

RESEARCH ARTICLE

Difficulties and Solutions Experienced by Content Experts in the Process of Developing a Science Curriculum Ontology

Mihyun Son^{1*}, Youlim Park²

¹Seoul National University

²Konkuk University

과학 교과 온톨로지 개발과정에서 내용 전문가들이 겪는 어려움과 해결방안

손미현^{1*}, 박유림²

¹서울대학교, ²건국대학교

*Corresponding Author: 79algus@snu.ac.kr

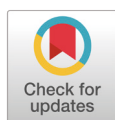
ABSTRACT

This study examines the difficulties faced by content experts in the ontology development process for science education and explores issues encountered in collaboration with developers. The findings aim to provide foundational data for AI-based learning platform development. Using qualitative analysis (Lecompte & Preissle, 1993), the study investigates the experiences of ten content experts involved in constructing a middle school science ontology.

The difficulties encountered by content experts were categorized into three areas: entity setting, relation setting, and attribute setting. In entity setting, difficulties arose due to ambiguous curriculum descriptions, differences in curriculum interpretation among experts, selection of entities related to scientific inquiry, and lack of interdisciplinary understanding. Relation setting required discussions on entity dependency, parallelism, and alignment with the learning sequence. In attribute setting, issues included polysemous terminology and defining the depth and scope of learning. Similarly, collaboration with developers presented difficulties in these areas. Entity setting issues included curriculum structure by grade level, duplicate terminology, and errors from special characters. Relationship setting revealed inconsistencies between the curriculum's formal hierarchy and actual learning sequences, along with differences in conceptual understanding. Attribute setting faced visualization constraints due to attribute length limitations.

These findings provide insights for the systematic development of AI-driven personalized learning platforms, emphasizing the need for enhanced interdisciplinary collaboration.

Keywords : Developing Ontology, difficulties and solutions, content experts, a science curriculum



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning

2025, Vol. 15, No. 1, 39-60

<https://doi.org/10.31216/BDL.2025.15.1.3>

Received: February 21, 2025

Revised: March 10, 2025

Accepted: March 10, 2025

© 2025. 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

최근 들어 교육 현장에서 가장 많은 관심을 받고 있는 주제 중 하나는 AI 디지털 교과서로 학생 개인의 능력과 수준에 맞는 다양한 맞춤형 학습 기회를 지원하고자 인공지능을 포함한 지능정보기술을 활용하여 다양한 학습자로 및 학습 지원 기능 등을 탑재한 소프트웨어를 의미한다(KERIS, 2023). AIDT의 기능 중 하나가 AI 기반 맞춤형 학습을 지원하는 것으로(Bang & Yoon, 2022), AI 기반 맞춤형 학습이란 AI를 활용하여 학습자의 특성과 요구에 맞추어 학습 속도, 학습 방법, 학습 내용과 순서를 개인에 맞추어 하는 학습을 의미한다(Shin & Shon, 2021). 학습의 과정으로 풀어서 이야기하면 학습자의 특성 및 수준을 진단하고, 진단 결과에 따라 학습 경로에 맞춘 문항과 같은 콘텐츠를 추천하는 순서로 이루어지는 것으로(Choi & Chung, 2021), 학생에 대한 진단, 학습 경로, 학습 콘텐츠라는 세 가지 요건이 충족될 때 우리는 AI 기반 맞춤형 학습을 실행할 수 있다.

AI 기반 맞춤형 학습은 AI 학습 플랫폼을 이용하여 이루어지는데, 대부분의 기개발된 AI 플랫폼은 풍부한 콘텐츠와 동기유발 요소 등을 포함하고 있었다(Kim et al., 2024). 반면 절반 이상의 플랫폼은 적절한 학습 경로를 제공하지 않고 있어 '맞춤형'이라는 단어의 의미가 적절하게 구현되고 있지 않았다(Kim et al., 2024). AI 학습 플랫폼을 사용한 교사들의 인식에서도 그러한 한계점은 드러났는데 일부 교과와 AI 플랫폼의 경우 학습 경로 등이 잘 정리되어 있으나(Kim & Cho, 2022), 많은 교과에서 학습 경로 설정이 획일적이거나 교사가 학생의 수준에 따라 변경하려 해도 시스템이 경직되어 있어 개인 맞춤형의 학습이 이루어지지 못한다고 언급하였다(Kim et al., 2024).

인공지능 플랫폼에서 맞춤형 학습이 잘 이루어지기 위해서는 학습하는 지식, 즉 우리가 일반적으로 이야기하는 교과에 대한 지식이 잘 구조화되어 있어야 하며, 인공지능을 학습시키기 위한 학생들의 학습 경로에 대한 자료가 정확해야 한다. 따라서 효율적이고 정확하게 교과 지식을 구조화하고 학습 경로를 설정하는 데 가장 필요한 것이 온톨로지이다. 온톨로지란 철학적으로는 존재론으로 불리며 존재의 의미를 이해하고 파악하는 학문 분야이다. 온톨로지에 대한 정의는 매우 다양하지만 디지털 시대가 들어서면서 최근 몇 년 동안 인공지능 및 정보 시스템 과학의 발전과 함께 e러닝 학습 환경에서의 온톨로지가 다수 연구되고 있다(Tapia-Leon et al., 2018). 컴퓨터 과학에서의 온톨로지는 지식의 한 영역을 설명하는 데 사용되는 용어의 논리적 구조로 용어의 정의와 그들의 관계를 포함한다(ISO/IEC/IEEE International Standard, 2017). 따라서 온톨로지는 지식을 표현하기 위한 형식적 구조를 제공하여 AI가 정보를 효과적으로 이해하고 처리하는데 도움을 줄 수 있으며(Crowder et al., 2020) AI 기반 맞춤형 학습 플랫폼 개발에 기초 자료가 될 수 있다.

우리나라에서 진행되고 있는 온톨로지 연구들을 살펴보면 학문 분야를 체계화하는 과정에 많이 사용되고 있다. 과거에는 지식을 구조화하는데 많이 활용되었는데, 조나혜와 강영옥(2013)은 지리교과서에 나오는 개념을 온톨로지를 이용하여 '지오 온톨로지 구축' 연구를 실시하였다. 제스처 연구를 위한 온톨로지, 도박중독 온톨로지 등 명료화되지 않은 학문 분야나 업무 분야에 이를 체계화하기 위한 방법으로도 활용된다(Ji, 2024; Park & Chun, 2023; Park et al., 2023). 온톨로지에 대한 연구는 대부분 학문 분야를 정교화하고 체계화하는데 많은 중심이 맞추어져 있는데, 학생들의 맞춤형 학습을 위한 플랫폼 개발에 온톨로지가 사용되기 위해서는 학문 중심의 온톨로지가 아니라 학생들의 학습 경로에 맞는 온톨로지가 개발될 필요가 있다. 학생들의 학습 경로를 표현하는 온톨로지를 개발하기 위해서는 학생들이 개념을 어떤 과정으로 이해하는지 파악하고 이를 컴퓨터가 이해할 수 있는 공통된 형태로 표현할 수 있어야 한다.

또한 같은 주제의 온톨로지라고 하더라도 그 형태가 다를 수 있다. 예컨대 일반적으로 화학이라는 학문에 서의 지식 구조를 나타내는 온톨로지와 교육으로서의 화학 온톨로지 구성 요소와 그것의 연결 방식은 다를 수 있다(Bussemaker et al., 2017). 화학이라는 학문 영역의 지식을 구조화 하는 방식은 개념을 이루는 하위 개념과, 그들의 관계가 매우 중요하고 그 하위 개념을 이루는 다양한 예시들로 구성된다(Bussemaker et al., 2017). 하지만 커리큘럼을 다루는 경우 정해진 학습 목표가 존재하고, 그 학습 목표 안에서의 개념과 그들의 방향성이 매우 중요하며, 하위 개념이 행동 동사 등의 기능을 의미하기도 하는 등 일반적인 온톨로지와는 다를 수 있다(Zouri & Ferworn, 2021). 또한 학습 경로의 관점에서 개념을 이루는 하위 개념이 개념적 집합 관계가 아니라 그 개념을 이해하기 위한 학생의 선행 지식을 의미하고 있다(Zouri & Ferworn, 2021; Piriyapongpipa et al., 2024).

따라서 AI 기반 맞춤형 플랫폼 개발에 사용될 학습 경로 온톨로지 개발을 위해서는 과학교육자와 더불어 학생들의 학습 이해 수준과 이해 방식에 대해서 잘 알고 있는 교사 전문가 등 내용 전문가가 필요하다. 하지만 대다수의 온톨로지 개발 연구는 기술 위주로 진행되고 있으며, 내용 전문가와의 협업에 대한 연구는 충분히 이루어지고 있지 않다. 온톨로지는 하나의 정답이 아니라 데이터베이스의 목적과 지향을 어떻게 규정하느냐에 따라 다르게 설계된다(Kim et al., 2016). 이에 본 연구에서는 내용 전문가가 학습 경로 온톨로지를 개발할 때 어떤 어려움을 경험하고 어떻게 해결하는지 과학 교과의 사례를 통해 확인해보고자 한다. 이 사례를 통해 맞춤형 인공지능 플랫폼 개발에서 내용 전문가의 역할을 확인하고 효율적인 교과 온톨로지 개발을 위한 방안을 모색해볼 수 있을 것이다.

1. AI 플랫폼 개발을 위한 중학 과학 온톨로지를 개발하는 과정에서 내용 전문가들은 내용 전문가 사이에서 어떤 어려움을 경험하고, 해결방안은 무엇인가?

2. AI 플랫폼 개발을 위한 중학 과학 온톨로지를 개발하는 과정에서 내용 전문가가 기술자와의 협업하면서 경험하는 어려움은 무엇이고, 해결방안은 무엇인가?

Theoretical Background

Definition and Components of an Ontology

온톨로지는 철학적인 관점에서 존재론으로 존재의 의미를 이해하고 파악하는 학문 분야를 의미하였으나, 최근 몇 년 동안 인공지능 및 정보 시스템 과학의 발전과 함께 컴퓨터 과학 분야에서 주로 사용되었다. 컴퓨터 과학에서 온톨로지를 처음 사용한 것은 John McCarthy로, 그는 철학적 온톨로지에서도 수행되는 세상에 대한 이해의 방식이 AI 시스템의 논리적 이론을 구축하는 활동과 같은 맥락에서 일어난다는 것을 깨닫고 “list everything that exists, building an ontology of our world” 라고 언급하였다(McCarthy, 1980). 온톨로지에 대한 연구는 지난 1990년대 중반부터 활발하게 이루어졌다. 특히 1990년대 후반부터 2000년대 초반까지 인터넷 링크의 효율적 연결을 위한 시맨틱웹(Semantic Web) 개발과 관련하여 지식을 온톨로지로 구조화하는 방법에 대해 많은 연구들이 이루어졌다(Hebeler et al., 2011). 다양한 분야의 지식을 온톨로지로 구축하였는데 정서적인 부분에서 교과적인 부분까지 다양한 형태의 온톨로지가 개발되었다(Al-Yahya et al., 2015).

