기가 같은 LED 2개를 위, 아래로 나란히 놓으면 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)



최종 4번 문제

빛의 직진

한 변이 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 오른쪽 그림과 같이 선광원을 놓으면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)



최종 5번 문제

빛의 직진

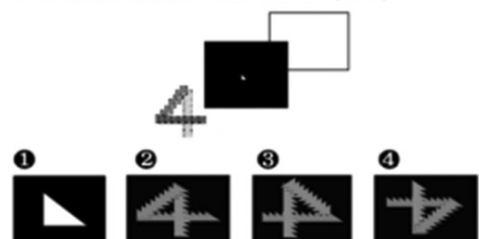
한 변이 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 선광원을 4자 형태로 놓으면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (PI 전)



최종 6번 문제

빛의 직진

한 변이 2mm 정도로 아주 작은 삼각형 구멍의 가림판 앞에 LED를 이어 붙여 만든 4자형 전구를 놓으면 스크린에는 어떤 모습이 보이는가? (PI 전)



최종 7번 문제

빛의 직진

한 변이 2mm 정도로 아주 작은 삼각형 구멍의 가림판 앞에 스파이럴 전구를 놓으면 스크린에는 어떤 모습이 보이는가? (PI 전)

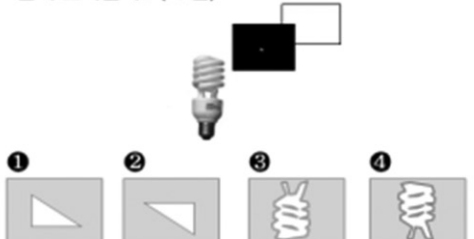


그림 9 최종 개념검사문항

표 3

초등과 중등 교사들의 최종 개념검사문항에 대한 정답률 변화

문항번호	초등			중등		
	토론 전 (%)	토론 후 (%)	Hake gain	토론 전	토론 후	Hake gain
1	74	100	1.00	57	70	0.30
2	68	100	1.00	65	77	0.34
3	53	77	0.51	61	80	0.49
4	49	98	0.96	53	85	0.68
5	21	86	0.82	5	87	0.86
6	97	100	1.00	100	.	.
7	62	97	0.92	65	88	0.66

다. 또한 첫 번째 문항의 토론 전 정답률이 높아 성공의 경험으로부터 시작한 것은 연수에 대한 집중도를 높이는 것을 도왔다. 최종 개념검사문항은 각 단계마다 문제의 난이도가 적절하여 의미 있는 토론이 이루어질 수 있는 30~70% 정답률을 보였다. 이번 연수에서 1차 광원을 다룬 최종 5번 문제의 경우 토론 전 정답률이 초, 중등 모두 의미 있는 토론의 범위보다 낮았지만 앞서 시행된 다른 연수에서는 추가 설명이 필요할 만큼 정답률이 낮지 않았고 경험으로 보아 논의의 시간을 충분히 가지면 스스로 답을 찾아낼 가능성이 높았기 때문에 추가 설명 없이 진행하였다. 1차 광원을 다룬 최종 5번 문제의 토론 전 정답률이 낮은 이유를 분석해보면 다음과 같다. 선광원에서는 상하 반전이 일어나더라도 스크린에 보이는 모습이 1자로 보여 광원의 형태와 같다. 따라서 선광원의 각 점에서 나오는 빛의 경로를 아직 완전히 이해하고 있지 않더라도 앞 단계를 거치면서 문제를 해결할 수 있었다. 하지만 1차 광원의 경우에는 광원을 이루는 각 점에서 나가는 빛의 경로를 다 파악하여야 하고, 2차원적 그림을 보고 3차원적으로 상하좌우 반전된 모습을 구성해낼 수 있어야 한다. 그림의 문제가 옆에서 본 모습으로 제시되었기 때문에 상하는 2차원 상에서 구현해내기 쉽지만 좌우는 3차원으로 생각해내어야 하기 때문에 더 난이도가 높다. 하지만 토론 후 정답률과 Hake gain이 높은 값을 나타낸 것으로 보아 토론을 통해 개념이해가 충분히 이루어진 것을 알 수 있다. 최종 6번 문제의 경우, 최종 5번 문제의 토론 전 정답

률이 다른 문제들에 비해 낮기 때문에, 같은 개념을 다루면서 난이도가 조금 더 높은 문제를 하나 더 배치하여 개념 이해를 좀 더 명확히 할 수 있도록 하였다.

