나이에 따른 학생들의 힘에 관한 개념 변화 특성

김연수 · 권재술
(한국교원대학교)

The Patterns of Students' Conceptual Changes on Force by Age

Kim, Yeoun-Soo · Kwon, Jae-Sool
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

Many investigators have reported difficulties in changing the high school students' misconceptions on mechanics. By one possible solution to this problem, some researchers suggested that the students should be taught mechanics at a younger age to make conceptual changes possible. because as they get older they become less willing to change their ideas. The purposc of this study was to compare the patterns of students' conceptual changes on force by age, to find out whether older students were less ready to change their conceptions than younger students. Individual interviews were carried out with 35 students (average ages 13) in middle school class and 50 students (average ages 17) in high school class near by the middle school. Those students who held the misconcetpion that "motion-implies-force (Impetus conception)" were asked to read a student-centered refutational text (anomalous data). In the immediate and delayed posttest, the types of responses of the students were analyzed to find out the patterns of student's conceptual changes on force by age.

In result, first, most of students had impetus conception. Some of the students aged 13 understood the force as terminologies related with everyday experiences, while the students aged 17 understood the force as scientific terminologies. Second, there was no evidence to suggest that conceptual change is more difficult for the students aged 17 than aged 13. Third, the students aged 13 showed diverse responses (plain acceptance, critical acceptance, plain rejection, critical rejection) to the refutational text, while the students aged 17 showed restricted responses (critical acceptance, critical rejection). A month later those students who showed the plain acceptance retrogressed unscientific conceptions, while those students who showed critical acceptance maintained scientific conceptions. We did not find out any evidence to suggest that conceptual change is more difficult for older students. These results need deeper investigation on the nature of the loss of plasticity in comparison with other important variables.

*1999년 8월 31일 받음.

Key words : age, impetus concept, conceptual changes, refutational text. types of responses, loss of plasticity

Ⅰ. 서 론

최근 20여 년 동안 과학교육에서는 학생들이 생각하는 과학 개념을 알아보는 데 많은 연구를 수행하였다. 이러한 연구를 통해서 학생들은 일상 생활의 경험과 자신의 직관을 통해서 자연현상에 대한 나름대로의 개념을 형성하며, 이렇게 형성된 선개념은 대부분 과학자 개념과 다르고 견고하다는 것을 알았다(이영직과 권재술, 1992; 권재술, 1989; Hashweh, 1986; Osborne & Freyberg, 1986).

연구자들은 그 중에서도 특히 역학에서 고등학생들이 갖고 있는 오개념을 과학자 개념으로 변화시키는 데 어려움이 있다는 것을 강조하였다(Thijs, 1992; Sadanand & Kess, 1990; Pines & West, 1986). 이러한 개념변화에 따르는 어려움을 해결하기 위한 한가지 방법으로 일부 연구자들은 역학을 좀 더 어린 나이에 가르쳐야 한다고 제안하였다(Cosgrove & Forret, 1992; Osborne & Wittrock, 1983). Cosgrove와 Forret(1992)은 일상 생활에서 경험하는 많은 주제를 적합한 어린 나이에 제대로 가르치지 않을 경우, 나이가 들어감에 따라 많아지는 일상적인 경험을 통해 더 견고해지는 선개념으로 인해서, 학습자가 그 주제에 관한 개념을 바르게 이해하지 못하게 되는 개념변화에 대한 "유연성 상실(loss of plasticity)"이 일어난다고 생각하였다. 즉 학습자의 나이가 개념변화에 중요한 요인이 되기 때문에 좀 더 다양한 개념을 생각이 경직되지 않은 어린 나이에 학습하는 것이 개념 변화에 바람직하다는 것이다. 비슷한 이유로 Osborne과 Wittrock(1983)은 어린 학생의 경우 보다 최근에 자신의 경험을 형성하였기 때문에 교사의 수업에 더 쉽게 영향받을 수 있다는 것을 주장하였고, Tyson 등(1997)은 개인의 나이가 개념변화 이론과 밀접히 관련되어 있다는 것을 강조하였다.

이런 주장에 대하여 Palmer와 Flanagan(1997)은 호주의 6학년 학생(11세~12세)과 10학년 학생(15세~16세)을 대상으로 "기동력(Impetus)"개념에 대해서 나이와 개념변화 사이의 관계를 알아본 결과 통계적으로 유의미한 차이를 확인할 수 없었다. 처치단계에서 이 연구자들은 사전검사에서 기동력 개념을 갖고 있던 학생들에게 학생중심의 논박자료를 읽힌 후, 2주 후에 시간지연사후검사를 실시하여 나이에 따른 개념변화의 차이를 비교하였다. 그러나 이들의 연구는 나이가 다른 두 집단간의 개념 변화 비율을 통계적으로 검증하고 이 결과를 토대로 위와 같은 사실을 확인하였을 뿐, 왜 그러한 통계적인 결과가 나왔는지는 분석하지 않았다.

이와 같이 나이와 개념변화의 관계를 강조하거나 알아본 이러한 연구들은 나이에 따른 개념변화에 대한 유연성 상실이 실제로 일어나는가를 실험적으로 알아보고, 개념변화 과정에서 나타나는 학생의 반응 특징을 구체적으로 알아보지 않았다는 공통점을 갖고 있다.

따라서 이 연구의 목적은 "기동력(Impetus)" 개념을 갖고 있는 나이가 다른 두 집단의 학생들을 대상으로 논박자료를 읽혔을 때 나타나는 반응 특징과 개념 변화 과정을 사례제시면담법(IAI)을 이용해 분석하여 나이에 따른 학생들의 개념 변화 특성을 밝히는 것이다.

이 연구목적을 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 13세 학생과 17세 학생 중 기동력 개념을 갖고 있는 학생은 얼마나 되는가? 둘째, 13세 학생과 17세 학생은 과학적 의미로서 힘에 대한 개념을 어떤 뜻으로 이해하고 있는가? 셋째, 13세 학생보다 17세 학생의 개념변화가 더 어렵다는 유연성 상실의 개념을 지지할 수 있는가? 넷째, 13세 학생과 17세 학생은 학생 중심의 논박자료에 대해서 어떠한 반응 특성을 나타내는가?

Ⅱ. 연구 방법 및 절차

이 연구는 나이에 따른 학생들의 사전개념과 개념

변화 특성을 구체적으로 알아보기 위해 사례제시면담법(IAI)(Osborne & Freyberg, 1985; Osborne & Gilbert, 1980)을 사전개념 검사, 논박자료 읽기(처치), 즉시 사후검사, 시간지연 사후검사 단계에서 각각 실시하였다. 각 단계의 면담내용을 녹음한 후, 프로토콜로 만들어 사전개념과 나이에 따른 개념 변화 특성을 분석하였다.

