

초등학생들의 과학 글쓰기에 나타난 과학적 추론의 유형과 수준

임옥기 · 김효남[†]

Scientific Reasoning Types and Levels in Science Writings of Elementary School Students

Lim, Ok-Ki · Kim, Hyo-Nam[†]

ABSTRACT

The purpose of this research is to know the scientific reasoning ability of elementary students. In order to find it, 320 elementary students wrote a report about germination of the 700 or 2,000 years old seeds. Their writings were analyzed by scientific writing analysis frameworks, Scientific Reasoning Types and Scientific Reasoning Level Criteria developed by Lim (2018). Minto Pyramid Principles was used to show statements and relations of statements related to scientific reasoning. This paper showed scientific reasoning statements of elementary students about germination of seeds. The characteristics of scientific reasoning of elementary students were as follows. In the process of logical writing by the types of scientific reasoning, many students showed various characteristics and different levels. In the writings based on inductive reasoning, they did not distinguish between common features and differences of cases, and did not derive the rules based on common features and differences of the cases. In the writings based on deductive reasoning, there were cases where the major premise corresponding to the principle or rule was omitted and only the phenomenon was described, or the rule was presented but not connected with the case. In the writings based on abductive reasoning, the ability to selectively use the background knowledge related to the question situation was not sufficient, and borrowing of similar background knowledge, which was commonly used in other situations, was very rare.

Key words: scientific reasoning, scientific writing, inductive reasoning, deductive reasoning, abductive reasoning

I. 서 론

우리나라 2015년 개정 교육과정에서 제시하고 있는 과학과 핵심역량 중 하나가 과학적 사고능력이다. 과학적 사고능력에 대한 견해는 연구자에 따라 다양하다. Kuhn (2010)은 과학적 사고능력은 이론과 증거의 조정을 통해 지식을 추구하는 능력으로 보았다. 즉, 불완전하고 부정확한 암묵적인 이론은 새로운 증거와 만날 때 변화되어 지식 습득으로 이어진다고 보았다. 과학적 사고의 기원은 인식론적 이해의 성취와 관련 있는 것으로, 아주 어린 아이들도 세상을 이해하는 수단으로 증거에 직면했을 때 그들 나름대로 자신의 암묵적인 이론과 조정

을 이루면서 성숙한 과학적 사고로 발전한다(Kuhn & Pearsall, 2000). Zimmerman (2007)은 과학적 사고는 개념 변화 또는 과학적 이해를 돕는 탐구, 실험, 증거 평가, 그리고 추론에 필요한 기능을 포함하는 것으로, 지식 획득과 변화의 과정에서 인지능력, 메타인지 능력 그리고 많은 양의 연습과 실천을 요구하는 능력들의 발달과 통합의 복잡한 세트에 이루어진다고 하였다. 이러한 과학적 사고의 발달은 학생들뿐만 아니라, 성인도 완전히 숙달되지 않을 수 있다고 하였다.

과학적 사고능력의 중요한 영역이 과학적 추론 능력이라고 볼 수 있다(Lawson, 1995). 과학적 추론 능력은 과학의 본성을 언급할 때 자주 나오는 용어

이 논문은 임옥기의 2018년도 박사 학위논문에서 발췌 정리하였음.

2018.9.20(접수), 2018.11.5(1심통과), 2018.11.14(2심통과), 2018.11.23(3심통과), 2018.11.26(최종통과)

E-mail: hyonam@knu.ac.kr(김효남)

이다. 과학의 본성을 지식, 과정, 사고 과정으로 볼 때 사고 과정 중 중요한 영역이 과학적 추론이라고 볼 수 있다. 과학적 추론능력은 일반적으로 세 가지 유형, 즉 귀납적 추론능력, 연역적 추론능력, 그리고 귀추적 추론능력으로 나누어진다. 일반적으로 논리 전개 방법을 말할 때는 귀납법(induction)과 연역법(deduction)으로 구분한다. 아리스토텔레스가 연역법과 귀납법을 다루었지만, 귀추법은 상세히 분석하지 않았다(Fischer, 2001). 그런데 Peirce(CP, 1931~1958)가 귀추법을 정립하면서 과학적 추론을 귀납적 추론, 연역적 추론, 귀추적 추론 3가지로 구분하였다. Lawson (1995)과 Fischer (2001)가 과학 철학사를 고려해 과학적 추론 과정을 귀납, 연역, 그리고 귀추적 추론으로 나누어 과학 교육적 의미를 보완하여 설명하였다.

귀납적 추론은 주어진 현상이나 상황 내에서, 개개의 구체적인 사례나 현상의 관찰 사실들의 규칙성을 발견하여 현상에 대해 일반화하는 추론을 말한다(Kwan *et al.*, 2003b; Lee *et al.*, 2013; Lawson, 1995; Fischer, 2001; Peirce, CP 2.623). 연역적 추론은 원리나 법칙으로부터 특수한 사례를 설명하거나 예측하고(Joung & Song, 2006; Fischer, 2001; Peirce, CP 2.623), 가설을 검증하여 결론을 도출하는 추론을 말한다. 귀추적 추론은 미지의 현상에 대해 그 현상이 왜 일어났는지를 배경지식이나 경험적 정보를 토대로 잠정적인 설명가설을 생성하여 인과적 의문 상황을 설명하는 추론을 말한다(Kwon *et al.*, 2000; Fischer, 2001; Lawson, 1995; Peirce, CP 5.171).

한편, 과학교육에서 최근 주목을 받고 있는 과학 글쓰기는 1960년대 영국에서부터 그 중요성이 다시 강조되면서(Rivard, 1994), 전통적으로 글쓰기가 평가의 역할을 하던 것에서 과학 학습의 한 형태로 글쓰기를 사용하는 것으로 관심이 증가하였다(Keys, 1999; Rivard, 1994). Langer and Applebee (1987)는 학습을 위한 가장 중요한 매개체로 언어의 역할을 강조하였다. Jang and Hand (2016) 및 Keys (1999)는 과학 언어의 특징을 토대로 과학 학습에 대한 이해를 높이기 위한 학습 전략의 하나로 과학 글쓰기를 강조하였다. 글쓰기를 통하여 해당 학문 분야의 원리와 개념을 배우는 것을 강조하는 범교과 글쓰기(Writing Across the Curriculum, WAC) 운동의 일환인 학습을 위한 글쓰기(Writing to learn)의 영향으로

과학 교육에서도 개념 학습을 촉진하기 위한 학습 형태의 하나로 과학 글쓰기가 이루어졌다(Keys, 1999; Rivard, 1994). Klein (2000)의 연구는 과학 학습을 위한 글쓰기 활동이 초등학생들에게도 적절한 학습 도구가 될 수 있음을 시사하였다. 과학 글쓰기는 학습자가 과학적 탐구에 참여하도록 촉진하고, 반성적인 환경을 조성하여 새로운 과학 지식 생산을 촉구하며(Keys, 1999), 과학적 의사소통을 원활하게 한다(Owens, 2001).

과학 글쓰기는 과학 학습의 하나의 방법으로, 학생들에게 과학적 추론을 할 수 있는 기회를 제공한다(Keys *et al.*, 1999; Greenstein, 2013; Shin *et al.*, 2013). 과학 글쓰기를 통하여 과학적 추론이 나타난다. 과학적 추론은 언어를 통하여 나타날 수밖에 없다. 과학적 추론은 자연현상에 대한 담화에서 나타나기도 하지만, 과학 글쓰기를 통하여서도 나타난다. 많은 학생들의 과학적 추론 사례를 얻기 위해서는 담화보다는 과학 글쓰기가 더 효율적이다. 또한 학습자가 자신의 생각을 명료화 하고 사고하는 과정과 내용을 글로 표현함으로써 과학적 지식을 형성하고(Shin *et al.*, 2013; Prain, 2006), 사고를 촉진하여 과학 학습을 도울 수 있다(Greenstein, 2013). 그리고 Gunel *et al.* (2009)은 과학 글쓰기가 과학 개념에 대한 이해를 향상시킨다고 하였다. 과학 글쓰기는 과학 정보를 효과적으로 전달하며(Matthews & Matthews, 2014), 비판적으로 사고하고 실험 자료의 의미에 대해 추론할 수 있는 기회를 학생들에게 제공하여 과학적 소양을 발달시키는 역할을 한다(Keys *et al.*, 1999).

학생들의 과학 글쓰기에서 과학적 추론이 나타나도록 안내하고, 이를 분석하여 학생들의 과학적 추론 유형과 수준을 파악하는 것이 이 연구의 목적이다. 파악된 학생들의 과학적 유형과 수준은 학생들의 과학적 추론 능력을 향상시키고, 더 나아가 과학적 사고력을 함양시키는 방법을 모색하는 위한 기초자료가 될 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 자료 수집 방법

서울시에 소재한 초등학교 3, 4, 5, 6학년 학생 320명의 과학 글이 이 연구의 대상이다. 과학 글쓰기 과제는 700년 전 연꽃 씨앗과 2,000년 전 대추야

자 씨앗이 싹이 터서 자라게 되었다는 이야기를 사진과 함께 제시하고, 이에 대한 의견을 자유롭게 쓰도록 하는 것이다(Lim, 2018). 과학 글쓰기 과제는 과학교육전문가 2인과 국어교육전문가 1인에 의하여 타당도가 검증되었다. 글을 쓰는 과정은 다음과 같이 안내되었다.

- 가. 글을 다시 읽으면서 중요한 내용에 밑줄을 그어 보세요.
- 나. 글에서 중요한 낱말을 찾아 써 보세요. 그리고 이 글에는 없지만 자신이 아는 낱말을 함께 써도 좋습니다.
- 다. 오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 어떻게 싹이 틀 수 있었을까요?
(1번과 2번 내용을 활용해서 이 기사를 읽지 않은 친구에게 설명하는 글을 써 보세요.)

검사 소요시간은 대략 40분 정도로 예상됨을 알리고, 필요한 경우 담당 교사에게 추가 검사시간 요구가 가능함을 알려 주었다. 이와 같은 안내를 받으며 작성된 과학 글 320편 중 과학적 추론이 포함된 230편의 글을 대상으로 과학적 추론 유형과 수준을 분석하였다.

2. 자료 분석 방법

과학 글의 유형별 수준을 분석하기 위하여 Table 1, Table 2와 Table 3의 과학적 추론 유형별 수준별 상세 기준을 활용하였다. 이 수준별 상세 기준은 과학적 추론이 나타나는 230편의 글을 활용하여 5차례에 걸친 단순 무선 표집 분석, 분석자 일치도 확인 및 정기적인 협의를 통해 설정되었다(Lim, 2018). 과학적 추론 유형별 수준별 상세 기준은 과학교육전문가 2인과 국어교육전문가 1인에 의하여 타당도가 검증되었고, 분석자간 신뢰도는 현직 초등학교 교사로 대학원에서 초등과학교육을 전공하는 대학원생 5인의 지속적인 협의로 확보하였다. 또한 분석자내 신뢰도는 2주간의 간격을 두고 점검하였다. 그리고 Minto Pyramid Principle을 활용하여 (Minto, 1996) 학생들이 쓴 글을 분석하였다. Minto Pyramid Principle은 논리적으로 자료를 분류하고 도식적으로 나타내는 방법이다.

