



## 법칙, 이론, 그리고 원리: 규범적 의미와 실제사용에서의 혼란

정용욱\*  
서울대학교

### Law, Theory, and Principle: Confusion in the Normative Meaning and Actual Usage

Yong Wook Cheong\*  
Seoul National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 26 May 2014  
Received in revised form  
23 June 2014  
19 August 2014  
Accepted 25 August 2014

##### Keywords:

law,  
theory,  
principle,  
structure of scientific knowledge,  
nature of science,  
philosophy of science

#### ABSTRACT

Educational Discourses on the nature of science(NOS) identify understanding of the role of scientific knowledge, especially the distinction between law and theory, as a crucial goal of instruction. However, the scientist community uses the terms such as law, theory, and principle without explicit definition so that the terms have no coherent meanings in their conventional language expression. The inconsistency between the norm and the reality could impose confusion on the teaching and learning. From the awareness of the problem, this study critically reviews the science education research papers and literatures on the philosophy of science which focus on the meaning of law, theory, or principle and the structure of scientific knowledge. From the examination of the science education researches, it is revealed that the disparity between the normative meanings of the law and theory by NOS researchers and actual usage of the terms is quite serious. From the review of the literatures of the philosophy of science, the necessity of the distinction of three categories: law, theory, and principle beyond the dichotomy between law and theory is brought up. By synthesizing the related literatures, we provide an outline of the characteristics of knowledges belonging to law, theory, and principle. Considering the conflict between the normative definition and the conventional language, it could be unnecessary to emphasize clear distinction on the terms as an instructional goal. Instead, the goal of instruction should focus on that there are three types of scientific knowledges of different functions and characteristics.

## 1. 서론

과학지식<sup>1)</sup>은 단편적인 사실의 집합이 아니라 여러 아이디어들이 복합적으로 구조화된 지식체계가 될 수 있다. 따라서 과학지식을 학습한다는 것은 과학지식의 체계적인 구조를 학습하는 것이기도 하다(Bruner, 1960). 이러한 지식구조를 이루는 개별 지식들을 지칭할 때 과학자들은 관습적으로 원리, 법칙, 모형, 이론 등의 표현을 사용한다. ‘법칙’, ‘원리’, ‘이론’처럼 개별 과학지식을 지칭할 때 사용하는 용어들을 본 연구에서는 ‘범주용어’라고 하겠다.

과학지식을 구성하는 모든 개별 지식들에 대해 범주용어가 부여되는 것은 아니다. 오히려 중요성이 인정되는 소수의 아이디어들에 대해서 필요성에 의해 관습적으로 범주용어가 부여된다고 볼 수 있다. 이를테면 밀폐된 기체의 압력과 부피의 곱은 기체의 절대온도와 반비례관계인데, 이러한 규칙성을 관습적으로 보일-샤를의 법칙이라 부른다. 한편으로 대부분의 경우에 물체는 열을 받으면 팽창하는데 이러한 규칙성에 대해서는 관습적으로 열팽창이란 표현이 사용되며 ‘법칙’과 같은 별도의 범주용어가 사용되지 않고 있다.

이러한 범주 용어의 사용에는 공유된 언어표현이 형성될 당시의

과학지식의 구조와 의미에 대한 과학자들의 이해가 암묵적으로 반영되어 있다. 이런 점에서 과학지식의 구조를 이해하기 위해서는 개별 지식들을 지칭하는 범주용어들의 의미와 용법을 익힐 필요가 있다는 지적이 설득력을 갖는다. 실제로 과학의 본성(NOS)을 강조하는 많은 과학교육연구자들은 범주용어의 의미에 대한 이해, 특히 법칙과 이론의 차이에 대한 이해를 과학교육의 중요한 목표 중 하나라고 보고 있다(Aikenhead & Ryan, 1992; McComas 2002a; Lederman, 2004; Ogunniyi & Pella, 1980). 이들은 또한 학생과 교사가 범주용어에 대해 부적절한 견해를 갖고 있다는 것도 보고하였다.

한국과학교육학회에서 엮은 ‘과학교육학 용어해설’에서는 법칙, 원리, 이론의 의미에 대해 다음과 같이 소개하고 있다(The Korean Association for Science Education, 2005). 먼저 ‘법칙’이란 자연현상의 기본이 되는 규칙의 발견이 쌓여서 완성된 것으로, 뉴턴의 운동법칙이 그 사례가 된다. 한편 ‘원리’는 여러 개념 사이의 관계를 일반화한 것으로 몇 가지 사례에 기초한 귀납적 일반화로 출발하지만, 제한된 관찰을 넘은 보편적 진술이라는 점에서 경험적이라기보다는 분석적이다. 원리는 법칙과 혼용되어 사용되기도 하지만, 법칙은 일반적으로 원리보다 더 엄격한 경험적 검증을 거쳐 확립된 결과로 인정된다. 한편 ‘이론’은 관찰할 수 없는 속성에 관한 법칙, 설명력을 지닌 법칙 또는 가설의 통합적 체계, 학문적 영역 등을 지칭한다. 이론은 자연을 기술할 뿐만 아니라 사실의 원인, 개념의 속성, 법칙의 원리 등을 제시함으로써 과학적 사실, 개념, 법칙 등을 설명하기도 한다. 이론은 관찰 사실과 직접적인 관련이 없고 과학적 법칙을 설명한다는 점에서 원리와

1) 과학 지식은 크게 방법론적 지식과 이를 통해 산출된 지식으로 나눌 수 있을 것이다. 본 논문에서는 앞으로의 논의에서 과학지식을 방법론적 지식이 아닌 산출물로서의 지식이라는 의미에 국한하여 사용할 것이다.

\* 교신저자 : 정용욱 (zimusa@snu.ac.kr)  
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.5.0459

비슷하다. 그러나 이론은 절대적 진리가 아니지만 원리는 진리라는 점에서 둘이 구분된다.

그런데 많은 과학교육전문가들은 ‘과학교육학 용어해설’의 이러한 설명에 만족하기 어려울 것이라고 본 연구자는 판단한다. 우선 이러한 설명에서 법칙, 원리, 이론이 어떻게 구분되는 것인지가 명확하지 않다. 더 큰 문제는 이러한 설명들에서 드러나는 법칙, 원리, 이론에 대한 규범적 규정과 이들 용어들이 실제로 사용되는 언어관습에서 갖는 의미의 차이를 충분히 고려하지 못하고 있다는 점이다. 범주용어는 과학자집단이 명시적 정의를 바탕으로 일관된 의미를 갖도록 사용한 용어들이 아니다. 오히려 이런 용어들이 일관되게 사용되지 않아서 용어의 사용 용법으로부터 의미를 추출하는 방식을 택한다면 각 용어들에 특정한 의미를 부여하기 힘들다는 지적이 있다(Giere, 2004).

조금만 숙고하면 범주용어의 규범적 규정과 물리학에서의 ‘관습적 언어 사용’의 불일치를 어렵지 않게 찾을 수 있다. 이를테면 ‘과학교육학 용어해설’에 의하면 ‘뉴턴의 운동법칙’은 ‘법칙’의 사례로 제시되었다. 그런데 과학철학자 라카토스의 표현을 빌리면 뉴턴의 운동법칙은 뉴턴역학이라는 이론의 핵(hard core)를 구성한다(Lakatos, 1980). 즉 뉴턴역학을 수용하는 입장에서는 뉴턴의 운동법칙은 이론의 핵에 포함되는 일종의 공리가 되어 경험적 검증의 대상에서 제외된다. 대신에 뉴턴역학을 구성하는 다른 주변 아이디어들, 라카토스의 표현을 빌리면 보호대에 속하는 아이디어들이 검증의 대상이 된다. 이러한 뉴턴의 운동법칙의 규약적 특징은 역사적으로 푸앵카레(Poincare)에 의해 처음 제기된 이래 널리 받아들여지고 있다(Giere 2006; Nagel 1961, Poincare, 1905). 뉴턴역학에서 뉴턴의 운동법칙이 갖는 위상과 역할에 대한 이러한 역사적인 인식 변화에도 불구하고 뉴턴의 운동법칙은 여전히 ‘법칙’으로 불리고 있다.

NOS 관련 연구자들은 법칙, 이론 같은 범주용어의 의미를 이해하는 것을 강조한다. 그런데 과학교육 문헌에서 찾아볼 수 있는 법칙에 대한 규범적 정의와 법칙에 대한 과학자 집단의 관습적 언어사용 사이에는 불일치가 존재한다. 따라서 NOS 관련 연구자들의 주장의 타당성을 보다 비판적으로 검토할 필요가 있다. 이러한 문제의식에서 본 연구에서는 과학교육연구들, 과학철학 문헌들을 조사하여 범주용어의 구분과 관련하여 어떤 논의들이 제시되었는지를 종합하여 범주용어의 사용과 관련한 교육적 시사점을 도출하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 분석할 용어의 범위

과학 혹은 과학교육 문헌에서 찾아볼 수 있는 범주 용어로는 법칙, 원리, 이론, 모형, 공준(postulate), 정리(theorem), 사실, 개념 등이 있다. 이 중에서 모형의 경우, 모형과 관련된 정의와 용어 사용상의 혼신 용어가 맥락에 따라 가지는 의미의 다양성이 이미 여러 연구를 통해

2) 본 논문에서 관심을 갖는 범주용어에 대한 과학자들의 ‘관습적 언어사용’은 과학자들이 범주용어를 어떻게 명시적으로 규정하는지에 대한 것이 아니다. 대신에 과학자들이 실제로 사용하는 언어관습에서 어떤 지식주장에 ‘법칙’, ‘이론’, 혹은 ‘원리’라는 표현이 사용되는지에 대해 본 연구는 주목하고자 한다. 이를테면 운동에 대한 ‘뉴턴의 1,2,3 법칙’에서 ‘법칙’이라는 범주용어가 ‘원리’라는 범주용어 대신에 널리 사용되는 것이 과학자들의 범주용어에 대한 언어관습이다.