1. 연구 대상

13세(12세~13세의 평균 나이) 집단으로 서울의 남녀 공학 중학교 1학년 1개 반 35명을 연구 대상으로 하였고, 17세(16세~17세의 평균 나이) 집단으로 중학교와 인접한, 일반계 남녀 공학 고등학교 2학년 1개 반 50명을 연구 대상으로 하였다.

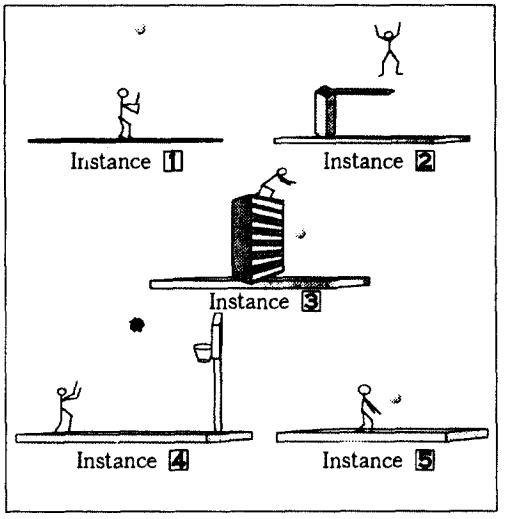

Fig 1. Instances used to check students' conceptions

2. 검사 문항 및 논박자료(불일치 자료)

사전개념 검사, 즉시 사후검사, 시간지연 사후검사 단계에서 운동하는 물체에 작용하는 힘에 대한 개념을 알아보기 위해 Palmer와 Flanagan(1997)이 사용한 문항을 참고로 하여 Fig. 1과 같이 5가지 사례를 검사 문항으로 만들어 사용하였다. 사례 1번은 사람이 테니스 공을 수직으로 똑바로 던졌을 때 공이 위로 올라가는 상황, 사례 2번은 사람이 다이빙 대 위에서 반동으로 튀어 올라 위로 올라가고 있는 상황, 사례 3번은 사람이 건물의 옥상 위에서 테니스 공을 수직 아래로 지면을 향해 내던진 상황, 사례 4번은 사람이 비스듬히 던진 농구공이 바구니를 향해서 포물선을 그리며 날아가는 상황, 사례 5번은 지면을 향해 수직 아래로 내던진 테니스 공이 지면에 맞고 튀어서 다시 위로 올라가는 상황이다. 사전개념 검사에는 사례1을 이용하였고, 논박자료(불일치자료)를 읽고 바로 실시한 즉시 사후검사에서는 사례1, 사례2, 사례3을, 1개월 후 시간 지연 사후검사에서는 사례1, 사례4, 사례5를 사용하였다. 사례1은 각 단계에서 힘 개념의 이해 수준을 확인하는 데 사용하였고, 사례2와 사례3은 즉시 사후검사에서, 사례4와 사례5는 시간지연 사후검사에서 힘의 방향 개념을 다른 맥락에서도 적용할 수 있는 지 알아보는데 사용하였다.

이 연구에서 이용한 논박자료는 Palmer와 Flanagan(1997)이 사용한 논박자료를 참고로 하여 다시 개정한 것이다. 이 자료의 형태는 같은 또래의 학생이 질문에 직접 대답한 것을 그대로 깨끗하게 글로 옮긴 구조로 되어 있다. 자료의 내용은 사전개념 검사 단계에서 실시한 질문에 대한 내용으로서 두 가지 비슷한 상황(포물선을 그리는 농구공과 트램펄린 위에서 연직 상방으로 운동하는 사람)을 강조한 것이다. 논박자료를 이용한 목적은 단지 운동방향으로 힘이 작용한다는 기동력 개념을 반박하여 힘과 운동방향이 일치해야 한다고 생각하는 학생의 개념에 영향을 주는 데 목적이 있는 것이지, 학생의 기동력 개념을 뉴턴의 법칙에 관한 힘의 개념으로 바꾸기 위한 것은 아니다.

논박자료의 중요한 특징은 이 자료가 "학생 중심적(student-centered)"이라는 데 있다. 이 자료를 교사나 다른 학생이 작성한 정답이라고 제시하지 않고, 단지 또래의 다른 학생이 생각한 단순한 의견이라고 강조하였다. 면담자는 각 학생에게 이 논박자료는 단지 "너와 같은 학생"이 대답한 것이라는 것을 설명해 주었으며, 어떤 방법으로도 자료의 대답이 옳거나 틀

린 것이라는 것을 암시하지 않았다.

3. 연구 절차

사전개념 검사 단계에서 물체의 운동 방향으로 반드시 힘이 작용한다는 기동력 개념을 갖고 있는 학생을 알아내었다. 먼저 면담을 통해 학생이 과학적 의미로서 힘이란 용어를 어떻게 생각하는가를 질문한 후, 사례[1]이 그려진 질문지를 제시하고 테니스공이 위로 올라가는 동안 작용하는 힘들에 대해서 설명해 보도록 하였다.

논박 자료 읽기 단계에서는 사전개념 검사 단계에서 위로 올라가는 테니스 공과 같은 방향으로 힘이 작용한다고 생각하는 학생에게 그 자리에서 다른 학생이 작성한 형식으로 되어 있는 "학생 중심적"인 논박자료(불일치자료)를 제시하였다. 이 때 학생이 원하는 만큼의 충분한 시간을 주어 자료를 읽게 하였으며, 다 읽은 후에는 자료의 내용을 잘 이해하고 있는지 알아보기 위해서 자료의 내용 중 사례[1]에 대해서 다시 질문하였다. 자신의 생각과 자료를 만든 또래 학생의 생각이 같은지, 다른지 질문하였고 왜 그렇게 생각하는지 이유를 설명해보도록 하였다.

즉시 사후검사 단계는 논박자료를 읽은 학생이 자신의 처음 개념(기동력 개념)을 바꾸었는지 알아보기 위해 계획한 것이다. 학생이 논박자료 읽기를 마치면, 즉시 논박자료를 치우고 세 가지 사례 (사례[1], 사례[2], 사례[3])가 있는 검사 문항지를 제시한 후 면담을 수행하였다. 각 사례의 순서는 운동하는 대상의 특성과 운동 방향에 따라 계획적으로 변화시킨 것이다. 각 사례에 대해서 어떤 일이 일어났는가를 인식한 후에 움직이는 물체에 작용하는 힘이 만약 있다면 설명해보고, 그 작용하는 힘을 화살표를 이용하여 그림 위에 그리게 하였다. 학생이 질문에 답할 때 면담자는 논박자료(불일치자료)에 관한 내용을 언급하지 않았다. 마지막으로 학생에게 자신의 대답과 논박자료를 만든 다른 학생의 대답에 관해서 자신의 의견을 말하도록 하였다.

