

## 과학 교실에서 ‘과학을 한다(Doing science)’는 것은 무엇을 의미하는가?

최 승 언\*

### 1. 서 론

사범대학은 부설 초·중·고를 이용하여 학부 학생들에게 2학년과 4학년에서 탐방 실습과 교생 실습을 제공하고 있다. 교생 실습 기간 중에 교생을 대표하는 학생은 그 교과를 대표하는 대표 수업을 행하게 되고, 사범대학 교수인 나는 항상 그 대표 수업을 참관하며, 수업 후, 대표 수업과 관련된 여러 논의를 가진다. 기억에 남는 대표 수업이 하나가 있어 소개를 한다. 그 대표 수업은 중2 과학 실험 교실에서 이루어 졌으며, 과학 내용은 전기분해와 관련된 것이었다. 대표 수업을 주관하는 교생은 학생들을 위하여 탐구 활동 보고서를 사전에 제작하여 학생들에게 나누어주었으며, 학생들에게는 실험대위에 마련된 준비물들을 가지고 전기 분해 실험을 행한 후, 보고서에 있는 여러 문제들의 답을 작성하도록 하였다.

중등 과학 교실에 관심을 가지고 있었던 나는 관심을 가지고 그 수업을 면밀히 검토하기 시작하였다. 왜냐하면 대표 교생의 수업은 지금의 중등 과학 교실에서 이루어지고 있는 수업의 최상은 아닐 지라도 그와 유사하거나 양질의 과학 교수로 평가될 수 있을 것이라는 기대감 때문이었다. 우선 탐구 활동 보고서를 참고하면서 몇 가지의 의문점이 발생하였다. 그 중 준비물과 관련된 몇 가지 의문을 나열해 보면,

- 1) 준비물들이 보고서에 나열되어 있는데 이러한 준비물들을 교사가 준비하여야 하는가? 아니면 학생들이 준비할 수 있도록 교사가 지도하여야 하는가?
- 2) 준비물 중에는 5% 염화구리 수용액 150 ml 가 있었는데, 5% 수용액이 아니고, 3%수용액이면 전기분해 실험을 할 수 없는가? 또한 5% 염화구리 수용액은 어떻게 만드는가?
- 3) 준비물 중 탄소막대 2개가 있었는데, 만약 탄소막대가 실험실에 준비가 되어 있지 않다면 다른 대체가 어떤 것인가? 탄소막대 없이는 실험이 불가능한가?
- 4) 준비물 중에는 여러 가지가 있었는데 그 것들은 본 실험에서 어떤 기능들을 하기에 필요한 것인가?

---

\* 서울대학교 사범대학 지구과학교육과

등이었다. 이러한 의문과 함께 나는 본 실험을 수행하면서 과학을 학습하는 학생들이 과학과 관련된 많은 부분을 놓치고 있다고 생각되었다.

또한 실험 중에 대표 교생은 학생들에게 탄소 막대를 바꾸어 실험을 하라고 지시를 하면서 학생들에게 탄소 막대를 바꾸기 전에 탄소 막대를 잘 씻도록 지시하였다. 나는 호기심이 생겨 실험을 행하고 있는 한 학생에게 질문을 하였다. “왜 탄소 막대를 씻나요?” 학생의 대답은 “선생님께서 씻으라고 하잖아요.”였다. 또 그 옆의 학생은 “아마 막대가 이상한가 봐요.”라고 대답하였다. 학생들은 선생님의 지시에 의하여 실험을 행하고 있었지 학생 자신의 문제 혹은 호기심에 의하여 설정된 실험을 행하고 있었던 것이 아니었다.