주목받은 바 있다(Gilbert, Boutler, & Elmer, 2000; Holloun, 2006). 이러한 의미의 다양성을 극복하는 하나의 방안으로 모형을 여러 하위 유형으로 구분하여 사용하는 방안 등이 제시되기도 하였다. 이러한 선행연구를 통해서 ‘모형’이란 용어가 갖는 다양한 의미는 과학교육연구에서 충분히 논의되었다고 본다. 이러한 현실인식에서 본 연구에서는 ‘모형’이란 범주용어를 분석 대상에 포함하지 않았다. 한편 공준과 정리는 주로 물리학에서 사용되며, 물리학 이외의 다른 과학 분야에서는 잘 쓰이지 않는다. 이들 용어들은 또한 중등등학교 수준에서 거의 소개되지 않으므로 본 연구에서는 분석대상에서 제외하였다. 한편 개념이라는 용어는 구어 표현에서는 자주 사용되지만 과학문헌에서 특정한 과학지식을 지칭하기 위해 사용되는 용어는 아니다. 또한 개념은 일반적으로 굉장히 광범위한 의미로 명확한 규정 없이 사용되는 용어이기도 하므로 본 연구의 분석대상에서 제외하였다. 한편으로 과학교육 문헌에서는 ‘사실’이란 별도의 지식범주를 제시하는 경우가 많다. 그런데 ‘사실’이란 범주용어는 과학자 집단에서 관습적으로 사용하는 용어가 아니므로 본 연구에서는 분석 대상에서 제외하였다. 결과적으로 본 연구에서는 법칙, 이론, 그리고 원리라는 세 가지 범주용어를 주요 분석 대상으로 선정하였다.

### 2. 문헌 분석의 범위

본 연구는 크게 두 유형의 문헌을 검토하였다. 첫째는 과학의 본성, 특히 법칙, 이론, 원리 등의 범주용어를 키워드로 하는 과학교육학 연구문헌들이다. 과학교육학 연구문헌들에 대해서는 통상적인 방식의 선행연구 조사를 통해 검토할 문헌들을 선정하였다. 둘째는 과학지식의 구조에 대해 논의한 과학철학자들의 문헌들이다. 이를 위해서는 과학지식의 구조에 대한 분석을 과학철학의 중요한 주제 중 하나로 보고 이와 관련된 여러 과학철학자들의 논의를 소개한 Losee의 ‘과학철학의 역사’를 연구의 출발점으로 삼았다(Losee, 2001). 이 책에 소개된 내용을 바탕으로 참고문헌들을 추적하여 과학이론의 구조에 대한 Campbell (1952), Carnap (1966), Dilworth (2006), Giere (2004; 2006), Harre (1970; 1972), Hempel (1965, 1966), Nagel (1961), Toulmin (1953) 등의 논의를 검토하였다. 본 연구에서 분석에 포함된 문헌들은 Table 1에 제시되어 있다.

## III. 연구 결과

### 1. 법칙, 이론, 원리에 대한 과학교육자들의 논의

과학의 본성에 관심을 갖는 과학교육연구자들은 법칙, 이론, 원리라는 범주용어의 교수학습과 관련한 여러 논의를 제기하였다. 먼저 Hodson (1985)은 과학교육에서 과학철학의 중요성을 강조하면서, 과학의 구조 특히 과학지식의 본질과 이론의 역할에 대한 숙고가 과학교육연구에서 필요하다고 주장하였다. 그는 이론과 무관한 관찰은 있을 수 없지만, 그럼에도 이론과 관찰 사실의 구분이 중요하다고 지적하였다. 그는 또한 모형과 이론의 차이에 대한 일련의 논의를 통하여 모형이 경험적 검증을 통해 이론이 된다는 일종의 도식이 과학교육에서 도움이 될 수 있다고 주장하기도 하였다.

한편 Aikenhead와 Ryan (1992)은 과학의 본성에 대한 평가도구인

Table 1. List of literatures reviewed in this study

Category	Titles of articles or books	Authors
Science Education	Conceptualizations of scientific concepts, laws, and theories held by Kwara state	Ogunniyi & Pella (1980)
	Philosophy of science, science and science education	Hodson (1985)
	The development of a new instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS)	Aikenhead & Ryan (1992)
	Students' preconceptions about epistemology of science	Ryan & Aikenhead (1992)
	Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research	Lederman (1992)
	Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science	Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz (2002)
	The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths	McComas (2002)
	The Rationale and Content of a Course for Science Educators	McComas (2002)
	The nature of science in international science education standards documents	McComas & Olson (2002)
	Darwin's theory, Mendel's laws: labels & the teaching of science	Kugler (2002)
	Syntax of nature of science within inquiry and science instruction	Lederman (2004)
	What scientists say: Scientists' views of nature of science and relation to science context	Schwartz & Lederman (2008)
	From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge	Wong & Hodson (2008)
	Philosophy of Science	What is science?
The philosophy of science		Toulmin (1952)
The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation		Nagel (1961)
An introduction to the philosophy of science		Carnap (1966)
Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of Science		Hempel (1965)
Philosophy of Natural Science		Hempel (1966)
The principles of scientific thinking		Harre (1970)
The philosophies of science		Harre (1972)
A historical introduction to the philosophy of science		Losee (2001)
How models are used to represent reality		Giere (2004)
Scientific perspectivism		Giere (2006)
The metaphysics of science: An account of modern science in terms of principles, laws and theories		Dilworth (2006)

VOSTS(Views on Science-Technology-Society)를 개발하면서 과학의 인식론(epistemology)을 VOSTS를 이루는 여러 범주영역 중 하나로 포함하였다. 이 범주는 모형의 본성, 관찰의 이론의존성, 그리고 가설, 이론과 법칙의 구분을 평가하는 문항들을 포함하였다. 그들은 VOSTS를 개발하면서 이론을 높은 정도로 확신하는 설명(explanation)으로, 법칙을 높은 수준으로 확신되는 일반적 기술(description)로 규정하였다. 또한 VOSTS의 평가문항은 "과학적 아이디어는 가설로부터 이론으로 그리고 충분히 좋으면 과학적 법칙으로 발달한다."라는 지시문에 대한 의견이 진술된 선다형 문항을 포함하였다. 이 문항에 대한 학생들의 응답을 분석하여 그들은 다수의 학생들이 가설이 이론으로 되고, 이론이 법칙이 되는 단순한 위계관계를 받아들이는 문제점을 보인다고 보고하였다 (Ryan & Aikenhead, 1992).

한편 Lederman과 동료연구자들은 널리 활용되는 과학의 본성에 대한 평가도구인 VNOS를 개발하면서 관찰(observation)과 추론(inference)의 구분, 그리고 그 연장선에 있는 이론과 법칙의 구분에 대한 질문을 주요 항목으로 포함하였다(Lederman, 1992; Lederman et al., 2002). Lederman 등은 과학적 이론은 잘 정립된 설명체계로 종종 관찰 불가능한 객체나 공리를 바탕으로 구성된다고 보았다. 법칙이 관찰 가능한 현상(phenomena) 사이의 기술적(descriptive) 진술인 반면, 이론은 관측된 현상과 규칙성을 설명하는 추론이다. 또한 이론은 직접적으로 검증되는 대신에 이론으로부터 도출되는 검증 가능한 예측의 경험적 적합성을 판단하는 방식으로 검증된다. 그들은 또한 학생들이 "이론이 경험적 증거가 쌓이면서 법칙이 된다"는 잘못된 위계적 견해를 갖는 것에 문제를 제기한다는 점에서 Aikenhead 등과 의견을 같이 하였다.

한편 McComas와 그의 공동연구자들도 과학교육에서 이론과 법칙

등의 범주용어 구분의 중요성을 강조하였다(McComas, Clough, & Almazroa, 2002). McComas와 Olson (2002)은 미국, 영국, 호주 등에서 발행된 8개의 과학기준문서들을 검토하여 범주용어에 대한 이해가 과학의 본성과 관련된 합의된 학습목표라고 결론 내렸다. 그들은 여러 문서에서 과학을 배우기 위해 범주용어의 의미 이해가 중요하다고 보았음에도 이들 용어를 정의하는 데에는 실패하고 있다고 하였다. 일반 대중들이 범주용어를 다양한 의미로 해석하므로 이들 기준문서에서 용어의 정확한 정의가 시급하다는 것이 이들의 주장이다. 한편으로 McComas (2002a)도 Aikenhead, Lederman과 마찬가지로 가설이 증거에 의해 이론이 되고, 이론이 증거에 의해 법칙이 된다고 보는 위계적 견해를 극복해야 할 신화(myth)로 보았다. 그는 법칙은 자연 속의 패턴, 원리, 혹은 일반화이며, 이론은 이러한 일반화에 대한 설명이라고 보았다. 그는 법칙에 대한 예시로 질량과 거리와 중력과의 관계를 나타내는 중력법칙을 제시하였고, 이러한 중력법칙을 설명하려는 잘 정립된 중력이론은 없다고 하였다. 한편으로 McComas (2002b)는 과학 혹은 과학철학 서적들에서 이론과 법칙을 정의하는 진술들에서 혼란이 나타나고 있다는 것도 언급하였다.