즉시 사후검사를 한지 1개월 후에 실시한, 시간 지연 사후검사 단계에서는, 사전개념 검사에서 기동력 개념을 갖고 있는 학생들에게 세 가지 사례(사례[1], 사례[4], 사례[5])가 적혀있는 문항지를 제시하였다. 면담과정은 즉시 사후검사에서와 같이 동일한 방법으로 실시하였다.

4. 자료 처리 및 분석

사전개념 검사의 자료는 면담내용을 근거로 학생이 힘에 대해서 갖고 있는 개념을 정리하여 응답 빈도수에 따라 그래프와 표로 정리하였다. 즉시 사후검사와 시간지연 사후검사 자료는, 검사지에 제시된 각 사례를 면담하여 물체의 운동과 같은 방향으로 작용하는 힘이 있는가, 없는가에 따라서 분류했다. 즉시 사후검사와 시간지연 사후검사의 문항지는 개념의 이해를 측정하는 한 개의 문항과 개념의 적용을 측정하는 두 개의 문항으로 이루어져 있다. 면담과정에서 개념의 이해를 측정하는 문항을 맞추고, 개념의 적용을 측정하는 2문항 중 1문항 이상에 맞게 응답하면 자신의 개념을 변화시킨 것으로 간주하였다. 각각의 사후검사에서 개별 학생의 개념변화를 측정한 후, 이 자료를 근거로 나이와 개념 변화 사이에 유의미한 차이가 있는가를 통계적으로 확인하고 정성적인 의미를 분석

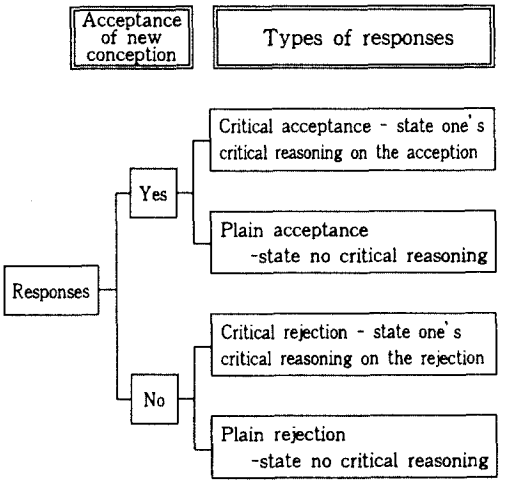

Fig 2. Types of students' responses to the refutational text

하였다.

학생의 논박자료(불일치자료)에 대한 반응 특성의 분류는 논박자료를 읽은 후, 학생 자신이 느끼는 생각과 자료의 내용을 비교하는 진술 그리고 즉시 사후검사의 면담 내용을 토대로 하였다. Fig. 2와 같이 논박자료를 읽고 즉시 사후검사에서 응답 변화가 있는 경우와 없는 경우로 분류한 다음, 반응특성 분류 점검표를 이용하여 구분되는 특징에 따라 그림과 같이 4가지 반응(비판적 수용, 무조건 수용, 비판적 거부, 무조건 거부)으로 분류하였다. 각 반응의 세부 반응 특징은 다음과 같다.

비판적 수용 반응의 세부 특징; ①자료의 내용과 자신의 생각과의 차이점을 명확히 설명할 수 있다. ②자료의 불완전함을 지적한다. ③자료의 내용과 자신의 생각 사이에서 갈등을 느낀다. ④자료의 내용을 이용하여 생각을 바꾼 이유를 설명한다.

무조건 수용 반응의 세부 특징; ①자료의 내용과 자신의 생각을 거의 같은 것으로 여긴다. ②대답에 일관성이 없다. ③자료의 내용을 단순히 과거의 경험을 이용하여 합리화시킨다. ④자료에 대해서 갈등을 느끼지 않으며, 자신의 생각이 잘못 된 것이라고 쉽게 인정한다.

비판적 거부 반응의 세부 특징; ①자료의 내용과 자신의 생각 사이의 차이점을 명확히 설명할 수 있다. ②자료의 불완전함을 지적한다. ③자료의 내용과 자신의 생각 사이에서 갈등을 느낀다. ④자료의 내용이 설명 못하는 반대의 사례를 든다. ⑤자료의 내용을 거부하는 논리적인 이유가 있다.

무조건 거부 반응의 세부 특징; ①자료의 내용과 자신의 생각을 거의 같은 것으로 여긴다. ②대답에 일관성이 없다. ③자료의 내용을 거부하는 타당한 이유가 없다. ④자료의 내용에 대해서 아무런 갈등을 느끼지 않는다.

다음은 비판적 수용반응을 보인 17세 학생의 대표적인 면담 내용이다.

교사 : 읽기 자료의 학생은 힘이란 용어에 대해서 너와 비교해 어떻게 생각하고 있지?

학생 : 이 얘는 힘을 가하려면 무조건 접촉되어야지만 힘을 가할 수 있다고 생각하는데, 자석은 접촉하지 않은 상태에서 클립에 힘이 가해지잖아요. 그러니깐 설명이 모순되는 것 같아요.

교사 : 이 아이의 진술에 일관성이 없다는 것을 지적하는 거니?

학생 : 예. 이 아이는 접촉하는 것만 힘이 있다고 생각하지만, 예를 든 건 접촉하지 않아도 힘이 작용한다는 예를 들었어요. 자석이 클립을 당긴다는 예를 든 건 문제가 있어요.

교사 : 이 아이하고 너하고 다르게 생각하는 점은 뭐지?

학생 : 저는 물체가 손에서 떨어져도 그 힘이 계속 작용하고 중력 때문에 작아져서 떨어진다고 생각하지만, 이 아이는 던진 순간부터 중력만 작용하고 던진 힘은 작용하지 않는다고 생각해요. 그래서 이 아이는 중력만 작용한다고 생각해요. 생각이 좀 왔다갔다해요.

