

# 갈릴레오의 자유낙하 사고실험에 대한 중학생들의 사고과정 분석

정수인 · 박종원

(전남대학교 사범대학 물리교육과)

## Analysis of Middle School Students' Thinking Processes in Galileo's Free Fall Thought Experiment

Jeong, Su-In · Park, Jong-Won

(Department of Physics Education, Chonnam National University)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate students' actual thinking processes during conceptual change about free fall. To do this, middle school students were made an interview designed based on a teaching model using thought experiment. From the study, it was found that strategy for generating cognitive conflict by suggesting opposite views was not effective. However, many students changed their prior conceptions when new explanatory hypothesis, which explained why heavy object and light object fall equally, was introduced. And finally, even though students realized that the changed idea did not accord with the real world, they could easily solve that problem by observing demonstration designed to show the effect of air resistance.

**Key words:** galileo, process or conceptual change, free fall, thought experiment, middle school student, cognitive conflict

### I. 서 론

많은 연구자들은 자연 현상을 해석하는 과정에서 사고실험을 중요하게 사용해 왔다. 예를 들면, 갈릴레오의 자유낙하와 관성의 법칙에 대한 사고실험, 라이프니츠의 운동 에너지에 대한 사고실험, 절대운동에 대한 뉴턴의 물동이, 일반 상대론의 기본 가정에 대한 아인슈타인의 엘리베이터 사고실험과 특수상대론에 대한 여러 가지 사고실험들, 불확정성 원리에 대한 하이젠버그의 감마선 현미경, 관찰에 대한 인식론적 문제와 실재론의 문제를 제기시킨 쉬뢰딩거 고양이, 아직도 논의가 계속되고 있는 아인슈타인-포들

스키-로젠(EPR : Einstein-Podolsky-Rosen)의 사고실험 등이 그것이다 (Park, et al., 2000)

이러한 사고실험에 대한 관심은 물리학분야 뿐 아니라 과학철학에서도 많이 있어왔다. 예를 들면, 포퍼(Popper, 1968)는 양자이론에서 사고실험의 이용과 오용에 대해 언급하였고, 쿤(Kuhn, 1997)도 기존의 패러다임에 대한 결정적인 불일치를 제공하는 역할을 사고실험이 할 수 있다고 지적하였다. 구딩(Gooding, 1992)은 사고실험과 실제실험간의 차이점과 유사점을 논의하였고, 네르세시안(Nersessian, 1992)은 사고실험과 정신적 모델과의 관계를 논의하였다. 특히 브라운은 사고실험에 대한 분류체계를 제시하였고,

소렌젠(Sorensen, 1992)은 철학적 사고실험에까지 범위를 확장하여 깊은 논의를 전개하였다.

과학교육과 관련지어서는, 매튜스(Matthews, 1994)가 학생의 개념적 변화를 위해 사고실험이 유용한 도구라고 하였고, 스티너(Stinner, 1990)는 물리개념을 명확하게 하고 파라독스를 인식하게 하는데 도움을 줄 수 있다고 하였으며, 레이너(Reiner, 1998)는 학생들이 새로운 과학지식을 이해하는 것을 돕기 위해 사고실험을 컴퓨터 시뮬레이션과 함께 도입하는 연구를 수행하였다. 최근에 길버트와 레이너(Gilbert & Reiner, 2000)는 개념변화와 탐구활동에 미치는 사고실험의 역할에 대한 논의를 하였으며, 박종원 등(Park, et al. 2000)은 물리학사에서 나타난 대표적인 사고실험들의 사고과정을 분석하여 그에 기초하여 사고실험을 이용한 학습모델을 제시하였다.

본 연구는 학생들의 개념 변화를 돕기 위해 사고실험을 적용해 보기 위한 연구이다. 그러나, 사고실험을 적용한다는 것이 곧 학생의 개념변화를 보장해 주는 것이 아니다. 즉, 사고실험을 학습전략의 하나로 적용했을 때, 어떤 학생들은 개념변화를 보이지만 어떤 학생들은 개념변화를 보이지 않을 수도 있다. 이때 중요한 문제는 개념변화를 보인 학생들이라고 하더라도, 사고실험의 어떠한 측면이 개념변화에 도움을 주었는지를 밝히는 일이고, 또한 개념변화를 보이지 않은 경우에는 어떤 측면에서 사고실험이 개념변화에 기여하지 못하게 되었는지를 밝히는 일이다.

따라서, 본 연구에서는 갈릴레오의 자유낙하 사고실험의 사고과정을 분석하고 그에 기초하여 학생과의 면담을 통해 실제 학생의 사고과정을 밝히고자 한다. 그래서, 어떠한 단계나 과정을 통해 개념이 변화되었는지, 또는 어떤 단계나 과정에서 개념변화에 실패하게 되었는지를 조사하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 자유낙하 운동의 물리학적 의미

자유낙하 운동은 아리스토텔레스 시대에서부터 관심의 대상이었으며, 갈릴레오에 이르러 처음으로 물

체 기술되기 시작하였다. 그러나, 갈릴레오 역시 자유낙하 운동이 등가속도 운동이며, 낙하하는 물체의 질량에 관계없이 동일하게 낙하한다는 것을 기술하였을 뿐, 왜 같은 가속도로 낙하하는지를 설명하지는 못하였다. 자유낙하 운동에 대한 동역학적 설명은 뉴턴에 이르러 완성이 되었다. 그러나, 자유낙하 운동에 대한 설명에는 중력질량과 관성질량이 같아야 한다는 조건이 필요하다. 따라서, 만일 어떤 물체가 중력 질량과 관성질량이 다르다면 물체의 낙하가속도는 물체에 따라 달라지게 된다.

관성질량이 중력질량과 같다는 이러한 가정은 곧 아인슈타인의 일반상대론의 기본가정인 '등가원리(equivalence principle)'의 기초가 된다. 이러한 등가원리에 의해 무중력장에서의 가속운동은 중력장에서의 등속운동으로 바꿀 수 있고, 결국 가속운동도 상대운동으로 취급할 수 있게 된 것이다. 따라서, 중력장에서 자유낙하하는 엘리베이터 안은 무중력장에 정지해 있거나 등속운동하는 관성계와 같게 된다.

이와 같이 중력장에서의 자유낙하 운동은 아리스토텔레스에서부터 아인슈타인의 일반상대론의 기초에 이르기까지 폭넓게 연결되어 있는 주요 관심사라고 할 수 있다.

