

# 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해 조사 IV<sup>1)</sup>

- 실험에 포함된 이상조건을 중심으로 -

박종원 · 정병훈<sup>1</sup> · 권성기<sup>2</sup> · 송진웅<sup>3</sup>

(전남대학교) · <sup>1</sup>(청주교육대학교) · <sup>2</sup>(대구교육대학교) · <sup>3</sup>(대구대학교)

## A Study of High School Students' and Science Teachers' Understanding of Ideal Conditions Involved in the Theoretical Explanation and Experiment in Physics: Part IV

- Focused on the Ideal Condition Involved in the Experiment -

Park, Jongwon · Chung, Byunghoon<sup>1</sup> · Kwon, Sunggi<sup>2</sup> · Song, Jinwoong<sup>3</sup>  
(Chunnam National University) · <sup>1</sup>(Cheongju National University of Education)

<sup>2</sup>(Taegu National University of Education) · <sup>3</sup>(Taegu University)

### ABSTRACT

This study investigated the high school students' and science teachers' understanding of idealization involved in the physics experiment. Major research questions are as follows: (1) what kind of ideal conditions do subjects identify from the presented experimental context? (2) do subjects think how well ideal conditions are satisfied with the experiment? (3) how well do subjects expect the effect of idealization on the experimental result? (3) what kind of view point do science teachers have about the ideal condition involved in the experiment? A total of 85 subjects were given 6 questions related with the research questions 1, 2, and 3, with simple experiment about the brightness of the bulbs connected with parallel to the battery. And another 4 questions for the forth research question were given to 42 science teachers. Subjects' responses were summarized and used to draw the implications for the teaching of physics experiment.

**key words** : ideal condition. idealization. physics experiment. high school student. teacher

### 1. 서론

물리학에서 사용되는 이상조건은 물리학습에서도 중요하게 사용된다(Garrison, 1986; Matthews, 1987; McMullin, 1985; Nersessian, 1992; 박종원 등, 1998a). 예를 들면, 물리용어나 개념 정의에 이상조건이 포함되어 사용되거나 법칙 및 공식의 유도

과정에 이상조건이 포함되어 사용되는 경우가 많이 있다. 또한, 현상의 설명이나 문제 해결과정에서도 이상조건이 많이 포함된다(박종원 등 1998b). 이에 대해 박종원 등(1999), Song & Park(unpublished)은 고등학생과 대학생, 그리고 과학교사를 대상으로 이러한 이상조건에 대한 이해를 조사한 바 있다.

그러나, 이상조건에 대한 앞선 연구들은 이론적 설

\*1999년 2월 1일 받음

\*\*이 논문은 1996년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의한 연구의 일부임

명에 대해서만 수행되었었다. 이상조건은 이론적 설명뿐 아니라 실제 실험 상황에서도 포함되어 있다.

실험에 포함된 이상조건에 대한 이해에는 실험에 어떠한 이상조건들이 포함되어 있는지에 대한 것뿐 아니라, 그러한 이상조건이 특정 실험 상황에서 얼마나 만족되고 있는지에 대한 이해와 실험에서 이상조건 만족 여부가 실험결과에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 이해도 포함된다. 특히, 이러한 이해는 실험 방법을 고안하고 실제 실험 장치를 설계하는 데에 중요하게 역할을 하게 된다. 예를 들어, 공기저항을 무시한다는 이상조건 하에서 자유낙하 실험을 한다면, 어떠한 물체가 어느 높이에서 낙하시켰을 때 실험결과가 이론적 예측과 일치할 것인지에 대한 이해가 실제 실험을 수행하는데 중요하게 된다. 이러한 이해는 특히 실험을 지도하는 과학교사에게 더 중요할 수 있다. 왜냐하면 실험의 목적에 따라 실험결과가 이상조건을 가정한 이론적 설명과 일치하게 나오도록 실험과정을 결정할 수도 있고, 반대로 실험결과가 이상조건을 가정한 이론적 설명과는 다르게 나오도록 실험과정을 결정할 수도 있어야 하기 때문이다. 즉, 공기저항을 무시할 때 바닥에서 물체의 속력을 구하기 위한 실험을 해야 한다면 전자의 경우대로 실험과정을 설계해야 하지만, 종단속도를 구하기 위한 실험을 해야 한다면 후자의 경우대로 실험과정을 설계해야 할 것이다.

또한, 실제 실험에서는 이론적인 예측과 실험결과가 다르게 나오는 경우가 많은데, 이때 실험결과를 해석하는 데에도 실험에 포함된 이상조건에 대한 이해가 중요한 역할을 할 수 있다. 이상조건을 가정한 이론적 예측과 실험결과가 다를 경우, 극단적으로는 이론적 설명은 이상조건을 포함하고 있으며 또한 그러한 이상조건은 실제 상황에서는 결국 만족될 수 없는 것이므로 실험결과가 이론적 예측과 다른 것이 당연하다는 입장을 취할 수도 있다. 그러한 입장을 가진 학생이나 교사라면 아마도 실험결과가 다르게 나온 이유를 항상 실험장치의 부정확성(이상조건을 만족하지 못하기 때문) 때문에 생길 수 밖에 없다고 당연하게 받아들이는 등, 이상조건 때문에 발생하는 실험결과와 이론적 예측간의 괴리에 대해서는 너무 쉽

게 받아들여지게 될 수도 있다.

물론, 반대로 실제 실험 결과도 이상조건만 만족시키면 얼마든지 이론적 예측과 동일한 결과를 얻어낼 수 있다고 생각할 수도 있다. 그러한 입장을 취한 학생이나 교사라면 아마도 실제 세계에 대한 관심보다는 이론적 예측에만 지나친 관심을 가짐으로서 이상조건이 만족되지 않았을 때, 새로운 현상이 가져다 줄 보다 폭넓은 실제 세계에 대한 이해의 기회를 얻지 못할 수도 있다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사들의 이해를 조사하고자 한다. 본 연구는 일련의 앞선 연구들(박종원 등, 1998a; 박종원 등, 1998b; 박종원 등, 1999)에 기초하여 수행되었으며, 구체적인 연구 질문들은 다음과 같다.

