

# 학생 개념의 연속적 세련화와 정교화를 통한 변화 과정 - 대학생 반응 분석 -

박 종 원

(전남대학교 사범대학 물리교육과)

An analysis of the processes of conceptual change through the successive refinement and articulation of student's conceptual framework  
- Focused on the university students' responses -

Park, Jongwon

(Chonnam National University, Department of Physics Education)

## ABSTRACT

In the earlier study, Park (2002) described the process of student's conceptual change as a successive refinement and articulation of their conceptual framework. In this study, the process of conceptual change for three university students were analyzed more in depth. As results, six types of conceptual change through successive refinement and articulation were observed: (1) original conception was elaborated in detail, (2) conception was differentiated according to the context, (3) some conceptions were re-explained theoretically after constructing it based on experimental data, (4) non-coherent conceptions in the early stage get to have coherency in the later stage, (5) model of explanation gets to be complicated by excluding ideal conditions, (6) qualitative explanations were changed into quantitative ones.

**Key words:** process of conceptual change, university student, successive change of conception

## I. 서 론

박종원(2002)은 학생의 개념변화과정이 연속적 세련화와 정교화를 통해 일어난다고 가정하고, 이에 대해 학습 심리학적 관점에서 논의하고 물리학적 사례를 제시하였다. 이러한 관점은 몇몇 연구자들로부터도 볼 수 있다(예를 들면, Caravita & Hallden, 1994; Limon, 2001; Niaz, 1995; Tytler, 1998; Linder, 1993; diSessa, 1993).

로 서술하였다. 그러나 개념조절이 급격하다는 것이 돌발적이라는 의미는 아니다. 실제로 학생들의 개념조절은 점진적이며 일부분에서 점차 확산되듯이 일어난다는 가정이 적절할 수 있다." (Posner *et al.*, 1982)

"최근의 연구에 의하면, 개념변화는 현재 받아들여지고 있는 과학적 설명의 요소들을 점진적으로 통합하면서 초기 개념체계가 천천히 교정되는 과정임을 제안한다." (Vosniadou *et al.*, 2001)

\*우리는 개념 조절을 개념 체계 내에서의 급격한 변화

박종원(2002)은, 학습 심리학적 논의를 통해 개념의 점진적 세련화의 정교화의 과정이 다음 8가지 과정을 통해 일어난다고 정리하였다.

- 첫째, 기존의 개념과 새로운 개념이 서로 융합되거나 조화를 이루어 가는 경우
- 둘째, 기존의 개념이 점차 세밀해져 가는 경우
- 셋째, 개념이 속한 존재론적 범주의 구조와 특성이 변화하는 경우
- 넷째, 개념의 기저에 깔린 형이상학적 믿음이나 인식론적 믿음이 변화하는 경우
- 다섯째, 개념과 현상과의 관련성이 변하면서 개념이 제한되거나 확장되는 경우
- 여섯째, 상황에 따라 개념이 구분되거나 겹보기에 다른 개념이 통합되는 경우
- 일곱째, 개념구조가 구체적인 것에서 추상적인 것으로 또는 반대로 변화하는 경우
- 여덟째, 개념구조의 정합성이 변화되는 경우

또한, 박종원(2002)은 플랑크의 공식과 보어의 원자모형이 발달되어 가던 과정을 분석하여(Langley *et al.*, 1987; 에미리오와 세그레, 1994; Lakatos, 1978; Holton & Brush, 1973), 과학 개념의 점진적 세련화와 정교화의 과정이 일어났던 5가지 사례를 다음과 같이 정리하였다.

- 첫째, 실험 데이터에 의한 실험적 법칙이 이론적으로 재유도되는 과정 (플랑크의 유도)
- 둘째, 새로운 이론이 제안된 후에 다시 그 이론에 대해 물리적 의미를 부여하는 과정 (플랑크의 에너지 양자화)
- 셋째, 처음에 부정합적인 설명구조를 가지고 있다가 점차로 정합적인 설명구조로 갖추어져 가는 과정 (플랑크의 유도과정, 보어의 모형)
- 넷째, 초기의 이상화된 모델에서 무시되었던 조건들이 다시 고려되어 가는 과정 (원자에서 핵과 전자의 질량중심을 고려)
- 다섯째, 초기의 단순한 모델이 점차로 보다 복잡한 모델로 변화되어 가는 과정 (원자의 전자궤도가 타원궤도로 발전, 전자의 운동에 상대론적 효과를 도입)

본 연구는 이러한 과학 학습 심리학적 관점과 물리학사적 관점에서 논의했던 과학 개념의 점진적 세련화와 정교화의 과정이 학생의 개념변화과정에서는 실제로 어떻게 나타나는지 알아보려고 하는 것이다.