### 2. 자유낙하에 대한 학생의 선개념

자유낙하에 대해 학생들이 어떤 생각을 가지고 있는지에 대한 연구로는 국내에 이명자(1999)의 연구가 있다. 그녀는 1, 3, 5, 7학년을 대상으로 물체의 크기, 무게, 모양, 색깔 등을 달리하면서 어느 경우에 먼저 떨어지는 지를 물었을 때, 전체적으로 1학년은 4%, 3학년은 14%, 5학년은 38%, 그리고 7학년은 53%만이 옳은 응답을 하였으며, 특히 모양과 무게에 대해 틀린 생각을 하는 학생이 많이 있음을 관찰하였다. 또 송진웅 등(Song et al., 1996)의 연구에서도 높이와 무게에 따라 낙하속도가 다른지를 조사하여, 높이에 대해서는, 11, 13, 15, 17세 학생들 중 17-24%의 학생들이, 무게에 대해서는 17-22%의 학생들이 아리스토텔레스적 생각을 하고 있었고, 옳은 응답을 한 학생은 각각 23-32%, 36-48%에 불과하다는 것

을 관찰하였다.

이 외에 화이트(White, 1984) 연구에서는 대학교 1학년생들 중 2/5가 무거운 물체의 가속도가 크다고 응답하였고, 바 등(Bar et al., 1994)의 연구에서는 5-7세 아동의 50%가 오히려 가벼운 물체가 먼저 떨어진다고 응답하였는데, 그 이유가 일상경험에서 가벼운 물체가 던지기 쉽기 때문이라고 응답하였다. 13세부터는 동시에 떨어진다고 응답한 학생이 많았지만, 그 이유가 "같은 힘이 작용하기 때문"이라는 잘못된 생각이 많았다. 이러한 응답은 브라운과 클레멘트(Brown & Clement, 1992)의 연구에서도 볼 수 있다.

### 3. 갈릴레오의 자유낙하 사고실험의 사고과정

#### ① 1단계 : 낙하운동에 대한 기본법칙 (아리스토텔레스적 설명)

먼저 갈릴레오는 무거운 것이 먼저 떨어지고 가벼운 것이 천천히 떨어진다는 아리스토텔레스의 무게에 대한 낙하속도의 차이에 대해 다음과 같이 설명하였다(Lloyd, 김영식 번역, p. 70).

만약에 어떤 무게가 어떤 거리를 어떤 시간 동안에 움직인다면, 그보다 큰 무게는 같은 거리를 보다 짧은 시간에 움직일 것이고, 무게들 사이의 비율을 시간들 사이의 비율이 그대로 지나게 될 것이다.

#### ② 2단계 : 실제 현상의 관찰

갈릴레오는 낙하 운동에 대한 기본적인 관찰을 통해 낙하운동에 대한 아리스토텔레스적 설명에 문제가 있다는 것을 인식하게 된다.

심플리치오 : ... 아리스토텔레스에 따르면 무게가 다른 두 물체가 같은 매질 속에서 움직일 때 그들의 속력은 무게에 비례합니다.

살비아티 : ... 실제로 작은 돌 하나와 그보다 열 배 무거운 돌이 땅에 떨어졌을 때 가벼운 돌은 5미터 정도밖에 안 떨어질까? 아리스토텔레스가 과연 실제로 이런 실험을 했을까?

심플리치오 : 그가 쓴 책을 읽어 보면 실제로 실험을 한 것 같습니다. <무거운 돌이 .....을 볼 수 있다>고 써어 있으니 그가 실제로 실험을 했을 것입니다.

사그레도 : 심플리치오, 나는 직접 실험을 해 봐서 잘 아네. 오십 킬로그램이나 백 킬로그램 정도 나가는 대포알을 몇백 그램밖에 안 되는 조그마한 탄환과 같이 백 미터 정도 높이에서 떨어뜨렸더니 이 돌이 땅에 떨어졌을 때 차이는 겨우 한 뼘 정도였어. (Galileo, 1996, 79-80)

#### ③ 3단계 : 낙하운동에 대한 논리적 모순

갈릴레오는 실제로 낙하하는 물체의 운동에 대한 관찰로부터 아리스토텔레스적 설명에 문제가 있음을 지적한 후, 곧 논리적 과정으로도 아리스토텔레스적 설명에 문제가 있음을 드러내 보인다.

살비아티 : ... 속력이 다른 두 물체가 있다고 하세. 이 둘을 서로 묶으면 느린 것은 빠른 것의 속력을 늦출 것이고, 빠른 것은 느린 것의 속력을 증가시키겠군. 그렇다면 큰 돌이 속력이 8이라고 하고 작은 돌이 속력이 4라고 하세. 이 둘을 묶으면 전체의 속력이 8보다 느리게 되겠지. 하지만 두 돌을 합쳤으니 속력 8로 움직이던 것보다 더 무거운 돌이 되었잖아? 그러니까 무거운 것이 가벼운 것보다 더 느리게 움직이는 군. ... (Galileo, 1996, 81)

다음은 이에 대한 논리적 과정을 요약한 것이다.

전 제 : 무거운 돌(A)의 속력은 8이고, 가벼운 돌의 속력은 4라고 하자.

상 황 : A와 B를 실로 묶어서 떨어뜨린다

결론 1 : 느린 것(B)은 빠른 것(A)의 속력을 늦추고 빠른 것은 느린 것의 속력을 증가시킨다. 따라서 전체 속력은 4보다 크지만 8보다 작다

결론 2 : 두 개의 돌이 합쳐져서 전체 무게는 더 무거워졌다. 따라서 전체 속력은 8보다 커야 한다.

여기에서 갈릴레오는 결론 1과 결론 2가 논리적으로 모순이라는 것을 지적하였다.

