

ORIGINAL ARTICLE

세계관을 바탕으로 통합과학 교육전략 제안: 기후변화를 중심으로

오준영¹ · 손연아²

(¹한양대학교 · ²단국대학교)

Suggesting Strategies of Integrating Science Based on Worldview: Climate Change

Jun-Young Oh¹ · Yeon-A Son²

(¹Hanyang University · ²Dankook University)

ABSTRACT

The purpose of this study is to suggest some strategies for integrated science. It also suggests educational strategies through worldview. The directions of most educational policy are based on the deficit model. It is assumed that learners are always lacking in knowledge, and as a result they do not understand properly. However, it is difficult for the public and students to change their attitudes because they do not feel much lacking. For example, the world view of climate change coexists with an optimistic mechanical worldview and an organic and entropy worldview. This study is characterized by the process of expanding awareness of living and fulfillment of knowledge rather than the existing deprivation model. Unconnected knowledge has problems in diversity. It is neither sustainable nor flexible. It is not about eliminating interdisciplinarity but about lowering it. We go into another area with your deep expertise, but we must have a purpose. As a result, not only problem solving but also dynamic feedback of mutual feedback between other domains increases the quality and quantity of knowledge.

Key words : integrated science, integrated strategies, worldview, deficit model, an optimistic mechanical worldview, dynamic feedback of mutual feedback.

1. 서론

통합이란 말은, 관련되는 다학문 통합, 간학문 통합, 초학문적 통합 등 여러 학문이 다양하게 연계되는 형태를 통칭하는 경우가 많다(Cantrell & Barron, 1996). 융합은 다른 종류의 것을 녹여서 하나로 합침을 담고 있기에, 통합의 가장 높은 수준의 초학제적 접근뿐만 아니라 학습을 통해 창출되는 새로운 지식과 경험등과 같은 결과물을 기대할 수 있다(Gibbones

et al., 1944). 또한 융합은 인식론적인 측면에서 과학과 인문학과 같이 서로 다른 학문 간의 경계를 넘나들며 새로운 지식을 산출하는 방식이기도 한다. 이상에서와 같이 통합과 융합은 서로 개념적으로 구분이 되지 않지만, 교육적 맥락에서 통합을 어떻게 하느냐에 따라 서로 다른 지식 유형 간에 융합이 이루어진다. 우리의 연구에서는 과학교육에서 교육적 맥락에서 과학교과를 중심으로 한 학제간 통합을, 그 결과를 융합으로 고려하기에 동등하게 사용하였다.

Received 22 March, 2018; Revised 18 April, 2018; Accepted 23 April, 2018

*Corresponding author : Jun-Young Oh, Hanyang University, 222 Wansimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04763, Republic of Korea

Phone: +82-10-3665-3791

E-mail: jyoh3324@hanyang.ac.kr

이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017S1A5A2A01023529)

© The Korean Society of Earth Sciences Education . All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

학생들이 한 영역에서의 학습이 다른 학습에 전이될 수 있다는 것을 깨닫도록 하는 교육방법(Morrow, et al., 1997)이 중요하다.

여러 교과에 걸쳐 교사들의 교육활동을 위계적으로 연관시키는 교육방법(Ingram, 1997)과 시간적, 공간적으로 그리고 내용영역에 있어서 갖는 각각 다른 학습 경험들(교육과정을 구성하는 요소들)이 상호 관련지어져 의미 있게 모아져서 전체로서의 학습이 이루어지고 나아가서 인간의 성향 변화가 이루어지는 것이 통합교육이다(이영덕, 1983).

통합교육이란 개념, 제재, 원리, 주제, 쟁점 혹은 생활 문제를 중심으로 여러 교과목들을 통합하여 교육하는 방식이다. 특히, 교과 통합은 통합 교육의 핵심으로, 통합교육에서 교과는 서로 구별되고 단절된 독립성을 가지지 않는다. 오히려, 여러 가지 방식으로 내용을 재구성함으로써 교과간의 경계선이 사라지게 된다. 따라서 이러한 통합을 통해 학생들은 학습한 정보와 정보 간에 더 많은 관련을 맺을 수 있으며 자기 주도적으로 개념을 활용하고 응용하고 재구성함으로써 해당 개념에 대해 더 폭넓은 이해를 한다. 따라서 이 연구는 통합과학교육의 주요한 목표인 학제 간 분야의 구체적인 전략을 목표로 한다.

이 연구의 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

- 첫째, 기존의 통합과학의 문제점은?
- 둘째, 최근 새롭게 제안된 이론은?
- 셋째, 연구에서 제안된 세계관과 빅 아이디어를 바탕으로 한 생태지위적 통합전략은?
- 넷째, 세계관과 빅 아이디어를 바탕으로 한 기후 변화에 대한 이해는?
- 다섯째, 세계관을 바탕으로 한 교육적인 대응전략은?

II. 통합과학의 정의 및 문제점

이남인(2015)에 따르면, 자연과학을 중심으로 한 학제적 연구는 통섭과 통일보다는 통합을 사용해야한다고 주장하였다. Fogarty(1991)는 통합이 이루어질 수 있는 방식인 다학문적(multidisciplinary), 간학문적(interdisciplinary), 초학문적(extradisciplinary) 통합을 좀더 구체화하여 통합의 특징에 따라 10가지 모형으로 분류하여 제시하였다.

통합의 정도에 따라 학문의 단순한 융합, 학제적 경계를 무너뜨린 진정한 융합이 일어난다. 융합이 일어나면서 새로운 학문분야가 만들어 졌는가를 기준으로 정리하면 Table 1과 같다(Klein, 1996, 2001). 이 연구에서는 통합을 위한 의미 있는 방법론과 인식론을 제안하는 것을 초점으로 한다.

다학제 연구 혹은 다학문적 접근법은 특정 주제 또는 개념을 중심으로 각 교과목간의 연결고리를 만드는 접근법이라 할 수 있다. 즉 다루고자하는 주제나 개념이 정해지면 그 개념과 관련이 있는 과목 또는 영역을 찾아 그것이 어떻게 이루어지는 지를 기술한다. 예를 들면, ‘물’이나 ‘에너지’ ‘환경’과 같은 주제가 다양한 교과목에서 독립적으로 다루고 있다. 하지만, ‘물’이라는 주제가 지구과학, 생명과학, 화학, 물리학, 지리학 등에서 다루어진다면 학습자들은 이들 과목사이의 관련성을 쉽게 발견하기 어렵다.

학제간 연구 혹은 간 학문적 접근은 에너지, 인구와 식량, 대기, 수질, 자연 자원의 활용, 건강 등과 같이 과학교육의 STS영역에서 관심을 가지고 다루는 주제들에서 쉽게 찾을 수 있다. 이는 환경 교육, 과학 교육 및 다른 교육 과정에서도 유용하게 사용할 수 있는 개념을 고려하는 방법을 제시하고 있다. 간학문적 접근법은 여러 영역이나 교과에서 독립적으로 유사한 주제를 다루면서도 긴밀한 연계가 되지 않던 다학제 연구 접근법보다 교과나 영역사이의 경계를 약화시키는 장점이 있을 수 있다. 따라서 현실적으로 우리가 접근하기에 좋은 연구 접근이라 할 수 있다.

Table 1. The Characteristics of Integrated Models

	多學制 연구 multidisciplinary	學制間 연구 interdisciplinary	超學制 연구 transdisciplinary
학문 커뮤니티	기존 학제 기반	기존학제의 연구자들에 의한 학제간 조직	독립적인 학문조직
관점	기반한 학제에 따라 다른 관점	관점들의 경쟁	몇 가지로 수렴
과학적 방법론	학제에 따라 다른 방법론 선호	여러 방법론 선호	선호하는 방법론 존제
제안된 과학적 방법론	학제에 따라 다른 방법론 선호		
		유비추리, 귀추로 연결	
지식 기반	기존 학제	집합적	지식기반 완성
인식론	기존 학제	니치로 인식	주류학문으로 인식
제안된 과학적 인식론	기존 학제	생태학적 지위로 인식	

초학제적 연구는 교과목 사이의 경계를 무너뜨리는 접근법으로, 학습하고자 하는 개념에 대하여 다양한 예를 탐색하고 이들 각각의 예들이 각 교과나 영역에서 다루어질 수 있는 방법을 찾아 적용하는 것이다. 하지만, 실제로 교과나 학문의 영역이 구획화된 우리의 현실에서 이러한 초학제적 접근이 적용되기에는 한계가 있다(차운경 외, 2014, p. 266-267).

무엇보다도 지식은 이미 존재한다는 형이상학적인 기반에서 도출된 통합 전략뿐만 아니라, 학문 간의 피드백이 이루어지는 생태지위적인 접근이 이루어지지 않는다는 점이다. 따라서 이 연구에서는 이러한 문제점을 보강하는 새로운 통합과학을 위해 부각되는 이

론들을 탐색한다.

III. 통합과학을 위해 최근 부각되는 이론

통합과학은 시간적, 공간적, 내용 영역에 있어서 각 다른 학습을 경험하고 나아가 인간의 성향 변화가 가치롭게 이루어지게 하는 과정으로, 학생들이 한 영역에서의 학습이 다른 영역으로 확장전이 될 수 있다는 것을 깨닫도록 하여 자신의 가치관의 변화로 이루어지며, 자연은 모든 것이 정적으로 구분되기보다는 동적인 복잡형 적응 가능한 상호 네트워크로 서로 연

Table 2. Science education for organic metaphors rather than physical machine-based metaphors (revised in Davis, Sumara, & Luce-Kapler, 2008, p.130)

기계적 시스템	유기체적이고 생태적인 시스템
고전 역학	현대과학
기계적 은유	생태계 은유
선형적	순환적
투입/산출의 흐름	피드백 루프
대응성을 지향하는 (행동주의, 심리주의)	정합성을 지향하는 (구성주의를 넘어 생태주의)
목표 지향적인	성장에 관심이 있는
부분적인 분석, 확정적, 발견적인 존재	전체론적이고, 불확정적이며, 탐색적인 존재
형이상학적인	형이하학적인

Table 3. Teaching works (Davis, Sumara, & Luce-Kapler, 2008)

기계적 시스템	유기체적이고 생태적인 시스템
주어진 지식을 주입하여 복제하는 것	인간과 환경의 새로운 연결방식을 통해 무언가 새로운 것을 창조
학습자의 개인적 문화적 결손의 관점, 교육은 통제와 관리의 대상	이미 학습자가 가지고 있는 개별적 문화적 다양성의 시너지를 발생시키는 가능성의 관점, 교육은 이끌리는 과정(engaging)
어떤 것을 알아가는 과정은, 결핍모델에 기초하고 있다. 즉 학습자는 늘 지식이 부족하며, 그 결과 제대로 이해를 하지 못한다고 가정하는 것이다. 교육이란 결국 부족함을 채우는 과정이다(pp.37-38).	늘 변형의 과정이지만, 별로 부족함을 느끼지 않는다. 앎은 사실 살아있는 총족성을 특징으로 한다. 나머지는 그걸 인지하는 사람이 스스로 채워나간다(p.37). 더 큰 앎의 그물망으로 접근
탈 맥락 적이고 기계적인 암기는 시험을 통과하는 데는 도움이 된다(pp.54-55).	가르치는 일의 핵심은 친숙한 것을 낯설게 만드는 것이다. 그것은 학습자에게 익숙한 일상생활에서 주목할 만한 관점을 촉발해 주거나 일상을 맥락 적으로 새롭게 해석할 수 있게 새롭게 해석할 수 있게 주의를 집중해주는 것(p.55).
교육은 직접적으로 모르는 것을 깨달도록 도와주는 것(p.65)	교육은 직접적으로 모르는 것을 깨달도록 도와주는 것이라기보다, 예전에 관심을 두지 않던 것들에 대해 주목하게하고, 그것을 새롭게 해석하는 습관을 길러주는 세밀한 시도(p.65)
목표 지향적인 교육이란, 정해진 목표를 달성하거나 확립된 지식을 표상해 낼 수 있는 선형적-인과적 측면에서 이해한다.	새로운 가능성을 상상할 수 있도록 계속해서 전개되는 프로젝트이며, 그 안에서 참여하고 활동하는 것이다. 미래를 어떤 정답을 가지고 그것을 바라보아서는 안 된다.
교수는 학습자의 지각에 발생할 수 있는 오류가능성, 즉 객관적 외부세계를 내면화하려는 학습자에게 나타날 수 있는 지각의 오류가능성을 교정해주는 일(p.272),	교수는 인간과 환경사이의 암묵적 혹은 명시적 연결 고리와 의미망에 개입하여 그 개체적 혹은 집합적 세계가 정합성을 획득하고 유지할 수 있도록 영향력을 행사하는 행동이라 할 수 있음(p.272).