초기 개념검사문항과 최종 개념검사문항 중 변동이 없는 문제는 점광원 2개 문제와 선광원 문제이다. 선광원이 일종의 유한크기의 광원이라고 봤을 때, 이 두 문제는 문제의 시작점인 점광원과 목표 단계인 유한크기의 광원에 대한 이해의 정도를 묻는 문제이며 점광원이 늘어나서 선광원이 된다는 집합개념으로 전환되는 중요한 단계라고 볼 수 있다. 따라서 초기와 최종 개념검사문항 모두에 적용된 이 두 문제를 비교함으로써, 교사연수를 위한 개념검사문항의 개발과 배치에 대한 피드백을 얻을 수 있다. 초기 개념검사문항과 비교했을 때 최종 개념검사문항의 토론 전 정답률이 높다면, 최종 개념검사문항의 앞 단계 문제가 다음 문제의 해결에 도움을 주는 단계적 개념변화가 이루어졌다는 것을 의미한다.

또한 Hake gain이 높다는 것은 교사들의 이해도가 높다는 것을 의미한다. 토론 전 정답률이 높으면 이득률을 높이기 힘들다. 토론 후 정답률이 더 크게 높아져야 하기 때문이다. 따라서 최종 개념검사문항에서 Hake gain이 더 높은 것은 앞 뒤 문항의 상호 유기적인 관계가 좋아졌기 때문에 이해의 정도가 높아졌다고 해석할 수 있다.

그림 10과 11에서 점광원 2개 문제에 대한 초등, 중등 교사의 토론 전후 정답률의 변화를 제시하였다. 점광원 2개를 1번으로 제시한 초기 개념검사문항에 비

