



과학과 교육과정의 연계성 국제 비교: 광합성 개념 중심으로

이효녕, 여채영*
경북대학교

International Comparison Study on the Articulation of the Science Curriculum: Focus on the Concept of Photosynthesis

Hyonyong Lee, Chaeyeong Yeo*
Kyungpook National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 July 2015
Received in revised form
1 September 2015
30 September 2015
Accepted 6 October 2015

Keywords:

science curriculum,
quality curriculum,
articulation,
horizontal articulation,
vertical articulation,
international comparisons,
learning progression,
photosynthesis

ABSTRACT

The Korean education curriculum is making efforts to improve education to foster competencies that the future society demands through the 2007 and 2009 revised curriculum. The revised curricula focus on enhanced articulation for the quality curriculum. In this study, the curriculum is analyzed for vertical and horizontal articulation. In addition, the study found a problem in Korea's curriculum through international comparison and sought improvement. Furthermore, the study compared internationally articulation of the concept of photosynthesis, of which the results are as follows. First, our science curriculum focuses on vertical articulation and has relatively neglected the problem of horizontal articulation. To compensate for this problem, curriculum design should introduce aspects of 'nature' and 'environment' and should consider the interests and concerns of students, as countries with high horizontal articulation do. Second, the actual education field has a problem with the a lack of continuity and sequence because of concentration of concept in a specific grade or simply repeating the concept across multiple grades. These results have led to alternative proposals that should arrange basis of concept configuration such as 'Big Idea' and should establish the adoption of 'systems' frequently appearing in the other curricula. Finally, there may be mentioned a lack of research on students' learning progression, which can be a common standard of horizontal and vertical articulation. Research on learning progression has been a trend overseas, but there exists no study to fit Korea's situation, so education fields need to conduct the appropriate research on learning progression as part of the commitment to high-quality curriculum.

1. 서론

우리나라의 교육과정은 국가 수준의 공통성과 지역, 학교, 개인 수준의 다양성을 동시에 추구하기 위해 초·중등교육법 제23조 제2항에 의거하여 초·중등학교의 교육 목적과 교육 목표를 달성하기 위한 공통적이고 일반적인 기준을 고시한다(Ministry of Education and Science Technology, 2009). 이러한 기준은 국가 수준에서 학교 교육과정의 교육 목표, 교육 내용 및 방법, 운영과 평가 등에 관한 지침을 포함한다. 예를 들어, 최근 우리나라의 2007 개정과 2009 개정 교육과정은 미래 사회가 요구하는 인재 양성과 학생들의 핵심 역량의 함양에 초점을 두고 교육 목표, 내용, 방법 등을 개선하고 있다(Ministry of Education and Human Resources Development, 2007). 특히 2009 개정 과학과 교육과정은 질 높은 교육과정(quality curriculum)을 위해 연계성(articulation) 강화에 초점을 두고 지식 영역(물리, 화학, 생명과학, 지구과학)의 내용 구성을 하였다(MEST 2009). 하지만 이러한 교육과정의 개선 노력에도 불구하고 우리나라의 교육과정은 연계성과 통합

성이 부족하다는 문제점이 제기되어 교육 내용 재구조화가 제안되었다(Bang *et al.*, 2013; Lee, 2013; Lee *et al.*, 2014). 현재 교육과정은 교과마다 분화되는 시기에 차이가 있고, 교과목 내에서 내용 간 연계가 고려되지 않은 채 전통적인 관례에 따라 배열되어 있다는 문제를 가진다. 또한 교과의 단원 구성 방식 및 제시 순서 등도 연계성의 측면보다 과학과 교육과정에 참여한 개발진의 교수 활동 경험이나 역량 및 의도 등이 반영되어 개발되었다(Lee *et al.*, 2010; Paik, 2006). 교육과정 개발에서 질 높은 교육과정 기준으로서의 연계성은 학습자에 맞는 교과목 편제와 내용 조직의 개선을 위해 국가나 학교 수준을 막론하고 고려해야 할 요소이다(Kim *et al.*, 2013).

2007 개정 교육과정 개발 시 총론에서 제시한 교과의 검토 기준을 타당성, 적정성, 연계성, 실효성, 일관성, 명료성으로 명시하였다. 그 중 연계성은 '학교급 간 및 학년 간, 교과 내용 영역 간 및 단원 간의 수평적(범위) 및 수직적(계열) 연속성과 위계성을 체계적으로 제시한 정도'로 정의되었다(MEHRD, 2007). Tyler(1949)의 교육 조직 원리, Bruner(1960)의 나선형 교육과정, Gagne(1970)의 학습 위계(learning

* 교신저자 : 여채영 (purecucu@hanmail.net)

** 본 논문은 Kim *et al.*(2013)의 2013년도 한국교육과정평가원 연구 보고서의 데이터를 활용하여 재구성하였다.

*** 본 논문은 한국교육과정평가원의 지원으로 수행되었으며, 경북대학교 과학교육연구소의 일부 지원을 받아 수행된 연구임.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.5.0805>

hierarchy)에 의하면 교육은 학생의 발달 단계에 따라 쉬운 것에서 어려운 것으로, 단순하고 구체적인 것에서 복잡하고 추상적인 것으로 더 폭넓고 깊이 있게 교육 내용을 반복하여 제시함으로써 학생의 발전을 가능하게 하는 것이다. 특히, Tyler(1949)가 제시한 교육과정 내용 조직의 3가지 기본 원리는 계속성(continuity), 계열성(sequence), 통합성(integration)이다. 학년(군)/학교급 간 반복 및 지속되는 교육 내용의 계속성과 교과(영역)의 학년(군)/학년 급간의 계열성은 종적인 연계성이라 할 수 있으며, 교과 및 영역 간 교육 내용의 관련성, 수준, 범위로서 통합성은 횡적 연계성이라 할 수 있다. 즉, Tyler가 주장한 교육과정 내용 조직의 기본 원리는 모두 연계성에 관한 것이며, 질 높은 교육과정을 위해 연계성이 강화된 교육과정 개발의 노력이 중요하다는 것을 확인할 수 있다.

미국, 영국, 호주, 뉴질랜드, 싱가포르, 캐나다 등과 같은 선진국의 경우 주정부 또는 국가 수준 교육과정을 제시한다(Lee *et al.* 2014; Lee *et al.* 2015; Kwak *et al.*, 2014). 그 중 미국은 AAAS(2001, 2007)에서 『Atlas of Science Literacy Volume I, Volume II』의 발간을 통해 핵심 개념의 위계와 교육 순서를 제시하였다. 그리고 National Research Council(2012)에서 과학의 교육과정, 교육활동, 학습 평가의 일관성을 위해 제시한 과학교육 틀(A Framework for K-12 science education)에 이어, 2013년에 차세대 과학기준(NGSS: Next Generation Science Standards)을 발표하였다(NRC, 2013). 이러한 미국의 교육과정 개정 방향과 일치하는 최근 해외 연구의 동향을 분석하면 과학의 핵심 개념(Disciplinary Core Idea)에 대한 학생들의 학습발달과정(Learning progressions)을 개발하는 연구가 증가하고 있다. 물리 분야에서 Alonzo & Steedle (2009)에 의해 ‘힘과 운동’, Lee & Liu (2009)에 의해 ‘에너지’ 등의 핵심 개념 관련 학습발달과정 연구가 있으며 화학 분야에서 Stevens, Delgado, & Krajcik (2010)에 의해 ‘물질’, Smith *et al.*(2011)에 의해 ‘원자/분자 이론’ 등의 핵심 개념 관련 학습발달과정 연구가 진행되었다. 그리고 생명과학, 지구과학, 환경 과학 분야뿐만 아니라(Duncan *et al.*, 2009; Furtak, 2012; Songer, Kelcey, & Gotwals, 2009; Plummer & Krajcik, 2010; Gunckel *et al.*, 2012; Mohan, Chen, & Anderson, 2009), 과학의 일반 영역에서도 Berland & McNeill (2010)에 의해 ‘논증활동’, Briggs & Alonzo (2012)에 의해 ‘심리모델링’, Wilson (2009)에 의해 ‘BEAR 평가 시스템’ 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. National Research Council (NRC)의 Knowing What Students Know(NRC, 2001), Systems for State Science Assessments(NRC, 2006)와 Taking Science to School(NRC, 2007)에서 학습발달과정은 교육과정 개발에 주요 권고 사항 중 하나임을 밝힌바 있다. NRC(2007)는 학습발달과정을 ‘학생들이 오랜 시간에 걸쳐 학습하는 동안 이해의 과정이 연속적으로 더 정교해지는 것’으로 규명하였다. 이러한 정의는 시간이 지남에 따라 구축되어 가는 핵심 개념을 학습하는 체계적인 순서 확립의 중요성, 즉 교육과정의 연계성의 가치를 시사한다. 복잡한 개념적 이해과정을 파악하여 학생들을 지원할 수 있도록 시간이 지남에 따라 일관성 있는 교육과정의 경험을 제공해야 한다(Stevens, Delgado, & Krajcik, 2010). 개념적으로 일관되고 경험적으로 검증된 학습발달과정은 학생들의 변화를 가능하게 하는 교육 자료와 교육과정을 개발하기 위한 결정적인 도구가 된다(Mohan, Chen, & Anderson, 2009). 이러한 과학 핵심 개념에 대한 학생들의 이해 수준 및 발달 과정을 인지적 측면의

연계성으로 밝히는 연구가 미국 이외에도 영국, 독일, 스위스 등에서 증가하고 있다.