결되어 있다는 자연관 혹은 세계관의 정립을 가져온다(Table 2).

지난 몇 십 년 사이 교육적 사고에 나타난 중대한 변화의 하나는 기계 기반(machine-based) 은유를 거부하고 보다 유기체적 개념들을 수용하는 것이다(Table 3).

이는 학습은 인과관계의 관점, 즉 가르친 대로 배운다는 선형적인 관점에서 규정되어, 교수와 교육과정을 기계적 관점에서 해석하도록 하였다. 이런 개념구도는 1970년대와 1980년대를 거치면서 변화되기 시작하였다. 보다 전체론적이고, 불확정적이며, 탐색적인 존재로서의 학습을 이해하기 시작한 것이다(Davis, Sumara, & Luce-Kapler, 2008, p.128). 이 변화는 복잡성 과학으로의 이동으로 특징 지워진다. 주로 1600년대 이후 우주는 거대한 ‘시계장치’이며, 그것을 이해하기 위해서는 작게 분해하여야 한다고 보는 분석적 접근이었다. 이것은 지식은 이미 정해져있다고 보는 고대의 플라톤의 형이상학적 이상을 말해준다. 특히 보편적인 법칙, 기본입자, 근본 진리에 대한 탐구 등을 강조한다. 그러나 이러한 분석 방법은 산업시대의 과학과 기술혁신에 대하여서는 효과적일 수는 있으나, 생태계 혹은 뇌 등을 이해하는 데에는 문제가 있다. 예를 들면 신체기관들은 마찬가지로 살아있는 세포들로 구성되지만 그것만으로 기관을 설명할 수는 없다. 이러한 생태적인 복잡성은 스스로 움직이고, 예측할 수 없으며, 더 이상 단순화 할 수 없다. 오히려 진화론적인 사고인 상황 맥락적인 이론을 탐색해야 한다.

지속 가능한 사회를 만들어 나가기 위해 실제 세계에서의 여러 쟁점이 가지고 있는 복잡성(complexity)이 그 어느 때보다도 강조되고, 여러 영역의 통합과 연계가 중시되고 있다. 또한 세계를 환원된 조각으로 파악하기보다는 전체를 총체적으로 바라보는 시스템적인 사고의 중요성도 강조되고 있다. 미국에서는 STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)교육이 강조되고 있으며, 한국에서는 과학, 기술, 공학, 수학에 예술(Art)을 더한 STEAM교육이 강조되고 있다. 하지만 구체적인 전략은 충실히 제시하지 않고 있다. 우선 이 연구는 과학 교육에서 통합교육을 통하여 지속가능한 미래를 위한 통합교육의 이론적인 방안과 그 사례들을 탐색한다.

1. 복잡계와 학습 사고

20세기 후반 심리학, 철학 및 인지 과학은 여러 학문 분야에서 많은 작가의 저서들을 통하여 복잡성 이론의 발달을 보여 주었다(Bateson, 1972; Laszlo, 1996; Maturana & Varela, 1980, 1987). 이것은 많은 구성 요

소를 가질 수 있는 단순 시스템의 상호 연결은 단순하고 균일하다는 것을 강조한다(예를 들어, 가스는 모두 동일하고 동일한 방식으로 작용하는 수백만 개의 분자에 의해 만들어진다). 이와 반대로 복잡성 시스템(예: 유기체, 생태계, 사회)에서는 구성 요소의 속성에 대한 지식만으로 미래의 행동을 예측할 수 없다(예: 기후). 전체 시스템은 비선형 및 피드백 관계로 특징지어지는, 자체 부분(autopoiesis)의 자기-조직화 속성(autoposibility)을 가지고 있다. 복잡한 생명체는 예측할 수 없고 창조적인 경로를 따라 지속적인 자기 조직화를 통해 진화한다. 따라서 복잡성 이론은 특정 경계 내에서 활동 패턴이 반복되고 반복되는 순환(피드백)을 통해 발생하는 새로운 창발형 및 행동을 나타낸다. 다시 한번, 정합한 질서를 불러일으킨다. 복잡성 시스템은 다중성에서 기인하며, 그들은 여러 관점을 기술할 것을 요구 한다.

단순계(simple system)는 몇 개 안되는 변수나 인자가 상호 작용하는 것이다. 포탄이 날아가는 것이나, 전자의 궤도, 충돌현상 등 주로 갈릴레오나 데카르트, 뉴턴 등 계몽주의 사상가들이 연구하던 대상들이다. 특히 뉴턴역학은 성공적으로 적용되어 단순계를 검사하고 예측하고 조작하는데 사용하였다. 하지만 뉴턴도 단순계를 다루는 공식은 변수가 조금만 증가해도 무용지물이라는 것을 알고 있었다. 이러한 복잡계(complicated system)를 위해 과학자들은 확률모형과 통계적 방법을 사용하는 것으로 대처하였다. 중요한 것은 과학의 근본 전제들은 변화하지 않았다는 것이다. 그것은 변수를 추가했을 때 각각의 작용 및 상호 작용을 측정하고자 계산능력이 떨어지는 것이 문제라는 것이다. 하지만 두 경우는 그 시스템은 기계적이다. 이러한 선형적인 서술, 인과적 논리, 유클리드 기하학적인 이미지에서 벗어난 복잡한 현상에서는 그물망, 상호의존적 발생 등, 스스로 변화하는 대상에 적용되는 복잡계(complex system)만이 새로운 반응에 반응할 수 있다(Davis, 2004).

2. 시스템 이론

시스템 이론(System Theory)은 일반 시스템 이론이라고도 하며 전체로서 시스템을 연구하는 학제 간 분야이다. 1940년대와 1970년대 사이에서 시스템 이론은 생물학자인 William Ross Ashby와 인공두뇌학자인 Ludwig von Bertalanffy가 생물학, 물리학 및 공학의 원리를 끌어와서 이론의 토대를 이루다(Ashby, 1946, 1947, 1956; von Bertalanffy, 1968). 보다 최근에는 복잡성 적응 시스템(complex adaptive systems)이나 복잡성

과학(complexity science)이 동의어로 사용되었으므로 이 용어를 이 논문에서는 어느 정도 호환 가능하게 사용할 것이다. 복잡성 과학은 하나의 이론으로 이루어졌다기보다는 하나 이상의 이론적 틀을 포함한다. 살아있고, 적응가능하고, 그리고 변화 가능한 시스템에 관한 본질적인 질문에 대한 답변을 찾고 있는 고도의 학제적(interdisciplinary)이다. 시스템 이론의 주요 교리는 시스템 전체가 그 부분들의 합보다 더 크다는 것입니다. 시스템은 부분들 간의 동적 상호 작용에 의해 정의된다. 이러한 상호 작용은, 구성 요소에 대한 지식으로 예측할 수 없는 관계로, 지원과 제약 조건의 출현을 야기 할 수 있고 초래할 수도 있다. 역동적, 자체 조직화 및 적응형 상호 작용 네트워크이기 때문에, 복잡성은 이러한 시스템에서 발생한다. 시스템 내의 관계는 개별 고정되고 정적인 실체의 집합이 아니라 개인 및 집단반응에서 나온다. 시간, 공간 및 자원 할당과 같은 외부 요인 또한 복잡성 시스템의 역동성에 영향을 미친다.

지난 수십 년 동안 생태학자들은 지역 사회 내의 상호 작용 구조와 패턴이 건강하고 견고한 시스템을 어떻게 생성하는지 연구했다. 흥미로운 사실은 공동체 유형, 시스템의 유형과는 독립적으로 복잡성 증대 및 보다 통합되고 협력적인 시스템이 생산성과 탄력성이 증가하는 경향이 있다는 사실에 대한 인식이 높아지고 있다는 점이다(Levins, 1998). 이 발견과 함께 생산적이고 복원력 있는 공동체가 건강한 초석의 유기체를 뒷받침한다는 것이다(Ripple 과 Beschta, 2004; Steiner, Long, Krumins 과 Morin, 2006). 이러한 견고한 시스템의 중요한 질을 정합성이라고 한다. 견고하고 복잡성 적응형 시스템(complex adaptive systems)은 정보와 자원을 시스템에 다시 공급하는 피드백 루프를 강화한다. 또한 종종 외부 조건의 비교적 알맞은 변화로 인해 시스템의 동작이 급속하게 변하는 임계점 또는 전환점을 갖는다. 이러한 시스템 이론은 다양성과 탄력성을 갖는다.

3. 다양성(Diversity)

다양성의 생성과 유지에서, 더 큰 다양성은 더 큰 복잡성으로 이어지기때문에, 이는 건강한 시스템의 기본이다(Gell-Mann, 1994). 필수적인 도전은, 그러나 전체 공동체 차원에서 다양성을 유지하는 것이 무엇인지 이해하는 것이다. 종종 다양성은 단순히 존재하는 개체의 수를 나타낸다. 그러나 공동체의 복잡성에 대한 이해는 주로 해당 분야가 그 사회 내에서 상호 작용하는 다양한 방법을 조사하면서 나타난다. 따라

서 미국의 자료에 따르면 과학교육 자원의 다양화가 공공의 과학적 소양을 향상시킬 수 있다고 제안한다(Falk 과 Dierking, 2010; Falk 과 Needham, 2013). 이 연구에서는 고립된 단순히 존재하는 개체수가 아닌, 서로 인과적으로 연결된 개념 혹은 이론들을 말한다. 이것은 일종의 이론 간의 정합성이라 한다.

4. 탄력성(Resilience)

과학 교육 시스템은 고도로 상호 연결되고 상호 의존적인 시스템이며, 정의에 따라 탄력성이 뛰어나야 한다. 일반적으로, 상호 연결성과 상호 의존성의 패턴의 개발은, 복잡한 시스템과 사회의 견고성과 탄력성에 필수적인 요소의 자기 조직화의 자연적인 결과 모두 역사적 또는 외적 요인에 의해 이러한 자기 조직 원리를 무시할 수 없다. 건강한 시스템의 다양성은 종이나 유기체의 수 그 이상이다(Levins, 1998). 이해를 위한 핵심 척도는, 그 사회의 다양성은 개개의 종에 대해서는 별로 중요하지 않으며 앞서 언급했듯이 생물 종의 집합, 즉 유기체의 기능적인 그룹들과 더 관련이 있다. 특히, 체계의 다양성을 실제로 결정하는 것은 다양한 "지위"(즉, 유기체 또는 개체군이 자원과 경쟁자의 분배에 반응하는 역할과 기회)에 종의 집합체를 조직하는 것이다(Gell-Mann, 1994). 따라서 커뮤니티의 건강과 탄력성에 대한 분석은 커뮤니티를 구성하는 개체의 다양성과 그 개체가 상호 작용하고 역할을 수행하는 방식을 연구하고, 커뮤니티에 "빈 지위" 즉, 자원 및 기회가 현재 완전히 유용하지 않다(Levins, 1998). 우리의 연구는 다양성이 존재하지 않으면 탄력성도 문제이지만, 지속 가능성에서도 문제가 발생한다는 점이다.