온톨로지의 구성 요소는 구축하려는 온톨로지의 형태나 사용하는 컴퓨터 언어에 따라 다르게 언급되는데, 우리나라 정보통신용어 사전과 여러 연구에서 Table 1과 같이 정리하고 있다(Noy & McGuinness, 2001).

Table 1. Components of an ontology

Term	Definition	Example
class	A concept of an entity, a category	Plants
instance	The actual entity of an individual element	Pine tree
attribute	Characteristics of classes and instances	Green, narrow leaves
relation	Relation between classes and instances	Belongs to

일반적으로 인스턴스는 클래스를 구성하는 가장 하위의 개체를 의미하는 것으로 본 연구에서는 교육과정
에 제시된 개념을 하위 개념으로 분화하는 과정에서 하나의 인스턴스가 될 수도 있고, subclass가 될 수도 있
으므로 클래스와 인스턴스를 묶어 존재론적 관점에서 이름 붙인 엔티티(entity, 이하 엔티티)라는 용어를 사
용하였다(Arp et al., 2016; Yang et al., 2024). 예컨대 운동에너지라는 클래스에서 이를 구성하는 질량이나 속
도 등은 추상성이라는 클래스의 특징을 가지므로 인스턴스가 아닌 하위 클래스가 된다(Michie et al., 2019). 결
과적으로 교육과정을 이루는 각 클래스마다 위계 구조의 단계가 모두 다르기 때문에 본 연구에서는 클래스
와 인스턴스를 모두 아우를 수 있는 엔티티라는 용어를 사용하였다. 따라서 본 연구에서 온톨로지의 구성 요
소는 엔티티와 속성, 관계로 구성되며 이때 속성은 엔티티의 범주와 깊이를 규정하는 역할로(W3C, 2004) ‘정
의’, ‘의미’, ‘사례’ 등이 될 수 있다.

Ontologies and Generative AI

온톨로지는 도메인 지식 구조와 선후 관계를 명시하고 있기 때문에, 학습자가 어떤 개념들을 선행 학습
해야 하는지 파악하여 개인별 학습 경로를 생성할 수 있다(Shen & Shen, 2005). 온톨로지에 따라 개발된 학
습 콘텐츠는 학생들이 필요 선행 지식을 추천하여 학생들의 이해 수준에 맞는 학습이 이루어질 수 있었다.
Piriyaongpipat et al.(2024)는 대학의 커리큘럼을 관리 개선하기 위해 대학 커리큘럼의 내용을 전체 분석하여
온톨로지로 구현하고 이를 통해 커리큘럼의 부족한 부분을 찾아내고 새롭게 개선할 수 있었다. 최근에는 생
성형 인공지능의 발달로 온톨로지를 기반으로 생성형 인공지능 모델을 만들려는 시도들이 이루어지고 있다.
온톨로지를 토대로 AI 모델을 개발하면 모델 개발에 있어 협업이 가능하고, 추후 다른 모델을 개발하더라도
모델의 공유가 가능하므로(Novacek et al., 2024) 효율적이고 경제적이다. Yang et al.(2024)은 방대한 양의 의학
분야 연구 결과와 문헌을 정리하기 위하여 LLM 기반의 온톨로지를 구축하고 이를 지식 그래프와 결합하여
개발하였다. 이때, 몇 가지 연구를 통하여 전문가들이 초기 온톨로지를 구축하고, 이를 토대로 LLM을 학습
시키면 더욱 정확한 지식의 정보화가 가능해질 수 있다. 또한, 학생들의 지식을 추적하여 학습 경로를 제시하
고 학습을 돕는 연구에서도 온톨로지는 핵심적인 역할을 할 수 있다. 학생들의 문제 풀이 결과에 기반한 지식
추적 모델은 학습자의 결과 예측에 부정확할 수 있다. 하지만 Wang et al.(2024)은 학생들의 행동이 지식 습득
과정에 따라 변한다는 것에 초점을 맞추고 학생 행동에 대한 온톨로지를 설계하고, 이를 인공지능 강화학습
에 활용하여 학습 성과 예측의 정확도를 높일 수 있었다.

Materials and Methods

Research Context

본 연구의 목적은 학습을 위한 AI 플랫폼을 개발하기 위해 중학 과학의 온톨로지를 개발하는 과정에서 경

협하는 내용 전문가의 어려움을 살펴보고자 하는 것이다. 본 연구에서 온톨로지를 개발하는 방식은 순공학 적 방식(forward engineering)으로 해당 분야 전문가의 지식 분석 및 용어 추출을 통해 지식 자원을 연결하는 과 정으로서 상위 수준에서 하위 수준으로 온톨로지를 생성해 가는 방식(top-down approach)이다. 어떤 분야를 온톨로지의 형태로 정리하고 기술자가 구현하기 쉬운 상태로 전달하는 방식은 스프레드시트 파일을 이용하 는 것으로(Denisova et al., 2022), 본 연구에 참여한 내용 전문가들은 2015 개정 교육과정을 기본으로 여러 차 례의 협의를 통해 교과 내용을 기반으로 Fig. 1과 같이 온톨로지를 제안하였다. 온톨로지는 엔티티-관계-엔티 티로 표현되는데(Michie et al., 2019) 앞에 위치한 엔티티를 '원본 요소'로, 뒤에 위치한 엔티티를 '대상 요소'로 정하고 그 사이의 관계를 지정하는 형태로 표현하였다.

엔티티 및 속성(원본 요소)	위계 번호	관계	엔티티 및 속성(대상 요소)
호흡 기관의 구조와 기능을 이해하고, 호흡 운동의 원 리를 모형을 사용하여 설명할 수 있다.	2.1.8.2.4	isChildOf	동물의 구조와 기능
호흡계의 구조와 기능	2.1.8.2.4.1	isChildOf	호흡 기관의 구조와 기능을 이해하고, 호흡 운동의 원리를 모형을 사용하여 설명할 수 있다.
호흡계의 구조	2.1.8.2.4.1.1	isChildOf	호흡계의 구조와 기능
호흡 기관의 종류	2.1.8.2.4.1.1.1	isChildOf	호흡계의 구조
폐포	2.1.8.2.4.1.1.2	isChildOf	호흡계의 구조
호흡운동의 원리	2.1.8.2.4.1.2	isChildOf	호흡계의 구조와 기능
들숨	2.1.8.2.4.1.2.1	isChildOf	호흡운동의 원리
들숨에서의 갈비뼈와 가로막	2.1.8.2.4.1.2.1.1	isChildOf	들숨
들숨에서의 흉강의 압력과 대기압	2.1.8.2.4.1.2.1.2	isChildOf	들숨
날숨	2.1.8.2.4.1.2.2	isChildOf	호흡운동의 원리
날숨에서의 갈비뼈와 가로막	2.1.8.2.4.1.2.2.1	isChildOf	날숨
날숨에서의 흉강의 압력과 대기압	2.1.8.2.4.1.2.2.2	isChildOf	날숨
호흡운동의 모형	2.1.8.2.4.1.3	isChildOf	호흡계의 구조와 기능
호흡계의 기능	2.1.8.2.4.1.4	isChildOf	호흡계의 구조와 기능
폐포에서의 기체교환	2.1.8.2.4.1.4.1	isChildOf	호흡계의 기능
온몸의 모세혈관에서의 기체교환	2.1.8.2.4.1.4.2	isChildOf	호흡계의 기능

Fig. 1. Spreadsheet form as an ontology development frame

위계 번호와 상위 엔티티, 하위 엔티티의 관계는 Fig. 2와 같이 나타난다. 예시처럼 호흡계의 구조와 기능에 는 호흡계의 구조, 호흡운동의 모형, 호흡계의 기능이라는 대상 요소, 즉 하위 엔티티가 존재하며 이를 위계 번호 1, 2, 3으로 나타내어 병렬 구조로 표현한다. 또한 이러한 하위 요소들은 그보다 위계가 낮은 하위 요소 들로 구성되는데, 원본 요소의 위계 번호 뒤에 다시 1, 2, 3이라는 숫자를 붙여 하위 엔티티임을 표현한다. 예 를 들어 호흡계의 구조는 호흡 기관의 종류와 폐포라는 하위 엔티티를 갖게 되면서 위계 번호가 부여된다.

호흡계의 구조와 기능의 하위 엔티티	호흡 기관의 구조와 기능을 이해하고, 호흡 운동의 원 리를 모형을 사용하여 설명할 수 있다.	2.1.8.2.4
	호흡계의 구조와 기능	2.1.8.2.4.1
	호흡계의 구조	2.1.8.2.4.1.1
	호흡 기관의 종류	2.1.8.2.4.1.1.1
	폐포	2.1.8.2.4.1.1.2
	호흡운동의 원리	2.1.8.2.4.1.2
	들숨	2.1.8.2.4.1.2.1
	들숨에서의 갈비뼈와 가로막	2.1.8.2.4.1.2.1.1
	들숨에서의 흉강의 압력과 대기압	2.1.8.2.4.1.2.1.2
	날숨	2.1.8.2.4.1.2.2
	날숨에서의 갈비뼈와 가로막	2.1.8.2.4.1.2.2.1
	날숨에서의 흉강의 압력과 대기압	2.1.8.2.4.1.2.2.2
	호흡운동의 모형	2.1.8.2.4.1.3
	호흡계의 기능	2.1.8.2.4.1.4
	폐포에서의 기체교환	2.1.8.2.4.1.4.1
	온몸의 모세혈관에서의 기체교환	2.1.8.2.4.1.4.2

호흡 운동의 원리의 하위 엔티티

Fig. 2. Relation of hierarchy numbers to entities

내용 전문가들에 의해 정리된 온톨로지는 추후 기술자들이 지식맵으로 구현하였으며, 이 과정에서 시각화 되지 않는 부분, 오류가 나는 부분이 발생할 경우 기술자와 내용 전문가 사이의 협의를 통해 온톨로지를 수정하였다. 일반적으로 온톨로지의 최종 결과물은 컴퓨터 언어로, 일반 사람들이 이해하기에는 어려움이 있으므로 직관적으로 개념 간의 구조를 파악할 수 있는 지식맵으로 표현되기도 한다(Liu et al., 2023). 지식맵이란 교육 과정의 내용을 연관 관계 및 위계, 선후 관계로 연결한 체계로 학습자의 현재 학습 위치 정보와 학습 경로 정보를 제공하는데 활용되는 일종의 학습 설계도를 시각화한 자료로서(Lee & Choe, 2024), 온톨로지는 그 설계도와 같다고 할 수 있다.

본 연구에서 개발하는 온톨로지는 Fig. 3과 같이 트리 구조로 이는 하나의 엔티티에서 시작하여 점점 더 구체적인 엔티티로 가지를 뻗어나가는 방식으로 개념을 조직하는 형태를 의미한다.

