

비유 만들기를 활용한 반응속도 개념 학습에서 학생들이 만든 비유의 유형과 대응 관계 이해도 및 대응 오류 조사

김경순 · 황선영 · 노태희*
서울대학교 화학교육과
(2008. 3. 4 접수)

An Investigation of the Types of Student-Generated Analogies, the Mapping Understanding, and the Mapping Errors in Concept Learning on the Reaction Rate with Generating Analogy

Kyungsun Kim, Sunyoung Hwang, and Taehee Noh*

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea
(Received March 4, 2008)

요약. 이 연구에서는 비유 만들기를 활용한 반응속도 개념 학습에서 학생들이 만든 비유의 유형, 대응 관계 이해도 및 대응 오류를 논리적 사고 수준에 따라 조사하였다. 고등학교 1학년 6학급의 학생들을 '농도와 반응속도' 및 '온도와 반응속도'의 목표 개념에 대해 각각 비유를 만드는 2집단으로 배치하였다. 각 집단의 학생들은 1차시에 목표 개념에 대해 학습한 후, 2차시에는 목표 개념에 대해 비유를 만들고 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도 검사를 실시하였다. 연구 결과, 비유를 만든 학생의 수는 전체 학생의 과반수에 못 미쳤고, 논리적 사고 능력이 높은 학생일수록 비유를 만든 학생이 많았다. 학생이 만든 비유의 유형은 학생들의 논리적 사고 수준보다 목표 개념의 특성에 의해 좀 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 비유 만들기를 활용한 학습 과정에서 자신이 만든 비유물에 대한 대응 관계 이해도와 대응 오류 유형은 목표 개념의 특성 및 논리적 사고 수준에 따라 다르게 나타났다. 이에 대한 교육학적 함의를 논의하였다.

주제어: 비유 만들기, 대응 관계 이해도, 대응 오류, 논리적 사고

ABSTRACT. This study investigated the types of student-generated analogies, the mapping understanding, and the mapping errors in concept learning on the reaction rate with generating analogy by the students' logical thinking levels. Six classes of tenth graders (N=153) at a high school were assigned to the two groups of generating analogies on the target concepts such as 'concentration and reaction rate' and 'temperature and reaction rate'. After the students of each group were taught about the target concept in the first class, the students generated analogies on the target concept. The test of the mapping understanding on self-generated analogy was then administered in the second class. Analysis of the results revealed that the number of students who generated analogies were less than the half of subjects, and the students who generated analogies had more higher logical thinking level than the others. The types of student-generated analogies were more influenced by the features of the target concepts rather than the students' logical thinking level. There were also differences in the mapping understanding and the mapping errors in learning with generating analogy, according to the features of the target concepts and the students' logical thinking level. Educational implications of these findings are discussed.

Keywords: Generating Analogy, Mapping Understanding, Mapping Error, Logical Thinking

서론

학습은 학생들의 인지 구조에 있는 기존 지식을 바탕으로 새로운 지식을 능동적으로 구성하는 과정이다.¹ 따라서 학생들이 일상생활이나 선행 학습을 통해 접했던 친숙한 용어를 사용하여 추상적인 개념을 구체화시켜주는 비유는 학습에 매우 유용한 도구로 활용될 수 있다.^{2,3} 특히, 과학 교과는 미시적이고 추상적인 개념이 많아 과학 교과서나 과학 수업에서 비유가 많이 활용되어 왔다.⁴ 그러나 비유를 사용한 수업의 효과가 나타나지 않은 경우도 있었는데,⁵ 수업에서 학생들의 이해 수준에 적합하지 않은 비유를 사용하거나 잘못된 비유 수업 방식을 적용함으로써 학생들이 비유물과 목표물의 속성들 간의 대응 관계를 잘못 이해하기 때문으로 보고되었다.⁶

대부분의 교사들은 수업에서 사용하는 비유물이 학생들에게 친숙하여 학생들이 비유물과 목표물의 관계를 잘 이해할 것으로 기대하고, 교사의 설명 중심으로 비유 수업을 진행하는 경우가 많다.⁶ 그러나 학생들은 비유물 자체를 알지 못하는 경우가 많아,⁷ 비유물과 목표물의 속성들 간의 대응 관계를 찾아내지 못하거나 잘못 대응하는 오류를 범하기 쉽다. 또한, 수업에서 주로 사용되는 교과서 비유에 대한 학생들의 이해도가 그리 높지 않은 것으로 보고되었고^{8,9} 교과서나 수업에서 '비유'라는 용어나 비유의 제한점에 대해 언급한 경우가 적어 학생들은 비유물과 목표물을 혼동하거나 잘못 이해할 수 있다.^{8,10} 이는 학생들의 목표 개념에 대한 이해를 저해하고, 오개념을 유발하는 원인이 될 수 있다.⁷

따라서 과학 수업에서 학생들의 사고 수준에 적합한 비유를 사용하고, 이를 통해 학생들의 인지구조를 활성화하여 학생들이 스스로 지식을 재구성할 수 있도록 도울 수 있는 수업 방식을 도입할 필요가 있다. 이를 위한 한 가지 방법으로 학생 중심의 비유 만들기 활동이 제안되었다.¹¹ 비유 만들기 활동은 학생들이 자신의 경험과 사전 지식을 확인하고, 이를 새로운 상황과 연결하여 사고하는데 적극적으로 참여하게 함으로써,^{11,12} 학생들의 개념 이해,¹³ 창의력, 비판적 사고력, 문제 해결력¹⁴ 등의 신장에 효과적인 것으로 알려져 있다. 한편, 일부 연구자들은 비유 만들기 활동이 학생들의 경험이나 사전 지식과 밀접한 관련이 있는 사전 성취 수준^{13,15}이나 성별¹⁵과 같은

학생의 개별적인 특성에 따라 그 효과가 다를 수 있다고 지적하였다.

그러나 지금까지의 연구들은 비유 만들기 활동을 적용한 수업의 효과를 조사한 연구^{11,16}가 대부분이고, 학생들이 만든 비유의 유형이나 비유 만들기 활동을 통한 학습 과정을 체계적으로 분석한 연구는 거의 없다. 일부 연구^{12,15}에서 학생들이 만든 비유를 유형별로 분석하거나 비유 만들기와 학습자 변인과의 관계를 조사하였다. 그러나 학생들이 목표 개념으로부터 주요 속성들을 찾아내어 비유를 만들면서 이 속성들 간의 관계를 이해하는 학습 과정에 대한 구체적인 연구는 없으므로, 이에 대한 연구가 필요하다. 비유 만들기 활동을 통한 학생들의 학습 과정에 대한 연구 결과는 새로운 교육과정에 따른 과학 교과서를 개발하면서 비유물을 선정하거나, 교육 현장에서 비유 만들기 활동을 적용할 때 매우 유용한 시사점을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 비유 만들기 활동에서 학생들의 사전 지식과 경험이 비유의 출처가 되므로,^{11,13} 논리적 사고 수준과 같은 학생의 인지적 특성이 비유 만들기를 활용한 수업 효과에 영향을 미치는 요인으로 작용할 수 있다.

