

전문가의 물리 문제 풀이 전략 가시화 연습에 의한 대학생의 질문 향상

김은숙 · 박승재
(서울대학교)

Improvement in University Freshmen's Questioning by Explicit Practice of Experts' Physics Problem Solving Strategies

Kim, Eunsook · Pak, Sung-Jae
(Seoul National University)

ABSTRACT

It was proposed that proper problem solving practice should improve students' questioning in physics. In the previous researches, improvement in students' questioning was observed after practice of making questions given the examples of desirable questions. In this study, the problem solving strategies used by experts were introduced to students in the form of step-by-step guide to follow in problem solving practice. The directions in the guide were concrete and operational for students to understand the expected behaviors explicitly. It was assumed that students could pinpoint the difficulty specifically through this guide, which would result in positive effects on students' recognition and expression of their own questions.

The subjects in this study were college freshmen enrolled in the introductory physics for science or engineering major. The physics problems from the textbook were solved and practiced in the traditional way for controlled group. Worksheets designed to follow experts' problem solving strategies were used for the experimental group. Two groups were taught in the same way during lecture part of the class. Students were asked to describe the difficulties they had during homeworks or tests. Questions in this study means these descriptions written by students although they were not necessarily in the form of interrogative sentences.

The questions were analyzed both in quantity and quality. Quantitatively, more students spontaneously turned in their questions in the experimental group than in the controlled group. Regarding the quality, there were more students in the experimental group than in the controlled group who described their difficulties in detail or recognized the need for the procedural knowledge.

Key words: student's questioning skill, physics problem solving, experts' problem solving strategy, introductory physics

I. 서론

질문은 이해의 부족과 혼동에 의해 생기므로 학생의 질문은 학생의 현재 이해 상태와 학생의 관심을 보여준다. 딜런(Dillon, 1988)은 학생의 지식은 질문과 답으로 이루어지는 명제들의 모임으로 설명하기도 하였다. 그러므로 학생이 가지고 있는 질문에 대해서 교사가 잘 이해할 필요가 있다. 그러나 학생은 수업 중 매우 수동적이며(윤혜경, 1995) 거의 질문을 하지 않는다(이무와 박승재, 1987; 양미경 1987).

학생 질문의 양과 질을 향상시키기 위해서 바람직한 질문의 형태를 제시하고 그 형태에 따라서 질문을 만드는 훈련이 제안되었는데, 훈련을 받은 학생들은 그렇지 않은 학생들보다 좋은 질문을 더 쉽게 많이 만들 수 있었으며(박은주, 1998; 김진만, 1995), 학생이 질문을 만드는 능력은 성취도 및 학생의 사고와 유의미한 상관성이 있는 것으로 보고되었다(김성근, 1999; 노태희 등 1997). 하지만 이와 같이 바람직한 질문의 형태를 제시하고 학생이 질문을 만들게 하는 훈련에는 다음과 같은 문제점이 있다.

첫째 구성주의적 입장에서 문제가 된다. 구성주의 관점에서 학생은 자신의 학습활동에 능동적으로 참여하고 스스로 의미를 구성하는 학습의 최종책임자이다. 한편 질문 만들기의 훈련은 교사가 제시하는 특정한 형태의 질문을 만들 것을 학생에게 요청하고 있다. 또한 학생의 질문이 교사가 제시한 질문의 형태에 맞지 않을 수 있다. 따라서 학생이 표현한 질문과 학생에게 궁금한 것이 일치하지 않을 수 있다(Scardamalia & Bereiter, 1992).

둘째 학생들은 적절한 질문을 만들기 위해 충분한 지식을 갖추고 있지 못하다(Maloney, 1994). 특히 물리는 많은 배경 지식과 더불어 교과서에서 또는 수업 중에 명시적으로 다루지 않는 정성적인 사고라든가 과정적 지식에 대해서도 알아야 한다(de Jong & Ferguson-Hessler, 1986). 학습 습관에 대한 조사에 의하면, 우수한 학생은 자신이 이해하지 못하는 부분을 인식하는 반면 부진한 학생은 자신이 이해하고 있지 못하다는 사실에 대한 인식이 부족하

며 질문의 수도 적다(Chi et al., 1989; Ferguson-Hessler et al., 1990).

셋째, 질문 만들기의 훈련은 학생에게 추가의 부담이 될 수 있다. 예를 들어 물리 시간에 물리 내용에 관한 수업을 하지 않고 질문 만들기의 훈련을 하는 것을 학생들이 번거롭게 여길 수 있다. 본문 내용의 이해를 돕기 위해서 점검표를 사용한 경우나(Reif et al., 1976), 물리 문제 풀이의 향상을 위해서 단계별 안내서를 사용한 경우(Heller et al., 1992), 학생들은 이러한 추가의 과정을 좋아하지 않았으며 강제하지 않으면 사용하지 않는 경향을 보였다.