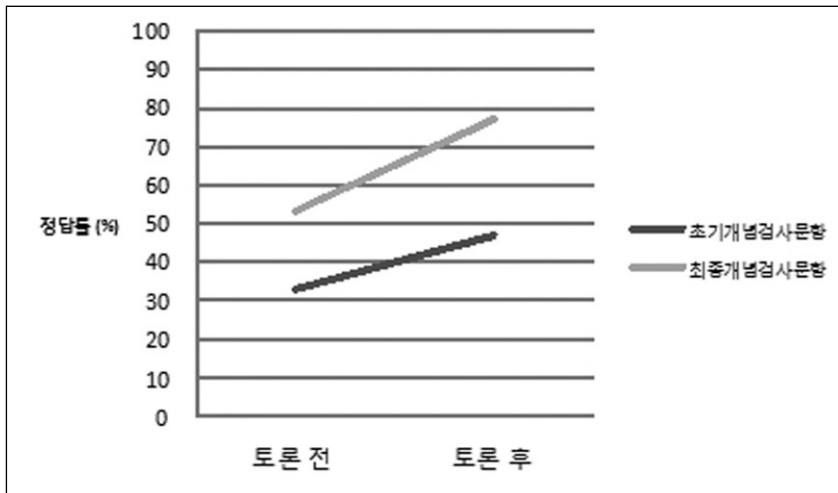


그림 10 점광원 2개 문제(초기1번, 최종2번)에 대한 초등교사의 토론 전후 정답률 변화

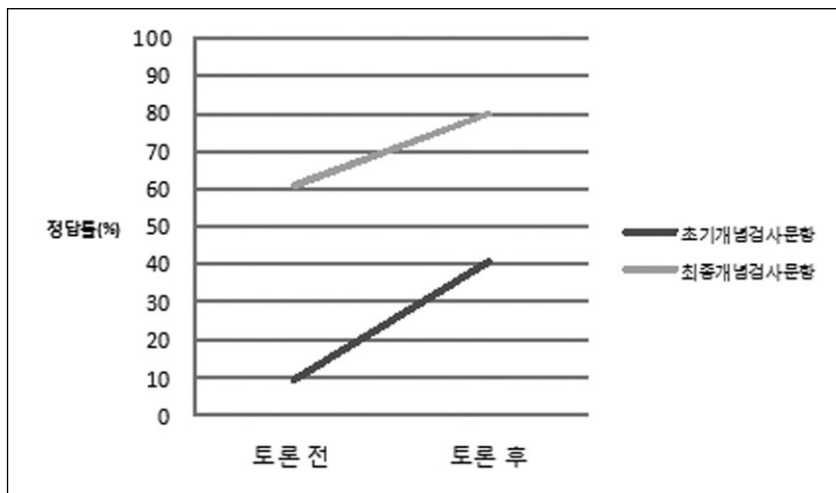


그림 11 점광원 2개 문제(초기 1번, 최종 2번)에 대한 중등교사의 토론 전후 정답률 변화

해, 점광원 1개에서 2개 순서로 제작한 최종 개념검사 문항의 토론 전후 정답률이 초등, 중등 교사 모두 높다. 이는 최종 개념검사문항에서 점광원 1개 문제를 통해 학습한 것을 점광원 2개라는 새로운 상황에 잘 적용하였음을 의미한다.

그림 12에서 보는 바와 같이 Hake gain 또한 최종 개념검사문항을 적용했을 때 더 높다. 이는 최종 개념 검사문항이 교사들의 개념을 변화시키는 효과가 더 컸다는 것을 의미한다. 토론 전 정답률이 앞 문항을

통해 배운 내용을 잘 적용했는지의 여부를 본다면, Hake gain을 통해서도 그 문제가 얼마나 개념을 변화시켰는지 그 효과성을 검증할 수 있다.

그림 13과 14는 선광원 문제에 대한 초등, 중등 교사의 토론 전후 정답률 변화이다. 선광원 문제의 경우, 초기 개념검사문항을 적용했을 때 다른 문제와는 달리 사전 정답률이 초등 5%, 중등 12%로 매우 낮아서 관련 개념을 추가 설명한 후 다시 투표, 토론, 재투표의 과정을 거친 결과를 나타낸 것이다. 초기 개념검