이 연구에서는 고등학교 1학년 과학 교과의 반응속도 단원에서 '농도와 반응속도' 및 '온도와 반응속도' 개념에 대해 학생들이 만든 비유의 유형, 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도와 대응 오류 유형을 목표 개념의 특성 및 학생들의 논리적 사고 수준에 따라 비교 분석하였다.

연구 내용 및 방법

연구 대상

이 연구는 인천시에 위치한 한 남녀 공학 고등학교에서 '반응속도' 단원을 학습하지 않은 1학년 6개의 학급(153명)을 선정하여, '농도와 반응속도' 개념(79명)과 '온도와 반응속도' 개념(74명)에 대한 비유 만들기 집단으로 각각 3개 학급씩 배치하였다. 사전 두 집단간 동질성을 검증하기 위해 연구 대상 학생들의 1학기 중간고사 과학 성취도 점수($t=0.763$, $p=0.447$)와 논리적 사고력 점수($t=1.494$, $p=0.137$)에 대해 t-test 분석을 실시한 결과, 성취 수준과 인지 수준에서 두 집단 간 차이가 없음을 확인하였다. 학생들의 논리적 사고 수준에 따른 집단별 사례 수(%)는

Table 1. The numbers of subjects in the two groups by logical thinking levels (%)

	Concentration and reaction rate	Temperature and reaction rate	Total
Concrete	21 (26.6)	26 (35.1)	47 (30.7)
Transient	27 (34.2)	27 (36.5)	54 (35.3)
Formal	31 (39.2)	21 (28.4)	52 (34.0)
Total	79	74	153

Table 1과 같다. 형식적 조작기 학생의 비율은 선행 연구¹⁷에서 보고된 결과와 비슷하지만, 구체적 조작기 학생의 비율은 상대적으로 높았다.

연구 절차

비유가 모든 과학 개념을 표현하는데 효과적인 것은 아니므로², 이 연구에서는 비유로 표현했을 때 학생들의 그 개념에 대한 이해에 효과적이면서도, 학생 수준에서 비유로 표현할 수 있는 화학 개념을 선정하고자 하였다. 이를 위해, 고등학교 1학년 과학 교과서를 검토하여 비유가 많이 활용되고 있는 ‘반응속도’ 단원에서 연구자가 판단하기에 비유 만들기 활동에 적합한 목표 개념으로 ‘농도와 반응속도’ 및 ‘온도와 반응속도’ 개념을 선정하였다. 한편, 연구학교에서 사용하고 있는 교과서에 제시되어 있는 비유가 학생들이 비유를 만드는데 영향을 미칠 수 있으므로, 이를 통제하기 위해 선행 연구들^{16,18}에 기초하여 비유가 배제된 2개의 각 목표 개념에 대한 교사용 수업 지도안과 학생용 학습 자료를 개발하였다. 개발한 교사용 학습 자료는 과학 교육 전문가 2인과 현직 교사 2인의 검토를 받아 수정·보완하였다.

본 수업 이전에 연구 대상 학생들을 대상으로 논리적 사고력 검사를 실시하였다. 또한, 연구자들은 연구학교를 방문하여 연구 참여 교사 2인에게 구체적인 수업 절차 및 수업 내용이 적혀 있는 교사용 수업 지도안과 학생용 학습 자료를 바탕으로 수업 방법에 대해 자세히 설명하고, 수업 진행 시 주의할 점 등에 대해 안내하였다. 본 수업은 2차시 동안 실시하였는데, 우선 목표 개념에 대한 수업(1차시)은 교사 변인을 최대한 통제하기 위해 미리 제공한 수업 지도안에 따라 2명의 교사가 ‘농도와 반응속도’ 개념(A교사: 2학년, B교사: 1학년)과 ‘온도와 반응속도’ 개념(A교사: 1학년, B교사: 2학년)에 대해 수업을 실시하였다. 이때, 학생들이 교사의 설명이나 교과서에

제시된 비유를 단순히 회상하여 응답하는 사례를 줄이기 위해 수업 과정에서 목표 개념과 관련된 비유는 사용하지 않도록 하였다. 목표 개념에 대한 교사의 설명(40분)이 끝난 후, 학생들이 비유를 만드는데 익숙해질 수 있도록 비유 만들기기에 대한 오리엔테이션(10분)을 실시하였다. 오리엔테이션의 내용은 우선 비유의 정의를 설명한 후, 일상생활에서 자주 사용되지만 목표 개념과는 관련이 없는 비유의 예를 3개 정도 제시하고, 각 비유에 대해 목표물과의 유사점과 차이점에 해당하는 점을 설명하였다. 또한, 비유를 만드는 활동을 단계별로 제시한 후, 내신 점수에 반영되지 않으므로 비유를 만들 때 부담을 갖지 말고 자유롭게 자신의 생각을 표현하게 하였고, 다른 학생이 적은 비유의 글이나 그림을 보고 쓰지 않도록 지도하였다. 비유 만들기 활동(2차시)은 학생들이 이전 차시에 학습한 개념을 충분히 이해했는지 확인하도록 형성 평가와 문제 풀이 활동(10분)을 한 후, 해당 목표 개념에 대해 비유를 만들고 자신이 만든 비유물과 목표물의 속성을 대응시키는 활동(40분)을 하였다. 이때 교사는 목표 개념과 관련된 부연 설명을 하지 않았고, 학생들이 자신의 생각을 자유롭게 기술하도록 강조하고 격려했다.

검사 도구

‘논리적 사고력 검사’는 총 12문항으로 구성된 GALT (Group Assessment of Logical Thinking) 축소본¹⁹을 사용하였다. 본 연구에서 구한 내적 신뢰도(Cronbach’s alpha)는 0.73이었다.

학생이 만든 비유물과 목표물의 대응 관계에 대한 이해도와 대응 오류를 조사하기 위한 ‘대응 관계 이해도 검사’는 선행 연구^{15,20,21}를 참고하여 개발하였다. 이 검사는 자신이 만든 비유물의 속성들을 검사지에 제시된 목표 개념의 속성과 비교하여 유사점(공유 속성)과 차이점(비공유 속성)에 해당하는 요소를 찾아 대응시키고, 그 이유를 서술하도록 구성하였다. 이때, 검사지에 제시된 목표 개념의 속성은 ‘농도와 반응속도’ 개념의 경우 입자, 농도(입자수), 입자들의 충돌 횟수, 반응속도, 입자들의 크기였고, ‘온도와 반응속도’ 개념의 경우에는 농도(입자수) 속성 대신에 온도를 제시하고 입자들의 운동 속도를 추가하였다. 이렇게 개발한 검사지 초안은 연구 대상이 아닌 학생들을 대상으로 실시한 예비 연구를 통해 수정·보

완하였고, 이 과정에서 과학 교육 전문가와 현직 교사 3인으로부터 여러 번 검토를 받아 수정·보완하여 최종본을 완성하였다. 본 연구에서 '대응 관계 이해도 검사'의 내적 신뢰도(Cronbach's alpha)는 0.92였다.