학생들이 작성한 320편 글 중 과학적 추론이 나타난 글은 230편이었고, 과학적 추론이 포함되지

않은 90편의 글들은 주어진 자료를 요약하거나 관련 없는 내용을 서술하여 과학적 추론이 전혀 나타나지 않은 글이었다. 불확실하지만 과학적 추론을 시도하는 글은 과학적 추론 유형 유형별로 분류하고, 과학적 추론 유형별 상세기준을 활용하여 그 수준을 나누었다.

1) 귀납적 추론의 수준별 상세 기준

연꽃 씨앗이 700년 동안 그리고 대추야자 씨앗이 2,000년 동안 싹이 안고 보존되었다가 발견되어 싹을 틔우고 개체 수를 늘리는 일이 어떻게 가능했는지를 해결하는 과정을, 귀납적 추론 원리에 따라 논리를 전개한 경우 귀납적 추론 글로 분류하였다. 귀납적 추론으로 분류하는 경우는 학생들이 쓴 과학 글쓰기에 귀납적 추론의 하위 범주인 현상 특징과 일반화 내용이 제시된 경우이다. 여러 가지 상이한 생각, 사건, 사실 사이의 유사점을 파악하여 하나로 묶어서 제시하거나(Minto, 1996), 공통점을 토대로 결론을 내린 경우, 두 씨앗의 ‘공통점’이나 두 씨앗의 ‘특징’을 제시하는 경우, 그리고 연꽃이나 대추야자 중 한 가지 사례에 대해 여러 가지 근거를 제시한 경우 귀납적 추론으로 분류하였다.

귀납적 추론으로 분류한 글은 수행 수준에 따라 5수준으로 나누었다. 귀납적 추론의 구체적인 상세 수준은 Table 1과 같다.

2) 연역적 추론의 수준별 상세 기준

씨앗 발아나 부패의 원리 등을 토대로 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 오랫동안 싹이 안고 보존되었다가 싹이 튼 현상을 설명하는 논리 전개를 한 경우 연역적 추론 글로 분류하였다.

연역적 추론으로 분류하는 경우는 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리 라인으로 연결되거나(Minto, 1996), 규칙이나 원리를 제시한 후 현상을 설명하는 경우, 그리고 연꽃이나 대추야자 중 한 가지 사례에 대해 근거를 한 가지만 제시하는 경우(Minto, 1996) 연역적 추론으로 분류하였다. 구체적인 상세 수준은 Table 2와 같다.

3) 귀추적 추론의 수준별 상세 기준

귀추적 추론은 미지의 현상에 대해 그 현상이 왜 일어났는지를 배경지식이나 경험적 정보를 토대로 잠정적인 설명가설을 생성하여 인과적 의문 상황

Table 1. Criteria of inductive reasoning levels

수준	상세 기준 내용
5 (상)	<ul style="list-style-type: none"> 주어진 현상의 특징을 비교하여 유사점과 차이점을 토대로 규칙을 찾아 주어진 현상에 대한 일반화를 제시한다. 여러 가지 현상 특징을 제시하고, 그 특징들의 공통점을 찾아 규칙을 제시한다. 여러 가지 상이한 특징들 사이의 유사점을 파악하여 하나로 묶어 일반화한다.
4	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 현상 특징을 제시하고, 이를 토대로 공통점을 제시하나, 일반화하지 않거나 미흡한 부분이 있다. 공통점과 차이점을 토대로 규칙을 제시하나, 일반화하지 않는다. 공통점을 토대로 일반화하나, 그 과정에 비약이 있다.
3 (중)	<ul style="list-style-type: none"> 주어진 현상의 특징과 규칙을 제시하나, 사례와 규칙의 관련성 제시가 부족하다. 유사한 특징이 있는 사례들을 제시하나, 공통점을 토대로 규칙을 제시하지 않는다. 각 현상의 특징 제시가 미흡하다.
2	<ul style="list-style-type: none"> 현상의 특징을 제시하나, 이와 관련된 공통된 규칙이 불분명하다. 현상들의 공통점을 제시하나 근거가 상당히 미흡하다. 규칙과 관련된 현상 특징 제시가 상당히 미흡하다.
1 (하)	<ul style="list-style-type: none"> 주어진 현상의 특징적인 사례만 제시한다. 부정확한 내용을 제시하고, 근거 제시가 매우 부족하다. 과제와 관련이 적거나 없는 사례만 제시하고, 이와 관련된 규칙을 제시하지 않는다.

을 설명하는 추론을 말한다(Kwon *et al.*, 2000; Lawson, 1995; Peirce, CP 5.171). 연꽃 씨앗은 700년 동안 그리고 대추야자 씨앗은 2,000년 동안 썩지 않고 보존되었다가 싹을 틔운 일반적이지 않은 현상에 대해, 왜 그러한 일이 일어났을지 의문을 갖는 것에서 귀추적 추론이 시작된다. 그리고 이러한 의문을 해결하기 위해 썩지 않고 오랫동안 보존된 다른 사례들에서 의문을 설명할 수 있는 지식을 찾아 주어진 의문 상황을 설명하는 경우 귀추적 추론 글로 분류하였다.

귀추적 추론으로 분류하는 경우는 학생들이 쓴

과학 글쓰기에 귀추적 추론의 하위 범주인 인과적 의문과 가설이 제시된 경우이다. 쓰기 과제와 관련된 인과적 의문 상황이나 의문을 제시하고, 유사 배경지식을 차용한 가설을 생성하여 의문 상황을 설명하거나, 인과적 의문을 제시하고 현상을 설명한 경우 귀추적 추론으로 분류하였다. 또한 인과적 의문이 명시적으로 드러나지 않더라도 유사성이 있는 배경지식을 차용한 가설을 생성하여 의문 상황을 설명한 경우도 귀추적 추론으로 분류하였다. 귀추적 추론의 구체적인 상세 수준은 Table 3과 같다.

귀추적 추론에서 유사 배경지식을 차용할 때, 문

Table 2. Criteria of deductive reasoning levels

수준	상세 기준 내용
5 (상)	<ul style="list-style-type: none"> 문제 상황과 관련된 원리나 법칙으로 주어진 현상에 대한 설명이나 예측을 타당하게 제시한다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결, 일관성 있게 진술한다. 대전제-소전제-결론에 해당하는 내용을 모두 진술하며, 그 관계가 서로 타당하다.
4	<ul style="list-style-type: none"> 기본 원리나 법칙인 대전제가 생략되어 논리 전개가 약간 미흡하다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결되나, 설명이 미흡한 부분이 있다. 논리 전개 순서가 바뀌어 내용을 파악하는데 어려움이 있다.
3 (중)	<ul style="list-style-type: none"> 원리나 법칙으로 주어진 현상에 대한 설명이나 예측을 하나, 타당하지 않은 부분이 있다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결되어 있으나, 기본 원리나 법칙인 대전제가 생략되어 있다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결되어 있으나, 근거 제시가 부족하여 설명이나 예측이 미흡하다.
2	<ul style="list-style-type: none"> 각 진술 간 관련성 제시가 상당히 부족하여 타당성이 낮다. 규칙만 제시하고 사례와 연결하여 제시하지 않거나, 현상 설명만 하고 원리나 법칙 제시가 불분명하다.
1 (하)	<ul style="list-style-type: none"> 원리나 법칙, 현상에 대한 설명이나 예측이 불분명하다. 원리나 법칙이 명시적으로 제시되지 않고, 현상 설명이 매우 부족하다. 대전제와 결론이 명시적으로 제시되지 않아, 현상에 대한 설명이나 예측이 불분명하다.

Table 3. Criteria of abductive reasoning levels

수준	상세 기준 내용
5 (상)	<ul style="list-style-type: none"> 인과적 의문 상황을 명확히 제시하고, 현재 상황과는 다른 상황에서 통용되는 유사성 있는 배경지식을 활용 가설을 생성하여 의문 상황을 설명한다. 인과적 의문 상황을 설명하기 위해 현재 상황과는 다른 상황에서 통용되는 유사성 있는 배경 지식 활용에 초점을 둔다. 논리적으로 유사성이 높은 배경지식을 차용한다. ‘의문-유사 배경지식 차용-가설’의 과정이 명시적으로 드러난다.
4	<ul style="list-style-type: none"> 다른 상황에서 통용되는 배경지식을 차용하나, 제시한 특징 중 논리적으로 유사하지 않은 특징이 있다.
3 (중)	<ul style="list-style-type: none"> 인과적 의문 상황에 대한 가설을 제시하나, 유사성이 없거나 직접 관련 있는 배경 지식을 활용한다. 귀추적 추론 구조가 잘 드러나지만, 유사성이 없거나 직접 관련 있는 배경지식을 차용한다. 직접 관련 있는 배경지식=같은 범주의 지식(예, 씨앗 발아)
2	<ul style="list-style-type: none"> 인과적 의문 상황과 가설을 제시하나, 배경지식이 명시적으로 드러나지 않는다.
1 (하)	<ul style="list-style-type: none"> 인과적 의문 상황이나 가설 제시가 명확하지 못하다. 인과적 의문이 명시적이지 않고, 유사 배경지식을 사용하나 가설이 불분명하다.

제 상황에 나타난 사례들의 특징과 차용한 배경지식의 특징이 밀접한 유사점이 있는 경우, 논리적 유사성이 높다고 분류하였다. 예를 들면, 마른 연못에서 발견된 연꽃 씨앗과 사막에서 발견된 대추야자 씨앗이 오랫동안 썩지 않고 보존될 수 있었던 이유를 미라의 특징을 차용하여 설명할 경우, 씨앗과 미라 모두 건조해서 오랫동안 썩지 않고 보존되었다는 이유가 같다. 이런 경우, 차용한 배경지식이 제시된 문제 상황과 논리적 유사성이 높다고 할 수 있다. 반면, 냉동인간이나 장수거북의 사례를 차용하는 경우에는 오래 되었다는 점은 같지만 오래된 이유가 같지 않기 때문에 차용한 배경지식과 제시된 문제 상황이 논리적 유사성이 낮다고 분류하였다.

III. 연구결과

초등학생들이 ‘오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 어떻게 썩이 틀 수 있었을까?’라는 쓰기 과제에 대해 과학 글쓰기를 할 때 나타나는 과학적 추론을 유형별 수준으로 나누어 정성적으로 살펴보았다. 과학적 추론 유형별 수준의 상세기준과 Minto Pyramid Principle을 활용하여 과학적 추론 유형별 수준을 분석하였다.

