

역사과학 주제의 탐구 활동에서 풍부한 내러티브의 특징

하희수¹, 오필석^{2*}

¹난양이공대학교, ²경인교육대학교

Characteristics of Rich Narratives in an Inquiry Activity on a Historical Science Topic

Heesoo Ha¹, Phil Seok Oh^{2*}

¹Nanyang Technological University, ²Gyeongin National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 October 2024

Received in revised form

31 October 2024

Accepted 15 November 2024

Keywords:

historical science, historical science inquiry activity, narrative, narrative explanation

ABSTRACT

Science encompasses diverse fields that cannot be unified into one. As an effort to incorporate such diversity of science into science education, this study implemented an inquiry activity on a historical science topic in a preservice teacher education course. By exploring preservice teachers' practices during the activity, the study aimed to identify the characteristics of rich narratives developed by the preservice teachers (PSTs) and key features of the process through which these narratives were developed. We collected the narratives that the PSTs developed and conducted interviews on how the narratives were developed. We invited an expert on narrative, asking for an evaluation of the narratives produced by the PSTs. We also conducted an advisory interview with the expert to inquire about the reasons for her evaluation. The interviews with the PSTs and the expert were recorded and transcribed for analysis. We qualitatively analyzed features of the highly evaluated narratives, based on the expert's evaluations, and how the development of such narratives differed from others. The analysis results revealed that the main features of the rich narratives included diversity of contents, causal combinations, specific descriptions of time and place, and the incorporation of multiple layers. Three features of the development of the rich narratives were identified: (a) the use of diverse resources, (b) adapting resources to contexts, and (c) hypothetical inference regarding the sequential order and hierarchical relationship among the various events in the narrative. This study contributes to the inclusion of the characteristics of historical sciences in science education and supports students' understanding of the diversity of science.

1. 서론

자연현상에 대한 일반화된 법칙을 도출하는 실험과학은 전형적인 과학자의 활동으로 묘사되곤 한다. 하지만 과학은 실험과학 외에도 다양한 양상의 활동으로 구성되며, 그 대표적인 예로 역사과학이 논 의된다(Gray, 2014; Oh, 2023). 역사과학(historical science)이란 현재 발견되는 생명 현상, 화석 등의 단서를 설명하고자, 그러한 현상이 나타나게 된 과거의 과정에 주목하는 과학을 의미한다(Cleland, 2001, 2002). 실험과학의 주요 특징이 탐구 현상의 변인을 조작하여 여러 차례 데이터를 생산해 낼 수 있는 것이라면, 역사과학은 현재 발견되는 비교적 한정된 단서를 바탕으로 이미 과거의 매우 긴 시간에 걸쳐 진행된 과정을 밝혀낸다는 점에서 구분된다(Brandon, 1997; Cleland, 2002; Sousa, 2016). 이때 과거에 일어난 모든 과정에 대한 단서를 찾아내거나 실험과학에서처럼 새롭게 생산해 내기는 쉽지 않기 때문에, “관찰 가능한 현상을 관찰할 수 없는 원인들로 설명”하는 분야로 기술되기도 한다(Cleland, 2001, p.987). 즉, 역사과학이란 현재 발견 되는 단서를 과거 사건이 남긴 흔적으로 보고, 이 흔적들을 토대로 과거에 어떤 사건들이 있었기에 현재와 같은 흔적이 나타나게 되었을 지 밝히고자 노력하는 분야라고 할 수 있다.

역사과학은 과학교육의 탐구 활동 설계에서 실험과학과 함께 또 하나의 축으로서 역할하며, 학생들에게 과학의 다양성을 경험하게 하여 균형 잡힌 과학적 소양을 기르는 데 유용하게 활용될 수 있다(Gray, 2014; Oh, 2023). 또한 역사과학 소재의 탐구 활동은 역사과학의 특성을 지닌 여러 과학 분야를 이해하는 데 도움이 될 수 있다. 예를 들어, 생태학의 주요 초점 중 하나는 다양한 생태계가 어떻게 조성되었는지에 관한 것이라는 점에서 역사과학의 특성을 반영한다 할 수 있다. 이밖에도 법의학은 현재 발견되는 단서들을 바탕으로 과거에 어떠한 일이 일어났는지 추론한다는 점에서 역사과학과 유사하다고 볼 수 있다. 이는 실험과학뿐만 아니라 역사과학 분야의 탐구 활동에 대한 이해를 갖추었을 때 생태학, 법의학과 같은 다양한 과학 분야의 활동을 보다 명료히 이해할 수 있을 것임을 시사한다.

역사과학에서 구성되는 설명이 지닌 대표적인 특징은 내러티브(narrative) 또는 서사적 설명(narrative explanation)이라는 점이다. 내러티브 설명은 인과적 관련성을 지니고, 우연적으로 발생하는 사건들을 포함한 이야기라고 할 수 있다(Cleland, 2002; Currie, 2014; Currie & Sterelny, 2017; Kranke, 2022; Norris *et al.*, 2005; Oh, 2023). 실험 과학에서의 기작적 설명(mechanistic explanation)이 현상을 구성하는 요소들을 환원적으로 분석하고 그들 간 규칙적 상호작용에 주목한다

* 교신저자 : 오필석 (philoh@ginue.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00340436).

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.6.591>

면, 역사과학에서의 내러티브는 시간의 흐름 속에서 상황에 의존하며 인과적으로 복잡하게 연결된 사건들에 주목한다. 예를 들어, ‘용각류 공룡(Sauropod)은 어떻게 그렇게 거대한 몸집을 지니게 되었는가?’라는 질문을 생각해보자. 이 질문에 대해 ‘한정된 수의 자손을 낳고, 그 자손이 성체로 성장하는 데 오랜 시간이 걸리는 종의 경우에는 포식자로부터 종을 유지하기 어려웠을 것이다. 용각류 공룡은 작은 크기의 자손을 많이 낳는 원시적 특성을 유지하고 있었다. 그리고 알에서 나온 새끼가 성체로 빠르게 자라날 수 있는 생체적 특성을 지녀, 거대한 몸집으로 쥐라기 시대의 다른 포식자로부터 살아남을 수 있었다’라고 답할 수 있을 것이다(Currie, 2014; Sander & Clauss, 2011). 이 설명에서는 역사과학의 내러티브 설명이 지닌 특징이 잘 드러난다. 우선, 이 설명은 특정한 시기에 번성했던 용각류라는 종류의 공룡에 특이적인 설명으로, 모든 생물에 일반화할 수 있는 설명이 아니다. 즉, 이는 역사과학이 설명하려는 대상이 일반화된 법칙보다는 특정 사건이라는 점을 예시하는 것이다.

또한 이 설명은 역사과학의 내러티브 설명이 지닌 우연성(contingency)도 잘 보여준다. 많은 수의 자손을 낳고, 작은 크기의 자손이 빠르게 큰 성체로 자라난다는 특징을 지닌 용각류 공룡이 마침 쥐라기 시대에 출현하였고, 해당 시대의 특이적 환경이 마침 용각류 공룡이 살아남기에 적합하였던 점에서 그 우연성을 찾을 수 있다. 만약 이러한 용각류 공룡이 공룡에 대한 포식자가 많지 않은 환경에서 출현했다면, 한 개체의 크기를 급격히 키우기 위해 에너지를 소비하는 것이 불필요한 일이 되었을 수 있다. 즉, 용각류 공룡이 쥐라기 시대에 번성한 것은 그 시대의 환경에 상황 의존적인 사건이라는 것이다. Nair(2014), Norris *et al.*(2005)은 ‘우연성’이 내러티브 설명에 포함되는 이유가 역사과학에서 다루는 현상이 복잡계(complex system)에서 오랜 시간에 걸쳐 일어나는 것이기 때문이라고 설명한다. 현재에는 오랜 시간에 걸쳐 복잡계에서 일어난 사건들이 왜 일어나게 되었는지를 모두 인과적으로 상세하게 밝혀내기 어렵기 때문에 우연성을 포함한 설명이 만들어지는 것이다. 또한 과거의 사건을 탐색하는 현재의 시점에서 보았을 때, 과거에 어떠한 사건이 일어나는 지에 따라 현재 나타나는 단서들은 크게 달라질 수 있다. 역사과학에서는 그 다양한 가능성들 중 하필이면 현재 발견되는 그 단서들이 나타나게 된 원인을 과거의 우연한 사건들로부터 찾아내는 것이다.

내러티브의 구조와 관련하여, Norris *et al.*(2005)은 사건들, 설명하는 자, 독자, 독자의 기호, 내러티브의 서사적 구조, 내러티브의 목적, 과거의 시간, 행위자를 기본 구성 요소로 꼽았다. 이중 내러티브를 구성하거나 듣는 사람에 관한 요소들을 제외하고 내러티브 설명 내부의 요소들만 추려낸다면, 사건들, 내러티브의 서사적 구조, 과거의 시간, 행위자가 있을 것이다. 즉, 내러티브는 과거의 거대한 시간 흐름 속 일련의 사건들로 전개되는데, 이 사건들은 어떠한 행위자들이 시공간 상에서 활동하면서 상태의 변화를 야기함에 따라 일어나는 것이다. Norris *et al.*(2005)는 사건들이 전형적으로 전개되는 방식이 있다고 논하며 이를 내러티브의 서사적 구조(structure)라고 했다. 이와 관련하여 Klassen(2006)은 서사적 설명의 구성 요소를 그 전개에 따라 초기 상태, 사건 또는 행동, 최종 상태로 크게 3가지로 구분하였다. 이는 초기 상태에서 최종 상태로의 변화를 일으키는 인과적 사건/행동을 포함한 이야기임을 부각하는 관점이라 할 수 있다. Oh(2020)는 이 초기 상태-사건/행동-나중 상태의 틀을 과학 교과서의 내러티브를

분석하는 데 활용하며, 그 유용성을 보이기도 했다.