④ 4단계 : 낙하운동에 대한 기본법칙(아리스토텔레스적 설명)의 폐기

이러한 논리적 모순에 직면하여 대처하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있다. 첫째, 결론 1과 결론 2가 유도되는 과정에서 논리적인 모순이 없는지를 찾아볼 수 있다. 둘째, 결론 1과 결론 2가 서로 모순이 되지 않기 위한 보조적인 설명가설을 제안할 수 있다. 예를 들면, 젠들러 (Gendler, 1998)는 무거운 물체의 낙하속도가  $V_1$ 이고, 가벼운 물체의 낙하속도가  $V_2$ 일 때, 실로 묶인 무거운 물체와 가벼운 물체의 낙하속도는 논리적으로 다음과 같은 속도로 떨어질 수도 있다고 제안하였다:  $(C)(V_1+V_2)+(1-C)(V_1+V_2)/2$ . 여기에서 C는 실로 묶인 정도를 나타내는 상수로서, 만일 두 물체가 뽕뽕 묶였다면  $C=1$ 의 값을 가지고 따라서 낙하속도는  $(V_1+V_2)$ 가 되어 더 빨라지게 된다. 그러나, 실로 느슨하게 묶여있다면,  $C=0$ 의 값을 가지고 이 때 낙하속도는  $(V_1+V_2)/2$ 가 된다. 따라서, 낙하속도에 대한 두 가지 관점은 서로 모순되는 결과가 아니라 서로 상보적인 결과가 된다. 물론, 젠들러는 이러한 제안이 논리적인 제안일 뿐, 묶인 정도가 낙하속도에 영향을 줄 수 있는 물리적이고 실제적인 근거가 없기 때문에 실질적인 해가 되지 못한다고 지적하였다.

셋째, 결론 1과 결론 2가 모순이 된 근원적인 이유가 낙하운동에 대한 아리스토텔레스적 설명방식이라고 보고, 아리스토텔레스적 설명을 폐기시킬 수 있다. 이러한 가능한 방법 중에서 갈릴레오는 세 번째 방법을 채택하였다.

⑤ 5단계 : 새로운 법칙의 제안

갈릴레오는 아리스토텔레스적 설명을 폐기하면서 모든 물체는 동일하게 낙하한다는 새로운 법칙을 제안하였고, 이 때에도 사고실험을 사용하였다.

살비아티 : 자네는 지금 착각을 해서 고심하고 있는 거야. 내가 그것을 설명해 주면 이해하게 될거야. 우선 무거운 물체가 가만히 있는 경우와 움직이고 있는 경우를 구별할 필요가 있어. 무거운 돌을 저울에 올려놓은 다음 거기에다 다른 돌을 더하면 무게가 그

만큼 늘지. ... 어깨에 무거운 짐을 지고 있으면 짐이 내리누르는 힘을 느낄 수 있지. 하지만 짐과 똑같은 속력으로 떨어지면 그 짐이 어깨를 누를 수 있겠나? 이걸 마치 창으로 어떤 사람을 찌르려고 덤비는데 상대방이 그 창과 같은 속력으로, 또는 더 빠른 속력으로 도망갈 때와 같은 이치가 아닌가? 그러니까 물체가 자유롭게 떨어질 때는 작은 돌이 큰 돌을 내리누르지 않네. 정지해 있을 때와는 달라서 이 때는 무게를 더하지 않는 거야. (Galileo, 1996, 81-82)

⑥ 6단계 : 새로운 법칙과 실제 현상과의 조화

갈릴레오는 모든 물체가 똑같이 떨어진다는 새로운 법칙을 제안하지만, 곧 그것이 실제 현상과 정확하게 일치하지 않는다는 것을 알고 있었다.

살비아티 : 실제로 실험을 해보면 큰 공이 작은 공에 비해 한 뼘 정도 빨라. 그러니까 큰 공이 땅에 닿았을 때 작은 공은 한 뼘 정도 땅에 못 미쳐 있어. ... (Galileo, 1996, 82-83)

따라서 갈릴레오는 새로운 법칙과 실제 현상이 조화를 이루기 위해서는 새로운 설명을 해야만 했다. 이를 위해 갈릴레오는 낙하운동에 대한 매질의 효과를 도입하게 된다. 그리고 그러한 매질이 없어진다면, 즉 극한사태분석(limiting case analysis)을 통해 이상조건(ideal condition)을 도입하였을 때 자신의 새로운 낙하 법칙이 옳다는 것을 증명하게 된다.

살비아티 : ... 무게가 다른 두 물체를 한 매질 속에 넣었을 때와 다른 매질 속에 넣었을 때 속력이 어떻게 되나 생각해 보게. 속력이 크게 차이가 나는 경우는 매질의 저항이 큰 경우, 그러니까 그 속에서 움직이기 어려운 경우야. (Galileo, 1996, 86)

살비아티 : ... 그러니까 우리는 저항이 매우 작은 매질 속에서 물체가 움직이는 것과 뽕뽕하고 저항이 큰 매질 속에서 물체가 움직이는 것을 관찰한 다음 비교해야 해. 만약에 비중이 제 각각 다른 물체들이 매질의 저항이 점점 줄어들 때 속력의 차이가 점점 줄어들었다면, 만약에 매질이 매우 얇아서 완전한 진공

은 아니더라도 저항이 거의 없을 때 그때 다양한 종류의 물체들이 비중에 다름에도 속력의 차이가 없다면, 그렇다면 진공 속에서는 모든 물체가 같은 속력으로 떨어진다고 믿어도 되겠지? (Galileo, 1996, 90-91)

즉 갈릴레오는 무거운 물체와 가벼운 물체가 자유낙하할 때 속도의 차이가 나는 것은 매질 때문임을 지적하고, 특히 매질의 저항이 클수록 속도의 차이가 크다는 것으로부터, 비록 매질의 저항이 전혀 없는 경우를 직접 관찰하지는 못했지만 극한 사례 분석(limiting case analysis)을 통한 외삽을 이용해 매질의 저항이 없다면 두 물체의 속력 차이가 없을 것이라고 결론지었다.

#### 4. 사고실험을 적용한 수업 모델

박종원 등(Park, et al., 2000)은 사고실험을 적용한 수업 모델을 다음과 같이 제시한 바 있다. 그들의 모델은 크게 4단계로 되어 있다 (Fig. 1): 탐색 - 수행 - 반추 - 적용.

본 연구에서 사고실험을 적용하였을 때, 학생의 실제 사고과정을 밝히기 위한 면담을 실시하게 되는데, 이러한 면담과정을 수업모델의 단계에 맞추어 설계하였다. 그렇게 한 이유는, 면담과정에서 밝혀진 학생의 사고과정이 실제 학습에 적용하기 위해 구체적으로 어떤 시사점을 줄 수 있는지를 알기 위한 것이다.

