



통합개념을 중심으로 한 싱가포르, 캐나다와 미국의 과학교육과정 내용 요소 분석

이윤하, 윤희정^{1*}, 송주연², 방담이³

대영중학교, ¹경북대학교, ²한국교육개발원, ³가톨릭대학교

Analysis of Science Educational Contents of Singapore, Canada and US Focused on the Integrated Concepts

Yoonha Lee, Heojeong Yoon^{1*}, Joo-Yeon Song², Dami Bang³

Daeyoung Middle School, ¹Kyungpook National University, ²Korean Educational Development Institute, ³The Catholic University of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 November 2013

Received in revised form

2 January 2014

21 February 2014

Accepted 24 February 2014

Key words:

integrated science curriculum,
Singapore science curriculum,
Ontario science curriculum,
Next Generation Science
Standard (NGSS), integrated
concepts

ABSTRACT

The feasibility of integrated concepts as a key element in designing integrated science curriculum has been investigated by analysing science contents included in performance expectations stated at different grades. The science curriculum of Singapore and the state of Ontario in Canada, and next generation of science standard (NGSS) were selected. Each of them presents theme, fundamental concepts, and crosscutting concepts, which has the characteristics of integrated concepts proposed in the study. Analysis showed that theme, fundamental concepts, and crosscutting concepts were influenced by the characteristics of each curriculum. In addition, science contents related to integrated concepts at different grades varied with the nature of integrated concepts. Based on results, some suggestions were made. First, the total number of integrated concepts should be considered for designing integrated curriculum. Second, the nature of integrated concepts and science contents associated with the integrated concepts should be considered. The integrated concepts should be vast and deep enough in the meaning to contain various content knowledge of different science domains. Third, it should be considered that how the integrated concepts have to be presented at different grades.

I. 서론

교육과정이란 학습을 위한 계획(Taba, 1962)으로 학교 교육과정의 핵심 질문은 '무엇을 어떻게 가르칠 것인가'이다(Kim & On, 2011; Walker, 1990). 교육과정 설계의 목적은 교과 또는 학생의 경험을 의도적으로 조직하여, 학생들에게 의미 있는 학습이 일어나게 하고 궁극에는 학습자가 학습한 것을 지속적으로 새로운 상황과 맥락에 사용하면서 자신의 통찰과 지혜를 넓혀감으로써 평생 동안 자신의 삶과 직업을 유지해 가도록 하는 것이라고 할 수 있다(Kim, 2010). 따라서 여러 상황에 전이 가능한 의미 있는 학습이 일어날 수 있도록 적절한 교과내용을 선정하여 체계적으로 조직하는 것은 교육과정 설계의 핵심이라고 볼 수 있다.

교육과정의 내용 선정과 조직 방법은 다양한 관점에서 논의될 수 있는데(Cho *et al.*, 2012), 교과의 조직 형태를 기준으로 개별교과(또는 분과교과) 교육과정과 통합교과 교육과정으로 구분할 수 있다. 학생들이 여러 가지 과학, 기술 문제가 얽혀있는 복잡한 현대 사회를 살아갈 수 있는 능력을 갖추도록 하는 데 성공하지 못한 개별교과 교육과정의 대안으로 통합교과 교육과정이 제안된다(Hurd, 1991; Mason,

1996). 이들은 통합교육이 학생들의 실제 경험과 연결된 학습 내용을 통합적인 시각으로 제시할 수 있기 때문에 학생들의 학습 동기를 높이고 보다 실용적이고 의미 있는 지식을 학습할 수 있도록 하며 학습한 내용의 전이 가능성을 높여 학습효과를 극대화하는데 효과적이라고 설명한다.

과학교육의 근본적인 방향이 통합교육(integrated education)으로 정립되어야 한다(Basista & Mathews, 2002)는 주장은 몇 가지 측면에서 그 타당성을 인정받을 수 있다. 첫째, 과학은 그 자체로 통합적인 교과라는 점이다. 과학은 자연을 탐구하는 학문이며, 탐구 대상인 자연 그 자체가 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학의 영역으로 나뉘지는 것은 아니다(Kang *et al.*, 2007). 단지 자연의 탐구가 복잡한 양상을 나타냄에 따라 학교 교육에서의 과학이 물리, 화학, 생물, 지구과학으로 분화된 것이다. 동일한 과학적 개념이 다양한 자연 현상과 연관되어 있다는 과학의 속성을 고려해 볼 때, 학문 영역의 구분에 대한 절대적인 의미는 약화될 수밖에 없다(Choi & Choi, 1999). 특히 19-20세기에 급격하게 영역 분화적으로 발전되어 온 탐구 방식이 더 이상 효율적이지 않음을 자각하면서 이제는 융합적, 총체적으로 탐구하는 방식이 요구되고 있다(Lee, 2005)는 점에서 통합교육의 필요성을 찾을 수 있다.

* 교신저자: 윤희정(hyoon@ewhain.net)

** 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2006880)

*** 이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학창의재단의 지원을 받아 수행된 성과물임.

둘째, 무질서한 세계에 대한 통찰은 다양한 지식에 통일성, 관계성, 규칙성을 부여하는 지식의 통합을 통해 이루어지는 것이 자연적인 흐름임을 감안한다면 인간 경험을 위해 고안된 교육과정도 통합되어야 한다(Lee, 1991)는 점이다. 이는 과학의 방법이 지식의 통합적 접근을 통하여 자연 현상을 탐구하는 과정이라는 견해(Kang *et al.*, 2007)와 맥락을 같이한다. 통합교육을 통해 분절적인 과학 지식을 큰 이해의 맥락 내에서 결합시킴으로써 각각의 개념, 원리에 내포된 상호 관련성의 이해를 도울 수도 있다(Lee & Choi, 2009). 이처럼 이해의 맥락 안에서 통합적 접근을 통해 습득된 개념이나 원리들은 학습자들이 실생활의 문제를 보다 잘 해결하게 할 수 있도록 하며(Kim & On, 2011; Son, 2009), 생산적이고 통찰력 있는 사고를 가능하게 한다(Choi & Choi, 1999).

과학 교과에서 통합(integration)은 오래 전부터 시도되어 왔으며, 다양한 통합 관련 연구들(Cervetti *et al.*, 2012; Rennie *et al.*, 2011; Stoddart *et al.*, 2002)이 지속적으로 진행되어 왔다. 최근 미국의 국가 경쟁력 강화를 위한 교육의 일환으로 대두된 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)은 통합교육에 대한 관심을 다시 한 번 불러일으킨 계기가 되었으며, 점차 교육 전반에 영향을 미치고 있다. 과학을 제대로 가르치기 위한 목적으로 기존 교과를 통합하거나 재구조화하려는 움직임이 나타나면서, 과학의 각 분과별로 중심이 되는 개념들을 선정하여 이를 중심으로 교육과정을 재구성(Plummer & Krajcik, 2010)하거나 교육내용을 재구조화(Lee *et al.*, 2010)하려는 시도가 있다.

2009 개정 과학교육과정은 이러한 시대적 요구를 반영하여 지식의 통합을 통해 미래 사회가 요구하는 높은 수준의 창의성과 인성을 고루 갖춘 합리적인 인재 양성을 목표로 한다(MEST, 2011). 2009 개정 과학교육과정의 10학년 ‘과학’에서는 과학과 교육과정의 내용을 과감하게 조정하여 과학을 ‘우주와 생명’, ‘과학과 문명’의 주제로 제시하였다. 이를 통하여 현대 과학적 해석을 이해하기 쉽고 재미있게 소개하면서 기존의 물리, 화학, 생명과학, 지구과학의 획일적 구분에서 오는 분과적 교육의 한계를 극복하고자 하였다(Maeng, 2010). 그러나 중학교까지의 ‘과학’은 여전히 교과 영역 별로 분리 구성되어 있다. 이처럼 연계성과 통합성이 부족한 현행 교육과정을 개선하기 위해서는 새로운 형태의 통합이 모색되어야 한다(Lee *et al.*, 2010). Bang *et al.*(2013)은 통합의 한 형태로 Big idea를 중심으로 하는 통합과학 교육과정들을 설계하였다. 이는 2009 개정 과학교육과정의 초등학교와 중학교 과학에 제시되어 있는 필수학습요소들을 네 개의 Big idea를 중심으로 재배치하여 범주화한 것으로, Big idea를 중심으로 한 교육과정 구성의 가능성을 보인 것이다. 이때 Big idea는 특정 분야에 한정되지 않고 다양한 현상을 설명할 수 있도록 하는 포괄적이며 여러 학문의 기저가 될 수 있는 아이디어(Duschl *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2006; Wiggins & McTighe, 2005)로 물리, 화학, 생명, 지구과학의 내용 영역을 포괄할 수 있는 통합개념으로 볼 수 있다.