본 연구에서는 단일개념보다는 개념체계 전반을 동시에 조사하려고 한다. 왜냐하면, Park *et al.*(2001)에 의하면, 핵심개념뿐 아니라 관련된 배경지식에 대한 이해 정도가 개념변화에 영향을 준다는 것을 관찰한 바 있기 때문이다. 따라서, 기존의 연구들이 단순 전기회로에서 전구의 밝기에 대한 학생의 예상을 조사할 때 전류에 대해서만 초점을 맞추었다면(예를 들면, Park & Kim, 1998; Shipstone, 1989), 본 연구에서는 같은 문항에 대해서 전류뿐 아니라, 전압, 단자전압, 저항의 연결 등, 전체적으로 상호연결된 개념들을 함께 조사하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상과 조사내용

본 연구에서의 연구대상은 대학교 1학년생 3명이었다. 면담 이전에 학생의 개념조사는 3단계로 이루어졌다. 1단계에서는 전기회로에 대한 다음과 같은 기본적인 배경지식을 조사하였다.

1단계 배경지식 조사내용 : 옴의 법칙, 전압/전류/저항의 정의, 저항의 직렬/병렬 연결.

2 단계에서는 본 연구의 주요내용으로, 꼬마전구에 병렬로 연결된 저항을 크게 하면 전구의 밝기가 어떻게 변화하는지에 대한 내용이었다(Fig. 1).

3 단계는 2단계 조사 내용과 관련되어 보다 자세한 학생의 개념을 조사하기 위한 것이었다. 특히, 학생개념체계 전체의 논리성이나 정합성을 알아보기 위한 것이기도 하였다. 주요 조사 내용은 다음과 같다.

3단계 세부지식 조사내용 : 전체저항의 크기 변화, 전체 전류/전구에 흐르는 전류/저항에 흐르는 전류의 크기 변화, 전구에 걸린 전압/저항에 걸린 전압/전지 양단의 전압 변화.

Resistance (nichrome wire) is connect to a electric bulb in parallel.  
 If the resistance is increased, then the brightness of a bulb will ...

① be brighter. ----- ( )  
 ② be dimmer. ----- ( )  
 ③ be the same. ----- ( )  
 ④ be \_\_\_\_\_

explain the reason \_\_\_\_\_

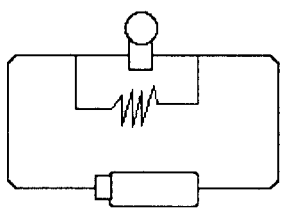


Fig. 1. Main question used in the second stage for investigating students' conception

3단계 설문은 연속적으로 차례대로 조사하였고, 3단계 모두 응답하는데 1인당 20-25여분 소요되었다.

**2. 면담방법과 면담 내용**

면담은 3단계 설문이 끝난 직후 실시되었고, 학생 1인당 3~4 차례에 걸쳐 시행되었다. 면담시간은 1인당 총 2시간 30분에서 3시간 30분 정도가 소요되었다.

면담을 할 때 Fig. 1에서 사용된 회로대로 연결하고 전구의 밝기 변화를 직접 관찰하도록 하였다. 이때 저항의 크기 변화는 다음 두 가지 경우를 모두 관찰하도록 하였다.

- 4.7Ω과 47Ω일 때 전구의 밝기 변화
- 470Ω과 4.7kΩ일 때 전구의 밝기 변화

첫 번째 경우는 저항이 커지면 전지의 단자전압이 올라가면서 전구가 밝아지지만, 두 번째 경우는 전지의 단자전압이 거의 변하지 않으면서 전구의 밝기도 변함이 없다. 이렇게 다른 결과를 관찰하도록 한 이유는 전지 내부 저항을 고려해야 하는 경우(첫번째 경우)와 전지 내부저항을 무시해도 좋은 경우(두번째 경우)를 함께 생각하도록 하기 위한 것이었다.

만일 관찰이 학생 자신의 예측과 다른 경우에는 2, 3단계 설문지를 다시 응답해 보도록 하였다. 또 면담 중에 학생이 직접 전압이나 전류, 또는 저항을 측정하기를 요구하면, 직접 측정해 보도록 하였고, 참고자료를 요구하면 고등학교 물리 교과서를 제시해 주었다. 면담시 사용한 주요 질문은 다음과 같다.

- (직접 전구밝기를 관찰하게 한 후) 전구 밝기가 어떻게 되었니?
- (2, 3단계 설문지를 다시 제시하고) 여기에서 네가 응답한 것 중에서 고치고 싶은 부분이 있으면 고쳐 볼래?
- 이 현상을 잘 알아보기 위해 더 알아보고 싶은 것이 있다면?
- (책이나 실험을 해 본 후에) 무엇을 알게 되었니? 네가 응답했던 것에서 변한 것이 있니?
- 이제 전구의 밝기 변화에 대해서 정리해 볼래?

**Ⅲ. 결 과**

**1. 초기개념상태**

**1단계 설문지 조사결과**

1단계에서 조사한, 옴의 법칙, 전압/전류/저항의 정의, 저항의 직렬연결과 병렬연결에 대한 배경지식에 대해서는 3명의 대학생 모두 옳게 알고 있었다.