[중간생략]

교사 : [그림 3](옥상 위에서 테니스 공을 수직 아래로 던졌을 때의 상황)을 질문]

학생 : 여기서도 역시 던진 힘은 없고 중력만 작용하는 것 같은 데…

학생 : 그런데 3번 문항에서는 좀 답답해요. 3번 문항을 보니 힘이 다시 작용하는 것 같기도 하고, 아, 작용하지 않아요. 확실해요 (웃음). 만약 힘이, 당기는 힘이 계속 작용한다고 생각하면, 이상하네. 힘이 있을 것 같기도 하고, 더 빨리 떨어진다는 것은 힘이 작용한다는 것인데. 1번과, 2번 문항과의 일관성을 생각하면 힘이 작용하지 말아야 한다는 건데…(갈등을 보임).

이 학생은 즉시 사후검사의 사례1 문항과 사례2

문항에서 자신의 개념을 과학적 개념으로 바꾸었고, 사례[3] 문항에서는 갈등을 하다가 결국 과학적 개념으로 답하였다.

논박자료를 읽고 응답 변화가 있는 경우에는 자료를 비판적으로 수용하는 학생과 특별한 이유 없이 무조건적으로 수용하는 학생을 관찰할 수 있었고, 응답 변화가 없는 경우에는 비판적으로 거부하는 학생과 특별한 이유 없이 무조건적으로 거부하는 학생을 관찰할 수 있었다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

연구 결과는 사전개념 검사 결과와 사후검사 결과 그리고 논박자료에 대한 반응 특성으로 나누어 설명하였다.

1. 사전개념 검사

13세 학생과 17세 학생의 힘에 대한 개념을 알아보려고, 과학에서 의미하는 힘의 뜻을 질문하였다. 힘에 대해서 학생 각자가 이해하고 있는 용어를 분류한 다음 전체 사용 빈도수를 각 집단의 총 인원수로 나누어 백분율을 구하였다.

그 결과 Table 1과 Fig. 3 에서와 같이 13세 학생은 힘에 대한 개념을 에너지란 용어로 이해하고 있는 학생이 49%로 가장 많았고, 움직임, 떨어짐, 이동, 운동으로 이해하는 학생이 31%로 두 번째로 많았다. 특히 13세 학생의 경우 몸의 기운, 원기, 음식물에서 나오는 작용, 아는 지식, 참는 것, 생각한 것을 물체에 주는 것, 발명, 발견하는 능력 등 일상 생활에서 사용하는 용어나 비과학적 용어로 이해하고 있는 학생도 23%나 되었다.

Table 1. The students' force conceptions by age

The students' conceptions on force	The numbers of response(%) 13 ages(N=35)	17 ages(N=50)
Mass × acceleration	0	4(8)
Change of direction	0	8(16)
Change of velocity or speed	0	6(12)
Change of shape	0	18(36)
Pushing / Drawing	6(17.1)	4(8)
Change of impact	1(2.8)	0
Friction	1(2.8)	0
Pressure	4(11.4)	0
Movement / Motion	11(31.4)	27(54)
Energy	17(48.6)	4(8)
Reaction of all things	3(8.6)	0
Vigor of body	2(5.7)	0
Action from foods	2(5.7)	0
Knowing	1(2.8)	0
Unscientific (Knowledge) terminologies Patience	1(2.8) 8(22.9)	0
Giving an object something to think	1(2.8)	0
Discovery/Invention	1(2.8)	0

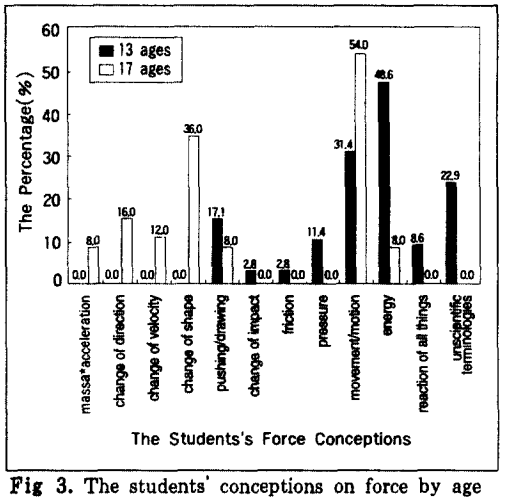

Fig 3. The students' conceptions on force by age

반면 17세 학생의 경우는 움직임, 떨어짐, 이동, 운동의 뜻으로 이해하고 있는 학생이 54%로 가장 많았고, 형태나 모양의 변형으로 이해하고 있는 학생이 36%로 두 번째로 많았다. 특히 17세 학생들 중에는 힘에 대한 개념을 방향 바꿈(16%), 속도 및 속력 변화(12%), 질량×가속도 또는 가속함(8%) 등 13세 학생들이 사용하지 않은, 과학시간에 배운 과학적인 용어를 사용하여 이해하고 있는 학생들이 있었다.

그러나 17세 학생들 중에서 과학적인 용어를 사용하여 힘에 대한 개념을 표현하는 학생이 많다는 사실이 13세 학생들보다 과학적 의미로서 힘에 대한 개념을 바르게 이해하고 있다는 것을 의미하는 것은 아니

다. 사전개념 검사에서 테니스 공을 위로 던졌을 때, 공에 작용하는 힘을 묻는 질문에서 나이에 관계없이 대다수 학생들, 즉 13세는 91%, 17세는 94%의 학생들이 공의 운동 방향과 힘의 방향이 같다고 응답하였다. 이러한 사실을 통해 학생이 어떤 과학 개념을 이해하는 데 사용하는 용어를 알고 있다는 것과 그 과학 개념을 바르게 이해하는 것과는 분명한 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

2. 사후검사

논박 자료를 읽은 학생이 기동력 개념을 변화시켰는지 알아보고, 시간이 지난 후에도 변화시킨 개념을 그대로 유지하고 있는지 알아보기 위해서 두 번의 사후검사를 실시하였다. 즉시 사후검사는 논박자료를 읽은 직후에 바로 실시하였고, 시간지연 사후검사는 즉시 사후검사를 실시한 다음 1개월 후에 실시하였다.

1) 즉시 사후검사

물체의 운동 방향으로 힘이 작용한다고 생각하는 13세 학생 32명과 17세 학생 47명에게 논박자료를 읽힌 후, 세 가지 사례가 그려진 검사지를 제시하고 각각의 사례에 대해서 면담을 하였다.

면담 결과 13세 학생은 32명 중 16명(50%)이 자신의 개념을 변화시킨 것으로 나타났고, 17세 학생은 47명 중 14명(30%)이 개념을 변화시킨 것으로 확인되었다. 논박자료를 읽은 13세 학생은 17세 학생보다 개념 변화를 일으키는 학생이 많다지만, 통계적으로 유의미하지는 않았다(χ^2=3.302, df=1, N=79, p〉.05).

