불일치 현상 대면 전의 인지갈등이 중학생들의 물리 개념변화에 미치는 영향

권미랑* · 김지나[1] · 김중복[2] · 권재술[2]
남산중학교 · [1]부산대학교 · [2]한국교원대학교

Effects of Cognitive Conflicts before Confronting Anomalous Phenomena on Middle School Students' Conceptual Changes in Physics

Kwon, Mirang* · Kim, Jina[1] · Kim, Jung Bog[2] · Kwon, Jaesool[2]
Namsan Middle School · [1]Pusan National University ·
[2]Korea National University of Education

Abstract: One of useful strategies to change students' misconceptions into scientific conceptions in physics is the cognitive conflict strategy, the main point of which is to arouse cognitive conflicts by presenting anomalous phenomena to students. However, it has been reported that students experienced cognitive conflicts while expecting or reasoning results of an experiment before confronting an anomalous phenomenon. Therefore, we have examined how much students' cognitive conflicts were aroused before presenting an anomalous phenomenon. Then, we investigated the effects of the cognitive conflicts aroused prior to the students' confrontation with an anomalous phenomenon, both on the cognitive conflicts occurring after the students' confrontation with it, and on the students' conceptual changes.

This study was performed during regular classes about light-source and weightlessness concepts. Subjects from two different middle schools in Pusan took part in the study. Preconceptions, degrees of cognitive conflicts before and after confronting anomalies, and postconceptions were checked during the classes. Then, delayed postconceptions were also checked in 3 weeks. As a result, the degree of cognitive conflicts before confronting an anomaly was as much as the degree of cognitive conflicts after it. There was significant correlation between both conflicts. Also the degree of cognitive conflicts before confronting an anomaly was a main factor in predicting the conceptual changes, while both conflicts had been related separately to the conceptual changes.

Key words: conceptual changes, cognitive conflicts

Ⅰ. 서 론

인지갈등이 학생들의 개념변화를 위해 필요하다는 것은 이미 언급된 바이다(Berlyne, 1960; Piaget, 1985; Posner *et al.*, 1982; 권재술, 1989). 학습을 인지구조와 환경간의 상호작용으로 본 Piaget (1985)는 조절과 동화의 과정에서 인지구조와 환경의 불일치 상태인 인지적 비평형 상태가 발생하며 이것이 인지발달의 핵심적 조건이 된다고 하였다. Berlyne (1960)은 내적동기의 근원인 지적 호기심(epistemic curiosity)이 개념적 갈등(conceptual conflict)에 의해서 발생한다고 하였다. Posner 등(1982)에 의하면 학생들은 기존 개념에 불만족하게 됨으로써 인지적 갈등이 유발되고 자신의 중심 개념들을 대체하거나 재구성해야 함을 깨닫게 된다고 하였다. 권재술(1989)은 인지적 비평형 상태가 내적동기 유발 및 새로운 인지구조의 형성에 필수적으로 선행되어야 할 과정이라고 하였다. 또한 실제로 수업과정에서 인지갈등을 전략적으로 유발시켰을 때 개념변화에 긍정적 효과를 주었다는 보고들이 있으며(Druyan, 1997; Dreyfus *et al.*, 1990; Hynd *et al.*, 1994; Hashweh, 1986; Niaz, 1995; 김지나, 1997; 박종원, 1992a; 이영직 1998) 인지갈등 유발 전략이 전반적으로 성공적이었다고 인정되고 있다(Duit, 1999; Redish, 2003).

*교신저자: 권미랑(kmr0811@eudnet4u.net)
**2009.07.16(접수) 2009.09.22(1심통과) 2009.10.20(2심통과) 2009.10.25(최종통과)

개념변화 과정에서 인지갈등은 학생들이 그들의 개념과 일치하지 않는 자연현상을 대면하게 함으로써 유발시킬 수 있다(Hashweh, 1986; 권재술, 1989). 그런데 불일치한 현상을 대면하기 전에도 인지갈등이 유발되었다는 보고들이 있었다. 박종원(2003)은 한 대학생이 자신의 개념을 탐색하기 시작하는 단계에서 자신의 개념에 대해 확신이 서지 않아 자신의 개념이 분명한지 갈등하는 경우를 관찰하였고 했다. 황명수(2007)는 현상 제시 순서에 따라 집단을 구분하고 현상을 제시한 후뿐만 아니라 전에도 학생들의 인지갈등정도를 측정하였다. 그때 현상을 '직렬연결→병렬연결' 순서로 제시 했던 집단의 인지갈등정도 평균은 '19.5점(현상 제시 전)→16.0점(직렬연결 현상 제시 후)→18.0점(병렬연결 현상 제시 후)' 였다. 현상 제시 전의 인지갈등정도 평균이 현상 제시 후보다 더 높았다.

박종원(2003)과 황명수(2007)가 학생들의 인지갈등을 관찰한 상황은 학생 개념을 탐색하기 위한 질문이 주어지고 아직 현상은 제시되지 않았을 때이다. 불일치 현상 대면 전에 학생이 자신의 개념을 탐색함으로써 현상 관찰 후에 학생 스스로 불일치를 보다 명확히 인식하게 된다. 그래서 교사는 불일치 현상을 제시하기 전에 학생에게 질문을 던져 학생의 개념을 탐색하고 확인한다. 그런데 개념 탐색을 위한 질문에 답하는 과정에서 학생은 인지갈등을 경험할 수도 있다는 것이다.

개념 탐색을 위한 질문에 의해 인지갈등이 유발될 가능성은 몇몇 문헌에서 살펴볼 수 있다. Berlyne (1960)은 개념적 갈등들이 나타나는 예로서 질문 (a question)이 주어졌을 때에 대하여 설명하였다. 이때 개념적 부조화(conceptual incongruity), 의심(doubt), 난처함(perplexity), 모순(contradiction), 혼란(confusion) 그리고 무관함(irrelevance)등의 개념갈등이 나타나고 이러한 개념갈등들이 지식을 탐색하게 한다고 설명하였다. Festinger (1957)는 예상치 못한 새로운 정보가 없다고 하더라도 의사 결정을 내리는 상황에서 수행되는 행위에 대한 인지(cognition)와 다른 행위를 지시하는 의견 사이에는 거의 불가피하게 몇 개의 부조화가 생긴다고 설명했다. 또한 의사결정을 한 후에도 부조화가 생길 수 있다고 했으며 '확신' 의 정도로서 부조화의 정도를 비교하였다. 그리고 Gredler (1992)는 Piaget의 인지적 비평형이 인지구조의 하위체계들 사이의 갈등을 포함한다고 하였다. 하위체계들 사이의 갈등은 동일한 현상에 대해 두 가지 이상의 인지구조가 동시에 작용할 때 유발되므로(박종원, 1992b), 질문이 주어지면 학생의 모순된 두 하위체계가 동시에 작용하여 인지갈등이 유발될 가능성이 있다.

