



한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정 비교 - 에너지 개념을 중심으로 -

윤혜경^{1*}, 정용욱²

¹춘천교육대학교, ²서울대학교

Comparison of the Science Curricula of Korea, the United States, England, and Singapore: Focus on the Concept of Energy

Hye-Gyoung Yoon^{1*}, Yong Wook Cheong²

¹Chuncheon National University of Education, ²Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 July 2017

Received in revised form

13 August 2017

29 August 2017

Accepted 7 September 2017

Keywords:

energy, science curriculum,
energy form, energy resource,
energy transfer,
energy transformation, energy
conservation, energy dissipation

ABSTRACT

Energy as a powerful and unifying concept to understand natural world has been regarded as one of the key concepts of the science curricula in many countries. However, concerning learning and teaching of energy, various difficulties have been reported widely. This study aimed at analyzing and comparing science curricula of Korea, the U.S., England, and Singapore regarding energy to identify the potential issues for energy curriculum in the future. 2015 revised Korean science curriculum, Next Generation Science Standards of the U.S., Science programmes of study of England, and the Science syllabus of Singapore were compared based on six basic elements of the concept of energy: energy form, energy resource, energy transfer, energy transformation, energy conservation, and energy dissipation. Achievement criteria that include energy were extracted from all curricula and categorized into the six elements. The frequency and distribution of the six elements in the four curricula were compared in terms of school levels and disciplinary areas. Contents of six energy elements were also compared. Though all curricula emphasized energy as a key science concept, we found many differences in the degree of emphasis of basic ideas and specific contents and approaches. Korean curriculum is characterized by 1) high frequency concerning energy form among the elements of the concept of energy, 2) introducing energy forms of unclear meaning, which are not linked with other physical quantities, 3) emphasis on energy conversion in comparison of energy transfer, 4) focusing on mechanical energy conservation instead of more general energy conservation, and 5) absence of the concept of 'system' concerning energy. Issues for energy curriculum development were discussed.

1. 서론

과학에서 에너지 개념의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 에너지는 특히 물리학, 화학, 생물학, 지구과학 등 과학의 여러 영역에 걸쳐 다양한 현상을 동일한 관점을 사용하여 이해하도록 하는 통일적인 틀이다(Arrons, 1999; Driver & Millar, 1986; Lee, *et al.* 2001; Papadouris, Constantinou, & Kyratsi, 2008). 또한 에너지는 '에너지 자원 고갈', '기후 변화', '대체 에너지 개발' 등과 같이 사회에서 거론되고 있는 각종 이슈와 연관되어 있다. 그래서 세계 주요 국가의 교육과정뿐 아니라 TIMSS(Trends in International Mathematics and Science Study)나 PISA(Programme for International Student Assessment)등과 같은 국제 과학 성취도 평가에서도 에너지는 항상 핵심적인 과학 개념의 하나로 포함되어 왔다(Mullis *et al.*, 2009; Schleicher *et al.*, 2009).

에너지 개념의 이러한 중요성에도 불구하고 학생들의 에너지 개념에 대한 이해 수준은 매우 제한적인 것으로 보고되고 있으며 과학교

육을 통해 에너지에 대해 학생들이 통합적 이해를 구성하도록 하는 것은 여전히 어려운 과제로 남아있다(Driver & Millar 1986; Solomon, 1992). 이를테면 학생들은 에너지를 인격을 가진 것처럼 묘사하거나, 유용성이 있는 물질처럼 생각하는 등 에너지와 관련된 다양한 오개념을 갖는 것으로 나타났다(Watts, 1983). 한편 에너지에 대한 이러한 오개념을 개념에 대한 자원(resource) 관점으로 재해석하여 교육적 처치방안을 수정할 필요가 있다고 제안하는 연구들도 보고되고 있다(Brewe 2011; Harrer *et al.*, 2013; Scherr *et al.*, 2012).

에너지 교수 학습의 어려움은 여러 가지 배경에서 연유한다. 우선 과학 개념으로서 '에너지'는 학생들의 직접적인 경험이나 체험을 넘어서는 추상적인 개념이다. Warren (1982)에 의하면 에너지는 현상의 이론적 분석에 사용되는 추상적 개념으로 사물이나 현상 혹은 감각이 아니며, 우리가 에너지를 경험할 수 있는 유일한 방법은 이 개념을 계산이나 분석에 사용하는 것이다. 이와 같은 에너지 개념의 추상성으로 인해 에너지를 하나의 문장으로 정의하거나 간단한 방법으로 학생들에게 보여 주는 것은 가능하지도, 바람직하지도 않을 수 있으며 기껏해야 제한적인 것으로 여겨진다(Driver & Millar 1986;

* 교신저자 : 윤혜경 (yoonhk@cnu.ac.kr)

** 이 논문은 2016년도 춘천교육대학교 연구교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.5.799>

Papadouris & Constantinou, 2014). 또 다른 어려움은 일상생활에서 광범위하게 사용하는 ‘에너지’라는 용어의 의미가 과학적 의미와 일치하지 않은 데서 연유한다. 대표적인 예로 과학에서 에너지는 보존되는 것이지만, 일상적 관점에서 에너지는 사용해서 없어지므로 절약해야 하는 것이다. 에너지 교육의 또 다른 어려움은 물리, 화학, 생물, 지구과학 등 과학 영역에 따라 조금씩 다른 방식으로 에너지 개념을 활용한다는 것이다(Millar, 2014). 이는 과학의 특정 영역에 따라 관심을 갖는 현상이 다르고 그 현상에서 강조하고자 하는 바가 다르기 때문이다.

한편으로 ‘에너지’는 여러 과학 영역에서 자연 현상을 설명하기 위해 사용되는 개념이기 때문에 과학의 통합적 성격을 잘 드러낼 수 있는 주제로 인식되어 왔다(Lee *et al.*, 2001). 과학 교육과정 구성은 일련의 주제에 대해 논리적이고 체계적이어야 할 뿐 아니라, 학습자의 발달과 이해단계에도 적합하게 구성되어야 한다. 과학 지식이나 과학 학습은 단절된 아이디어나 사실의 축적이 아니라 다양한 상황에서 생산적, 설명적 아이디어를 발달시키는 것이 되어야 하기 때문이다(NRC, 2007). 이런 점에서 에너지 개념에 대한 강조, 그리고 에너지 개념을 매개로 한 과학교육의 통합이라는 최근의 흐름은 자연스러운 것이라 할 수 있다. 그러나 실제 과학 교육과정이나 교수 학습에서 통합적 접근을 효과적으로 실천하는 것은 여전히 어려운 상황이다. 특히 에너지 교육과정 구성은 많은 난제를 포함하고 있고 그만큼 과학 교육과정에서 에너지를 어떻게 다루어야 하는지에 대한 연구와 논의가 더 절실하다고 하겠다. 이러한 연구와 논의를 위해서 먼저 현재 교육과정에서 에너지를 어떻게 다루고 있는가를 살펴보는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정 중 ‘에너지’에 대한 성취기준, 학습 목표 혹은 수행기대의 분석 및 비교를 통해 에너지 개념 요소가 교육과정에서 어떻게(어떠한 구조와 순서로) 다루어지고 있는지, 또 어떠한 내용을 다루고 있는지 그 공통점과 차이점을 분석하고 앞으로 우리나라 에너지 교육과정에서 주요하게 고려해야 할 쟁점에 대해 시사점을 얻고자 한다. 미국과 영국은 대표적인 서구의 선진국으로 이들의 교육과정은 세계 각국에서 벤치 마킹하고 있으며 싱가포르의 경우 PISA나 TIMSS와 같은 국제 성취도 평가에서 한국과 함께 상위권을 유지하고 있는 아시아 국가이기 때문에 이들의 교육과정을 함께 비교해 보는 것이 필요하다고 판단하였다. 이러한 교육과정의 분석과 비교는 어떤 교육과정이 “가장 좋은” 것인지를 판단하기 위한 것이 아니다. 각 국가의 교육과정은 엄밀하게 그 성격이 같다고 할 수도 없을뿐더러 각 국의 문화적, 지리적, 사회적, 역사적 배경에서 각기 독특한 구조와 내용을 담고 있고, 각 교육체제에서 효과적으로 작동하도록 설계된 것이기 때문이다. 그러나 다른 교육과정을 살피고 비교하는 것은 자국의 교육과정의 특징과 구조를 더 잘 이해하고 반추하는 방법이 될 수 있다(Manzon, 2014). 따라서 본 연구는 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 에너지 교육과정 비교를 통해 우리나라 교육과정 구성 시 고려해야 하는 에너지 교육 관련 이슈를 추출하고 시사점을 얻는데 그 목적이 있다.

한국의 경우 2015년 9월 창의융합형 인재 양성을 목표로 하는 ‘2015 개정 교육과정’이 발표된바 있다. 2015 개정 교육과정의 가장 큰 특징은 고등학교에서 인문계열과 자연계열의 구분을 없애고 교육 과정을 통합적으로 구성한 것이다. 과학 교과와 관련해서 주요한 변

화는 초·중학교 ‘과학’에 물의 여행, 에너지와 생활, 과학과 나의 미래, 재해·재난과 안전, 과학기술과 인류문명 등 통합단원을 신설하고, 고등학교 공통 과목으로 ‘통합 과학’과 ‘과학탐구실험’을 개설한 것이다. 고등학교 공통과목인 ‘통합과학’은 기존 과학과의 구성 영역인 운동과 에너지, 물질, 생명, 지구와 우주 등을 통폐합하거나 융합하여 다시 물질과 규칙성, 시스템과 상호작용, 변화와 다양성 및 환경과 에너지 영역으로 재구성한 것이다(교육부, 2015). 이와 같이 한국의 2015 개정 교육과정에서 에너지는 초등학교의 통합단원 중 하나로 신설되었고, 고등학교 통합과학의 한 영역으로 주요하게 다루어지는 등 통합을 위한 중요한 기초 개념으로 자리 잡고 있다. 또 고등학교 교육과정은 선택 중심 교육과정(일반, 진로선택)으로 다양한 과학 교과목이 제시되고 있다는 특징이 있다.

한편 미국의 경우는 2011년 National Research Council에서 ‘과학과 공학의 실천(scientific and engineering practices)’, ‘학문 내 핵심 개념(disciplinary core idea)’, ‘학문 간 기초공통 개념(cross-cutting concepts)’의 세 차원을 중심으로 과학교육 틀(Framework for K-12 science education, National Research Council, 2012)을 제시하였고 2013년 이에 기초한 차세대 과학교육표준(NGSS, Next Generation Science Standards)이 발표되었다(NGSS Lead States, 2013). ‘학문 내 핵심개념’은 학문 영역, 즉 ‘물상과학’, ‘생명과학’, ‘지구와 우주과학’, ‘공학, 기술 및 응용과학’의 영역에서 알아야 하는 핵심 개념들이다. 에너지는 물상과학 영역과 생명과학 영역 모두에서 핵심 개념 중 하나로 포함되어 있다. 또 ‘학문간 기초공통 개념’은 모든 과학 영역에서 공통적으로 연관되는 매우 중요한 과학적 주제를 말하며 ‘에너지와 물질’을 포함하여 총 7가지가 제시되었다(경향성, 인과 관계, 규모와 비율 및 양, 체계와 체계적 모형, 에너지와 물질, 구조와 기능, 안정성과 변화). 이와 같이 미국의 국가 수준 과학 교육과정이라고 할 수 있는 NGSS에서도 에너지는 물상과학과 생명과학 영역의 학문 내 핵심 개념 중 하나로 명시되었고 동시에 학문 간 기초공통 개념의 하나로 제시되는 등 매우 중요하게 다루어지고 있다.