본 연구는 Big idea를 중심으로 한 통합과학 교육과정 틀 설계에 대한 후속 연구로, 외국의 과학교육과정에 제시되어 있는 통합개념을 살펴보고 통합개념과 과학 내용 요소가 어떻게 연관되어 있는지 분석하였다. 이를 바탕으로 통합과학 교육과정 설계의 핵심이 될 수 있는 통합개념에 대한 시사점을 도출하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위하여 싱가포르와 캐나다 온타리오 주의 과학교육과정, 미국의 과학

교육내용표준(NGSS, Next Generation Science Standards)을 선정하였다. 각각에 제시되어 있는 통합개념인 주제(theme), 본질적 개념(fundamental concepts), 학문 간 교차개념(crosscutting concepts)들은 무엇이며, 이들과 관련하여 각 국가의 교육과정 성취목표에 어떤 과학 내용 요소들이 포함되어 있고, 학년 별로 어떻게 구성되어 있는지 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 통합과학 교육과정 설계에 적용할 수 있는 통합개념의 선정과 구성에 필요한 점들을 제안하였다.

II. 싱가포르, 캐나다의 과학교육과정과 미국의 과학교육내용표준

1. 싱가포르의 과학교육과정

싱가포르 과학교육과정은 ‘지식, 이해와 적용’, ‘기술과 과정’, ‘윤리와 태도’의 세 영역에서 탐구가 이루어지도록 구성되어 있다. 이때 ‘지식, 이해와 적용’은 과학적 사실, 개념과 원리, 과학기와 장치의 활용능력, 지식의 과학적 활용을 포함하며, ‘기술과 과정’은 과학적 탐구에 요구되는 과정적 능력을, ‘윤리와 태도’는 과학에 대한 정의적 요소를 포함한다.

싱가포르의 과학교과는 초등학교 3학년부부터 실행된다. 2개의 학년을 하나의 학년군으로 묶어 3-4학년은 초등과학(primary science)의 lower block으로, 5-6학년은 upper block으로, 7-8학년은 중등과학(lower secondary science)으로 지정하고, 학년군별로 교수요목(syllabus)을 제시하고 있다. 싱가포르의 교수요목은 일상생활에서 일어나는 학생들의 경험이나 관찰 가능한 자연현상과 관련된 주제(theme)를 중심으로 구성되어 있으며, 주제와 관련된 다양한 과학적 내용들에 대한 통합적 이해를 목적으로 한다. 주제별로 알아야 할 내용을 안내하기 위한 핵심 탐구 질문(key inquiry question)들이 제시되어 있으며, 각 주제에 대해 ‘지식, 이해와 적용’, ‘기술과 과정’, ‘윤리와 태도’의 영역에서 도달해야 하는 학습목표(learning outcome)들이 명시되어 있다.

싱가포르의 초등과학은 ‘다양성(diversity)’, ‘순환(cycle)’, ‘계(systems)’, ‘상호작용(interaction)’과 ‘에너지(energy)’의 다섯 가지 주제를 중심으로 구성되어 있으며, ‘다양성’은 3-4학년군에서만 다루어진다. 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. 각 주제에서 다루는 내용들을 Table 1에 제시하였다.

‘다양성’에서는 생물, 무생물, 물질의 다양성과 분류를 다룬다. 초등 수준에서는 대상의 다양성에 대한 이해와 그 중요성에 대한 인식을 목적으로 하며, 중등 수준에서는 생물과 환경과의 관련성에 대한 이해와 다양성 유지의 필요성에 대한 인식을 목적으로 한다. ‘순환’에서는 자연에는 패턴이 존재함을 알고, 패턴을 통해 자연 현상을 예측할 수 있으며 자연은 항상성을 유지하는 계라는 것을 인식하는 것을 목적으로 하고 있다. 이때 물질뿐 아니라 지구와 동물 내에서의 순환에 대해서도 다룬다. ‘계’라는 주제에서는 계를 구성하는 각 부분이 상호작용하면서 전체로서 기능한다는 것을 다루며, 지구, 인간, 세포, 전기계의 내용이 포함되어 있다. 중등 수준에서 제시되는 ‘모형과 계’에서는 자연 현상에 대한 이해를 돕기 위해 다양한 모형을 사용할 수 있다는

사실을 바탕으로 원자모형, 입자모형 등을 다루며, 초등의 ‘계’에서 배운 내용에 이어 소화계와 생식계를 학습하게 된다.

‘상호작용’에서는 서로 다른 계 사이 또는 계 내에서의 상호작용에 대한 학습을 통하여 환경과 환경 내에서 인간의 역할을 인식하도록 한다. 이때 상호작용은 유기체와 환경 사이, 유기체 내 또는 유기체 간, 힘과 물체 사이, 인간과 환경 사이의 상호작용을 포함한다. 초등 수준에서는 힘의 상호작용, 환경 내에서의 상호작용을 다루고, 중등 수준에서는 유기체 내, 유기체 간의 상호작용, 유기체와 환경 간의 상호작용, 힘과 물체 사이, 에너지와 물질 사이의 상호작용 등을 다룬다. 또한 환경뿐 아니라 생물과 무생물 내에서의 힘과 에너지의 상호작용을 다루는데, 열의 전달, 화학변화, 생태계의 먹이 사슬에서의 에너지 흐름 등이 포함된다.

‘에너지’와 관련하여 초등수준에서는 에너지가 다양한 형태로 존재하며 서로 전환될 수 있음을 이해하는 것을 목적으로 한다. 인간은

다양한 방법으로 에너지를 사용하며, 인간뿐만 아니라 모든 생물이 생명과정을 위해 에너지를 획득하고 사용한다는 내용을 다룬다. 중등 수준에서는 에너지의 중요성과 활용 방법, 에너지 보존의 필요성에 대한 이해를 목적으로 한다. 운동, 위치, 빛 전기에너지와 같은 다양한 형태의 에너지를 이해하며, 식물에서의 광합성과 호흡과정, 에너지를 사용할 때 생명체와 환경을 고려하는 것이 우리의 의무라는 것을 배우게 된다. ‘과학과 기술’에서는 과학이 체계적인 관찰, 실험, 분석을 통해 자연을 연구하는 학문이며, 과학을 통해 삶을 더 편리하게 할 수 있고 여러 가지 문제를 해결할 수 있음을 이해하는 것을 목적으로 한다. 또한 과학적 탐구의 과정 및 적용, 과학기술의 장점과 한계에 대한 이해에 대해서도 다룬다. ‘측정’에서는 과학적 탐구뿐만 아니라 일상생활에서도 측정이 필요하며, 어떤 양을 측정할 때 어떤 측정 도구들이 사용되는지 알도록 한다.

Table 1. The overview of primary and lower secondary science syllabus in Singapore

Themes	Primary		Lower secondary
	Lower block(Primary 3 & 4)	Upper block(Primary 5 & 6)	
Diversity	<ul style="list-style-type: none"> Diversity of living and non-living things(general characteristics and classification) Diversity of materials 		Diversity of matter <ul style="list-style-type: none"> Classification of matter Elements, compounds & mixtures Solutions & suspensions Diversity of plant and animal life <ul style="list-style-type: none"> Classification of plant and animal life
Cycles	<ul style="list-style-type: none"> Cycles in plants and animals (life cycles) Cycles in matter and water(matter) 	<ul style="list-style-type: none"> Cycles in plants and animals (reproduction) Cycles in matter and water(water) 	
Systems (for primary) / Models & systems (for secondary)	<ul style="list-style-type: none"> Plant system(plant parts and functions) Human system(digestive system) 	<ul style="list-style-type: none"> Plant system(respiratory and circulatory systems) Human system(respiratory and circulatory systems) Cell system Electrical system 	Models of cells & matter <ul style="list-style-type: none"> Cells-structure, function & organisation Particulate model of matter Simple concepts of atoms & molecules Plant & human systems <ul style="list-style-type: none"> Transport in living things Digestion in animals Sexual reproduction in human beings
Interactions	<ul style="list-style-type: none"> Interaction of forces(magnets) 	<ul style="list-style-type: none"> Interaction of forces(friction force, gravitational force, force in springs) Interaction within the environment 	Interactions of forces & energy <ul style="list-style-type: none"> Concept of force & pressure Moment of a force Work Effects of heat Transmission of heat Chemical changes Simple concepts of populations, community and ecosystem Energy transfer process in the ecosystem Nutrient cycles in the ecosystems
Energy	<ul style="list-style-type: none"> Energy forms and uses(light and heat) 	<ul style="list-style-type: none"> Energy forms and uses(photosynthesis) Energy conversion 	Energy forms & uses <ul style="list-style-type: none"> Energy forms & conversion Light Electricity Photosynthesis & respiration
Science & Technology			Science processes & applications <ul style="list-style-type: none"> Scientific inquiry Science and technology in society
Measurement			Making measurements <ul style="list-style-type: none"> Use of measuring instruments Physical quantities & units

2. 캐나다의 과학교육과정

캐나다(온타리오 주)에서는 과학적·기술적 소양을 갖춘 시민의 양성을 목표로 과학을 기술과 묶어 ‘과학과 기술’이라는 명칭으로 교육 과정을 제시하고 있으며, ‘과학과 기술’은 ‘생태계의 이해’, ‘구조와 기작의 이해’, ‘물질과 에너지의 이해’와 ‘지구와 우주계의 이해’라는 네 개의 대단원으로 구성되어 있다. 각 대단원 별로 학년에 따라 서로 다른 토픽을 다룬다(Table 2 참조). 교육과정에는 대단원 별, 학년 별로 제시된 토픽에서 목적으로 하는 본질적 개념(fundamental concept)과 Big idea들을 명시하고 있으며, 학생들이 알아야 할 과학과 기술 교과 내용은 전반적인 성취목표(overall expectations)와 구체적인 성취목표(specific expectations)로 나누어 제시하고 있다.

