

# 과학자의 과학지식 생성 과정에 대한 심층 면담 연구

양일호 · 정진수\* · 권용주 · 정진우 · 허 명<sup>1</sup> · 오창호

한국교원대학교 · 이화여자대학교<sup>1</sup>

## An Intensive Interview Study on the Process of Scientists' Science Knowledge Generation

Yang, Il Ho · Jeong, Jin Su\* · Kwon, Yong Ju · Jeong, Jin Woo · Hur, Myoung<sup>1</sup> · Oh, Chang Ho  
Korea National University of Education · Ewha Womans University<sup>1</sup>

**Abstract:** The purpose of this study was to analyze the process of scientists' science knowledge generation by employing four creative scientists as participants. Raw protocols were collected by an intensive interview method and then analyzed by a psychological modelling procedure. The present study showed that the process of knowledge generation divided into the processes of inductive, abductive, and deductive thinking. Furthermore, the inductive process in simple and operative observation was involved in the processes of generating a question, conjecture/prediction, designing an operational method, operation, and simple observation. Also, the abductive process had two components; question generation, and hypothesis generation which consisted of analyzing questions, searching explicans, and constructing hypothesis. Finally, the deductive process involved inventing abstract test methods, inventing abstract criteria, inventing concrete test methods, inventing concrete criteria, collecting results, and evaluating hypotheses and stating conclusions.

Key words: scientist, science knowledge generation, process of knowledge generation, inductive process, abductive process, deductive process.

### I. 서 론

산업사회에서 지식기반사회로 패러다임이 변하면서, 교육의 목적도 학생들에게 지식을 전달하는 것에서 학생들이 스스로 지식을 생성할 수 있는 능력을 향상시키는 것으로 변하고 있다(강인애, 1997; 매일경제지식부와 한승희, 2000; Tosteson, 1997). 특히, 과학지식의 생성 능력이 한 개인뿐만 아니라 국가의 경쟁력과 직결되기 때문에, 학생들의 과학지식 생성력을 향상시키는 것은 과학교육의 중요한 목표 중에 하나이다.

그러면 학생들의 과학지식 생성력을 어떻게 효과적으로 향상시킬 수 있을까? 이를 위한 여러 가지 방법들 중에서 과학 실험 교육은 가장 효과적인 것 중에 하나로 인식되어 왔다(권용주, 2003c). 특히, 과학지식 생성력에 관련된 인지적, 정의적, 기능적 이유에서 과학 실험 교육의 중요성이 강조되고 있다(Lazarowitz & Tamir, 1994; Woolnough, 1994). 그러나 학교 과

학교교육 현장에서 실행되고 있는 실험 교육에 대한 평가 결과를 보면, 그 효과에 대해서 긍정적이라고 단정할 수만은 없다.

인지적 측면에서, 여러 연구들은 과학지식 발견과 새로운 개념의 획득 및 발달에 과학 실험 교육이 다른 교수법과 비교했을 때 효과적이라고 결론 내리지 못하였다(Adey *et al.*, 1994; Clarkson & Wright, 1992; Hodson, 1992; Leach & Scott, 1995; Woolnough, 1995). 그리고 정의적 측면에서도, 과학 실험 교육이 학생들에게 동기를 부여하고 호기심을 불러일으키며, 과학 학습에 대한 흥미와 열정을 불러일으킨다는 주장과는 다르게, 실험 교육이 의미 있는 효과를 보이지 못했다는 연구 결과들도 많다(Qualter *et al.*, 1990; Woolnough, 1994, 1995). 뿐만 아니라 기능적 측면에서도, 실험 교육이 실험 기능 향상에서 효과적이라는 일반적 기대를 부정하는 연구 결과들도 또한 적지 않다(Germann & Odom, 1996; Hackling

\*교신저자: 정진수(jeongjinsu@yahoo.co.kr)

\*\*2005.6.29(접수) 2005.9.27(1심통과) 2005.12.23(2심통과) 2005.12.28(최종통과)

\*\*\*이 논문은 한국과학재단의 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임(R01-2005-000-11024-0)

& Garnett, 1995; Njoo & de Jong, 1993; Yang et al., 2002; Yang, 2003).

왜 이러한 결과가 초래되고 있는 것일까? 이에 대해, 단일 실험으로 여러 가지의 교육 목적 즉, 개념의 이해와 인식론적 이해를 동시에 성취하고자 하기 때문에 실험 교육의 효과가 크지 않다는 견해도 있다 (Watson, 2000). 그러나 교수-학습 모형이 실제 과학자들의 지식생성 과정을 충분히 반영하지 못한 것이 실험 교육의 효과를 감소시키는 근본적인 원인이라는 주장이 더 설득력이 있다고 생각된다(Harwood, 2004; Woolnough, 1995).

그러므로 실험 교육의 효과를 극대화 시켜서 학생들에게 과학자와 같이 사고하게 하고, 과학자와 같이 새로운 지식의 발견의 기쁨을 누리게 하려면, 과학자들이 실제 자신의 연구실에서 자연을 대상으로 지식을 생성하는 과정을 직접 관찰하여 분석하는 연구가 선행되어야 할 것이다. 또한, 이를 바탕으로 과학 실험을 위한 교수-학습 모형을 개발하여 적용하는 연구가 뒤따라야 할 것이다(Harwood, 2004). 그러나 과학자들을 연구 대상으로 그들의 지식 생성 과정을 직접 분석한 연구가 많지 않다.

따라서, 이 연구는 이러한 연구의 배경과 필요성에 따라, 과학자의 과학지식 생성 과정을 연구하고자 했다. 즉, 과학자들이 작성한 연구 논문과 지식 생성 과정에 대해 심층적인 면담을 실시하여, 과학자들이 어떻게 관찰하고 연구 문제를 떠올리며, 가설과 검증을 위한 지식들을 어떻게 생성하는지 분석하고자 했다.

## II. 이론적 배경

지식을 생성한다는 것은 제기된 문제현상을 설명하기 위해 필요한 지식을 고안하는 것을 의미한다 (Anderson & Biddle, 1991). 따라서 과학지식을 생성한다는 것은 자연현상을 설명하기 위해 필요한 지식을 고안하는 것을 의미한다고 할 수 있다. 선행 연구들(권용주 등, 2000; 권용주 등 2003c; Darian, 1995; Fisher, 2001; Hanson, 1958; Lawson, 1995; Losee, 2001)에 의하면 이러한 과학지식은 크게 귀납, 귀추, 그리고 연역적 과정들을 통해서 생성된다.

### 1. 귀납적 과정

아리스토텔레스에 의하면 귀납은 특수명제에서 일반명제로 나아가는 추론의 한 형태이며(Ross, 1945), 이러한 귀납적 과정은 관찰된 특수한 사실로부터 일반화된 진술 또는 법칙으로 나아가는 사고 과정이다

(Darian, 1995; Lawson, 1995; Sternberg & Gardner, 1983). 귀납적 과정에 대한 최근의 연구들은 이 방법을 과학교육에 교수-학습 전략으로 이용할 수 있도록 귀납의 하위 사고 과정을 도출하여 모형으로 제시하고 있다(권용주 등, 2003d; Klauer & Phye, 1994; Sternberg & Gardner, 1983; Holland et al. 1986).