국내에는 과학과 교육과정을 구성하는 과정에서 횡적 및 종적 연계성을 결정하는 준거에 대한 연구가 부족하다. 또한 국외에도 과학과 교육과정의 분석틀로 학습 주제, 개념, 원리, 이론 등의 내용 요소를 중심으로 과학 성취도의 동향을 측정할 수 있는 IES의 TIMSS(Trends in International Mathematics and Science Study)가 있지만, 검증된 교육과정 연계성 기준과 세부 지표가 없다. 그래서 한국교육과정평가원에서 과학과 교육과정의 분석을 위해 「초·중등학교 교육과정 연계성에 대한 국제 비교」 연구 과제에서 수행한 연계성 분석틀을 일부 수정하여 우리나라 과학과 교육과정의 연계성 확인 및 과학과 교육과정의 국제 비교를 통해 교육과정 연계성 강화 근거를 도출하였다. 국제 비교의 대상국은 과학 교육의 성취 수준이 높고 체계적인 교육과정을 갖춘 국가들 가운데 유럽, 미주, 아시아에서 각 2개국을 선정하였다. 선정된 국가는 영국, 캐나다, 미국, 핀란드, 싱가포르, 대만이며, 이들 국가에서 공통적으로 다루어지고 있는 생명과학 영역의 광합성 개념을 중심으로 교육과정 연계성 연구를 진행하였다. 생명과학 영역의 광합성 개념은 대부분의 학생들이 매우 어려워하는 개념 중 하나이며(Stavy, Eisen, & Yakobi, 1987), 생물의 기본적인 생명현상으로 물질대사를 이해하는데 기본 개념으로 요구된다(Chung & Kang, 1998). 게다가 광합성 개념은 과학의 여러 개념들 사이에서 연결이 복잡하게 이루어진 주제로 연계성 관련 연구에 적합하다(Marmaroti & Galanopoulou, 2006). 다시 말해 광합성 개념은 저학년에서부터 고학년에 이르기까지 생명현상을 이해하는데 요구되는 기본 개념으로 종적 연계성 분석에 적절하며, 여러 개념들 사이의 복잡한 연결을 가지고 있어 생명과학 교과 내에서 뿐만 아니라 교과 및 영역 간 횡적 연계성 분석에서도 아주 적합한 생명과학 개념이다.

이 연구에서는 우리나라 과학과 교육과정의 연계성 확인 및 과학과 교육과정 국제 비교를 통해 우리나라 과학과 교육과정의 문제점을 발견하였다. 또한 생명과학의 기본 개념 중에 하나인 광합성 개념을 중심으로 연계성의 국제 비교를 하였다. 체계적인 교육과정을 갖춘 여러 국가의 교육과정으로부터 질 높은 교육과정이 무엇인지를 규명하는 과정을 통해 우리나라 교육과정의 문제점을 진단하고 교육과정에서의 연계성 개선 방안을 모색할 수 있었다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

교육과정의 국제 비교가 가능하도록 우리나라 과학과 교육과정과 그 특징이 유사한 국가를 대상으로 하였다. 그 특징으로는 첫째, 우리나라 2009 개정 과학과 교육과정과 유사성이 높아 비교가 용이한 국가여야 한다. 그 비교 기준은 학년군, 교과군, 초·중등 교육과정의 일관성이다. 특히 과학과 내용 영역이 물리(에너지), 화학(물질), 생명과학(생명), 지구과학(지구)으로 교과 간 교육과정이 네 가지로 구분이 되어 있거나, 구분은 되어 있지 않더라도 주제에 따라 내용 영역을 발견할 수 있도록 구성되어야 한다. 둘째, 최근 개정된 과학과 교육과정이 적용되고 있는 국가이다. 교육과정의 국제 비교는 최근 동향을 분석하여 현재 문제점을 진단할 수 있고, 신뢰성 높은 진단 결과로 제시하

는 개선 방안이 유의미하기 때문이다. 셋째, 국제 비교 대상 가운데 성취 수준이 높고 체계적인 교육과정을 갖추어 교육과정의 질이 우수한 것으로 평가 받은 국가여야 한다. 마지막으로 여러 대륙의 균형을 위하여 유럽, 미주, 그리고 아시아의 비율을 맞추었다. 그리하여 유럽의 영국과 핀란드, 미주의 캐나다와 미국, 아시아의 대만과 싱가포르를 선정하여 각 나라의 과학과 교육과정을 우리나라의 과학과 교육과정과 비교하였다.

2. 분석 기준

가. 연계성 기준

한국교육과정평가원이 수행한 「초·중등학교 교육과정 연계성에 대한 국제 비교」 연구 과제에서 학자마다 다른 연계성의 다양한 정의를 기존 문헌 연구를 통해 다각도로 분석하였다. 그리고 유·초·중등 교육과정에 식견이 있는 전문가 42명을 대상으로 델파이 조사를 하였다. 그리하여 “교육과정에서 연계성은 학생 수준을 고려하여 횡적으로는 교과 내 또는 교과 간 내용의 적절성을 종적으로는 시간상 유·초·중등학교에 걸친 학습 내용의 계열성을 말한다.”로 정의하였다 (Kim *et al.*, 2013). 그리고 연계성 기준을 종적 연계성과 횡적 연계성으로 구분하였으며, 종적 연계성에는 계속성과 계열성을 포함하고 횡

적 연계성에는 통합성을 포함하였다. 또한 학생의 발달 수준에 대한 적절성은 유·초·중등학교 교육과정에서 종적 및 횡적 연계성의 공통 기초가 되는 것이므로 연계성 세부 지표의 공통 요소로 하였다. 그 결과 국제 비교를 위한 종적 및 횡적 연계성 비교 기준은 Table 1과 같다.

나. 국제 비교 국가의 교육과정 문헌 및 학제

국제 비교 국가로 선정된 영국, 캐나다, 미국, 핀란드, 싱가포르, 대만 6개국을 대상으로 수집한 교육과정 문서 및 학제는 Table 2와 같다. 각 교육과정 문서는 국가교육과정정보센터(National Curriculum Information Center, n. d.)에서 제시한 세계 교육과정을 참고하여 교육과정 연계의 기초 정보를 제공할 수 있는 학제를 비교하고 각 국가의 과학과 교육과정을 종적 연계성 및 횡적 연계성으로 분석하였다. 또한 초·중등학교에 걸쳐 과학과 교육과정을 중심으로 광합성 개념의 연계성을 확인하였다. 국제 비교 대상 국가들의 대부분은 우리나라와 동일한 K-6-3-3의 학제를 기본으로 하고 있으며, 싱가포르와 캐나다에서 차이를 보였다. 싱가포르는 중학교와 고등학교를 합한 형태의 중등 4~5년제와 대입 전 고등교육기관의 성격을 가진 고등 2~3년제의 체제를 가진다. 캐나다의 온타리오 주는 초등학교 8년제와 중등학교 4년제로 이루어져 일반적인 유·초·중·고의 분리 체제와는 확연

Table 1. Articulation Criteria and Detailed Indicators for Analysis Framework of Articulation

| 연계성 기준(Articulation Criteria) | | 연계성 세부지표(Detailed Indicators) | |
|--|----------------------|-------------------------------|---|
| 종적 연계성 (Vertical Articulation) | 계속성 (Continuity) | 계열성 (Sequence) | 교육과정 종적 연계성 강화를 위한 노력 - 학교급별 교육과정 설계 - 학교급간, 학년(군)간 연계성 - 교과 전체의 종적 구성에서의 특징 |
| | 계속성 (Continuity) | 계열성 (Sequence) | 2. 교과의 계속성 - 교과의 학교급간, 학년(군)간 계속성 3. 교과의 분화 - 교과의 학교급간, 학년(군)간 계열성 - 교과 계열의 양상 |
| | 통합성 (Integration) | 통합성 (Integration) | 4. 교육과정 횡적 연계성 강화를 위한 노력 - 교과 전체 구성의 통합성 - 한 학교급 또는 학년을 이루는 교과 조합의 양상 5. 교과의 횡적 통합성 - 교과 간 연계, 교과 내 영역 간 연계 |
| 횡적 연계성 (Horizontal Articulation) | 통합성 (Integration) | 통합성 (Integration) | 6. 학생 발달에 따른 적절성 - 학생의 수준 파악 - 학생에 따른 처방 |