분석 결과, 초등학교 3~6학년 학생들의 과학 글에서 귀납적 추론, 연역적 추론, 귀추적 추론 유형과 각 유형에서 각각 1~5수준의 글이 Table 4와 같이 모두 나타났다.

각 과학적 추론 유형별 수준별 분석은 Fig. 1~

Fig. 15에 나타내었다. Minto Pyramid Principles를 활용한 그림에서 사용한 이중선으로 된 사각형은 원리, 법칙, 규칙성, 대전제를 나타내고, 단선 사각형은 사례를 나타낸다. 그리고 실선은 확실하고 옳은 진술이나 관계를 나타내고, 점선은 불확실하거나 부분적으로 옳지 않은 진술이나 관계를 나타낸다. 그리고 귀추적 추론의 원형의 도형은 의문 상황을 나타내고, 사다리꼴은 배경 지식을, 그리고 귀통이를 둥글게 나타낸 도형은 생성된 가설을 나타낸다. 각 그림에서 예시로 표시된 알파벳과 숫자는 글을 쓴 특정 학생을 나타낸다. 첫째 알파벳은 학년을 나타내는데, A는 3학년, B는 4학년, C는 5학년 그리고 D는 6학년이다. 둘째 알파벳은 성별을 나타내는데, M은 남자, W는 여자이다. 그리고 숫자는 각 학년의 성별 집단의 일련번호이다.

1. 귀납적 추론 글의 수준별 특징

오래된 씨앗의 발아에 대한 초등학생들의 귀납

Table 4. Frequencies of scientific reasoning types and levels

수준	귀납적 추론	연역적 추론	귀추적 추론	계
5(상)	29	15	2	46
4	32	28	6	66
3(중)	43	68	11	122
2	21	31	9	61
1(하)	3	16	1	20
계	128	158	29	315

적 추론을 수준별로 제시하면 다음과 같다.

1) 귀납적 추론 5수준

‘오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 어떻게 삭이 틀 수 있었을까요? 이 기사를 읽지 않은 친구에게 설명하는 글을 써 보세요.’라는 쓰기 과제에 대해 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗의 특징을 비교하여 유사점과 차이점을 토대로 씨앗이 오랫동안 보존되고 발아하는 원리를 제시하였다. 먼저 연꽃 씨앗과 대추야자의 씨앗이 단단한 껍데기로 둘러싸여 있고, 두 씨앗 모두 건조한 상태에서 발견되었다는 공통점을 찾았다. 이후 단단한 껍데기와 건조한 상태라는 공통점을 씨앗이 오랫동안 썩지 않고 보존된 상황과 연결 지었다. 그리고 씨앗의 껍데기가 단단하고 건조한 곳에 있으면 오랫동안 썩지 않고 보존될 수 있다는 일반 원리를 제시하였다. 귀납적 추론이 나타나는 5수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1을 보면, DM05는 연꽃 씨앗 껍질이 단단하고 건조한 상태가 되었으며, 또한 묻혀 있던 연못도 건조하였다는 여러 가지 현상 특징(2, 3, 4)에서 공통점을 찾았다. 그리고 단단한 껍데기와 건조한 상태를 연결 지어 세균에 오염되지 않은 채 오랫동안 썩지 않고 보존될 수 있었다는 규칙(5)을 제시하며 일반화 하는 과정을 거쳤다.

2) 귀납적 추론 4수준

오래된 씨앗 쓰기 과제에 대해 다양한 현상의 특

• 귀납적 추론 5수준 (예시: DM05)

1. 연꽃씨앗:
 2. 씨앗이 껍질이 단단해서 모양이 흐트러지거나 부서지지 않았고,
 3. 고려시대 때부터 연못이 마른 뒤에 수분이 날아가서, 세균이 번식하지 않았다.
 4. 또 연못이 말라서 더욱 오래 보존될 수 있었다.
 5. 즉, 단단한 껍데기와 수분이 없어서 세균에 오염되지 않은 채 보존되었기 때문에 삭이 틀 수 있었다.
- ... (생략) ...

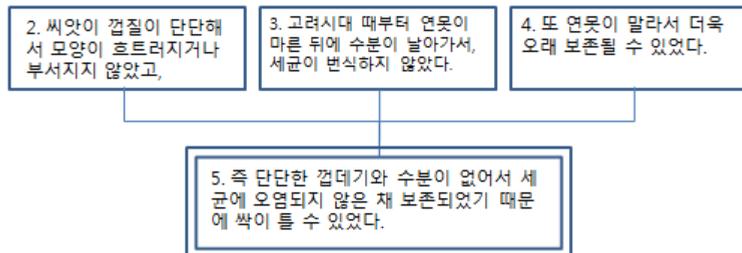


Fig. 1. Level 5 of inductive reasoning.

징을 제시하고, 이를 토대로 공통점을 제시하나, 일반화하지 않거나 미흡한 부분이 나타났다. 공통점과 차이점을 토대로 규칙을 제시하나 일반화하지 않거나, 또는 공통점을 토대로 일반화하나 그 과정에 비약이 있었다. 귀납적 추론이 나타나는 4수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2를 보면, CM19는 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 단단한 껍질로 둘러싸여 있다는 공통점(2)과 서식지가 연꽃은 연못, 대추야자는 비가 많이 오지 않고 기온이 높은 땅이라는 차이점(3)을 제시하였다. 그런데 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 오랜 시간에 걸쳐서 삭이 나왔다는 규칙(1)은 공통점(2)과 차이점(3)을 제대로 반영하지 못하고 있다. 그리고 논리를 전개하는 과정에서 전제와 결론의 순서가 바뀌어 있다. 결론인 규칙(1)이 먼저 제시되어 있고, 전제에 해당하는 현상 특징인 공통점(2)과 차이점(3)이 나중에 제시되어 있다. 또한 공통점(3)을 제시한 부분에서 습하고 건조하는 것은 상반된 특징인데, ‘여름이 덥고 습한 건조한 지역이라’는 과학적으로 정확하지 못한 내용을 제시하고 있다.

3) 귀납적 추론 3수준

쓰기 과제에 대해 주어진 현상의 특징과 규칙을 제시하나, 사례와 규칙의 관련성 제시가 부족하였다. 그리고 사례들에서 유사한 특징을 찾아 제시하나, 공통점을 토대로 규칙을 제시하지 않았다. 각 현상의 특징을 제시할 때도 미흡한 부분이 있었다.

• 귀납적 추론 4수준 (예시: CM19)

1. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 오랜 시간에 걸쳐서 싹이 나왔다.
 2. 서로 같은 것은 씨앗이 단단한 껍질로 둘러싸여 있다는 것이다.
 3. 사는 곳도 연꽃은 연못, 대추야자는 여름이 덥고 습한 건조한 지역이라 대추야자는 비가 많이 오지 않고 기온이 높은 모래땅에서 잘 자란다.
- ... (생략) ...

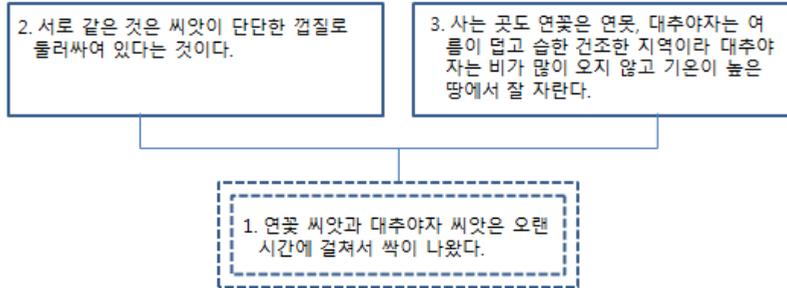


Fig. 2. Level 4 of inductive reasoning.

귀납적 추론이 나타나는 3수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3을 보면, AM12는 연꽃 씨앗에 대한 사례(1)와 대추야자 씨앗에 대한 사례(2~3)를 제시하고, 규칙(4~5)을 제시하였다. 그런데 연꽃 씨앗에 대한 사례(1)에는 쓰기 과제와 관련이 적은 성산산성에

서 700여 년 만에 꽃을 피웠다는 내용만 제시하고 씨앗이 보존되거나 발아한 것과 관련된 내용은 명확하게 제시하지 않고 있다. 글 4를 보면 연꽃 씨도 껍데기가 두껍다는 것을 AM12는 알고 있기는 하나, 이를 글 1에서 서술하지 않았고, 글 4에서 대추야자도 포함하여 정리되지 않았으므로 귀납적 추

• 귀납적 추론 3수준 (예시: AM12)

1. 2009년 경남 함안군 성산산성에서 700여 년 만에 연꽃 씨앗이 꽃을 피웠다고 합니다.
2. 그리고 2005년 이스라엘 루이스 보릭 국립의학연구소 사라 살롯 박사팀이 대추야자 씨앗을 찾아 싹을 틔우는데 성공했습니다.
3. 대추야자는 비가 많이 오지 않고 기온이 높은 모래땅에서 잘 자라는데, 씨앗은 단단한 껍데기로 둘러싸여 있었습니다.
4. 그리고 연꽃이나 나팔꽃 같이 껍데기가 두꺼운 씨앗은 휴면기간이 길다고 합니다.
5. 잠자고 있는 씨앗을 싹 틔우는 방법에는 씨앗을 낮은 온도에 두기, 바늘로 찌르기, 비늘 없애기, 특수한 기체 넣기 등 다양한 방법이 있습니다.

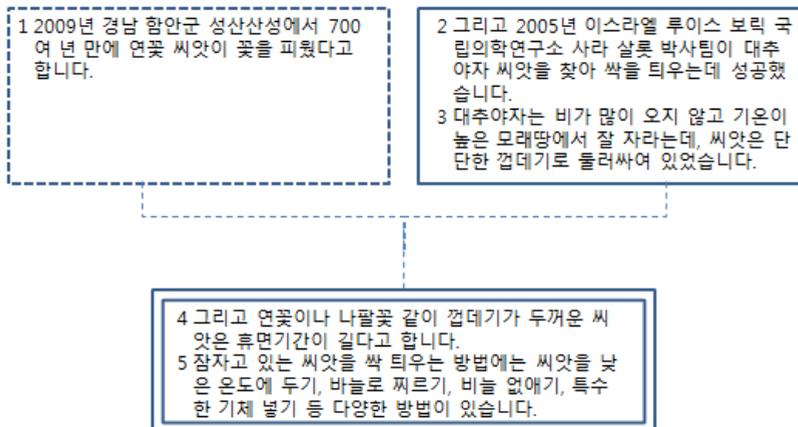


Fig. 3. Level 3 of inductive reasoning.

론 3 수준으로 판단하였다.