지금까지 학생의 개념변화를 위해 인지갈등 전략을 사용하는 수업에서 불일치 현상 대면에 의한 인지갈등에 대한 연구는 다수 있었지만(Chinn & Brewer, 1998; Druyan, 1997; 권난주, 권재술, 2004; 권미랑 등, 2005; 김지나 등, 2002; 이채은 등, 2001; 이경호, 권재술, 1999) 불일치 현상을 대면하기 전에 유발되는 인지갈등이 개념변화에 미치는 영향을 조사한 보고들은 없었다. 따라서 이 연구에서는 불일치 현상 대면 전에 유발되는 인지갈등(줄여서 '대면 전 갈등' 이라고 함) 정도를 조사하고, 대면 전 갈등이 불일치 현상 대면 후 에 생긴 인지갈등(줄여서 '대면 후 갈등' 이라고 함) 및 개념변화에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다. 연구 문제는 다음과 같이 세 가지이다. 첫째, 대면 전 갈등의 정도는 어떠하며 불일치 현상 대면 후 갈등 정도와의 상관은 어떠한가? 그리고 학생들의 CCLT 응답이유를 통해 알아본 대면 전과 후 갈등의 특징은 어떠한가? 둘째, 대면 전과 후 갈등 수준에 따른 개념변화 정도는 어떠한가? 그리고 개념변화 정도별로 대면 전과 후 갈등 정도는 어떠한가? 셋째, 대면 전과 후 갈등 중에서 개념변화에 주된 영향을 미치는 갈등은 어느 것인가?

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구는 부산광역시 소재의 N중학교(남)와 G중학교(여)의 학생들을 대상으로 하였다. 수업에 참여한 학생들은 N중학교 3학년 340명과 G중학교 2학년 158명이었다. 이들 중에서 연구 대상은 학생 자신이 사전 개념검사 과정에서 예상했던 현상과 시범 실험으로 관찰한 현상이 "다르다"고 직접 표시한 학생들(불일치 현상 대면 학생들)이었다. 개념검사와 인지갈등정도 검사과정에 불성실하게 응답했다고 판단되는 학생은 분석에서 제외하였다. 불일치 현상 대면 학생들은 1차 수업(광원 개념)에서 총 268명이고 2차 수업(무중력 개념)에서 총 231명이다.

2. 검사도구

가. 개념검사 문항

사전개념검사 및 현상제시를 위해 사용한 문항은 Fig. 1과 같다. 문항(a)은 광원에 대한 학생개념을 검사하기 위한 도구(이후 '광원문항'이라고 함)로서 연구자가 개발하고 예비연구를 통해 수정하였다. 광원문항에서, 광원 위의 한 점과 스크린위의 한 점을 일대일 대응시켜 스크린 위에 형광등의 모양이 나타난다고 생각하는 학생들 또는 스크린의 위쪽 반과 아래쪽 반의 색이 다를 것이라고 생각하는 학생들이 현상을 보게 되면, 이들은 불일치하는 현상을 대면하게 된다. 문항(b)은 무중력에 대한 학생개념을 검사하기 위한 도구(이후 '무중력문항'이라고 함)로서 최혁준(2003)이 개발한 문항이다. 무중력문항은 컵 아래쪽에 구멍을 뚫고서 물을 담아 떨어뜨리면 구멍으로 흘러나오던 물이 어떻게 될까를 묻고 있다. 최혁준(2003)의 연구에서는 학습에 참여한 학생들이 대학생이었지만 이 연구에서는 중학생들이었으므로 중학생들이 문항을 이해할 수 있도록 수정을 했다. 두 문항은 모두 선택형 응답 후 이유를 진술하게 하였다. 응답이유를 적을 때 학생이 이전에 경험했던 현상만을 기록하지 않도록 응답이유와 관련 경험 기록 공간을 따로 구분했다.

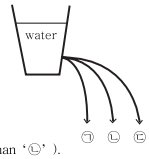
수업 직후 학생개념 검사 및 3주후 지연 학생개념 검사문항은 사전개념검사 문항 외에 응용문제 1 문항을 더 포함시켰다.

학생개념은 이유진술의 타당함과 정교함을 기준으로 1~5수준으로 나누었다. 이유진술을 하지 않은 경우에는 개념수준을 0으로 두었다. 개념수준 1~2는 예상의 옳고 그름에 상관없이 타당하지 못한 이유를

Q. There is a white fluorescent lamp(light-source) in the shape '∩', of which the lower part is covered with red cellophane paper to illuminate red light. Also the lamp and the white lusterless screen(50 cm×50 cm) are 1 m apart. What can you see on the screen if you switch on the lamp? Please explain why do you think so.

Fig. 1(a) *The question about and the illustration of light-source*

Q. There is a cup with a small hole on the side. I close up the hole with my finger and put water into the cup(If I don't stop the hole, water runs down like '㉡'.). If I drop the cup in the air, what happens to the water while the cup falls? Please explain why do you think so.



① The water flows weakly as much as '㉠' (closer to the cup than '㉡').
② The water flows as like as '㉡'
③ The water flows strongly as much as '㉢' (farther from the cup than '㉡').
④ The water doesn't flow out.
⑤ Others _____

Fig. 1(b) *The question about and the illustration of weightlessness*

설명한 수준이다. 중력문항에서 예를 들면, "공기저항 때문에"(수준1) 또는 "중력 때문에 물보다 컵이 더 빨리 떨어질 것 같다."(수준2)이다. 수준2는 수준1보다 표현이 구체적이어서 상대적으로 정교하다고 판단되는 경우이다. 개념수준 3은 옳은 예상을 했고 부분적으로 타당한 설명을 포함하고 있는 수준이다. 예를 들어, "떨어지는 순간 무중력 즉, 진공상태가 되기 때문이다."와 "빛이 분산되면서 스크린으로 비친 빛들이 결합하여 옅은 붉은색으로 보인다."는 수준3으로 분류했다. 개념수준 4~5는 옳은 예상을 하고 타당한 이유를 설명한 수준이다. 광원문항에서 예를 들면, "빛의 확산으로 인해 백색과 붉은색의 빛이 스크린 전체에 퍼져 겹치게 되므로 엷은 분홍색이 스크린에 나온다."(수준4), "형광등은 광원으로서 수많은 점광원이 있는데 그 점에서는 사방으로 빛이 나아가 스크린에 겹쳐져 특정한 상이 나타나지 않고 골고루 엷은 붉은색을 띈다."(수준5)이다. 수준5는 수준4보다는 정교하다고 판단되는 것들이다.

나. 인지갈등정도 검사도구

인지갈등정도 검사는 Lee 등(2003)이 개발한 CCLT (Cognitive Conflict Levels Test)를 이용하였다. CCLT는 과학 학습에서 학생들이 자신의 생각과 불일치하는 현상을 대면할 때 유발되는 인지갈등 정도를 측정하기 위하여 개발된 것이다. CCLT는 인지갈등의 구성요인을 불일치 상황의 인식(Recognition)과 흥미(Interest), 불안(Anxiety), 인지적 재평가(Reappraisal)로 두었으며, 각 요인에는 3개의 검사 문항을 두었다. 각 문항은 5단계 척도형(0~4점)이며 총점의 최소는 0점, 최대는 48점이다. 대면 후 갈등정도 검사에는 CCLT를 원형 그대로 사용하였다.