**2단계 설문지 조사결과**

본 연구의 주요 질문인, 전구에 병렬 연결된 저항을 크기 하였을 때 전구의 밝기 변화에 대해서 2명(학생 A, B)은 밝아진다고 예상하였고, 나머지 1명(학생 C)은 전구의 밝기가 그대로라고 하였다. 학생의 이유는 3단계 설문지 조사를 통해 보다 자세하게 정리하였다.

**3단계 설문지 조사결과**

3단계 설문지에서 응답한 세 학생의 개념을 요약하면 Table 1과 같다. Table 1에서 A학생은 처음의 생각이 바

꺼어 응답을 수정하였다. 따라서 처음 응답을 A1, 수정된 응답을 A2로 표시하였다.

Table 1을 보면 학생의 생각을 크게 2가지로 요약할 수 있다: (1) 저항을 크게 하면 전체 저항이 작아져서 전체전류는 커져서 전구에 흐르는 전류도 커진다. (하지만, 저항이 커지므로 저항에 흐르는 전류는 작아진다.) 그리고 모든 전압은 일정하다. 따라서 전구는 밝아진다 (학생 A1, B) (2) 저항을 크게 하면, 전체 저항이 커지고 전체전류가 작아지지만, 저항에 흐르는 전류가 작아질 뿐 전구에 흐르는 전류는 일정하다. 또 모든 전압은 일정하다. 따라서 전구 밝기는 일정하다 (학생 A2, C).

또, Table 1로부터 알 수 있는 특징은 다음과 같다: (1) 3학생 모두 단자전압이 항상 일정하다고 생각하여, 건전지의 내부저항의 영향을 전혀 고려하지 못하였다. (2) 어떤 학생(A1, B)은 병렬 연결된 저항이 커지면 전체저항이 작아진다는 오개념을 가지고 있었다. (3) 학생 A는 처음에 직관적으로 응답하였다가 계산을 통해 논리적인 점검을 한 후 자신의 생각을 바꾸었다. 따라서, 한 학생에게서 직관적인 생각과 논리적인 생각이 공존하고 있음을 알 수 있었다.

## 2. 개념의 변화과정과 개념 변화과정에서 나타난 특징들

Fig. 2, 3, 4는 각각 학생 A, B, C의 개념이 시간에 따라 어떻게 변화해 나가는지를 나타낸 것이다. 그림에서 'con(conceptual state)'은 개념상태를 나타낸 것이고, 'cc(cognitive conflict)'는 인지갈등을 나타낸 것이다. 그리고 학생이 주어진 상황을 해결하고 이해하기 위해 수행했던 여러 가지 활동들 (예를 들면, 논리적인 점검을 하거

나, 계산을 하거나, 직접 측정을 하는 등의 활동)은 'act (activity)'로 표시하였다. 그리고 'obs1(observation1)'은 4.7Q과 47Q일 때 전구 밝기를 비교한 경우(47Q일 때 전구가 밝다)이고, 'obs2(observation2)'는 470Q과 4.7kQ일 때 전구 밝기를 비교한 경우(전구 밝기가 비슷하다)이다.

### 학생 A의 개념변화과정

그림 2에서 처음 개념상태 (con1)에서 두 개 선이 한 동그라미 속에 함께 그려진 이유는 개념상태 1에 두 개의 개념이 동시에 존재했기 때문이다. 즉, 병렬연결된 저항이 커지면 전체 저항이 작아진다는 생각과 국소적 개념(저항이 커지면 저항으로 흐르는 전류는 작아지고 전구로 흐르는 전류는 커진다)이 함께 있음을 의미한다. 이 두 개념은 서로 다른 경로로 변화되어 가다가 다시 합쳐진다.

이 학생의 개념상태 변화를 요약하면 다음과 같다: 처음에는 병렬연결된 저항이 커지면 전체저항이 작아져서 전구가 밝아진다고 했다가(A1:con1), 전체저항이 커진다고 바꾸고(A4:con2), 저항이 커진 곳에서만 전류가 작게 흐르므로 전구밝기는 일정하다고 생각을 바꾸고(A5:con3), 단자전압이 줄어들어 전류가 줄어든다고 한 후에(A14:con5), 전지내부에서의 전압강하가 줄어들어 단자전압이 증가해서 전구에 흐르는 전류가 증가한다고 하였다(A17:con6). 그리고 저항이 큰 경우에는 이러한 변화를 볼 수 없다고 하였다(A21:con7).

학생 A(Fig. 1)의 개념변화과정을 좀 더 자세하게 제시하면 다음과 같다.