그들의 모델에 의해, 본 연구의 면담과정에서는 탐색 단계에서 자유낙하 운동에 대한 학생의 선개념을 이끌어내는 활동이 포함되고, 수행 단계에서는 갈릴레오의 실험로 묶인 무거운 물체와 가벼운 물체에 대한 낙하 속도를 예측하는 활동이 포함되었다. 반추 단계에서는 자신이 예측한 것과 다른 예측을 서로 비교하여 인지적 갈등을 유발시키는 활동과, 왜 무거운 물

PHASE	PURPOSE	STUDENTS ACTIVITY
Exploration	To identify background knowledge (B.K.)	By completing activities, such as observing demonstration, answering questions, or solving simple problems, to elicit students understanding of B.K.
	To examine an imagined situation	
	To recognize the purpose of the TE	By identifying ideal conditions or assumptions involved in an imagined situation
Running	To apply B.K. to an imagined situation	By employing B.K. in the same ways students have employed it before
	To draw conclusions	By thinking logically, based on given premises in an imagined situation
Reflection	To check out logical processes	By disputing with others in class about the process completed, and the conclusions in the second phase
	To compare the conclusion with B.K.	
	To give meaning to the conclusion, or to resolve the paradox	By discussing the meaning of the conclusion, or suggesting a new explanatory hypothesis
Application	To ascertain and to ensure student understanding	By applying conclusions or a new hypothesis to another situation
		By coordinating the conclusions or new hypothesis with the real world
		By observing a relevant demonstration or actual phenomena

Fig. 1. A model of teaching sequence for conducting thought experiment

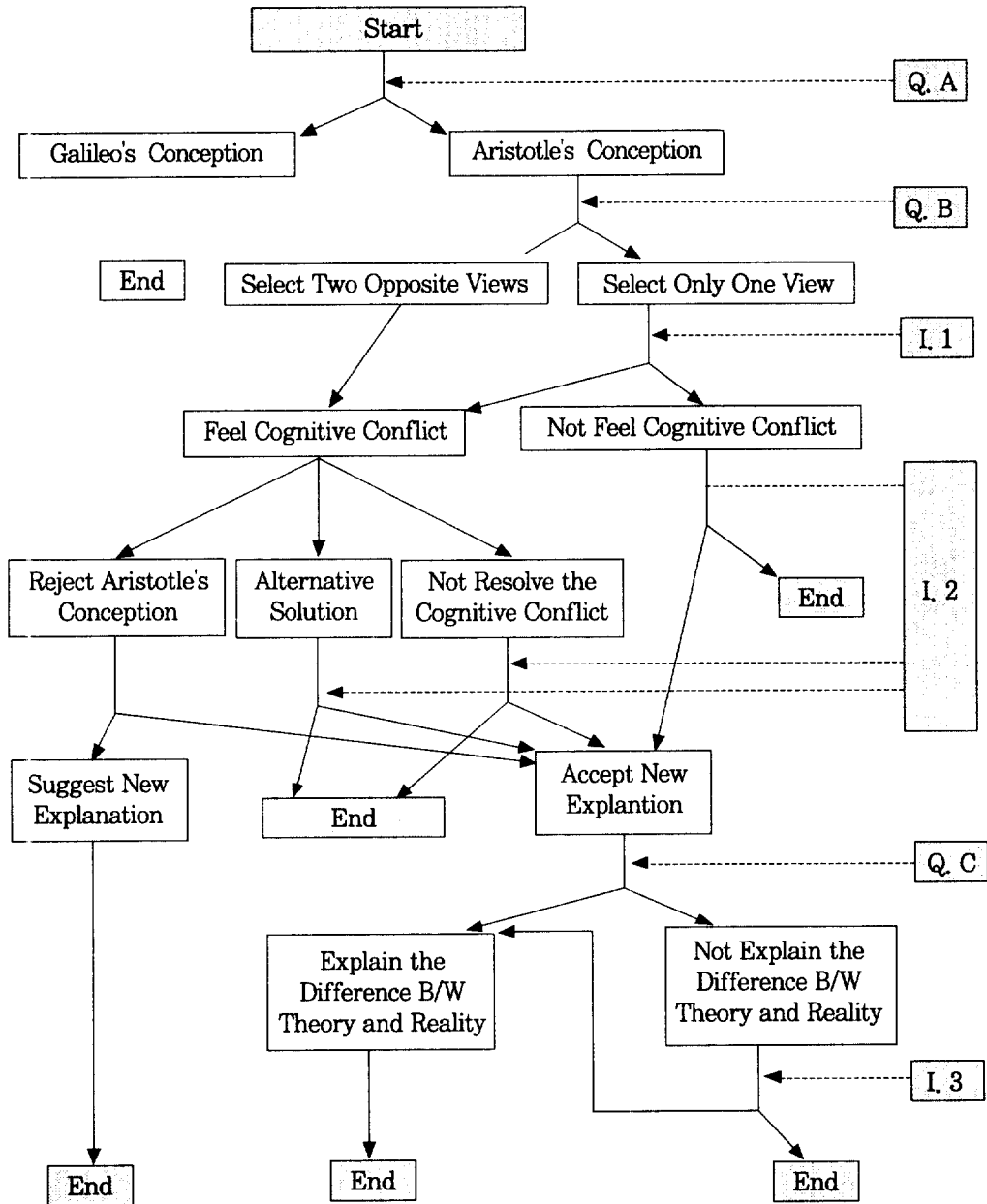


Fig. 2. Interview process

체와 가벼운 물체가 똑같이 떨어지는지에 대한 설명 이론을 도입하는 활동이 포함된다. 마지막으로 적용 단계에서는 무거운 물체와 가벼운 물체가 똑같이 떨어진다는 이론적 결론이 실제현상에서는 적용되지 않는 경우가 많은데, 그러한 이론과 실제 현상과의 차이를 공기의 저항으로 설명하는 활동이 포함되었다. 면담과정에 대한 자세한 내용은 III 연구 방법에서 다시 설명하게 될 것이다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구대상

본 연구를 위해 참여한 학생들은 중학생 1학년 2개 학급, 76명으로 임의로 선정한 학생들이다. 이들은 자유낙하 운동에 대해서 학습하지 않았으며, 이들 중 자유낙하 운동에 대한 오개념을 가지고 있으며, 면담에 참여할 의사가 있는 학생을 대상으로 하여 면담에 참여한 학생은 총 17명이었다.

