

작용 반작용 과제에서 고등학생의 인지갈등 불안유형에 따른 설명가설 형성의 특성(II)

김연수* · 조용현¹ · 권재술¹

오하이오 주립대학교* · 한국교원대학교¹

Characteristics of Explanatory Hypothesis Formation by Anxiety Types in High School Students Cognitive Conflict about Action-Reaction Task (II)

Kim, Yeounsoo* · Cho, Yeounghean¹ · Kwon, Jaesool¹

The Ohio State University* · Korea National University of Education¹

Abstract: According to the cognitive conflict process model, student anxiety factor is known to have both positive and negative effects on student response behaviors in a conflict situation for conceptual change learning. However, there is little research that reveals what type of anxiety, either constructive or destructive, is related when conducting step-by-step experiments to resolve cognitive conflicts. This study attempted to learn the characteristic of explanatory hypothesis according to anxiety type after conducting five step-by-step experiments related to action and reaction concept. Results found that students who belonged to the types of ‘conviction in logical misconception’, ‘insisting on additional variables’, and ‘reasonable modification’ suggested explanatory hypothesis close to physical nature. On the other hand, those who showed the other five types of anxiety (‘compatible predictions’, ‘dependence on others’, ‘fusion of past experience’, ‘lack of confidence’, and ‘conflict with past experience’) suggested temporary supported hypothesis or simple explanatory hypothesis according to student intuition and simple observation. These results indicate that students in the above-mentioned five categories need more external interactions with instructors based on the type of anxiety related to student behavior. In addition, the results present student characteristics which instructors should be more attentive to when using step-by-step experiments to resolve cognitive conflicts.

Key words: anxiety types, cognitive conflict, explanatory hypothesis, step-by-step experiments

I. 서론

1980년대 이후로 학생의 대안적 개념과 개념변화에 관한 연구는 과학교육에서 매우 중요한 비중을 차지하고 있다(박지연, 이경호, 2004; Duit, 2003). 특히 학생의 개념변화 연구에서, 과학교육자, 발달 심리학자, 동기 심리학자들은 학생들이 대안적 개념을 변화시키기 위해서는 인지갈등을 먼저 경험해야된다는 사실을 공통적으로 강조하고 있다(권재술 등, 2003). 이러한 사실은 사람이 참된 진리에 도달하기 위해서는 ‘무의식적 무지’ 상태에서 ‘의식적 무지’ 상태로 각성되어야하며, 이 과정에서 갈등을 회피할 수 없다는 소크라테스의

주장과도 일맥상통한다 (Marchant, 1974).

최근 Lee *et al.*(2003)은 인지갈등 과정을 설명할 수 있는 인지갈등과정 모형을 개발하고, 이 모형에서 인지갈등의 구인을 갈등 상황에 대한 인식, 흥미, 불안, 인지적 재평가 등 네 가지 요인으로 정의하였으며, 이들 요인 중 불안¹⁾ 요인이 학생의 반응 행동에 긍정적 영향과 부정적 영향을 미칠 수 있다고 주장하였다(권재술 등, 2000; Lee & Kwon, 2003, 2004). 또한 지금까지 학업성취상황²⁾에서 불안 특성을 탐색한 많은 연구자들이 불안 특성과 일반적 학업 성취 특성 사이에 부적 상관 관계가 있음을 보고하고 있다(문헌의 전체적인 정리는 Hembree, 1988을 참고; Hong & Karstenson,

*교신저자: 김연수(yeounsoo98@yahoo.co.kr)

¹2004.12.10(집수) 2005.5.23(1심통과) 2005.5.29(2심통과) 2005.6.7(최종통과)

2002; Cassidy & Johnson, 2002).

이와 관련하여 김연수(2002)는 인지갈등 상황에서 학생이 경험할 수 있는 불안유형을 불안 정도의 높낮이에 따라 다음과 같이 여덟 가지 유형으로 구분하였다(Kim *et al.*, 2004). 높은 불안 반응을 보이는 학생은 '논리적 오개념 확산형', '변인추가 시도형', '자신감 부족형', '과거 경험 충돌형' 등의 유형으로, 반면 낮은 불안 반응을 보이는 학생은 '예측결과 양립형', '합리적 수정형', '타인 의존형', '과거 경험 융합형' 등으로 분류하였다. 그는 이들 유형 중 높은 불안의 논리적 오개념 확산형과 낮은 불안의 합리적 수정형을 개념변화 학습을 촉진시키는 유형이라고 제안하였으며, 최근에는 이러한 연구를 근거로 교사가 인지갈등 해소전략을 이용한 '단계적 실험 중심의 물리 수업'³⁾ 과정에서 학생들의 인지갈등과 불안유형을 점검할 수 있는 평가 도구(iCARE: in-class Conflict and Anxiety Recognition Evaluation)를 개발하였다(Kim & Bao, 2004a, 2004b, www.modelanalysis.net/ICARE/).

또한 박종원(2000, 2001)은 불일치 상황에서 대면한 학생들이 설명가설을 어떻게 제안하느냐에 따라 개념변화 학습과정에 중요한 영향을 미친다고 주장하며, 학생의 배경지식이 설명가설을 제안하는데 중요한 역할을 한다고 강조하였다. 따라서 이러한 선행연구를 종합해 볼 때, 불일치 상황에서 학생이 보여주는 불안 특성과 설명가설을 제안하는 특성이 개념변화 학습에 매우 중요한 요인이 된다는 것을 알 수 있다.

최근, 조용현 등(2004)과 Kim *et al.*(2004)은 이러한 선행연구들을 종합하여 단계적 실험을 수행하기 전, 작용·반작용 과제와 관련된 불일치 상황에서 학생들

이 불안유형에 따라 어떤 설명가설을 제안하는가를 알아보고 다음 표 1과 같은 결과를 제시하였다.

첫째, '논리적 오개념 확산형'(사례 학생 1번 등)과 '합리적 수정형'(학생 7번)의 학생들은 불일치 상황을 설명하기 위한 가설 제안 과정에서 힘의 평형 개념과 작용·반작용 개념 등을 연관시켜 물리적 본성에 가까운 수정된 가설을 스스로 제안할 수 있었다. 즉, 학생들이 불일치 상황에서 배경지식을 이용하여 물리적 본성에 가까운 설명가설을 제안하기 위해서는 사전 예측 단계에서 이미 잘 구조화된 이론을 갖고 있어야 한다는 것이다. 과학교사가 인지갈등전략을 이용할 경우 이와 같은 불안유형의 학생들은 보다 심화된 개념학습이 가능하리라 예상된다.