A1: (con 1) 저항이 커지면 전체저항이 감소 + 국소적 개념, 따라서 전구가 밝아진다

A2: (cc1) 자신의 생각에 확신이 없어 con1(전체저항

Table 1. Summary students' responses at the third questionnaire

Questions	Students' response		
	increase	decrease	the same
total resistance	A2, C	A1, B	
total current	A1, B	A2, C	
current flowing through a bulb	A1, B		A2, C
current flowing through a resistance		A, B, C	
voltage given at a bulb	A, B, C		
voltage given at a resistance	A, B, C		
voltage of two ends of battery	A, B, C		

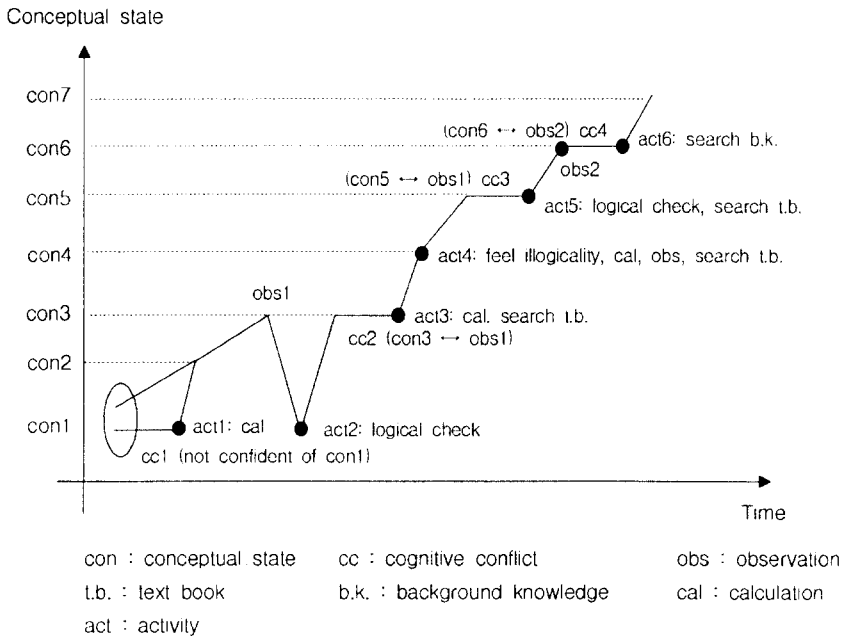


Fig. 2. The process of student(A)'s change of conception

- 감소)에 대해 갈등
- A3: (act 1) 수학적인 계산으로 합성저항 확인(전체저항 증가)
- A4: (con 2) 저항이 커지면 전체저항 증가
- A5: (con 3) 저항이 커진 곳에만 전류가 적게 흐른다. 전압은 일정하고 전구에는 전류가 똑같이 흐르므로 (저항이 커도) 전구밝기는 일정하다.
- A6: (obs 1) 4.7Ω보다 47Ω일 때 전구가 밝아짐
- A7: (con 1) obs1을 보고 다시 con1(저항을 크게 하면 전구가 밝아짐)로 회귀
- A8: (act 2) 논리적인 점검
- A9: (con 3) 논리적인 점검에 따라 con3(전구밝기 일정)으로 되돌아감
- A10: (cc 2) con3(전구 밝기 일정)과 obs 1(4.7Ω보다 47Ω일 때 밝아짐)과의 갈등
- A11: (act 3) 계산으로 점검, 새로운 설명이론의 필요성을 인식하고, 교과서를 탐색
- A12: (con 4) 전체저항이 증가하면 (전지내부) 전압강하가 일어나고, 단자전압이 줄어들어 전류가 증가. 따라서 (저항이 커지면) 전구가 밝아짐
- A13: (act 4) con4에 대한 비논리적 인식, 계산, 관찰1을 다시 관찰, 교과서 탐색

- A14: (con 5) 전체저항이 증가하면 전압강하가 일어나고, 단자전압이 줄어들어 전류가 감소
- A15: (cc 3) con5 (전체전류 감소)와 obs1(전구가 밝아짐)과의 갈등
- A16: (act 5) 자신의 설명이론을 논리적으로 검토, 교과서 탐색
- A17: (con 6) 전체저항이 커지면 전체전류가 감소, 전압강하가 줄어들고 단자전압이 증가, 전구에 걸린 전압 증가. 전구저항을 일정하므로 전구에 흐르는 전류 증가 전구가 밝아짐
- A18: 470Ω일 때와 4.7kΩ일 때 전구 밝기 같음
- A19: (cc 4) con6(전구 밝아짐)과 obs2(47kΩ과 470kΩ일 때 전구밝기 일정)와의 갈등
- A20: (act 6) 자신의 배경지식 탐색
- A21: (con 7) 470Ω과 4.7kΩ일 때에는 밝기의 변화가 없는 이유는, 저항이 너무 커서 그쪽에 흐르는 전류가 작으므로 별 변화를 시각적으로 많이 느끼지 못하기 때문이다.

**학생 B의 개념변화과정**

학생 B도 학생 A와 마찬가지로 전압, 전류, 그리고 저항에 대한 개념이 개념상태 2에 함께 있음을 볼 수 있다

(Fig. 3). 이들은 각각 다른 경로로 변화되어 가고 또, 다시 합쳐져서 변화경로가 같아지기도 한다.

