

과학활동에서 연역적 사고의 역할

박 종 원

(전남대학교)

The Role of Deductive Reasoning in Scientific Activities

Park, Jongwon

(Chonnam National University)

ABSTRACT

What does mean the statement that scientific reasoning is logical? In this study, we clarify the logical structure of the scientific explanation, prediction and the process of hypothesis testing. To simplify and identify the structure of scientific explanations and prediction more clearly, we used syllogism and presented various concrete examples.

Especially, we showed that the logical structure of scientific explanation was well reflected in dynamics. Based on this analysis, it can be said that the deficit of students' understanding of dynamics is because that many scientific activities are focused on prediction rather than explanation. To explain the process of hypothesis testing, we reinterpreted the Wason's selection task as two stages : the process of prediction of experimental phenomena based on the presented hypothesis, and the process of the hypothesis testing based on the predicted experimental phenomena. And we suggested the reason of the logical fallacy of 'affirming the consequent' in science was because that many scientific relationships between the variables is one-to-one relationship, and compared this suggestion with the Lawon's multiple hypothesis theory. To check out the effect of content on the deductive reasoning, we reviewed some researches about psychology and psychology of science. And to understand the role of deductive reasoning in student's scientific activities, we reviewed researches about the analysis of students' responses in the task of conceptual change or evaluation of evidence and so on.

Key words : deduction, deductive reasoning, logical thinking, science education, scientific explanation, prediction, hypothesis testing.

I. 서론 및 연구 목적

과학적 사고는 논리적 사고라는 주장에 반대할 사람은 아마도 없을 것이다. 그렇다면, 구체적으로 어떤 논리적 구조를 가지고 있는 것인가? 과학적 설명이 논리적이라는 뜻은 무엇이며, 과학적 예측이 어떠한 논리적인 구조를 가지고 있기에 우리는 논리적으로 주장하는

예측의 경우에는 쉽게 반박하지 못하는 것일까? 또한 가설이 검증되는 과정에서는 어떠한 논리적인 구조가 있는가? 물론 많은 논리학자와 과학철학자(예를 들면, Hempel, 1966; Popper, 1968)들은 과학적 설명과 예측, 그리고 가설 검증 과정에서의 논리적 구조에 대해 많은 연구와 주장들을 해 왔다. 그러나 그러한 연구들이 학교 과학 학습과 연관지어 수행된 것은 아니었다. 따라

* 1997년 4월 25일 받음

서, 과학적 설명의 구조를 구체적으로 학교에서 다루는 특정 설명에 적용하여 그러한 설명의 구조가 연역적임을 예시한 경우를 찾아 보기는 쉽지가 않다. 가설 검증 과정에 대해서는 생물 현상에 대한 구체적인 예시를 제시한 경우가 있었으나(Lawson, 1995), 논리적 구조에 대한 설명이 충분한 것은 아니었다. 또, 심리학 분야에서의 가설 검증 과정에 대한 논의(예를 들면, Wason, 1966)는 깊고 폭넓게 연구되어 왔지만, 과학 내용과 연관된 것은 아니었다. 따라서, 본 연구에서는 먼저 과학적 설명과 예측, 그리고 가설 검증 과정의 연역적 구조를 학교 과학 학습에서 다룰 수 있는 구체적인 예시를 제시하면서 살펴보고자 한다. 이를 위해서는 간단하게나마 논리학의 기초분야, 특히 삼단논법의 기본적인 특성을 다루지 않을 수 없을 것이다. 또 심리학 분야에서 다루었던 대표적인 가설 검증 과제인 와슨(Wason, 1966)의 선택과제(selection task)에 대한 내용도 다루게 될 것이다.

과학적 설명과 예측, 그리고 가설 검증 과정이 연역적인 구조라고 해서 과학자와 학생들이 모두 연역적인 사고를 하는 것만은 아니다. 예를 들면, 심리학 분야에서는(예를 들면, Evans, Barston, & Pollard, 1983), 추상적이고 형식적인 논리과제에 대해서는 연역적인 사고를 사용하지만, 구체적인 내용이 포함된 경우에는 내용과의 상호작용에 의해 연역적 사고가 영향을 받는다는 것을 보여주었다. 따라서, 과학적 설명이나 예측, 가설의 검증 과정에서는 과학 내용이 포함되어 있으므로, 연역적 사고가 내용에 의해 영향을 받을 수 있다는 것을 쉽게 예상할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 실제로 과학자들과 과학을 배우는 학생들이 그러한 논리적 구조를 얼마나 이해하고 있으며, 실제 과학적인 사고를 할 때 얼마나 논리를 사용하는지를 살펴보고자 한다. 이를 위해서는 과학사를 통한 실제 과학자의 과학 활동을 찾아보지 않을 수 없으며, 과학 심리학에 대한 연구를 조사하게 될 것이다. 그리고 과학학습에서의 연역 논리 사용에 대한 최근 연구들을 조사하여 볼 것이다.

본 연구의 주요 질문을 요약하면 다음과 같다.

- 과학적 설명과 예측, 그리고 가설 검증 과정은 어떠한 연역적 구조를 가지고 있으며, 과학 학습과 관련된 구체적인 예들은 무엇이 있을 수 있는가?
- 과학자들의 연역적 사고는 실제 과학 활동에서 어떻게 사용되는가?
- 과학 학습에서 학생들의 연역적 사고는 어떻게 사용되는가?

II. 본 론

1. 연역 논리의 기초

연역 논리는 두 전제로부터 결론이 도출되는 과정에서의 논리적 추론 양식으로 삼단 논법이라고도 한다. 연역 논리는 간단하게 4가지로 나눌 수 있다 : 정언적(categorical) 삼단 논법, 가언적(hypothetical) 삼단 논법, 선언적 삼단 논법(disjunctive), 딜레마(dilemma). 여기서는 본론을 전개하는 데 필요한 처음 두가지에 대해서만 간단하게 논의할 것이다.

정언적 삼단 논법은 두 개의 전제(대전제와 소전제)와 결론이 모두 정언 명제(categorical proposition)로 되어 있다. 정언적 삼단 논법의 형태는 명제의 종류와 두 개의 전제가 기술되는 형식에 따라 여러 가지가 있게 된다.

먼저, 명제의 종류에는 다음 4가지가 있는데, 각 종류를 식(mood)이라고 한다.

- 진칭긍정명제(A식) : 모든 A는 B이다.
- 진칭부정명제(E식) : 모든 A는 B가 아니다.
- 특칭긍정명제(I식) : 약간의 A는 B이다.
- 특칭부정명제(O식) : 약간의 A는 B가 아니다.

두 개의 전제가 기술되는 형식에는 다음 4가지가 있고, 각 형식을 격(figure)이라고 한다.

- | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| | 1격 | 2격 | 3격 | 4격 |
| 전제 1 : | A-B | B-A | A-B | B-A |
| 전제 2 : | B-C | C-B | C-B | B-C |

각 전제에 사용된 명제에는 4가지 식이 있으므로, 각각마다 16개의 전제쌍이 가능하고, 따라서 전체적으로 64개의 전제쌍이 가능하다. 즉, 정언적 3단 논법에서 두 개의 전제를 제시하는 데 64개의 방법이 가능하다는 것이다. 물론 각 방법마다 옳은 결론을 내릴 수 있는 것은 아니다. 예를 들어, 1격의 경우 전제 1에서는 A식 명제가 사용되고, 전제 2에서는 I식 명제가 사용된 경우를 보면 다음과 같다.

- 전제 1 : 모든 A는 B이다.
- 전제 2 : 어떤 B는 C이다.

이와 같이 전제들이 제시된 경우에는 결론을 내릴 수 없다. 64개 각 경우에 대해서 옳은 결론이 무엇인지, 어떤 경우에 결론을 내릴 수 없는지, 가능한 틀린 결론에는 어떤 것이 있을 수 있는지, 옳은 결론과 틀린 결론에 대해서 실제 대학생들의 반응이 어떠한지에 대한 연구 결과 등은 Johnson-Laird & Bara(1984)의 논문을 참고하기 바란다.

가언적 삼단 논법은 대전제가 가언명제(hypothetical proposition)이고, 소전제와 결론은 정언 명제로 구성되어 있다.

대전제(전제 1)의 가언 명제가 '만일 p이면, q이다'의 형태를 가지는 경우에, 소전제(전제 2)의 형태에 따라 다음 4가지 전제쌍이 가능하다.

전제 1 : 만일, p이면 q이다. 만일, p이면 q이다.
 전제 2 : 이것은 p이다. 이것은 p가 아니다.

전제 1 : 만일, p이면 q이다. 만일, p이면 q이다.
 전제 2 : 이것은 q이다. 이것은 q가 아니다.

대전제의 p를 전건(antecedent)이라고 하고, q를 후건(consequence)이라고 할 때, 위의 각 전제쌍은 전건 긍정식(affirmative mode), 전건 부정식(negative mode), 후건 긍정식, 후건 부정식이라고 한다. 전건 긍정식과 후건 부정식의 경우에 두 전제로부터 얻을 수 있는 타당한 결론은 각각 '따라서, q이다'와 '따라서, p가 아니다'이다. 그러나, 전건 부정식과 후건 긍정식의 경우에는 두 전제로부터 결론을 내릴 수 없다.

물론, 대전제의 가언명제가 '만일 p이면, q가 아니다'와 같이 다른 형태로 주어질 수 있으며, 이 때 각 소전제의 형태에 따른 결론도 쉽게 이끌어낼 수 있다.

2. 과학적 설명과 예측의 연역적 구조

논리경험주의자들에 의하면, 연역 추리는 과학 법칙과 이론들로부터 자연 현상을 설명하거나 예측할 때, 설명이나 예측의 형태가 연역적인 구조를 가진다고 하였다.

설명과 예측의 연역적 구조는 다음과 같다.

전제 1 : 법칙과 이론들
 전제 2 : 초기 조건들
 결 론 : 자연 현상

1) 과학적 설명의 구조

먼저 과학적 설명의 구조를 살펴보자. 과학적 설명의 경우에는 자연 현상이 먼저 일어났을 때, 왜 그런 현상이 일어나는지를 전제 1과 전제 2를 통하여 설명하게 되는데, 이때 설명의 형태가 위와 같다는 것이다. Hempel(1966)은 결론에서의 자연 현상을 '설명되는 것(explanandum)'이라고 하였고, 전제 1과 전제 2를 '설명하는 것(explanans)'이라고 하여, 설명은 바로 이 두 가지로 이루어진 것이라고 하였다. 예를 들어, 지구 표면상에서 포물선 운동하는 물체가 있다면(explanandum), 뉴턴의 운동 법칙(전제 1)을 이용하여, 물체의 질량, 물체에 작용하는 힘, 물체가 처음 던져질 때의 위치와 속도 등과 같은 초기 조건(전제 2)을 부여하여, 물체가 포물선 운동을 하는 현상(결론)을 설명하게 되는데, 이 설명의 형태가 연역적이라는 것이다.