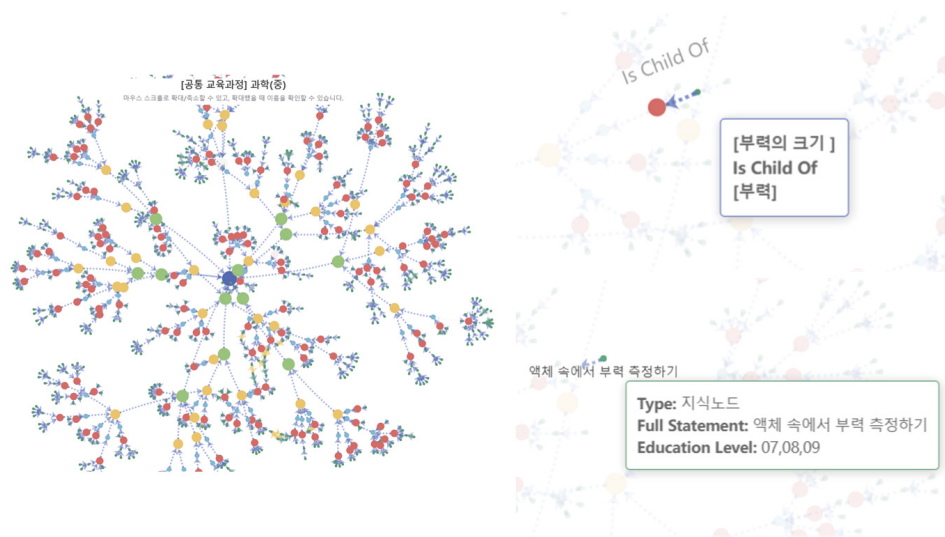


Fig. 3. Tree structure of a knowledge map and representation of each node

Research Participant

본 연구에서 개발하는 온톨로지는 과학이라는 학문 영역에 방점을 두기보다 과학 교과의 학습이라는 측면에 방점이 있으므로, 내용 전문가들은 과학 교육 전문가 및 현장 경험이 풍부한 교사들이 참여하였다. AI 기반 맞춤형 플랫폼에서 학생들에게 학습 경로를 제시하기 위해 일반적인 과학 개념의 학습 순서 및 학생의 선개념과 오개념에 대해 충분히 인지하고 있는 내용 전문가들을 섭외하기 위해 교직 경력 10년 이상의 교육 과정 관련 연구 경험이 있는 내용 전문가들을 섭외하였다(Table 2). 또한 분야별로 교과서 집필 경험이 있는 내용 전문가를 섭외하였다. 이는 교과서를 집필하는 과정이 교육과정의 연계성에 대한 고민과 전문가들의 합의 과정에서 답론을 생산해내는 경험을 유도하기 때문에(Kim, 2024), 교과서 집필 경험이 본 연구에서도 출하고자 하는 위계성을 가진 클래스를 도출하는데 도움이 될 수 있다고 판단했기 때문이다. 연구에 참여한 기술자는 에듀테크 회사에서 근무하는 기술자들로 과학 전공자들이 아니며, 교과 AI 플랫폼 개발 경험이 전혀 없었다. 또한 여러 기술자가 협업으로 온톨로지를 구축하였으며 그 중 대표자와 내용 전문가가 소통하는 방식으로 작업이 이루어졌으므로 내용 전문가들의 배경만 제시하도록 한다.

Table 2. Research participant background

Participant	Major	Degree	Remarks
A	Physics Education	Ph.D.	Textbook compilation experience, more than 10 years of teaching experience
B	Physics Education	Ph.D.	Textbook and multiple problem book compilation experience, more than 20 years of teaching experience
C	Chemistry Education	Ph.D.	Textbook compilation experience, more than 20 years of teaching experience
D	Chemistry Education	Ph.D.	Textbook compilation experience, more than 20 years of teaching experience
E	Chemistry Education	M.A.	Textbook compilation experience, more than 10 years of teaching experience
F	Biology Education	Ph.D.	Textbook compilation experience, more than 10 years of teaching experience
G	Biology Education	M.A.	Textbook compilation experience, more than 10 years of teaching experience
H	Biology Education	M.A.	More than 10 years of teaching experience, experience working at a middle and high school
I	Earth Science Education	Ph.D.	Textbook compilation experience, more than 10 years of teaching experience
J	Earth Science Education	M.A.	More than 10 years of teaching experience, experience in writing specialized-related materials

Data Collection and Analysis

교육과정을 기초로 하는 온톨로지를 구축하기 위해 내용 전문가들의 논의는 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학 각각 3-6시간씩 2-3회에 걸쳐 10-12시간 정도의 회의를 진행하였다. 연구자는 모든 논의 과정에 참여하였으며, 이 과정에서 나누는 대화를 모두 녹음하여 전사하였다. 기술자와 내용 전문가 사이의 협의 과정은 대체로 메일을 통해 이루어졌다. 기술자와 내용 전문가 사이의 논의는 시기적으로 온톨로지를 개발하는 초기에 온톨로지의 프레임을 정하는 과정과 엑셀 파일 형태의 1차 온톨로지 개발이 끝난 후 이를 지식맵으로 시각화하는 과정에서 발생하였다. 대부분의 문제는 후반 시각화하는 작업에서 발생하였으며 내용 전문가와의 논의를 통해 문제를 해결하였고, 이 과정에서 기술자들과 주고받은 메일, 내용 전문가 사이의 추후 논의 등을 수집하였다.

수집된 자료는 사전 설정된 기준을 사용하여 데이터를 분석하는 질적 연구 방법인 유형적 분석법 (Lecompte & Preissle, 1993)을 활용하여 분석하였다. 전체 현상을 구성 요소로 분해하기 위해 어떤 기준에 근거하여 관찰된 모든 것을 범주로 구분하는 유형적 분석법은 온톨로지 구축 협의 과정에서 겪는 어려움을 찾아내어 유형화하는 데 효율적인 분석방법이라고 할 수 있다. 유형적 분석은 데이터를 분류할 범주를 설정하고, 전사된 대화나 텍스트 데이터를 범주에 맞게 분류하고, 각 분류에 따른 데이터를 분석하며 패턴을 찾아내고, 그 의미를 해석하여 연구 질문과 연관된 논의를 도출하는 방식을 따른다. 이에 본 연구에서도 온톨로지의 3가지 구성 요소인 클래스, 관계, 속성의 의미를 사전에 정의하고, 전사된 대화 데이터를 해당 요소에 따라 분류한 후 각 요소별로 논의 과정에서 나타나는 어려움을 도출하고 이를 대표할 수 있는 키워드로 1차 코딩을 하였다. 본 연구에서 의미하는 어려움이란 논의하는 과정에서 나타나는 전문가의 의견 불일치 상황 또는 내용 전문가 간의 논의로는 해결할 수 없는 상황에 대한 직면 등을 의미한다. 1차 코딩의 핵심 표현을 모두 모은 후 반복적으로 나타나는 패턴으로 묶어 2차 코딩을 실시하였다. 2차 코딩 후에는 원문 및 1차 추출 표현과 반복하여 검토하면서 추상화하는 과정에서 맥락의 왜곡이 이루어지지 않았는지 지속적 비교 방법(constant comparative method; Strauss & Corbin, 1998)을 사용하였다. 연구자 두 명이 각자 내용 전문가간의 어려움과 기술자와 내용 전문가간의 어려움을 맡아 Taguette 플랫폼을 이용하여 1차와 2차 코딩을 한 후 서로 교차 검토하여 타당성을 확보하였다. Taguette은 분류된 핵심 키워드에 따라 다시 대화의 맥락을 출력할 수 있으므로 핵심 키워드의 맥락을 다시 살펴보면서 일관된 분석이 이루어졌는지 확인하였고, 의견이 불일치 할 경우 논

의를 통해 합의하였다. 두 명의 연구자 중 한 명은 내용 전문가들의 논의를 주관하였고, 다른 한 명은 기술자 간의 논의를 주관하였으므로 각각 참여한 회의의 데이터를 코딩한 후 서로 교차 검토함으로써 연구자의 편향을 최소화하고자 하였다. 2차 코딩 후에는 어려움의 근원적인 원인을 기준으로 유형화하여 결과적으로 내용 전문가 간에는 총 8가지의 어려움과 해결방안을, 기술 전문가와의 사이에서는 총 7가지의 어려움과 해결방안을 발견하였다.

Results

Difficulties and Solutions among Content Experts

내용 전문가들이 온톨로지를 개발하면서 겪은 어려움은 Table 3과 같이 8가지로 정리할 수 있으며 내용 전문가 간의 협의, 기술 구현 방식에 대한 이해 등으로 해결하였다.

Table 3. Difficulties between content experts

Category	3rd Level Coding	2nd Level Coding
Entity	Difficulty in Selecting Entities due to Ambiguous Curriculum Descriptions	Considerations for adding new terminology not present in the curriculum
		Ambiguity in achievement-based classification criteria
		Differences in perspectives among researchers on the level of functional objectives
		Differences in perspectives among researchers on learning objectives
	Difficulty in Selecting Entities due to Different Levels of Understanding of the Curriculum	Some knowledge exists in textbooks but not in the curriculum
		Differences in perception due to varying textbook development perspectives
		The need to consider actual test trends when setting curriculum writing levels
	Difficulty in Selecting Entities for Inquiry and Determining Level of Specificity	Difficulties in defining the terminology itself
		Creating entities related to graphical diagram interpretation
		Concerns regarding the selection level of expressions for functional representation
Relation	Difficulty due to Lack of Understanding of Other Subject Knowledge	Difficulties in selecting subordinate knowledge elements necessary for exploration
		Selecting entities that require interdisciplinary knowledge
		Disputes arising from differences in perception of terminology within the same subject area
		Lack of connections to prior knowledge
	Difficulty Setting up Relation between Entities	Difficulties in linking elementary school subjects to the national curriculum
		Difficulty in selecting appropriate terms when relationships are needed in learning sequences of same-level entities
		Considerations for learning sequences in hierarchical entity settings
	Difficulty Choosing Terms for Setting up Relation when the Order of Learning of Entities is Important	Concerns about overlapping or parallel relation between entities
		Challenges in understanding the essential meaning of terminology
		Considerations regarding the clarity of term meanings
relation	Difficulty due to the Versatility of Terms Used as Properties	Concerns regarding the specificity of entities
		Challenges in defining relations and expressing entities at a detailed level
	Difficulty with Attribute Descriptions to Express Depth and Breadth of Learning	Difficulties in maintaining consistency in terminology formulation across different formats

Difficulties with ‘Entity’ Settings

다른 요소에 비해 엔티티를 설정할 때 전문가 간의 논의가 가장 많이 이루어졌다. 교육과정을 토대로 엔티티를 설정할 때의 어려움은 크게 4가지로 살펴볼 수 있다.

Difficulty in Selecting Entities due to Ambiguous Curriculum Descriptions

우리나라의 과학과 교육과정은 학년에 따라 학습해야 하는 내용 요소와 기능 요소가 구체적으로 서술되어 있지만 실제 현장에서 수업이 이루어질 때는 그 수준에 대한 이해가 다를 수 있다. 교육과정에는 직접적으로 언급되어 있지 않지만 실제 수업을 진행할 때는 기초가 되는 지식요소가 존재하므로 이를 엔티티에 포함해야 하는지에 대한 논의가 다수 진행되었다.

‘그러니까 저기(엔티티)에서는 호흡 기관의 구조화 기능이라고 되어 있고, 호흡 기관인 폐만 보겠다는 거죠. 실제로 호흡기관에 다른 기관 이런 건 안 배워요. 그런데 아까도(교육과정 상에는) 순환계의 구조화 기능이었었는데 그땐 다 배우죠. 그러니 실제로 하위 요소들은(구조가) 다 달라져야 해요.’

