

RESEARCH ARTICLE

Development and Effectiveness Analysis of System Thinking Inquiry Modules for High School Credit System : Focused on Sementic Network Analysis

Yuran Kim¹ · Hyonyong Lee^{2*}

¹Sangmo High School

²Kyungpook National University

고교학점제에 활용 가능한 시스템 사고 적용 탐구 모듈 개발 및 효과 분석 : 언어 네트워크 분석을 중심으로

김유란¹ · 이효녕^{2*}

¹상모고등학교 · ²경북대학교

*Corresponding Author: hlee@knu.ac.kr

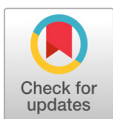
ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a system thinking inquiry module for earth science subjects that can be used in the high school credit system. The developed module and system thinking evaluation rubric were applied to general high schools in which the high school credit system is implemented. A total of 70 general high school students were analyzed for concept understanding through system thinking, and curriculum consistency and field suitability were analyzed through cases confirmed in the scoring process.

The results of this study are as follows: first, the unit of interaction between the atmosphere and the ocean in the core concepts of the 2015 revised science curriculum and the Earth Science I textbook were analyzed, and a six-topic exploration module was developed. Second, based on the results of sementic network analysis, causal map and visual thinking map scoring criteria were developed to analyze concept understanding through system thinking. Third, as a result of applying it to Earth Science I of the in-school curriculum, Advanced Earth Science of the collaborative curriculum between schools, and Marine Club classes of creative experience activities, it was confirmed that students understand the interaction between the atmosphere and the ocean by applying system thinking. In addition, based on the verified curriculum consistency and field suitability, a plan that can be used for high school science subjects was proposed.

This study will provide implications for the system thinking-based inquiry module of the earth science curriculum in preparation for the high school credit system and provide many implications for setting the direction of writing textbooks by applying system thinking to the next-generation revised curriculum.

Key words: High school credit system, system thinking, inquiry module, sementic network analysis (SNA), the interaction between the atmosphere and the ocean, conceptual comprehension, curriculum consistency, field suitability



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2022, Vol. 12, No. 3, 403-422.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20220025>

Received: September 07, 2022

Revised: September 26, 2022

Accepted: September 27, 2022

© 2022. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

‘시스템 사고’는 개별 요인만 다루지 않고 다양한 요인들이 상호 연결된 시스템을 다룰 때 폭넓게 사용하는 사고방식이다. 시스템 사고는 복잡계 문제를 분석하고 해결할 수 있는 내용을 제공하며 학습을 촉진하고 구조를 재설계하는 것을 도와준다(Meadows et al., 2019). 또한 지구계교육에서는 지구환경을 지구시스템으로 인식하는데 있어서 기본적으로는 하위 시스템들에 대한 많은 과학 지식을 적절히 운용하는 능력과 함께 시스템 사고(system thinking)를 통한 접근하는 사고 방식이 효과적이라는 주장이 있다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2008; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Kali et al., 2003; Moon, 2014). 따라서 지구 환경 내의 상호작용에 대해 충분히 이해하기 위해서는 지구를 이루는 구성 요소의 한 부분만이 아닌 지구시스템에 대한 전체적인 이해와 관심이 필요하고(Lee & Kwon, 2008; Mayer et al., 2007), 지구시스템 관련 지식이나 현상을 효과적으로 학습하고 이것이 학생들에게 의미있는 수업이 되기 위해서는 고등사고 능력인 시스템 사고(system thinking) 함양이 매우 중요하다(Lee & Kwon, 2008; Moon et al., 2004).

2017년 11월 교육부는 고등학교 교육이 모든 학생의 성장과 진로 개척을 돕는 본연의 기능을 되찾고 다양한 교육을 제공할 수 있도록 고교 체제 개편, 수업·평가 혁신, 대학입시제도 개선 등을 위한 종합적 제도 개선을 위해 고교학점제 도입을 추진하였다(MOE, 2017). 이를 위해 교육부는 정책적으로 교과교실제, 고교교육력제고사업, 교과중점학교, 공동교육과정 및 주문형 강좌, 캠퍼스형 고교, 온라인 교육과정 등 다양한 정책을 실행하고 있다(Kim et al., 2019). 2025학년도부터 전면 시행되는 고교학점제에서 요구하고 있는 교사의 교육과정 재구성 역량 및 자율성 강화에 대한 대비와 2022 개정 교육과정의 취지에 부합하는 복잡한 문제를 해결할 수 있는 역량 함양 교육을 위해 시스템 사고를 도입하여 대기와 해양의 상호작용 탐구 프로그램 개발을 시작으로 교육 현장에 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈을 적용할 필요가 있다. 개발된 모듈을 통해 고교학점제 실시 이후 모듈의 다양한 조합으로 지구과학의 선택과목 및 다양한 수업 형태에 교수·학습이 활용될 수 있으며 지구과학과 교육과정에 시스템 사고 기반의 탐구 모듈에 대한 시사점을 제공하고 차세대 개정 교육과정에 시스템 사고를 접목하여 교과서를 집필할 수 있는 방향성 설정에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

모듈은 학생들이 정해진 목표를 달성하는 것을 돕기 위해 고안된 일련의 계획적인 학습 경험을 담고 있는 수업 단위이다(Kim et al., 2005). 모듈식 수업은 2022 개정 교육과정에서 강조하고 있는 ‘교육과정 편성·운영의 자율권 확대’에 부합하여 교사의 교육과정 재구성을 통한 다양한 교수·학습 개발에 유용하게 활용될 수 있다. 따라서 불확실성과 복잡성이 내재된 대기와 해양의 상호작용(Andrey & Hachey, 1995; Kim & Choi, 2010) 단원에 다양한 요인이 상호연결된 시스템을 다룰 때 사용되는 사고방식인 시스템 사고(Meadows et al., 2019)를 적용하면 개념을 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단하여 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈을 개발하였다.

이에 따라 본 연구의 목적은 2025학년도부터 전면 도입되는 고교학점제에 활용 가능한 지구과학 교과서의 시스템 사고 적용 탐구 모듈을 개발하는 것이다. 언어 네트워크 분석을 통해 2015 개정 과학과 교육과정의 핵심 개념 중 대기와 해양의 상호작용의 성취기준, 지구과학 I 교과서의 대기와 해양의 상호작용 단원 본문 내용에 수록된 핵심 개념의 단어 빈도와 핵심 개념 간의 연계성을 분석하고 개발한 시스템 사고 적용 탐구 모듈의 인과지도와 비주얼 씽킹맵 채점 기준으로 활용한다. 개발된 탐구 모듈은 고교학점제가 시행되고 있는 일반계 고등학교의 교과 및 비교과 수업에 조합하고 적용하여 시스템 사고를 통한 개념 이해도, 대기와 해양의 상호작용 단원 탐구 모듈의 교육과정 정합성 및 현장 적합성이 적절한지 검증하고자 한다.

이 연구의 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 2015 개정 과학과 교육과정의 대기와 해양의 상호작용 성취기준 및 지구과학 I 교과서 본문 내용에 수록된 핵심 개념의 단어 빈도와 개념 간의 연계성은 어떠한가?

둘째, 대기와 해양의 상호작용 단원에 시스템 사고를 어떻게 적용하여 탐구 모듈을 개발할 것인가?

셋째, 시스템 사고를 통한 대기와 해양의 상호작용 단원의 개념 이해도, 시스템 사고 적용 탐구 모듈의 교육과정 정합성, 현장 적합성은 어떠한가?

Methods

Procedure

본 연구의 목적은 2015 개정 과학과 교육과정의 지구과학 I 성취기준 및 교과서에 수록된 대기와 해양의 상호작용 단위 관련 핵심 개념의 단어 빈도와 개념 간의 연계성을 분석하여 시스템 사고 인과지도와 비주얼 씽킹맵의 채점 기준으로 활용하고, 이를 바탕으로 고교학점제에 활용 가능한 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈을 개발하여 효과를 분석하는 것이다. 시스템 사고를 적용한 대기와 해양의 상호작용 단위 탐구 모듈 개발을 위한 연구의 절차는 Fig. 1과 같다.