대면 전 갈등정도를 검사하는 CCLT는 기존의 CCLT의 형식을 가능한 그대로 유지하면서 전반적으

로 '실험 결과를 보고서' 라는 표현을 '문제를 풀면서' 라는 표현으로 수정하였다. 수정 과정에는 2인의 인지갈등 전문가의 도움을 받았다. 수정한 예를 들면, 불일치 인식 문항 중 "나의 예상과 달라 이상하다는 생각이 들었다."는 "이 문제를 풀면서 이상하다는 생각이 들었다."로 수정했고 흥미 문항 중 "이 실험 결과를 보니 호기심이 생긴다."는 "이 문제에 호기심이 생긴다."로 수정했다.

CCLT를 개발하는 과정에서 중학생에게 적용한 CCLT의 신뢰도(Cronbach α)는 전체적으로 .83~.86였다(김정환, 1999). 이 연구에서는 대면 전 갈등을 검사한 CCLT의 신뢰도 계수는 .86~.88이었고 대면 후 갈등을 검사한 CCLT의 신뢰도 계수는 .89~.90이었다.

3. 연구절차

연구는 연구계획수립, 문헌연구, 검사도구 개발 및 선정, 예비연구, 검사도구 수정, 수업 진행 및 자료수집, 면담, 지연사후검사, 결과분석 및 결론의 과정으로 진행하였다.

지연사후검사와 면담을 제외한 검사는 수업을 진행하면서 이루어졌다(Fig. 2). 먼저 학생의 사전개념 검사를 하고 이어서 수정된 CCLT로써 문제를 푸는 과정에서 경험하는 대면 전 인지갈등 정도를 측정하였다. 그리고 시범실험을 관찰한 후, CCLT로써 대면 후 인지갈등 정도를 측정하였다. 마지막으로 읽기 자료를 중심으로 목표 개념을 학습한 후에 사후개념 검사를 하였다. 광원과 무중력 수업에는 각각 약 50분이 소요되었으며 두 수업은 약 2~3일의 시간 간격을 두고 실시되었다. 그리고 수업 3주후에 지연사후검사를 하였다.

광원과 무중력 수업 이후, 일부 학생들에게 CCLT의 각 문항에 응답했던 이유를 물었다. 대면 전 갈등수준과 대면 후 갈등수준을 교차하여 분류한 뒤, 각 유형별로 2~4명의 학생들을 임의로 선정하여 면담하였다. 각 유형별로 CCLT문항에 응답할 때의 감정이나 생각을 대면 전과 후를 구분해서 회상할 수 있었던 학생들 1명씩을 선정하였고 면담 내용을 전사했다. 이를 통해 학생들의 대면 전 갈등의 이유를 이해하고자 하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 불일치 현상 대면 전과 후의 인지갈등정도

가. 불일치 현상 대면 전과 후의 인지갈등정도

대면 전 갈등의 평균은 광원과 무중력 문항에서 각각 25.7점과 24.3점, 대면 후 갈등의 평균은 광원과 무중력 문항에서 각각 23.7점과 25.5점으로서 대면 전과 후의 인지갈등에는 유의미한 차이가 없었다. 불일치 현상 대면에 의해 인지갈등이 유발되기도 하지만, 불일치 현상 대면 전에도, 대면 후 갈등정도와 같은 정도의 인지갈등이 유발되었다고 볼 수 있다.

인지갈등정도를 세 수준으로 나누고, 갈등수준별 학생 수와 불일치 현상 대면에 의한 갈등수준의 변화를 조사하였다(Fig. 3). 대면 전과 후 갈등 모두에서 '중' 정도의 갈등을 보인 학생들이 가장 많았으며 대면 전 갈등수준별로 대면 후 갈등수준의 분포가 달랐다. 대면 전 갈등이 '상' 정도인 학생들 중에서는 대면 후 갈등도 '상' 정도인 학생들이 가장 많았다. 약 60%의 학생들이 대면 전과 후 갈등수준이 같았으며 갈등수준이 증가하거나 감소한 학생들은 각각 약 20% 미만이었다. 이 결과는 대면 전과 후 갈등의 유의한 상관관계(r=.65)와도 일관된다. 불일치 현상 대면에 의해 유발되는 인지갈등에 불일치 현상 대면 전에 유발되었던 인지갈등의 정적인 영향이 있었던 것으로 이해된다.

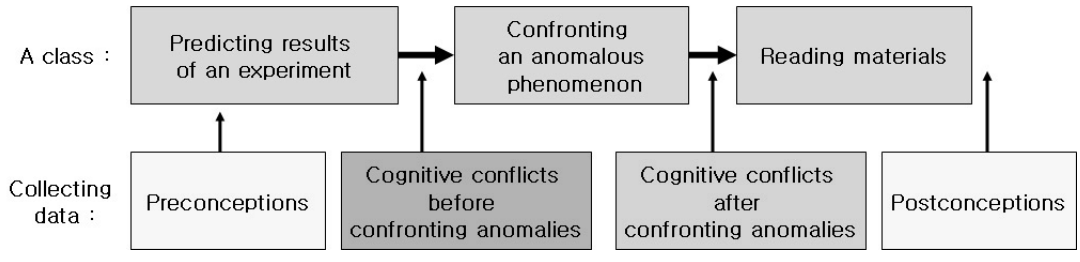
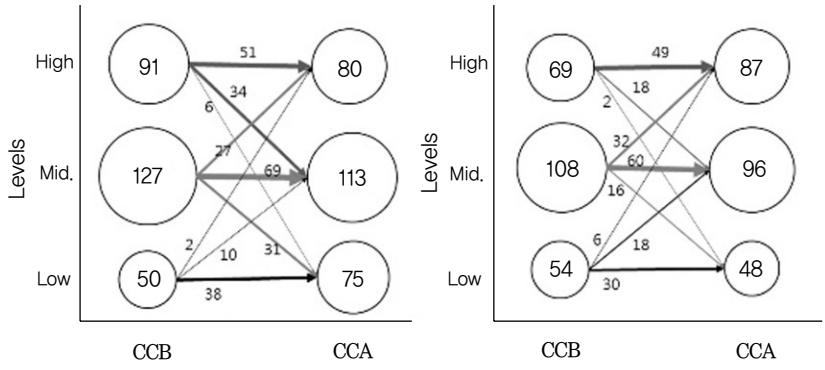


