

우주 팽창 교수.학습을 위해 어떤 모형을 사용해야 할까?

이현정 · 유다연¹ · 공병민² · 원준연³ · 심현진^{4*}

구미전자공업고등학교 · ¹영신중학교 · ²두호고등학교 · ³구미고등학교 · ⁴경북대학교 지구과학교육과

What Scientific Model Should We Use to Teach Cosmic Expansion to Students?

Hyunjung Lee · Dayeon Yoo¹ · Byeongmin Kong² · Junyeon Won³ · Hyunjin Shim^{4*}

Gumi Electronic Technical High School · ¹Youngshin Middle School · ²Duho High School ·
³Gumi High School · ⁴Department of Earth Science Education, Kyungpook National University

Abstract : This study compares two analogical models employed in the instruction of cosmic expansion to assess their impact on the comprehension of middle and high school students. Among the most frequently used models, the balloon model, in which the surface of a balloon represents the Universe, and the bread model, in which the bread itself symbolizes the Universe, were chosen. Using the balloon model, students are required to conceptualize the 2-dimensional surface as representing a higher-dimensional space. Using the bread model, students need to visualize the Universe as the interior of the bread prior to slicing it. For middle school students who had not yet studied cosmic expansion, the balloon model proved more effective in conveying the fundamental scientific concept that the expanding Universe has no center. High school students, who were already familiar with the concept of expansion without a center from previous lessons, found it easier to map the analogy onto the target using the bread model. Based on these results, we conclude that employing multiple models is necessary to complement any single analogy, given its inherent limitations.

keywords : cosmic expansion, scientific model, modeling, science education, cosmology education

I. 서론

과학 연구와 과학과 교수.학습에서 과학적 모형 (scientific model)과 모델링(modeling)의 필요성 및 중요성에 대해서는 누구도 부정할 수 없을 것이다. 과학 모형, 혹은 모델이란 자연 현상을 묘사, 설명, 예측한 체계이며 현상 뒤에 내재하는 과학적 원리와 관찰 결과를 연결하는 연결 고리 역할을 한다(Oh & Oh, 2011). 연구자들은 자신들의 연구 결과를 다른 사람들과 공유하거나, 새롭고 창의적인 예측을 하기 위해서 모형을 개발하고 제시하며 작성된 모형은 독립적인 관찰과 증거를 기반으로 여러 차례 검증이 이루어진다. 하나의 개념과 현상을 설명하는 데에는 복수의 모형이 존재할 수 있고, 각각의 모형은 상호 배타적일 필요는 없으며 과학 지식의 발달에 따라 대안적인 모형이 기존의 지배적인 모형보다 우월한 지위를 차지하기도 한다. 모형의 형태는 학습이나 설명을

위한 규모 모형에서부터 기술을 위한 도표, 그림, 차트 등의 기술적 모형, 구체적인 현상을 기호, 수학적 표현, 언어 등으로 추상화한 모형, 개념에 도달하는 과정과 논리적 추론을 글 또는 시뮬레이션 등으로 정리한 추상화 모형 등 다양하며(Harrison & Treagust, 2000), 이러한 모형은 연구자 혹은 학습자 개인의 인지 구조와 상호 작용하여 사고를 돕는다. 즉, 좋은 모형은 과학 학습에 도움이 된다.

그렇다면 어떤 모형이 좋은 모형일까? 과학자들은 여러 모형을 비교 평가하여 '좋은 모형'을 판단하기 위한 몇 가지 기준을 제시한 바 있다(Kuhn, 1970; Pluta *et al.*, 2011). 예를 들면 개념을 일관적으로 명확하게 제시할 수 있어야 하고, 경험적 증거 및 논리적 추론과 일치해야 하는 한편 창의적인 예측을 하는 데에 도움이 되어야 한다는 것이 그것이다. 과학 학습에서 개념 이해를 위해 사용되는 모형을 평가하기 위한 인식론적인 기준도 크게 다르지 않다(Pluta *et al.*,

* 교신저자: 심현진 (hjshim@knu.ac.kr)

** 2024년 6월 17일 접수, 2024년 7월 25일 수정원고 접수, 2024년 7월 25일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2024.48.2.101>

2011). 과학 학습 과정에서 등장하는 모형이 ‘좋은 모형’이 되기 위해서는 설명이나 묘사하고자 하는 개념을 명확하게 보여줄 수 있어야 하고, 경험적 근거와 합치해야 한다. 과학 모형의 평가 기준과 동일하게 창의성을 함양할 수 있을 정도로 학습자의 흥미를 불러일으킬 수 있어야 한다는 언급도 있지만, 기본적으로는 개념을 선명하게 전달할 수 있는 모형이 학습용으로 좋다고 인식된다고 할 수 있다(Pluta *et al.*, 2011).