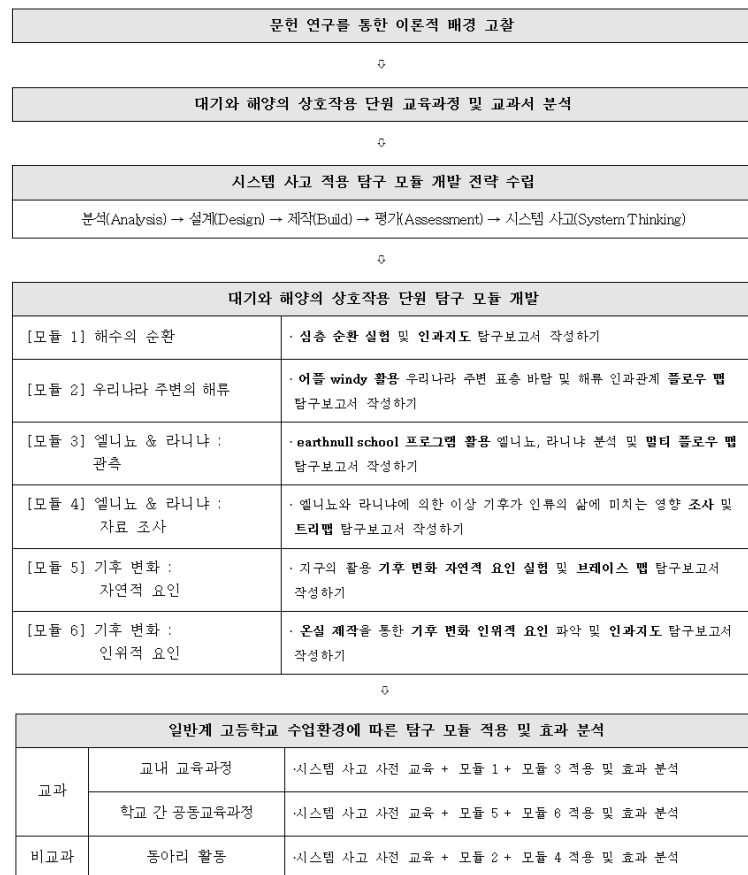


Fig. 1. Research procedure

Subjects

Curriculum and Textbook

본 연구는 2015 개정 교육과정의 대기와 해양의 상호작용 단위 성취기준 및 고등학교 지구과학 I 교과서 6종의 본문 내용을 추출하여 언어 네트워크 분석을 실시하고, 교과서 6종의 탐구 활동 유형을 추출하여 분석하였다. 연구에 활용된 2015 개정 교육과정의 성취기준 및 출판사별 지구과학 I 교과서는 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Achievement standards of analysis targets

Achievement standards	Contents	Related unit
12ES I 04-01	The relationship between the general circulation and the surface circulation of the ocean can be explained centering on the major surface currents.	Circulation of seawater
12ES I 04-02	Understand the principles and distributions of deep circulation and explain them in relation to surface circulation and climate change.	
12ES I 04-03	As an example of the interaction between the atmosphere and ocean, understand upwelling and downwelling, and the Southern oscillation.	Interaction between the atmosphere and ocean
12ES I 04-04	The causes of climate change can be explained by natural and artificial factors, and the environmental, social and economic effects of climate change by human activities and how to scientifically solve climate change problems can be discussed.	Climate change

Table 2. Analysis unit in the textbook

Section	Republisher	Author	Related unit	Year of publication
ES1(A)	Kyohak	Lee et al.	II -2. Interaction between the atmosphere and ocean	2018
ES1(B)	Kumsung	Kwon et al.	4. Interaction between the atmosphere and ocean	2017
ES1(C)	Mirae-n	Lee et al.	IV. Interaction between the atmosphere and ocean	2017
ES1(D)	Visang	Lee et al.	II -2. Interaction between the atmosphere and ocean	2017
ES1(E)	YBM	Kim et al.	IV. Interaction between the atmosphere and ocean	2017
ES1(F)	Chunjae	Oh et al.	IV. Interaction between the atmosphere and ocean	2017

Participants

일반고 학생을 위한 시스템 사고 적용 탐구 모듈은 수업 목적과 대상에 따라 2022년 6월에 교내 교육과정, 학교 간 공동교육과정, 동아리 활동의 일반계 고등학교에서 이루어지는 세 가지 수업 형태로 적용되었다. 시스템 사고를 통해 대기와 해양의 상호작용을 이해하고 있는지를 판단하기 위해 연구 대상 학생들은 시스템 사고 관련 교육을 경험하지 못한 학생들로 구성되었고, 탐구 모듈을 투입하기 전 1차시 분량의 시스템 사전 교육을 실시하였다. 연구에 적용된 수업 및 연구 대상은 Table 3과 같다.

Table 3. Subjects of application

	Section	Subject	Participant (No. of students)	Applied module	Pre-education of system thinking	Teaching time	Notes
Subject	In school curriculum	Science Inquiry Experiment	1st grade (240)	Module 1~6	×	12	Prelim-inary applic-ation
		Earth Science I	2nd grade (45)	Module 1, Module 3	○	5	
	Collaborative Curriculum Between School	Advanced Earth Science	3rd grade (15)	Module 5, Module 6	○	5	
Non-subject	Club Activity	Ocean Club Activity	3rd grade (10)	Module 2, Module 4	○	5	
Total			310				

연구 대상에 시스템 사고 적용 탐구 모듈을 적용하기에 앞서 탐구 모듈의 완성도를 높이고 최종적인 수정과 보완을 위해 예비 적용을 실시하였다. 예비 적용 대상은 2022년 3월 일반계 고등학교 1학년 10개 학급 240명을 대상으로 6개 모듈에 대한 수업을 진행하고, 지구과학교육과 교수 1인, 박사 1인, 수업을 진행한 교사 1인의 협의를 통해 문제점을 수정·보완하여 모듈을 개선하였다.

교내 교육과정에서 지구과학 I 을 선택한 일반계 고등학교 2학년 학생 120명 중 수업 활동에 모두 참여한 45명을 대상으로 연구 결과를 분석하였다. 시스템 사고 사전 교육을 1차시 실시한 뒤, 지구과학 I 교과와 연계하여 모듈 1, 모듈 3을 각 2차시 블록 타임으로 진행하였다.

학교 간 공동교육과정 수업은 고급 지구과학을 선택한 G교육청 소재 일반계 고등학교 3학년 학생 15명을 대상으로 시스템 사고 사전 교육을 실시한 뒤, 고급 지구과학 교과 단원 중 유체 지구과학 대단원의 중단원인 해수의 순환, 대기와 해양의 상호작용, 상호작용과 지구 온난화와 연계하여 모듈 5와 모듈 6을 각 2차시 블록 타임으로 진행하였다.

동아리 활동은 지구과학 I 을 이수한 경험이 있는 해양 분야 동아리 3학년 학생 10명을 대상으로 시스템 사고 사전 교육을 실시한 뒤, 창의적 체험활동 시간을 이용하여 모듈 2와 모듈 4를 각 2차시 블록 타임으로 진행하였다.

연구 대상 학생들은 시스템 사고에 대한 교육을 받은 적이 없는 학생이며, 선이수 과목은 2학년은 통합과학, 3학년은 통합과학, 지구과학 I 에 해당한다.

Development of System Thinking Inquiry Modules

본 연구에서는 박병열, 이효녕(2014)의 ‘ADBAS 모형’을 활용하여 탐구 모듈을 개발하였다. ADBAS 모형은 이효녕 등(2012)이 개발한 과학 탐구와 창의적 설계 기반의 ADBA모형에 시스템 사고 단계를 추가한 프로그램 구성 단계로 분석(Analysis)-설계(Design)-제작(Build)-평가(Assessment)-시스템 사고(System Thinking)의 반복적인 과정을 담고 있다.

본 연구에서는 ADBAS 모형을 탐구 모듈에 다음과 같이 적용하였다.

‘분석(Analysis)’ 단계는 성취기준과 학습 내용에 제시된 개념과 원리를 기본으로 탐구의 목표와 동기 유발 자료를 제시하였다. ‘설계(Design)’ 단계는 이해한 탐구 목표를 바탕으로 탐구 활동을 계획하여 수행하는 과

정에 해당한다. ‘제작(Build)’ 단계는 탐구 수행의 결과를 분석하고, 결론을 도출하는 과정에 해당한다. ‘평가(Assessment)’ 단계는 탐구 결과를 발표하며 다양한 문제해결 아이디어를 비교하고 협의하는 과정을 통해 사고를 확장하고, 궁극적으로 새로운 문제에 대한 도전이 가능하도록 한다(Jeon & Lee, 2015). ‘시스템 사고(system thinking)’ 단계는 각 모듈 수업 활동의 마무리 단계에서 시스템 사고를 위한 인과지도 혹은 비주얼 씽킹맵의 종류인 플로우 맵, 멀티 플로우 맵, 브레이스 맵을 활용하여 학습 내용의 인과관계와 상호작용을 정리할 수 있도록 한다. 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈의 수업 단계는 Fig. 2와 같다.