본질적 개념은 과학지식 및 기술 관련 지식의 습득을 위한 틀을 제공하는 핵심 아이디어로 학생들이 과학 및 기술 지식을 수학이나 사회 과학과 같은 다른 교과 지식과 통합할 수 있도록 하는 역할을 한다. 캐나다의 과학교육과정에서 제시하는 본질적 개념은 ‘물질(matter)’, ‘에너지(energy)’, ‘계와 상호작용(systems and interactions)’, ‘구조와 기능(structure and function)’, ‘지속가능성과 책무(sustainability and stewardship)’, ‘변화와 연속성(change and continuity)’의 여섯 가지이다. Big idea는 특정 사실이나 기술을 넘어서는 광범위한 개념, 원리, 과정으로(Wiggins & McTighe, 2005), 캐나다 교육과정에서는 ‘시간이 지난 후에도 지속적으로 유지되는 광범위하고 깊은 이해’라고 정의하고 있다. 예를 들어 3학년 ‘생태계의 이해’ 대단원을 살펴보면, ‘식물의 성장과 변화’라는 토픽을 다루며 이 토픽에 해당하는 본질적 개념 중의 하나는 ‘계와 상호작용’이다. ‘계와 상호작용’과 관련하여 두 가지의 Big idea(‘식물은 인간의 가장 기본적인 식량 공급원이다.’, ‘인간은 식물과 그 서식지를 보호해야 한다.’)가 제시되어 있다. 그리고 학생들이 도달해야 하는 전반적인 성취목표와 구체적인 성취목표가 제시된다. 전반적인 성취목표는 교과의 이수 종료 시점에 학생들이 성취해야 할 지식과 기능을 일반적 용어로 서술한 것이며 구체적인 성취목표는 이를 좀 더 세부적으로 서술한 것이다(MEST, 2009).

3. 미국의 과학교육내용표준

2013년 미국에서는 과학적 소양을 갖춘 시민의 양성을 목표로 과학

교육내용표준(NGSS, Next Generation Science Standards)을 발표하였다. NGSS에 앞서 NRC(2011)에서는 ‘과학과 공학의 실천(scientific and engineering practices)’, ‘학문 내 핵심개념(disciplinary core idea)’, ‘학문 간 교차개념(crosscutting concepts)’의 세 가지 차원을 중심으로 과학교육 틀(A Framework for K12 science education)을 제시하였다.

‘과학과 공학의 실천’은 기존의 탐구와 유사하지만 과학적 탐구에 지식과 기술이 동시에 융합되어야 함을 보다 강조하는 의미를 갖는다. ‘과학과 공학의 실천’에는 ‘의문을 제기하고, 문제를 정의하기’, ‘모델을 만들고 사용하기’, ‘탐구를 계획하고 수행하기’, ‘자료를 분석하고 해석하기’, ‘수학적·분석적 사고를 활용하기’, ‘설명을 구상하고 해결 방안을 디자인하기’, ‘증거를 바탕으로 논쟁하기’, ‘정보를 수집하고 평가하며 의사소통하기’가 포함된다.

‘학문 내 핵심개념’은 학문 내 영역, 즉 ‘물상과학’, ‘생명과학’, ‘지구와 우주과학’, ‘공학, 기술 및 응용과학’의 영역에서 알아야 하는 핵심개념들로 각 영역에서 제시하고 있는 핵심개념은 Table 3과 같다. 중학교에서는 모든 핵심개념을 다루고 있지만, K-5학년은 학년마다 핵심개념의 일부만을 다루고 있다. 핵심개념 PS2, PS3, LS1, ESS2, ESS3은 K에서, 핵심개념 PS4, LS1, LS3, ESS1은 1학년에, 핵심개념 PS1, LS2, LS4, ESS1, ESS2은 2학년에, 핵심개념 PS2, LS1, LS2, LS3, LS4, ESS2, ESS3은 3학년에, 핵심개념 PS3, PS4, LS1, ESS1, ESS2, ESS3은 4학년에, 핵심개념 PS1, PS2, PS3, LS1, LS2, ESS1, ESS2, ESS3은 5학년에 제시되어 있다.

‘학문 간 교차개념’은 ‘물상과학’, ‘생명과학’, ‘지구와 우주과학’, ‘공학, 기술 및 응용과학’의 영역에서 도출한 통합개념 및 공통주제(unifying concepts/common themes)로 학생들에게 서로 다른 학문 영역의 내용에 대한 연관성을 제시하여 학문 내 핵심 개념을 이해하고 이를 실생활에 응용하는데 도움을 준다. ‘패턴(patterns)’, ‘원인과 결과(cause and effect)’, ‘척도, 비율과 양(scale, proportion, and quantity)’, ‘계와 모델(systems and system models)’, ‘에너지와 물질(energy and matter)’, ‘구조와 기능(structure and function)’과 ‘안정성과 변화(stability and change)’라는 일곱 가지 학문 간 교차개념을 제시하였다.

NGSS에서는 학년 별로 다루는 각각의 핵심개념들에 대해 학생들이 도달해야 하는 성취목표들을 제시하고 있다. 또한 학년 별로 다루는 각각의 핵심개념들과 관련된 ‘과학과 공학의 실천’과 ‘학문 간 교차개념’을 제시하면서 이들이 성취목표와 어떻게 관련되어 있는지 명시하고 있다.

Table 2. The overview of the topics in Grade 1-8 science and technology in Canada

Grade	Understanding life systems	Understanding structure and mechanisms	Understanding matter and energy	Understanding earth and space systems
1	Needs and characteristics of living things	Materials, objects, and everyday structures	Energy in our lives	Daily and seasonal changes
2	Growth and changes in animals	Movement	Properties of liquids and solids	Air and water in the environment
3	Growth and changes in plants	Strong and stable structures	Forces causing movement	Solids in the environment
4	Habitats and communities	Pulleys and gears	Light and sound	Rocks and minerals
5	Human organ systems	Forces acting on structures and mechanisms	Properties of and changes in matter	Conservation of energy and resources
6	Biodiversity	Flight	Electricity and electrical devices	Space
7	Interactions in the environment	Form and function	Pure substances and mixtures	Heat in the environment
8	Cells	Systems in action	Fluids	Water systems

Table 3. The disciplinary core ideas of science in NGSS

Core ideas in different areas of science	
Physical science (PS)	PS1 Matter and its interactions
	PS2 Motion and stability: forces and interactions
	PS3 Energy
	PS4 Wave properties
Life science (LS)	LS1 From molecules to organisms: structures and processes
	LS2 Ecosystems: Interactions, Energy, and Dynamics
	LS3 Heredity: Inheritance and variation of traits
	LS4 Biological evolution: unity and diversity
Earth and space science (ESS)	ESS1 Earth's place in the universe
	ESS2 Earth's systems
	ESS3 Earth and human activity
Engineering, technology, & applications of science (ETS)	ETS1 Engineering design
	ETS2 Links among engineering, technology, science and society

III. 연구내용 및 방법

1. 연구 대상

외국의 교육과정에서 제시하고 있는 과학교육과정을 살펴보기 위하여 국가교육과정 정보센터(NCIC, National Curriculum Information Center)에서 제공하고 있는 교육과정 원문을 참고하였다. 교육과정 원문이 제시된 12개국 중 영문으로 나타나있지 않은 4개국을 제외한 8개국(미국, 호주, 뉴질랜드, 네덜란드, 영국, 핀란드, 싱가포르, 캐나다(온타리오 주))의 과학교육과정을 살펴보았다. 그 중 본 연구에서 분석하고자 하는 통합개념에 해당하는 내용을 담고 있는 싱가포르와 캐나다(온타리오 주)의 교육과정을 선정하였다. 또한 미국의 경우, 국가교육과정 정보센터에 제시되어 있는 캘리포니아 주의 교육과정 대신, 최근 발표된 과학교육내용표준을 선정하였으며, 과학교육내용표준의 구체적인 내용은 웹사이트(www.nextgenscience.org)를 참고하였다.