Table 2. Documents List of National Curriculum for International Comparison(Revised Kim *et al.*, 2013; NCIC, n. d.)

| 국가(Country) | 교육과정 문서(Curriculum Document) | 유·초·중·고 학제(School System) |
|-----------------|---|---------------------------|
| 영국 | The Framework for the National Curriculum The National Curriculum in England Framework document for consultation | K-6-3-2 |
| 캐나다(Ontario주) | Education Program 2010 Ontario schools kindergarten to grade 12 Policy and Program Requirements | K-8-4 |
| 미국(California주) | A Framework for K-12 science education Next Generation Science Standards | 7(K-6)-3-3 |
| 핀란드 | Core curriculum for pre-school education Core curricular upper secondary education National Core Curriculum for Basic Education Amendments and additions to national core curriculum basic education | K-6-3-3 |
| 싱가포르 | Kindergarten Curriculum Framework MOE corporate brochure Primary school education booklet Secondary school education booklet | K-6-4(5)-2(3) |
| 대만 | Taiwan secondary framework Taiwan primary, lower secondary framework | K-6-3-3 |

한 차이가 있다. 우리나라의 학제와 동일한 학제를 가지고 있는 영국의 경우에도 초등학교 6년 가운데 stage 1과 2로 구분하여 1~2학년, 3~6학년으로 분리하는 특징이 나타났다. 미국의 학제는 학교급 별 재학 연한이 6-3-3으로 우리와 물리적으로 동일하지만 유·초등교육기관이 연계되어 실제 교육과정은 7(K-6)-3-3으로 이루어진다. 미국의 유치원은 초등 부설 또는 독립기관이지만 교육과정 상에서 초등학교와 분리되지 않는 차이가 있었다.

III. 연구결과

1. 우리나라 과학과 교육과정의 연계성

가. 종적 연계성 확인

우리나라 교육과정 총론 및 해설서 등에는 초·중등학교에 걸쳐 학교급 간·학년 간 학습 내용의 연계성을 기술하면서 종적 연계성을 강조하였다. 2007 개정 교육과정에서 교육과정의 내용 축소, 학교급 간의 연계성 있는 교육과정 개발, 교육과정 내용의 제시 방법과 단원수를 점진적으로 변화시키는 것 등을 개정 중점 내용으로 제시하면서 과학과 교육과정의 내용 체계 및 구성 즉, 종적 연계성의 중요성을 밝혔다. 현재 학교 현장에 적용 중인 2009 개정 과학과 교육과정의 내용 체계(Table 3)를 확인한 결과 학교급간, 학년군간 계속성은 다소 낮지만, 학생의 학습 발달 수준을 적절히 반영하여 교과의 개념 및 내용의 위계는 더욱 발전한 것을 알 수 있다. 예를 들어 생명과 지구 영역에서 3학년 동물의 한살이, 4학년 식물의 한살이를 학습한 후 5학년에서 식물의 구조와 기능, 6학년 생물과 환경 및 생물과 우리 생활을 학습한다. 단순하고 구체적인 동물과 식물의 생활에서 시작하여 생물을 포함한 환경의 복잡하고 포괄적인 내용으로 학습 순서를 가지는 것은 교육 내용의 위계가 학생의 수준에 따라 잘 반영된 것임을 확인할 수 있다. 그리고 물질과 에너지 영역의 물질 개념은 3~4학년군에서 물체와 물질, 액체와 기체 등을 통해 다루어지고, 5~6학년군에서 용해와 용액, 여러 가지 기체 등에서 학습되며, 7~9학년군에서 분자 운동과 상태변화, 물질의 특성, 여러 가지 화학 반응 등에서 제시되는 것을 볼 때

개념의 계속성이 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 2007 개정 과학과 교육과정부터 과학 탐구 기능의 강화 방안으로 탐구과정의 연계성을 시도하였다. 2007 개정 과학과 교육과정은 지금까지 교육과정에서 언급되지 않았던 탐구 과정을 기본 개념과 함께 제시하였고 그 제시 방법에서도 학년과 영역 간 계속성과 계열성에 초점을 두고 구성하였다(MEHRD, 2007). 최근 도입된 과학과 교육과정에서 탐구과정에 대한 성취 기준을 보면, 기초 탐구 능력, 통합 탐구 능력, 종합적인 과학 탐구 능력 순으로 연계성을 고려하여 기술된다(Table 4). 연계성 분석틀의 연계성 세부 지표에 따라 2007 개정 및 2009 개정 교육과정 분석 결과 종적 연계성의 계속성과 계열성을 충족시키기 위한 개선 노력을 찾을 수 있었으나, 학생 수준에 적절한 구성인지 알 수 있는 근거가 없어 교육 내용 구성의 기준 개발 필요성을 확인하였다.

나. 횡적 연계성 확인

우리나라 과학과 교육과정의 분석 결과 가장 큰 문제점은 횡적 연계성 부족이다. 2009 개정 과학과 교육과정의 내용 체계(Table 3)를 보면 동일한 학년 내에서 에너지, 물질, 생명, 지구의 영역들 사이의 내용 관련성이 부족하며 학술적인 근거의 제시가 미흡하다. 과학과 교육과정에서 횡적 연계성이 가장 잘 나타난 시기는 10학년 과학이다. ‘우주와 생명’, ‘과학과 문명’의 대단원으로 과학의 과목별 내용을 구분하지 않고 중학교까지 학습한 모든 과학 개념을 과학·기술·사회의 관련성으로 통합하였다. 하지만 10학년을 제외한 모든 학년에서는 동일 학년 내 주요 개념을 단순 나열하여 영역 사이의 관련성이 매우 부족하였다. 예를 들면, 6학년 물질과 에너지 영역의 교육 내용에는 전기의 작용, 여러 가지 기체, 렌즈의 이용, 연소와 소화가 있지만 전기, 기체, 렌즈, 소화 개념을 비교하면 물질과 에너지 영역 내에서 관련성을 발견할 수 없다. 구체적으로 7학년에서 제시된 생명 영역의 ‘광합성’은 물질 영역의 ‘분자 운동과 상태 변화’와 에너지 영역의 ‘힘과 운동’과는 관련성을 발견할 수 없었다. 또한 학습 결과 학생들이 이루어야 할 성취 기준도 개념 사이의 관계에 대해 이해하는 것이 아니며 단순히 해당 학년의 각 과학 개념을 이해하는 것으로 제시하고 있다(MEST, 2011). 특히, 생명과 지구 영역으로 묶어 두었음에도 불구하고 생명의 ‘광합

Table 3. Content Systems of 2009 Amended Science Curriculum(MEST, 2011)

| 영역 | 3~4학년군 내용 | | 5~6학년군 내용 | | 7~9학년군 내용 | |
|---------|-----------|------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 물질과 에너지 | · 물체의 무게 | · 자석의 이용 | · 온도와 열 | · 전기의 작용 | · 힘과 운동 | · 물질의 구성 |
| | · 물체와 물질 | · 혼합물의 분리 | · 용해와 용액 | · 여러 가지 기체 | · 열과 우리 생활 | · 빛과 파동 |
| 에너지 | · 액체와 기체 | · 거울과 그림자 | · 산과 염기 | · 렌즈의 이용 | · 분자 운동과 상태 변화 | · 물질의 특성 |
| | · 소리의 성질 | · 물의 상태 변화 | · 물체의 빠르기 | · 연소와 소화 | · 변화 | · 일과 에너지 전환 |
| 생명 | · 지구와 달 | · 식물의 한살이 | · 날씨와 우리 생활 | · 지구와 달의 운동 | · 지구계와 지권의 변화 | · 기관과 우리 생활 |
| | · 동물의 한살이 | · 화산과 지진 | · 식물의 구조와 기능 | · 생물과 환경 | · 소화·순환·호흡·배설 | · 태양계 |
| 지구 | · 동물의 생활 | · 식물의 생활 | · 태양계와 별 | · 생물과 우리 생활 | · 광합성 | · 생식과 발생 |
| | · 지표의 변화 | · 지층과 화석 | · 우리 몸의 구조와 기능 | · 계절의 변화 | · 수권의 구성과 순환 | · 유전과 진화 |
| | | | | | · 자극과 반응 | · 외권과 우주개발 |

Table 4. Achievement Standards by Grade Level of 2009 Amended Science Curriculum(Revised MEST, 2011)

| 학년군 (Grade Level) | 성취 기준 (Achievement Standards) |
|----------------------|--|
| 3~4학년군 | 학생들의 발달 단계를 고려한 활동 중심의 과학 수업을 통하여 과학 탐구에 필요한 기초 탐구 능력을 기른다. |
| 5~6학년군 | 학생들의 발달 단계를 고려한 과학 수업에서 기초탐구 과정과 함께 통합 탐구 과정이 포함된 활동을 통하여 과학 탐구에 필요한 탐구 능력을 기른다. |
| 7~9학년군 | 기초 탐구 능력의 바탕 위에 통합 탐구 과정이 포함된 탐구 활동을 통하여 종합적인 과학 탐구 능력을 기른다. |

상'과 지구의 '지구계와 지권의 변화'는 연관성이 매우 낮다. 더욱 심한 것은 학생의 발달 수준에 대한 적절성은 확인할 수 없었다. 다시 말해, 표면적으로는 각 영역의 개념을 고르게 분포하여 기본 개념의 학년 간 연계는 잘 된 것으로 보이지만, 실제로는 학교급 또는 학년을 이루는 교과 사이의 조합이 이루어지지 않았다. 앞으로 횡적 연계성을 보장할 수 있는 교육과정의 개선 방법은 동일한 시기 동안 제공되어야 할 기본 개념에 대한 연구를 통해 교과 간 및 교과 내 영역 사이에서 교육 내용의 관련성, 수준, 범위를 고려하는 것이다.