분석 방법

학생들이 만든 비유는 선행 연구²¹⁾에서 사용한 분석틀에 기초하여 그 유형을 분류하였다. 우선 비유를 표현하는 방식에 따라 글 비유, 그림 비유, 글과 그림 비유로 분류하였고, 공유 속성은 목표 개념이 지니는 여러 가지 속성 중 외양이나 구조적인 유사성에 주목하는지, 기능이나 행동적인 성질의 유사성에 주목하는지에 따라 구조적 비유와 기능적 비유로 분류하였다. 상황의 작위성은 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 사물이나 상황을 비유물로 선정하여 목표물에 맞게 의도적으로 구성했는지에 따라 일상적 비유와 작위적 비유로, 비유물의 추상적인 수준은 비유물의 소재가 구체적인 수준인지 추상적인 수준인지에 따라 구체적 비유와 추상적 비유로 분류하였다. 대응 정도는 비유물에 대한 부연 설명이나 언급 정도에 따라 단순 비유, 부연 비유, 확장 비유로 분류하였고, 체계성은 목표 개념의 인과 관계에 대응되는 구조가 비유물에 포함되어 있는지에 따라 저체계 비유와 고체계 비유로 분류하였다.

대응 관계 이해도 검사는 학생들이 만든 비유물에 목표물의 속성들이 존재하고 이들 간의 대응 관계를 제대로 이해하고 있는지 알아보기 위해, 공유 속성과 비공유 속성으로 나누어 채점하였다. 공유 속성의 경우, 학생들이 만든 비유물에 농도, 입자들의 충돌횟수 등과 같은 목표물의 속성이 학생들이 만든 비유물에 존재하면 속성 1개당 1점, 이 속성을 목표물의 속성에 대응시킨 경우에 1점으로 하여 각 속성당 2점 만점으로 채점하였다. 비공유 속성의 경우, 학생이 만든 비유에서 사용한 비유물의 소재에 따라 비공유 속성의 수가 학생마다 다를 수 있다. 이에 교과서에 제시된 비유 및 이 연구에서 학생들이 만든 비유를 모두 분석하여 이 목표 개념들에 대한 비유물이 지닐 수 있는 가장 대표적인 비공유 속성이 입자들의 크기와 운동성 2가지에서 주로 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 공유 속성의 채점 방식과 같은 동일한 기준을 적용하여 대표적인 2개의 비공유 속성에 해당하는 4점을 최대 점수로 정하고, 비공유 속

성 1개당 2점씩 감점하는 방식으로 채점하였다. 즉, 학생이 만든 비유물에 비공유 속성이 전혀 없거나, 비유물에 포함되어 있는 비공유 속성을 모두 차이점에 대응시킨 경우에는 4점, 학생이 만든 비유물에 비공유 속성이 존재하고(1점 감점), 이 속성을 차이점에 대응시키지 않은 경우(1점 감점)에는 비공유 속성 1개당 2점씩 감점하였다. 이와 같은 기준에 따라, '농도와 반응속도' 개념은 공유 속성(4개) 8점과 비공유 속성 4점을 합해 총 12점 만점으로, '온도와 반응속도' 개념은 공유 속성(5개) 10점과 비공유 속성 4점을 합해 총 14점 만점으로 채점하였다.

대응 관계 이해도 검사에서 나타난 학생들의 대응 오류 유형은 선행 연구²¹⁾에서 사용한 분류틀에 기초하여 분석하였다. 이 연구에서는 비유물만 지니는 비공유 속성을 목표물의 공유 속성이나 비공유 속성에 대응시키는 '무분별한 대응(rash mapping)', 대응시켜야 할 공유 속성을 대응시키지 않는 '대응 불이행(failure to map)', 비공유 속성을 목표물의 비공유 속성에 대응시키는 '과잉 대응(overmapping)', 비유물과 목표물 간의 공유 속성 관계를 학습자의 경험이나 편견에 의해 인위적으로 해석하여 잘못 대응시키는 '인위적 대응(artificial mapping)', 비유물과 목표물 간의 공유 속성들을 각각 올바르게 대응시키지 못한 '부적절한 대응(mismatching)', 비유물과 목표물의 공유 속성을 대응했으나 비유물의 속성을 그대로 사용하여 목표물을 설명하는 '비유물 속성 보유(retention of a base feature)', 목표물의 주요 속성이 비유물에 존재하지 않아 학생들이 나름대로 대응시키는 '불가능한 대응(impossible mapping)'으로 분류하였다.

학생들이 만든 비유의 유형, 대응 관계 이해도 및 대응 오류 유형 분석의 신뢰도를 높이기 위해 일부 학생의 검사지를 무작위로 추출하여 연구자 2인이 각자 독립적으로 분석하였다. 이렇게 분석한 결과에 대해 연구자 간의 일치도를 구하고 이견을 좁히는 과정을 반복하여 분석자간 일치도가 94%에 도달한 후, 연구자 중 1인이 모든 답안지를 분석하였다. 비유의 유형과 대응 오류 유형은 빈도 분석을 실시하였다. 대응 관계 이해도 검사의 경우 학생들의 논리적 사고 수준을 독립 변인으로 하여 변량 분석을 실시하고자 했으나, 사례수가 12보다 작은 경우가 있어 모수 통계에서의 기본 가정을 만족하지 못하였다. 이

에 비모수 통계 방법인 Kruskal-Wallis 검증을 사용하여 분석하였고, 주 효과가 있는 경우 집단 간 차이를 밝히기 위한 사후 검증 방법으로 Dunn의 방법을 사용하였다.