이에 더하여 역사과학에서 고안되는 내러티브의 특징으로 여러 층위에서 일어나는 내러티브가 엮여있다는 점이 있다(Currie, 2014; Glennan, 2010). 이러한 특징은 긴 시간에 걸쳐 일어난 특이적 현상을 설명하고자 하는 경우, 비교적 간단한 규칙을 바탕으로 하는 상대적으로 짧은 내러티브들이 복합적으로 결합되어 하나의 설명 체계를 구성할 때 두드러진다(Currie, 2014). 예를 들어, ‘7~8천만 년 전에는 전세계에 2색형 색각의 원숭이만 존재했는데, 지금은 어떻게 구대륙에는 3색형 색각을 지닌 원숭이가, 신대륙에는 주로 2색형 색각의 원숭이가 분포하는 것일까?’라는 질문을 생각해보자. 이 질문에 답하기 위해서는 판게아의 분리와 대륙이동, 구대륙과 신대륙에서의 자연선택 과정 등 내러티브들이 함께 결합되어 더 복합적인 설명이 고안될 수 있을 것이다. 그리고 보다 미시적으로 어떻게 3색형 색각이라는 형질이 등장하게 되었을지에 관하여 논의하기 위해 세포 내 유전자의 수준에서도 논의할 수 있을 것이다. 이처럼 Glennan(2010)은 역사적 설명에서 인과적으로 구성되는 사건들의 층위를 고려할 필요성을 주장했다.

과학교육에서도 실험과학과 함께 역사과학을 고려함으로써 다양한 과학의 모습을 과학교육에 반영하자는 주장이 제기되어 왔다(Ault Jr. & Dodick, 2010; Gray, 2014; King & Achiam, 2017; Sousa, 2016). 한 예로 Ault Jr. & Dodick(2010)은 공룡 발자국 화석을 관찰하고 이를 바탕으로 과거에 무슨 일이 일어났기에 그러한 화석이 남았을지 추론하는 활동의 의미에 대해 심도 있게 논의하였다. 즉, 실험과학의 방법만을 과학의 방법으로 설명할 때보다 귀추적(abductive) 추론을 통해 내러티브를 고안하는 역사과학의 방법을 유력한 과학의 방법의 하나로 포함시킴으로써 학생들에게 과학자의 활동을 더 명확히 제시할 수 있다는 것이다. 여기서 귀추(abduction) 또는 귀추적 추론이란 역사과학의 특성을 반영한 탐구의 실행을 말하는 것으로, Achiam *et al.*(2016)이 고안한 탐구 활동을 예로 들 수 있다. 이 탐구 활동에서는 새가 무엇으로부터 어떻게 진화했는지 탐색하는데, 새의 진화 과정에 등장했을 것으로 추정되는 *Archaeopteryx* 화석, 현존하는 새의 골격에 관한 정보가 제공되고, 학생들은 이를 바탕으로 새의 진화 과정에 대한 설명을 고안하게 된다. Oh(2023)는 최근에 이와 같은 탐구 활동들이 공통적으로 기반하고 있는 귀추적 추론의 틀을 Figure 1과 같이 제안하였다. 이에 따르면, 귀추는 탐구하고자 하는 현상 중에 문제로 인식된 특정한 사실을 ‘증거(evidence)’로 삼고, 다양한 지식과 정보를 ‘자원(resource)’으로 활용하여, 현상에 대한 ‘설명(explanation)’을 고안해 내는 추론 방법이다. 예를 들어, Achiam *et al.*(2016)에서 제시한 탐구 활동은 현존하는 새의 골격에 관한 정보를 자원으로 하여 *Archaeopteryx* 화석이라는 증거를 해석함으로써 새의 진화 과정에 대한 설명을 고안하는 것으로 해석할 수 있다.

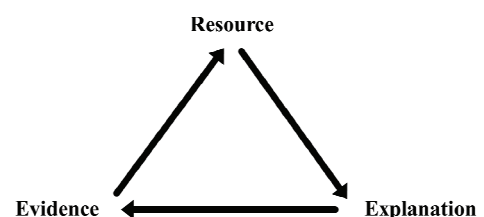


Figure 1. A diagrammatic representation of abduction (source: Oh, 2023)

그렇다면 역사과학 주제의 탐구 활동에서 학생들이 고안한 내러티브는 어떠한 특징을 갖고 있을까? 본 연구에서는 이 질문에 답하고자, 역사과학 주제의 탐구 활동에서 고안된 풍부한 내러티브가 지니는 특징을 도출하고, 그러한 특징은 어떠한 과정을 통해 나타나는지 탐색하고자 하였다. 여기서 ‘풍부한 내러티브’란 주어진 역사과학 탐구 활동의 질문에 대해 구체적으로 답함으로써 과거에 일어난 사건들을 자세히 묘사한 내러티브를 일컫고자 일시적으로 사용한 용어이다. 이는 일반화된 법칙, 이론을 도출하고자 하는 실험과학에 비해 역사과학에서는 주어진 단서를 바탕으로 과거에 일어났을 일들을 다양하게 탐색하고 추론해본다는 점을 바탕으로 한다(Brandon, 1997; Cleland, 2002; Sousa, 2016). 즉, 본 연구는 풍부한 역사과학적 내러티브가 지닌 특징을 드러냄으로써, 역사과학 주제에 대한 학생들의 탐구 활동을 촉진하는 데 필요한 시사점을 얻고자 하는 취지에서 수행되었다.

본 연구에서는 예비교사교육의 맥락에 역사과학 주제의 탐구 활동을 도입하고, 예비교사들이 고안한 내러티브 중 풍부한 내러티브가 지니는 특징을 탐색하고자 했다. 예비교사들이 다양한 탐구 활동을 경험하는 것은 그들의 교수 자원을 확장시키는 데 기여하며, 그만큼 추후 학교 현장에서 더 다양한 탐구 활동을 설계하고 도입할 가능성이 높아질 것으로 기대할 수 있다. 과학교육에서 역사과학을 다룰 필요성이 주장됨에 따라 과학 교사에 관한 선행문헌에서는 과학의 다양성에 대한 교사의 이해를 탐색하고(Liu *et al.*, 2023), Toulmin의 논증 구조를 바탕으로 역사과학 주제의 탐구 활동에서 고안된 지식의 구조를 분석하는 시도가 이루어졌다(Gray & Kang, 2012). 하지만 이외에 내러티브 또는 서사적 설명의 관점에서 교사의 역사과학에 대한 이해 혹은 교수 전문성 향상에 관한 논의는 찾기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 예비교사에게 역사과학 주제의 탐구 활동을 소개함으로써, 추후 중등 학교에서 다양한 과학의 모습을 반영한 과학 수업이 이루어질 수 있기를 기대하였다.

본 연구에서 답하고자 하는 연구 문제는 다음과 같다:

- 첫째, 역사과학 주제의 탐구 활동에서 예비교사가 고안한 풍부한 내러티브는 어떠한 특징을 지니는가?
둘째, 예비교사가 풍부한 내러티브를 고안하는 과정은 어떠한 특징을 지니는가?

II. 연구 방법

1. 연구 맥락

가. 역사과학 주제의 탐구 활동

본 연구에서 고안된 탐구 활동은 구대륙과 신대륙의 2색형 및 3색형 색각 원숭이의 분포에 대한 설명을 고안하는 활동이었다. 이 활동은 Evo-Ed(Evolution-Education) 웹사이트에 제시된 자료 중 원장류의 색각에 관한 자료(Evo-Ed, n.d.)를 바탕으로 고안되었다. 활동에서는 다음과 같은 지문이 주어졌다.

한 연구팀이 전세계에 분포한 원숭이의 색각을 조사한 결과, 7~8천만 년 전에는 전세계에 2색형 색각 원숭이들이 분포했던 것을 알 수 있었다. 그런데 지금은 구대륙(유럽, 아시아, 아프리카를 포함)에는 3색형 색각을

지닌 원숭이가, 신대륙(남아메리카, 북아메리카를 포함)에는 주로 2색형 색각을 지닌 원숭이가 분포하는 것으로 나타났다.

그리고 학생들에게 ‘어떻게 하여 구대륙과 신대륙에 위치한 원숭이들이 다른 유형의 색각을 지니게 된 것인지, 그 과정을 추론해보자’는 질문이 제시되었다. 더불어서 자신의 추론을 뒷받침하기 위해 필요한 자료가 있다면, 어떠한 자료가 필요한지, 그 자료를 얻기 위해 어떤 조사나 실험이 이루어질 수 있는지 설명해볼 것을 안내했다.

학생들이 참고할 수 있는 자료로 2색형 색각의 원숭이는 원추세포 속에 SWS, MWS 옘신 단백질이 지니며, 3색형 색각의 원숭이는 LWS 옘신 단백질도 지닌다는 정보를 제공했다. 그리고 SWS, MWS, LWS 옘신 단백질이 반응하는 빛의 파장을 나타낸 그래프를 함께 제공했다.

활동은 수도권 사범대학 예비교사 대상의 과학 글쓰기 관련 강좌에서 진행되었다. 해당 강좌는 과학 및 과학 수업에서 이루어지는 다양한 추론에 대해 이해하고, 이를 활용한 논술 수업을 이해 및 고안하는 것을 목표로 하였다. 본 연구에서 고안된 활동은 강좌의 초반부에 도입되었다. 1차시(2시간) 동안 해당 활동을 진행한 뒤, 과제로 학생 산출물을 제출받았으며, 그 뒤에 다양한 과학적 추론 방식에 대해 소개하는 강좌를 이어 나갔다.

나. 연구 참여자

본 연구의 연구자 1인이 강좌의 교수자로 역할을 하였으며, 학생들의 탐구 활동을 안내하였다. 강좌의 수강생을 대상으로 연구에 대해 소개하고 연구 참여 의사를 물어 연구 참여자를 모집하였으며, 그 결과 총 17명의 수강생이 본 연구에 자발적으로 참여했다. 예비교사인 수강생들은 학부 2학년 1명, 3학년 이상이 16명으로, 이전에 생명과학을 포함한 유전학, 세포생물학 등 내용학 강좌와 과학교육학 강좌를 수강한 경험이 있었다.

2. 자료 수집

본 연구에서는 학생들이 활동에서 제출한 과제물, 즉 학생들이 산출한 내러티브가 주된 연구 자료로 활용되었다. ‘풍부한 내러티브’에 대한 평가를 위해 수도권의 한 대학에서 국어교육 전공 교수로 재직 중인 내러티브 분야의 전문가 A에게 학생들의 과제물을 평가해 줄 것을 요청하였다. 전문가 A는 학생들의 내러티브를 ‘콘텐츠’와 ‘구성’의 측면에서 평가했다. 이때 콘텐츠는 ‘이야기의 원천이 되는 소스를 얼마나 가지고 왔느냐’, 즉 얼마나 다양한 소재를 바탕으로 내러티브를 구성했는지를 의미한다. 그리고 구성은 ‘콘텐츠를 논리적·인과적 추론 능력으로 엮어냈느냐’, 즉 논리적으로 납득이 되도록 엮인 내러티브인지를 의미한다. 전문가 A는 콘텐츠와 구성 측면에서 상, 중, 하의 수준으로 평가했으며, 중 또는 상으로 평가한 경우에는 그 이유를 함께 기록하여 문서 형태로 본 논문의 연구자들에게 제공하였다. 해당 평가 기록은 풍부한 내러티브를 분석하기 위한 연구 자료로 수집되었다. 이와 더불어, 전문가 A에게 각각의 내러티브에 대한 평가 근거와 의견을 자세히 묻기 위해 대면 자문을 요청하였으며, 실제로 약 2시간에 걸친 자문이 이루어졌다. 해당 자문 내용은 모두 녹음

및 전사되어 연구 자료로 활용되었다.