IV. 세계관을 바탕으로 한 생태 지위적 접근

개념 생태(conceptual ecology)는 개념이 독립적으로 존재하는 것이 아니라 학습자의 생태적 환경 하에 놓여 있으며 생태 지위(niche)를 차지함으로써 발달한다는 것을 초점으로 하고 있다(Toulmin, 1972). 즉, 학습자의 다양한 인지 환경에 의해서 개념이 형성되고 그러한 개념들 간에도 서로 경쟁하면서 더 이해가능하고 타당하며 적용 가능성이 있는 개념이 우위를 차지한다는 것이다(Hewson와 Hewson, 1984; Taber, 2001). 이처럼 학습자의 개념이 어떻게 발달하고 있는지 그리고 개념을 둘러싼 요인들이 어떻게 상호작용하고 있는지를 알아보기 위한 개념 생태에 관한 연구들이

많이 이루어지고 있다(Deniz et al., 2008; Southerland et al., 2006).

그러나 학습자의 개념 생태에 관한 연구에서 간과한 두 가지가 있다. 첫째, 개념 생태는 학습자의 개념 변화를 이루고 있는 구성 요소들의 환경을 생태계로 비유하였는데, 정작 개념 생태에 존재하고 있는 학습자의 개념의 생성 전략에 대해서는 언급하고 있지 않고 있다. 둘째, Toulmin(1972)이 개념 생태를 과학교육에 처음 언급하였듯이, 개념은 학습자의 생태적 환경 하에서 생태 지위를 차지함으로써 발달한다고 하였는데, 대부분의 개념 생태에 관한 연구에서는 개념의 생태 지위를 언급하지 않고 있다. 따라서 사람은 환경과 상호 작용하면서 개념에 대한 인지적 생태 지위를 형성하고 있다는 연구결과(Magnani, 2007)를 바탕으로, 학습자의 개념 생태 내 개념과 개념 간의 관계를 개념의 생태 지위로 살펴볼 필요가 있다.

개념 생태는 학습자의 개념 변화를 생태계로 비유하였다(Toulmin, 1972). 개념 생태에서는 개념 변화를 다윈의 진화적 관점에서 종에 대한 자연 선택에 비유함으로써 학습자의 인지 환경에서 가장 적합한 개념 및 지식이 선점된다(Strike와 Posner, 1985; Taber, 2001). 즉 학습자가 가지고 있는 다양한 개념들이 존재하는 곳을 생태계로 보듯이 그 속에 있는 개념들은 다양한 종(species)으로 보고, 종들끼리 생태 지위를 가지고 종 간 관계를 지니듯이 학습자의 인지 구조인 개념 생태 내 존재하는 개념끼리도 관계를 맺으면서 의미를 갖고 서로 경쟁한다고 보는 것이다(Hewson와 Hewson, 1984; Strike와 Posner, 1985).

그러나 학습자 인지구조 속 개념간의 경쟁은 추상적이어서 눈으로 볼 수 없다. 그렇지만 개념이 사람의 인지 구조에서 여러 가지의 지식들과 용어로 서로 관련되어 있고 조직화되어서 관련 지식 및 용어 간의 의미의 관련성으로 체계적으로 범주화 되어 있다(Masson, 1995; Sternberg, 2005). 따라서 개념 생태 내 개념 간 관계도 관련 있는 지식 및 용어들을 바탕으로 학습자가 인식하기에 좀 더 관련성 높고 이해 타당한 개념을 우선순위에 둬으로써 발생한다고 볼 수 있다. 그러므로 생태 지위적 접근은 특정 개념에 대해 관련성 측면에서 학습자가 인식하는 개념 간 관계의 분석 접근으로 보고자 한다.

Toulmin(1972)의 생태학적 유추에 근거한 Posner et al.(1982), Strike와 Posner(1985, 1990), 그리고 나중에 Thorley(1990), Beeth(1993)는 개별 학습자의 개념이 구성하는 다양한인지 요소에 적응한다는 학습자의 개념 생태를 개발했다. 그것은 과거 경험, 인식론적 공약,

형이상학적 믿음과 개념, 그리고 다른 지식을 포함한 다(Strike와 Posner, 1985). 그리고 Kelly와 Green(1998)은 개념 생태학의 개념을 사회 문화적 요인으로 확대했다. 개인의 개념 생태계의 구성 요소의 강도와 성격은 학습자의 개념 변화 경험에 영향을 줄 수 있다(Kelly & Green, 1998). 개념 변화의 최초 공식화(Posner et al., 1982)는 Toulmin(1972)의 개념 생태학 개념을 포함한다. Cobern(1993)의 세계관과 유사하게, 이 개념적 생태학은 학습자의 인식론적 공약(epistemological commitments), 변칙(anomalies), 은유와 유추(metaphors & analogies), 형이상학적 믿음(metaphysical beliefs), 경쟁 개념에 대한 지식(knowledge of competing conceptions), 그리고 개념 외부의 지식(knowledge from outside the field)을 포함한다. 따라서 이 연구에서도 이러한 요소가 개념 생태계를 이루는 중요한 요소라고 간주하였다.

그리고 학습자 대부분이 학습 내용을 학습자가 사용하는 구체적인 내용으로 이해하기 보다는 개념의 구성으로 이해하고 있고(Riemeier와 Gropengie er, 2008), 사람은 환경과 상호작용하면서 개념에 대한 인지적 생태 지위를 형성하고 있다는 연구결과(Magnani, 2007)를 바탕으로, 학습자의 개념 생태 내에서 자리 잡고 있는 개념과, 그들 사이의 간의 관계를 Cobern(1993)의 세계관 속에서 개념의 생태 지위로 살펴볼 필요가 있다.

1. 세계관(Worldview), 형이상학 믿음과 개념

세계관은 사건이나 상황, 자신을 포함한 주변세계에 대한 인식 또는 판단의 가치가 되는 전제의 틀이다. 또한 세상을 바라보는 관점, 인식의 틀, 해석의 틀을 세계관으로 정의하고 있다. 세계관은 세상을 바라보는 창이다. 어느 시대에나 그 시대를 움직이게 했던 세계관이 있었으며, 그 시대 사람들은 의식적이든, 무의식적이든 이 세계관에 의해 영향을 받으며 살아 왔다고 할 수 있다. 그러므로 사람들은 자신의 세계관에 의한 목표와 가치에 따라 세상을 판단하고 행동하며 삶을 영유해가는 것이다.

이 연구에서는 Toulmin의 개념 생태계를 세계관을 기준으로 세계관, 가치 체계, 행동 양식으로 크게 구분하여 재구조화 하였다. 먼저, 형이상학적 믿음과 개념(Metaphysical Beliefs and Concepts), 형이상학적인 믿음(영역 일반적)이고 형이상학적 개념(영역 특수적)으로 구분하였으며, 실험 불가능한 심층적으로 자리 잡고 있는 존재론적인 믿음을 말한다. 이는 인식론적인 개념의 기반이 된다. 그리고 이 연구에서는, 자연과 나를 구분하는 범주로, 믿음의 세트(a set of beliefs),

범주(categories), 물질의 세트(a set of substance), 그리고 나를 포함한 사회, 자연, 그리고 초월적인 신으로 크게 구분하였으며, 초월적인 신은 인간 개개인의 사적이고 초자연적인 견해로, 자연의 연구는 공적이고 자연주의적 견해로 보았다(형이상학적 믿음).

자연과 나와 의 관계에서 무엇이 문제(내가 할 수 있는 것이 무엇인가)이며, 문제를 어떻게 해결할(나는 어떻게 행동할 것인가) 것인가(purports). 즉, 자연을 우리가 탐구 가능한 대상이며 가능한가. 또한 탐구는 어떻게 하는가. 이에 대해 첫째, 자연의 질서와 규칙성은 시간과 공간에서도 변화하지 않는다. 우리는 그러한 자연의 질서와 규칙성을 우리의 이성으로 이해 가능하다. 하지만, 초월적이고 초자연적인 존재자를 설정한다면, 우리의 이성으로 자연 전부를 이해 불가능할 수 있다. 둘째, 따라서 그러한 자연의 질서를 인과관계로 탐구해야 한다(형이상학적 개념).(Fig. 1 참조)

2. 가치체계와 방법론

형이상학적 믿음은 개념적 도식이며 가치체계를 결정하는 세계관이다.

세계를 두 부분, 즉 인식의 주체(인간 정신)와 인식 가능한 사물(자연)로 나눈 후, 더 나아가서 이 둘 간의 매우 특수한 관계에 대하여 규정한다. 이들의 관계는 자연에 관한 지식을 이끄는 상호작용으로 규정한다. 예를 들면, 뉴턴역학에서 과학적이고 객관적인 사고를 인간의 이성이라 특징 지으면서, 인간의 이성과 자

연과의 관계는 거리와 분리이다. 우리의 존재는 진화의 정점에 있으며 우연적이다(나는 누구이며 왜 존재하는가?: 자연주의적 답).

하지만 초월적 혹은 초자연적인 신은 분명하지만, 인격적인 신과는 거리가 멀다. 즉 인간과 자연을 창조했고, 자연의 법칙을 완성하였기에 두 부분에 관여하지 않는다. 그 결과 우리는 자연을 탐구하고 관리하는 권한을 위임받았다(나는 누구이며 왜 존재하는가. 알 수 있는 것은 무엇인가?: 초자연적인 답).

우리가 탐색할 자연은 자연의 법칙과 이론이 존재하고, 우리의 이성에 의하여 판단하고 탐색가능하다(내가 알 수 있는 것은 무엇인가?).

- 가치 체계와 방법론: 이론과 법칙에 대한 가치판단과 그들의 현상에 대한 방법론이다.
- 가치 체계: 자연의 이론은 이론 내적 가치인 아름다움이 있다.
- 방법론: 이성을 통하여 직접적인 감각 경험보다는 관찰을 통해 자연에 대한 과학적 지식을 인과관계로 정당화하고 탐색한다(나는 그것을 어떻게 아는가?).

3. 행동 양식과 시대정신

첫째, ‘시대정신’이라는 것은 그 시대의 과학발달에 큰 영향을 받는 것이다. 과학적 발견이 한 시대의 지적 분위기를 결정 짓는다는 것은 잘 알려진 사실이다. 예를 들면, 뉴턴 역학은 중세의 낡은 사고를 밀어내고 계몽의 시대를 완성하는 데 결정적인 역할을 하였다.