이러한 언급에도 불구하고 McComas는 법칙과 이론에 대한 자신의 규범적 정의를 따르지 않는 과학자 집단의 혼란된 언어사용, 그리고 이로 인한 개념적 혼란에 충분한 주의를 기울이지는 않은 듯하다. 일례로 그는 법칙과 이론의 적절한 구분을 주장하면서, '만유인력의 법칙'을 법칙의 사례로 제시하였다. 그런데 만유인력은 직접 측정되는 값이 아니므로 관찰, 측정을 통해 직접적으로 검증되지 않는다. 대신에 만유인력에 대한 검증은 만유인력을 가정하여 운동을 예측한 후 실제의 운동과 예측된 운동을 비교해보는 간접적인 방식으로 수행된다. 따라서 '만유인력'에 대해 비록 관습적으로 법칙이란 명칭을 부여하지만,

법칙과 이론에 대한 McComas 자신의 규정을 따른다면 ‘만유인력’은 법칙이 아닌 이론적 아이디어로 보아야 한다. 이와 같이 법칙과 이론의 구분의 중요성을 강조한 전문연구자가 법칙의 사례로 잘못된 예시를 들게 할 만큼 과학자 집단의 범주용어 사용 관습은 혼란스러운 것이다 (McComas, 2002a).

한편 Kugler (2002)는 생물학 교재에서 이론, 법칙, 원리의 의미와 쓰임과 관련한 심각한 혼선이 있음을 지적하였다. Kugler가 분석한 12권의 대학 일반생물학 교재 중에 4종의 책에서 이론을 여러 사실이나 현상들을 설명하거나 연관시키는 것으로 소개하였다. 또한 12권의 교재 중 4종만이 법칙을 정의하였는데, 이 교재들은 법칙을 매우 확실히 지지된 이론이라고 규정했다. 한편 원리라는 용어는 12종의 교재 중 6권에서만 사용되었고, 이중 한 교재에서만 원리가 ‘오랜 시간에 걸친 정확한 예측을 통해 보편적으로 인정된 이론’으로 명시적으로 정의되었다. Kugler는 또한 교재에서 가설과 이론이 그리고 법칙과 원리가 각각 혼용되어 사용되고 있다는 것을 보고하였다. 이를테면 한 교재에서 ‘멘델의 원리’와 ‘멘델의 법칙’이 번갈아가며 사용되었다. Kugler는 이러한 용어사용의 불일치가 과학자집단이 충분한 고민 없이 범주용어를 사용하기 때문에 발생한다고 보았다. 이러한 문제의식에서 그는 관습적인 범주용어사용을 대체하는 새로운 용어의 사용방안을 제시하기도 하였다. 이러한 제안에서 과학자들의 언어관습과의 불일치 등을 문제 삼아서 법칙과 이론의 구분을 인정하지 않는 입장을 취하면서 법칙이라는 용어 자체를 사용하지 않아야 한다고 그는 주장했다.

과학자들의 범주용어에 대한 이해를 조사한 과학교육연구도 발표되었다. Schwartz와 Lederman (2008)은 과학의 본성에 대한 과학자들의 견해를 조사하면서 법칙과 이론의 의미에 대한 과학자들의 견해도 탐색하였다. 그들이 조사한 24명의 과학자 중 절반 이상이 이론이 경험적 검증을 거쳐서 법칙이 된다는 위계적 견해를 갖는 것으로 나타났다. Schwartz 등은 과학자들이 명시적으로 위계적 견해를 보였음에도, 관련주제에 대한 과학자들의 언어 표현이 학생이나 교사들의 언어 표현과 다르다는 점을 지적하며 과학자들의 견해는 학생과 교사들이 갖는 이론과 법칙에 대한 전형적인 위계적 견해와 다르다고 주장하였다. 그런데 이 연구에서 Schwartz와 Lederman이 보여준 과학자 그룹, 그리고 학생 및 교사 그룹에 대한 차별적인 해석은 상당한 논란의 여지를 갖는다. 우선 Schwartz와 Lederman은 과학자 집단의 언어관습에서 나타나는 법칙과 이론과 관련된 혼선에 대해 어떠한 언급도 하지 않았다. 그들은 심지어 이 문제를 간과한 것처럼 보이기도 한다. 이를테면 Lederman 등의 다른 연구논문에서는 법칙에 대해 논의하면서 “과학적 법칙은 물체 사이의 만유 인력(universal attraction) 같은 현상 사이의 정량적 관계를 기술한다.”와 같은 진술을 제시하였다 (Lederman et al., 2002). 이와 같이 Lederman 등도 McComas와 마찬가지로 법칙과 이론의 구분을 강조하면서 법칙의 사례로 적절치 못한 사례를 제시하는 문제점을 보였다.

한편 Wong과 Hodson (2008)은 다양한 전공분야를 아우르는 13명의 전문 과학자들이 갖는 과학의 본성에 대한 이해를 조사하면서 법칙, 이론, 모형이라는 범주용어에 대한 그들의 이해도 분석하였다. 놀랍게도 연구에 참여한 모든 과학자들이 이론이 증명을 통해 법칙이 된다는 위계관계를 갖고 있었다. 그럼에도 불구하고 과학자들은 이론과 법칙이 모두 잠정적인 지식이라는 것을 인정하였다. 또한 그들은 과학교육

자들이 강조하였던 용어에 대한 적절한 이해의 부재가 과학자가 지식을 소통하는 과정에서 아무런 문제가 되지 않았다고 보고하였다. 이러한 결론은 과학교육에서 법칙과 이론의 정확한 구분을 강조하는 다른 많은 연구자들에게 상당히 당혹스러운 것이다. Wong 등은 범주용어의 엄격한 정의에 대한 과도한 관심보다는 학생이 각각의 과학지식을 사용할 때 상황에 따라 지식이 어떤 위상을 갖는지 판단하도록 안내하는 것이 더 중요하다고 제안하였다. 다시 말해서 각각의 지식의 기능을 정확히 알고 맥락에 맞게 적절하게 사용하는 것이 범주용어의 정의와 의미구분보다 중요하다는 것이다.

범주용어와 관련된 이상의 과학교육연구를 요약해보면 다음과 같은 특징들이 드러난다. 첫째로 대부분의 연구가 범주용어의 학습과 관련하여 주로 법칙과 이론의 이분법적 구분에 초점을 맞추고 있었다. 많은 연구에서 원리라는 용어에는 관심을 두지 않고 있었고 원리는 별도의 의미를 갖지 않은 채로 법칙과 혼용되어 사용되고 있었다. 둘째로 법칙과 이론의 구분을 중요한 교육목표로 규정한 많은 과학교육 연구에서 범주용어의 사용과 관련한 과학자집단의 혼선에 충분한 주의를 기울이지 못하였다. 앞에서 논의하였듯이 Aikenhead 등, Lederman 등, McComas 등의 연구와 Hodson의 초기 연구에서는 범주용어의 사용과 관련한 혼란은 학생과 교사의 문제일 뿐 과학자집단의 문제가 아니었다. 게다가 법칙과 이론의 정확한 구분을 강조하였던 Lederman과 McComas같은 상당히 영향력 있는 학자들도 법칙의 사례로 반박당할 소지가 다분한 (앞에서 논의한 바에 의하면 틀린) 사례를 제시하였다는 문제점을 드러냈다. 셋째로 범주용어의 명확한 구분을 가정하는 이러한 입장에 반대하는 소수의 주목할 만한 연구들이 있었다. 먼저 Kugler는 범주용어의 혼선은 과학자들의 관습적 언어 사용의 문제 때문이라는 것을 지적하고 관습적인 용어 사용을 대체하는 새로운 용어 사용방법을 제기하였다. 한편 Wong과 Hodson은 과학자집단의 범주용어에 대한 이해가 NOS 연구자들의 기대를 충족시키지 못하는 혼란스러운 상태에 있다는 것과 그렇지만 그러한 혼선이 과학자들에게 별다른 문제를 야기하지 않는다는 문제를 제기하였다.

범주용어의 구분과 관련해 최근의 과학교육연구에서 제기된 논쟁을 고려할 때, 법칙과 이론의 구분은 과학교육자들이 처음에 과학의 본성의 주요 요소로 도입할 때 생각했던 것보다 훨씬 복잡한 문제라고 판단된다. 이 구분은 과학지식을 구성하는 각각의 지식요소의 구조와 기능 그리고 위상은 무엇인가라는 보다 일반적인 과학철학의 주요 문제와 관련된다. 따라서 범주용어의 구분과 관련된 과학철학의 논의들을 보다 면밀히 고찰하여 범주용어와 관련된 과학교육의 논의들을 심화시킬 필요가 있다. 다음절에서는 범주용어에 대한 여러 과학철학자들의 논의를 분석한 결과를 소개하고 이로부터 얻을 수 있는 교육적 시사점을 논하고자 한다.

## 2. 법칙, 이론, 원리에 대한 과학철학자들의 논의

법칙과 원리의 인식론적 구조, 혹은 과학지식의 구조와 기능은 과학철학의 주요 쟁점 중의 하나였고, 여러 과학철학자들이 이와 관련된 논의에 참여하였다(Losee, 2001). 이를테면 아리스토텔레스는 최고 수준의 일반성을 가진 명제로 논증의 원리들을, 그 다음 수준의 일반성을 가진 명제로 개별과학의 제 1 원리를 제시하였다. 아리스토텔레스에게 과학의 제 1 원리란 더 기초적인 원리로부터 연역되지 않는 일반적으

로 참인 명제를 의미하였다. 이와 같이 지식의 구조에 대한 논의는 고대 그리스 시대까지 거슬러 올라간다. 그런데 오늘날에는 과학의 본성과 관련하여 중등학교 수준의 목표로 인식되는 이론과 법칙의 구분이 과거의 과학철학자들의 논의에서 항상 분명히 드러나는 것은 아니었다. 이를테면 당대에는 저명한 과학철학자로 인정받았던, 허셸(Hershel)과 휴웰(Whewell)의 논의에서는 이론과 법칙이 오늘날 인정되는 방식으로 구별되지 않고 있다(Losee, 2001).

