

선언적 과학 지식의 생성 과정에 대한 과학철학적 연구 - 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로 -

권용주 · 정진수 · 박윤복 · 강민정[†]
(한국교원대학교) · [†](경북대학교)

A Philosophical Study on the Generating Process of Declarative Scientific Knowledge - Focused on Inductive, Abductive, and Deductive Processes

Kwon, Yong-Ju · Jeong, Jin-Su · Park, Yun-Bok · Kang, Min-Jeong[†]
(Korea National Unviersity of Education) · [†](Kyoungbuk National University)

ABSTRACT

The present study is to analyze the arguments about the generation of declarative scientific-knowledge in the philosophy of science and invent a structured model of the process of scientific-knowledge generation with the types of the generated scientific-knowledge. The invented model shows that scientific-knowledge generation is a distinctive process with the processes of inductive, abductive, and deductive thinking. Futhermore, inductive process is included with observation, which is consisted of simple observation and operative observation, and rule-discovery which is involved with the processes of commonness discovery, classification, pattern discovery, and hierarchical relationship. Also, abductive process has two components. One component generates question and second component generates hypothesis in which the process consists of representing question situation, identifying experienced situation, identifying causal explicans, and generating hypothetical explicans. Finally, deductive process is involved with logical inventing test method and evaluation criteria, concrete inventing test method and evaluation criteria, evaluating hypothesis, and making conclusion.

Key words: scientific knowledge generation, process of knowledge generation, inductive process, abductive process, deductive process

I. 서 론

지식이란 기억장소에 정보들이 조직적으로 저장된 것을 의미한다(Solso, 2001). 즉, 지식이란 감각기관에서 획득한 정보들이 무의미하게 나열되어 있는 것이 아니라 구조

화된 정보 시스템이나 네트워크의 일부분으로 인지 구조에 저장되어 있는 것을 의미한다. 이처럼 인지 구조에 저장되어 있는 지식들은 표상 유형에 따라 일반적으로 선언적 지식(declarative knowledge)과 절차적 지식(procedural knowledge)¹⁾으로 구분된다(Luger, 1994). 선

^{*}2002.8.9(접수) 2002.9.27(1심) 2003.3.5(2심) 2003.5.26(최종 통과) ^{**}E-mail: kwonyj@knue.ac.kr(권용주)

^{***}이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-041-C00645)

1) 비록 과학교육용어집(한국과학교육학회, 1998)은 'procedural knowledge'에 대한 한글 용어를 '과정적 지식'이라고 하지만, 과학교육총론(조희형과 최경희, 2001)과 인지심리학의 번역서들(이용남 등 역, 1993; 신현정 역, 1995; 이영애 역, 2000)은 이를 '절차적 지식'이란 용어로 번역하여 사용하고 있다. 이 논문에서는 선언적 지식의 종류를 '결과적 지식'과 이것의 상대적인 의미인 '중간적 지식'이라는 용어를 사용하여 구분하였다. 그러나 이때의 중간적 지식은 과학교육용어집의 'procedural knowledge'의 한글용어와 혼동될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 'procedural knowledge'의 한글 용어를 과학교육총론과 인지심리학의 용어인 '절차적 지식'으로 사용하였다.

언적 지식은 '지구는 둥글다', '곤충은 다리가 6개다' 등과 같이 일반적으로 외부 세계에 대해 기술한 지식을 의미하며 명료적이다. 그에 반해, 절차적 지식은 '자전거 타기', '분류하기', '셈하기' 등과 같이 무엇을 어떻게 하는가에 대한 지식을 의미하며 암묵적이다(Anderson, 1995).

그러므로 이러한 지식의 정의와 분류 방법에 의거해서 과학적 지식의 종류를 구분해보면, 먼저 과학적 지식은 과학에 관련된 선언적 지식과 절차적 지식으로 구분될 수 있다. 또한, 선언적인 과학 지식은 과학적 탐구의 결과 생성되는 사실, 법칙, 이론 등과 같은 '결과적 지식(terminal knowledge)' 과, 과학적 탐구의 과정에서 발상 되는 의문, 의문에 대한 임시적인 설명인 가설, 가설평가를 위해 고안된 검증 방법, 평가기준 등과 같은 '중간적 지식(intermediate knowledge)' 으로 다시 구분될 수 있다.

사실, 과학 탐구에서 중간적 지식의 중요성이 결과적 지식의 중요성에 비해 결코 덜하다고 할 수 없다. 예를 들어, Darwin의 진화론이 '왜 다양한 생물들이 존재할까?' 라는 결정적인 의문에서 시작되었고, 이 의문에 대한 가설과 가설의 검증 방법에 관한 지식들은 진화론이라는 결과적 지식을 얻는데 절대적으로 중요한 지식들이었다.

한편, 절차적 지식은 선언적 지식을 산출하는데 요구되는 암묵적인 지식을 의미한다(Anderson, 1995). 즉 과학 탐구에서 사실, 이론, 의문, 가설, 검증방법 등의 선언적 지식을 산출하기 위해 표상되어야 하는 암묵적인 지식들이 곧 절차적 지식이다. 따라서 절차적 지식에는 탐구 전략, 과학적 추론, 실험 기구 조작 방법 등이 포함된다고 할 수 있다.

지금까지 논의한 과학적 지식의 종류를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

그러면, 선언적인 과학 지식은 어떻게 생성되는가? 인지심리학자들(Wessells, 1982; Anderson, 1995; Gagne et al., 1997; Solso, 2001)은 새로운 지식이 생성되는 방식을 크게 두 가지로 나누어 설명한다. 먼저, 이들은 선언적 지식이 외부 물리적 세계에 대한 지각에 의해 생성된다고 설명한다. 곧 지식은 우리의 감각 기관을 통해 들어온 물리적 정보가 복잡한 변형의 과정을 거치면서 의미를 가진 정보로 표상 되는 과정에 의해 생성된다는 것이다. Solso(2001)는 이러한 지식 생성 과정을 정보처리 모형으로 설명하였다. 이 모형에 따르면, 우리는 1차적으로 외부 환경으로부터 오는 자극 에너지를 감각계를 통해 제한적으로 받아들인다. 이것은 다시 신경 신호로 변환되고, 일시적으로 감각 저장소에 저장된다. 그런 후 신경 신호는 중추신경계로 넘어가서 복잡한 사고 과정을 거쳐서 기억 장소에 기억되거나 변형되고, 행동으로 이어지기도 한다. 이 모형에서 외부 정보를 받아들이는 지각은 단순히 외부 현상을 그대로 복사하는 수동적 수용과정이 아니다. 즉, 지각은 두뇌로 전달되는 현상을 복사하는 것이 아니라 두뇌 신경세포들의 활동 패턴과 대응하여 일어난다. 따라서 지각은 외부 세계에 존재하는 사물 못지 않게 우리의 마음이 작동하는 방식에 크게 의존한다.

인지구조에 의존적인 지각의 이러한 측면은 과학에서 관찰의 이론 의존적 측면과 본질적으로 동일하다. 왜냐하면, 인지심리학의 인지구조란 결국 지식체계를 의미하며, 과학의 이론 또한 일종의 지식체계이기 때문이다. 특히, 현대 인식론은 우리의 감각기관이 자연현상을 있는 그대로 받아들이는 것이 아니라 각 개인이나 상황에 따라 주관적으로 인식하고, 또 그렇게 지각된 자연현상마저도 인지구조 내에서 변형되고 재해석된다고 주장한다. 이처럼,

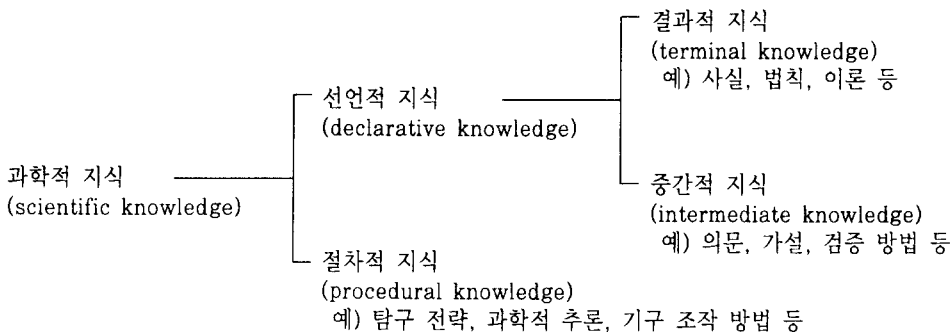


Fig. 1. The types of scientific knowledge

인지심리학의 지각과 과학의 관찰은 모두 외부 세계를 우리의 인지구조로 받아들이는 과정을 설명하는 것이면서, 동시에 지각과 관찰의 주관적 속성을 인정하고 있기 때문에 크게 다르지 않은 것으로 생각할 수 있다.