둘째, '과거경험 충돌형'(학생 10번)이나 '과거경험 융합형'(학생 6번)의 학생처럼 단편적 과거 경험에 의존하여 배경지식을 탐색하거나 불일치 상황을 합리화시키는 경우, 또는 '예측결과 양립형'(학생 5번)의 학생처럼 명확한 사전 개념 없이 관찰한 현상의 표면적 특징만을 언급하는 경우, 그리고 '변인추가 시도형'(학생 4번 등)과 같이 관찰한 실험도구의 표면적 특징에만 집중할 경우에는 물리적 본성에 가까운 새로운 이론적 가설을 제안할 수 없었다. 이러한 유형의 학생들은 자신의 배경 지식을 순차적으로 반추하고 자신이 제안한 가설의 논리를 명확히 확인할 수 있도록 돕는 단계적 실험이 필요하다.

셋째, 높은 불안유형의 '자신감 부족형'(학생 8번 등)과 낮은 불안유형의 '타인 의존형'(학생 3번 등)은 설명가설을 제안하지 못하거나 매우 수동적인 태도를 보여주었다. 이 두 유형은 무엇보다도 교사의 도움이

- 1) 불안 특성은 크게 안정성을 기준으로 구분하는 특성불안(trait anxiety)과 상태불안(state anxiety), 그리고 심리학적 구성요인으로 구분되는 인지적 불안(cognitive anxiety)과 정서적 불안(emotional anxiety)으로 나눌 수 있다. 특성불안은 보통 개인의 성격 특성으로 인해 평가상황 마다 지속적으로 표출되는 정서적 상태를 의미하고, 상태불안은 주어진 평가상황으로 인해 발생하는 일시적인 정서적 상태를 의미한다(Spielberger, 1972; Spielberger & Vagg, 1995). 또한 인지적 불안은 성공에 대한 부정적 기대나 걱정과 같은 반응 특성을 의미하며, 정서적 불안은 심장박동이 빨라지거나 식은땀이 흐르거나 하는 불편한 감정이 느껴지는 생리적 반응을 의미한다. 심리학적 구성요인 중 인지적 불안 특성이 학습과 과제수행을 가장 직접적으로 방해한다고 보고되었다(Cassidy & Johnson, 2002). 인지갈등과정 모형에서의 '불안'은 불일치 상황을 해결할 수 없어서 '혼란스럽고', '고민이 되고', '답답한' 감정상태로 정의되며 이러한 특성은 위에서 언급한 불안 범주에서 인지적 불안과 상태 불안, 즉 '인지적 상태 불안'에 속한다고 볼 수 있다. 개념변화학습을 위한 불일치 상황에서 학생이 경험하는 불안 특성은 다음 문헌에서도 보고되고 있다(Dreyfus *et al.*, 1990; 박종원 등, 1993; Movshovitz-Hadar & Hadass, 1990).
- 2) 학업성취 상황에서 '불안'을 일반적으로 '시험불안(test anxiety)' 또는 '불안'이라고 한다. 여기서 '시험'이라는 말은 학생의 인지적 능력이 평가되고 있는 모든 상황에 적용될 수 있다. 예를 들어 교사의 간단한 질문에서부터 공식적인 시험 상황에 이르기까지 포괄적인 의미를 내포한다(Stipek, 2002). 따라서 교사가 시험이나 실험 결과를 질문하고 학생의 설명을 기대하는 상황도 이러한 범주에 포함된다.
- 3) 단계적 실험중심의 물리수업으로 대표적인 사례는 '탐구를 통한 물리(Physics by Inquiry)' (McDermott *et al.*, 1996)를 예로 들 수 있다. 이 물리교육과정에서는 단계적 실험을 통하여 인지갈등 제시하기-직면하기-해소하기(elicit-confront-resolve) 전략을 이용하고 있다. 보통 3명~4명으로 구성되는 각 모둠을 중심으로 모둠원들 간의 협동학습을 통하여 인지갈등을 해소한다. 현재 미국의 여러 대학에서 물리학 비전공 학생과 초·중등 과학교사를 대상으로 이 교육과정이 실시되고 있다(McDermott, 2001; McDermott & Shaffer, 1992; Shaffer & McDermott, 1992).

Table 1

Before the step-by-step experiments, the characteristics of explanatory hypothesis by anxiety types in the conflict situation.

Anxiety level	Anxiety type related to student behaviors	Case student	The characteristics of explanatory hypothesis
High anxiety	Conviction in logical misconception	S1, S16, S20	New hypothesis close to physical nature by using previous knowledge
	Insisting on additional variables	S4, S9, S14, S18	Temporary supported hypothesis or simple explanatory hypothesis according to student intuition and the result of the observation
	Lack of confidence	S8, S11	Simple explanatory hypothesis based on the student's intuition and the result of the observation
	Conflict with past experience	S10	Temporary supported hypothesis based on the past experience
Low anxiety	Compatible predictions	S5	Temporary supported hypothesis based on the result of the observation
	Reasonable modification	S7	New hypothesis close to physical nature by using the previous knowledge
	Dependence on others	S3, S13, S17	Temporary supported hypothesis based on the simple student intuition
	Fusion of past experience	S6	Temporary supported hypothesis based on the past experience

가장 크게 필요로 하며, 보다 집중적인 상호작용이 이루어져야 한다. 특히, '자신감 부족형'의 학생은 그 자신감 부족의 원인이 무엇에 근거하는가를 심층적으로 탐색하고 이해하는 것이 중요하며, '타인의존형'의 학생은 자신의 학습동기와 학습태도를 반추할 수 있도록 돕는 교과사와의 구체적인 상호작용이 연구되어야 한다.

따라서, 위에서 언급한 세 가지 결과에 근거해 볼 때, 여덟 가지 불안유형에 속하는 학생들에게 과학적 가설 형성을 촉진하기 위하여 고안한 다단계 실험을 추가적으로 수행하도록 할 필요가 있으며, 다단계 실험 이후 이 학생들의 설명가설이 구체적으로 어떻게 변하게 되는가를 보다 심층적으로 알아볼 필요가 있다.

이와 같은 연구목적을 수행하기 위하여 기초 연구(조용현 등, 2004)에 참여한 학생들을 대상으로 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

선풍기·수레 과제에서 불일치 상황에 직면한 학생들이 이 과제와 관련된 다단계 실험을 수행한 후 제안하는 설명가설의 특징은 무엇인가?