한국의 과학 교육 분야 연구에서 모형 및 모델링 관련 연구 동향을 분석한 Cho & Nam (2017)에 따르면, 1989년부터 2016년까지 발표된 모델링 관련 논문 중에서 지구과학 분야 연구가 약 30%로, 물리, 화학, 생명과학 분야에 비해 더 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 실험군과 대조군을 정의하고 가설 확인을 위한 실험을 하기가 어려우며 다루는 대상의 시공간적 규모가 큰 지구과학 분야의 특성상, 다양한 기술적 모형과 추상적 모형을 활용하여 비유(analogy)와 경험적 사고에 기대어 개념 이해를 유도하는 교수학습 전략이 발달한 것으로 풀이된다. 또, Lee *et al.* (2003)은 지구과학적 현상이 일어나는 시간적, 공간적 규모를 고려할 때 학습자의 직접 추적 관찰이 어렵고, 실험실에서 재현이 어렵다는 점을 들어 지구과학 교수·학습에서 언어와 그림 등 비유적 표현의 중요성을 강조하였다. 그중에서도 ‘우주’와 관련한 교수학습, 특히 ‘우주 팽창’이라는 개념은 중고등학교 과정(혹은 대학 교양 과정)에서는 시선속도와 적색이동, 상대론과 우주의 곡률 등 복잡한 지식에 대한 이해가 없거나 부족하여 단순화시킨 상태로 다루어질 수밖에 없기 때문에 필연적으로 비유론적인 모형을 사용하게 된다. 가장 대중적으로 사용되는 것은 고무줄(밴드)이나 풍선과 같이 탄성이 있는 물체에 펜이나 스티커 등을 사용해 표시하고 길이나 부피를 늘려 변화를 관찰하는 일종의 실체적(physical), 조작 가능한(hands-on) 모형이다. 단순화 과정을 거친 하나의 모형이 모든 개념적 지식을 충분히 설명하는 것은 불가능에 가깝고, 각각의 모형에는 한계가 존재할 수밖에 없다. 서로 다른 모형을 비교 평가하기 위해서는 학생의 인지적 능력 발달 수준을 고려할 때, 어떤 모형이 학생들에게 어떻게 인식되는지(즉, 어떤 모형이 어떤 방식으로 학생들의 이해를 유도하는지)를 미리 탐색할 필요가 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제 인식에서 ‘우주 팽창’을 설명하기 위해 자주 사용되는 두 가지 모형을 대상으로 학생들의 관련 개념 이해도를 정량적으로 비교하였다. 학생을 두 그룹으로 나누어 각각의 그룹에 두 가지 다른 방식의 비유 모형을 활용해 ‘우주 팽창’ 개념을 설명하는 동영상 학습 자료를 제공한 뒤, 자료를 스스로 학습한 학생들이 형성 평가를 풀이했

을 때 정답률에 차이가 있는지 살펴보았다. 대상 학생은 아직 과학 교과에서 해당 개념을 학습하기 이전인 중학교 3학년 학생들과 해당 부분을 기존에 학습했지만 심화 내용을 학습하지 않은 고등학교 2학년 학생들로, 학생의 학교급 또는 인지적 발달 수준에 따라서 두 모형을 인식하는 차이가 있는지 비교하고자 하였다. 통계적인 분석을 거쳐, 이 연구에서는 “두 모형 중 어떤 모형을 사용하는 것이 좋은가?” 혹은, “두 모형의 사용은 각각 어떻게 상호보완적이 될 수 있는가?”라는 질문에 대한 답변과 향후 우주론 분야 교육에 대한 시사점을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 목적과 방법에 동의한 D광역시 소재 Y중학교 3학년 학생 201명, G도 소재 G고등학교 2학년 학생 47명을 대상으로 연구를 진행하였다. 중학교 3학년, 고등학교 2학년 학생 모두 2015 개정 과학과 교육과정 적용 대상으로 중학교 3학년 때 ‘우주 팽창’을 학습하게 되어 있다. Y중학교 3학년 학생들이 해당 부분을 학습하기 전에 연구가 진행되었으므로 Y중학교와 G고등학교의 결과를 비교함으로써 학교급에 따른 차이를 비교할 수 있다. G고등학교 학생들은 지구과학을 선택하지 않은 학생들로 구성되었다. Y중학교와 G고등학교는 모두 남녀공학이다.

2. 학습 자료 제작

학습 자료의 제작은 2024년 4월 말, 투입은 5월 중순에 이루어졌다. 자료는 동영상 형태로, 중학교 ‘과학’ 수준에서 2015, 2022 개정 과학과 교육과정에 제시된 다음의 성취기준을 충족시킬 수 있도록 제작하였다.