또한, 인지심리학자들은 선언적 지식이 지식들의 상호 작용에 의해서도 생성된다고 설명한다(Anderson, 1995; Solso, 2001). 이 설명에 의하면 선언적 지식은 장기 기억 속에 저장된 모든 사물들, 일반화된 것들, 그리고 이론 등 그 종류가 대단히 다양하다. 그러나 이러한 선언적 지식들은 비교적 정적이다. 반면에 절차적 지식은 보다 더 역동적이다. 선언적 지식이 활성화되면 단순히 정보가 회상되는 것에 불과하지만, 절차적 지식이 활성화되면 정보가 회상되는 것에 그치지 않고 회상된 정보들을 새롭게 변형시킨다(Gagne et al., 1997). Anderson은 이러한 과정을 ACT 모형으로 설명했다(Solso, 2001). 이 모형에서 일종의 단기 기억인 작동 기억(working memory)은 장기 기억의 선언적 지식을 검색하여 가져오고 절차적 지식을 실행시키는 역할을 한다. 여기에서 절차적 지식은 IF-THEN 방식의 조건-행위(condition-action) 쌍의 최소 단위로 표상되어 산출을 유발한다. 조건-행위 쌍에서 IF (만일)는 있어야 할 조건을 말하며, THEN (그러면)은 조건이 만족되었을 때 일어나는 행위를 의미한다. 산출의 예로 여러 가지 도형에서 사각형을 구분하는 문제 해결 과정을 설명하면 다음과 같다.

IF 도형이 평면이고, 또 도형이 네 변이며, 또 도형이
막혀있으면,

THEN 도형을 사각형으로 분류하고, "사각형"이라고 말
하라

이러한 산출은 하나의 조건-행위 쌍으로 나타나기도 하지만 여러 개가 연속적으로 표상 되어 산출 체계로 작동하기도 한다. 과학에서 중요하게 생각하는 귀납

(induction), 귀추(abduction)²⁾, 연역(deduction) 등의 추론은 바로 이러한 정교한 일련의 혼합된 산출 체계라고 할 수 있다. 산출 체계로서 추론은 선언적 지식과 상호 작용함으로써 이미 알고 있는 지식에서 새로운 지식으로의 이동을 가능하게 한다(Anderson, 1995). 특히 과학 탐구에서 관찰을 통해 획득된 사실 지식은 절차적 지식인 과학적 추론 등과 상호 작용하여 법칙, 가설, 이론 등과 같이 보다 설명성이 큰 새로운 선언적 지식의 형태로 산출된다고 생각할 수 있다.

이상의 논의에서 살펴본 것처럼 인지심리학에서는 지각과 지식들의 상호작용을 통해서 새로운 선언적 지식이 생성된다고 설명한다. 여기에서, 인지심리학의 지각은 과학의 관찰과 대응되며, 지식들의 상호작용은 과학의 선언적 지식들과 절차적 지식의 상호 작용에 대응된다고 할 수 있다.

실제로 과학의 방법론은 과학적 관찰과 대표적인 절차적 지식인 과학적 추론의 적용 방식에 따라 발달되어 왔으며, 이를 통해 과학만의 독특한 지식 생산 방법을 확립해왔다. Losee(2001)에 의하면 고대 Aristotle은 관찰, 단순 열거, 직관, 통찰 등으로 구성된 귀납적 방법과 삼단 논법을 근간으로 하는 연역적 방법을 과학적 방법론으로 제시하였다. 이후 Euclid와 Archimedes에 이르러 Aristotle의 연역적 방법은 귀류법과 소거법으로 발전하였다. 그리고 중세의 Grosseteste와 Roger Bacon은 귀납-연역적 패턴이 기본적인 과학적인 방법론이라고 하였으며, Scotus와 Ockham은 귀납법을 일치법과 차이법 등의 개념으로 발전시켰다. 또, 근대에서 현대 전통적인 과학철학에 이르면서 Francis Bacon에 의해 귀납법에 배제법이 추가 되었으며, 또 Herschel, Mill 등에 의해 공변법과 잉여법이 추가되어 귀납법이 더욱 정교화 되었다. 또한 연역법은 Newton의 공리법과 Hempel의 가설-연역적 방법에서 과학지식을 정당화하고 입증하는 방법론으로 자리 잡게 되었다. 한편 Pierce와 Hanson은 자연 현상에 대해

2) Abduction에 대해서는 아직 사전적으로 통일된 과학철학 용어가 제시되고 있지 않지만, 대체로 다음 몇 가지 번역용어가 함께 사용되고 있다. 그 첫째가 '가추'(假推, 박연규, 2000)라는 용어이다. 박연규는 '가추'의 의미를 '가정적 추론'이라는 의미를 제시하는 용어로 사용하고 있다. 그러나 abduction이라는 용어는 가정적 추론이라는 일반적 의미보다는 구체적으로 설명가설의 생성을 위한 추론을 의미하기 때문에 가추이라는 용어로는 abduction을 표현하기에는 다소 무리가 있다. 둘째는 설명적 가설의 형성이라는 의미에서 '상정론(想定論, 정영기, 1997)이라는 용어를 사용하고 있다. 그리고, 셋째가 역연적(retroductive) 추리를 통해 설명을 생성하는 역추리의 의미(소홍철, 1988)로, 아울러 최선의 설명을 추론하는 방식의 의미로(이봉재, 1992)로 '귀추(歸推)'라는 용어를 사용하고 있다. 물론 가설을 생성하는 추론이라는 의미에서 '상정론'이라는 용어도 가능하지만, Peirce의 초기설명인 retroductive 추리라는 의미도 포함하고 설명가설을 추론하는 의미를 함께 설명했을 뿐만 아니라, 귀납 또는 연역이라는 용어와 대비되어 그 의미와 음절이 비교되어 질 수 있는 '귀추'라는 용어가 'abduction'을 번역한 용어로 적용되어 질 수 있을 것이다. 더 나아가, '과학적 발견의 패턴'(Hanson, 1958, 송진웅과 조숙경 역, 1995)에서도 abduction을 '귀추(歸推)'라는 용어로 번역하여 사용하고 있다. 따라서, 이 논문에서는 abduction의 의미를 보다 적절하게 전달하고, 귀납과 연역에 대비되면서, 그리고 기존의 번역서에서 사용되어 온 용어이기도 한 '귀추'라는 번역용어를 선택하여 적용하는 것이 적절하다고 판단되어 '귀추'라는 용어를 abduction의 한글용어로 사용하고자 한다.

서 원인적인 설명에 이르게 하는 귀추라는 추론 양식을 제안하고 정의하여 과학에서 설명적 가설이 귀추에 의해서 생성된다는 것을 논리적으로 보여주었다(Fisher, 2001). 이밖에도 과학적 지식 생성의 방법론으로 제안된 것들에는 Whewell의 분해, 해명, 사실의 총괄 등과 Campbell과 Hesse 등의 유추법(analogy), 또 은유법(metaphor) 등 매우 다양하다. 그러나 Losee (2001)와 Fisher(2001)의 과학철학사에 대한 기술을 고려해 볼 때, 아리스토텔레스로부터 현대에 이르기까지 귀납, 연역, 그리고 귀추적 추론이 과학적 방법의 기본 골격을 이루며 발전해 왔다고 볼 수 있을 것이다.

따라서 이 연구는 과학적 관찰과 귀납, 귀추, 연역 등의 과학적 추론 방식을 중심으로 과학철학이 설명해 주고 있는 선언적인 과학 지식의 생성 과정을 분석하고 종합하여, 이들 과학적 관찰과 과학적 추론 방식에 초점을 둔 보다 체계적인 과학적 지식의 생성 모형을 제시하고자 하였다.