실험 중에 염화구리 수용액의 농도 변화를 관찰하기 위해, 전기분해를 행했던 염화구리 수용액과 행하기 전의 염화구리 수용액의 색깔 변화를 관찰하게 하였다. 학생들은 두 수용액의 색깔 변화를 감지 할 수 없었고, 나도 변화를 감지 할 수 없었음에도 불구하고, 선생님인 대표 교생은 그 색깔이 변하였다고 주장하였고, 학생들은 선생님의 강요에 의해(?) 그 것을 받아 들여야만 했다. 또한 학생들이 실험을 실시하면서 보고서의 문제에 대한 답을 작성함에 있어서 실험을 통해 얻어낸 결과를 기록하는 것이 아니라, 교과서에 있는 내용을 참고로 하여 답을 작성하고 있었다. 이렇듯 과학 교실에서조차 교사는 학생들에게 지식과 관련된 여러 내용들을 강요하고, 학생들은 무비판적으로 받아들이고 있다. 학생들은 과학 교실에서 과학을 즐긴 것이 아니라 과학의 여러 단편적 내용지식들을 기억하도록 강요받고 있다는 것이다.

그렇다면 과학 교실에서 “과학을 한다(doing science)”는 것은 무엇을 의미하는가? 그렇다면 과학 활동을 실제로 하는 과학자는 누구이며, 그들의 행동 특성은 과학교실의 학생들의 그것과 어떻게 다른가?

## 2. 과학자는 누구인가?

과학자가 누구인가를 정의하는 것은 쉬운 것이 아니기에 아래의 두 장의 그림을 갖고 과학자들이 하는 과학 활동의 예를 설명해 보려한다. 아래의 그림1은 Van Gogh가 그린 ‘Starry Night’이라고 제목이 부쳐진 회화이다. Van Gogh는 어느 날 자연상태의 밤하늘을 바라보고 받은 인상(impression)을 그림1과 같이 표현하였다. 이 그림은 자연에서 받은 인상을 감성적으로 표현하였기에 달과 별, 구름, 대기 운동 등이 표현되어 있어도 우리는 그가 자연을 과학적으로 표현하였다고 이야기하지 않는다.



그림 1 Van Gogh의 Starry Night



그림 2 허블 우주 망원경의 먼 우주 관측

그러나 그림 2는 그림 1과 다르다. 그림 2는 천문을 연구하는 과학자의 요구에 의하여 허블 우주 망원경을 이용하여 자연인 우주의 먼 영역까지를 관측한 것이다. 과학자인 천문학자가 촬영한 그림 2는 적어도 가시광선 파장대로 보여주는 우주의 한 부분을 그대로 우주가 제공한 것을 우리가 보고 있는 것이며, 그로부터 천문학자는 가시광선 파장대로 보여주는 우주의 모습을 있는 그대로 묘사하게 되고, 그로부터 찾을 수 있는 우주의 모습을 이해하게 된다. 또한 그림 2는 보통의 사진과는 달리 우주가 우주의 역사 속에서 겪었던 모든 모습들을 담고 있다. 즉 우주의 과거 및 현재의 모습이 시간대 별로 그림 2에 기록되어 있으며, 우주에서 지구 가까이 위치한 영역과 아주 먼 영역의 모습을 한꺼번에 보여 줌으로써, 우주의 역사에 대한 연구를 가능하게 한다.

즉 과학자는 자연이 보여주고 있는 그 모습을 있는 그대로 묘사하여 일정한 규칙을 찾아내고, 그 규칙을 보다 정교하게 만들어 나가며, 자연이 보여주는 새로운 모습에 도전하면서 자연을 이해하는 과학 활동을 하면서 과학 문화를 형성해 나간다. 그렇다면 과학자들이 행하는 과학이란 무엇인가?

### 3. 과학이란 무엇인가?

과학이란 무엇인가를 정의하는 것도 과학자는 누구인가를 정의하는 것만큼이나 어려운 것이며, 과학철학자들 사이에도 이에 대한 합의를 이루지는 못하였다. 그렇다면 과학을 무리하게 정의하기보다는 과학 활동의 여러 요소(과학의 본성)들을 대략 열거하여 이들을 과학 교육의 본질적 문제에 반영하는 것이 오히려 가치 있는 일이라 여겨진다 (Harding & Hare, 2000).

Abd-El-Khalick 와 Lederman(2000)은 과학의 본성과 관련된 여러 요소들을 나열하고, 그들 사이의 관계를 그림 3과 같이 표현하였다. 그림 3에는 적어도 과학을 정의할 수 있는 대부분의 요소들이 포함되어 있다. 이 그림 3을 갖고 과학을 정의하여 보면 과학이란,

1) 일련의 질문들(Set of problems and/or question)이다.