영국에서 과학은 영어, 수학과 함께 핵심교과(Core subjects)에 해당되며 의무교육 기간 동안 주요 교과로 다루어진다. 의무교육 기간은 Key Stage 1~4의 4단계로 구분되는데, Key Stage 1이 1~2학년, Key Stage 2가 3~6학년, Key Stage 3이 7~9학년, Key Stage 4가 10~11학년에 해당한다. 영국의 과학 교육과정은 2013년에서 2014년 사이 새롭게 개정되었으며 Key stage 1, 2에서는 ‘식물’, ‘동물’, ‘암식’ 등과 같은 주제 영역이 학년별로 명시되어 있고 Key stage 3, 4의 경우 주요 내용 영역을 ‘과학적으로 활동하기(Working scientifically)’, ‘생물’, ‘화학’, ‘물리’의 네 영역으로 나누고 있다. 영국의 경우 각 단계에서 학생들이 배워야 하는 내용 요소가 다른 나라에 비해 간결하게 제시되어 있으며 초등학교 단계에 해당되는 Key stage 1, 2의 학습 프로그램(Programmes of study)에는 에너지가 포함되어 있지 않다. 즉 에너지 관련 학습 요소는 Key stage 3부터 등장한다.

싱가포르의 과학 교과는 초등학교 3학년년부터 실행되며 초중등 과학 교육과정은 주제를 중심으로 구성되어 있는 것이 특징이다. 즉 싱가포르의 초등과학은 ‘다양성(diversity)’, ‘순환(cycle)’, ‘계(systems)’, ‘상호작용(interaction)’과 ‘에너지(energy)’의 다섯 가지 주제를 중심으로 구성되어 있으며, 중등과학은 ‘과학과 기술(science and technology)’, ‘측정(measurement)’, ‘다양성(diversity)’, ‘모델과

계(models and systems)', '에너지(energy)'와 '상호작용(interaction)'의 여섯 가지 주제를 중심으로 구성되어 있다. 고등학교 단계의 교육과정은 물리, 화학, 생물 각 교과별로 교육과정이 별도로 기술되어 있다. 초등과 중등 교육과정의 경우 학습 목표(learning outcome)는 '지식, 이해, 적용(Knowledge, Understanding and Application)', '기능과 과정(Skills and Processes)', '윤리와 태도(Ethics and Attitudes)' 세 영역으로 구분되어 기술되어 있으나 고등학교 수준에서는 이러한 구분이 없다.

한국 교육과정의 경우 고등학교 수준에서 여러 개의 선택 교과목이 제시되고 있고 싱가포르의 경우 초등학교 졸업시험에 따라 중학교 수준에 해당되는 과정이 여러 트랙으로 나뉘어 각 트랙에 대한 교육과정이 제시되고 있는 것이 특징이다.

위와 같이 4개 국가의 국가 교육과정은 내용 영역을 구분하는 방식, 교육 목표를 진술하는 방식이 모두 상이하다. 또 미국의 차세대 과학 교육표준(NGSS, Next Generation Science Standards)은 모든 주나 학교에서 준수해야 하는 법적 구속력이 있는 것은 아니다. 또 성취기준, 수행기대, 학습목표, 성취목표 등으로 표현되고 있는 진술문도 상당히 포괄적으로 기술되어 있는 나라가 있는가 하면 매우 구체적인 내용 요소까지 기술하고 있는 나라도 있다. 따라서 교육과정의 표면적인 특징만을 비교하는 것은 바람직하지 않다. 본 연구에서는 4개국의 교육과정에서 에너지 개념 요소가 어떠한 구조와 순서로 다루어지고 있는지, 또 어떠한 내용으로 이루어지고 있는지 구조적인 특징과 내용적인 특징을 함께 분석하고자 하였다.

본 연구의 목적은 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정 중 에너지 개념에 대한 내용을 비교, 분석하여 향후 교육과정 개정 시 고려해야 하는 에너지 개념의 쟁점들을 추출하고자 하는 것이며 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정에서는 에너지 개념 요소를 과학 학문 영역별로, 학교 급별로 어떻게 제시하고 있는가?

- 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정에서 제시하고 있는 에너지 개념 요소별 내용의 공통점과 차이점은 무엇인가?

II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 주로 텍스트에 대한 내용 분석으로 이루어졌다. 내용 분석은 일반적으로 연구 주제와 목적에 따른 분석 대상을 확정하는 것에서 시작한다. 이를 바탕으로 연구의 목적 혹은 연구 문제에 맞추어 자료에 담겨진 의미를 몇 개의 범주로 나눈 후 범주에 따른 빈도를 세거나 세부 요소의 구조를 도식화하고 자료의 의미를 해석한다(Krippendorff, 2004). 본 연구도 이와 같은 내용 분석의 일반적인 절차에 따라 먼저 교육과정의 진술문 중 분석 대상 내용을 확정하고, 이것을 에너지 개념 기본 요소에 따라 범주화한 후, 각 범주의 내용을 비교하고 의미를 해석하는 방식으로 진행하였다.

우선 분석 대상이 되는 진술문을 확정하기 위해 한국의 경우 2015 개정 과학과 교육과정에서 '에너지'를 포함한 성취기준과 그에 해당되는 성취기준 해설을 추출하였다. 한국 교육과정의 경우 고등학교 선택 중심 교육과정(일반, 진로선택)으로 '물리학 I', '물리학 II', '화학 I', '화학 II', '생명과학 I', '생명과학 II', '지구과학 I', '지구과학 II', '과학사', '생활과 과학', '융합과학'이 제시되어 있는데 이 중 '과학사'와 '생활과 과학'은 분석에서 제외했다. 이 두 과목에 포함된 에너지 관련 성취기준은 과학 개념 이해와 거리가 있다고 판단했기 때문이다.

미국의 경우 2013년 발표된 NGSS에서 'energy'를 포함한 수행기대(performance expectations)를 추출하고 그것을 부연하는 해설문(Clarification Statement, Assessment Boundary)을 추출하였다. 미국의 NGSS에는 유치원 과정에 대한 내용도 포함되어 있지만, 다른 국가의 경우 이것이 없기 때문에 유치원 과정에 해당되는 것은 분석 대상에서 제외하였다. 영국의 경우 2013년과 2014년에 발표된

Table 1. Analysis Documents lists and the number of extracted achievement criteria

Country	Documents	Extracted achievement criteria
Korea	Ministry of Education (2015). <i>Science curriculum</i> . Korea: Ministry of Education.	45
USA	NGSS Lead States (2013). <i>Next generation science standards for states, by states</i> . Washington, D.C.: The National Academies Press.	36
UK	Department for Education (2013) <i>National curriculum in England.: Science programmes of study - key stages 1 and 2</i> . England: Department for education.	26
	Department for Education (2013) <i>National curriculum in England.: Science programmes of study - key stage 3</i> . England: Department for education.	
	Department for Education (2014) <i>National curriculum in England.: Science programmes of study - key stage 4</i> . England: Department for education.	
Singapore	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2013). <i>Science syllabus primary 2014</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	79
	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2012). <i>Science syllabus lower secondary Express course Normal (Academic) Course</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	
	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2013). <i>Science syllabus lower and upper secondary Normal (technical) course</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	
	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). <i>Biology syllabus pre-university higher 2 syllabus 9744</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	
	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). <i>Chemistry syllabus pre-university higher 2 syllabus 9729</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	
	CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). <i>Physics syllabus pre-university higher 2 syllabus 9749</i> . Singapore: CPDD Ministry of Education.	

Science programmes of study 문서에서 ‘energy’를 포함한 진술문을 추출하였는데 성취기준으로 볼 수 있는 진술문이 상대적으로 많지 않았다. 또한 Key stage 1, 2에는 ‘energy’를 포함한 진술문이 발견되지 않았고 Key stage 3, 4에서 추출된 진술문의 수도 다른 국가에 비해 상당히 적은 편이었다. 싱가포르의 경우 초등 교육과정과 중등 교육과정은 주제 중심으로 구성되어 있고 학습 목표(learning outcomes)는 ‘지식, 이해, 적용(Knowledge, Understanding and Application)’, ‘기능과 과정(Skills and Processes)’, ‘윤리와 태도(Ethics and Attitudes)’ 세 영역으로 구분되어 기술되어 있는데 이중 ‘지식, 이해, 적용(Knowledge, Understanding and Application)’의 학습목표 중 ‘energy’를 포함한 진술문만 추출하였다. 다른 국가의 경우 정의적 영역이나 탐구 영역의 학습 목표가 별도로 기술되어 있지 않으며 본 연구가 개념 분석에 초점을 두고 있기 때문이다. 싱가포르 고등학교 수준의 교육과정은 교과목(생물, 물리, 화학)별로 기술되어 있으며 초·중등과 같은 주제 중심의 영역 구분은 없다. 각각의 교육과정에서 ‘energy’를 포함한 학습 목표를 추출하였다.

앞으로 서술의 편의를 위해 수행기대, 학습목표 등을 한국의 ‘성취기준’과 동일한 것으로 보고 성취기준으로 통일하여 서술하고자 한다. 본 연구에서 분석한 교육과정 문서와 이로부터 추출된 에너지 관련 성취기준의 수는 Table 1과 같다.

다음으로 추출한 에너지 관련 성취기준이 에너지 개념 요소 중 어떤 것과 주로 관련되는 지를 코딩하였다. 범주화를 위해 에너지의 개념 구조를 분석한 선행연구들을 검토하였다. Arons (1997)는 시스템에 기초하여 에너지 개념의 인식론적 특징을 정리하였고, Duit (1986)은 에너지와 관련된 변화양상을 전이, 전달, 보존, 산일의 네 가지로 구분하였다. 또 Cheong & Song (2011)은 에너지 개념에 대해 6가지 핵심 아이디어를 추출하였다. 에너지 개념의 학습발달(learning progression)과 관련한 최근 연구들은 이러한 구분들과 유사하게 에너

지 개념의 요소를 서너 가지로 묶어서 구분하고 있다(Lee & Liu, 2010; Neumann *et al.*, 2013). 이러한 선행 연구들을 종합하여 본 연구에서는 에너지 개념 요소를 여섯 가지로 구분하였다. 에너지 형태(form), 에너지 자원(resources), 에너지 전환(transform), 에너지 전달(transfer), 에너지 보존(conservation), 에너지 산일(degradation)이 그것이다.

에너지는 시스템에 속하는 일종의 성질로서 운동에너지, 위치에너지 등 다양한 형태를 가질 수 있으며, 다양한 맥락에서 여러 유형의 에너지가 정의되어 교육과정에서 소개되고 있는데 이와 관련된 성취기준들은 ‘에너지 형태’ 범주로 분류되었다. 에너지의 사회적 생성 및 이용, 이와 관련된 자원의 이용, 음식을 통한 에너지 섭취 등 개인적, 사회적 에너지 자원의 이용 문제와 관련된 성취기준들은 ‘에너지 자원’ 범주로 분류되었다. 한편 에너지는 한 계에서 다른 계로 전달될 수 있는데, 이와 관련된 성취기준들은 ‘에너지 전달’ 범주에 해당한다. 또 에너지는 한 형태에서 다른 형태로 전환될 수 있는데 이와 관련된 성취기준들은 ‘에너지 전환’에 해당한다. 고립계(isolated system)의 전체 에너지는 물리적, 화학적 변화를 겪더라도 일정한 값을 유지하는데 이와 관련된 성취기준들은 ‘에너지 보존’으로 분류되었다. 끝으로 에너지와 관련된 변화가 발생할 때 에너지를 일로 바꾸기 어려운 방향으로 에너지가 재 분포하게 되는데 이와 관련된 성취기준은 ‘에너지 산일’로 분류되었다. 에너지 산일은 ‘엔트로피 증가’라는 아이디어를 에너지 개념을 중심으로 재 기술하여 나타낸 것이기도 하다. 이와 같은 에너지 개념 요소의 뜻과 해당 성취기준의 예시는 다음 Table 2와 같다.