최근에 법칙, 이론, 원리의 의미에 대해 가장 심도있는 논의를 시도한 과학철학자는 Dilworth이다. 그는 이론과 법칙의 차이에 처음으로 주목한 과학철학자로 Campbell을 지목하였다(Dilworth, 2007). Campbell은 인간은 겉보기에 무관한 여러 관찰들을 몇 개의 원리들의 특수한 사례로 바꾸어서 경험에 질서를 부여한다고 보았다. 이렇게 과거 경험에 질서를 부여하는 것이 법칙들이며, 밀폐된 기체의 온도, 압력, 부피에 대한 관계인 보일-샤를의 법칙은 법칙의 한 사례가 된다. 법칙은 인간의 경험에 질서를 부여함으로써, 즉 경험을 일반적인 원리의 특수 사례로 만듦으로써 특정한 경험을 설명한다. 그런데 Campbell은 진정한 과학의 목적은 단순히 법칙을 발견하는 것이 아니고 법칙을 설명하는 것이라고 지적하였다. 특히 그는 법칙이 이론에 의해서 설명된다는 것을 강조하였다. 분자운동론을 통한 보일-샤를 법칙의 설명에서, 기체를 이루는 분자가 있다는 것 등의 이론적 아이디어들은 경험의 일반화가 아니다. 이와 같이 이론은 더 이상 일반법칙의 특수한 사례가 아니며, 이론에 의한 설명은 하나의 법칙이 다른 법칙의 특수사례가 되는 단순한 일반화에 의한 설명이 아니다(Campbell, 1952). Campbell은 또한 이론의 구조를 분석하여, 이론의 두 요소를 구분하였다. 진리성 여부를 경험적으로 입증할 수 없는 진술들의 집합인 이론의 ‘가설’(hypothesis), 가설과 경험의 적합성 여부를 결정할 수 있는 진술인 ‘사전적 정의’(dictionary)가 그것이다. 이를테면 기체에 대한 분자운동론과 관련하여 기체가 분자들로 이루어졌다는 아이디어는 ‘가설’에 해당한다. 반면에 기체의 운동에너지의 평균값이 온도에 비례한다는 아이디어는 관찰 불가능한 이론적 개념과 측정 가능한 개념을 연결한다는 점에서 사전적 정의에 해당한다(Losee, 2001).

관찰의 이론의존성으로 인해 어떤 과학적 아이디어가 순전히 이론적이거나 순전히 실험적인 것으로 명확하게 구분되는 것은 아니라는 견해는 오늘날 널리 받아들여지고 있다(Hanson, 1965; Hare, 1972). 이런 점에서 엄밀하게 말하면 법칙과 이론을 구분하는 정확한 기준은 없으나 몇 가지 구분 징표가 있다(Nagel, 1961). 실험법칙은 관찰 자료에 나타나는 것으로 알려진 관계에 기반을 둔 귀납적 일반화로 제시되거나 이론적 아이디어는 그렇지 않다. 또한 이론이 붕괴하더라도 실험법칙은 고유의 생명력을 가진 채 살아남을 수 있다. 이와 같이 이론과 법칙의 차이는 현실적으로는 매우 크기 때문에 둘의 구분과 관련한 논쟁의 여지는 거의 없다. 예를 들어 대부분의 물리학자들은 기체의 압력, 부피, 온도 등과 관련된 법칙은 경험적 법칙이고, 개별적인 분자들의 운동에 관한 법칙은 이론을 구성하는 아이디어라는 데 동의할 것이다. 여하튼 이론과 법칙에 대한 Campbell의 구분은 나이글(Nagel), 카르납(Carnap), 험펠(Hempel) 등 관련 주제를 논의한 이후의 과학철학자들에 의해 수용되었다(Losee, 2001).

나이글은 과학에서 법칙이라 불리는 지식 중 많은 것들은 관찰가능하다고 말하는 어떤 대상이나 특징들 사이의 관계를 정식화한 것으로 보았다. 그런데 극히 포괄적인 어떤 설명체계 내에서 채택된 많은 법칙

들은 관찰가능하다고 볼 수 없는 것들이다. 이를테면 원소들은 화학변화 중에 나누어지지 않는 서로 다른 종류의 원자로 구성된 것이라는 아이디어가 그렇다. 나이글은 두 종류의 법칙을 각각 실험법칙(experimental law)과 이론법칙(theoretical law)이라 불렀다(Nagel, 1961). 나이글은 더 나아가 이론을 구성하는 세 요소로 형식체계, 대응규칙, 해석(혹은 모형)을 제안하였다. 나이글에 의하면 형식체계란 설명 체계의 논리적 틀로서 그 체계의 기본개념을 암묵적으로 정의한다. 한편 대응규칙은 형식체계를 관찰 및 실험 자료와 연결시켜 형식에 경험적인 내용을 부여하는 일련의 규칙을 말한다. 끝으로 해석 혹은 모형은 다소 익숙한 개념적, 시각적 자료로써 형식 구조에 살을 붙여주는 역할을 한다.

한편 카르납은 과학의 내용지식의 구조와 관련하여 경험적 법칙, 이론적 법칙, 대응 규칙을 구분하였다(Carnap, 1966). 카르납은 이러한 구분과 관련하여 일반적으로 받아들여지는 용어는 없다는 것을 지적하면서 각각의 범주를 정의하였다. 카르납에게 경험적 법칙이란 감각에 의해서 직접 관찰할 수 있거나 비교적 간단한 기기로 측정될 수 있는 용어들로 표현되는 법칙이다. 반면 이론적 법칙은 단순히 경험적 법칙들에 대한 약간의 일반화를 통해서 얻어질 수 있는 것이 아니다. 이론적 법칙은 또한 이미 구성된 경험적 법칙을 설명하고 아직 관찰되지 않은 사실을 예측하도록 도와준다. 이론적 법칙은 이론용어들을 포함하고 경험적 법칙은 관찰용어들만을 포함하고 있기 때문에 경험적 법칙을 이론적 법칙으로부터 직접 유도해낸다는 것은 불가능하다. 따라서 이론은 이론적 용어들을 관찰할 수 있는 용어들과 관련시키는 일련의 규칙들인 대응규칙을 포함하고 있어야 한다. 이를테면 ‘기체의 온도는 그 기체의 평균운동에너지에 비례한다.’는 규칙은 관찰할 수 없는 분자들의 운동에너지를 관찰할 수 있는 기체의 온도와 관련시킨다는 의미에서 대응규칙에 해당한다. 이러한 진술들이 없다면 관찰할 수 없는 개념들과 관련된 이론적 법칙들로부터 관찰할 수 있는 개념들과 관련된 경험적 법칙들을 유도하는 것은 불가능하다.

한편 험펠은 과학적 설명에 대한 그의 법칙-연역적 설명(deductive-nomological explanation) 모형에서 일반법칙들과 특수한 사실들이 설명을 구성한다고 주장하였다(Hempel, 1965). 설명 과정에서 설명을 요구하는 현상은 개별 사건일 수도 있고, 케플러의 법칙 같은 사건들 사이의 규칙성일 수도 있다. 험펠은 사건에 대한 설명은 법칙의 힘을 빌리며, 규칙성에 대한 설명은 더 넓은 적용범위를 가진 법칙의 힘을 빌리게 된다고 보았다. 험펠은 또한 경험적 법칙은 문제가 되어 있는 규칙성의 기초가 되는 구조나 과정에 대해서 언급하는 이론적 원리에 의해서 설명된다고도 하였다. 또한 그는 이미 발견되어 있는 경험적 규칙성이 문제의 현상의 배후에 있는 대상과 과정에 대한 이론적 법칙이나 이론적 원리에 의해 설명된다고도 하였다(Hempel, 1966). 이에 대한 사례로 그는 뉴턴의 역학법칙들에 의한 케플러의 법칙들의 설명을 들었다. 또한 그는 이론에 관련되는 두 종류의 원리, 즉 내부(internal)원리와 교량(bridge)원리를 구분하였다. 내부원리는 이론이 설명하려는 현상의 바탕이 된다고 가정되는 대상과 과정, 그리고 이 대상과 과정이 가지는 법칙에 대한 진술이다. 반면 교량원리는 이론이 묘사하는 근본적 대상이나 과정을 설명을 요구하는 경험적 현상과 연관시키는 진술이다. 교량원리가 없다면 이론의 내부원리만으로는 시험명제를 만들어낼 수 없으므로 이론의 경험적 적합성을 시험할 수 없게 된다. 험펠의 논의를 종합해보면, 그는 기본적으로 법칙과 이론에

대한 캠벨의 구분을 받아들인 것으로 판단된다. 그렇지만 그는 관련된 논의 과정에서 법칙, 경험적 법칙, 이론적 법칙, 이론, 모형, 원리, 이론적 원리, 내부원리, 교량원리 등 매우 다양한 용어를 사용하였다. 또한, 법칙이 담고 있는 규칙성을 설명하는 ‘이론적 원리’의 사례로 아무런 부연 설명 없이 ‘뉴턴의 운동법칙’을 제시하였다. 이러한 그의 논의는 이론과 법칙의 엄밀한 구분이란 관점에서 볼 때 매우 혼란스러운 면이 있다.