내용 전문가 F

또한 교육과정에 나온 내용 요소의 위계가 일정하지 않기 때문에 내용 요소를 중심으로 상위 엔티티를 구성하는 과정에서도 많은 논의가 이루어졌다. 예를 들어 교육과정의 내용 요소는 ‘소화효소’, ‘소화계의 구조와 기능’, ‘배설계의 구조와 기능’ 등으로 제시되어 있는데, 소화효소는 관점에 따라 소화계의 구조와 기능의 하위 요소에도 포함될 수 있는 것이다. 만약 소화 효소를 교육과정에 제시된 것처럼 ‘소화계의 구조와 기능’과 같은 위계로 상위 엔티티로 작성할 경우 뒤이어 학습하는 영양소의 흡수, 혈액 순환 경로, 호흡운동의 원리 등도 비슷한 위계로 제시해야 한다는 의견들이 제시되었다.

이에 내용 전문가들은 자신들의 교육 경험과 교과서 집필 경험 등을 토대로 교육과정을 분석하고 숙고의 협의를 거쳐 엔티티를 선정하였다. 따라서 몇 가지 기준을 세우고 엔티티를 선정하였는데 첫째, 학생들의 학습 경로를 최우선으로 생각하여 상위 엔티티를 설정하고, 둘째, 최대한 교육과정의 내용 요소를 반영하며 셋째, 엔티티간의 위계를 고려하여 상위 엔티티를 추가하거나 변경할 수 있다는 것이다. 이는 학생들의 학습 경로를 최우선으로 해야 추후 교육과정이 바뀌는 과정에서도 온톨로지의 변경이나 병합이 용이할 것이라는 판단 때문이었다.

Difficulty in Selecting Entities due to Different Levels of Understanding of the Curriculum

본 연구에 참여한 전문가들은 각기 다른 교과서를 사용하였는데, 전문가가 사용하는 교과서나 교재가 다른 경우 성취기준을 구성하는 지식 요소에 대한 중요도를 다르게 인식하였다. 이에 상위 엔티티를 선정하는데 있어 의견 차이가 발생하였다. 또한 교육과정에는 포함되어 있지 않지만 일부 교과서에만 제시된 지식 요소에 대해 전문가가 추후 학습을 위해서는 반드시 필요한 지식이라고 인식하는 경우 이를 하위 엔티티로 포함할지에 대한 논의도 진행되었다.

‘(제가 사용한) 교과서에는 써있고 다른 데는 없어서요. 그럼 안 해도 되는 건가요? 여기서 그냥 정말 딱 종속과목강문제 가르치면 되나요?’

내용 전문가 H

이러한 논의를 해결하기 위해 내용 전문가들은 ‘그 엔티티를 문항으로 출제한다면 어떤 문항으로 만들 것이며, 그 문항의 보기나 내용에 최소한으로 들어가야 하는 지식은 무엇인가?’ 라는 기준으로 엔티티를 선정하였다. 즉, 학습 내용을 최소화한다는 기조아래 추후 다른 학교급에서 학습할 내용과의 연계성을 고려하여 반드시 학습해야 하는 내용만을 엔티티로 선정한다는 기준을 세웠다. 문항의 형태로 기준을 제시한 것은 내용 전문가들 중 절반 이상이 현장 교사로서 가장 명확하게 학생들의 학습 요소를 추출하는 방식 중 하나가 문항 출제라고 생각하였으며, 실제 개발된 온톨로지가 진단, 형성 평가로 작동할 경우 엔티티를 기준으로 문항을 개발해야 하기 때문이다.

Difficulty in Selecting Entities for Inquiry and Determining Level of Specificity

과학은 과학 지식 이외에 과학 탐구 부분이 강조되는 학문으로 성취 기준에도 ‘실험을 통해’라는 표현이나 필수 탐구가 반드시 포함되어 있다. 탐구와 관련된 기능을 과학 교과의 온톨로지 구축에 포함할지에 대한 여부를 논의하였으며, 교과를 이해하기 위한 온톨로지를 구축한다는 측면에서 탐구 기능을 포함하기로 결정하였다. 그러나 구체적으로 달성 수준이나 정의가 서술되어 있지 않아 서술 방식이나 서술하는 수준에 대한 전문가 간의 의견이 일치되지 않는 경우가 다수 발생하였다.

‘ x 의 변화량에 따른 y 의 변화량은 수학에서도 나오지만 이제 여기(과학)서도 나오고 2학년 3학년 과정이 계속 나오는 그래프인데 그 해석 능력이 필요한 거 아니에요?’

내용 전문가 E

핵심기능 뿐 아니라 ‘00에 대해 실험 결과를 토대로 설명할 수 있다.’라고 서술된 경우 비례나 반비례와 같은 실험 결과를 단순히 설명하면 되는지 또는 실험 결과 해석과 더불어 그 법칙에 대한 실생활 사례나 응용 부분까지 이해하고 설명할 수 있어야 하는지에 대해서 교육과정을 기반으로 해석하기에는 어려움이 있었다.

이에 전문가들의 경험적 지식을 바탕으로 엔티티를 설정하였다. 하지만 논의 과정에서도 각 탐구의 중요도가 의미에 대한 전문가의 인식이 달라 탐구 교육의 방향성과 구체적 기준에 대한 이론적 연구가 필요함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 탐구 기능에 대해서는 수준이나 포함되는 하위 기능 요소를 선정하지 않고 교육과정에 있는 표현을 그대로 적시하였으며, 탐구 기능의 하위 요소에 대한 엔티티는 설정하지 않는 방식으로 진행하였다.

Difficulty due to Lack of Understanding of Other Subject Knowledge

과학 교과는 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학의 네 가지 분야로 이루어져 있으며 일부 단위에서는 다른 분과의 지식이 요구될 때가 있다. 그러나 분야별로 온톨로지를 구축하는 경우 다른 분과에서 어떤 수준으로 학생들을 지도하고 있는지 확인이 어렵고 일부 용어의 경우 과학적으로 같은 현상이나 다른 용어를 사용하고 있어 이를 엔티티로 선정하는데 어려움이 있었다. 예를 들어 기압의 경우 화학에서는 기체의 압력이라는 표현으로 언급되지만 지구과학에서는 저기압, 고기압, 대기압 등으로 활용되면서 화학에서 의미하는 입자의 운동 관점에서 학습이 이루어지지 않는다. 이에 전문가 간의 논의 끝에 ‘기압’이라는 같은 용어를 사용함에도 불구하고 개별 엔티티로 설정하여 연결하지 않았다.

이뿐만 아니라 과학 지식을 학습하는 과정에서 필요한 퍼센트 농도, 분수, 비례 개념 등은 수학의 개념으로 수학에서의 학습이 제대로 이루어지지 않았을 때 학생들은 과학 개념을 충분히 학습하지 못한다. 이에 하위 엔티티로 설정해야 함에도 타 교과의 용어라는 이유로 삭제하였으며, 추후 기술적인 문제가 해결되면 온톨로지를 확장 연결하는 방식으로 구현하기로 결정하였다.

이와 유사하게 학교급간의 엔티티 설정 역시 비슷한 문제가 발생하였다. 중학교 과학 지식의 이해를 위해서는 하위 엔티티가 여러 단계로 내려가는데, 이때 초등학교 때 학습하는 개념들이 일부 포함될 때가 있다. 초등학교 과학의 온톨로지와 추후 쉽게 연결하기 위해서는 초등학교에서도 통용될 수 있는 엔티티를 사용하는 것이 유리하나 이와 관련된 초등학교 교육과정에 대한 전문가의 이해가 완벽하지 않으므로 하위로 내려가는 수준에 있어 어느 정도 한계가 있었다. 이에 초등학교 5·6학년 수준에서 학습하는 과학 용어까지 하위 엔티티를 설정하여 엔티티 설정의 범주를 정리하였다.

Difficulties with ‘Relation’ Settings

관계 설정에서의 어려움은 대부분 내용 전문가와 기술자와의 관계 속에서 발생하였고, 내용 전문가 간의 논의에서는 관계 용어 의미에 대한 해석이 주된 어려움이였다.

Difficulty Setting up Relations between Entities

일반적으로 온톨로지 개발에서는 관계를 다양하게 사용하지 않으므로 본 연구에서도 초기에는 상위 엔티티와 하위 엔티티 간의 종속 관계(is Child Of)와 성취 기준에 포함된 개념 요소가 여러 개일 경우 상위 엔티티가 여러 개 만들어지므로 이때 상위 엔티티 간의 관계를 정의할 병렬 관계(is Part Of)를 사용하기로 하였다. 따라서 성취 기준에서 여러 개의 상위 엔티티가 발생하는 경우 상위 엔티티 간의 관계는 is part of로 모두 설정을 하였으나 문맥에 따라 종속 관계로 볼 수 있는 경우가 있었다. 예컨대 “[9과20-02] 뉴런과 신경계의 구조와 기능을 이해하고 자극에 대한 반응 실험을 통해 자극의 종류에 따라 자극에서 반응이 일어나기까지의 과정을 표현할 수 있다.”에서 기계적으로 해석하면 병렬적 등위관계로 두 문장이 연결되어 있으나 실제 수업 현장에서는 뉴런과 신경계의 구조와 기능을 이해하지 못하면 뒤의 실험을 진행할 수 없으므로 여기서 추출되는 상위 엔티티가 종속적인지 병렬적인지에 대한 전문가 집단의 논의가 이루어졌다. 그러나 전문가의 논의와는 별개로 기술적 구현 문제로 인해 ‘is Child Of’라는 종속 관계로 모두 통일하였다.

Difficulty Choosing Terms for Setting up Relations when the Order of Learning of Entities is Important

연구 초기에는 다른 학년급, 분야, 교과를 고려하여 연관된 지식일 가능성이 높은 경우 연결 관계(isRelatedTo)로 정의하였다. 그러나 타 교과를 연결하는 과정에서는 문제가 예상되지 않았으나, 과학 교과 내에서 학습의 순서가 중요한 경우에는 연결 관계(isRelatedTo) 설정하면 그 순서가 드러나지 않는다는 단점이 있었다. 이에 이를 대체할 수 있는 관계 용어가 필요하다는 결론에 이르렀고, ‘isRelatedTo’는 타 교과와 연계된 엔티티에만 사용하고, 학습 순서의 중요성이 드러나야 할 경우에는 선행 관계(precedes) 용어를 제안하였다.