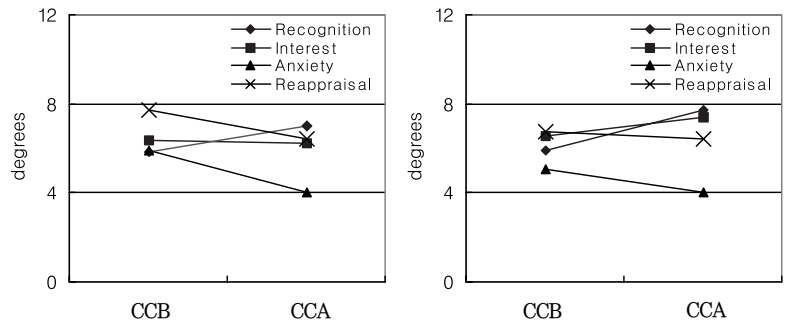
Fig. 2 *The process of collecting data in the classes*



(a) in light-source (b) in weightlessness

CCB: "Cognitive Conflict Before" Confronting Anomalies
CCA: "Cognitive Conflict After" Confronting Anomalies

Fig. 3 *The number of students according to the levels of cognitive conflicts*



(a) in light-source (b) in weightlessness

CCB: "Cognitive Conflict Before" Confronting Anomalies
CCA: "Cognitive Conflict After" Confronting Anomalies

Fig. 4 *Degrees of the elements in cognitive conflicts before and after confronting anomalies*

대면 전과 후의 인지갈등정도를 요인별로 살펴보았다(Fig. 4). 불일치 인식은 대면 전 갈등에서보다 대면 후 갈등에서 더 높았다. 그러나 불안과 인지적 재평가는 대면 후 갈등에서보다 대면 전 갈등에서 더 높았다. 이런 특징은 두 문항에서 공통적이었다. 두 갈등의 수준이 다른 학생들에게서 이 특징은 보다 분명하게 나타났다. 대면 전 갈등수준이 대면 후보다 높았던 학생들은 대면 전 불안이 대면 후 불안보다 4점 이상, 그리고 대면 전 인지적재평가가 대면 후 재평가보다 3점 이상 높았다. 반면 대면 후 갈등수준이 대면 전보다 높았던 학생들은 대면 후의 불일치인식이 대면 전 인식보다 4점 이상 높았다. 그러므로 불일치 현상 대면 전과 후를 비교해 볼 때, 대면 전 갈등에는 불안과 인지적재평가의 기여가 크며 대면 후 갈등에는 불일치인식의 기여가 크다고 할 수 있다.

대면 전 갈등요인과 대면 후 갈등요인들 사이에는 유의한 정적상관이 있었다(r=.65). 특히 대면 전 갈등요인들 중에서 대면 후 갈등요인들과 가장 높은 상관이 있었던 것은 '흥미' 였다(r=.60). 불일치 현상 대면 전에 유발되는 인지갈등 중에서 '흥미' 정도는 대면 후 갈등정도를 가장 많이 설명하고 있었다.

요약하면 불일치 현상 대면 전의 인지갈등정도는 대면 후의 인지갈등정도와 평균적으로 차이가 없었으나 두 인지갈등에 기여하는 주된 갈등요인은 달랐다. 그리고 대면 전과 후 갈등수준이 같은 학생들이 많았으며 두 갈등정도는 서로 유의한 정적상관이 있었다.

나. CCLT 응답이유를 통해 알아본 대면 전과 후 갈등의 특징

N중학교 대상의 수업 후, 일부 학생들을 개별적으로 만나서 그들이 응답했던 인지갈등정도검사지(CCLT)를 보여주고 왜 그렇게 응답했는지 이유를 물었다. 이유를 비교적 잘 회상했던 학생들 중에서, 갈등수준 변화경향을 고려하여, 학생 4명과의 면담결과를 정리했다. 학생a와 학생c는 과학 과목을 좋아한다고 했으며 학생b와 학생d는 과학 과목을 좋아하는 편은 아니라고 했다. Table 1은 불일치 대면 전과 후의 전반적 느낌에 대한 학생들의 진술이다.

학생a는 수업 전 개념을 조사하기 위해 제시된 문항이 평소에 생각해 보지 못한 문제였기 때문에 문제를 해결하기 어려워했다. 스크린에 두 색이 구분되어 보일지 아닐지 사이에서 '혼란스러워' 했는데, 동시에 떠오르는 그 두 생각 때문에 학생a는 문제가 재미있다고 생각하고 결과가 어떻게 될까 궁금해 하는 등 전반적으로 인지갈등정도가 높았다. 이 학생이 관찰한 실험결과는 최종적으로 선택한 예상과 다르기는 했으나 갈등하던 두 예상 중 하나였다. 그럼에도 자신이 불일치현상 대면 전에 떠올렸던 무대조명장치 경험을 설명할 수 없어 '찝찝했다' 고 한다. 그래서 대면 후에도 여전히 갈등정도가 높았다.

학생b는 문항에서 평소 관련짓지 못했던 '수압' 과 '힘과 운동' 개념을 관련짓고 있어서 문항이 새롭고 특이하다는 생각을 했다. 그리고 결과를 예상하고 설명할만한 그럴듯한 생각이 뚜렷하게 떠오르지 않았기 때문에 답답해하였으며 인지갈등의 정도가 높았다. 하지만 현상 대면 전에 친구들이 옳은 예상(자신의 예상과 다른)을 하는 말을 들었고 실험결과를 알고 싶다는 생각이 매우 컸기 때문에 불일치 현상을 대면하고 나서는 오히려 '해소됐다' 고 한다. 실험결과를 그럴듯하다고 인정함으로써 갈등정도가 감소했다.

학생c는 문항이 의외로 고민되게 해서 놀라기도 했지만 대체로 자기 생각에 '확신' 이 있었기 때문에 대면 전의 불일치 인식과 불안 정도가 낮았다. 그리고 문항에 대한 자신의 생각을 정리하는 과정을 재미있어 했다. 이 학생은 실험 결과를 관찰한 후에 불일치를 강하게 인식했는데 흥미와 인지적 재평가뿐 아니라 불안 정도도 대면 전보다 높아졌다.

학생d는 현상 대면 전에는 문항이 '처음 하는 실험' 이기 때문에 약간의 의문이 생기기도 했으나 전반적으로 불일치인식 정도는 낮았다. 다만 자신의 예상을 뒷받침할 근거가 떠오르지 않아 답답했고 선택한 예상에 대해 확신이 낮았다. 학생d는 자신의 예상과 실험결과가 다르다는 것을 확인했으면서도, 여러 광원

Table 1

Statements of students about feelings in CCB and CCA

student symbols	items	changes in levels of Cog. Conf.	degrees		statements of students about feelings in	
			CCB	CCA	CCB	CCA
a	LS.	H→H (increasing)	37	37	Confused... I couldn't figure it out... so I felt bad.	It's strange. I didn't know it! I still felt bad (I didn't understand clearly).
b	W.	H→H (decreasing)	44	37	I wasn't certain it. I really wanted to know results, so... Because I was so much curious about results.	Curiosity was defused so I was feeling better. Thinking that it could be. Then I wanted to know the reason.
c	LS.	M→H	28	37	Though my idea looked like right answer, I was cautious to it.	I could use all of what I have thought about it. That's interesting.
d	LS.	M→L	28	18	Worried and curious ...	I couldn't refute it so I admitted it.