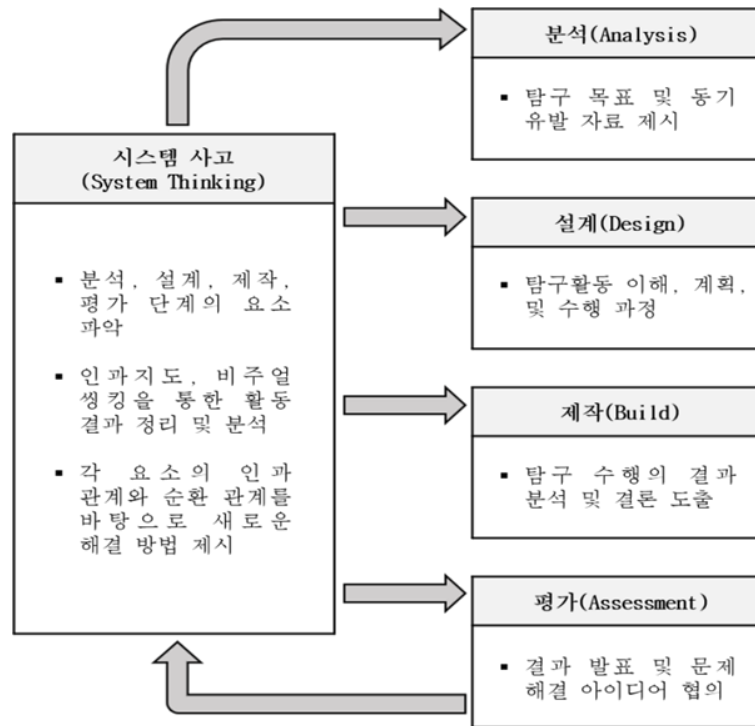


Fig. 2. System thinking inquiry module lesson steps

이를 기반으로 일반고의 수업 환경에 적용할 수 있는 6개 모듈로 구성된 대기와 해양의 상호작용 탐구 활동을 개발하였다. 개발한 탐구 모듈은 교내 교육과정, 학교 간 공동교육과정, 동아리 활동에 적용하여 일반고 수업환경 적용에 대한 적합성과 시스템 사고가 탐구 모듈 주제에 맞게 적용되었는가를 판단하였다.

Results

Analysis of the Interaction between The Atmosphere and The Ocean

Unit Analysis Result

중단원 ‘해수의 순환’, ‘대기와 해양의 상호작용’, ‘기후 변화’의 개념 간 연계성과 탐구 활동을 분석하기 위해 교육과정 성취기준 언어 네트워크 분석, 교과서 본문 내용 언어 네트워크 분석, 교과서 탐구 활동 유형 분석을 실시하였다. 언어 네트워크 분석 결과를 시각화한 자료는 인과지도의 채점 기준으로 활용되었으며 탐

구 활동 분석을 통해 탐구 모듈 개발 전략을 수립하였다.

해수의 순환 단원의 교육과정을 언어 네트워크 분석한 결과 8개의 개념이 출현하였다. 네트워크에서 순환, 표층은 가장 높은 출현 빈도를 가졌다. 아이젠벡터 중심성은 네트워크 내에서 가장 영향력이 있는 중심 노드를 찾는데 유용한 지표로서 본 연구에서는 표층, 순환, 해류, 바다 등의 순으로 높은 값을 나타냄을 분석하였다. 개념쌍은 5개가 출현하였고, 공출현 빈도는 순환과 표층이 가장 높게 나타났으며 순환-심층, 표층-해류, 기후-순환, 대기-대기대순환 등의 관계가 같은 공출현 빈도수로 관계를 맺고 있었다. 네트워크에서 표층과 순환이 중심을 차지하고, 표층은 해류, 바다, 순환은 심층과 기후에 연결되어 있으며 떨어진 개념 없이 모두 관계를 맺고 있다. 해수의 순환 단원의 교과서 본문을 언어 네트워크 분석한 결과 51개의 개념이 출현하였다. 네트워크에서 해수, 위도, 해류는 100회 이상의 높은 출현 빈도를 가졌다. 아이젠벡터 중심성은 대륙풍, 페렐 순환, 에너지, 극순환 등의 순으로 높은 값을 나타냄을 분석하였다. 개념쌍은 102개가 출현하였고, 공출현 빈도는 염분과 온도가 가장 높게 나타났으며 침강-해수, 밀도-해수, 에너지-위도, 에너지-태양복사, 심층 순환-표층 순환 등의 순으로 높은 값을 나타냈다. 네트워크에서 해수는 침강, 밀도, 온도, 위도, 표층 순환, 심층 순환 등과 연결되어 중심을 차지하고 있으며 기후 변화와 인간활동의 개념은 관계를 맺지 못하고 떨어져 있는 네트워크 양상을 그린다. 해수의 순환 단원의 성취기준과 교과서에 대한 언어 네트워크를 시각화한 그림은 각각 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

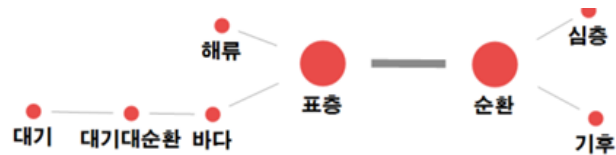


Fig. 3. Achievement standards in curriculum

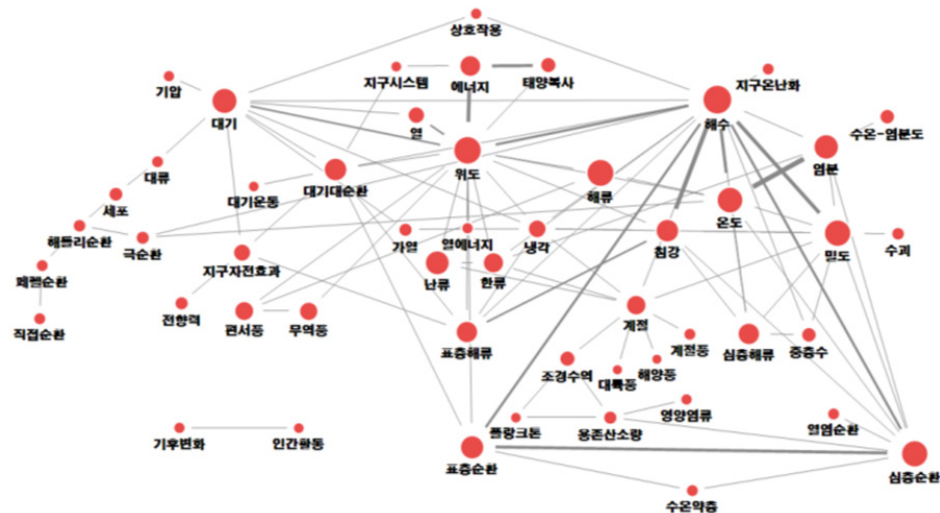


Fig. 4. The body of textbook

해수의 순환 단원의 탐구 활동 유형을 출판사별 탐구 활동 유형과 빈도수로 분석하였다. 분석 결과 중단원 해수의 순환에는 9가지 탐구 활동을 주제로 21개의 탐구 활동이 3개의 탐구 활동 유형으로 수록되어 있다. 표층 해류와 대기 대순환의 관계를 자료 해석하는 탐구 활동, 수조 실험을 통한 심층 순환 형성 원리 탐구 활동은 5종 교과서에서 다루며 가장 높은 빈도수를 보였고, 각각의 탐구 유형은 자료 해석(ID)과 모의 실험(SA)으로 모든 교과서에서 주제에 따른 탐구 활동 유형이 동일하게 나타났다. 이외의 탐구 활동 주제는 2종 이하의 교과서에서 다루고 있으며 조사 혹은 자료 해석(ID)으로 탐구 활동의 유형이 제한되어 있다. 이를 종합한 해수의 순환 단원의 탐구 활동 유형 수와 빈도는 Table 3과 같다.

Table 3. Types and frequency of inquiry activities by publisher unit: number(%)

Section	Inquiry activities type						Total
	EO	SA	IP	ID	RW	EX	
ES1(A)	0 (0.0)	1 (25.0)	0 (0.0)	3 (75.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (19.0)
ES1(B)	0 (0.0)	1 (33.3)	1 (33.3)	1 (33.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (14.2)
ES1(C)	0 (0.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	2 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (19.0)
ES1(D)	0 (0.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	2 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (19.0)
ES1(E)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (25.0)	3 (75.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (19.0)
ES1(F)	0 (0.0)	1 (50.0)	0 (0.0)	1 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (10.5)
Total	0 (0.0)	5 (23.8)	4 (19.0)	12 (57.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	21(100.0)

EO: experimental observation, SA: simulated activities and experiments, IP: investigative discussion and presentation, ID: interpretation of data, RW: reading writing, EX: expression

대기와 해양의 상호작용 단원의 교육과정을 언어 네트워크 분석한 결과 6개의 개념이 출현하였다. 네트워크에서 해수는 가장 높은 출현 빈도를 가졌다. 아이젠벡터 중심성은 용승, 침강, 대기, 상호작용 등의 순으로 높은 값을 나타냄을 분석하였다. 개념쌍은 5개가 출현하였고, 공출현 빈도는 남방진동-침강, 용승-해수, 상호작용-해수, 용승-침강, 대기-해수 등의 관계가 같은 공출현 빈도수로 관계를 맺고 있었다. 네트워크에서 해수는 중심을 차지하고, 해수는 대기, 상호작용, 용승과 연결되어 있으며 떨어진 개념 없이 모두 관계를 맺고 있다. 대기와 해양의 상호작용 단원의 성취기준과 교과서에 대한 언어 네트워크를 시각화한 그림은 각각 Fig. 5, Fig. 6과 같다.