본 연구에서는 전문가의 전략을 사용하도록 단계적으로 안내하는 활동지를 사용하여 문제 풀이를 연습함으로써 학생들의 질문의 양과 질을 향상하고자 하였다. 학생들이 전문가의 문제 풀이 과정을 따라 할 수 있도록 조작적이고 구체적인 지시사항을 통해서 기대되는 행동을 명시적으로 제시하였다는 의미에서 가시화 연습이라고 하였다. 이 활동을 통하여 개념을 이해함과 더불어 일반 수업에서 명시적으로 다루어지지 않는 과정적 지식이나 문제 상황에 대한 이해의 부족을 인식하고 이러한 이해와 인식이 질문으로 이어지기를 기대한다. 또한 전문가가 전략을 사용하는 과정은 주어진 문제를 해결하기 위해서 스스로 질문하고 답하는 과정으로 볼 수 있으므로 가시화 연습의 지시사항들이 문제 해결을 위해 필요한 질문들의 모형을 제공하기도 한다. 대부분의 문제 풀이 안내는 문제 풀이의 전략이 다른 분야로 전이될 것을 가정해서 문제의 해석-계획-수행-검토와 같이 추상적이고 일반적인 문제 풀이의 과정을 따라서 구성되어 있다는 점에서 가시화 연습과 다르다(Lee & Fensham, 1996).

물리 학습에서 문제 풀이는 언제나 중요한 것으로 인정되어 왔으므로(Larkin, 1981) 학생의 입장에서 추가의 과제라는 부담이 없다. 한편 교사의 기대에 맞는 질문을 만드는데 주의를 기울일 수 있는 가능성을 배제하기 위해서 자신의 질문을 자유롭게 서술하도록 학생에게 요청하는 것 외에 질문에 대해서 따로 언급하지 않았다.

II. 이론적 배경

물리 학습에서 연습 문제 풀이의 역할과 전문가와 초보자의 차이를 중심으로 물리 문제 풀이에 관련된 연구를 정리하고 이를 바탕으로 전문가의 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습을 구안하였다.

1. 연습 문제의 역할

물리 학습에서 연습 문제 풀이가 중요한 이유로 세 가지를 이야기할 수 있다. 첫째 개념이해에 중요한 역할을 하는 것으로 인정되고 있다(Larkin, 1981; Maloney, 1994). 둘째, 자주 사용되는 규칙의 자동화이다(Ward & Sweller, 1990). 예를 들어 구구단을 외우고 있으면 약간 복잡한 곱셈을 하는데 별 문제가 없다. 그러나 구구단에 익숙하지 않으면 곱셈의 모든 단계에서 한 자리 곱셈을 맞게 하였는지 검토해야 한다. 규칙의 자동화는 수학적 기능의 사용 뿐 아니라 물리 법칙의 사용에도 적용된다. 셋째, 학생들이 문제 유형을 중심으로 지식을 조직하는 경향이 있기 때문이다(de Jong & Ferguson-Hessler, 1986). 물리학 전반에 대한 지식을 가지고 있는 전문가는 중요한 몇 가지 물리 원칙을 중심으로 지식을 정리한다. 하지만 그러한 전반적 지식이 부족한 학생들은 문제 유형과 그 문제에 관련된 지식의 모음, 즉 문제 도식을 중심으로 학습이 진행될 때 더 효과적일 수 있다.

한편 스웰러와 그의 동료들은 교과서의 매 장에 나오는 문제들이 물리 학습에 오히려 역효과를 낸다고 주장하였다(Sweller, 1988; Sweller & Levin, 1982; Sweller, Mawer & Ward, 1982; Tarmizi & Sweller, 1988). 초보자들은 흔히 수단-목표 분석방법으로 문제를 풀며 이 방법 자체가 인지적으로 과중한 부담이기 때문에 전체적인 흐름을 파악하거나 문제 도식을 이해할 여력이 없다(안수영 등, 1996). 수단-목표 분석의 선택은 과거의 경험 유무와도 관련이 있다. 학생들은 과거에 경험한 것과 유사한 점이 있다고 생각되면 자신의 경험을 되살려서 규칙을 찾으려고 하지만 그렇지 않으면 수단-목표 분석을 사용

한다. 그러므로 학생들의 입장에서 연습 문제에서 사용하는 문제들이 배운 내용과 서로 관련이 되어 있는 것으로 보아야 한다(Sweller, Mawer & Ward, 1982). 한편 중간 중간에 소목표가 주어져 있어서 매 단계마다 학생이 택한 방법에 대한 검토를 하기 위한 부담이 줄어들면 학생들이 좀 더 쉽게 문제 도식을 습득할 수 있다(노태희, 1998).

2. 전문가와 초보자의 차이

전문가와 초보자의 문제 풀이 과정에서 가장 두드러진 차이는 정성적인 사고의 유무이다(Larkin, 1979; Larkin and Reif, 1979). 전문가는 수식을 택하기 전에 정성적인 사고의 과정을 거친다. 이러한 정성적인 사고는 계획과 검토의 바탕이 된다. 한편 대부분의 초보자에게는 문제에서 구하라고 하는 물리량이 들어 있는 수식을 선택하는 것이 첫 단계이다. 초보자는 이러한 식들을 조합해서 원치 않는 양들을 소거하는 방법을 썼다. 적절한 표상을 구성하기 위해 필요한 정성적인 분석을 할 수 없는 점은 부진한 문제풀이자의 주 문제이며(MacMillan & Swadner, 1991) 경험이 많은 학생도 정성적 사고를 사용하지 않는 것으로 보고되었다(Simon & Simon, 1978). 한편 전문가들도 어려운 문제를 다룰 때에 정성적인 표상을 만들기 전에는 문제 풀이를 시작할 수 없었다(Larkin, 1983).