이와 같은 6가지 에너지 개념 요소 중 어떤 아이디어를 담고 있는지에 따라 에너지 관련 성취기준들이 범주화되었다. 연구자 2인이 독립적으로 분류하였으며 최초 연구자 간 코딩 일치도는 82.3%였다. 코딩이 일치하지 않는 성취기준에 대해서는 논의를 통해 합의를 도출

Table 2. Elements of energy concept and examples of achievement criteria

Energy concept elements	Contents	Examples of achievement criteria
Energy Form	Definition of energy, various forms of energy such as kinetic energy, potential energy, etc.	Korea: [9과19-03] 일의 의미를 알고, 자유 낙하하는 물체의 운동에서 중력이 한 일을 위치 에너지와 운동 에너지로 표현할 수 있다. Singapore: [Lower secondary] Describe electricity as a useful form of energy in our life
Energy Resources	Production and use of energy resources (food, fossil fuels, and renewable resources)	USA: [4-ESS3-1] Obtain and combine information to describe that energy and fuels are derived from natural resources and their uses affect the environment. UK: [Key stage 3] Comparing energy values of different foods (from labels) (kJ)
Energy Transfer	Energy can be transferred and stored from one system to another system.	USA: [4-PS3-2] Make observations to provide evidence that energy can be transferred from place to place by sound, light, heat, and electric currents. Singapore: [Upper secondary] Show understanding that waves transfer energy
Energy Transform	Change of energy from one of its forms into another	Korea: [9과22-03] 가정에서 전기 에너지가 다양한 형태의 에너지로 전환되는 예를 들고, 이를 소비 전력과 관련지어 설명할 수 있다. Singapore: [Physics] Energy in simple harmonic motion (h) describe the interchange between kinetic and potential energy during simple harmonic motion.
Energy Conservation	The total energy of an isolated system remains constant	Korea: [12물리II01-10] 포물선 운동과 단진자 운동에서 역학적 에너지가 보존됨을 설명할 수 있다. UK: [Key stage3] Changes in systems - energy as a quantity that can be quantified and calculated; the total energy has the same value before and after a change
Energy Dissipation	Energy becomes less available for doing work	Korea: [12융과06-03] 에너지 전환 과정의 효율 관점에서 영구기관은 불가능하다는 것을 과학적으로 논증할 수 있다. USA: [HS-PS3-4] Plan and conduct an investigation to provide evidence that the transfer of thermal energy when two components of different temperature are combined within a closed system results in a more uniform energy distribution among the components in the system (second law of thermodynamics).

하였다. 논의과정에서 성취기준과 성취기준 해설을 모두 참조하였으며, 성취기준이 모호한 경우 해설을 통해 그 내용을 확인한 후 구분하였다. 또 성취기준이 서술하고 있는 개념 요소와 성취기준 해설이 설명하고 있는 개념 요소가 다른 경우도 발견되었는데 이 경우에는 성취기준을 중심으로 분류하였다. 대부분 하나의 성취기준은 하나의 개념 요소로 코딩되었으나 경우에 따라서 2개 내지 3개의 개념 요소에 해당되는 것으로 복수 코딩이 된 진술문도 있었다. 예를 들어 ‘위로 던져 올린 물체와 자유 낙하 물체의 운동에서 위치 에너지와 운동 에너지의 변화를 역학적 에너지 전환과 역학적 에너지 보존으로 예측할 수 있다.’는 성취기준은 에너지 전환과 에너지 보존에 모두 해당되는 것으로 분류되었다.

Table 2의 예시 중 에너지 산일에 해당되는 성취기준은 다른 개념 요소와 함께 복수 코딩된 경우에 해당된다. 한국의 성취기준인 ‘에너지 전환 과정의 효율 관점에서 영구기관은 불가능하다는 것을 과학적으로 논증할 수 있다.’는 에너지 전환과 에너지 산일 두 요소에 해당되며 미국의 ‘온도가 다른 두 구성요소가 고립된 계에 있을 때 열에너지 전달로 계의 구성요소 사이에 에너지가 균일하게 분포하게 된다는 증거를 찾을 수 있는 탐구를 계획해서 수행할 수 있다(열역학 제2법칙)’는 에너지 전달과 에너지 산일 두 요소로 코딩된 것이다. 에너지 산일의 경우 단독으로 코딩된 성취기준은 없었다.

위와 같이 코딩한 성취기준이 학교 급별로, 학문 영역별로 어떻게 분포하는지 분석하고 4개 국가의 성취기준 분포 양상을 비교하였다. 즉 에너지 개념 요소가 교육과정에서 얼마나, 어떻게 분포하고 있는지 구조상의 특징을 파악하고자 하였다. 또한 각 개념 요소별로 4개 국가의 성취기준이 담고 있는 내용을 비교하여 에너지 개념 요소가 어떠한 내용으로 다루지고 있는지를 분석하였다. 이와 같은 과정을 통해 에너지 개념 요소에 대한 4개국 교육과정의 접근 방식의 공통점과 차이점을 추출하였다. 그리고 이러한 구조 분석과 내용 분석을 바탕으로 차후 에너지 교육과정 개발에서 고려해야 할 시사점을 도출하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 학교 급별, 학문 영역별 에너지 성취기준 및 개념 요소 분포

각 국가에서 학년 균을 묶는 방법은 다르지만 본 연구에서는 학생들의 연령을 기준으로 초등학교 수준, 중학교 수준, 고등학교 수준으로 구분하여 학교 급별 성취기준의 분포를 비교하였다(Table 3 참고). 학문 영역을 구분할 때 한국의 경우 기본적으로는 교육과정에 명시된 것을 따라서 ‘운동과 에너지’, ‘물질’, ‘생명’, ‘지구와 우주’ 영역으로

Table 3. Distribution of energy achievement criteria according to school level

Grade level	Korea	USA	UK	Singapore
Elementary school level (Key stage 1&2, Primary)	6.7%	16.7%	0.0%	10.1%
Middle school level (Key stage 3, Lower & Upper secondary)	17.8%	38.9%	57.7%	31.6%
High school level (Key stage 4, Pre University)	75.6%	44.4%	42.3%	58.2%

구분하였으며, ‘통합단원’, ‘통합과학’, ‘융합과학’ 과목의 성취기준은 학문영역을 구분하기 힘들고 통합적 성격을 갖기 때문에 별도 범주로 묶어서 구분하였다. 미국의 경우 문서상으로는 ‘생명과학’, ‘지구 및 우주 과학’, ‘물질 과학’의 세 영역으로 구분되지만, ‘물질과학’의 진술문들이 물리와 화학으로 뚜렷하게 구분되므로 연구에서는 해당 내용을 물리 영역과 화학 영역으로 세분하여 분석하였다. 영국의 경우 물리, 화학, 생물 영역이 뚜렷하게 구분되어 있고 지구과학에 해당되는 영역은 없다. 싱가포르의 경우 초등과 중등은 주제 중심 교육과정이기 때문에 ‘통합’ 영역으로 구분하였고 고등학교에 해당되는 과정은 영국과 마찬가지로 물리, 화학, 생물 영역이 뚜렷하게 구분되어 있다.

전술한 바와 같이 에너지 관련 성취 기준은 진술 범위가 각 국가에 따라 차이가 있고, 영국이나 미국의 경우 선택 과목이나 선택 과정보다 성취기준이 제시되고 있지 않아 에너지 성취 기준의 수는 한국과 싱가포르가 좀 더 많은 편이다. 즉 한국이나 싱가포르가 에너지 관련 성취기준의 수가 많다고 해서 학교현장에서 학생들이 에너지와 관련된 학습을 미국이나 영국에 비해 많이 한다고 단정적으로 말할 수는 없다.

성취기준의 학교 급별 분포를 살펴보면, 한국의 경우 초등학교나 중학교에서보다 고등학교에서 에너지 관련 성취기준이 급격하게 증가한다. 반면 미국의 경우 초, 중, 고로 가면서 비율이 조금씩 증가하고 있다. 특히 초등학교와 중학교에 전체 성취기준의 절반 이상이 분포하는 것에서 보듯이 미국의 경우 한국과 비교할 때 전체적으로 이른 시기부터 에너지에 대한 학습이 이루어진다고 할 수 있다. 특히 하계도 영국은 초등학교 수준에서는 에너지 관련 성취기준이 존재하지 않고 중학교 수준과 고등학교 수준에서만 다루어지고 있으며 중학교 수준에서 좀 더 많이 다루어지고 있다. 싱가포르의 경우 역시 초, 중, 고교 수준으로 올라가면서 에너지 관련 성취기준이 증가하고 있다.

에너지 개념의 추상적, 비가시적 특성으로 인해 에너지 학습을 너무 이른 시기에 시작하는 것은 바람직하지 않다는 의견과 일상생활에서 에너지라는 말을 자주 접하기 때문에 에너지 교육을 늦게 시작하면 오히려 오개념이 견고해 질 수 있다는 의견이 있다. 교육과정 개정 시에는 이러한 에너지 개념 도입 시기에 대한 논란이 있을 수 있다. 한국의 경우 초등학교 수준에서 에너지 관련 단원은 2009 개정 교육과정에서 삭제되었다가 2015년도에 다시 삽입된 것이 이러한 예이다. 교사와 학생 모두에게 에너지 개념은 가르치고 배우기 어려운 개념이므로 초등학교 수준에서 도입 수준과 방법을 좀 더 세밀하게 연구할 필요가 있다.

한국의 경우 대부분의 성취기준이 고등학교 수준에 분포하고 있는데 이는 고등학교 성취기준이 선택과목별로 기술되어 있는 것과 관련이 있다. 그러나 그러한 점을 감안하더라도 중학교 수준의 성취기준 비중은 다른 국가에 비해 적은 편이라고 할 수 있다. 한국의 경우 중학교 수준에서 에너지 관련 학습을 좀 더 증가시키는 것을 고려할 필요가 있다.

미국과 영국은 교육과정에서 따로 통합 영역을 나누고 있지 않고 한국의 경우 통합과학, 통합단원 등의 통합 영역이 명시되어 있으며 싱가포르의 경우도 초, 중학교 수준의 경우 주제 중심으로 교육과정이 구성되어 있어 이것을 통합 영역이라고 볼 수 있다. 교육과정에서 학문 영역을 어떻게 구분하고 있으며 에너지 관련 성취기준이 어떤

영역에 주로 분포하고 있는지를 살펴본 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Distribution of energy achievement criteria according to discipline area

Discipline area	Korea	USA	UK	Singapore
Physics	28.9%	47.2%	76.9%	34.2%
Chemistry	11.1%	13.9%	15.4%	20.3%
Biology	11.1%	22.2%	7.7%	3.8%
Earth Science	11.1%	16.7%	0.0%	0.0%
Integrated (theme based)	37.8%	0.0%	0.0%	41.8%

한국의 경우 초등학교의 통합단원과 고등학교의 통합과학, 융합과학 등 통합 영역에 제시된 에너지 관련 성취기준이 가장 많았다(37.8%). 이것은 2015 교육과정의 강조하는 통합교육 지향에 맞게 에너지 개념이 다루어진다는 것을 보여주는 뚜렷한 결과라고 할 수 있다. 한편 통합 영역의 비율이 높다는 것은 에너지가 교육과정 구성 시 내용을 통합하는데 매우 중요한 역할을 할 수 있다는 것을 의미하기도 한다. 싱가포르의 경우 ‘에너지’가 초등 수준과 중학교 수준에서 주요 주제의 하나로 별도로 취급되고 있기 때문에 역시 통합 영역의 비중이 높다(41.8%). 미국의 경우도 명시적으로 통합 영역을 별도로 두고 있지 않지만 에너지가 7개의 ‘학문간 기초공동 개념’의 하나이기 때문에 통합적 접근을 취하고 있다고 할 수 있다. 영국의 경우 전통적인 학문 영역 구분이 유지되고 있다.