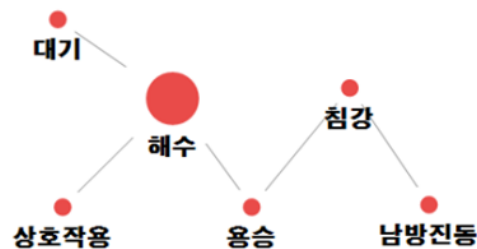


Fig. 5. Achievement standards in curriculum

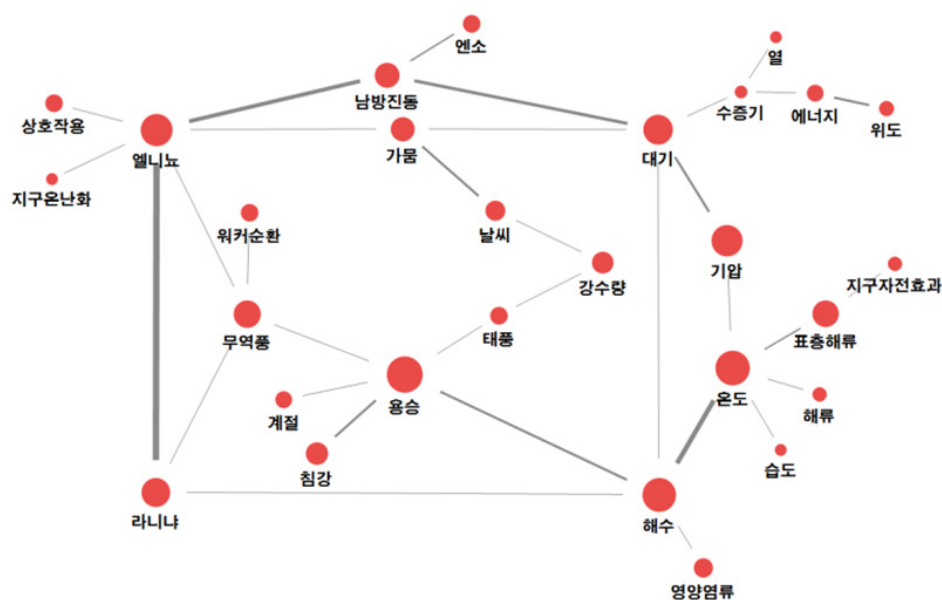


Fig. 6. The body of textbook

대기와 해양의 상호작용 단원의 탐구 활동 유형을 출판사별 탐구 활동 유형과 빈도수로 분석하였다. 분석 결과 중단원 대기와 해양의 상호작용에는 6가지 탐구 활동을 주제로 13개의 탐구 활동이 2개의 탐구 활동 유형으로 수록되어 있다. 엘니뇨와 라니냐 현상이 생활에 주는 영향을 탐구하는 활동은 6종 교과서에서 다루며 가장 높은 빈도수를 보였고, 이외의 탐구 활동 주제는 2종 이하의 교과서에서 다루고 있으며 대부분 자료 해석(ID)으로 탐구 활동의 유형이 제한되어 있다. 이를 종합한 대기와 해양의 상호작용 단원의 탐구 활동 유형수와 빈도는 Table 4와 같다.

Table 4. Types and frequency of inquiry activities by publisher

unit: number(%)

Section	Inquiry activities type						Total
	EO	SA	IP	ID	RW	EX	
ES1(A)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (7.6)
ES1(B)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (50.0)	1 (50.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (15.3)
ES1(C)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (33.3)	2 (66.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (23.0)
ES1(D)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (33.3)	2 (66.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (23.0)
ES1(E)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (23.0)
ES1(F)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (7.6)
Total	0 (0.0)	0 (0.0)	5 (38.4)	8 (61.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	13 (100.0)

EO: experimental observation, SA: simulated activities and experiments, IP: investigative discussion and presentation, ID: interpretation of data, RW: reading writing, EX: expression

기후 변화의 상호작용 단원의 교육과정을 언어 네트워크 분석한 결과 13개의 개념이 출현하였다. 네트워크에서 기후 변화는 가장 높은 출현 빈도를 가졌다. 아이겐벡터 중심성은 과학, 요인, 원인, 경제, 환경 등의 순으로 높은 값을 나타냄을 분석하였다. 개념쌍은 11개가 출현하였고, 공출현 빈도는 기후와 변화, 인위와 요인의 순으로 높은 값을 나타내고, 경제-사회, 환경-사회, 환경-변화, 변화-원인, 자연-원인, 과학-문제, 과학-해결 등의 관계가 같은 공출현 빈도수로 관계를 맺고 있었다. 네트워크에서 변화는 중심을 차지하고 원인, 환경, 문제, 기후와 연결되어있다. 인간 활동의 개념은 관계를 맺지 못하고 떨어져 있는 네트워크 양상을 그린다. 기후 변화 단원의 성취기준과 교과서에 대한 언어 네트워크를 시각화한 그림은 각각 Fig. 7, Fig. 8과 같다.

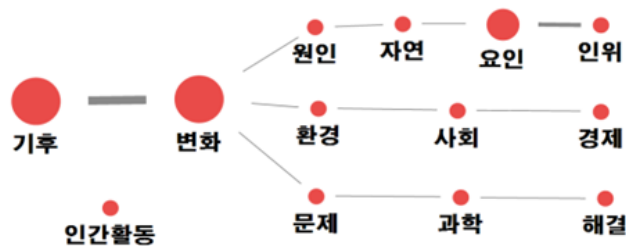


Fig. 7. Achievement standards in curriculum

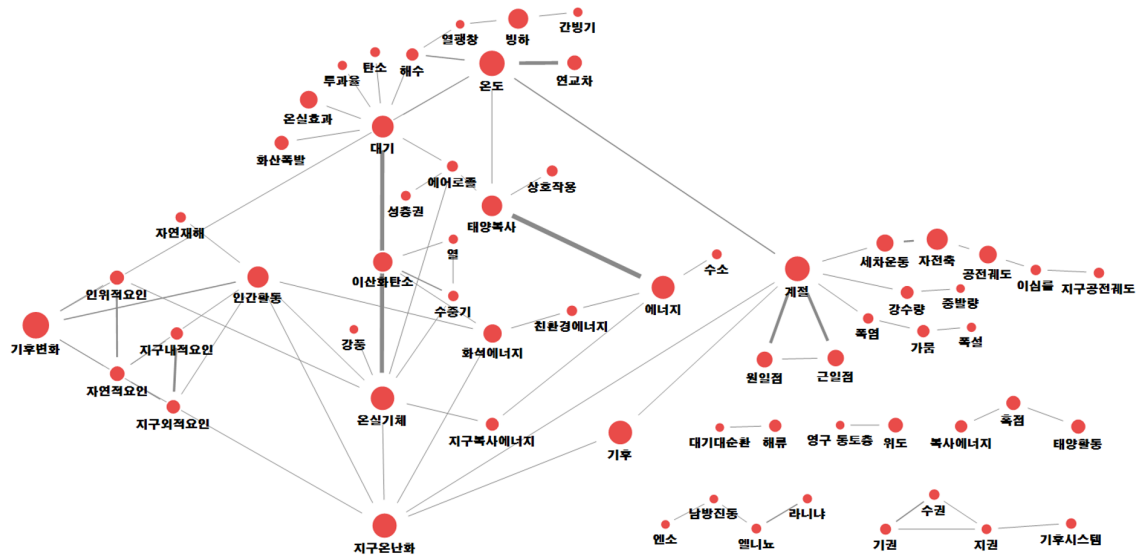


Fig. 8. The body of textbook

기후 변화의 탐구 활동 유형을 출판사별 탐구 활동 유형과 빈도수로 분석하였다. 분석 결과 중단원 기후 변화는 9가지 탐구 활동을 주제로 29개의 탐구 활동이 4개의 탐구 활동 유형으로 수록되어 있다.