이러한 질문이나 문제로부터 출발하여 새로운 이론을 만들어 내게된다. 이러한 질문들과 문제는 해당되는 과학자가 어떻게 교육 혹은 훈련을 받았는지에 따라, 또는 과학을 행하는 과학자 사회의 맥락에 따라 달라질 수 있다.

2) 지식체(Body of knowledge)이다.

과학의 지식은 대부분 이론과 법칙들로 이루어져 있는데, 이들은 신뢰 가능 해야 하고, 타당해야한다. 그러나 여러 가지 실험 및 관측들의 결과에 의해 바뀔 가능성이 있으므로 절대적인 것이 아니라 잠정적이며 오류가능한 것이다.

3) 지식을 만들어 가는 방법(Way of knowing)이다

지식을 만들어 가는데는 창의적이며, 때로는 상상력을 동반하고, 논리 추론적이어야 한다. 그러나 자연이 우리에게 어떠한 일정한 규칙성을 드러내고 있다는 가정이나 믿음은 가지고 있어야 한다.

4) 일련의 과정이나 방법(A set of processes and methods)

단 하나의 과학적 방법이란 있을 수 없으며, 과학 기구나 기술을 이용하여 자연을 관찰하거나 관측하고, 통제된 상태의 실험실에서 실험을 행하여 과학적인 결과를 얻는다.

5) 사회 속의 인간 활동(A human enterprise)이다.

과학활동의 결과는 인간의 사회 생활에 직·간접적으로 영향을 주며, 사회의 여러 활동이나 정책들도 과학자들의 과학 활동에 영향을 준다.