연구 결과 및 논의

학생이 만든 비유의 유형

두 목표 개념에 대해 학생들이 만든 비유를 논리적 사고 수준에 따라 유형별로 분석한 결과를 Table 2에 제시하였다. ‘농도와 반응속도’ 개념과 ‘온도와 반응속도’ 개념 모두 비유를 만든 학생의 수(71명)는 전체 학생의 절반에 못 미쳤고, 나머지 학생들(82명)은 비유가 아닌 교과서 등에 제시된 예를 적거나 해석이 불가능한 내용을 기술하였다. 비유를 만든 학생들의 비유를 논리적 사고 수준에 따라 살펴보면, 구체적 조작기(19.7%)가 가장 낮았고, 과도기(28.2%), 형식적 조작기(52.1%) 순으로 높았다. 이러한 결과는 학생들의 논리적 사고 수준에 따라 개념에 대한 이해 정도가 다르다는 선행 연구 결과²²⁾에 비추어볼 때, 연구 대상 학생들이 구체적 조작기나 과도기에 머물러 있는 경우가 많아 목표 개념에 대한 이해 수준이 낮으므로 비유를 잘 만들지 못했을 가능성이 높다. 또한, 인지적 능력이 낮은 학생들일수록 비유 자체에 대한 이해가 부족하거나 목표 개념의 속성을 비

유로 표현할 수 있는 소재를 찾는 것을 어려워하여 비유질을 제대로 고안하지 못한 것으로 생각된다.

‘농도와 반응속도’ 및 ‘온도와 반응속도’ 개념에 대해 학생들이 만든 비유를 유형별로 살펴보면 다음과 같다. 표현 방식의 경우, 대부분의 학생들이 글 비유(14.1%)보다는 글과 그림 비유(85.9%)를 만들었고, 그림만으로 표현한 비유는 없었다. 또한, 학생들은 목표 개념의 주요 속성인 입자들의 충돌이나 온도에 따른 입자들의 운동 속도 등을 Fig. 1과 Fig. 2의 (가)와 (나) 같은 상징적인 기호를 사용하여 표현하는 경우가 많았다. 이는 학생들이 비유를 글로만 기술하기 보다는 그림과 함께 표현하는 경향이 있음을 보여주는 것으로, 학생들은 비유 만들기를 통해 자신의 인



Fig. 1. Example of the student-generated analogy on the concentration and reaction rate.

Table 2. Frequencies of student-generated analogy types of the two groups by logical thinking levels (%)

Analogy	Concentration and reaction rate				Temperature and reaction rate				Total	
	Concrete	Transient	Formal	Total	Concrete	Transient	Formal	Total		
Representation	4(19.0)	11(40.7)	21(67.7)	36(45.6)	10(38.5)	9(33.3)	16(76.2)	35(47.3)	71(46.4)	
Shared attribute	Verbal	-	2(7.4)	3(9.7)	5(6.3)	2(7.7)	2(7.4)	1(4.8)	5(6.8)	10(14.1)
	Verbal/Pictorial	4(19.0)	9(33.3)	18(58.1)	31(39.2)	8(30.8)	7(25.9)	15(71.4)	30(40.5)	61(85.9)
Artificiality	Structure	-	-	-	-	1(3.8)	1(3.7)	-	2(2.7)	2(2.8)
	Function	4(19.0)	11(40.7)	21(67.7)	36(45.6)	9(34.6)	8(29.6)	16(76.2)	33(44.6)	69(97.2)
Abstraction	Everyday	2(9.5)	6(22.2)	14(45.2)	22(27.8)	8(30.8)	7(25.9)	10(47.6)	25(33.8)	47(66.2)
	Artificial	2(9.5)	5(18.5)	7(22.6)	14(17.7)	2(7.7)	2(7.4)	6(28.6)	10(13.5)	24(33.8)
Mapping	Concrete	4(19.0)	11(40.7)	21(67.7)	36(45.6)	10(38.5)	9(33.3)	13(61.9)	32(43.2)	68(95.8)
	Abstract	-	-	-	-	-	-	3(14.3)	3(4.1)	3(4.2)
Systematicity	Simple	-	-	-	-	1(3.8)	-	-	1(1.4)	1(1.4)
	Enriched	4(19.0)	11(40.7)	21(67.7)	36(45.6)	8(30.8)	8(29.6)	16(76.2)	32(43.2)	68(95.8)
	Extended	-	-	-	-	1(3.8)	1(3.7)	-	2(2.7)	2(2.8)
No analogy ¹⁾	High	4(19.0)	11(40.7)	20(64.5)	35(44.3)	8(30.8)	9(33.3)	16(76.2)	33(44.6)	68(95.8)
	Low	-	-	1(3.2)	1(1.3)	2(7.7)	-	-	2(2.7)	3(4.2)
Total	21	27	31	79	26	27	21	74	153	

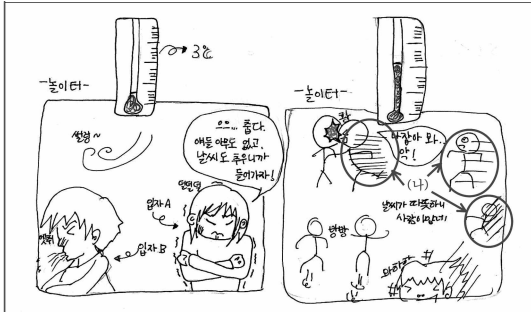


Fig. 2. Example of the student-generated analogy on the temperature and reaction rate.

지구촌 내에 있는 기존 지식을 바탕으로 새로운 도식을 생성하는 과정에서 글과 같은 언어적 정보와 그림과 같은 시각적 정보를 함께 사용하여 지식을 재구성하고 있음을 시사한다.

목표물이 지니는 공유 속성의 구조적 특성 및 기능적 특성에 따라 분류한 결과, 논리적 사고 수준에 관계없이 거의 모든 학생들이 기능적 비유(97.2%)를 만들었다. 선행 연구¹⁶⁾에 의하면 학생들은 기능적 비유를 만들기 어렵다고, 사전 성취 수준이 높은 학생일수록 기능적 비유를 잘 만드는 것으로 보고되었다.¹⁵⁾ 그러나 이 연구에서는 기능적 비유를 만든 학생들이 많았는데, 이는 농도와 온도 변화가 반응속도에 미치는 영향에 대한 두 목표 개념 자체가 구조적인 속성보다는 기능적인 속성을 많이 포함하고 있기 때문으로 해석할 수 있다. 실제로 교과서에 제시되어 있는 두 목표 개념과 관련된 비유들도 기능적 비유가 대부분이다.¹⁰⁾

비유적 상황의 작위성에 따라서는 생활주변의 사물이나 상황을 그대로 이용한 일상적 비유(66.2%)가 이러한 사물이나 상황을 목표물에 맞게 의도적으로 재구성한 작위적 비유(33.8%)보다 많았다. 학생들이 만든 일상적 비유에 대한 예를 보면, 농도가 높아지는 것을 공부할 양이 많은 것에 비유하거나, 입자들 간의 충돌을 싸움으로 표현하는 등 일상생활과 관련된 소재와 상황을 많이 이용하였다. 이는 학생들이 사물이나 상황을 가공하기보다 자신의 선지식이나 경험에 기초한 소재를 그대로 이용하여 비유로 만드는 경향이 있음을 보여준다.