전문가와 초보자는 또한 지식의 내용과 분류 기준 그리고 위계성 여부에서 차이를 보인다. 드종과 퍼거슨-헤슬러(de Jong & Ferguson-Hessler, 1986)에 의하면, 문제 풀이 과정에서 세 가지 영역의 지식, 즉 선언적 지식(원리, 공식, 개념), 과정적 지식(적절한 관계식과 사용시기의 선택), 그리고 문제 상황에 대한 지식이 필요하다. 선언적 지식에 해당하는 물리 원리와 관계식 등은 수업 중에 명시적으로 다루어지지만 다른 지식들은 암시적으로 제시된다. 대부분의 학생들은 이러한 지식의 균형 있는 습득에 실패한다(Simon & Simon, 1978).

전문가는 물리 원리, 풀이 방법 등, 문제의 문장이나 그림에서 드러나지 않는 심층적인 특징을 기준으

로 지식을 분류하여 위계적으로 구성하는 반면, 초보자는 문제에 사용된 물체의 종류, 물체의 배치, 미지수 등 표면적 특징을 기준으로 분류하고 위계성이 없었다(Chi et al., 1981; Chi et al., 1982). 라이프는 지식이 위계적으로 구성되어 있어야 유용하다고 주장하였고 문제 풀이에서도 풀이의 여러 단계를 위계적으로 구성해서 학생들이 쉽게 이러한 구조를 볼 수 있도록 명시적으로 가르칠 것을 제안하였다(Reif, 1986; Heller & Reif, 1984; Reif & Heller, 1982). 한편 우수한 학생들은 초보자나 전문가와 다르게 문제 유형에 따라서 지식을 분류하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(de Jong & Ferguson-Hessler, 1986).

3. 전문가의 물리 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습 수업

본 연구에서 전문가가 물리 문제를 풀면서 수행하는 행동들을 학생이 답해야 하는 지시사항의 모임으로 재구성해서 학생이 수행하도록 하는 것을 “전문가의 물리 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습”으로 정의하였다. 이 연습은 학생에게 물리 내용에 대한 이해(선언적 지식)와, 이해하게 된 내용을 사용하는 조건(과정적 지식)을 가르치면서 동시에 적절한 질문의 경험이 되어야 한다는 복합적인 목표를 가지고 있다. 전문가의 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습은 문제 풀이의 과정에서 학생에게 요청하는 바가 조작적이고 구체적이라는 면에서 일반적인 문제 풀이 활동과 다르다. “적절한 좌표축을 선택하시오”, “상황을 표현하는 간단한 그림을 그리시오”, 등의 지시문을 예로 들 수 있다. 학생은 자신에게 기대되는 행동이 무엇인지 분명히 볼 수 있다. 그런 의미에서 “가시화”라는 단어를 사용하였다.

물리 교육 연구를 바탕으로 제작된 것으로서 대학교 일학년을 대상으로 하는 연습용 교재 중 알란 반 휴발렌 (Alan van Heuvalen, 1993)이 개발한 알프스 키트(Active Learning Problem Sheets Kit, ALPS Kit)를 기초로 연습수업을 실시하였다. 본 연구에서 선택한 문제 풀이 과정은 그림으로 표현하기,

물리적으로 표현하기, 수식으로 표현하기, 검토의 네 단계로 되어있다(부록 참조). 그림으로 표현하기는 문제 상황을 간단하지만 사실적으로 그려보는 단계이다. 물리적으로 표현하기는 사실적인 그림보다 추상화된 단계로서 힘의 크기와 방향을 나타내는 자유물체도와 같은 그림을 그려보는 단계이다. 수식으로 표현하기 단계에서는 상황에 맞는 수식을 선택하고 풀어서 답을 구한다. 마지막으로 검토 단계에서 학생들은 자신의 답이 타당한지 여부를 검토한다. 이러한 구성은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

우선 이 구조에서 수식의 선택과 풀이는 네 단계중 한 단계 밖에 차지하고 있지 않고 나머지 세 단계가 정성적인 사고를 요구함으로써 정성적인 사고를 경험하게 함과 동시에 정성적인 사고의 비중이 크도록 구성되어 있다.

둘째, 수식으로 표현하기 이전에 두 번의 정성적인 단계를 거치는 동안 계획의 단계를 수행하게 된다. 즉 정성적인 첫 두 단계에는 계획의 과정이 내재되어 있다.

셋째, 각 단계에서 구체적인 지시어를 통해서 기대되는 학생의 행동이 분명하다. 이 지시어들은 또한 학생이 수행해야 하는 여러 가지 전문가다운 행동을 유도하고 있다. 좌표축의 선택과 그에 따른 양의 방향 결정, 벡터의 사용 등 과정적 지식의 사용, 운동 그림, 힘그림 등 물리적이고 정성적인 사고 같은 것들을 예로 들 수 있다.

넷째, 첫 세 단계에서 다양한 표상(그림, 물리적 기호, 수식)을 경험한다.

다섯째, 검토를 하도록 한다. 이 단계에서 답의 부호, 크기, 단위 등 정성적으로 자신이 올바른 방향에 있는지 다시 한 번 살펴보게 된다.