II. 연구 절차 및 방법

이 연구의 기초 연구(조용현 등, 2004)에 참여한 표

1의 16명의 학생들이 기초 연구에 이어 바로 이 연구에 참여하였다. 이 학생들은 경기 지역의 일반계 고등학교 1학년 과학 특별반 학생들로 반에서 과학학업 성취도가 30% 안에 들었으며, 면담과정에서 물리 학습에 대한 흥미 정도가 보통 이상이라고 언급하였다. 이들은 선풍기·수레 과제4(그림 1의 (a))에서 수레와 선풍기에 작용하는 힘의 작용점을 잘못 표현하거나, 동시에 고려해야 할 한 쌍의 작용 반작용의 힘 중에서 한 가지 힘만 표현함으로써 수레가 특정 방향으로 움직인다는 오개념을 공통적으로 갖고 있었던 학생들이다. 또한 이 학생들은 인지갈등 상황에서 인지갈등 구성요인 중 인식, 흥미, 재평가 요인은 상 수준(인지갈등 수준: 67%이상)으로 높지만, 불안 요인에서는 높거나(불안 수준: 67%이상) 낮게(불안 수준: 33%이하) 나타난 사례들이다.

이 연구에서 작용 반작용 현상에 대한 설명가설 형성을 촉진하기 위하여 제시한 다단계 실험 과제(김연수, 2002; 인지갈등전략 연구회, 2003, 2004)는 그림 1에서 (b), (c), (d), (e) 등의 상황이다.

그림 1(a)는 기초연구에서 인지갈등을 일으키기 위해서 제시한 자료이며, 이 상황에서 학생들이 나타내는 인지갈등의 불안유형과 그 불안유형에 따른 설명가

4) 선풍기·수레 과제에 대한 자세한 논의는 다음 자료에서 자세히 논의하고 있다(인지갈등전략 연구회, 2003, 2004; 조용현, 김연수, 권재술, 2004; Clark, 1986a, 1986b; Hewitt, 1988, 2003; Jargodzki & Potter, 2001; Kim & Kwon, 2004; Martinez & Schulkins, 1986; Rutledge, 1986; Wallingford, 1986).

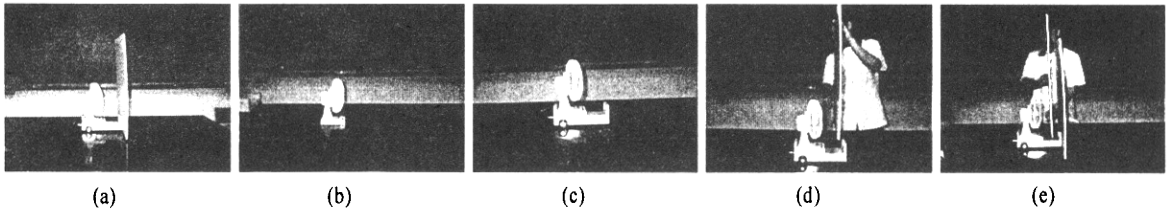


Fig. 1 The step by step experiment situations.

설의 특성에 관한 결과는 첫 번째 연구(조용현 등, 2004)에서 보고하였다.

그림1(a) 상황에서 인지갈등을 경험하고 이 현상에 관한 설명가설을 제안한 후, 학생들은 다음과 같은 다섯 가지 단계적 실험에 참여하였다. 첫 번째 실험은 (1) '지면 위의 선풍기 과제'로서 그림1(b)에서 같이 실험대 위에 선풍기만 올려놓고 프로펠러를 가동시킨 후, 선풍기에 작용하는 힘을 '자유 물체도'를 이용하여 표현해보는 과제이다. 두 번째 실험은 (2) '바닥 없는 로켓 과제'로써 그림1(c)에서와 같이 수레 끝에 부착된 판지를 제거하고 선풍기만을 수레 위에 올려놓고 프로펠러를 가동시킬 때 수레의 운동을 예측하고 관찰하는 과제이다. 세 번째 실험은 (3) '바닥 있는 로켓 과제'로서 그림1(d)에서와 같이 수레 끝에 판지를 접근하면서 수레 위의 선풍기의 프로펠러를 가동시킬 때 수레의 운동을 예측하고 관찰하는 과제이다. 네 번째 실험은 (4) '실험 (2)와 실험 (3)에서 수레의 속력비교 과제' 이다. 다섯 번째 실험은 (5) '삽입과제'로서 그림1(e)에서와 같이 그림1(a)의 인지갈등 과제의 선풍기와 판지 사이에 또 다른 판지를 삽입시켰을 때 수레의 운동을 예측하고 관찰하는 과제이다.

이와 같은 단계적 실험을 통하여 학생들은 힘의 평형과 작용점 개념 및 작용 반작용 개념을 이해하는데 필요한 정보를 탐색하고 자료를 수집할 수 있다. 학생들은 위 다섯 가지 실험을 수행한 후, 그림1(a) 상황에 대한 설명 가설을 다시 제안하는 최종 과정에 참여하였다.

이 연구의 결과는 위 다섯 가지 단계적 실험과정 중, 학생들이 실험 활동지에 작성한 원안과 이 과정을 모두 녹음한 자료를 전사한 원안을 근거로 하였다. 최종적으로 전사한 원안을 연구에 참여한 학생들이 다시 확인하였고, 물리교육 전문가 4명이 자료해석에 참여하였다. 네 명의 연구자들이 서로가 모두 공통적으로 동의하는 사항에 한하여 연구 결과를 도출함으로써 연구결과의 타당도와 신뢰도를 높이고자 노력하였다.

III. 연구 결과 및 논의

이 연구에서는 인지갈등을 경험한 고등학생들이 다섯 가지 단계적 실험을 수행한 후, 인지갈등의 불안유형에 따라 어떤 설명가설을 제안하느냐에 초점을 맞추어 분석하였다. 학생들이 그림1(a)의 선풍기·수레과제에서 보여준 불안유형과 단계적 실험 전의 설명가설의 특성은 표 1의 일차 연구결과(조용현 등, 2004)를 근거로 한다.

1. 단계적 실험 후, 높은 불안유형 학생의 설명가설 특성

먼저 높은 불안유형에 속한 학생들이 다섯 가지 단계적 실험 후에 제안한 설명가설의 특징을 정리하면 표 2와 같다.

각 불안유형을 대표하는 사례 학생을 중심으로 학생들이 단계적 실험 후에 제안한 설명가설의 특징을 다음과 같이 제시한다.