2) 시간지연 사후검사

즉시 사후검사를 실시한 다음 1개월 후에 물체가 운동하는 방향으로 힘이 작용한다고 생각하는 학생의 생각이 어떻게 바뀌었는지 알아보기 위해 시간지연 사후검사를 실시하였다. 기동력 개념을 갖고 있는 13세 32명의 학생과 17세 47명의 학생을 대상으로 즉시 사후검사에서 사용한 사례와 비슷한 맥락을 띠고있는 세 가지 사례에 대해서 면담을 수행하였다. 면담결과 13세 학생 32명 중 9명(28%)이 과학적 개념을 유지하였고, 17세 학생의 경우는 47명 중 15명(32%)이 과학적 개념을 유지하였다. 나이에 따른 개념 변화의 백분율 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다(χ^2= 0.129, df=1, N=79, p 〉.05). 이 결과는 Palmer와 Flanagan(1997)이 호주의 학생들을 대상으로 한 연구에서 얻은 결과와 같았다.

따라서 이 결과는 나이가 더 많은 학생이 개념이 변화되기 어렵다는 "유연성 상실(Cosgrove & Forret, 1992)"이란 개념을 지지하지 않는다. 논박자료를 읽고 과학적 개념으로 변화시킨 학생 중 1개월 후에도 과학적 개념을 그대로 유지 한 학생은 13세

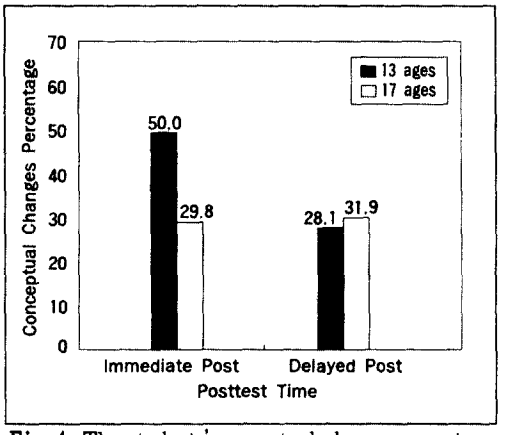

Fig 4. The students' conceptual change percentage by the posttest time

Table 2. The results of tests by age

Age	Pretest(%)		Immediate posttest(%)		Delayed posttest(%)	
	Scientific conception	Unscientific conception	Scientific conception	Unscientific conception	Scientific conception	Unscientific conception
13 ages (N=35)	8.6	91.4	50.0	50.0	28.1	71.9
17 ages (N=50)	6.0	94.0	29.8	70.2	31.9	68.1

학생의 경우 32명 중 7명(22%), 17세 학생의 경우 47명 중 10명(21%)으로 비율은 거의 비슷하였다. 그러나 13세 학생의 경우 과학적 개념을 갖고 있는 학생의 비율(28%)은 즉시 사후검사에서의 비율(50%)과 비교해 줄었다는 것을 알 수 있다. 이것은 13세 학생의 경우, 논박자료를 읽고 자료를 무조건적으로 수용하여 과학적 개념으로 바꾼 학생들이 1개월 후 다시 비과학적 개념으로 돌아간 것이 주된 요인이었다 (Fig. 6).

반면 17세 학생의 경우 즉시 사후검사에서 과학적 개념으로 변화시킨 학생의 비율(30%)이 시간지연사후검사 결과에서는 32%로 늘었다. 또한 17세의 경우 논박자료를 읽은 후, 즉시사후검사에서 과학적 개념으로 변화시킨 학생 14명(30%)중 1개월 후에는 10명(21%)이 과학적 개념을 유지하고 있었는데, 13세 학생은 16명(50%) 중에서 7명(22%)이 유지하고 있었다. 두 검사사이의 과학적 개념의 백분율 변화량은 13세의 경우 28%, 17세는 9%로, 17세의 변화가 더 적었다.

3. 나이에 따른 학생들의 논박 자료에 대한 반응 특성

논박 자료에 대한 학생의 반응 특성은, 자료를 읽은 직후 학생이 보인 반응에 따라 크게 4가지로 분류하였다. 자료를 읽고 즉시 사후검사에서 응답 변화가 있을 경우 학생의 반응 특성에 따라 비판적 수용과 무조건 수용으로 분류하였고, 응답 변화가 없을 경우는 비판적 거부와 무조건 거부로 분류하였다.

전체 반응 분포를 보면 13세 학생은 32명 중 비판적 수용이 10명(31%), 무조건 수용이 6명(19%), 비판적 거부가 10명(31%), 무조건 거부가 6명(19%)으로 4가지 반응 분포가 골고루 나타났다. 반면 17세 학생은 47명 중 비판적 수용이 14명(29%), 무조건 수용이 0명, 비판적 거부가 32명(68%), 무조건 거부가 1명(2%)으로 4가지 반응 분포 중 비판적 거부와 비판적 수용 반응이 높게 나타났다.

4가지 반응(비판적 수용, 무조건 수용, 비판적 거부, 무조건 거부)의 개념 변화 특성은 다음과 같다.

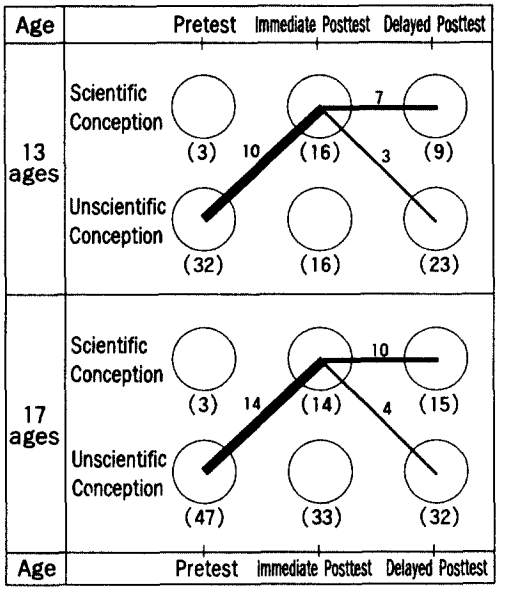

Fig 5. The patterns of conceptual change of the students representing the critical acceptance by age