학생들이 제출한 내러티브 글에 담긴 의도, 내러티브 작성 과정에 대해 이해하고자, 전문가 자문 후에 학생 대상 인터뷰를 수행했다. 이때 전문가 A의 평가를 고려하여, ‘상’, ‘중’, ‘하’로 평가된 학생들을 고루 인터뷰하고자 했다. 인터뷰한 학생들의 내러티브 평가 결과는 Table 1과 같다. 인터뷰에서는 처음 과제를 받고 과제물을 작성하기 까지 어떠한 고민을 했는지, 어떠한 자료를 참고했는지, 교수자가 제공한 자료 중 무엇이 유용했는지 등을 질문했다. 인터뷰 내용은 모두 녹음 및 전사되어 연구 자료로 활용되었다.

Table 1. The number of interviewees at each rating level

평가 결과 (콘텐츠 측면, 구성 측면)	전체 학생 수	인터뷰한 학생 수
(상, 상)	3	3
(상, 중)	2	1
(상, 하)	0	0
(중, 상)	2	2
(중, 중)	5	3
(중, 하)	0	0
(하, 상)	0	0
(하, 중)	0	0
(하, 하)	5	3
전체	17	12

3. 자료 분석

본 연구의 첫 번째 연구질문은 역사과학 주제의 탐구 활동에서 고안된 풍부한 내러티브의 특징을 도출하는 것이다. 이 질문에 대한 답을 도출하기 위해 먼저 내러티브의 구조 및 구성 요소에 관한 선행 문헌을 바탕으로 하여, 각 예비교사가 작성한 내러티브를 분석했다. 선행문헌을 바탕으로 내러티브의 구조를 분석한 과정을 다음과 같다. 먼저 Klassen(2006)의 서사적 설명의 구성 요소를 기반으로 하여 각 내러티브의 서사적 구조를 도식화 및 분석했다. 즉, 각 내러티브에서 초기 상태가 어떠했으며, 어떠한 사건을 거쳐 어떠한 최종 상태에 도달한 것으로 묘사되었는지를 도식으로 드러냈다. 이때 Norris *et al.*(2005)이 제시한 내러티브의 구성 요소를 참고하여, 초기 상태와 최종 상태에서의 행위자와 시·공간적 환경이 무엇인지, 각 사건에서는 무엇이 변화하였는지에 주목했다. 분석의 예는 Figure 5, Figure 6과 같다. 그리고 Currie(2014), Glennan(2010)을 참고하여, 하나의 사건을 여러 층위로 나누어 세부적인 사건들이 어떻게 하나의 거시적인 사건으로 창발되었는지 설명하는 경우에는 도식 내에서 그 층위를 구분하여 나타냈다.

각 내러티브의 구성 요소와 구조에 대한 분석을 마친 뒤, 풍부한 내러티브의 분석 결과를 그렇지 않은 내러티브와 비교하였다. 이를 위해 전문가 A의 검토에서 ‘상’ 평가를 받은 것을 풍부한 내러티브로, ‘하’ 평가를 받은 것을 그렇지 않은 내러티브로 상정했다. 콘텐츠 측면과 구성 측면에서 서로 다른 평가를 받은 경우, ‘상’ 평가를 받은 측면에 해당하는 분석 결과를 풍부한 내러티브의 특성으로 보았다. 전문가 A의 자문 인터뷰 전사본에서 ‘상’ 평가를 받은 내러티브와

앞서 고안한 각 내러티브의 도식을 반복적으로 검토하며, 공통점을 도출하였다. 그리고 이를 ‘하’ 평가를 받은 내러티브의 분석 결과와 비교하며, 풍부한 내러티브만의 특징을 도출하고자 노력했다. 각 특징을 규명할 때, 전문가 A와의 자문 전사본에서 각 내러티브에 관한 평가를 내린 이유를 참조했다.

본 연구의 두 번째 연구 질문은 풍부한 내러티브가 어떠한 과정을 통해 고안되었는지 밝히는 것이다. 이를 위해 먼저 학생 인터뷰 전사본 중 처음 과제를 받고 내러티브를 작성하기까지 어떠한 고민을 했는지 묻은 질문에 대한 답변들을 탐색했다. 이때 Oh(2023)의 귀추적 추론의 틀을 활용하여, 내러티브에서 학생들이 어떠한 정보나 지식을 바탕으로 추론하였는지 그 과정을 분석하였다. 예를 들어, ‘현재의 전세계 2색형 색각과 3색형 색각의 원숭이가 분포’가 나타나게 된 과정에 대한 설명을 도출하기 위해 어떤 질문에 대해 추론했는지, 해당 설명을 고안하기 위해 해당 현상의 어떤 증거에 주목했으며, 어떠한 자료이나 본인의 지식을 자원으로 활용했는지 분석하였다. 먼저 ‘상’의 평가를 받은 학생들의 답변에서 공통된 점을 도출한 뒤, ‘중’, ‘하’의 평가를 받은 학생들의 답변과 비교 검토했다. 그리고 학생이 작성한 내러티브, 내러티브의 도식을 같이 살펴보면, 인터뷰에서 도출한 추론의 특징이 글에서도 드러나는지 확인했다. 풍부한 내러티브를 고안하는 추론이 지닌 특징을 도출한 뒤에는, 각 특징이 앞서 풍부한 내러티브의 특징과 어떻게 관련되는지 반복적으로 확인하였다.

연구 결과에서는 풍부한 내러티브와 그렇지 않은 내러티브에 관한 분석 결과를 잘 드러낼 수 있는 예시들을 선별하여 제시했다. 풍부한 내러티브의 예로는 예비교사 B, C, F의 내러티브가, 풍부하지 않은 내러티브의 예로는 예비교사 E, G의 것을 제시했다. 이상과 같은 분석 과정에는 2명의 연구자가 참여했으며, 분석 결과를 타당화 하기 위해 각 연구자가 주기적으로 만나 각자의 분석 결과를 비교하고 서로 다른 분석 결과를 조율하는 과정을 거쳤다(Creswell, 2014).

III. 연구 결과

1. 풍부한 내러티브의 특징

풍부한 내러티브로 평가된 세 학생의 산출물 중 두 개가 지니는 주요 특징으로 “에피소드식 구성”(자문 인터뷰 전사본 59행)이라는 점이 꼽혔다. 에피소드식 구성이란, 과거에 일어났을 것으로 추정되는 여러 사건들이 어떻게 엮일 수 있는지 다양하게 제시한 것을 의미한다. 전문가 A가 에피소드식 구성을 우수하게 평가한 이유로는 크게 두 가지가 있었다. 하나는 마치 “단편소설 모음집”(자문 인터뷰 전사본 68행)에서 하나의 사건을 다양한 관점에서 해석한 것처럼 콘텐츠의 다양성을 갖추었다는 점이며, 다른 하나는 각 에피소드에서의 인과적 결합이 잘 드러나기 때문이었다. 풍부한 내러티브로 꼽힌 글들을 분석한 결과, 이 두 특성과 더불어 내러티브 속 사건들의 시기와 장소에 대한 묘사가 구체적이며, 여러 층위에서의 내러티브가 얽힌 글들이 풍부한 내러티브로 평가되었다. 아래에서는 각각의 특징을 예시와 함께 자세히 제시하고자 한다.

가. 콘텐츠의 다양성

풍부한 내러티브의 두 가지 측면 중 하나는 콘텐츠의 다양성이었다. 여기서 콘텐츠의 다양성은 과거에 일어났을 수 있는 사건을 다양한 방식으로 엮어 제시한 것을 의미한다. 전문가 A는 과거에 일어났을 수 있는 사건들을 다양하게 제시한 글을 하나의 사건을 다양한 관점에서 바라보는 소설에 비유하며 훌륭하게 평가했다.

콘텐츠의 다양성이 잘 드러난 내러티브의 예로 예비교사 B의 내러티브가 있다(Figure 2). 예비교사 B는 구대륙과 신대륙에서 서로 다른 색깔을 지닌 원숭이 집단이 우점하는 과정이 자연선택의 과정일 것이라고 전제하고, 자연선택의 과정에서 서로 다른 색깔을 지닌 원숭이 집단이 유리해진 이유를 사냥에서의 유리함, 독성 먹이의 인식 필요성 여부, 상대 성의 인식 가능성 증진 여부와 같이 다양하게 모색했다. 그리고 각 요인에 따라 자연선택이 이루어졌을 경우 어떠한 과정이 일어났을지 설명함으로써 풍부한 내러티브를 고안한 것이다.

나. 인과적 결합

풍부한 내러티브의 또 다른 주요 특성은 인과적 결합이었다. 이는

여러 서로 다른 사건들의 순서와 선후 관계가 인과적으로 납득이 가도록 배치되고 결합되어 있음을 의미한다. 이 측면에서는 ‘여러 사건들이나 상황이 왜 특정 순서로 전개되었는가’에 관하여 기술하고 있는 내러티브가 좋은 평가를 받았다. 전문가는 “현실에서 얼마나 일어남 직하냐?”(자문 인터뷰 전사본 84행)에 따라 사람들이 이야기를 받아들이는지 여부가 달라진다는 점에서 인과적 결합(causal combination)을 통한 논리적 구성이 내러티브의 중요한 측면이라고 설명했다.