네이글, 카르납, 험펠은 모두 논리경험주의 과학철학자들로 과학지식을 언명의 집합(set of statements)으로 보는 관점에서 과학지식의 구조를 분석하였다(Giere, 1994). 논리경험주의의 과학철학은 이후에 헨슨(Hanson), 쿤(Kuhn), 파이어아벤트(Fereabend) 등의 거센 비판에 직면하였다. 일련의 논쟁 속에서 과학 지식을 단순히 ‘언명의 집합(set of statements)’으로 보는 관점을 거부하는 주장들이 제기되었고, 현재에는 과학지식을 ‘모형의 집합(family of model)’으로 보는 모형 기반 과학관이 과학철학에서 세를 확장하고 있다(Giere, 2006; Nersessian, 1999). 이 과정에서 논리경험주의를 벗어난 툴민(Toulmin), 하레(Harre), 기어리(Giere) 등의 과학철학자들은 과학지식의 구조에 대한 새로운 견해를 제시하였다.

하레는 과학자들이 사물과 그것들의 상호작용을 기술하고 분류할 뿐 아니라, 존재하는 사물이 왜 존재하고 왜 그렇게 변화하는가를 설명할 수도 있다고 보았다(Harre, 1972). 이러한 설명과정에서 과학자들은 상상력을 동원하여 이론을 만들어낸다. 과학적 설명은 현상이 일어나는 조건을 제시하는데 그치지 않고, 어떻게 해서 당면한 조건에서 현상이 발생했는가를 제시해야 한다. 하레는 또한 과학이 단순히 확증된 사실을 축적하는 것이라는 견해를 배척하였으며, 과학적 설명에서 모형의 중요성을 일찍이 강조한 과학철학자들 중 하나이다(Harre, 1972). 모형은 그것을 사용하지 않았더라면 가능하지 않았을 추리를 가능하게 하며, 인간이 세계에 대해 가지고 있는 지식을 표현할 수 있게 해 준다고 그는 보았다.

한편 툴민은 과학지식의 구조에 대한 그의 논의에서 단순히 법칙과 이론을 구분하는 것을 넘어서 법칙과 원리를 구분할 필요성도 강조하였다(Toulmin, 1953). 법칙은 어떤 조건에서 현상들에서 추출되는 규칙성의 기술(description)과 관련된다. 이를테면 스넬의 법칙은 빛의 굴절에서 입사각과 굴절각 사이의 관계를 기술한다. 그런데 스넬의 법칙은 빛이 직진한다는 기하광학의 핵심적 원리에 바탕을 두고 기술된다. 원리란 이와 같이 어떤 이론의 핵심(keystone)을 이루는 아이디어이다. 이를테면 빛을 직진하며 전파하는 빛살로 보는 빛의 직진성 원리는 기하광학의 핵심아이디어이며, 이것을 포기한다는 것은 기하광학이라는 이론 전체를 포기하는 것을 의미한다. 또한 빛의 직진성을 의심하는 것은 이론 전체를 문제 삼는 것이다. 이런 이유로 원리는 직접적인 방식으로 반증을 위한 테스트에 노출되지 않는다. 그렇지만 원리가 경험적 검증을 요구하지 않는 관습적인 참으로 인정되는 것은 아니다. 새로운 경험적 요구에 의해 원리를 포함한 이론 전체가 포기될 수 있기 때문이다. 이를테면 빛을 직진하는 빛살의 집합으로 보는 기하광학이론을 포기하고 빛을 진행하는 파동으로 보는 파동광학이론을 받아들일 수 있다. 반면에 법칙을 포기하는 것은 전체 이론의 포기가 아니다. 이를테면 스넬의 법칙을 포기하더라도 기하광학이라는 이론의 핵심은 여전히 유지될 수 있다. 툴민은 법칙과 원리에 대한 이러한 구분을 받아들인다면 뉴턴의 역학법칙은 원리로 취급되어야 한다고

지적하였다.

대표적인 모형기반 과학론자로 과학교육계에서도 영향력이 증가하고 있는 기어리(Giere)도 과학지식의 구조에 대해 논의하였다(Giere, 1994; Giere, 2004). 기어리는 툴민과 마찬가지로 과학에서 이론을 구성하는 틀을 이루는 핵심 요소를 ‘원리’로 보았다. 기어리에 의하면 모형은 명시적으로 형성된 원리에 따라 구성된다. 이론이 발달한 물리학은 원리를 풍부하게 갖는다. 이를테면 뉴턴의 운동법칙은 뉴턴역학의 틀을 구성하는 원리이고, 맥스웰의 방정식은 전자기학의 핵심원리이며, 자연선택의 원리는 진화생물학의 핵심을 이룬다. 뉴턴의 운동법칙과 열역학의 기본법칙들이 그것에 포함된 ‘법칙’이라는 이름과 달리 원리에 속한다는 것은 과학에서 법칙과 원리의 의미를 보다 심도 있게 탐색한 Dilworth (2007)에 의해서도 제기되었다.

기어리는 자신이 원리로 규정하는 지식범주가 경험주의 철학자들에게는 경험법칙, 즉 보편적이고 참인 일반화로 종종 해석되었다고 지적하였다(Giere, 2004). 그렇지만 원리는 그 자체로 경험적 주장과 연결되지 않는다고 기어리는 지적하였다. 이를테면 뉴턴의 세 법칙들은 힘, 질량이라 불리는 양들을 지시하고 이미 알던 양들과 관계 지운다. 그러나 이 원리들은 그 자체로 힘과 질량이 무엇인지 알려주지 않으며, 우리는 이 원리들이 어디에 적용될지 알 수 없다. 원리라는 사고의 틀을 가지고 모형을 구성하는 과정을 통해서만 원리는 경험적 규칙성과 연결될 수 있다. 한편 기어리는 이론과 법칙은 과학자와 과학철학자들의 언어에서 꽤나 넓은 의미로 사용되어서, 현실적으로는 법칙이나 이론으로 불릴 수 있는 단일한 요소가 없다고 지적하였다. 기어리에 의하면 관습적으로 자연의 법칙이라 불리는 언명은 대개는 거대 원리보다는 낮은 수준의 일반화이다. 혹은 법칙, 스넬의 법칙, 진자의 법칙 등이 이러한 낮은 일반화의 사례가 된다. 기어리는 이런 법칙들을 보편적으로 참인 언명으로 보는 대신에 일종의 추상적 모형으로 보았다.

법칙, 이론, 원리의 의미, 더 나아가서 과학지식의 구조에 대한 과학철학자들의 논의로부터 과학교육을 위한 중요한 시사점들이 도출될 수 있다. 우선 현재에 중등수준의 과학교육에서 과학의 본성과 관련한 주요 학습 목표로 여겨지는 법칙과 이론의 구분이 주목받은 것은 역사적으로 100년이 채 되지 않는다. Campbell에 의해 제안된 두 범주용어의 구분은 과학지식의 구조를 탐색하는 과학철학자들에게 받아들여졌다. 그렇지만 이러한 구분은 과학자들이 과학지식에 관습적으로 부여한 명칭과 종종 상충된다. 즉 Campbell의 논의 이전에 과학자집단은 운동에 대한 뉴턴의 1,2,3 법칙, 열에 대한 열역학의 1법칙에 모두 법칙이란 명칭을 부여하였지만, 사실상 이 법칙들은 관찰 혹은 측정된 변수사이의 관계를 진술한 것이 아니라는 의미에서 관찰이나 실험을 통해 바로 일반화되어 도출되는 의미를 갖는 법칙들이 아니다. 이와 같은 혼란스러운 과학자들의 언어관습은 지식의 구조와 기능에 대한 당대의 과학자들의 미성숙을 반영하는 것으로도, 혹은 명확한 의미 규정 없이 법칙이라는 용어를 광범위하게 사용한 결과로도 해석할 수 있다. 어느 쪽으로 해석하든지, 법칙과 이론의 구분을 주요한 학습목표로 규정한다면 법칙에 대한 과학자들의 관습적인 언어사용이 심각한 오해와 혼란을 유발할 수 있다는 것에는 변함이 없다.

둘째 이론, 법칙, 원리 같은 주요 범주용어에 대한 기존의 과학계의 혼선을 명시적으로 지적한 과학철학의 논의는 비교적 최근에 나타난 편이다. 대신에 과학지식의 구조에 대한 논의에서 논리경험주의 전통



에 속한 과학철학자들은 그들이 자체적으로 도입한 범주용어들을 지식의 구분에 사용하였다. 이 과정에서 이론적 법칙, 경험적 법칙, 대응 규칙, 변환 규칙, 내부원리, 교량 원리 등 매우 다양한 용어들이 사용되었다. 이러한 자체적인 용어 사용은 이론, 법칙, 원리와 관련된 과학자들의 실제 언어 사용을 반영하지 못한다는 문제를 갖는다.

셋째 많은 과학철학자들이 이론과 법칙의 구분을 강조하였지만, 원리에 대한 명시적인 논의는 소수의 과학철학자들에게서만 나타났다. 이를테면 캠벨, 햐펠, 네이글, 카르납은 그들의 논의에서 원리라는 용어에 별도의 의미를 부여하지 않았다. 이들은 명시적인 언급 없이 원리와 법칙을 유사한 의미로 혼용해서 사용하거나, 원리라는 용어를 거의 사용하지 않고 논의를 전개하였다. 원리와 법칙을 명확하게 구분하지 않는 이러한 경향은 현재의 과학교육 문헌에서도 나타나고 있다. 이런 상황에서 틀민과 기어리는 ‘원리’라는 별도의 지식범주의 중요성에 대해 논의하였다. 그런데 이들이 강조한 ‘원리’라는 지식범주는 이론의 틀을 제공하는 핵심아이디어라는 점에서 과학교육학계에서 법칙과 이론의 구분을 넘어서 원리라는 별도의 범주에 대한 주목이 필요하다고 판단된다.