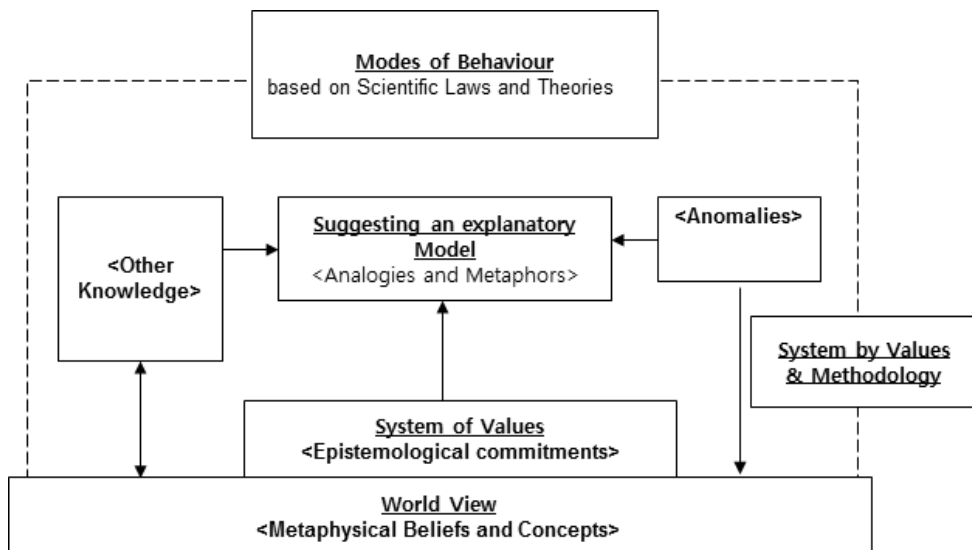


Fig. 1. The Structure of holistic conceptual frameworks involving Worldview based on Toulmin's Conceptual Ecology

뉴턴 역학으로 인해 자연은 미래가 결정되고 예측되는 대로 작동되는 기계와 같다고 보게 되었다. 누구나 자연권을 가지며 평등하다는 것이다. 또한 다윈이 자연 선택의 원리를 발견하자 사람들은 세상이 신이 예정대로 진행되는 것이 아님을 알게 되었고, 양자 역학을 통해 세계가 완전히 합리적으로 움직이지 않는다는 것을 알게 되었다(나는 어떻게 행동하고, 우리는 어떻게 되는가?).

둘째, 실제의 방법론적 원리와 가치 판단 기준(Methodology & System by Values), 가치 평가의 기준이 되는 인식론적인 개념은, 과학에 대한 일반적인 견해(영역 일반적), 어떤 과학 영역에서 성공적인 설명들(특정 영역)로 구분하였으며, 이들은 과학 연구의 동기와, 과학이론 평가의 기준이 된다. 또한 과학 연구의 방법론으로, 연구의 동기가 되는 변칙들, 그러한 변칙을 해소하는 방법으로 유비와 은유들로 구성되어 설명 가설을 제안하도록 한다. 또한 설명 가설과 관련된 되는 현상들도 포함된다.

셋째, 태도와 행동 양식(Modes of Behaviour), 가치 체계와 방법론에서 결국은 하나의 공동체적인 활동으로 가는 사회적 원리로 이해되는 태도와 행동 양식으로 표현된다.

안다(knowing)는 것은 우리가 이해한 것들에 대한 참 혹은 타당하다고 받아들여 깨닫는(apprehension) 것으로, 일종의 형이상학적 과정이다. 또한 이러한 형이상학적 과정은 지식으로서 이해하기보다는 깨닫기 위해서 하나의 중요한 바탕이 된다. 즉 이해한다고 언젠가 깨닫는 것은 아니다. 어떤 사람은 지식으로서 이해한 개념을 수용하지 않은 반면에, 지식으로서 그 개념을 수용하여 깨닫는 것이다. 형이상학과 세계관은 궁극적인 범주라고 할 수 있는 유사한 개념들이다.

따라서 이 연구에서는 첫째, 형이상학적 믿음을 세계관의 중요한 요소로 나와 자연과의 자연이라는 실체사이에 어떤 범주화를 기반으로 하여, 둘째, 주관적으로 인식론적인 주요한 요소들(내적 외적 일관성, 이론 자체의 단순성과 절약, 우아함, 등등, 도덕 윤리 사회문화적 가치, 등) 중 하나 이상에 영향을 준다고 할 수 있다. 즉 적절한 이론을 구성하고 선택하는 데 어떤 가치를 두고 인식론적인 과정(방법론을 포함)을 전개하는가에 있다고 할 수 있다. 셋째, 이해함을 떠나 가슴으로 깨달은 지식의 결과는 어떤 행동양식(과학 활동에 의한 산출물 과학 이론을 포함)으로 나타나는 가이다. 즉, 전체적인 개념들의 구조는, 세계관(자연 과학에서는 자연관 혹은 우주관), 가치관(자연 과학에서는 방법론 포함), 경험 세계의 하나인 가시적인 행

동 양식(자연과학에서는 법칙에 따른 한 시대정신)으로 구분하였다.

V. 통합과학을 위한 중요한 전략

현대 과학에서는 이론과 현상 사이의 대응성 보다는, 주로 이론 간의 정합성을 강조하고 있다. 따라서 학제 간 통합 과학을 목적으로 하기에 전체간의 정합성을 이루는 방향으로 통합이 이루어져야 한다. 우선은 영역이 전환이 되기 위한 전략으로는 유비 추리와 귀추, 동일한 영역에서는 과학 법칙이 개입되는 인과 관계를 사용하지만, 빅 아이디어의 중심개념은 정합성이라고 할 수 있다.

1. 논리적 과정으로 과학적 추론: 유비적 추리

유비를 통해 새로운 지식을 생성한다는 것은, 과학 학습에서 문제를 해결한다는 것과 동일한 의미로 쓰일 수 있다. 처음 보는 낯선 문제를 이해하고 해결해야 하는 경우에, 그와 유사한 과거의 경험을 회상하고 그로부터 실마리를 얻을 때 유비가 사용될 수 있다. 이때 과거의 경험이라는 것은 일상적 경험, 이미 배운 지식, 앞서 이루어진 실험의 상황 또는 결과, 타 학문의 내용 등 모든 것을 포함할 수 있다.

목표 문제를 즉, 과학 영역의 문제를 해결하기 위하여 유사한 원리를 가진 타 학문의 내용을 차용함으로써 보다 더 창의적이고 비판적으로 문제를 해결해 보도록 구성하였다. 이것을 연구에서 학문 통합적 유비라 할 수 있는데 영역 간의 전이를 통한 통합교육을 하는 중요한 전략 도구이다. 유비의 단계에 대해서는 여러 학자들이 다양한 단계를 제시하고 있다. Holyoak 과 Thagard(1995)에 따르면 유비를 통한 문제 해결의 과정은 기억으로부터 정보를 인출함으로써 근원 영역을 선택하는 과정(selection), 근원 영역과 표적 영역의 유사성을 연결하는 사영 과정(mapping), 사영에 의해 생성된 추론, 가설을 평가하는 과정(evaluation), 유비의 성공 또는 실패로부터 더 일반적인 원리를 배우는 학습 과정(learning)의 네 단계로 이루어진다.

이 연구는 Oh와 Jeon(2017), Holyoak과 Thagard(1995) 그리고 Gentner(1983)가 제안한 유비모형을 결합하여 좀 더 개선된 모형을 사용한다. 또한 영역 전이를 통한 문제 해결에는 유비를 사용한다. 또한 귀추도 중요한 전략(Magnani, 2007)이지만 이 연구에서는 주로 유비만을 사용한다.

인과 관계, 동일한 영역, 혹은 동일한 영역내의 관

계들을 관계 지을 때 인과 관계를 사용한다(Gentner, 1983). 특히 자연 과학에서는 과학 법칙을 도입한다(이남인, 2015). 인과 관계는 현상에 대한 설명이지만, 가설 연역법은 동적인 발전이다. 따라서 우리는 정적인 단계에서는 현상을 설명하기 위하여 과학 법칙을 개입되는 인과 관계, 동적인 단계에서는 좀 더 발전시키는 가설-연역적 방법을 사용하지만, 질문자의 인과적 질문과, 가설의 결과를 탐색하는 질문으로 시작하였다.

집단 수준에서의 추론은 특히 창의적, 비판적 의사결정과 문제 해결에 중요하다. 협동적 문제 해결은 과학교육에서 학생의 인지적 추론, 지식에 대한 사회적 의사소통, 의사 결정 능력의 발달을 촉진하는 효과적인 전략으로 알려져 있다(Akkerman et al., 2007; Tolmie et al., 2010).

2. 빅 아이디어

빅 아이디어(Big idea)란 독립적인 개념들을 서로 연결시켜 다양한 현상을 설명할 수 있도록 하는 한 학문 내 또는 다양한 학문을 아우르는 개념, 원리나 모델로 포괄적이고 중요한 것에 대한 이해이며 특정 분야에 한정되지 않고 여러 학문의 기저가 될 수 있는 idea를 의미 한다(Duschl et al., 2007; Smith et al., 2006; Wiggins & McTighe, 2005). Big idea는 Bruner(1960)가 제시한 지식의 구조(학문의 기저를 이루고 있는 일반적인 원리)와 같은 맥락에서 이해될 수 있으며, Reeves(2002)가 주장한 성취 기준 (power standards), 즉 내용보다 우선순위에 위치해야 하는 것이 가능성이 높은 개념이나 과정과도 일맥상통 한다고 볼 수 있다.

Big idea는 학생들로 하여금 과학의 다양한 개념들을 통합적으로 이해할 수 있도록 도움을 줄 수 있으며 교육과정을 설계하는 바탕이 될 수 있다. Big idea는

교사들이 학생들로 하여금 단편적으로 배우는 개념들이 어떤 연관성을 가지며 특정 현상에 대한 인과적 설명을 제시하고, 과학 교과들의 중요성을 인식할 수 있도록 수업을 구성하는데 도움을 줄 수 있는 것이다. 또한 Big idea는 단편적 사실과 달리 다른 토픽, 탐구, 맥락, 이슈, 문제에 적용할 수 있기 때문에 높은 전이가능성을 가진다. 특히 학습해야 하는 지식의 양이 매우 방대한 현대 사회에서 주요 아이디어에 집중하는 것은 정보의 과부하를 막는 한 가지 방법이 될 수 있다 (McTighe & Wiggins, 2004).

이는 자연을 구성하는 것들의 존재를 이해하고자 한다는 측면에서 정적인 개념 및 원리이며, 그 존재들의 특징이 다양하다는 것을 한 차원에서 설명하므로 수평적인 성격을 갖는다. ‘구조’는 자연에 존재하는 대상을 이해하고자 한다는 점에서 ‘다양성’과 같이 정적인 특성을 갖는다. 하지만 전체가 각 부분으로 구성된다는 측면으로 대상을 이해하고자 한다는 점에서 수직적인 성격을 갖는다. 즉, ‘구조’를 통해 우주에서 입자에 이르기까지 자연은 전체와 부분으로 이루어진 수직적 위계를 가지고 있음을 이해할 수 있다. ‘구조’는 각 부분은 특정 기능을 수행하는 구조를 가지고 있으며 이들은 전체를 위해 함께 기능한다는 의미를 갖는다. 이를 위해 구성 요소, 관련성, 기능과 같은 간학문적 개념들이 사용된다.

초·중등학교 통합형 과학교육과정을 개발할 때 통합의 중심이 될 수 있는 Big idea로 ‘다양성’, ‘구조’, ‘상호작용’, ‘변화’를 생성하였다(Table 4).