- (1) 고등학생과 과학교사들은 실제 특정 실험 상황에 어떠한 이상조건이 포함되어 있다고 생각하는가?
- (2) 고등학생과 과학교사들은 실제 특정 실험 상황에서 이상조건이 얼마나 만족되고 있다고 생각하는가?
- (3) 고등학생과 과학교사들은 이상조건 만족 여부가 실험 결과에 얼마나 영향을 준다고 생각하는가?
- (4) 과학교사들은 일반적인 실험과 이상조건과의 관계에 대해 어떤 관점을 가지고 있는가?

## II. 연구 방법 및 연구 방법

본 연구에 참여한 학생은 일반계 고등학교와 과학고등학교에서 임의로 선정하였다. 그리고 과학교사는 방학 중에 실시하는 연수 때 참가한 교사를 대상으로 임의로 선정하였다. 학생수와 과학교사수는 표 1과 같다.

연구질문 1과 2, 그리고 3에 대한 조사를 위해 개발된 설문 질문을 요약하면 표 2와 같다.

실험 상황은 병렬 연결된 전구의 밝기에 대한 것으로서 앞선 연구(박종원 등 1999)에서 사용된 문항 8번과 동일한 내용이다. 본 연구에서는 설문 전에 앞선 연구(박종원 등 1999)의 문항 8번에서 사용되었

**Table 1.** Subjects

Subjects		
High School Students	Science High School Students	Science Teachers
24	51	10/42*

\*For the research questions 1, 2, and 3, 10 science teachers participated in this study, but for the fourth research question, 42 teachers participated.

던 이론적 설명과 본 연구를 위해 제작된 실제 실험 장치들과 실험 안내서를 보여주고, <표 2>의 설문 3 번까지 먼저 응답하도록 하였다. 3번까지 응답을 하고 나면, 준비된 실험장치로 직접 실험하여 전구의

밝기를 관찰하도록 하였다. 관찰이 끝나면 설문번호 4번부터 응답을 계속 하도록 하였다.

본 연구에서는 연구 질문 4를 위해서 과학교사만을 대상으로 별도로 설문을 개발하였는데 설문 질문을 요약하면 <표 3>과 같다.

<표 3>의 설문을 위해서는 중고등학교 과학교사를 위한 공통과학 연수를 이용하였다. 먼저, '과학탐구 학습지도'라는 과목 중, 과학에서의 이상조건의 사용에 대한 내용을 2시간 동안 워크숍 방식으로 진행하였다(별첨 1).

연수 내용에는 간단히 문제 해결과정에서 이상조건을 찾아보고, 공기저항이 있는 경우 지표면에서 물체의 운동이 어떻게 달라지는지를 그래프에서의 차이를 통해 알아보는 내용이 포함되어 있다. 그리고

**Table 2.** Questionnaires for the research question 1, 2, and 3

No. of Questionnaires	Questionnaires	Related Research Question
1	Which ideal conditions are involved in this experiment?	1
2	Do those ideal conditions satisfied in this experiment?	2
3	Before experiment, do you think the result of experiment will coincide with the theoretical expectation?	3
4	After experiment, did the result of experiment coincide with the theoretical expectation?	3
5	(if different, in the above question) what is the reason that the result of experiment was different from the theoretical expectation?	3
6	If the reason of such difference (in the above question) is the ideal condition, can you re-check again the level of satisfaction of ideal conditions?	2

**Table 3.** Questionnaires for the research question 4

No. of Questionnaires	Questionnaires
1	Can the ideal conditions be satisfied with the real experiment perfectly ?
2	Which is more important between the work removing the ideal conditions in the theory, and adjusting the experiment to fit ideal conditions?
3	When teaching experiment, do you concern about satisfying the ideal conditions in the experiment?
4	Does ideal conditions need to be involved in the teaching of experiment?

직접 꼬마전구를 이용한 옴의 법칙 실험을 시연해 보면서 전구에서 발생하는 열이 옴의 법칙에 관한 결과에 어떻게 영향을 미치는 지도 알아보았다. 그리고 이론적으로 이상조건 종류, 이상조건이 갈릴레오에 의해 도입되었다는 측면, 이상조건이 발견의 과정에서 중요한 역할을 한다는 점, 그리고 이상조건 특성에서 따라 과학이 허구적인지, 실제 세계가 고려된 복잡한 세계인지에 대한 논의가 있을 수 있다는 점 등을 간단히 다루었다. 그리고 강의 마지막 부분에 약 15분에 걸쳐 〈표 3〉의 설문지로 응답하도록 하였다. 참여한 교사들은 중학교 9명, 고등학교 교사 33명으로 총 42명이었다.

### III. 결 과

#### 1. 실험에 포함된 이상조건 종류

실험에 어떠한 이상조건이 포함되었는지에 대해서 (표 1의 설문 1), 과학고 학생의 경우에는 총 51명의 학생이 263개의 이상조건이라고 생각되는 것을 언급하였으며, 이 중에서 194개 (73.8%)가 '문제상황과 관련된 이상조건'인 것으로 나타나, 1인당 평균 3.8개의 이상조건을 언급한 것으로 나타났다. 일반고 학생의 경우에는 총 24명의 학생이 118개의 이상조건이라고 생각되는 것을 언급하였으며, 이 중에서 75개 (63.6%)가 '문제상황과 관련된 이상조건'으로 분류되어, 1인당 평균 3.1개의 이상조건을 언급한 것으로 나타났다. 과학교사의 경우에는 10명이 34개의 이상조건이라고 생각되는 것을 언급하였는데 모두 (100%)가 '문제상황과 관련된 이상조건'이었으며, 1인당 3.4개를 언급하였다.

〈표 4〉에 기초하여, 실험에 포함된 이상조건 종류에 대한 조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 비교적 많은 학생과 교사들이 다양한 종류의 이상조건들을 언급하였다. 즉, 언급한 이상조건들 중에서 문제상황과 관련된 이상조건이 63.6% - 100%였다. 그러나 문제 상황과 관련되지 않은 것도 일반고 학생(75%)과 과학고 학생(75%)이 각각 1인당 평균 1.6개와 1.4개씩을 언급하여, 전체 응답자수 중

에서는 26%-33%였다.