논리적 오개념 확산형(사례 1번 학생)

이 학생은 최종 과정에서 선풍기와 공기, 공기와 판지 사이의 작용 반작용과 관련된 착함을 명확히 언급하고, 이를 근거로 수레에 작용한 힘들 사이의 평형관계를 주장하였다. 다음은 이 학생이 최종과정에서 제안한 설명가설과 관련된 면담 내용이다.

- 연구자 : 그럼, 단계별 실험을 해보았으니 다시 아까 선풍기·수레가 정지한 현상을 설명하는 가설을 제안해볼까?
- 학생1 : 이제! 거의 확신이 서네요! 여기서 수레, 판지, 선풍기는 하나의 큰 물체라고 생각하여 F_1 (공기가 선풍기에 준 반작용의 힘) = F_2 (공기가 판지에게 준 작용의 힘)이므로 이 두 힘이 평형을 이루어 수레는 정지한 거죠
- 연구자 : 그럼! F_1 , F_2 는 누가 누구를 미치는 힘이니?
- 학생1 : F_1 은 공기가 선풍기를 미치는 힘이고, F_2 는 공기가 판지를 미치는 힘입니다.
- 연구자 : 실험을 하기전의 너의 이론과 갑자기 틀리네! 즉, 마찰력도 없어지고, 판지에게 작용하는 두 가지 힘도 한 가지 힘으로만 표현된 까닭은?
- 학생1 : 실험 2에서 판지를 제거하고 실험을 했을 때 수레가 쉽게 움직인 것으로 보아서 마찰의 영향은 거의 무시해도 될 것 같았고, 시범실험을 통해서 꼭 관찰해보고 정리해보니 제 생각이 틀린 것 같아요!

Table 2

After the step-by-step experiments, the characteristics of explanatory hypothesis by high anxiety types

Anxiety level	Anxiety type	Case student	The characteristics of explanatory hypothesis
High anxiety	Conviction in logical misconception	S1, S16, S20	Changed hypothesis very closer to physical nature The hypothesis based on the information that were collected in the experiments
	Insisting on additional variables	S4, S9, S14, S18	Changed hypothesis close to physical nature The hypothesis based on the confirmation about additional variable on which the students insisted on
	Lack of confidence	S8, S11	Regardless of the experiments, simple explanatory hypothesis based on the student's intuition not to review the result of the experiments
	Conflict with past experience	S10	Temporary supported hypothesis not to be affected by the experiments The hypothesis based on the past experience

연구자 : 너의 생각이 구체적으로 뭐가 틀렸다는 건가?

학생1 : 실험 전에 도입했던 수레의 운동을 방해하는 마찰력과 수레를 앞으로 가게 하는 바람이 판지에 준 반작용의 힘의 도입이 잘못된 것 같아요.

학생04 : 실험 2단계에서 판지를 제거했더니 수레가 움직이는 것으로 보아서 수레의 바퀴는 회전이 잘되어서 수레가 구르는데 별 영향을 안 받을 것 같아요.

위의 대화에서 나타나듯이 이 학생은 다섯 가지 시범실험의 단계를 수행한 후, 사전 예측단계에서 제안했던 가설 중 두 번째 실험의 경험을 종합하여 마찰력과 관련된 설명 부분과 바람이 반동으로 나오면서 힘이 오른쪽으로 더 작용한다고 생각했던 부분을 수정하였다. 결과적으로 이 학생은 사전예측 단계에서부터 강하게 주장했던 자신의 논리를 단계적 실험을 통해서 알게된 사실에 근거하여 수정함으로써 물리적 본성에 보다 가까운 설명가설을 제안하였다. 이러한 특성은 단계적 실험 전, 명확한 사전개념을 갖고 배경지식들(작용·반작용의 힘, 평형개념, 마찰력 등) 사이의 연관관을 지어 설명 가설을 잘 세우는 학생이 단계적 실험 이후에도 실험을 통해서 수집한 정보를 근거로 물리적 본성에 보다 가까운 가설을 제안할 수 있음을 시사한다.

변인추가 시도형(사례 4번 학생)

이 학생은 단계적 실험 전과는 다른 물리적인 본성에 가까운 설명 가설을 제안하였다. 다음은 이 학생이 최종과정에서 제안한 설명가설과 관련된 면담 내용이다.

연구자 : 관련된 실험들을 해보았으니 다시 원래 과제에서 수레가 정지한 이유를 설명해보면?

학생04 : 수레에 작용하는 마찰력이나 저항력은 있지만 무시하고서 공기 즉, 바람이 선풍기를 미는 반작용의 힘과 선풍기에서 나가는 바람이 판지를 미는 작용의 힘이 서로 같고, 방향이 반대이기 때문에 평형을 이루어 수레는 정지한 것입니다.

연구자 : 마찰력을 도입했다 무시한 이유는?

이 학생은 단계적 실험 전 불일치 상황에서 자신이 직접 수레를 만져보고 시범해 본 후, 선풍기 수레의 전체 질량과 실험대의 마찰이나 바퀴의 조건 등을 내세우며 선풍기의 질량이 너무 무겁고 판지에 부딪히는 바람의 힘이 너무 약해서 수레가 움직일 수 없다는 가설을 제안하였다. 그러나, 단계적인 실험을 수행한 후, 실험 2단계의 경험을 강조하고, 마찰력의 크기가 상대적으로 작다는 것을 주장하며, 평형개념을 도입함으로써 실험전과 비교하여 물리적 본성에 가까운 수정된 가설을 제안하였다. 이러한 결과는 다단계 실험이 불일치 상황을 보고 또 다른 변인을 추가할 것을 제안하며 임시적 보조 가설을 주장하는 학생들에게 도움이 될 수 있음을 보여준다.

자신감 부족형(사례 8번 학생)

이 학생은 다섯 단계의 실험을 수행한 후에도 그 실험의 영향을 거의 받지 않은 태도를 보이며, 최종단계에서 물리적인 본성에서 거리가 먼 가설을 제안하였다. 다음은 최종 단계에서 이 학생이 제안한 설명가설과 관련된 대화 내용이다.

연구자 : 자! 단계별 실험 다섯 가지를 수행했으니 다시 아까 문제의 현상을 설명해볼래?

학생08 : 선풍기가 공기를 밀고, 선풍기가 밀어낸 공기는 판지에 부딪혀 나오기 때문에 수레가 정지한 것 같아요!

연구자 : 구체적으로 어떤 힘들이 작용해서 정지했다는 거지?

학생08 : 글썽요, 무엇인가 확실한 원리가 있는데 그 이유를 설명하는 가설은 도저히 용기가 나질 않네요.