4. 과학교육을 위한 법칙, 이론, 원리의 의미와 사용에 대하여

지금부터는 앞선 논의를 바탕으로 법칙, 이론, 원리라는 범주용어를 과학교육에서 어떻게 다루어야 하는지에 대해 논의하고자 한다. 범주용어의 사용과 관련한 과학자들의 혼란을 이유로 Kulger는 법칙과 이론을 구분하려는 시도 자체를 문제 삼았다(Kulger, 2002). 그런데 이와 같은 주장은 지나치게 과격하다고 생각된다. 관찰과 추론을 구분하는 것, 혹은 자연현상의 단순한 기술과 기술된 패턴에 대한 설명을 구분하는 것은 과학탐구의 기초가 된다. 따라서 관찰과 추론의 구분의 연장성에 있는 법칙과 이론의 규범적 구분 자체는 꽤나 설득력 있다. 다만 과학자의 언어관습이 이러한 규범적 구분과 불일치하는 문제로 발생할 수 있는 혼란을 최소화시킬 필요가 있다. 그런데 법칙, 이론, 원리 같은 범주용어를 명확히 규정하지 않고 사용해왔던 과학자 집단의 언어관습을 바꾸는 것은 현실적으로 매우 힘들 것이다. 이런 상황에서 범주용어의 명확한 의미 규정에 대해 과도한 관심을 보이는 대신에 개별 과학지식이 자연현상을 기술하고 설명하는 과정에서 실제로 어떤 기능을 하는 지에 주의할 필요가 있다는 Wong과 Hodson (2008)의 제안에 귀 기울일 필요가 있다.

이러한 논의들을 염두에 두고 본 연구자는 범주용어와 관련된 과학철학자들의 논의들을 조사하면서 과학지식을 구성하는 하위 지식요소들을 법칙, 이론, 원리로 범주화하는 것의 타당성을 검토하였다. 본

연구자는 기존의 논의들을 검토하는 과정에서 ‘법칙’, ‘이론’, ‘원리’로 불릴 수 있는 세 가지 구분되는 범주들이 있는지를 판단할 수 있는 증거들로 어떤 것이 가능한지를 탐색하였다. 그 결과 ‘지식의 기능’, ‘사례’, ‘지식생성과정’, ‘지식검증과정’, ‘진술단위’, ‘과학철학자들의 범주용어’라는 주요한 증거들을 추출하였다. 먼저 개별 과학 지식은 그 지식이 어떤 기능을 갖는지에 따라 범주화할 수 있다. 또 지식의 유형에 따라 해당 지식이 생성되기 위해 과학자가 거쳐야 하는 사고의 유형이 다를 수도 있다. 또 일단 생성된 지식의 타당성과 유용성을 검증하는 과정도 지식의 종류에 따라 다를 수 있다. 한편 지식유형에 따라 해당 지식을 구체적으로 드러내기 위해 필요한 문장의 수도 다를 수 있다. 또한 지식유형에 대해 과학철학자들이 어떤 범주용어를 사용하는지를 조사하는 것은 해당 지식범주에 명칭을 부여할 때 주요한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

그런데 ‘법칙’, ‘이론’, ‘원리’라고 이름 붙일 수 있는 세 가지 주요 범주를 구분하는 것이 과연 타당한지를 판단하기 위해 앞에서 제시한 증거들을 기준으로 과학철학문헌을 면밀하게 검토하는 것은 본 연구의 범위를 넘어서는 일이다. 제시된 증거들은 지식의 생성과정, 지식의 검증과정 등 매우 복잡한 과학철학의 주요 이슈들도 포함하기 때문이다. 따라서 제시된 증거들을 기초로 한 면밀한 분석은 앞으로 필요한 작업으로 남겨두고 대신에 본 연구에서는 추출된 증거들을 기초로 한 일종의 예비분석을 Table 2와 함께 요약하여 제시하고자 한다.

Table 2에서 첫 번째 범주에 속하는 지식은 자연의 규칙성을 기술하거나, 현상을 기술하는 기능을 수행한다. 이러한 지식범주의 사례로는 빛의 굴절과 관련된 스넬의 법칙, 밀폐된 기체의 부피, 압력, 온도 사이의 관계인 보일-샤를의 법칙 등이 있다. 이 지식 범주의 지식들은 측정 가능한 변인들 사이의 관계나 패턴을 찾으려는 시도를 통해 생성된다(Nagel, 1961). 이 지식범주에 속하는 지식들은 측정 가능한 변인 사이의 관계로 진술되므로 해당 범주의 지식의 진위는 실험, 관측을 통해 직접적으로 검증할 수 있다. 해당 지식의 타당성이 유지되려면 실험 등을 통해 얻은 패턴과 해당지식이 주장하는 패턴이 충분히 유사해야 한다(Giere 2004). 빛의 굴절, 스넬의 법칙, 보일-샤를의 법칙에서 보듯이 이 범주의 지식은 단일한 문장으로 표현될 수 있다. 과학철학자들은 이 범주를 나타내기 위해 경험적 법칙, 실험법칙, 법칙이라는 표현을 사용하였다(Camop, 1966; Nagel, 1961). 이러한 과학철학자들의 명칭 부여와 법칙과 이론의 구분이라는 NOS 연구자의 관점을 반영하면, 이 범주에 대한 적절한 이름표는 ‘법칙’이라고 판단된다.

두 번째 범주의 지식은 자연의 규칙성을 설명하는 기능을 수행한다. 이러한 지식범주의 사례로는 뉴턴역학, 진화론이 있다. 이 범주의 지식은 유추, 귀추, 혹은 대담한 추측을 통해 생성되는 경우가 많다. 이

Table 2. Characteristics of law, theory, and principle

지식범주	법칙	이론	원리
기능	자연의 규칙성을 기술함. 특정한 경험을 설명함.	자연의 규칙성을 설명함.	이론의 틀을 규정하는 일종의 공리 역할.
사례	스넬의 법칙, 보일-샤를의 법칙	뉴턴 역학, 파동광학, 진화론	뉴턴의 1,2,3법칙, 호이겐스의 원리, 자연선택의 법칙
지식생성과정	패턴 찾기	유추, 귀추, 대담한 추측	대담한 추측
지식검증과정	관찰, 실험을 통해 직접적으로 검증	관찰, 실험과 이론의 예측의 비교를 통해 검증	(정상과학의 경우) 검증대상에서 제외됨.
진술단위	단일 문장	문장들의 집합	단일 문장
과학철학자들의 범주용어	경험적 법칙, 실험법칙, 법칙	이론	이론적 법칙, 내부원리, 원리, 핵

범주의 지식은 ‘원리’처럼 직접 측정이 불가능한 개념을 포함하고 있으므로 이 범주의 지식의 타당성은 직접적으로 검증되지 않는다. 대신에 해당 지식으로부터 경험적 예측을 도출한 후에 실험, 관찰을 통해 예측의 경험적 적합성을 판정하는 간접적인 방식으로 지식의 검증이 수행된다(Carnop, 1966; Losee, 2001). 뉴턴 역학, 진화론의 사례에서 보듯이 이 범주의 지식은 단일 문장이 아닌 여러 문장들의 집합으로 표현된다(Carnop, 1966; Hempel, 1966). 이 지식범주에 대해 과학철학자들은 이론이란 범주명을 부여하고 있으므로, 이 범주에 대한 적절한 이름표는 ‘이론’일 것이다.

세 번째 범주는 이론의 틀을 제공하는 일종의 공리의 기능을 수행한다(Giere, 2006; Toulmin, 1952). 이 범주에 해당하는 지식의 사례로는 뉴턴의 1,2,3법칙이 있다. 이 범주의 지식은 해당 지식이 처음에 제시될 때에는 사회적으로 즉각적으로 받아들이기 힘들 수도 있는 매우 대담한 추측을 통해 생성된다. 이를테면 갈릴레이가 힘을 받지 않는 물체는 등속도 운동을 유지한다는 관성의 법칙(이후에 뉴턴의 1법칙으로 불리게 된)을 제안했을 때, 그의 제안은 당대의 상식을 벗어나는 매우 대담한 추측이었다. 이 범주의 지식은 해당 지식을 포함하는 이론에서 핵심적인 틀의 역할을 하며, 이 지식범주의 지식을 포기하는 것은 곧 지식을 포함하는 해당 이론 전체를 포기하는 것과 같다(Toulmin, 1952). 쿤(Kuhn, 1970)의 표현을 빌리면 이 범주의 지식은 패러다임의 일부를 이룬다. 라카토스의 표현을 빌면 이 지식은 핵의 일부를 이루는 것으로 이 범주에 속하는 지식은 일차적으로는 검증의 대상에서 제외되고, 이 지식의 보호대를 이루는 보조가설만이 검증에 노출된다(Lakatos, 1980). 그런데 이 범주의 지식들이 검증과정의 일차적 대상이 아니라는 것이, 곧 해당 지식에 대한 명목적인 지지를 의미하는 것은 아니다. 정상과학의 시기와 달리 과학혁명의 시기에는 한 이론이 다른 이론에 의해 밀려날 수 있고, 그 과정에서 밀려나는 이론의 뼈대를 이루는 핵심 아이디어들의 한계도 규정되게 된다. 뉴턴의 1,2,3법칙이라는 사례에서 보듯이 이 범주의 지식은 단일 문장으로 표현된다. 과학철학자들은 이 지식범주에 속하는 지식을 이론적 법칙, 내부원리, 원리, 핵 등으로 표현하였다(Carnop, 1966; Giere, 2004; Hempel, 1966; Lakatos, 1980). 이 범주의 지식은 앞에서 규정한 법칙도 이론도 아니므로 법칙도 이론도 아닌 새로운 이름표가 필요하다. 본 연구자는 Toulmin (1953)과 Giere (2004)를 따라서 이 범주를 지칭하는 범주용어로 ‘원리’를 사용하는 것을 제안한다.