② 일반고 학생의 경우에는 과학고 학생의 경우보다 과학적 용어를 잘 사용하지 못했다. 예를 들면, 2번 이상조건에 경우에 과학고 학생들은 전구의 저항이 같아야 한다는 이상조건을 구체적으로 언급한 반면, 일반고 학생들은 전구의 크기나 종류, 상태들이 같아야 한다고 하여 비과학적인 용어들로 이상조건을 언급하였다. 마찬가지로, 8번 이상조건과 같이 전기 부품들의 배치에 관한 이상조건들도 일반고 학생들만이 언급한 것을 볼 수 있다.

③ 전지의 내부저항이 없어야 한다는 것(4번 이상조건)은 실제 실험상황에서는 중요한 이상조건이 된다. 과학고 학생의 경우에는 57%의 학생들(응답수 중에서는 11%)이 4번 이상조건을 언급하였지만, 일반고 학생의 경우에는 한 명도 없었다. 1번 이상조건도 실제 실험에서는 큰 영향을 줄 수 있는데 이를 언급한 학생도 일반고 학생(13%)보다 과학고 학생(88%)과 과학교사(90%)가 월등히 많았다.

④ 이론적 설명에 포함된 이상조건에 대한 이해 조사 연구 결과(박종원 등, 1999)와 비교해 보면, 이상조건별 빈도에는 차이가 있었으나, 비교적 많은 학생들이 여러 종류의 이상조건들을 언급했다는 점과 언급한 이상조건 종류에는 큰 차이가 없었다.

#### 2. 실험 전, 실험에서의 이상조건 만족 여부

〈표 2〉의 설문에서 언급한 이상조건들이 실제로 제시된 실험 장치에서 얼마나 만족되고 있다고 생각하는지를 조사한 결과는 〈표 5〉와 같다.

〈표 4〉에서 언급한 이상조건별로 실험에서의 만족 여부를 조사한 결과를 요약하면 〈표 6〉과 같다.

〈표 5〉와 〈표 6〉에 기초하여, 실험 전 실험에서의 이상조건 만족여부를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 〈표 5〉에 의하면, 비교적 많은 학생과 교사들이 자신들이 언급한 이상조건이 실험에서 비교적 잘 만족되는 편(60%-72%)이라고 생각하고 있었다.

② 그러나 대상별로 보면, 이상조건이 만족되지 않는다고 응답한 비율이 일반고 학생의 경우(11%)보

**Table 4.** Ideal conditions involved in the experiment

Type of Responses	Types of ideal condition	Responses****			
		H.S. (N=24/118')	S.H.S. (N=51/263)	S.T. (N=10/34)	Total (N=85/415)
Ideal Conditions relevant to the problem context	1. Ignoring or not resistance of a wire/metal bar/connected parts	13/3**	88/21	90/26	67.1/15.9
	2. Equal resistance/ability/size/types/ of bulbs	75/24	42/19	90/26	81.2/20.7
	3. Constant voltage of batteries, equal strength/voltage/power/difference of electrostatic potential/capability/types of batteries, new batteries	58/14	33/13	65/15	61.2/13.5
	4. Ignoring th internal resistance of batteries	0/0	57/11	30/9	37.6/7.7
	5. Equal of types/thickness/length of a wire/metal bar	54/13	18/4	40/18	30.6/7.5
	6. Constant of electric current flowing th bulb, conservation of charge	17/3	14/3	10/3	14.1/2.9
	7. Ignoring the change of resistance of a bulb via heat generated in bulb	0/0	14/3	10/3	9.4/1.9
	8. Equal location/interval of wires/bulbs	13/3	0/0	0/0	3.5/1.0
	9. Others	17/4	6/1	0/0	8.2/1.9
소 계		100***/63.6	100/73.8	100/100	100/73.
Others		75.0/33.1	75.5/26.2	0/0	70.6/27.0

\* The number before / is the number of subjects, and after / is the number of responses.

\*\* The number of before / is the percentage for the total subjects, and after / is the percentage for the total responses.

\*\*\* The number of before / is the number of subjects who mentioned at least one ideal condition among 9 types of ideal conditions.

\*\*\*\* H.S. = High school students, S.H.S. = Science High School students, S.T. = Science Teacher

다 과학고(34%)나 과학교사(35%)의 경우에 더 높아, 대상별로 차이가 있었다.

③ 구체적으로 이상조건별로 보면(표 6), 일반고 학생들은 대부분의 이상조건들이 실험에서 비교적 잘 만족되고 있다고 응답하였다(만족:50%-75%, 불만족:0%-33%).

그러나, 과학고 학생들은 일반고 학생에 비해 상대적으로 이상조건 1과 4가 잘 만족되지 않는다고 응답한 경우가 많았다(만족:41%-26%, 불만족:50-52%).

또한 과학교사의 경우에는 이상조건 4와 6이 전혀 만족되지 않는다고(불만족:100%) 응답하였다.

**Table 5.** Before experiment, the level of satisfaction of ideal conditions

Responses	Subjects		
	H.S.(N=75')	S.H.S.(N=194)	S.T.(N=34)
Satisfy	54(72%**)	116(60%)	21(62%)
Not satisfy	8(11%)	66(34%)	12(35%)

\* N = Number of total responses

\*\* The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

④ 실제 주어진 실험에서 만족시키기 어려운 이상 조건으로는 이상조건 1(전선/접합부 등 저항없다),

**Table 6.** Before experiment, the level of satisfaction of ideal conditions according to the respective types of ideal condition

Types of ideal condition	Satisfaction	Subjects		
		H.S.(N = 75')	S.H.S.(N = 194)	S.T.(N = 34)
1	Satisfy	2(67%)	25(46%)	6(56%)
	Not Satisfy	1(33%)	27(50%)	4(44%)
2	Satisfy	21(75%)	34(69%)	7(78%)
	Not Satisfy	4(14%)	11(22%)	1(11%)
3	Satisfy	10(63%)	28(80%)	3(60%)
	Not Satisfy	2(13%)	6(17%)	2(40%)
4	Satisfy	..	12(41%)	0(0%)
	Not Satisfy	..	15(52%)	3(100%)
5	Satisfy	12(75%)	5(56%)	5(83%)
	Not Satisfy	2(13%)	4(44%)	1(17%)
6	Satisfy	2(50%)	7(100%)	0(0%)
	Not Satisfy	0(0%)	0(0%)	1(100%)
7	Satisfy	..	1(14%)	1(100%)
	Not Satisfy	..	3(43%)	0(0%)
8	Satisfy	3(75%)	..	..
	Not Satisfy	0(0%)	..	..