이 학생은 단계적 실험 전과 같이 자기 가설에 대하여 여전히 자신이 없는 반응을 보였다. 특히, 문제 상황에서 수레가 정지해 있는 원인을 설명할 때, 힘의 근원과 작용점을 인식하지 못했으며, 궁여지책으로 단순하게 크기는 같고 방향이 반대인 두 힘이 작용하기 때문이라고 설명하였다. 이 가설은 단계적 실험을 수행하기 전에 이 학생이 제안한 가설과 동일한 가설이다. 결국, 이 학생들은 단계적 실험의 결과를 수용하지 못한 채 물리적인 본성에서 거리가 먼 동일한 가설을 제안하였다. 이와 같이 배경지식에 대한 자신감이 부족하여 가설을 제안하길 꺼려하는 학생의 경우에는 각 실험에 관한 이해를 촉진시키는 교사의 보조 활동과 실험 활동을 격려하는 긍정적 피드백이 동반될 필요가 있다.

과거경험 충돌형(사례 10번 학생)

이 학생은 실험 전의 상황과 마찬가지로 다섯 가지 실험을 수행하는 과정에서도 과거에 형성된 뚫단배의 추진 원리를 계속 강조하였다. 다음은 최종 단계에서 이 학생과의 면담 내용이다.

연구자 : 다섯 단계의 실험을 하고 난 후 아까 선풍기·수레에 관한 설명을 제안해볼래?

학생10 : 판지에 부딪혀 나온, 바람이 선풍기를 왼쪽으로 미는 힘과 선풍기가 판지를 미는 오른쪽 방향의 힘이 크기는 같고 방향이 반대여서 수레는 정지한 것입니다. 뚫단배는 돛이 천으로 되어서 가는 것이지만, 판지는 천이 아니잖아요.

연구자 : 뚫단배와 수레의 경우는 분명히 차이가 있다는 건가?

학생10 : 뚫단배는 돛에 바람이 불어도 돛이 천으로 되어서 바람을 그대로 흡수해서 통기는 힘이 없지만, 수레의 경우에는 판지가 딱딱해서 바람이 통겨나가 맞은 편 의 선풍기를 밀어주는 것이 차이가 있지요.

이 학생은 단계적 실험 전에서와 같이 과거에 경험한 돛의 구조와 선풍기·수레의 판지 구조의 외형적 차이점에 근거한 가설을 유지하였다. 돛의 경우는 천이 바람을 흡수해서 배가 앞으로 나가는 추진력을 만들지만, 판은 바람을 흡수하지 못하기 때문에 그 바람이 통겨서 선풍기를 뒤쪽으로 미는 힘이 된다고 주장하였다. 결국 이 힘과 판지에 부딪힌 힘이 평형이 되어 정지상태를 유지한다는 임시적 보조 가설을 제안하였다. 단계적 실험에도 불구하고 돛의 천과 판지의 차이점에 근거한 이 학생의 신념은 변화되지 않았다. 이와 같이 학생의 과거 경험에 근거한 신념이 임시적 보조가설을 지지하는 경우에는 이 학생의 논리를 반증하는 또 다른 자료의 제시와 교사와의 적극적인 상호작용이 필요하다.

2. 단계적 실험 후, 낮은 불안유형 학생의 설명가설 특성

반면에 낮은 불안유형에 속한 학생들이 다섯 가지 단계적 실험 후에 제안한 설명가설의 특징을 정리하면 표 3과 같다.

각 낮은 불안유형을 대표하는 사례 학생을 중심으로 학생들이 단계적 실험 후에 제안한 설명가설의 특징을 제시하면 다음과 같다.

예측결과 양립형(사례 5번 학생)

이 학생은 단계적 실험을 수행한 후, 두 힘의 평형을 이용하여 선풍기·수레 과제를 설명하려 했으나, 물리적인 본성에서 거리가 먼 가설을 제안하였다. 다음은 최종 단계에서 이 학생이 제안한 설명가설과 관련된 대화 내용이다.

연구자 : 자! 단계별 실험 다섯 가지를 수행했으니까 다시 아까 문제 현상의 수레가 정지한 이유를 다시 설명을 해볼래?

학생05 : 선풍기로 인해 공기가 밀려 판지를 밀지만, 수레의 마찰력보다는 크지 않기 때문에 밀리지 않는 것 같고, 그래서 수레가 정지한 것 같아요.

연구자 : 마찰력이 없어도 정지한다면? 마찰력을 대체할 힘은 없을까?

학생05 : 선풍기의 바람이 판지를 앞에서 밀어주는 힘과 판지 뒤에서 반대방향의 다른 공기의 저항력이 생겨서 정지할 수도 있지요.

단계적 실험을 수행하기 전에 이 학생은 바람의 세기와 비교해서 마찰력의 크기에 따라 수레의 운동상태가 달라질 것이라는 임시적 보조가설을 제안하였다. 그러나, 단계별 실험을 수행한 후에도 실험 전과 마찬가지로 바람이 판지에 부딪쳐서 판지가 흔들리기 때문에 오른쪽으로 가야되지만 이 힘이 마찰력보다는 크지 않기 때문에 정지한다 주장하였다. 이 상황에서 교사가 마찰력이 없는 상황을 제안하자 공기의 저항력을 도입하여 수레의 정지 상태를 설명하였다. 결국 이 학생은 단계적 실험 과정에서 제공한 정보를 이용하지 못하고 처음의 임시적 가설을 계속 주장함으로써 공기가 선풍기를 뒤로 미는 힘이 있다는 사실을 인식하지 못했다.

합리적 수정형(사례 7번 학생)

이 학생은 단계 별 실험 전에도 침착하게 물리적인 본성에 가까운 가설을 제안한 사례이다. 단계적 실험 후에는 실험 전 제안한 가설을 보다 구체적으로 힘을 표시해가며 자세히 설명하는 태도를 보여주었다. 다음

Table 3

After the step-by-step experiments, the characteristics of explanatory hypothesis by low anxiety types

Level	Anxiety type	Case student	The characteristics of explanatory hypothesis
Low anxiety	Compatible predictions	S5	Temporary supported hypothesis based on the student's intuition and the simple result of the observation
	Reasonable modification	S7	Changed hypothesis very closer to physical nature. The hypothesis based on the information that were collected in the experiments
	Dependence on others	S3, S13, S17	Temporary supported hypothesis not to be affected by the experiments
	Fusion of past experience	S6	Temporary supported hypothesis not to be affected by the experiments The hypothesis based on the past experience

은 실험 후, 설명가설 제안 단계에서 이 학생과의 면담 내용이다.