‘법칙’, ‘이론’, ‘원리’ 사이에는 밀접한 관계가 존재한다. 이러한 관계는 빛의 굴절과 관련하여 다음과 같이 예시될 수 있다. 이를테면 경계면에서 빛이 굴절할 때 빛의 입사각과 굴절각이라는 측정 가능한 변인들 사이의 관계(규칙성)를 찾은 것이 ‘스넬의 법칙’이다. 이러한 스넬의 법칙이라는 패턴이 가능한 이유를 설명하는 이론이 빛을 일종의 파동으로 보는 ‘파동광학’이다. 또한 ‘파동광학’의 뼈대를 이루며 스넬의 법칙을 설명하는 과정에서도 사용되는 핵심 원리가 ‘호이겐스의 원리’이다<sup>3)</sup>. ‘파동광학’은 ‘호이겐스의 원리’라는 핵심공리와 매질마다 파동의 전파속도가 다르다는 보조적인 (그러나 오늘날 받아들일 근거가 충분한) 가설로 ‘스넬의 법칙’이라는 자연의 규칙성을 설명한다.

3) 호이겐스의 원리는 한 순간에 파면이 주어지면 다음 순간의 파면은 주어진 파면상의 각 점이 각각 독립한 파원이 되어 발생하는 2차적인 구면파에 공통으로 접하는 면, 즉 포락면이 된다는 것이다.

한편 ‘법칙’과 ‘원리’에 대한 Table 2의 규정이 과학자들의 관련된 언어사용과 꼭 일치하지 않는다는 것에 주의할 필요가 있다. 이를테면 Table 2에서 원리의 사례로 제시된 ‘뉴턴의 1,2,3’법칙에는 관습적으로 ‘법칙’이란 표현이 사용된다. 한편으로 ‘르사틀리에의 원리’, ‘파스칼의 원리’, ‘아르키메데스의 원리’ 등은 본 연구의 규정에 의하면 ‘법칙’에 속하는 것으로 보아야 한다. 르사틀리에의 원리에 의하면 평형상태에 있는 계에 외부로부터 어떤 작용이 가해질 때 그 작용에 의한 영향을 약화시키는 방향으로 변화가 일어난다. 파스칼의 원리는 밀폐된 용기에 담긴 유체에 가해진 압력은 유체의 모든 부분과 유체를 담은 용기의 벽까지 그 세기가 감소되지 않고 전달된다는 것이다. 한편 아르키메데스의 원리에 의하면 물체를 유체에 넣었을 때 물체가 받는 부력의 크기가 물체의 부피와 같은 양의 유체에 작용하는 중력과 같다. 그런데 이러한 지식주장에 대해서는 관련된 진술의 진위를 판별하는 직접적인 경험적 검증, 즉 실험을 통한 진위판단이 가능하므로, ‘르사틀리에의 원리’, ‘파스칼의 원리’, ‘아르키메데스의 원리’는 법칙으로 볼 수 있는 것이다. 이와 같이 원리로 보아야 할 지식이 법칙으로 불리고 법칙으로 보아야 할 지식이 원리로 불리는 많은 사례들이 존재한다.

어떤 과학지식이 ‘법칙’에 속하는지 ‘원리’에 속하는지를 정확히 판단하는 것은 경우에 따라 학습자 뿐 아니라 교수자의 입장에서도 쉽지 않을 수 있다. 이러한 경우 해당 지식에 대한 개념적 정교화는 학습자의 입장에서 매우 도전적인 과제가 될 수 있다. 이를테면 본 연구의 범주규정에 의하면 ‘뉴턴의 1,2,3’법칙은 원리에 속한다. 그렇지만 본 연구가 취하는 이러한 입장을 받아들여야 뉴턴의 1,2,3법칙에 대한 여러 오해를 극복해야 한다. 이를테면 뉴턴 2 법칙은 많은 교과서에서 힘(탄성력)과 가속도와와의 관계를 실험적으로 일반화하는 과정을 통하여 제시된다. 교과서의 이러한 제시방식은 뉴턴의 2법칙이 ‘원리’가 아닌 ‘법칙’에 해당하는 지식이라는 그릇된 견해를 심어줄 수 있다. 그런데 교과서에 제시된 실험을 통해 확인할 수 있는 것은 탄성력(용수철이나 고무줄의 늘어난 길이로 확인되는)과 가속도와의 관계이다. 반면에 뉴턴의 제2법칙은 단순히 탄성력과 가속도와의 관계가 아니라 물체에 가해지는 모든 종류의 힘이 더해진 알짜힘과 물체가 받는 가속도 사이의 보다 일반적인 관계를 규정한다. 즉 뉴턴의 2법칙은 탄성력이라는 측정 가능한 특정한 힘이 아니라 모든 종류의 힘이 더해진 알짜힘과 관련된다. 그런데 현재로서는 뉴턴의 제2법칙을 사용하지 않고 알짜힘을 측정하는 방법이 없으므로, 뉴턴의 2법칙은 경험적으로 검증될 수 없다. 또한 겉보기에 뉴턴의 2법칙이 어긋나 보이는 상황을 접하더라도 물리학자들은 뉴턴의 2법칙을 포기하는 대신에 아직 고려하지 않은 미지의 힘이 추가로 작용한다는 식으로 뉴턴의 2법칙을 유지하려고 한다는 점에서 뉴턴의 2법칙은 일종의 공리가 된다(Giere, 2006; Nagel, 1961; Poincare, 1905). 이러한 이유로 뉴턴의 1,2,3법칙은 물리학자들의 관습적 언어표현이 암시하는 것처럼 ‘법칙’에 속하지 않고 ‘원리’에 속하게 되는 것이다.

이와 같이 ‘법칙’, ‘이론’, ‘원리’에 대한 Table 2의 규정과 과학자들의 언어관습이 불일치하는 경우가 적지 않고, 이들을 엄밀하게 구분하는 것은 상당히 어려운 과업일 수 있으므로, 본 연구가 이들 범주용어를 꼭 본 연구에서 규정한 의미로만 사용해야 한다고 주장하는 것은 아니다. 대신에 본 연구가 강조하는 것은 어떤 이름표를 붙이던지 실제의 과학지식에 대한 이러한 세 가지 범주의 구분이 과학교육에 도움이 될 수 있다는 것이다. 이를테면 뉴턴의 1,2,3 법칙의 기능, 생성과정,



검증과정에 대한 정확한 이해는 관련된 개념의 교수학습을 위한 좋은 안내를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 ‘법칙’과 ‘이론’의 이분법적 구분을 넘어서 ‘원리’라는 제 3의 범주에도 주목할 것을 제안하였다. 이와 같이 ‘원리’라는 별도의 범주를 추가한 이유에 대해 부연 설명하고자 한다. Table 2에서 제시된 원리의 특성에서 알 수 있듯이 원리는 과학지식의 핵심을 이루는 아이디어들이다. 원리는 라카토스의 표현을 빌리면 이론의 핵(hardcore)에 속하는 범주이다. 또한 뉴턴의 1,2,3법칙이라는 대표적인 사례에서 보듯이 원리는 과학지식 중에서 가장 넓은 적용범위를 갖는 보편적인 진술이다. 이런 점에서 본 연구에서 원리로 규정한 범주에 속하는 과학지식은 과학교육의 가장 중요한 학습목표일 수 있다. 이러한 중요성으로 인해 과학교육계가 해당 범주에 별도의 이름표를 부여하고 주목할 필요성은 충분하다고 판단된다.

#### IV. 결론 및 제언

초기의 NOS 연구자들은 과학지식의 기능이 개별지식에 따라 다르다는 것에 주목하고 특히 법칙과 이론을 규범적으로 구분해야 한다는 주장을 제기하였다. 그런데 범주용어에 대한 이들의 규범적 규정과 과학자 집단의 언어관습에는 상당한 불일치가 존재한다. 이러한 불일치를 간과하면 관련된 학습과정에서 상당한 혼란과 오해를 유발할 수 있다. 이런 의미에서 범주용어의 규범적 사용은 초기의 NOS 연구자들이 생각했던 것보다 훨씬 더 세밀한 주의를 요하는 문제라고 할 수 있다. 이러한 상황에서 범주용어와 관련한 교수학습방안으로 상당히 대조적인 제안들이 그동안 제시되어 왔다. 이를테면 Kulger는 과학교육에서 법칙과 이론의 차이 자체를 인정하지 말아야 한다고 주장하였다. 한편 Wong과 Hodson은 범주용어의 의미에 대한 명확한 구분 자체가 중요한 것이 아니고 학생들이 개별 과학지식이 어떤 상황에서 어떤 역할을 하는지를 이해하는 것이 중요하다는 입장을 취했다. 본 연구는 범주용어의 의미, 더 나아가 과학지식의 구조와 관련된 과학철학문헌을 조사하여 과학의 역사에서 볼 때 오늘날에는 익숙한 법칙과 이론의 구분이라는 아이디어 자체가 비교적 새로운 것임을 확인하였다. 또한 과학교육에서 법칙, 이론에 원리를 추가하여 세 범주를 구분하는 것을 제안하였다. 끝으로 지식의 기능, 생성과정, 검증과정 등을 바탕으로 세 범주의 특징을 정리하였다. 이러한 연구결과는 다음과 같은 교육적 시사점을 갖는다.