Difficulties with ‘Attribute’ Settings

속성은 엔티티의 범위를 결정하는 중요한 역할을 하는 온톨로지의 요소이다. 예를 들어 ‘중화 반응’이라는 엔티티가 있을 때 ‘정의’, ‘성질’, ‘특징’, ‘사례’ 등 학습이 목표를 구체화시키는 것이 바로 속성의 역할이다. 전문가 간의 논의에서 이러한 속성을 정할 때 경험한 어려움은 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

Difficulty due to the Versatility of Terms Used as Properties

속성은 엔티티를 학습할 때 그 수준을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 그 의미가 명확하여 누구나 같은 의미로 해석할 수 있어야 개발하는 온톨로지가 신뢰도가 보장될 수 있다. 그러나 특성, 성질, 정의, 의미 등 속성에 사용되는 다수의 용어들이 학문적으로는 엄밀하게 그 의미가 다르지만 일반적으로 사용하는 의미는 유사한 경우가 대부분이다. 예컨대 ‘특성’이라는 용어는 특징적 성질로서 화학에서 사용하는 ‘특성’이라는 의미와는 다소 다르게 사용된다. 하지만 그 의미의 수준에 대해 공감하는 것은 온톨로지를 사용하는 사람들에게 따라 다르게 인식될 수 있다. 이에 속성 용어에 대해 신중하게 접근할 필요가 있었다. 이에 되도록 교육과정 용어를 사용하였으며 특히 과학에서 중요한 의미를 갖는 ‘정의’, ‘특성’과 같은 용어는 필요하거나 정확한 경우에만 활용하였다.

Difficulty with Attribute Descriptions to Express Depth and Breadth of Learning

속성은 엔티티의 범위를 결정하기 때문에 구체화 정도에 따라 학생들의 학습 범위와 깊이가 달라질 수 있다. 이에 속성을 어떻게 서술할 것인지에 대한 전문가들의 논의가 자주 이루어졌다.’

화성암, 변성암, 퇴적암을 그냥 까만색 위치(하위 엔티티)에 같이 놓고, 카테고리(상위 엔티티)를 그냥 암석의 생성 과정이라고 놓으면.. 화성암, 변성암, 퇴적암의 만들어지는 과정만을 의미한다고 (보는 사람이 이해해야 하는데)... 암석의 종류까지 의미하지 않는다는 걸 어디에 적을 수는 없나?

내용 전문가 J

상위 엔티티를 규정하는 속성은 하위 엔티티를 모두 포괄하면서도 온톨로지를 보는 사람들이 같은 의미로 받아들일 수 있는 용어로 서술될 필요가 있다. 또한 속성이 엔티티를 규정하면서 학생들의 학습의 범위와 깊이를 제한하기 때문에 명확하게 진술되어야 한다. 하지만 언어의 다의성으로 인해, 모든 사람이 같은 방식으로 이해하는 추상적인 용어를 찾는 것은 거의 불가능하다고 볼 수 있다(Lyons, 1977). 따라서 상위 엔티티에서는 ‘성질’, ‘특성’, ‘생성’과 같은 넓은 범위의 용어를 사용하고, 하위 엔티티로 내려갈수록 그 의미가 명확해지도록 ‘모형으로 표현하기’, ‘연료 전지의 원리와 동작 과정’ 등으로 구체적인 용어를 사용하여 속성을 정의하였다. 즉 하위 엔티티를 이용하여 상위 엔티티의 속성을 추론할 수 있도록 구체적으로 하위 엔티티를 서술하였다. 또한 ‘손실 전력을 줄이기 위한 방법’과 같은 기능을 포함하는 상위 엔티티에는 ‘손실 전력의 의미’, ‘저항을 줄이기’, ‘전압을 높이기’ 등으로 속성을 구체화하면서 각 변인을 모두 하위 요소로 포함하는 등 학습의 범위와 깊이를 제한하였다.

Difficulties and Solutions between Content Experts and Technologists

내용 전문가들이 온톨로지를 개발하면서 기술자와의 협업 과정에서 겪은 어려움은 Table 4와 같이 8가지 정도로 정리할 수 있으며 대체로 내용 전문가들의 기술적 이해 부족과 기술 자체의 제약으로 인해 겪는 어려움이었으며 기술자와의 협의, 내용 전문가 간의 재논의를 통해 어려움을 해결하였다.

Table 4. Difficulties between content experts and technologists

Category	Difficulty
Entity	Difficulty with Curriculum Presented in Year Groups
	Difficulty with Duplicate Terms in Each Entity
	Difficulty Caused by Programme Errors when Using Special Characters
Relation	Difficulty when the Formal Hierarchy of the Curriculum does not Match the Hierarchy of Real-Life Learning
	Difficulty in Expressing the Connection between ‘Preconception and Nodes’
	Difficulty between Content Experts and Technologists in Understanding Relation Terminology
attribute	Difficulty with Visualisation Limitations Based on attribute Length

Difficulties with ‘Entity’ Settings

Difficulty with Curriculum Presented in Year Groups

온톨로지가 교육적으로 활용되려면 학습자가 개념 간의 연계성을 쉽게 파악할 수 있어야 하며, 이를 위해 각 엔티티가 어떤 맥락에서 학습되는지를 구체적으로 정의할 필요가 있다. 예를 들어, ‘화학 변화’라는 엔티티가 있을 때, 이는 중학교 수준에서는 물리 변화와 화학 변화의 차이를 이해하는 정도의 내용이 하위 요소

로 포함되지만 고등학교 수준에서는 '산화와 환원', '산성과 염기성' 등의 심화 개념까지 포함하게 되므로 차이가 존재한다. 이를 위해 내용 전문가는 엔티티에 라벨링을 수행하여 기술자가 해당 엔티티가 학습되는 수준과 교육과정 내 위치를 명확히 식별할 수 있도록 추가 정보를 부여해야 한다.

본 연구에서 엔티티 추출의 기초 문서로 사용한 교육과정의 경우 학년 구분 대신 학년군으로 묶여 있으므로 성취수준의 순서대로만 라벨링을 할 경우 실제 맞춤형 학습 플랫폼에서 다른 학년의 문항이 제시될 수도 있다. 이에 학년군을 같은 라벨로 묶는 대신 실제 학교에서 이루어지는 수업을 고려하여 내용 전문가들은 기술자들의 요청에 따라 중학교 1학년부터 고등학교 3학년까지를 6개의 라벨로 분류하였다. 한편 고등학교 심화 과목의 경우 2015 개정 교육과정 기준으로 학년이 명확히 구분되어 있지 않으므로 임의로 할당하였다. 실제 대부분의 고등학교에서 수행하는 바대로 '통합과학'은 고등학교 1학년에 공통적으로 이수하는 과목이므로 '10', 'OO I' 과목은 '11', 'OO II' 과목은 '12'로 설정하였다. 이러한 설정은 내용 전문가 간의 논의가 이루어지기 전 내용 전문가와 기술자 간의 논의를 통해 규칙을 정하는 과정이다.

Difficulty with Duplicate Terms in Each Entity

내용 전문가 간의 논의를 통해 엔티티, 속성, 관계 등으로 과학 교과 지식의 분류를 하여 기술자에게 제공한 후 지식맵 구현과정에서 엔티티 용어의 중복 문제가 확인되었다. 엔티티의 용어가 중복될 경우, 엔티티 간의 관계를 명확하게 이해하는 데 어려움이 발생할 수 있으며 학습자가 온톨로지를 활용할 때 혼동을 일으킬 가능성이 높아진다. 또한, 동일한 용어가 다른 맥락에서 사용될 경우, 온톨로지의 위계 구조가 불분명해질 수 있으며, 교육적 활용성이 저하될 우려가 있다. 엔티티의 용어가 중복되는 원인은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

첫째, 본 연구에서는 교육과정의 핵심 개념을 가장 상위 엔티티에 넣은 후 하위로 성취기준과 학습 요소를 배치하였다. 하지만 핵심 개념과 학습 요소가 동일한 용어를 사용하는 경우 중복이 발생하였다. 예를 들어, 중학 과학 교육과정에서 핵심 개념으로 '에너지 전환'이 존재하는 동시에 내용 요소에도 '에너지 전환'이 포함되어 있는 사례가 이에 해당한다. 둘째, 교육과정으로부터 정해진 상위 엔티티를 학습하기 위해서 내용 전문가들은 하위 엔티티를 설정하는데, 이때 다른 분야에서 같은 하위 엔티티가 포함될 수 있다. 예를 들어, 중학교 화학 부분에서 '물리적 성질과 화학적 성질'의 하위 엔티티인 '밀도'가 지구과학 부분에서의 상위 엔티티인 '기단과 전선'의 하위 엔티티로 포함되는 경우이다. 셋째, 동음이의어로 인해 동일한 용어가 사용된 경우이다. 예를 들어, 중학 과학 물리학 부분의 '전기'와 생명과학 부분의 '체세포 분열 과정'의 하위 엔티티인 '전기'는 동음이의어로 다른 의미가 있다.

지식맵을 구현하는 과정에서 발생한 이러한 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 방안을 적용하였다. 먼저, 첫 번째 사례와 같이 교육과정 문서 내에서 동일한 용어가 반복되는 경우에는 그대로 둔 상태로 지식맵으로 기술자들이 구현하고 추후 내용 전문가가 확인 후 잘못된 연결된 링크를 삭제하도록 하였다. 이는 교육 과정상에 존재하는 핵심개념, 내용요소, 성취기준 등의 용어를 바꿀 경우 온톨로지의 타당성 부분에서 문제가 될 수 있으므로 최대한 교육과정의 상위 엔티티는 그대로 유지하기 위함이다. 두 번째와 세 번째 사례는 하위 엔티티의 용어를 변경하여 중복을 피하였다. 하위 엔티티에 형용사 등을 이용하여 좀 더 구체적으로 수정하였는데, 온톨로지 구성 요소 중 속성 부분의 서술을 더욱 자세히 한 것이다. 예를 들어 '기단과 전선'의 '밀도'는 '온도에 따른 기체의 밀도'로, '체세포 분열 과정'의 '전기'는 '체세포 분열의 전기'로 변경하여 다른 엔티티의 용어와 중복을 피하였다.

Difficulty Caused by Programme Errors when Using Special Characters

온톨로지 개발 과정에서 초기 시각화 시스템에서 수식 및 특수문자를 포함한 속성을 입력할 때 프로그램에서 오류가 발생하는 문제가 있었다. 발견된 사항으로는 비교의 ‘<’ 또는 ‘>’ 기호가 ‘<’, ‘>’로 나타나는 문제와 엔티티의 용어에 작은따옴표(‘)가 ‘#039;’로 표기되는 현상이 있었다. 시스템 개발 시 사용한 그래프 라이브러리가 특수문자의 유니코드 값을 그대로 표시하는 방식으로 처리되었기 발생한 문제로 파악되어 최종 시스템은 특수문자가 올바르게 표시될 수 있도록 수정되었다. 또한 지식맵으로 구현하는 프로그램에 따라 특수문자 입력이 불가능한 경우도 있으므로 이는 기술자들로부터 정보를 전달받아 내용 전문가들이 특수문자를 최대한 지양하고 속성을 서술하는 방향으로 해결하였다.

Difficulties with ‘Relation’ Settings

Difficulty when the Formal Hierarchy of the Curriculum does not Match the Hierarchy of Real-Life Learning

어떠한 지식을 온톨로지 형태로 구축하려면 개념의 관계를 설정하는 과정이 필요하다. 이는 단순히 엔티티를 나열하는 것이 아니라, 엔티티의 관계를 구조적으로 정리하여 체계적인 개념망을 구축하기 위함이다. 위계를 설정할 때, 트리 구조를 반영하면서도 온톨로지의 일관성과 객관성을 확보하기 위한 근거 자료로 2015 개정 교육과정을 채택하였다. 교육과정의 구조는 대부분의 교과에서 ‘학교급-학년(군)-영역-핵심 개념-내용 요소-성취기준’이라는 통일된 형태를 갖기 때문에 과학도 초기에는 기술자들의 의견을 받아들여 같은 형태로 진행하고자 하였다. 하지만 내용 전문가들과의 회의 과정에서 하나의 성취 기준에 여러 개의 내용 요소가 포함된 경우가 대부분이므로 형태적인 순서를 변경할 필요가 있었다. 이에 따라, 내용 전문가들은 과학 교과의 특성을 반영하여 ‘학교급-학년(군)-영역-핵심 개념-성취 기준-내용 요소’의 순으로 진행하는 것이 더욱 적합하다고 판단하였으며, 기술적인 구현에 문제가 없음을 논의하였다.