남극 빙하 코어 연구를 통해 얻은 자료를 분석하는 고기후 자료해석 활동은 ES1(A), ES1(F) 2종 교과서에서 자료 해석(II)으로 다룬다. 기후 변화의 원인에 대한 토의 활동은 6종 교과서에서 조사 토의 및 발표(IP)로 동

일하게 다루고 있다. 지구 온난화 경향성을 파악하는 탐구 활동도 6종 교과서에서 자료 해석(ID)으로 동일하게 다루고 있다. 기후 변화에 의해 생태계가 파괴되는 사례를 조사하는 활동은 ES1㉔, ES1㉕ 2종 교과서에서 조사(IP)활동으로 동기유발 단계인 생각 펼치기, 간단한 미니 탐구 활동 등으로 다룬다. 기후 변화 예방법에 대한 활동은 ES1㉔, ES1㉖ 2종 교과서에서 조사(IP)활동으로 다루고 있다. 기후 변화를 과학적 차원으로 해결하는 탐구 활동은 단원 마무리 과학 글쓰기(RW)로 ES1㉔~ES1㉕ 3종 교과서에서 다룬다. ES1㉔은 마무리 심화 활동으로 캠페인을 통한 지구 온난화 예방 실천 활동(EX)을 제시하고 있으며 4개 유형의 탐구 활동을 통해 기후 변화의 원인, 현상, 예방법, 해결법을 다루고 있다. 이를 종합한 기후 변화 단원의 탐구 활동 유형 수와 빈도는 Table 5와 같다.

Table 5. Types and frequency of inquiry activities by publisher unit: number(%)

Section	Inquiry activities type						Total
	EO	SA	IP	ID	RW	EX	
ES1㉔	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (25.0)	3 (75.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (13.7)
ES1㉕	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (42.8)	2 (28.5)	1 (14.2)	1 (14.2)	7 (24.1)
ES1㉖	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (60.0)	1 (20.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	5 (17.2)
ES1㉗	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (40.0)	2 (40.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	5 (17.2)
ES1㉘	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (33.3)	2 (66.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (10.3)
ES1㉙	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (40.0)	3 (60.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	5 (17.2)
Total	0 (0.0)	0 (0.0)	12 (41.3)	13 (44.8)	3 (10.3)	1 (3.4)	29 (100.0)

EO: experimental observation, SA: simulated activities and experiments, IP: investigative discussion and presentation, ID: interpretation of data, RW: reading writing, EX: expression

Development of the System Thinking Evaluation Rubric

이 연구는 Lee et al. (2018)의 연구에서 제시한 시스템 사고 수준에 대한 정의를 바탕으로 수행되었다. 해당 연구는 시스템 사고의 단계별 정의와 학생의 열린 응답형 문항을 평가할 수 있는 루브릭을 제시한다. 이 루브릭은 Hung (2008)의 선행 연구에서 인과지도의 평가에 활용되었던 루브릭을 수정·보완하여 구성한 것으로 시스템 사고를 구성하는 중요한 요인들을 정량적으로 평가할 수 있는 기준을 제시하고 있다. 루브릭을 통해 학생의 정성적 응답을 정량적 점수로 분석할 경우, 다양한 분석 방법을 적용한 신뢰롭고 타당한 연구 결과를 도출할 수 있다(Jeon, 2021; Lee et al., 2017; Lee & Lee, 2017; Montgomery, 2000). 따라서 이 연구에서는 루브릭을 활용하여 탐구 모듈의 시스템 사고 단계에 대한 시스템 사고를 분석하여 개념 이해도 검사와 함께 학생의 시스템 사고를 통한 개념 이해도를 분석하고자 하였다.

시스템 사고를 분석한 여러 선행 연구 분석을 통해 이 연구에서는 비주얼 씽킹의 플로우 맵, 멀티 플로우 맵, 브레이스 맵, 트리 맵 및 인과지도와 같은 도구를 활용하여 시스템적으로 연결된 도식을 평가하였다. 따라서 Lee et al. (2018)의 연구에서 제시한 루브릭을 문항 내용에 맞게 변형하고, Hung (2008) 및 Jeon (2021)의 연구를 비롯하여 다른 평가 루브릭을 종합적으로 검토하여 교사용 탐구 모듈 지도서에 제안하였다.

이렇게 구성된 평가 루브릭은 검사지 내용 타당도 검증에 참여한 전문가 집단 중 시스템 사고를 연구한 경험이 있는 교수 1명, 박사 1명과 논의하여 타당성과 신뢰성을 확인하고 수정·보완을 거쳐 최종 완성하였다.

분석을 위해 작성된 인과지도 및 비주얼 씽킹맵은 Table 6과 같은 형태로 모듈별 6개의 채점 기준 및 채점 가이드를 바탕으로 평가가 진행되었다. 학생 개인별 인과지도 및 비주얼 씽킹맵의 정보를 정리하고, 채점 기준 및 가이드를 활용해 정리된 정보를 바탕으로 정량적인 점수를 산출하였다. 시스템 사고 인과지도 및 비주얼 씽킹맵 작성 예시와 수준 평가 루브릭 구성은 Fig. 9, Fig. 10, Table 6과 같다.