H: High, M: Middle, L: Low, LS.: Light-Source, W.: Weightlessness
CCB: "Cognitive Conflict Before" confronting anomalies,
CCA: "Cognitive Conflict After" confronting anomalies

에서 나오는 빛이 섞여 보였던 경험을 새롭게 연상시키고 그 경험으로서 불일치 현상을 '당연' 한 것으로 여겼다. 또한 과학 과목에 흥미가 많지 않을 뿐 아니라 컴퓨터를 이용하거나 친구들 또는 선생님한테 물으면 해결할 수 있을 것 같아서 고민되지 않았다고 한다. 이 학생은 현상을 대면하기 전뿐 아니라 후에도 '근거를 찾는 행동은 귀찮아' 했다. 그러한 심리 상태에 검사시기가 기말고사와 가까웠던 점도 영향을 준 것 같다고 설명했다.

면담결과를 요약하면, 첫째로는 학생들이 스스로 설명하는 대면 전 갈등의 이유가 다양했다: 일관되지 않는 두 생각이 떠오르는 것(학생a)외에 자신의 생각이 그럴듯하지 못하다는 생각(학생b), 문제 자체의 새롭고(학생a와 b, d) 특이함(학생b) 또는 고민하게 만드는 점(학생c) 등. 둘째는 '문제' 에 관심을 가지고 문제가 새롭고 생각하는 과정이 재미있다고 한 학생들(학생a, b, c)은 대면 후 갈등이 높았다. 대면 전 갈등의 '흥미' 가 대면 후 갈등정도와 가장 큰 상관을 갖는 요인이라는 앞의 결과에 일관된다. 셋째로는 과학 과목을 좋아한다고 학생들은 대면 전과 후 갈등이 상위로 유지되거나(학생a) 증가했다(학생c). 대면 후 갈등이 과학 교과에 대한 태도의 영향을 받는다는 권난주(2000)의 결과에 일관된다. 마지막으로, 대면 전 높은 갈등으로 인해 심리적 긴장이 컸거나(학생b) '실험결과' 에 관심을 크게 두었던 학생(학생b와 d)은 대면 후 갈등이 감소했다. 이 학생들은 자기 개념에 대한 확신이 낮았으며, 불일치 현상을 대면하고 나서 곧바로 관찰 결과가 그럴듯하다고 인정하였다. 이들에게는 불일치 현상 대면은 인지갈등의 정도를 약화시키는 역할을 했던 것으로 이해된다.

2. 인지갈등 정도가 개념변화 정도에 미치는 영향

가. 사전개념수준 및 개념변화 정도

불일치 현상을 대면한 학생들의 사전개념은 모두 타당하지 못했다. 사전개념검사결과, 광원문항에서 이유진술이 없었던 학생들(수준0)은 5명, 막연하게 이유진술(수준1: 예를 들어, 빛의 진행 그림도 없이 "검은 색이 중간에 비친다."고 함)을 한 학생들은 112명, 그리고 타당하지 못하지만 수준1보다는 정교하게 진술한(수준2: 예를 들어, "빛이 사방으로 퍼지지만 스크린에서 밝은 면과 덜 밝은 면으로 보일 것 같다.") 학생들은 151명이었다. 무중력문항에서 이유진술이 없었던 학생들(수준0)은 8명, 막연하게 이유진술(수준1: 예를 들어, "관성 때문에")을 한 학생들은 82명, 그리고 타당하지 못하지만 수준1보다 정교하게 진술한(수준2: 예를 들어, "내려갈수록 속도가 커지니까 물줄기도 세어진다.") 학생들은 135명이었다.

학생들의 사전개념이 모두 타당하지 못했기 때문에 '개념변화정도' 는 사후개념수준에 따라서 점수화 하였다. 개념변화정도가 0은 수업 후에도 타당하지 못한 설명(사후개념수준0~2)을 한 학생들이다. 개념변화정도 1은 부분적으로 타당한 설명(사후개념수준3)을 한 학생들이다. 개념변화정도 2와 3은 타당한 설명(각각 사후개념수준4와 5)을 한 학생들이다. 각 문항에서 개념변화정도에 따른 인원수는 Table 2와 같다.

광원문항에서는 불일치 현상을 대면한 학생들 중 부분적으로 또는 전반적으로 옳은 설명을 한 학생들은 수업직후에 약72%, 3주후에 약 66%였다. 간단한 읽기자료를 이용하고 교사의 설명은 최소화했던 수업이었던 점을 고려하면 광원문항에서 불일치 현상 대면을 통한 개념변화 전략은 긍정적이었던 것으로 보인다.

무중력문항의 경우, 수업직후에 부분적 또는 전반적으로 옳은 설명을 한 학생은 약 50%였으나 3주후

Table 2
Numbers of students according to degrees of conceptual changes

		in Light-Source					in Weightlessness				
degrees of conceptual changes (levels of postconceptions)		0 (0~2)	1 (3)	2 (4)	3 (5)	Avg	0 (0~2)	1 (3)	2 (4)	3 (5)	Avg
num. of students	post test	75 (28.1%)	87 (32.6%)	88 (32.9%)	17 (6.4%)	1.18	109 (48.0%)	83 (36.6%)	26 (11.4%)	9 (4.0%)	0.72
	delayed-post test	89 (34.2%)	85 (32.7%)	80 (30.8%)	6 (2.3%)	1.10	145 (64.7%)	58 (25.9%)	18 (8.0%)	3 (1.3%)	0.46

까지 옳은 설명을 한 학생은 약 35%였다. 타당하게 개념변화를 한 학생 수가 광원 문항에서보다 적었으며 타당한 개념을 유지한 정도도 낮다. 무중력 개념은 간단한 읽기자료를 통해 타당하게 변화시키기가 쉽지 않음을 보여준다.

나. 대면 전과 후 갈등수준에 따른 개념변화정도

광원수업에서 대면 전 갈등수준이 '상'인 학생들의 직후개념변화정도는 1.52로써 대면 전 갈등이 '중' 또는 '하' 수준인 학생들(각각 1.04와 1.00)보다 컸다(Table 3(a)). 대면 후 갈등이 '상' 수준인 학생들의 직후개념변화정도(1.39)도 대면 후 갈등이 '중' 또는 '하' 수준인 학생들(각각 1.13과 1.03)보다 컸다. 그리고 두 인지갈등수준을 교차하여 분류한 9개 집단 중에서 두 갈등이 모두 '상' 수준인 학생들의 개념변화정도는 나머지 학생들의 개념변화정도보다 높았다. 뿐만 아니라 대면 전 또는 후 갈등수준 '상'인 학생들의 지연사후개념정도는 모두 1.00이상으로서 갈등수준이 낮은 학생들보다 긍정적으로 변화된 개념이 잘 유지되었다. 따라서 광원수업에서 대면 전과 후 갈등정도는 모두 개념변화에 긍정적 영향을 주었다고 볼 수 있다.