여섯째, 문제 풀이의 과정을 작은 여러 단계로 나누고 각 단계에서 지시어를 통해 과제를 수행하는 구조는 학생이 문제 풀이의 과정을 위계적으로 볼 수 있게 한다. 또한 이 작은 단계들은 학생의 입장에서 볼 때에 작고 쉬운 문제를 여러 개 풀이하는 것과 같다. 즉 문제 풀이의 과정이 작은 소목표로 나누어져 있어서 인지적 부담이 적고 문제 풀이에 대한 자신감의 형성에 도움이 된다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상 및 기간

연구 대상은 수도권 대학의 2000년 1학기 이공계 일반 물리 수강자들이었다. 대학의 일반 물리 수업은 학교마다 차이가 있지만 대개의 경우 강의, 연습, 실험의 세 부분으로 이루어져 있다. 연구가 진행된 학교에서는 연습 시간이 따로 없었고, 실험은 실험 담당 조교에 의해 운영되었다. 연습 시간이 따로 없었으므로 강의 시간 동안 강의와 문제 풀이가 진행되었다. 연구가 수행된 학기 동안 통제집단은 평소에 사용하는 교과서의 문제를 교과서의 방법대로 풀이하였고 실험집단은 전문가의 물리 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습 수업을 수행하였다.

2. 질문 수집과 분석

학생의 질문에 대한 조사는 지필로 시행되었다. 숙제, 수시 시험, 중간 또는 기말 시험 등에서 학생들이 문제를 풀면서 느꼈던 어려움에 대해서 서술하라고 요청했고, 이 부분에 점수가 배당되었다. 어려운 점이 없었으면 없었다고 쓰고, 해결이 되었으면 어떻게 해결했는지 쓰고, 해결이 되지 않았으면 해결되지 않은 부분에 대해 기술할 것을 요청하였다. 즉 본 연구에서 질문이란 학생이 자신의 어려움에 대해서 글로 서술한 것을 의미하며 의문문의 형태가 아닐 수도 있다.

학생이 응답을 하기만 하면, 즉 물리 공부를 하면서 느낀, 자신의 어려움에 관련된 내용을 쓰기만 하면 배정된 점수를 모두 주었다. 예를 들어 관련 물리 개념과 무관한 수업 운영에 대한 의견 등도 감점의 대상이 아니었다. 서술한 내용에 대해서 평가가 행해지면 학생이 자신의 생각을 숨기고, 점수를 잘 받을 만한 질문을 만들게 되는 상황을 유발시킬 수 있기 때문에 내용에 대한 평가는 수행되지 않았다. 연구자는 학생의 질문에 대해서 가능한 한 대답을 했는데, 개인적으로 답을 한 경우도 있고, 질문을 모아서 정리해서 자료로서 나누어주는 방법도 썼다. 이러한 피드백은 실험집단과 통제집단에서 동일하게 실시되었다.

실험집단 학생들이 새로운 형태의 연습에 적응하는 시간을 충분히 주기 위해서 질문 수집은 중간 고사 이후에 시행되었다. 학기초에 학생의 질문을 수집하는 것은 수업 진행의 맥락에 방해가 되기 때문에 학기초에 실험집단과 통제집단의 학생들이 질문하는 능력이 같은 것으로 가정하였다. 학생들은 질문에 대한 조사가 행해지고 있다는 것을 모르며 학생이 궁금한 것을 강의자가 답해주기 위한 수단으로서 질문이 수집되는 것으로 알고 있다. 질문을 학기초에 수집하고 한동안 하지 않다가 또 한 번 수집한다는 것은 이러한 맥락에서 부자연스럽다. 다시 말해서 일단 질문이 수집되기 시작하면 수집하고 피드백을 주는 과정이 계속되어야 자연스럽다. 그런데 그렇게 되면 수업의 영향과 질문 수집 및 피드백의 영향을 구별할 수 없게 된다. 연구자가 학생의 이해에 도움이 된다고 판단할 때마다 질문을 검사하고 답안을 만들어 주었으므로 질문이 여러 번 수집되었지만 수집된 모든 질문을 분석한 것은 아니다. 여러 회수의 질문 중 문제에서 사용하는 물리 개념, 질문 수집 시기, 등 조건이 비슷한 3 회를 선택하여 분석하였는데 1회는 수시 시험의 일부이고, 2회는 수업에 관한 평가 설문을 하면서 설문지 뒤에 그 날 수업한 것에 대한 질문을 적어 내게 했고, 3회는 기말고사의 일부로 수집하였다. 수시 시험은 열린 시험(open book test)이었고, 기말고사는 닫힌 시험(closed book test)이었다.

수집된 질문을 질문의 양과 질문의 질, 두 가지 측면에서 분석하였다. 질문의 양은 학생이 서술한 분량과 질문을 한 학생 수, 두 가지 의미로 해석될 수 있는데 본 연구에서는 질문을 제출한 학생 수를 의미한다. 딜런(Dillon, 1988)에 의하면 학생이 갈등 상황을 접해서 의문이나 당혹감을 느낀다 하더라도 질문의 언어적 구성까지 가지 못하고 포기하거나 언어적으로 구성된 후에도 구두나 문자로 표현되지 않는 경우가 많다. 즉 질문이 표현되는 단계에 이르는 과정에서도 많은 학생이 포기하고 있다. 그러므로 학생들의 질문 여부, 즉 질문을 표현한 학생의 수를 중심으로 조사하였다.