- 2015 개정 - [9과 23-03] 우주가 팽창하고 있음을 모형으로 설명할 수 있다.
- 2022 개정 - [9과 15-03] 모형을 이용하여 우주가 팽창하고 있음을 설명할 수 있다.

우주 팽창을 설명하는 모형 두 가지를 선정하여 두 종류의 동영상(A형, B형)을 제작하였다. A형에서는 풍선의 팽창에 따라 표면에 붙인 스티커 사이의 거리가 멀어지는 현상을 우주 팽창에 따라 은하 사이의 거리가 멀어지는 것으로 비유한 모형, B형에서는 빵이 부풀어 오름에 따라 빵에 포함된 건포도 사이의 거리가

멀어지는 현상을 우주 팽창에 따라 은하 사이의 거리가 멀어지는 것으로 비유한 모형을 사용하였다. 동영상에는 도입부의 학습 목표와 문제 제시, 비유물과 목표물을 대응시키는 해설, 우주 팽창과 관련한 과학적 개념 설명을 포함하였다. 비유물과 목표물 대응 해설 부분을 제외한 다른 부분은 동일하게 구성하였고, 재생 시간도 2분 40초로 같다. Table 1과 Table 2는 A형 자료와 B형 자료의 차이점을 비교한 것이다. 동영상 자료에서 우주 팽창에 관해 시각적으로 표현한 장면에서는, 은하의 비유물인 스티커(A)와 건포도(B)가 시간에 따라 멀어지는 정도를 관측자로부터의 거리에 따라 비교할 수 있도록 화살표를 사용해 보여주었다 (Table 1). Table 2는 A, B형 동영상 링크와 대본을 비교한 것으로, 차이가 있는 부분은 굵은 폰트 및 밑줄로 표기하였다.

3. 검사지

학습 이후 ‘우주 팽창’에 관한 학생들의 이해를 확인하기 위해 검사 문항을 개발하였다. 교육과정의 내

용 요소 및 목표를 참조하여, 동영상 시청한 이후의 내용적인 이해와 적용 능력 등을 확인할 수 있도록 (1) 우주 팽창의 중심, (2) 시간에 따른 우주의 밀도 변화, (3) 은하 내 항성 사이의 거리 변화, (4) 은하의 후퇴 속력과 거리의 관계, (5) 비유물과 목표물의 대응에 관한 총 5개의 문항으로 구성하였다. 비유물과 목표물의 대응을 제외한 나머지 문항은 A형과 B형 동영상 학습 그룹에 공통으로 적용되기 때문에 같은 문항을 사용하였다.

개발한 검사 문항을 현직 중등 과학 교사 4인, 천문학 전공 교수 1인으로 구성된 전문가 패널에 의뢰하여 내용 타당도를 확인하였다. 각 문항이 묻고자 하는 내용에 대해 학생들의 개념 이해 여부를 확인하는 데에 적합한지를 리커트 척도 5단계(1: 교체 필요, 2: 전면 수정 필요, 3: 약간의 내용 수정 필요, 4: 내용 수정은 필요치 않으나 문장 수정 필요, 5: 수정 없이 사용 가능)로 표시하도록 요청하고, 4 혹은 5로 판정한 전문가의 수를 전체 전문가의 수로 나누어 내용 타당도 지수(Content Validity Index)를 구하고, 0.75 이상인 경우 내용 타당도가 검증된 것으로 생각하였