\* N = Number of total responses

\*\*There is no data, because they did mention that ideal condition

2(전구의 저항/특성이 같다), 4(전지의 내부저항이 같다)를 들 수 있다. 이에 대한 응답을 특별히 살펴 보면, 이상조건 1과 2에 대해서는 약 절반 이상의 응

**Table 7.** Before experiment, expectation about the coincidence between the experimental result and the theoretical explanation

Subjects	Responses before experiment	
	Will coincide	Will not coincide
H.S.(N = 24')	15(62.5% <sup>**</sup> )	5(20.8%)
S.H.S.(N = 51)	29(56.9%)	21(41.2%)
S.T.(N = 10)	3(30.0%)	6(60.0%)

\* N = Number of total subjects

\*\* The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

답자들이 잘 만족되고 있다고 응답(46%-78%)함으로써 이에 대한 이해가 부족함을 알 수 있었다.

이상조건 4에 대해서도 과학교사는 모두(100%)가 불만족되고 있다고 하였지만, 과학교 학생들은 51%만이 불만족되고 있다고 응답하였고, 일반교 학생들은 이상조건으로 언급조차 하지 않았다.

### 3 이상조건이 실험에 미치는 영향

먼저, 〈표 2〉의 설문 3에서 실제 실험 결과가 이론적 설명과 일치할 것인지를 예측하도록 하였을 때, 응답 결과는 〈표 7〉과 같다. 그리고, 직접 실험을 하여 실제 전구를 관찰하도록 한 후, 실험결과가 이론적 설명과 일치한다고 생각하는지(표 2의 설문 4)에 대한 응답 결과는 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉에서 실험결과와 이론적 설명이 일치하지 않

는다고 응답한 학생들에게 그 이유가 무엇인지 물었을 때 (표 2의 설문 5) 응답 결과는 <표 9>와 같다.

<표 7>, <표 8>, 그리고 <표 9>에 기초하며, 이상조건이 실험에 미치는 영향에 대한 학생과 교사의 생각으로 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 실험 전, 실험에서 이상조건들이 만족되지 않는다고 응답한 비율(표 5의 결과 : 11%-35%) 보다 실험결과와 이론적 설명이 일치하지 않을 것이라고 예측한 비율(표 7의 결과 : 21%-60%)이 약 2배 정도 높게 나타났다. 이것으로부터, 학생들과 교사들은 실험결과와 이론적 설명이 일치할 것인가에 대해 이상조건이 실험결과에 약 50% 정도의 영향을 주는 것으로 생각하고 있다고 추정해 볼 수 있다.

**Table 8.** After experiment, the coincidence between the experimental result and the theoretical explanation

Subjects	Responses before	
	coincide	Experiment not coincide
H.S.(N=24)	14(58.3%)	10(41.7%)
S.H.S(N=51)	20(39.2%)	28(54.9%)
S.T.(N=10)	2(20.0%)	7(70.0%)

\* N=Number of total subjects

\*\*The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

**Table 9.** The reason of not-coincidence between the experimental result and the theoretical explanation

Subjects	The reason of not-coincidence	
	Because of ideal condition	Because of other reasons
H.S.(N=10)	8(80.0%)	2(20.0%)
S.H.S(N=28)	24(85.7%)	2(7.1%)
S.T.(N=7)	4(57.1%)	3(42.9%)

\* N is the number of subjects who responded 'Not-Coincide' in Table 8.

\*\* The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

② 단, 과학고 학생의 경우에는 이상조건에 불만족 정도(표 5의 결과:34%)와 실험결과와 이론적 설명이 일치하지 않을 것이라는 예측(표 7의 결과:41%)이 비슷하게 나타나, 실험결과에 미치는 이상조건에 영향을 좀 더 크게 생각하는 것(약 80% 정도의 영향을 주는 것)으로 추정해 볼 수 있다.

③ 표 8에 의하면, 전구의 밝기를 관찰한 후에는, 많은 학생과 교사들이 실험결과가 이론적 설명과 일치하지 않는 것으로 보았으며(42%-70%), 이는 실험 전의 예측(표 7)과 비교할 때 모두 늘어났다. 그러나, 실제 실험에서는 전구 밝기가 정확하게 같다고 할 수 없었음에도 불구하고 전구 밝기가 같은 것으로 관찰하여 실험결과가 이론적 설명과 일치한다고 응답한 학생과 교사들도 꽤 있었는데(20%-58%), 그 이유를 추정해 보면 다음 두 가지로 생각해 볼 수 있다: (1) 이론적 설명을 먼저 읽었기 때문에 이론이 관찰에 영향을 주어 전구밝기가 같은 것으로 관찰하였기 때문이다. (2) 실제로는 전구 밝기가 다른 것으로 관찰하였지만, 그 정도의 밝기 차이는 이론적 설명과 다르다고 할 수 없다고 생각하였기 때문이다. 이에 대한 명확한 판단을 위해서는 추후 연구가 필요하다고 하겠다.

④ 실험 후에, 실험 결과와 이론적 설명이 일치하지 않는다고 응답한 학생들 중에서 많은 학생(표 9의 결과: 80%-86%)들이 그 이유가 이상조건 때문이라고 응답한 것으로 보아, 많은 학생들은 실험 후에는 이상조건이 실험에 큰 영향을 준다고 생각하고 있음을 알 수 있었다. 단, 교사의 경우는 이상조건에 영향을 상대적으로 좀 적게(표 9의 결과: 57%) 생각하고 있었다.

#### 4. 실험 후, 실험에서의 이상조건의 만족 여부

<표 2>의 설문 4에서 실험 결과가 이론적인 설명과 다르게 나왔다고 응답하고, 설문 5에서 그 이유가 이상조건 때문이라고 응답한 학생을 대상으로 다시 설문 1에서 응답한 이상조건들이 실험에서 얼마나 만족하고 있는지를 조사한 결과(표 2의 설문 6)를 제시하면, <표 10>과 같다.