전통적인 4개 영역(물리, 화학, 생물, 지구과학)의 성취기준 분포를 살펴보면 4개국 모두 물리 영역에서 에너지 관련 성취기준의 수가 가장 많은 것을 알 수 있다(한국 28.9%, 미국 47.2%, 영국 76.9%, 싱가포르 34.2%). 화학, 생물, 지구과학 분야만 비교하면 한국의 경우 세 영역에 분포된 에너지 성취기준 비율이 비슷한데, 미국의 경우 생물 영역에서 화학이나 지구과학 영역보다 에너지관련 성취기준이 좀 더 많이 발견되고 있다. 이것은 미국의 경우 생물영역에서 에너지를 중심으로 한 교육과정의 재구조화가 더 적극적으로 이루어진 것으로 해석할 수 있다. 영국과 싱가포르의 경우 지구과학 영역이 별도로 없으며 에너지 관련 성취기준은 생물 영역보다는 화학 영역에 많이 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

6가지 에너지 개념 요소별로 구분하여 한국과 미국의 성취기준의 수를 비교한 결과는 Table 5와 같다. 각 국가의 에너지 관련 총 성취기준의 수를 기준으로 한 백분율을 나타냈으며 성취기준은 복수 코딩을 한 경우가 있으므로 각각의 합은 100%가 아니다.

Table 5. Distribution of energy achievement criteria according to energy concept element

Energy concept elements	Korea	USA	UK	Singapore
Energy Form	40.0%	22.2%	11.5%	55.7%
Energy Resources	13.3%	8.3%	19.2%	10.1%
Energy Transfer	24.4%	63.9%	61.5%	27.8%
Energy Transform	26.7%	11.1%	0.0%	6.3%
Energy Conservation	8.9%	5.6%	7.7%	6.3%
Energy Dissipation	4.4%	2.8%	3.8%	0.0%

에너지 개념 요소별로 살펴보면 한국과 싱가포르의 경우 에너지 형태와 관련된 성취 기준이 가장 많고(한국 40.0%, 싱가포르 55.7%) 미국과 영국의 경우 에너지 전달과 관련된 성취기준이 가장 많다(미국 63.9%, 영국 61.5%). 즉 각국에서 강조되고 있는 개념 요소가 다르다는 것을 확인할 수 있다. 또 에너지 보존이나 에너지 산일의 경우 모든 국가에서 성취기준의 수가 매우 적었다. 한국의 경우 에너지 형태에 대한 성취기준이 가장 많은 것은 고등학교의 여러 선택과목에서 다루고 있는 과학 지식의 폭이 넓고 여기서 여러 에너지 형태를 도입하여 해당 내용이 다루어지고 있는 것과 어느 정도 연관이 있다.

또한 한국의 경우 에너지 전환에 대한 성취기준(26.7%)이 에너지 전달에 대한 성취기준(24.4%)보다 좀 더 빈번하고, 미국은 반대로 에너지 전달에 대한 성취기준(63.9%)이 에너지 전환에 대한 성취기준(11.1%)보다 압도적으로 많다. 영국은 아예 에너지 전환에 대한 성취기준이 없으며 싱가포르의 경우에도 에너지 전환에 대한 성취기준(6.3%)보다 에너지 전달에 대한 성취기준이 훨씬 많다(27.8%). 이에 대한 자세한 내용 비교 분석은 다음 절에서 제시할 것이다.

에너지 전환은 서로 다른 에너지 형태 사이의 에너지 변화와 관련되기 때문에 에너지 전환의 학습은 에너지 형태에 대한 이해를 전제한다. 반면 에너지 전달은 에너지 형태에 대한 이해 없이도 학습 가능한 개념이라는 점에서 에너지 전환보다 에너지 전달이 학습하기 쉬운 개념이라고 할 수 있다. 이러한 학습의 난이도 차이를 고려하면 에너지 전환과 에너지 전달에 대한 각국의 성취기준 비율 차이는 주목할 필요가 있다. 특히 모든 개념 요소에 대해 유사하거나 동등한 비율의 성취기준이 바람직하다고 할 수 없지만, 쉬운 개념 요소에 비해 어려운 개념 요소가 더 많은 것은 재고할 필요가 있다고 생각된다.

한편 에너지 보존이나 에너지 산일은 모든 국가에서 다른 개념 요소에 비해 성취기준의 수가 적다. 이것은 두 개념이 갖는 난이도를 생각할 때 어느 정도 이해가 된다. 그러나 한 가지 유의할 점은 ‘에너지’ 개념을 통합적으로 이해하기 위해서 에너지 보존은 가장 핵심적인 개념 요소라는 것이다(Arons, 1997). 에너지 전환과 에너지 전달은 모두 에너지 보존을 바탕으로 하는 개념이며 특히 에너지 전달과 관련된 표현들은 에너지가 보존되기 때문에 가능한 에너지에 대한 물질화 은유를 담고 있기 때문이다(Cheong & Song, 2011; Lancor, 2014). 즉 에너지 보존에 대한 이해가 없다면 에너지 개념에 대한 이해는 사상누각이라고 할 수 있으므로, 에너지 보존은 그 어려움에도 불구하고 에너지 개념의 핵심 학습목표라고 할 수 있다. 한편 에너지 산일의 경우 다른 개념 요소와 비교할 때 관련 성취기준의 수가 가장 적었는데(싱가포르의 경우 0), 이것은 에너지 산일이 엔트로피 증가, 혹은 열역학 2법칙을 에너지라는 용어를 이용해 설명해야 하는 어려운 개념이며, 열역학 2법칙이 에너지 개념대신 엔트로피 개념을 사용하여 표현될 수도 있기 때문으로 생각된다.

에너지 개념 요소의 분포를 좀 더 자세히 살펴보기 위해 학교 급별로 나누어 빈도를 정리해보면 Table 6와 같다.

한국의 경우 가장 빈번하게 나타나는 에너지 형태는 특히 고등학교에서 많이 다루어지고 있음을 알 수 있다. 미국의 경우 가장 빈번한 요소인 에너지 전달이 초등에서부터 다른 개념 요소에 비해 강조되기 시작하고 중학교, 고등학교에서 계속 강조되고 있다. 영국의 경우도 가장 강조되고 있는 에너지 전달이 중학교 수준과 고등학교 수준에서 계속 강조되고 있다. 싱가포르의 경우 한국과 유사한 특징을 보여

Table 6. Distribution of ‘energy’ concept elements according to school level

Energy concept elements	Korea			USA			UK			Singapore		
	Elementary school	Middle school	High school	Elementary school	Middle school	High school	Elementary school	Middle school	High school	Elementary school	Middle school	High school
Energy Form	1	1	16	1	4	3		2	1	2	7	35
Energy Resources			6	1	1	1		3	2	1	6	1
Energy Transfer	1	4	6	3	10	10		9	7	5	9	8
Energy Transform	1	3	8	1		3					2	3
Energy Conservation		1	3			2		1	1		2	3
Energy Dissipation			2			1			1			

개념 요소 중 에너지 형태가 가장 강조되고 있고 특히 고등학교 수준에서 많이 나타나고 있다. 그러나 한국과 달리 중, 고등학교 수준에서 에너지 전달에 비해 에너지 전달이 좀 더 강조되고 있다. 즉 미국, 영국, 싱가포르의 경우 모두 한국과 달리 에너지 전환보다는 에너지 전달을 강조하고 있다고 할 수 있으며 영국의 경우 아예 에너지 전환이라는 용어조차 교육과정에 포함하고 있지 않다. 이것은 각국의 교육과정에서 에너지 개념을 다루는 방식에 큰 차이가 있음을 의미한다.

에너지 보존은 한국, 싱가포르, 영국에서는 좀 더 일찍 도입되어 중학교부터 도입되고 있고, 미국은 고등학교에서 도입되고 있다. 한편 에너지 산일은 모두 고등학교 수준에서야 도입되고 있으며 싱가포르의 경우 이에 대한 성취기준이 없다. 에너지 산일에 대한 성취기준은 모든 국가에서 가장 적은 비중을 차지하고 있다.

자원으로서의 에너지는 다른 개념 요소들과 다소 다른 성격이지만 한국의 경우 고등학교에서 나타나는 것에 반해 미국, 싱가포르의 경우 초, 중, 고에서 계속 나타나고 있다는 차이점이 있다. 영국의 경우도 에너지를 다루기 시작하는 중학교 수준에서 이것을 다루고 있다.

학문적 입장에서 학습의 난이도를 고려한다면 초등학교나 중학교에서는 에너지의 형태나 전달이 에너지 전환이나 보존, 산일보다 상대적으로 많아야 하며, 고등학교에서 에너지 전환이나 에너지 보존이 다루어져야 할 것이다. 또 에너지 전달에 비해 에너지 전달이 학생들에게 쉬운 아이디어이기 때문에 중학교 수준에서는 에너지 전환보다는 에너지 전달을 강조하는 것이 좀 더 바람직할 것으로 보인다.

한편 에너지 개념 요소의 분포를 학문 영역별로 비교한 결과는 Table 7과 같다.

한국의 경우 통합영역에 에너지 개념 요소가 모두 들어가 있고 싱가포르의 경우에도 통합 영역에 가장 많은 개념 요소를 포함하고 있다. 미국과 영국의 경우 물리 영역에서 에너지 개념 요소가 가장 많이 다루지고 있다. 4개국 모두 전통적인 4개 학문 영역 중에서는

물리 영역이 가장 많은 개념 요소를 다루고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 에너지 개념이 물리학에서 발달한 개념이고 이것이 다른 분야에 적용되었다는 역사적 맥락을 반영한 것으로 볼 수 있다 (Coopersmith, 2015; Smith, 1998). 따라서 다른 학문분야에서 에너지 개념을 다루더라도, 에너지 개념의 인식론적 측면(epistemology), 즉 에너지 개념의 추상적 속성과 그것을 과학자들이 받아들이는 이유에 대한 비판적 고찰은 일차적으로 물리학 영역에서 해결해야 할 학습문제라고 할 수 있다.

한편 비물리 영역에서 에너지 관련 성취기준의 비중을 살펴보면 한국의 경우 화학, 생물, 지구과학 영역에 비교적 고르게 분포되어 있고, 미국은 생물 영역에, 영국과 싱가포르는 화학 영역에 상대적으로 에너지 성취기준이 좀 더 많이 분포한다. 또 이러한 비물리 영역에서 한국과 싱가포르의 경우 에너지 형태가 여전히 강조되고 있으며 미국과 영국의 경우 에너지 전달이 강조되고 있어 다른 양상을 나타내고 있다.

미국과 영국의 경우 에너지 전달이 압도적으로 강조되고 있고 한국과 싱가포르의 경우 에너지 형태가 강조되고 있다. 비 물리 영역에서 에너지 형태와 관련된 성취기준이 많은 것은 미국과 영국에서 포함되지 않은 학습주제를 한국과 싱가포르에서 다루기 때문으로 보이는데 이것은 다음 절의 내용 분석에서 좀 더 자세히 살펴볼 것이다.