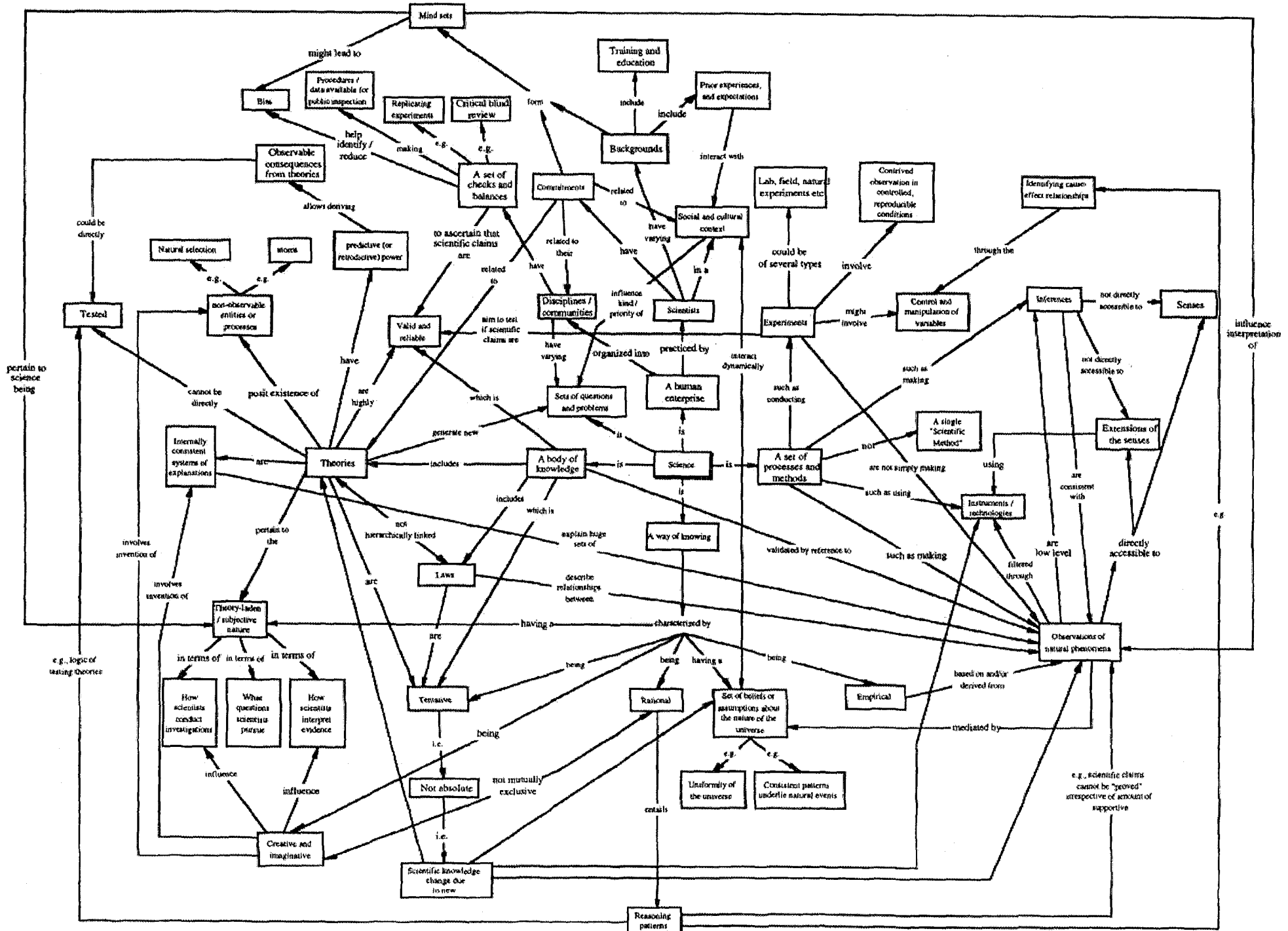


그림 3 과학의 본성을 정의하는 요소들과 그들 사이의 관계(Abd-El-Khalick & Lederman(2000)에서 채택)

자연을 알기를 원하는 과학자들은 그들의 연구실이나, 실험실, 혹은 과학자 사회인 과학 학회를 통하여 위에 언급한 과학의 본성에 입각한 과학 활동을 하게 된다. 그렇다면 과학 교실에서 학생들이 과학을 학습했다고 한다면, 학생들도 이러한 과학의 본성과 관련된 요소들을 과학 교실 수업을 통하여 경험할 수 있어야 할 것이다.

#### 4. 과학 이론의 발전과 학생의 개념 변화

##### (1) 과학이론의 발전

우주를 이해하려는 인간의 시도는 기원전부터 시작된 것으로, 우주에서의 행성의 관측은 그 때부터 시작되었고, 그 관측기록이 전해져 내려오고 있다. 그러나 우주의 모형에 대한 과학적인 이론은 그리스 시대부터 시작하게 된다. 행성의 운동을 잘 설명해 주는 이론으로 지구를 우주의 중심에 두는 천동설과 태양을 우주의 중심에 두고 지구를 움직이는 지동설이 그 것이다. 그러나 지구 위에서 관측되는 여러 물리 현상을 지동설로는 설명할 수 없었기에 천동설은 거의 1,500년 이상을 행성의 운동을 설명하는 이론으로 자리를 굳히게 되었다. 더구나 천동설을 더 정교하게 발전시키는 주전원의 도입은 행성의 역행 현상을 설명할 뿐 아니라 행성이 언제 하늘의 어느 곳에서 관측될 것이라는 예측도 가능하게 해 주기에 더 말할 나위도 없다.

이렇게 완벽한 이론도 관측 기구의 발달과 관측의 정교화(예, 갈릴레이의 망원경과 그의 여러 관측들)를 통하여 그 이론의 절대성에 대한 의심을 받게 되었다. 더구나 지동설은 그 이론 자체가 간단하고, 심미적이며(Copernicus의 지동설 모델) 더 많은 관측 사실들(Tycho Brahe의 관측)을 설명하게 하였다. 더구나 Tycho Brahe의 관측 자료로부터 얻어진 Kepler의 법칙은 지동설을 더 정교하게 하였으며, Newton의 운동 법칙에 의한 고전 물리 이론은 완벽하게 Kepler의 법칙을 증명하게 되었다. 과학 사회에서는 더 이상 천동설이 설 자리는 없어지고, 지동설이 과학적인 이론으로 그 자리를 대신하게 된다. 이를 Thomas Kuhn은 '과학 혁명'이라고 부르고 있다.