II. 본 론

1. 과학 지식의 귀납적 생성 과정

1) 귀납법의 과학철학적 고찰과 정의

귀납이라는 용어는 아리스토텔레스(Aristotle)의 '특수 실례로부터 일반화로 나아가는 과정'이라는 'epagoge' 라틴어 번역에서 비롯된 것이다(Ross, 1949). 아리스토텔레스는 귀납이 특수명제에서 일반명제로 나아가는 특성을 가지는 것으로 보았으며, 이것을 단순 열거적 귀납법과 직관적 귀납법으로 구분하였다. 그러나 직관적 귀납법은 통찰력에 관련된 것으로 진정한 귀납법으로 볼 수 없다. 그 후 아리스토텔레스의 귀납적 방법은 근대의 베이컨(F. Bacon)으로 이어져 과학적 방법으로 체계화되었다. 베이컨은 아리스토텔레스주의자들의 귀납법이 가지는 제한점을 극복하기 위하여 점진적이고 누적적인 귀납의 특성을 강조하였고, 본질적인 상관관계를 효과적으로 발견하기 위한 배제법을 제안하였다(Losee, 2001). 또한, 베이컨의 방법론을 토대로 과학적 방법론을 발전시킨 허셸(J. Herschel)은 과학적 인식을 발견의 맥락과 정당화의 맥락으로 구분하여 논의하였다. 그는 관찰로부터 자연의 법칙을 발견하고 이를 이론으로 통합하는 발견의 맥락에는 가설에 의한 방법과 함께 귀납적 도식이 적용되는 과정이

있다고 생각하였다.

귀납주의적 과학 방법에 대한 구체적인 논의는 밀(J. S. Mill)에 의해 상당한 진보를 이루었는데, 밀은 일치법, 차이법, 잉여법, 공변법과 같은 귀납법이 과학 법칙의 발견 과정에서 중요하다고 보았고, 인과적 관계도 귀납법에 의해 파악될 수 있다고 보았다(Losee, 2001). 밀과 같은 귀납주의자들이 과학에서 귀납적 논증의 중요성을 강조한 것에 반하여 흄(D. Hume)은 귀납적 결론들이 경험적 관찰 사례들을 토대로 하여 이루어지지만 그것들이 경험에 의해서 확증될 수 없다는 사실을 기반으로 하여, 귀납적 논증의 정당성에 문제를 제기하였다(Chalmers, 1982). 결국 흄과 이후의 과학철학자들에 의해 과학의 발견에 있어서 귀납법의 제한점이 제시되었고, 현대의 과학철학에서 귀납의 문제는 귀납적 결론들의 정당성의 근거를 묻는 것으로 논의되어 왔다(Hanson, 1958; Kuhn, 1970; Popper, 1968). 이러한 논의에 비추어 볼 때 결국 과학의 과정은 귀납적 방법론 또는 특수한 하나의 방법론만으로 설명하기에는 충분하지 않은 것으로 보인다. 그러나 일반화된 법칙을 생성하는 과정에서 귀납적 방법이 매우 중요하게 적용되고 있다는 것은 여러 철학자들 사이에 인정되고 있는 부분이다(Hanson, 1958; Holland et al., 1986).

결국 전통적인 과학적 방법의 한 형태로 논의되어 왔던 귀납의 정의는 주로 관찰된 특수한 사실로부터 일반화된 진술 또는 법칙이나 이론으로 나아가는 추론과정을 의미하며, 현대에 이르기까지 널리 사용되고 있다(Darian, 1995; Lawson, 1995; Sternberg & Gardner, 1983). 한편, 인지 심리학이나 심리 측정학에서는 귀납을 규칙성과 불규칙성을 찾는 과정으로 정의하기도 한다(Klauer & Phye, 1994; Thurston, 1938). 그리고 논리학에서는 가능성의 정도에만 전제하여 이에 따른 결론에서의 논의 형태로 보거나(Colberg et al., 1985), 불확실성에 직면하여 지식을 확장해 나가는 추론 과정으로 보기도 한다(Holland et al., 1986).

이러한 귀납에 대한 정의들을 종합해 볼 때 일반적으로 받아들여지는 귀납이란 경험이나 관찰된 현상으로부터 보편적이고 일반화된 명제인 규칙이나 법칙으로 나아가는 인지적 과정으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 정의를 그대로 따르게 되면 오랫동안 과학철학에서 논의되어온 귀납적 지식의 정당화의 문제가 여전히 남게 된다. 즉, 전통적 과학 방법론에서 귀납적 추론의 원리는 '많은 수의 A가 다양한 조건의 변화 아래서 관찰되었고, 관찰된 A가 모두

예외 없이 B라는 성질을 가지고 있다면, 모든 A는 B라는 성질을 가지고 있다'는 것이다. 이러한 귀납 추론의 구조에는 '많은'에서 '모든'으로의 논리적 비약이 내포되어 있다. 즉 경험적으로 모든 A를 관찰하는 것이 불가능하기 때문에 논리적으로 결론이 참임을 증명할 수는 없다(Chalmers, 1982). 이러한 귀납의 한계를 인식하여 이 연구에서는 귀납의 대상을 '모든' 관찰 대상이 아니라 '주어진 상황 내'의 관찰 대상으로 한정하여 정의하고자 한다. 즉, 이 연구에서 과학적 방법론의 귀납적 방법이라 함은 주어진 현상이나 상황 내에서 관찰된 사실을 정확하게 기술하고, 이러한 관찰 사실들에서 규칙성을 발견하는 과정을 의미한다.

2) 과학 지식의 귀납적 생성 과정

귀납적 방법에 대한 최근의 연구들은 귀납적 사고가 적용되는 종류, 기능, 과정 등에 관심을 두고 있으며, 귀납적 사고가 과학적 방법으로 적용된 구체적인 사례들을 연구하여 이를 새롭게 적용할 가능성을 열어가고 있다(Klauer & Phye, 1994; Sternberg & Gardner, 1983; Csapó, 1997; Holland *et al.*, 1986). 이 연구에서는 귀납적 방법의 시작인 관찰과 함께 다양한 분야에서 귀납추론의 형태로 연구되고 있는 귀납적 사고에 관한 연구들을 고찰하여 과학 지식의 귀납적 생성 과정을 논의해 보고자 한다.

먼저, 과학철학적 논의에서 보았듯이 귀납적 방법의 시작은 주어진 사물이나 현상을 관찰하여 기술한 사실들로부터 출발한다. 즉, 자연의 어떤 규칙을 나타내 주는 법칙으로 나아가기 위해서는 사실에 대한 직접적인 관찰로부터 시작하는 것이다. 그러므로 관찰은 귀납적 방법의 첫 번째 과정으로 볼 수 있는데, 이는 자연 현상을 지각하여 '사실'을 얻어내는 과정을 의미한다(Carnap, 1966; Norris, 1985). 그러나 관찰을 통해 얻어지는 사실이 모두 같은 종류의 것은 아니다. 예를 들어 일회적으로 특정한 시간에 은행잎의 색, 모양, 크기 등을 관찰한다면 이를 통해 은행잎의 속성에 관한 사실들을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 일주일 간격으로 은행잎의 색 변화를 관찰한다면 시간과 색깔의 관계에 관한 지식을 얻게 될 것이다. 그러므로 관찰은 대상의 속성에 관한 '단순 관찰'과, 관계에 관한 '조작 관찰'로 구분될 수 있다. 여기에서 관계에 관한 관찰을 조작 관찰로 명명하는 이유는 이러한 관찰은 관찰 이전에 반드시 정신적 조작 과정이 선행되기 때문이

다. 위의 예에서 관찰자가 일주일 단위로 은행나무 잎을 관찰하기 위해서는 시간과 잎의 변화에 대한 의문과 예측, 또 구체적인 관찰 방법을 고안하는 등의 정신적 조작 과정이 선행되어야 했다.

이처럼 관찰을 통해 생성된 사실 지식들은 귀납적 사고 과정을 거치면서 새로운 지식의 형태로 산출될 수 있다. 귀납적 사고에 관한 문헌에서 인지심리학은 범주추론, 유추추론 등으로 구분하여 논의하고 있다(이정모, 2001; 김영채, 1996). 또한 심리측정학에서는 유추, 서열화, 분류, 부호화, 배제 등을 귀납적 사고의 유형으로 제시하고 있다(Sternberg, 1985; Csapó, 1997). 이들은 모두 귀납적 사고에 대해 사고 유형별로 주로 결과적 측면에서 개별적으로 논의를 전개하고 있다. 그러나 Klauer와 Phye(1994)는 서로 구분되는 6가지 종류의 귀납적 추론 전략을 Fig. 2와 같은 귀납 추론의 구조로 제시하였다.