형식적인 연역 논리 구조로 간단화 시켜 나타낸 예를 들면 다음과 같다.

전제 1 : 질량 m인 물체가 가속도 a로 운동을 하면, 그 물체에는 $F = ma$ 만큼의 힘이 작용하고 있다.

전제 2 : 질량 $m = 5\text{kg}$ 가 가속도 $a = 10\text{m/s}^2$ 로 운동하고 있다.

결 론 : 따라서, 이 물체에는 $F = 50\text{N}$ 의 힘이 작용하고 있다.

위와 같은 정량적인 설명의 구조는 문제 해결의 과정과 유사하지만, 정성적인 설명의 구조에서도 연역 논리의 구조는 쉽게 찾아볼 수 있다.

전제 1 : 물체의 운동방향은 변하지 않고 속력이 점점 느려진다면, 그 물체에는 운동 반대 방향으로 힘이 작용하고 있다.

전제 2 : 수직 위로 던진 물체는 올라가는 중, 방향은 변하지 않고 속력이 점점 느려진다.

결 론 : 따라서, 수직 위로 던진 물체는 올라가는 중, 물체에는 아랫방향으로 힘이 작용하고 있다.

역학에서 동역학(dynamics)의 구조가 바로 위와 같은 연역적 구조로 되어 있다. 동역학이란, 운동학(kinematics)에서 물체의 운동이 기술되면, 특히 물체의 운동 변화가 기술되면, 왜 물체가 그러한 운동의 변화를 일으키는 지 설명하고자 하는 것이다. 따라서, 먼저 주어

지는 것은 어떤 특정 물체의 운동상태 변화에 대한 기술이다. 그러면 운동상태 변화와 힘과의 관계에 대한 일반법칙(뉴턴의 운동법칙)을 사용하여 그 물체에 어떤 힘이 어떻게 작용하였기 때문인지를 찾아내는 과정이 바로 연역적인 과정으로 되어 있다.

단계별로 설명의 과정을 다시 살펴보기 위해 단진자의 운동, 특히 단진자가 최고점을 지나 내려오는 중을 생각해 보자. 이때, 먼저 단진자의 운동상태 변화를 기술하면 다음과 같다.

단진자가 내려오는 중에는 속력은 점점 빨라지고, 물체의 운동방향은 변화한다.

위와 같이 진자의 운동변화가 기술되면, 왜 진자가 내려올 때 속력은 점점 빨라지고 방향은 변화하는지를 설명하고자 한다. 이때, 설명을 위해 먼저 해야 할 일은 관련된 일반법칙을 찾는 일이다. 힘과 운동상태 변화에 관한 일반법칙은 아래와 같이 4가지 형태가 있을 수 있다.

- I형 : 만일, 물체의 운동방향은 변하지 않고 속력이 빨라진다면, 그 물체에는 운동방향과 같은 방향으로 힘이 작용하고 있다.
- II형 : 만일, 물체의 운동방향은 변하지 않고 속력이 느려진다면, 그 물체에는 운동방향과 반대 방향으로 힘이 작용하고 있다.
- III형 : 만일, 물체의 속력은 변하지 않고 운동방향이 변한다면, 그 물체에는 운동방향과 수직인 방향으로 힘이 작용하고 있다.
- IV형 : 만일, 물체가 turning point에서 오던 길로 되돌아 간다면, turning point에서도 그 물체에는 되돌아가는 방향으로 힘이 작용하고 있다.

위와 같은 4가지 형태의 일반법칙 중에서 단진자가 내려오는 중에는 물체의 속력과 방향이 동시에 변화하므로 그러한 물체의 운동을 설명하기 위해 관련된 법칙은 I형과 III형이다.

이와 같이 설명을 해야 할 물체의 운동과 그에 관련된 일반법칙이 선정되면, 일반법칙으로부터 진자의 운동상태 변화를 설명하는 과정은 다음과 같은 연역적 구조를 이루게 된다.

전제 1 : 만일, 물체의 속력이 빨라지고 운동방향이 변한다면, 그 물체에는 운동방향과 같은 방

향과 수직인 방향으로 모두 힘이 작용하고 있다.

전제 2 : 단진자는 내려오는 중, 속력은 빨라지고 운동방향은 변화한다.

위와 같이 전진 긍정식의 형태를 이루게 되면, 두 전제로부터 이끌어 낼 수 있는 연역적인 결론은 다음과 같다.

결론 : 따라서, 단진자가 내려오는 중, 진자에는 운동방향과 같은 방향과 수직인 방향으로 모두 힘이 작용하고 있다(Fig. 1 참고).

즉, 운동방향과 수직방향인 힘은 장력과 중력의 원심성분의 합력에 의한 것이고, 운동방향의 힘은 중력의 접선성분에 의한 것이다.

이 외의 어떠한 운동의 경우라도 위에 예시된 4가지 일반법칙들 중에서 적절히 선택하거나 조합하면, 그 물체에 어떤 힘이 작용하여 그러한 운동을 하는지를 설명할 수 있다. 이러한 모든 과정은 바로 동역학의 기본정신을 그대로 잘 반영하고 있는 설명과정이다.

2) 과학적 예측의 구조

과학적 예측의 경우에도 위와 같은 연역적 구조를 가지는 데, 이때에는 구체적인 현상이 아직 일어나지 않았다는 것이다. 즉, 구체적인 현상이 전제 1과 전제 2에 나타나지 않는다. 예를 들어, 음의 법칙이 주어지고(전제 1), 어떤 전기 회로에서 전압과 각 소자의 저항이 주어지면(전제 2), 실제 회로에서는 어떤 경로에 얼마만큼의 전류가 흐를 것인지를 예측(결론)할 수 있는데, 이

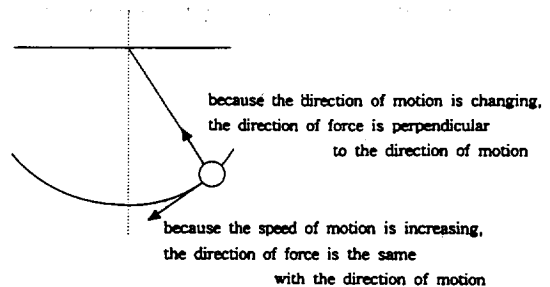


Fig. 1 The direction of force acting on the pendulum.

예측의 형태가 연역적이라는 것이다. 즉, 이 과정을 형식적인 연역논리 구조로 간단화시켜 바꾸면 다음과 같다.

전제 1: 어떤 저항(R)에 전압(V)이 걸리면, V/ R만큼의 전류가 흐른다.

전제 2: 이 회로에서 이 소자의 저항은 $R = 5\Omega$ 이고, 소자에 걸린 전압은 $V = 10V$ 이다.

결론: 따라서, 이 소자에는 $10/ 5 = 2A$ 만큼의 전류가 흐를 것이다.

물론, 보다 복잡한 형태의 예측과정도 이러한 형식으로 구조화할 수 있다. 예를 들면, 직렬 연결된 두 개의 전구의 밝기를 예측한다고 하여 보자. 이때, 먼저 주어지는 것은 회로의 구성(두 개의 전구의 직렬 연결)과 그에 대한 초기 조건들(예를 들면, 두 전구의 저항은 같다)이다. 그리고 그와 관련된 일반법칙(옴의 법칙, 전하량 보존 법칙, 전기에너지)이 선정되게 되면, 회로에 대한 초기 조건과 일반법칙으로부터 논리적으로 전구의 밝기를 예측할 수 있다.

동역학에서 물체의 운동이 먼저 주어지면, 물체에 어떠한 힘이 어떻게 작용하는지를 찾음으로서 왜 물체가 그러한 운동을 하게 되는지를 설명하는 과정이 연역적 과정이었다면, 반대로 어떤 물체에 작용하는 힘이 먼저 주어지고 물체의 운동이 어떻게 일어날 지는 예측하는 과정도 연역적인 과정이다. 예를 들면, 어떤 물체의 운동방향과 반대방향으로 힘이 작용하고 있다고 할 때 이 물체의 운동상태가 어떻게 변화할지 예측한다고 하여 보자. 설명의 과정과 마찬가지로 먼저 주어진 초기 조건은 다음과 같다.

지표면에서 물체를 수직 위로 던지면, 위로 올라가는 중 물체에는 운동방향과 반대방향으로 중력이 작용하고 있다.

그러면 이 물체의 운동상태 변화를 예측하기 위해 필요한 일반 법칙은 다음과 같다.

물체에 운동방향과 반대방향으로 힘이 작용하면, 물체의 속력은 점점 느려진다.

이제 두 진술문으로 연역적으로 물체의 운동변화를 예측하는 과정은 다음과 같다.

전제 1: 물체에 운동방향과 반대방향으로 힘이 작용하면, 물체의 속력은 점점 느려진다.

전제 2: 지표면에서 물체를 수직 위로 던지면, 위로 올라가는 중 물체에는 운동방향과 반대방향으로 중력이 작용하고 있다.

결론: 따라서, 지표면에서 물체를 수직 위로 던지면, 위로 올라가는 중 물체의 속력은 점점 느려진다.

이와 같이 과학적 예측의 경우에는 과학적 설명의 경우와 달리 구체적인 현상이 결론에서 나타나지 않고 전제 2에 나타나게 된다. 또한, 전제 1의 구체적인 내용을 과학적 설명의 경우와 비교해도 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 과학적 설명의 경우에는 전제 1의 전건에 물체의 운동상태가 오고, 후건에 물체에 작용하는 힘의 방향이 진술되어 있지만, 과학적 예측의 경우에는 전제 1에서 전건의 내용과 후건의 내용이 서로 바뀌어 있음을 알 수 있다. 이것은 물체의 가속도로부터 물체에 작용하는 힘을 찾는 과정과 물체에 힘이 작용할 때 물체의 가속도를 찾는 과정과의 차이와 같다. 즉, 전자의 경우가 바로 설명의 과정이고 후자가 예측의 과정이 된다.