Table 1. Comparison between the models used in A-type and B-type videos

구분	비교 그림
<p>A</p>	
<p>B</p>	

Table 2. Comparison between the script in A-type and B-type videos

구분	A	B
링크		
도입	<p>우리가 살고 있는 지구와 태양은 우리은하에 존재합니다. 우리 은하에는 수많은 별들이 존재하고 있어요. 또, 세상에는 우리은하 바깥에도 수많은 외부은하가 존재합니다. 그리고 우리은하와 그 밖의 다른 외부 은하 전체가 차지하는 거대한 공간을 우주라고 합니다. 외부 은하만 하더라도 천억 개 정도가 존재하니 우주는 얼마나 클까요? 과거에도 우주의 크기가 지금과 같았을까요? 미래에도 우주의 크기는 지금과 다르지 않을까요? 간단한 실험을 통해서 우주의 크기 변화에 대해 생각해 봅시다.</p>	
모형을 이용한 설명	<p>우리는 풍선과 스티커로 실험을 진행할 거예요. 먼저 풍선 표면에 스티커를 붙입니다. 그런 다음, 풍선을 불 거예요.</p> <p style="text-align: center;">(모의실험 영상 시청)</p> <p>풍선 표면에 붙인 스티커들 사이의 거리가 어떻게 변했나요? 네 맞아요. 서로 멀어졌어요. 멀리 떨어져 있을수록 스티커들이 훨씬 더 빨리 멀어지네요.</p> <p>그렇다면 모형과 실제 우주를 대응시켜 볼게요. 이 실험에서 풍선 표면은 우주에 해당하고 스티커는 은하를 나타냅니다. 그런데 풍선을 불었을 때 풍선이 커진다고 해서 스티커도 똑같이 커지지는 않았어요. 스티커의 크기가 그대로인 것은 은하의 크기가 커지지 않는다는 것을 의미해요. 그리고, 풍선을 불고 난 후의 스티커 사이의 거리를 봅시다. 풍선을 불었을 때 스티커들 사이가 점점 멀어졌어요. 이것은 은하들 사이의 거리가 멀어진다는 것을 의미합니다. 풍선을 불어서 커진 것과 같이 우주는 시간이 지남에 따라 팽창합니다. 그리고 멀리 떨어져 있는 스티커들이 같은 시간 동안 훨씬 더 많이 멀어졌기에, 빨리 멀어진 것도 확인할 수 있습니다. 이것은 멀리 떨어져 있는 은하일수록 더 빠르게 멀어지는 것을 보여줍니다.</p> <p>또, 어떤 은하에서 보더라도 서로 멀어지고 있어서 우주의 중심을 찾을 수가 없어요. 즉, 우주 팽창의 중심이 없다는 의미입니다.</p>	<p>우리는 빵과 건포도로 실험을 진행할 거예요. 먼저 빵 반죽에 건포도를 넣습니다. 그런 다음, 빵을 구울 거예요.</p> <p style="text-align: center;">(모의실험 영상 시청)</p> <p>빵 속에 든 건포도들 사이의 거리가 어떻게 변했나요? 네 맞아요. 서로 멀어졌어요. 멀리 떨어져 있을수록 건포도들이 훨씬 더 빨리 멀어지네요.</p> <p>그렇다면 모형과 실제 우주를 대응시켜 볼게요. 이 실험에서 빵은 우주에 해당하고 건포도는 은하를 나타냅니다. 그런데 빵을 구웠을 때 빵이 커진다고 해서 건포도도 똑같이 커지지는 않았어요. 건포도의 크기가 그대로인 것은 은하의 크기가 커지지 않는다는 것을 의미해요. 그리고, 빵을 구운 후의 건포도 사이의 거리를 봅시다. 빵을 구웠을 때 건포도들 사이가 점점 멀어졌어요. 이것은 은하들 사이의 거리가 멀어진다는 것을 의미합니다. 빵을 구워서 커진 것과 같이 우주는 시간이 지남에 따라 팽창합니다. 그리고 멀리 떨어져 있는 건포도들이 같은 시간 동안 훨씬 더 많이 멀어졌기에, 빨리 멀어진 것도 확인할 수 있습니다. 이것은 멀리 떨어져 있는 은하일수록 더 빠르게 멀어지는 것을 보여줍니다.</p> <p>또, 어떤 은하에서 보더라도 서로 멀어지고 있어서 우주의 중심을 찾을 수가 없어요. 즉, 우주 팽창의 중심이 없다는 의미입니다.</p>
과학적 개념 정리	<p>우리가 모형 실험으로 살펴본 것처럼, 과학자들은 우주가 아주 작은 상태에서 출발해 계속 팽창해서 지금과 같은 큰 우주가 되었다고 설명합니다. 이러한 설명 이론을 빅뱅 우주론, 즉 대폭발 우주론이라고 합니다. 과학자들은 앞으로도 꾸준히 연구하여 우주의 신비를 밝혀낼 것입니다.</p>	

다. 문항 4(은하의 후퇴 속력과 거리의 관계)의 경우, 실질적으로 허블-르메트르 법칙의 내용에 해당하며 2022 개정 과학과 교육과정의 경우 중학교 과학 수준

에서 심화된 내용을 다루지 않는 것으로 되어 있는 데다 모형 실험을 수행하더라도 정량적인 계산을 하지 않기 때문에 직관적인 이해가 어렵다는 점에서 내

용 타당도가 0.6으로 계산되었고, 그 외의 문항은 모두 타당도가 0.8 혹은 1로 계산되었다. 문항 4의 경우, 이를 제외하기보다는 제작한 학습 자료를 통해 모형 실험에서 후퇴 속력으로 확장할 수 있는 내용을 추가한 뒤 문항의 표현을 보완하여 제시하는 방안으로 수정하였고, 수정한 문항에 대해 다시 내용 타당도 검토를 의뢰하여 타당도 지수 1을 확보하였다.

최종 완성된 문항을 Table 3과 Table 4에 정리하였다. 선지에서 정답은 굵은 폰트와 밑줄로 표시하였다. 문항 1~4의 경우 가장 적합한 하나만 고르는 방식이고, 문항 5의 경우 옳은 것을 있는 대로 고르는 방식이다. 문항 5의 정답 선지 개수는 A형과 B형에서 동일하게 2개가 되도록 조절하였다.