비유물의 추상도 측면에서도 학생들은 추상적인 속성의 비유물을 사용하기보다는 구체적인 속성을 지닌 비유물(95.8%)을 사용하였고, 논리적 사고 수준에 따른 차이는 나타나지 않았다. 이는 반응속도에 영향을 미치는 요인에 대한 개념에서는 입자들의 충돌과 운동성이 주요 요소이므로, 주로 사람이나 움직이는 물체를 비유물의 소재로 사용한 경우가 많았기 때문으로 해석할 수 있다. 한편, '온도와 반응속도' 개념에 대해 추상적인 비유물을 사용한 학생이 일부 있었는데, 예를 들어 온도가 높아지는 것을 화가 났을 때나 좋아하는 사람을 만났을 때와 같은 감정의 변화로 표현한 경우가 있었다. 이는 학생들이 비유를 만드는 과정에서 친숙한 소재를 이용하여 목표 개념을 설명하려는 경향이 있음을 보여준다. 이러한 결과는 일반적으로 비유물이 구체적일수록 유용하지만, 학생들의 흥미나 관심도에 따라 그 효과가 다를 수 있다는 Thiele와 Treagust (1994)의 주장과 같은 맥락으로 볼 수 있다.

목표물과 비유물 간의 대응 정도에 따라서는 대부분의 학생들이 목표물은 비유물과 비슷하다는 식의 단순 비유보다는 목표물과 비유물 간의 공유 속성에 대한 설명을 포함하는 부연 비유(95.8%)를 만들었다. 예를 들면, 온도와 반응속도의 관계를 아이들이 놀이터에서 노는 모습에 비유한 Fig. 2에서와 같이 "날씨가 따뜻하면 아이들이 다양한 게임을 하면서 활발히 활동한다" 등의 비유물에 대한 설명을 포함하고 있는 경우가 많았다. 이러한 결과는 학생들이 스스로 이해한 목표 개념의 속성들을 찾아 비유물을 만들면서 자신이 만든 비유물에 대해 자세히 설명하려는 시도가 많았음을 보여준다. 한편, 한 목표물을 여러 가지 비유물로 표현하거나 한 가지 비유물의 여러 속성을 사용하는 확장 비유는 매우 적었다.

목표 개념의 인과 관계 특성을 비유물이 포함하고 있는지에 따라 체계성을 분류한 결과, 학생들이 만든 비유는 고체계 비유(95.8%)가 대부분이었다. 예를 들어, Fig. 1의 범퍼카 비유에서 "범퍼카의 수가 늘어나면 충돌 횟수가 증가하여 범퍼카에 생기는 흠집도 증가한다" 또는 Fig. 2의 놀이터 비유에서 "날씨가 따뜻하여 아이들이 활발히 활동을 하면 부딪치는 횟수가 증가한다"는 등, 농도와 온도가 높아지면 반응속도가 빨라지는 원인과 결과에 해당하는 속성이 비유물에 모두 포함된 경우가 많았다. 이와 같은 결

Table 3. Means, standard deviations, and conversion means of the mapping understanding test scores on self-generated analogies by logical thinking levels

	Concentration and reaction rate ¹ (n=36)		Temperature and reaction rate ² (n=35)	
	M (SD)	Conversion means ³	M (SD)	Conversion means ³
Concrete	7.00 (2.45)	58.3	6.40 (1.96)	45.7
Transient	7.91 (2.91)	65.9	7.89 (2.37)	56.4
Formal	8.43 (2.50)	70.3	10.06 (2.43)	71.8
Total	8.06 (2.68)	67.2	8.46 (2.74)	60.4

¹Full scores=12, ²Full scores=14, ³Convert full scores into 100

과는 반응속도에 영향을 미치는 요인에 대한 목표 개념의 인과 관계 특성이 뚜렷했기 때문으로 해석할 수 있다.

이상의 결과들은 학생들의 논리적 사고 수준이 낮을수록 비유를 만들지 못하고, 학생들이 만든 비유의 유형은 학생들의 논리적 사고력과 같은 인지적 특성보다는 목표 개념이 지니고 있는 기능적이고 인과적인 특성 및 비유 유형에 대한 학생들의 선호도에 의해 영향을 받을 수 있음을 보여준다.

자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도

비유를 만든 학생들의 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도 검사 점수의 평균, 표준 편차, 환산 평균을 Table 3에 제시하였다. 대응 관계 이해도 검사 점수의 평균을 100점 만점으로 환산한 평균을 비교해보면, ‘농도와 반응속도’ 개념(67.2)에서가 ‘온도와 반응속도’ 개념(60.4)에서보다 높았으나, 유의미한 점수 차이는 없었다($t=1.346$, $df=69$, $p=0.183$). 한편, 형식적 조작기 학생들의 환산 평균은 두 목표 개념(농도와 반응속도: 70.3, 온도와 반응속도: 71.8)에서 비슷했으나, 구체적 조작기와 과도기 학생들은 ‘농도와 반응속도’ 개념(구체적 조작기: 58.3, 과도기: 65.9)에서가 ‘온도와 반응속도’ 개념(구체적 조작기: 45.7, 과도기: 56.4)에서보다 높은 양상을 보였다. 이러한 결과는 ‘농도와 반응속도’ 개념의 공유 속성은 입자, 농도(입자수), 입자들의 충돌 횟수, 반응속도인 반면에, ‘온도와 반응속도’ 개념의 공유 속성은 입자, 온도, 입자들의 운동 속도, 입자들의 충돌 횟수, 반응속도로 속성의 수가 더 많고, 온도와 입자들의 운동 속도와 같은 추상적인 성질의 속성이 더 많은 데서 기인한 것으로 해석할 수 있다. 특히, 논리적 사고 수준이 낮은 학생들은 목표물이 지닌 속성을 모두 이해하지 못해, 이 속성들을 비유에 포함시키거나 올

바르게 대응시키지 못했기 때문으로 생각된다.

각 목표 개념에서 논리적 사고 수준에 따라 대응 관계 이해도 검사 점수를 비교한 결과는 다음과 같다. ‘농도와 반응속도’ 개념의 경우, 구체적 조작기(7.00), 과도기(7.91), 형식적 조작기(8.43) 순으로 높았으나, Kruskal-Wallis 검정 결과 논리적 사고 수준에 따른 점수 차이는 유의미하지 않았다($\chi^2=0.959$, $p=0.619$). 한편, ‘온도와 반응속도’ 개념의 경우에는 논리적 사고 수준에 따라 유의미한 점수 차이가 있었는데($\chi^2=12.094$, $p=0.002$), 형식적 조작기(10.06)와 과도기(7.89) 학생들의 점수가 구체적 조작기(6.40)보다 높았다($p<0.05$).