앞서 예를 든 전기회로에서도 마찬가지이다. 회로에 흐르는 전류로부터 전압의 크기를 찾는 과정과 전압이 작용할 때 흐르는 전류의 세기를 찾는 과정은 바로 설명의 과정(전자의 경우)과 예측의 과정(후자의 경우)과의 차이이다.

흔히 학교 교육에서는 이러한 차이를 명확하게 구분하지 않는 경우가 많다. 즉, 학교 교육에서 많이 다루는 문제들은 물체에 작용하는 힘이 먼저 주어지고, 뉴턴의 법칙을 사용하여 물체의 운동을 예측하는 것들이다(예를 들면, 도르래 문제에서 중력과 장력이 주어지고 도르래의 가속도를 구하는 문제들이 그런 유형들이다). 그것은 분명히 물체의 운동을 설명하는 과정이 아니며 물체의 운동을 예측하는 과정이다. 반면에 물체의 운동 변화를 정확하게 기술하고 그러한 운동 변화를 설명하기 위해 어떤 방향의 힘이 작용하는지를 다루는 활동은 거의 없는 편이다. 이것이 힘과 운동에 대해 많은 학생들이 정확한 개념을 가지지 못하는 이유 중의 하나라고 볼 수 있다.

위의 설명에서는 구체적인 현상이 일반법칙에 의해 설명되는 경우를 예로 들었다. 그러나 법칙이 다시 큰 이론으로 설명되는 경우와 그 이론이 다시 더 포괄적인

이론에 의해 설명되는 경우에도 설명은 연역적인 형태를 갖게 된다(Brown, p. 75).

3. 가설 검증과정의 연역적 구조

가설의 검증을 위해서는 가설 자체를 검증하기 보다는 가설을 통해 실제 관찰/실험 가능한 상황을 먼저 예측하게 되고, 예측된 현상이 실제로 일어나는지를 직접 관찰/실험함으로써 가설을 검증하는 두 단계 과정을 거치게 된다.

1) 가설을 통한 실험 현상의 예측과정과 실험을 통한 가설의 검증과정

먼저, 가설로부터 가능한 실험 현상을 예측하는 과정도 연역적인 구조를 가지고 있다. 예를 들면, 다음과 같은 두 개의 전제가 있다고 하자.

전제 1: 모든 중성자는 입자이다.

전제 2: 모든 입자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으키지 않는다

위 전제로부터 얻을 수 있는 옳은 결론은 A식 1계 삼단논법에 따라 다음과 같다.

결론: 따라서, 모든 중성자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으키지 않는다.

다음 단계에서는 이렇게 예측된 실험 현상을 직접 확인함으로써 이루어지는데, 마찬가지로 이러한 과정 역시 다음과 같은 연역적 구조로 되어 있다.

전제 1: 모든 중성자가 입자라면, 중성자가 슬릿을 지날 때에는 간섭을 일으키지 않을 것이다.

전제 2: 실험에 의하면, 중성자가 슬릿을 지날 때 간섭을 일으킨다.

결론: 실험에 의하면, 중성자는 입자가 아니다.

즉, 가설로부터 실험 현상을 예측하는 과정에서는 전제 1에 가설이 오지만, 예측된 실험 현상을 직접 확인함으로써 가설을 검증하는 과정에서는 전제 1에 가설과 가설에 의해 예측된 실험 현상이 오게 된다. 이때, 전제 2에는 실제 실험 결과가 오게 되는데, 실험 결과가 전제 1에서 예측했던 것과 다르게 나오게 되면, 가설이 틀리

다는 논리적 결론을 얻을 수 있다.

이와 같이 후건 부정식에 의해 가설이 틀렸음을 밝히는 과정은 포퍼가 말한 반증의 과정과 같다.

“여기서 언급된 추리의 반증 양식, 즉, 결론의 반증이 그로부터 그것이 도출된 체계의 반증을 함의하는 방식-은 고전 논리학의 후건 부정식이다. 그것은 다음과 같이 기술될 수 있다.

이론들과 초기 조건들(단순성을 위해 필자는 그것들의 차이를 구별하지 않을 것이다)로 이루어진 언명들의 체계 t의 결론을 p라고 하자. 그러면, 우리는 p가 t로부터 도출될 수 있는 가능한(분석적 함축) 관계를 't→p'로 기호화할 수 있고, 'p는 t로부터 따라 나온다'고 읽을 수 있다. p가 거짓이라고 하자. 그것은 ~p라고 쓰고, 'p가 아니다'라고 읽을 수 있다. t→p라는 가능한 도출 관계와 ~p라는 가정이 함께 주어지면 우리는 ~t(t가 아니다)를 추리할 수 있다. 즉, 우리는 t가 반증된 것으로 간주한다.”(Popper, 1968, p. 76)

이러한 포퍼의 반증의 과정을 다시 요약하면 아래와 같다.

전제 1: 만일 A라면 B이다.

전제 2: B가 아니다.

결론: 따라서, A가 아니다.

이때 A는 과학적 가설이나 이론이고, B는 A에 의해 예측된 실험/관찰 현상을 의미한다. 즉, 과학적 가설 A에 의하면 어떤 현상이 B와 같이 일어나야 하는데 만일 현상이 B와 같이 일어나지 않는다면, 가설 A가 틀리다는 것이다.

물론, 어떤 가설에 의해 예측된 실험 현상이 실제로 관찰될 수도 있다. 다음과 같은 경우를 보자.

전제 1: 만일, 뉴턴의 운동법칙에 옳다면, 목성도 태양을 중심으로 타원궤도를 돌 것이다.

전제 2: 관측에 의하면, 목성이 태양을 중심으로 타원궤도를 돈다.

그러나, 위와 같은 경우는 후건 긍정식이 되어, 비록 가설에 의해 예측된 현상이 실제로 관찰되었다고 하여도, '따라서, 관측에 의하면, 뉴턴의 운동법칙은 옳다'라

는 결론을 논리적으로 얻을 수가 없다. 이를 가리켜, 논리적으로 가설을 반증하는 것은 가능하지만, 가설을 확증하는 것은 불가능하다고 한다.

“...필자의 제안은 확증가능성과 반증가능성 간의 비대칭성에 근거한 것이다. 즉, 보편 언명들의 논리적 형식에서 비롯되는 비대칭성을 말하는 것이다. 이것들은 결코 단칭 언명들로부터 도출될 수는 없지만, 단칭 언명들과 모순될 수는 있다. 결과적으로, 순수한 연역적 추리들에 의해(고전 논리학의 후건 부정식에 힘입어) 참된 단칭언명들로부터 보편 언명들이 거짓이라는 것을 추론하는 것은 가능하다.”(Popper, 1968, p. 41)

2) 와슨(Wason)의 선택과제

심리학 분야에서 와슨(Wason, 1966)의 연구는 가설 검증 과정을 조사한 유명한 연구이다. 와슨의 선택 과제(selection task)는, A, B, 4, 7이라고 각각 쓰여진 4장의 카드(카드의 앞면에는 알파벳이 쓰여져 있고, 뒷면에는 숫자가 쓰여져 있다)를 제시하고, ‘만일 카드의 앞면에 모음이 적혀 있으면, 뒷면에는 짝수가 적혀 있다’는 법칙이 맞는지 알아보려면 어떤 카드를 뒤집어 보면 되는지를 묻는 과제이다.

이것은 가설 검증 과정에서 첫 번째 단계, 즉, 주어진 가설로부터 가능한 관찰 현상이 무엇인가를 결정하는 과정과 같다. 이러한 결정을 위해서는 전제 1과 전제 2가 어떠한 쌍으로 이루어질 수 있으며, 그때 얻을 수 있는 논리적 결론이 무엇인지를 살피는 것이 필요하다.

주어진 가설로부터 실험/관찰 현상을 예측하는 과정에서는 전제 1이 다음과 같이 가설로 주어진다.

전제 1 : ‘만일 P라면, Q이다’(P = 앞면이 모음, Q = 뒷면은 짝수)

이때, 전제 2에는 위에서 주어진 각 카드 중 하나가 올 수 있으므로 가능한 전제 2에는 다음 4가지 형태가 있을 수 있다.

첫번째 형태의 전제 2 : A는 P이다.(A = A카드)

두번째 형태의 전제 2 : B가 P가 아니다.(B = B카드)

세번째 형태의 전제 2 : C는 Q이다.(C = 4카드)

네번째 형태의 전제 2 : D는 Q가 아니다.(D = 7카드)

만일, 첫번째 형태를 전제 2로 택하면, 전제 1과 전제 2는 각각

전제 1 : 만일 P라면, Q이다.

전제 2 : A는 P이다.

와 같이 되며, 이들로부터 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

결론 : 따라서, A는 Q이다(따라서, A카드는 뒷면이 짝수일 것이다)

이번에는 두번째나 세번째 형태를 전제 2로 택하여 보자. 그러나 이 경우에는 논리적으로 옳은 결론을 얻을 수 없다. 왜냐하면, 두 번째 형태를 전제 2로 택하게 되면, 그때 전제 1과 전제 2는 전건 부정식이 되고, 세 번째 형태를 전제 2로 택하게 되면, 그때 전제 1과 전제 2는 후건 긍정식이 되기 때문이다. 마지막으로 네번째 형태를 전제 2로 택하면,

전제 1 : 만일 P이면, Q이다.

전제 2 : D는 Q가 아니다.

와 같이 되며, 이들로부터 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

결론 : 따라서, D는 P가 아니다(따라서 7카드는 앞면이 모음이 아닐 것이다)

따라서, A카드를 뒤집는다면 뒷면이 짝수일 것이라고 예측할 수 있고, 7카드를 뒤집는다면 앞면이 모음이 아닐 것이라고 예측할 수 있게 된다. 결론적으로 A카드와 7카드를 뒤집으면, 주어진 가설이 옳은지 틀린지 확인할 수 있다는 것이다.

와슨의 선택과제를 좀더 확장시켜, ‘만일 앞면이 모음이라면, 뒷면은 짝수일 것이라는 가설은 옳은가 틀리는가’고 하였다면, 단순히, ‘가설이 옳은지 틀린지 알아보기 위해서는 어떤 카드를 뒤집으면 되겠는가’와는 달리, 실제 선택한 카드를 뒤집어 관찰하여 가설이 옳은지 틀린지 결정하라는 의미가 된다. 이것을 앞선 예와 비교한다면, ‘중성자가 입자라는 가설이 옳은지 확인하기 위해서는 어떤 실험이 가능하겠는가’와 ‘중성자가 입자라는 가설은 옳은가 틀리는가’와 같은 질문의 차이와 같다.