연구자 : 다섯 단계의 실험을 했으니, 아까 선풍기 · 수레에 관한 설명을 제안해볼래?

학생07 : 선풍기와 판지 사이에 있는 공기에는 두 가지 작용 · 반작용의 힘이 작용하고 있어요. 하나는 선풍기와 공기 사이에 작용 · 반작용의 힘(F_1)이고 또 다른 하나는 판지와 공기 사이의 작용(F_2) · 반작용의 힘이에요. 그 중에서 공기는 별도로 놔두고 수레에 작용한 이 두 힘 (F_1)과 (F_2)는 서로 같은 크기의 힘이면서 방향이 반대이므로 힘의 평형을 이루어 정지합니다.

연구자 : 자세하게 설명을 해볼래?

학생07 : 선풍기에서 바람이 불어나가면서 동시에 바람, 즉 공기가 선풍기를 뒤로 미는 반작용의 힘(F_1)과 바람이 판지를 앞으로 미는 작용의 힘(F_2)이 서로 평형을 이루어 수레가 정지한 것입니다.

위 내용에서 볼 수 있듯이 이 학생은 단계별 실험을 수행한 후, 공기와 선풍기, 공기와 판지 사이에 작용하는 상호작용을 보다 명확히 표시했으며, 이 중 선풍기 · 수레에 작용하는 힘만을 지적한 후, 이 두 힘의 평형으로 정지 상태를 설명하였다. 이러한 결과는 높은 불안유형의 논리적 오개념 확산형의 학생이 단계적 실험을 통해서 얻은 정보와 배경지식을 이용하여 물리적 본성에 가까운 가설을 제안한 특징과 유사하다. 따라서 합리적 수정형의 학생은 단계적 실험을 통해서 불일치 상황을 경험한 후 수정한 자신의 이론을 보다 명확히 확인하고 심화시킬 수 있으리라 예상된다.

타인 의존형(사례 3번 학생)

이 학생은 단계별 실험 전에도 매우 수동적인 자세로 연구자만을 의지하려는 태도를 보여주었고, 단계별 실험을 하는 동안에도 선생님이 설명을 해주기를 기대하는 듯한 태도로 실험활동에 매우 소극적으로 참여하였다. 다음은 실험 후, 이 학생이 최종 단계에서 제안

한 설명가설과 관련된 대화내용이다.

연구자 : 자. 이제, 아까 선풍기 · 수레가 정지한 근거를 제시해볼래?

학생03 : 선풍기에서 나오는 바람의 힘과 그 바람을 뚫겨준 힘이 같아서 정지한 것 같아요.

연구자 : 실험을 하기 전과 별로 다른 것이 없는데... 별로 단계적 실험이 도움이 안되었나?

학생03 : 본 실험과 관련이 된 것도 있고, 안된 것도 있어서 확실하 모르겠어요! 선생님의 설명을 들으면 되겠죠.

위의 대화 내용에서 볼 수 있듯이 실험을 단계적으로 수행한 후에도 물리적인 본성에서 거리가 먼 가설을 제안하며, 연구자의 설명을 들으면 된다는 수동적인 태도를 보여주고 있다. 따라서 이와 같은 유형의 학생에게는 단계적 실험 이전에 먼저, 지식을 탐색하는 과정에서 타인에 너무 의존하려는 경향을 변화시키는 것이 과학학습에서 중요함을 이해시킬 필요가 있다. 또한 이 유형의 학생은 높은 불안유형의 자신감 부족형과 마찬가지로 단계적 학습 과정에서도 교사와의 능동적 상호작용과 활동을 격려하는 긍정적 피드백이 더욱 필요하다.

과거경험 융합형(사례 6번 학생)

이 학생은 매 실험마다 과거에 경험한 뜻단배 상황을 회상하고, 수레에 판지가 부착되는지 여부에 관심이 매우 높았다. 또한 이 때 판지가 흔들리는 정도를 주의 깊게 관찰하기도 하였다. 다음은 이 학생이 최종 단계에서 제안한 설명가설에 대한 면담 내용이다.

연구자 : 자! 단계별 실험 다섯 가지를 수행했으니까 다시 아까 문제 현상을 설명 해볼래?

학생06 : 선풍기 바람이 판지를 오른쪽으로 미는 힘과 마찰력은 서로 방향이 반대이고, 크기는 같아서 정지합니다.

연구자 : 두 힘의 작용점은 어떤 물체에 있을까?

- 학생06 : 돛단배의 경우에서처럼 두 힘 모두 판지에 있을 것 같아요!
- 연구자 : 자꾸, 돛단배의 경우와 비교하는데 자세하게 힘의 작용점을 표현해볼래?
- 학생06 : 돛단배의 경우 바람의 힘이 돛에 작용하지만, 이 실험은 바람이 판지를 때리는 힘과 마찰력 모두 판지에 있어요.
- 연구자 : 마찰력도 판지에 작용점이 있다고 생각한 이유는?
- 학생06 : 어차피 판지와 수레에 부착되어서 수레바퀴의 마찰력이 그대로 판지에 전달되기 때문입니다.

이 학생은 실험 전과 마찬가지로 단계적인 시범을 수행한 후에도 실험의 영향을 전혀 받지 않았다. 이와 같이 학생이 불일치 상황을 합리화시키기 위해서 과거에 기억하고 있는 사실을 실험 상황과 밀접하게 관련 지을 경우, 단계적 실험에도 불구하고 핵심이론을 쉽게 변화시키지 않는다는 사실을 확인할 수 있다. 이러한 유형의 학생은 높은 불안의 과거경험 충돌형의 학생과 마찬가지로 각 단계적 실험마다 학생이 제안하는 보조가설을 직접 논박할 수 있는 후속 실험과 이와 관련된 교사의 능동적 상호작용이 필요하다.

IV. 결론 및 제언

앞장의 연구 결과를 요약하고 그 결과를 근거로 결론 및 제언을 제시한다.

첫째, 높은 불안의 논리적 오개념 확신행, 낮은 불안의 합리적 수정형에 속한 학생들은 단계별 실험 전부터 작용 반작용 개념과 관련된 사전 배경지식을 활용하여 비교적 물리적인 본성에 가까운 설명가설을 제시하였고, 실험 후에는 실험 상황에서 수집한 정보를 바탕으로 물리적 본성에 보다 더 적합한 설명가설을 제안하였다. 또한 높은 불안의 변인 추가 시도형은 실험 전에는 실험상황의 표면적 특성에 초점을 맞춘 임시적 보조가설을 제안하였으나, 실험 후에는 물리적 본성에 가까운 설명가설을 제안하였다. 결과적으로 변인 추가 시도형의 학생은 다단계 실험의 효과가 가장 두드러지게 나타난 유형이라고 볼 수 있다. 따라서 이제 가지 불안유형에 속하는 학생들은 갈등 해소를 위한 단계적 실험 상황에서 스스로 갈등을 해결하며 건설적인 설명가설을 제안함으로써 개념변화 학습에 능동적으로 참여하리라 기대된다.