이 네 가지 Big idea는 다양한 간학문적 개념들을 포괄하는 원리의 형태를 띠고 있다. 표에 Big idea의 의미와 Big idea에 포함되어 있는 간학문적 개념들을 나타내었다. 간학문적 개념들은 Big idea의 이해를 위해 필요한 개념으로, 각 Big idea로 범주화된 필수학습

Table 4. The concept of the big idea and the interdisciplinary concept included in the big idea (방답이 외, 2013)

Big idea의 성격		Big idea	Big idea에 포함된 간학문적 개념
정적	수평적	다양성 자연에는 각각의 특징을 가진 다양한 것들이 존재한다.	특성, 공통점/차이점
	수직적	구조 전체는 각각의 부분이 모여 구조화되어 있으며, 각 부분은 특정기능을 수행하는 구조를 가진다.	구성요소, 관련성, 기능
동적	양방향	상호작용 자연을 구성하는 요소들은 서로 연관되어 영향을 주고받으며, 이로 인해 여러 현상들이 나타난다.	영향, 적응, 지속가능성
	일방향	변화 자연은 변화하며, 변화에는 원인이 있고 변화하는 동안 규칙성이 나타난다.	변화/보존, 전환, 순환, 규칙성

요소들에 포함된 교과 내 개념을 포괄하는 전이 가능한 개념으로 추출하였다. ‘다양성’과 ‘구조’는 자연이 현재 존재하고 있는 모습, 즉 자연의 정적인 측면을 이해하고자 하는 것이며, ‘상호작용’과 ‘변화’는 자연에서 나타나는 변화, 즉 자연의 동적인 측면을 이해하려는 것이다. ‘다양성’은 대상의 특성이나 공통점 또는 차이점과 같은 간학문적 개념을 이용하여 자연에는 각각의 특징을 가진 다양한 대상이 존재함을 이해하고자 하는 Big idea이다.

‘상호 작용’은 자연을 구성하는 요소들이 서로 연관 되어 영향을 주고받으며 이로 인해 나타나는 여러 가지 자연 현상이 있다는 것을 이해하고자 하는 큰 생각(Big idea)이다. 자연 현상을 설명하고자 한다는 측면에서 동적인 개념 및 원리이며, 일방향적인 변화가 아닌 양방향적인 변화의 방향을 담고 있다는 점이 특징이다. 영향, 적응, 지속 가능성과 같은 간학문적 개념들을 이용하여 ‘상호 작용’을 이해할 수 있도록 하였다. ‘변화’는 자연의 변화를 동적으로 이해하려고 하는 개념 및 원리이다. 자연이 변화하고 있다는 사실과 그러한 변화에는 원인이 있으며 변화하는 동안 나타나는 규칙성이 있음을 의미하는 것이다. ‘상호 작용’과 달리 변화의 종류나 변화가 일어나는 과정에서의 특성을 이해하고자 한다는 측면에서 일 방향적인 성격을 띤다. 이 큰 생각(Big idea)이 담고 있는 간학문적 개념은 변화와 보존, 전환, 순환, 규칙성 등이다. 하지만 이 연구에서는 통합 교과의 과정보다는 문제 해결을 위한 시스템 이론을 위하여, 이론의 존재를 상정하였다. 또한 전체적인 큰 생각(Big Idea)은 정합성이다(Table 5).

이 연구에서는 이러한 큰 생각은 인과적 관계로서

로 엮어진다는 정합성의 관점으로 다시 기술한다.

먼저 ‘다양성’은 자연을 구성하는 것들의 존재를 이해하고자 한다는 측면에서 정적인 개념 및 원리<원인>이며, 그 존재들의 특징이 다양하다<그러한 원인이 다양>는 것을 한 차원에서 설명하므로 수평적인 성격을 갖는다. ‘구조’는 자연에 존재하는 대상을 이해하고자 한다는 점에서 ‘다양성’과 같이 정적인 특성을 갖는다. 하지만 전체가 각 부분으로 구성된다는 측면으로 대상을 이해하고자 한다는 점에서 수직적인 성격을 갖는다. 즉, ‘구조’를 통해 우주에서 입자에 이르기까지 자연은 전체와 부분으로 이루어진 수직적 위계를 가지고 있음을 이해할 수 있다. ‘구조’는 각 부분은 특정 기능을 수행하는 구조를 가지고 있으며 이들은 전체를 위해 함께 기능한다는 의미를 갖는다. 이를 위해 구성 요소, 관련성, 기능과 같은 간학문적 개념들이 사용된다<다양한 원인들이 작용>.

‘상호작용’은 자연현상을 설명하고자 한다는 측면에서 동적인 개념 및 원리이며, 일 방향적인 변화가 아닌 양방향적인 변화의 방향을 담고 있다는 점이 특징이다. 영향, 적응, 지속가능성과 같은 간학문적 개념들을 이용하여 ‘상호작용’을 이해할 수 있도록 하였다. ‘변화’는 자연의 변화를 동적으로 이해하려고 하는 개념 및 원리이다. 자연이 변화하고 있다는 사실과 그러한 변화에는 원인이 있으며 변화하는 동안 나타나는 규칙성이 있음을 의미하는 것이다<시간과 공간에 따라 상호작용에 적용되는 어떤 개념과 원리라는 동적인 규칙성에 따라 지속적인 변화>.

VI. 세계관을 바탕으로 한 지구 온난화 이해

Table 5. Methodological conception of the meaning of Big Idea and formation of scientific Theory in Big Idea

Big idea의 성격		Big idea	Big idea에 포함된 간학문적 개념
정합성	정적	다양성 자연에는 각각의 특징을 가진 다양한 이론들이 존재한다.	특성, 공통점/차이점이 있으나 연결 됨.
		구조 전체는 각각의 부분이 모여 구조화되어 있으며, 각 부분은 특정 기능을 수행하는 이론 구조를 가진다.	구성요소, 관련성, 기능에 따라 구조화
	동적	상호작용 자연을 구성하는 요소들은 서로 연관되어 영향을 주고받으며, 이로 인해 여러 현상들이 나타난다.	영향, 적응, 지속가능성으로 탄력과 회복
		변화 자연은 변화하며, 변화에는 원인이 있고 변화하는 동안 규칙성이 나타난다.	변화/보존, 전환, 순환, 규칙성으로 정합성 방향으로 진화

실제 세계의 여러 쟁점이 기대와는 달리 복잡한 양상을 띠고 있다는 점은 기후변화와 같은 쟁점에서 쉽게 파악할 수 있다. 기후 변화에 대한 중요한 논점은 기후 변화가 자연적으로 일어나는 변화인지 혹은 인간의 활동에 의해 일어나는 변화인지를 살피는 것이다. 하지만 2007년 국제 기후 변화 패널(International Panel on Climate Change: IPCC)은 ‘기후 변화 종합 보고서’를 통해 최근 100년 동안 지구의 기온이 0.74도 상승했고, 매년 해수면이 1.8m씩 상승하고 있으며, 이는 인간의 활동결과임을 명백히 하였다.

이런 추세가 계속되어 기온이 지속적으로 상승할 경우에는 지구 내 인간과 다른 생물들의 지속가능성이 심각하게 위협을 받는다는 점을 경고하고 있다. 이를 해결하기 위한 방법에는 기후 변화 원인(완화 관련)과 기후 변화 결과(적용관련)쟁점 등에 관한 변혁적인 접근이 필요하다고 하였다. 기후 변화 교육에서는 기후 변화 원인에 관련된 과학적 개념, 과정이외에, 기후 변화의 불확실성, 위험성에 등에 대한 이해가 필요하다고 하였다.

현재 이루어지고 있는 기후 변화의 과정과 관련된 과학적 설명을 넘어서 사회 전반을 변화시킬 수 있는 변혁적인 접근이 필요하다고 하였다. 따라서 기후 변화 교육과 지속 가능 발전 교육과의 밀접한 관련성을 이해할 수 있다. 기후 변화 쟁점이 가지고 있는 복잡성과 상호 관련성은 지구와 사회적 시스템 전체에 대한 체계적인 사고가 없이는 불가능하기 때문에, 지속 가능한 사회, 지속 가능한 미래를 위하여, 통합교육적 접근이 중요하다. 우리의 연구에서는 이러한 행동들은 우리인간의 개념 생태계의 지위를 확보해 나가는 능동적인 과정이라고 본다.

1. 세계관을 기반으로 한 지구온난화 설명

지구온난화의 과정을 설명하는 과정 지식은 간단히 설명하면 다음과 같다.

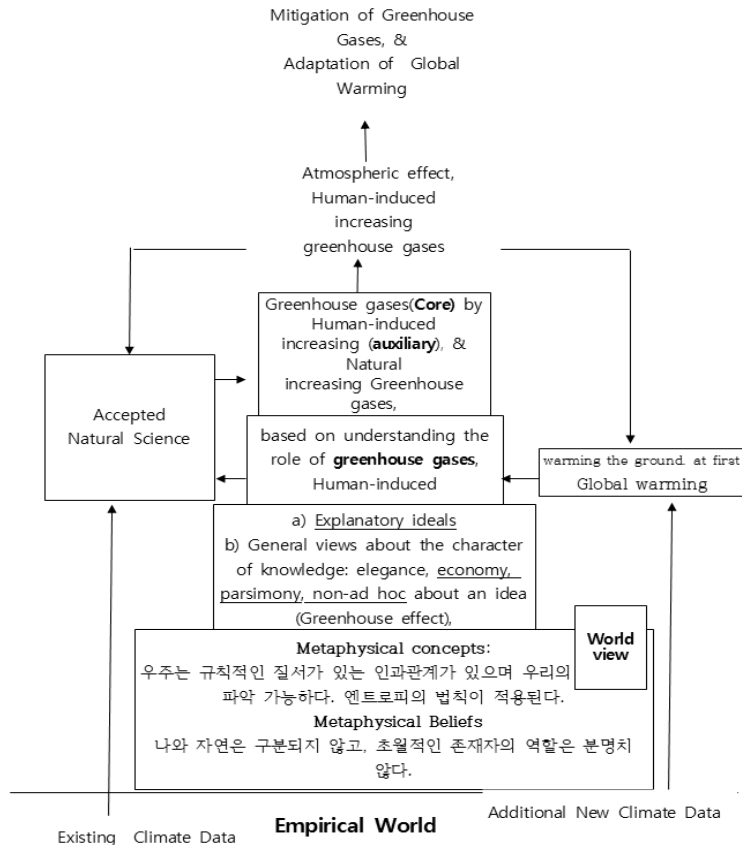


Fig. 2. Climate change based on Worldview

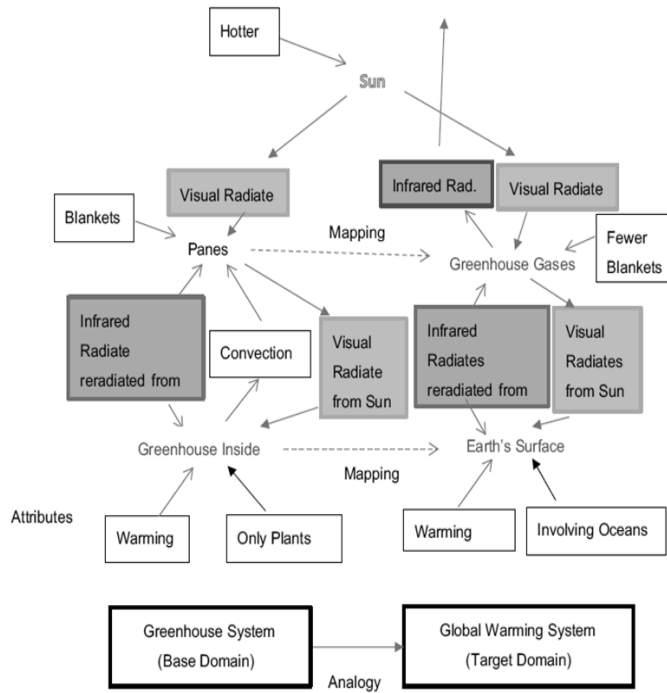


Fig. 3. Structural analogy to global warming, <Static> (from Oh and Jeon, 2017, p. 836)