이들이 제시한 귀납 추론 전략은 사물의 속성의 유사점에 관한 것은 일반화(generation), 속성의 차이점에 관한 것은 판별(discrimination), 속성의 유사점과 차이점에 관한 것은 분류(cross classification), 관계의 유사점에 관한 것은 관계 인식(recognizing relationships), 관계의 차이점에 관한 것은 관계 분화(differentiating relationships), 관계의 유사점과 차이점에 관한 것은 계통 구성(system construction) 등을 포함한다. 이러한 귀납적 추론 전략은 각기 다른 종류의 지식을 생성하는 것으로 생각된다. 이들의 귀납적 추론 구조는 분류 전략과 체계 구성 전략을 귀납추론의 마지막 단계로 생각하여 귀납추론의 영역을 위계를 고려하여 제시한 것이다. 그리고 이 연구는 위계적으로 구성된 귀납 추론 구조의 분석을 통하여 각 전략에 의해 생성된 지식의 종류를 고려하는 측면에서 귀납적 사고를 유형화하는 사고 과정을 알아보고자 하였다. 이러한 점에서 이 연구는 귀납적 사고를 유형화 하고 과정을 위계적으로 분석하여 논의한 Klauer와 Phye의 속성과 관계에 논의를 중심으로 관련된 과학지식을 종합하여 과학 지식의 귀납적 생성 과정을 분석하였다.

우선, 일반화 전략은 관찰 대상의 속성에서 유사점을 찾는 것이다. 즉 일반화 전략에는 사물의 유사성을 찾아 공통성으로 인식하여 기술하는 '공통성 지식'을 산출하는 것이다. 다음으로 판별 전략은 관찰 대상의 속성의 차이를 발견하는 전략으로 일반화 전략과 함께 분류 전략의 하위 전략으로 기능한다. 즉 분류 전략은 개별적인 관찰 대상들에서 공통성을 찾아 집단으로 구분하고 다른 대상

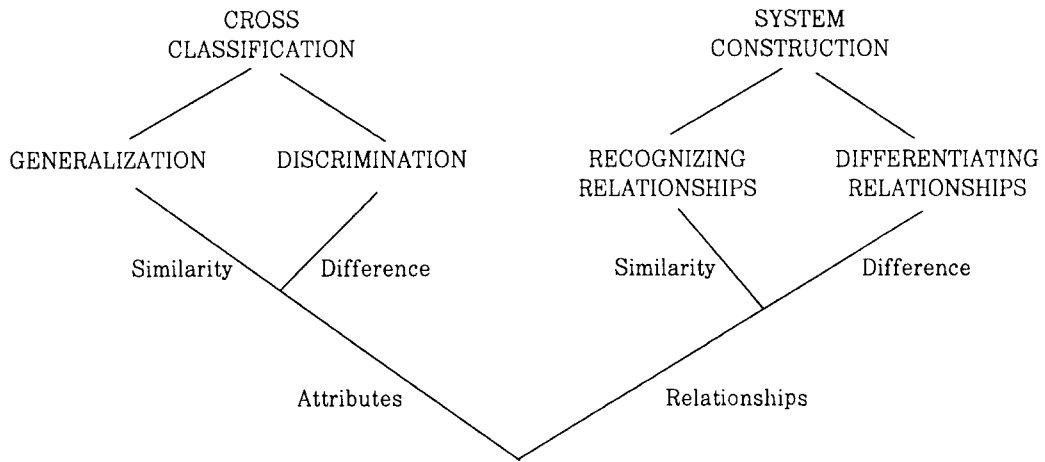


Fig. 2. Strategy of inductive reasoning

들과의 차이점을 찾는 전략이다. 이러한 분류는 개별적인 사물에서 공통 특징을 찾아서 군집화하여 새로운 대상에 일반화하는 대표적인 귀납 추론의 유형으로 알려져 있다 (성현란, 1989). 이 전략으로 공통성과 차이점을 인식하여 관찰 대상들을 집단으로 분류하는 '분류지식'이 얻어진다고 할 수 있다.

한편, 관찰 대상의 관계에 관련된 전략에서 관계의 유사성을 동정하는 관계 인식 전략은 대상들 간의 순서적인 관계를 인식하고 나열하여 '경향성 지식'을 생성한다고 생각할 수 있으며, 여기에서 관계 분화 전략은 이 과정에서 경향성에 어긋나는 대상을 판별해 내는 것으로 생각된다. 끝으로, 계통 구성 전략은 분류 전략과 마찬가지로 관계의 유사성과 차이점을 인식하여 대상을 분류하는 전략으로 볼 수 있다. 이것은 속성에 관한 전략에 비해 인지적으로 조작하는 변인의 수가 증가한 것일 뿐 분류 전략과 큰 차이는 없는 것으로 생각된다. 결국, 이들이 제안한 귀납적 사고 전략을 통하여 공통성 지식, 경향성 지식, 분류 지식이 생성되는 것으로 볼 수 있다.

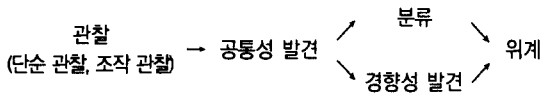
또한 과학적 탐구 활동에 사용되는 귀납적 사고의 유형으로서 Lawson(1995)은 분류, 보존적 사고, 서열화 등을 언급하였고, 박종원 등(2001)은 유형분류, 계열화, 보존, 상관관계를 제시하였다. 분류와 유형분류는 앞서 언급된 분류 지식을 생성하는 귀납적 사고와 관련지어 고려될 수 있다. 서열화(또는 계열화)는 분류된 유형들이 각각 고유한 특성을 가지게 되고, 그러한 특성들이 위계성을 가질 때 가능하다고 할 수 있다. 예를 들어 여러 동물들이 제시

되었을 때 척추동물과 무척추동물로 분류하고, 척추동물을 다시 포유류, 파충류, 조류 등으로 분류하고 다시 하위 구조로 분류할 수 있다. 이는 동물들의 위계적인 관계를 인식하여 분류 체계를 완성하는 것으로 위계 지식이 생성되는 경우라고 할 수 있다. 이러한 위계화 사고는 분류와 구분되는 사고로 분류와 경향성 발견이 선행된 이후에 진행되는 상위의 사고로 볼 수 있다. 계열(서열)화는 앞서 언급된 경향성 지식과 용어상 혼란이 있으므로, 생성된 지식의 특성에 비추어 위계 사고로 명명할 수 있다. 한편, 보존적 사고는 사물이 겉보기에는 다르지만, 일정한 값이 있다는 것을 발견하고 그것을 사물이나 사건의 특성으로 규정하는 것으로 이는 궁극적으로 공통성을 발견하는 과정으로 고려될 수 있다. 또한 상관관계는 주어진 상황에서 두 변인의 상관관계나 비례관계를 발견하여 일반화된 법칙으로 진술하는 사고로 정의되므로, 이것은 관계성에 대한 귀납적 사고의 과정으로 나타나는 경향성 발견이나 공통성 발견과 관련된 지식의 생성 과정으로 고려될 수 있다.

결론적으로 귀납적 방법은 관찰에서 시작하여 귀납적 사고를 거치는 동안 다양한 지식들을 생성하게 한다. 즉, 단순 관찰이나 조작 관찰을 통해 관찰 사실을 생성하고, 생성된 사실들은 귀납적 사고로 넘어간다. 이렇게 귀납적 사고 과정으로 넘어온 사실들은 공통점 발견과정을 통해 공통성 지식을 생성할 수 있다. 이렇게 생성된 공통성 지식은 분류 과정을 통해 분류 지식을 생성하기도 하고, 공통 관계 인식을 통해 경향성을 발견하여 경향성 지식을

생성할 수 있다. 또 분류와 경향성 발견의 사고가 더 진행되어 위계 지식이 생성될 수도 있다. 이처럼, 귀납적 방법은 하위 과정에서 상위 과정으로 이어지는 위계적 연속에 의해 지식들을 생성한다. 이러한 과정을 결론적으로 진술하면 다음과 같다.

과학 지식의 귀납적 생성 과정:



2. 과학 지식의 귀추적 생성 과정

과학적 사고의 과정을 보다 체계적으로 분석한 실용주의 철학자 Charles Sanders Peirce(1839-1914)는 새로운 아이디어를 고안해내는 유일한 논리 과정을 바로 귀추적 사고 과정이라고 하였다(Fisher, 2001). 특히, Peirce는 귀추적 사고가 과학적 가설을 생성하는 중요한 역할을 수행한다고 하였다. 그러나 Peirce의 이러한 선도적 연구에도 불구하고 과학철학자들은 과학적 가설의 생성에 대해서 지금까지 다양한 견해를 제시하여 왔다. 따라서 이 절에서는 과학적 가설의 귀추적 생성 과정에 대한 과학철학적인 논의를 종합하고자 하였다.