4) 귀납적 추론 2수준

사례들에서 현상의 특징을 찾아 제시하나, 현상과 관련된 공통된 규칙 제시가 불분명하다. 그리고 제시하는 현상들의 공통점이 근거가 매우 부족하고, 규칙과 관련된 현상의 특징을 찾지 못하였다. 귀납적 추론이 나타나는 2수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4를 보면, AM14는 현상 특징(1~5)과 규칙(6)이 나타나는 논리 전개를 한 귀납적 추론으로 분류할 수 있다. 그런데 제시한 현상 특징(1~5)을 자세히 살펴보면 연꽃 씨앗의 경우(1), 박물관과 농업기술센터가 연구해서 싹을 틔웠다는 내용만 제시하고, 어떻게 싹을 틔웠는지 구체적인 내용이 없다. 마찬가지로 대추야자 씨앗의 경우(2~5), 씨앗의 물리적인 특징은 제시했지만(2), 어떻게 싹을 틔웠는지 구체적인 내용이 없다. 그리고 쓰기 과제와 관련성이 적은 내용인 십자군 전쟁 때 숲이 파괴되면서 이 지역에서 자라던 대추야자가 사라졌다는 내용(5)을 진술하고 있다. 규칙(6)에 해당하는 부분도 ‘이렇게 해서 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗을 싹 틔

울 수 있었다.’라고 제시할 뿐, 어떤 규칙이나 원리에 의해 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 싹이 틀 수 있었는지를 구체적으로 제시하지 않고 있다.

5) 귀납적 추론 1수준

귀납적 추론은 개개의 구체적인 사례나 현상의 특징들에서 규칙성을 발견하여 현상에 대한 일반화를 하는 추론이다. 그런데 1수준의 경우에는 주어진 현상의 특징적인 사례만 제시할 뿐, 관련된 규칙을 제시하지 않고 있다. 사례의 특징을 제시하는 경우에도 부정확한 내용을 제시하고, 근거 제시가 매우 부족하다. 또한 쓰기 과제와 관련성이 적은 사례만 제시하는 경우도 있다. 귀납적 추론이 나타나는 1수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5를 보면, CM36은 주어진 현상의 특징적인 사례(1~7)만 제시하고, 현상과 관련된 규칙을 생략하였다. 현상 특징 중 연꽃 씨앗에 대한 내용(1~2)을 보면 쓰기 과제와 관련성이 높은 내용(1)이 있다. 그러나 농업기술센터에서 싹을 틔우고 키워 수를 늘렸다는 것(2)과 포기 나누기 방법을 이용해서 수를 늘렸다(3)는 내용은 과제와 관련성이 낮은 내용들이다. 그리고 대추야자 씨앗에 대한 내용(4~7)

• 귀납적 추론 2수준 (예시: AM14)

1. 오래된 연꽃 씨앗은 함안 박물관과 농업기술센터가 서로 힘을 합쳐서 연구를 해서 싹을 틔우고, 포기 나누기를 이용하여 수를 금방 늘렸다.
2. 대추야자 씨앗은 2,000년 전 비가 많이 오지 않고, 덥고 건조한 지역에서 잘 자라고 결껌질이 딱딱하다.
3. 2005년 이스라엘 루이스 보릭 국립 의학 연구소 사라 살롯 박사팀이 이스라엘의 마사다에 있는 옛 터를 조사하다가 대추야자 씨앗을 발견했다.
4. 이 연구팀은 대추야자 씨앗을 싹 틔운 일을 과학 잡지 ‘사이언스’에 발표했다.
5. 이 지역에서 자라던 대추야자 나무는 십자군 전쟁 때 숲이 파괴되면서 사라지고 말았다.
6. 이렇게 해서 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗을 싹 틔울 수 있었다.

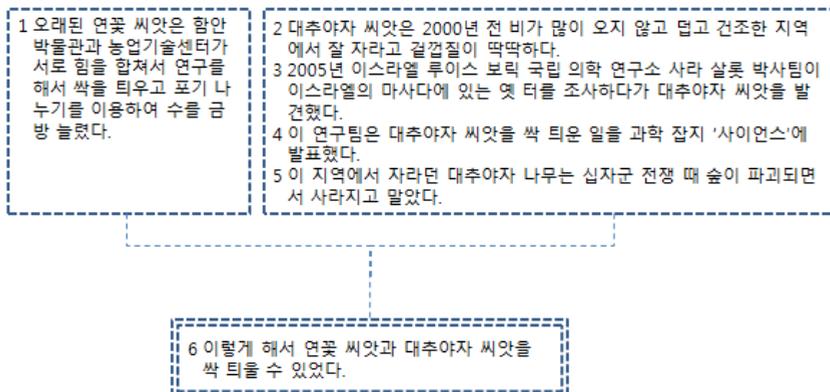


Fig. 4. Level 2 of inductive reasoning.

• 귀납적 추론 1수준 (예시: CM36)

1. 아라홍련은 마른 언덕에서 땅을 조사하다 발견했어.
2. 아라홍련은 함안 농업기술센터에서 싹을 틔우고 키워 수를 늘렸어.
3. 늘리는 방법은 포기 나누기라는 방법을 이용했어.
4. 대추야자는 루이스 보릭 박사팀이 발견했어.
5. 연구팀은 싹을 틔우는데 성공했어.
6. 대추야자는 비가 잘 안 오는 곳에서 자라고 (기온이) 높은 땅에서 잘 자라.
7. 대추야자는 단단한 껍질로 싸여 있어.

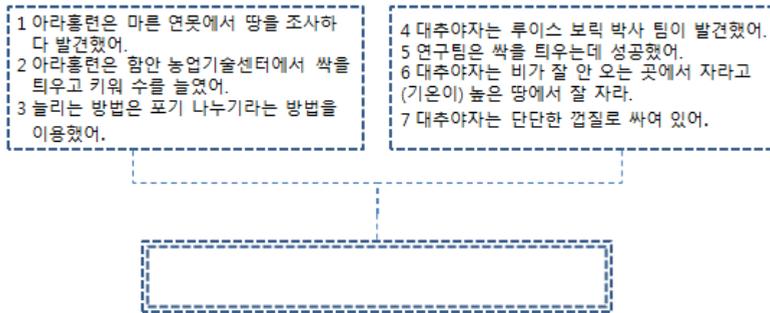


Fig. 5. Level 1 of inductive reasoning.

에서도 쓰기 과제와 관련성이 적은 내용(4~5)을 제시하였다. 귀납적 추론 1수준에서의 가장 큰 특징은 사례만 제시(1~7)되어 있을 뿐 관련된 규칙이 글쓰기 내용에 제시되어 있지 않다는 것이다.

이상에서 살펴본 내용을 토대로 귀납적 추론 글의 특징을 정리하면 다음과 같다. 귀납적 추론에 따른 글을 쓰는 경우 학생들이 쓴 수준별 글에서 나타나는 특징은 다양하다. 학생들은 주어진 사례에서 문제와 관련된 사례별 특징을 찾은 후 공통점과 차이점을 구별하지 않았고, 사례들의 공통점과 차이점을 토대로 관련된 규칙을 도출하는 것도 매우 미흡했다. 이는 귀납적 추론이 일상생활에서 광범위하게 사용되면서 비교적 단순하고 쉬운 추론으로 간주되어(Kwon *et al.*, 2003b) 오히려 귀납적 추론에 따른 활동이 체계적으로 이루어지지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 또한 Vygotsky의 개념적 사고의 발달 단계와 비교했을 때, 사물 또는 사건을 복잡성에 따라 관련짓는 복합적 사고 단계의 추론(Ku, 1993)이 제대로 이루어지지 못한 것으로 보인다. 따라서 사물 간의 속성을 비교하여 유사점이나 차이점을 토대로 조직화하는 것이 미숙하고, 이로 인해 귀납적 추론에 따른 논리 전개에 어려움이 있는 것으로 판단된다.

초등학생들의 귀납적 추론 수준을 높이기 위한 방법으로 다양한 수준의 귀납적 추론 글을 보여주

며, 글의 논리적 허점을 찾는 소집단 논의활동도 바람직하다. 또한 5 수준의 귀납적 추론 글을 가지고 귀납적 추론 과정을 명시적으로 설명하는 수업도 바람직하다고 본다. 또한 발견적 수업이 바람직하기는 하지만 지시적 설명적 수업도 병행하여 도달하여야 할 목표를 명확하게 제시한다는 면에서 체계화된 귀납적 추론과정을 학생들이 이해하는데 도움이 될 것으로 본다.

2. 연역적 추론 글의 수준별 특징

연역적 추론은 원리나 법칙으로부터 특수한 사례를 설명하거나 예측하고(Fischer, 2001; Peirce, CP 2.623), 가설을 검증하여 결론을 도출하는 추론을 말한다.

상세 기준에 따라 분류한 연역적 추론 유형의 특징을 수준별로 제시하면 다음과 같다.

1) 연역적 추론 5수준

껍질이 단단한 씨앗은 휴면기간이 길고 휴면상태를 깨우는 방법이 여러 가지가 있다는 원리나, 씨앗의 수분이 5% 이하이면 부패가 일어나지 않아 오랫동안 보관할 수 있다는 종자 저장소의 원리를 적용하여 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 썩지 않고 오랫동안 보존될 수 있었던 현상을 설명하였다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결되

고, 내용이 일관성 있다. 그리고 대전제, 소전제, 결론에 해당하는 내용을 모두 진술하며 그 관계가 서로 타당하다. 연역적 추론이 나타나는 5수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6을 보면, DW24는 대전제(1~2), 소전제(3~6), 결론(7)에 이르는 과정이 일관성 있고 타당하게 진술하였다. 씨앗이 싹 트는 데 필요한 조건(1)과 씨앗의 부패를 막는 원리(2)를 제시한 후, 700년 된 연꽃 씨앗과 2,000년 된 대추야자 씨앗이 어떻게 썩지 않고 보존되었다가 싹이 틀 수 있었는지 를 제시하고 있다(3~6). 그리고 대전제(1~2)와 소전제(3~6)를 근거로 오래된 씨앗이 썩지 않고 보존되어 싹이 트는 현상을 타당하게 설명하였다(7).