무중력수업에서도 대면 전 갈등수준이 '상'인 학생들의 직후개념변화정도는 1.03으로써 대면 전 갈등이 '중' 또는 '하' 수준인 학생들(각각 .69와 .36)보다 컸다(Table 3(b)). 그리고 대면 후 갈등수준이 '상'인 학생들의 직후개념변화정도(.98)는 대면 후 갈등이 '중' 또는 '하' 수준인 학생들(각각 .59와 .48)보다 컸다. 무중력수업에서도 대면 전과 후 갈등정도가 모두 개념변화에 긍정적 영향을 준 것으로 이해할 수 있다(단, 대면 전과 후 갈등수준이 각각 '상'과 '하'인 학생들의 직후개념변화정도가 가장 높게 나타났지만 이 학생들이 2명에 불과해서 해석에서 제외함). 다만 무중력수업에서는 대면 후 갈등수준에 상관없이 대면 전 갈등수준이 '상'인 학생들의 지연개념변화정도가 나머지 학생들보다 높았으며 대면 전 갈등수준이 '하'인 학생들의 직후 및 지연개념변화정도는 나머지 학생들보다 낮았다. 따라서 무중력 수업에서는 대면 전과 후 갈등이 모두 개념변화에 긍정적 영향을 미치지만, 두 인지갈등 중에서 좀 더 주된 영향을 미친 것은 '대면 전 갈등'이라고 볼 수 있다.

다. 개념변화정도별 대면 전과 후 갈등정도

개념변화정도별로 갈등정도를 비교해보기 위해서 개념변화정도를 세 단계로 분류했다. 개념변화정도0은 개념변화에 실패한 학생들, 개념변화정도1은 부분적으로 타당한 개념을 구성한 학생들, 개념변화정도2~3은 타당한 개념을 구성한 학생들이다. 개념변화정도별 대면 전과 후의 갈등정도는 Fig. 5와 같다. 광원수업에서 직후개념변화정도 2~3인 학생들의 대면 전과 후 갈등정도는 각각 개념변화정도0인 학생들의 경우보다 높았다. 무중력수업에서 직후개념변화정도1

Table 3

Averages of conceptual changes according to the levels of cognitive conflicts

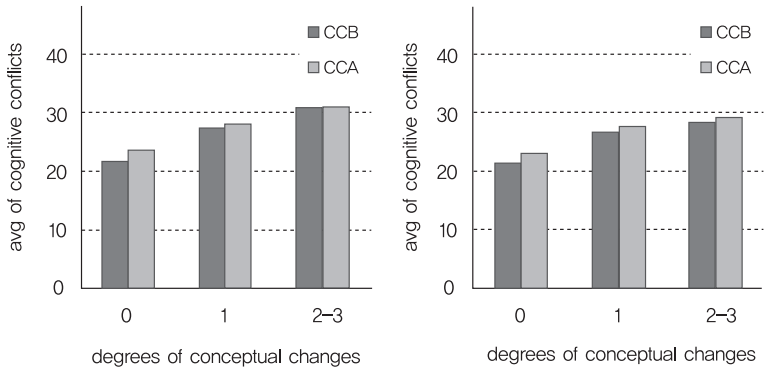
		Avg of Conceptual Changes			
		CCA			Total
		High	Mid	Low	
CCB	High	1.52 (1.46)	1.14 (1.11)	1.16 (1.17)	1.46 (1.31)
	Mid	1.14 (1.12)	1.02 (.85)	.97 (.75)	1.04 (.88)
	Low	1.00 (1.00)	.80 (.80)	1.05 (.76)	1.00 (.78)
Total		1.39 (1.34)	1.13 (.93)	1.03 (.79)	1.18 (1.10)

(a) in light-source

		Avg of Conceptual Changes			
		CCA			Total
		High	Mid	Low	
CCB	High	1.10 (.87)	.76 (.63)	1.50 (1.00)	1.03 (.82)
	Mid	.91 (.45)	.59 (.36)	.60 (.38)	.69 (.39)
	Low	.33 (.17)	.39 (.11)	.35 (.20)	.36 (.17)
Total		.98 (.67)	.59 (.36)	.48 (.29)	.71 (.46)

(b) in weightlessness

( ): Avg of conceptual changes in 3 weeks
CCB: "Cognitive Conflict Before" confronting anomalies
CCA: "Cognitive Conflict After" confronting anomalies



(a) in light-source (b) in weightlessness

CCB: "Cognitive Conflict Before" Confronting Anomalies
CCA: "Cognitive Conflict After" Confronting Anomalies

Fig. 5 *Averages of cognitive conflicts according to the levels of conceptual changes*

및 2~3인 학생들의 대면 전과 후 갈등정도는 각각 개념변화 정도 0인 학생들보다 높았다. 그리고 수업 3주후 개념검사에서도 개념변화정도에 따른 대면 전 및 후 갈등정도의 차이가 있었다. 그러므로 직후 및 지연개념변화정도가 높았던 학생들은 학습 전의 대면 전과 후 갈등 모두가 높았다고 말할 수 있다.

3. 개념변화정도와 대면 후 갈등에 대한 대면 전 갈등의 인과적 효과 분석

대면 전 갈등과 직후개념변화정도의 단순상관은 광원수업 직후에 r=.22, 무중력수업 직후에 r=.32였다. 대면 전 갈등과 지연개념변화정도의 단순상관은 광원수업에서 r=.28, 무중력수업에서 r=.34였다. 대면 전 갈등과 개념변화정도 사이에는 낮지만 유의미한 상관이 있었다($p<.01$).

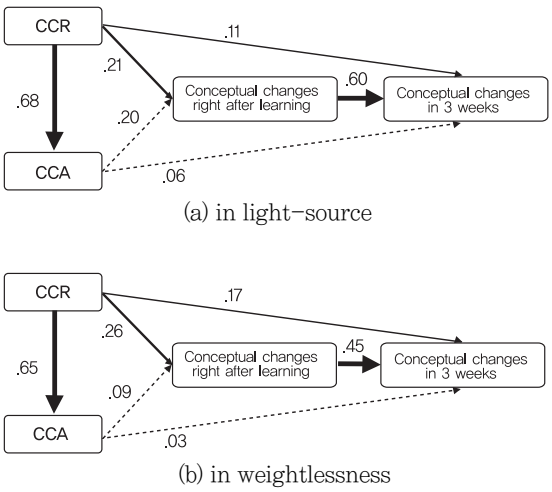
대면 후 갈등과 개념변화정도의 단순상관은 광원수업 직후에 r=.16, 무중력수업 직후에 r=.25이었다. 대면 후 갈등과 지연개념변화정도의 단순상관은 광원수업에서 r=.23, 무중력수업에서 r=.27이었다. 대면 후 갈등 또한 개념변화정도와 낮지만 유의미한 상관이 있었다. 이 결과는 CCLT를 사용해서 측정한 교실수업에서의 인지갈등정도와 개념변화의 유의한 상관을 밝힌 선행연구에 일관된다(권난주, 2000; 최진만, 2003).