논리적 구성의 측면에서 우수한 평가를 받은 내러티브의 예로 아래 예비교사 C의 글이 있다(Figure 3). 예비교사 C의 내러티브는 ‘대륙이동과 유전자 획득의 선후 관계’를 인과적으로 결합하고 있다. 이 단락에서 예비교사 C는 구대륙과 신대륙이 분리된 후에 LWS 옅신 유전자가 두 곳 모두에서 나타날 확률은 희박하기 때문에 배제했다. 그리고 대륙이동과 LWS 옅신 유전자의 출현이 동시에 일어났을 가능성을 확인하기 위해서는 구대륙과 신대륙의 3색형 색깔 원숭이가 공통조상을 공유하는지 확인해 볼 필요가 있다고 논했다. 즉, 대륙이동이 먼저 시작되고 그 뒤에 LWS 옅신 유전자가 출현하였을 것으로 추정되는데, 대륙이동과 LWS 옅신 유전자 출현 사이의 시간 간격을 가늠하기 위해서는 추가 데이터가 필요하다는 것이다. 그리

<p>가설 1. 사냥의 관점</p> <p>전제:</p> <p>구대륙과 신대륙이 원숭이가 각 대륙을 횡단하거나 이동할 수 있을 정도로 연결되어 있었다.</p> <p>2색형 색깔 형질에서 3색형 색깔 형질로 변화하는 돌연변이가 발생하였다.</p> <p>3색형 색깔 형질을 가지면 더 많은 파장의 색을 인식/구별할 수 있기 때문에 사냥 및 생존에 유리하다.</p> <p>내용:</p> <p>2색형 색깔 원숭이는 SWS 옅신 단백질과 MWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자를 가진다. 3색형 색깔 원숭이는 이에 더하여 LWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자를 가진다.</p> <p>구대륙과 신대륙이 합쳐져 있던 시절에는 2색형 색깔 형질을 가지는 원숭이만이 존재했다.</p> <p>어떤 특정한 시점에 LWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자로의 돌연변이가 발생하여 3색형 색깔 형질을 가지는 돌연변이 원숭이가 탄생하였다.</p> <p>이후 구대륙과 신대륙이 분리되었고, 돌연변이 원숭이 집단은 구대륙이 있는 쪽에 남았다.</p> <p>신대륙의 경우, 원래와 마찬가지로 2색형 색깔 형질을 가지는 원숭이들만이 존재하였다. 하지만 구대륙의 경우, 사냥 및 생존에 유리한 3색형 색깔 원숭이 집단이 유리한 형질을 지녔기 때문에 자연선택되어 우점종이 되었다.</p>
<p>가설 2. 먹이의 관점</p> <p>전제:</p> <p>(가설 1의 전제와 동일. 생략)</p> <p>내용:</p> <p>2색형 색깔 원숭이는 SWS 옅신 단백질과 MWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자를 가진다. 3색형 색깔 원숭이는 이에 더하여 LWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자를 가진다.</p> <p>구대륙과 신대륙이 합쳐져 있던 시절에는 2색형 색깔 형질을 가지는 원숭이만이 존재했다.</p> <p>어떤 특정한 시점에 LWS 옅신 단백질을 만들어내는 유전자로의 돌연변이가 발생하여 3색형 색깔 형질을 가지는 돌연변이 원숭이가 탄생하였다.</p> <p>이후 구대륙과 신대륙이 분리되었고, 각 대륙에 2색형 색깔 원숭이 집단과 3색형 색깔 원숭이 집단이 공존하게 되었다.</p> <p>구대륙의 경우, 빨간색을 가진 독성 먹이가 많이 존재하여 3색형 색깔 원숭이들은 이들을 구분할 수 있어 생존에 유리했다. 신대륙의 경우, 그러한 필요성이 없어 LWS 옅신 단백질을 만드는 것을 오히려 생존에 불필요한 에너지 낭비가 되었다.</p> <p>따라서 구대륙에서는 3색형 색깔 원숭이가, 신대륙에서는 2색형 색깔 원숭이가 자연선택되었다.</p>
<p>가설 3. 성선택의 관점</p> <p>(생략)</p>

(생략): 연구자가 생략한 부분

Figure 2. A narrative produced by preservice teacher B

1. LWS 오픈 유전자의 획득

가설: SWS 또는 MWS 유전자가 중복된 후 염기치환이 일어나 LWS 조상 유전자가 되었을 것이다.

(생략)

2. 대륙이동과 유전자 획득의 선후 관계

가설: 7~8천만 년 전 대륙이동으로 구대륙, 신대륙 원숭이가 지리적으로 격리가 된 후 구대륙에서 LWS 오픈 유전자가 출현하였다.

7~8천만 년 전에는 구대륙과 신대륙이 대륙으로 연결되어 있었고 이후 대륙이동이 일어나 두 대륙은 분리되었다. 따라서 대륙이동에 의한 구대륙, 신대륙의 분리와 LWS 오픈 유전자 획득 중 어떤 것이 선행되었는지 생각해봐야 한다. 선후 관계를 파악하기 위해서 LWS 오픈 유전자가 출현한 연대를 추정할 수 있다. LWS 오픈 유전자의 조상이 되는 유전자의 DNA 염기서열과 비교하면 LWS 오픈 유전자가 분화된 상대적인 시기를 추측할 수 있다. 이를 활용하여 LWS 오픈 유전자가 분화된 시기와 대륙이동이 일어난 시기를 비교하면 선후 관계를 파악할 수 있을 것이다.

이때 구대륙에는 3색형 색각 원숭이만, 신대륙에는 2색형 색각 원숭이만 서식하는 것이 아니기 때문에 구대륙과 신대륙의 3색형 색각 원숭이가 공통조상을 공유하는지 생각해봐야 한다. 만일 공통조상이 다르다면 지리적으로 격리된 각 지역에서 돌연변이가 일어나 같은 결과(LWS 오픈 단백질)로 이어졌다는 것인데, 이는 일어날 확률이 매우 희박하다. 반면 대륙이동이 연속적인 과정으로 일어나 구대륙과 신대륙 지역을 가로지르는 소수의 이동이 있었을 가능성을 고려할 수 있다. 이는 현생종 중 구대륙에 서식하는 2색형, 3색형 색각 원숭이와, 신대륙에 서식하는 2색형, 3색형 색각 원숭이를 대상으로 유전자를 얻어 계통 분석을 하면 구대륙과 신대륙의 3색형을 결정하는 각 유전자가 공통조상을 공유하는지 파악할 수 있다.

정리하면, DNA 염기서열을 활용해 연대를 측정한 결과 대륙이동이 유전자 획득에 선행하였다면 구대륙과 신대륙이 분리되면서 두 대륙 간 이동량이 감소하고, 구대륙 지역에서 LWS 오픈 유전자가 출현했을 것이다. 이후 소수의 유입, 유출이 발생함으로써 구대륙의 LWS 오픈 유전자를 지닌 일부가 신대륙에 정착하게 되었다. 대륙이 완전히 분리되고 구대륙과 신대륙에서 각각 자연선택이 일어남으로써 구대륙에는 3색형 색각 원숭이가, 신대륙에는 2색형 색각 원숭이가 우점하게 되었을 것이다.

3. 생존 경쟁

가설: 3색형 색각은 포식자와 먹이를 잘 발견할 수 있기 때문에 생존에 유리한 형질이었을 것이다.

3색형 색각은 2색형 색각에 비해 빨간색을 추가로 인식할 수 있다. 이 말은 즉 빨간색, 초록색을 인식할 수 있다는 뜻이다. 고양이와 맹수들 같은 원숭이의 포식자들은 주로 2색형 색각 피식자들로부터 은신하기 위해 수풀색(초록색)과 구분되지 않는 황갈색의 몸을 갖는다. 따라서 3색형 색각 원숭이는 2색형에 비해 포식자를 잘 발견할 수 있으므로 생존할 확률이 더 높다. 이는 3색형 색각 원숭이와 2색형 색각 원숭이 중 초록색의 수풀에 숨어있는 황토색의 포식자를 누가 더 빨리 발견하는지 확인하는 관찰 또는 실험을 수행하면 파악할 수 있다.

한편 원숭이의 먹이는 곤충, 과일, 나뭇잎 등인데, 3색형 색각 원숭이는 초록색과 구분되는 색을 띤 먹이를 더 잘 발견할 수 있으므로 생존에 유리할 수 있다. 이 또한 3색형 색각 원숭이와 2색형 색각 원숭이 중 먹이를 누가 더 빨리 발견하는지 확인하는 관찰 또는 실험을 수행하면 파악할 수 있다.

Figure 3. A narrative produced by preservice teacher C

고 구대륙과 신대륙이 완전히 분리된 후에 각 자연선택의 과정이 일어났기에 각 대륙에서 서로 다른 색각의 원숭이가 우점하게 되었다는 결론을 내린다. 이러한 예비교사 C의 내러티브에서는 다양한 사건들을 시간의 흐름에 따라 배치하고 그들이 어떻게 인과적으로 결합되어 있는지 현재 발견되는 단서들을 바탕으로 고민했다는 점이 잘 드러난다.

전문가는 논리적 구성이 부족한 상태로 여러 사건을 복합적으로 제시한 글보다는 하나의 사건으로 인해 어떠한 변화가 연쇄적으로 일어났는지 인과적 결합을 바탕으로 설명한 글이 더 우수하다고 평가했다. 그 이유로 예비교사 B의 글을 예로 들며, “[여러 가지 사건을 나열하여 제시한 글은] 막 이렇게 글이 왔다 갔다 정신이 없는데, [하나의 사건을 제시하여 에피소드식으로 구성한 글은] 이 관점에서 이야기를 하나 쪽 풀고, 먹이의 관점에서만 쪽 풀고, 성 선택의 관점에서만 쪽 풀고 그러니까 에피소드도 딱딱 들어오면서(이해하기 쉽고) 각각의 이야기들이니까 읽히기도 잘 읽히고”(자문 인터뷰 전사본 62행)라고 설명했다.

다. 시기와 장소에 대한 구체적 묘사

전문가는 내러티브가 구체적인 시기와 장소가 있다는 점에서 일반화된 명제와 구분된다고 하였다. 예를 들어, 탈맥락적인 상황에서 진

술된 진화의 기작이 명제라면, 구체적으로 백악기에 어떻게 공룡이 사라졌는지에 관한 설명은 ‘백악기’라는 시점에 존재하였던 공룡들이 어떤 사건과 변화에 의해 멸종했는지 말해주기 때문에 내러티브라고 할 수 있다. 다시 말해, 이러한 내러티브는 시기와 장소를 구체화함으로써 해당 사건이 하필이면 과거의 특정한 상황에서 일어나게 된 우연성을 포함한 역사과학적 설명이 된다고 할 수 있다.