즉, 전자의 질문은 가설로부터 가능한 실험을 예측하라는 것이고, 후자의 질문은 그 예측한 실험을 실제로 수행함으로써 가설이 참인지 거짓인지를 확인하라는 것이다.

이러한 검증 과정에서 전제 1에는 다음과 같이 가설과, 가설로부터 예측된 실험 현상이 오게 된다.

전제 1 : 만일, 앞면이 모음일 때 뒷면이 짝수라면, A 카드를 뒤집으면 뒷면이 짝수이다.

전제 2에서는 실제 A카드를 뒤집어 관찰한 사실이 오게 되는데, 만일, 관찰결과 A카드를 뒤집었을 때 뒷면이 짝수였다면, 이때, 전제 1과 전제 2는 후건 긍정식을 이루므로 결론을 내릴 수 없고 단지 주어진 가설이 반증되지 않았다고 할 수 밖에 없다. 그러나, 만일 관찰결과가 다음과 같다면,

전제 2 : 관찰 결과, A카드를 뒤집었을 때 뒷면이 홀수였다.

이때, 전제 1과 전제 2에 의해서는 가설이 틀렸다는 것을 주장할 수 있다.

마찬가지로 두 번째 예측의 경우에도 가설 검증을 위해 주어진 전제 1은 다음과 같고,

전제 1 : 만일, 앞면이 모음일 때 뒷면이 짝수라면, 7 카드를 뒤집으면 앞면이 모음이 아니다.

전제 2가 다음과 같다면,

전제 2 : 관찰 결과, 7카드를 뒤집었을 때 앞면이 짝수였다.

이때에도 가설이 틀렸다는 것을 주장할 수 있게 된다.

3) 과학적 설명과 가설 검증 과정에서 후건 긍정의 오류

와슨은 위와 같은 선택 과제를 대학생들 대상으로 조사하였을 때, A카드와 7카드를 뒤집어 본 학생은 단지 10% 미만이었다고 보고하였다. 대부분의 대상자들이 A카드만 뒤집어 보거나 A카드와 4카드를 뒤집어 보았다. 즉, 주로 A카드만 뒤집어 보았다는 것은 후건 부정식보다는 전건 긍정식이 일반인들에게는 친숙하게 사용

되는 논리라는 것을 의미하며, 또 4카드를 뒤집어 본 것은 후건 긍정식에서는 논리적으로 결론을 얻을 수 없다는 것을 많은 대상자들이 완벽하게 이해하지 못한다는 것을 의미한다.

사실 이러한 후건 긍정의 오류는 과학적 설명에서도 많이 일어난다. 예를 들어, 다음과 같은 경우를 보자.

전제 1 : 만일 대전된 두 물체가 같은 전하로 대전되어 있으면, 두 물체 사이에는 척력이 작용한다.

전제 2 : 이 두 대전된 물체 사이에는 척력이 작용한다.

결론 : 따라서, 이 두 물체는 같은 전하로 대전되어 있다.

위와 같은 경우는 후건 긍정식에 해당되므로, 논리적으로 볼 때 위와 같이 결론을 내릴 수 없다. 그러나 실제로는 위와 같은 결론을 내리기 쉽다.

위와 같이 논리적으로는 결론을 얻을 수 없음에도 불구하고 과학에서 후건 긍정식이 많이 사용되는 이유는 p(전건)가 q(후건)의 필요조건일뿐 아니라 충분조건이기도 하여, p와 q가 서로 1대1로 대응되는 경우가 많기 때문이다. 즉, 위의 예에서는 같은 전하로 대전되어 있으면 반드시 척력이 작용할 뿐 아니라, 척력이 작용하는 경우에는 반드시 같은 전하로 대전되어 있기 때문이다. 즉, 같은 전하로 대전되어 있지 않은 경우에 척력이 작용하는 일은 없다는 것이다. 과학에서는 이와 같이 전건과 후건의 관계가 1대1 대응으로 묶여 있는 경우가 많다. 그러한 경우에는 위와 같이 논리적으로 틀린 사고(후건 긍정의 오류)를 하더라도 결론이 잘못되었다고 하기 힘들다. 이러한 특성이 학생으로 하여금 굳이 연역적으로 사고할 필요성을 가지지 않게 할 수 있다.

물론, p와 q와의 관계가 1대1 대응이 아닌 경우에는 연역적으로만 사고해야만 옳은 결론을 얻을 수 있다. 예를 들면, 피곤과 감기와와의 관계는 1대1 대응이 아니다. 즉, 전제 1이 '만일, 피곤이 누적되면, 감기에 걸린다'이고, 전제 2가 '감기에 걸렸다' 라면, '따라서, 피곤이 누적되어 있었다'라는 결론을 얻는 것은 논리적으로 타당하지 못할 뿐 아니라 실제로도 결론이 틀릴 수 있다. 왜냐하면, 피곤에 의하지 않고도 감기에 걸릴 수 있기 때문이다.

마찬가지로 과학적 가설을 실험을 통해 검증하는 과정에서도 마찬가지이다. 즉, 가설 p에 의해 예상된 실험

현상 q가 실제로 실험에 의해 관찰되었어도, 논리적으로는 가설 p가 옳다는 결론을 내릴 수 없다. 그럼에도 불구하고 과학적 가설의 검증 과정에서 후건 긍정의 오류를 범하는 이유는, 논리적으로 결론을 내리기보다는 전제 1에서 사용된 p와 q와의 관계가 1대1의 관계인지를 먼저 사고해 보기 때문이다. 만일, 가설과 현상이 서로 1대 1의 관계가 아니라고 생각되면, 즉 실험 현상 q가 일어나는 원인이 주어진 가설 p 이외에 또 다른 가설이 있을 수 있다고 생각되면 결론을 내릴 수 없다고 하겠지만, 만일 1대 1의 관계라고 생각되면, 즉 실험 현상 q가 반드시 주어진 가설 p에 의해서만 일어난다고 생각되면 후건 긍정식임에도 불구하고 가설 p가 옳다는 결론을 내리게 될 것이다. 예를 들어, 뉴턴의 운동법칙(p)에 의해 목성이 타원운동한다(q)고 예측하였을 때, 실제로 목성이 타원운동하는 것을 관찰하였다고 하여도(후건 긍정식), 뉴턴의 운동법칙이 옳다는 결론을 논리적으로 내릴 수는 없다. 단지 뉴턴의 운동법칙 이외에 목성의 타원운동을 설명할 수 있는 다른 이론을 생각할 수 없기 때문에 뉴턴의 운동법칙이 옳다는 결론을 내리게 된다는 것이다. 이것을 가리켜 Lawson은 다중가설이론(multiple hypothesis theory)이라고 하였다(Lawson, 1995, p. 361). 이러한 측면은 과학을 배우는 학생에게 중요한 시사점을 준다. 왜냐하면 과학을 배우는 학생의 경우에는 가설 p 이외에 새로운 대안적 가설 p'를 생각해 내는 것이 쉽지 않기 때문이다. 따라서 후건 긍정의 오류에 빠지기 쉽다.

그러나 어떤 과학 법칙이라고 하더라도 완벽하게 그 법칙이 참임을 보장받을 수는 없다. 즉, 현재의 지식 배경에 의해 볼 때 대안적 가설 p'을 생각해 내는 것이 어렵다고 해서 후건 긍정식에 가설이 옳다는 결론을 내리는 것은 논리적으로 부당하다. 즉, 언제든지 앞으로 대안적 가설이 등장할 수 있기 때문이다. 따라서, 가설을 현재 지지하는 관찰 결과가 나왔다고 하더라도 일단은 후건 긍정식의 논리적 특성에 따라 가설이 옳다는 결론을 유보한 채, 다른 가능한 가설이 존재할 수 있는지를 살펴보는 것이 과학적인 비판적 사고를 위해 필요하다는 것이다.

예를 들어, 천동설을 믿던 시절에는 아침에 동쪽 하늘에서 뜨는 태양을 보고 과연 태양이 든다는 생각이 옳다고 했을런지는 몰라도, 코페르니쿠스 시대에 와서는 동일한 현상을 지동설로도 설명할 수 있게 됨으로서 동쪽에서 해가 뜨는 자연현상이 결코 천동설을 확증해 주는 관찰 사실이 아니라는 것을 알 수 있다. 이외에도 과학

사를 통해 볼 때, 잘못된 이론임에도 불구하고, 그 이론이 예측했던 관찰/실험 사실이 확인되었다고 해서 그 이론이 확증되었다고 결론을 내리는 후건 긍정의 오류의 예들을 어렵지 않게 찾아볼 수 있다.

4. 연역적 사고에서의 개념의 영향

1) 추상적 사고와 개념

인텔더와 피아제는 논리적 사고 즉, 형식적 사고는 기본적으로 가설 연역적이라고 하였다. 그리고 연역은 더 이상 실제에 기초하지 않고 가설적인 명제 간의 관계에만 기초한다고 하였다(Inhelder & Piaget, 1958, p. 251). 즉, 주어진 전제들로부터 결론을 이끌어 내는 과정에서 전제들이 참인지 아닌지를 논의할 필요는 없다. 따라서, 전제들에 포함되어 있는 내용은 기호로 추상화될 수 있으며, 추상화된 기호들의 관계들만으로부터 옳은 결론을 얻을 수 있다. 이를 가리켜 인텔더와 피아제는, '추론(reasoning)은 명제적인 대수학 자체일 뿐'이라고 하였다(Inhelder & Piaget, 1964, p. 305). 예를 들면, 다음과 같은 전제가 있다고 하자.

전제 1 : 모든 영양제는 값이 싸다.

전제 2 : 어떤 비타민제는 값이 싸지 않다.

물론 위와 같은 전제들은 실제적으로 참이 아닐 수도 있다. 그러나 연역 논리에서는 전제가 참이라고 가정하면, 위 전제들로부터 '어떤 비타민제는 영양제가 아니다'라는 결론을 얻게 된다. 이때 이 결론은 비록 '참'이 아니라고 하더라도 전제들로부터 얻을 수 있는 '옳은' 결론이다(더 자세한 것은 Johnson-Laird & Steedman, 1978을 참고하기 바람).