2. 과학과 교육과정의 연계성 국제 비교

과학과 교육과정의 연계성을 확인하기 위해 각 국가의 과학과 교육과정에서 제시하는 교과 및 교육과정의 내용 체계를 분석하였다. 연계성을 분석하기 위한 방법으로 각 교과에서 제시하는 Big Idea를 도입하였다. 학문의 기저가 될 수 있는 Big Idea는 특정 분야에 한정되지 않고 독립적인 개념들을 서로 연결하는 포괄적인 개념 및 이론적인 원리로 다양한 현상을 설명할 수 있다(Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007; Smith et al., 2011; Wiggins & McTighe, 2005). 또한 Big Idea는 과학 외의 다른 분야까지도 설명이 가능하여 종적 및 횡적으로 과학의 개념들을 이해하는데 도움을 줄 수 있으며 교육과정 설계에 바탕이 될 수 있다(Wiggins & McTighe, 2005; Bang et al., 2013). Big Idea(예, 시스템, 다양성, 변화)를 적용하여 교육과정 내용 체계를 확인한 결과는 Table 5와 같다.

가. 종적 연계성 확인

첫째, 우리나라 과학과 교육과정은 학교급 간/학년 간 연계성이 우수하며 과학의 각 영역 사이에 통합이 잘 이루어져 있으나, 세계적으로 강조되고 있는 과학과 기술 및 공학의 융합적인 측면에서 부족함이 있었다. 우리나라는 3학년에서 9학년까지 공통으로 '과학' 교과를 통해 과학의 각 영역을 균등 분배하여 편성하였고, 10학년 이상은 '과학'을 포함하여 네 영역으로 구분하여 I/II의 선택교과로 구성하였다. 우리나라와 마찬가지로 공통과학의 성격을 가지는 통합형 교과목으로 '과학'을 제시하는 국가는 영국, 캐나다, 미국, 싱가포르가 있다. 그리고 대부분의 나라에서 물리, 화학, 생명과학, 지구과학의 비중이 균형 있게 나누어져 있었다. 하지만, 우리나라는 과학의 각 영역의 통합에만 관심을 가지고 내용 구성을 한 것에 반해, 영국과 미국 등의 국가에서는 과학 영역의 통합에서 더 나아가 기술 및 공학과의 융합에 초점을 둔 것을 확인할 수 있었다. 영국의 '과학과 기술의 이해', 캐나다의 '과학과 기술', 대만의 '자연과 생활과학기술'의 교과가 저학년에 배치되어 있다. 특히, 미국의 경우 '과학'의 교과 명을 쓰지만, 그 성격은 공통과학에서 벗어나 과학 내 기술 및 공학을 함께 학습하도록 전 학년에서 편성되어 있다. 그리고 핀란드의 과학과 교육과정은 저학년에 '과학'이라는 교과 명 대신 '환경과 자연', '생물학과 지리학', '물리학과 화학'으로 여러 영역들을 연결하였고, 고학년에서 생물, 물리, 화학만을 다루며 지구과학이 독립되지 않은 특징이 있다.

둘째, 교육과정의 내용 체계 및 구조를 분석한 결과 우리나라 과학과 교육과정은 내용 체계나 개념 구성에 기준의 제시가 미흡하다

Table 5. Science Curriculum Course Title and Big idea by Country(Revised Kim et al., 2013)

| 국가 | 유치원 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|---------------------------------|---|---|---|---|-------------------|---|---|---|---|--|----|----|
| 영국 | 문제해결, 창의성 발달 | 과학과 기술의 이해 | | | | | | 과학 | | | 과학 | | |
| | 문제해결, 추론, 세계에 대한 지식과 이해, 창의성 발달 | 과학 관련 활동, 디자인 및 기술, 에너지, 운동과 힘, 물질의 행동 방식, 생명과 생물, 환경, 지구와 태양계 | | | | | | 에너지, 전기, 힘, 화학적-물질적 활동, 유기체, 행동, 건강, 환경, 지구, 우주 | | | 에너지, 전기 및 방사, 화학 및 물질의 행동 특성, 유기체와 건강, 환경, 지구와 우주 | | |
| 캐나다 | 탐구 | 과학과 기술 | | | | | | 과학(인문, 기술) | | | 생물, 화학, 지구와 우주과학, 환경과학, 물리학, 과학 | | |
| | 경험, 문제해결, 수학학습 | 생명 시스템, 구조와 역학, 물질과 에너지, 지구와 우주 시스템 | | | | | | | | | | | |
| 미국 | | 과학 | | | | | | 과학 | | | 과학 | | |
| | | 물상과학, 생명과학, 지구와 우주과학, 공학설계 교차개념(패턴, 원인과 결과, 규모와 범위, 양, 비율, 시스템과 시스템 모델, 에너지와 물질, 구조와 기능, 안정성과 변화) | | | | | | | | | | | |
| 핀란드 | | 환경과 자연 | | | | 생물학과 지리학, 물리학과 화학 | | 생물, 물리, 화학 | | | 생물, 물리, 화학 | | |
| | | 생물학, 지리학, 물리학, 화학, 건강 | | | | | | | | | | | |
| 싱가포르 | 자연세계, 인공세계 | 과학 | | | | | | 과학 | | | 물리, 화학, 생물, 생명공학 | | |
| | 자연세계, 인공세계 | 다양성, 순환, 시스템, 상호작용, 에너지 | | | | | | 과학과 기술, 측정, 다양성, 모형과 시스템, 에너지, 상호작용 | | | | | |
| 대만 | | 자연과 생활과학기술 | | | | | | | | | 기초생물(1,2), 기초화학(1,2,3), 기초화학실험, 기초물리(1,2), 기초지구과학 | | |
| | | 자연과 과학기술학습(물질과 에너지, 생명세계, 지구환경, 생태정보, 과학기술) | | | | | | | | | | | |
| 한국 | | 과학 | | | | | | 과학 | | | 과학, 물리 I, 화학 I, 생물 I, 지구과학 I, 물리 II, 화학 II, 생물 II, 지구과학 II | | |
| | | 물질과 에너지, 생명과 지구 | | | | | | | | | | | |

(MEST, 2011). 2009 개정 교육과정에서 시스템의 새로운 접근방식을 사용하여 단원과 내용 편성에 변화를 시도한 결과 Big Idea로 물질과 에너지, 생명과 지구를 제시하였지만 그 사이에는 뚜렷한 체계가 나타나지 않았다. 예를 들어 저학년의 교육 목표 가운데 한 가지는 생명 시스템을 포괄적으로 다루는 것이다. 하지만, 9학년까지 ‘생명의 구조와 기능’ 핵심 개념은 5학년과 8학년에서 두 번 제시되었고, ‘생태계’ 핵심 개념은 6학년에서, ‘유전’ 핵심 개념은 9학년에 각각 한 번씩만 다루어졌음을 볼 때 계속성과 계열성이 낮다고 볼 수 있다. 특히 ‘광합성’ 핵심 개념은 저학년에서 거의 다루지 않고 5학년에 ‘식물의 구조와 기능’ 단원에서 잎의 구조와 함께 광합성을 언급하는 정도이다. 그리고 7학년에 올라와 광합성을 학습하고 이후 선택과목으로 생명과학Ⅱ에서 주요하게 다루기 때문에 생명과학Ⅱ를 선택하지 않는 학생의 경우 광합성에 대해서는 7학년에서 학습하는 것이 전부이다. 하지만 우리나라와는 달리 영국, 캐나다, 미국, 싱가포르의 Big Idea에 대한 정확한 제시 방법과 교육과정 내용 체계에 기준을 가지고 있다. 캐나다의 경우 생명시스템, 구조와 역할, 물질과 에너지, 지구와 우주 시스템의 4개 영역에서 ‘기본 개념’과 ‘Big Idea’의 기준을 제시한다. 그 중 생명시스템에 대한 영역은 상호작용, 시스템, 영향의 Big Idea 기준에 따라 구체적인 사례에서부터 학년이 올라갈수록 거시적인 관점으로 포괄적인 주제를 다루는 내용 구성을 보였다. 또한 수준 제시를 할 때 학생의 발달 단계를 고려한 근거를 가지고 있다. 교육과정의 구성에서 뚜렷한 기준을 제시한 미국의 차세대과학교육기준(NGSS)를 보면 ‘수행기대(performance expectation)’와 함께 ‘과학과 기술공학적 활동(scientific and engineering practices)’, ‘학문 내 핵심 개념(disciplinary core idea)’, ‘학문 간 교차개념(crosscutting concepts)’의 세 가지 차원을 제시한다. 수행기대와 세 가지 차원은 Big Idea의 성격을 가지고 계속성과 계열성을 띤다. 한 가지 예로 유치원 단계에서 학습한 ‘지역의 날씨 패턴’, ‘기상 예보’는 1학년에서 하늘에 떠 있는 물체의 움직임 관찰에서 반복 학습하고, 2학년에서 바람과 물에 의한 지형의 변화를 통해 다시 상기시킨다. 이어 3학년에서 계절별 날씨의 특징과 기상재해를 통해 확장되어 다루어지게 된다. 또한 4학년 지구의 변화, 5학년 별의 계절적 변화를 통하여 지구의 운동에서 학습을 이어 나가게 된다. 중학교와 고등학교 단계로 가서는 초등학교에 학습한 개념을 단순한 반복이 아닌 더 심화하여 제시하고 교차 개념으로 다른 교과 영역과 통합하여 연계성을 확장하였다.