Difficulty in Expressing the Connection between ‘Preconception and Nodes’

본 연구에서는 교육과정을 기반으로 학습의 경로에 따른 온톨로지를 개발하고 있으므로 개념을 나타내는 엔티티의 순서가 매우 중요한 부분을 차지한다. 본 연구에서 기술자들이 구현할 수 있는 상위 엔티티와 하위 엔티티의 기본 구조는 ‘상위 엔티티를 이해하기 위해서는 하위 엔티티를 이해하고 있어야 한다.’로서 하위 엔티티는 상위 엔티티를 구성하는 하위 개념요소이다. 따라서 하위 개념 요소를 먼저 학습해야 상위 개념 요소를 이해할 수 있다는 것이 본 연구에서 개발한 온톨로지 전반에 걸쳐 기본적으로 가정되는 기준이다. 이를 시각적으로 표현하면 상위 엔티티에 하위 엔티티가 연결되어 있는 트리 구조로 나타나는데, 이 트리 구조는 의미의 포함 여부와 더불어 학습의 순서를 함께 나타낼 수 있다. 즉, 하위 엔티티를 학습해야 상위 엔티티를 이해할 수 있는 방식으로 가정할 수 있다. 그런데 Fig. 4와 같이 다른 상위 엔티티와 동일한 용어가 후반부 또 다른 교육과정에서 필요한 하위 엔티티일 경우 표현 방법에 논란이 발생하였다. 연구 초기 내용 전문가들은 하나의 엔티티에 관계 용어를 여러 개 설정하여 상위 엔티티의 하위 엔티티이면서 과거 학습한 것과 연결된다는 관계 용어를 추가하면 될 것으로 이해하였으나, 이것이 추후 기술적으로 구현이 쉽지 않음을 알게 되었다. 이에 대부분은 엔티티의 용어 중복을 피하는 방식으로 관계 용어를 간소히 하였으나 맥락상 이러한 방법이 불가능한 경우 기술적 보완이 필요하였다.

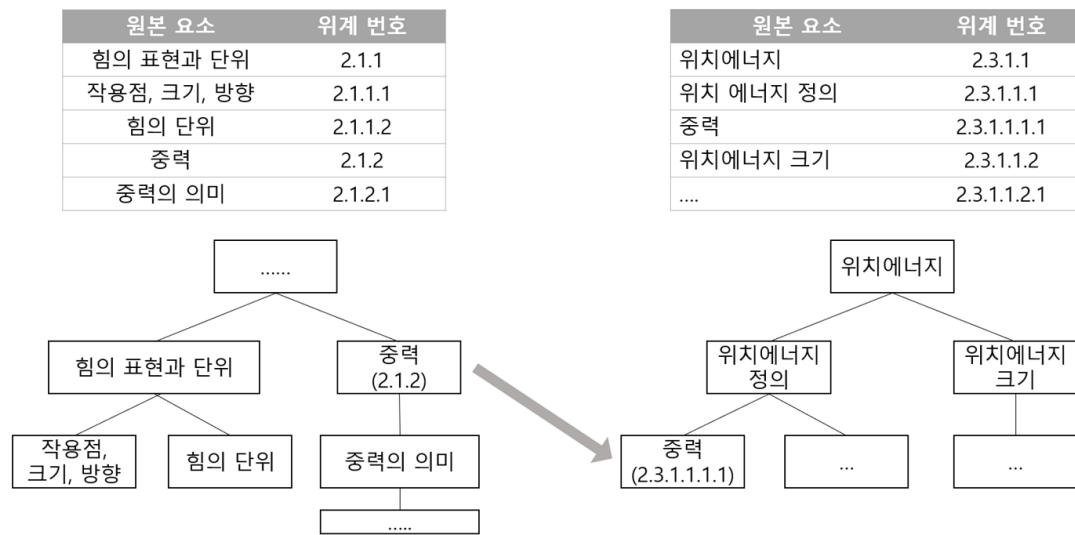


Fig. 4. Difficulties setting up relations due to term repetition

이에 대해 기술자와의 논의 끝에 꼭 필요한 선수지식은 'isChildOf'라는 관계 대신 'precedes'라는 관계를 설정하였다. 과도한 선수지식 연결은 온톨로지를 시각화했을 때 직관적이지 못하고, 시스템이 과부하를 초래하며 시스템 구동을 느리게 할 수 있기 때문에 최소화하는 방향으로 결정하였다. 'precedes'의 설정 기준은 내용 전문가의 논의 끝에 같은 학교급 안에 있는 엔티티 중에서 다른 학년급에 있는 엔티티가 반드시 선수 지식이 되어야 할 때 사용하기로 하였다. 예를 들어 중학교 3학년 때 화학 반응식을 학습하기 위해서는 2학년 때 학습하는 분자식이 반드시 필요한 선수 지식이므로 '화학 반응식 쓰기'라는 상위 엔티티의 하위 엔티티로 '분자식 쓰기'를 넣고, '분자식 쓰기'를 'isChildOf'라는 관계 용어 대신 'precedes'로 2학년 과정에서 제시된 '분자식 쓰기'와 연결하는 방식이다. 이때 초등학교의 엔티티를 중학교의 선수지식으로 넣는 학년급 간의 이동이나 같은 학년에 위치한 엔티티 간 선수 관계는 고려하지 않았다. 또한 같은 위계상에 위치한 엔티티 간의 선수 관계는 엔티티의 위계번호를 통해 먼저 학습해야 하는 지식이 앞번호에 지정되도록 개발하였다. 이러한 방식은 온톨로지의 직관성을 유지하면서도 추후 문항 및 ITS를 개발할 때 학습 경로를 체계적으로 설계하는 데 도움이 될 수 있다.

Difficulty between Content Experts and Technologists in Understanding Relation Terminology

초기 본 연구에서 활용한 관계 용어는 여러 문헌 조사를 거쳐 Table 4와 같이 4가지로 정리되었다.

Table 4. Relation types and definitions used in ontology development

types	Definition
isChildOf	Represents a hierarchical relation between concepts when viewed from a classification perspective. The origin is a subordinate item of the destination.
isPartOf	Indicates that the origin constitutes a part of the destination, either logically or semantically.
isRelatedTo	The origin and destination are related, but this type is used when they do not fit into the other specified relation categories.
precedes	Represents a sequential relation where the origin must be learned before the destination.

이 중 'isChildOf'의 정의를 두고 개발진과 내용 전문가 간에 해석 차이가 있었다. 개발진의 경우 각 엔티티에 부여된 위계 번호를 기준으로 상위 엔티티와 하위 엔티티를 정의하였다. 따라서, 위계 구조상 상위-하위 관계에 있는 엔티티에는 자동으로 'isChildOf'가 부여되도록 시스템이 구축되었다. 반면, 내용전문가의 경우 내용을 기준으로 관계 용어를 정의하였다. 두 엔티티가 위계 구조상 상위-하위에 존재하더라도 상위-하위보다 다른 연결 관계 유형의 설명이 두 엔티티의 관계를 설명하기 용이하다고 판단하면 'isChildOf'를 부여하지 않고 'isPartOf'나 'isRelatedTo' 등의 다른 관계 용어를 사용하였다. 이러한 해석상의 차이로 인해 내용전문가들이 고려하지 않은 'isChildOf'가 시스템에서 자동으로 부여되는 문제가 있었다.

이를 해결하기 위해 개발진은 내용 전문가에게 온톨로지 개발의 기술적 제약 즉, 'isRelatedTo'가 사용되는 다른 교과와의 연계가 쉽지 않으며, 하나의 엔티티에 여러 개의 관계를 걸 수 없음을 공유하였다. 내용 전문가는 논의 끝에 'isChildOf'의 의미가 'isPartOf'를 일부 포함할 수 있다고 판단하였다. 'isChildOf'를 통해 설정된 상위-하위의 위계 관계가 두 엔티티의 선수 관계 혹은 일련의 관련성을 암묵적으로 내포한다고 가정하였다. 다시 말해, 두 엔티티 간에 위계 관계가 존재하므로 최하위에 위치한 엔티티를 학습해야 상위에 위치한 엔티티를 이해할 수 있고, 상위의 엔티티는 하위 엔티티와 어떠한 관련성을 갖는다는 것이다. 또한 내용 전문가 논의 과정에서 'isPartOf'로 연결된 엔티티 중 'isChildOf'로 변경이 어려운 몇 가지 경우에는 엔티티의 용어를 바꾸거나 속성의 표현을 달리하여 내용적 타당성을 갖도록 하였다. 이를 바탕으로 관계 용어를 전반적으로 재검토하였고, 최종적으로 'isChildOf'와 'precedes'가 과학 온톨로지에 사용되었다.

Difficulties with 'Attribute' Settings

Difficulty with Visualisation Limitations Based on Attribute Length

초기 온톨로지 시각화 시스템에서는 엔티티의 속성이 자세하게 정의되어 있는 경우 시스템에 정상적으로 반영되지 않는 문제가 있었다. 구체적으로, 일정 길이를 초과하는 속성을 가진 엔티티의 텍스트가 일부만 표시되는 문제가 있었는데 특히 '성취기준' 위계의 엔티티의 경우 비교적 구체적인 속성으로 서술되는 경우가 많아 이 문제가 더욱 두드러졌다.

이를 해결하기 위해 문장 단위의 엔티티와 시스템 중 하나의 수정이 필요하였다. 과학 온톨로지는 2015 개정 교육과정을 근거로 개발되어 '성취기준'의 내용을 축약하거나 수정하는 방식으로 문제를 해결하는 것은 적절하지 않기 때문에 이에 맞춰 시각화 시스템을 수정하였다. 최종적으로 텍스트 길이에 관계없이 모든 엔티티가 정상적으로 시각화될 수 있도록 시스템이 개선되었다.

Discussion

AI 기반 맞춤형 학습 플랫폼의 효과적인 개발을 위해 필요한 것 중 하나가 학습 경로 온톨로지이다. 본 연구에서는 2015 개정 교육과정을 기초로 학생들의 학습 경로에 대한 내용 전문가들의 논의를 토대로 온톨로지를 개발하는 과정에서 내용 전문가들이 그들 간의 논의 과정에서 겪는 어려움과 기술 전문가들과의 논의 과정에서 겪는 어려움으로 나누어 살펴보았다.