이 학생의 개념상태 변화를 요약하면 다음과 같다: 처음에 병렬연결한 저항이 커지면 전체저항이 작아져서 전구가 밝아진다고 했다가(B1:con1), 다시 전체저항이 커진다고 생각을 바꾸고(B12:con3), 그러면 전체전류가 작아져서  $V=E-Ir$ 에 의해 단자전압이 증가한다고 한 후(B16:con5), 전체전류가 증가하므로 전구가 밝아진다고 하였다(B18:con5).

학생 B(Fig. 2)의 개념변화과정을 자세하게 요약하면 다음과 같다.

B1: (con1) 전체저항 작아지고, 전체전류 커지고, 저항에 흐르는 전류는 작아지고, 전구에 흐르는 전류는 증가. 모든 전압은 일정. 따라서 전구 밝아진다.

B2: (obs1) 47kΩ 과 470kΩ 일 때 전구밝기 일정

B3: (con2) 저항이 전구저항에 비해 너무 크면 저항에 흐르는 전류가 너무 작아 저항변화해도 전류변화 거의 없다. 단자전압은 일정하므로 전구밝기 일정하다. 저항이 전구 저항에 비해 너무 크지 않은 경우라면 con1과 같다.

B4: (obs2) 4.7Ω 보다 47Ω 일 때 전구 밝아짐

B5: (act1) 건전지 단자전압 측정결과, 47Ω 단자전압이 증가

B6: (cc1) con2(단자전압 일정)과 act1(단자전압 감소 측정)과의 갈등

〈cc1을 해소하지 못한 채 B7로 이동, B14 이후 다시

cc1 해소를 위해 B15로 계속함)

B7: (act2) 전체 전류 측정결과, 전체전류 감소

B8: (cc2) con1(전체전류 증가)과 act2(전체전류 감소 측정)와의 갈등

〈cc2를 해소하지 못한 채 B9로 이동〉

B9: (act3) 전체저항 측정결과, 전체저항 일정(약간의 차이를 오차로 간주하여 잘못된 결론을 이끌어 냄)

B10: (cc3) con1(전체저항 감소)과 act3(전체저항 일정 측정)와의 갈등

B11: (act4) 저항의 병렬 연결에 대한 교과서 탐색, 계산으로 확인

B12: (con3) 병렬연결한 저항이 커지면 전체저항 증가. 따라서 전체 전류 감소.

B13: (cc4) con3(전체저항 증가)과 act3(전체저항 일정)와의 갈등

B14: (act5) 합성저항 재측정하여 측정결과, 전체저항 증가 (앞선 act3에서 오차라고 생각했던 부분이 잘못이라고 판단) 〈이 상태에서 저항에 대한 생각은 더 이상 변화없음〉

〈cc1을 해소하기 위해 B7에 이어서 계속됨〉

B15: (act6) 건전지 내부저항에 대한 교과서 내용 탐색

B16: (con4) 전체저항이 커지면 전체전류가 작아져서  $v=E-Ir$ 에서 V(단자전압)가 증가

B17: (act7) 설문지에서 질문하는 내용들을 다시 점검하면서 자신의 생각을 점검

B18: (con5) 단자전압이 증가해서 전체전류가 증가해서

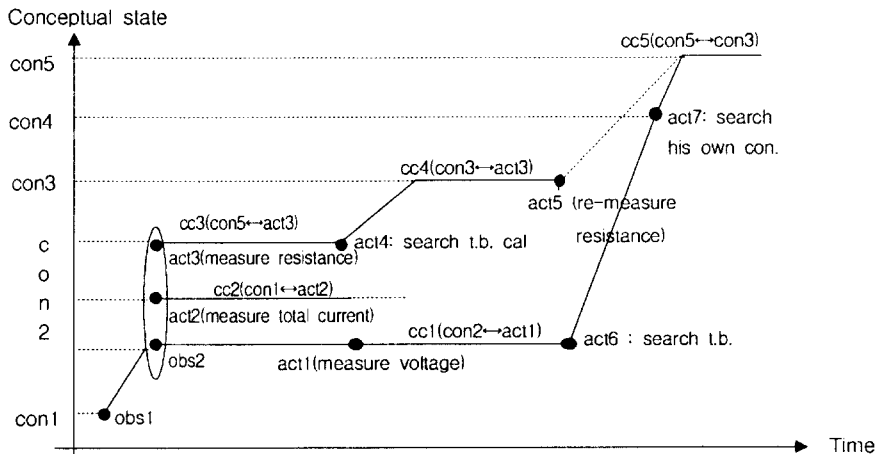


Fig. 3. The process of student(B)'s change of conception

전구가 밝아진다. 그러나 저항에 흐르는 전류는 감소.