나. 횡적 연계성 확인

교육과정의 내용 체계 및 구조를 보면 우리나라의 초·중등학교에서 과학의 영역을 물질과 에너지, 생명과 지구로 연결하였으나 그 사이에 내적 통합이 없었다. 2009 개정 과학과 교육과정에서 제시한 성취 기준에는 과학 개념을 이해한다고만 기술할 뿐, 영역 간 관련성을 밝히지 않았으며, 한 학년의 여러 주제의 배치는 학생의 발달 단계와 어떠한 연관이 있는지 설명하지 못하였다.

국제 비교 결과에서 횡적 연계성을 상세히 기술하지 못한 싱가포르와 영국을 제외한 캐나다, 대만, 핀란드, 미국은 횡적 연계성을 강조하였다. 캐나다의 경우 교육과정 전반에서 생명 시스템 영역과 지구와 우주 시스템 영역을 ‘시스템’의 Big Idea를 중심으로 연결하여 구성하였다. 또한 ‘물질과 에너지’의 Big Idea는 물질의 사용과 에너지의 사

용을 연관 지어 전개함으로써 교과 간 연계 및 교과 내 영역 간 연계가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 핀란드는 교과 내용에서 유사한 수준의 개념들을 연결하여 각 영역 사이의 높은 상호 관련성을 강조하였다. 특히 초등학교 과학과 교육과정에서 각 교과는 ‘생활 환경’에 초점을 두어 내용을 구성하였다. 학생들은 동일 학년에서 화학 영역의 ‘생활 환경의 물질과 물질의 기원과 사용’ 단원과 지구 과학 영역의 ‘지구의 생활 환경과 인간 삶의 다양성’ 단원을 함께 학습하게 된다. 미국은 물상과학, 생명과학, 지구와 우주과학, 공학 설계를 교육 내용으로 구성하고 서로 다른 영역의 핵심 개념과 교차 개념을 함께 제시하여 강화된 교과 내 횡적 연계성을 보였다. 또한 미국은 기술, 공학, 그리고 수학 등 여러 교과를 융합함으로써 다른 나라에 비해 교과 간 횡적 연계성이 매우 높은 것을 확인하였다. 대만은 초등·중등·고등학교로 구분되는 다른 나라와는 다르게 ‘자연과 과학기술’을 9학년까지 4단계로 의무 교육과정을 학습한 후 고등학교에서 기초 물리·화학·생물·지구과학 및 기초화학실험을 학습하게 된다. ‘자연과 과학기술’의 인지순서 영역과 사고기능 영역에는 각각 4단계가 있으며, 학습자를 고려하여 같은 단계 내에서 유사한 수준의 과학 개념, 과학적 태도 등이 발달하도록 지도과정이 기술되어 있다. 싱가포르와 영국은 횡적 연계성을 상세히 기술하지 못하였지만, 싱가포르의 경우 학년군으로 교육과정을 제시하였고 학습 수준에 따라 Big Idea를 중심으로 한 개념의 위계가 잘 나타나 있었다. 영국의 경우에도 학년별로 횡적 연계성을 제시하지 않지만 교과간의 연계성을 고려하여 학습 내용을 구성하였으므로 학년 수준에 따른 내용의 난이도 측면에서 보면 횡적 연계성을 가진다고 할 수 있다.

3. 광합성 개념으로 본 과학과 연계성 국제 비교

광합성 개념의 초·중등학교 과학과 교육과정 연계성 국제 비교는 대다수의 학생 혹은 이공계 진학을 하는 학생들의 교육과정을 중심으로 분석하는 것이 의미 있는 결과를 도출할 수 있다. 그래서 공통교육과정과 선택교육과정의 일반교과를 위주로 광합성 개념을 조사하였으며, 극히 일부의 학생들이 선택하여 학습하는 심화교과 및 진로전문교과는 제외하였다. 또한 광합성 개념을 전혀 다루지 않는 유치원의 단계는 제외하고 초·중등학교 과학과 교육과정을 비교 대상으로 학년별 광합성 개념의 연계성을 분석하였다(Table 6). 대부분의 나라에서 여러 개념들 사이의 복잡하게 연결된 광합성 개념을 저학년에서 바로 제시하기보다는 학생의 발달 단계에 따라 식물의 구조와 기능과 같은 구체적인 내용이나 주변에서 쉽게 관찰 가능한 현상을 먼저 제시한 다음 고학년의 선택과목이나 공통과목의 마지막 단계에서 미시적인 에너지 전달 과정과 함께 세부 내용을 설명하는 연계성을 보였다. 가장 연계성이 높은 것으로 판단되는 미국에서는 저학년과 고학을 구분하지 않고 모든 단계에서 광합성을 학생 발달 수준에 따라 교육 내용의 범위와 깊이를 달리하여 제시하였다. 우리나라와 핀란드에서는 저학년에 광합성에 대해 학습하지 않고 초등학교 고학년(5~6학년군)에서 처음으로 광합성을 학습하며, 중학교 단계에서 광합성의 장소, 재료와 산물, 에너지 전환 과정을 자세하게 다루는 차이가 있었다. 국가별 광합성 개념의 교육과정은 다음과 같다.

Table 6. 'Photosynthesis' Concept by Grade in International Comparison

| 국가 | 과목명 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|------------|-----|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| 영국 | 과학과 기술의 이해 | (A) | | | | | | | | | | | |
| | 과학 | (B) | | | | | | | | | | | |
| 캐나다 | 과학과 기술 | (C) | | | | | | | | | | | |
| | 생물 | | | | | | | | | (D-1) | (D-2) | (D-3) | (D-4) |
| 미국 | 과학 | (E) | | | | (F) | (G) | (H) | | | (I) | | |
| | 생물과 지리학 | | | | | (J) | | | | | | | |
| 핀란드 | 생물 | | | | | | | | (K) | | | | |
| | 화학 | | | | | | | | (K) | | | | |
| 싱가포르 | 과학 | | | (L) | | (M) | | (N) | | | | | |
| | 생물1 | | | | | | | | | | | (O) | |
| | 생물2 | | | | | | | | | | | (P) | |
| 대만 | 과학 | (Q) | | | | | (R) | | (S) | | | | |
| | 기초생물 | | | | | | | | | | | (T) | |
| 한국 | 과학 | | | | | (U) | | | (V) | | (W) | | |
| | 생명과학2 | | | | | | | | | | | (X) | |

가. 영국

광합성 개념으로 본 영국의 과학과 교육과정 연계성은 저학년의 초등학교 과정과 고학년의 중학교 과정으로 구분해서 다루고 있었다. 초등학교(A)에서 과학과 기술의 이해 교과를 통해 식물의 구조 및 기능을 설명하고, 인간과 다른 동물들이 환경에 적응하여 어떻게 조화롭게 사는지를 학습하였다. 그리고 중학교(B) 과학의 생물의 행동 및 환경 단원에서 생물의 행동과 환경과의 관계를 광범위하게 설명하면서 호흡과 함께 광합성을 생명 활동의 에너지를 위한 활동으로 학습하게 된다. 직접적인 광합성 개념 및 과정에 대한 학습은 아니지만, 교육과정 전반에 걸쳐 식물의 생활에 관련지어 제시하였다.