가설 지식은 어떻게 생성될까? 이러한 의문에 대한 설명들 중 가장 광범위하게 제시되고 있는 것은 순간적인 직관에 의한 통찰이나 갑작스런 사고의 도약 등이 가설 지식을 생성한다는 견해들이다. 예를 들어, Newton은 귀납적 비약에 의해 가설이 생성된다고 했고(Losee, 2001), Popper(1968)는 가설을 고안하는 과정이 갑작스런 도약에 의해서 일어나기 때문에 논리적으로 분석하는 것은 불필요하며 가능하지도 않다고 했다. 또, Millar(1989)는 관찰된 사실이나 규칙성의 원인을 설명하기 위한 지각 불가능한 순간적인 직관으로 가설이 만들어진다고 했다. 그러나 Hanson(1958)은 가설 생성이 이들의 주장처럼 설명 불가능한 직관이나 통찰, 예감 등에 의해 생성되는 것이 아니라고 했다. 또, 그는 일부 학자들이 가설 생성을 심리학적 연구 대상일 뿐이라고 하거나, 천재들만의 직관적 통찰 영역이라고 주장하는 것은 심각한 오류를 범하는 것이라고 지적했다. 또한, 최근의 연구들도(권용주 등, 2000; Jeong & Kwon, 2001) 가설 생성의 논리적 과정에 대해서 몇 가지 중요한 설명들을 제시하였다.

가설 창안의 과정에 대한 두 번째 설명은 귀납 추론(inductive reasoning)의 과정이라는 견해이다. 현재 많은 수의 과학 교과서 저자들은 귀납을 통해 가설이 생성된다고 기술하고 있다(Lawson, 1995). 귀납적 추론을 통해 얻은 보편성이 개개의 관찰 사실을 원인으로 설명할 수 있다는 것이 이들의 주장이다. 그러나 과학적 가설은 관찰된 사실로부터 나오는 것이 아니라, 그것을 설명하기 위해 고안되는 것이다(Hempel, 1966). 예를 들어 만약 멘델이 귀납적 추론만을 사용하여 유전의 법칙을 설명했다면 '완두 교배 실험에서 F1에서는 모두 노란색 완두 종자만, F2에서는 녹색과 노란색의 완두 종자를 1:3의 비율로 얻을 수 있다'는 규칙성을 제시하는 수준에서 연구가 끝났을 것이다. 그러나 멘델은 또 다른 방식의 사고 과정을 통해 '한 개체의 한 형질을 결정하는 유전인자는 2개이며, 각각은 어버이로부터 물려받고, 그 둘은 서로 대립이 되는 변이체로 존재한다.'는 가설을 생성할 수 있었고, 실험을 통해 이 가설을 검증했다. 귀납 추론으로는 나타나는 자연 현상을 단순히 기술할 수 있을 뿐 현상의 원인을 설명하지는 못한다.

세 번째로 가설 생성 과정을 가설-연역 체계 안에서 설명하려는 견해가 있다. 가설-연역 체계는 먼저 전제되는 가설을 설정하고 이로부터 구체적인 예상을 이끌어 내리는 방법이다. 그러나 하나의 법칙이 가설-연역 체계로 들어오게 되었다면 가설 생성을 위한 사고는 이미 종결된 것이다. 가설로부터 예상을 연역하는 과정은 과학자들이 창안한 그 가설이 설명을 필요로 하는 초기 관찰을 설명할 것이라고 생각한 다음에야 가능하다(Hanson, 1958). 즉, 가설-연역 체계는 이미 가설이 있다는 것을 전제로 논리가 전개되기 때문에 가설 생성 과정을 설명하지 못한다.

지금까지의 논의는 가설이 갑작스런 사고의 도약이나, 관찰한 사실들을 귀납하는 과정, 또는 이미 만들어진 가설을 전제로 예상을 연역하는 과정에서 생성되는 것이 더 이상 적절한 설명이 아님을 보여준다. 그렇다면 가설은 어떻게 생성되는 것인가? 가설 생성에 대한 대안적 설명은 Peirce가 제안한 귀추적 추론(abductive reasoning)을 들 수 있다(Fischer, 2001). 귀추란 미지의 현 상황을 이미 알고 있는 다른 상황과의 유사성에 바탕을 두고, 이를 차용하여 현 상황을 설명하는 추론의 한 유형이다(Peirce, 1898; Hanson, 1958; Lawson, 1995; 권용주 등, 2000). 이러한 귀추적 추론의 과정에 대한 설명을 살펴보면, 실

용주의의 창시자인 Peirce는 이미 논리학이나 과학철학에서 잘 정립된 추론 유형인 귀납과 연역에 대해 40여 년간 연구한 끝에 또 다른 추론 형식인 귀추를 추가하여 제시했다. 그는 연역, 귀납, 귀추의 차이점을 들어 각각이 독특한 추론 유형임을 논리적으로 설명했다. 그에 의하면 연역은 어떤 것이 반드시 그렇다는 것을 증명한다. 반면 귀납은 어떤 것이 실제로 작용하는 것을 보여준다. 그리고 귀추는 단순히 무언가가 그럴 수도 있다는 것을 제안한다(Fischer, 2001). 즉, 귀추의 기능은 현상의 원인이 되는 설명적인 가설을 생성하는 것이다. Fischer에 의해 재구성된 Peirce의 귀추 과정은 Fig. 3과 같은 모델로 제시될 수 있다.

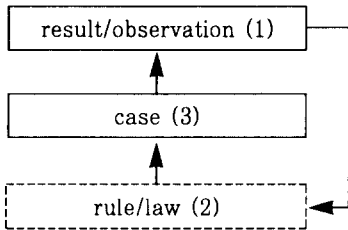


Fig. 3. The process of hypothesis generation by Peirce

Fig. 3의 모델에서 Peirce는 결과나 관찰에서 규칙이나 법칙으로 향하는 (1) → (3) → (2)의 과정을 귀납 추론, 규칙이나 법칙에서 결과나 관찰로 향하는 (2) → (3) → (1)의 과정을 연역 추론이라고 설명한 후, 나타난 현상(결과/관찰)을 설명하기 위한 적절한 가설(규칙/법칙)을 도입하거나 새롭게 구성하는 과정인 (1) → (2)의 과정을 귀추 추론이라고 설명했다(Fischer, 2001).

그리고 Hanson(1958)은 과학적 발견의 패턴을 논의하면서, 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 언급하고, 그것들을 설명하는 이론을 고안하는 과정이다. 즉, 설명 대상(explicanda)으로부터 설명자(explicans)로 진행되는 과정이다. Hanson의 귀추 과정을 하나의 과정 모델로 재구성해보면 Fig. 4와 같은 과정으로 설명될 수 있다.

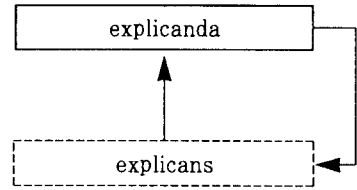


Fig. 4. The process of hypothesis generation by Hanson

또한, Lawson(1995)은 귀추란 이전의 어떤 한 상황의 성공적인 설명을 새로운 상황에 빌려와 적용한 임시적인 설명인 가설을 생성하는 정신적 과정이라고 정의했다. 그에 의하면 귀추는 유추, 유추적 전이, 유추적 추론 등과 관련되는 과정이다. 또, 귀추에 의한 가설 생성 과정은 현 상황과 이전 경험과의 유사성을 원천으로 하는 과정이고, 많은 부분 잠재의식 수준에서 진행된다(Lawson, 2002). 실제로 Lawson은 일상생활의 평범한 문제 해결 과정에서도 귀추적 가설 생성 과정이 이용됨을 다음과 같은 예를 들어 설명했다.

- 1단계-초기 관찰: 잘 타고 있던 바베큐 불이 꺼졌다.
- 2단계-인과적 의문 생성: 왜 바베큐 불이 꺼졌을까?
- 3단계-초기 원인(가설) 생성: 바베큐 불이 꺼진 원인은 바람이 불어서 꺼진 것이다.

위의 예에서 그는 3단계에서 바베큐 불이 꺼진 원인이 바람에 의한 것임을 생각할 수 있었던 것은 아마도 바베큐 불과 같은 유사한 종류의 불꽃이 바람에 의해 꺼진 이전의 경험에서 비롯된 것이라고 설명했다. 즉, 가설은 현재 상황을 관찰해서 곧바로 만들어지는 것이 아니라 지금 현상과 비슷한 과거 경험으로부터 왔다는 것이다. 이러한 Lawson의 귀추 과정을 하나의 과정모델로 재구성해 본다면 Fig. 5와 같은 과정으로 설명될 수 있다.