그렇다고 지동설이 우주를 설명하는 이론으로 절대적인가? 지동설은 겨우 태양을 중심으로 하는 태양계 내의 천체들의 운행에 대한 하나의 이론체계일 뿐이다. 왜냐하면 우리는 이제 태양이 우주의 중심이 아니요, 우리 은하(혹은 은하수)의 원반 어느 한 가장자리에 위치해 있다는 것을 알고 있다. 이렇듯 관측되는 우주의 한계가 멀어 질수록 우주에 대한 이론은 보다 정교화 되어 가고 있다. 현 우주에 대한 이론은 1990년까지만 해도 빅뱅 우주론으로 믿고 있었지만 그 이론의 여러 모순들을 수정한 초팽창 우주론을 첨가하여 지금을 이 이론을 과학자 사회에서 받아들이고 있다. 미래에는 이 이론들이 어떻게 변할 수 있을지 궁금하다. 그러나 우리가 여기서 간과하지 말아야 할 것은 잘못

된, 즉, 근본적으로 오류가 발견된 이론은 결과적으로 과학자 사회에서 기각되지만, 과학적 이론은 상황이 바뀌어도 계속 유지되며, 기존 이론의 골격을 유지하면서 계속 그 내용이 심화 내지 정교하게 발전되어 간다. 또한 앞서 언급하였듯이 과학자들은 끊임없이 자연을 이해하기 위하여 실험과 관찰 및 관측의 결과를 설명하는 이론을 만들어 간다(Kuhn, 1970).

## (2) 학생의 개념 발전

학생이 교실에서 학습과정에 경험하게 되는 개념변화의 과정도 과학 이론이 변화 발전하는 양상과 거의 같을 것이다. 학생이 학습하기 전에 가질 수 있는 여러 개념들은 대체개념(혹은 오개념)일 수도 있고, 과학적인 개념일 수도 있다. 이러한 개념들은 학생들의 일상 생활 속에서 경험과 자신들이 임의로 찾은 어떤 규칙성에 의하여 형성된 것이다(Driver & Oldham, 1986). 학습전의 개념을 가지고 학생들은 자신에게 임한 여러 문제들을 쉽게 해결 나가기에 아무런 무리가 없다. 그러한 개념은 무리 없이 그대로 유지 할 수 있다. 그러나 교실에서의 학습을 통하여 학생들은 이전에 경험하지 못했던 여러 관측 결과나 주변 학생들과 교사의 수업을 통하여 학습 전의 개념에 문제상황이 생기는 갈등 상태에 빠지게 된다. 그렇게 되면 학생은 학습전의 개념을 새로운 개념으로 변화시켜야 교실에서 발생하는 갈등이나 문제상황이 해소되게 된다. 이는 마치 위의 과학 이론의 발전에서 천동설이 지동설로 변화하는 과정과 비슷하다(Toulmin, 1972).

학습 과정 중에 생기는 새로운 개념이 과학적인 개념이 아닌 대체 개념일 경우에도, 과학 문화를 대표하는 교사와의 의견 교환 및 대화, 그리고 동료 학생들과의 대화를 통하여 과학적 개념으로 바꿀 수 있는 기회와 자극이 주어져야 함으로, 이러한 토론의 기회가 학습에 이용되어야 할 것이다. 또한 학습 후에 형성된 과학적 개념은 더 많은 실험, 관찰 및 관측 결과와 함께 정교화 되어져야 한다. 이러한 일련의 과정은 마치 과학자가 과학 활동을 하면서 이론을 확립해 나가는 과정과 매우 흡사하다.

## 5. 과학 교실에서 “과학을 한다(Doing science)”는 것은?

그렇다면 “과학 교실에서 ‘과학을 한다’는 것이 무엇인가?” 라는 질문에 이제 나름대로 답을 할 수 있게 되었다. 과학자들이 연구실 혹은 실험실 등에서 과학 활동을 하면서 이론을 만들어 가듯이, 학생들은 과학 교실에서 과학적 개념이 내재된 사고 모델을 만들어 간다면 충분히 이에 대한 대답의 하나가 될 수 있다.