나. 캐나다

캐나다 과학과 교육과정에서 광합성 개념은 고학년에 집중되어 있는 경향이 있었다. 3학년(C) 과학과 기술 교과와 생물의 생명 체계의 이해 단원에서 식물은 태양으로부터 얻은 에너지를 어떻게 이용하는지 학습한다. 이후 생물 교과를 통해 9~12학년(D)에서 학년마다 광합성에 대해 자세하게 다루게 된다. 광합성 개념을 학생의 발달 단계에 따라 어려운 학습 내용으로 간주하고 고학년에 집중적으로 다루었다. 학생들은 9학년에 광합성과 세포호흡의 관계를 이해하고 물질 순환과 에너지 흐름을 학습한다. 10학년에 세포-조직-기관-개체로 이루어지는 생물의 구성 체계에 대해 학습하면서 식물의 구조와 기능에 대해 이해하며, 11학년에 광합성의 에너지 전환 과정 및 물질들의 화학변화를 배운다. 마지막으로 12학년에서는 지금까지 순차적으로 배운 모든 생명 현상의 특성 가운데 물질 대사의 광합성과 세포호흡 과정을 체계적으로 정리하게 한다. 전반적인 교육과정에서 광합성 개념의 종적 연계성은 낮아 보이지만, 실제 광합성 개념을 학생들이 어려워하는 개념으로 높은 수준의 학생들에게 적합하다는 학생 발달 단계를 반영한 결과이며, 높은 수준의 학생들에게 제시하는 9~12학년 내에서는 계속성과 계열성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

다. 미국

초등학교 저학년인 1학년(E)부터 과학의 생명과학 영역에서 식물의 뿌리로부터 물과 토양의 양분을 흡수하는 것, 잎은 태양으로부터 받은 빛에너지를 영양분을 만드는 데 사용한다는 것을 학습하게 된다. 고학년에 올라가면 5학년(F)에서 빛 에너지를 이용하여 이산화탄소와 물로부터 산소와 포도당을 만드는 광합성의 전반적인 과정을 다루게 된다. 이어 6학년(G)에서 광합성 과정에 빛에너지가 화학적 에너지로 전환되는 자세한 과정을 학습한다. 그리고 7학년(H)에서 광합성 장소로 엽록체에 대해 알게 되며, 미토콘드리아에서 일어나는 호흡과정을 광합성과 함께 연관 지어 설명한다. 게다가 9~12학년(I)에서 학생 발달 과정에 따라 높은 수준, 넓은 범위의 광합성 관련 여러 개념을 함께 제시한다. 저학년에서부터 고학년까지 학생의 발달 단계에 따라 학습량과 위계관계가 잘 고려하여 계속성과 계열성이 높은 종적 연계성을 가지고 있었다. 물상과학, 생명과학, 지구와 우주과학, 공학설계 영역으로 구분하였지만 교과로 분과한 것이 아니며, 동일한 학년에 각 영역을 모두 균등하게 분배하여 제시하였고, 그 제시된 각 영역 사이에도 횡적 연계성도 높다는 것을 알 수 있었다.

라. 핀란드

다른 국가와는 다르게 핀란드는 광합성 개념의 종적인 연계성에 비하여 횡적인 연계성이 아주 강조되어 있다는 특징이 있다. 광합성 개념은 공통의 교육과정에서 저학년과 고학년에 다루어지지 않고 5~6학년군(J)과 7~9학년군(K)에서 2차례 다루어진다. 5~6학년군에서 생물과 지리학 교과를 통해 녹색식물이 물과 양분을 흡수하여 에너지를 직접 생산한다는 내용을 다루면서 생물과 살아있는 환경에 대해 학습한다. 생물 영역을 지리 및 지구과학과 같은 다른 영역과 통합하기 위한 노력이 잘 나타나 있다. 또한 7~9학년군에서 나타나는 다른 국가와의 큰 차이점으로는 과학 교과를 생물, 화학, 물리로 분화시켜 피상적으로 통합성이 낮아 보이지만, 실제 교과 사이의 연계를 더욱 강조되어 있다. 그 이유는 중학교에서 생물 교과를 통해 개체군의 관점으로

광합성 개념과 그 중요성을 설명하면서, 동일 학년에서 화학 교과를 통해 에너지의 관점으로 광합성의 역할을 학습하기 때문이다. 이를 통해 핀란드의 과학과 교육과정에서 광합성 개념의 계속성과 계열성이 가장 낮은 편이지만 한 학년 내에서 과학의 영역 간 및 과학과 다른 교과 사이의 통합성이 높다고 판단할 수 있었다.

마. 싱가포르

싱가포르는 광합성 개념에 대한 종적 연계성이 아주 잘 나타난다. 3~4학년군(L)에서 식물의 구조와 기능을 학습할 때 우리나라가 광합성 개념을 잎의 구조와 기능에 한정시킨 것에 반해 잎, 뿌리, 줄기의 구조와 기능을 모두 연관시켜 설명하였다. 싱가포르의 잎에서 일어나는 광합성, 뿌리에서 일어나는 물과 양분과 같은 광합성 재료의 흡수, 줄기에서 일어나는 광합성 재료 또는 산물의 이동을 함께 관련지어 학습하게 된다. 5~6학년군(M)에서도 같은 교육 내용을 수준과 범위를 확장시켜 광합성 개념을 구체적으로 제시하면서 학생 수준에 적절하게 연계하였다. 이어 7~10학년(N)에서 과학의 생물 영역에서 현미경 관찰, 광합성 속도에 미치는 영향 실험을 통해 광합성 과정에 대해 구체적으로 학습할 기회를 가졌다. 그리고 11~12학년의 생물1(O)과 생물2(P) 두 교과 모두에서 광합성 개념을 다루었다. 생물1은 광합성 속도에 영향을 미치는 요인과 그 요인의 영향을 논의하는 과정이 포함되어 있고, 생물2는 미시적인 엽록체의 구조에 대해 학습하면서 연속적/비연속적 광합성의 에너지 전달 과정을 포함한다. 이러한 교육과정을 볼 때, 초등학교 저학년과 고학년, 중학교, 고등학교에서도 기본단계와 심화단계로 여러 차례 반복적으로 계속성을 가지고 수준과 범위를 달리함을 확인하였다.

바. 대만

초등 저학년 1~2학년(Q)에서 식물의 생장에 좋은 환경을 학습하고, 고학년 5~6학년(R)에서 식물의 구조와 기능을 학습하면서 광합성 개념은 직접 언급하지 않지만 식물의 생장과 관련한 현상으로 소개된다. 그리고 중학교 7~9학년(S) 과학에서 식물의 생리 및 생식 단위를 통해 광합성 개념을 생명현상으로 다룬 다음, 고등학교 기초 생물(T)에서 에너지의 획득과 전환의 한 가지 방법으로 광합성을 중점적으로 학습하게 된다. 모든 단계에서 광합성에 대한 것을 학습하지만 광합성을 구체적으로 다루는 것은 고등학교 기초 생물 단계이며, 그 전까지는 광합성을 하는 식물에 중점을 두어 생물과 환경, 식물의 구조, 식물의 생리, 생물의 다양성의 주제를 학습하는 특징이 있다.

사. 우리나라

초등학교 5학년(5~6학년군(U))의 ‘식물의 구조와 기능’ 단원은 잎의 기능을 학습할 때 광합성 산물을 확인함으로써 가장 처음 광합성 개념을 학습하게 된다. 이어 중학교 7학년(7~9학년군(V))에서 광합성 장소, 광합성 재료와 산물, 광합성 산물의 이동, 저장, 사용 과정 등 광합성의 전반적인 내용을 포괄적으로 학습하게 된다. 고등학교 10학년(W) 과학은 진화의 관점으로 광합성 박테리아의 출현에서부터 광합성 생물의 탄생에 걸쳐 지구와 생명의 역사를 학습한다. 이 단원은

생물 영역 외의 다른 영역과 통합을 이루기 위한 노력이 이루어져 우리나라 교육과정에서 크게 개선되어야 할 횡적 연계성이 가장 잘 보완된 것으로 보인다. 이 후 생명과학2(X)에서 세포호흡과 광합성의 세부 과정의 아주 구체적으로 다룬다. 종합해보면, 우리나라는 7학년에서 광합성 전반을 다루고, 그 전후에는 광합성 개념을 언급만 할 뿐 학습할 기회가 거의 없다. 7학년 이전에는 식물의 생명 현상으로 소개만 되며, 이후 10학년에서 지구과학 영역과 통합되어 언급되지만 그 내용이 단지 광합성을 하고 살아가는 생물의 진화에 초점을 둔 것이므로 광합성 개념을 학습하는 것이 아니다. 생명과학2를 선택하지 않은 학생은 더 이상 광합성에 대해 학습할 기회가 없어 종적 연계성이 다른 개념에 비해 많이 낮음을 알 수 있었다. 또한 횡적 연계성도 10학년에서만 뚜렷하게 나타나며 10학년을 제외한 학년에서는 다른 영역 간 연계가 없었다.