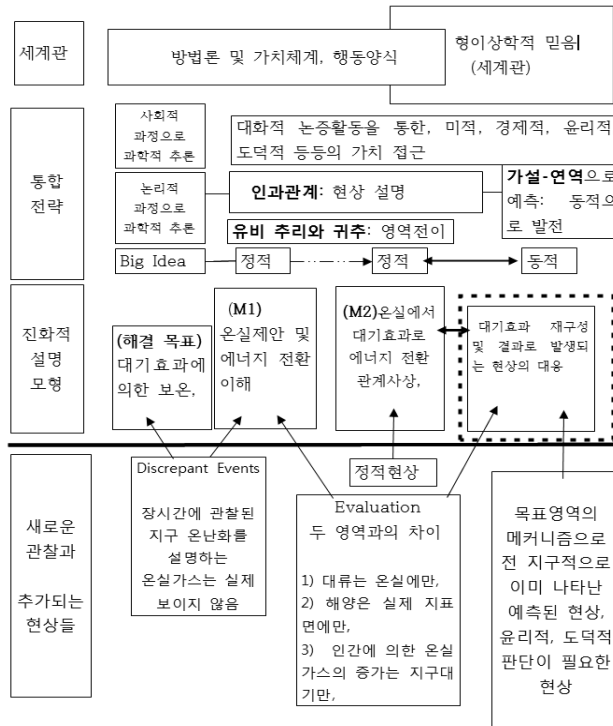


Fig. 4. Global process of integrated science strategy: global warming application < Static & Dynamic>

개념생태계의 과학적 방법론과 가치

정적(Static): 요소들의 정적인 구조에 의한 지구의 복사 평형

전략: 비유에 의한 온실과 대기의 통합, 비유와 인과적 질문 필요

<문> 지구는 온실에서처럼 지구가 따뜻하게 유지되는 원인은 다양하지만, 가장 큰 이유는 무엇인가? <다양성><위계구조>

<답> 결국, 지구 대기에 의해 흡수되지 않고, 지표면에 도달되는 태양복사에너지의 대부분인 가시광선은 지표면을 가열하겠지요. 지표면에서 다시 방출하는 적외선이 온실가스가 선택적으로 흡수되어, 재 방출되어<위계구조>마치 온실 안에 에너지가 머물러 있는 것처럼 지구는 따뜻해진다고 할 수 있지요. <온실비유에 의한 대기효과설명, economy, parsimony, non-ad hoc 이론 선택의 가치>

동적(Dynamic): 가설-연역으로 결과 예측, 결과 확인

전략: 요소들의 상호간의 피드백, 가설의 결과를 탐색 하도록 질문

<문> 계속온도가 올라가지 않은 것은 지구도 태양으로부터 받아들이는 것만큼 결국 거의 같은 양을 우주로 방출한다고 알고 있다. 하지만, 바다 혹은 지표면에서 저장되었던 온실가스의 방출보다는 우리 인간의 산업화에 의하여 방출되는 양이 많을 뿐만 아니라 그 양이 최근에 급격하게 증가한다면<상호작용>, 전 지구적으로 온도상승은 가능하지 않겠는가? <가설-연역적 질문>

<답> 아.. 그렇다면 전 지구적인 기온상승의 지속적인 보고(일치되는 자료들)는 우리 인간의 온실가스의 방출이 촉진시키는 결정적 요인이군요. <변화> <양의 피드백 확인>

<문> 또한 온실가스의 흡수를 막는 산림파괴와, 온실가스의 분출을 가속시킨다고 할 수 있는 해수의 온도의 상승을 예상할 수 있다<상호작용>. 그러한 현상이 실제로 일어나는가? <가설-연역적 질문>

통합과학 전략에서 활용되는 질문(Questions)은 지지하는 질문과 불일치 질문의 두 가지로 구분할 수 있다(Rea-Ramirez, 1998). 이 연구에서는 다시 기존의 지식을 지지하는 질문을 인과적 질문과 서술적 질문으로 나누어, 통합적인 정신 모형, 혹은 설명 모형을 형성하는 데 도움이 되도록 하였다. 하지만, 기존의 지식과 갈등하는 불일치 질문은, 기존의 지식과 갈등을 유발하여 탐구의 시작이 되도록 하였다. 이 연구에서는 불일치 질문을 유비 추리의 시발점이 되도록 하였다.

여기에서 지지하는 질문(Supporting Question)에는 인과적 질문(현상에 대한 설명)과 서술적 질문(가설의 결과 현상탐색하기)이 활용된다. 그리고 불일치 질문(Discrepant Question)을 통해 갈등이 유발되어, 과학 탐

구를 시작한다.

대부분의 창의적인 발견들은 서로 관련 없어 보이는 둘 혹은 그 이상의 것들을 관련짓는 심적 과정을 포함한다. 철학과 심리학에서는 이를 유추(analogy)라고 한다. 현재 주어진 문제들을 해결하기 위해서 기존의 지식 중에 가장 관련 있어 보이는 것을 찾아 그 문제에 적용함으로써 문제를 해결하는 모든 종류의 논리적이고 정신적인 과정을 유추라고 한다. 하지만 기초영역과 목표영역사이의 사영(mapping)은 역동적이다. 그 사영이 아래의 Table 6과 7처럼 이루어지지 않지만 가능한 유추 과정을 표현하였다.

먼저 기초영역인 온실안의 과학적 설명으로 시작한다. 그리고 인과관계인 태양광선의 가시광선의 지표면 흡수, 그렇게 흡수 된 태양광선은 적외선으로 방출, 온실 안의 하부 공기층을 가열하여 상층 온실의 유리가 강제 대류를 일으키는 것으로 설명을 이어간다. 물론 유리창은 적외선을 반사시켜 내부로 다시 보내어지지만, 주로 대류로 내부를 따뜻하게 한다(이러한 관계는 새로운 인과관계, 가시광선- 적외선- 대류). 이러한 관계가, 지구 대기로 사영되지만(유비 추리), 평가 단계에서 대류는 제거된다(인과 관계, 가시광선-적외선).

개념생태계의 형이상학적 믿음과 행동양식

<문> 우리가 지구에서 에너지를 사용하면, 회복되지 않고 결국 고갈되는 이유는 무엇인가?

<답> 최근의 조사에 의하며, 인간의 산업화에 인하여, 과거 지질학적 시대보다 엄청난 온실가스가 방출되고 있다. 그 온실가스는 매우 안정된 가스로 현재로는 별 쓸모가 없다. 지구의 한정된 에너지가 점점 고갈된다는 점이다. 적어도 우리 인간이 크게 개입되고 있다는 점이다. 과거 지금처럼 지구온난화 가스를 방출한 적은 없으며, 그 온실가스는 회수한다할지라도, 결국 에너지 밀도는 낮아질 뿐이다.

<형이상학적 믿음: 엔트로피 법칙으로>

<문> 우리는 이러한 지구온난화에 대응하는 전략은 무엇인가?

<답> 따라서 우리는 적응전략과 온실가스의 감소정책이 중요하다. <행동양식>

온실비유를 위한 유비 설명적 모형의 진화과정

모델과 모델링의 가치는 과학 교육에서 국제적으로 강조되어왔다(Harlow et al., 2013). 과학 교육자들은 모델과 모델링이 과학 교육에서 핵심적인 부분이기 때문에 과학교육의 필수 부분이라고 제안했다(Gilbert, 2004).

그러나 학생들이 다음과 같은 과정을 통해 모델을 개발하도록 돕는 것이 중요하다. 학생들은 자신의 모델을 개발하는 데 어려움을 겪는다. 왜냐하면 지식의 인과적/동적 및 공간/정적 측면을 통합하는 정교한 형태의 추론(Gobert와 Clement, 1999)이 필요하기 때문에 학생들은 종종 어려움을 겪는다(Baek et al., 2011). 이 연구에서 우리는 과학적 진보의 중심에 있고 학생 학습에서 특히 강력한 모델의 일종인 학생들의 설명적

모델 개발을 지지하는 방법에 초점을 맞춘다.

교사와 학생들과 관계에서, 우리는 질문자인 교사의 명시적인 스키펀딩에 의하여 정교해진 일관된 설명적 모델로 향하여 학생들의 아이디어의 진화를 돕는다. 왜냐하면, 학생들은 이러한 질문자의 개입하지 않고는 자신들의 설명적인 모형의 구성에 매우 어려움을 보여주었다(Cheng와 Brown, 2015).

그 과정을 기후변화에 적용, 그 과정을 크게 두 가

Table 6. Evolutionary process of explanatory model for greenhouse analogy Drawing and understanding of the ubiquitous part of the basic domain and mapping to the target domain <Static>

유비를 통한 목표영역의 정적인 메커니즘을 이해하기				
설명모형 진화	단계	Teacher (질문자)	Students (응답자)	융합영역의 확장
목표영역 소개	TM	<목표영역의 목적 소개> 주로 지구의 대기 가스에 의하여 지구의 표면온도가 따뜻하다는 현상의 “대기효과”이다.	목표영역의 지구의 표면온도를 따듯함의 유지라는 목적 이해	인문사회과학영역의 인지심리학
기초영역 인출	M1	<목표영역의 목적과 유사한 유사체 인출> 온실개스의 실체는 문에 보이지 않는다. 이러한 지구의 표면온도를 유지하는 대기 효과를 어떤 유사체로 설명 할 수 있는가?	<장기 기억 속에서 기초 유사체 영역의 인출> 태양빛에 의하여 온실 내부의 공기의 온도는 외부의 온도보다 높게 유지하는 현상이 매우 유사하다.	학생 자신들의 진술로 모형형성
기초영역 이해	M2	<목표영역의 목적에 적절한 인과관계로 관계들을 인출하도록 유도> 온실이 밝은 햇빛에서 매우 뜨거워지는 이유를 태양으로부터 인과적으로 에너지 전달을 설명할 수 있는가?	<가능한 인과관계들을 인출> 태양의 짧은 파는 쉽게 온실의 유리창문을 통해, 온실내부에서 흡수 그 자신의 파를 다시 방출한다. 이렇게 재 방출된 파는 유리창에 불투명하다(온실유리는 내부에서 방출된 적외선을 막아서 다시 온실 안으로 보낼 뿐만 아니라, 강제대류 현상도 일어난다). 이렇게 전환된 에너지에 의하여 온실에 안에서 더욱 따듯해지는 것이다.	<다른 자연과학영역의 융합> 다른 영역인 물리학과 대기과학의 복사론 도입과 확립
사상과 추리	M3	<기초영역 대상들 속성보다는 관계들이 목표영역으로 전이> 온실 안에서의 관계들을, 지구대기에서 온실가스와 지표면사이에서 그러한 복사파를 흡수하고 방출하는 관계가 발생된다고 추리하여 그러한 관계들을 일대 일로 대응시킬 수 있습니까?	<추리에 의하여 전이> 태양의 가시영역의 복사 에너지를 흡수한 지구의 표면은(지표면이 태양으로부터 가시광선을 흡수), 그보다 더 긴 장파로 재 방출한다. 이러한 적외선의 형태의 에너지를 온실가스(주로 이산화탄소, 수증기 등등)은 흡수 후 재 방출한다(지표면과 대기는 온실가스와 서로 자외선을 흡수 재 방출), 지구대기도 온실처럼 복사에 의한 에너지 전달도 추리한다.	<다른 과학영역의 융합이 적절한지 추리에 의한 점검> 대기가 일시적으로 이 적외선 복사열이 우주공간으로 빠져나가는 것을 늦춤(slowing).
목표영역 평가	Mn	<목표영역의 목적에 따른 관찰결과들을 인과적 질문으로 점검> 특히, 온실은 지구대기와 다르게 대류가 온도를 따뜻하게 보전하는데 주요한 역할이라고 조사된다. 온실 안에서는 유리가 강제 대류가 일어나도록 한다. 대신 해양 역할이 주요한 역할을 한다.	<전이된 관계들 중 적절치 않은 관계 삭제 및 보강> 지표면과 온실가스사이에서 복사파의 흡수와 방출은 대류와 관계를 갖는지를 인과관계로 점검한다. <Second order relations> <체계성의 원리 점검>	<다른 자연과학 융합>

지로 구성된다.