예비교사들의 내러티브에서 묘사의 구체화는 구대륙 혹은 신대륙이 어떠한 환경이었기에 2색형 혹은 3색형 색각이 자연선택 과정에서 유리했는지 설명하기 위해 이루어졌다. 예비교사 D의 내러티브(Figure 4)에서 이점이 잘 드러난다. 앞서 제시한 다른 예비교사들의 내러티브와 같이 예비교사 D 또한 구대륙과 신대륙에서 서로 다른 색각을 지닌 원숭이 집단이 우점하는 과정이 자연선택의 과정일 것이라고 전제했다. 이점은 “개체적 차원: 유리한 종으로의 자연선택”이라고 적은 단락에서 잘 드러났다. 그리고 구대륙과 신대륙의 자연선택의 과정에서 서로 다른 색각을 지닌 원숭이 집단이 유리해진 이유를 설명하기 위해 각 환경을 구체화한 점이 “생태적 차원: 원숭이의 먹이와 포식자” 단락에서 잘 드러났다. 예를 들어, 예비교사 D는 두 대륙의 먹이 색깔 차이를 설명하기 위해 먼저 원숭이가 “과일, 나뭇잎, 작은 벌레 등”을 먹는다는 점을 찾아냈다. 그리고 구대륙에서는 “딸기나 사과 및 벌레 등 붉은색 계통의 먹이”가 많으며, 신대륙은 “초록색, 파랑색 계열의 식물 종류의 먹이”가 주를 이루었을 것으로 추정했다.

구대륙과 신대륙이라는 서로 다른 공간에서 서로 다른 특성을 지닌 집단이 우점한 이유를 자연선택의 과정으로 설명하고자, 두 공간의 환경, 즉 내러티브의 구성 요소 중 배경을 구체화한 것이다.

라. 여러 단계의 층위

전문가로부터 좋은 평가를 받은 내러티브가 지닌 또 다른 특징은 여러 층위에서의 이야기가 얽혀있다는 점이었다. 여러 층위에서의 내러티브는 보다 거시적인 사건이 어떻게 일어난 것인지 설명하기 위해 미시적인 층위에서의 내러티브가 등장하며 나타났다. 예를 들어, 예비교사 E의 내러티브를 도식으로 나타낸 Figure 5는 ‘2색형 색깔의 원숭이’, ‘3색형 색깔의 원숭이’라는 개체군의 층위에서 자연선택이 일어나는 과정만을 담고 있어, 비교적 단순한 내러티브로 평가되었다. 이에 비해 예비교사 C의 내러티브(Figure 6)는 구대륙과 신대륙의 환경 요인으로 인해 자연선택이 일어나는 개체군의 층위와 LWS 옵션 유전자가 나타나는 유전자 층위에서의 내러티브를 포함하고 있다.

유전자 수준에서 이루어지는 과정을 통해 개체군의 층위에서 3색형 색깔의 원숭이가 등장하게 된 과정을 설명하였고, 이를 통해 더 구체적이면서도 과거에 일어난 사건들 간 연계성도 높아진 내러티브를 고안한 것이다. 이와 같은 층위에 따른 내러티브 구성은 역사과학의 탐구에서 고안되는 과학적 설명의 특징이 반영된 것으로, 예비 교사들이 암묵적으로 역사과학의 고유한 특징을 경험하고 이를 자신들의 내러티브를 통해 드러내고 있다고 해석할 수 있다.

2. 풍부한 내러티브를 고안한 과정의 특징

풍부한 내러티브에서 나타난 데이터로부터의 추론 과정은 크게 세 가지 특징을 지니고 있었다. 그중 하나는 다양한 자원의 활용이었으며, 다른 것은 탐구 활동에서 다루는 문제의 맥락에 맞추어 자원을 변용하는 것이었다. 추가적으로, 여러 사건들의 선후 및 위계 관계에 관한 가설적 추론이 풍부한 역사과학적 내러티브를 고안하는 과정의 중요한 특징으로 도출되었다.

2. 가설 설정

1) 개체적 차원: 유리한 종으로의 자연선택

자연선택은 찰스 다윈에 의하면 환경에 적합한 특성을 가진 개체가 다른 개체에 비해 유전자의 전파에 더 유리한 특성을 가지는 것을 의미한다. 이에 따르면 대륙의 분리 이후에 구대륙의 원숭이들에서 빨간색을 감지하는 색깔을 가진 유전자를 가진 원숭이의 생존에 보다 유리한 환경이 조성되었을 가설을 세울 수 있다.

2) 생태적 차원: 원숭이의 먹이와 포식자

(1) 대륙 간 먹이 차이: 빨간색 먹이에 대한 선별 딸기나 사과 등

구대륙에는 딸기나 사과 및 벌레 등 붉은색 계통의 먹이가 많아지고 신대륙에는 초록색, 파랑색 계열의 식물 종류의 먹이가 주를 이룰 것으로 생각된다. 이를 통해 구대륙에 빨간색을 인지하는 색깔을 가진 유전자를 가진 개체가 주를 이루게 된 것이라는 가설을 세울 수 있다.

(생략)

3. 자료를 얻기 위한 데이터 수집 및 연구방법

1) 개체적 차원: 원숭이의 유전자 선택

(생략)

2) 환경적 차원

(1) 먹이 차이: 원숭이의 주식 및 대륙간 과일

원숭이가 먹는 주식 및 대륙의 먹이의 분포를 조사하는 것을 통해 연구계획을 수립할 수 있다. 원숭이는 과일, 나뭇잎, 작은 벌레 등 잡식성의 특성을 보인다. 한국농촌경제연구원 통계에 의하면 아메리카 지역은 밀, 옥수수, 대두 등이 주로 생산된다는 특징을 보인다. 반면 아시아 지역은 쌀 중심의 생산 특징을 보인다. 이에 따르면 인간의 주식 생산이 아닌 원숭이의 주식의 색상 비교를 통해 가설의 설명가능성을 높일 수 있다.