IV. 결론 및 제언

질 높은 교육과정을 위한 기준으로서의 연계성에 대한 연구는 우리나라 교육과정 개선을 위한 기초자료와 시사점을 제공한다. 이 연구를 통해 우리나라를 포함한 7개국의 과학과 교육과정의 연계성을 종적 및 횡적으로 분석하고, 생명과학의 기본 개념 중 하나인 광합성 개념을 중심으로 연계성 국제 비교를 수행하였다. 이를 토대로 연구의 결론과 함께 그 대안을 다음과 같이 제안한다.

첫째, 우리나라의 과학과 교육과정은 종적 연계성에 초점을 두어 통합성과 같은 횡적 연계성이 소홀하다는 문제점이 있다. 학년군/학교급간의 계속성과 계열성만 너무 강조하여 같은 교과 또는 영역 간의 개념 및 내용의 관련성이 낮고, 학생의 발달 단계에 따른 수준이나 범위의 설정을 위한 기준이 명확하지 않았다. 횡적 연계성을 위해 과학 교과의 내용을 물질과 에너지, 생명과 지구로 구분하여 물리학과 화학, 생명과학과 지구과학 영역을 통합하려는 노력을 하였지만 실제 학교 현장에서 10학년을 제외하고는 영역 간의 통합은 일어나지 않았다. 횡적 연계성이 높게 평가된 영국, 캐나다, 미국 그리고 핀란드의 교육과정을 참고하여 우리나라 교육과정의 개선 방안을 모색할 수 있었다. 예를 들면, 영국, 캐나다는 과학 교과를 기술 교과와 함께 융합하여 ‘과학과 기술’의 교과로 제시하였으며, 미국의 경우 과학 교과 내에 기술과 공학을 모두 포함하였다. 또한 핀란드의 경우 모든 영역을 포함한 공통과학과 같은 ‘과학’ 교과는 없었지만 생명과학 교과에서 배우는 광합성 개념을 동일 학년의 화학에서 에너지 개념을 적용하여 설명하였다. 이와 같이 동일한 학년 내의 서로 다른 영역에서 같은 주제에 대한 교육 내용을 구성하는 것이 횡적 연계성을 증가할 수 있는 방법이라 본다. 그 대안으로 여러 나라 과학과 교육과정에서 강조하고 있는 ‘자연’, ‘환경’과 같은 관점의 사용을 제안한다. 자연과 환경은 모두 과학의 대상이 될 수 있다. 물리, 화학, 생명과학, 지구과학 영역을 모두 자연과 환경에서 나타나는 현상에서부터 시작하여 같은 개념에 대해 설명하는 방식만을 달리한다면 횡적 연계성을 강화할 수 있을 것으로 판단된다. 또 다른 대안으로는 학습자의 흥미와 관심을 고려한 유기적인 연계방식이다. 핀란드, 미국, 대만의 공통점은 저학년의 학생들에게 개념과 원리에 대한 제시하기에 앞서 체험이나 활동 위주의 내용 구성으로 학생들의 흥미와 관심을 유발하는 것이다. 흥미는 학생들이 자발적으로 학습을 이어나가 교육의 효과를 높이는데 중심적인

역할을 할 수 있다(Salovey & Mayer, 1990). 실제 생활과 관련된 소재로 학생들이 문제 중심적인 접근을 하면 학생들의 흥미와 관심이 유발된다. 실생활 관련 소재는 학생들의 흥미와 관심을 고학년까지 이어나갈 뿐만 아니라 과학의 모든 영역에서 접근이 용이하므로 우리나라 과학과 교육과정에서도 학습자의 흥미와 관심을 고려하여 유기적인 연계 방식을 도입해야 한다.

둘째, 우리나라 과학과 교육과정은 종적 연계성에 초점을 맞추고 있었지만 현실적인 계속성과 계열성이 부족하다. 예를 들어 개념을 단순 반복적으로 언급하는데 그치거나 광합성 개념과 같은 연관개념이 많은 개념을 특정 학년에서 집중적으로 다루는 경향이 있었다. 근본적으로 종적 연계성을 강조하기 위한 대안으로 Big Idea와 같은 기준을 제안한다. 캐나다는 ‘과학과 기술’ 교과에서 생명 시스템, 구조와 역학, 물질과 에너지, 지구와 우주 시스템의 4개 영역과 함께 Big Idea를 제시하였다. 미국에서도 ‘과학’ 교과 내용 영역을 물상과학, 생명과학, 지구와 우주공학, 공학설계로 구분하면서 ‘학문 간 교차개념(crosscutting concepts)’을 명확하게 밝혔다. 패턴, 원인과 결과, 규모와 범위, 양, 비율, 시스템과 시스템 모델, 에너지와 물질, 구조와 기능, 안정성과 변화의 7가지 학문 간 교차 개념은 모든 영역에서 적용이 가능한 것으로 내용 체계나 개념 구성에 기준을 제공할 수 있다. 우리나라 교육과정에 Big Idea를 구체적으로 활용한 교육 내용을 제시한다면 학년 간 연결 고리를 가져 종적 연계성과 함께 횡적 연계성도 확보할 수 있을 것이다. 특히 캐나다와 미국, 싱가포르의 교육과정에서 자주 등장하는 ‘시스템’ 관점의 도입을 제안한다. 캐나다 과학 교과의 4개 영역 중 ‘생명 시스템’, ‘지구와 우주 시스템’이 대표적인 예이다. 그리고 미국과 싱가포르의 Big Idea에도 모두 시스템이 포함되어 있다. 생명과학 교과만 하더라도 생물의 구조와 기능을 세포-조직-기관-개체로 시스템적으로 설명이 가능하다. 간단하고 작은 세포의 단계에서부터 소화계, 순환계, 호흡계, 배설계 등의 여러 기관계를 거쳐 복잡하고 큰 개체의 단계까지 설명하는 데에 시스템 관점의 도입은 아주 유용하다. 또한 생물의 단계를 벗어나 더욱 포괄적인 생물과 환경의 관계를 학습할 때에도 시스템은 생물 요소와 환경 요소 사이의 상호작용을 이해하는 것에 긍정적 효과가 있다(Ben-Zvi Assaraf & Orpaz, 2010; Odum, 1992; Westra, 2008). 따라서 시스템을 적용하여 학생 수준에 따른 교육 내용의 적절한 위계를 설계한다면 종적 연계성 강화에 효과적일 것이다.

셋째, 우리나라는 교육과정 개발 과정에 학생의 학습발달 수준을 고려하는 정도가 다른 나라에 비해 낮은 편이다. 학습발달과정은 연계성 분석틀에서 종적 연계성과 횡적 연계성에 주요 기준이 된다. 학습발달과정은 과학의 핵심 아이디어와 과학적 활동과정을 논리적이거나 단계적으로 정교하게 기술한 틀이며(Mohan, Chen, & Anderson, 2009; NRC, 2007; Smith *et al.*, 2011; Stevens, Delgado, & Krajcik, 2010), 학생들의 단계적인 이해 발달 수준은 개념 이해 및 과학적 활동에 필요한 교수학습 전략, 교수자료 개발 등 교육과정 개발에 도움이 된다(Shin *et al.*, 2014). 최근 해외 연구의 동향을 분석하면 과학의 핵심 개념에 대한 학생들의 학습발달과정에 대한 연구가 증가하고 있다. 생명과학 분야에서 진행된 학습발달과정에 대한 연구를 보면 Duncan *et al.* (2009)에 의한 ‘현대 유전학’, Furtak (2012)에 의한 ‘자연선택’, Songer, Kelcey, & Gotwals (2009)에 의한 ‘종 다양성’의 핵심 개념을 주제로 연구하였다. 핵심 개념에 대한 학습발달과정은 학생들의 단계

적인 이해 수준을 확인함으로써 질 높은 교육 과정을 위한 개발 도구로 사용하기에 적절하다. 교육과정 개발에서 학생의 발달 수준에 대한 적합성은 종적 및 횡적 연계성을 위한 공통의 기초가 되기 때문이다. 하지만 학습발달과정은 학생들이 받는 교육에 따라 달라지게 되므로 우리나라 교육과정 개발에 해외 학습발달과정을 고스란히 수용할 수 없으며 우리나라 실정에 맞는 학습발달과정에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 우리나라 학생들을 연구대상으로 학습발달과정 연구가 진행되어야 하며, 그에 따라 우리나라에 적용할 수 있는 교육과정을 개발하여야 할 것이다.