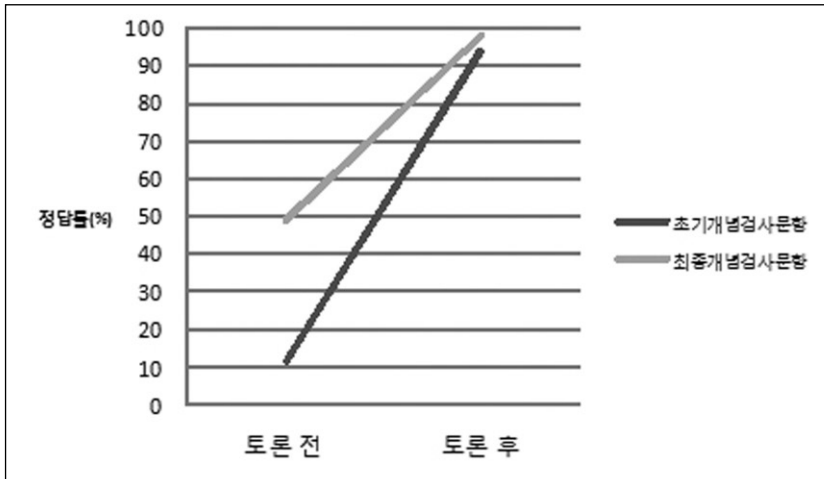


그림 13 선광원 문제(초기 5번, 최종 4번)에 대한 초등교사의 토론 전후 정답률 변화

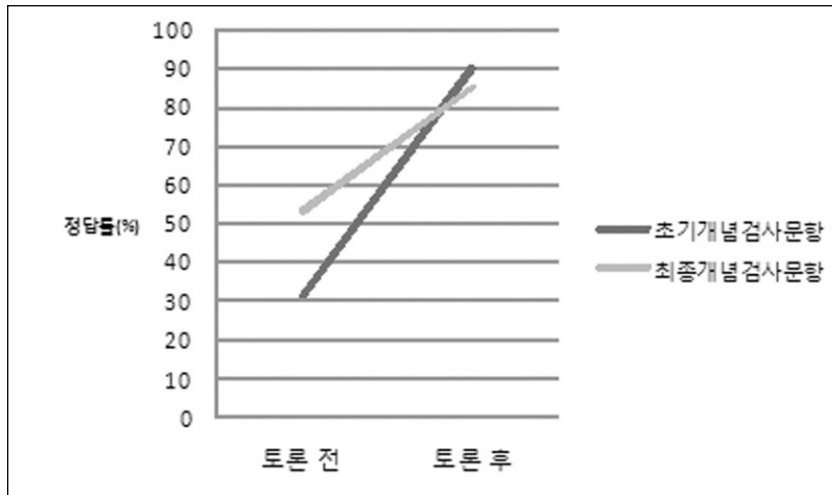


그림 14 선광원 문제(초기 5번, 최종 4번)에 대한 중등교사의 토론 전후 정답률 변화

사문항의 토론 전 정답률은 설명을 들은 이후임에도 불구하고 초등 11.8%, 중등 31.8%로 여전히 높지 않다. 하지만 토론 후에는 초등 94.4%, 중등 90.0%로 정답률이 매우 올라간 것을 볼 수 있다. 설명을 들은 직후에는 높지 않았던 정답률이 토론 후에 올라간 것을 통해, 설명과 토론이 합쳐져 개념 정착을 도왔음을 알 수 있다.

또한 단계적으로 문제를 해결해나가는 중에 설명이 필요할 정도로 정답률이 낮은 문제가 나왔다는 것은 초기 개념검사문항의 단계에서 개념적으로 비약이 있

음을 의미한다. 그에 반해 점광원 1개, 2개, 선광원 순서로 순차적으로 배치한 최종 개념검사문항을 적용했을 때, 초등 49%, 중등 53%로 초등, 중등 모두 토론 전 정답률이 높아졌다. 그림 13과 그림 14에 제시된 최종 개념검사문항의 정답률 변화 결과를 보면 문항의 수정을 통해 이러한 비약 부분이 개선되었음을 알 수 있다.

그림 15는 선광원 문제에 대한 초등, 중등 교사의 Hake gain이다. 최종 개념검사문항의 Hake gain은 추가설명 없이 앞의 개념검사문항을 이용하여 단계적