그리고 개념변화수업 내에서 대면 전과 대면 후 갈등이 유의한 상관(r=.65)이 있었다. 그래서 대면 전 갈등과 개념변화의 상관이 대면 후 갈등을 매개로 하는 간접효과인지 또는 비인과적 효과인지 분석해 보고, 두 인지갈등 중에서 개념변화에 있어서 주된 영향을 미치는 것이 무엇인지 알아보고자 했다.

직후개념변화정도에 대하여 대면 전과 후 갈등이라는 두 변인의 영향을 동시에 분석해야 하므로 중다 회귀모형에 바탕을 두는 경로분석을 했다. 경로분석에서는 인과적 효과로서 직접효과와 간접효과, 그리고 비인과적 효과를 구분하여 확인할 수 있다. 인과적 효과와 비인과적 효과를 합한 것은 단순상관계수에 해당한다(정대연, 2004).

경로모형에서 대면 전과 후 갈등을 직후 및 지연개념변화정도의 설명변인으로 두었고, 대면 전 갈등은 대면 후 갈등보다 시간적으로 앞서 유발되므로 대면 전 갈등을 대면 후 갈등의 설명변인으로 두었다. 또한 직후 및 지연개념검사 문항이 동일하므로 직후개념변화정도를 지연개념변화정도의 설명변인으로 두었다.

분석결과는 Fig. 6과 같다. 각 경로 옆의 값은 경로계수로서 직접효과를 나타낸다. 대면 전 갈등이 대면 후 갈등에 미치는 직접효과는 광원수업과 무중력수업에서 각각 .68과 .65였다. 대면 전 갈등이 직후개념변화에 미치는 직접효과는 광원수업과 무중력수업 각각 .21과 .26이었고, 대면 후 갈등을 매개로 하는 간접효과는 각각 .01과 .06, 그리고 비인과적 효과는 없었다. 대면 후 갈등이 직후개념변화에 미치는 직접효과는 광원수업과 무중력수업에서 각각 .02와 .09이었고, 비인과적 효과가 각각 .14와 16이었다. 지연개념



CCB: "Cognitive Conflict Before" Confronting Anomalies
CCA: "Cognitive Conflict After" Confronting Anomalies

Fig. 6 *The path-diagram showing which is the main factor of conceptual changes between cognitive conflicts before and after confronting anomalies*

변화에 미치는 인과적 효과는 대면 전 갈등의 경우 각 수업에서 .29와 .34였으며 대면 후 갈등의 경우에는 두 수업 모두 .07이었다.

광원수업과 무중력수업 모두에서 직후개념변화에 미치는 직접효과가 유의했던 갈등은 '대면 전 갈등'이었다. 대면 후 갈등이 직후개념변화에 미치는 인과적 효과는 유의하지 않았다. 그리고 대면 전과 후 갈등 중에서 직후 및 지연개념변화정도에 대한 인과적 효과가 주된 변인은 대면 전 갈등이었다.

그러므로 불일치 현상을 이용한 인지갈등 전략 수업에서 불일치 현상을 대면한 학생들의 개념변화정도에는 대면 전 갈등정도가 대면 후 갈등정도보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 이해할 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 제언

교실수업에서 중학생들에게 불일치 현상을 대면시켜 인지갈등을 유발시키고자 할 때에 학생들은, 불일치 현상을 대면하기 전이지만, 문제를 풀면서 스스로의 개념 사이에서 인지갈등을 겪었다. 불일치 현상 대면 전 갈등수준이 대면 후 갈등수준과 같았던 학생들이 약 60%였으며 대면 후 갈등이 대면 전 갈등보다 높았던 학생들은 약 20%이었다. 인지갈등전략수업에 참여하는 다수의 학생들에게 인지갈등을 유발하게 하는 상황은 불일치 현상 대면뿐 아니라 대면 전에 개념탐색을 하는 과정이 될 수도 있다는 것을 알 수 있었다.

인지갈등의 하위요인인 불일치인식, 불안, 흥미, 그리고 인지적재평가 중에서 대면 전과 후 갈등에 기여하는 주된 요인이 달랐다. 대면 전 갈등에는 불안과 인지적재평가의 기여가 크며 대면 후 갈등에는 불일치인식의 기여가 컸다. 이는 대면 전 인지갈등이 학생개념과 학생개념 사이의 갈등이지만 대면 후 인지갈등은 학생개념과 현상과의 갈등이기 때문으로 보인다. 따라서 두 갈등은 서로 다른 유형의 인지갈등이라 볼 수 있다.

대면 후 갈등정도는 대면 전 갈등정도와 약 .65의 뚜렷한 상관이 있었다. 특히 대면 전의 갈등요인 중 '흥미' 정도는 대면 후 갈등총점과 가장 큰 상관이 있었다. 불일치 현상을 대면하기 위해 준비하는 과정에서 유발되는 인지갈등이, 특히 '흥미'가 높은 긍정적인 인지갈등이, 대면 후 갈등에 정적인 영향을 미칠 수 있다고 할 수 있다. 면담을 통해서도 현상 대면 전에 과학교과에 대한 태도가 긍정적이고 개념검사문항에 흥미를 가졌던 학생들이 불일치 현상 대면 후 인지갈등이 높거나 대면 전 갈등보다 대면 후 갈등이 높은 경향이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

대면 전 및 후 갈등정도는 모두 개념변화정도와 낮지만 통계적으로 유의미한 상관이 있었다. 대면 전 갈등수준이 높았던 학생들이 대면 전 갈등수준이 낮았던 학생들보다 개념변화정도가 컸다. 마찬가지로 대면 후 갈등수준이 높았던 학생들이 대면 후 갈등수준이 낮았던 학생들보다 개념변화정도가 컸다. 역으로 개념변화정도가 높았던 학생들이 개념변화정도가 낮았던 학생들보다 대면 전과 후 갈등정도가 모두 높았다. 따라서 두 인지갈등이 개념변화에 미치는 긍정적인 효과는 중첩되어 있다고 해야 할 것이다. 그러므로 인지갈등전략을 적용하는 수업에서 인지갈등이 개념변화에 미치는 영향을 고려할 때는 불일치 상황 대면 전의 갈등과 불일치 상황 대면 후의 갈등을 모두 포함해야 할 것이다.