권용주 등(2003d)은 귀납적 지식 생성 과정을 관찰과 규칙성 발견 과정으로 구분했다. 그리고 관찰을 다시 단순관찰과 조작관찰로 구분했다. 또한 규칙성 발견 과정은 공통성, 분류, 경향성, 위계 발견의 과정 등으로 구분했다. 여기에서 공통성 발견 과정은 관찰 대상에서 공통적인 특징을 찾아 기술하는 것이고, 분류는 대상들 간의 유사성과 차이점에 따라 2개 이상의 집단으로 나누는 것을 의미한다(권용주 등, 2003d; Klauer & Phye, 1994). 또한 경향성 발견은 관찰 대상들이 일정하게 변하는 것에서 차이점이나 경향성을 인식하는 사고이며, 위계 발견은 대상들을 분류한 뒤에 분류된 집단을 다른 기준으로 재분류하여 위계적으로 배열하는 것이다(권용주 등, 2003d).

### 2. 귀추적 과정

귀추(abduction)란 이미 알고 있는 경험상황과 미지의 현 상황의 유사성을 바탕으로 경험상황의 설명자를 차용하여 현 상황을 설명하는 추론의 한 유형이다 (Hanson, 1958; Lawson, 1995; 권용주 등, 2000). 실용주의의 창시자인 Peirce는 귀납과 연역에 대해 40여 년 간 연구한 끝에, 귀납이나 연역과는 구별되는 추론 유형이 존재한다는 것을 알아내었으며 이것을 귀추라고 하였다(Fischer, 2001). 또한 Hanson(1958)은 귀추란 하나의 사실을 관찰한 다음 그 사실을 생성하도록 만든 것이 무엇인지를 말하도록 하는 것이라고 정의했다. 그에 의하면 과학의 모든 아이디어들은 귀추를 통해서 얻어진다. 또, 귀추와 귀납은 각각 둘 중의 하나로 또는 연역으로 환원될 수 없다. 귀추는 사실을 설명하는 이론을 고안하는 과정이다. 즉, 설명 대상(explicanda)으로부터 설명자(explicans)로 진행되는 추론 과정이다.

Lawson (1995)은 귀추란 이전의 어떤 한 상황의 성공적인 설명을 새로운 상황에 빌려와서 가설을 생성하는 정신적인 과정이라고 정의했다. 그에 의하면 귀추는 유추, 유추적 전이, 유추적 추론 등과 관련이 있다. 또, 귀추에 의한 가설 생성 과정은 현 상황과 이전 경험과의 유사성을 원천으로 하는 과정이고, 많은 부분 잠재의식 수준에서 진행된다(Lawson, 2000, 2002). 더 나아가, 권용주 등(2003b)은 이전 경험이

귀추 과정에서 어떻게 이용되는 지를 설명하였다. 이에 의하면 가설은 ‘의문상황(questioning situation) → 경험상황(experienced situation) → 원인적 설명자(causal explicans) → 가설적 설명자(hypothetical explicans)’의 지식 표상 과정을 통해서 생성된다.

정진수(2004)는 가설 생성 과정을 삼원귀추모형(TAM: triple abduction model)으로 설명했다. 이 모형에 의하면 가설은 의문분석 단계(stage of analyzing question), 설명자탐색 단계(stage of searching explicans), 가설구성 단계(stage of constructing hypothesis)를 통해서 생성된다.

### 3. 연역적 과정

새로운 과학지식의 생성에서 핵심적인 과정중의 하나가 고안한 가설을 검증하는 과정이다(McPherson, 2001). 또한, 과학적 방법론에 관한 거의 대부분의 문헌들은 과학적 과정을 논리 실증주의의 가설-연역적 방법론으로 설명하고 있으며(Kerr, 1998), 이 방법론의 핵심은 가설검증방법과 예상 결과를 고안하는 연역적 과정이다(권용주 등, 2003a; 박종원, 1998; Hempel, 1966; Laudan, 1977; Lawson, 2000; Losee, 2001; Popper, 1963). 권용주 등(2003a)은 이러한 연역적 과정을 수직과 수평의 2차원적 모형으로 표현했다. 연역적 지식 생성의 수평적 차원은 “경험상황 표상 → 경험방법 표상 → 경험방법 차용”의 과정을 통해서 생성됨을 보여준다. 그리고 수직적 차원은 “조작방법 1 → 조작방법 2 → → 조작방법 n”, “관찰방법 1 → 관찰방법 2 → → 관찰방법 n”, “예상결과 1 → 예상결과 2 → → 예상결과 n” 등의 과정을 통해서 가설 검증방법과 가설평가기준이 계속적으로 구체화되고 정교화되는 과정임을 보여준다.

## III. 연구 방법

### 1. 과학자 및 논문 선정

연구자들은 생명과학분야와 물질과학분야에서 최근에 세계적으로 저명한 과학학술지(SCI급)에 논문을 3회 이상 발표한 과학자 12명을 1차 연구대상 과학자로 선별했다. 이렇게 선별된 과학자들에게 연구의 목적과 방법을 설명한 후 동의를 얻은 과학자들 중 6명을 2차 연구대상 과학자로 선정했다. 그리고 이들 6명의 과학자들로부터 가장 최근에 자신이 주저자로 작성한 논문을 1편 이상 추천 받았다.

연구자들은 과학자들의 추천 논문을 숙독한 후 6명의 과학자들을 면담했다. 면담 후 연구자들이 과학자

의 연구 내용을 충분히 이해할 수 없다고 판단되는 2명을 연구 대상에서 제외했다. 이러한 과정을 통해서 생명과학분야 2명과 물질과학분야 2명을 최종 연구대상 과학자로 선정했다.

### 2. 프로토콜 생성

연구자들은 지식 생성의 사고 과정을 점진적으로 상세화하는 방법으로 프로토콜을 작성했다. 이를 위해 먼저 과학자의 논문에 포함된 지식의 생성 과정을 간략하게 기술했다. 이후 과학자와의 심층 인터뷰를 통해서 논문 분석에 빠져있는 과정들과 잘못된 순서들을 바로잡았다. 그리고 논문을 분석한 내용과 인터뷰한 내용을 모두 문자로 코딩하여 프로토콜을 작성했다.

연구자들은 심층 인터뷰에서 먼저 과학자에게 자신의 연구 과정을 시간 순서에 따라 설명해 줄 것을 요구했다. 이 과정에서 연구자들이 잘 이해할 수 없는 내용이 언급된 경우에는, “그 내용의 의미를 보다 상세하게 설명해주세요.” 혹은 “그 내용을 보다 일반적인 단어를 사용해서 설명해주세요.”라고 요구함으로써 과학자들이 설명한 내용을 연구자들이 이해할 수 있는 수준으로 녹음했다. 일차적으로 과학자들의 설명이 끝나면, 연구자들은 설명이 부족한 부분에 대해서 추가적인 내용을 질문함으로써 지식 생성의 과정이 프로토콜에 자세히 들어 날 수 있도록 했다. 예를 들어 한 과학자가 가설을 생성했다고만 진술했다면 연구자들은 “그 가설을 어떻게 생성하게 되었는지 보다 자세히 말씀해주실 수 있나요?” 등과 같이 질문함으로써 사고의 과정이 자세하게 표현될 수 있도록 했다.