#### 2. 면담 과정

면담과정은 총 7단계로 구성되어 있으며, 학생의 응답에 따라 서로 다른 경로로 진행되도록 되어 있다 (Fig. 2)

면담은 자유낙하 운동에 대한 설문(질문 A)에서부터 시작한다. 질문 A는 무거운 물체와 가벼운 물체를 동시에 떨어뜨렸을 때, 무엇이 먼저 떨어지는지를 묻는 선택후 설명식 설문지였다.

질문 A에 대해서 아리스토텔레스적 사고를 가진 학생을 대상으로 질문 B가 제시된다. 질문 B는 갈릴레오의 자유낙하에 대한 사고실험 내용으로, 무거운 물체와 가벼운 물체를 가벼운 실로 연결하여 떨어뜨리면 낙하속도가 어떻게 될 것인지를 묻는 것이었다.

만일 질문 B에 대해서 실로 서로 묶여 있어서 더 무거워졌으므로 낙하속도가 더 빨라진다고 응답하거나(응답유형 B-1), 실로 묶여 있지만 가벼운 것이 천천히 떨어지려고 하기 때문에 속도가 오히려 느려진다고 응답한 학생(응답유형 B-2)을 대상으로 간섭 1

이 제시되었다. 간섭 1은 응답유형 B-1인 학생에게는 B-2의 관점을 제시하고, 응답유형 B-2인 학생에게는 응답유형 B-1의 관점을 제시함으로써, 서로 자신의 관점과 반대되는 관점에 직면하게 함으로써 인지적 갈등을 유발시키기 위한 것이었다.

만일 간섭 1에 대해서도 갈등을 전혀 인식하지 못하거나, 갈등을 인식했다라도 갈등을 해결하지 못한 경우에는 다시 간섭 2가 제시되었다. 간섭 2는 왜 가벼운 물체와 무거운 물체가 똑같이 떨어지는지에 대한 설명 자료이다. 이 자료는 질량이 큰 물체일수록 큰 힘이 작용하지만, 쉽게 움직이려 하지 않으므로, 결국 떨어지는 정도는 가벼운 물체와 같다는 내용에 대한 5명의 학생들간의 간단한 토의내용이 A4 1쪽 분량으로 기술되어 있다. 이 자료는 논리적 설명과정이 학생의 개념변화에 도움이 된다는 이전의 연구에 기초하여(Park & Han, in press) 학생들의 토의 내용을 논리적으로 전개하는 방식으로 기술하였고, 갈릴레오가 그의 저서에서 다른 사람을 설득하기 위해 사용하였던 설명방식(즉, 어깨 위에 물체를 놓으면 물체가 누르는 힘을 느낄 수 있지만, 사람과 물체가 함께 떨어지면 물체가 누르는 힘을 느낄 수 없으므로, 떨어질 때에는 무게가 아무런 역할을 하지 못한다는 설명)을 도입하였다.

자유낙하 운동에 대한 설명(간섭 2)이 제시되었음에도 불구하고, 그 내용을 이해하지 못하거나 수용하지 못하는 경우에는 면담이 종료되었다.

자유낙하에 운동에 대한 설명(간섭 2)을 받아들이는 경우에는 다시 질문 C가 제시되었다. 질문 C는 이론적으로는 무거운 것과 가벼운 것이 똑같이 떨어지지만, 실제 세계에서는 가벼운 것이 더 천천히 떨어지는 경우(예를 들면, 쇠공과 스티로폼공)가 있는데, 이것을 공기의 저항으로 설명할 수 있는지를 알아보기 위한 질문이다.

질문 C를 설명하지 못하는 경우에는 간섭 3이 제시되었다. 간섭 3은 진공상태에서 동전과 깃털이 똑같이 떨어지는 시범장치를 이용하여 직접 낙하 현상을 관찰하고, 공기가 있는 경우에 가벼운 물체가 천천히 떨어지는 이유를 공기의 저항으로 설명하는 자료이다.

간섭 3이 제시된 후에 모든 면담은 종료되었다. 각 질문과 간섭내용을 정리하면 (Table 1)과 같다.

#### IV. 연구 결과

##### 1. 자유낙하에 대한 선행개념

질문 A를 이용하여 자유낙하에 대한 중학생들의 선행개념을 조사했을 때, 76명의 중학생 중에 36명이 아리스토텔레스적 사고 (즉, 무거운 것이 먼저 떨어진다)를 가진 것으로 나타났다. 그리고 그 이유도 대부분이 그냥 무겁기 때문이라고 응답하거나, 무거운 것이 중력이 더 크기 때문이라고 응답한 것으로 나타났다.

##### 2. 면담을 통해 나타난 사고과정 유형

아리스토텔레스적 사고를 가진 학생들 중에서 면담에 응한 학생은 총 17명이었다. 이들과의 면담을 통해 나타난 학생의 사고과정 유형은 총 7가지로 나타났다 ([부록] 참고).

###### 사고과정 유형 1 (6명 : 35%)

사고과정 유형 1에서는 갈릴레오 사고실험에서(질문 B) 실로 묶인 두 개의 물체가 더 빨리 떨어진다는 관점이나, 가벼운 물체 때문에 천천히 떨어진다는 하나의 관점만을 선택하였고(하나의 관점만 선택), 갈등 인식을 위해 학생의 관점과 반대되는 관점을 제시

하더라도(간섭 1) 갈등을 인식하지 않았다. 그러나, 왜 무거운 물체와 가벼운 물체가 똑같이 떨어지는지에 대한 설명이론을 제시하자(간섭 2), 설명이론을 수용하고 무거운 물체와 가벼운 물체가 똑같이 떨어진다고 응답하였다. 그러나, 실제 현상에서 가벼운 물체가 천천히 떨어지는 이유를 설명하지 못하였고(질문 C), 따라서 공기저항이 없는 진공튜브의 시범을 통한 공기저항의 영향을 설명하자(간섭 3), 이론과 현상을 통합하여 잘 이해하게 되었다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

###### 사고과정 유형 2 (5명 : 29%)

사고과정 유형 2에서는 갈등을 인식하지 못하고, 설명이론을 수용하지도 못해 개념변화를 하지 못한 경우이다.

###### 사고유형 3 (2명 : 12%)

사고과정 유형 3은 간섭 1에 의해서는 갈등을 인식하지 못했지만, 간섭 2에 의해 설명이론을 수용하고, 이론과 현상과의 차이점도 잘 알고 있었다.