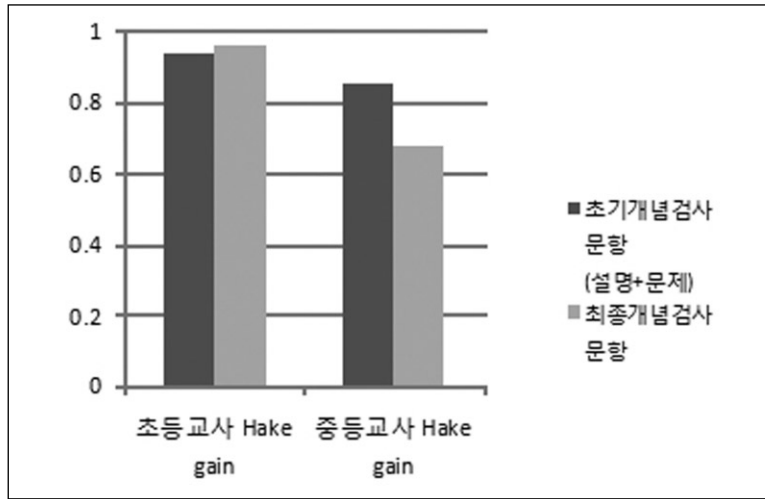


그림 15 선광원 문제(초기 5번, 최종 4번)에 대한 초등교사와 중등교사의 Hake gain

인 이해를 통해 얻은 값이지만, 초기 개념검사문항은 추가 설명을 한 후의 토론 전후 정답률에 대한 값이다. 초등 교사의 경우 최종 개념검사문항의 Hake gain이 더 높다. 하지만 중등 교사의 경우 초기 개념검사문항이 최종 개념검사문항보다 Hake gain이 높다. 이는 추가설명의 효과로 볼 수 있을 것이다. 초기 개념검사문항의 경우, 초등과 중등 교사 모두 추가설명을 한 선광원 문제의 Hake gain이 가장 높다. 하지만 최종 개념검사문항의 경우, 추가설명을 하지 않고도 Hake gain이 골고루 높게 나왔다. 이는 순차적으로 개념이해를 돕는 단계형 개념검사문항이 개선되었기 때문이라고 판단할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 교사들의 빛의 직진에 대한 개념 이해를 도울 수 있는 효과적인 단계형 개념검사문항을 개발, 구성하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 물리교육 연구와 교사들의 오개념 조사를 기반으로 전문가 검토를 거쳐 문제를 개발하였다. 이를 학습 대상자인 교사들에게 투입하여 문제를 수정, 보완한 결과를 분석하여 제시하였다.

개념검사문항 개발의 원칙은 두 가지이다. 첫째, 오개념을 바탕으로 인지갈등을 줄 수 있는 문항을 제작하는 것, 둘째, 올바른 과학적 개념으로의 변화를 돕도록 단계적으로 배치하는 것이다. 이런 원칙을 바탕

으로 개발된 개념검사문항을 다섯 차례의 교사연수에 투입하여, 토론 전후의 정답률 비교, 교사 인터뷰와 토론내용 분석을 통해 수정하였다. 토론 전후의 정답률 분석을 통해 점광원 2개 상황인 1번 문제 앞에 점광원 1개 문제를 추가하였다. 또, 구멍의 개수나 형태와 같은 문제의 조건은 모두 일치시키고 광원의 개수만 늘려나갔다. 교사 인터뷰와 토론내용 분석을 통한 수정은 첫째, 점광원 1개 문제에서 2개 문제로 넘어가기 전에 가림판의 삼각형 구멍이 매우 작을 경우를 묻는 문제를 추가하였다. 둘째, 문틈 사이로 들어오는 빛의 경로를 묻는 4번 문제는 광원의 종류가 명확하지 않기 때문에 삭제하였다. 셋째, 바늘구멍 사진기가 뒤집혀 보이는 원인을 묻는 6번 문제를 유한크기 광원인 스파이럴 전구가 들어가는 상황 제시형으로 변경하였다. 넷째, 선광원과 유한크기광원 문제 사이에 상하좌우 반전을 이해할 수 있도록 선형으로 된 1자와 4자 광원 문제를 추가하였다. 다섯째, 보기 제시방법을 직관적으로 알아볼 수 있도록 그림으로 변경하였다.

이렇게 최종 개념검사문항을 초등과 중등 교사들에게 투입한 결과, 초기와 최종 개념검사문항에 공통적으로 사용된 점광원 2개 문제와 선광원 문제를 비교했을 때 초등과 중등 교사 모두 최종 개념검사문항의 토론 전후 정답률이 더 높았다. 토론 전 정답률이 높다는 것은 최종 개념검사문항의 앞 단계 문제가 다음 문제의 해결에 도움을 주는, ‘단계적 개념변화’가 이

루어졌다는 것을 의미한다. Hake gain 또한 초등 교사의 경우 두 문제 모두 최종 개념검사문항이 더 높았고, 중등교사는 선광원 문제만 초기 개념검사문항의 Hake gain이 높았다. 선광원 문제의 경우 초기 개념검사문항의 사전 정답률이 너무 낮아서 추가 설명이 있었기 때문이다. Hake gain이 높다는 것은 교사들의 이해도가 높다는 것을 의미한다. 학습자의 반응을 기반으로 하여 개념검사문항을 단계적으로 잘 배치할 경우 개념 이해도가 더 높아짐을 알 수 있다.