B19: (cc5) con5(전체전류 증가)와 con3(전체저항이 증가해서 전체전류 감소)과 갈등

**<cc6을 해결하지 못함>**

**학생 C의 개념변화과정**

학생 C는 비교적 단계적으로 단순한 형태의 변화를 보였다(Fig. 4). 이 학생의 개념상태 변화를 요약하면, 처음에는 계속 갈등이 유지되면서 개념이 변화되지 않다가(저항을 크게 하면, 전압과 전류, 저항값이 함께 변화하기 때문에 문제를 해결하지 못함), 전압이 일정하다고 하고 생각을 바꾼 후(C7:con2), 다시 전압이 작아진다고 생각을 바꾸고(C10:con3), 전류가 일정하다고 가정하고 설명한 후에(C12:con4), 다시 저항이 커지면 전체전류가 감소한다고 생각을 바꾸는 식(C14:con5)으로 개념을 변화시켰다.

학생 C(그림4)의 자세한 개념변화과정을 제시하면 다음과 같다.

- C1: (con1) 전체저항 증가, 전압은 일정, 저항에 흐르는 전류 감소, 전구에 흐르는 전류는 일정하므로 밝기가 그대로이다.
- C2: (obs1) 4.7Ω보다 47Ω일 때 전구가 더 밝아짐
- C3: (cc1) con1(전구 밝기 일정)과 obs1(저항 클 때 전구 더 밝음)과의 갈등
- C4: (act1) 전구 양단의 전압 측정, 측정결과 47Ω일 때 (단자)전압 더 높음

- C5: (cc2) con1(전압 일정)과 act1(47Ω일 때 전압 더 높음)과의 갈등
- C6: (act2) 전류측정, 측정결과 저항 클 때 전체전류가 더 작고, 저항에 흐르는 전류 더 작고, 전구에 흐르는 전류는 더 큼
- C6: (act3) 전체 전류=저항에 흐르는 전류+전구에 흐르는 전류의 관계가 만족되는지 확인
- C7: (con2) 전구의 밝기는  $P=VI$ 이므로, 전압이 일정해도(con1에 의해) 저항 클 때 전구에 흐르는 전류가 증가했으므로(act22에 의해) 전구가 밝아진다.
- C8: (cc2) con2(전압 일정)과 act1(47Ω일 때 전압 더 높음 측정)과의 갈등, cc1과 같은 내용
- C9: (act4) 교과서 탐색, 탐색결과 전류가 흐르면 단자 전압이 기전력보다 작아짐.
- C10: (con3)  $V=\epsilon-Ir$ 에서 저항이 크면 전류가 작아지므로 V가 커진다. (cc2 해소함)
- C11: (act5) 전구에 걸리는 전압과 전구에 흐르는 전류를 재측정
- C12: (con4) 전류의 양이 비슷하다고 하면, 저항이 클 때 전압이 크므로 전구가 밝아짐
- C13: (act5) 전류의 양 재측정
- C14: (con5)  $P=IV$ 에 의해, 저항 커지면 전체저항 커지므로 전체전류 작아지면 에 의해 전압증가하고 (con3), 전구 저항은 일정한데 전압 증가했으므로 전구에 흐르는 전류 증가해서 전구 밝아짐
- C15: (act6) 전체전류가 감소했는데, 전구에 흐르는 전류가 증가할 수 있는지에 대해 질문

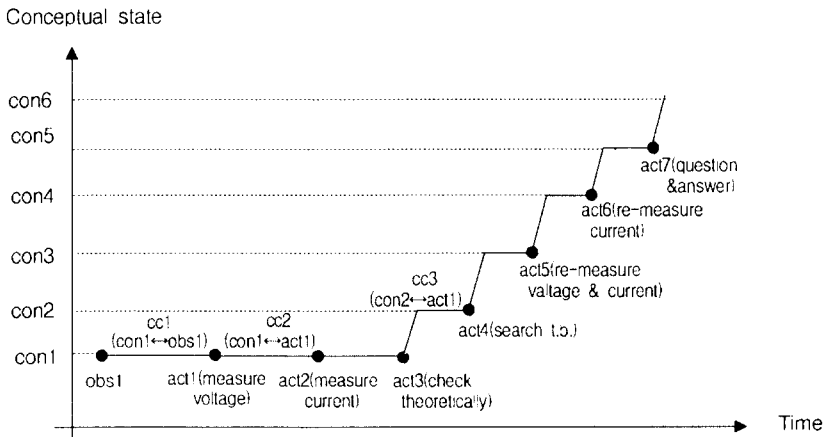


Fig. 4. The process of student(C)'s change of conception

C16: (con6) 그리고, 전체전류가 감소했는데 전구에 흐르는 전류가 증가했으므로(con5), 전구에서 전류 증가율보다 저항에서 전류감소율이 더 크다.

(학생의 개인적인 사정으로 obs2를 시행하지 못하고 면담이 중단)

### 학생 개념변화과정에서 관찰된 주요 특징들

3 학생의 개념변화 과정에 대한 분석을 통해 개념변화 과정에서 나타난 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 여러 번의 갈등과 여러 단계의 개념상태를 거치면서 개념이 변화해 나갔다(학생 A,B,C).