4. 자료 수집 및 분석

학교별로 학생들을 두 그룹으로 나누어 A형, B형 학습 자료를 투입하고 검사 문항에 대한 답안 반응을 확인하였다. Y중학교 3학년 201명 중 104명이 A형, 97명이 B형 학습 자료 그룹이었으며, G고등학교 2학년 47명 중 A형은 31명, B형은 16명으로 전체 A형은 135명, B형은 113명이다. 학생들은 개별적으로 동영상 시청한 뒤 구글 폼 형식으로 제작된 검사지를

풀이하도록 안내받았다. 중복 응답 사례를 걸러내기 위해 풀이 전 간단한 인적 사항(소속 학교, 반과 번호)을 기재하도록 하였으며, 충분한 시간을 주어 응답하도록 하였다.

이후 검사지를 풀이한 결과를 스프레드시트 파일로 수합하고, 중복 응답 사례를 확인하여 제외하는 작업을 거친 뒤 각 문항별 정답 여부를 판정하고 학생별 총점을 계산하였다. 문항별로 정답은 1점, 오답은 0점을 부여했으며 정답 선지가 복수인 5번의 경우 두 선지를 모두 찾아낸 경우에만 1점을 부여하고 부분 점수를 부여하지 않았다. 이 자료를 이용해 A형 그룹, B형 그룹에서 문항마다 정답자 비율에 차이가 나는지 독립 이표본 모비율 검정을 수행하였다. 또한 고등학생과 중학생을 별도로 비교하기 위해 고등학생, 중학생 총점 평균을 t-검정을 수행하여 살펴보았다. 검정에 사용한 프로그램은 통계 프로그램 R이며, prop.test(), t.test() 함수를 사용하였다.

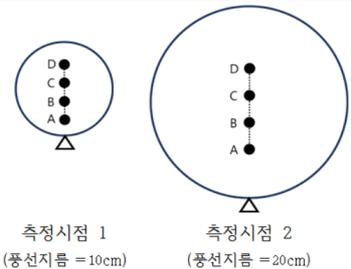
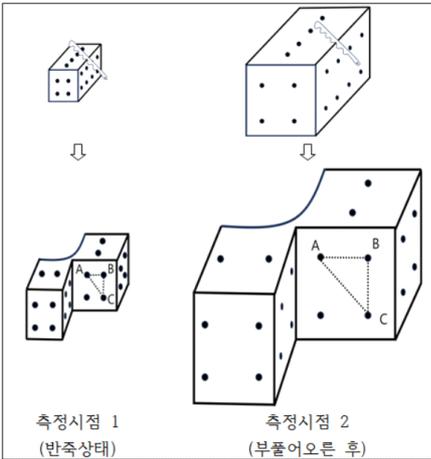
Ⅲ. 연구 결과 및 논의

A형(풍선 모형)과 B형(빵 모형)으로 구분되는 우주 팽창 모형의 유형에 따라, A그룹 전체 응답자 135명

Table 3. Assessment items 1~4 (common to both groups)

번호	평가 요소	문항	선지
1	우주 팽창의 중심	우주 팽창의 중심은 _____ .	• 없다. • 태양이다. • 관측자다. • 우리은하다.
2	시간에 따른 우주의 밀도 변화	대폭발 이후 현재까지 우주는 지속적으로 팽창해왔다. 우주의 밀도는 _____ .	• 항상 일정하였다. • 계속해서 증가하였다. • 계속해서 감소하였다. • 증가하다가 감소하였다. • 감소하다가 증가하였다. • 알 수 없다.
3	은하 내 항성 사이의 거리 변화	우주가 팽창하면서 태양과 프록시마 센타우리 사이의 거리는 _____ . (단, 프록시마 센타우리는 우리은하 안에 있는 항성이다.)	• 일정하다. • 서서히 멀어진다. • 서서히 가까워진다. • 멀어졌다가 가까워진다. • 가까워졌다가 멀어진다.
4	은하의 후퇴 속력과 거리의 관계	우주 팽창에 의해 은하가 멀어지는 속력에 대한 설명으로 가장 적절한 것은?	• 모든 은하가 같은 속력으로 멀어진다. • 멀리 있는 은하가 더 빠른 속력으로 멀어진다. • 가까이 있는 은하가 더 빠른 속력으로 멀어진다. • 은하들이 멀어지는 속력은 전부 다르며, 은하까지의 거리와 멀어지는 속력은 서로 상관이 없다.