그러나 심리학의 많은 연구들은 사람들이 내용에 상관없이, 즉 전제나 결론이 참인지 아닌지에 상관없이 논리적으로만 옳은 결론을 내리려 하는 것은 아니라는 것을 보고하고 있다. 예를 들면, 에반스 등(Evans, Barston, & Pollard, 1983)은 연역 논리구조가 옳은 경우와 틀린 경우, 그리고 결론이 믿음만한 경우와 믿기 어려운 경우로 나누어서 각 경우에 대한 사람들의 반응을 연구하였다(Table 1 참고).

Table 1에 의하면, 논리구조는 옳으나 결론이 믿음만 하지 못한 경우에는 단지 56%의 응답자들만이 결론이 옳다고 하였으며, 논리구조가 틀림에도 불구하고 결론이 믿음만한 경우에 결론이 옳다고 한 경우는 71%나 있

Table 1 Percentage of responses of "the conclusion is correct"(N = 120)

Response	Conclusion	
	Believable	Unbelievable
Logically correct	89	56
Logically incorrect	71	10

음을 알 수 있다. 이러한 결과는 응답자의 배경 지식에 의해 연역 논리가 영향을 받는다는 것을 의미한다. 이것은 또 논리와 믿음 간의 상호작용으로도 해석될 수 있다. 즉, 결론이 옳은 경우보다 틀린 경우에 믿음에 의한 오류 정도가 더 크게 나타났기 때문이다.

와슨의 선택과제에서도 논리적 사고에 미치는 개념의 영향을 볼 수 있다. 존슨 등(Jondson-Laird, Legrenzi, & Legrenzi, 1972)은 논리적으로는 와슨의 선택과제를 추상적인 상황과 일상적인 상황에서 각각 조사하였다. 즉, A, B, 4, 7과 같은 추상적인 상황에서는 옳은 응답율이 15%였으나, 앞면에 우표가 붙은 편지 봉투와 붙혀 있지 않은 봉투, 그리고 뒷면이 봉해져 있는 봉투와 봉해져 있지 않은 봉투를 각각 1장씩 제시하고, '편지 봉투가 봉해져 있다면, 앞면에는 우표가 붙혀 있다'는 법칙이 맞는지 아닌지를 알기 위해 어떤 봉투를 뒤집어 보면 되는지와 같은 일상적인 상황에서 물었을 때에는 81%의 응답자가 옳게 응답하였다고 하였다. 골딩(Golding, 1981)은 그 원인을 대상 학생들이 우편 업무에 친숙한 경험을 가지고 있었고, 따라서 그러한 경험의 영향을 받았기 때문으로 해석하였다(Cheng & Holyoak, 1985에서 인용).

2) 과학자의 가설 검증활동

과학자들의 연역적 사고는 어떠한가? 쾨 등(Kern et al., 1983)은 실제 과학자들이 가설의 검증 과정에서 필수적이라고 가정해 왔던 형식 논리의 원리를 얼마나 잘 이해하고 있는지를 조사하였다. 연구 결과, 그들은 문제 상황에 따라 27~28%의 과학자들이 후건 긍정의 논리적 부당성을 인식하지 못했으며, 31~59%의 과학자들이 후건 부정의 논리적 타당성을 인식하는데 실패하였음을 관찰하였다. 그리고 이러한 논리적 부족은 문제 상황을 추상적인 상황과 구체적인 상황으로 달리하여도 별 차이를 보이지 않았다.

그리고 미트로프(Mitroff, 1974)도 40명의 NASA 지질학자들과 면담을 한 결과, 과학자들은 자신의 이론

적 입장을 지지하는 것에 몰두하는 것이 과학의 진보에 있어 필요하고 바람직한 것이라고 보고 있었으며, 그러한 몰두없이는 유용하고 새로우면서도 아직 덜 발달된 많은 가설들이 미숙한 반증에 의해 너무나도 쉽게 포기될 수 있다고 생각하고 있음을 발견하였다.

물리학자 디락(Dirac)은 반증 사례가 있어도 이론을 폐기하지 않는 것이 오히려 현명하다고 하였다(Gorman, 1989, p. 42).

"가장 중요한 것은 아름다운 이론을 만드는 것이다. 만일 어떤 관찰 사실이 그 이론을 지지하지 않는다고 하여도 상심하지 말고 기다리면, 그 관찰 사실에 잘못이 있었음이 판명될 것이다."

그리고 아인슈타인의 증력 이론을 예를 들면서, '만일 이론을 적용한 결과 어떤 불일치가 나타난다면, 아인슈타인은 그러한 불일치는 적용할 때 생긴 부차적인 문제를 아직 적절하게 해결하지 못해서이지, 이론의 일반 원리가 잘못되었기 때문이라고 생각하지는 않을 것이다. 아인슈타인이 증력 이론을 만들었을 때 그는 어떤 관찰 결과를 설명하려고 한 것이 아니다. 아름다운 이론, 자연이 선택한 이론을 찾기 위한 것이었다.'라고 하였다(Dirac, 1979).

디락은 또 실험 결과에 의존하여 이론을 폐기한 것이 결국 증대한 실수였던 예를 들기도 하였다(Dirac, 1963). 쉬뢰딩거는 전자에 대한 비상대론적 파동 방정식을 그의 이름을 붙혀 발표한 사람이다. 후에 쉬뢰딩거는 전자의 상대론적 방정식을 발견하였으나 발표하지 않았다(후에 전자의 상대론적 방정식은 클레인 고든 방정식이라고 불리워졌다). 그는 상대론적 방정식이 이전의 비상대론적 방정식에 의해 해석되었던 실험 결과와 잘 맞지 않기 때문에 발표하지 않은 것이다. 그러나 그러한 이론과 실험 간의 괴리는 실험 결과를 잘못 해석하였기 때문이지 상대론적 방정식이 틀리기 때문은 아니었음이 훗날 밝혀졌다.

과학사에서도 과학자들이 포퍼의 반증 과정을 그대로 따르지만은 않았던 예들을 찾아볼 수 있다. 예를 들면, 찰머스(Chalmers, 1986)는 그의, 'what is this thing called science?'라는 책에서, 뉴턴의 증력 이론이 처음에 나온지 얼마되지 않아 달의 궤도에 대한 관찰에 의해 반증되었지만, 폐기되지 않았고 결국 50년 뒤에는 반증의 원인이 이론에 있지 않고 다른 곳에 있다는 것이 밝혀진 바 있다는 것을 예로 들었다(Chalmers, 1986, p.

66). 또, 코페르니쿠스의 탑의 논증을 예로 들었는데, 즉, 코페르니쿠스가 지구는 지축을 중심으로 상당한 속도로 자전한다고 하였을 때, 그 이론을 반대하는 사람들은 탑 위에서 물체를 떨어뜨리면 물체가 떨어지는 동안 지구가 자전하므로 물체는 수직 아래로 떨어지지 못하고 멀리 다른 곳에 떨어져야 하지만 실제로는 수직 아래로 떨어지므로 지구는 자전하지 않는다고 반박하였다. 또, 회전하는 곳에 있는 물체는 회전 중심에서 튕겨나갈려고 하는 데 지표면 위의 어떤 물체도 튕겨나가지 않으므로 역시 지구는 자전하지 않는다고 반박하였다. 그 당시 코페르니쿠스 지지자들은 심각한 곤경에 직면하게 되었고, 코페르니쿠스 자신도 그러한 반론에 적절한 대답을 하지 못하였다고 하였다. 그럼에도 불구하고 그 이론은 수학적으로 단순하다는 잇점과 함께 폐기되지 않았고 결국은 옳은 이론으로 판명되었다(Chalmers, 1986, p. 67).

보어 역시 1913년 처음으로 원자모형 M_1 을 제시하였을 때, 그에 반대되는 증거들이 있었다. 대표적인 반증 증거는 피커링과 파울러의 증거인데, 피커링은 1896년 별자리 스펙트럼에서 수소 원자 이론으로 설명할 수 없는 계열을 발견한 바 있고, 파울러는 1898년 태양 스펙트럼에서도 발견한 후에 수소와 헬륨이 든 방전관에서 직접 실험으로 확인하였었다. 그러나, 보어는 이러한 실험 결과에 대해 이론의 위기를 느끼지 않았을 뿐 아니라, 실험 결과의 신빙성과 정확성을 의심하지도 않았다. 그는 이온화된 헬륨 원자 모델 M_2 를 제시함으로써 이 결과들을 설명할 수 있었고, 새로운 실험까지 예측할 수 있었다. 물론 파울러의 반박이 또 있었다. 그러나, 보어는 파울러의 주장을 일소에 불히고, 다시 수정된 모델 M_3 를 발표하였고, 결국에는 파울러 스스로가 보어가 옳다는 것을 받아들이게 되었다. 뿐만 아니라, 1891년에 이미 마이켈슨이 수소 스펙트럼에서 이중선을 발견한 바 있어, 보어가 최초로 원자 모델을 발표하였을 때, 모즐리(Moseley)는 보어의 모델이 이러한 이중선을 설명할 수 없다는 것을 지적한 바 있었다. 그러나, 보어 자신이 이러한 실험 결과를 설명할 수 없었음에도 불구하고 보어의 이론은 폐기되지 않고 살아 남았었다. 그리고 보어 이후에 쯔머펠트가 1915년 상대론적 효과를 도입하여 보어의 원래 모델을 수정 발전시켜야 설명될 수 있었다. 결국, 이론에 대한 반증사례들은 이론을 폐기시키는 데 역할하기 보다는 이론을 보다 더 확장시키고 세련화시키고 정교화시키는데 공헌하였으며, 결국에 가서는 반증사례들이 이론의 확증사례로 변화되고 말았다

(Lakatos, 1995, p. 61-64).

라카토스는 이에 관해 다음과 같이 말하였다.

“새로 싹트기 시작한 연구 프로그램이 진보적 문제 교체로서 합리적으로 재해석될 수 있는 한, 이 프로그램은 강력하게 확립된 라이벌 프로그램으로부터 당분간 보호되어야 한다.”(Lakatos, 1995, p. 71).

파우스트(Faust, 1983)는 ‘The limit of scientific reasoning’이라는 책에서 과학자들의 행동에는 비논리적인 측면이 있음을 지적하고, 이러한 논리적인 결점에 대한 많은 증거들을 제시한 바 있다. 즉, 반증보다는 확증을 선호하며, 종종 반증 증거가 나오더라도 그것을 무시하거나 무시하게 된 이유 등을 만드는 예가 많다고 하였다. 또, 쾨른 등(Kern, et al., 1983)은 논리실증주의자들이 과학에서의 핵심이라고 말하는 명제적 논리를 과학자들은 실제로는 거의 사용하지 않는다고도 하였다. 포퍼가 말한 과학적 발견 논리의 핵심이 되는 반증 원리도 과학자들은 이를 체계적으로 사용하지 않는다는 것이다(Shadish & Neimeyer, 1987, p. 17).