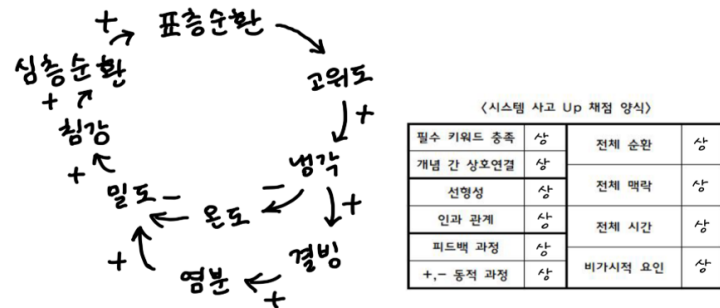


Fig. 9. Example of causal map and scoring

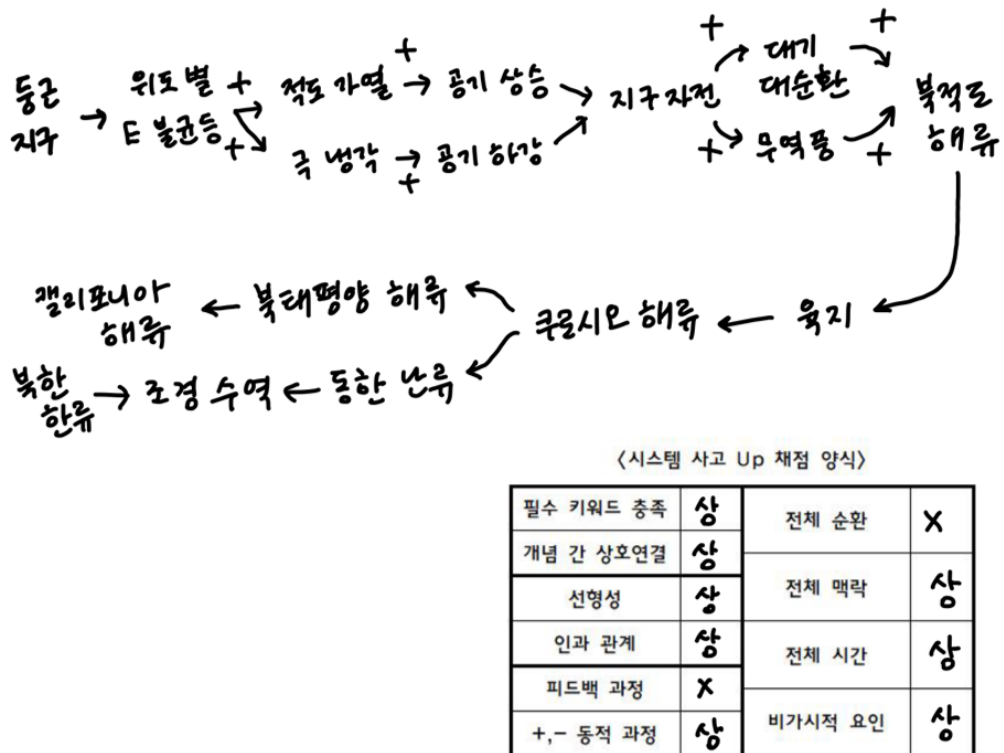


Fig. 10. Example of visual thinking map and scoring

Table 6. Example of causal map assessment rubric

Section		Causal map assessment rubric			Assessment guide
		Good (5 points)	Fair (3 points)	Poor (1 point)	
LST1	Required keywords	Correctly identify all critical variables	Identify 40% of critical variables	Identify 20% of critical variables	Mention at least 5 required concepts (1 point per concept)
	Interconnection between concepts	Reasoning processes and concepts show an accurate interconnectivity between variables	Some connections between variables or concepts in the system are appropriate	Incorrect interconnection between variables or concepts in the system	appropriate connection between the mentioned factors (1 point per factor)
LST2	Linearity	Concepts mostly show two-way causality	50% of concepts include two-way or multiple-way	Concepts and reasoning processes have high linearity	Percentage of one-way connections to total connections(neither two-way or multiple-way)
	Causal relationship	Causalities are clearly identified across all connections	50% causality is correct	No causality or very insufficient	Percentage of causality to total connections (Percentage of connections with correct scientific evidence)
LST3	Feedback process	Accurately identify the feedback loop process of the system	50% feedback loop correct in the system	Most feedback loops in the system are incorrect	Check feedback loop appearance and dynamic process(Qualitative evaluation through content analysis)
	Dynamic process	Represent the entire system as a dynamic entity	Partially static representation of the system	Statically represent the entire system	Percentage of dynamic entity to total connections(appropriate cyclic ring addition points)
LST4	Total circulation	Understand and explain the overall flow and mechanism of the system	Partially understand and describe the flow and mechanisms of the system	Failed to describe the flow and mechanism of the system	Describe the dynamic system process, including the interaction between the feedback loop
	Total context	Consider the overall context	Include some context considerations	No context consideration	State from a consistent perspective in a particular context(Qualitative evaluation of scientific and logical approaches)
	Total time	Consider the overall time delay	Partial consideration of time delay	Do not consider time delay	Recognize changes over time, present sequential causal relationships causality (Qualitative evaluation through content analysis)
	Invisible factor	Consider the overall invisible factor	Consider partially invisible factor	Do not Consider invisible factor	Qualitative evaluation through the proportion of non-visual factors

Level1: The degree to which the system is structured

Level2: The degree to which Causalities are identified within the system

Level3: The degree to which understand the dynamic process and feedback

Level4: The degree to which non-visual factors are identified within the system

System Thinking Inquiry Modules Development Results

Configuration and Content

대기와 해양의 상호작용으로 나타나는 자연 현상은 실험실과 같이 작은 규모의 공간에서 일어나는 현상이 아니므로 이를 재현할 실험 도구가 부족하고, 구체적인 실험 과정의 탐구 활동이 없는 것으로 분석되었다(Shin & Kwon, 2020). 지구과학 I 6종 교과서의 탐구 활동 유형을 분석한 결과 자료조사와 자료해석 중심임을 고려하여, 일반계 고등학교 수업환경에 적용할 수 있는 대기와 해양의 상호작용 탐구 모듈의 주제와 탐구 활동 유형을 선정하였다. 탐구 모듈의 주제에 따라 탐구 모듈을 구성하는 탐구 활동 유형은 Table 7과 같다.

Table 7. Inquiry module topics and type of inquiry activities

unit: number

Unit	Module	Inquiry module topics	Teaching time	Inquiry activities type					
				EO	SA	IP	ID	RW	EX
Circulation of seawater	1	Seawater circulation	2	0	1	0	0	1	1
	2	The currents around our country	2	0	1	1	1	0	1
Interaction between the atmosphere and ocean	3	El Nino and La Nina: observation	2	0	1	1	1	0	1
	4	El Nino and La Nina: research	3	0	0	1	0	1	1
Climate change	5	Climate change: a natural factor	2	0	1	0	1	1	1
	6	Climate change: an artificial factor	3	1	0	0	0	1	1
Total			14	1	4	3	3	4	6

EO: experimental observation, SA: simulated activities and experiments, IP: investigative discussion and presentation, ID: interpretation of data, RW: reading writing, EX: expression

탐구 모듈 구성 탐구 활동 유형의 수는 모듈 수업 과정에서 탐구 활동으로 분류할 수 있는 활동을 모두 포함하여 빈도수로 나타냈다. 시스템 사고 적용 탐구 모듈은 Park & Lee (2014)가 개발한 과학 탐구와 창의적 설계 기반의 ADBAS 5단계 수업 모형을 일반계 고등학교 수업 환경에 맞게 수정·보완하여 5단계로 구성된다. 시스템 사고 적용 탐구 모듈 단계별 구성 요소는 Table 8과 같다.

Table 8. System thinking inquiry module components of steps

ADBAS Model Steps	System thinking inquiry module steps	Components
Analysis	Analysis of inquiry problem	·Present of inquiry goal and motivational materials ·Present of data on the recognition of problems in daily life
Design	Design of inquiry problem	·The process of understanding, planning, and performing inquiry activities ·Learn how to operate experimental tools and applications ·Hypothesis setting, exploration design through variable control
Build	Build of inquiry problem	·Experience various inquiry activities such as observation, experiment, investigation, discussion, and acquisition of inquiry functions ·Analysis of inquiry results and draw conclusions ·Creating a report ·Presenting in-depth activities
Assessment	Assessment of inquiry problem	·Presentation of results and discussion of problem-solving ideas ·Feedback from assessment ·Feedback from process-focused evaluation
System thinking	Thinking up for system thinking	·Identify elements of analysis, design, build, assessment, system thinking ·Organize and analyze activity results from causal map, visual thinking map ·Draw causal map and visual thinking map based on causality and circulation

Content Validation Results

시스템 사고 적용 탐구 모듈 적용 단계를 위해 탐구 모듈에 대해 전문가들로부터 내용 타당도 검증을 실시하였다. 시스템 사고 적용 탐구 모듈의 내용과 방법적 측면의 내용 타당도를 검증하였다. 내용 타당도 검증에는 지구과학교육과 교수 1인, 지구과학과 장학사 1인, 지구과학 교사 2인, 과학교육과 박사 2인으로 총 6명이 참여하였다. 전문가 필요 인원에 대한 합의는 없지만 Lynn (1986)은 5명 이상에서 10명이 바람직하다고 하였다(Lee, 2021). 내용 타당도 검사는 시스템 사고 적용 탐구 모듈과 개념 이해도 검사지가 2015 개정 교육과정과 연계되어 있는지, 탐구 모듈의 내용에 시스템 사고가 적절히 적용되었는지, 개념 이해도 검사지의 수준과 내용이 적절한지를 파악할 수 있는가에 중점을 두고 내용 타당도 검사를 실시하였다.

내용 타당도 검사는 내용 타당도 지수(CVI: Content Validity Index)를 분석하여 판단하였다. 이 연구의 내용 타당도 검사는 리커트식 4점 척도를 사용하였으며, 4점에 응답한 전문가를 ‘타당하다’고 판단하였다. Lynn (1986)의 방법을 활용하여 4점은 ‘매우 관련 있음’, 3점은 ‘관련 있음’, 2점은 ‘수정하지 않을 경우 관련 없음’, 1점 ‘관련 없음’으로 내용 타당도 지수를 산출하였으며 I-CVI 지수가 1.00 이상, S-CVI 지수가 0.90 이상이면 타당도가 확보되었다고 판단하였다. 각 문항의 내용 타당도 지수(I-CVI) 값은 0.78, 전체 내용 타당도 지수(S-CVI) 값은 0.90 이상이면 타당도가 확보되었다고 판단하였고 소수점 셋째자리 아래는 절사하였다. 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈의 내용적, 방법적 측면에서 모든 문항에 대해 내용 타당도 지수 값(I-CVI)은 0.78 보다 컸고, 전체 내용 타당도 지수(S-CVI) 값은 0.916으로 나타났으며 내용 타당도가 확보된 것을 체계적으로 검증하였다.