내용 전문가들의 어려움은 8가지 정도로 정리할 수 있었으며 대부분의 어려움이 엔티티를 설정하는 과정에서 발생하였다. 내용 전문가들은 엔티티 설정 시 교육과정의 포괄적 서술로 인한 엔티티 선정의 어려움, 전

문가 별 교육과정에 대한 이해 수준의 차이로 인한 어려움, 탐구에 대한 엔티티 선정과 구체성 수준 결정의 어려움, 타 분야 및 타 교과, 학교급 지식에 대한 이해 부족으로 인해 생기는 어려움 등을 경험하였다. 관계 설정에서는 실제 학습 상황에서 엔티티의 순서가 중요할 때 관계 설정 용어 선정과 상위 엔티티 간의 관계 설정에 대해 어려움을 경험하였고, 속성 설정에서는 사용하는 용어의 다의성으로 인한 어려움과 필요한 학습의 깊이와 범위를 표현하는 방식에 대한 어려움 등이 있었다. 발생한 어려움의 대부분은 내용 전문가들의 논의를 거쳐 해결하였는데, 내용 전문가들이 온톨로지 요소의 특성을 이해하고 자신의 교육 경험과 교육과정 분석 경험을 토대로 엔티티나 속성, 관계를 어떤 기준으로 분류하고 설정할 것인지 기준을 세우는 방식이었다. 또한 내용 전문가들은 기술에 대한 이해보다는 기술이 가진 제한점을 이해할 때 어려움을 빠르게 해결할 수 있었다.

내용 전문가들 사이에서 엔티티 설정에서의 어려움이 가장 많이 나오는 것은 기존 내용 전문가들의 논의로 수동적으로 온톨로지를 구성하는 연구들에서도 꾸준히 지적되는 문제이다(Stevens et al., 2019). 또한, 과학 분야에서 온톨로지 구성 요소의 정의는 더욱 정교하고 세부적으로 이루어져야 할 필요가 있음에도 불구하고(Michie et al., 2019), 속성에 대한 국어적 의미와 실제 내용 전문가가 생각하는 의미나 과학 분야에서 사용하는 의미가 다르기 때문에 이에 대한 명확한 기준이 마련되어야 한다. 결과적으로 내용 전문가들이 의견을 조율할 수 있는 기준이나 표준안 마련이 필요한데, 온톨로지에 대한 많은 연구들은 대부분 기술적인 부분에 초점이 맞추어져 있다(Al-Yahya et al., 2015; Rahayu et al., 2022). 하위 엔티티 선택에 대한 타당성 확보나 속성에 사용하는 어휘에 대한 인지적 공감은 개발된 온톨로지의 신뢰도와 타당도에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

온톨로지를 구축하는 과정에서 전문가 논의를 통해 모든 엔티티를 구하는 것은 많은 시간이 소요되기도 하며 모든 내용 전문가들의 협의를 이끌어내기가 쉽지 않다(Neuhaus & Hastings, 2022). 또한 과학 교과의 경우 기능이나 역량 부분이 학습 목표에 다수 포함되어 있으므로, 활동 동사가 포함된 단순한 형태의 속성 제시 방법은 효과적이지 않을 수 있다(Piriyaongpipat et al., 2024). 최근에는 LLM이 직접 사용자와 상호작용하면서 온톨로지 구조를 바로 제안하고 사용자가 확인 및 수정하는 인터랙티브 온톨로지 구축을 하거나(Abolhasani & Pan, 2024), ChatGPT와 같은 생성형 인공지능을 이용하여 온톨로지를 구축하기도 한다(Norouzi et al., 2023). 그러나 이러한 방법이 가능하기 위해서는 내용 전문가들의 지식이 담긴 기존 구축된 온톨로지, 학습 경로의 표준화 문서 등이 필수적이다(Kulagin et al., 2022; Piriyaongpipat et al., 2024). 초중고등학생과 같은 어린 학생들의 학습 경로에 대한 온톨로지는 시간과 비용이 들더라도 내용 전문가들에 의해 좀 더 섬세하게 고려되어 구성될 필요가 있다(Savard et al., 2020). 이에 전문가들의 협의 과정이 체계적으로 구축될 필요가 있고(Neuhaus & Hastings, 2022), 우리나라 실정에 맞는 내용 전문가들의 협의체 구축에 대한 연구들이 진행되어야 한다. 또한 추론 기능이 없는 RDF 방식의 간단한 기초 온톨로지라고 하더라도 추후 개발되는 온톨로지와 매핑이 가능하므로(Trojahn et al., 2022) 기초적인 다양한 온톨로지를 구축하려는 지속적인 노력이 필요하다.

내용 전문가와 기술자들 사이에 발생한 어려움은 개발 초기와 개발 후기에 집중되었으며, 개발 초기에는 온톨로지 프레임 결정 과정에 대한 것이었고, 개발 후기에는 시각화 과정 협의에 대한 것이었다. 이중 엔티티 설정과 관련한 어려움은 학년군으로 제시된 교육과정으로 인한 문제, 엔티티의 용어가 중복될 때 발생하는 오류, 특수문자 사용 시 입력할 때 프로그램의 오류 등이 있었다. 관계 설정 시에는 교육과정의 형식적 위계와 실제 학습에서의 위계가 맞지 않을 때, 선수개념 연결 표현 방식에 대한 실제와 기술의 차이가 있을 때,

관계 용어에 대한 내용 전문가와 기술자의 이해 차이가 있을 때 어려움이 발생하였다. 속성 설정에서는 길이에 따른 시각화 제한으로 인한 어려움만 존재하였다. 어려움을 해결하는 방법은 대체로 기술적으로 구현이 어려운 부분을 기술자로부터 전달받은 후 내용 전문가들이 그에 맞게 온톨로지를 수정하는 방식으로 해결되었다. 반대의 경우도 드물게 있었는데, 내용 전문가들이 지식맵 구현에 필요한 형태를 제안하여 기술자들에게 전달하면, 기술자들은 가능한 방법을 찾아보고 이에 따라 내용 전문가들은 다시 온톨로지 구성을 수정하는 방식으로 더 나은 온톨로지 개발을 위해 순환적 구조로 문제를 해결하기도 하였다.

내용 전문가와 기술자들 사이의 어려움은 대부분 서로의 분야에 대한 지식과 소통의 부족에 기인한 것으로 서로의 분야에서 활용되는 기초적인 용어조차 이해하지 못하는 상황에서의 협업이 이루어지기 때문이다. 이는 대부분의 협업 연구에서 겪는 어려움과 일치한다(Gahleitner et al., 2005; Tahar et al., 2016). 여기서 주목할만한 사실은 결과적으로 기술의 발달 수준이 연구의 한계를 결정한다는 것이다. 즉, 내용 전문가들의 주도로 온톨로지가 구성되지 않고, 온톨로지를 구성할 수 있는 기술자들에 의해 주도적으로 구축되는 경향이 발생한다는 연구에서(Khan, 2012) 지적되었던 문제들이 여전히 해결되지 않고 나타나고 있었다. 온톨로지를 개발하는 방식은 본 연구에서와 같이 내용 전문가들이 직접 모든 온톨로지를 만들 수도 있으나, 최근에는 초기 모델은 내용 전문가들로 만들고 후기에는 초기 모델을 강화 학습하여 LLM을 이용하여 완성 모델을 만드는 방식이 더욱 선호된다(Yang et al., 2024). 그리고 인공지능을 활용한 방식의 비중이 높아질수록 기술자와 비기술자의 격차는 더욱 커질 수 있어 이러한 문제가 더욱 자주 발생할 수 있다. 특히 본 연구와 같이 산출물의 형태가 명확하지 않은 도전적인 융합 과제에서는 어느 한 집단이 주도적으로 이끌어 나갈 수 없기 때문에 지속적인 협의 과정이 더욱 요구된다. 협의 과정을 원활하게 하기 위해서는 내용 전문가의 적극적인 참여가 필요하다. 생성형 인공지능을 이용하여 온톨로지의 시각화를 신속히 진행하고(Norouzi et al., 2023) 이를 기술자가 검토하거나, 구글 스프레드시트와 같이 공유 문서에 온톨로지의 요소들을 넣어 기술자가 형식에 적합한지의 여부를 검토할 수도 있다(Westerinen & Taube, 2017). 또는 전문가들이 주축이 되어 온톨로지의 구성 요소를 구하고, 초기 온톨로지를 구축한 후 기술자들이 LLM을 이용한 모델 구축이나 초기 모델을 강화 학습하여 구성하는 방식 등(Wang et al., 2024; Yang et al., 2024) 온톨로지 개발 과정에서의 역할 구분을 명확히 하고 서로의 분야에 대한 지식이해를 도울 수 있는 기회가 마련될 필요가 있다.

Conclusions

AI를 활용한 교육이 주목받으면서 AI를 이용한 디지털 교과서, AI를 이용한 맞춤형 학습에 대한 개발 연구들이 다수 진행되고 있다. AI가 개별화된 학생 맞춤형 수업을 돕기 위해서는 교과에 대한 지식이 잘 구조화되어 있어야 하며, 학생들의 학습 경로가 잘 설정되어 있어야 한다. AI에게 교과 지식과 학생들의 학습 경로를 바르게 학습시키기 위해서 기초 데이터와 더불어 가장 필수적인 것이 교과 지식과 학생들의 학습 경로에 대한 온톨로지이다. 온톨로지는 지식의 영역을 표현하는 용어의 정의와 관계를 나타낸 것으로 컴퓨터가 인식할 수 있는 형태로 만들어진 형식적 구조를 의미한다. 온톨로지는 AI 맞춤형 학습의 설계도와 같은 역할을 하기 때문에 온톨로지를 정확하게 만드는 것이 AI를 이용한 학습의 효과를 극대화시키는데 가장 필수적인 요소라고 할 수 있다.

학생들의 학습 경로를 구체화 시켜 학생들의 맞춤형 수업을 돕기 위해서는 현장의 경험이 풍부한 내용 전

문가들의 의견을 최대한 포함하는 것이 유리하다. 하지만 AI 맞춤형 교육을 위한 온톨로지 개발 연구는 아직 초기 단계로 관련 경험이 풍부하지 않아 많은 어려움이 발생할 수 있으며, 특히 컴퓨터 기술자들의 역할이 크기 때문에 내용 전문가와 기술자 집단 사이의 어려움이 예상되는 바이다. 이에 본 연구에서는 과학 교과 중심으로 내용 전문가가 온톨로지를 개발하면서 겪는 어려움과 해결방안, 기술자들과 협업 과정에서 겪는 어려움과 해결 방안을 분석함으로써 추후 다른 교과에서의 온톨로지 개발에 도움이 될 수 있는 실천적 사례를 제공하고 더 나아가 AI를 활용한 교육 도구 개발의 체계적인 방안을 제공하고자 하였다.

중학교 과학을 중심으로 온톨로지 개발에 참여한 내용 전문가 10인이 협의 과정에서 나누었던 대화와 기술자와의 협업 과정에서 나눈 메일 등을 토대로 유형적 분석법을 이용하여 결과를 분석하였다. 내용 전문가 간, 내용 전문가와 기술자 간의 협의 과정에서의 어려움과 해결방안을 각각 분석하였으며, 본 연구가 다른 교과에서의 온톨로지 개발에 도움이 될 수 있도록 온톨로지의 구성 요소인 엔티티, 관계, 속성에 따라 어려움을 분석하였다.