수집된 질문의 질을 평가하기 위해서 학생들이 서술한 질문의 내용에서 자주 관찰되는 특징들을 조사

하고 그 특징에 따라 질문을 분류하였다. 이미 거론한 바와 같이 본 연구에서는 학생들의 질문이 있는 그대로 표현되기를 기대했기 때문에 바람직한 질문의 틀을 명시적으로 제시하지 않았다.

IV. 연구 결과

1. 질문 제출 학생 수

Table 1은 질문을 제출한 학생 수를 보여주고 있다. Table 1의 둘째 열은 질문 수집 당일 출석 학생 수, 셋째 열은 응답한 총 학생 수, 넷째 열은 응답한 학생 중, 수업운영에 관한 의견과 같이 관련이 없는 응답을 제외한 학생 수이다. 1회와 3회는 별도의 시험 문제처럼 “자신이 어려웠던 부분에 대해서 쓰고, 어려움이 해결되었으면 어떻게 해결되었는지도 쓰세요”라고 점수 배정과 함께 시험지에 인쇄되어 있었다. 2회의 경우에는 점수배정 등은 마찬가지로 있으나 따로 지시하였다.

질문 수집상황은 응답 학생 수와 질문 학생 수에 영향을 미치는 것을 보인다. 요구사항이 보다 강조되었던 1회와 3회에서는 응답한 학생 수가 100%에 가깝다. 말로 지시한 2회의 경우 응답 학생 수는 거의 절반으로 떨어진다. 질문한 학생 수는 1회와 2회가 유사하다. 한편 3회에는 학기말 시험이라서 강의자에게서 질문에 대한 피드백을 기대할 수 없는데도 응답 학생 수와 질문 학생 수가 같다. 학생들은 물리내용에 관한 질문에 언제나 답안이 제공되었던 그동안의

피드백을 통해서 물리 내용에 관련된 질문을 쓰는데 익숙해 진 것으로 보인다. 한편 1회와 3회에서 질문 학생 수는 실험 집단과 통제 집단 사이에 유의미한 차이를 보이지 않는다(의 임계치 3.84, $df=1$, $p<0.05$). 그런데 강제적인 느낌이 적고 보다 자발적인 2회에서는 유의미한 차이가 있다. 즉 강제성이 강한 상황에서는 두 집단 간에 차이가 없지만 보다 자발적인 상황이 주어질 때 실험 집단에서 더 많은 학생이 질문을 표현하고 있다. 이러한 현상은 의도적으로 조사한 경우 외에도 관찰되었는데 예를 들어 기말 고사 시험 직전에 약 15분간의 쉬는 시간 동안 실험집단에서는 열 명 가량의 학생들이 질문을 한 반면 통제집단 학생들에게서는 아무런 질문도 없었다. 그러므로 가시화 연습을 학생들은 보다 자발적으로 질문을 표현하는 경향이 있는 것으로 보인다.

한편 한 학생이 서술한 양을 살펴보면 “잘 모르겠다”고 한 단순한 문장에서부터 A4용지를 가득 채울 만큼 많은 경우까지 개인차가 심하다. 이러한 양의 차이는 주로 개인의 성향과 질문이 수집된 상황으로 인한 것으로 보인다. 실험집단 또는 통제집단에 상관 없이 다른 학생과 비교해서 많이 쓰는 학생은 늘 비교적 많이 쓰는 경향이 있었다. 또한 시험이 아니라서 심리적인 부담이 적은 경우 더 많이 썼다.

2. 질문의 질

질문의 질은 학생이 서술한 내용에서 자주 관찰되는 특성을 조사하여 그 특성에 따라 질문들을 다시

Table 1. Number of students who attended at the time of question collection and the number of students with questions

	Student attendance		Students who responded		Students with questions(%)		χ^2 for questions
	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment	
1st	62	57	58	56	21(34)	23(40)	1.534
2nd	63	50	25	33	16(25)	22(44)	6.561*
3rd	62	56	60	56	60(97)	56(100)	3.483

* $p<0.05$

분류해서 분석하였다. 자주 관찰된 첫 번째 바람직한 특징은 구체성이다. 학생이 서술한 내용을 읽은 강의 자가 학생의 의도에 대해 추측할 필요가 적을수록 구체성이 높은 것으로 하였다. 두 번째 바람직한 특징은 과정적 지식의 필요를 인식했다는 점이다.

1) 질문의 구체성

질문의 구체성은 학생이 언급하고 있는 물리 내용이 어느 정도 구체적인가에 의해 4 개 수준으로 구분하였다(Table 2). 구체성을 분류한 예로 자동차가 가다가 벽에 부딪쳐서 설 때 벽이 차에 가하는 힘의 크기를 구하는 수시 시험 문제(1회)에 관한 질문을 아래에 인용하였다.

수준 0의 질문은 잘 모르겠다든 것 이상의 내용이 없는 경우이다. 구체적인 물리 법칙이나, 개념의 언급이 전혀 없이 물리는 어렵다, 물리는 잘 모르겠다 등의 서술만 있는 경우이다.

수준 1은 문제에서 다른 개념에 대해서 언급하고 있지만 개념의 정의, 단어의 단순한 사용 등에 그친 경우로 다음과 같은 예를 들 수 있다.

“충격량을 제대로 이해하지 못했다.”

“힘과 운동량의 구별이 어렵다.”