첫째, 전반기는 기후변화 원인에 대한 과학적 이해 <정적>, 둘째, 후반기는 그러한 온실 효과에 의한 지구 온난화의 지속적인 증가<동적>, 그로 인하여 유발한 영향과 취약성 및 그에 따른 적응 방안의 모색과 실천, 기후변화를 완화하기 위한 공학적인 노력으로 구분될 수 있다.

2. 기후변화에서 세계관의 정착과정: 교육을 통한 대응 전략

인식론적으로, 이론과 자료와의 대응과 이론사이의 정합성을 통하여 어떤 이론을 알고 이해하기 보다는, 자료와 관계없이 자신이 이미 심층적으로 견지하고 있는 형이상학적인 믿음을 통하여 그 이론을 깨닫는 과정이 대단히 중요하다(Cobern, 1993).

따라서 이 연구에서는, 직접적인 교수로, 형이상학적 믿음을 고려해서, 인식론적인 이해와 만나는 전략(Cobern, 1993)보다는 학습자가 스스로 형이상학적 믿음이 정착되도록 자료 혹은 기존의 이론과 새로운 환경에 적용되는 새로운 개념과의 정합성을 확장하는 방향으로 인식론적인 가치체계가 변화되고 거기에

Table 7. Understanding dynamic changes through changes in objects in the target domain relationships <dynamic>

자연적이라기보다는 인위적인 온실가스의 증가에 따른 지구온난화현상의 결과들을 추리하여 탐색하도록 유도				
설명모형 진화	단계	Teacher (질문자)	Students (응답자)	융합영역의 확장
목표영역 평가	Mn	경제 성장과 더불어 산업화, 도시화는 석탄, 석유와 같은 많은 화석 연료의 소비를 필연적으로 수반한다. 그 결과 온실가스의 농도의 증가로 지구의 온도가 증가할 것을 예상할 수 있다.	태양으로부터 지구로 들어오는 태양 에너지는 지표면을 가열시킨 후 다시 방사되어 지구 밖으로 배출되어야 하나 대기 중에 이산화탄소 등의 농도가 점점 증가되어 온실 효과에 의해 대기 중에 태양의 복사열이 머무르게 되어서 지구 온난화 현상이 발생하는 것이 전 지구적으로 관찰된다.	지구의 온도가 따뜻한 정적인 상태에서 점점 상승하게 된다.
		<예측 관찰결과를 통한 관계들과 속성들을 보강하도록 유도> 온실가스의 흡수를 막는 산림 파괴와, 해수의 온도는 온실가스의 분출을 가속시킨다고 예상할 수 있다. 그러한 현상이 실제로 일어나는가? 또한 미래에 어떤 결과가 나타나는가? 특히 공중보건의 위험, 경제적인 위험 등, 매우 심각한 위험은?	<여러 관찰결과를 통한 관계들과 속성들 보강> 또한 열대림과 같은 삼림의 파괴 역시 지구 온난화에 영향을 미친다. 도로 건설, 광산 개발, 농업 개발 등으로 인한 열대림의 파괴는 이산화탄소의 흡수량이 줄어들어 결과적으로 대기 중에 이산화탄소의 농도를 높게 되는 것이다. 이러한 온실가스의 방출을 감소시키는 공학적인 기술을 적극 도입하여야 한다 해양 생태계 역시 해수 온도 상승에 민감한 어류의 서식 분포에 커다란 영향을 미친다. 우리나라 동해에 한류성 어종인 명태가 사라지고 있는 현상에서 그 예를 찾아 볼 수 있다<생태학>. 한편, 지구 온난화는 해수의 온도와 육지의 강수량 등의 변화를 가져와 가뭄, 홍수, 폭설, 태풍 등의 기상 이변을 일으키기도 하고 <대기과학 확장>, 전염병과 병충해의 발생 범위를 확대시켜 피해를 증가시키기도 한다<의학>. 기온상승폭을 2도 이하로 유지하지는 국제사회의 협약이 제대로 지켜질 경우엔 대기오염 배출감축에 들어가는 비용을 포함해 손실액이 최소 1조 7000억 달러 수준에 머물 것으로 보고서는 분석했다.<에너지 경제학>.	<다른 인문사회 과학과 의학 융합> <화학 과학 생물학, 그리고 공학>. <다른 인문사회 과학과 의학 융합> <생태학><대기 과학과 인지과학><의학>.<에너지 경제학>.
학습을 통한 태도변화	TM	<목표영역의 가능한 이해 점검> 이러한 온실가스들에 의한 지구온난화 결과는 학생과 대중에게 강조되고 있으나, 이러한 지구온난화에 대한 위험에 대하여 민감하지 않은 이유는?	<학습을 통한 태도변화> 이러한 온실가스들에 의한 지구온난화 결과는 학생과 대중에게 강조되고 있으나, 실제적으로 큰 영향들을 감지되지 않기에, 그들의 태도변화에 영향을 주지 못하고 있다. 오히려 대중들에게 왜곡된 정보를 보내주고 있는 것이다<인식론적인 불확실성, 과학기술학, 과학교육>. 예를 들면, 부시는 만약 지구온난화를 대부분 피할 수 있는 국가간 기후정책을 수행하기 위해서 교토의정서(Kyoto protocol)에 서명하면 미국은 결국 파산해야한다고 하였습니다.<기후변화 정책학>.	<인식론적인 불확실성> <과학 기술학, 과학교육> 기후변화 정책학> <위험에 대한 다면성>

따른 형이상학적 믿음이 정착이 된다고 보았다. 새로운 개념 생태계의 변화로 보았다. 그러한 전략의 과정은 다음과 같다.

전략적으로, 일반 대중이 가지고 있는 세계관의 핵심인 오존층의 파괴와 오염 물질이라는 개념(Oh와 Jeon, 2017)을 좀 더 과학적 개념으로 중심개념인 온실가스인 집중과 온실 가스의 증가 원인이 자연 발생적이라기보다는 인간의 산업화라는 주장을 받아들여도 록 한다<방법론>. 또한 인식론적인 가치 판단도 대응성으로부터, 정합성으로<인식론적인 가치>, 형이상학적 믿음은 엔트로피의 사고로 전환된다.<형이상학적 믿음>

Ⅶ. 논의 및 결론

세계관을 바탕으로 한 기후변화 내용에 대한 통합 과학 교육 전략의 논의와 결론은 다음과 같다.

1. 논의

첫째, 통합이 추구하는 바는 기후 변화, 기술 위험, 신소재 개발, 등 현대 사회에서 사회적으로 중요한 문제를 해결하는 데 있다. 지식 통합이 추구하는 것은 ‘통합을 통한 문제 해결’과 통합을 통한 창의성‘인 것이다.

둘째, 통합을 통하여 학문 분야 사이의 거리만이 아니라, 학문의 목표와 방법론, 문화, 가치관, 언어 등이 개입, 결국 세계관이 변화될 수 있다. 그러한 세계관과 개념 생태계를 연결하여 생태계 지위를 얻는 과정이 통합과정이다.

셋째, 어떤 분야에서 해결이 잘 안 되는 문제는, 인접 분야 혹은 전혀 다른 경험에서 얻어진 아이디어가 결정적으로 도움을 준다. 창의성은 ‘전혀 관계없는 사물을 연결시키는 힘’인 것이다. 우리의 연구에서 학제간 통합 과학의 주요한 전략으로 유비와 귀추, 그리고 빅 아이디어이다.

넷째, 전문성과 통합은, 서로가 서로를 만들어 내는 과정이다. 즉 수렴은 전문성, 발산은 통합이다. 이러한 전문성과 통합은 서로 팽팽한 긴장감에서 나온다.

다섯째, 통합을 위해서는 자신의 학문의 경계로 나아가서, 다른 학문과의 연결고리를 찾아야한다. 더 새롭고 더 혁신 것을 추구하여, 세상을 가치 있는 것으로 만든 것이다. 물론 통합 요소간의 피드백이 일어날 때 폭발적이다.

여섯째, 인식론적인 가치 체계는 이해한다는 것이

고, 형이상학적 믿음은 깨닫는 것이다. 따라서 교육적으로 과학적 탐구 과정을 반드시 고려해야 한다.

2. 결론

첫째, 기존의 통합 전략은 무엇보다도 지식은 이미 존재한다는 형이상학적인 기반에서 도출된 통합 전략뿐만 아니라, 학문 간의 피드백이 이루어지는 생태 지위적인 접근이 이루어지지 않는다는 점이다.

둘째, 최근에 새롭게 부각되는 제안들은 세계를 환원된 조각으로 파악하기보다는 전체를 총체적으로 바라보는 시스템적인 사고의 중요성도 강조되고 있다.

셋째, 이 연구에서는 Toulmin의 개념 생태계를 세계관을 기준으로 세계관, 가치 체계, 행동 양식으로 크게 구분하여 재구조화 하였다. 먼저, 형이상학적 믿음과 개념(Metaphysical Beliefs and Concepts), 형이상학적인 믿음(영역 일반적)이고 형이상학적 개념(영역 특수적)으로 구분하였으며, 실험 불가능한 심층적으로 자리 잡고 있는 존재론적인 믿음을 말한다. 이는 인식론적인 개념의 기반이 된다. 또한 ‘상호 작용’은 자연을 구성하는 요소들이 서로 연관 되어 영향을 주고받으며 이로 인해 나타나는 여러 가지 자연 현상이 있다는 것을 이해하고자 하는 큰 생각(Big idea)이다. 자연현상을 설명하고자 한다는 측면에서 동적인 개념 및 원리이며, 일 방향적인 변화가 아닌 양방향적인 변화의 방향을 담고 있다는 점이 특징이다.

넷째, 일반 대중이 가지고 있는 세계관의 핵심인 오존층의 파괴와 오염 물질이라는 개념을, 좀 더 과학적 개념으로 중심 개념인 온실가스인 집중과, 온실가스의 증가원인이 자연 발생적이라기보다는 인간의 산업화라는 주장을 받아들여도 록 한다. 또한 형이상학적 믿음은 엔트로피의 사고로 전환된다.

다섯째, 이 연구에서는 형이상학적 믿음을 고려해서, 인식론적인 이해와 만나는 전략보다는 학습자가 스스로 형이상학적 믿음이 정착되도록 자료 혹은 기존의 이론과 새로운 환경에 적용되는 새로운 개념과의 정합성을 확장하는 방향으로 인식론적인 가치 체계가 변화되고 거기에 따른 형이상학적 믿음이 정착이 된다고 보았다.