Table 4. Assessment item 5

번호	평가 요소	문항	선지															
5-A	모형 사용시 비유물과 목표물의 대응	 <p>측정시점 1 (풍선지름 = 10cm) 측정시점 2 (풍선지름 = 20cm)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">측정 구간</th> <th colspan="2">측정시점에서 A로부터의 거리 (cm)</th> </tr> <tr> <th>측정시점 1</th> <th>측정시점 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A~B</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>A~C</td> <td>2</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>A~D</td> <td>3</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	측정 구간	측정시점에서 A로부터의 거리 (cm)		측정시점 1	측정시점 2	A~B	1	2	A~C	2	4	A~D	3	6	<p>(중복선택 가능)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 풍선 위의 스티커는 하나의 별을 의미한다. <input type="checkbox"/> 풍선의 내부는 우주에 해당한다. <input type="checkbox"/> (가)의 값은 4이다. <input type="checkbox"/> 스티커의 간격이 멀수록 풍선이 팽창할 때 거리가 더 많이 멀어진다.
		측정 구간	측정시점에서 A로부터의 거리 (cm)															
측정시점 1	측정시점 2																	
A~B	1	2																
A~C	2	4																
A~D	3	6																
<p>위 그림은 우주 팽창을 설명하기 위해 고무풍선의 표면에 스티커를 붙이고 풍선을 팽창시키는 모습을 나타낸 것이며, 표는 스티커들 사이의 거리 변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 보기 중 옳은 것을 모두 고르시오. [단, 풍선이 팽창하면서 풍선의 모양은 변하지 않는다.]</p>																		
5-B	모형 사용시 비유물과 목표물의 대응	 <p>측정시점 1 (반죽상태) 측정시점 2 (부풀어오른 후)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">측정 구간</th> <th colspan="2">건포도 사이의 거리 (cm)</th> </tr> <tr> <th>측정시점 1</th> <th>측정시점 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A~B</td> <td>3</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>B~C</td> <td>4</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>A~C</td> <td>5</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	측정 구간	건포도 사이의 거리 (cm)		측정시점 1	측정시점 2	A~B	3	6	B~C	4	7	A~C	5	10	<p>(중복선택 가능)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 빵 속의 건포도는 하나의 별을 의미한다. <input type="checkbox"/> 빵은 우주에 해당한다. <input type="checkbox"/> (가)의 값은 7이다. <input type="checkbox"/> 건포도의 간격이 멀수록 반죽이 부풀어 오를 때 거리가 더 많이 멀어진다.
		측정 구간	건포도 사이의 거리 (cm)															
측정시점 1	측정시점 2																	
A~B	3	6																
B~C	4	7																
A~C	5	10																
<p>위 그림은 우주 팽창을 설명하기 위해 직육면체 형태의 빵 반죽 속에 건포도를 넣어 만든 반죽이 부풀어 오르기 전과 오븐에 구워 부풀어 오른 후의 빵을 자른 단면의 모습을 나타낸 것이며, 표는 건포도들 사이의 거리 변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 보기 중 옳은 것을 모두 고르시오. [단, 빵이 부풀어 오른 후에도 빵의 모양은 반죽과 동일한 직육면체이고, 부피만 변했다.]</p>																		

(G고등학교 31명, Y중학교 104명), B그룹 전체 응답자(G고등학교 16명, Y중학교 97명)의 문항별 응답 결과를 정리하면 Table 5와 같다.

1. 문항별 정답률 비교

Table 6은 각 문항에 대해 A그룹과 B그룹의 정답률에 차이가 있는지 모비율 검정을 한 결과의 유의확률(p-value)을 정리하여 나타낸 것이다. 이때 귀무가설(H_0)은 'A그룹과 B그룹의 정답률은 같다'이고, 대립가설(H_1)은 'A그룹과 B그룹의 정답률은 다르다'로 양측 검정이다. 전체 응답자를 A, B그룹으로 나눈 경우,

G고등학교 응답자를 구분한 경우, Y중학교 응답자를 구분한 경우에 대해 각각 검정을 수행하였다.

Table 6에 기술하였듯 문항 1, 3, 5에서 A그룹과 B그룹의 정답률이 유의수준 0.05에서 차이가 나는 경우가 있는 것으로 확인되었다. 문항 1의 경우 전체 응답자와 Y중학교 학생만을 대상으로 분석하였을 때 A그룹의 정답률(전체 74.07%, Y중학교 66.35%)이 B그룹 정답률(전체 47.79%, Y중학교 39.18%)보다 높았고, 문항 3의 경우는 같은 비교 대상군에서 A그룹 정답률(전체 9.63%, Y중학교 7.69%)보다 B그룹의 정답률(전체 18.58%, Y중학교 17.53%)이 높았다. 문항 5는 G고등학교 학생만을 대상으로 분석하였을 때 A그룹