이러한 결과는 학생이 만든 비유물에 포함된 공유 속성의 수와 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해가 학생들의 논리적 사고 능력과 밀접한 관련이 있을 가능성이 있음을 시사한다. 비유 추론 능력은 논리적 사고 능력과 높은 상관관계가 있으므로, 형식적 조작기 학생들은 자신의 경험이나 사전 지식으로부터 목표 개념의 속성을 지닌 대상을 추출해내고, 이를 목표물과 잘 대응시킬 수 있었던 것으로 생각된다. 특히, 형식적 조작기 학생들은 비유물과 목표물의 비공유 속성을 찾아 비유의 제한점으로 기술하여 더 높은 점수를 받은 경우가 많았다. 예를 들어, 농도와 반응속도의 관계를 이사하는 상황으로 비유한 학생은 입자를 이삿짐 옮기는 남자에 대응시키고, 이 반응에서 입자들의 크기나 모양은 모두 일정하지만 사람은 개인마다 차이가 있어 다르다는 점을 서술하였다.

한편, 구체적 조작기 학생들은 두 목표 개념에 관계없이 공유 속성들을 바르게 연결시키거나, 비공유 속성을 찾아 제시하는 경우가 적었다. 예를 들면, 온도와 반응속도의 관계를 붉은 악마들의 응원을 듣고 축구 선수들이 힘을 내어 더 속도를 내며 열심히 뛰

다는 비유를 만든 구체적 조작기 학생의 경우, 비유물에 입자, 온도, 입자들의 운동 속도의 공유 속성이 있음에도 불구하고, 이들을 연결하지 않았고 비공유 속성도 제시하지 않았다. 이는 논리적 사고 능력이 낮은 구체적 조작기 학생들이 목표 개념에 포함된 속성들에 대한 이해가 부족하여 스스로 만든 비유에서 공유 속성을 찾아내어 연결시키는 것을 어려워하고, 비공유 속성에 대해서도 인지하지 못했기 때문일 수 있다. 따라서 교사는 비유 만들기 활동에 앞서 학생들에게 목표 개념이 지닌 속성들을 구체적으로 제시하고, 비유를 만드는 과정에서 학생들이 비유물과 목표물의 공유 속성과 비공유 속성을 생각해볼 수 있는 구체적인 단계를 제공할 필요가 있다.³²⁰

대응 오류 유형

학생들이 스스로 만든 비유물과 목표물의 속성들을 대응시키는 과정에서 나타난 대응 오류 유형을 논리적 사고 수준에 따라 분석하여 Table 4에 제시하였다. 선행 연구³⁰²⁾에서 보고된 대응 오류 유형 중에서 ‘무분별한 대응’, ‘대응 불이행’, ‘과잉 대응’, ‘인위적 대응’, ‘부적절한 대응’이 나타났고, ‘비유물 속성 보유’, ‘불가능한 대응’은 나타나지 않았다. 학생 1인당 범하는 대응 오류의 수는 ‘농도와 반응속도’ 개념(1.47)에서보다 ‘온도와 반응속도’ 개념(2.25)에서 더 많았다. 형식적 조작기 학생 1인당 범하는 대응 오류의 수는 두 목표 개념(농도와 반응속도: 1.42, 온도와 반응속도: 1.50)에서 비슷했으나, 구체적 조작기와 과도기 학생들은 ‘농도와 반응속도’ 개념(구체적 조작기: 2.50, 과도기: 1.81)에서보다 ‘온도와 반응속도’ 개념(구체적 조작기: 3.40, 과도기: 3.67)에서

더 높은 양상을 보였다. 이는 ‘농도와 반응속도’ 개념보다 ‘온도와 반응속도’ 개념이 지닌 속성의 수가 많고 더 추상적인데다, ‘온도와 반응속도’ 개념에 대해 비유를 만든 학생들 중 구체적 조작기 학생의 비율이 상대적으로 더 높았기 때문으로 해석된다. 또한 이러한 결과는 대응 관계 이해도 검사 결과에 비추어 볼 때, 대응 오류를 많이 범할수록 대응 관계 이해도 점수가 낮아짐을 보여준다. 한편, 대응 오류 유형별로는 목표 개념의 특성과 학생들의 논리적 사고 수준에 따라 일관된 양상을 보이지 않았다.

대응 오류 유형별로 살펴보면, 비유물만 지닌 비공유 속성을 목표물의 공유 속성 중 아무것이나 대응시키는 ‘무분별한 대응’ 오류는 ‘농도와 반응속도’ 개념(0.64)에 대해 비유를 만든 학생들이 ‘온도와 반응속도’ 개념(0.40)에서보다 더 많이 범한 것으로 나타났다. 이는 ‘농도와 반응속도’ 개념이 ‘온도와 반응속도’보다 속성의 수가 적고 추상적인 특성도 적었기 때문에 비유물과 목표물의 속성들을 찾아 연결하지 못한 경우(대응 불이행 오류)는 적었던 반면에 잘못 연결하는 빈도가 높아진 것으로 보인다. 즉, 학생들이 비유물과 목표물의 속성들을 대응시키려는 시도가 많아짐에 따라 비유물만 지닌 비공유 속성을 목표물의 공유 속성 중 아무것이나 대응시키는 오류를 범한 빈도가 높아졌다. 특히, 과도기의 학생들이 이 오류를 가장 많이 범하였고, 형식적 조작기 학생들도 구체적 조작기 학생들보다 학생 1인당 이 오류를 범하는 빈도가 높게 나타났다. 이는 과도기나 형식적 조작기 학생들은 자신이 만든 비유물에 포함되어 있는 속성들을 더 잘 찾아내고, 비공유 속성까지도 목표물의 아무 속성이나 대응시키려는 시도가 더 많

Table 4. Frequencies of the students’ mapping errors in concept learning with generating analogy by logical thinking levels (probability¹⁾

	Concentration and reaction rate				Temperature and reaction rate			
	Concrete (n=4)	Transient (n=11)	Formal (n=21)	Total (n=36)	Concrete (n=10)	Transient (n=9)	Formal (n=16)	Total (n=35)
Rash mapping	1(0.25) ¹	10(0.90)	12(0.57)	23(0.64)	7(0.70)	3(0.33)	4(0.25)	14(0.40)
Failure to map	4(1.00)	5(0.45)	4(0.19)	13(0.36)	17(1.70)	12(1.33)	11(0.69)	40(1.14)
Overmapping	2(0.50)	2(0.18)	6(0.29)	10(0.28)	1(0.10)	3(0.33)	1(0.06)	5(0.14)
Artificial mapping	3(0.75)	-	1(0.05)	4(0.11)	-	-	-	-
Mismapping	-	-	3(0.14)	3(0.08)	3(0.30)	9(1.00)	8(0.50)	20(0.57)
Total	10(2.50)	20(1.81)	30(1.42)	53(1.47)	34(3.40)	33(3.67)	24(1.50)	79(2.25)