2) 연역적 추론 4수준

씨앗 발아나 부패의 원리를 제시하고, 이를 토대로 오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 썩지 않고 보존되어 싹이 트는 현상을 설명하나, 기본 원리나 법칙인 대전제가 생략되어 논리 전개가 미흡한 경우가 있다. 그리고 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리로 연결되나, 현상에 대한 설명이 미흡한 부분이 있다. 또한 글 전체에는 원리와 현상 설명이 제시되어 있으나, 논리 전개 순서가 바뀌어 내용을 파악하는데 어려움이 있는 경우도 나타났다

• 연역적 추론 5수준 (예시: DW24)

1. 싹이 트는 데에는 물, 햇빛, 적당한 온도, 산소 등이 필요하고,
2. 씨앗 속에 있는 수분을 5% 이하로 건조시켜야 미생물이 씨앗을 오염시키는 것을 막을 수 있어.
3. 따라서 700년 된 연꽃 씨앗과 2,000년 된 대추야자 씨앗이 아무리 오래 되었다 하더라도 위에 싹이 트는 조건을 잘 지키고,
4. 이 씨앗들에 대해 많은 연구와 시간을 들이면 연꽃과 대추야자가 싹을 틀 수 있을 거야.
5. 예를 들어, 대부분이 세균이나 곰팡이는 20~40℃일 때 잘 번식해.
6. 따라서 씨앗을 이러한 온도에 놓지 않으면 씨앗은 거의 부패될 일이 없기 때문에 곰팡이, 세균의 방해 없이 싹이 틀 수 있었던 거야.
7. 결론적으로, 아무리 오래된 씨앗이더라도 물, 햇빛, 적당한 온도, 산소 등이 있는 환경에서 씨앗이 부패되지 않을 정도의 땅 온도, 씨앗 속에 있는 수분을 5% 이하로 건조시키면 싹이 틀 수 있어.

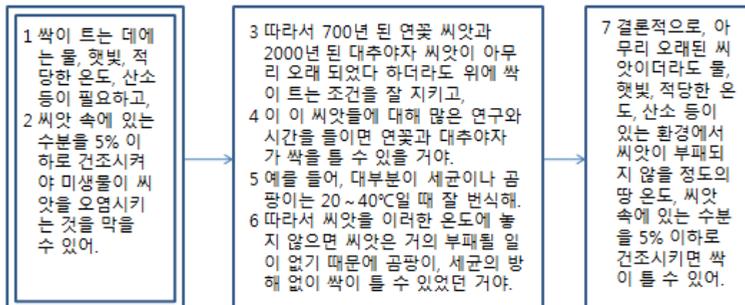


Fig. 6. Level 5 of deductive reasoning.

다. 연역적 추론이 나타나는 4수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7을 보면, BW25는 대전제(1), 소전제(2), 결론(3)에 이르는 과정이 일관성 있게 진술되어 있으나, 규칙을 통한 결론 도출(3)이 미흡하다. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 모두 적당한 온도와 물이 있어야 한다(1)는 원리와 씨앗의 수분 함량에 따라 오랫동안 썩지 않고 보존될 수 상황(2)을 서로 관련지어 제시하였다. 그러나 발견된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 어떤 상태이기 때문에 썩지 않았는가에 대한 설명이 부족하다(2). 그리고 ‘그래서 씨앗이 싹 틀 수 있는 조건이 충분하였기 때문에 식물이 싹 틀 수 있는 것이다.’(3)라는 결론에는 어떤 조건이 충분하여 씨앗이 싹 틀 수 있었는지 정확한 내용이 제시되어 있지 않아 내용 파악에 어려움이 있다.

3) 연역적 추론 3수준

쓰기 과제와 관련된 원리나 법칙으로 주어진 현상에 대한 설명이나 예측을 하나, 타당하지 않은 부분이 있다. 각각의 진술이 서로 관련되어 하나의 논리 라인으로 연결되어 있으나, 기본 원리나 법칙인 대전제가 생략되어 있는 경우가 있다. 또한 근거 제시가 부족하여 결론 도출이 타당하지 않아 설명이

• 연역적 추론 4수준 (예시: BW25)

1. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 모두 적당한 온도와 물이 있어야 한다.
2. 그런데 수분이 5% 이하로 건조하여서 곰팡이나 세균이 생기지 않을 수 있었기 때문에 씨앗이 보존될 수 있었던 것이다.
3. 그래서 씨가 싹틀 수 있는 조건이 충분하였기 때문에 식물이 싹틀 수 있는 것이다.

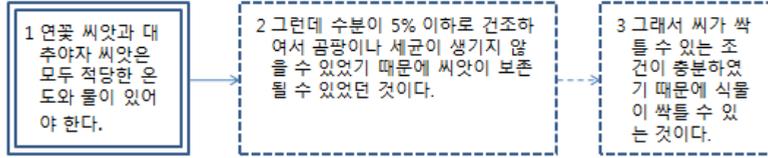


Fig. 7. Level 4 of deductive reasoning.

나 예측이 미흡한 부분이 있다. 연역적 추론이 나타나는 3수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8을 보면, CM31은 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗의 특징 중 씨앗의 껍데기가 딱딱하다는 한 가지 특징과 관련된 내용들로 서로 연관되게 진술되어 연역적 추론으로 분류하였다. 그런데 씨앗과 관련된 원리로 오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 싹튼 상황을 설명하고 있으나, 타당하지 않은 부분이 있다. 먼저 논리 전개 순서가 (2~3), (1), (4~5)로 순차적이지 않다. 한편, 껍데기가 딱딱한 씨앗은 휴면기간이 길고 휴면상태를 깨우는 방법에 여러 가지가 있는데(3), 이와 관련된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗의 특징으로 껍데기가 딱딱하다(1)는 것을 연관성 있게 제시하였다. 그러나 결론으로 제시한 부분(4~6)에서 글 5, 6을 서술할 때 과제 관련성을 명확하게 들어내지는 못하였다. 즉, 두 연구기관에서 싹을 틔우는 활동을 하여 싹을 틔웠다는 점을

명시적으로 드러내지 않았으므로 학생 CM31의 글은 연역적 추론 3 수준으로 판단하였다.

4) 연역적 추론 2수준

쓰기 과제와 관련된 원리나 법칙으로 주어진 현상에 대한 설명이나 예측을 하는 과정에서 각 진술들이 서로 관련성 제시가 매우 부족하여 타당성이 낮다. 그리고 규칙만 제시하고 사례와 연결하지 않거나, 현상 설명만 하고 관련된 원리나 법칙을 명확하게 제시하지 않아 내용이 불분명한 경우가 있다. 연역적 추론이 나타나는 2수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9를 보면, AM15는 씨앗이 발아하는데 필요한 조건에 관한 원리(1, 2)를 제시했으나, 이러한 원리와 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗의 사례(4~6)와의 관련성 제시가 부족하다. 그리고 결론에 해당하는 주어진 현상에 대한 설명이 생략되어 전체적으로

• 연역적 추론 3수준 (예시: CM31)

1. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗은 껍데기가 딱딱하다.
2. 씨앗이 딱딱하면 휴면기간이 길어서 이렇게 오래 있었던 것이고
3. 그 다음 씨앗을 발견한 다음 잠자는 씨앗을 낮은 온도에 두거나 바늘로 찌르거나 비늘을 없애거나 특수한 기체를 넣어
4. 휴면 씨앗인 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗을 깨우고
5. 연꽃 씨앗은 함안 박물관과 농업기술센터가 함께 키워 싹이 틔었고
6. 대추야자 씨앗은 대추야자를 찾은 연구팀이 대추야자를 키워 싹이 틔었다.

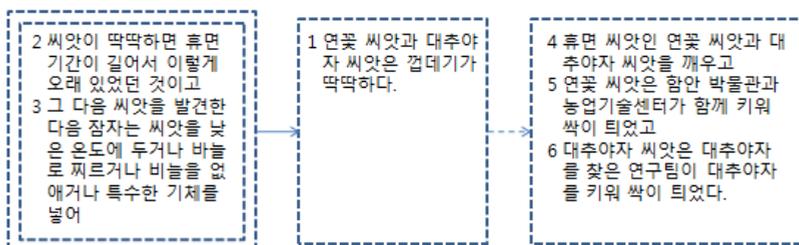


Fig. 8. Level 3 of deductive reasoning.

• 연역적 추론 2수준 (예시: AM15)

1. 반드시 적당한 온도와 물이 있어야 싹이 부풀어서 싹이 틈니다.
2. 햇빛도 없으면 안 되고요.
3. 그리고 경상북도 봉화군에 있는 국립백두대간수목원에는 씨드볼트라고 세계에서 두 번째로 있는 지하 터널에 씨앗을 보관하고 있는 건물입니다.
4. 아라홍련은 2009년 경남 함안군에서 발견된 연꽃과 비슷하게 생긴 꽃입니다.
5. 잎의 길이가 약간 길고 색은 연합니다.
6. 2005년 이스라엘 루이스 보릭 국립의학연구소 살롯 연구소에서 대추야자 씨앗을 발견했다 합니다.

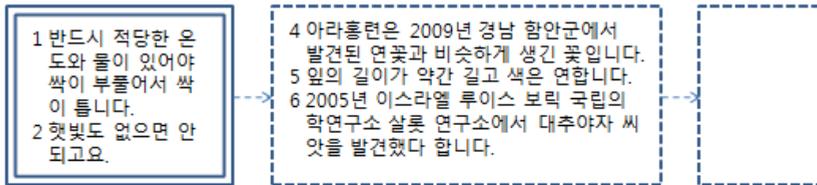


Fig. 9. Level 2 of deductive reasoning.

내용 파악이 어렵고 타당성이 낮다.

5) 연역적 추론 1수준

연역적 추론은 쓰기 과제와 관련된 원리나 법칙으로부터 주어진 사례를 설명하거나 예측하는 추론이다. 그런데 1수준의 경우에는 원리나 법칙, 현상에 대한 설명이나 예측이 불분명하다. 쓰기 과제와 관련된 원리나 법칙을 명시적으로 제시하지 않아서 현상 설명이 매우 부족하다. 또는 대전제와 결론이 명시적으로 제시되지 않아서 현상에 대한 설명이나 예측이 어려운 경우가 있다. 연역적 추론이 나타나는 1수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10의 글은 ‘대전제-소전제-결론’으로 진행되는 연역적 추론에서 대전제가 빠진 글로 분석된다.

• 연역적 추론 1수준 (예시: BW13)

1. 연꽃 씨앗 아라홍련은 2010년 약 700년 만에 꽃을 피웠다.
2. 이것이 꽃을 피울 수 있었던 까닭은 바로 농업기술센터가 이 꽃을 피우기 위해 열심히 노력했기 때문이다.
3. 이 연꽃은 ‘포기 나누기’라는 것을 이용하여 대량 생산하였다.
4. 이것이 바로 아라홍련인 것이다.
5. 사라 살롯 박사팀은 이스라엘 마사다에 있는 옛 터를 조사하다 대추야자 씨앗을 발견하였다고 한다.
6. 이것은 비가 많이 오지 않고 기온이 높은 모래땅에서 자라는데 씨앗은 단단한 껍질로 둘러싸여 있다.
7. 그러나 이 지역에 전쟁이 일어나고 대추야자 씨앗은 사라졌다고 한다.

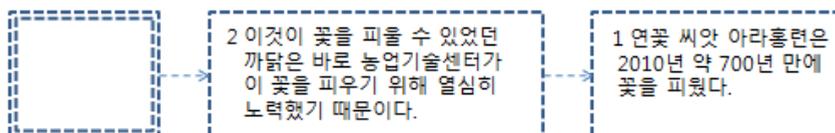


Fig. 10. Level 1 of deductive reasoning.