한 가지 유의할 것은 어떤 한 영역에서 에너지 개념 요소를 고르게 포함하고 있다는 것이 에너지 개념을 정합적으로 (논리적, 체계적)으로 다루고 있다는 것을 의미하지는 않는다는 것이다. 미국의 물리 영역, 그리고 한국의 통합 영역에는 에너지 개념 요소들이 모두 들어 있는데 이것이 정합적으로, 즉 에너지 개념의 통합적 이해를 위해 적절히 구성되어 있는지는 단순히 성취기준의 분포만으로 단언하기 어려우며 내용에 대한 보다 심층적인 분석이 더 필요하다.

Table 7. Distribution of ‘energy’ concept elements according to discipline area

Energy concept elements	Korea					USA					UK					Singapore					
	P	C	B	E	I	P	C	B	E	I	P	C	B	E	I	P	C	B	E	I	
Energy Form	6	3	1	2	6	7	1				2	1				19	15	1		8	
Energy Resources				1	5	1			2		4		1						1		7
Energy Transfer	1	2	4	1	3	8	4	7	4		12	3	1			5	3			14	
Energy Transform	4			1	7	3		1								2		1		2	
Energy Conservation	3				1	1		1			2					3				2	
Energy Dissipation					2	1					1										

P: Physics, C: Chemistry, B: Biology, E: Earth Science, I: Integrated science (Theme based science)

2. 에너지 개념 요소별 성취기준 내용 비교

이 절에서는 각 에너지 개념 요소별로 성취기준의 구체적 내용을 기술하고 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 공통점과 차이점을 비교분석하여 차기 한국 교육과정 구성에 주는 시사점을 도출하고자 한다.

다음 Table 8은 에너지 형태에 대한 4개국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

한국의 경우 초등학교에서부터 여러 가지 에너지 형태에 대해 언급하고 이후 에너지 형태에 대한 언급은 고등학교에서 각 학문 영역별로 분산적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 각 학문 영역에서 전문 용어를 사용하면서 에너지 형태에 대한 성취기준이 많아지게 되는 것이다. 예를 들면 암흑에너지, 활성화 에너지, 결합에너지, 지구 내부에너지 등이 에너지의 형태에 해당되는 용어로 등장하고 있다. 미국의 경우 에너지 유형을 크게 운동에너지와 퍼텐셜 에너지로 명확하게 구분하고 있으며 초등학교에서 운동에너지부터 도입하고 좀 더 어려운 퍼텐셜 에너지는 중학교에서 도입하고 있는 것을 볼 수 있다. 영국의 경우 에너지의 형태에 대한 논의가 매우 적고, 중학교 수준에서 내부에너지가 물체에 저장된다는 것만을 다룬다. 싱가포르는 4개국 중 에너지 형태에 대한 가장 많은 분량의 성취기준을 제시하였으며, 초등학교부터 4개국 중 가장 많은 유형의 에너지 형태를 다루고 고등학교에서 에너지 형태와 다른 과학개념의 연관성을 많이 다루고 있다. 요약하면 한국과 싱가포르가 미국과 영국에 비해 상대적으로 많은 유형의 에너지 형태를 도입하고 있으며, 에너지가 명시된 성취기준에 등장하는 다른 개념지식의 양도 많다고 판단된다. 이것은 한국과 싱가포르가 관통개념 혹은 통합 개념으로 교육과정을 융합한 결과라기보다는, 에너지와 관련된 다수의 내용지식을 다루기 때문으로 보여 진다.

4개국의 교육과정에 나타나고 있는 에너지 형태의 유형을 묶어보면 크게 세 가지 정도로 범주화할 수 있다. 1) 다른 물리량에 대응하는 것으로서의 에너지 형태(예를 들면 속도에 대응하는 것으로서의 운동 에너지), 2) 다른 물리량에 대응되지는 않지만 에너지의 유형을 지정하는 구체적인 용어(예를 들면 결합에너지), 3) 다른 물리량에 대응되지 않고 포괄적으로 모호하게 사용되는 에너지 형태(예를 들면 전기 에너지, 빛에너지)가 그것이다. 이와 같이 분류하여 살펴보면 한국과

싱가포르의 경우 2)에 해당되는 에너지 형태가 많이 등장하는 것을 알 수 있다. 이것은 이 두 나라에서 교육과정에서 다루는 과학 지식의 내용이 많은 것과는 관련된다. 두 나라의 교육과정에서 에너지 형태에 대한 성취기준의 비율이 높은 이유이기도 하다. 반면에 미국의 경우 대부분(8개의 성취기준 중 7개)이 1) 유형, 즉 특정한 구체적인 물리량(속도, 위치배열, 파동진폭, 전자기장)에 대응하는 에너지의 형태가 성취기준에서 제시되고 있었다. 상대적으로 다른 유형의 에너지 형태는 매우 적어서 2)의 범주에 해당되는 성취기준은 하나뿐이었고 3)의 유형에 해당하는 성취기준은 없었다. 영국의 경우 에너지 형태에 대한 성취기준 자체가 적어서 더 구체적인 분석을 하는 것이 큰 의미를 갖기 어렵다.

한국과 싱가포르의 경우 3)에 해당되는 에너지 형태(전기에너지, 빛에너지)가 등장하지만 미국과 영국의 경우 이러한 에너지의 형태가 언급되지 않고 있다는 점도 주목할 필요가 있다. 전기에너지나 빛에너지는 일상생활에서, 그리고 전통적인 과학 교재에서 사용되는 용어이지만 이들 용어들은 1)과 같이 특정한 물리량에 대응하는 형태의 에너지가 아니다(Cheong & Song 2011). 그런데 특정한 물리량에 대응하는 형태의 에너지들에 대해서만 에너지 보존을 엄밀하게 논의할 수 있고, 관련된 현상들을 에너지 개념을 사용하여 기술하는 것이 장점을 갖게 된다(Kaper & Goedhart, 2002). 이를테면 물체의 속도에 대응하는 운동에너지 개념은 에너지 보존의 정량적 논의의 좋은 예시가 된다. 반면에 ‘빛에너지’와 ‘전기에너지’는 특정한 물리량에 대응하기보다는 일군의 현상들에 대응하는 용어들이다. 그런데 이들 용어를 사용한 진술의 경우 ‘에너지’라는 용어를 사용하여 성취기준을 제시하는 것의 장점이 무엇인지에 대한 비판이 제기될 수 있다. 예를 들어 ‘빛에너지가 전기에너지로 전환된다.’는 진술은 더 쉬운 진술인 ‘빛이 전기로 전환된다.’는 진술로 대체될 수 있는데 전자의 진술이 갖는 장점에 대한 의문이 제기될 수 있다.

에너지 형태와 관련해서 차후 교육과정 구성 시 시사점을 생각해 보면 우선 초등학교 수준에서 많은 에너지 형태를 한꺼번에 도입하는 것은 학생의 어려움을 유발할 수 있다. 따라서 다수의 에너지 형태를 초기에 도입하는 방안보다 순차적으로 도입하는 방안, 혹은 도입하는 에너지의 형태의 수를 줄이는 방안을 고려해 볼 수 있다. 또 포괄적으로 모호하게 사용되는, 3)의 범주에 해당되는 용어 사용을 줄이고

Table 8. Content comparison of achievement criteria on energy form

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 여러 가지 에너지 형태를 도입함 (열에너지, 전기에너지, 빛에너지, 화학에너지, 운동에너지, 위치에너지). 중학교에서 일과 에너지의 관계를 정량적으로 다룸. 고등학교에서 원자 내 전자의 불연속 에너지 준위, 고체의 에너지띠이론, 일-운동에너지 관계, 전기에너지 소모량, 이온화 에너지, 엔탈피와 결합에너지, 활성화 에너지, 암흑에너지, 지구 내부에너지 등이 도입됨.
미국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 에너지 형태 중 운동에너지만 물체의 속력과 관계있는 양으로서 도입함. 중학교에서 운동에너지를 더 정량적으로 다루며 계의 퍼텐셜 에너지 개념을 도입함. 운동로 측정되는 입자의 평균운동에너지를 다루고, 파동의 에너지가 진폭과 관련됨을 설명함. 고등학교에서 최외각 전자의 에너지 패턴이 나오고, 운동에너지와 퍼텐셜 에너지로 에너지의 형태를 나눔. 전자기장이나 자기장의 에너지를 다룸.
영국	<ul style="list-style-type: none"> 중학교 수준에서 물질에서의 내부에너지 저장을 다룸.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 여러 형태의 에너지를 도입함 (열에너지, 전기에너지, 빛에너지, 화학에너지, 운동에너지, 위치에너지, 소리에너지). 중학교에서 에너지와 일률을 정의하고, 일상에서 여러 형태의 에너지를 예시하며, 전기에너지, 운동에너지, 열에너지, 여러 유형의 위치에너지 (중력, 탄성력, 화학적)를 다룸. 고등학교에서 다양한 에너지 형태(활성/이온화/결합/격자/깁스 자유에너지, 엔탈피, 에너지 준위 등)를 다른 화학개념들과 연관하여 다룸. 물리학의 각 영역과 관련하여 운동/위치/내부/결합 에너지, 개별분자의 운동에너지와 온도관계, 전압과 기전력의 에너지 관점 구분, 광양자의 에너지, 질량-에너지 보존, 에너지 준위 등을 다룸.

에너지 형태를 더욱 명시적으로, 엄격한 형태로 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 특히 전기에너지나 빛에너지 같은 세 번째 형태의 에너지를 교육과정에 계속 포함하여 다룰 것인지에 대한 교육과정 개발자 차원에서의 의사결정이 필요할 것이다.

다음 Table 9은 에너지 자원에 대한 4개국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

미국, 영국, 싱가포르의 경우 초·중·고에서 이 범주의 내용이 지속적으로 제시되고 있는 반면 한국의 경우 고등학교에 몰려 있고 발전을 위한 신재생 에너지 자원에 많은 강조를 두고 있다. 이 주제를 다른 나라들처럼 초·중·고에서 단계적으로 도입할 것인가, 한국처럼 어느 한 수준에서 좀 더 많이 다룰 것인가는 의사결정의 문제라고 할 수 있다. 학생들이 좀 더 나이가 들었을 때 과학의 사회적 측면을 다루면 보다 심층적인 내용에 대해 다각도의 고찰이 가능하다는 장점이 있는 반면 과학과 사회, 일상생활과의 연관성을 강조하고 이에 대한 학생의 인식을 높이기 위해서는 초등학교 수준에서부터 도입하는 것이 바람직할 것이다.

또한 사회문제에 대한 성취기준을 구성할 때에는 과학 지식이나 개념과의 연관성도 보다 적극적으로 명시하는 것이 에너지 개념에 대한 과학적, 일상적 개념의 통합에 도움이 될 수 있다. 그러나 에너지에 대해서 사회적 논의와 과학적 개념 요소를 명시적으로 연결시키고 있는 성취기준은 일부만이 발견되었다(한국: 10통과08-04) 에너지가 사용되는 과정에서 열이 발생하며, 특히 화석 연료의 사용 과정에서 버려지는 열에너지로 인해 열에너지 이용의 효율이 낮아진다는 것을

알고, 이 효율을 높이는 것이 사회적으로 어떤 의미가 있는지를 설명할 수 있다. 에너지 교육에서 어려운 점 중의 하나는 일상에서 사용하는 용어의 뜻과 과학적 개념과의 차이이므로 교육과정에서 이러한 간극을 어떻게 메울 것인지에 대한 고려는 매우 중요할 것이다. 영국과 싱가포르의 경우 음식, 영양, 다이어트 등과 관련해서 에너지를 다루고 있는데 이 또한 일상생활에서 사용되는 에너지 개념을 과학적 개념과 연관시키는데 유리한 구성이라고 판단된다.