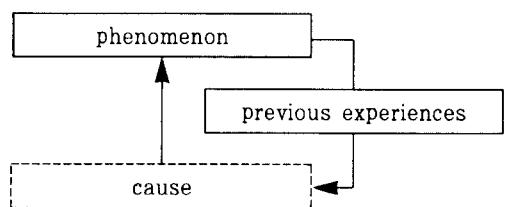


Fig. 5. The process of hypothesis generation by Lawson

더 나아가, 권용주 등(2000)도 가설이 귀추를 통해 얻어짐을 논의하고 인지심리학적 연구를 통해 보다 상세히 가설 창안 과정을 제안했다. 그들에 따르면, 가설 생성의 귀추적 과정의 첫 번째 단계는 현재의 '실제 상황'에 존재하는 의문을 발상하고 현재의 '의문 상황'을 구성하는 정성적 하위 특성들을 동정하는 단계, 두 번째 단계는 현재의 '의문 상황'과 과거의 '경험 상황'을 정성적 확률에 바탕을 둔 유사성 정도에 의거한 비교분석을 통해서 유사성 정도가 높다고 판단되는 과거의 '경험 상황'을 동정하고, 세 번째 단계가 '경험 상황'을 설명해주는 기지의 '원인적 설명자'를 동정해 내는 단계, 네 번째 단계는 이러한 '원인적 설명자'들 중에서 현재의 의문 상황을 가장 효과적으로 설명한다고 판단되는 '가설적 설명자'를 (조합하여) 선택하는 단계를 통해 가설이 창안됨을 제안했다. 여기에서 첫 번째 단계는 의문이 생성되는 단계로 해석될 수 있고 두 번째, 세 번째, 그리고 네 번째 단계는 가설이 생성되는 단계로 해석되어질 수 있다. 이러한 가설 생성의 귀추적 과정에 대한 권용주 등의 설명을 모형화하여 제시하여 보면 Fig. 6과 같이 구조화할 수 있다.

3. 과학 지식의 연역적 생성 과정

과학적 설명의 중요한 목표의 하나는 '왜'라는 물음에 대한 궁극적인 대답을 찾는 것이다. 또한 이러한 과학적 설명이 아리스토텔레스가 이상으로 믿었던 논리적 연역의 형식을 지녀야 한다는 견해는 폭넓게 지지를 받아왔다(Nagel, 1961). 이러한 연역적 설명은 보편성에 있어서 논란의 여지가 있긴 하지만 포괄적이며 인상적인 체계임은 재론의 여지가 없다. 과학 철학에서의 연역적 방법론에 대한 논의는 데카르트로 대표되는 발견의 논리와 대비되어, 아리스토텔레스 이후 자연현상을 설명하는 가정이 옳다는 것을 확립해 가는 정당화의 논리로 점차 명확하게 설명되어 왔다.

과학자들은 이론이 제시될 때 종종 증거들을 제시한다. 이 증거는 가정이 입증된 것은 아니지만 인정할 만한 지지 기반을 제공해 준다고 할 수 있다. 그런 다음 과학자는 예측 가능한 새로운 사실과 알고 있는 사실을 설명하는데 익숙해 질 수 있음을 보여줌으로서 가정의 논리적 결과를 규명한다. 과학자들은 이런 방법으로 관찰하거나 실험을 통해 그의 예측을 검증한다. 따라서 가정을 바탕으로 한 설명, 예측, 그리고 증거를 갖는 추론의 한 형태를 가설-연역적 방법이라고 할 수 있다. 즉, 가정은 가설의 부분에 해당되고, 예측과 증거의 제시를 통한 검증은 연역적인 부분이라고 할 수 있으며, 이 둘을 통합하여 가설-연역적 과정이라 한다(Lewis 1988).

가설-연역적인 방법은 과학의 정당화 논리에 한층 힘을 실어주는 과학적인 방법으로 인식되어 왔다(Lewis, 1988). 더 나아가, 이러한 가설-연역적 추론에서 가설 검증 과정의 사고는 연역적인 설명 부분에 해당하는 것이다. 그리고 이것은 가설 검증을 위한 전제를 설정하고 이를 확인하는 과정이다. 그러므로 가설 검증 과정은 가설에서 도출된 조건적 진술인 시험명제(전제)와 결과를 바탕으로 그 시험명제의 진위여부를 평가한 진술의 형태를 보인다. 박종원(1998) 또한 가설 검증 과정의 연역적 구조에 대한 논의에서 가설 검증은 가설을 통해 실제 관찰/실험 가능한 상황을 먼저 예측하게 되고 예측된 현상이 실제로 일어나는지를 직접 관찰/실험함으로써 가설을 검증하는 두 단계 과정을 거치게 된다고 하였다. 이러한 주장은 가설 검증의 과정이 연역적임을 보여주고 있으며, 가설 검증 과정인 검증을 위한 사고 과정과 실제 실험 활동과정(예측된 실험 현상을 확인하는 과정) 각각을 하나의 연역

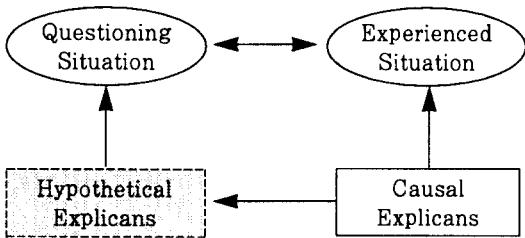


Fig. 6. The abductive process for generating scientific hypothesis by Kwon et al.

위의 가설 생성 모형은 과학적 가설이 일회적인 사고의 도약이나 지각 불가능한 직관적 통찰에 의해서 만들어지는 것이 아니라 일련의 추론 과정을 통해서 만들어진다는 것을 보여준다. 또, 이러한 과정에서 의문 상황, 경험 상황, 원인적 설명자, 가설적 설명자 등의 중간적 지식이 생성된다는 것도 보여준다. 이상의 귀추적 추론을 통한 가설 생성 과정을 간단하게 기술하면 다음과 같다.

과학 지식의 귀추적 생성 과정:

의문 생성 → 의문상황 분석 → 경험상황 동정 → 원인적 설명자 동정 → 가설적 설명자 고안

적인 패턴으로 보고 있다고 할 수 있다.

그리고 Lewis(1988)는 "On The Motion of the Heart and Blood in Animals"라는 Harvey의 논문 분석을 통해 혈액순환설의 검증이 혈액순환에 대한 가정(가설)과 가설을 설명하기 위한 증거를 찾아내는 과정(검증)으로 수행되었다고 하였다. 특히, 이러한 Harvey의 가정과 증거를 찾아내는 과정을 Lawson(2000)은 If... and... then...의 사고 과정 즉, 가설-연역적 추론 과정으로도 설명했다. 이러한 설명은 과학적 검증이 연역적인 예상 및 실험적 방법을 통해 수집한 관찰 결과들과 예상의 합치 정도에 기반한 연역 과정이라는 것을 말해주고 있다. 즉, '의문발상 → 가설창안 → 검증방법 고안 → 검증방법의 수행에 따른 결과 → 결과를 바탕으로 가설의 평가'의 과정으로 수행되는 가설-연역적 사고의 패턴에서 검증방법 고안, 검증수행, 가설 평가에 관련된 부분이 가설 검증의 직접적인 과정에 해당하는 연역적 추론의 과정임을 보여준다.

Hempel(1966) 역시 그의 유명한 쥘멜바이스의 산욕열 연구에 대한 분석 결과를 예로 들면서 가설을 검증하는 기본적인 과정에 대해 논의하였다. 그는 가설 검증 과정에서 사용되는 검증 명제의 성격에 대해 구체적으로 제시하였다. 그의 설명에 따르면, 가설로부터 이끌어낸 검증명제들은 보통 조건적 진술의 성격을 지니고 있어야 한다는 것이다. 즉, 가설의 검증에는 '이러이러한 검증 조건들 아래에서는 이런 종류의 결과가 일어날 것이다'라는 진술이 요구된다는 것이다. 이러한 결과에 대한 진술은 명백히 조건문 형식으로 표현되어야 한다는 것이다. 즉, '만일 C라는 조건들이 실행된다면 E라는 종류의 사건이 일어날 것이다'라는 형태로 진술되어야 한다고 주장했다.

Nagel(1961) 또한 연역적 설명 유형에서의 설명 전제들의 조건을 논리적(Logical) 조건, 인식적(epistemic) 조건, 내용적(substantive) 조건으로 분류하고 논리적 조건에 입각한 과학적 설명에 대해 언급했다. 그는 피설명항(설명되어야 할 사실)에 대한 연역적인 설명에 있어서 적어도 하나의 전제는 보편법칙이어야 하고 이는 피설명항의 도출에 있어 본질적인 역할을 하는 것이어야 한다고 했다. 더 나아가, 그는 이러한 설명에서 하나의 보편 법칙 외에 여러 개의 단칭 언명 또는 사례 언명들은 포함되어 있어야 한다고 언급했다. 이어서 그는 과학적 설명의 논리적 조건도 제시했는데, 이것을 모두 포함한 그의 연역적 설명 체계는 다음과 같다.