###### 사고유형 4 (1명 : 6%)

사고과정 유형 4에서는 간섭 1에 의해서 갈등은 인식했지만 갈등을 해소하기 위해 아리스토텔레스적 관점을 포기하기 보다는 대안적 설명을 제안한 경우였다. 그러나 간섭 2에 의해 설명이론을 수용하였고, 처음에는 이론과 현상과의 차이를 설명하지 못했지만, 간섭 3에 의해 이해하게 된 경우이다.

Table 1. Questions and interface used in interview

Question/Interface	Purpose
Question A	to identify students' preconception about free fall
Question B	to identify students' view about Galileo's free fall thought experiments context
Interference 1	to generate cognitive conflict by introducing opposite view
Interference 2	to suggest explanation why objects fall with equal speed
Question C	to identify whether students explain the difference between theory and real phenomena
Interference 3	to provide demonstration that feather and coin fall with equal speed in vacuum tube.



**사고과정 유형 5 (1명 : 6%)**

사고과정 유형 5에서는 사고과정 유형 4와 같이 갈등을 인식했지만, 대안적으로 해결하였고, 간섭 2에 의해 설명이론을 수용한 경우이다. 그러나, 이론과 실제 현상과의 차이를 이해하지 못하고 끝났다.

**사고과정 유형 6 (1명 : 6%)**

사고과정 유형 6에서는 갈릴레오 사고실험에서 모순되는 두 결과를 모두 받아들였지만, 갈등을 인식하지 못하였다. 그리고 간섭 2에 의해 설명이론을 수용하게 되었고, 간섭 3의 도움을 받아 이론과 실제 현상과의 차이를 이해하게 되었다.

**사고과정 유형 7 (1명 : 7%)**

사고과정 유형 7은 처음에는 갈릴레오의 사고실험의 반대되는 두 관점을 모두 받아들였지만, 갈등을 인식하지도 못하고 설명이론을 수용하지도 못해 개념변화를 하지 못한 경우이다.

갈릴레오의 사고실험에서 모순되는 두 가지 관점 중에서 대부분의 학생들은 (88%) 하나의 관점 (예를 들면, 실로 묶은 두 물체는 질량이 더 컸기 때문에 더 빠르게 떨어진다고 응답하거나, 가벼운 물체가 천천히 떨어지려고 하기 때문에 속도가 줄어든다고 응답하였다)만을 선택하였다. 두 개의 관점을 모두 선택한 학생은 12%에 불과하였다. 이것은 중학생들에게는 갈릴레오가 의도한 두 개의 관점을 스스로 받아들이고, 서로의 관점이 서로 반대되기 때문에 갈등을 인식하는 것이 쉽지 않다는 것을 의미한다.

이론적으로 무거운 물체와 가벼운 물체가 똑같이 떨어진다고 생각하게 된 이후에도 실제로는 가벼운

물체(예를 들면, 깃털)가 천천히 떨어지는 경우가 많은데, 이를 설명할 수 있는 지 알아보기 위해 질문 C를 물었을 때, 대부분의 학생들이 (91%) 이를 설명하지 못하였다.

간섭 1에 의해서 갈등을 인식한 경우(3명)가 인식하지 못한 경우 (14명)보다 훨씬 적게 나타나 간섭 1이 갈등을 인식하게 하는데 효과가 매우 적은 것으로 나타났다. 즉, 갈릴레오 사고실험을 통해 학생 자신의 개념과 반대되는 관점을 제시하는 것으로는 갈등 인식에 도움이 되지 않았다. 이러한 결과는 치로시 등 (Tirosh et al., 1998)의 연구에서도 볼 수 있는데, 그들은 학생의 선개념을 조사하고, 그들의 관점과 반대되는 관점을 나란히 제시하여 개념변화 정도를 조사하였다. 그러나, 조사결과 개념변화에 별 차이가 없었다. 그리고 이러한 결과로부터 학생의 직관적 생각이 얼마나 안정되고 견고한지를 재확인할 수 있다고 보고하였다.

갈등을 인식한 경우에도 두 가지 관점을 분리하여 수용하는 대안적 해결을 하는 경우가 있었는데, 예를 들면, 지구에서는 실로 묶인 두 물체가 더 빨리 떨어지지만, 달과 같이 중력이 약한 곳에서는 가벼운 물체 때문에 천천히 떨어진다고 응답하여 두 관점의 모순을 피하는 전략이 있었다.

또한, 일단 갈등을 인식한 것으로 판단되는 경우에는 모두 개념이 변화되었지만(사고과정 유형 4, 5), 갈등을 인식하지 못한 것으로 판단되었음에도 불구하고 개념이 변화된 경우(사고과정 1, 3)가 47%로 나타나, 갈등이 개념변화를 보장해 주는 것은 아닐 수 있다는 추론을 할 수 있었다.

그러나, 간섭 2에 의해 설명이론을 수용한 경우에는

**Table 2.** Responses to questions

Question	Response	Thinking Process	Number
B	Select Only One View	1*, 2, 3*, 4*, 5	15(88%)
	Select Two Opposite Views	6*, 7	2 (12%)
C	Explain the Difference b/w Theory and Reality	3*	2 (9%)
	Not Explain the Difference b/w Theory and Reality	1*, 4*, 5, 6*	9 (91%)

\* means processes that students changed their prior misconception

**Table 3.** Responses to interfaces

Question	Response	Prior Conception	Thinking Process	Number
1	Feel Cognitive Conflict	Change	4, 5, 6	3 (18%)
	Not Feel Cognitive Conflict	Not Change	0	0 (0%)
	Not Feel Cognitive Conflict	Change	1, 3	8 (47%)
		Not Change	2, 7	6 (35%)
2	Accept Explanation	Change	1, 3, 4, 5, 6	11 (65%)
	Not Accept Explanation	Not Change	0	0 (0%)
	Not Accept Explanation	Change	0	0 (0%)
		Not Change	2, 7	6 (35%)
3	Coordinate Theory and Reality	Change	1, 3, 4, 6	10 (91%)
	Not Coordinate Theory and Reality	Not Change	0	0 (0%)
	Not Coordinate Theory and Reality	Change	5	1 (9%)
		Not Change	0	0 (0%)

11명 모두 개념이 변화되었고, 설명이론을 수용하지 못한 경우에는 모두 개념이 변화되지 못한 것으로 나타나, 개념변화에서 설명이론의 수용여부가 매우 중요한 역할을 했음을 알 수 있었다. 즉, 간섭 1에서 갈등을 인식하지 못하였다고 하더라도 (사고과정 유형, 1,2,3,7), 설명이론을 수용하였으면 (사고과정 유형 1, 3) 개념이 변화되었고, 설명이론을 수용하지 못하면 (사고과정 유형 2,7) 개념이 변화되지 못하였다. 자신의 선개념과 불일치하는 자료만으로는 개념변화를 보장해 주지 못하면, 새로운 설명이론의 제안이 필요하다는 것은 다른 연구에서도 관찰된 바 있다(Park et al., in press).