**Table 10.** After experiment, the level of satisfaction of ideal conditions

Response	The reason of not-coincidence		
	H.S.(N=34')	S.H.S.(N=91)	S.T.(N=13)
Satisfy	15(44.2%)	32(35.2%)	3(23.1%)
Not satisfy	12(35.3%)	38(41.8%)	10(76.9%)

\* N is the number of responses of subjects who responded 'Not-Coincide' in Table 8, and 'Because of Ideal Condition' in Table 9.

\*\* The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

이상조건별로 만족 여부를 조사한 결과를 요약하면 <표 11>과 같다.

<표 10>과 <표 11>에 기초하여, 실험 후 실험에서의 이상조건에 대한 만족 여부에 대한 응답 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 실험에서 이상조건이 만족되고 있다는 응답이 실험 전(표 4 : 60%-72%)에 비해 실험 후(표 10 : 23%-44%)에 많이 줄었다.

② 이상조건별로 보면, 실험 후에 이상조건 1(전선/막대/접합 저항 무시)에 대해 비교적 많은 학생과 교사들(표 11 : 63%-100%)이 실험에서 만족되지

**Table 11.** After experiment, the level of satisfaction of ideal conditions according to the respective type of ideal conditions

Type of ideal condition	Satisfaction	Subjects					
		H.S.(N=34')		S.H.S.(N=91')		S.T.(N=13')	
		Before***	After	Before	After	Before	After
1	Satisfy	0(0%)	0(0%)	12(50%)	4(17%)	3(75%)	0(0%)
	Not Satisfy	1(100%)	1(100%)	11(46%)	15(63%)	1(25%)	4(100%)
2	Satisfy	7(64%)	3(27%)	15(63%)	10(42%)	3(100%)	1(33%)
	Not Satisfy	3(27%)	4(36%)	5(21%)	9(38%)	0(0%)	2(66%)
3	Satisfy	5(61%)	5(63%)	11(61%)	9(50%)	1(100%)	0(0%)
	Not Satisfy	1(13%)	2(25%)	4(22%)	4(22%)	0(0%)	1(100%)
4	Satisfy	....	....	6(46%)	4(31%)	0(0%)	0(0%)
	Not Satisfy	....	....	6(46%)	7(54%)	2(100%)	2(100%)
5	Satisfy	6(75%)	5(63%)	3(50%)	4(67%)	2(100%)	1(50%)
	Not Satisfy	0(0%)	2(25%)	2(33%)	2(33%)	0(0%)	1(50%)
6	Satisfy	0(0%)	0(0%)	0(0%)	1(100%)	1(100%)	1(100%)
	Not Satisfy	0(0%)	1(100%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
7	Satisfy	....	....	0(0%)	0(0%)	....	....
	Not Satisfy	....	....	0(0%)	1(100%)	....	....
8	Satisfy	3(75%)	1(25%)	....	....	....	....
	Not Satisfy	0(0%)	2(50%)	....	....	....	....

\* N is the number of responses, and the sum of responses is not 34 or 91 because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

\*\* The sum of percentage is not 100%, because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

\*\*\* The number of responses before experiment is different from the number of responses presented in the Table 5, because the responses in table 11 are obtained only from the responses of subjects who responded 'Not-Coincide' in Table 8, and 'Because of Ideal Condition' in Table 9.

\*\*\*\* There is no data, because they did not mention that ideal condition.



않는다고 응답하였다.

그러나, 이상조건 2(전구의 저항/특성이 같다)와 이상조건 4(전지의 내부저항 없다)에 대해서는 실험에서 불만족된다는 응답이 교사의 경우에는 비교적 많았지만(66%-100%), 아직도 학생의 경우에는 35%-54%에 불과하였다.

③ 실험 전과 후에 이상조건 만족 여부가 바뀐 것을 보면, 2번 이상조건과 같은 이상조건은 실험 후에 만족된다는 응답이 실험 전에 비해 많이 줄어들었다. 특히, 과학고의 경우에는 이상조건 1은 실험 전과 후에 만족여부가 많이 변화하였고, 과학교사의 경우에는 이상조건 1, 2, 3이 모두 많이 변화하였다.

### 5. 교사들의 실험에 포함된 이상조건에 대한 일반적인 인식

특히 연구질문 4를 위해 개발된 설문지(표 3)을 통해 45명의 과학교사만을 대상으로 조사된 결과를 제시하면 <표 12>와 같다.

<표 12>에서 응답분포가 대등하게 나온 2번 설문과 3번 설문에 대해서만 성별, 전공별, 학교급별 응답분포를 제시하여 보면 <표 13>과 같다.

이상으로 실험에 포함된 이상조건에 대한 교사들의 일반적인 인식을 요약하면 다음과 같다.

① 대부분의 교사들(93%)이 이상조건을 실험에서

**Table 12.** Science teachers' recognition about the ideal conditions involved in experiment

No	Questionnaires and the responses	No. of responses (N = 43)
1	Can the ideal conditions be satisfied with the real experiment perfectly ? ① Yes, if technical problems are resolved then, the result of experiment will be the same with the theoretical explanation.	2(5%)
	② No, ideal conditions can not be satisfied in the real world perfectly. Therefore, the result of experiment always different from the theoretical explanation.	40(93%)
2	Which is more important between the work removing the ideal conditions in the theory and the work adjusting the experiment to fit ideal conditions? ① Ideal condition are needed in physics theory, so we should make effort to have ideal conditions satisfied in the experiment.	22(51%)
	② Physics theory is imaginary because it involves ideal conditions, so effort is needed to eliminate ideal conditions to fit real experimental context.	19(44%)
3	When teaching experiment, do you concern about satisfying the ideal conditions in the experiment? ① I used to concern about the satisfaction of ideal conditions in experiment to obtain the experimental result same with the theoretical expectation.	19(44%)
	② I used not to have special concerns about ideal conditions in experiment.	18(42%)
4	Does ideal conditions need to be involved in the teaching of experiment? ① Yes	35(81%)
	② No	8(19%)

\* The sum of response is not 100% because the responses such as 'I don't know', or 'No response' were excluded.