첫째, 전제 가운데 적어도 하나의 보편 법칙이 포함되어야하고 이렇게 포함된 것은 피설명항을 연역하는데 있어 본질적이어야만 한다.

둘째, 전제 가운데에는 적절한 초기 조건이 포함되어야만 한다.

이상의 설명들을 종합해 볼 때 가설 검증 과정이 연역적 설명 구조를 가진다고 할 수 있다. 또한 가설 검증 과정이 검증방법 고안, 검증수행, 평가의 과정으로 이루어진다는 것도 알 수 있다. 즉, 연역 추론 과정은 가설을 전제로 조건이 되는 평가 방법을 고안하거나 평가 기준을 이끌어내는 과정이라고 할 수 있다. 여기에서 평가 방법 고안은 구체적인 검증 방법을 고안하는 과정이고, 평가 기준 고안은 예상을 통해 실제 실험을 통해 얻어지는 결과와 비교하기 위한 가설 평가의 준거를 마련하는 과정이다. 이 과정에서 검증 방법, 평가 기준 등의 중간적 지식이 생성된다.

마지막으로, 가설 평가 과정은 검증 방법을 수행하고 결과를 얻어 가설을 평가하여 결론에 이르는 과정이다. 이 과정에서는 고안된 평가 방법에 따라 실험을 실시한 후 관찰을 통해 결과를 수집하고, 연역 추론을 통해 얻은 평가 기준과 실제 실험을 통해 얻은 결과를 비교하여 가설을 평가하고 결론을 진술한다. 이 과정에서 결과 지식과 결론 지식이 생성된다.

이와 같은 과학적 지식의 연역적 생성 과정을 간단하게 진술하면 다음과 같다.

과학 지식의 연역적 생성 과정:

검증방법 고안 → 평가기준 고안 → 결과 수집 → 가설 평가 → 결론 진술

Ⅲ. 결 론

지금까지 과학철학 문헌들에 나타나 있는 과학에서 선연적 지식 생성에 관련된 귀납적 추론, 귀추적 추론, 연역적 추론 등에 관한 과학철학적 배경, 의미, 과정 등에 관해 고찰해보았다. 이에 따르면 과학적 지식의 생성 과정은 그 추론 방식에 따라 크게 귀납적 과정, 귀추적 과정, 연역적 과정 등으로 나누어 볼 수 있다. 여기에서 귀납적 과정은 사실의 관찰에서 시작해서 규칙성을 발견하는 과정이며, 귀추적 과정은 귀납적 과정에서 생성된 기술적

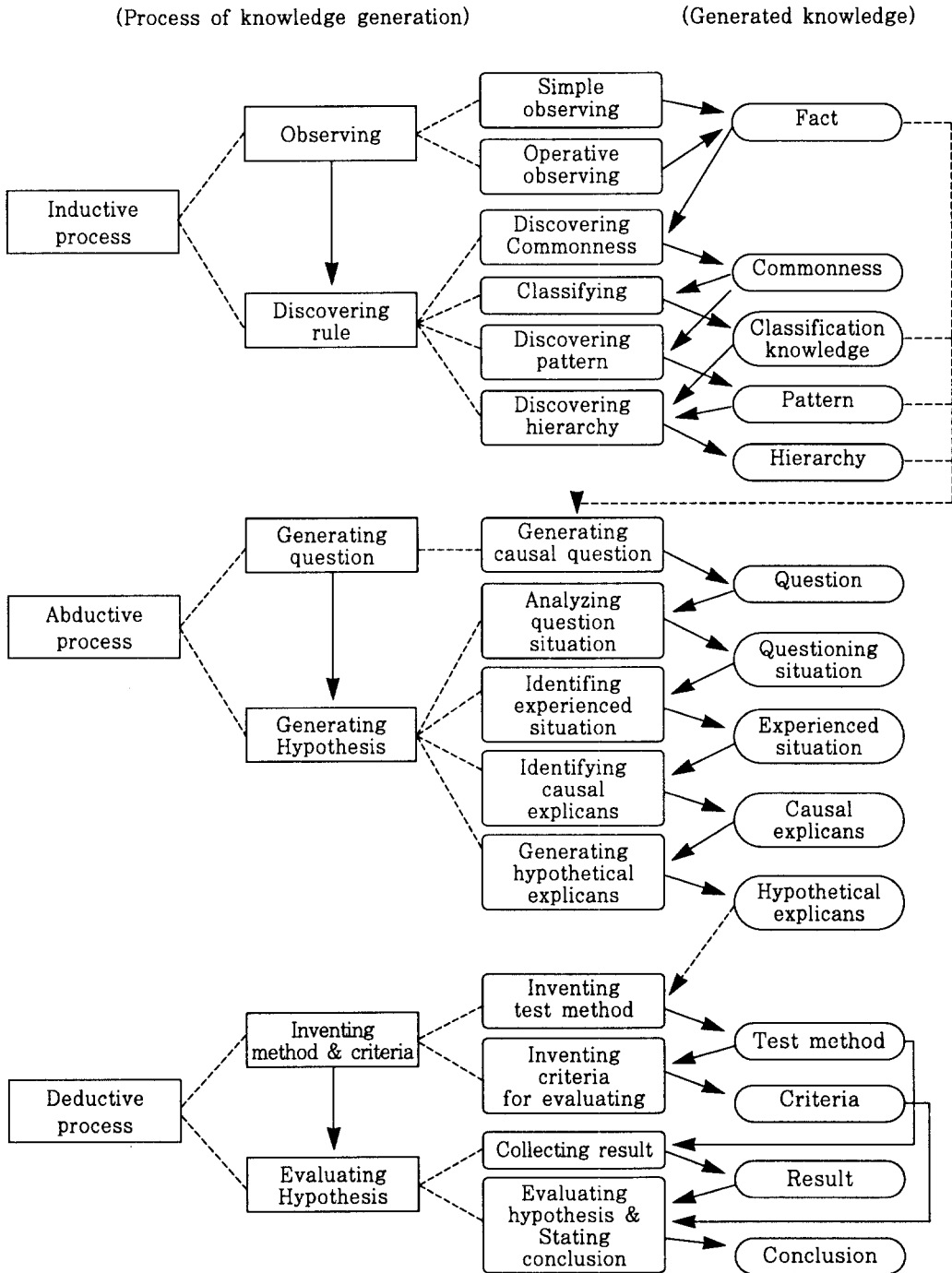


Fig. 7. The process of scientific-knowledge generation and the generated scientific-knowledge

지식들에서 인과적 의문이 생성되고 이에 대한 임시적인 답인 가설을 생성하는 과정이다. 또, 연역적 과정은 생성된 가설을 전제로 연역적 추론을 통해 검증방법과 평가기

준를 예상하고 실제 실험을 통해 그 예상을 확인함으로써 가설을 평가하는 과정이다.

더 나아가서, 귀납적 방법에 의한 선언적 과학 지식의

생성 과정은 “관찰(단순관찰, 조작관찰) → 공통성 발견 → 분류 → 위계” 또는 “관찰(단순관찰, 조작관찰) → 공통성 발견 → 경향성 발견 → 위계” 등으로 진행 된다. 이를 통해 얻을 수 있는 지식은 사실, 공통성, 분류, 경향성, 위계 등으로, 자연 현상을 그대로 기술하거나 종합한 지식들이다. 다음으로, 귀추적 방법에 의한 선언적 과학 지식의 생성 과정은 “의문 생성 → 의문상황 분석 → 경험상황 동정 → 원인적 설명자 동정 → 가설적 설명자 동정”이다. 귀추적 방법에 의해 얻을 수 있는 지식은 의문, 의문상황, 경험상황, 원인적 설명자, 가설적 설명자 등이다. 마지막으로, 연역적 방법에 의한 선언적 과학 지식의 생성 과정은 “(가설의) 검증방법 고안 → (가설의) 평가기준 고안 → 결과 수집 → 가설 평가 → 결론 진술”의 과정으로 제시할 수 있다. 여기에서 생성되는 과학적 지식에는 검증 방법, 평가 기준, 결과, 결론 등이 있다.

이상의 과학철학 분석 연구 결과를 종합하여 선언적 과학 지식의 생성 과정을 제시해보면 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다.