2. 분석준거 및 연구절차

싱가포르, 캐나다, 미국의 과학교육과정 문서에 제시된 성취목표에 포함된 내용 요소들을 TIMSS의 과학교육과정 분석틀을 준거로 분석하였다. 내용 요소는 성취목표에 포함되어 있는 학습 주제, 개념, 원리, 이론 등을 의미한다. TIMSS는 과학교육과 성취수준을 조사하는 일환으로 대규모의 국가 간 과학교육과정 분석연구를 실시하고 있으므로(National Board of Educational Evaluation, 1997) 특정 국가에서 제시하고 있는 교육과정 체계나 내용과 관계없이 객관적인 분석에 사용될 수 있다. TIMSS 문항을 분석하기 위해 개발된 분석틀은 1995년 틀에서 1999년, 2003년, 2007년, 2011년 시행을 거치며 범주와 하위영역의 분류 방식이 다소 달라지기도 하였으나 내용 요소는 변경되지 않았다(Cho *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2007a, 2007b). 따라서 본 연구에서는 1995년의 분석틀에서 제시하고 있는 코딩 방식을 활용하였고, 이를 <부록>에 제시하였다. 분석틀은 크게 8가지 범주(‘지구과학’, ‘생명과학’, ‘물상과학’, ‘과학, 기술과 수학’, ‘과학과 기술의 역사’, ‘환경과 자원에 관한 논쟁’, ‘과학의 본성’, ‘과학과 다른 교과’)에서 각 범주에 포함되는 내용 요소들을 하위영역과 하위요소로 위계적으로 제시하고 있다.

각국의 교육과정에 제시되어 있는 성취목표들을 분석하여 각각에 도달하기 위해 요구되는 과학 내용 요소들을 파악하고, 이들이 어떤 통합개념과 연관되어 있는지 살펴보기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳐 연구를 진행하였다. 싱가포르 교육과정에서는 ‘주제’, 캐나다 교육과정에서 ‘본질적 개념’, NGSS에서는 ‘학문 간 교차개념’을 통합개념으로 보았다. 주제, 본질적 개념이나 학문 간 교차개념은 특정 분야에 한정되지 않고 여러 학문의 기저가 될 수 있는 아이디어로 기존의 연구(Bang *et al.*, 2013; Duschl *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2006; Wiggins & McTighe, 2005)에서 제시된 통합개념과 유사한 의미를 가지기 때문이다.

싱가포르 교육과정은 ‘주제’ 중심으로 구성되어 있으며, 각 ‘주제’ 별로 각 학년군에서 도달해야 하는 성취목표들이 제시되어 있다. 따라서 통합개념(주제)별로 성취목표를 분석할 수 있었다. 캐나다 교육과정에서는 학년 별로 ‘생태계의 이해’, ‘구조와 기작의 이해’, ‘물질과 에너지의 이해’, ‘지구와 우주계의 이해’의 대단원에서 ‘본질적 개념’, ‘전반적인 성취목표’와 ‘구체적인 성취목표’들을 제시하고 있다. 따라서 각각의 ‘구체적인 성취목표’에 포함되어 있는 과학 내용이 분석틀의 어떤 하위요소에 속하는지 분석하고, 각 성취목표의 제시 의도가 어떤 본질적 개념의 목적에 부합하는지 살펴보았다. NGSS에서는 학년별로 ‘물상과학’, ‘생명과학’, ‘지구와 우주과학’, ‘공학, 기술 및 응용과학’의 영역에서 핵심내용과 성취목표를 제시하고 있는데, 성취목표에 포함되어 있는 과학 내용을 분석틀에 따라 분석하고, 핵심내용 별로 제시되어 있는 ‘학문 간 교차개념’이 어떤 성취목표와 관련되어 제시되었는지 살펴보았다. ‘공학, 기술 및 응용과학’ 영역에서는 본 연구에서 분석하고자 하는 과학 내용이 포함되어 있지 않기 때문에 분석 대상에서 제외하였다. 분석과정에서 분석결과의 신뢰도를 높이기 위하여 1차적으로 과학교육 전문가 3인이 분석틀을 활용하여 분석한 후, 그 결과를 서로 비교·검토하면서 연구자간의 의견 교환과 협의의 과정을 거쳐 최종 결론을 도출하였다.

IV. 연구결과 및 논의

1. 통합개념에 포함된 과학 내용 요소 비교

싱가포르와 캐나다의 교육과정 및 NGSS에 진술된 성취목표에 포

함되어 있는 과학 내용 요소들이 분석틀의 어느 영역에 해당하며, 이들이 어떤 통합개념과 관련이 있는지 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. 이때 한 문장으로 진술된 성취목표가 두 가지 이상의 과학 내용 요소들을 가질 경우에는 각 내용 요소들을 분리하여 분석하였다. 본 연구에서는 통합개념이 지구과학, 생명과학, 물상과학의 영역에서 어떤 내용 요소들을 포괄하고 있는지 살펴보았으므로 TIMSS 분석틀 중 이 세 가지 범주만을 Table 4에 제시하였다. Table 4의 x축은 TIMSS 분석틀의 세 가지 범주와 각 범주에 포함되어 있는 하위영역, 하위요소를 나타낸 것이다. 하위영역과 하위요소는 <부록>에 제시되어 있다. 분석틀에서 제시하는 내용 요소가 통합개념에 포함되어 있는 경우 ○로 표시하였다. 예를 들어 싱가포르 교육과정의 '다양성'이라는 통합개념에서 제시하는 성취목표에 해당하는 내용 요소는 TIMSS 분석틀의 II. 생명과학 영역 중 2.2.1(에너지 획득과 이용)과 2.3.1(생물의 생활사), III. 물상과학 영역 중 3.1.1(물질의 분류), 3.1.2(물질의 성질), 3.5.1(화학적 변화)이다.

싱가포르의 경우, 지구과학 영역에 해당하는 내용들이 다른 영역에 비해 매우 적으며, 통합개념 중 '계'에서만 지구과학 내용이 제시되고 있음을 볼 수 있다. 이는 싱가포르의 교과서에서는 지구과학과 관련하여 8학년까지 지구상의 물의 분포만을 다루고 있는 정도로 지구과학 관련 내용이 다른 영역에 비해 적다는 Ko(2011)의 분석 결과와도 일치한다. 여덟 가지의 통합개념들 중, '과학과 기술'과 '측정'에 해당하는 성취목표에는 지구과학, 생명과학 및 물상과학과 관련된 과학 내용 요소는 포함되어 있지 않았다. '과학과 기술'에는 분석틀의 IV. 과학, 기술과 수학 영역의 4.3.1(과학과 기술이 사회에 미치는 영향)과 VII. 과학의 본성의 7.1(과학적 지식의 본성)에 해당하는 내용 요소만이 포함되어 있었다. 또한 '측정'에도 분석 대상 영역에 해당하는 과학 내용 요소는 포함되어 있지 않았는데, '측정'에 속하는 목표는 교과목 내용 분석 범주가 아니라 구체적 행동이나 능력인 '기구, 일상적 과정, 과학적 탐구 과정을 사용함'과 '일상적인 실험 과정을 수행함'에 속하기 때문이다.

다른 통합개념들은 생명과학과 물상과학 영역의 내용 요소들을 다양하게 포함하고 있다. '다양성'에서는 생명과학에서 다루지는 생물, 무생물, 식물, 동물 등의 분류와 물상과학에서 제시되는 물질의 분류, 성질들이 함께 제시되어 있다. '순환'에서도 생명체에서의 순환과 물질, 에너지의 순환이 같이 제시되고 있다. '계'에서는 지구계, 생물계와 계에서의 열과 온도, 전기계와 관련된 내용이, '모형과 계'에서는 생물계에서의 기관, 조직, 생식, 진화, 유전 등을 '계'보다 심화하여 다루고 있으며 입자, 에너지 등의 내용을 제시하고 있다. '상호작용'에서는 생명과학에서 생태계에서의 생물의 서식지, 지위와 상호의존성, 물상과학에서 열, 온도, 화학변화, 힘과 역학 등의 내용이 포함된다. '에너지'에서는 생명과학에서 생명체의 에너지, 물상과학에서 다루는 에너지 및 전기, 물리적 변화에서의 에너지 등의 내용이 포함된다.