둘째, 개념상태가 여러 개의 개념들이 서로 연관되어 형성되어 있으며, 변화과정도 하나의 길을 따르지 않고 여러 길을 따라 다중적으로 변화하는 경우가 있다(학생 A,B)

셋째, 중간에 다시 원래 개념으로 회귀하는 경우를 관찰할 수 있다. (A7)

넷째, 갈등에는 개념과 현상(관찰이나 측정)과의 갈등(A10, B6 등)이나 개념과 개념과의 갈등(A3, B19 등) 이외에도 자신의 개념에 대해 확신이 서지 않아 자신의 개념이 분명하지 갈등하는 경우(A2)도 관찰할 수 있었다.

다섯째, 갈등을 해결하기 위해 여러 가지 접근법들이 사용되었다. 즉, 수학적으로 접근하거나(A3), 새로운 설명 이론을 교과서에서 찾아보거나(B15), 자신의 설명이론의 논리적 단계를 검토하거나(A16), 자신의 배경지식을 탐색(A20)하거나, 직접 실험적으로 측정하여(C6) 해결하고자 하였다.

여섯째, 현상과 일치시키기 위해 비논리성을 인식하지 못하고 잘못된 설명이론을 제시하였으나 비논리성을 인식하고 논리적으로 재구성하기도 하였다(A12).

일곱째, 자신의 원래 개념과 불일치하는 관찰에서, 자신의 이론과 비교적 가까운 쪽으로 이론의존적 관찰을 하는 경우가 있었다(B10).

### 세련화와 정교화를 통한 개념변화 과정

3학생의 개념변화과정에 대한 분석으로부터 개념의 점진적 세련화와 정교화의 과정이라고 볼 수 있었던 사례는 다음과 같았다.

첫째, 기존의 개념이 점차 세밀해져 가는 과정을 볼 수

있었다. 예를 들면, 전체저항이 증가하면 전체전류가 감소한다고 했고, 단자전압이 증가하여 전구에 흐르는 전류가 증가한다고 하였다가, 이 두 설명이 어떻게 조화로운지에 대해 생각하면서, 전체전류가 감소했으므로 전구에 흐르는 전류의 증가율이 저항에 흐르는 전류의 증가율보다 작다고 세분화된 설명을 제시하였다(C16→C17).

둘째, 상황에 따라 개념이 구분되어 가는 과정을 볼 수 있었다. 예를 들어, 4.7Ω과 47Ω의 경우에는 저항이 크면 전구가 밝아진다는 생각을 하였지만, 470Ω과 4.7kΩ인 경우에는 저항값이 너무 커서 저항의 변화에 따른 밝기의 변화가 없다는 생각으로 두 경우에서 저항의 크기 정도에 따라 설명방식을 구분하였다(학생 A, B).

셋째, 실험 데이터에 의한 설명이 이론적으로 다시 설명되어 가는 과정을 볼 수 있었다. 예를 들면, 측정에 의해 전구에 흐르는 전류가 일정하다는 원래 생각을 바꾼 후(전구에 흐르는 전류 증가)에 이론적인 관계식( $V = \epsilon - Ir$ )을 이용해 왜 그런 측정결과가 나오게 되었는지를 설명하게 되었다(C6→C8→C15).

넷째, 처음에는 부정합적인 설명구조를 가지고 있다가 점차로 정합적인 설명구조로 갖추어져 가는 과정을 볼 수 있었다. 예를 들어, 처음에는 단자전압이 줄어들었는데 전류가 증가한다고 비논리적인 설명을 시도하다가 논리적인 점점을 통해 단자전압이 줄어들면 전류가 감소한다고 논리적으로 설명을 수정하였다(A12→A13→A14). 또 전지내부에서 전압강하가 일어나면 단자전압이 줄어든다고 설명하다가, 논리적으로 검토하여 단자전압이 증가한다고 논리적인 설명으로 수정하였다(A14→A16→A17).

다섯째, 초기의 이상화된 모델에서 무시되었던 조건들이 다시 고려되어 가는 과정을 볼 수 있었다. 예를 들면, 처음에는 건전지의 내부저항의 영향을 무시하여 단자전압의 변화를 고려하지 않다가 나중에 고려하게 되었다(학생 A, B, C).

여섯째, 초기의 정성적인 설명이 수식에 의한 정량적인 설명으로 변화한 경우를 볼 수 있었다. 예를 들면, 합성저항에 대해서 정성적인 설명을 하였다가, 수식을 통해 정량적인 설명으로 변화하였다(A1→A3→A4, B1→B11).

## IV. 요약 및 결론

앞선 연구에서 박종원(2002)은 학습 심리학적 관점과 과학사적 사례로부터 과학개념이 점진적으로 세련되고



정교화되어 가는 과정으로 변화해 나간다고 논의하였다. 본 연구는 앞서 이론적으로 논의했던 점진적인 세련화와 정교화의 과정을 통한 개념변화과정이 실제 학생에게는 어떻게 나타나는지를 분석하였다. 이를 위해 대학생 3명을 대상으로 하나의 주제에 대해서 비교적 긴 시간에 걸쳐 면담을 실시하여 시간에 따른 개념의 미시적인 변화과정을 분석하였다.