**Table 13.** Distribution of responses according to sex, type of school, and the major

No. of question	Responses	Sex		Type of school			Major			
		Male (N=25)	Female (N=17)	Middle (N=9)	High (N=33)	Physics (N=11)	Chemistry (N=5)	Biology (N=11)	Earth Science (N=5)	Other (N=11)
2	①	10(40%)	11(65%)	6(67%)	15(45%)	8(73%)	3(60%)	4(36%)	2(40%)	5(45%)
	②	14(56%)	5(29%)	3(33%)	16(48%)	3(27%)	2(40%)	5(45%)	3(60%)	5(45%)
3	①	10(40%)	8(47%)	5(56%)	14(42%)	5(45%)	1(20%)	5(45%)	4(80%)	4(36%)
	②	12(48%)	6(35%)	3(33%)	14(42%)	4(36%)	3(60%)	4(36%)	1(20%)	5(45%)

\* Number of 'Response Number' in Table 12

는 완벽하게 만족시킬 수 없으므로, 항상 이론적 설명과 실험과는 불일치가 있을 수 밖에 없다고 생각하고 있다.

② 실험에서 최대한 이상조건을 만족시키도록 해야 한다는 생각(51%)과 이론 자체에서 이상조건을 없애가도록 해야 한다는 생각(44%)이 거의 비슷하게 나타났다.

남녀별로는 남자가 후자에 대한 생각이 더 많은 반면(56%), 여자는 전자에 대한 생각이 더 많았다(65%).

학교급별로는 중학교 선생님의 경우에 전자에 대한 응답이 더 많았고(67%), 전공별로는 물리교사의 경우에 전자에 대한 생각이 특히 많았다(80%).

③ 학교에서 실험을 할 때 44%의 선생님들은 이상조건이 잘 만족되도록 유념하는 반면, 41%의 선생님들은 이상조건에 별로 신경을 쓰지 않는다고 응답하였다.

응답수는 적었지만 지구과학 전공 선생님이 특히 이상조건에 신경을 쓴다고 응답(80%)하였다.

④ 대부분의 선생님(81%)은 학교 실험 지도에서 이상조건을 포함시킬 필요가 있다고 응답하였다.

#### IV. 결론 및 논의

본 연구에서는 실험에 포함된 이상조건에 대한 일반고 학생과 과학고 학생, 그리고 과학교사의 이해를 조사하였다. 조사 결과와 물리학습에 주는 시사점, 그리고 앞으로의 연구과제 등을 요약하면 다음과 같다.

1) 실험에 포함된 이상조건 종류의 대해서는 비교적 많은 학생과 교사들이 다양한 종류의 이상조건들을 언급하였다. 그러나, 중요한 이상조건에 대해서는 아직도 일반고 학생의 경우에는 부족한 편이었다. 따라서, 이상조건 종류의 자체에 대해서는 학생들이나 교사들이 그렇게 어렵게 생각하는 것만은 아님을 알 수 있어, 물리학습에 크게 어렵지 않게 도입될 수 있다고 생각되었다. 그러나, 구체적으로 이상조건 영향이나 이상조건 변화에 따른 결과의 변화 등에 대한 이해는 높지 않을 것으로 추정되는데, 이에 대한 실제적인 연구 결과가 필요하다고 하겠다.

2) 이상조건이 주어진 전기 실험 상황에서 얼마나 만족되는지에 대해서는, 만족되지 않는다는 응답이 일반고 학생(11%)보다는 과학고 학생(34%)이나 과학교사(35%)에게 더 높았으며, 실험 후에는 이론적 예측과 불일치하는 실험 결과에 의해 다소 응답이 증가하였다(35%-77%).

이상조건별로도 일반고 학생뿐 아니라, 과학고 학생이나 교사의 경우에도 실험에서의 이상조건 만족 여부에 대한 이해가 낮은 경우를 관찰할 수 있었다. 이러한 이해 부족은 실제 실험장치를 설계하는 과정에서 뿐 아니라 실험 결과의 해석에 있어서도 중요한 영향을 미칠 수 있다고 본다. 이에 대한 앞으로의 연구가 흥미로울 것으로 기대된다.

3) 특별히, 전지에 전구를 병렬로 연결하면서 전구 밝기 변화를 관찰하는 활동에서 많은 학생과 교사들(20%-58%)이 전구 밝기를 같은 것으로 관찰하였는데, 그 이유를 두 가지로 추정해 볼 수 있었다

(1) 이론적 설명을 먼저 읽었기 때문에 이론의 관찰 의존성 때문이다.

(2) 실제로는 전구 밝기가 변하는 것으로 관찰하였으나, 그 정도의 변화는 없는 것으로 볼 수 있다고 판단하였기 때문이다. 첫째 이유에 대해서는 이 전에 많은 연구가 있었으나, 두 번째 이유에 대해서는 좀 더 깊이 연구해 볼 필요가 있었다.

4) 실험에 포함된 이상조건이 실험 결과에 미치는 영향에 대해서 조사한 결과, 실험 전에 이상조건이 실험에 미치는 영향은 약 50% 정도로 생각하고 있었으나, 실험 후에는 약 80% 정도로 증가하였다. 즉, 실험 결과가 이론적 예측과 틀린 경우에는 많은 학생과 교사들이 그 이유를 이상조건을 볼 수가 있었으며, 따라서 실험을 지도하면서 실험 결과의 해석에 있어서는 이상조건을 영향을 다루는 것이 필요하다고 판단되었다.

5) 일반적으로 교사들의 실험에 포함된 이상조건에 대한 인식을 조사한 결과, 대부분의 교사들이 실험에서는 이상조건이 만족될 수 없고 따라서 이론적 예측과 항상 틀릴 수 밖에 없다는 생각을 하고 있음을 알 수 있었다.

그러나, 그러한 불일치의 해결 문제에 있어서는 51%의 교사들은 실험에서 이상조건이 만족되도록 노력해야 한다는 입장이었고, 44%의 교사들은 이론 자체에서 이상조건을 제거해 나가야 한다는 입장이었다. 이러한 관점에 대한 조사가 과학의 본성에 대한 이해와 어떠한 연관성을 가지는 지에 대한 연구도 흥미로울 것으로 기대된다.

그리고 학교 실험 지도에서 이상조건에 특별히 신경쓰지 않는다는 교사들도 41%에 달하고 있음을 알 수 있었다.