캐나다의 경우, '물질', '에너지', '지속성과 책무'를 제외한 다른 세 가지 통합개념에는 지구과학, 생명과학, 물상과학 영역에 속하는 내용 요소들이 동시에 포함되어 있었다. '물질'과 '에너지'는 '에너지'에서 생명체에서의 에너지 획득 관련 내용이 제시된 것 외에는 물상과학의 영역에 속하는 내용 요소들만으로 구성되어 있었다. 통합개념이 가지는 매우 추상적이며, 시간과 공간에 제한을 받지 않고 다양한

영역에 전이가능하다는 특성(Erickson, 2001; Wiggins & McTighe, 2005)에 비추어보면, '에너지'나 '물질'은 개념 자체는 추상적이지만 다른 통합개념들에 비해 다소 영역 제한적인 성격을 가지고 있기 때문에 물상과학에 해당하는 내용 요소들을 주로 포함하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 통합개념의 속성이 통합개념에 포괄될 수 있는 내용 요소들과 관련이 있음을 알 수 있다.

'지속성과 책무'에 생물의 다양성, 생태계, 생물의 상호의존성과 같이 생명과학과 관련된 내용들만이 제시되고 있는데, 이는 MEST(2009)에서 제시한 것처럼 환경문제력을 강조하는 캐나다 교육과정의 특성을 반영하고 있다고 볼 수 있다. '계와 상호작용', '변화와 연속성'에는 지구과학, 생명과학, 물상과학의 내용이 다양하게 포함되어 있었다. '구조와 기능'에도 세 영역의 내용이 모두 포함되어 있었지만 지구과학 영역은 1.1(지구의 생김새)에 해당하는 내용만 포함되어 있었다.

NGSS에서 제시하고 있는 대부분의 통합개념들은 모두 지구과학, 생명과학, 물상과학 영역의 내용 요소들을 다양하게 포함하고 있었다. 예외적으로 '구조와 기능'은 지구과학 영역의 내용을 전혀 포함하고 있지 않았고, '에너지와 물질'은 지구과학의 영역 중 1.2(지구의 변화)와 관련된 내용만을 포함하고 있었다. '구조와 기능'은 캐나다 교육과정에서도 제시되고 있는 통합개념인데, 캐나다 교육과정에서도 지구과학 영역에서는 1.1(지구의 생김새) 중 암석과 토양 관련 내용만이 포함되어 있다. '구조와 기능'에 포함되는 지구과학 관련 내용이 적은 이유는 해당 통합개념의 의미와 관계가 있다. 캐나다 교육과정과 NGSS에서 제시하고 있는 '구조와 기능'은 물체와 생물체를 포함한 특정 대상의 구조와 그 기능을 이해하는데 의미를 둔다. 따라서 Bang *et al.*(2013)에서 정의한 '구조'라는 통합개념의 의미처럼 구조와 기능의 관련성, 즉 특정 구조에 기인하여 특정 기능을 수행할 수 있거나 특정 기능을 수행하기 위한 특정 구조가 요구되는 내용들이 포함될 수 있다. 하지만 지구과학의 영역에서 다루는 '지구의 구조', '지구의 변화', '우주와 지구'는 대상의 구조와 관련된 기능에 해당하는 내용이 거의 없기 때문에 '구조와 기능'이라는 통합개념에 포함되지 않는 것으로 볼 수 있다. '에너지와 물질'에 해당되는 지구과학 내용이 적은 이유는 캐나다 교육과정의 '에너지'와 '물질'에 특정 영역의 내용 요소들만 주로 포함되어 있는 것과 같은 맥락에서 이해할 수 있다.

각 국에서 제시하고 있는 통합개념들 중, 특정 국가에서만 제시하고 있는 통합개념들이 있었다. 싱가포르의 '다양성', '순환', '과학과 기술', '측정', 캐나다의 '지속가능성과 책무', '변화와 연속성', NGSS의 '패턴', '원인과 결과', '척도, 비율과 양'이 이에 해당한다. 반면 세 나라의 교육과정에서 공통적으로 제시하고 있는 통합개념도 있었는데 '계'가 이에 해당한다. 싱가포르에서는 초등학교에서 '계'가 제시되고, 더욱 심화된 내용으로 중등학교에서 '모델과 계'를 제시하고 있다. 캐나다와 NGSS에서는 각각 '계와 상호작용', '계와 모델'을 제시한다. 이들은 모두 공통적으로 지구과학 영역의 대기, 생명과학 영역의 생물체(기관, 조직, 세포), 생태계(서식지와 생태적 지위, 생물의 상호의존성, 동물의 행동), 물상과학 영역의 물질의 구조(원자, 이온, 분자), 물리적 변화와 분자운동, 에너지, 열, 빛, 전기와 같은 하위요소들을 포함한다. 싱가포르와 NGSS를 비교해보면, NGSS의 '계와 모델'에서는 싱가포르와 달리 지구의 구성, 수권, 날씨와 기후, 태양계

와 같은 지구과학의 내용이 포함되어 있다. 싱가포르에서는 세포, 생식, 변이, 유전, 입자(원자, 이온, 분자), 분자운동론 등의 내용 요소가 ‘계’에 포함되어 있는 반면 NGSS에서는 생물 간의 상호작용, 힘과 운동의 내용 요소가 ‘계’에 포함되어 있었다. 싱가포르나 NGSS와는 달리 캐나다에서 제시한 ‘계’에는 생물과 무생물의 분류, 식물, 균류, 동물 등의 내용 요소가 포함되어 있었다.

각 국에서 공통적으로 제시하고 있는 지구과학, 생명과학, 물상과학 영역의 내용 요소들 중 유사한 한 두 가지의 통합개념에 포함되는 내용 요소도 있었으며, 서로 다른 여러 개의 통합개념에 포함되는 것들도 있었다. 1.1.4(대기)는 각 국의 한 가지 통합개념에서만 제시되고 있는 내용으로 싱가포르의 ‘계’, 캐나다의 ‘변화와 연속성’, NGSS의 ‘계와 모델’에 포함되어 있다. 싱가포르와 NGSS에서는 지구계의 일부로서 내용이 제시되어 있으며, 캐나다에서는 대기의 변화에 초점이 맞추어져 내용이 제시되어 있다. 2.1.4(기관과 조직)는 싱가포르의 ‘계’와 ‘모델과 계’, 캐나다의 ‘계와 상호작용’, ‘구조와 기능’, ‘지속가능성과 책무’, NGSS의 ‘계와 모델’, ‘구조와 기능’에 포함된 내용 요소이다. 공통적으로 ‘계’에 제시되어 있으며, 캐나다와 NGSS에서는 기관과 조직의 구조와 기능에 대한 내용이 추가적으로 제시되어 있었다. 또한 캐나다에서는 환경과 관련하여 ‘지속가능성과 책무’에 대한 내용도 제시되어 있었다.

반면 3.5.1(화학적 변화)이나 2.2.1(에너지 획득과 이용)은 다양한 통합개념에 포함되어 있었다. 3.5.1(화학적 변화)은 싱가포르의 ‘다양성’, ‘상호작용’, 캐나다의 ‘물질’, NGSS의 ‘패턴’, ‘원인과 결과’, ‘에너지와 물질’, ‘구조와 기능’에 포함되어 있다. 2.2.1(에너지 획득과 이용)은 싱가포르의 ‘다양성’, ‘순환’, ‘계’, ‘모델과 계’, ‘상호작용’, ‘에너지’, 캐나다의 ‘에너지’, ‘계와 상호작용’, ‘구조와 기능’, ‘지속가능성과 책무’, ‘변화와 연속성’, NGSS의 ‘패턴’, ‘원인과 결과’, ‘계와 모델’, ‘에너지와 물질’에 속해 있었다. 이는 특정 과학 내용들을 어떤 관점에서 해석하는지에 따라 적용 가능한 통합개념이 달라질 수 있음을 의미한다.

2. 통합개념의 학년 별 제시 빈도 비교

학년에 따라 주로 다루어지는 통합개념에 차이가 있는지 알아보기 위하여 각 학년의 성취목표에서 제시하는 과학 내용 요소들이 어떤 통합개념에 속하는지 분석하고, 학년 별로 제시되는 통합개념의 빈도를 분석하였다. 한 문장으로 진술된 기준에 두 가지 이상의 과학 내용 요소들이 포함된 경우에는 각 내용 요소들을 분리하여 빈도를 측정하였다.

또한 두 개 이상의 성취목표에서 진술된 과학 내용 요소들이 일치할 경우에도 그 내용 요소들이 언급된 빈도를 중복하여 측정하였다. 싱가포르의 과학교육과정에서 제시한 성취목표를 분석한 결과는 Table 5와 같다.