둘째, 높은 불안의 과거경험 충돌형과 낮은 불안의 과거경험 융합형의 학생들은 단계적 실험에도 불구하고 과거에 갖고 있던 사전 배경지식을 이용하여 초기 보조가설을 그대로 다시 활용하거나, 다른 변인을 추가하여 다소 변형된 보조가설을 제안하는 결과를 보여 주었다. 따라서 이들 유형의 학생들은 단계적 실험 상

황에서 돛단배와 관련하여 과거에 인식된 경험과 선펡기·수레 모형 사이의 차이점과 공통점을 명료하게 표현하는 연습이 필요하며, 학생의 보조가설을 논박할 수 있는 실험자료가 제시되어야 한다. 또한, 단계적 실험의 초기 단계에서부터 교사가 힘의 작용점 개념과 두 힘이 쌍으로 작용할 때 두 힘의 작용점이 서로 다른 물체에 작용한다는 개념을 매 실험 단계마다 반복하여 주지시킬 필요가 있다. 이와 더불어 매 단계마다 뉴턴의 운동방정식을 적용하기 위하여 특정 물체에 작용하는 힘을 모두 더할 때, 그 힘들이 어떤 물체에 작용하는 힘인가를 확인하는 과정이 요구된다.

셋째, 높은 불안의 자신감 부족형이나 낮은 불안의 타인 의존형에 속한 학생들은 단계별 실험 과정에서도 수동적인 학습태도를 보여주었으며, 제시된 자료를 능동적으로 활동하는데도 어려움이 있었다. 결과적으로 이 두 유형의 학생들도 단계별 실험의 결과와 관련 없는 임시적 보조가설을 제안하는데 그쳤다. 따라서 이 두 유형의 학생들은 무엇보다도 교사의 도움이 가장 필요로 하는 유형이라고 볼 수 있다. 이 학생들의 불안 반응 특성은 학생의 갖고 있는 사전개념의 부족뿐만 아니라 보다 근원적인 인식론적 특성과 자아효능감과 같은 동기적 특성을 보여주고 있다(신상우, 2004; 신상우 등, 2005; Kim & Kwon, 2004; Limón, 2001; Merenluoto & Lehtinen, 2004; Sinatra & Pintrich, 2003). 특히, 타인 의존형의 학생은 지식의 근원을 타인의 권위에 의존하려는 경향이 강함을 확인할 수 있었다. 그러므로 단계적 실험활동을 통해서 이 유형의 학생들을 돕기 위해서는 사전지식을 활성화시키는 인지적 활동뿐 아니라, 이러한 반응 특성을 보이는 보다 근본적인 원인을 찾아 그에 적합한 동기 부여 과정이 있어야 한다. 이와 같은 동기부여 과정은 불일치 상황에서 이러한 불안유형을 교사가 확인했을 때, 그 상황에서 바로 실험 활동을 격려하는 긍정적 피드백의 형태가 바람직 하리라 생각된다.

그러므로 후속 연구에서는 단계적 실험 중심의 수업과정과 강의 중심의 수업과정에서 학생들이 인지갈등 상황에서 경험하는 불안 특성을 교사가 손쉽게 모니터링 할 수 있는 평가도구와 그 불안유형에 적합한 단계적 학습 자료 및 전략을 보다 구체적으로 개발해야 한다. 또한, 다른 측면에서는 불안 특성에 영향을 미치는 매개 변인을 보다 심층적으로 탐색하고 다양한 성취 수준의 학생을 대상으로 불안유형을 보다 정교화시키는 노력이 뒤따라야 한다. 그리고, 다단계 실험 자체가 인지갈등 해소를 촉진시키는 주요 독립변인이 될 수 있으므로, 각 단계적 실험 상황에서 각 불안유형의

학생들이 어떠한 반응특성을 보이는가를 좀 더 미시적으로 자세히 탐색하는 연구도 필요하다.

적 요

인지갈등 과정모형에 근거하면 불안요인은 개념변화 학습을 위한 갈등상황에서 학생들의 반응 행동에 이중적(긍정적·부정적) 영향을 미칠 수 있다. 그러나 인지갈등 해소를 위하여 단계적 실험을 수행할 때, 어떤 불안유형이 긍정적인 또는 부정적인 유형인지 보고한 연구는 거의 없는 실정이다. 이 연구에서는 작용과 반작용 개념과 관련된 단계적 실험을 수행한 학생들이 불안유형에 따라 설명가설을 제안하는 특성이 어떻게 나타나는가를 알아보았다. 연구결과, 논리적 오개념 확실히, 변인추가 시도형, 합리적 수정형의 학생들은 단계적 실험 이후 물리적 본성에 가까운 가설을 제안할 수 있었다. 반면 다섯 가지 유형(예측결과 양립형, 타인 의존형, 과거경험 융합형, 자신감 부족형, 과거경험 충돌형 등)의 학생들은 임시적 보조가설이나 학생의 직관과 실험 관찰에 근거한 단편적 설명가설을 제안하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 불일치 상황을 이용하는 개념변화 학습에서 단계적 실험을 이용할 경우, 이들 다섯 가지 유형의 학생들은 불안유형에 근거한 교사와의 적극적인 상호작용이 필요함을 제안하고, 인지갈등 해소를 위하여 단계적 실험을 사용할 때 교사가 보다 주의해야 할 학생의 반응 특성을 제시하였다.

감사의 글

이 연구 보고서를 수행하는데 큰 도움을 주신 인지갈등전략 연구회 신상우, 장방원, 박지연 선생님께 깊이 감사 드립니다.

참고문헌

권재술, 박학규, 김준태, 이영직, 이경호 (2000). 과학학습에서 불일치 상황에 대면한 학생들의 인지갈등 특성(수준 및 유형)과 반응 유형의 관계 분석. 한국교원대학교 부설 교과교육공동연구소, 연구보고 RR 98-VI-11.

권재술, 이경호, 김연수 (2003). 인지갈등과 개념변화의 필요조건과 충분조건. 한국과학교육학회지, 23, 574-591.