## 적 요

본 연구에서는 실험에 포함된 이상조건에 대한 이해를 조사하기 위해 수행되었다. 주요 연구질문은 다음과 같다.

(1) 실제 실험 상황에는 어떠한 이상조건이 포함되어 있다고 생각하는가?

(2) 실험에 포함된 이상조건들이 실제 실험에서 얼마나 만족되고 있다고 생각하는가?

(3) 실험에 포함된 이상조건들이 실험 결과에 얼마나 영향을 준다고 생각하는가?

(4) 교사들은 실험에 포함된 이상조건에 대해 일반적으로 어떠한 관점을 가지고 있는가?

연구질문 1, 2, 3을 위해서 6개의 설문을 개발하여 총 85명의 고등학생과 과학교사에게 직접 실험과 함께 제시하여 응답하도록 하였으며, 연구질문 4를 위해서 과학교사 42명을 대상으로 4개의 설문을 개발하여 응답하도록 하였다. 응답결과는 연구 질문에 따라 분류되어 요약 제시되었으며, 물리 실험 지도를 위한 시사점 추출을 위해 사용되었다.

주요어 : 이상조건, 이상화, 물리, 실험, 고등학생, 과학교사

## 참 고 문 헌

- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅 (1998a). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사 I: 이상화의 의미와 특성을 중심으로. 한국과학교육학회지, 18(2), 209-220.
- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅 (1998a). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사 II: 이상화가 물리학습에 주는 시사점을 중심으로. 한국과학교육학회지, 18(2), 245-256.
- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅 (1999, in press). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사 III: 이론적 설명에 포함된 이상조건에 대한 이해조사. 한국과학교육학회지, 19(1).
- Garrison, J.W. (1986). Husserl, Galileo, and the processes of idealization. *Synthese*, 66, 329-338.
- Matthews, M.R. (1987). Experiment and the objectification of theory: Galileo's revolution, in J.D.Novak (ed), *Proceedings of the*

- second international seminar misconceptions and educational strategies in science and mathematics* (pp.289-298). New York: Cornell University.
- McMullin, E. (1985). Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science*, 16(3), 247-273.
- Nersessian, N. (1992). Constructing and instructing: The role of "abstraction techniques" in creating and learning physics. in R.A.Duschl and R.J.Hamilton (eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp.48-68). Albany: State University of New York Press.
- Song, Jinwoong. & Park, Jongwon. (unpublished). Students' understanding of idealization of mechanics and its implications for physics education. *International Journal of Science Education*.

공통과학연수

과학에서의 이상화의 사용

**부록 : 공통과학연수에서 사용된 '과학에서의 이상화의 사용' 내용**

**과학에서 이상조건(Ideal Condition)의 역할**

1. 다음은 어떤 문제를 해결하는 과정을 나타낸 것입니다. 이 과정에서 어떠한 이상조건들이 사용되었는지 검토시오.

문제: 물이 2인 시간에서 사와시킨 어떤 물체가 지면에 도달하는 순간의 속력 v는 얼마인가?

풀이과정: 물체 가속도를 알면,  

$$A = \frac{1}{2} g t^2$$

$$\therefore \text{time } t = \sqrt{\frac{2A}{g}}$$
 그런데 물체는 낙하하는 동안 가속된다  

$$v = at = g \cdot \sqrt{\frac{2A}{g}} = \sqrt{2gA}$$

위의 같은 문제 풀이 과정에 들어 있는 이상조건은 무엇인가?

2. 수직으로 가만히 떨어뜨린 공이 있다고 하자. 공기저항을 고려한다면 공이 떨어지면서 공의 속력이 어떻게 변화할까? 아래 그래프에 먼저 공기저항이 없을 경우에 시간-속력 그래프를, 공기저항이 있을 경우에 시간-속력 그래프를 함께 그려 보아라.

1

공통과학연수

과학에서의 이상화의 사용

5. 다음은 과학에서 사용되는 이상조건에 유형에 대한 설명이다. 이상화에는 몇 가지 유형이 있는 지 간단히 정리해 보아라.

맥물린(McMullin, 1985)에 의하면, 실제 세계에서부터 이상화된 물리 세계를 구성하는 과정에는 두 가지 기법이 있다고 지적하였다. 형식적 이상화(formal idealization)와 재료적 이상화(material idealization).

"이러한 모델을 구축하는데 있어 이상화는 두 가지 다른 성격으로 도입된다. 세심한 설명에 관련되어 알려진 (또는 알려질 것으로 예상되는) 특성들이 결과물 얻기 위해 단순화되거나 무시되는 경우이다. 새로운 지구의 인공에 의해 대양도 작은 운물들 뿐이 한때는 것을 알고 있었다. 그러나 프라카피에아에서 개들의 법칙을 유도하는 과정에서 그는 대양이 정지해 있다는 즉 대양이 무한히 무겁다는 가정을 하였다. 이것은 이론적이지 않다. 실제 유체일 수 있도록 확고한, 물론 근사적인 결과일 뿐이다. 이러한 종류의 이상화를 우리는 형식적 이상화라고 부르고자 한다. ... 한편, 모델에서 탐구하고자 하는 것에 직접 관련이 없어 보이는 특성들을 생략하지 않고 남겨둘 수도 있다. 기계 운동 이론에서 기계는 본자들이 결합체로 모여있는 구성물로 본다. 그러나 이러한 본자들의 내부 구조를 명시하지는 않는다. 물론 이러한 구조를 가지고 있다는 것을 배제하지는 않는다. 그러나 본자 내부에 무엇이 있는가라는 문제에 답하지 않는다. 그 이유는 바로 그것이 이러한 이론의 목적과는 무관하기 때문이다. ... 충분히 일으킨다고 예상되는 다른 특성들에 대한 질문들은 새로운 다른 이론적 필요에 의해 모델이 확장되지 않는다는 답을 줄 수 없다. 이러한 이유로 재료적 이상화라고 불리워질 수 있는 것이다. ... 형식적 이상화와 재료적 이상화는 과학자들이 사용하는 한 가지 기법, 즉 이상화를 구축하는 두 가지 다른 측면이다." (McMullin, 1985)

다음은 외상을 통해 극한 상황을 가정하는 방법이다. 즉, 완벽한 공에 기초하여 직접 관찰할 수 있는 극한 상황에 대한 추론을 하기 위해 외상을 사용하는 것은 이상화의 한 방법이라 할 수 있다. 예를 들어, 열의 273도는 절대 최저 측정할 수 없지만, 우리는 온도에 따른 비열 부피에 대한 계산을 실험으로부터 부피가 원천적 0이 되는 경우를 외상할 수 있고, 그 계산을 0 이하 273도만큼 추상할 수 있다. 반대로 무한대의 강도를 가정하고 그때의 현상을 설명하는 방식도 이상화의 하나이다. 예를 들면, 지구 중계선으로부터 감속도를 정지할 때 다음과 같이 한다.