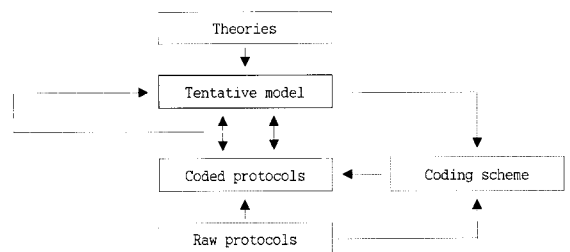


Fig. 1 Overview of modelling procedure

### 3. 분석 방법

연구자들은 van Someren 등(1994)에 의해 고안된 인지 과정 모형화 절차에 따라 과학자들의 프로토콜을 분석했다(Fig. 1). 먼저 과학지식 생성 과정에 관한 선행 연구들을 토대로 임시 모형(tentative model)을 고안했다. 또한 이를 토대로 부호화틀(coding scheme)을 만들었으며, 이에 따라 면담을 통해 얻은

프로토콜을 부호화했다. 이렇게 부호화한 프로토콜을 임시 모형과 비교했다. 이 때 임시 모형이 부호화된 프로토콜을 충분히 설명하지 못한 경우, 모형을 수정하여 다시 분석 과정으로 피드백 시켰다. 이러한 반복 피드백 과정을 통해 최종적인 지식 생성 모형을 완성했다.

## IV. 연구 결과 및 논의

### 1. 부호화 프로토콜

심층 면담 분석 결과의 이해를 돕기 위해서 과학자 A의 프로토콜을 예시하였다. 이것은 인터뷰를 통해 얻은 전체 프로토콜 중 새로운 과학지식을 생성하는 사고과정이 표현된 것을 발췌하여 정리한 것이다. 각 문장의 번호는 사고의 순서를 나타낸 것이고, 번호 뒤의 용어는 사고 과정을 나타낸 것이다. 실제 분석에서는 각 과정을 부호로 표기했으나 여기에서는 생략했다.

#### <과학자 A의 프로토콜 분석>

1. 관찰: 진사회성 곤충이 그 오랜 시간, 인간보다 훨씬 오래 전에 출현해서 진화를 거치면서 굉장히 성공한 생물이거든요... 사회성 말벌의 경우는 좋은 푸드사이트(food site)를 탐색하고 동료들에게 알려주는...
2. 인과적의문 생성: 이 메커니즘에 대해 의문이 생겼습니다.
3. 사실 인식: 분업화된 사회 구조를 가지고 있고 콜로니의 규모면에서도 다른 사회성 곤충에 비교해서 작지 않아요. 그리고 동지 안에서 이들은 굉장히 집단적으로 행동을 하거든요. 공동의 유전적인 유익을 위해서 개체들이 희생과 봉사를 하지요.
4. 경험상황 표상: 네 종류의 진사회성 곤충 중 세 개의 사회적 곤충의 경우에는...
5. 원인적설명자 동정: 음식에 관한 정보를 서로에게 전하는 방식이 있다는 것이 알려져 있지요.
6. 원인적설명자 차용: 사회성 말벌도 다른 사회성 곤충과 같이 리쿠르트먼트(recruitment) 메커니즘이 있다고 생각했어요.
7. 관찰: 제가 과수원에서 일을 했었는데, 사과가 떨어지면, 굉장히 신선한 사과가 두 개 떨어져 있어도 한 사과에만 서너 마리의 땅벌들이 몰려 있거든요.
8. 의문 생성: 이쪽 사과도 신선한 사과 같은데 왜 다른 사과에만 서너 마리가 있나?
9. 사실 인식: 그러다 좀 지나면 개체들이 더 늘어나요. 이러한 것을 몇 시간을 앉아서 관찰을 했는데 어느 정도 지나니까 이 사과를 다 파먹지도 않았는데 한 개체가 옆에 있는 사과를 파먹기 시작했어요. 그리고 조금 있다가 다른 쪽 사과에 거의 다 몰려있는 거예요.
10. 가설 확인: 쓰레기통 같은데 콜라 같은 게 있으면 거기에 벌들이 굉장히 많이 있거든요. 이것은 사과의 경우와 약간 다르게 해석이 가능하지만 실제로 야외에서 일어나는 집단 포식을 관찰하면서 리쿠르트먼트(recruitment) 메커니즘이 있다는 나름대로의 확신에 가까운 느낌을 그 때 가졌었고...
11. 사실 인식: 그래서 사회성 말벌에 관해 굉장히 많은 문헌

을 연구했지만... 사실 똑같은 의문을 갖는 과학자들이 매우 많았어요. 그렇지만 그들의 여러 실험 방법들에 의해서 연구 결과가, 심지어 같은 종의 경우에도 서로 상반되게 나오는 경우도 있고, 명료하게 밝혀 내지를 못하는 거지요. 같은 종을 가지고 다른 장소에서 다른 때 실험을 하면 다른 결과가 나오니까. 이것이 완전히 복잡한 상황 이거든요.

12. 경험상황 표상: 옛날에 연구한 문헌들을 철저히 조사해보니까, 다른 사회성 동물에 관한 연구들에...
- 13, 14. 원인적설명자 동정 및 차용: 실제로 로컬인핸스먼트(local enhancement)가 일어날 수 있는 가능한 기작들이 단순하게 생각해보면, 비주얼 큐(visual cue)가 있고요. 케미컬 큐(chemical cue)가 있고요. 어쿠스틱 큐(acoustic cue)가 있었어요... 예를 들어 나방이 화학물질을 내어서 그 먼 거리에서 찾아가는 것처럼...
15. 가설적설명자 조합: 다른 것들도 생각을 했었는데, 접촉감각은 행동학에서 매우 중요한 것이긴 하거든요. 그런데 여기서는 사실 작용할 가능성이 매우 적고... 가능하면 여러 가지 가능성들을 생각해보려고 노력을 했고, 그 중에서 가능한 것만을 골랐지요. 가설은 세 가지로 구성되었지요. 비주얼 큐에 의한, 케미컬 큐에 의한, 어쿠스틱 큐에 의한 로컬인핸스먼트가 일어난다.
16. 추상적 경험검증상황 표상: 기존의 사람들은 보이는 게 다인 줄 알았지만... 케미컬과 어쿠스틱 큐만을 제거하는 것은 매우 어려운 일이지요.
17. 추상적 경험검증방법 표상: 케미컬 큐는 약품 처리를 함으로써 제거를 했는데 이것은 곤충을 연구하는 사람들이 하는 방법을 따랐다.
18. 추상적 경험검증방법 차용: 케미컬을 제거하는 방법은 두 가지가 있는데 하나는 발생하는 것을 막는 방법, 다른 하나는 날아오는 것을 막는 방법, 첫 번째를 위해서는 약품 처리를 했고, 두 번째를 위해서는 페트리디시(petridish)에 가웠지요. 막는 방법은 전에 비주얼 큐를 연구한 사람들이 막았더라고요. 그러니까 두 가지 방법을 모두 이용한 것이지요.
19. 구체적 경험검증방법 차용: 역치 수준을 생각해서 0, 1, 5, 10 등의 샘플을 만들어가지고, 실험을 했어요. 그 다음 고려해야 할 것이 자리에 대한 학습이지요... 그 다음 생각할 것은 거기에서 포레이징(foraging)을 한 개체가 남긴 화학 물질이지요. 예를 들어서 빵이 있는 자리에 날아온 개체가 이전에 먹은 넥타를 빵에 남겨놓는다면, 거기에는 비주얼 큐는 없지만 거기에는 케미컬 큐가 있는 거지요... 자리를 무작위로 바꾸고, 푸드 디시(food dish)를 매 5분마다 교체하고, 이러한 방법들을 요인을 컨트롤하기 위해서 사용했고...
20. 구체적 기준 고안: 데이터를 얻은 다음에 그것을 어떻게 처리해야 할 것인가에 대해서도 미리 생각하지 않으면 안되기 때문에 결과가 어떤 형태로 나타날 것인가에 대해서 정확하게 알아야 해요... 비주얼 큐에서는 결과에 나타난 것을 그대로 예상했거든요.
21. 결과 수집: 여기에서도 선호도 차이가 없는 것으로 나왔어요.
22. 가설 평가 및 결론 도출: 그런데 앞선 선행 연구에 보니까 매우 복잡하더라고요... 지금까지의 선행 연구들에서는 선호도 차이가 없다는 것이 한 건 밖에 없었어요. 그래서 해석하기가 매우 힘들죠. 이처럼 해석이 난해한 경우에는 실험을 처음으로... 가설을 뒤집어 업는 경우보다 더 어려워요. 가설을 기각하는 것 보다 매우 어려운데... .. 그런