Figure 4. A part of the narrative produced by preservice teacher D

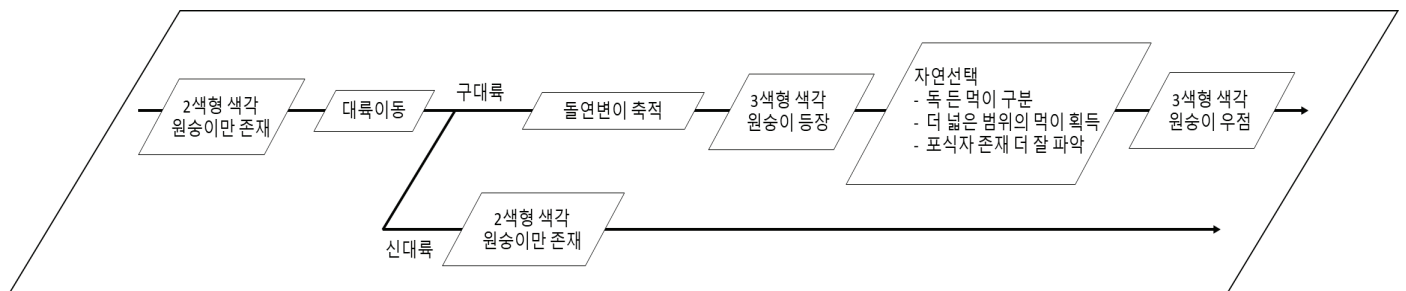


Figure 5. A diagram depicting the narrative produced by preservice teacher E

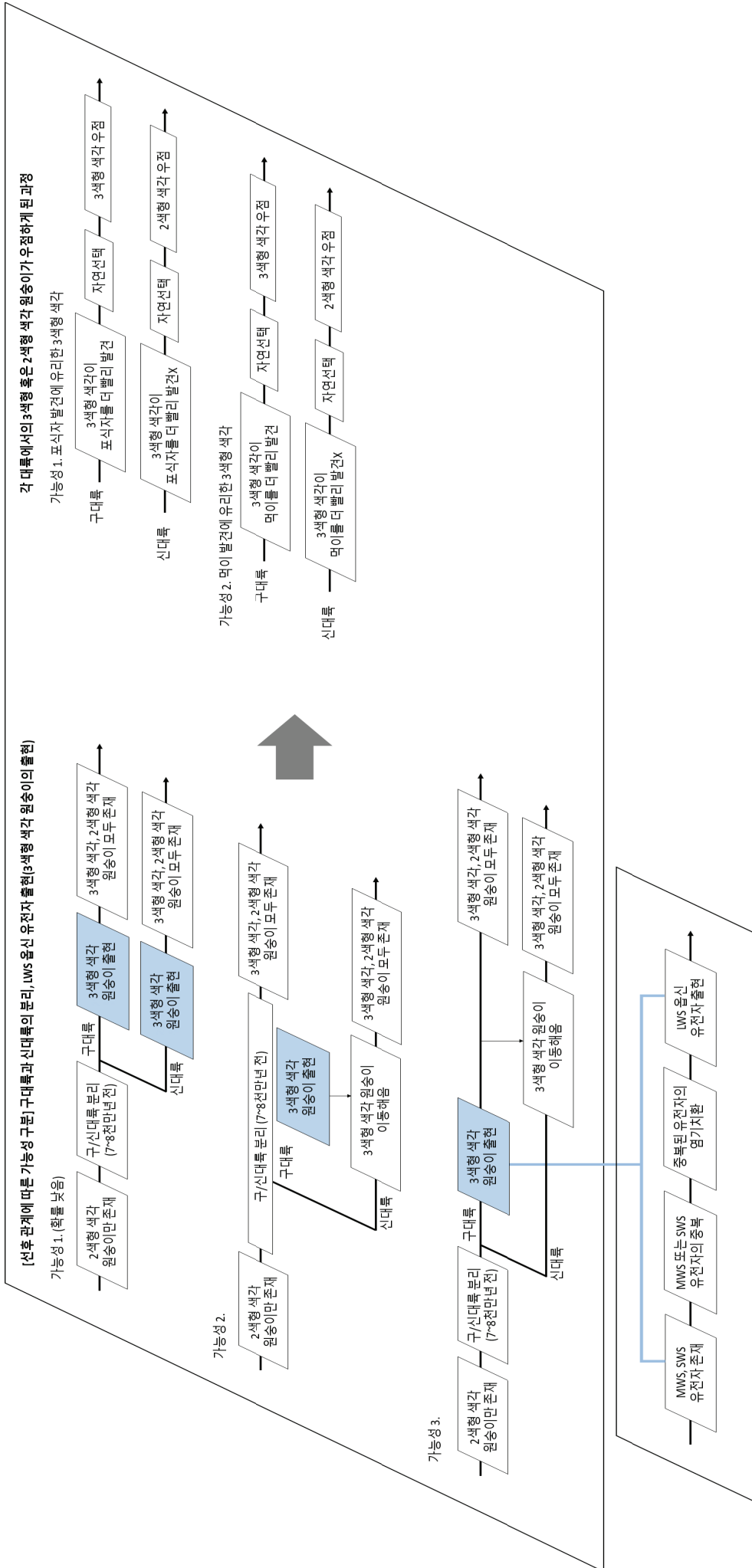


Figure 6. A diagram depicting the narrative produced by preservice teacher C

가. 다양한 자원의 활용

예비교사가 풍부한 내러티브를 고안한 과정의 주요 특징 중 하나는 다양한 자원을 활용했다는 점이었다. 예비교사들은 모두 공통적으로 ‘자연선택’에 관한 선지식을 내러티브의 틀로 활용했는데, 풍부한 내러티브로 평가된 경우에는 자연선택의 과정을 구체화하기 위해 더 다양한 자원을 탐색하고 활용했다는 차이를 보였다. 예를 들어, 예비교사 B는 인터뷰에서 “일단 제시문을 보고 최대한 제가 가지고 있는 생물 지식을 끌어와서 관점을 먼저 설정했어요”, “생명과학 2에서 배운 진화의 내용을 (생략) 그림 성선택도 여기에 쓸 수 있겠다고 생각해 가지고” (인터뷰 6, 10행) 라고 했다. 이로부터 예비교사 B가 자연선택과 관련된 다양한 요인에 관한 선지식을 활용했음이 드러난다. 풍부한 내러티브를 고안한 것으로 평가된 예비교사 C는 내러티브 작성 과정을 묻는 인터뷰 질문에 대해 “보통 동물 행동이나 걸모습이 어떻게 생겼는지를 분석할 때 기후, 지형 이런 영향을 많이 이야기 하잖아요. (생략) 후보 중에 기후, 지형, 먹이, 아니면 야행성 이런 얘기들을 먼저 생각하고 그걸 하나 하나 따져봤는데” (인터뷰 32행) 라고 답했다. 이 인터뷰 응답 또한 예비교사가 생물의 적응과 진화 양상에 영향을 미치는 환경 요인에 관한 선지식을 다양하게 활용했으며, 그 결과 풍부한 내러티브가 고안되었음을 드러낸다.

반면 낮은 수준의 평가를 받은 경우에는 원숭이의 색각에 관해 이미 알려진 정보를 확인하고자 자료를 조사했다는 특징이 있었다. 이점은 대표적으로 예비교사 G의 아래 인터뷰 응답에서 잘 드러났다.

예비교사 G: 가장 먼저 생각한 것이, 현대 구대륙 신대륙의 차이를 보기 보다는 왜 8천만 년 전에는 이색형이 있었는지부터 들어가야 된다고 생각해, 시초부터 찾는다 해서 7~8천만 년 전 원숭이들의 특징을 먼저 생각을 해봤고, 그게 어떻게 이어지는지 찾고자 하여서 가장 먼저 그때 애들을 봤고요. 그다음에 그게 구대륙과 신대륙이 어떻게 이어져 왔는지를 중점으로 살펴봤고, 그 과정에서 유전자를 보려다가 유전자가 아닌 지리적 관점이랑 생태학적 관점으로 둘러싸 찾아봤습니다. (인터뷰 6, 8행)

위 인터뷰 응답으로부터 예비교사 G가 내러티브 작성 과정에서 ‘원숭이들의 특징’, 원숭이의 대륙 간 이동 과정에 관한 정보를 찾아 보았다는 점을 알 수 있다. 실제로 예비교사 G의 내러티브에서도 원숭이의 분류, 원숭이의 대륙 이동 과정에 관한 문헌 자료가 인용되어 있었다(Figure 7). 해당 내용은 주로 예비교사 G가 찾은 문헌 자료를 재진술하는 데 그쳐, 예비교사 G의 경우에는 다양한 내러티브의 가능성을 염두에 두고 자료를 찾기보다는 주어진 주제와 관련하여 과학자가 이미 도출한 정보만을 찾아내고자 하였음이 드러난다. 이는 다양한 자연선택 과정을 고민하며 여러 선지식을 떠올린 예비교사 B, C의 내러티브 고안 과정과 대비된다.

나. 맥락적 변용

풍부한 내러티브 고안 과정의 두 번째 특징으로서 맥락적 변용(adaptation)이란 해당 자원들을 문제에 주어진 현상을 설명하기에 적절한 것으로 바꾸어 사용하였음을 말한다. 예컨대, 앞서 풍부한 내러티브의 특징 중 하나로 언급된 인과적 결합 또한 낱말의 사건들을 문제 현상을 설명할 수 있는 연쇄적 사건들로 재배치하였다는 점에서 맥락적 변용의 일종이라고 할 수 있다. 그런데 예비 교사들은 다양한 자원들을 내러티브의 틀로 활용하는 과정에서 자원의 내용을 문제의 맥락에 맞추어 수정함으로써 또 다른 맥락적 변용의 모습을 보여 주었다. 예컨대, ‘자연선택’은 다양한 변이를 갖고 있던 집단에서, 특정 형질에 유리한 환경이 조성되면, 해당 형질이 다음 세대에게 더 많이 전달되어 점차 우점되는 일련의 과정으로 요약할 수 있다. 예비교사들은 이를 내러티브의 틀로 활용하면서 유전적인 변이뿐만 아니라 기후, 지형, 먹이, 성선택 방식 등을 자연선택에 영향을 미칠 수 있는 환경 요인으로 염두에 두고 주어진 현상에 맞추어 각각을 더욱 구체화 하였다. 즉, ‘다양한 변이’를 원숭이의 3색형 색각과 2색형 색각의 형질로 구체화하였으며, 두 형질 중 하나가 우점되는 과정을 초래한 환경 요인은 붉은 색을 띤 먹이, 포식자 등으로 구체화하였다. 이와 같은 맥락적 변용의 수행은 아래와 같은 예비교사 인터뷰 발화로부터도 잘 드러난다.

어떠한 연구팀이 분석한 전세계의 원숭이의 색각을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 7~8천만년 전에는 2색형 색각 원숭이들이 분포하였다
- 현재는 구대륙에는 3색형 색각, 신대륙에는 주로 2색형 색각

7~8천만년 이전은 백악기 시기이다. 최초의 영장류는 백악기부터 존재하였고, 이때의 포유류는 공룡과 공생하였다. 현대의 원숭이는 원원류와 진원류로 나누며, 원원류에는 여우원숭이, 로리스하목, 안경원숭이로 나누며, 진원류에는 신세계원숭이, 구세계원숭이, 유인원이 존재한다. 이때, 신대륙 원숭이가 광비원류, 구대륙 원숭이와 유인원이 협비원류로 나뉜다. 위와 같은 상황에서, 생각할 수 있는 것은, 크게 2가지가 존재한다고 생각한다. 우선은 과거와 현대의 차이를 통해 추측할 것이다. 백악기 때는 원숭이가 야행성으로 움직였지만, 현대의 원숭이는 주행성이다. 대부분의 생명체는 생존에 유리한 방향으로 진화해 나가는 것을 생각해볼 때, 과거에는 초록색과 파란색의 먹이 혹은, 포식자가 많았지만, 신대륙으로 이동한 원숭이들의 경우에는, 붉은색을 인식해야 할 필요가 있었기에, 붉은색 색각을 지니지 못한 원숭이들이 멸종한 것으로 추측할 수 있다. (Ji, Q. Luo et al., 2002)

두 번째 추측으로는, 바로 지리학적 요인이다.

7~8천만년 이전에는 아래 그림과 같이 대륙이 붙어있었다. 그렇기에, 구대륙과 신대륙의 구분이 없었으며, 원숭이들이 다양한 지역을 옮겨다니며 살 수 있었다. 그러나, 현대의 대륙을 본다면, 구대륙과 신대륙이 구분되어있다. 3500만년전에 판이 갈라지며, 진원류의 광비원류와 협비원류가 분리된 것으로 볼 수 있다. (USGS)

(백악기와 현대의 대륙 분포 그림 삽입)

Figure 7. A part of the narrative produced by preservice teacher G

예비교사 B: 일단 제시문을 보고 최대한 제가 가지고 있는 생물 지식 같은 것을 좀 끌어와서 관점을 먼저 설정했어요. 예를 들어서, '사냥의 관점' 아니면 '먹이의 관점' 아니면 '성 선택의 관점' 이렇게 관점을 우선 선택을 한 다음에, 제가 말하고 싶은 내용을 먼저 썼던 것 같아요. 이렇게 일단 논리적으로 쓰고, 거기서 필요한 전제를 꺼내서 전제를 쓰고. 그렇다면 이 전제가 사실이라는 것을 증명하기 위해서는 어떤 근거가 필요한가 찾아서 쓰는데, 인터넷에 나와 있지 않은 자료들은 제가 직접 실험 설계를 해서 썼던 것 같아요. (인터뷰 6행)

예비교사 F: 2색각과 3색각 원숭이가 구대륙 대륙에 따라서 형질 차이를 보인다. 왜 보일까. [라는 질문에 대한] 주된 답변을 먼저 생각해 왔거든요. 제가 그런 추론을 할 때 항상 선택지를 3개를 만드는 걸 좋아해서, 이 과정을 할 때도 3개로 나눠서 주된 답변을 만들었어요. 그때 첫 번째 답변이 이제 '지리적인 격리와 서식지 환경 차이 때문에 색깔 차이가 나타난 거다' 였고, 두 번째 답변은 '색깔의 차이가 나타난 건 맞는데 그게 지리적 환경 때문인 게 아니라, 간접적으로 그러니까 지리적 환경 차이 때문에 어떤 형질 a의 차이가 나타났고 형질 a와 색의 차이는 있는데 지리적인 요인과 색깔은 차이가 없다.' 이런 느낌으로 두 번째를 했거든요. 그리고 세 번째는 아예 '형질 차이가 있는 건 맞지만 이건 그냥 우연일 뿐이다' 이런 식으로 나갔던 것 같아요. (인터뷰 22행)

예비교사들의 인터뷰와 산출물에서 알 수 있듯이, 자연선택이라는 큰 사고의 틀은 원숭이 집단이 거처온 과거 시간에 무엇이 주요 요소로 작용했는지 파악할 수 있는 내용으로 수정되었다. 이는 자연선택이 일어난 집단이 지닌 여러 형질들 중에서 특정한 형질을 내러티브의 행위자로 묘사하고, 시·공간적 환경을 그 행위자에게 영향을 미친 요인들로 구체화하였기 때문에 가능한 것이었다. 다시 말해, 예비교사들은 자연선택이라는 자원을 문제의 맥락에 맞도록 정교하게 수정하는 맥락적 변용을 통해 구대륙과 신대륙의 어떠한 환경적 요인으로 인해 3색형, 2색형 색각의 원숭이가 우점하게 되었는지, 두 대륙의 환경이 어떻게 달랐기에 서로 다른 형질의 원숭이가 우점하게 되었는지에 대한 질문을 던지고 이에 답할 수 있었다.