이에 대해 라카토스는 다음과 같이 말하기도 하였다.

“과학자들의 얼굴은 말할 수 없이 두껍다. 그들의 이론이 단지 사실과 어긋난다고 해서 그것을 포기하지는 않는다. 통상적으로 그들은 단지 변칙사례라고 부르는 것을 설명하기 위해 임시 방편적인 가설을 만들어 내거나 그러한 변칙을 설명하지 못하는 경우에는 아예 그것을 무시하여 버리고 다른 문제에 정신을 쏟는다. <중략>. 물론 과학의 역사에는 결정적인 실험이 이론을 폐기시킨 사례도 무수히 많이 존재한다. 그러나 그러한 설명은 이론이 포기된 후에 꾸며낸 이야기이다.”(Lakatos, 1995, p. 4)

심리학자들도 문제 해결에 있어서 자료를 확증하는 방식으로 처리하는 경향이 있음을 발견하고, 구체적인 실험과학 측면에서 가능한 반응을 다음과 같이 요약하였다 : 1. 선호하는 가설에 대해서는 반증하는 증거를 찾지 않는다. 2. 일단 반증된 가설일지라도 포기하지 않는다. 3. 선호하는 가설에 대한 대안을 만들고 검증하지 않는다. 4. 선호하는 가설을 지지하는 증거가 대안적인 다른 가설도 마찬가지로 방식으로 지지하는지를 고려하지 않는다(Tweney, Doherty & Mynatt, 1981, p. 115).

5. 과학학습에서 학생의 연역논리 사용

1) 과학적 설명에서 학생의 연역 논리 사용

실제 학생들이 실험 상황에서 논리를 어느 정도로 사용하는지를 조사한 연구로는 페디글리온과 토라카(Padiglione & Torracca, 1990)의 논문이 있다. 그들은 15~17세 학생을 대상으로 실험 상황에서 학생이 따르는 논리적 과정에 대한 정보와 학생들이 결정을 할 때 얼마나 논리에 의존하는지에 대한 정보를 얻고자 하였다. 결과에 의하면, 학생들은 여러 가지 수용할만한 설명들 중에서 옳은 선택을 하는데 있어 논리가 큰 도움을 주지 못한다는 것을 발견하였다. 예를 들어, 실험 사실과 현상에 대한 설명(이론)이 서로 논리적으로 불일치한다는 것을 지적할 수 있는 학생들조차도 실제로 옳은 설명이 무엇인지를 결정하는 데에는 별 영향을 주지 못한다는 것을 발견하였다.

추상적인 상황에서 연역논리 능력을 조사하고, 구체적인 물리 상황(물체에 작용하는 힘의 방향을 찾는 상황)에서 논리가 어떠한 역할을 할 수 있는지 조사한 연구로는 박종원, 서정아, 정병훈, 박승재(1994)의 연구와 서정아, 박승재, 박종원(1996)의 연구가 있다.

박종원 등(1994)은 수직 상방 운동에 대해 오개념을 가지고 있는 중학생을 대상으로 추상적 과제에서의 연역논리 능력을 조사하고, 구체적으로 물체가 수직 위로 올라가는 중과 최고점에 있는 순간 논리적으로 힘의 방향을 옳게 찾을 수 있는 연역논리 과제를 제시하여 학생의 반응을 조사하였다. 조사 결과, 힘과 운동에 대한 연역 논리 과제를 통해 개념이 변화한 경우는 62%에서 24%로 나타났다. 그리고 개념이 변화된 경우와 유지된 경우에 추상적 상황에서의 논리점수가 차이가 없어 추상적 상황에서의 논리적 사고 능력이 구체적 상황에서의 논리 과제 수행에 별 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 이것이 연역논리가 과학적 설명, 특히 개념변화에 아무런 영향을 주지 않는다는 것을 의미하는 것은 아니었다. 왜냐하면, 힘과 운동에 대한 연역논리 과제에 대해 논리적으로 사고한 것으로 판단되는 학생의 반응과 논리적으로 사고하지 않고 자신의 선개념대로 사고한 것으로 판단되는 학생의 반응을 비교한 결과, 일단 제시된 과제를 논리적으로 사고한 경우에는 개념이 변화한 경우가 높은 것으로 나타났기 때문이다. 즉, 구체적인 상황, 특히, 제시된 상황에 대해 이미 결론에 대해 나름대로의 예측이 있는 경우에는 이러한 선개념

이 영향을 미쳐 굳이 논리적으로 사고하지 않으려 하기 때문이라고 생각되었다. 보다 자세한 분석 결과, 연역적으로 잘 사고하여 개념이 변화한 경우는 39%에서 17% 정도로 나타났고, 전체를 보지도 않았거나 보았더라도 연역적으로 사고하지 않아 선개념을 그대로 유지시킨 반응이 23%에서 67% 정도로 나타났다.

서정아 등(1996)의 연구에서는 박종원 등(1994)의 연구와 동일한 과제를 고등학생에게도 적용시켜 중학생의 경우와 비교하였다. 그리고 정량적인 비교를 위해 연역 과제 수행에 있어서의 선개념의 영향 지수(α)와 논리적 사고의 영향 지수(β)를 조작적으로 정의하여 산출하였다. 분석 결과, α 는 중학생의 경우에 0.30~0.63과 고등학생의 경우에 0.35~0.68로 나타났고, β 는 중학생의 경우에 0.42~0.17로, 고등학생의 경우에는 0.40~0.19로 나타나, 중학생과 고등학생의 경우에 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

이와 같이 논리적 설명과정이 옳은 이해에 도움이 됨에도 불구하고 학생들이 논리적 사고를 하지 않는 것이 관찰되자, Park(1997)은 구체적으로 어떠한 요소들이 학생들의 논리적 사고에 방해 역할을 하는지를 조사하였다. 그리고 나아가 그러한 방해 요소들에 대해 간단한 처치를 하였을 때 논리적 사고에 도움을 주어 개념적 이해를 할 수 있는지에 대한 조사를 실시하였다. 조사를 위해 2차에 걸친 면담을 실시하였는데, 1차 면담에서는 연역적 사고를 방해하는 요소를 찾고자 하였고, 2차 면담에서는 간단한 처치를 포함시킨 면담을 통해 연역 과제를 통한 학생의 개념적 이해를 조사하였다. 조사 결과, 학생들의 연역적 사고를 하지 않은 이유가 첫째, 단순히 연역적인 사고를 하지 않은 경우, 둘째, 연역 과제가 주어진 전체 1과 전체 2 자체를 잘 이해하지 못해 연역적인 사고를 하지 못한 경우, 셋째, 주어진 연역과제가 연역적 구조를 가지고 있다는 것을 알지 못해 연역적인 사고를 하지 못한 경우로 밝혀졌다. 2차 면담에서는 첫번째의 경우에는 단지 주어진 과제가 연역적으로 사고할 수 있는 과제임을 환기시켜 주는 정도로 처치를 하였고, 두 번째의 경우에는 전체를 보다 잘 이해할 수 있도록 보다 쉽고 일상적인 예제를 제시하여 주었고, 세 번째의 경우에는 주어진 과제가 어떻게 연역적인 구조를 가지고 있는지 추상적 상황에서의 삼단 논법과 비교시켜 주었다. 이러한 간단한 처치를 통한 면담을 실시한 결과, 거의 대부분의 학생들이 논리적으로 사고하게 되었고, 그 결과 자신의 오개념을 버리고 올바른 결론을 얻게 되었음을 관찰할 수 있었다. 물론 이러한 연구가

면담자와 연구자가 1대 1로 면담을 통한 결과이므로, 보다 자연스러운 상황, 즉 실제 교실 상황에서 수업을 실시하는 형식으로 진행되었을 때 얼마나 논리적인 사고가 학생의 개념 변화에 실질적인 영향을 줄 수 있는지에 대한 연구가 계속 되어야 할 것이다.

2) 가설의 반증과정에서 학생의 연역논리 사용

학생의 오개념을 밝혀내고, 오개념을 수정하기 위해 제시된 실험이나 관찰 증거에도 불구하고 학생들이 자신의 선개념을 폐기시키기 보다는 다른 보조가설을 제시하거나, 실험 결과 자체를 의심하거나 거부하는 반응들도 많이 관찰되어 왔다. 예를 들면, Gunstone 등(1988)은 음식이 부패하면 사라지거나 무게가 줄어든다고 생각하는 학생들에게 항아리에 상한 고기를 넣고 밀봉하여 무게를 측정하는 시범을 보였을 때, 무게가 일정한 것을 발견하고도 자신의 생각을 바꾸기보다는 시범에서의 다른 측면에 관심을 가지고, 그러한 측면의 영향 때문이라고 함으로서 다른 보조가설을 생성하여 관찰을 거부하는 경우가 있음을 발견하였다. 그러나, Kim & Park(1995)은 인지적 능력이 높은 학생의 경우에는 자신의 선개념(가설)과 반대되는 증거를 실험을 통해 얻었을 때, 오히려 쉽게 개념을 폐기하는 경우도 발견하였는데, 그들의 연구에 의하면, 그러한 이유가 연구 대상 학생들이 과학고 학생이었기 때문에 학생들이 쉽게 스스로 대안적 이론을 만들어 낼 수 있었기 때문에 나타난 현상이라고 해석하였다. 즉, 라카토스나 쿤이 말했듯이 반대 증거만으로는 기존의 이론이 폐기되지 않지만, 반대 증거를 설명할 수 있는 대안이론이 나타났을 때에는 기존의 이론이 폐기될 수 있다는 것이었다.

또, 빛과 그림자에 대한 박종원 등(박종원, 장병기, 윤혜경, 박승재, 1993)의 연구에서는 학생의 선개념과 불일치하는 증거를 제시하고, 학생들이 증거를 보고 평가하는 과정을 조사하였는데, 조사 결과, 학생들이 증거를 왜곡하거나 의심하는 반응을 볼 수 있었다. 예를 들어, 학생들에게 먼저 다음과 같은 내용의 문제가 제시되었다.

“십자형 모양의 광원과 둥근 모양의 광원이 있다. 그리고 십자형 모양의 물체와 둥근 모양의 물체가 있다. 각 광원 앞에 각 물체를 놓았을 때, 각각의 경우에 스크린에 나타나는 그림자의 모양은 십자 모양인가? 둥근 모양인가?”