데 결과가 생각과 다르면 처음부터 다시 생각을 정리해야 하지요.

이상의 예시에 나타난 과정들 중에서 1번은 사회성 말벌들의 행동, 7번은 한쪽 사과에만 땅벌이 몰려 있는 현상을 관찰한 것이기 때문에 귀납적 과정이라고 할 수 있다. 그리고 2번에는 1번의 현상에 대한 인과적의문, 8번에는 7번 현상에 대한 인과적의문이 포함되어 있고, 3번에서 6번 과정과 9번에서 15번은 그 의문들에 대한 잠정적인 답인 가설을 생성하는 과정이기 때문에 귀추적 과정이라고 할 수 있다(권용주 등, 2003b; 정진수, 2004). 또한 16번에서 22번 과정은 15번의 가설을 검증하는 과정이기 때문에 연역적 과정이라고 할 수 있다(권용주 등, 2003a; 박종원, 1998; Hempel, 1966; Laudan, 1977; Lawson, 2000). 이와 같이 과학자 A의 프로토콜은 크게 귀납, 귀추, 연역적 과정으로 구분될 수 있다. 다음절에서 이상의 세 과정에 포함되어 있는 세부 과정들을 다른 과학자들의 프로토콜과 함께 논의했다.

## 2. 지식생성 과정

### 1) 귀납적 과정

귀납적 과정은 크게 관찰과 규칙성 발견 과정으로 구분될 수 있다(권용주 등 2003d). 그러나 이 연구에서 과학자들의 프로토콜을 분석한 결과 규칙성 발견 과정은 나타나지 않았다. 따라서 여기에서는 관찰에 관한 프로토콜 분석 결과만을 논의했다.

위 예시에 제시된 과학자 A는 1번에 나타난 것과 같이 사회성 말벌이 푸드사이트를 탐색하고 동료들에게 그에 대한 정보를 전달해주는 자연현상에 대한 관찰(observing), 즉 자연 현상에 대한 속성을 인식하여 진술하는 것에서 새로운 과학지식 생성의 과정을 시작했다. 또한 7번과 같이 구체적으로 연구를 추진하는 과정에서는 떨어진 사과에 몰려드는 땅벌의 행동을 관찰했다.

그러나 과학자 B의 경우 조작 관찰(operating observing)로 연구를 시작했다. 그는 “관측이 먼저 이루어졌어요. 이것은 우리나라 태안 지방에서 오존과 질소산화물의 농도는 어떻게 변할까? 라는 의문에서 시작된 것이지요.”라고 했다. 즉 의문(question)이 관찰의 시작이었음을 진술했다. 그 이유에 대해서는 “관측을 하게된 배경은 여러 팀들이 그러한 목적을 가지고 관측을 하는데 참여해달라고 하는 제의가 들어와서 이를 받아들여 관측이 이루어진 거지요.”라고 설명했다. 그는 또 이 조작 관찰에서 관측 이전에 풍향과

풍속 등에 따라 오존과 질소산화물의 농도가 달라질 것이라는 결과를 어느 정도 예측(prediction)할 수 있었다고 했다. 또한 관측을 위한 세부적인 조작 방법을 설계(designing operational method) 하였고, 그 계획에 따라 기기들을 조작(operation)하여 오존과 질소산화물의 농도 변화를 관찰(observing) 하였다고 했다.

과학자 C의 경우도 “전자기 유도 투과 실험을 하다...결과를 알고싶었어요.”라고, 논문의 실험을 하게된 이유가 전자기 유도 투과 현상에 대한 조작 관찰에서 시작되었다고 응답했다. 그의 경우 기존에 연구된 루비듐에서 세슘으로 실험 재료를 바꾸었고, 이에 따라 실험실에 적절한 장비 및 관찰 계획들을 준비해야 했고, 이러한 세부적인 계획을 바탕으로 실험을 실시하여 자료를 수집했다고 진술했다. 따라서 과학자 B와 C는 ‘의문 생성 → 예측 → 조작방법 설계 → 조작 → 단순 관찰’의 순서에 따라 관찰하고자 하는 대상을 조작적으로 관찰했다. 이러한 조작 관찰의 과정은 학생들을 대상으로 연구했던 선행 연구들의 결과와 다르지 않다(권용주 등, 2003d; Klauer & Phye, 1994).

반면 과학자 D의 경우는 귀납적 과정에 대한 언급 없이 곧바로 “수컷 도롱뇽 행동에 영향을 주는 다른 수컷의 요인에는 무엇이 있을까?” 라는 인과적의문에서 연구를 시작하였다고 했다. 그러나 이 진술에는 이미 도롱뇽들은 수컷들간에 서로 영향을 준다는 관찰 사실이 포함되어 있다. 즉 인과적의문 이전에 직접 혹은 간접적인 관찰이 있었음을 알 수 있다.

### 2) 귀추적 과정

귀추적 과정은 크게 인과적의문 생성(generating causal question) 과정과 가설생성(generating hypothesis) 과정으로 구분된다(권용주 등, 2003c). 과학자 A의 경우 위 예시의 2번과 같이 사회성 말벌이 먹이를 발견하고 이것을 어떻게 동료 벌들에게 알려줄 것인가가 초기 인과적의문 이었다. 이 의문에 대한 잠정적인 답인 가설을 생성하기 위해서 그는 3번의 과정과 같이 의문 현상에 대해 구체적인 사실들을 생각해 냈다. 이 과정은 가설생성 과정의 첫 과정인 사실 인식(perception facts) 과정이다. 정진수(2004)에 의하면 이 과정은 의문 현상에 포함된 세부적인 요소들을 분석하는 과정이다. 이 과정 이후 분석된 현상들에 대한 설명들을 찾기 위해서 4번, 즉 “내 종류의 진사회성 곤충 중 세 개의 사회적 곤충의 경우에는...”와 같이 유사한 다른 곤충에서 나타나는 현상들을 떠올리는 경험상황 표상(representing experienced situation) 과정이 이어

졌다. 그리고 5번과 같이 그 경험상황들을 설명했던 원인적설명자(causal explicans)를 동정(identifying)했고, 이것을 6번과 같이 차용(borrowing)했다. 이 경우 차용된 설명자가 1개였기 때문에 이것을 조합하는 과정이 필요하지 않았다. 그러나 14번 과정과 같이 설명자가 여러 개인 경우는 15번과 같이 이 설명자들을 조합하는 가설적설명자 조합(combining hypothetical explicans) 과정이 이어졌다. 또한 생성한 가설에 대한 확신감을 높이기 위해 또 다른 유사한 자연 현상을 떠올리는 가설 확인(confirming hypothesis) 과정이 이어지기도 한다. 물론 10번의 가설 확인 과정은 15번의 조합된 가설을 확인하는 과정은 아니다. 이것은 9번을 통해서 생성된 초기 가설에 대한 확신감을 높이는 과정이라고 생각된다.