다. 사건들의 선후 및 위계 관계에 관한 가설적 추론

풍부한 내러티브를 고안할 때의 또 다른 초점은 여러 사건들의 선후 관계나 위계적 관계에 관해 추론하는 것이었다. 예를 들어, 예비교사 C는 구대륙과 신대륙의 분리, 3색형 색각의 원숭이 출현 간 선후 관계가 어떠한가를 고민하여 두 사건의 선후 관계에 따라 세 가지 서로 다른 가설을 제시했다. 그리고 세 가지 각 경우에 어떻게 해서 구대륙과 신대륙에 서로 다른 원숭이 분포가 나타났는지 인과적으로 설명이 되도록 내러티브를 작성했다. 즉, 예비교사 C는 과거에 일어났을 것으로 추정되는 두 사건이 어떤 특정한 순서로 배열되었을 때 현재에 나타나는 원숭이 분포를 설명할 수 있는지에 관한 서로 다른 가설들을 비교하였다. 이러한 사고 과정에는 오랜 시간에 걸쳐 과거에 일어난 일들의 인과적 관계를 모두 명료하게 밝혀내기 어렵다는 역사과학의 특징이 반영된 것으로 볼 수 있다. 또한 이러한 예비교사 C의 내러티브는 요인들의 법칙적 관계를 통해 어떠한 현상이 일어날지 예측하는 확정적인 추론 방식과 차이가 있다.

풍부한 내러티브에서는 '현재 나타나는 두 대상의 구조적 차이가 나타나게 된 과정'을 설명하기 위해 미시적인 수준의 과정을 함께

제시하였다. 예를 들어, 예비교사 C는 LWS 유전자가 어떻게 나타났는지에 관하여 유전자 중복, 염기치환의 과정을 포함한 가설적 과정을 함께 제안하였다. 이는 가시적으로 보이는 형질이 유전자, 염기 서열의 차이 등에 기인할 수 있다는 과학 지식을 활용하면서 나타나게 된 것으로 여겨진다. 이점은 예비교사 F의 아래 인터뷰 발화에서도 잘 드러난다.

예비교사 F: 제 기억에는 이제 1학기 때 제가 발생학과 생명과학 실험 및 지도법 2라는 과목을 들었는데 그때 교수님의 가르침 덕에 유전자 연구에 대한 기억이 많이 남아 있는 상태였던 것 같아요. 그래서 그때도 이제 이 두 번째 추론 같은 경우에도 유전자 연구를 보면 가끔씩 이제 연관된 유전자 같은 게 있잖아요. 그래서 실제로 경 실제로 영향을 받은 거는 예를 들어 유전자 a인데 하필이면 유전자 a랑 b가 같이 붙어 있어서 b도 같이 영향을 받게 됐다. 이런 느낌으로 또 구성을 하려고 했던 것 같아요. 그래서 뭔가 배운 내용을 좀 더 활용하고 싶어 했던 그랬던 생각이 들 그랬던 기억이 나요. (인터뷰 22행)

이와는 달리 낮은 수준의 평가를 받은 내러티브를 고안한 예비교사들의 경우에는 여러 사건들 간의 관계에 대한 가설적 추론이 부족하였다. 내러티브를 작성한 과정에 대한 예비교사 E의 아래 인터뷰 응답은 이를 드러낸다.

예비교사 E: 자료 중에 (생략) 이제 파장에 관련된 그래프가 있었잖아요. 근데 물리 전공하는 친구들이 파장이 비슷하다고 해서 유전자의 산물이 비슷하다고 주장하는 것은 오류가 있다고, 물리학적으로 생각해 봤을 때 파장이 비슷하다고 해서 단백질 산물이 물리적으로 비슷할까, 거는 아니라고 생각하는 거예요. 그래서 제가 깨달았던 게, 그러면 그 염색체가 비슷한 자리에 있다면 그러면 그런 자료가 있어야지 말이 되겠다. 이런 거를 친구들이랑 얘기하면서 얻을 수 있었고요 ... 그리고 한 가지 또 참고했던 거는, 판게아 초대륙 상태에서 대륙이 찢어지면서 지리적인 격리로 인한 종분화가 일어난다는 거를 일반 생물학 시간에 배웠던 것 같은 한데, 그게 약간 긴가민가 해서 일반 생물학 책을 펴니까 진짜 그런 종 분화에 대한 예시가 여러 가지 있더라고요. 그래서 그거를 원숭이한테도 적용해 볼 수 있을 것 같다는 힌트를 얻어서 (생략) 나머지는 다 그냥 제가 생각했던 걸 적은 것 같아요. (인터뷰 22행)

예비교사 E는 주어진 현상과 관련된 단서로부터 과거에 일어났을 것으로 추정되는 사건으로의 추론 과정이 확실한 것인지, 주어진 현상을 설명하기 위해 차용하는 과학적 설명의 내용이 정확한지 검토하는데 집중했다. 이 과정에서 과거 사건들 간 인과 또는 위계 관계를 다양하게 검토하지 못하였고, Figure 5의 도식으로 요약된 바와 같이, 자연선택에 관한 일반화된 이론을 바탕으로 개체군의 층위만을 포함한 비교적 단순한 내러티브를 고안하게 되었다.

낮은 평가를 받은 또 다른 예로 예비교사 G의 내러티브가 있다 (Figure 7). 예비교사 G의 내러티브는 과거 원숭이가 살던 환경에 대한 간략한 기술로부터 출발한다. 그리고 현재 존재하는 원숭이의 계통, 구대륙과 신대륙에 존재하는 원숭이에 대한 일반화된 정보를 진술한다. 그리고 과거와 현재의 원숭이가 지닌 특성, 주행성과 야행성 여부를 언급하고, 이를 바탕으로 보았을 때 생각되는 신대륙에서의 자연선택 과정이 기술된다. 그리고 이와 별개로 구대륙과 신대륙의 분리에 관한 설명이 제시되어 있다. 예비교사 G의 내러티브는 탐구 주제와 관련된 정보들은 모았으나, 해당 정보들이 '7~8천만년 전'의

원숭이 분포로부터 현재의 원숭이 분포에 이르기까지의 과정상 어떠한 순서로 연결되는 것인지에 관한 추론이 명료히 드러나지 않는다. 즉, 원숭이와 관련된 정보와 과거에 일어났을 사건들을 단편적으로 제시하고 있으나, 이를 인과적으로 납득이 되는 하나의 가설적 내러티브로 엮어내지 못한 것이다.

예비교사 E, G의 내러티브를 비교하였을 때 드러나듯이, 예비교사 C의 내러티브는 여러 사건들 간 선후 관계에 관한 여러 가지 가설들을 고민하며 내러티브가 더 다양해지고, 주요 사건들을 배치한 뒤 납득 가능한 설명을 고안하는 과정에서 논리적 구성을 갖추게 되었다. 그리고 자연현상에 대해 설명하기 위해 미시적 층위의 현상에 주목하면서 여러 층위에서의 내러티브를 엮고 더 풍부한 내러티브가 고안되었다.

IV. 논의 및 결론

본 연구는 역사과학 분야 주제의 탐구 활동에서 예비교사가 고안한 풍부한 내러티브의 특징을 도출하고, 그러한 내러티브를 고안한 과정의 주요 특징을 탐색했다. 풍부한 내러티브의 주요 특징으로는 콘텐츠의 다양성, 인과적 결합, 시기와 장소에 대한 구체적 묘사, 여러 단계의 층위가 도출되었다. 콘텐츠의 다양성은 과거에 일어났을 수 있는 사건을 다양한 방식으로 엮어 제시한 것을 의미하며, 인과적 결합은 여러 사건들의 순서와 선후 관계가 얼마나 인과적으로 납득이 가도록 배치되고 엮였는지를 의미한다. 이 두 특성과 더불어, 시기와 장소가 구체적으로 묘사되고, 여러 층위에서의 이야기가 얽혀 있을 때에 풍부한 내러티브로서 좋은 평가를 받았다. 풍부한 내러티브를 고안한 과정의 주요 특징으로는 다양한 자원의 활용, 수집한 자원의 맥락적 변용, 사건들의 선후 및 위계 관계에 관한 가설적 추론이 있었다.

본 연구는 다음과 같은 시사점을 지닌다. 먼저, 본 연구는 풍부한 내러티브의 특징을 도출함으로써 역사과학 분야의 탐구 활동에서 학생들이 고안한 내러티브를 이해할 수 있는 관점을 제시한다. 이는 역사과학 주제의 탐구 활동에서 내러티브 고안 과정에 대한 평가 및 지도 틀로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 역사과학 주제의 탐구 활동에서는 탐구 현상 속 요인들 간 상호작용을 통해 인과적으로 기존 상태의 변화를 설명하기 쉽지 않다(Cleland, 2001). 이에 실험과학에서 고안하는 설명에 비해 역사과학에서는 우연성을 감안하고, 과거에 일어났을 것으로 예상되는 사건들을 구체적이며 다양하게 고안 및 검토해보는 것이 중요하게 여겨진다(Cleland, 2002; Currie, 2014; Norris et al., 2005). 본 연구에서 도출한 내러티브의 특징을 준거로 학생 글쓰기를 검토함으로써, 역사과학 주제의 글쓰기에 보다 적합한 교수 지원을 할 수 있을 것으로 기대한다.