"물체를 먼저 실험으로 보아올리면, 흔히 그것은 점점 느려져서 순간적으로 멈추었다가 지구로 돌아온다. 그러나 처음 속력이 어떤 값이 되면 계속 계속 올라가서 이론적으로 무한대에서만 정지하는 경우가 생긴다. 이러한 처음 속력을 발음해라 한다." (Halliday, Resnick, & Walker, 1996 p.413)

이상화를 설명하는 또 다른 방법은 추상적인 개념들이 실재한다고 하거나 관찰하고 가정하는 경우이다. 대표적인 경우가 일정한 공명장 경우인데, 구체적인 예를 제시하면 다음과 같다. "자주적인화하는 경우에 가속도는 항상 0이며, 운동의 종류에 상관없이 항상 0이었다." (Hecht, 1994, p.73)

물리학에서의 여러 가지 변위 과정에서도 추상적인 개념들이 실재한다고 가정할 경우가 많이 있다. 다음은 그들 중의 한 예이다. "기체의 운동은 독립하게 움직이면서 부피가 변하는 과정을 등을 변화하고 하며, 이때에는 온도가 일정하므로 해에서  $dt = 0$  이 되어 기체에 흡수된 열에너지가 모두 일을 한다" (공규영, 외, 1987, p.102)

3

공통과학연수

과학에서의 이상화의 사용

3. 수평으로 던진 물체의 경우에 공기저항이 없다는 시간-속력 그래프가 어떻게 변화할까? 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 이해해 보라.

4. 속의 법칙 실험을 생각해 보라. 속의 법칙 실험은 전압에 따라 전류의 세기가 어떻게 변화하는지를 알아보는 실험이다. 즉, 아래 실험에서 저항체를 연결하고 저항체에 걸린 전압을 변화시키면서 저항체에 흐르는 전류의 세기를 측정하게 된다.

저항 실험을 하면서 전압과 전류에 대한 측정값을 아래 표에 기입하여라.

전압									
전류									

위에서 작성한 표에 기초해서 그래프를 통하여 전압과 전류와의 관계 그래프를 그려라.

2

공통과학연수

과학에서의 이상화의 사용

마찬가지로 어떠한 값이 보존된다고 가정하는 경우도 이에 포함되며, 그 예를 들면 다음과 같다. "운동에 나가지 보존되는 이러한 총량을 탄성 충돌이라고 한다." (Halliday, Resnick, & Walker, 1995 p.254)

6. 이상조건은 관찰체로 인해 적용 도입되었다고 할 수 있다.  
 "과사태에서 이론한 관찰체로의 중요한 업적은 '운동에 대하여(On Motion)'이다. 자기에서 그는 자연 물체들 사이에서 논의되었던 여러 가지 문제들: 자유낙하, 지체 하에서의 운동, 비탄환에서의 운동 그리고 물운을 을 다루었다. 그는 논의들이 물리적 실험을 기해학적으로 하고, 여러 가지 질문을 내리 기 위해 수학적 추론이 사용되었다. 관찰체로의 관측을 위해서 언급한 모든 운동들이 한 가지 기해학적 구조물로 다루어질 수 있다는 것을 보았던 것이다. 나아가 이러한 구조물로 전자운동을 묘사하였다. 즉, 실제에서는 그렇게 어떻게 보였던 운동이 묘사될 수 있었으며 일상적인 방식으로 다루어질 수 있었다. ... 관찰체로의 여기에서 중요한 이상조건을 도입하였다." (Matthews, 1964, p.111-113)

"관찰체로의 복잡한 실제 세계에 실험을 해, 그는 좀 더 특별한 방식으로 이상화하였다. 그는 원래의 문제와 유사한 보다 간단한 상황으로 문제를 옮겼고, 따라서 문제를 보다 쉽게 해결할 수 있게 하였다. ... '관찰체로의 방식'의 이상화는, 곧 새로운 과학의 특성을 규정하는 요소가 되었다." (McMullin, 1985)

7. 관찰체로가 이상조건을 사용함으로써 새로운 과학의 세계를 열 수 있었듯이, 이상조건에 도입된 발견의 상황(Context of Discovery)에서 매우 중요한 역할을 한다.  
 그러나, 이상조건을 사용함으로써 중요한 논쟁 거리가 생기게 된다. 즉, 이상조건이 사용된 과학은 결국 허구의 세계일 뿐이고, 실제 세계가 한의 세계라는 것이다. 물론, 반대로 과학의 세계가 한 전리의 세계이고 실제 세계는 복잡하게 흐르는 상태뿐이라는 입장이다.  
 "관찰체로부터 물리학의 중요한 발달은 감지 경험의 한계로부터 벗어나게 하였다. 새로운 과학에서 시뮬레이션 경험은 필수는 감지할 수 있는 현실 위에 숨어 있다. 진정한 실재는 이상적인 상황이다. 만지고 볼 수 있는 실재들은 진정한 실재가 불완전하게 나타난 것이다" (Scheffer, 1992)  
 "사람들은 이상화의 추상화를 사용하여 (자연의) 복잡성에 대항하는 방안을 획득하였다. 그들은 탐구하고자 하는 상황에서 불필요하게 제거하고 생각하는 특정 요소들을 무시한다. 그래서 그들은 자연을 이상화하고, 결국 자연에 대한 (이상화한) 모델은 더 이상 실제와 일치하지 않게 된다. 그 결과는 실제에 대한 근사적인 것이다." (Rohrlich, 1990 p.6)

4