¹Probability of the mapping errors per a student

았기 때문으로 생각된다. 예를 들어, 농도와 반응속도의 관계를 동물의 수가 늘어나면 동물들 간의 싸움이 많아진다는 상황에 비유한 학생은 자신이 만든 비유물에서 동물의 수, 종류, 서열, 동물들 간의 충돌, 동물들의 변화를 목표 개념의 속성에 연결시켰는데, 이때 동물의 종류를 농도에, 동물들의 서열을 입자의 크기에 잘못 연결시켰다. 한편, '온도와 반응속도' 개념은 '농도와 반응속도' 개념보다 속성의 수가 많고, 속성이 더 추상적이었기 때문에 비유물과 목표물의 속성들을 찾아 연결하지 못하는 빈도가 높아짐에 따라 학생 1인당 무분별한 대응 오류를 범하는 빈도가 낮았던 것으로 생각된다. 또한, 논리적 사고 수준이 낮을수록 그 빈도가 높은 양상을 보였는데, 이는 논리적 사고 수준이 낮은 학생일수록 자신이 만든 비유물에 있는 속성들 중에서 공유 속성과 비공유 속성을 제대로 구별해내지 못했기 때문일 수 있다.

비유물과 목표물 간의 대응시켜야 할 공유 속성을 대응시키지 않은 '대응 불이행'은 '농도와 반응속도' 개념(0.36)에서보다 '온도와 반응속도' 개념(1.14)에서 학생 1인당 오류 빈도가 매우 높게 나타났다. 이는 '온도와 반응속도' 개념에 포함된 속성의 수가 '농도와 반응속도' 개념에 포함된 속성의 수보다 많았고, 온도와 입자들의 운동속도와 같은 추상적인 속성들로 인해 학생들이 대응을 놓치는 빈도가 높았던 것으로 생각된다. 또한, 두 목표 개념에 대해 논리적 사고 능력이 낮은 학생일수록 이 오류를 범하는 비율이 높았다. 이는 논리적 사고 능력이 낮은 학생일수록 비유물과 목표물의 속성들 중에서 공유 속성을 찾아내어 대응시키지 못했기 때문으로 생각되며, 이러한 결과는 구체적 조작기 학생들일수록 대응 관계 이해도 검사 점수가 낮았던 본 연구의 결과를 뒷받침한다.

비공유 속성을 목표물의 비공유 속성에 대응시키는 '과잉 대응'의 경우에는 '농도와 반응속도' 개념(0.28)에서가 '온도와 반응속도' 개념(0.14)에서보다 학생 1인당 오류 빈도가 조금 더 높았고, 구체적 조작기 학생들이 형식적 조작기 학생들보다 그 빈도가 좀 더 높게 나타났다. 예를 들어, 농도와 반응속도 관계를 고속도로에 차가 있는 상황으로 비유를 만든 학생은 입자를 자동차에 올바르게 대응시켰으나, 입자들의 크기가 클수록 충돌 횟수가 많아지고 자동차의 크기가 클수록 충돌 횟수가 많아지므로 비슷하다고

설명했다. 그러나 입자의 크기와 충돌 횟수의 관계는 반응물의 상태에 따라 다를 수 있으며, 고등학교 교육과정에서 다루고 있지 않은 개념이므로 목표물의 비공유 속성으로 분류된다. 또한, 이 학생이 만든 비유에는 자동차의 크기가 모두 다르게 제시되어 있으므로 자동차의 크기는 비유물이 지닌 비공유 속성으로 분류된다. 따라서 이 학생은 비유물의 비공유 속성인 자동차의 크기와 목표물의 비공유 속성인 입자의 크기를 대응시켰으므로 과잉 대응 오류를 범하였다. 이는 학생들이 비유를 사용하여 물질의 입자성과 관련된 개념에 대해 학습하는 과정에서 주로 입자의 크기와 모양과 같은 보존 개념의 속성에 대해 이와 같은 오류를 잘 범한다는 선행 연구 결과²⁰와 유사하다.

비유물과 목표물의 공유 속성들 간의 관계를 학생 자신의 경험이나 편견에 의해 인위적으로 변형하거나 잘못 해석하여 유발된 '인위적 대응'은 '농도와 반응속도' 개념(0.11)에서만 소수의 학생들이 이 오류를 범하는 것으로 나타났다. 예를 들어, 농도와 반응속도의 관계를 식당에서 음식을 먹는 것으로 비유를 만든 학생은 입자를 음식에 대응시키고 반응속도는 음식을 먹는 속도에 대응시켰는데, 음식이 많으면 먹는 시간도 오래 걸려서 오랫동안 앉아서 먹는다고 설명하였다. 이 학생은 음식이 많아진다는 것을 입자 수가 많아져 농도가 증가하는 것으로 바르게 대응시켰으나, 음식이 많아지면 먹는 시간이 오래 걸려 반응속도가 느려진다는 경험에 기초하여 잘못 생각하고 있었다. 이는 시간과 반응속도의 개념을 제대로 이해하지 못한 채, 일상생활의 경험에 기초하여 대응 관계에 대해 잘못 이해했기 때문으로 볼 수 있다.

비유물과 목표물의 공유 속성들을 올바르게 대응시키지 못한 '부적절한 대응'은 '농도와 반응속도' 개념(0.08)에서 학생 1인당 범하는 오류 빈도는 낮았으나, '온도와 반응속도' 개념(0.57)에서는 그 빈도가 높았다. 이러한 결과는 개념에 포함된 속성의 수가 많으면 이 오류를 범하는 빈도가 높을 수 있다고 보고한 선행 연구 결과^{20,21}와 유사하다. 또한, 학생들이 수와 같은 양적인 관계는 비교적 잘 이해하고 있기 때문에 '농도와 반응속도'에서 농도(입자수) 변화에 해당하는 속성이 포함된 소재를 비교적 잘 찾아내어 바르게 연결할 수 있었던 것으로 보인다. 반면에, '온도와 반응속도' 개념에서는 속성의 수가 많고, 학생

들이 온도 변화나 입자의 운동 속도와 같은 추상적인 속성 자체를 제대로 이해하지 못해 잘못 대응시키는 경우가 많았던 것으로 생각된다.

결론 및 제언

이 연구에서는 고등학교 1학년 과학 교과서의 반응 속도에 영향을 미치는 요인에 대해 학생들이 만든 비유의 유형, 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도와 대응 오류 유형을 논리적 사고 수준에 따라 분석하였다.