Fig. 10의 글을 쓴 BW13은 글 전체 중 일부에서만 연역적 추론이 나타나고 있다(1~2). 연꽃 씨앗이 약 700년 만에 꽃을 피운 결론을 제시하고(1) 있지만, 이러한 상황이 일어나게 된 원리나 법칙이 나타나지 않고 있다. 또한 연꽃 씨앗이 꽃을 피운 현상에 대한 설명도 쓰기 과제 관련성이 적은 농업기술센터의 노력에 대해 기술할 뿐(2), 구체적인 근거를 제시하며 설명을 하고 있지 않다. 이렇듯 연역적 추론 1수준에서의 가장 큰 특징은 관련된 정확한 원리나 법칙의 제시 또는 원리나 법칙을 활용한 특정 현상에 대한 설명이나 예측이 불분명하다는 것이다.

이상에서 살펴본 내용을 토대로 연역적 추론에 따른 글의 특징을 정리하면 다음과 같다. 연역적 추론에 따른 글을 쓰는 경우에는 원리나 규칙에 해

당하는 대전제를 생략하고 현상만 설명하는 경우가 많았으며, 규칙은 제시하였으나 사례의 특징은 연결하지 않는 경우도 있었다. 이는 과학적 추론 담화에서 연역적 추론을 하는 경우, 원리나 법칙에 해당하는 대전제를 상대방도 암묵적으로 이미 알고 있다고 전제하고 생략하는 경우가 있다고 지적한 Lee *et al.* (2013)의 연구 결과와 유사하다. 그런데 쓰기 과제가 내용을 알지 못하는 독자를 대상으로 설명하는 글쓰기 활동이었음에도 불구하고, 대전제를 생략한 연역적 추론에 따른 글쓰기가 이루어진 것은, 학생들이 소통적 쓰기 단계에 미치지 못했기 때문인 것으로 여겨진다(Ka, 2011; Bereiter, 1980). 이로 인해 독자의 상황을 제대로 인식하지 못하고 주관적 관점 수준에서 글을 쓴 것으로 보인다.

그리고 쓰기 과제와 관련된 원리나 법칙에 대한 배경 지식이 활동지에 학생 모두에게 동일하게 제공되었음에도 불구하고, 이를 명시적으로 제시하며 논리를 전개하지 못하는 학생들이 있었다. 이렇게 주어진 정보를 활용하지 못하는 것은 Lee *et al.* (2010)의 연구에서 일부 학생들은 선행 학습을 통해 알게 된 과학 지식을 근거로 제시하고 활용하며, 탐구 활동을 하지 못했다는 내용과 유사한 것으로 판단할 수 있다. 즉, 학생들이 지식을 알고 있는 것과 지식을 활용하여 논리적으로 전개하는 것은 다른 차원으로 볼 수 있다. 이해하고 있는 지식을 연역적 추론과정에서 활용하지 못하는 학생들의 특징을 파악하여 교사가 주어진 원리나 법칙을 활용하여 연역적으로 논리를 전개하는 추론 전략을 지도하는 것이 필요함을 알 수 있다.

3. 귀추적 추론 글의 특징

연꽃 씨앗이 700년 동안 그리고 대추야자 씨앗이 2,000년 동안 썩지 않고 오랜 세월 동안 보존되었다가 썩을 틈을 틔운 일반적이지 않은 현상에 대해, 왜 그러한 일이 일어났는지 의문을 갖는 것에서 귀추적 추론이 시작된다. 그리고 이러한 의문을 해결하기 위해 썩지 않고 오랫동안 보존된 다른 사례들에서 의문을 설명할 수 있는 지식을 찾아 주어진 의문 상황을 설명하는 경우 귀추적 추론 글로 분류하였다. 상세 기준에 따라 분류한 귀추적 추론 유형의 특징을 수준별로 제시하면 다음과 같다.

1) 귀추적 추론 5수준

‘씨앗이 썩지 않고 오랫동안 보존되었다. 어떤 원인에 의해 씨앗이 오랫동안 썩지 않고 보존되었을까?’처럼 인과적 의문 상황을 명확히 제시하고, 씨앗이 아닌 다른 사례에서 현재 상황과 유사한 면을 지닌 선행 지식을 차용하여 의문 상황을 설명하는 경우이다. 귀추적 추론 5수준은 의문, 유사 배경 지식의 차용, 가설 제시의 과정이 명시적으로 드러나는 논리 전개인데, 경우에 따라서는 의문 상황이 명시적으로 제시되어 있지 않더라도 논리적으로 유사성이 높은 배경지식을 차용한 경우 5수준으로 분류하였다. 특히 귀추적 추론 5수준은 논리적 유사성이 높은 배경지식의 차용에 초점을 두었다. 오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 썩지 않고 보존되었던 원인과 같지만, 씨앗과 관련 없는 다른 영역의 지식을 차용하는 경우 5수준으로 분류하였다. 귀추적 추론이 나타나는 5수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 11과 같다.

Fig. 11을 보면, BM03은 표면적인 글의 구조에 귀추적 추론에 따른 전개 과정이 순차적으로 제시되지 않았다. 그러나 내용을 살펴보면 귀추적 추론임을 알 수 있다. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 부패하지 않고 썩이 틈 수 있었던 까닭(1)에 대해 의문을 가지고, 이를 설명하기 위해 수분이 없는 건조한 상태로 보존된 미라(3)와 씨앗이 발견된 곳의 특징(5)을 연관 지었다. ‘미라’라는 논리적 유사성이 높은 배경지식을 차용하여 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 건조한 상태에서 부패하지 않고 오랫동안 보존될 수 있었다(2, 4)는 것을 설명하였다.

2) 귀추적 추론 4수준

오래된 씨앗이 썩지 않고 보존된 원인에 대해 다른 상황에서 통용되는 배경지식을 차용하나, 제시된 특징 중 논리적으로 유사하지 않은 특징이 나타났다. 귀추적 추론이 나타나는 4수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 12와 같다.

Fig. 12를 보면, AW11은 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 오랫동안 보존되어 썩이 틈 원인을 설명하기 위해(1) 여러 가지 배경지식을 차용하여(2~6) 씨앗이 보존되어 썩이 틈 의문 상황을 설명하고(7) 있다. 그런데 차용한 배경지식(2~6)은 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 아닌 다른 상황에서 통용되는 지식이지만, 논리적으로 유사성이 모호한 면이 있다. 냉동인간(3)은 오래 보존되었다는 점은 발견된 연꽃 씨앗이나 대추야자 씨앗과 유사하지만, 보존된

• 귀추적 추론 5수준 (예시: BM03)

1. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 부패되지 않고 싹이 틀 수 있었던 까닭은
2. 잘 건조되어서
3. 예를 들어 미라처럼 수분이 없는 잘 건조된 상태에 있었기 때문일 것 같다.
4. 만약에 수분이 많고 잘 건조되지 않은 상태에 씨앗이 있었다면 씨앗은 미라처럼 잘 건조되지 않고 금방 물 때문에 부패되고, 썩어서 지금까지 살 수 없었을 것 같다.
5. 내가 이렇게 생각한 까닭은 이 씨앗들이 발견된 곳이 기온이 높고 건조했기 때문일 것 같다.

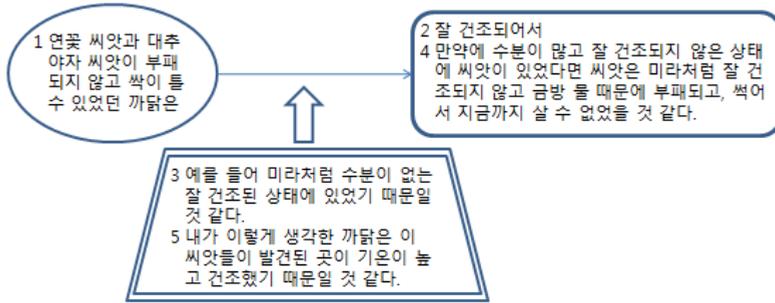


Fig. 11. Level 5 of abductive reasoning.

원리가 다르므로 논리적 유사성이 낮다고 볼 수 있다. 그리고 공사로 인해 땅에 묻혀 있다가 나와서 싹을 틔웠다는 것(4)과 고려시대 때 추운 겨울에 씨앗이 얼었다가 봄이 되어 녹을 수 있다는 내용(5)은 근거가 부족하다. 또한 종자 저장소와 관련된 배경

지식(6)은 연꽃 씨앗이나 대추야자 씨앗과 같은 범주의 지식이라 귀추적 추론에서 논리적 유사성이 낮다고 볼 수 있다. 그리고 ‘살아 있는 물고기 화석(2)’이라는 표현은 앞뒤가 논리적으로 맞지 않는 오개념이 담긴 지식을 활용하고 있다.

• 귀추적 추론 4수준 (예시: AW11)

1. 오래된 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 싹을 틔울 수 있는 것은
2. 살아 있는 물고기 화석 같은 과정을 거쳐서 만들어진 것 같다.
3. 아니면 냉동인간 같이 추운 날 씨앗이 얼어서 오랫동안 보존되어 땅에 파묻혔을 수도 있다.
4. 그리고 공사하고 건물을 지어 씨앗이 땅에 파묻혀 있다 나와서 싹을 틔웠다고 할 수 있습니다.
5. 고려시대 때 추운 눈 오는 겨울 씨앗이 얼었다 봄이 되어 얼음이 녹을 수 있지만
6. 그렇지 않은 경우 종자 저장소처럼 깊이 파묻히고 곰팡이나 미생물로 인하여 씨앗을 오염시키지 않게 잘 보존됐다고도 할 수 있는 것입니다.
7. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 이와 같은 이유나 다른 이유로 오염되지 않고 잘 보존되어 싹이 나와 꽃을 피우고 잎이 잘 자랄 수 있게 된 것이다.

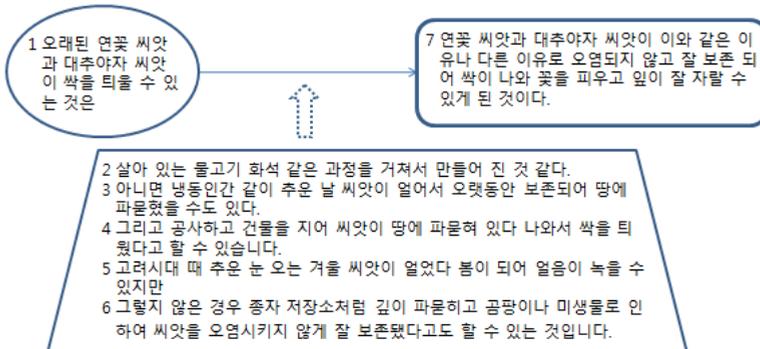


Fig. 12. Level 4 of abductive reasoning.