분석결과, 점진적인 세련화와 정교화의 과정을 통해 개념이 변화한 경우로 다음 6가지 유형이 관찰되었다: 기존의 개념이 점차로 세밀해져 가는 과정, 상황에 따라 개념이 구분되어 가는 과정, 실험 데이터에 의한 설명이 이론적으로 재설명되는 과정, 처음의 부정합적인 설명구조가 정합적인 설명구조로 변화되는 과정, 초기의 이상화된 모델에서 무시되었던 조건들이 다시 고려되어 가는 과정, 정성적인 설명이 정량적인 설명으로 변화되는 과정.

그리고, 개념변화과정에 대한 미시적인 분석을 통해 관찰된 흥미로운 특징들을 다음과 같았다: 여러 번의 갈등과 여러 단계의 개념상태를 거치면서 개념이 변화해 나갔고, 개념상태가 여러 개의 개념들이 서로 연관되어 형성되어 있으며, 변화과정도 하나의 길을 따르지 않고 여러 길을 따라 다중적으로 변화하는 경우가 있었다. 그리고 중간에 다시 원래 개념으로 회귀하는 경우도 있었고 갈등에는 개념과 현상과의 갈등이나 개념과 개념과의 갈등 이외에도 자신의 개념에 대해 확신이 서지 않아 자신의 개념이 분명하지 갈등하는 경우가 있었으며, 갈등을 해결하기 위해 여러 가지 접근법들이 사용되었다. 또 자신이 원래 개념과 불일치하는 관찰에서, 자신의 이론과 비교적 가까운 쪽으로 이론의존적 관찰을 하는 경우도 있었다.

이러한 학생 개념의 미시적인 변화과정에 대한 분석과 논의는 학생의 개념변화과정의 특성과 본성을 이해하는데 여러 측면에서 도움을 줄 수 있다고 생각된다. 한가지 지적할 점은, 학생의 이러한 개념변화과정에 대한 분석결과가 내용이나 대상에 따라 다를 수 있다는 점이다. 따라서, 앞으로의 연구에서 내용이나 대상에 따라 개념변화과정의 다른 유형이 발견된다면, 개념변화과정의 특성이 내용이나 대상에 따라 어떻게 달라질 수 있는지에 대한 논의도 확장될 수 있다고 본다.

## 국문 요약

본 연구는 과학 개념변화과정을 미시적으로 보면, 점진

적인 세련화와 정교화의 과정을 거친다는 이론적 논의에 기초하고 있다. 본 연구에서는 실제 대학생의 과학 개념 변화과정을 분석하여 개념변화과정에서의 주요 특징을 찾아내어 다음과 같은 점진적인 세련화와 정교화의 과정으로 볼 수 있는 측면들을 찾아내었다: 기존의 개념이 점차로 세밀해져 가는 과정, 상황에 따라 개념이 구분되어 가는 과정, 실험 데이터에 의한 설명이 이론적으로 재설명되는 과정, 처음의 부정합적인 설명구조가 정합적인 설명구조로 변화되는 과정, 초기의 이상화된 모델에서 무시되었던 조건들이 다시 고려되어 가는 과정, 정성적인 설명이 정량적인 설명으로 변화되는 과정. 본 연구결과는 학생의 개념변화과정에 대한 보다 깊은 이해로 이끌 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- 박종원(2002). 학생개념체계의 연속적 세련화와 정교화를 통한 개념변화 분석 - 이론적 논의를 중심으로 - 한국과학교육학회지, 22(2), 357-377.
- 박병소 옮김(1994). X-선에서 쿼크까지: 현대 물리학자들과 그들의 발견. 기린원. (에미리오 & 세그레 지음. 1980).
- Caravita, S., & Hallden, O.(1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- diSessa, A.(1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2/3), 105-225.
- Holton, G., & Brush, S. G.(1973). *Introduction to concepts and theories in physical science (2nd ed.)*. London: Addison-Wesley Publishing Company.
- Lakatos, I.(1978). *The methodology of scientific research programmes* (edited by J. Worrall & G. Currie). New York: Cambridge University Press.
- Langley, P., Simon, H. A., Bradshaw, G. L., & Zytkow, J. M.(1987). *Scientific discovery: computational explorations of the creative processes*. London: The MIT Press.
- Limon, M.(2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A

- critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Linder, C.(1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77(3), 293-300.
- Niaz, M.(1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation. *Science Education*, 79, 19-36.
- Park, J., Kim, I., Kim, M., & Lee, M.(2001). Analysis of the students' processes of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1219-1236.
- Park, J., & Kim, I.(1998). Analysis of students' reponses to contradictory results obtained by simple observation or controlling variables. *Research in Science Education*, 28(3), 365-376.
- Posner, G. J., Strike, K.A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A.(1982). Accommodation of a scientific conceptions: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Shipstone, D.(1989). Electricity in simple circuits. in R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp.33-51). Milton Keynes: Open University Press.
- Tytler, R.(1998). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20(8), 929-958.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E.(2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.