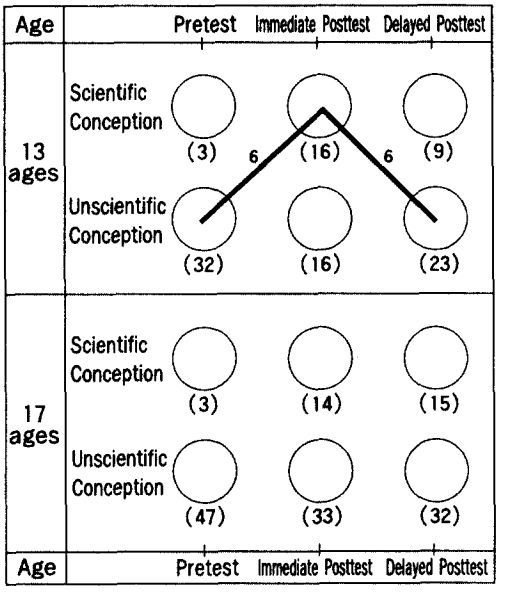

Fig 6. The patterns of conceptual change of the students representing the plain acceptance by age

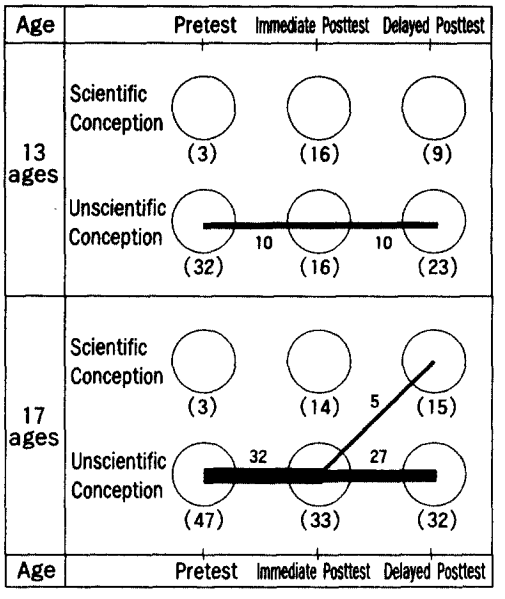

Fig 7. The patterns of conceptual change of the students representing the critical rejection by age

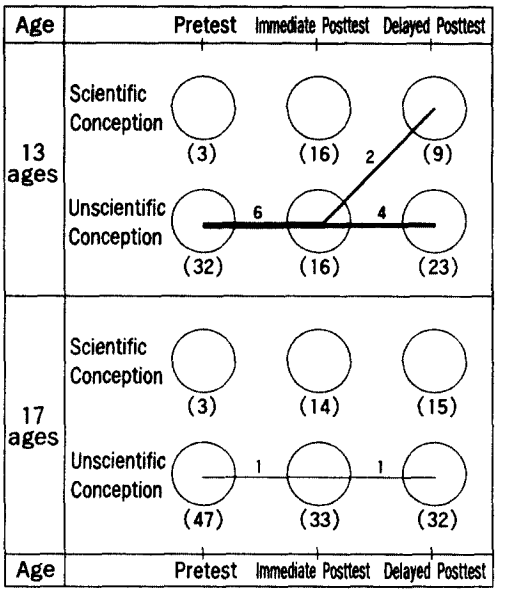

Fig 8. The patterns of conceptual change of the students representing the plain rejection by age

1) 비판적 수용 반응을 보인 학생

Fig. 5에서와 같이 즉시 사후검사에서 논박자료의 내용에 관해서 비판적 수용 반응을 보이며 과학적 개념으로 생각을 변화시킨 13세 학생은 32명 중 10명(31%)이었고, 17세 학생은 47명 중 14명(30%)이었다. 이들을 대상으로 한 1개월 후 시간지연 사후검사에서, 13세 학생은 10명(31%) 중 7명(22%)이 과학적 개념을 그대로 유지하고 있었고 3명(9%)은 비과학적 개념으로 다시 돌아갔다. 17세 학생은 14명(30%) 중 10명(21%)이 1개월 후에도 과학적 개념을 그대로 유지했고 4명(9%)은 비과학적 개념으로 다시 돌아갔다.

비판적 수용 반응을 보였던 학생들은 나이에 관계없이 비슷한 비율의 개념변화 과정을 보여주었으며, 1개월 후에도 과학적 개념을 유지하는 학생의 비율이 다른 반응을 나타냈던 학생들보다 높게 나타났다. 이것은 비판적 수용 반응을 보인 학생들이 비과학적 개념을 과학적 개념으로 성공적으로 변화시킬 수 있는 가능성이 가장 높을 수 있다는 것을 의미한다.

2) 무조건 수용 반응을 보인 학생

Fig. 6에서와 같이 즉시 사후검사에서 논박자료의 내용에 관해서 무조건 수용 반응을 보이며 과학적 개념으로 생각을 변화시킨 13세 학생은 32명 중 6명(31%)이었고, 17세 학생은 이러한 반응을 보인 학생이 없었다. 무조건 수용 반응을 보였던 13세 학생 6명은 1개월 후 시간지연 사후검사에서 모두 다시 비과학적 개념으로 돌아갔다. 무조건 수용 반응은 나이가 적은 13세 집단에서만 확인할 수 있었고 17세 집단에서는 확인할 수 없었다.

3) 비판적 거부 반응을 보인 학생

Fig. 7에서와 같이 즉시 사후검사에서 논박자료의 내용에 관해서 비판적 거부 반응을 보이며 자신의 비과학적 개념을 더 지지한 13세 학생은 32명 중 10명(31%)이었고, 17세 학생은 47명 중 32명(68%)이었다. 비판적 거부 반응을 보였던 13세 학생 10명(31%)은 1개월 후 시간지연 사후검사에서 모두 자신의 비

과학적 개념을 그대로 유지하였다. 한편 17세 학생 32명(68%)중 5명(11%)은 시간지연 사후검사 결과, 과학적 개념으로 생각을 변화시킨 것으로 나타났고, 나머지 27명(57%)은 그대로 비과학적 개념을 유지하고 있었다.

특히 비판적 거부 반응을 보였던 17세 학생 32명(68%)중에는 논박자료를 읽고 갈등을 느꼈던 학생이 5명(11%)이 있었다. 이들 5명중 한 명은 1개월 후 시간지연 사후검사에서 과학적 개념으로 생각을 변화시킨 것으로 확인되었으며, 나머지 갈등을 느꼈던 4명은 그대로 비과학적 개념을 유지한 것으로 나타났다.

4) 무조건 거부 반응을 보인 학생

Fig. 8에서와 같이 즉시 사후검사에서 논박자료의 내용에 관해서 무조건 거부 반응을 보이며 자신의 비과학적 개념을 더 지지한 13세 학생은 32명 중 6명(31%)이었고, 17세 학생은 47명 중 1명(2%)뿐이었다.