다음 Table 10은 에너지 전달에 대한 4개국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

미국의 경우 초등학교 수준에서 에너지의 다양한 전달 경로(소리, 빛, 열, 전류, 충돌-역학적 상호작용)를 도입하고 있다는 것이 인상적이다. 즉 빛이나 전류는 에너지의 유형이 아니라 에너지의 전달 경로로 일찍부터 도입되고 있는 것이다. 대조적으로 한국과 싱가포르에서는 앞선 에너지 형태 논의에서 언급했듯이 빛이나 전류를 에너지의 유형으로 다루고 있다.

중학교 수준에서는 한국의 경우 화학 영역에서 상태변화나 화학변화 과정에서의 에너지 출입만을 다루고 있는 반면 미국, 영국, 싱가포르의 경우 물리, 생물, 지구과학 영역을 포함한 다양한 맥락에서 에너지 흐름도 다루고 있다. 한편 고등학교에서는 4개국 모두 여러 영역에서 심화된 방식의 에너지 흐름을 다루고 있다. 특히 영국은 중학교에서 다양한 맥락의 에너지 전달을 정성적으로 다루다가, 고등학교에서 여러 맥락의 에너지 전달을 정량적으로 다루고 있다. 미국의 경우도 고등학교에서 정량적인 접근을 명시하고 있다. 싱가포르의

Table 9. Content comparison of achievement criteria on energy resources

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> 고등학교에서 신재생 에너지 자원의 유형을 다룸.
미국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 자원의 이용이 환경에 영향을 준다는 내용을 다룸 중학교에서는 에너지 자원의 생성 과정에 대해 다룸 고등학교에서는 비용-효과 측면에서 여러 에너지 자원의 이용에 대해 평가하도록 함.
영국	<ul style="list-style-type: none"> 중학교에서 영양, 음식, 연료의 맥락에서 에너지 계산을 다룸. 고등학교에서 재생 가능한 에너지, 핵에너지와 태양에너지를 다룸.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 생명유지를 위해 에너지가 필요함을 다룸. 중학교에서 전기에너지 소비 및 절약, 다이어트 음식, 식료품의 에너지를 다룸. 화석에너지 소비증가와 온실효과를 다룸.

Table 10. Content comparison of achievement criteria on energy transfer

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 태양이 지구의 에너지원임을 인식하는 정도로 도입함. 중학교에서 물질의 상태변화와 화학변화 과정에서 에너지 출입이 있음을 다룸. 고등학교에서 지구에서의 물질의 순환과 에너지 흐름, 생태계 내에서의 에너지 흐름, 에너지 흐름과 지권의 변화, 열기관의 에너지 변화 등을 다룸.
미국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 소리, 빛, 열, 전류가 에너지를 전달하는 방식임을 제시함. 또 충돌과정에서 에너지가 전달됨을 설명함. 지구의 동식물이 살아가는데 필요한 에너지가 태양에서 전달된 것임을 다룸. 중학교에서는 물질의 상태변화, 화학변화 과정에서 에너지 출입이 있음을 다루고 열에너지를 미시적인 입자의 운동과 연관시킴. 생태계에서 물질의 순환과 에너지의 흐름, 지구계에서 물질의 순환과 에너지의 흐름을 다룸. 고등학교에서 생태계에서의 에너지 흐름을 정량적으로 다룸. 또 태양에서 지구로 오는 복사에너지에 대해 핵융합 반응을 포함하여 더 심화된 방식으로 도입함. 지구 전체에서 에너지 출입과 기후변화도 다룸.
영국	<ul style="list-style-type: none"> 중학교에서 다양한 맥락(광합성, 상태변화, 자원이용, 운동, 전기회로, 음식, 연료, 열, 장(field), 탄성, 화학 합성, 다양한 파동, 빛)에서 에너지 전달, 혹은 계 안의 에너지 변화를 다룸. 고등학교에서 에너지 전달의 단위, 효율을 도입하고, 다양한 맥락(화학반응, 상태변화, 열, 힘, 전기회로등)에서 에너지 변화 계산을 다룸.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 태양, 동식물, 먹이사슬의 에너지원을 다룸. 중학교에서 소리 및 파동, 광합성, 호흡, 소화, 열 등 다양한 맥락에서 에너지 전달을 다루고, 일, 일률과 에너지 전달의 관계를 다룸. 고등학교에서 활성화 에너지, 엔탈피, 에너지 다이어그램을 통해 화학반응에서의 에너지 전달, 에너지 사이클을 다룸. 물리영역에서 충돌, 진행되는 파동, 파동의 에너지 전달을 다루고 에너지 손실과 효율, 열역학 1법칙을 소개함.

Table 11. Content comparison of achievement criteria on energy transformation

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> 초등학교에서 일생생활의 여러 현상을 에너지 전환 과정으로 살펴봄. 중학교에서 자유낙하 하는 물체와 위로 던져진 물체의 위치에너지와 운동에너지 전환을 다룸. 또 발전과정과 전기기구에 의한 에너지 전환을 다룸. 고등학교에서 신재생 에너지 자원을 통한 발전과정에서의 에너지 전환, 태양과 별의 핵융합 과정에서의 에너지 전환을 다루며, 상대성이론의 질량-에너지 관계도 도입됨.
미국	<ul style="list-style-type: none"> 초등에서 에너지 전환의 개념보다는 장치를 고안하는 공학적 접근을 함. 중학교에서는 에너지 전환에 대한 내용이 없음. 고등학교에서는 “계”의 개념을 도입하면서 에너지 전환에 대해 다루며, 광합성 과정에서의 에너지 전환도 다룸.
영국	<ul style="list-style-type: none"> 내용 없음.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> 중학교에서 에너지 전환과정에서 에너지가 보존됨을 다루며, 에너지 전환을 전기 생산과정으로 예시함. 고등학교에서 광합성에서 빛에너지에서 화학에너지로의 전환, 역학에서 에너지가 보존되는 에너지 전환 사례들(단진동 같은)을 다룸.

경우 고등학교에서 엔탈피 등 높은 수준의 연관개념과 함께 에너지 전달이 다루어지고 있다. 요약하면 ‘에너지 전달’과 관련해서는 성취기준의 개수뿐 아니라 내용적인 측면에서도 한국보다 미국, 영국, 싱가포르의 성취기준 수준이 전반적으로 높다고 할 수 있다.

한편 영국은 에너지 전달과 일맥상통하는 유사한 개념이라 할 수 있는 에너지 저장을 성취기준에서 주요하게 다루고 있다. 예를 들면 ‘시스템의 에너지 변화(가열, 힘에 의한 일, 전류에 의한 일 등을 포함하는)와 관련해서 저장된 에너지와 에너지 변화를 계산한다(energy changes in a system involving heating, doing work using forces, or doing work using an electric current: calculating the stored energies and energy changes involved)’와 같은 성취기준이 있다. 반면, 한국, 미국, 싱가포르는 주로 에너지 전달만을 성취기준에서 제시하고 있다. 에너지 저장은 하나의 계가 갖는 에너지에 대한 것이고, 에너지 전달은 계들 사이의 에너지의 이동에 대한 것이다. 이들은 모두 에너지에 대한 물질화 은유에 기반 한 아이디어이지만, 하나의 계만을 고려하는 에너지 저장이 상대적으로 더 쉬운 개념이라고 할 수 있다. 따라서 에너지 저장에 대한 별도의 성취기준은 에너지 전달과 관련한 학생의 초기 개념학습을 도울 수 있다고 판단된다.

차기 교육과정에서는 앞서 문제를 제기한 바와 같이 빛이나 전기를 에너지 유형으로 다룰 것인가 혹은 에너지 전달 방식으로 다룰 것인가에 대해 어떠한 접근이 더 과학적 개념 이해, 통합적 개념 이해에 도움이 되는가를 따져보아야 한다. 또 교육과정에서 에너지 전달 뿐 아니라 에너지 저장에 대한 명시적인 성취기준을 별도로 마련하는 방안도 고민할 필요가 있다. 또한 다른 나라들처럼 보다 다양한 맥락에서의 에너지 전달을 성취기준에 담는 것을 고려할 수 있다.

한편으로 에너지 전달과 관련된 성취기준에서 다양한 물질화 용어 사용의 문제를 고려해 보아야 한다. 한국에서는 ‘에너지 전달’과 비슷한 의미를 갖는 ‘에너지 흐름’, ‘에너지 출입’, ‘에너지 변화’ 등 에너지의 물질화 은유와 관련된 다양한 표현들이 성취기준 서술에서 사용되었다. 다른 나라들에서도 ‘transfer’이외에 ‘flow’, ‘transmit’, ‘releases or absorbs’, ‘added or removed’ 등 물질화와 관련된 다양한 서술어를 사용하여 성취기준이 서술되고 있었다. 이러한 표현들은 모두 에너지를 한 계(혹은 장소)에서 다른 계로 이동가능하고 주고받을 수 있는 물질로 은유하는 물질화 개념과 관련이 있다. 학생이 갖는 에너지에 대한 물질화 개념을 비판하는 연구도 있었지만, 최근에는 에너지의 물질화가 일상적으로도 매우 뿌리내린 아이디어로 학생의 에너지 개념 학습을 도울 수 있는 개념적 자원(conceptual resource)이라는 것이

지적되고 있다(Brewe, 2011; Harrer, Flood, & Wittmann, 2013, Scherr *et al.*, 2012). 그렇지만 다양한 물질화 표현들의 무비판적 사용은 에너지를 마치 물질로 여기는 오해를 불러일으킬 수도 있으므로 학생들이 이러한 표현들을 문자적으로 수용하는 대신에 은유로 받아들일 수 있도록 주의를 환기하거나 교육과정에서는 제한된 용어만을 사용하는 것을 고려해 볼 필요가 있다.

다음 Table 11은 에너지 전환에 대한 4개국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

에너지 전달과 반대로 에너지 전환은 한국이 다른 나라들보다 교육과정에서 성취기준의 수도 많고 내용 수준도 어려운 편이다. 한국의 경우는 초등학교 수준부터 명시적으로 에너지 전환에 대한 표현이 도입되고 있다. 또 중학교에서 역학적 운동변화, 발전과정, 전기기구에 의한 에너지 전환과 관련된 성취기준이 도입되며, 고등학교에서는 핵융합 등 다양한 맥락에서 에너지 전환이 추가로 도입되고 있다. 대조적으로 미국의 경우 에너지 전환 개념이 명시적으로 다루어지는 것은 고등학교 수준에서이며, 다루어지는 내용도 한국보다 적다. 영국은 아예 에너지 전환을 다루는 성취기준이 없다. 싱가포르의 경우에는 에너지 전환의 사례가 적게 제시되며, 에너지 전환개념을 에너지 보존개념과 연동하여서만 다루는 경향도 보인다.

또 한국의 성취기준에서 에너지 전환은 ‘에너지 변환’이라는 용어로도 일부 표현이 되는데 용어의 통일성을 높이는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 한편 다른 3개국에 비해 한국에서 에너지 전환 관련 성취기준이 수도 많고 다루는 내용도 많다. 이것은 에너지 전달의 경우와 정확히 반대되는 경향이다. 한국과 다른 3개국의 이러한 차이는 향후 에너지 전환과 에너지 전달과 관련한 성취기준을 결정할 때 주목할 대목이라고 할 수 있다. 앞서 언급하였듯이 에너지 전환보다 에너지 전달이 학습하기 쉬운 개념이기 때문에 차기 교육과정에서는 에너지 전달과 에너지 전환에 대한 비중과 도입 순서를 재고하는 것이 필요하다고 판단된다.