학년 군별로 제시된 통합개념의 빈도를 살펴볼 때, Lower primary에서 가장 많이 다루고 있는 통합개념은 ‘에너지’와 ‘다양성’으로 나타났다. ‘순환’, ‘계’, ‘상호작용’은 ‘에너지’나 ‘다양성’에 비해 상대적으로 많이 다루어지지 않았다. Upper primary에서 가장 많이 다루고 있는 통합개념은 ‘상호작용’이었으며, 뒤를 이어 ‘계’와 ‘순환’이 유사한 비중으로 다루어지고 있었다. Secondary에서 가장 많이 다루고 있는 주제는 ‘모델과 계’이고, 그 뒤를 이어 ‘상호작용’, ‘에너지’, ‘다양성’의 순으로 나타났다. 전반적으로 ‘상호작용’은 저학년보다는 고학년, ‘다양성’은 고학년보다는 상대적으로 저학년에 많이 다루어지고 있는 것으로 나타났다.

통합개념 별로 각 학년군에서 제시되는 과학 내용 요소의 빈도를 살펴보면 다음과 같다. ‘다양성’은 Lower primary와 Secondary에서만 제시되는 통합개념으로, Secondary의 성취목표에서 나타난 다양성 관련 과학 내용 요소의 제시 빈도율은 63.6%로 Lower primary의 36.4%보다 높았다. ‘순환’은 Lower primary와 Upper primary에서만 다루어지는 통합개념으로 낮은 학년군보다 높은 학년군에서 더 자주 과학 내용 요소들이 다루어지고 있음을 알 수 있다. ‘계’는 Lower primary와 Upper primary에서만 제시되고, ‘모델과 계’는 Secondary에서만 제시되는 통합개념이다. ‘계’와 ‘모델과 계’에서도 높은 학년군에서 더 많은 내용 요소들이 다루어지고 있었다. ‘상호작용’과 ‘에너지’는 모든 학년군에서 다루어지고 있는 통합개념이다. 학년군이 올라갈수록 더 많은 내용 요소들이 제시되었지만, ‘에너지’의 경우 예외적으로 Lower primary에서의 비율이 27.0%로 Upper primary의 18.9%보다 높게 나타났다. ‘과학과 기술’과 ‘측정’에서는 지구과학, 생명과학, 물상과학의 영역에 포함되는 과학 내용 요소가 제시되지 않았다.

캐나다의 과학교육과정에서 제시한 성취목표를 분석한 결과는 Table 6과 같다. 통합개념들 중, ‘구조와 기능’의 성취목표에 포함되는 내용 요소의 일부는 분석에서 제외하였다. 예를 들어 1학년에서 제시되어 있는 성취목표 중 하나인 ‘구조란 뼈대를 지지하는 것이다’와 같이 분석틀의 지구과학, 생명과학, 물상과학 범주에서 다루지 않는 내용이기 때문이다.

Table 5. Number of science contents involved in each theme at different school levels in Singapore science curriculum N(%)

Theme School level	Diversity	Cycles	Systems	Model & Systems	Interactions	Energy	Science & Technology	Measurement
Lower primary	8 (36.4)	3 (23.1)	3 (21.4)	0 (0.0)	2 (4.9)	10 (27.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Upper primary	0 (0.0)	10 (76.9)	11 (78.6)	0 (0.0)	13 (31.7)	7 (18.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
Secondary	14 (63.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	31 (100.0)	26 (63.4)	20 (54.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	22 (100.0)	13 (100.0)	14 (100.0)	31 (100.0)	41 (100.0)	37 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

Table 6. Number of science contents involved in each fundamental concept at different grades in Ontario science curriculum N(%)

Grade \ Concept	Matter	Energy	System and Interaction	Structure and Function	Sustainability and Stewardship	Change and Continuity
1	5 (16.1)	5 (12.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	8 (61.5)	6 (31.6)
2	4 (12.9)	7 (18.0)	0 (0.0)	2 (9.1)	0 (0.0)	7 (36.8)
3	1 (3.2)	2 (5.1)	9 (14.5)	1 (4.6)	1 (7.7)	3 (15.8)
4	0 (0.0)	8 (20.5)	14 (22.6)	3 (13.6)	1 (7.7)	1 (5.3)
5	8 (25.8)	5 (12.8)	2 (3.2)	6 (27.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
6	2 (6.5)	4 (10.3)	13 (21.0)	6 (27.3)	1 (7.7)	0 (0.0)
7	8 (25.8)	8 (20.5)	11 (17.7)	0 (0.0)	2 (15.4)	0 (0.0)
8	3 (9.7)	0 (0.0)	13 (21.0)	4 (18.2)	0 (0.0)	2 (10.5)
Total	31 (100.0)	39 (100.0)	62 (100.0)	22 (100.0)	13 (100.0)	19 (100.0)

‘물질’에 포함된 내용 요소 중 5학년과 7학년에서 제시되는 부분이 1~8학년에서 다루는 전체의 50% 이상으로 높은 비율을 차지하고 있었지만, 4학년을 제외한 모든 학년에서 제시되고 있다. ‘에너지’는 8학년을 제외한 모든 학년에서 제시되는 내용 요소로 4학년과 7학년에서 제시되는 비율이 각각 20.5%로 다른 학년보다 높았다.

‘계와 상호작용’, ‘구조와 기능’, ‘지속가능성과 책무’, ‘변화와 연속성’에서는 학년에 따라 제시되는 과학 내용 요소의 비율에 차이가 있었다. 먼저 ‘계와 상호작용’은 1, 2학년에서는 전혀 제시되지 않았다. 하지만 5학년을 제외한 다른 학년에서 비교적 고르게 제시되고 있었다. ‘구조와 기능’은 1학년과 7학년에서는 제시되지 않았지만, 저학년보다 고학년에서 더 많이 제시되고 있음을 알 수 있었다. ‘지속가능성과 책무’는 주로 저학년에서 다루고 있는데, 이는 ‘지속가능성과 책무’는 지식 목표 영역에서 다루고 있지 않기 때문이라고 여겨진다. 본 연구에서는 지식 영역에 해당하는 목표를 중심으로 분석하였기 때문에 해당 주제를 다루는 영역이 태도 영역인 경우에는 분석에 포함되지 않아 비율이 낮거나 나타나지 않은 것으로 해석된다. 마지막으로 ‘변화와 연속성’은 5~7학년에서 전혀 제시되지 않았다. ‘계와 상호작용’이나 ‘구조와 기능’과는 달리 고학년에서는 많이 다루어지지 않고 주로 1~4학년에서 많이 제시되고 있음을 알 수 있었다. 예외적으로 8학년에서는 전체 내용 요소의 10.5%가 제시되어 있었다.

NGSS에서 제시한 성취목표에 포함되어 있는 과학 내용 요소들을 통합개념 별로 분석한 결과는 Table 7과 같다. NGSS에서 제시한 통합개념들 중, ‘패턴’은 K~5까지의 성취목표에 포함된 비율이 전체의 62.5%로 저학년에서 상대적으로 많이 다루어지고 있었다. 반면 ‘에너지와 물질’, ‘구조와 기능’, ‘안정성과 변화’는 중학교에서 다루지는 비율이 75%이상으로 고학년에서 많이 다루어지고 있음을 알 수 있었다. ‘원인과 결과’, ‘척도, 비율과 양’, ‘계와 모델’에서는 K-5와 중학교에서 다루는 내용이 대략 절반 정도로 유사함을 알 수 있었다.

V. 결론 및 제언

‘주제’, ‘본질적 개념’과 ‘학문 간 교차개념’과 같은 통합개념을 제시하고 있는 싱가포르와 캐나다(온타리오)의 교육과정, 미국의 과학 교육내용표준을 분석해 본 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내었다.

첫째, 각 국에서 제시하고 있는 통합개념은 그 나라 교육과정의 특성을 반영한다. 싱가포르의 경우 본 연구에서 분석한 학년군에 포함되어 있는 지구과학 내용이 매우 적었기 때문에 거의 모든 통합개념에 지구과학 내용이 포함되어 있지 않았다. 캐나다의 경우 환경문해력을 강조하는 교육과정의 목표를 위해 ‘지속가능성과 책무’라는 고유의 통합개념을 제시하고 있었다. 또한 각 국에서 공통적으로 제시하고 있는 ‘계’라는 통합개념에서도 공통적인 내용 요소들 외에 각 국가마다 다른 내용 요소들이 포함되어 있었다. 이것으로 보아 각 국에서 추구하는 교육목표에 따라 다양한 통합개념이 제시될 수 있음을 알 수 있었다.