3) 귀추적 추론 3수준

쓰기 과제에 대해 의문을 제기하고 배경지식을 토대로 가설을 생성하여 인과적 의문 상황을 설명하는 귀추적 추론 구조가 나타난다. 그러나 논리적 유사성이 없거나 쓰기 과제와 직접 관련 있는 배경지식을 차용한다. 귀추적 추론이 나타나는 3수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13을 보면, DM27은 의문 상황을 제시하고 (1~3) 배경지식을 토대로(4~5) 가설을 생성하여 (6) 인과적 의문 상황을 설명하는 귀추적 추론에 따른 논리 전개를 보이고 있다. 그러나 차용한 배경지식은 쓰기 과제와 직접 관련 있는 씨앗 발아에 관한 것으로 같은 범주의 지식이다. 따라서 귀추적 추론에 따른 논리 전개가 나타났지만, 직접 관련 있는 배경지식을 차용하여 3수준으로 분류하였다.

4) 귀추적 추론 2수준

쓰기 과제에 대해 인과적 의문 상황과 가설을 제시하여 논리를 전개하나, 배경지식이 명시적으로 드러나지 않는 경우이다. 귀추적 추론이 나타나는 2수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 14와 같다.

Fig. 14를 보면, CW06은 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 싹이 튼 원인에 대한 의문 제기(1~2)로 시

작하여 가설을 생성하여(3~6) 인과적 의문 상황을 설명하는 귀추적 추론에 따른 논리 전개를 보이고 있다. 씨앗이 자라는 조건에 관한 가설(2~3)과 사람들의 노력에 관한 가설(5~7) 등 2가지 가설을 제시하며 오래된 씨앗이 싹 튼 원인을 설명하고 있다. 그런데 씨앗이 자라는 조건과 사람들의 노력과 관련된 배경지식이 생략되어 가설을 뒷받침해 주지 못하고 있다. 그리고 과학 글쓰기 활동지에는 700년 된 고려시대의 연꽃 씨앗이라고 제시되어 있는데, CW06은 ‘600년 된 고려시대의 연꽃 씨앗(1)’이라고 잘못된 정보를 제시하고 있다.

5) 귀추적 추론 1수준

귀추적 추론은 미지의 현상에 대해 인과적 의문을 제시하고, 배경지식을 토대로 잠정적인 가설을 생성하여 인과적 의문 상황을 설명하는 추론이다. 그런데 1수준의 경우에는 인과적 의문이 명시적이지 않고, 배경지식과 가설의 구분이 불분명하다. 귀추적 추론이 나타나는 1수준 글의 구체적인 예시는 Fig. 15와 같다.

Fig. 15를 보면, CM09는 귀추적 추론이 전체 글 중 일부(5)에서만 나타났다. 이 글에서 귀추적 추론의 판단 기준은 배경지식 차용과 가설 제시의 유무

• 귀추적 추론 3수준 (예시: DM27)

1. 지난 2009년 경남 함안군 성산산성(사적 67호)에서 발견된 연꽃씨앗이 2010년, 무려 700년 만에 꽃을 피웠다고 해.
2. 또한 2005년 이스라엘 루이스 보릭 국립의학연구소 사라 살롯 박사팀이 2000년 전 이스라엘 지역에서 자라던 대추야자 씨앗을 찾고 싹 틔우는데 성공했다고 해.
3. 어떻게 몇 천, 몇 백 년 전 씨앗이 아직도 싹트지 않는 일이 가능할까?
4. 식물은 날씨의 영향이 강해 온도가 너무 덥거나 추운 곳은 자라지 못하고,
5. 산소가 없고 햇빛과 물이 없어도 자랄 수 없는데,
6. 지금 본 두 가지 경우도 너무 깊은 곳에 있어서 햇빛과 온도, 물을 받지 못해 자라지 못한 것 같아.

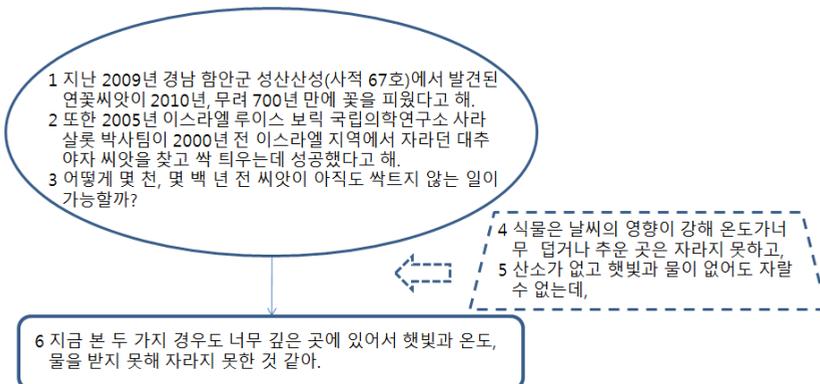


Fig. 13. Level 3 of abductive reasoning.

• 귀추적 추론 2수준 (예시: CW06)

1. 600년 된 고려시대의 연꽃씨앗과 2,000년 된 대추야자 씨앗이 있습니다.
2. 과연 이 둘은 어떻게 썩이 틀 수 있었을까요?
3. 첫 번째, 자라기에 알맞은 조건이 잘 맞는다면 아마 연꽃과 대추야자는 잘 자랄 것입니다.
4. 연구원들이 그에 알맞은 조건으로 연꽃과 대추야자를 키워, 잘 자란 것입니다.
5. 두 번째, 많은 사람들의 노력 덕분입니다.
6. 많은 사람들이 두 씨앗을 썩을 뜨게 만들기 위해 많은 노력과 연구를 하지 않았더라면 이 식물은 썩이 틀 수 있었을까요?
7. 정답은 아닙니다.
8. 지금까지 어떻게 600년 된 연꽃씨앗과 2,000년 된 대추야자 씨앗이 썩이 틀 수 있었을가에 대해 얘기해 보았습니다.

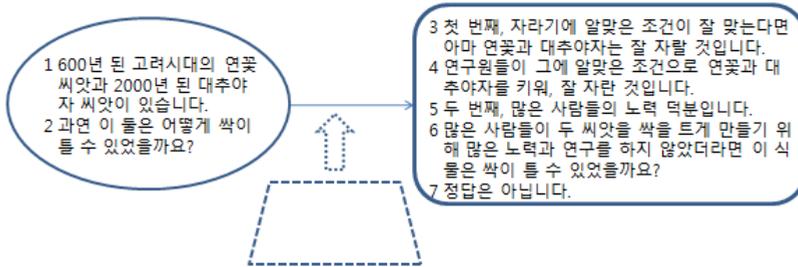


Fig. 14. Level 2 of abductive reasoning.

이다. 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 오랫동안 보관되었다는 의문 상황에 대해 종자 저장소에서 씨앗을 보관하는 환경 특징(5)을 토대로 씨앗이 보관된 원인을 설명(5)하고 있다. 그러나 씨앗이 오랫동안 보관된 원인에 대한 의문을 명시적으로 제시하지 않았다. 그리고 씨앗이 오랫동안 보관된 원인을 설명하기 위해 종자 저장소에 대한 지식(5)을 차용했는데, 이 배경지식은 쓰기 과제에 제시된 씨앗과 관련된 같은 범주의 배경지식으로 귀추적 추론에서 낮은 수준의 배경지식에 해당된다. 또한 보관 대상을 명확하게 제시하지 않고 배경지식(5)과 가

설(5)의 구분이 불분명하여 내용 전달이 모호하다. 한편, 과학 글쓰기 활동지에 제시된 내용에는 연꽃 씨앗과 대추야자 씨앗이 부패했다는 내용이 없는데, 이 글에서는 두 씨앗에 부패가 일어났다는 잘못된 내용을 제시하고 있다(1~4).

이상에서 살펴본 내용을 토대로 귀추적 추론 글의 특징을 정리하면 다음과 같다. 귀추적 추론에 따른 글에서 나타나는 수준별 특징을 보면, 인과적 의문 상황을 명확히 제시하지 않거나, 제시된 정보 속에서 의문 상황과 관련된 배경 지식을 선별하여 가설 생성에 활용하는 능력이 아직 형성되지 않았

• 귀추적 추론 1수준 (예시: CM09)

1. 고려시대 있던 연꽃 씨앗과 중세 십자군 전쟁 때 그 전쟁터에서 자라던 대추야자가 모두 없어졌는데도 살아남은 대추야자 씨앗은 두 씨앗 모두 자랄 수 없는 환경에서 부패가 조금씩 되고 있기 때문이야.
2. 왜냐하면 연꽃 씨앗이나 대추 씨앗이나 모두 사람들이 썩을 띄웠기 때문이야.
3. 두 번째 이유는 두 씨앗 다 몇 백 년이 지났기 때문에 썩이 트지도 못하고 조금씩 부패해서 그래.
4. 만약 그 옛날 시대 때 자라지 못했던 이유라면 자랄 수 없는 환경이다 보니 그대로 안 자라다가 오래돼서 부패된 것 같아.
5. 그리고 이건 내 생각인데, 종자 저장소에서 씨앗을 보관하는 장소랑 비슷한 환경이어서 그냥 보관되었다고 생각해.

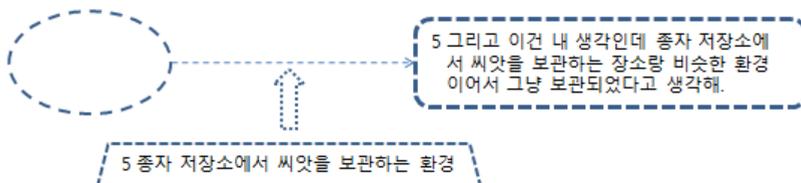


Fig. 15. Level 1 of abductive reasoning.

다. 특히 다른 상황에서 통용되는 유사성 있는 배경 지식 차용은 매우 드문 것으로 나타났다. 그리고 학생들이 제시한 가설에는 원인적 설명자 제시가 미흡하여 과학적 설명가설과 과학적 설명이 (Park, 2000) 혼용되어 나타났다. 귀추적 추론은 기존의 경험 및 선행 지식을 바탕으로 가설을 생성하기 때문에 추론하는 사람이 가지고 있는 배경 지식의 영향을 많이 받는다(Kwon *et al.*, 2003a; Lee *et al.*, 2013; Lawson, 1995). 따라서 학생이 가지고 있는 배경 지식의 부족이 귀추적 추론에 어려움을 초래하여 다른 추론 유형에 비해 발생 빈도가 상대적으로 낮은 것으로 보인다. 그러므로 귀추적 추론에 따른 논리 전개가 효과적으로 이루어지기 위해서는 과제와 유사성을 지닌 다른 종류의 지식을 활용할 수 있도록 유도하는 교사의 전략이 필요할 것으로 판단된다. 단, 3학년 학생도 높은 수준의 귀추적 추론이 가능한 것은, 일부 학생들이 수사적 지식이 없어도 높은 수준의 과학적 사고에 따른 보고서를 작성했다는 Keys (2000)의 연구결과와 유사하다. 또한 어린 아이들도 부정확하고 불완전하기는 하지만 자신의 경험을 이해하고 체계화 할 수 있는 압묵적인 이론을 구성하여 외부 현실을 구분할 수 있다(Kuhn & Pearsall, 2000; Kuhn, 2010)는 주장과도 일맥상통한다.