다음 Table 12는 에너지 보존에 대한 4개국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

한국과 싱가포르의 경우 에너지 보존은 중학교 수준에서 도입되며 미국과 영국은 고등학교 수준에서야 비로소 도입된다. 또 한국은 에너지 보존 관련 성취기준 진술문 넷 중에서 셋이 역학적 에너지 보존에 대한 것일 정도로 주로 역학적 상황에서 에너지 보존을 다루고 있다. 반면에 미국의 경우 역학적 에너지 보존에 국한되지 않는 일반적인 에너지 보존 위주로 성취기준으로 제시되고 있다. 영국은 에너지

Table 12. Content comparison of achievement criteria on energy conservation

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> • 중학교에서 위로 던져 올린 물체와 자유낙하는 물체의 역학적 에너지 보존을 다룸. • 고등학교에서는 포물선 운동과 단진자 운동에서의 역학적 에너지 보존을 다룸. 또 여러 에너지 전환 상황에서 에너지가 보존됨을 다룸.
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교에서 “계”의 구성요소의 에너지 변화 계산을 통해 에너지 보존을 도입함. 생태계에서의 에너지 흐름을 에너지 보존 관점에서 다룸
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교에서 고립계의 에너지 보존을 다룸.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> • 중학교에서 에너지 전환과정에서 에너지가 보존됨을 알고, 일상적 상황의 에너지 보존을 다룸. • 고등학교에서 역학, 뉴트리노 발견의 맥락에서 에너지 보존을 다룸. 또 핵변화 과정에서 질량-에너지 보존을 다룸.

Table 13. Content comparison of achievement criteria on energy dissipation

국가	성취기준 내용
한국	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교에서 에너지 효율 관점에서 에너지 산일을 도입함. (화석 연료의 사용 과정에서 버려지는 열에너지, 영구기관이 불가능한 이유 등)
미국	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교에서 ‘계’의 구성요소 사이에 에너지가 균일하게 분포하게 된다는 것으로 열역학 제2법칙을 도입함.
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 고등학교에서 ‘계’의 에너지 보존과 산일을 다룸.
싱가포르	<ul style="list-style-type: none"> • 도입되지 않음.

지가 보존되는 조건으로 ‘고립계(closed system)’를 분명하게 제시하였다. 한편 싱가포르의 통상적인 에너지 보존을 넘어서 현대의 질량-에너지 보존까지 다루고 있다.

에너지 보존이 자연 현상을 포괄하는 유용한 개념임을 보여 주기 위해서는 역학적 에너지에 국한하지 않고 보다 다양한 상황을 포함하여 에너지 보존 개념의 유용성을 보여 주는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 역사적으로도 에너지 보존 개념은 역학이 아닌 열역학의 발달과 함께 등장한 개념이다(Coopersmith, 2015; Smith, 1998). 즉 역학적 에너지가 보존되지 않는 상황에 대해 열에너지라는 새로운 형태의 에너지를 포함하여 여전히 전체 에너지가 보존된다는 재해석을 함으로써 에너지 보존이 등장한 것이다. 따라서 차기 교육과정에서는 역학에 국한되지 않는 일반적 맥락에서의 에너지 보존에 방점을 두고 에너지 보존과 관련된 성취기준을 제시할 필요가 있다.

미국, 영국, 싱가포르의 경우에는 에너지 보존 등 에너지 관련 성취기준에서 ‘계(system)’를 진술에 명시적으로 포함하고 있다. 이처럼 에너지 관련 논의에서 ‘계’의 개념을 명시적으로 사용하는 것은 일견 개념학습을 더 어렵게 하는 것으로 보일 수 있다. 그렇지만 여러 에너지 관련 물리교육 문헌들에서는 에너지 전환이나 에너지 보존, 에너지 산일을 이해하는 데 ‘계’의 개념을 함께 도입하는 것이 더 과학적인 개념 이해를 명확하게 할 수 있다고 지적하고 있다 (Arons, 1997; Arons, 1999; Jewett, 2008a; Jewett, 2008b). 따라서 한국에서도 차기 교육과정의 성취기준에서 계를 명시적으로 도입하는 것을 고려할 필요가 있다.

한편 앞 절에서 논의했듯이 에너지 보존은 에너지 전달이라는 물질화 은유를 허용하도록 한다는 점에서 에너지 전달 개념의 토대가 된다. 이와 같이 다른 에너지 개념 요소가 에너지 보존 없이 별도의 필요성을 갖기 힘들다는 점에서 에너지 개념 요소 중 구조적으로 가장 핵심이 되는 것은 에너지 보존이라고 할 수 있다. 따라서 에너지 보존은 에너지의 다른 개념 요소들과 가급적 같은 상황에서 다루어지는 것이 학습자의 입장에서는 에너지에 대한 통합적 이해를 구성하는데 용이할 것으로 보인다. 실제로 싱가포르의 경우 에너지 보존개념

을 에너지 전환개념과 같이 다루는 것이 성취기준 상에서 나타나고 있다. 또한 4개국 모두에서 에너지 보존 관련 성취기준들은 에너지 전달, 전환 등 다른 개념 요소와도 관련되는 것으로 복수 코딩이 되는 비율이 높았다.

다음 Table 13은 에너지 산일에 대한 양국의 성취기준 내용을 요약한 것이다.

에너지 산일은 4개국 모두에서 많이 다루어지지 않고 있으며, 한국, 미국, 영국에서만 모두 고등학교 수준에서야 도입하고 있다. 이것은 에너지 산일의 개념적 어려움이 반영된 결과라고 판단된다. 한국의 경우 화석 연료 사용 과정 등 에너지 효율 관점에서 에너지 산일이 도입되고 있다. 반면 미국의 경우 다른 에너지 개념 요소에서와 마찬가지로 ‘계’와 ‘계의 구성 요소’를 함께 포함하여 에너지 산일 관련 성취기준을 진술하고 있으며 ‘고립된 계에 온도가 다른 구성 요소가 있을 때’ 온도가 같아지는 상황으로 열역학 제2법칙을 도입하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 한국의 차기 교육과정의 성취기준에서 계를 명시적으로 도입하는 것이 에너지 개념 학습을 용이하게 할 수 있을 것인지에 대한 논의와 연구가 필요하다고 하겠다. 영국의 경우 교육과정의 성취기준이 매우 포괄적으로 제시되는 특징이 있는데, 에너지 산일의 경우에도 ‘고립계에서의 에너지 보존과 산일’ 정도의 용어만 제시되고 있다. 싱가포르의 경우 에너지 산일에 대한 명시적인 성취기준이 없었고, 대신에 ‘엔트로피’와 관련된 성취기준이 에너지와의 명시적 연관성 없이 제시되고 있었다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 과학 교육과정 중 에너지 관련 성취기준에 대해 학교 급별, 학문 영역별, 에너지 개념 요소별로 빈도 분석을 실시하였고, 에너지 개념 요소별로 내용 분석을 병행하였다. 그 결과 4개국은 에너지 개념을 교육과정의 중요 요소로 다룬다는 공통점이 있었지만 나라 간의 여러 가지 차이들도 드러났다.

첫째 한국, 미국, 영국, 싱가포르는 에너지 개념 요소별 성취기준의

비율이 상당히 달랐고, 학교 급에 따른 비율의 차이도 발견되었다. 에너지 개념 요소별로 보면 한국, 싱가포르의 6가지 개념 요소 중 에너지의 형태와 관련된 성취기준의 빈도가 높았고, 미국, 영국은 에너지 전달과 관련된 성취기준이 다수를 차지하고 있었다. 또 미국, 영국, 싱가포르의 경우 에너지 전환에 비해 에너지 전달의 비중이 높았지만 한국은 에너지 전환과 에너지 전달의 비율이 비슷했다. 학교급과 관련하여 한국은 다수의 성취기준이 고등학교에 몰려있는 반면, 다른 3개국은 상대적으로 중학교에서 에너지 관련 성취기준의 수가 많았다. 한국은 다른 나라보다 일찍부터 에너지 전환을 도입하고 있으나, 에너지 자원과 관련된 성취기준은 오히려 늦게 도입되고 있었다.

둘째 에너지의 형태와 관련해서 한국과 싱가포르는 미국, 영국보다 다양한 에너지의 형태를 도입하고 있다. 뿐만 아니라 앞선 두 나라의 성취기준에서는 다른 특정 물리량에 대응하는 에너지 형태(이러테면 퍼텐셜 에너지) 이외에도, 다른 물리량에 대응하지 않지만 구체적인 유형을 갖는 에너지(결합 에너지), 물리량에 대응하지 않는 체로 모호하게 사용되는 에너지 형태(빛에너지, 전기에너지) 등 여러 가지 유형의 에너지 형태가 등장하였다. 반면에 미국, 영국의 경우에는 주로 특정한 물리량에 대응하는 에너지 형태가 성취기준에 등장하였다. 또한 한국과 싱가포르에서 에너지의 형태로 다루어지는 빛과 전기가 미국, 영국에서는 에너지의 전달방식으로 도입되었다.

셋째 에너지와 관련된 주요 변화 방식인 전달, 전환과 관련해서 미국, 영국, 싱가포르는 에너지 전달에 초점을 맞추고 있는 반면 한국은 에너지 전달과 전환이 비슷한 정도로 다루어지고 있었다. 또한 다른 나라들의 경우에 상대적으로 에너지 전달을 다양한 맥락에서 다루었고, 한국의 경우에는 에너지 전환을 더 다양하게 다루고 있었다.

넷째 에너지 보존 관련된 성취기준에서 한국은 역학적 상황에 국한하는 경향이 있었고 미국, 영국, 싱가포르의 경우 보다 일반적인 맥락의 에너지 보존이 다루어지고 있었다. 에너지 보존은 다른 에너지 관련 개념의 근간을 이루는 개념요소라 할 수 있지만, 모든 나라에서 공통적으로 적은 수의 성취기준만이 에너지 보존과 관련되었다. 한편 에너지 산일에 대한 성취기준이 다른 개념요소에 비해 상대적으로 적다는 것도 모든 나라에서 공통적으로 나타났다.

다섯째 4개국 모두에서 에너지 자원에 대한 성취기준은 대부분 다른 에너지 개념 요소와 독립된 채 별도로 제시되고 있었다. 또 한국의 경우 고등학교에서야 에너지 자원 관련 진술이 도입되는 반면 미국과 싱가포르의 경우 초등학교부터 관련된 진술이 고르게 발견되었고, 영국도 에너지가 처음 도입되는 중학교부터 에너지 자원이 다루어지고 있었다.

여섯째 미국, 영국, 싱가포르는 에너지 관련 성취기준에서 '계'가 명시적으로 사용되는 반면, 한국의 경우 일반적인 의미의 '계'에 대한 명시적 사용 없이 '태양계' 같은 특정한 종류의 계와 관련된 에너지 관련 성취기준만이 제시되었다. 특히 미국과 싱가포르는 성취기준 진술문 이외에도 '계'가 교육과정 통합을 위한 핵심 개념(관통개념)으로 포함될 정도로 계를 중요하게 취급하고 있었다.

본 연구를 통해 4개국 모두에서 에너지가 통합과학을 위한 핵심 개념임을 확인할 수 있었지만, 세부적으로는 적지 않은 차이를 발견하였다. 특히 에너지 형태, 에너지 전달, 에너지 전환, 에너지 보존과 관련하여 본 연구에서 드러낸 차이점들은 차기 교육과정에서 에너지

와 관련된 교육과정을 어떻게 구성할 것인지에 대해 논의할 때 주요한 쟁점으로 다루어질 수 있고, 교수학습에 대한 시사점도 줄 수도 있다. 이와 관련된 본문의 논의 중 중요한 것들을 요약하면 다음과 같다.

첫째 본 연구에서 나타난 한국과 다른 나라의 정량적 차이, 특히 다른 3개국은 공유하지만, 한국은 공유하지 않는 차이를 주목하여 향후의 교육과정 개선에서 면밀히 검토하여 수정방안을 마련할 필요가 있다. 특히 중학교에서의 에너지 관련 성취기준 증가, 에너지 전환 대비 에너지 전달에 대한 상대적 강조 등이 검토될 수 있을 것이다.