무조건 거부 반응을 보였던 13세 학생 6명(31%)중 2명(6%)은 1개월 후 시간지연 사후검사 결과 과학적 개념으로 변화시킨 것으로 나타났고, 나머지 4명은 자신의 비과학적 개념을 그대로 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 17세 학생 중에서 무조건 거부 반응을 보인 학생 1명은 1개월 후에도 그대로 비과학적 개념을 유지하고 있었다.

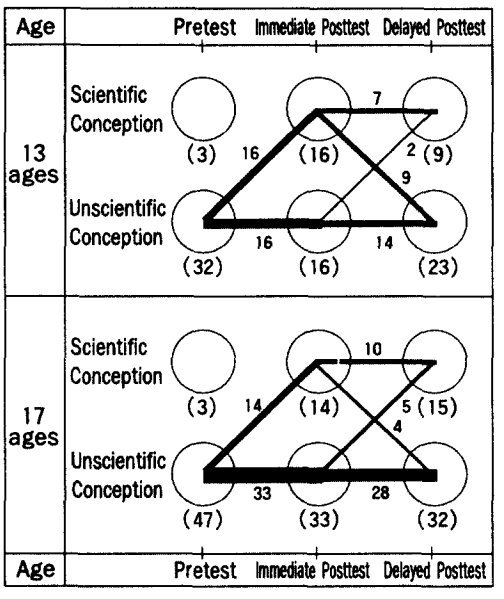

Fig 9. The patterns of the all students' conceptual change by age

논박자료에 대해서 무조건 거부 반응을 보인 학생은 13세 집단이 17세 집단 보다 많았다. 17세 집단에서는 무조건 수용 반응을 보인 학생들이 없었고, 무조건 거부 반응을 보인 학생은 한 명뿐이었다. 13세 집단에서 무조건 거부 반응을 보였다가 시간지연 사후검사에서 과학적 개념으로 응답한 2명은, 공이 결국 떨어지는 이유가 중력 때문에 떨어지니깐 아래로 작용하는 힘만 있다고 진술했고 생각을 변화시킨 이유에 대해서는 설명하지 못했다.

5) 4가지 반응에 대한 개념 변화 과정의 종합

결과적으로 논박자료를 읽은 학생들의 4가지 반응을 종합한 개념 변화 과정을 그려보면 Fig. 9와 같이 표현할 수 있다. 그림에서 개념 변화 과정을 따라서 그린 직선은 대상 인원수를 백분율로 환산하여 직선의 두께에 비례하도록 표현한 것이다.

즉시 사후검사에서 과학적 개념으로 변화시킨 13세 학생은 32명 중 16명(50%)으로, 47명 중 14명(30%)이 과학적 개념으로 변화한 17세 학생과 비교해 볼 때 더 높은 비율이다. 그러나 시간 지연 사후검사에서 다시 비과학적 개념으로 돌아간 학생을 비교해보면, 13세의 경우 16명(50%)명 중 9명(28%)이, 17세는 14명(30%)중 4명(9%)이 돌아갔으므로 비과학적 개념으로 돌아간 비율 또한 13세가 더 높다.

시간 지연 사후검사에서 비과학적 개념으로 돌아간 학생이 17세 집단보다 13세 집단에 많았던 이유는 13세 집단에서 무조건 수용 반응을 보인 6명이 1개월 후 모두 비과학적 개념으로 돌아갔기 때문이다. 반면 17세 학생의 경우 논박자료를 읽고 개념을 변화시킨 학생의 비율(30%)은 13세 학생(50%)보다 적었다. 또한 개념을 변화시킨 17세 학생들 모두가 자료의 내용에 대해서 비판적 수용 반응을 보인 학생들이었고, 이 학생들은 시간지연 사후검사에서도 14명(30%) 중 10명(21%)이 과학적 개념을 그대로 유지하고 있었다.

Ⅳ. 결 론

연구 결과를 통해서 내린 결론은 크게 두 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 이 연구 결과 나이가 더 많은 학생이 적은 학생보다 개념 변화가 더 어렵다는 "유연성 상실(Cosgrove & Forret, 1992)"이란 개념을 확인할 수 없었다.

이와 같은 결론은 나이가 더 많은 학생에게서 '유연성 상실'이 더 잘 일어난다(Cosgrove & Forret, 1992)는 가설을 지지하지 않는다. 나이가 증가할수록 일상 생활에서 경험하게 되는 외부환경과의 역학적 상호작용은 증가한다. 만약 이러한 외부 환경과의 자연스러운 상호작용이, 학습자가 과거에 경험한 현상과 잘 일치한다면 학습자의 선개념은 더욱 견고해질 것이다. 이러한 경우는 라카토스의 연구 프로그램에서 외부환경과의 상호작용이 선개념의 핵을 감싸고있는 보호대를 더 견고하게 만들어주는 상황에 해당할 것이다.

그러나 학습자의 선개념이 외부환경과의 상호작용에 의해서만 구성되는 피동적인 산물이 아니라는 데 주목해야 한다. 구성주의 인식론은 학습자의 인지구조가 사회적 환경과 능동적으로 상호 작용하여 자신의 인지구조를 변화시킨다는 것을 강조한다. 학습자는 자신의 나이가 증가할수록 더 많이 경험하게 되는 외부현상을 수용하여 자신의 선개념 구조에 맞게 동화(assimilation)시킬 뿐만 아니라, 나이의 증가에 따라 발달되는 형식적 조작능력을 통해 외부 환경에 자신의 인지구조를 능동적으로 변화시켜 조절(accommodation)하기도 한다.

따라서 나이가 증가할 경우, 사회적 환경과의 상호작용을 통해 발달하는 인지구조의 변화를 고려한다면, 형식적 조작능력이 발달하기 시작하는 12세~13세의 나이보다는, 형식적 조작능력의 형성비율이 평균적으로 증가하는 16세~17세 학생이(권용주와 Lawson, 1998; 임청환, 1991; Williams, 1989; 최영준 등, 1985; 한종하, 1982) 일상적 경험을 통해 견고하게 자리잡은 비과학적 개념을 자기조절과정을 통해 더 잘 교정할 수도 있을 가능성을 간과할 순 없다. 다시 말해서 학습자의 개념 변화는 단순히 나이에 따른 종속변수가 아니고, 사회적 환경과의 상호작용을 통해 발달되는 인지구조의 형식적 조작능력에 영향을 받을 가능성이 있다. 그러므로 앞으로 유연성 상실의 개념을 심층적으로 밝히기 위해서는 논리적 사고력과 같은 형식적 조작 능력과 관련된 변인을 고려한 연구가 필요하다.