연구 결과, 과반수이상의 학생들이 비유를 만들지 못했고, 논리적 사고 능력이 낮은 학생일수록 비유가 아닌 예나 해석이 불가능한 내용을 기술하였다. 한편, 비유를 만든 학생들의 대부분은 논리적 사고 수준에 관계없이 비유를 구체적인 소재나 일상적 상황에 기초하여 글과 그림으로 표현하였고, 비유물에 대한 부연 설명과 함께 목표물의 기능적인 속성과 인과 관계를 포함시킨 경우가 많았다. 학생들의 자신이 만든 비유에 대한 대응 관계 이해도는 목표 개념의 특성에 따라서는 큰 차이가 없었으나, 논리적 사고 능력이 낮은 학생들은 목표 개념의 속성 수가 많고 좀 더 추상적인 '온도와 반응속도' 개념에서 대응 관계에 대한 이해도가 낮았다. 또한, 논리적 사고 능력이 높은 학생일수록 목표 개념의 속성을 많이 포함한 비유물을 만들어 올바르게 대응시킨 경우가 많았고, 대응 오류의 빈도도 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 그러나 논리적 사고 능력이 높은 형식적 조작기 학생들은 목표 개념의 속성의 수가 적고 덜 추상적인 '농도와 반응속도' 개념에 대해 비유를 만들어 대응하는 과정에서는 비유물에 포함된 속성을 무조건 연결시키려는 시도가 많아 오히려 논리적 사고 능력이 낮은 구체적 조작기 학생들보다 '무분별한 대응' 오류를 범한 비율이 높았다.

이상의 논의로부터, 논리적 사고 능력이 높은 학생일수록 비유를 잘 만들 수 있고, 학생이 만든 비유의 유형은 학생들의 논리적 사고 수준보다는 목표 개념의 인과관계나 기능적인 특성에 의해 더 많은 영향을 받을 수 있다. 또한, 비유 만들기를 통한 학습 과정에서 자신이 만든 비유물에 대한 대응 관계 이해도 및 그 과정에서 유발되는 대응 오류 유형은 속성의 수나 추상성과 같은 목표 개념의 특성 및 학

생들의 논리적 사고 수준에 따라 달라질 수 있다. 특히, 구체적 조작기 학생들은 목표 개념 자체에 대한 이해가 부족하여 목표물의 주요 속성들을 포함한 비유를 잘 만들지 못했거나,^{11,13} 비유물과 목표물의 공유 속성과 비공유 속성을 제대로 인식하지 못했을 수 있다. 따라서 교사는 비유 만들기 활동을 하기 전에 논리적 사고 능력이 낮은 학생들을 파악하여, 이 학생들이 목표 개념에 대해 제대로 이해했는지 확인할 필요가 있다. 또한, 학생들은 비유물의 소재를 찾는 것을 어려워할 수 있으므로, 수업에서 비유 만들기를 활용하는 경우 교사는 목표 개념이 지닌 속성들과 함께 비유 소재 및 상황 등을 제시하는 등의 구체적이고 단계적인 도움을 제공할 필요가 있다.

그러나 이 연구에서는 특정 지역의 한 고등학교 학생들을 대상으로 '반응속도에 영향을 미치는 요인' 개념에 대한 비유 만들기 과정을 분석한 것이므로, 이 결과를 일반화하는 데에는 주의가 필요하다. 따라서 추후에는 과학의 주요 개념들에 대해 여러 학년을 대상으로 이와 같은 연구를 지속적으로 수행할 필요가 있으며, 다양한 학습자 특성에 따라 비유 만들기를 통한 학생들의 학습 과정을 알아보는 체계적인 연구들도 진행되어야 한다. 또한, 이 연구의 결과만으로는 학생들 자신이 만든 비유에 대해 잘못 해석하거나 대응 오류가 발생한 원인을 심층적으로 밝히기에는 한계가 있으므로, 관찰이나 심층 면담 등의 정성적인 연구를 통해 학생들이 만든 비유나 대응 오류의 원인을 보다 깊이 있게 탐색할 필요가 있다. 이러한 연구 결과에 기초하여 학생들의 비유 만들기를 지도할 수 있는 효과적이고 구체적인 활용 방안을 모색하고, 그 결과를 교사를 위한 안내 자료로 만들거나 교사 연수를 통해 정보를 공유하고, 앞으로 현장에서 학생들을 지도하게 될 예비 교사들의 교육에서도 이에 대한 소개를 할 필요가 있다.

인용 문헌

1. Driver, Dennis A.; English, Richard *Mathematics in School* 1991, 20(3), 38.
2. Duit, R. *Science Education* 1991, 75, 649.
3. Thiele, R. B.; Treagust, D. F. *Using analogies in secondary chemistry teaching*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Perth, Western Australia, 1991.

4. Calik, M.; Ayas, A. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* **2005**, 6(2), 1.
5. Friedel, Arthur W.; And Others *School Science and Mathematics* **1990**, 90(8), 674.
6. Rule, A. C.; Furlletti, C. *School Science and Mathematics* **2004**, 104(4), 155.
7. Thiele, R. B.; Treagust, D. F. *Journal of Research in Science* **1994**, 31, 227.
8. 권혁순; 최은규; 노태희 *한국과학교육학회지* **2004**, 24(2), 287.
9. 김영민; 박희숙 *한국과학교육학회지* **2000**, 20(3), 411.
10. 차정호; 변순화; 노태희 *대한화학회지* **2004**, 48(6), 629.
11. Wong, E. D. *Journal of Research in Science Teaching* **1993**, 30, 367.
12. Pittman, K. M. *Journal of Research in Science Teaching* **1999**, 36, 1.
13. Pittman, K. M.; Beth-Halachmy, S. *The role of prior knowledge in analogy use*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL, 1997.
14. Middleton, J. L. *The American Biology Teacher* **1991**, 53, 42.
15. 권혁순; 최은규; 노태희 *대한화학회지* **2003**, 47(3), 265.
16. Glynn, S. *Effects of instruction to generate analogies on students' recall of science text*, Reading Research Report No. 60. Athens, GA: National Reading Research center, 1996.
17. 우종욱; 이항로 *한국과학교육학회지* **1995**, 15(4), 379.
18. Nottis, K. E. K.; McFralnad, J. *Electronic Journal of Science Education*; <http://ejse.southwestern.edu>, **2001**, 5(4), 5.
19. Roadrangka, V.; Yeany, R. H.; Padilla, M. J. *The construction and validation of Group Assessment of Logical Thinking (GALT)*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, Texas, 1983.
20. 김경순; 신은주; 변순화; 노태희 *한국과학교육학회지* **2006**, 26(4), 486.
21. Else, M. J.; Clement, J.; Ramirez, M. A. *Should different types of analogies be treated differently in instruction? Observations from a middle-school life science curriculum*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, PA, 2003.
22. 이은정; 정영란 *한국과학교육학회지* **2000**, 20(2), 297.