과학자 B의 경우 조작 관찰 결과 얻게된 오존과 질소산화물의 농도 변화의 원인에 대해 인과적의문을 갖게됨으로써 귀추적 과정을 시작했다. 이 과학자의 개인적 연구는 바로 이 시점에 시작되었다. 그는 “관측은 다른 팀의 제의에 의해 시작되었지만, 이 논문은 그 관측결과를 설명하는데 목적이 있습니다.”라고 설명하였다. 이 과학자의 경우 가설의 생성 과정이 프로토콜에 나타나지 않았다. 그것은 이 경우 가설 생성 과정이 너무 빠르게 진행되었기 때문에, 즉 과학자가 너무 쉽게 가설을 표상할 수 있었기 때문에 스스로 그 과정을 인식하지 못한 것으로 생각된다(Lawson, 2000, 2002; van Someren 등, 1994). 실제로 이 과학자는 면담에서 “중국 쪽에서 오염물질이 들어온다는 논문은 굉장히 많습니다. 그러니까 중국의 영향을 받고 있다는 것은 다 아는 거지요.”라고 가설의 당위성에 대해 응답했다.

과학자 C의 경우도 조작 관찰 결과 얻게된 자료에 대해서 “이렇게 뭔가 나오긴 나왔는데 이게 무슨 현상에 의한 건지 정확히 몰랐죠”라고 인과적의문을 진술했다. 그 의문에 대한 답을 찾기 위해 그는 “기존의 전자기 유도 투과 현상에 대해서 한 10년 가까이 다양한 연구가 이어져왔거든요...”라고 선행 연구들에서 경험상황을 동정하였다고 했다. 또한 그 설명들 중 가장 적절하다고 판단되는 것을 원인적설명자로 차용하였다고 했다.

과학자 D는 도롱뇽 수컷의 행동에 영향을 주는 요인에 관한 인과적의문에서 연구를 시작하였다. 이 의문에 대한 가설을 생성하기 위해서 이 과학자는 “새들이 겨울철에 군집을 지어 다닌다는 것..., 곤충들이 서로 상호작용하는 것...”과 같이 유사한 경험상황을 표상했으며, 이 중 저해 페로몬이라는 원인적설명자를

차용하여, 냄새가 도롱뇽의 행동에 영향을 줄 수 있다는 가설을 생성했다.

과학자 A의 경우는 가설의 생성 과정이 비교적 자세하게 분석되었지만, 과학자 B, C, D의 경우는 중간 부분이 나타나있지 않다. 그러나 가설 생성의 여러 과정들이 잠재의식 수준에서 진행된다는 연구들(Lawson, 2000, 2002; van Someren 등, 1994)과 학생들을 연구 대상으로 한 선행 연구들(권용주 등, 2003b; 정진수 2004; Hanson, 1958; Lawson, 1995)의 결과에 비추어볼 때, 과학자들의 가설 생성 과정은 ‘사실 인식 → 경험상황 표상 → 원인적설명자 동정 → 원인적설명자 차용 → 가설적설명자 조합 → 가설 확인’이라고 할 수 있을 것이다.

### 3) 연역적 과정

가설을 검증하는 연역적 과정은 크게 검증방법 및 기준 고안(inventing method & criteria) 과정과 가설 평가(evaluating hypothesis) 과정으로 구분된다(권용주 등, 2003a). 과학자들의 프로토콜에서도 연역적 과정이 크게 두 과정으로 구분된다는 것을 알 수 있었다. 앞 절에 예시된 과학자 A의 경우 16번 ~ 20번 과정은 검증방법 및 기준을 고안하는 과정이고, 21과 22 과정은 가설을 평가하는 과정이다.

검증방법과 기준은 어떠한 사고 과정을 통해 생성되는 것일까? 과학자 A는 16번 과정에 진술된 것과 같이, 검증방법을 고안하기 위해서 선행 연구자들의 방법을 차용했다고 진술하였다. 이와 같이 비슷한 검증 상황을 생각해내는 것을 경험검증상황 표상(representing experienced test situation) 이라고 한다(권용주 등, 2003a). 특별히 표상한 상황이 구체적이지 못할 때 추상적 경험검증상황이라고 한다. 과학자 B의 경우에도 중국으로부터 유입되는 오존과 질소산화물의 이동 경로를 추적하는 방법에 대해서 “오염물질의 이동에 대해서 유럽이나 북미 쪽에서 작성한 논문을 참고했지요.”라고 진술했다. 과학자 C와 D의 경우에도 다른 연구에서 적용했던 검증 방법이 떠올랐다고 진술했다. 결국 과학자들은 자신의 가설을 검증하기 위한 방법을 고안하기 위해서 비슷한 선행 연구 상황을 먼저 표상하는 것을 알 수 있다.

과학자들은 이렇게 표상된 검증 상황에서 경험검증 방법(experienced test method)을 표상(representing)하여 차용(borrowing)하는 것으로 나타났다. 과학자 A의 경우 17번에 나타난 것과 같이 그의 연구를 위해 곤충을 연구하는 사람들이 사용하는 방법을 따랐다고 했으며, 18번에서 이 방법을 차용한 내용을 기

술하고 있다. 과학자 B의 경우도 다른 연구에서 트래젝토리법(trjectory method)을 차용했다고 진술했으며, 과학자 C의 경우도 다른 연구자의 방법을 차용했다고 진술했다. 그러나 이러한 과정을 통해 고안된 검증방법은 아직 구체적이지는 못하다.

과학자들은 보다 구체적인 검증방법을 고안하기 이전에 추상적인 검증방법의 적용 결과를 예상했다고 진술했다. 과학자 B는 이 과정에 대해서 “제가 어느 정도 가정을 하고 들어갔어요.”라고 했다. 또 과학자 C는 “이렇게 흡수 신호를 얻어보면 일반적인 흡수 신호보다 많이 흡수될 거라고 생각했지요.”라고 진술했다. 과학자 D도 “이렇게 했을 경우 수컷들은 다 이쪽으로 갈 것으로 예상했는데...”라고 응답했다. 이와 같이 대략적인 수준에서 결과를 예상하는 것을 추상적 기준 고안(inventing abstract criteria)라고 한다(권용주 등, 2003a).