예를 들면 어떤 호기심 혹은 동기에 의하여 그림 4와 같은 ‘시간에 따른’ 태양 표면 사진을 갖게 되었다. 또한 그림의 관찰에 의하여 교실에서는 ‘태양 표면 위에 위치한 까만 점인 흑점의 위치가 왜 시간에 따라 변하는가?’에 관심이 쏠리고, 문제가 제기 되었다.

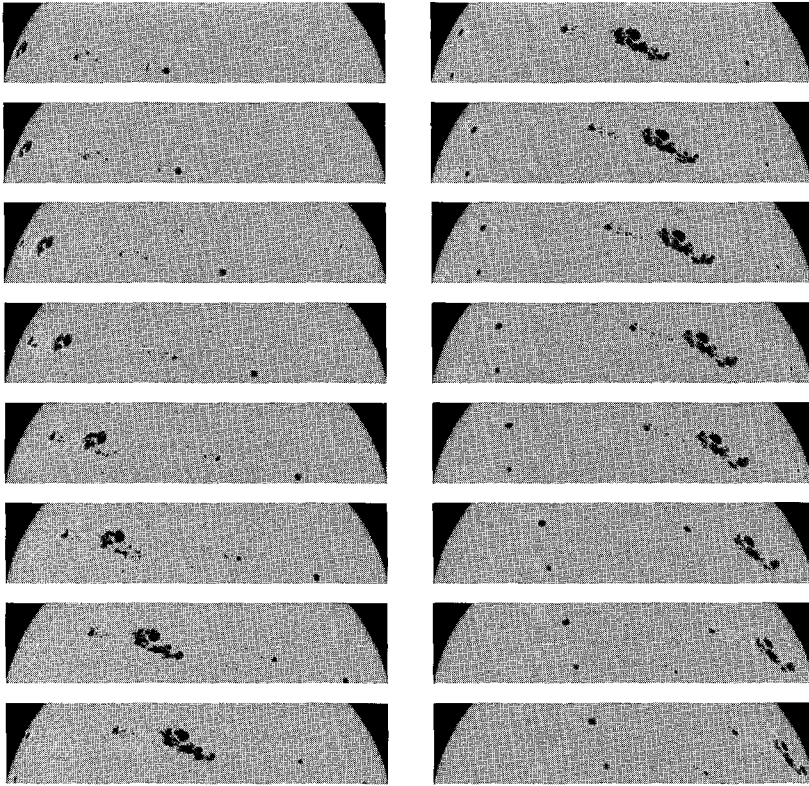


그림 4 태양 표면의 흑점 이동(하루 간격)

학생들은 처음에는 태양 표면 위의 흑점이 유체인 태양 표면에 떠 있기 때문이라고 생각하였다. 그러나 이 생각(가설)은, 태양의 흑점 이동 방향이 항상 일정한 방향이라는 관측 사실에 의하여 기각됨을 알게 된다. 그 다음으로는 태양 표면의 흑점은 표면에 고정되어 있는데 지구가 빨리 공전하여 흑점이 이동하는 것으로 생각하였다. 그러나 이 생각 역시 지구의 공전 주기가 한달 정도로 빨라야한다는 모순에 빠지게 되므로 또 기각되게 된다. 다음으로 가능한 생각으로는, 태양 자체의 자전이다. 만약 태양의 흑점이 표면에 고정되어 있고, 태양 자체가 자전한다면 위 사진과 같이 관측될 것이다. 이에 따라 학생들은 잠정적으로 태양이 자전하여 흑점이 이동한다는 결론을 얻게되고 태양 자전 모델을 설정하게 된다. 이렇게 모델이 설정된 다음에는 이 모델을 정교화 할 필요가 있다. 즉, ‘태양이 자전한다면, 자전주기는 얼마인가?’라는 질문이 제기된다. 학생은 그림 4에서 그림 하나가 하루에 해당하므로 흑점 하나가 한 끝에서 다른 한 끝까지 진행하는데 15일 걸리므로 태양의 자전은 이 값의 두 배인 30일이 됨을 추론해 낼 수 있게 된다.