둘째, 논박자료에 대해 비판적 수용 반응을 보인 학생이 1개월 후에도 과학적 개념을 유지하는 비율이 높은 것으로 보아, 개념 변화 학습에서 학생이 새로운 개념을 배울 때 비판적 태도를 형성할 수 있도록 돕는 교수학습 전략이 필요하다.

분석 결과 발견한 또 하나의 중요한 점은 개념변화가 학습자가 불일치 자료를 받아들이는 태도와 관련되어 있다는 사실이다. 논박자료를 비판적으로 수용한 학생은 과학적 개념으로 변화시킨 다음 1개월 후에도 과학적 개념을 유지하고 있는 비율이 높았다. 반면 논박자료의 내용을 비판적 관점 없이 무조건적으로 수용한 학생은 1개월 후에는 모두 다시 비과학적 개념으로 돌아갔다. 이러한 연구 결과는 학습자의 인지구조를 변화시키기 위해서는 교수·학습 전략이 사회적 환경과 학습자 사이의 능동적 상호작용을 도울 수 있어야만 한다는 구성주의 학습론에 잘 부합된다. 그러므로 과학교사는 새로운 개념을 학습자에게 소개할 경우, 학습자가 비판적 관점에서 능동적으로 상호 작용할 수 있는 교수 전략을 고안하는 것이 중요하다.

적 요

여러 연구를 통해서 고등학생들이 역학분야에서 갖고 있는 비과학적 개념을 과학적 개념으로 변화시키는데 어려움이 있다는 것이 밝혀졌다. 어떤 연구자들은 이러한 개념변화의 어려움을 해결하기 위해 좀 더 어린 나이에 역학을 배워야 한다고 제안하였다. 이들은 학생들이 나이가 더 들수록 자신의 개념을 잘 변화시키지 않는다고 주장하였다. 이 연구에서는 학생의 나이에 따라서 역학단원의 힘 개념이 변화하는데 어떠한 차이점이 있는가를 분석하여 나이에 따른 개

념 변화의 차이점과 그 특징을 알아보았다. 서울 지역의 중학교 1학년 한 학급 35명을 13세 집단으로 하고, 이 중학교에 인접한 일반계 고등학교 2학년 한 학급 50명을 17세 집단으로 하여 개인 면담을 4단계로 나누어 실시하였다. 사전개념 검사 단계에서 학생의 힘에 관한 개념을 조사하고 물체가 운동하는 방향으로 힘이 작용한다는 "기동력(Impetus)" 개념을 가지고 있는 학생을 선발하였다. 바로 이어진 처치단계에서는 이 학생들에게 자신의 생각과 불일치 하는 학생 중심의 논박자료를 읽게 하였다. 논박자료에 대한 학생의 반응 특성과 즉시 사후검사, 시간지연 사후검사를 통해서 나이가 다른 두 집단간의 개념 변화 특성을 분석하였다.

분석 결과 첫째, 나이와 상관없이 대부분의 학생들은 기동력 개념을 갖고 있었다. 특히 13세 학생들 중에는 과학적 의미의 힘 개념을 일상생활의 경험과 관련된 비과학적 용어로 이해하고 있는 학생들이 있었고, 17세 학생은 과학적인 용어로 이해하고 있었다. 둘째, 나이가 더 많은 학생이 개념 변화가 더 어렵다는 "유연성 상실"이란 개념을 지지할 수 있는 결과를 확인할 수 없었다. 셋째, 논박자료에 대해서 13세 학생은 무조건 수용, 무조건 거부, 비판적 수용, 비판적 거부 등 네 가지 반응 분포를 고르게 나타내었지만, 17세 학생은 비판적 거부와 비판적 수용 반응이 지배적이었다. 특히 논박자료에 대해 비판적 수용 반응을 보인 학생은 시간이 지난 후에도 과학적 개념을 유지하는 비율이 높았지만, 무조건 수용 반응을 보인 학생은 모두 비과학적인 개념으로 다시 돌아갔다. 이 연구결과는 나이가 더 많은 학생에게서 유연성 상실이 일어난다는 가설을 지지하지 않는다. 따라서 나이와 유연성 상실과의 관계는, 나이에 따라 변하는 다른 변인들을 고려한 보다 심층적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

권용주, A.E. Lawson(1998). 학생들의 신경기능 성숙, 과학적 사고 발달 그리고 개념 변화에서 밝혀진 비선형적 발달의 정체와 급등현상. 한국과학교육학회지. 18(4), 589-600.

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

권재술, 김범기 편저(1992). 과학 오개념 편람(역학편). 한국교원대학교 물리교육연구실.

김연수(1999). 나이에 따른 학생들의 힘에 관한 개념 변화 특성. 한국교원대학교 석사학위 논문.

이영직, 권재술(1992). 오개념의 견고성 지수. 한국과학교육학회지. 13(3), 310-316.

임청환, 정진우(1991). 고교생의 논리적 사고력과 과학탐구 기능사이의 상관관계에 관한 연구. 한국과학교육학회지. 11(2), 23-30.

최영준, 이원식, 최병순(1985). 중·고등학생들의 논리적 사고력 형성에 관한 연구 I. 한국과학교육학회지. 5(1), 1-9.

한종하(1982). 중·고등학교 학생의 과학적 사고 발달에 관한 조사 연구. 한국교육개발원 연구보고 RR82-24.

Cosgrove, M. M., & Forret, A. M. (1992). *Hands and brains-Technology contexts for learning*. Hamilton, NZ: Waikato Education Centre.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.

Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concept: Implication of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75-100.

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

Osborne, R. J., & Girbert, J. K. (1980). A technique for exploring students' view of the world. *Physics Education*, 15, 376-379.

Osborne, R. J., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implication of children's science*. Auckland, NZ:

Heinemann.

Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, 489-508.

Pines, A. L., & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Scinece Education, 70*, 583-604.

Palmer, D. H., & Flanagna, R. B. (1997). Readiness to change the conception that "motion-implies-force": A comparison of 12-year-old and 16-year-old students. *Science Education, 103*, 113-129.

Sadanand, N., & Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. *The Physics Teacher, 28*, 530-533.

Thijs, G. D. (1992). Evaluation of an introductory course on "force" considering students' preconception. *Science Education, 76*, 155-174.

Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A Multidimensional Framework for Interpreting Conceptual Change Events in the Classroom. *Science Education*, 81, 387-404.

Whitelock, D. (1991). Investigating a model of commonsense thinking about causes of motion with 7 to 16-year-old pupil. *International Journal of Science Education*, 13, 321-340.

Williams, R. L. (1989). A Comparative Study of Logical Thinking Skills: West German Data. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, 62nd, San Francisco, CA, March 30-April 1. (ERIC Document Reproduction Service No. ED305249)