둘째 에너지의 형태와 관련해서 미국, 영국과 비교할 때 한국의 성취기준은 매우 다양한 에너지 형태를 다루고 있다. 이것은 미국, 영국에 비해 많은 학습량, 그리고 에너지 형태 개념의 모호함과 관련된다. 특히 빛과 전기를 현재와 같이 에너지의 형태로 서술할지, 아니면 보다 엄격하게 에너지 전달의 형태로 서술할지에 대해 논의와 의사결정이 필요하다.

셋째 차기 교육과정에서 우리나라도 '계'의 명시적 도입 및 이를 이용한 에너지 관련 성취기준의 서술에 대해 고민할 필요가 있다. 미국과 싱가포르에서는 '에너지'뿐만 아니라 '계'도 통합된 과학교육을 위한 과학 내용지식의 재구성에서 핵심이 되는 개념으로 여겨진다. 그런데 우리나라의 에너지 관련 성취기준은 '계'와 관련된 명시적 도입이 없는 상황이다. '계'를 통한 에너지 관련 개념의 서술은 일견 새로운 개념을 교육과정에 추가하는 것이므로 학습의 난이도를 높일 수 있다는 우려가 가능하다. 그렇지만 계라는 개념이 통합을 위한 학문 간 기초공통 개념이라는 점, 그리고 에너지에 대해 '계'를 기반으로 한 교수학습이 널리 제안되고 있다는 점에서 차기 교육과정에서 계의 명시적 도입 및 계를 활용한 에너지 개념의 서술을 적극적으로 검토할 필요가 있다. 이를 위해 '계'의 도입이 학생들의 에너지 개념 요소 이해에 어떤 영향을 주는 지에 대한 경험적 연구도 필요하다고 생각된다.

넷째 에너지 보존과 에너지 산일처럼 상대적으로 고난이도의 개념에 대한 성취기준의 서술방안 개선에 대해 고려할 필요가 있다. 본 연구에서 분석한 4개국 모두에서 이 개념들은 상대적으로 적은 분량을 차지하고 있지만, 이들은 다른 에너지 관련 개념 요소를 지탱하는 토대이거나 에너지와 STS 연결의 핵심이라는 점에서 매우 근본적인 개념 요소이다. 따라서 이들 개념과 관련한 성취기준의 양이 적절한지 검토할 필요가 있다. 또한 에너지 보존과 관련해서는 역학적 에너지 보존보다 더 일반적 의미의 에너지 보존이 강조되도록 성취기준이 구성될 필요가 있다.

다섯째 일반적으로 STS 주제로 취급되는 에너지 자원에 대해 성취기준을 만들 때 에너지 전환, 에너지 산일 등 다른 에너지 개념 요소도 함께 서술될 필요가 있다. 현재에는 4개국 모두에서 에너지 자원이 다른 에너지 개념요소와 분리되어 다루어지는 경향이 강한데, 이러한 분리는 에너지 개념에 대한 통합적 이해에도 장애가 될 뿐 만 아니라, 에너지와 관련된 과학 개념 지식과 일상 사회와의 관련성을 드러내고자 할 때에도 방해요인이 될 수 있다.

에너지는 매우 복합적인 개념으로 개념의 위계, 학습 발달 과정에 대해 많은 연구가 필요한 학습 주제이고 차기 교육과정 개편 시에는 기존의 에너지 관련 오개념 연구들과 에너지의 학습발달에 대한 최근 연구들을 참고할 수 있을 것이다 (Lee & Liu, 2010; Neumann *et al.*,

2013; Watts, 1983). 그런데 이러한 경험적 연구들을 교육과정에 반영할 때에 주의가 필요하다. 이를테면 Watts (1983)의 연구에서 오개념으로 여겨졌던 학생들의 다양한 아이디어들은 Harrer, Flood, & Wittmann (2013)의 연구에서는 학생들의 학습을 도울 수 있는 생산적인 개념적 자원(resource)으로 재해석되었다. 또 최근의 학습발달 연구들은 본 연구에서는 구별한 에너지 형태와 에너지 자원을 한 범주로 묶거나, 에너지 전환과 에너지 전달을 동일 범주로 묶기도 하였다 (Lee & Liu, 2010; Neumann et al., 2013). 이와 같이 서로 다른 아이디어들과 관련된 개념 요소를 한 범주로 묶는 학습발달 연구는 연구의 결과를 검토하거나 적용할 때 주의가 필요하다. 기존의 경험 연구들이 갖는 이러한 제한점을 고려할 때 에너지 관련 교육과정의 개선에 대한 의사결정에서 앞서 교육과정과 밀접하게 연관된 보다 주의 깊은 경험 연구도 더 수행될 필요가 있다. 본 연구에서 에너지의 교육과정에 대해 많은 쟁점들을 드러내고 부분적인 개선 방안을 제안하였지만 교육과정 개발 과정에서의 의사결정을 위해서는 앞으로도 다양한 이론적, 경험적 연구가 심층적으로 수행되어야 할 것이다.

국문요약

에너지는 매우 복합적인 과학개념으로 많은 국가의 과학 교육과정에서 핵심을 이루는 개념이지만, 교수 학습 과정에서 많은 어려움을 야기하는 개념이기도 하다. 본 연구는 한국, 미국, 영국, 싱가포르의 교육과정을 비교분석하여 향후 교육과정 개정 시 고려해야 하는 에너지 교육과정의 쟁점들을 추출하고자 하였다. 이를 위해 한국의 2015 개정교육과정, 미국의 차세대 과학교육표준(NGSS, Next Generation Science Standards), 영국의 과학 교육과정(National curriculum in England: Science programmes of study), 싱가포르의 과학 교육과정(Science syllabus)에서 에너지를 명시적으로 포함하는 성취기준들을 추출하여, 여섯 가지 개념 요소(에너지 형태, 에너지 자원, 에너지 전달, 에너지 전환, 에너지 보존, 에너지 산일)에 따라 분류하고 비교하였다. 에너지 관련 성취기준이 학교 급별, 학문 영역별, 에너지 개념 요소별로 어떻게 분포하는지 빈도 분석을 실시하였고, 에너지 개념 요소별로 내용 분석을 병행하였다. 그 결과 모든 나라의 교육과정 모두에서 에너지 개념의 중요성을 확인할 수 있었지만, 세부적으로는 강조하고 있는 개념 요소와 개념 요소별 내용에 있어서 상당한 차이를 발견하였다. 그 중 다른 나라와 대비되는 한국 교육과정의 가장 큰 특징은 에너지 개념 요소 중 에너지의 형태와 관련된 성취기준의 빈도가 가장 높다는 점, 특정 물리량에 대응하지 않는 체 포괄적인 의미로 사용되는 에너지 형태를 포함하고 있다는 점, 에너지 전달에 비해 좀 더 어려운 개념 요소인 에너지 전환을 강조하고 있는 점, 에너지 보존의 경우 역학적 상황에만 국한하여 성취기준이 제시되고 있는 점, 에너지 개념과 관련하여 '계'를 도입하지 않고 있는 점 등을 들 수 있다. 이러한 차이가 야기하는 교육과정 개편 상의 쟁점들에 대해서 논의하였다.

주제어 : 에너지, 과학 교육과정, 에너지 형태, 에너지 자원, 에너지 전달, 에너지 전환, 에너지 보존, 에너지 산일

References

- Arons, A. (1997). *Teaching introductory physics*. New York: Wiley.
- Arons, A. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063-1067.
- Brewe, E. (2011). Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2), 020106.
- Cheong, Y. W., & Song, J. (2011). Ontological analysis of the concepts of energy and energy conservation and its educational implications. *New Physics: Sae Mulli*, 61(9), 850-861.
- Coopersmith, J. (2015). *Energy, the subtle concept: the discovery of Feynman's blocks from Leibniz to Einstein*. Oxford University Press, USA.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2013). *Science syllabus primary 2014*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2012). *Science syllabus lower secondary Express course Normal (Academic) Course*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2013). *Science syllabus lower and upper secondary Normal (technical) course*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). *Biology syllabus pre-university higher 2 syllabus 9744*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). *Chemistry syllabus pre-university higher 2 syllabus 9729*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- CPDD [Curriculum Planning & Development Division]. (2016). *Physics syllabus pre-university higher 2 syllabus 9749*. Singapore: CPDD Ministry of Education.
- Department for Education (2013) *National curriculum in England.: Science programmes of study - key stages 1 and 2*. England: Department for education.
- Department for Education (2013) *National curriculum in England.: Science programmes of study - key stage 3*. England: Department for education.
- Department for Education (2014) *National curriculum in England.: Science programmes of study - key stage 4*. England: Department for education.
- Driver, R., & Millar, R. (Eds.). (1986). *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.
- Duit, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver & R. Millar (Eds.), *Energy matters* (pp. 67-102). Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Harrer, B. W., Flood, V. J., & Wittmann, M. C. (2013). Productive resources in students' ideas about energy: An alternative analysis of Watts' original interview transcripts. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(2), 023101.
- Jewett Jr, J. W. (2008a). Energy and the confused student II: Systems. *The Physics Teacher*, 46(2), 81-86.
- Jewett Jr, J. W. (2008b). Energy and the confused student IV: A global approach to energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217.
- Kaper, W. H., & Goedhart, M. J. (2002). 'Forms of Energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.
- Krippendorff, K. (2004). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Sage.
- Lancor, R. (2014). Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. *Science & Education*, 23(6), 1245-1267.
- Lee, M.-H., Son, Y.-A., Pottenger III F. M., Choi, D.-H. (2001). The strategies for integrated science teaching of "energy" applying knowledge, social problem, and individual interest centered approaches. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 21(2), 342-356.
- Lee, H. S., & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665-688.
- Manzon, M. (2014). Comparing places. In M. Bray, B. Adamson, & M. Mason (Eds.), *Comparative education research: Approaches and methods* (pp. 97-137). Hong Kong: Springer & Comparative Education Research Centre, The University of Hong Kong.
- Millar, R. (2014). Towards a research-informed teaching sequence for energy. In *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (pp. 187-206). Springer International Publishing.
- Ministry of Education, Korea. (2015). *Science curriculum*. Seoul, Korea: Ministry of Education.
- Mullis, I. V., Martin, M. O., Ruddock, G. J., O'Sullivan, C. Y., & Preuschoff,

- C. (2009). *TIMSS 2011 assessment frameworks*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement. Herengracht 487, Amsterdam, 1017 BT, The Netherlands.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten through eighth grade (R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse, Eds.). Washington DC: The National Academies Press.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press.
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2014). Distinctive features and underlying rationale of a philosophically-informed approach for energy teaching. In *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (pp. 207-221). Springer International Publishing.
- Papadouris, N., Constantinou, C. P., & Kyratsi, T. (2008). Students' use of the energy model to account for changes in physical systems. *Journal of Research in science teaching*, 45(4), 444-469.
- Scherr, R. E., Close, H. G., McKagan, S. B., & Vokos, S. (2012). Representing energy. I. Representing a substance ontology for energy. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8(2), 020114.
- Schleicher, A., Zimmer, K., Evans, J., & Clements, N. (2009). *PISA 2009 assessment framework: Key competencies in reading, mathematics and science*. OECD Publishing (NJ1).
- Smith, C. (1998). *The science of energy: A cultural history of energy physics in Victorian Britain*. University of Chicago Press.
- Solomon, J. (1992). *Getting to know about energy: In school and in society*. London: Falmer Press.
- Warren, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295-297.
- Watts, M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213-217.