본 연구에서는 처음에는 갈등을 인식한 것으로 나타나지 않았지만 설명이론을 수용하여 개념이 변화된 경우에, 갈등이 전혀 유발되지도 않았는데 새로운 설명이론을 받아들이면서 개념이 변화되었는지, 새로운 설명이론이 제시되자 그 때 인지적 갈등을 느끼면서 새로운 설명이론을 수용하고 개념이 변화되었는지는 분명하지 않았다. 즉, 갈등을 인식하지 않고도 새로운 설명이론만으로 개념변화가 가능한지, 새로운 설명이론의 제시가 곧 갈등을 유발시키는 역할을 하였는지가 분명하지 않았다. 따라서, 이에 대한 후속 연구는 흥미로운 것으로 기대된다.

이론적으로 개념이 변화된 경우에는 비록 이론과 실제 현상이 다르다고 하여도, 대부분의 학생들이 (91%)이 간섭 3에 의해서 이론과 실제 현상을 통합시킬 수 있는 것으로 나타났다. 한 명의 학생만이 개념을 변화시킨 후에, 변화된 개념과 실제 현상과의 차이를 이해하지 못하였다.

## V. 요약 및 결론

연구결과에서 나타난 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 중학생들이 갈릴레오 사고실험에서 제시된 두 가지 반대되는 관점을 동시에 받아들이는 경우는 매우 적었다. 또한, 하나의 관점만을 선택한 경우에 반대되는 관점을 제시해 주어도 갈등을 인식하지 못한 경우가 많았다.
- 갈릴레오 사고실험을 통해 갈등을 인식하는 경우는 매우 작았으나, 일단 갈등을 인식한 경우에는 개념이 변화되었다.
- 갈릴레오 사고실험에서 갈등을 인식하지 못하였더라도, 자유낙하 운동에 대한 설명이론을 제시하였을 때 설명이론을 받아들인 경우에는 모두 개념이 변

화되었다. 따라서, 개념변화과정이 갈등을 인식하고 설명이론을 수용하는 선형적인 과정뿐 아니라, 갈등을 인식하지 않더라도 설명이론이 제시되면, 그 때 새로운 설명이론을 수용하면서 개념이 변화될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

· 많은 물리학적 개념들은 이론적인 개념이 실제 현상과 일치하지 않는다. 예를 들면, 마찰이 없을 때의 물체의 운동에 대한 이론적 개념들이 그러하다. 자유낙하 운동의 경우에도 이론과 실제 현상이 일치하지 않는데, 이론적으로 개념이 변화된 경우라도 이론과 실제 현상과의 불일치를 스스로 설명하지는 못하였다.

· 그러나, 간단한 시범을 통해 이론과 실제 현상과의 불일치를 설명해 주었을 때, 대부분의 학생들이 그러한 불일치를 해결할 수 있었다.

개념변화과정에서 학생의 실제 사고과정에 대한 분석은 학생의 과학 학습과정을 이해하고 밝히는 데 도움이 될 것이다. 물론, 제한된 학생을 대상으로 특별한 주제에 대한 분석이었지만, 이러한 연구방법이 다른 주제와 학생들을 대상으로 하여 계속된다면, 보다 많은 주요 특징들이 밝혀질 것이다. 특히, 본 연구에서는 초기 과정에서 갈등 인식에 실패하였다라도 다음 과정에서 새로운 설명이론을 제시함으로써 개념이 변화된 경우를 많이 관찰할 수 있어, 개념변화과정이 인지적 갈등의 인식에서 새로운 설명이론의 수용으로 연결되는 선형적인 과정만은 아니라는 것을 알 수 있었다. 따라서, 이에 대한 후속 연구는 흥미로운 것이다.

## 적 요

본 연구에서는 사고실험을 이용한 개념변화 수업 모델에 따라 면담을 통해 학생의 실제 사고과정을 밝힘으로써, 개념변화과정에서의 주요 특징들을 알아낼 수 있었다. 이미 언급한 바와 같이 갈등인식이 원래의 의도와는 달리 쉽지 않다는 것을 알 수 있었고, 나아가 갈등을 인식하지 않은 것으로 나타났음에도 불구하고 새로운 설명이론의 제시만으로 개념변화가 된

경우가 많아 이에 대한 앞으로의 연구가 흥미로운 것으로 생각된다. 또한, 일단 개념이 변화된 경우에는 비록 이론과 실제 현상과의 불일치를 설명하기 어려워했지만, 간단한 시범과 지도로 쉽게 해결될 수 있었다.

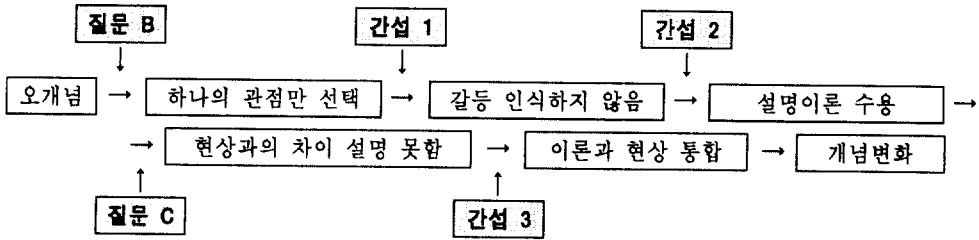
## 참 고 문 헌

- 이명자 (1999). 물체의 자유낙하에 대한 아동의 정신 모형 연구. *한국과학교육학회지*, 19(3), 389-399.
- Bar, V., Zinn, B., Goldmuntz, R., & Sneider, C. (1994). Children's concepts about weight and free fall. *Science Education*, 78(2), 149-168.
- Brown, L. R.(1993). *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*, Routledge, London.
- Brown, D., & Clement, J.(1992). Classroom teaching experiments in mechanics. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Neidderer (eds.), *Proceedings of the international workshop on research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, 380-389. Bremen, Germany, IPN.
- Galileo, G.(1954). *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Dover Publications, New York. (Translated by H. Crew and De S. Alfonso)
- Gendler, T. S.(1998). Galileo and the indispensability of scientific thought experiment, *British Journal of Philosophical Science*, 49, 397-424.
- Gilbert J.K., and Reinner, M.(2000). Thought experiments in science education : potential and current realization, *International Journal of Science Education*, 22, 265-283.
- Gooding, D.(1992). The procedural turn : or, why do thought experiments work? in R.N. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science:*