둘째, 통합개념의 특성에 따라 통합개념에 포함되는 내용 요소들은 달라질 수 있다. ‘물질’, ‘에너지’나 ‘물질과 에너지’와 같은 통합개념은 다른 통합개념들에 비해 상대적으로 다루는 영역이 한정적이다. 따라서 여러 영역의 내용 요소들을 포함하고 있지 않았다. ‘구조와 기능’은 그 의미가 어떤 대상의 구조와 그에 따른 기능이기 때문에 다른 통합개념들에 비해 생명과학의 내용 요소들이 많이 포함되어 있었다. 반면 ‘계와 상호작용’, ‘패턴’, ‘원인과 결과’와 같은 통합개념들은 다양한 영역의 내용 요소들을 포함하고 있었다. 따라서 국가별로 성취하고자 하는 교육과정의 목적에 따라 같은 통합개념에도 서로 다른 내용 요소들이 포함될 수 있음을 알 수 있었다.

셋째, 학년 별로 제시되는 통합개념에는 차이가 있음을 알 수 있었다. 학년 별로 제시되는 내용 요소들이 어떤 통합개념에 속하는지 분석하여 학년 별로 제시되는 통합개념의 빈도를 파악할 수 있었다.

Table 7. Number of science contents involved in each crosscutting concept at different grades in NGSS

N(%)

Grade	Concept	Pattern	Cause and Effect	Scale, proportion and quantity	Systems and system models	Energy and Matter	Structure and Function	Stability and change
K		3 (7.5)	7 (13.7)	0 (0.0)	3 (13.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	1	5 (12.5)	3 (5.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (14.3)	2 (14.3)	0 (0.0)
2		4 (10.0)	3 (5.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (7.1)	1 (7.1)	2 (25.0)
	3	7 (17.5)	8 (15.7)	2 (10.5)	2 (9.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
4		5 (12.5)	3 (5.9)	0 (0.0)	2 (9.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	5	1 (2.5)	2 (3.9)	6 (31.6)	5 (22.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Middle school	PS	5 (12.5)	9 (17.7)	6 (31.6)	2 (9.1)	8 (57.2)	8 (57.2)	2 (25.2)
	LS	5 (12.5)	14 (27.4)	1 (5.3)	1 (4.6)	3 (21.4)	3 (21.4)	3 (37.5)
	ESS	5 (12.5)	2 (3.9)	4 (21.0)	7 (31.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (12.5)
Total		40 (100.0)	51 (100.0)	19 (100.0)	22 (100.0)	14 (100.0)	14 (100.0)	8 (100.0)

그 결과 모든 학년에 고르게 제시되어 있는 통합개념들도 있는 반면 특정 학년에 주로 제시되어 있는 통합개념들도 있음을 알 수 있었다. 이는 통합개념을 제시하는 학년을 결정하는 데에 인지 수준뿐만 아니라 교과 내용의 통합적인 이해도 고려해야 함을 의미한다고 할 수 있다.

본 연구를 바탕으로 통합과학 교육과정 설계에 통합개념을 적용하고자 할 때 고려해야 할 점을 제안하면 다음과 같다. 첫째, 각 나라별로 제시하고 있는 통합개념은 여덟 가지(싱가포르), 여섯 가지(캐나다), 일곱 가지(미국)였다. 그 중 싱가포르에서 제시한 ‘과학과 기술’과 ‘측정’은 과학의 지식 영역보다는 과학의 본성이나 탐구와 보다 관련이 있다고 볼 수 있기 때문에 지식 영역을 포괄하는 ‘주제’는 여섯 가지로 볼 수 있다. 따라서 통합과학 교육과정을 설계할 때 고려해 볼 수 있는 통합개념의 수는 지나치게 많거나 적지 않아야 할 것으로 생각된다.

둘째, 통합개념은 지구과학, 생명과학, 물상과학의 각 영역에 해당하는 개념을 통합할 수 있을만한 의미와 깊이를 가질 수 있어야 한다. 대체적으로 싱가포르에서 제시하는 통합개념들은 생명과학과 물상과학 영역의 요소들을 포함하고 있었다. 캐나다에서 제시하고 있는 통합개념들 중 일부는 주로 생명과학이나 물상과학의 한 영역에 포함되는 내용만을 포함하고 있었다. 하지만 캐나다 교육과정에 제시되어 있는 ‘계와 상호작용’과 ‘구조와 기능’은 지구과학, 생명과학, 물상과학의 영역을 모두 포함하고 있었다. NGSS에서 제시하고 있는 통합개념들은 모두 물상과학, 생명과학, 지구과학의 영역을 포함하고 있었다. 따라서 통합개념을 중심으로 교육과정을 설계한다면, 통합개념이 의미하는 바를 명확히 규정하고 해당 통합개념에 어떤 분과적인 내용 요소들이 포함될 수 있는지 신중하게 검토하면서 통합개념을 선정하는 과정이 필요하다.

셋째, 통합개념을 중심으로 한 교육과정을 개발하는 과정에서 각각

의 통합개념에 포함되는 내용 요소들의 수준을 고려할 필요가 있다. 싱가포르와 캐나다의 교육과정 및 미국의 NGSS 분석 결과를 보면 통합개념들이 모든 학년에서 고르게 제시되는 경우도 있었고, 저학년이나 고학년 또는 특정 학년에서 주로 다루는 경우도 있었다. 따라서 모든 통합개념이 모든 학년에서 고르게 다루어지는 것이 바람직하지, 또는 특정 통합개념이 특정 학년에서 집중적으로 다루어지는 것이 필요한지 등을 숙고해보고, 이를 고려하여 통합개념에 포함되는 내용 요소들을 선정하여 조직하는 것이 필요하다.

통합개념을 중심으로 한 외국 교육과정의 분석 결과는 통합개념을 활용하여 통합형 과학교육과정을 개발하는데 있어 여러 가지 가능성이 있음을 시사한다. 현재 2009 개정 교육과정의 초등학교와 중학교 과학은 ‘물질과 에너지’, ‘지구와 생명’으로 구성되어 있다. 그리고 고등학교 과학은 융합을 목표로 물리, 화학, 생물, 지구과학의 분과적인 과학 교육의 틀에서 벗어나 ‘우주와 생명’, ‘과학과 문명’이라는 주제로 기존 교육과정의 내용뿐만 아니라 새로운 개념들, 특히 현대 과학과 관련된 내용들이 추가되어 있다. 초·중등학교 교육과정에서 ‘물질과 에너지’, ‘지구와 생명’으로 제시되어 있는 내용 요소들을 몇 가지의 통합개념들로 재구성하여 이를 중심으로 교육과정을 개발할 수도 있을 것이다. 또한 ‘물질과 에너지’, ‘지구와 생명’이라는 영역을 유지하면서 단원별로 해당 내용 요소들이 어떤 통합개념과 관련될 수 있는지를 제시하는 방법도 가능할 것으로 생각된다.

국문 요약

본 연구에서는 싱가포르 과학교육과정의 주제(theme)와 캐나다 온타리오 주의 과학과 기술 교육과정에 제시되어 있는 본질적 개념(fundamental concepts), 미국의 과학교육내용표준(NGSS, Next

Generation Science Standards)에 제시되어 있는 학문 간 교차개념(crosscutting concepts)을 살펴보고, 통합개념과 관련된 각 국의 성취목표에 어떤 과학 내용 요소들이 포함되어 있으며, 학년 별로 어떻게 구성되어 있는지 분석하였다. 분석 결과, 각 국에서 제시하고 있는 통합개념은 그 나라 교육과정의 특성을 반영하며, 통합개념의 특성에 따라 통합개념에 포함되는 과학 내용 요소들은 달라질 수 있다는 것과 학년 별로 제시되는 통합개념에는 차이가 있음을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 통합개념을 중심으로 통합교육과정을 설계할 때 고려해야 하는 몇 가지 사항을 다음과 같이 제안할 수 있다. 주요 과학 내용을 포함해야 하는 통합개념의 수는 적절하게 선정되어야 하며, 통합개념이 의미하는 바를 명확히 규정하고 해당 통합개념에 어떤 분과적인 내용 요소들이 포함될 수 있는지 신중하게 검토하면서 통합개념을 선정하는 과정이 필요하다. 또한 모든 통합개념이 모든 학년에서 고르게 다루어지는 것이 바람직한지, 또는 특정 통합개념이 특정 학년에서 집중적으로 다루어지는 것이 필요한지 등을 숙고하여 내용을 선정하고 조직하는 것이 필요하다.