이상과 같이 과학자들은 추상적 수준에서 검증방법과 기준을 고안 한 후 이것을 실제 실험을 실시할 수 있도록 구체화하는 것으로 생각된다. 과학자 A의 경우 19번 과정, “역치 수준을 생각해서 0, 1, 5, 10 등의 샘플을 만들어서...”와 같이 샘플의 수를 구체화시켰다. 이렇게 구체화된 검증방법은 출판을 위한 논문에 상세하게 기술되었다. 또한 검증방법이 구체화됨에 따라 가설검증 기준도 구체화되는 것으로 생각된다.

이렇게 구체화된 방법에 따라 실험을 실시함으로써 과학자들은 결과를 수집했다. 또한 그 결과와 미리 예상한 결과, 즉 가설검증 기준을 비교함으로써 가설의 진위를 평가하는 것으로 생각된다. 과학자 A는 21번에서 “여기에서도 선호도 차이가 없는 것으로 나왔어요.”라고 결과 수집(collecting result) 과정을 간략하게 진술했다. 또한 이 결과에 대해서, 22번 과정에서 “그런데 결과가 생각과 다르면 처음부터 다시 생각을 정리해야 하지요.”라고 가설이 옳다고 할 수 없음을 진술했다. 다른 과학자들도 자료 수집의 ‘결과’와 이 결과를 근거로 가설을 평가하는 ‘논의’, 논의 결과를 진술한 ‘결론’을 논문에서 순서적으로 기술했다. 즉, 가설 평가 및 결론 진술(evaluating hypothesis & stating conclusion)의 과정으로 지식 생성의 과정을 마무리했다.

이상의 결과와 논의에 비추어볼 때 지식 생성의 연역적 과정은 ‘추상적 경험검증상황 표상 → 추상적 경험검증방법 표상 → 추상적 경험검증방법 차용 → 추상적 기준 고안 → 구체적 경험검증상황 표상 → 구체적 경험검증방법 표상 → 구체적 경험검증방법 차용 → 구체적 기준 고안 → 결과 수집 → 가설 평

가 및 결론 진술’이라고 할 수 있다. 이와 같은 가설 검증의 과정은 Lawson(1995)이 제안한 가설의 검증 과정과 일치한다. 즉, 과학자들은 생성한 가설을 검증하기 위해서 검증 방법을 고안하고, 그 방법에 따라 실험을 실시했을 때 얻어질 결과를 예상한 후 실제 실험을 실시하여 얻은 결과와 예상한 결과를 비교함으로써 가설을 검증한다는 설명과 전체적인 흐름이 동일하다.

### 3. 지식생성 과정 분석

위 절에서 논의한 4명의 연구대상 과학자들의 지식 생성 과정 프로토타입을 분석한 결과를 요약하여 제시하면 Table 1과 같다.

Table 1에 제시된 것과 같이 과학자 A의 1번 사고는 자연 현상에 대한 관찰이다. 2 ~ 6번 사고는 귀추적 과정으로 인과적의문과 가설을 생성하는 과정이다. 그 후 이어지는 8 ~ 10번 사고는 가설 생성의 반복 과정이며, 이를 통해 과학자는 가설에 대한 확신감을 높여갔다. 실제로 이 과학자는 위 예시와 같이 “나름대로의 확신에 가까운 느낌을 그 때 가졌었고...”라고 언급했다. 11 ~ 15번 과정은 가설을 보다 상세화 하는 과정이라고 할 수 있다. 즉 그는 10번의 사고를 통해 사회성 말벌의 집단 포식을 ‘리쿠르먼트’라는 개념을 통해 설명하고 있다. 그러나 15번의 사고 과정에는 이것이 ‘비주얼’, ‘케미컬’, ‘어쿠스틱’ 등의 세 가지 구체화된 원인적설명으로 상세화되었다. 다음으로 16 ~ 22번의 사고 과정은 가설을 검증하는 과정이다.

과학자 B는 1 ~ 5번의 조작 관찰을 통해서 얻어진 사실에서 6번과 같이 의문을 갖게 되었다. 이 과학자의 프로토타입에서 분석된 가설 생성의 과정은 단지 7번뿐이다. 8 ~ 12번의 과정은 가설검증방법 고안과 평가의 과정이며, 13 ~ 19번의 과정은 가설검증방법을 보완하여 가설을 검증하는 과정이다.

과학자 C도 과학자 B와 같이 1 ~ 4번의 조작 관찰을 통해 지식생성과정을 시작했다. 5 ~ 7번은 가설생성 과정이고, 8 ~ 10번은 이 가설을 검증하는 과정이다. 이 과학자는 10번의 과정에서 가설이 옳지 않다고 평가하여 진술했고, 이 과정에서 발견한 사실들에 새로운 의문을 갖게 되는 11번 과정으로 이동했다. 그 뒤 12, 13번의 가설 생성 과정, 14 ~ 17번의 검증 과정을 통해 새로운 지식을 생성했다.

과학자 D는 1번과 같이 인과적 의문에서 시작했다. 2 ~ 10번의 과정은 가설을 생성하고 이 가설을 검증하는 과정이다. 11 ~ 20번의 과정은 선행의 과정에

**Table 1**  
Scientists' process of knowledge generation

	Process	Scientist							
		A		B		C		D	
Inductive	Simple observing	1	7						
	Generating question			1		1			
	Conjecture / Prediction			2		2			
	Designing operational method			3					
	Operation			4		3			
	Operative observing			5		4			
Abductive	Generating causal question	2	8	6	5	11	1	11	
	Perception facts	3	9	11		12			
	Representing experienced situation	4	12		6		2	12	21
	Identifying causal explicans	5	13				3	13	22
	Borrowing causal explicans	6	14	7	7	13	4	14	23
	Combining hypothetical explicans		15						
	Confirming hypothesis		10						24
Deductive	abstract								
	Representing experienced test situation		16	8	13	8		15	25
	Representing experienced test method		17	9					
	Borrowing experienced test method		18	10			5	16	26
	Inventing criteria			11		9	6	17	27
	concrete								
	Representing experienced test situation				14				
	Representing experienced test method				15				
	Borrowing experienced test method		19	16	14	7	18	28	
	Inventing criteria		20	17	15	8	29		
Collecting result		21	18	16	9	19	30		
Evaluating hypothesis & Stating conclusion		22	12	19	10	17	10	20	31

Note. Numbers are the order of knowledge generation

서 새롭게 얻어진 의문에 대한 가설 생성과 검증의 과정이며, 21 ~ 31번의 과정은 20번에서 옳지 않다고 평가한 가설을 버리고 새로운 가설을 생성하여 검증하는 과정이다.

## V. 결론 및 교육적 적용

### 1. 결론

이 연구는 과학자들의 논문과 과학지식 생성 과정에 관한 심층 인터뷰 결과 얻어진 프로토콜을 분석하였다. 분석 결과에 의하면 과학자들은 귀납적 과정, 귀추적 과정, 연역적 과정 등을 통해서 새로운 과학지식을 생성했다. 이러한 과정을 그림으로 제시하면 Fig. 2와 같다.

Fig 2와 같이, 귀납적 과정 중 관찰은 단순 관찰과 조작 관찰로 구분된다. 조작 관찰은 의문 생성, 추측/예측, 조작방법 설계, 조작, 단순 관찰 등의 하위 과정을 포함한다.