내용 전문가 간의 어려움은 엔티티나 속성 대한 서로 간의 이해 차이 즉, 내용 전문가 각자의 경험에서 기인한 과학 개념과 학습 경로에 대한 이해의 층위가 나뉘어져 대부분 비롯되었다. '속성'으로 사용되는 용어의 의미 역시 경험적 이해와 국어적 이해, 과학 교과에서 사용되는 이해가 모두 다르기 때문에 발생하였다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 추후 교육과정 기반 학생들의 학습 경로와 성취 수준, 기능이나 역량에 대한 성취수준을 포함하는 표준안이 마련되어야 한다. 이는 내용 전문가들의 협의 과정으로 인해 소모되는 시간과 노력을 줄여 적시에 현장에 필요한 인공지능 플랫폼을 제공하고 타당도 높은 온톨로지 개발에 도움이 될 것이다. 또한 활발하게 연구되고 있는 인공지능을 활용한 온톨로지 개발 연구에서도 기초 온톨로지가 충분할 때 정확한 온톨로지 개발이 가능하므로, 다양한 형태의 온톨로지가 개발될 수 있도록 관련 연구가 활성화될 필요가 있다. 또한 기술적인 부분에 대한 이해가 기반이 될 때 논의에 소요되는 시간이 축소되거나 의미없는 논의를 피할 수 있으므로 이에 대한 노력도 수반되어야 한다.

기술자와의 어려움은 서로 분야의 지식에 대한 부족으로 기술적인 이슈들이 온톨로지의 구현 여부를 판단하는 기준이 되었다. 따라서 관련 기술이 더욱 발달하여 내용 전문가의 이해가 어려워지는 상황이 발생할 경우 온톨로지가 학문 분야를 충실하게 다룰 수 있도록 구축되기 위해서는 내용 전문가 주도적으로 온톨로지가 개발될 수 있는 기술이 필요하다. 또한, 서로의 분야에 대한 지식을 공유할 수 있는 기회가 마련될 필요가 있다.

본 연구는 중학교 과학 교과의 온톨로지 개발 과정에 참여한 소수의 내용 전문가와 기술자들이 경험하는 사례를 통해 어려움과 해결 방안을 살펴보는 사례연구의 일종으로 일부 현상을 보여준다는 한계를 지니고 있다. 하지만 온톨로지 개발과 같은 융합적인 연구에서 이종 분야간의 전문가들이 어떠한 어려움을 겪고 해결하는지를 살펴봄으로써 우리나라 교과 온톨로지 개발에 기초가 될 수 있는 연구라는 의미가 있다. 또한 AI를 이용한 교육 도구 개발에 내용 전문가의 역할과 협업 연구의 체계적 방안을 제안하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This work was supported by the Institute for IITP(Information & Communications Technology Planning & Evaluation) grant funded by the Korean government(Ministry of Science and ICT) in 2023(No. RS-2023-00229780, Development of AI Technology for Process-Oriented Assessment (Learning Diagnosis) in Personalized Education).

Conflicts of Interest

The author(s) declared no conflicts of interest.

References

- Abolhasani, M. S., & Pan, R. (2024). Leveraging LLM for Automated Ontology Extraction and Knowledge Graph Generation. arXiv preprint arXiv:2412.00608.
- Al-Yahya, M., George, R., & Alfaries, A. (2015). Ontologies in E-learning: review of the literature. *International Journal of software engineering and its applications*, 9, 67-84.
- Ashburner, M., Ball, C. A., Blake, J. A., Botstein, D., Butler, H., Cherry, J. M., ... Sherlock, G. (2000). Gene ontology: tool for the unification of biology. *Nature genetics*, 25, 25-29.
- Bang, D., & Yoon, H. (2022). Investigation of primary & secondary school teachers' trust on AI-based educational technology. *Educational Research*, 85, 227-247.
- Bussemaker, M., Trokanas, N., & Cecelja, F. (2017). An ontological approach to chemical engineering curriculum development. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 927-941.
- Cho, N., & Kang, Y. (2013) Implementation of geo-ontology for geographical concepts: A case of coastal topology. *Journal of the Korean Cartographic Association*, 13, 75-87.
- Choi, M., & Chung, J. (2021). An inquiry into prediction of learner's academic performance through learner characteristics and recommended items with AI tutors in adaptive learning. *Journal of Information Technology Services*, 20, 129-1140.
- Crowder, J. A., Carbone, J., Friess, S., Crowder, J. A., Carbone, J., & Friess, S. (2020). Ontology-based knowledge management for artificial intelligent systems. *Artificial Psychology: Psychological Modeling and Testing of AI Systems*, 99-120.
- Denisova, D. A., Dorodnykh, N. O., & Yurin, A. Y. (2022, September). Ontology engineering based on spreadsheet data transformation. In *2022 Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)* (pp. 204–207). IEEE.
- Gahleitner, E., Behrendt, W., Palkoska, J., & Weippl, E. (2005). On cooperatively creating dynamic ontologies. *ACM Conference on Hypertext*, 208–210. <https://doi.org/10.1145/1083356.1083397>
- Hebeler, J., Fisher, M., Blace, R., & Perez-Lopez, A. (2011). *Semantic Web Programming*. John Wiley & Sons.
- ISO/IEC/IEEE International Standard. (2017). *Systems and software engineering – Vocabulary (ISO/IEC/IEEE 24765:2017)* (pp. 1–541). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2017.8016712>
- Ji, Y.. (2024). Eine studie zur ontologie für die gestenforschung – Anhand der kognitiven semantik. *Dokohak*, 49, 1-20.
- KERIS. (2023). *AI Digital Textbook Development Guidelines*. (2024, May 24). Retrieved from <https://www.keris.or.kr/main/ad/pblcte/selectPblcteETCInfo.do?mi=1142&pblcteSeq=13722>.

- Khan, M. T. (2012). Involving domain experts in ontology construction: A template based approach. In *The Semantic Web: Research and Applications: 9th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2012, Heraklion, Crete, Greece, May 27-31, 2012. Proceedings 9* (pp. 864-869). Springer Berlin Heidelberg
- Kim, B. Lim, E. Ju, J., & Im, Se. (2024). Analysis of AI Learning platforms for personalized learning in elementary education and exploration of teachers' perceptions. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, 30, 1447-1470.
- Kim, H., Lim, Y., & Kim, B. (2016) *Introduction to Digital Humanities*. HUEBOOKS.
- Kim, S. J. (2024). Analysis of the evaluation of publication experiences and author qualifications of the 2022 revised integrated subjects textbooks: Focusing on implications for revising author qualifications. *Journal of Curriculum Integration*, 18, 79-102.
- Kim, S., & Cho, M. K. (2022). AI-based educational platform analysis supporting personalized mathematics learning. *Communications of Mathematical Education*, 36, 417-438.
- Kulagin, G., Ermakov, I., & Lyadova, L. (2022, October). Ontology-Based Development of Domain-Specific Languages via Customizing Base Language. In *2022 IEEE 16th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)* (pp. 1-6). IEEE.
- LeCompte, M.D., & Preissle, J., with Tesch, R. (1993). *Ethnography and Qualitative Design in Educational Research* (2nd ed.). San Diego, CA: Academic Press.
- Lee, J. S., & Choe, H. J. (2024). Development of informatics subject diagnostic assessment questions based on AI digital textbook learning map. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 28(4), 57-66.
- Liu, R., McKay, D., & Buchanan, G. (2023). Person - oriented ontologies analysis for digital humanities collections from a metadata crosswalk perspective. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 60, 255-266.
- Lyons, J. (1977). *Semantics* (Vol. 1). Cambridge University Press.
- Michie, S., West, R., & Hastings, J. (2019). *Creating Ontological Definitions for Use in Science*. Qeios.
- Neuhaus, F., & Hastings, J. (2022). Ontology development is consensus creation, not (merely) representation. *Applied Ontology*, 17, 495-513.
- Norouzi, S. S., Mahdavejad, M. S., & Hitzler, P. (2023). Conversational ontology alignment with chatgpt. *arXiv preprint arXiv:2308.09217*.
- Novacek, J., Ahari, A., Müller, T., Reiter, S., Viehl, A., & Bringmann, O. (2024, August). Ontology-supported AI model and dataset management. In *2024 IEEE 22nd International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 1-6). IEEE.
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.
- Park, E., & Chun, J. (2023). Development of problem gambling ontology. *Mental Health & Social Work*, 51, 185-213.
- Park, J., & Kim, H (2024). Knowledge extraction and representation techniques for building knowledge graphs and ontologies from Korean war history data. *SA-CHONG*. 111, 197-221.
- Park, J., Lim, S., Kim, E., & Jun, H. (2023). A Bibliometric analysis on the research trends of ontology utilization in the field of architecture. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 39, 95-104.
- Savard, I., Bourdeau, J., & Paquette, G. (2020). Considering cultural variables in the instructional design process: A knowledge-based advisor system. *Computers & Education*, 145, 103722.
- Shen, L. P., & Shen, R. M. (2005). Ontology-based learning content recommendation. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning*, 15, 308-317.
- Shin, J. H., & Shon, J. (2021). Analysis of faculty perceptions and needs for the implementation of AI based adaptive learning in higher education. *Journal of Digital Convergence*, 19, 39-48.

- Stevens, R., Lord, P., Malone, J., & Matentzoglou, N. (2019). Measuring expert performance at manually classifying domain entities under upper ontology classes. *Journal of Web Semantics*, 57, 100469.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research techniques* (2nd ed.). Sage Publications.
- Tahar, K., Schaaf, M., Jahn, F., Kücherer, C., Paech, B., Herre, H., & Winter, A. (2016). An approach to support collaborative ontology construction. In A. Hoerbst, W. O. Hackl, N. de Keizer, H. A. Madsen, & S. E. Andersen (Eds.), *Exploring complexity in health: An interdisciplinary systems approach* (pp. 369–373). IOS Press.
- Tapia-Leon, M., Chicaiza, J., & Lujan-Mora, S. (2018). Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study. In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 1344–1353). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363385>
- Trojahn, C., Vieira, R., Schmidt, D., Pease, A., & Guizzardi, G. (2022). Foundational ontologies meet ontology matching: A survey. *Semantic Web*, 13, 685–704.
- Wang, Y., Huo, Y., Yang, C., Huang, X., Xia, D., & Feng, F. (2024). Knowledge ontology enhanced model for explainable knowledge tracing. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 36, 102065.
- Westerinen, A., & Tauber, R. (2017). Ontology development by domain experts (without using the “O” word). *Applied ontology*, 12, 299–311.
- World Wide Web Consortium (W3C). (2004). *OWL Web Ontology Language Guide*. W3C. Retrieved from <https://www.w3.org/TR/owl-guide/>
- Yang, H., Xiao, L., Zhu, R., Liu, Z., & Chen, J. (2024, December). An LLM supported approach to ontology and knowledge graph construction. In 2024 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM) (pp. 5240–5246). IEEE.

Authors Information

Son, Mihyun: Future Innovation Institute in Seoul National University, Research Professor, The first author, Corresponding Author, <https://orcid.org/0000-0002-0093-305X>.

Park, Youlim: Department of Education in Konkuk University, Graduate student, Co-author, <https://orcid.org/0009-0002-6470-7227>.