2015 개정 교육과정이 발표될 이 시점에서 교육과정의 국제 비교를 통해 우리나라 교육과정의 종적 및 횡적 연계성 부족이라는 문제점을 짚어보았다. 2015 개정 교육과정은 과학과 교육과정을 ‘문·이과 통합형 과학과 교육과정’으로 재구성 되었으며, 그 구성 방향에는 ‘통합과학 개념’, ‘과학 핵심 역량’, ‘과학 탐구 실행’의 세 가지 차원이 있다. 특히 ‘통합과학 개념’은 과학의 여러 영역에 파편화된 지식과 이해를 넘어 과학에 대한 통합적이고 유기적인 이해를 돕기 위한 것으로 최근 미국의 NGSS 및 여러 선진국들의 과학 교육과정에서 강조된 것이다(Korean Association for Science Education, 2014). 이러한 변화를 볼 때 이 연구는 국외 과학과 교육과정 추세를 참고하여 자연 및 환경의 관점 사용, 체험과 활동 위주의 내용 구성, Big Idea와 같은 기준 및 시스템 관점을 이용한 위계 도입, 학습발달과정 연구의 요구와 같은 개선 방향을 제안함으로써 질 높은 교육과정을 위한 노력이라는 점에서 의미를 가진다.

국문요약

우리나라 교육과정은 2007 개정 및 2009 개정 교육과정을 통해 미래사회가 요구하는 인재 양성을 목적으로 개선되고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위한 개정 방향은 질 높은 교육과정을 위해 연계성 강화에 초점을 두었다. 교육과정에서 연계성은 미래 사회를 대비하기 위한 교육과정의 설계 기준으로 고려해야 할 요소이다. 연계성에는 계속성 및 계열성을 포함하는 종적 연계성과 통합성에 관한 횡적 연계성이 있다. 계속성과 계열성은 교과 내용이 반복되고 지속되는 위계를 의미하며, 통합성은 교과 간 내용의 수준, 범위, 관련성을 말한다. 이번 연구에서는 연계성을 분석하기 위한 기준을 세워 우리나라 과학과 교육과정의 연계성을 종적 및 횡적으로 분석하였다. 또한 과학교육의 성취 수준이 높고 체계적인 교육과정을 갖춘 국가(영국, 캐나다, 미국, 핀란드, 싱가포르, 대만)들을 대상으로 한 국제 비교를 통해 우리나라 교육과정의 문제점을 발견하고 개선 방안을 모색하였다. 그리고 생명과학 광합성 개념의 연계성을 국제 비교 함으로써 우리나라 과학과 교육과정에서 필요한 연계성 강화 근거를 도출하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 우리나라 과학과 교육과정은 종적 연계성에 초점을 두고 있으며 상대적으로 횡적 연계성에 소홀하다는 문제점이 발견되었다. 이를 보완하기 위해 횡적 연계성이 높은 영국, 미국, 핀란드와 같이 ‘자연’, ‘환경’과 같은 관점을 도입하고 학생의 흥미와 관심을 고려한다. 둘째, 실제 교육 현장에서 개념의 단순 반복 또는 개념의 특정 학년에 집중으로 계속성과 계열성이 결여되어 있었다. 그 대안으로 Big Idea와 같은 내용 체계나 개념 구성의 기준을 마련하고 캐나다, 미국, 싱가포르의 교육과정에서 자주 등장하는 ‘시스템’의

관점 도입을 제안한다. 마지막으로 횡적 및 종적 연계성의 공통 기준으로 교육과정의 교육 내용이 학생들의 발달이나 수준에 적절한지 확인할 수 있는 근거가 부족하였다. 개념 위계와 교육 순서를 제시하는 근거로 최근 해외에서 학생의 학습발달과정 연구가 증가하고 있는 추세이다. 우리나라 교육 현장에 적용이 가능한 학습발달과정에 대한 연구가 필요하며 그에 따라 교육과정을 개발하여야 할 것이다.

주제어 : 과학과 교육과정, 질 높은 교육과정, 연계성, 종적 연계성, 횡적 연계성, 국제 비교, 학습발달과정, 광합성

References

- Alonzo, A. C., & Steedle J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389-421.
- American Association for the Advancement of Science[AAAS]. (2001). *Atlas of science literacy I*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science[AAAS]. (2007). *Atlas of science literacy II*. New York: Oxford University Press.
- 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 Integrated Science Curriculum Framework Based on Big Ideas. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(5), 1041-1054.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orpaz, T. (2010). The 'Life at the poles' study unit: Developing junior high school students' ability to recognize the relations between earth systems. *Research in Science Education*, 40(4), 525-549.
- Berland L.K., & McNeill, K.L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94(5), 765-793.
- Briggs, D. C., & Alonzo, A. C. (2012). The psychometric modeling of ordered multiple-choice item responses for diagnostic assessment with a learning progression. In A. C. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: Current challenges and future directions* (pp. 293-316). Rotterdam: Sense Publishers, The Netherlands.
- Bruner, J. S.(1960). *The process of education*. Cambridge, N.Y : Harvard University Press.
- Chung, Y., & Kang, K. (1998). Students' understanding of photosynthesis and an analysis of their misconceptions. *Journal of the Korean Society of Biology Education*, 26(1), 1-7.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.
- 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.
- Furtak, E. M. (2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1181-1210.
- Gagne, R. M. (1970). *The Conditions of Learning* (2nd ed.). New York: Hott, Rinehart and Winston..
- Gunckel, K. L., Covitt, B. A., Salinas, I., & Anderson, C. W. (2012). A learning progression for water in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 843-868.
- Kim, J., Park, S., Choi, J., & Lee, H. (2013). *International comparative studies on the sequence and integrity of elementary and secondary school curricula* (Research report RRC 2013-3). Seoul: Korea Insritute for Curriculum and Evaluation.
- Korean Association for Science Education[KASE]. (2014). *Present and future of science education in east asia: focusing on curriculum*. Seoul: Seoul National University.
- Kwak, Y., Son, J., Kim, M., & Ku, J. (2014). *Research on Ways to Improve Science Curriculum Focused on Key Competencies and Creative Fusion Education*. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(3), 321-330.
- Lee, H., & Liu O. L. (2009). Assessing Learning Progression of Energy Concepts Across Middle School Grades: The Knowledge Integration Perspective. *Science & Education*, 94(4), 665-688.
- Lee, J., Kim, Y., Paik, S., & Lee, K. (2010). An Analysis of Content-related Issues of Curriculum for the Improvement of Contents in Science Education. *Journal of the Science Education*, 34(1), 140-154.
- Lee, S. (2013). A critical study on the structuralizing process of school-subject knowledge: The case of the 2009 revised science curriculum in Korea. *The Journal of Curriculum Studies*, 31(3), 173-199.
- Lee, Y., Yoon, H., Song, J., & Bang, D. (2014). Analysis of science educational contents of Singapore, Canada and US focused on the integrated concepts. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(1), 21-32.
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403.
- Ministry of Education and Human Resources Development[MEHRD]. (2007). *A guide for science curriculum*. Seoul; Ministry of Education and Human Resources Development.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2009). *Curriculum and operational practices from around the world(IV) Canada*. Busan Metropolitan City Office of Education.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2011). *2009 revised national science curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *The Framework for the National Curriculum*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *The National Curriculum in England Framework document for consultation*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Education Program 2010*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Ontario schools kindergarten to grade 12 Policy and Program Requirements*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *A Framework for K-12 science education*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Next Generation Science Standards*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Core curriculum for pre-school education*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Core curricular upper secondary education*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *National Core Curriculum for Basic Education*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Amendments and additions to national core curriculum basic education*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *Kindergarten Curriculum Framework*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). *MOE corporate brochure*. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>

- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). Primart school education booklet. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). Secondary school education booklet. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). Taiwan secondary framework. Retrieved July 28, 2015, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Curriculum Information Center[NCIC]. (n. d.). Taiwan primary, lower secondary framework. Retrieved August 5, 2013, from <http://ncic.go.kr/mobile.wdi.map.do#>
- National Research Council[NRC]. (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2006). *Systems for state science assessment*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academy Press.
- Odum, E. P. (1992) Great ideas in ecology for the 1990s. *BioScienc*, 42(7), 542-545.
- Paik, N. (2006) Specification of presentation form of educational contents in subject curriculum. *The Journal of Curriculum Studies*, 24(2), 207-233.
- 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.
- Salovey, P., & Mayer, J. (1990). Imagination, Cognition and Personality, 9(3), 1989-1990.
- Shin, N., Koh, E., Choi, C., & Jeong, D. (2014). Using a Learning Progression to Characterize Korean Secondary Students' Knowledge and Submicroscopic Representations of the Particle Nature of Matter. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(5), 437~447.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcki, J. (2011). 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.
- Songer, N. B., Kelcey, B., & Gotwals, A.W. (2009). How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progressions focused on complex reasoning about biodiversity. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 610-631.
- Stavy, R., Eisen, Y., & Yakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9(1), 105-115.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*. 47(6), 687-715.
- Tyler, R. W.(1949). *Basic principles of curriculum and instruction*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Westra, R. H. V. (2008). *Learning and Teaching Ecosystem Behavior in Secondary Education*. Unpublished Doctoral Paper. University of van Utrecht.
- Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design(Expanded 2nd Ed.)*. Alexandria, VA: ASCD.
- Wilson, M. (2009). Measuring Progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 716-730.