첫째, 법칙과 이론의 구분을 교수학습의 목표로 한다면 효과적인 학습을 위해 보다 더 세밀한 접근이 필요하다. Campbell 식의 법칙과 이론의 규범적 의미구분과 과학자 집단의 언어관습에서 상당한 불일치가 존재하기 때문이다. 특히 과학자 집단의 언어관습을 무시한 채로 법칙과 이론의 규범적인 구분만을 강조한다면 관련된 개념을 배우는 학습자에게 개념에 대한 심각한 오해를 유발할 수 있다. 이를테면 뉴턴의 1,2,3 법칙을 학습하는 학습자는 ‘법칙’이란 표현만 보고 이들 법칙들을 자연현상을 기술한 것으로 실험을 통해 직접적 확인이 가능한 진술로 오해할 수 있다. 뉴턴의 법칙들이 사실상 운동을 설명하는 데 사용되는 이론적 아이디어임을 생각할 때 이러한 오해는 학습자의 개념학습을 방해하는 장애물로 작용할 가능성이 높다. 따라서 범주용어를 규범적으로 규정하려는 관점에서 볼 때 관습적인 언어표현이 적절하지 못한 경우에 대한 특별한 주의가 필요하다. 또한 ‘뉴턴의 1,2,3법

칙’같은 부적절한 언어표현이 실제로 학습자의 학습에 어떠한 어려움을 유발하는지도 주의깊게 검토할 필요가 있다.

둘째, 범주용어들에 대한 기존의 과학교육론 교재의 논의들의 적절성을 검토할 필요가 있다. 본 연구자는 범주용어에 대한 몇몇 과학교육론 교재의 논의들을 검토하는 것만으로도 상당한 문제점을 확인할 수 있었다. 이를테면 “의심할 여지가 없고 예상 가능하고 설명 가능한 철저한 이론과 일반화들은 법칙으로 여겨진다.”와 같은 범주지식의 위계성에 대한 오해를 유발하는 부적절한 설명을 교재에서 찾아볼 수 있었다. NOS 연구자들이 비판하는 이론과 법칙이 위계적 관계라는 견해를 과학교육론 교재가 제공하고 있는 것이다. 또 범주 용어에 대한 서로 모순되어 보이는 설명들이 눈에 띄고 그 결과 교재를 읽어도 범주용어의 의미를 정확히 파악하기 힘든 경우도 있었다. 또한 교재에서 제시된 범주용어의 정의와 각 범주의 예로 제시된 사례들이 일치하지 않는 문제도 보였다. 끝으로 범주용어와 관련된 과학자 집단의 언어관습의 혼란에도 불구하고 교재에서 이와 관련된 혼란을 거의 언급하지 않는 것도 문제가 될 수 있다. 이러한 혼란에 대한 언급 없이 단순히 범주용어를 설명하기만 한다면 학습자는 범주용어가 잘 정의되어 사용되는 것처럼 오해하기 쉽다.

셋째로 과학교재에서 과학지식을 다룰 때 각각의 지식이 어떤 기능을 하는지에 대해 적절히 논의하고 있는지도 조사할 필요가 있다. 압축적으로 말한다면 과학지식은 자연현상을 기술하고 설명하려는 것이다. 따라서 과학교재는 자연현상에 대한 기술과 이에 대한 설명을 적절하게 구별하여 제시할 필요가 있다. 이러한 부분에 초점을 맞춘 교재분석 연구도 필요하다고 할 수 있다.

넷째로 물리학, 화학, 생물학, 지구과학 등 각 개별과학의 분야에서 범주용어와 관련하여 어떤 관습적인 혼선이 있는지를 조사하여 데이터베이스화할 필요가 있다. 이러한 작업이 이루어지면, 해당 개념의 교수학습의 설계에서 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 법칙, 이론, 원리의 사례로 많은 경우 물리학 지식을 제시하였다. 물리학 이외의 지식에 대해서는 화학에 속하는 일부 사례만을 제시하였다. 이러한 제한의 한 이유는 과학지식의 구조를 분석한 과학철학자들이 대부분 물리학을 주요 분석대상으로 하였기 때문이다. 또 다른 이유는 본 연구자의 전공이 물리학 기반이라는 한계로 인한 것이었다. 따라서 물리학 이외의 과학 분야에서도 범주용어의 혼선이 조사될 필요가 있다.

끝으로 본 연구처럼 과학철학과 과학교육을 접목하는 시도가 계속될 필요가 있다. 본 연구는 과학지식의 구조에 대한 과학철학의 논의들을 검토하여 과학교육에의 시사점을 얻고자 하였다. Matthews (1994)가 설득력 있게 논하였듯이 과학교육에서 이루어지는 많은 결정은 다음과 같은 과학철학의 질문에 대한 숙고를 요구한다.

“과학의 구조는 무엇인가? 과학의 방법은 무엇인가? 과학적 설명은 무엇인가?”

이러한 질문에 대한 대답은 지금도 계속 제시되고 있고, 이러한 시도들에서 옥석을 취하여 과학교육에의 시사점을 얻는 작업도 계속되어야 할 것이다.

#### 국문요약

과학의 본성(NOS)에 대한 교육 담론들은 과학지식의 역할에 따른

구분, 특히 이론과 법칙의 구분을 과학교육의 중요한 학습목표로 규정한다. 그런데 과학자집단은 법칙, 이론, 원리 등의 용어를 명확한 정의 없이 사용하며, 이 용어들이 관습적인 언어표현 속에서 일관된 의미를 갖지도 않는다. 당위와 현실사이의 이러한 차이는 교수학습의 혼란을 유발할 수 있다. 이러한 문제의식에서 본 연구는 법칙, 이론, 원리의 의미, 그리고 과학지식의 구조에 대해 논의한 과학교육연구와 과학철학문헌을 비판적으로 검토하였다. 과학교육연구에 대한 검토 결과 NOS 연구자들에 의한 법칙과 이론의 규범적 정의와 이 용어들의 실제 사용 사이의 불일치는 상당히 심각한 것으로 드러났다. 또한 과학철학 문헌에 대한 검토를 통해 법칙과 이론의 구분이라는 이분법을 넘어서 과학지식에서 법칙, 이론, 원리라는 세 범주를 구분해야 할 필요성을 제기하였고, 관련 논의를 종합하여 법칙, 이론, 원리에 해당하는 지식의 특성을 정리하였다. 규범적 정의와 관습 사이의 불일치를 고려하면 세 범주와 관련된 교육의 목표로 용어의 정확한 구분을 강조하는 것은 바람직하지 않을 수 있다. 그보다는 서로 다른 기능과 특징을 갖는 세 종류의 지식이 있다는 것에 교육의 초점을 맞추어 줄 필요가 있다.

**주제어 :** 법칙, 이론, 원리, 과학지식의 구조, 과학의 본성, 과학철학

## References

- Aikenhead, G. S., & Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS), *Science Education*, 76(5), 477-491.
- Bell, R. L. (2004). Perusing Pandora's box. In L. B. Flick & N. G. Lederman, *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 427-446). London: Kluwer Academic Publishers.
- Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Campbell, N. R. (1952). *What is science?* New York, NY: Dover Publication.
- Carnap, R. (1966). *An introduction to the philosophy of science*. New York, NY: Dover Publication.
- Dilworth, C. (2006). *The metaphysics of science: An account of modern science in terms of principles, laws and theories*. Dordrecht: Springer.
- Giere, R. N. (1994). The cognitive structure of scientific theory. *Philosophy of Science*, 61, 276-296.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Giere, R. N. (2006). *Scientific perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K., Boutler, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boutler (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-19). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hanson, N. R. (1965). *Patterns of discovery: an inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harre, R. (1970). *The principles of scientific thinking*. London: Macmillan.
- Harre, R. (1972). *The philosophies of science*. Oxford: Oxford University Press.
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of Science*. New York, NY: The Free Press.
- Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- Holloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Springer.
- Kugler, C. (2002). Darwin's theory, Mendel's laws: Labels & the teaching of science. *The American Biology Teacher*, 64(5), 341-351.
- Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1980). *The methodology of scientific research programmes Volume 1: Philosophical papers*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 301-317). London: Kluwer Academic Publishers.
- Losee, J. (2001). *A historical introduction to the philosophy of science* (4th ed.). New York, NY: Oxford University Press.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (2002). The role and character of the nature of science in science education. In W. K. McComas (Ed.), *The nature of science in science education* (pp. 3-39). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, W. F. (2002a). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In W. K. McComas (Ed.), *The nature of science in science education* (pp. 53-70). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, W. F. (2002b). A thematic introduction to the nature of science: The rationale and content of a course for science educators. In W. K. McComas (Ed.), *The nature of science in science education* (pp. 211-222). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (2002). The nature of science in international science education standards documents. In W. K. McComas (Ed.), *The nature of science in science education* (pp. 40-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nagel, E. (1961). *The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani, N. Nersessian, & P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 5-22). New York, NY: Kluwer Academic Publishers.
- Ogunniyi, M. B., & Pella, M. O. (1980). Conceptualizations of scientific concepts, laws, and theories held by Kwara state, Nigeria secondary school science teacher. *Science Education*, 64(5), 591-599.
- Poincare, H. (1905). *Science and hypothesis*. New York, NY: The Walter Scott Publishing.
- Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559-580.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88, 610-645.
- Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2008). What scientists say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727-771.
- The Korean Association for Science Education (2005). *Science Education Glossary*. Seoul: Kyoyookbook.
- Toulmin, S. (1953). *The philosophy of science*. London: Hutchinson.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2008). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93, 109-130.