이 연구의 제언은 다음과 같다. 첫째, 최종 개념검사문항을 초등 교사, 중등교사 그리고 예비교사들을 위한 물리 이론 연수 혹은 수업에서 사용할 수 있을 것이다. 빛의 직진에 대한 내용은 초등 교과서에서 여러 차례 다루어지는 내용이기 때문에 초등 교사가 현장에서 학생들을 가르치기 위해 꼭 필요한 이론이다. 또한 중등 교사의 재교육 차원에서도 이 개념검사문항은 효과적이었다. 또, 교육대학교의 경우 배워야 할 교과교육의 수가 많기 때문에 2시간이라는 짧은 시간 안에 빛의 직진에 대해 효과적으로 학습하도록 구성되어 있는 최종 개념검사문항을 동료 교수법을 활용하여 예비교사 교육과정에도 사용될 수 있을 것이다. 둘째, 동료교수법을 위한 개념검사문항의 개발 방향에 대한 시사점을 제공한다. 개념검사문항을 개발할 때에는 우선 학습대상의 선개념을 바탕으로 그들의 수준에 적합한 인지갈등을 제공할 수 있어야 한다. 또 개발된 문제의 배치는 적절한 다리놓기 전략을 사용하여 단계적으로 잘 이해할 수 있도록 구성하여야 한다. 개발된 문제는 여러 번의 적용을 통해 학습자에게 적합하도록 수정 작업을 거친다면 개념변화에 효과적인 단계적 개념검사문항을 개발할 수 있다. 문항의 타당도는 전문가뿐만 아니라 그 문항을 통해 학습하는 학습자에게 검증받는 것이 중요함을 알 수 있다. 마지막으로 빛의 직진뿐만 아니라 다른 주제들에 대해서도 단계형 개념검사 문제를 개발하여 교사연수나 예비교사교육에 적용한다면 교사들의 물리개념 이해에 매우 큰 도움이 될 것이다.

국문 요약

동료교수법은 개념변화에 효과적인 연수방법이다. 동료교수법의 성공을 위한 가장 중요한 요소는 개념검사문항이다. 개념검사문항은 단순히 인지갈등 상황

만을 주는 것이 아니라 올바른 개념변화를 이끌어낼 수 있어야 한다. 이에 따라 이 연구에서는 빛의 직진에 대한 교사들의 오개념을 올바른 과학적 개념으로 변화시키기 위하여, 단계적으로 교사들의 개념을 변화해나가기로 돕는 단계형 개념검사문항을 개발하여 연수에 적용하였다. 개발된 개념검사문항을 5회에 걸친 연수에 투입하여 토론 전후 정답률과 연수 중 토론, 인터뷰 결과를 분석하여 그 결과를 바탕으로 문제 수정이 이루어졌다. 수정의 방향은 단계를 따라 문제를 해결하는 과정을 통해 ‘유한크기 광원은 점광원의 집합’이라는 목표개념에 도달할 수 있도록 하는데 중점을 두었다. 최종 개념검사문항을 적용한 결과, 교사들은 각 문제에서 높은 Hake gain을 보였고 인지적 단계에 따라 목표개념에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 이 연구를 통해 동료교수법에서 개념검사문항을 개발할 때, 각 개별 문제가 학습자에게 도전의식을 주는 유의미한 인지갈등 문제일 뿐만 아니라, 각각의 문제가 유기적인 관계를 가지고 단계적으로 사고할 수 있도록 배치되어야 한다는 것을 알 수 있다. 이 연구에서 개발된 개념검사문항은 초등교원연수와 중등교원연수, 또는 예비교사교육에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 교육인적자원부 (2005). 초등학교 교사용 지도서 과학 5-1. 서울: 대한교과서주식회사.
- 박영순 (2009). 교실 수업에서 초임 과학교사의 교과 내용지식이 내용교수지식에 주는 영향에 대한 연구. 한국과학교육학회지, 29(6), 611-625.
- 김규환, 김종복 (2011). 빛의 직진 개념 지도를 위한 탐구 학습모듈의 개발 및 적용. 과학교육연구지, 35(2), 173-192.
- 김규환 (2012). 초등 과학수업에서 주제에 따른 Peer Instruction의 효과. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 김종원, 김규환, 이지원, 황명수, 김종복 (2012). 과학 교사 연수에서의 동료 교수법의 효과 및 교사의 인식. 과학교육연구지, 36(1), 84-93.
- 김중복, 김현아, 김수경 (2006). 과학교사를 위한 빛과 파동. 서울: 흥릉과학출판사.
- 백성혜, 정연경 (2009). ‘빛과 상’에 대한 초등 교사들의 이해와 학습 내용에 대한 인식 변화에 대한 사례 연구.

초등과학교육, 28(3), 245-262.