그리고 귀추적 과정은 의문생성 과정과 가설생성 과정으로 구분된다. 가설생성 과정은 다시 의문 분석, 설명자 탐색, 그리고 가설 구성의 하위 과정으로 구성되어 있다. 여기에서 설명자 탐색 과정은 경험상황 표상, 원인적설명자 동정, 원인적설명자 차용의 과정을 포함하며, 가설 구성 과정은 가설적설명자 조합과 가설 확인 과정을 포함한다.

또한, 연역적 과정은 방법 및 기준 고안 과정과 가설 평가 과정으로 구분된다. 그리고 방법 및 기준 고안 과정은 다시 추상적 과정과 구체적 과정으로 구분된다. 또한 각 과정은 경험검증상황 표상, 경험검증방법 표상, 경험검증방법 차용 과정 등을 포함한다. 기준 고안 과정도 추상적 과정과 구체적 과정으로 구분된다. 또한 가설 평가 과정은 결과 수집 과정과 가설 평가 및 결론 진술 과정을 포함한다.

이러한 지식 생성의 과정은 일회적이고 직선적인 과정이 아니고, 반복적이며 순환적인 과정이다. 즉, 시행착오에 의한 반복이나 이미 생성된 지식을 상세화



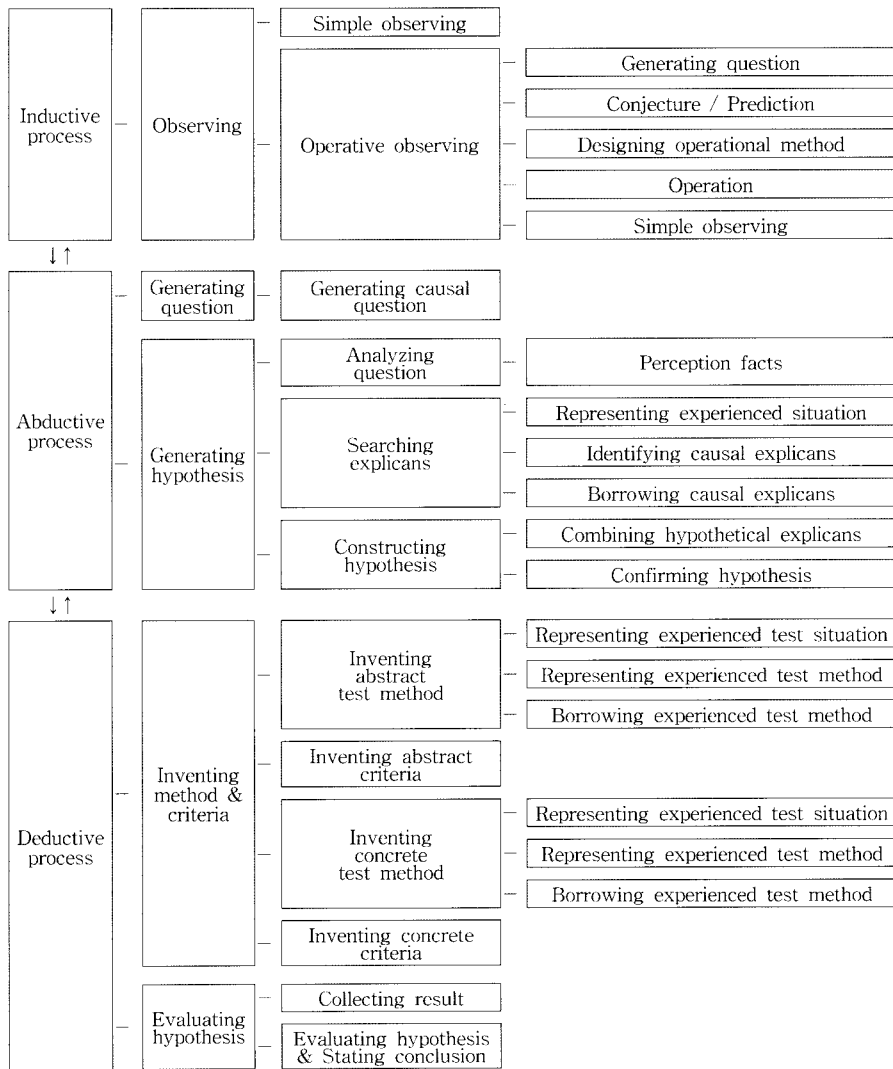


Fig. 2 The model of scientists' process of knowledge generation

하기 위한 반복의 과정이 포함되어 있다. 이러한 반복의 과정은 Table 1에도 나타나 있다. 과학자 A와 D는 적어도 3번의 반복을, B와 C는 2번의 반복이 이루어졌음을 보여준다. 또한, 프로토콜에 나타나지 않은 반복의 과정이 있었음을 과학자들의 응답에서도 찾을 수 있다. 예를 들어 과학자 A는 “굉장히 고민 많이 하고, 여러 가지로 시행착오를 거치면서 개발한 거거든요.”라고 했으며, 과학자 C도 “실험 데이터를 계속 반복해서 작업을 하는 거죠. ... 몇 번을 하고, 하루에도 백번을, 밤샘을 하고 그러죠.” 라고 응답했다.

2. 교육적 적용

이 연구의 결과는 과학자들이 과학지식을 생성하는

과정과 특징을 보여준다. 이것은 학생들의 과학지식 생성력 향상을 위한 교수-학습 모형 개발과 평가 방법 개발의 측면에서 의미 있는 시사점을 준다.

먼저, 기존의 대부분의 교수-학습 모형이 인지심리학적 연구 상황에서 도출된 모형에 기반하고 있어서 과학자들의 실제 상황, 즉 지식을 새롭게 생성하는 상황과 일치했다고 하기 어려웠다. 그러나 이 연구를 통해 개발된 모형을 적용한다면 과학자들의 지식 생성 과정을 바탕으로 한 보다 효과적인 과학 실험 교수-학습 모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어 기존의 모형들을 따르면, 학생들이 직선적인 교수-학습 단계를 절차적으로 따라가며 실험을 실시해야 했다. 그러나 이 연구 결과를 적용한다면, 학생들은

실제 과학자들처럼 많은 시행착오를 반복하는 경험을 해야 한다. 또한 실험을 하는 과정에서 학생들은 실험과 유사한 경험들을 생각해내기 위해서 관련 서적이거나 인터넷 등의 자료를 검색해야 한다.

또한, 이 연구 결과는 과학 지식 생성력 평가에도 적용될 수 있을 것이다. 이 연구 결과를 활용하여 평가 항목을 세분화한다면 학생들의 지식 생성력을 전 영역에 걸쳐 고르게 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 학생들이 어떠한 과정에서 지식생성을 중단하였는지 평가할 수 있게 될 것이다. 즉, 학생들이 지식을 생성하지 못한 원인을 분석적으로 평가함으로써 다음 교수-학습을 위한 피드백 자료로 활용할 수 있는 가능성을 높여줄 것이다.