주제어: 통합교육과정, 싱가포르 교육과정, 캐나다 온타리오 주 교육과정, NGSS, 통합개념

References

- Bang, D., Park, E., Yoon, H., Kim, J., Lee, Y., Park, J., Song, J., Dong, H., Shim, B., Lim, H., & Lee, H. (2013). The design of curricular framework for integrated science education based on big ideas. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(5), 1041-1054.
- Basista, B., & Mathews, S. (2002). Integrated science and mathematics professional development program. *School Science and Mathematics*, 102(7), 359-370.
- Cervetti, G. N., Barber, J., Dorph, R., Pearson, P. D., & Goldschmidt, P. G. (2012). The impact of an integrated approach to science and literacy in elementary school classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(5), 631-658.
- Cho, J., Kim, S., Lee, S., Kim, M., Ok, H., Rim, H., Park, Y., Lee, M., Han, H., & Son, S. (2011). The trends in international mathematics and science study (TIMSS 2011) : A technical report of the main survey in Korea. Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Cho, H., Kim, H., Yoon, H., & Lee, K. (2012). The theory and practice of science education. Paju: Kyoyookbook.
- Choi, M., H., & Choi, B. S. (1999). Content organization of middle school integrated science focusing on the integrated theme. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 19(2), 204-216.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8(Eds.). Washington, DC: National Academies Press.
- Erickson, H. L. (2001). *Stirring the head, heart, and soul: Refining curriculum and instruction* (2nd Ed.). Thousand Oaks, CA: Corwin.
- Hurd, P. D. (1991). Why we must transform science education. *Educational Leadership*, 49(2), 33-35.
- Kang, H., Kim, E., Noh, S., Park, H., Son, J., & Lee, H. (2007). Integrated science education. Paju: Korean Studies Information.
- Kim, K. H., Kwon, S. I., Kim, S. H., Kim, J. Y., & Jin, Y. W. (2007a). The quality of the 8th grade students' achievement in Korea: Findings from the trends in international mathematics and science study of Korea(TIMSS 2003). Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Kim, K. H., Kwon, S. I., Kim, S. H., Kim, J. Y., & Jin, Y. W. (2007b). The Trends in international mathematics and science study(TIMSS 2007): A technical report of the main survey in Korea. Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Kim, K. J. (2010). A study for the meaning of integrated curriculum used in the national curriculum in Korea and exploration of reform directions. *The Journal of Elementary Education*, 23(2), 121-151.
- Kim, K. J., & On, J. D. (2011). *Understanding by Design (Transfer of learning understanding creativity)*. Seoul: Kyoyook academy
- Ko, Y. M. (2011). A comparative study of Korea and Singapore elementary science textbooks according to TIMSS. Masters thesis, Seoul National University of Education.
- Lee, J. W. (1991). Reinterpretation of knowledge integration by applying the structure of knowledge. *The Journal of Curriculum Studies*, 10(3), 33-45.
- Lee, J. M. (2005). Framework for future converging technologies and cognitive science. *Science, philosophy and culture*, 50, 22-42.
- Lee, K., & Choi, Y. (2009). *Effective operation of the integrated curriculum*. Seoul: Hakjisa.
- Lee, J., Kim, Y. J., Paik, S. H., & Lee, K. Y. (2010). An analysis of content-related issues of curriculum for the contents in science education. *Journal of Science Education*, 34(1), 140-154.
- Maeng, H. (2010). Understanding and practice of science integrated curriculum. *Proceedings of the Korean Society for the Study of Curriculum Integration Conference*. 7, 1-30.
- Mason, T. C. (1996). Integrated curricula: Potential and problems. *Journal of Teacher Education*, 47(4), 263-270.
- Ministry of Education, Science and Technology (2009). *Curriculum and operational practices from around the world(IV) Canada*. Busan Metropolitan City Office of Education.
- Ministry of Education, Science and Technology (2011). *Science curriculum in 2009 national curriculum reform*. MEST Notice No. 2011-361.
- National Board of Educational Evaluation (1997). *Science curriculum international comparative study: A Cross-national investigation of curricular intentions in school science*, TIMSS Report. Seoul: National Board of Educational Evaluation.
- National Research Council. (2011). *A Framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Plummer, J. D., & Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth-based perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 768-787.
- Rennie, L. J., Venville, G., & Wallace, J. (2011). Learning science in an integrated classroom: Finding balance through theoretical triangulation. *Journal of Curriculum Studies*, 43(2), 139-162.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajicki, J. (2006). Implication of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. *Focus Article. Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 14, 1-98.
- Son, Y. (2009). Understanding and practice of science integrated curriculum. *Proceedings of the Korean Society for the Study of Curriculum Integration Conference*, 4, 43-77.
- Stoddart, T., Pinal, A., Latzke, M., & Canaday, D. (2002). Integrating inquiry science and language development for English language learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8), 664-687.
- Taba, H. (1962). *Curriculum Development: Theory and Practice*, Harcourt Brace Jovanovitch, New York.
- Walker, D. (1990). *Fundamentals of Curriculum*. Harcourt Brace Jovanovich, San Diego, CA.
- Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design(Expanded 2nd Ed.)*. Alexandria, VA: ASCD.

<부록> 과학교육과정 분석틀

범주	하위영역	하위요소	범주	하위영역	하위요소	
I. 지구과학	1.1 지구의 생김새	1.1.1 구성 1.1.2 지형 1.1.3 수권 1.1.4 대기 1.1.5 암석과 토양 1.1.6 방하		3.3 에너지와 물리적 과정	3.3.1 에너지의 종류, 원천, 전환 3.3.2 열과 온도 3.3.3 파동 현상 3.3.4 소리와 진동 3.3.5 빛 3.3.6 전기 3.3.7 자기	
	1.2 지구의 변화	1.2.1 날씨와 기후 1.2.2 물리적인 순환 1.2.3 형성과 파괴 1.2.4 지구의 역사			3.4 물리적 변형	3.4.1 물리적 변화 3.4.2 물리적 변화에 대한 설명 3.4.3 분자운동론 3.4.4 양자이론과 기본입자
	1.3 우주 속의 지구	1.3.1 태양계 내의 지구 1.3.2 태양계의 행성들 1.3.3 태양계를 넘어서 1.3.4 우주의 진화				3.5.1 화학적 변화 3.5.2 화학적 변화의 설명 3.5.3 반응속도와 평형 3.5.4 화학적 변화와 에너지 3.5.5 유기적 변화와 생화학 변화 3.5.6 핵화학 3.5.7 전기화학
II. 생명과학	2.1 생물의 다양성, 기관, 구조	2.1.0 생물과 무생물의 분류, 분류의 필요성 2.1.1 식물, 균류 2.1.2 동물 2.1.3 그 외의 생물 2.1.4 기관, 조직 2.1.5 세포		3.5 화학적 변형	3.6.1 힘의 종류 3.6.2 시간, 공간과 운동 3.6.3 운동역학 3.6.4 상대성 이론 3.6.5 유체의 성질	
	2.2 생명 활동의 과정과 계	2.2.1 에너지 획득과 이용 2.2.2 감각과 반응 2.2.3 세포 내의 생화학적 과정			3.6 힘과 운동	3.6.1 힘의 종류 3.6.2 시간, 공간과 운동 3.6.3 운동역학 3.6.4 상대성 이론 3.6.5 유체의 성질
	2.3 생명의 연속성과 다양성	2.3.1 생물의 생활사 2.3.2 생식 2.3.3 변이와 유전 2.3.4 진화, 종의 분화, 다양성 2.3.5 유전의 생화학적 측면				4.1 기술의 본성 또는 개념화 4.2 과학, 수학, 기술의 상호작용 4.3 과학, 기술, 사회의 상호작용
	2.4 생물 간의 상호 작용	2.4.1 생물권과 생태계 2.4.2 서식지와 생태적 지위 2.4.3 생물의 상호의존성 2.4.4 동물의 행동			4.2.1 수학과 기술이 과학에 미치는 영향 4.2.2 과학을 수학과 기술에 응용하기 4.3.1 과학과 기술이 사회에 미치는 영향 4.3.2 사회가 과학과 기술에 미치는 영향	
	2.5 인체와 건강	2.5.1 영양 2.5.2 질병			V. 과학과 기술의 역사	
III. 물상과학	3.1 물질	3.1.1 물질의 분류 3.1.2 물질의 성질 3.1.3 화학적 성질	VI. 환경과 자원에 관한 논쟁	6.1 오염 6.2 토양, 물자원에 대한 보호 6.3 광물과 에너지 자원의 보호 6.4 세계인구 6.5 식량 생산, 저장 6.6 자연재해 영향		
	3.2 물질의 구조	3.2.1 원자, 이온, 분자 3.2.2 고분자, 결정 3.2.3 아원자 입자	VII. 과학의 본성	7.1 과학적 지식의 본성 7.2 과학적 모험심		
			VIII. 과학과 다른 교과	8.1 과학과 수학 8.2 과학과 다른 학문		