이 질문들은 언급된 개념이나 식의 어떤 부분에 의문을 가지고 있는지 짐작하기 어렵다. 즉 학생들이

자신의 이해가 부족한 부분을 제대로 인식했다고 보기 어렵다.

수준 2는 개념이나 정의, 공식 등을 언급했을 뿐만 아니라 그에 대해서 자신이 가진 질문을 표현하려고 했으나 학생의 의도가 분명하지 않은 경우이다. 조작적인 의미에서 수준 2는 수준 1과 수준 3으로 분류되고 남은 질문들이다. 따라서 수준 2로 분류된 질문들의 구체적인 정도가 균일한 것은 아니다.

수준 3은 충분히 구체적이어서 학생이 어떤 생각을 했는지 읽는 사람의 추측이 거의 필요 없는 서술이다. 예를 들면 다음과 같다.

“힘의 평균 크기를 구하는 문제에서 평균의 의미는 차가 충돌하고 나서 받은 힘과 처음 자동차에 가해지는 힘의 차이를 2로 나누어 구하는 방법도 있지 않을까 라는 생각이 드는데요? 맞는 방법인지 아닌지 궁금합니다.”

이 학생이 의문을 가진 점이 힘의 평균을 구하는 방법인데, 시간에 따른 변화가 일차원적인 물리량의 평균을 구하는 방법과 혼동하고 있음을 볼 수 있다. 같은 의문을 가진 학생이라 하더라도 이 내용을 “힘의 평균이 무슨 뜻인지 모르겠습니다.”라고 썼다면 어디가 어떻게 혼동이 된다는 것인지 전혀 알 수 없으므로 수준 1의 질문이 된다. 만일 “Fdt를 이용해서 힘을 구하기는 했는데 맞게 한 건지 모르겠다”라고

Table 2. Level of details and examples of each level

Level of details	Criteria for each level	Example
Level 0	No physics content is mentioned.	Physics is too hard for me to understand
Level 1	A concept, a law or a formula is mentioned.	I do not understand impulse. I cannot differentiate the force and the momentum.
Level 2	A student asked questions regarding a concept, a law or a formula but what she meant was not clear.	I do not understand the part where Newton's 2nd law was used to prove that impulse was the same as the change in momentum.
Level 3	Students' description was detailed enough that there was not much ambiguity.	In the problem where the average force was to be found, isn't it OK to sum the initial force and the final force then divide by two?

쓴다면 수준 2의 질문이 될 것이다.

두 집단에서 구체성의 각 수준에 분류되는 질문을 제출한 학생의 수를 출석 학생 수 백분율로 나타내어 서 Table 3에 정리하였는데 제출한 질문들 중 구체성이 높은 것이 차지하는 비율이 통제집단 보다 실험집단에서 더 큰 것을 볼 수 있다. 통계적인 유의미성을 검증하기 위해 수준 2와 3은 구체적인 질문을 한 학생으로 묶고, 나머지는 구체적인 질문을 하지 못한 학생수로 묶어서 χ^2 검증을 하였다. Table 4에서 보여주는 바와 같이 2회와 3회에서 실험집단과 통제집단 사이에 유의미한 차이가 있었다. 즉 처음 질문이 수집 될 때는 차이가 별로 보이지 않았으나 연습이 진행됨에 따라 두 집단 간에 차이가 나타나고 있다. 그러므로 가시화 연습은 학생의 질문을 구체화하는 효과가 있다.

2) 과정적 지식의 필요 인식

문제 상황에 무관하게 과정적 지식에 대한 질문이 많이 관찰되었다(Table 5). 문제 상황을 표현하고 공식을 사용하는데 필요한 수학적 기능도 과정적 지식으로 분류하였다. 과정적 지식에 관련된 질문의 보

기는 아래와 같은 것들이 있다.

물리 개념에 관련된 보기

“정지하는 동안 가속도를 어떻게 구해야하나요?”

“토크를 구할 때 $\vec{r} \times \vec{W}$ 인데, \vec{W} 에 어떤 질량이 들어가야 하나?”

수학적인 기능의 적절한 사용에 관련된 보기

“가속도의 부호가 +인지 -인지?”

“적절한 좌표의 선택이 어렵다.”

“토크를 구할 때 $\sin\theta$ 에서 각 θ 를 무엇을 기준으로 측정해야 하는지?”

“x 성분 또는 y 성분을 구할 때 언제 $\sin\theta$ 를 쓰고, 언제 $\cos\theta$ 를 쓰는지 혼동된다.”

학생들은 물리적인 면보다는 수학적인 기능에서 더 많은 어려움을 느꼈다. 특히 언제 -부호가 들어가는지, 좌표축(병진 운동) 또는 축(회전 운동)의 선택, 등은 문제의 맥락에 무관하게 늘 문제가 되었다. Table 5는 처음 질문이 수집 될 때는 과정적 지식에 대한 차이가 별로 보이지 않았으나 연습이 진행됨에

Table 3. Level of details and examples of each level

	Level 0(%)		Level 1(%)		Level 2(%)		Level 3(%)	
	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment	Control	Treatment
1st	8(13)	11(19)	8(13)	4(7)	3(5)	4(7)	2(3)	4(7)
2nd	3(5)	2(4)	7(11)	7(14)	3(5)	8(16)	3(5)	5(10)
3rd	0(0)	1(2)	45(73)	32(54)	10(16)	14(25)	9(15)	12(21)