Table 5. Responses to all items

구분		전체 응답자			G고등학교			Y중학교		
문항 번호	유형	정답자(명) [백분율(%)]	오답자(명) [백분율(%)]	합계(명) [백분율(%)]	정답자(명) [백분율(%)]	오답자(명) [백분율(%)]	합계(명) [백분율(%)]	정답자(명) [백분율(%)]	오답자(명) [백분율(%)]	합계(명) [백분율(%)]
1	A	100 [74.07]	35 [25.93]	135 [100.00]	31 [100.00]	0 [0.00]	31 [100.00]	69 [66.35]	35 [33.65]	104 [100.00]
	B	54 [47.79]	59 [52.21]	113 [100.00]	16 [100.00]	0 [0.00]	16 [100.00]	38 [39.18]	59 [60.82]	97 [100.00]
2	A	43 [31.85]	92 [68.15]	135 [100.00]	11 [35.48]	20 [64.52]	31 [100.00]	32 [30.77]	72 [69.23]	104 [100.00]
	B	26 [23.01]	87 [76.99]	113 [100.00]	5 [31.25]	11 [68.75]	16 [100.00]	21 [21.65]	76 [78.35]	97 [100.00]
3	A	13 [9.63]	122 [90.37]	135 [100.00]	5 [16.13]	26 [83.87]	31 [100.00]	8 [7.69]	96 [92.31]	104 [100.00]
	B	21 [18.58]	92 [81.42]	113 [100.00]	4 [25.00]	12 [75.00]	16 [100.00]	17 [17.53]	80 [82.47]	97 [100.00]
4	A	66 [48.89]	69 [51.11]	135 [100.00]	23 [74.19]	8 [25.81]	31 [100.00]	43 [41.35]	61 [58.65]	104 [100.00]
	B	43 [38.05]	70 [61.95]	113 [100.00]	13 [81.25]	3 [18.75]	16 [100.00]	30 [30.93]	67 [69.07]	97 [100.00]
5	A	25 [18.52]	110 [81.48]	135 [100.00]	10 [32.26]	21 [67.74]	31 [100.00]	15 [14.42]	89 [85.58]	104 [100.00]
	B	31 [27.43]	82 [72.57]	113 [100.00]	12 [75.00]	4 [25.00]	16 [100.00]	19 [19.59]	78 [80.41]	97 [100.00]

정답률(32.26%)보다 B그룹의 정답률(75%)이 높았다.

응답자 구성에서 Y중학교 학생의 수가 G고등학교 학생의 수보다 3~6배 많기 때문에 문항 1과 문항 3의 전체 응답자 정답률 비교는 Y중학교 학생의 정답률 차이를 반영한 것으로 보인다. 문항 1은 '우주의 팽창에는 중심이 없다'는 핵심 개념을 이해하고 있는지를 확인하는 문항인데, 해당 내용을 기존 교과 과정에서 학습했을 고등학생은 전원 정답을 선택한 반면, 중학생의 정답률은 상대적으로 낮았다. 그리고 중학생 중에서는 A그룹에서의 정답률이 B그룹보다 유의미하게 높아, 풍선 모형을 사용했을 때에 빵 모형에 비해 팽창의 중심이 '없다'는 아이디어를 더 잘 전달할 수 있

는 것으로 해석된다. 풍선의 표면을 우주로 대응할 때는 표면에서의 중심을 정의하기 어렵지만, 입체적인 빵을 우주로 대응할 때는 빵의 중심을 중심으로 인식하게 되므로 중학생들이 경험에 근거하여 모형을 이해했다고 추론할 수 있다. 오답으로는 A, B 그룹 모두에서 팽창의 중심이 '우리은하'라는 답변이 다른 답변의 두 배 가까이 높게 나타났는데, 이로부터 풍선 위의 스티커나 빵 위의 건포도가 은하를 의미한다는 대응 전달이 비교적 잘 이루어졌다고도 판단할 수 있다.

문항 3의 경우 중학생과 고등학생 모두 제시된 5개의 문항 중 정답률이 가장 낮았다. 우주의 팽창으로 인한 물질의 밀도 감소를 추론할 수 있는지를 확인한

Table 6. p-values from the independent samples proportion test

문항 번호	전체 응답자	G고등학교	Y중학교
1	0.000*	NA	0.001*
2	0.1217	0.771	0.142
3	0.041*	0.463	0.034*
4	0.086	0.588	0.124
5	0.094	0.005*	0.329

* p < .05

문항 2에 비해서도 정답률이 낮았다. 문항 2번은 드러난 학습 내용을 응용하는 추론을 요구하는 데에다 밀도 개념이 질량과 부피를 동시에 고려해야 해서 중학생들에게 어려운 개념이라는 점(Lee, 2020)을 고려할 때 난이도가 높은 문항이었다. 그러한 고난이도 문항에 비해서도 ‘우주의 팽창에 의해 별과 별 사이의 거리가 멀어지지 않는다’라는 설명의 기억 정도를 확인하는 문항 3의 정답률이 더 낮다는 것은 흥미로운 부분이다. 선택된 빈도가 가장 높은 선지는 ‘별과 별 사이의 거리가 서서히 멀어진다’로, 모형 실험이 학습의 가장 주된 요소였기 때문에 이에 포함되지 않았던 별에 대해서는 일관된 설명 체계가 형성되기 어려웠다고 추정할 수 있다.