대면 전과 후 갈등을 개념변화정도에 동시에 영향을 미치는 설명변인으로 두었을 때에 주된 설명변인으로 확인 된 것은 '대면 전 갈등'이었다. 개념변화를 효과적으로 이끌기 위하여 학생들에게 불일치 현상을 대면시키는데, 불일치 현상 대면 전의 인지갈등정도

가 불일치 현상 대면 후의 인지갈등정도뿐 아니라 개념변화정도에도 유의미한 영향을 미친다는 것이다. 대면 전 갈등은 '왜 그렇지?', '놀랍다', '이상하다'와 같은 불일치 인식의 단서가 강하게 드러나지 않지만, 불일치가 학생들의 인지구조 내에서 자발적으로 인식되어 '개념-개념 갈등인식'이 개념변화에 영향을 미치는 것으로 이해된다.

대면 전 갈등정도는 대면 후 갈등정도와 개념변화정도에 긍정적인 영향을 미친다. 그러므로 현상 대면 전에 학생에게 자신의 과학개념을 탐색하여 인지갈등을 경험할 수 있는 기회를 제공하는 것은 개념변화를 위해 유용한 전략이 될 것으로 여겨진다. 그리고 다양한 학습 상황에서 대면 전 갈등의 성격과 개념변화에 미치는 영향에 대하여 연구할 필요가 있다. 예를 들어 '대면 전 갈등의 이유는 무엇인가?', '어떠한 특성의 학생들이 대면 전 갈등이 높게 경험하는 경향이 있는가?', '어떠한 질문이 대면 전 갈등을 높게 유발하게 되는가?' 또는 '대면 전 갈등이 개념변화에 긍정적인 영향만을 주는가?' 등에 대한 연구가 더 이어져야 할 것이다.

국문 요약

학생들의 물리 오개념을 과학적으로 변화시키기 위한 학습전략 중 하나는 학생들에게 인지갈등을 유발시키는 것이다. 인지갈등전략의 핵심적 방법은 학생에게 불일치 상황을 제시하는 것이다. 그런데 학생들이 불일치 현상을 대면하기 전에 자신의 개념을 탐색하고 진술하는 단계에서도 인지갈등을 경험한다는 사례가 보고된 바가 있었다. 이 연구에서는 불일치 현상을 대면하기 전에 유발되는 인지갈등정도를 조사하고 그 인지갈등이 불일치 현상 대면 후에 유발되는 인지갈등과 개념변화에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

이 연구는 광원과 무중력 개념을 소재로 한 교실 수업으로 진행하였다. 연구대상은 부산 소재 중학교 2개교의 학생들이었다. 수업과정에서 사전개념, 대면 전과 후 갈등정도 및 사후개념을 조사하였다. 수업 3주후에는 지연사후개념을 검사하였다. 그 결과 불일치 현상 대면 전의 인지갈등 평균은 대면 후의 인지갈등 평균과 차이가 없었으며 두 인지갈등 사이에는 정적상관이 있었다. 불일치 현상 대면 전과 후의 인지갈등정도가 모두 개념변화정도와 정적상관이 있었는데, 두 인지갈등 중 개념변화를 주도적으로 설명하는 것은 불일치 현상 대면 전의 인지갈등정도였다.

참고 문헌

권난주 (2000). 인지갈등에 의한 중학생의 과학 개념변화에서 학습자특성의 영향. 한국교원대학교 박사학위논문.

권난주, 권재술 (2004). 인지갈등 전략을 이용한 과학 개념변화에서 학습자 특성의 효과. 한국과학교육학회지, 24(2), 216-225.

권미랑, 김지나, 최혁준, 김중복, 권재술 (2005). 그네타기 체험을 통한 인지갈등 전략이 학생들의 단진자에 작용하는 힘 개념에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 25(5), 583-594.

권재술 (1989). 과학 개념 형성의 한 인지적 모형. 물리교육, 7(1), 1-9.

김정환 (1999). 과학학습에서 불일치 상황에 대면한 중학생의 인지갈등 측정도구 개발. 한국교원대학교 석사학위논문.

김지나 (1997). 갈등 상황 제시 유형에 따른 학생들의 물리 개념변화. 한국교원대학교 석사학위논문.

김지나, 최혁준, 권재술 (2002). 정량적 현상제시와 정성적 현상제시에 의한 학생들의 인지갈등 정도. 한국과학교육학회지, 22(1), 12-21.

박종원 (1992a). 상대론 기초 개념변화에 있어서 초인지의 역할. 서울대학교 박사학위논문.

박종원 (1992b). 인지적 갈등의 이론적 모형. 전남대학교 과학교육연구지, 16(1), 17-35.

박종원 (2003). 학생 개념의 연속적 세련화와 정교화를 통한 변화 과정-대학생 반응 분석-. 한국과학교육학회지, 23(3), 276-285.

이경호, 권재술 (1999). 관성개념에 대하여 자기의 생각과 불일치하는 상황의 유형에 따른 학생의 반응. 한국과학교육학회지, 19(4), 516-527.

이영직 (1998). 인지갈등에 의한 고등학생의 물리 개념변화. 한국교원대학교 박사학위논문.

이채은, 이경호, 김지나, 권재술 (2001). 인지갈등 상황 제시유형에 따른 고등학생들의 역학 개념 변화. 한국과학교육학회지, 21(4), 697-709.

정대연 (2004). 사회통계학. 제주대학교 출판부.

최진만 (2003). 인지갈등 유발수업이 중학생의 빛의 직진성 개념변화에 미치는 효과. 한국교원대학교 석사학위논문.

최혁준 (2003). 무중력 상태에 대한 예상의 확인 결과가 대학생의 인지갈등과 개념변화에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사학위논문.

황명수 (2007). 전구의 연결에서 현상제시 순서에 따른 학생들의 반응. 한국교원대학교 석사학위논문.

Berlyne, D. E. (1960). Conflict, arousal, and curiosity. New York: McGraw-Hill.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). A empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. Journal of Research in Science Teaching, 35(6), 623-654.

Dreyfus, A., Jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change -Some implication, difficulties, and problems. Science Education, 74(5), 555-569.

Druyan, S. (1997). Effect of the kinesthetic conflict on promoting scientific reasoning. Journal of Research on Science Teaching, 34(10), 1083-1099.

Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), New perspectives on conceptual change (pp. 263-282). New York: Pergamon.

Festinger, L. (1957). A theory of cognitive dissonance. Stanford, CA: Stanford University Press.

Gredler, M. E. (1992). Learning and instruction: Theory into practice (2nd). New York: Macmillan.

Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. European Journal of Science Education, 8(3), 229-249.

Hynd, C. R., McWhorter, J. Y., Phares, V. L., & Suttles, C. W. (1994). The role of instructional variables in conceptual change in high school physics topics. Journal of Research in Science Teaching, 31(9), 933-946.

Lee, G., Kwon, J., 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(6), 585-603.

Niaz, M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems: A dialectic-constructivist perspective. Journal of Research on Science Teaching, 32(9), 959-970.

Piaget, J. (1985). The Equilibration of cognitive structures. Chicago: University of Chicago Press.

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

Redish, E. F. (2003). Teaching physics: With the physics suite. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.