이때, 63.5%의 학생들은 광원의 모양은 그림자 모양에 영향을 주지 않고, 물체의 모양만이 그림자 모양에 영향을 준다고 응답하였다. 이 학생들을 대상으로 실험 결과를 그림으로 그린 카드를 제시하여, 자신의 선개념과 불일치하는 증거에 대한 반응을 조사한 결과, 증거를 보지도 않고 자신의 생각에만 기초하여 반응한 경우가 58.8%였고, 증거에 기초한 반응 중에서도 40%는 증거가 잘못되었거나 틀렸다고 증거를 거부하였다. 만일 반증의 원리를 그대로 사용하였다면, 불일치되는 증거에 대해서 학생들은 자신의 선개념을 폐기해야 했을 것이다. 그러나 선개념에 대한 믿음때문에 불일치 증거가 나왔다고 하더라도 반증의 논리를 사용하지 않고 증거 자체를 거부하거나 의심하는 행동으로 나타난 것이다.

그림으로 그려진 증거와 달리, 실제 학생들이 시범을 관찰한 경우에 학생의 반응을 알아보기 위해 박종원과 박문주(1997)는 물체의 가속도 방향을 직접 관찰할 수 있는 시범장치를 고안하였다. 그리고 시범을 통해 인지적 갈등을 인식할 수 있도록 구조화된 면담을 실시하여 학생의 반응을 조사하였다. 이때, POE(Prediction-Observation-Explanation)방법을 사용하여 시범 전에 일어날 현상을 먼저 예측하게 하고, 직접 시범을 관찰한 후에 자신의 선개념과 비교하여 관찰 현상을 설명하도록 하는 면담을 실시하였다. 면담 결과, 각 문제 상황에서 학생의 예상-관찰-설명 과정에 있어서의 여러 가지 유형들을 발견할 수 있었으며, 각 유형들을 분석하여 시범에 의해 옳은 개념으로 변화한 경우가 55%이었으며, 시범에 의해서도 선개념을 그대로 유지하거나 다른 오개념으로 변화시킨 경우가 35%로 나타남을 알 수 있었다. 특히, 35%의 반응들에는 다음과 같은 반응들이 포함되어 있었다 : 시범 관찰에 의해 갈등을 인식하였음에도 불구하고 관찰 결과 자체를 거부하는 반응, 시범 결과를 자신의 선개념과 조화시켜 다른 오개념으로 변화시킨 반응, 시범 장치의 작동 방식을 의문시하는 반응, 관찰 결과에 대해 조작적인 해석을 함으로서 관찰 사실과 선개념을 동시에 받아들이는 반응.

나아가, 박종원 등(1996)은 정전기 현상에 대해 학생의 오개념을 조사한 후에, 일련의 증거(여기에는 자신의 생각을 지지하는 증거와 반증하는 증거들이 함께 들어 있다)들을 제시하면서 학생의 반응을 분석하여, 학생의 가설(여기에서는 학생의 선개념을 가설로 보았다) 확증 과정과 반증 과정의 여러 유형들을 밝혀내었다. 이때, 연구자들은 총 12개의 증거를 준비하여 놓고, 학생들로 하여금 자신의 가설이 맞는지 틀리는지 확인하기

위해 직접 증거를 선택하게 하고 실제로 관찰하여 자신의 가설을 검증하도록 하였다. 학생의 가설 반증과정을 포퍼와 카카토스의 과학철학적 관점과 비교하면서 분석한 결과, 이 연구에서 밝혀진 학생의 가설 반증과정은 다음과 같이 요약될 수 있었다(Kim, Park, Lee & Kim, 1997).

1. 반증증거에 의해 자신의 핵심원리를 폐기하였다.
 - 1-1. 첫 번째 반증증거에 의해서도 새로운 개념의 도입없이 핵심원리를 폐기한 후에, 계속적인 반증증거의 관찰을 통해 새로운 개념을 도입하게 되었다.
 - 1-2. 첫 번째 반증증거에 의해 새로운 개념을 도입하면서 핵심원리를 폐기하고, 계속적인 증거의 관찰을 통해 새로운 개념을 확인하였다.
 - 1-3. 처음 반증증거에 대해서는 관련이론을 수정하거나 실험결과에 미칠 수 있는 여러 가지 요인들을 고려하다가, 반증증거가 누적되자 새로운 이론을 도입하면서 핵심원리를 폐기하였다.
2. 반증증거를 거부하지는 않았으나, 핵심원리를 폐기하기 보다는 관련이론을 수정하였다.
 - 2-1. 관찰된 반증증거를 예외적인 사례로 간주하고, 관찰된 경우에 대해서만 관련 보조 이론만 수정한 후, 나머지 증거들도 마찬가지로 일 것이라고 결론짓고 더 이상 관찰하지 않았다. (즉, 관찰된 현상의 경우에만 특별한 이유때문이라고 하면서 보조 이론을 수정한 경우이다)
 - 2-2. 반증증거들을 모두 관찰하였음에도 불구하고, 모두 예외적인 사례로 간주하고 관찰된 경우에 대한 관련 보조이론을 수정하였다.
 - 2-3. 반증증거를 관찰한 후, 관찰되지 않은 현상까지 일반화시키는 방식으로 관련 보조 이론을 완전히 수정하였다.

반증증거에 대한 학생의 반응을 밝혀내면서 어떠한 특징이 이러한 학생의 반응에 영향을 줄 수 있는지에 대한 연구로는 Park & Kim(in press)의 연구가 있다. 이들은 전류에 대한 학생의 오개념을 조사하고, 학생의 오개념을 반증하는 실험 증거에 대한 학생의 반응을 조사하였는데, 이때 실험 증거의 종류를 두 가지로 달리하여 학생의 반응을 비교하였다 : 관찰에 의해 얻어진 실

험 결과와 변인통제에 의해 얻어진 실험 결과. 즉, 실험 결과를 얻는데 사용된 탐구 기능의 종류를 달리하였을 때, 그러한 결과의 종류에 따라 학생의 반응이 달라지는지를 조사하였다. 조사 결과, 단순한 관찰에 의해서만 얻어진 실험 결과에 대해서는 55%가 증거를 거부하고 자신의 생각을 그대로 유지시켰지만, 변인통제에 의해 얻어진 실험 결과에 대해서는 단지 9%만이 증거를 거부하였을 뿐 나머지 모든 학생들은 증거를 받아들이고 자신의 선개념을 포기하였다. 이에 대해 연구자들은 단순 관찰에 의해 얻어진 경우에 비해 변인통제에 의해서 얻어진 결과를 해석하기 위해서는 추가적인 인지적 노력이 요구된다는 측면에서, 반증증거를 통한 개념 변화를 위해서는 인지적 노력이 중요하다는 주장을 하였다.

또한, Kim & Park(1995)은 전기회로 실험을 학생들로 하여금 직접 수행하게 하면서 학생의 반응을 분석하였다. 이때, 대상 학생은 과학고 학생으로 하였으며, 이때 모든 학생들은 관련 회로에 대해 나름대로 선개념을 가지고 있었다. 실험 결과의 일부는 학생의 선개념과 일치하지만, 그렇지 않은 결과도 동시에 나오도록 설계되어, 학생의 선개념을 지지하는 증거와 반증 증거가 함께 측정될 수 있도록 하였다. 학생의 실험 과정은 '측정-그래프화-그래프로부터 결론도출'의 세 단계로 나누어 분석되었다. 분석 결과, 많은 학생들이 관찰 자체는 객관적으로 하였지만, 그래프화하고, 그래프를 해석하면서 선개념의 영향을 받아 그래프를 왜곡하여 그리거나, 결과를 선개념대로 해석하는 경향이 있음을 볼 수 있었다. 그러나, 한편 반증 결과에 대해 쉽게 자신의 선개념을 변화시키는 것을 관찰할 수 있었는데, 이에 대해 연구자들은 대상 학생들이 과학고 학생이기 때문에 쉽게 대안적 가설을 찾거나 만들 수 있었기 때문이었다고 생각하고, 이러한 반응은 카카토스나 쿤의 입장을 잘 보여주는 것이라고 지적하였다.

또한 Park & Pak(1997)은 과학적 활동은 가설을 설정하는 활동과 가설을 검증하는 활동으로 보았을 때, 가설 검증 과정에서 증거 평가가 중요한 과학적 사고의 하나라는 Kuhn 등(1988)의 연구에 기초하여, 구체적으로 전기회로에서 전구의 밝기에 영향을 미칠 수 있는 변인에 대한 학생의 선개념을 조사하고 실제 전구의 밝기를 관찰하게 하면서 학생의 증거 평가를 조사하였다. 조사 결과, 학생의 생각을 인과적인 생각과 비인과적인 생각으로 나누고, 증거에 대한 학생의 반응을 증거에 기초한 반응과 생각에 기초한 반응으로 나누어 분석하였을 때, 인과적인 생각을 가지고 있는 경우에 비인과적인 생각

을 가지고 있는 경우보다 더 증거에 기초한 반응이 많아, 학생의 생각 유형이 증거 평가에 영향을 미친다는 것을 관찰하였다. 그리고, 학생들은 자신의 생각이 맞는지 아닌지를 확인하기 위해 어떤 증거가 관련된 증거이고 그렇지 않은 증거인지를 구분하는 능력이 부족하다는 것을 관찰하였다.

III. 결론 및 제언

거의 예외없이 우리는 과학적 활동이 논리적이라는 말을 하지만, 구체적으로 어떤 과학 활동이 어떤 방식으로 논리적인지를 논의하고, 이를 실제 과학자의 과학 활동, 나아가 과학을 배우는 학생에게 적용하여 살펴보는 일은 드문 일이었다.

여기에서는 먼저 고전 논리학에 기초하여 연역논리의 구조를 간단히 살펴보고, 이러한 구조가 과학적인 설명과 예측, 그리고 가설의 검증 과정에 어떻게 적용되는지를 살펴보았다.

특히, 동역학이 물체의 운동을 설명한다는 것에 기초하여 동역학에서의 물체의 운동에 대한 설명과정을 논리적인 구조로 환원하여 어떻게 과학적 설명의 구조가 연역적인 구조로 되어 있는지를 구체적인 예로 제시하였다.