Table 4. Chi-squared comparison for the detailed questions

	Detailed questions		χ^2
	Control	Treatment	
1st	5	8	2.428
2nd	6	13	7.822**
3rd	17	26	6.875**

**p<0.01

Table 5. Questions regarding procedural knowledge

	Questions regarding procedural knowledge (%)		
	Control	Treatment	χ^2
1st	11(18)	12(21)	0.87
2nd	6(10)	16(32)	11.81***
3rd	11(18)	16(29)	8.46**

p<0.01 *p<0.001

따라 2회와 3회에서 두 집단 간에 유의미한 차이가 나타남을 보여준다. 즉 가시화 연습은 학생들에게 과정적 지식이 필요하고, 자신이 그런 지식이 부족하다는 것을 일깨워주는 효과가 있었다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 적절한 물리 연습 문제 풀이를 통해서 학생의 질문의 양과 질이 향상 될 것으로 가정하였다. 이러한 문제 풀이 연습을 위해서 전문가가 사용하는 전략을 단계적인 문제 풀이 안내의 형태로 가시화하는 연습을 구안하였다.

질문의 평가는 질문의 양과 질, 두 관점에서 시행되었다. 질문의 양은 질문을 제출한 학생의 수이다. 질문의 질은 학생들이 서술한 내용에서 자주 관찰되는 특성을 조사하여 그 특성에 따라 질문들을 다시 분류해서 분석하였다.

연구 결과 질문을 제출한 학생의 수는 상황에 따라 변화가 있었으나, 실험집단 학생들이 보다 자발적으로 질문을 표현하는 경향을 보였다. 질문의 질에서 빈번하게 관찰된 특성 중 하나는 구체성이다. 두 반 모두 어떤 개념 또는 관계를 언급하면서 잘 모르겠다고 말할 뿐인 구체적 수준 1의 질문이 가장 많았지만 실험 집단에서 수준 2 또는 3의 질문이 더 많이 관찰되었다. 질문의 질에서 두 번째 특성은 과정적 지식의 필요성을 인식했다는 점이다. 많은 학생들이 이미 알고 있는 물리 공식 또는 수학적 내용을 언제 어떻게 사용하는지 혼동이 된다고 하였는데, 이런 질문은 수학적 기능에서 더 많이 관찰되었다. 실험 집단에서 더 많은 학생이 과정적 지식에 관한 질문을 하였다.

결론적으로 전문가의 문제 풀이 전략 가시화 연습은 질문의 양과 질, 두 면에서 긍정적인 영향을 미쳤다. 가시화 연습은 질문하는 학생의 수를 증가시켰고, 보다 구체적으로 질문할 수 있거나 과정적 지식의 필요를 인식하는 학생의 수를 증가시키는 효과가 있었다.

시하고 질문 만들기를 연습시킴으로써 학생 질문의 양과 질의 향상을 기대한 종전의 연구와 달리 적절한 물리 연습 문제 풀이를 통해서 학생의 질문이 향상될 것을 가정하였다. 이 연습에서는 전문가가 물리 문제를 풀 때 사용하는 전략을 단계적인 문제 풀이 안내의 형태로 구성하였는데 각 단계에서 조작적인 지시 사항을 사용하여 학생에게 기대되는 행동을 명시적으로 제시했다는 뜻에서 가시화 연습이라고 하였다. 이러한 문제 풀이 과정은 이해가 부족한 부분을 구체적으로 인식하도록 돕고 따라서 학생이 스스로의 질문을 정확하게 인식하고 표현하는데 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대되었다.

연구의 대상은 이공계 물리학 강의를 수강하는 서울지역 대학 일학년 학생이었다. 수업의 대부분은 동일하고, 다만 연습문제 풀이를 할 때 실험집단은 전문가의 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습 활동을 했고, 통제집단 학생들은 교과서에 있는 연습 문제를 전통적인 방법으로 풀었다. 학생들의 질문을 조사하기 위해 과제물을 부여할 때 또는 시험을 실시할 때 자신이 어려웠던 부분에 대해서 서술할 것을 요청하였다. 즉 본 연구에서 질문은 학생들이 자신이 경험한 어려움에 대해서 글로 서술한 것을 의미하며 의문문의 형태가 아닐 수도 있다.

수집된 질문을 질문의 양과 질, 두 가지 측면에서 분석하였다. 실험집단의 학생들은 통제 집단의 학생들보다 자발적으로 질문을 표현하는 경향이 있었다. 학생 질문의 내용에서 많이 관찰된 첫째 특성은 자신의 어려움에 대한 구체적인 표현의 증가이다. 두 번째 특성은 과정적 지식의 지식의 필요를 인식했다는 점이다. 구체적인 표현과 과정적 지식에 관한 인식은 모두 실험집단에서 더 많이 관찰되었다.