어떤 선언적 과학 지식은 그림에서 제시한 지식 생성의 전체 과정을 모두 거치면서 생성될 수도 있다. 그러나 대부분의 지식은 과정의 일부가 생략되거나 강조되어 생성되는 것으로 생각된다. 예를 들어, 생물학의 분류 지식은 주로 귀납적 과정이 강조되어 생성되는 것으로 볼 수 있으며, 물리학이나 화학의 이론들은 귀추적 과정과 연역적 과정을 중심으로 생성된다고 볼 수 있다.

또한, 선언적 과학 지식의 생성을 위한 실제적인 사고 흐름이 위의 모형에 나타난 것처럼 선형적 단계를 기계적으로 밟아간다고 보기는 어렵다. 우리의 사고는 막힘 없이 흘러가는 것이기 때문에 공장의 컨베이어벨트에서 물건이 만들어지는 것과는 다르다. 예를 들어, 관찰 대상들의 규칙성을 발견하는 과정에서 갑자기 인과적 의문이 생성되고, 그것을 해결하기 위해 고민하다가 다시 규칙성 발견 과정으로 되돌아 올 수도 있다. 즉 순간적인 사고의 흐름은 처음과 끝을 오가는 매우 유동적인 것임을 생각할 수 있다. 물론 이러한 사고의 복잡한 흐름을 정확하게 이해하기 위해서는 보다 체계적인 후속 연구가 필요할 것이다.

국문 요약

이 연구는 과학철학에서 논의되어온 과학의 선언적 지

식의 생성 과정을 보다 체계적으로 분석하고 정리하여 하나의 구조화된 과학적 지식의 생성 모형을 제시하고자 하였다. 이를 위해, 이 연구는 선언적 과학 지식의 생성 과정을 과학철학적 관점들을 중심으로 다양한 문헌들을 분석하고, 이러한 분석 결과를 바탕으로 과학적 지식의 생성 모형을 체계적으로 구조화하였다. 이를 통해 고안된 모형은 귀납적 과정, 귀추적 과정, 연역적 과정 등으로 구분되는 지식 생성 과정을 포함한다. 또, 각각의 과정은 다시 여러 단계의 하위 과정으로 구성되어 있음을 보여준다. 이 모형에 의하면, 먼저 귀납적 과정은 관찰과 규칙성 발견 과정으로 구분되며, 다시 관찰은 단순관찰과 조작관찰로 나뉘고, 규칙성발견은 공통점발견, 경향성발견, 분류, 위계 발견 등으로 세분된다. 그리고 귀추적 과정은 의문 생성과 가설생성 과정으로 구분되며, 여기에서 가설생성 과정은 다시 의문상황 표상, 경험상황 동정, 원인적설명자 동정, 가설적설명자 동정 등의 과정으로 나뉘어 진다. 마지막으로 연역적 과정은 방법·기준의 고안 과정과 가설 평가의 과정으로 구분되었으며 방법·기준의 고안 과정은 다시 가설의 검증방법 고안과 가설의 평가기준 고안으로, 가설평가 과정은 결과수집 과정과 가설평가 및 결론 진술 과정으로 세분된다.

참고 문헌

- 권용주, 양일호, 정원우(2000). 예비 과학교사들의 가설 창안 과정에 대한 탐색적 분석. 한국과학교육학회지, 20(1), 29-42.
- 권재술, 김범기, 우종욱, 정완호, 최병순, 정진우(1998). 과학교육론. 서울: 교육과학사.
- 김영채(1996). 사고와 문제해결 심리학: 인지의 이론과 적용. 서울: 박영사.
- 박연규(2000). '관'의 설명 가능성: 피어스(C. S. Peirce)의 가추법(abduction)에 의한 접근. 공자학, 7(1), 163-188.
- 박종원(1998). 과학활동에서 연역적 사고의 역할. 한국과학교육학회지, 18(1), 1-17.
- 박종원, 최경희, 김영민(2001). 물리 교육학 총론I. 서울: 북스힐.
- 성현란(1989). 학령전 아동에서의 자연범주와 귀납적 추론. 한국심리학회지, 2(1), 18-31.
- 소호령(1988). 인과적 설명과 비인과적 설명의 논리. 철학

- 연구, 23(1), 73-87.
- 이봉재(1992). 과학적 실재론과 설명의 문제. 철학연구, 31(1), 184-203.
- 이정모(2001). 인지심리학: 형성사, 개념적 기초, 조망. 서울: 아카넷.
- 정영기(1997). 인지과학에서 설명의 문제. 동서 철학 연구, 14(1), 147-168.
- 조희형, 최경희(2001). 과학교육 총론. 서울: 교육과학사.
- 한국과학교육학회(1998). 과학교육용어집. 서울: 교육과학사.
- Anderson, J. R.(1995). *Cognitive psychology and its implications, 4th ed.* New York: W. H. Freeman and Company.
- Anderson, J. R.(1995). *Cognitive psychology and its implications, 4th ed.* (이영애 역, 2000). New York: W. H. Freeman and Company.
- Carnap, R.(1966) *An Introduction to the philosophy of science.* (윤용택 역, 1993) New York: Basic Books.
- Chalmers, A. F.(1982). *What is this thing called Science?: An assessment of the nature and status of science and its method, 2nd ed.* (신일철 · 신중섭 역, 1985) St. Lucia, Queensland: University of Queensland Press.
- Colberg, M., Nester, M. A., & Trattner, M. H. (1985). Convergence of the inductive and deductive models in the measurement of reasoning abilities. *Journal of Applied Psychology*, 70, 681-694.
- Csapó B.(1997). The development of inductive reasoning: Cross-sectional assessments in an educational context. *International Journal of Behavioral Development*, 20, 609-626.
- 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.
- Gagne, E. D., Yekovich, F. R., & Yekovich, C. W.(1997). *The cognitive psychology of school learning, 2nd ed.* New York: Addison Wesley Longman, Inc.
- Gagne, E. D.(1985). *The cognitive psychology of school learning.* (이용남 · 박분희 외 14인 역).
- Hanson, N. R.(1958). *Patterns of discovery.* (송진웅 · 조숙경 역, 1995). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hempel, C. G.(1966). *Philosophy on natural science.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thargard, P. R.(1986). *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery.* Cambridge, MA: MIT Press.
- Jeong, J. & Kwon, Y.(2001). *Roles of abductive reasoning and prior knowledge in high school students' generating biological hypotheses.* A paper presented at the 2001 NABT National Convention, Montreal, CA, November 10.
- Klauer, K. J., & Phye, G. D.(1994). *Cognitive training for children: A developmental program of inductive reasoning and problem solving.* Seattle, WA: Hogrefe & Huber
- Kuhn, T. S.(1970). *The structure of scientific revolutions.* University of Chicago Press.
- Lawson, A. E.(1995). *Science teaching and the development of thinking.* Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E.(2000). How do humans acquire knowledge? and What does that imply about the nature of knowledge?. *Science & Education*, 9, 577-598.
- 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.
- Lewis, R. W.(1988). Biology: A hypothetico-deductive science. *The American Biology Teacher*, 50(5), 362-366
- Losee, J.(2001). *A historical introduction to philosophy of science, 4th ed.* London: Oxford University Press.
- Luger, G. F.(1994). *Cognitive science: The science of intelligent systems.* San Diego, CA: Academic Press, Inc.

- Martindale, C.(1991). *Cognitive psychology: A neural network approach*. (신현정 역, 1994). Cole Publishing Co.
- Millar, R.(1989). What is scientific method and can it be taught? In J. Wellington(Ed.), *Skills and Processes in Science Education: A Critical Analysis*. London: Routledge 44-58.
- Nagel, E.(1961). *The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation*. (전영삼 역, 2001). Harcourt, Brace & World, Inc.
- Norris, S. P.(1985). The philosophical basis of observation in science and science education. *Journal of research in science teaching*, 22(9), 817-833.
- Popper, K.(1968). *The logic of scientific discovery*. New York: Harper & Row, Publishers.
- Ross, W. D.(1949). *Aristotle's prior an posterior analytics*. London: Oxford University Press.
- Solso, R. L.(2001). *Cognitive psychology, 6th ed*. New York: Allyn & Bacon.
- Sternberg, R. J.(1985). *Beyond IQ: A triarchic theory of human intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J., & Gardner, M. K.(1983). Unities in inductive reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112(1), 80-116.
- Thurston, L. L.(1938). *Primary mental abilities. Psychometric Monographs (Serial No. 1)*. Chicago: University of Chicago Press.
- Wessells, M. G.(1982). *Cognitive psychology*. New York: Harper & Row, Publishers, Inc.