이건호 (1999). 빛에 대한 초등학교 교사들의 개념. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

이은희(2011). 'Peer Instruction'을 통한 과학교사의 자기 개념 변화. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.

이재봉, 남정운, 손정우, 이성목 (2004). 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형 분석. 한국과학교육학회지, 24(6), 1189-1205.

이희진 (2011). Peer Instruction을 통한 초등학교 6학년 학생의 과학개념변화. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위 논문.

정재훈, 김영신 (2010). 과학 실험 연수에 대한 초등교사들의 기대와 실태 분석. 초등과학교육, 29(3), 316-325.

조희형, 고영자 (2008). 과학교사 교수내용지식(PCK)의 재구성 과 적용 방법. 한국과학교육학회지, 28(6), 618-632.

Chan, C., Burtis, J., & Bereiter, C. (1997). Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15(1), 1-40.

Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152.

Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.

Clement, J. (2008). The role of explanatory models in teaching for conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. (pp. 417-451). New York: Routledge.

Cortright, R. N., Collins, H. L., & DiCarlo, S. E. (2005). Peer instruction enhanced meaningful learning: Ability to solve novel problems. *Advanced Physiology Education*, 29, 107-111.

Crouch, C. H. (1998). Peer instruction: An interactive approach for large lecture classes. *Optics & Photonics News*, 9(9), 37-41.

Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.

Crouch, C. H., Watkins, J., Fagen, A., & Mazur, E. (2007). Peer instruction: Engaging students one-on one, all at once. *Research-Based Reform of University Physics*, 1, 1-55.

Ding, L., Reay, N. W., Lee, A., & Bao, L. (2009). Are we asking the right questions? Validating clicker question sequences by student interviews. *American Journal of Physics*, 77(7), 643-650.

Fagen, A. P., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2002). Peer instruction: Results from a range of classrooms. *Physics Teacher*, 40, 206-209.

Feher, E., & Rice, K. (1988). Shadows and anti-images: Children's conceptions of light and vision. II. *Science Education*, 72(5), 637-649.

Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.

Hansen, J. B., & Feldhusen, J. F. (1994). Comparison of trained and untrained teachers of gifted students. *Gifted Child Quarterly*, 38(3), 115-121.

Hecht, E. (2002). *Optics*, 4/E. New York: Wesley Longman.

Lasry, N., Watkins, J., & Mazur, E. (2008). Peer instruction: From Harvard to the two-year college. *American Journal of Physics*, 76(11), 1066-1069.

Lee, A., Ding, L., Reay, N. W., & Bao, L. (2011). Single-concept clicker question sequences. *The Physics Teacher*, 49, 385-389.

Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.

Lorenzo, M., Crouch, C., & Mazur, E. (2006). Reducing the gender gap in the physics classroom. *American Journal of Physics*, 74(2), 118-122.

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A user's manual*. New Jersey: Prentice Hall.

McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorial in introductory physics*, 1/E. Prentice Hall.

Nicol, D. J., & Boyle, J. T. (2003). Peer instruction versus class-wide discussion in large classes: A comparison of two interaction methods in the wired classroom. *Studies in Higher Education*, 28(4), 457-473.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Getzow, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Rao, S. P. & DiCarlo, S. E. (2000). Peer instruction improves performance on quizzes. *Advanced Physiology Education*, 24, 51-55.

Rice, K., & Feher, E. (1987). Pinholes and images: children's conceptions of light and vision. I. *Science Education*, 71(4), 629-639.

She, H. (2002). Concepts of a higher hierarchical level require more dual situated learning events for conceptual change: A study of air pressure and buoyancy. *International*

Journal of Science Education, 24(9), 981-996.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform, *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.

Turpen, C., & Finkelstein, N. (2009). Not all interactive engagement is the same: Variations in physics professors' implementation of peer instruction. *Physical Review Special Topic Physics Education Research*, 5(2), 020101-1-18.

Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., &

Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.

Weiss, I. R., Pasley, J. D., Banilower, E. R., & Heck, D. J. (2003). A study of K-12 mathematics and science education in the United States. North Carolina: Horizon Research.

Wosilait, K., Heron, P. L., Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (1998). Development and assessment of a research-based tutorial on light and shadow. *American Journal of Physics*, 66(10), 906-913.