가설 검증 과정에 있어서는 가설로부터 실험을 예측하는 과정과 예측된 실험으로부터 가설을 반증하는 과정으로 나누어 각 과정에 대한 연역적인 구조를 구체적인 예와 함께 설명하였다. 이때, 심리학에서 많은 논의가 있어왔던 와슨(Wason, 1966)의 선택과제도 본 연구에서 논의한 방식(가설 검증 과제를 두 단계로 나누어 각 단계의 논리적 구조를 논의한 것)에 따라 재해석을 하였다. 또한 심리학 분야에서 많이 논의되어 왔던 후건 긍정의 오류가 왜 과학 활동에서도 가능할 수 있는지를 로슨(Laswon, 1995)의 다중가설 이론과 과학적 법칙들의 1대 1 특성에 기초하여 설명하여 보았다.

실제 과학자들이 어떻게 연역적 사고를 하는지를 조사하고 그에 대한 실제 예들을 과학철학과 과학사에서 찾아보았다.

과학 학습과 연관지어 과학적 설명에서 학생들이 연역논리를 얼마나 사용하는지 힘과 운동 분야에 대한 최근의 연구들을 재고찰(review)하였다. 여기에서 학생들이 실제로 연역논리 능력이 있음에도 불구하고, 연역논리를 사용하지 않아 개념적 이해나 개념변화에 별로 도움을 주지 못하는 사례도 관찰하였다. 그러나, 이것이

연역논리가 전혀 아무런 역할을 하지 못하기 때문이 아니라는 가정 하에 연역논리를 사용할 수 있도록 도와줌으로서 논리를 사용한 개념적 이해가 가능하다는 것도 관찰하였다.

가설의 검증 과정에 대한 학생의 연역논리에 대해서는 과학교육에서 활발하게 연구되어 왔던 학생의 선개념 연구에서 밝혀진 학생의 오개념을 가설이라고 보고, 그에 관련된 구체적인 증거나 관찰들에 대한 학생 반응 연구들을 재고찰하면서 알아보았다. 특히, 과학적 가설과 반증 과정에 대한 과학철학적 고찰을 통해 가설의 폐기를 위해서는 반증사례뿐 아니라 새로운 가설의 제안이 필요하다는 점을 지적하였고, 실제로 과학고 학생과 같이 대안적 가설을 제안할 수 있는 능력이 있는 경우에는 오히려 쉽게 개념을 변화시킨다는 것도 관찰하였다. 그리고, 이러한 가설의 검증 과정을 통한 개념 변화를 위해서는 학습자의 인지적 노력이 필요하다는 것도 관찰하였다.

과학 활동에서의 연역적 사고에 대한 이러한 일련의 연구들을 통해 우리는 연역논리가 학생들의 개념적 이해에 어떠한 역할을 하는지를 알 수 있었으나, 이러한 연구들이 물론 충분한 것은 아니다. 과학 활동에서의 연역논리에 대한 연구에는 논리학의 특성에 대한 연구뿐 아니라, 실제 과학을 수행하는 사람의 과학 심리학적 특성에 대한 연구가 상호 보완적으로 수행되어야 할 것이다. 뿐만 아니라, 과학의 본성적인 측면에서 그리고 과거의 과학자들의 행동으로부터 시사점을 얻기 위해서는 과학철학적인 그리고 과학사적인 논의도 함께 필요할 것이다. 그리고 물론, 이러한 연구가 실제 교실 현장과 같이 자연스러운 환경에서도 동일하게 일어날 수 있는지에 대한 연구가 우리 과학교육자에게는 반드시 필요한 부분이기도 하다.

적 요

과학적 사고가 논리적이라는 말은 무엇을 의미하는 것인가? 본 논문에서는 과학적 설명과 예측의 구조 및 가설의 검증 과정이 연역적인 구조로 되어 있음을 설명하였다. 과학적 설명과 예측의 구조를 보다 명확하게 나타내기 위해 3단 논법의 간단한 구조를 사용하였으며, 특히, 동역학이 바로 과학적 설명의 구조를 나타내고 있는 것임을 지적하였다. 이때, 많은 과학 활동이 과학적 설명보다는 예측 활동을 주로 함으로서 학생들이 동역학에 대한 이해 부족을 보이고 있다고 할 수 있다. 가설의

검증 과정을 설명하기 위해 심리학의 유명한 과제 중의 하나인 와슨의 선택과제를 가설로부터 (실험)현상을 예측하는 과정과 (실험)관찰로부터 가설을 검증하는 두 단계 과정으로 재해석하였다. 또한 가설 검증 과정에서의 대표적인 오류 중의 하나인 후견 긍정의 오류가 과학 활동에서 왜 빈번하게 나타나는지를 설명하고 로슨의 다중가설 이론과 비교하였다. 연역적 사고에서 내용의 영향을 살펴보기 위해 심리학의 연구들과 과학자의 실제 활동에 대한 과학 심리학적 논의를 간단히 언급하였다. 나아가 실제 학생들의 과학 활동에서 연역적 사고가 어떠한 역할을 하는지를 알아보기 위해 실제 학생들의 과학 활동을 분석한 일련의 연구들을 조사 정리하였다.

주요어 : 연역, 연역적 사고, 논리적 사고, 과학교육, 과학적 설명, 예측, 가설 검증

참 고 문 헌

- 박종원, 장병기, 윤혜경, 박승재(1993). 중학생들의 빛과 그림자에 대한 증거 평가. 한국과학교육학회지, 13(2), 135-145.
- 박종원, 서정아, 정병훈, 박승재(1994). 힘과 운동에 개념 변화를 위한 연역 논리과제에 대한 중학생의 반응 분석. 한국과학교육학회지, 14(2), 133-142.
- 박종원, 김익균, 이무, 김병환(1997). 학생의 가설 검증 과정과 반증과정의 분석. 교과교육 공동 연구, 연구보고 RR 95-VI-10.
- 박종원, 박문주(1997). 힘과 운동과의 관계에서 인지적 갈등을 일으키기 위한 시범에 대한 학생의 반응 분석. 한국과학교육학회지, 17(2), 149-162.
- 서정아, 박승재, 박종원(1996). 힘과 운동에 대한 연역 추론 과제 수행에 대한 중등학생들의 반응 분석. 한국과학교육학회지, 16(1), 87-96.
- Brown, H. I.(1977). *Perception, theory and commitment: The new philosophy of science*, Chicago: The University of Chicago Press. (신중섭 옮김: 논리실증주의의 과학철학과 새로운 과학철학, 서광사)
- Chalmers, A. F.(1978). *What is this thing called science?* Open University Press.
- Cheng, P. W., & Holyoak, K. J.(1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Dirac, P.(1963). The evolution of the physicist's picture of nature. *Scientific American*, 208(5), 45-54.
- Dirac, P.(1979). The test of Einstein. In S. Brown, J. Fauvel, & R. Finnegan(Eds.), *Conceptions of inquiry*.(pp. 88-93). New York: The Open University Press.
- Evans, J. St. B. T., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, 11 (3), 295-306.
- Faust, D.(1984). *The limits of scientific reasoning*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Gorman, M. E.(1989). Error and scientific reasoning: An experimental inquiry. In S. Fuller, M. D. Mey, T. Shinn, & S. Woolgar(Eds.), *The cognitive turn: Sociological and psychological perspectives on science*.(pp. 41-70). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gunstone, R. F., Champagne, A. B., & Klopfer, L. E.(1988). Instruction for understanding: A case study. *Australian Science Teachers' Journal*, 27, 27-32.
- Hempel, C. G.(1966). *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall.
- Inhelder, B., & Piaget, J.(1958). *The growth of logical thinking: From childhood to adolescence*. London: Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Johnson-Laird, P. N., & Bara, B. G.(1984). The Psychology of Syllogisms, *Cognition*, 16, 1-61.
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. S.(1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 64, 395-400.
- Johnson-Laird, P. N., Steedman, M.(1978). The psychology of syllogisms, *Cognitive Psychology*, 10, 64-99.
- Kim, Ikgyun & Park, Jongwon.(1995, July). *The students responses on the conflict observation, data and result in electricity experiment*. Paper presented at the annual meeting of the Australasian Science Education Research Association(ASERA), Bendigo, Australia.
- Kim, Ikgyun., Park, Jongwon., Lee, Moo., & Kim, Myungwan.(1997, July). *Analysis of students' pro-*

- cess of confirmation and falsification of the hypotheses in electrostatics. Paper presented at the annual meeting of the Australasian Science Education Research Association(ASERA), Adelaide, Australia.
- Kern, L. H., Mirels, H. L., & Hinshaw, V. G. (1983). Scientists' understanding of proportional logic: An experimental investigation. *Social Studies of Science*, 13, 131-146.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M.(1988). The development of scientific reasoning skills. Lawrence Erlbaum Associates, Pub.
- Kuhn, T. S.(1970). *The structure of scientific revolutions*(2nd ed.), Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakatos, I.(1995). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In J. Warrall & G. Currie.(Eds.), *The methodology of scientific research programmes: Philosophical paper volume 1*, Cambridge University Press.
- Lawson, A. E.(1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, C. A. : Wadsworth Publishing Company.
- Mitroff, I(1974). *The subjective side of science: A philosophical inquiry into the psychology of the Apollo Moon scientists*. New York: Elsevier.
- Padiglione, C. and Torraca, E.(1990). Logical processes in experimental contexts and chemistry teaching. *International Journal of Science Education*, 12(2), 187-194.
- Park, Jongwon, (1997, July). *Conceptual change through deductive reasoning*. Paper presented at the annual meeting of the Australasian Science Education Research Association(ASERA), Adelaide, Australia.
- Park, Jongwon, & Pak, Sungjae(1997). Students' responses to experimental evidence based on perceptions of causality and availability of evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 57-67.
- Park, Jongwon, & Kim, Ikgyun(in press). Analysis of students responses to contradictory results obtained by simple observation or controlling variables. *Researches in Science Education*.
- Popper, K.(1968). *The logic of scientific discovery*, Harper & Row, Publishers.
- Shadish, W. R., & Neimeyer, R. A.(1989). Contributions of psychology to an integrative science studies: The shape of things to come. In S. Fuller, M. D. Mey, T. Shinn, & S. Woolgar (Eds.), *The cognitive turn: Sociological and psychological perspectives on science*.(pp. 13-40). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Tweney, R. D., Doherty, M. E., & Mynatt, C. R. (1981). *On scientific thinking*. New York: Columbia University Press.
- Wason, P. C.(1966). *Reasoning*. In B. M. Foss(Ed.). *New horizons in psychology I*. Harmondsworth, England : Penguin.