### 국문 요약

이 연구의 목적은 과학자들의 과학지식 생성 과정을 밝히는 것이었다. 이를 위해 저명한 과학학술지에 세계적 수준의 논문을 3회 이상 발표한 과학자 중 연구에 적합한 과학자 4명을 선정했다. 그리고 이 과학자들이 발표한 최근의 논문들을 분석하여 과학지식 생성 과정을 전체적으로 기술했고, 심층 면담을 통해 지식 생성 과정의 세부 과정을 추가하여 프로토콜을 완성했다. 이렇게 완성된 프로토콜을 인지 과정 모형화 절차에 따라 분석했다

연구 결과에 의하면, 과학자들의 과학지식 생성 과정은 크게 귀납적 과정, 귀추적 과정, 연역적 과정으로 구분된다. 먼저 귀납적 과정은 단순 관찰과 조작 관찰을 포함한다. 여기에서 조작 관찰은 ‘의문 생성 → 추측/예측 → 조작방법 설계 → 조작 → 단순 관찰’ 등의 하위 과정을 포함한다. 그리고 귀추적 과정은 의문 생성 과정과 가설 생성 과정으로 구분된다. 여기에서 가설 생성 과정은 ‘사실 인식 → 경험상황 표상 → 원인적설명자 동정 → 원인적설명자 차용 → 가설적설명자 조합 → 가설 확인’ 등의 하위 과정을 포함한다. 마지막으로 연역적 과정은 방법 및 기준 고안 과정과 가설 평가 과정으로 구분된다. 여기에서 방법 및 기준 고안 과정은 ‘경험검증상황 표상 → 경험 검증방법 표상 → 경험검증방법 차용’ 등의 하위 과정을 포함한다. 그리고 가설 평가는 결과 수집 과정과 가설 평가 및 결론 진술 과정을 포함한다.

### 참고 문헌

강인애 (1997). 왜 구성주의인가? - 정보화시대와 학습자중심의 교육환경. 서울: 문음사.

권용주, 고경태, 정진수 (2003a). 생물학 가설의 검증에서 연역적 과학지식의 구조와 생성 과정. 한국생물교육학회지, 31(3), 236-245.

권용주, 박윤복, 정진수, 양일호 (2004). 과학적 규칙성 지식의 생성 과정: 경향성 지식의 생성을 중심으로. 초등과학교육, 23(1), 61-73.

권용주, 양일호, 정원우 (2000). 예비과학교사들의 가설 창안 과정에 대한 탐색적 분석. 한국과학교육학회지, 20(1), 29-42.

권용주, 정진수, 강민정, 김영신 (2003b). 과학적 가설 지식의 생성 과정에 대한 바탕이론. 한국과학교육학회지, 23(5), 458-469.

권용주, 정진수, 박윤복, 강민정 (2003c). 선언적 과학 지식의 생성과정에 대한 과학철학적 연구: 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로. 한국과학교육학회지, 23(3), 215-228.

권용주, 최상주, 박윤복, 정진수 (2003d). 대학생들의 귀납적 탐구에서 나타난 과학적 사고의 유형과 과정. 한국과학교육학회지, 23(3), 286-298.

매일경제지식부, 한승희 (2000). 학습혁명보고서. 서울: 매일경제신문사.

박종원 (1998). 과학활동에서 연역적 사고의 역할. 한국과학교육학회지, 18(1), 1-17.

정진수 (2004). 과학적 가설 생성에 대한 삼원 귀추 모형의 개발과 적용. 한국교원대학교 박사학위논문.

Adey, P., Askoko, H., & Black, P. (1994). 1994 Revision of the National Curriculum: Implication of Research on Children's Learning of Science, a report to SCAA. London: King's College.

Anderson, D., & Biddle, B. (Eds.) (1991). Knowledge for policy: Improving education through research. London: Falmer.

Clarkson, S. G., & Wright, D. K. (1992). An appraisal of practical work of in science education. School Science Review, 74(266), 39-42.

Darian, S. (1995). Hypotheses in introductory science texts. International Review of Applied Linguistics in Language Teaching, 33(2), 83-109.

Fischer, H. R. (2001). Abductive reasoning as a way of worldmaking. Foundations of Science, 6, 361-383.

Germann, P. J., & Odom, A. L. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. School Science & Mathematics, 96(4), 192-201.

Hackling, M. W., & Garnett, P. J. (1995). The development of expertise in science investigation skills. Australian Science Teachers Journal, 41(4), 80-86.

Hanson, N. R. (1958). Patterns of discovery: An inquiry into conceptual foundations of science. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Harwood, W. (2004). An activity model for scientific inquiry. *The Science Teacher*, 71(1), 44-46.
- Hempel, C. C. (1966). *Philosophy of natural science*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorientating practical work in school science. *School Science Review*, 73(264), 65-78.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thargard, P. R. (1986). *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kerr, N. L. (1998). HARKING: Hypothesizing after the results are known. *Personality and Social Psychology Review*, 2(3), 196-217.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klauer, K. J., & Phye, G. D. (1994). *Cognitive Training for Children: A Developmental Program of Inductive Reasoning and Problem Solving*. Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Laudan, L. (1977). *Progress and its problems*. Berkely, CA: University of California Press.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E. (2000). The generality of hypothetico-deductive reasoning: making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62(7), 482-495.
- Lawson, A. E. (2002). What does Galileo's discovery of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery? *Science & Education*, 11, 1-24.
- Lazarowitz, R., & Tamir, R. (1994). Research on using laboratory instruction in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 94-128). New York: Macmillan.
- Leach, J., & Scott, P. (1995). The demands of learning science concepts - issues of theory and practice. *School Science Review*, 76(277), 47-51.
- Loose, J. (2001). *A historical introduction to philosophy of science* (4th Ed.). London: Oxford University Press.
- Martin, M. (1972). *The concepts of science education*. Scott, Foresman and Company.
- McPherson, G. R. (2001). Teaching & learning the scientific method. *The American Biology Teacher*, 63(4), 242-245.
- Njoo, M., & de Jong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 821-844.
- Peter, S. (1992). Children's language and assessing their skill in formulating testable hypotheses. *British Educational Research Journal*, 18(1), 73-86.
- Popper, C. (1963). *Conjectures and Refutation*. NY: Basic Books.
- Qualter, A., Strang, J., & Swatton, P. (1990). *Explanation- a Way of Learning Science*. Oxford: Blackwell.
- Ross, W. D. (1949). *Aristotle's prior and posterior analytics*. London: Oxford University Press.
- Sternberg, R. J., & Gardner, M. K. (1983). Unities in inductive reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112(1), 80-116.
- Tosteson, J. L. (1997). The scientific world view, information technology, and science education: Closing the gap between knowledge-generation and knowledge-consumption. *Journal of Science Education and Technology*, 6(4), 273-284.
- van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modeling cognitive processes*. San Diego, CA: Academic press.
- Watson, R. (2000). The role of practical work. In M. Monk & J. Osborne (Eds.), *Good Practice in Science Teaching: What Research has to Say*. Buckingham: Open University Press, 57-71.
- Woolnough, B. E. (1994). Why students choose physics, or reject it. *Physics Education*, 29, 368-374.
- Woolnough, B. E. (1995). Switching students onto science. *British Council Science Education Newsletter*, London.
- Yang, I. H. (2003). A study on students scientific reasoning in solving pendulum task. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 23(4), 430-441.
- Yang, I. H., Kwon, Y. J., Kim, Y. S., Jang, M. D., Jeong, J. W., & Park, K. T. (2002). Effects of students' prior knowledge on scientific reasoning in density. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 22(2), 215-236.