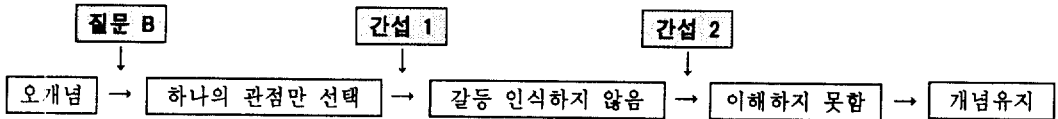
- Minnesota Studies in the Philosophy of Science XV*, 45-76, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Kuhn, T. S.(1977). *Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, The University of Chicago, London.
- Matthews, M. R.(1994). *Teaching Science: The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York.
- Nersessian, N. J.(1992). How do scientists think? capturing the dynamics of conceptual change in science, in R.N. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science XV*, 3-44, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Park, J., Kim, I., Kwon, S., & Song, J.(2000, August). *An analysis of thought experiments in the history of physics and implications for physics learning*. Paper presented at the International Conference on Physics Education: Physics Teacher Education Beyond 2000, Barcelona, Spain.
- Park, J., Kim, I., Kim, M., & Lee, M.(in press). Analysis of students' processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*.
- Park, J., & Han, S.(in press). Using deductive reasoning to promote the change of students' conceptions about force and motion. *International Journal of Science Education*.
- Song, J., Jang, K., & Pak, S.(1996). Students' conceptions and historical change of the concept: Free-fall motion. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 16(2), 164-174.
- Tirosh, D., Stavy, R., & Cohen, S.(1998). Cognitive conflict and intuitive rules. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1257-1269.
- Popper, K.(1968). *The Logic of Scientific Discovery*, Harper & Row, Publishers, London.
- Reiner, M.(1998). Thought experiments and collaborative learning in physics, *International Journal of Science Education*, 20, 1043-1058.
- Sorensen, R. A.(1992). *Thought Experiments*, Oxford University Press, New York.
- Stinner, A.(1990). A. Philosophy, thought experiments and large context problems in the secondary school physics course, *International Journal of Science Education*, 12, 244-257.
- White, B.(1984). Difficulties in understanding Newtonian dynamics, In P.L. Lijnse (ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics in secondary and early tertiary education: Conference on physics education*, August 20-25, The Netherlands.

[ 부 록 ]

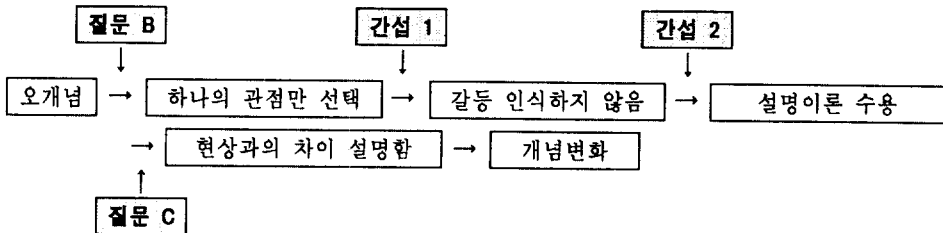
사고과정 유형 1 (6명 : 35%)



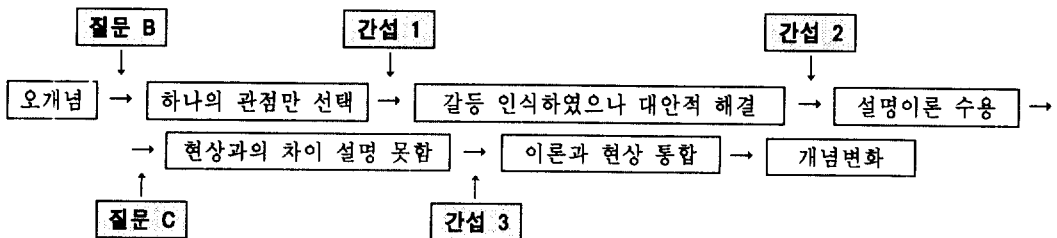
사고과정 유형 2 (5명 : 29%)



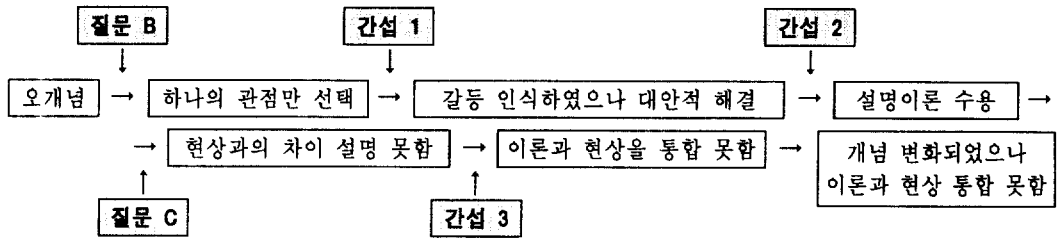
사고유형 3 (2명 : 12%)



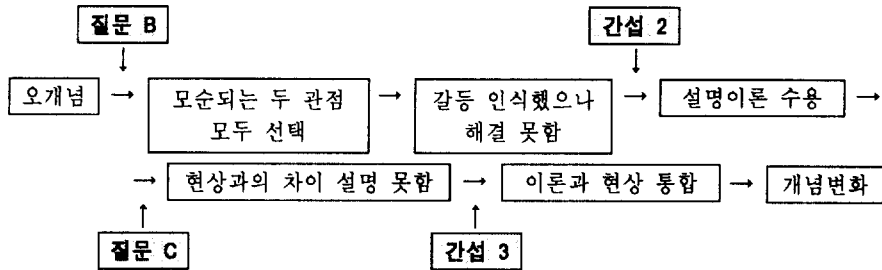
사고유형 4 (1명 : 6%)



사고과정 유형 5 (1명 : 6%)



사고과정 유형 6 (1명 : 6%)



사고과정 유형 7 (1명 : 7%)