또한 본 연구는 풍부한 내러티브를 고안하는 과정의 세 가지 주요 특징을 밝혔다. 이는 추후 역사과학 분야의 주제를 중심으로 한 탐구 활동에서 학생이 과학적 개념을 활용하여 풍부한 내러티브를 고안할 수 있도록 지원하는 교수 전략을 고안하는 데 활용할 수 있을 것이다. 예를 들어, 학생들이 탐구 활동에서 자신의 선지식, 이미 학습한 과학 지식, 새로운 정보 등을 내러티브 고안을 위한 여러 가지 자원으로 활용할 수 있도록 지원할 수 있을 것이다(Oh, 2024). 또한 두 번째 특징이었던 맥락적 변용을 참고했을 때, 학생들이 다양한 자원을 주

어진 현상에 맞추어 귀추적 추론을 통해 창의적으로 변용할 수 있도록 권장하는 것이 또 다른 교수 전략이 될 수 있을 것이다. 특히 ‘풍부한’ 내러티브는 다양한 아이디어를 제시하는 것을 더욱 환영하는 관점이라 할 수 있기에, 역사과학 주제의 탐구 활동은 학생들이 수집한 여러 자원들을 다양하게 적용하는 과정에서 학생의 사고가 주를 이루고 학생의 행위주체성을 지원하는 데 유용한 활동이라 할 수 있다. 이점을 충분히 활용하여, 학생의 창의적 변용을 권장하는 교수 전략이 가능할 것으로 기대한다.

풍부한 내러티브 고안 과정이 지닌 세 번째 특징은 사건들의 선후 및 위계 관계에 관한 가설적 추론이었다. 이점을 염두에 두어, 과거에 일어났을 것으로 여겨지는 사건들이 어떠한 순서로 이루어졌을 때 현재 발견되는 단서들이 존재하게 되었는지 납득 가능한 설명을 고안하도록 장려하는 교수 전략이 가능할 수 있을 것으로 생각된다. 역사과학에서는 특히 과거의 거대한 시간 흐름 속에서 이루어진 과정을 탐색한다는 점에서, 본 연구에서 탐색한 원숭이에 관한 탐구 활동에서와 같이 진화에 대한 선지식이 내러티브를 고안하는 기반으로 활용될 가능성이 높다. 이점을 염두에 두어, 학생이 기존에 알고 있는 진화 과정을 먼저 이끌어내고, 탐구 현상 속 행위자나 시·공간적 배경이 어떻게 서로 영향을 주어 변화하거나 움직였기에 현재 발견되는 단서가 나타났는지 고민해 보도록 지원할 수 있을 것이다. 이를 통해 논리적 연결 고리를 지닌 다양한 내러티브들을 고안하도록 촉진할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구는 예비교사교육의 맥락에서 활용 가능한 역사과학 주제의 탐구 활동을 제시한다는 점에서 의의를 지닌다. 선행문헌(Ault Jr. & Dodick, 2010; Gray, 2014; King & Achiam, 2017; Sousa, 2016)에서는 실험과학과 함께 역사과학을 고려함으로써 다양한 과학의 모습을 과학교육에 반영하고자 주장되어 왔다. 하지만 선행문헌에서는 (예비)교사의 역사과학에 대한 이해나 교수 전문성 향상에 관한 논의가 크게 전개되지 않았다. 본 연구에서 고안한 역사과학 주제의 탐구 활동을 예비교사가 경험함으로써, 그들이 추후 학교 현장에서 더 다양한 탐구 활동을 설계하고 도입하고, 다양한 과학의 모습을 학생들에게 보여줄 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구는 역사과학 주제의 탐구 활동에서 예비교사가 고안한 내러티브 및 내러티브 고안 과정의 특징을 도출함으로써, 예비교사가 고안하는 내러티브를 진단하고 더 풍부한 내러티브를 고안하도록 지원할 수 있는 방안을 마련하는 데 유용한 정보를 제공한다.

다만 본 연구에서는 예비교사의 내러티브 고안 과정을 탐색하였으며, 초·중등 학생의 활동은 다른 특성을 지닐 수 있다. 이를 알아보기 위해서는 실제 초·중등 학교의 맥락에 역사과학 주제의 탐구 활동을 도입하고 이 활동에서 이루어지는 학생의 내러티브 고안 과정을 탐색할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서 개발된 탐구 활동을 예시로 하여, 초·중등학교의 맥락에 적합한 역사과학 주제의 탐구 활동을 개발 및 도입할 수 있을 것이다. 생태학 등 여러 과학 분야에서 실험과 학과 역사과학의 성격이 함께 나타난다는 점을 고려하여, 실험과학과 역사과학의 성격을 모두 고려한 탐구 학습 자료 개발도 이루어질 수 있을 것으로 기대한다. 그리고 이러한 탐구활동에서 학생의 내러티브 고안 과정을 탐색하여 초·중등 학생의 내러티브 고안을 지원하는 교수학습 방안을 도출하고, 역사과학 주제의 탐구 활동에 관한 교사 교육 방안을 보완할 수 있을 것이다. 본 연구는 과학교육에서 역사과

학을 다루고 학생들이 다양한 과학의 모습을 이해할 수 있도록 지원하기 위한 방안을 마련하는 데에 기여할 것으로 기대한다.

국문요약

과학은 하나로 통일할 수 없는 다양한 분야들을 포함하며, 과학교육에서는 이러한 다양한 과학의 면모를 담아낼 필요가 있다고 주장된다. 본 연구는 역사과학 주제를 다룬 탐구 활동을 예비교사교육에 도입하고, 이 활동에서 예비교사가 고안한 풍부한 내러티브의 특성과 그러한 내러티브를 고안한 과정의 주요 특징을 도출하고자 했다. 이를 위해 역사과학 주제의 탐구 활동에 참여한 예비교사들이 고안한 내러티브를 수집했다. 그리고 이들에게 내러티브 고안 과정에 대해 묻는 인터뷰를 진행하고, 인터뷰를 녹음 및 전사하여 연구 자료로 활용했다. 내러티브를 전공한 전문가에게 예비교사들이 산출한 내러티브에 대한 평가를 요청했으며, 평가의 이유를 묻는 자문 인터뷰를 진행했다. 자문 인터뷰 또한 녹음 및 전사하여 연구 자료로 활용했다. 전문가의 평가 결과와 이유를 중심으로 높은 평가를 받은 내러티브가 지니는 특성과 그 내러티브가 고안된 과정의 특성을 질적으로 분석했다. 분석 결과, 풍부한 내러티브의 주요 특징으로는 콘텐츠의 다양성, 인과적 결합, 시기와 장소에 대한 구체적 묘사, 여러 단계의 층위가 도출되었다. 콘텐츠의 다양성은 과거에 일어났을 수 있는 사건을 다양한 방식으로 엮어 제시한 것을 의미하며, 인과적 결합은 여러 사건들의 순서와 선후 관계가 얼마나 인과적으로 납득이 가도록 배치되고 엮였는지를 의미한다. 이 두 특성과 더불어, 시기와 장소가 구체적으로 묘사되고, 여러 층위에서의 이야기가 얽혀 있을 때에 풍부한 내러티브로서 좋은 평가를 받았다. 풍부한 내러티브를 고안한 추론 과정의 주요 특징으로는 다양한 자원의 활용, 자원의 맥락적 변용, 사건들의 선후 및 위계 관계에 관한 가설적 추론이 있었다. 이 연구는 과학교육에서 역사과학을 다루고 학생들이 다양한 과학의 모습을 이해할 수 있도록 지원하기 위한 방안을 마련하는 데에 기여할 것으로 기대한다.

주제어 : 역사과학, 역사과학 탐구활동, 내러티브, 서사적 설명

References

- Achiam, M., Simony, L., & Lindow, B. E. K. (2016). Objects prompt authentic scientific activities among learners in a museum programme. *International Journal of Science Education*, 38(6), 1012-1035.
- Ault Jr., C. R., & Dodick, J. (2010). Tracking the footprints puzzle: The problematic persistence of science-as-process in teaching the nature

- and culture of science. *Science Education*, 94(6), 1092-1122.
- Brandon, R. N. (1997). Does biology have laws? The experimental evidence. *Philosophy of Science*, 64, S444-S457.
- Cleland, C. E. (2001). Historical science, experimental science, and the scientific method. *Geology*, 29(11), 987-990.
- Cleland, C. E. (2002). Methodological and epistemic differences between historical science and experimental science. *Philosophy of Science*, 69, 474-496.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Currie, A. M. (2014). Narratives, mechanisms and progress in historical science. *Synthesis*, 191, 1163-1183.
- Currie, A., & Sterelny, K. (2017). In defense of story-telling. *Studies in History and Philosophy of Science*, 62, 14-21.
- Evo-Ed (n.d.). Primate color vision. Evo-Ed. Retrieved Feb 8th, 2024, <https://evo-ed.org/primate-color-vision/biological-processes/>
- Glennan, S. (2010). Ephemeral mechanisms and historical explanation. *Erkenn*, 72, 251-266.
- Gray, R. (2014). The distinction between experimental and historical sciences as a framework for improving classroom inquiry. *Science Education*, 98(2), 327-341.
- Gray, R., & Kang, N. -H. (2012). The structure of scientific arguments by secondary science teachers: Comparison of experimental and historical science topics. *International Journal of Science Education*, 36(1), 46-65.
- King, H., & Achiam, M. (2017). The case for natural history. *Science & Education*, 26, 125-139.
- Klassen, S. (2006). The science thought experiment: How might it be used profitably in the classroom? *Interchange*, 37, 77-96.
- Kranke, N. (2022). Two kinds of historical explanation in evolutionary biology. *Biology & Philosophy*, 37(17), 37(17). <https://doi.org/10.1007/s10539-022-09848-z>
- Liu, H., Chen, B., Chen, K., & Jing, Y. (2023). Investigating preservice chemistry teachers' understanding and views about the diversity of scientific methods. *Journal of Chemical Education*, 100(6), 2292-2302.
- Oh, P. S. (2020). An exploration of narrative explanation as a type of scientific explanation: Based on textbook explanations of El Liño. *Journal of Energy and Climate Change Education*, 10(1), 13-24.
- Oh, P. S. (2023). Abduction in earth science education. In L. Magnani (Ed.), *Handbook of abductive cognition* (pp. 1055-1084). Springer Nature Switzerland AG.
- Oh, P. S. (2024). How a student uses knowledge as a resource to solve scientific problems: A case study on science learning as rediscovery. *Science & Education*, 33(1), 213-247.
- Nair, R. B. (2014). Narrative as a mode of explanation: Evolution and emergence. In M. Lissack & A. Graber (eds.), *Modes of explanation: Affordances for action and prediction* (pp. 151-159). Palgrave Macmillan.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89, 535-563.
- Sander, P. M., & Clauss, M. (2011). Sauropod gigantism. *Science*, 322, 200-201.
- Sousa, C. (2016). The scientific methods of biology, starting with Charles Darwin. *The American Biology Teacher*, 78(2), 109-117.

저자정보

하희수(남양이공대학교 교수)
오필석(경인교육대학교 교수)