주요어 : 학생 질문, 물리 문제 풀이, 전문가의 문제 풀이 전략, 대학 일반 물리

적 요

본 연구에서는 바람직한 질문의 일반적인 예를 제

참 고 문 헌

김성근, 여상인, 우규환(1999), 과학 수업에서의 학생

- 질문에 대한 연구(I)-학생 질문을 강화한 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 19(3), 377-188.
- 김진만(1995). 학생의 열과 온도 개념 변화에 있어서 인지 전략적 질문의 역할, 서울대학교 대학원 박사 학위 논문
- 노태희, 김동연, 김혜경, 홍은경, 강석진, 채우기, 노석구(1997). 문제 해결식 교수 방법이 학생의 성취도, 과학 과정 기술, 과학 활동 인식에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 17(1), 45-53.
- 박은주(1998). 교실 수업에서 안내된 상호 질문 활동이 중학생의 힘 관련 단원 학습에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 안수영, 권재술(1996). 문제 해결자의 정신 용량과 문제의 요구 정신 용량이 문제 해결에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 16(2), 134-145
- 양미경(1987). 교수-학습 상황에서 질문이 갖는 의미와 역할. 교육개발, 9(1), 108-115.
- 윤혜경(1995). 중학교 '일과 에너지' 단원 수업의 정성적 이해. 한국과학교육학회지, 16(2), 154-163.
- 이무 박승재(1987). 일반계 고등학교 과학 교육 실태 비교 분석. 한국과학교육학회지, 7(2), 71-87.
- Chi, M. T. H., Bassak, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R.(1989) Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. S. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M. T. H. Glaser, R., & Rees, E.(1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.) *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1; pp. 7-75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- de Jong, T. & Ferguson-Heller, M. G. M. (1986). Cognitive structures of good and poor novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78(4), 279-288.
- Dillon, J. T.(1988). *Questioning and teaching : A manual of practice*, London and Sydney : Croom Helm Ltd.
- Ferguson-Hessler, M. G. M. & de Jong, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study process between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54. Maloney(1994)에서 재인용.
- Heller, J. I., & Rief, F.(1984). Prescribing effective human problem-solving processes: problem description in physics, *Cognition and Instruction*, 1(2), 177-216.
- Heller, P., & Hollabaugh, M.(1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60(7), 637-644.
- Larkin, J. H.(1979). Processing information for effective problem solving. *Engineering Education*, 285-297.
- Larkin, J. H.(1981). Cognition of learning physics. *The American Journal of Physics*, 49(6), 534-541.
- Larkin, J. H.(1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.) *Mental models* (pp. 75-98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Larkin, J. H. & Rief, F.(1979). Understanding and reaching problem solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 191-203.
- Lee, K. L. & Fensham, P. J.(1996). A general strategy for problem solving high school electrochemistry problems. *International Journal of Science Education*, 18(5), 543-555.
- Maloney, D.(1994). Research on Problem Solving : Physics, in Gable, D. L. (Ed.)

- Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, part III, chapt. 12, 327-354. MacMillan Publishing Company.
- McMillan, C., & Swadener(1991). Novice use of qualitative versus quantitative problems solving in electrostatics. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 661-670.
- Reif, F.(1986). Scientific approaches to science education. *Physics Today*, Nov. 48-54.
- Reif, F., & Heller, J. I.(1982). Knowledge structures and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2), 102-127.
- Maloney(1994)에서 재인용.
- Reif, F., Larkin, J. H., & Brackett, G. C. (1976). Teaching general learning and problem solving skills. *American Journal of Physics*, 44(3), 212-217.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C.(1992). Test-based and knowledge-based questioning by children. *Cognition and Instruction*, 9(3), 177-199.
- Simon, D. P., & Simon, H. A.(1978). Individual differences in solving physics problems. In R. S. Siegler (Ed.) *Children's thinking: What develops?* (pp. 325-348). Hillside, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sweller, J.(1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J., & Levin, M.(1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8(5), 463-474.
- Sweller, J., Mawer, R., & Ward, M.(1982). Consequences of history: Cues and Means-ends strategies in problem solving. *American Journal of Psychology*, 95(3), 455-483.
- Tarmizi, R., & Sweller, J.(1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 424-436.
- van Heuvalen, A.(1993). ALPS(Active Learning Problems Sheets) kit.
- Ward, M., & Sweller, J.(1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and Instruction*, 7, 1-39.

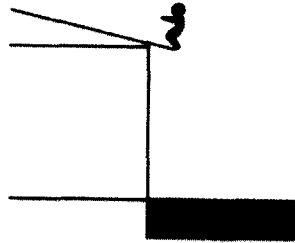
부 록

전문가의 문제 풀이 전략을 가시화하는 연습 활동지 예

질량이 50kg인 사람이 정지상태에 있다가, 지상에서 5m인 지붕의 가장자리에서 미끄러졌다. 지상에 떨어진 사람은 다행히 진창에 떨어졌는데 정지할 때까지 진흙 속 0.1m 깊이로 들어갔다. 이 사람이 정지하는 동안 진흙이 사람에게 가한 힘의 평균값을 구하시오. $g=10\text{m/s}^2$ 로 가정한다. (이 문제는 두 부분으로 이루어져있다.)

그림으로 표현하기

- 좌표축
- 알고 있는 값들을 적절한 문자로 표시
- 모르는 값들을 적절한 문자로 표시



물리적으로 표현하기

위의 그림에서 관심의 대상인 계를 원을 그려 표시하자. 그리고 계에 대해서 운동그림과 힘그림을 그린다.

수식으로 표현하기 그리고 풀이

문제를 풀기위해 자신이 선택한 방법을 두 개의 문장으로 정리하시오.
자신이 선택한 방법에 따라 문제를 푼다.

검토

- 구한 답의 부호가 합리적인가?
- 답의 단위는?
- 답의 크기는 합리적인가?