학생들이 낮은 과학 언어에 대해 거부감을 줄이고, 과학 글쓰기에 대해서 긍정적인 태도를 보이게 하려면 무엇보다 교사의 역할이 중요하다. 교사가 먼저 과학 공동체 담화 방식과 과학 언어의 특징을 알고, 학생들이 이를 이해하고 사용할 수 있는 기회를 제공하는 것이 필요하다. 그리고 귀납적 추론, 연역적 추론, 귀추적 추론 등 과학적 추론 유형별 특징과 논리 전개 방식을 과학 글쓰기에 적용하여 연습하는 기회를 제공해야 학생들의 추론 능력을 높일 수 있을 것이다.

귀추적 추론은 가설설정의 바탕이 되는 과학적 추론이다. 귀추적 추론을 할 수 있는 초등학생은 적은 편인데, 과학 수업에서 가설설정을 요구하는 것이 무리일 수 있다. 그러나 교사들이 적절한 귀추적 추론 과정에 대한 명시적 안내를 하면 학생들이 도움을 받을 수 있을 것이다.

또한 배경지식이 귀납적 추론, 연역적 추론 그리고 귀추적 추론의 수준을 결정하는 데 중요한 요소임을 감안해야 한다(Kwon *et al.*, 2003a; Lee *et al.*,

2013; Lawson, 1995). 교사는 학생들의 기존 지식을 파악하여 과제와 관련된 적절한 과학 지식을 제공해야 한다. 그리고 학생들이 주어진 자료 중에서 과제와 관련된 적절한 정보를 구별하는 능력을 키울 수 있는 기회를 제공할 필요가 있다. 여기에 독자를 고려한 과학 글쓰기(Jang & Hand, 2016)가 이루어지도록 학생들에게 독자에 대한 인식을 심어준다면 보다 수준 높은 과학 글쓰기가 이루어질 것이다.

IV. 결 론

이 연구의 목적은 초등학생들의 과학 글쓰기에 나타나는 과학적 추론 유형과 수준별 특징을 분석하는 것이다. 서울시 거주 초등학생 320명의 과학 글을 수집하여 분석하였다. 정기적인 협의, 예비연구, 전문가 내용 타당도 검증을 통하여 개발한 과학 글쓰기 활동지와 분석틀을 활용하였다(Lim, 2018). 또한 분석의 편의 및 정확성을 위해 Minto Pyramid Principles를 활용하여 귀납, 연역, 귀추적 추론을 간략하게 도식화하여 분석하였다.

분석 결과를 바탕으로 도출된 결론은 다음과 같다. 초등학생들의 과학글쓰기에서 귀납적 추론, 연역적 추론 그리고 귀추적 추론 유형이 모두 나타났다. 그리고 각 과학적 추론 유형에서 1~5수준 모두가 나타났다. 특히 3수준이 많은 것으로 보아 초등학생들의 추론 수준은 더 향상될 여지가 많다고 할 수 있다. 또한 귀추적 추론이 가장 적게 나타난 것으로 보아 초등학생들이 가설설정을 할 때는 교사들의 상세한 안내가 필요하다고 본다. 그리고 초등학생들의 과학적 추론 유형별 특징은 다음과 같았다. 귀납적 추론에 따른 글을 쓰는 경우, 주어진 현상의 특징을 비교하여 유사점과 차이점을 토대로 규칙을 찾아 현상에 대한 일반화를 제시하여야 한다. 그러나 많은 학생들이 사례별 특징의 공통점과 차이점을 구별하지 않았고, 사례들의 공통점과 차이점을 토대로 규칙을 도출하는 능력이 아직 형성되지 않았다. 연역적 추론에 따른 글을 쓰는 경우에는 문제 상황과 관련된 원리나 법칙으로 주어진 현상에 대한 설명이나 예측을 타당하게 제시하는 경우가 있었다. 그러나 많은 학생들이 원리나 규칙에 해당하는 대전제를 생략하고, 현상만 설명하거나, 규칙은 제시하였으나, 사례의 특징과 연결

하지 않는 경우가 있었다. 그리고 귀추적 추론에 따른 글을 쓰는 경우에는 극히 일부의 학생들이 인과적 의문 상황을 명확히 제시하고, 현재 상황과는 다른 상황에서 통용되는 유사성 있는 배경 지식을 활용한 가설을 생성하여 의문 상황을 설명하였다. 그리고 대부분의 학생들은 의문 상황과 관련된 배경지식을 선별하여 가설 생성에 활용하는 능력이 아직 충분히 발달하지 않았고, 특히 다른 상황에서 통용되는 유사성 있는 배경 지식을 차용하는 경우는 매우 드문 것으로 나타났다.

이와 같이 초등학생들은 과학적 추론을 포함한 과학글쓰기를 하는데 있어 잘 하는 학생들도 있는 반면에 미흡한 학생들도 있었다. 그러나 초등학생들의 인지가 발달하고, 이에 대한 적절한 지도가 이루어지면 과학적 추론이 정교하게 포함된 과학 글쓰기를 할 수 있을 것이다. 과학글쓰기에 대한 적절한 지도를 위하여 이 논문에서 제시한 과학글쓰기 유형별 수준별 분석결과와 사례가 유용하게 쓰일 것이다.

학생들에게 부족한 추론별 특징이 무엇인지를 파악한다면 학생들의 과학 글쓰기 수준을 높이는 구체적인 지도를 할 수 있을 것이다. 예를 들어 귀납적 추론에 따른 글을 쓸 때 사례들 간의 공통점과 차이점을 토대로 규칙을 도출하는 것을 어렵힌다면 먼저 사례들의 특징을 찾고, 이를 비교한 후 공통점과 차이점을 찾는 활동을 하고서 글을 쓰게 한다면 보다 높은 수준의 귀납적 추론 글을 쓸 수 있게 될 것이다. 그리고 학생들도 또래 학생들이 쓴 글을 참고할 수 있어서 글쓰기에 대한 막연한 두려움을 줄이고, 글쓰기에 대한 흥미 유발과 자신감을 높이는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

- Bereiter, C. (1980). Development in writing. In Gregg, L. & Steinberg, E. (eds.), *Cognitive processes in writing: An interdisciplinary approach*. (pp. 73-93). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fischer, H. R. (2001). Abductive reasoning as a way of worldmaking. *Foundations of Science*, 6(4), 361-383.
- Greenstein, G. (2013). Writing is thinking: Using writing to teach science. *Astronomy Education Review*, 12(1).
- Gunel, M., Hand, B. & McDermott, M. A. (2009). Writing for different audiences: Effects on high-school students' conceptual understanding of biology. *Learning and Instruction*, 19(4), 354-367.
- Jang, J. Y. & Hand, B. (2016). Examining the value of a scaffolded critique framework to promote argumentative and explanatory writings within an argument-based inquiry approach. *Research in Science Education*, 1-19.
- Joung, Y. & Song, J. (2006). Exploring the implications of Peirce's abduction in science education by theoretical investigation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 26(6), 703-722.
- Ka, E. (2011). *A study on the aspects and characteristics of writing development*. Ph. D. dissertation. Korea National University of Education.
- Keys, C. W. (1999). Revitalizing instruction in scientific genres: Connecting knowledge production with writing to learn in science. *Science Education*, 83(2), 115-130.
- Keys, C. W. (2000). Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 676-690.
- Keys, C. W., Hand, B., Prain, V. & Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084.
- Klein, P. D. (2000). Elementary students' strategies for writing-to-learn in science. *Cognition and Instruction*, 18(3), 317-348.
- Ku, K. (1993). A study on Vygotsky's theory of the development of verbal thinking: Implications for literacy and writing. *Journal of Research of Dae Shin College*, 13, 21-42.
- Kuhn, D. (2010). What is scientific thinking and how does it develop?. in Goswami, U., *The Wiley-Blackwell Handbook of childhood cognitive development*, Second edition. (pp. 497-523). Blackwell Publishing Ltd.
- Kuhn, D. & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113-129.
- Kwon, Y., Choi, S., Park, Y. & Jeong, J. (2003a). Scientific thinking types and processes generated in inductive inquiry by college students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(3), 286-298.
- Kwon, Y., Jeong, J., Park, Y. & Kang, M. (2003b). A philosophical study on the generating process of declarative scientific knowledge - Focused on inductive, abductive, and deductive process. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(3), 215-228.

- Kwon, Y., Yang, I. & Chung, W. (2000). An explorative analysis of hypothesis - Generation by pre-service science teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(1), 29-42.
- Langer, J. A. & Applebee, A. N. (1987). *How writing shapes thinking*. Urbana, IL: National Council of Teachers of English.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lee, S., Choi, C., Lee, G., Shin, M. & Song, H. (2013). Exploring scientific reasoning in elementary science classroom discourses. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(1), 181-192.
- Lee, S., Shin, M., Lee, G., Lee, S. & Kwon, N. (2010). Analyzing coherence of evidences and claims presented in elementary students' science writing for inquiry activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(4), 505-514.
- Lim, O. (2018). *An analysis of scientific reasoning in science writing of elementary school students*. Ph. D. dissertation. Korea National University of Education.
- Matthews, J. R. & Matthews, R. W. (2014). *Successful scientific writing: A step-by-step guide for the biological and medical sciences*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Minto, B. (1996). *The pyramid principle: Logic in writing and thinking*. Pearson Education (translated by Lee, J., [바바라 민토 논리의 기술], Seoul: Demamchulpan, 2017).
- Owens, C. V. (2001). Teachers' responses to science writing. ERIC Document Reproduction Service: ED 457157.
- Park, J. (2000). Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis - Focused on the definition and the characteristics of scientific hypothesis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(4), 667-679.
- Peirce, C. S. (1931~1958). *The collected papers of Charles Sanders Peirce*. Reproducing Vols. I~VI ed. Charles Hartshorne and Paul Weiss (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931~1935), Vols. VII-VIII ed. Arthur W. Burks (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1958).
- Prain, V. (2006). Learning from writing in secondary science: Some theoretical and practical implications. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 179-201.
- Rivard, L. O. P. (1994). A review of writing to learn in science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 969-983.
- Shin, S., Choi, A. & Park, J. (2013). The effects of the science writing heuristic approach on the middle school students' achievements. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(5), 952-962.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172-223.