이러한 과정을 거치면서 학생들이 설립한 초기의 모델은 정교화된다.

이러한 개념 모델 설정과정과 정교화 과정에서, 교과서와 참고서에 제시된 과학 사실, 이론 및 자료들은 학생들이 교실에서 과학 활동하는 방향을 제시하여 주거나, 학생들의 과학 활동으로 얻은 과학적 개념들을 기존의 자료 및 이론들에 비추어 확인하게 해주는 역할을 담당하게 된다. 즉, 학생들이 과학 교실에서의 과학 활동은 과학자들의 과학 활동과 그 맥락을 같이 하며, 학생들의 개념 변화 발전과도 그 맥락을 같이 한다.

## 6. 결 론

본 고에서는 ‘과학 교실에서 학생들이 과학을 한다는 것이 무엇을 의미하는가’를 알아보기 위해 과학 철학에서의 과학이론의 변화과정과 구성주의 학습에서 개념변화 이론에 바탕을 두고 이에 대한 해답을 얻고자 하였다. 과학교사의 실제 활동과 학생들의 교실 과학 활동을 간단히 비교해 본 결과, 학생들이 과학교실에서 과학의 본성에 충실한 과학활동을 경험하려면, 과학 교사의 역할은 아주 다양해져야 함을 알 수 있다. 과학 교사는 우선 과학 문화를 대변하는 자격으로, 과학자 사회와 그 사회에 새로이 입문하고자 하는 학생들 사이의 징검다리 역할을 할 것으로 기대되므로, 과학적 개념이 확실하고 풍부하여야 한다. 이러한 역할을 해낼 수 있는 과학교사는 과학내용 및 과학의 본성에 대한 이해의 폭과 깊이가 커야 함을 알 수 있다. 나아가, 현장 연구에 바탕을 두어 학생들이 학습과정에서 겪게 될 문제상황을 미리 파악하고, 학생들의 현재의 인지 상태를 고려한 과학교육과정과 교수·학습 모델을 개발하고, 학생들이 적극적으로 참여하는 과학 활동을 유도하고, 학습과정을 용이하게 하는 역할을 담당할 수 있는 구성주의 교사가 요구된다(최승언과 곽영순, 2001, 최승언 외 2000). 현재 우리의 과학 교육을 바로 세우는 길은 교실의 하드웨어적인 측면에서의 개선과 함께 과학교사들의 교수·학습에 관련된 신념변화(Belief change)가 무엇보다도 요구된다.

## 참 고 문 헌

- 최승언, 광영순 (2001) 모범적인 구성주의 과학 교사 연수 프로그램 개발, 서울대학교, 사범논총, 제62집, 125-147
- 최승언, 정현철, 신지은 이용중 (2000) 구성주의 교사상에 대한 인식변화: 구성주의 교수법 지향 과학교육교과목, 과학교육연구논총 25, 1, 95-106
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000) The influence of history of science courses on students' views of nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 10, 1057-1095
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Harding, P., & Hare, W (2000) Portraying science accurately in classrooms: Emphasizing open-mindedness rather than relativism. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(3), 225-236.
- Kuhn, T. S. (1970) *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Toulmin, S. (1972) *Human understanding*. Princeton: Princeton University Press.

<Abstract>

What is Doing Science in a Class?

Choe, seung-Urn\*

What is 'doing science in a class'? It is one of fundamental questions in the science education. The attention has been paid to similar contexts between the history of developing theories in science and the conceptual change in learning process. A clue has been given by the context to answer the question about 'doing science in a class.'

Guiding learner to make models with his questions can be one of possible answers we should get for the science class. Making a model proceeded by student activity in the science class is very similar to the contexts mentioned above. This study suggests that a science teacher should change his or her belief to constructivism in teaching/learning processes.

---

\* Department of Earth Science Education, College of Education, Seoul National University.