System Thinking Inquiry Modules Application Results

In-school Curriculum

교내 교육과정 2학년 지구과학 I 수강생을 대상으로 대기와 해양의 상호작용 단원에 탐구 모듈 1, 3을 적용한 뒤, 시스템 사고를 통해 개념을 이해하고 있는지 조사하였다. 수강생 45명의 활동지 결과 자료 정리 및 채점 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Analysis results of causal map and multi flow map (N=45)

System thinking level		Module 1 Causal map			Module 3 Multi flow map		
		Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)	Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)
LST1	Required keywords	23	21	1	21	17	7
	Interconnection between concepts	20	15	10	21	15	9
LST2	Linearity	24	18	3	26	18	12
	Causal relationship	24	11	10	14	17	14
LST3	Feedback process	11	31	3	·	·	·
	Dynamic process	12	25	8	14	27	4
LST4	Total circulation	7	22	16	·	·	·
	Total context	19	22	4	17	19	9
	Total time	10	21	14	13	24	8
	Invisible factor	15	20	10	14	21	10
Average (score/total)		38.4/50			27.7/40		

Collaborative Curriculum between School

학교 간 공동교육과정 3학년 고급 지구과학 수강생을 대상으로 유체지구과학 대기와 해양의 상호 작용 단원에 탐구 모듈 5, 6을 적용한 뒤, 시스템 사고를 통해 개념을 이해하고 있는지 조사하였다. 학교 간 공동교육과정으로 진행된 탐구 모듈 5, 6은 ‘기후 변화 요인 분석 탐구’를 주제로 학생들이 기후 변화의 자연적, 인위적 요인을 직접 조사하고 탐구를 설계, 수행한 뒤 기후 변화의 요인을 스스로 판단하여 결론 도출 및 발표를 수행하는 프로젝트 수업으로 진행되었다. 수강생 15명의 활동지 결과 자료 정리 및 채점 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Analysis results of brace map and causal map (N=15)

System thinking level		Module 5 Brace map			Module 6 Causal map		
		Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)	Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)
LST1	Required keywords	9	4	2	10	3	2
	Interconnection between concepts	7	5	3	8	4	3
LST2	Linearity	9	6	0	8	5	2
	Causal relationship	7	6	2	6	7	2
LST3	Feedback process	·	·	·	6	7	2
	Dynamic process	5	8	2	7	7	1
	Total circulation	·	·	·	5	7	3
LST4	Total context	6	6	3	6	5	4
	Total time	5	9	1	5	8	2
	Invisible factor	5	6	4	6	7	2
Average (score/total)		28.8/40			35.8/50		

Club Activities

교내 3학년 해양 동아리 부원 10명을 대상으로 모듈 2, 모듈 4를 적용한 뒤, 시스템 사고를 통해 개념을 이해하고 있는지 조사하였다. 창의적 체험활동의 동아리 활동으로 진행된 탐구 모듈 2, 4은 ‘해양이 인류의 삶에 미치는 영향’을 주제로 학생들이 windy 어플리케이션을 이용하여 자료를 수집하여 해류가 우리나라 주변에 미치는 현상을 분석하고, 엘니뇨, 라니냐가 인류의 삶에 미치는 영향을 기후 변화 지도로 자료 변환하여 제작한 뒤 탐구발표회를 진행하는 5주 차 프로젝트 활동으로 진행되었다. 동아리 부원 10명의 활동지 결과 자료 정리 및 채점 결과는 Table 11과 같다.

Table 11. Analysis results of flow map and tree map (N=10)

System thinking level		Module 2 Flow map			Module 4 Tree map		
		Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)	Good (5points)	Fair (3points)	Poor (1point)
LST1	Required keywords	5	4	1	5	5	0
	Interconnection between concepts	4	3	3	5	3	2
LST2	Linearity	4	5	1	4	4	2
	Causal relationship	4	4	2	4	4	2
LST3	Feedback process	·	·	·	·	·	·
	Dynamic process	3	5	2	5	3	2
	Total circulation	·	·	·	·	·	·
LST4	Total context	4	4	2	4	4	2
	Total time	4	4	2	5	3	2
	Invisible factor	4	3	3	3	6	1
Average (score/total)		27.2/40			28.4/40		

System Thinking Inquiry Modules Utilization Plan

본 연구는 언어 네트워크 분석을 통한 교육과정 및 시스템 사고 적용 탐구 모듈의 분석을 바탕으로 해당 탐구 모듈이 고교학점제에 활용될 수 있는 방안을 탐색하고자 하였다. 일반계 고등학교의 학생은 고급 지구과학, 지구과학 실험, 융합과학 탐구, 생태와 환경 교과에 대해 학교 간 공동교육과정으로 수강하는 경우가 많

다. 학교 간 공동교육과정 수업은 고교 교육력 제고를 목표로 단위 학교에서 개설이 어려운 과목을 인근 지역 학교간의 상호 협력을 통해 개설, 운영하여 학생의 과목 선택권 확대에 도움을 주려는데 목적을 둔 수업 형태이다(Jeong, 2020). 주말, 방학 중 교사가 자유롭게 하루 최대 4시간 이내의 수업을 진행할 수 있기 때문에 교사는 개발된 모듈을 수업 목적에 맞게 구성하여 자율적으로 수업에 적용할 수 있다.

연구 결과를 바탕으로 검증된 교육과정 정합성과 현장 적합성을 바탕으로 개발된 시스템 사고 적용 탐구 모듈을 2015 개정 교육과정 고등학교 과학과 교과목과 수강생에 따라 재구성한 프로그램의 유형은 Table 12와 같다.

Table 12. Type of system thinking inquiry module

Subject	Required time / Total time	Module1	Module2	Module3	Module4	Module5	Module6	Achivement standard
		Seawatercirculation	The currents around our country	El Nino and La Nina: observation	El Nino and La Nina: research	Climate change: a natural factor	Climate change: an artificial factor	
Integrated science	5/102				○		○	10IS08-03 10IS09-04
Science inquiry experiment	9/34	○	○	○		○		10SE02-03 10SE02-04 10SE02-06 10SE02-08
Earth scienceI	12/102	○	○	○	○	○	○	12ESI04-01 ~
Earth scienceII	5/68	○	○					12ESII04-02 12ESII05-06
Convergence science	5/68			○	○			12CS06-04
Advanced earthscience	5/51					○	○	12AS02-09
Earthscience experiment	9/51	○	○				○	12SE02-10 12SE02-11 12SE02-13
Convergence science Inquiry/ Science project research	9/51	○		○		○		12CE01-01 ~12CE01-10 12SR01-01 ~12SR01-12
Ecology and the environment	9/34		○		○		○	12EE01-06 12EE01-07 12EE03-04
Club activity	5/34		○		○			.

Discussion and Conclusions

본 연구는 2025학년도부터 전면 도입되는 고교학점제에 활용 가능한 지구과학 교과목의 탐구 모듈을 개발하고자 하였다. 2015 개정 과학과 교육과정의 성취기준과 평가기준, 6종 교과서를 기반으로 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈을 개발하였다. 개발된 탐구 모듈을 세 가지 유형으로 조합하여 고교학점제가 시행되고 있는 일반계 고등학교의 교내 교육과정, 학교 간 공동교육과정, 창의적 체험활동의 동아리 활동에 적용하였고, 시스템 사고를 통한 개념 이해도, 교육과정 정합성, 현장 적용 가능성을 분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 2015 개정 교육과정 지구과학 I 6종 교과서에 수록된 탐구 활동 유형을 분석하고, 언어 네트워크 분석을 통해 지구과학 I 대기와 해양의 상호작용 단원의 교육과정 및 교과서를 분석하였다. 탐구 활동 유형 분석 결과 실험 관찰(EO), 모의 활동 및 실험(SA), 글쓰기 읽기(RW), 표현하기(EX)와 관련된 탐구 활동은 대부분의 교과서에 수록되지 않았기 때문에 실험 관찰(EO), 모의 활동 및 실험(SA), 글쓰기 읽기(RW), 표현하기(EX)를 포함한 탐구 모듈을 개발할 필요가 있다고 판단하였다. 이를 바탕으로 심층 순환의 조작 변인에 따른 종속 변인 비교 실험, 어플리케이션 windy를 활용한 우리나라 주변 해류 분석, 시뮬레이션 프로그램 earthnullschool을 활용한 엘니뇨와 라니냐 관측 및 분석, 엘니뇨와 라니냐 시기 기후 변화 피해 유형 지도 제작, 지구 자전축 기울기 변화 탐구, 단열집 제작을 통한 온실 효과 탐구를 주제로 탐구 모듈로 개발하였다.

둘째, 언어 네트워크 분석 결과에 기반하여 시스템 사고를 적용한 탐구 모듈 및 인과지도, 비주얼 씽킹맵 채점 가이드를 개발하였다. 시스템 사고 적용 탐구 모듈은 박병열, 이효녕(2012)이 개발한 과학 탐구과 창의적 설계기반의 ADBAS 모형 ‘분석-설계-제작-평가-시스템 사고’ 5단계를 일반계 고등학교 수업 환경에 맞게 수정·보완하여 ‘탐구문제 분석-탐구 활동 설계-탐구 활동 제작-탐구과정 평가-시스템 사고로 생각 Up!’으로 수정·보완하였다. 개발된 탐구 모듈은 내용 타당도 검증으로 타당성을 확보하였다. 또한 언어 네트워크 분석 결과를 토대로 탐구 모듈의 ‘시스템 사고로 생각 Up’ 단계의 인과 지도 및 비주얼 씽킹맵 채점 가이드를 개념 빈도와 아이젠 벡터 값, 개념 쌍의 공출현 빈도를 활용하여 개발하여 결과를 분석하였다.