국문요약

본 연구의 목적은 세계관을 바탕으로 한 기후 변화 내용에 대한 통합과학 교육전략을 제안하는데 있다. 어떤 개념이나 현상을 이해한다고 반드시 깨닫는 것

이 아니다. 현재까지 대부분의 학교 교육의 정책 방향은 학생들의 결핍 모델에 기초하고 있다. 결핍 모델이란, 학습자는 늘 지식과 경험이 부족하여, 학습 내용을 제대로 이해하지 못한다고 단정하는 생각에 기초하고 있다. 그리고 학생들은 이슈가 되는 내용에 대해 깊이 있게 깨닫지 못하기 때문에 그에 대한 태도나 행동 변화가 어렵다. 예를 들면, 기후 변화의 세계관은 낙관적인 기계적인 세계관과 유기체적이고 엔트로피적 세계관이 공존한다. 이 연구는 기존의 결핍 모형의 관점에서 나아가 삶을 살아있는 충족성과 정합성을 확장하는 과정으로 의미화 하고자 한다. 서로 연결이 되지 않은 지식은 다양성을 갖기 어렵고, 지속가능하지도 않고 유연성도 없다. 따라서 이 연구의 주요 아이디어는 학문 간의 답을 없애는 것이 아니라, 서로 연결이 가능하도록 답을 낮추자는 것에 있다. 학습을 할 때, 어느 한 학문 영역에 대해 깊은 전문성을 가지고 다른 학문 영역으로 들어가지만, 연결을 위해서는 반드시 특정 목적을 가지고 있어야한다. 그러한 통합의 과정에서 문제 해결의 실마리를 의미 있게 찾을 수 있을 뿐만 아니라 동적으로 다른 영역간의 상호 피드백에 의하여 지식의 질과 양이 늘어나는 효과를 가져올 수 있다.

References

방답이, 박은미, 윤희정, 김지영, 이윤하, 박지은, 송주연, 동효관, 심병주, 임희준, 이현숙 (2013). Big idea를 중심으로 한 통합형 과학 교육과정틀 설계. 한국과학교육학회지, 33(5), 1041-1054.

이남인 (2015). 통섭을 넘어서: 학제적 연구와 교육의 활성화를 위한 철학적 성찰. 서울: 서울대학교출판문화원.

이선경, 황세영 (2012). 과학교육에서 융복합교육에 대한 교사의 인식과 경험 탐색: 과학교사 포커스 그룹 논의를 중심으로. 한국과학교육학회지, 32(5), 974-990.

이영덕 (1983). 통합 교육 과정의 개념. 한국 교육 개발원(편): 통합 교육 과정의 이론과 실제. 서울: 교육과학사.

차윤경, 김선아, 김시정, 문종은, 송륜진, 박영석, 박주호, 안성호, 이삼형, 이선경, 이은연, 주미경, 함승환, 황세경, (2014). 융복합교육의 이론과 실제, 서울: 학지사.

Ashby, W. R. (1946). Dynamics of the cerebral cortex: the behavioural properties of systems in equilibrium. The American journal of psychology, 59, 682-686.

Ashby, W. R. (1947). The nervous system as physical machine: With special reference to the origin of adaptive behavior. Mind, 56, 44-59.

Ashby, W. R. (1956). Automata Studies. Annals of Mathematics Studies, 34, Princeton: Princeton University Press.

Akkerman, S., van den Bossche, P., Admiraal, W., Gijselaers, W., Sengers, M., Simons, R.-J., & Kirschner, P. (2007). Reconsidering group cognition: from conceptual confusion to a boundary area between cognitive and socio-cultural perspective. Educational Research Review, 2(1), 39-63.

Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H., & Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS 5th grade approach and findings. in M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds.), Models and modeling: Cognitive tools for scientific inquiry, NY: Springer.

Bateson, G. (1972). The logical categories of learning and communication. Steps to an Ecology of Mind,

Beeth, M. (1966). Dynamic aspects of conceptual change instruction. Unpublished dissertation. Wisconsin: University of Wisconsin - Madison.

Beeth, M. (1993). Classroom Environment and Conceptual Change Instruction.

Bruner, J. S. (1960). The process of education: a searching discussion of school education opening new paths to learning and teaching, Vintage Books.

Cantrell, D.C., & Barron, P.A. (1996). Integrating Environmental Education and Science: Using and Developing Learning Episodes. Environmental Education Council of Ohio, 3-10.

Cheng, M.-F., & Brown, D.E. (2015). The Role of Scientific Modeling Criteria in Advancing Students' Explanatory Ideas of Magnetism. Journal of Research in Science Teaching, 52, 1053-1081.

- Coburn, W. W. (1993). College students' conceptualizations of nature: An interpretive world view analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 935-952.
- Daniel, S. & Dayan, T. (1991). The guild concept and the structure of ecological communities. *Annual review of ecology and systematics*, 22, 115-143.
- David, T., Lehman, C. L. & Thomson, K. T. (1997). Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proceedings of the national academy of sciences*, 94, 1857-1861.
- Davis, B., Sumara, D., & Luce-Kapler, R. (2008). *Engaging minds: Changing teaching in complex times* (2nd ed.). New York, NY : Routledge. 『마음과 학습: 교육학의 복잡계적 접근』, 한승희, 양은아 옮김, 서울 : 교육과학사.
- Davis, B. (2004). *Inventions of Teaching: A Genealogy*. New York, NY : Routledge. 『구성주의를 넘어선 복잡성교육과 생태주의 교육의 계보학』, 심일섭 옮김, 서울 : 씨아이알.
- Demastes, S. S., Good, R., & Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79, 637-666.
- Deniz, H., Donnelly, L. A., & Yilmaz, I. (2008). Exploring the factors related to acceptance of evolutionary theory among Turkish preservice biology teachers: Toward a more informative conceptual ecology for biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 420-443.
- Falk, J. H., and Dierking, L. D. (2010). The 95 Percent Solution School is not where most Americans learn most of their science. *American Scientist*, 98, 486-493.
- Falk, J. H., and Needham, M. D. (2013). Factors contributing to adult knowledge of science and technology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 431-452.
- Falk, John H., Dierking, Lynn D., Osborne, J., Wenger, M., Dawson, E., & Wong B. (2015). "Analyzing science education in the united kingdom: taking a system-wide approach". *Science education*, 99, 145-173.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrated curriculum. *Educational Leadership*, 49, 61-65.
- Gell-Mann, M. (1994). *Complex adaptive systems. Complexity: metaphors, models and reality*. Perseus Books, 17-28.
- Gibbons, M., Limoges, C., Norway, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1944). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London: SAGE publications.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gobert, J., & Clement, J. (1999). Effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 39-53.
- Harlow, D. B., Bianchini, J. A., Swanson, L. H. & Dywer, H. A. (2013). Potential teachers' appropriate and inappropriate application of pedagogical resources in a model-based physics course: A knowledge in pieces perspective on teacher learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 50, 1098-1126.
- Hewson, P. W., & Hewson, A. G. A. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Holyoak, K. J. & Thagard, P. R. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Ingram, J.B. (1979). *Curriculum Integration and Lifelong Education*, London: Elsevier Ltd. 『교육 과정 통합과 평생 교육』, 배진수 · 이영만 옮김, 서울: 학지사.
- Kelly, G. J., & Green, J. (1998). *The Social Nature of Knowing: Toward a Sociocultural Perspective on*

- Conceptual Change and Knowledge Construction. B. Guzzetti & C. Hynd (Eds.), Perspectives on conceptual change: Multiple ways to understanding, knowing and learning in a complex world, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Klein, J. T. (1996). *Crossing Boundaries*. Charlottesville: University press of Virginia.
- Klein, J. T. (2001). *Transdisciplinarity: Joint problem Solving among Science, Technology, and Society*, Basel: Birkhauser.
- Laszlo, E. (1996). *The Systems View of the World a Holistic Vision for Our Time*. Cresskill (N.J.) by Hampton press.
- Levin, S. A. (1998). Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. *Ecosystems*, 1, 431-436.
- Ludwig, von B. (1968). *Organismic psychology and systems theory*. Worchester: Clark University Press.
- Maturana, H. R., Varela, F. J. (1980). Problems in the neurophysiology of cognition. *Autopoiesis and cognition*. Springer, Dordrecht, 41-47.
- Maturana, H. R., Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. New Science Library/Shambhala Publications.
- Magnani, L. (2007). *Creating chances through cognitive niche construction: The role of affordance*. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 4693, 917-925.
- Masson, M. E. J. (1995). A distributed memory model of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 3-23.
- McTighe, J., Sief, E., and Wiggins, G. (2004). You can teach for meaning. *Educational Leadership*, 62, 26-30.
- Morrow, L. M., Pressley, M., Smith, J. K. & Smith, M. (1997). The effect of literature-based program integrated into literacy and science instruction with children from diverse backgrounds. *Reading Research Quarterly*, 32, 54-76.
- Oh, J-Y. & Jeon, E. C. (2017). Greenhouse Effect in Global Warming based on Analogical reasoning. *Foundations of Science*, 22(4), 827-849.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66, 211-227.
- Rea-Ramirez, M. A. (1998). *Model of conceptual understanding in human respiration and strategies for instruction* (Doctoral dissertation, University of Massachusetts, Amherst, 1998). *Dissertation Abstracts International*, 59(10), 5196B. (Publication No. 9909208).
- Reeves, D. B. (2002). *Making standards work: How to implement standards-based assessments in the classroom, school and district*. Lead+ Learn Press.
- Riemeier, T., & Gropengie er, H. (2008). On the roots of difficulties in learning about cell division: Process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education*, 30, 923-939.
- Ripple, W. J., and Robert L. Beschta, (2004). Wolves and the ecology of fear: can predation risk structure ecosystems?. *Bio Science*, 54, 755~766.
- Shahid, N. & Li, S. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, 390, 507-509.
- Southerland, S. A., Johnston. A., & Sowell, S. (2006). Describing teachers' Conceptual ecologies for the nature of science. *Science Education*, 90, 874-906.
- Steiner, C. F., Long, Z. T., Krumins, J. A. & Morin, P. J. (2006). Population and community resilience in multitrophic communities. *Ecology*, 87(4), 996-1007.
- Sternberg, R. J. (2005). *Cognitive psychology* Thomson Learning, Inc., 『인지심리학』, 김민식 · 손영숙 · 안서원 옮김. 서울: 박학사
- Strike, K. A. & Posner, G. J. (1985). *A conceptual change view of learning and understand*. L. H. T. West, & A. L. Pines(Eds), *Cognitive structure and conceptual change*, London: Academy Press.
- Taber, K. S. (2001). Shifting sands: A case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of*

- Science Education, 23, 731-753.
- Tolmie, A. K., Topping, K. J., Christie, D., Donaldson, C., Howe, C., Jessiman, E., Livingston, K. & Thurston, A. (2010). Social effects of collaborative learning in primary schools. *Learning and Instruction*, 20, 177-191.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding: The collective use and evolution of concepts*. UK: Clarendon Press.
- Thorley, N. R. (1990). *The role of the conceptual change model in the interpretation classroom interactions*. Unpublished dissertation. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin.
- Wiggins, G. P. & McTighe, J. (2005) *Understanding by design* (2nd ed.). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development
- ASCD. *Colomb. Appl. Linguist. J.*, 19(1), 140-142.
- Wiggins, G. P. & McTighe, J. (2008). Put understanding first. *Educational Leadership*, 65, 36.
- William, H. (1983). *Metaphysics*. InterVarsity Press.