김연수 (2002). 인지갈등 불안유형과 귀인의 동기 심리학적 요인에 따른 학생의 물리개념 변화 특성. 한국교원대학교 박사학위논문.

박종원 (2000). 학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석 - 과학적 가설의 정의와 특성을 중심으로 - 한국과학교육학회지, 20, 667-679.

박종원 (2001). 학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석 - 대학생의 반응 분석을 중심으로 - 한국과학교육학회지 21, 609-621.

박종원, 장병기, 윤혜경, 박승재 (1993). 중학생의 빛과 그림자에 대한 증거평가. 한국과학교육학회지, 13, 135-145.

박지연, 이경호 (2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(metal model)까지. 한국과학교육학회지, 24, 621-637.

신상우 (2004). 작용·반작용 과제에서 불일치 현상에 대면한 실업계 고등학생의 인지갈등 특성. 한국교원대학교 석사학위논문.

신상우, 김연수, 권재술 (2005). 작용·반작용 과제에서 불일치 현상에 대면한 실업계 고등학생의 인지갈등 특성. 한국과학교육학회지, 25, 편집중.

인지갈등전략연구회 (2003). 선풍기를 이용하여 무풍지대를 빠져나올 수 있을까. 제 44차 한국과학교육학회 정기총회 및 하계학술대회 워크숍, 151-153.

인지갈등전략연구회 (2004). 하늘을 나는 선풍기. 제 46차 한국과학교육학회 정기총회 및 하계학술대회 워크숍, 160-163.

조용현, 김연수, 권재술 (2004). 작용 반작용 과제에서 고등학생의 인지갈등 불안유형에 따른 설명가설 형성의 특성(I). 한국과학교육학회지, 24, 596-611.

Berlyne, D. (1957). Uncertainty and conflict: A point of contact between information theory and behavior theory concepts. Psychological Review, 64, 329-339.

Bruner, J. (1961). The process of education. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Cassady, J. C., & Johnson, R. E. (2002). Cognitive test anxiety and academic performance, Contemporary Educational Psychology, 27, 270-295.

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

Clark, R. B. (1986a). The answer in obvious, isn't it? The Physics Teacher, 24, 38-39.

Clark, R. B. (1986b). Response. The Physics Teacher, 24, 393.

Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovith, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change: Some implications, difficulties, and problems. Science education, 74, 555-569.

Duit, R. (2003). Conceptual change: A powerful

- framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.
- Hembree, R. (1988). Correlates, causes, and treatment of test anxiety, *Review of Educational Research*. 58, 47-77.
- Hewitt, P. (1988). Figuring physics. *The Physics Teacher*, 26(1), 57-58.
- Hewitt, P. (2003). *Conceptual physics*. (9th Ed.). Addition-Wesley Publishing Company, Inc.
- Hong, E., & Karstenson, L. (2002). Antecedents of state test anxiety, *Contemporary Educational Psychology*. 27, 348-367.
- Jargodzki, C., & Potter, F. (2001). *Mad about physics: braintwisters, paradoxes, and curiosities*. New York: John Willey.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Tjosvold, D. (2000). Constructive controversy: The value of intellectual opposition. In M. Deutsch & P.T. Coleman (Ed.), *The Handbook of Conflict Resolution*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Kim, Y., & Bao, L. (2004a). Development of an instrument for evaluating anxiety caused by cognitive conflict. *The Program of Physics Education Research Conference 2004*, 18.
- Kim, Y., & Bao, L. (2004b). Student anxiety types in cognitive conflict situations and conceptual change. *AAPT Announcer*, Vol. 34(2), pp. 133.
- Kim, Y., Cho, Y., Shin, S., Kwon, J., & Bao, L. (2004). Anxiety Types in Cognitive Conflict at Action and Reaction Task, *AAPT Announcer*, 34(2), 132.
- Kim, Y., & Kwon, J. (2004). Cognitive conflict and causal attributions to successful conceptual change in physics learning. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 24, 687-708.
- Lee, G., & Kwon, J. (2003). Toward an understanding and use of cognitive conflict in science instruction (I). *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23, 360-374.
- Lee, G. H., Kwon, J. S., Park, S. S., Kim, J. W., Kwon, H. G., & Park, H. K. (2003). Development of an Instrument for Measuring Cognitive Conflict in Secondary-Level Science Classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 585-603.
- Lee, G., & Kwon, J. (2004). How does cognitive conflict affect conceptual change process in high school physics classrooms? *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 24, 1-16.
- Liebert, R., & Morris, L. (1967). Cognitive and emotional components of test anxiety: A distinction and some initial data, *Psychological Reports*, 20, 975-978.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Marchant, E. C. (1974). *Xenophon, Memorabilia*(Leob). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Martinez, K., & Schulkins, M. (1986). The H.M.S. Newton III: an onboard-fan-powered sail cart. *The Physics Teacher*, 24(7), 393.
- Merenluoto, K., & Lehtinen, E. (2004). Number concept and conceptual change: towards systemic model of the processes of change. *Learning and Instruction*, 14, 519-534.
- McDermott, L. C., & The Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry* (Vol. I · II), New York : Wiley.
- McDermott, L. C. (2001). Oersted Medal Lecture 2001: "Physics Education Research - The Key to Student Learning". *The American Journal of Physics*, 69, 1127-1137.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I. Investigation of student understanding. *The American Journal of Physics*, 60, 994-1003.
- Movshovitz-Hadar, N., & Hadass, R. (1990). Preservice education of math teachers using paradoxes. *Educational Studies in Mathematics*, 21, 265-287.
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. New York: Harcourt.
- Rutledge, C. T. (1986). The obvious answer is correct! *The Physics Teacher*, 24(7), 393.
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II. Design of instructional strategies. *The American Journal of Physics*, 60, 1003-1013.
- Sinatra, G. M., & Pintrich, P. R. (2003). *Intentional conceptual change*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Spielberger, C. (1972). Experimental approaches to test anxiety; Attention and the uses of information. In C. D. Spielberger(Ed.), *Anxiety; Current trends in theory and research*, (Vol. 2), N. Y: Academic press.
- Spielberger, C., & Vagg, P. (1995). *Test anxiety: A*

transactional process model. In C. Spielberger & P. Vagg (Ed.), *Test anxiety: Theory, assessment, and treatment* (pp. 3-14). Washington, DC: Taylor & Francis.

Stipek, D. J. (2002). *Motivation to learn: Integrating theory and practice*(4th Ed.). Boston: Allyn and Bacon.

Wallingford (1986). Obvious?? *The Physics Teacher*, 24, 392.