셋째, 시스템 사고를 통한 대기와 해양 상호작용 단원의 개념 이해도, 교육과정 정합성, 현장 적합성을 확인하였다. 개발된 탐구 모듈을 세 가지 유형으로 조합하여 교내 교육과정의 2학년 대상 지구과학 I 수업, 창의적 체험활동 중 3학년 대상 해양 동아리 활동, 학교 간 공동교육과정의 3학년 대상 고급 지구과학 수업에 적용하였고, 개념 이해도 검사지와 학생 활동지의 인과지도, 비주얼 씽킹맵을 통해 개념 이해도, 교육과정 정합성, 현장 적합성을 분석하였다. 개발된 개념 이해도 검사지는 내용 타당도 검증으로 타당성을 확보하였다. 분석 결과 학생들은 대기와 해양의 상호작용에 대한 개념을 시스템 사고를 활용하여 인과적으로 이해함을 보였으며 시스템 사고 적용 탐구 모듈은 고교학점제가 시행된 일반계 고등학교의 교육과정 정합성과 현장 적합성에서 적합한 것으로 나타났다.

넷째, 탐구 모듈의 고교학점제 활용 방안을 분석하였다. 2015 개정 교육과정에서 고등학교 과학 교과 통합과학, 과학탐구실험, 지구과학 I, 지구과학 II, 융합과학, 고급 지구과학, 지구과학 실험, 융합과학 탐구, 과학과제 연구, 생태와 환경에 해당 모듈을 적용하여 활용할 수 있는 모듈 조합, 필요 시수, 성취 기준을 정리하였다.

본 연구는 차기 시행될 고교학점제에 대비하여 2015 개정 교육과정 고등학교 과학 교과에 활용 가능한 시스템 사고 적용 탐구 모듈을 조합하여 단위수, 대상 학년에 맞게 재구성하여 적용하고, 교육과정 정합성과 현장 적합성을 입증했다는 점, 개발된 시스템 사고 적용 탐구 모듈은 학생 활동에 대한 과정과 시스템 사고를 통한 개념 이해도를 개별적으로 피드백하며 정교하게 평가할 수 있다는 점에서 교육적 의의를 가진다.

연구 결과를 바탕으로 향후 교육과정에 적용 가능한 시스템 사고 적용 탐구 모듈 개발 및 후속 연구에 대한 추가적인 제언은 다음과 같다. 첫째, 2022 개정 교육과정에 편성되는 고등학교 과학 교과에 맞는 탐구 모듈 개발에 대한 연구가 후속되어야 한다. 둘째, 본 연구에서는 유체 지구과학 영역 중 대기와 해양의 상호작용을 중심으로 탐구 모듈을 개발하였으나 선행 연구를 통해 확인한 결과 다른 영역에 대한 모듈 혹은 프로그램의 개발은 부족한 실정이다. 따라서 고교학점제를 고려한 지구과학의 고체 지구, 유체 지구, 우주 과학 영역에 대한 추가적인 모듈 개발 연구가 필요할 것으로 보인다. 셋째, 고교학점제에 활용 가능한 시스템 사고 적용 탐구 모듈이 현장에 정착되기 위해 지구과학 교사를 위한 시스템 사고 사전 교육프로그램, 시스템 사고 적

용 탐구 모듈의 교수·학습 및 평가 관련 역량 향상을 위한 교사 대상의 직무연수 등이 개발되거나 단위학교 내 전문적 학습 공동체가 운영될 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

- Andrey, J., & Hachey, B. (1995). Public Response to Climate Change: Planning for Improved Communication, Adapting to Climate Change in the Great Lakes-St. Lawrence Basin: A Bilateral Symposium, University of Waterloo.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2008). System thinking skills at the elementary school level. Presented in the 2008 NARST Annual Meeting. March, 2008. Boltimor, U.S.A.
- Hmelo-Silver, C., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Science*, 15, 53-61.
- Hung, W. (2008). Enhancing systems thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology*, 39, 1399-1120.
- Jeon, J. D. (2021). Structural Model Validation for Systems Thinking Ability based on the Rubric Measuring the Level of Systems Thinking : Focusing on the Carbon Cycle(Unpublished Doctoral Dissertation). Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea.
- Jeon, J. D., & Lee, H. N. (2015). The development and application of steam education program based on systems thinking for high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35, 1007-1018.
- Jeong, S. Y., & Jang, J. H. (2019). Analysis of inquiry activity types in the high school life science textbooks according to the 2015 revised science curriculum. *Journal of Science Education*, 43, 43-63.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, S. B. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 545-565.
- Kim, C. K., Choi, & D. H. (2010). Thoughts on climate change education in Korea. *Korean Journal of Environmental Education*, 23, 1-12.
- Kim, J. R., Park, J. H., & Park, Y. R. (2005). Development of modules in earth science for the enhancement of scientific inquiry skills. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 26, 183-198.
- Kim, J. S., Lee, H. K., Kwon, O. S., Jang, S. K., Kwon, H. J., & Park, H. K. (2017). *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: YBM.
- Kim, S. C., Min, I. H., & Jeong, M. R. (2019). Platform for the Successful Evolution of School Education: What is the High School Credit System? Seoul: Mam e Deurim.
- Kwon, S. M., Lee, H. N., Jin, M. S., Boo, Y. P., Kim, T. J., & Jo, Y. W. (2017). *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: Kumsung.
- Lee, H. D., & Lee, H. N. (2017). Analysis and effects of high school students' systems thinking using iceberg(IB) model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37, 611-624.
- Lee, H. D., Kim, T. S., & Lee, H. N. (2017). An analysis of high school students' systems thinking and understanding of the earth systems through their science writing. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 38, 91-104.
- Lee, H. N., Jeon, J. D., & Lee, H. D. (2018). Development of framework and rubric for measuring students' level of systems thinking. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38, 355-367.
- Lee, H. N., Kwon, H. S., Kim, M. R., Kim, Y. K., Nam, J. C., Park, K. S., ... Han, I. K. (2012). Understanding and Application of STEM/STEAM Education Based on Scientific Exploration and Creative Design: I-STEAM Education Program for Field Application of Convergence Human Resources Education. Seoul: Books Hill.

- Lee, H. N., & Kwon, Y. R. (2008). Development and application of earth systems-based earth science modules. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 29, 175-188.
- Lee, J. W., Ryu, H. G., Chu, B. S., Moon, M. H., Lee, I. S., Seo, K. W., & Jo, M. A. (2017). *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: Mirean.
- Lee, K. Y., Kim, H. S., Park, J. Y., Lee, S. M., Jeong, J. H., & Choi, Y. O. (2017) *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: Visang.
- Lynn, M. R. (1986). Determination and quantification of content validity. *Nursing Research*, 35, 382-385.
- Lee, Y. J., Park, S. I., Lee, J. K., Jang, H. Y., Kim, Y. K., & Jang, Y. S. (2018). *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: Kyohak.
- Mayer, V. J., Nam, J. H., & Lee, H. N. (2007). *Understanding Integrated Science: A Global Systemic Approach*. Seoul: Free Academy.
- Meadows, D., Sweeney, L. B., & Mehers, G. M. (2019). *The Climate Change Playbook with System Thinking*. Seoul: Jisik Platform.
- Ministry of Education[MOE]. (2017). Direction of High School Credit System and Research School Operation Plan Press Release. MOE Press Release, 2017.11.27.
- Montgomery, K(2000). Classroom rubrics: Systemizing what teachers do naturally. *The Clearing House*, 73, 324-328.
- Moon, B. C. (2014). The development and applying effects of systems thinking teaching program for improving recognition of the earth systems in elementary science education. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 7, 313-326.
- Moon, B. C., Jeong, J. W., Kyeong, J. B., Ko, G. G., Yoon, S. T., Kim, H. K., & Oh, K. H. (2004). Related conception s to earth system and applying of systems thinking about carbon cycle of the preservice teachers. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 25, 684-696.
- Oh, P. S., Jo, H. G., Oh, S. J., Lee, H. W., Moon, B. K., So, Y. W., ... Park, C. Y. (2017). *Earth Science I High School Textbook*. Seoul: Chunjae.
- Park, B. Y., & Lee, H. N. (2014). Development and application of systems thinking-based steam education program to improve secondary science gifted and talented students' systems thinking skill. *Journal of Gifted/Talented Education*, 24, 421-444.
- Polit, D. F., & Beck, C. T. (2006). The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. *Research Nurse Health*, 29, 489-497.
- Shin, M. K., & Kwon, G. P. (2020). Exploring scientific inquiry activities and epistemology of the climate change units in integrated science textbooks. *Journal of Energy and Climate Change Education*, 10, 169-180.

Authors Information

Kim, Yuran : Sangmo High School, Teacher, First Author

Lee, Hyonyong : Kyungpook National University, Professor, Corresponding Author