고등학생의 경우 중학생과 달리 A그룹과 B그룹에서 문항 5의 정답률에 차이가 있었다. 정답률의 차이는 주로 모형에서 ‘우주’에 대응하는 대상을 찾는 과정에서 발생했다. 풍선 모형을 학습한 학생의 약 40%가 풍선의 ‘표면’이 아닌 ‘내부’를 ‘우주’로 대응시키는 오류를 범했다. 빵 모형을 학습한 학생들은 전원이 빵의 내부를 우주로 옳게 지목하였다. 스티커나 건포도가 ‘은하’를 대표하는 대신 ‘별’을 대표한다고 판단하는 오류, 허블-르메트르 법칙으로 확장될 수 있도록 거리와 후퇴 속력의 관계 추산 등에 대해서는 반응률이 A그룹과 B그룹에서 동일했다. 이로 미루어 3차원 공간인 빵을 우주로 대응하는 것이 2차원 공간인 풍선 표면을 우주로 대응하는 것보다 역시 경험적인 측면에서 학생들에게 자연스럽게 인식된다고 판단할 수 있다.

2. 학교급별 정답률 비교

중학생과 고등학생의 경우 A그룹, B그룹으로 구분하여 본 결과에 차이가 있었으므로, 문항별 정답률이 학교급에 따라 영향을 받는지 유형에 따라 확인해 보았다. 이때 귀무가설(H_0)은 ‘고등학생과 중학생의 정답률은 같다’이고, 대립가설(H_1)은 ‘고등학생과 중학생의 정답률은 다르다’로 양측 검정이다. 결과는 Table

7과 같다.

A그룹, B그룹 모두 문항 1, 4, 5에서는 고등학생의 정답률이 중학생의 정답률보다 높았고, 문항 2, 3은 정답률에 유의미한 차이가 없었다. 고등학생들이 이전에 중학교에서 우주 팽창에 대해 학습한 경험이 있고 이에 따라 선개념을 가지고 있다고 가정한다면, 선개념으로 확립되는 내용은 주로 ‘우주의 팽창에 중심이 없다’와 ‘멀리 있는 은하가 빠르게 멀어진다’라고 생각할 수 있다. 또한 문항 5에서 정답률의 차이가 나타나는 점으로부터 고등학생들이 중학생에 비해 모형과 자연 현상을 대응시키는 데에 더 능숙할 것이라고 추정할 수 있다. 이러한 정답률 차이에 따라, A그룹과 B그룹 모두에서 고등학생과 중학생의 평균 점수 분포를 비교하는 t-검정을 수행하면 고등학생의 평균 점수가 중학생의 평균 점수에 비해 유의수준 0.05에서 유의미하게 높게 나타났다.

3. 논의

Pössel (2020)은 어떤 모형을 교수학습에 사용할지를 결정하는 것은 양자택일의 문제가 아니라고 언급하면서, 여러 모형을 함께 조합하여 사용하면 모형에 내재된 한계를 설명함으로써 물리학적 연구 방법론과 과학의 성질에 대한 이해를 돕는 긍정적인 효과가 있다고 하였다. 동시에 개념 이해를 돕기 위한 모형을 선택하거나 구상할 때는 학생들이 가진 선개념과 학습 방향성을 고려할 필요가 있다는 주장을 제시하였다. 독일의 고등학교 과학 교사들에게 우주 팽창 관련 수업을 하면서 학생들로부터 받은 질문의 빈도를 분석할 때, 가장 빈도가 높은 질문은 “우주는 팽창해서 어디로 가는가”, “빅뱅은 어디에서 시작했는가”와 같이 팽창이 일어난 장소, 공간이 넓어졌을 때의 상황 등 공간과 위치에 대한 질문이었고 “우주의 팽창으로 은하도 팽창하는가”, “광속보다 빠른 팽창이 가능한가”, “우주 팽창을 하게 만드는 에너지는 무엇인가” 등의 질문 빈도는 높지 않았다. 이러한 사례를 고려할 때, 우주 팽창을 소재로 한 수업에서 학생들이 가장

Table 7. p-values from the independent samples proportion test in terms of school

문항 번호 \ 유형	A	B
1	0.000*	0.000*
2	0.620	0.397
3	0.162	0.476
4	0.001*	0.000*
5	0.024*	0.000*

* $p < .05$

IV. 결론

인식하기 어려워하는 부분은 우주 공간 자체이며, 모형을 구상, 계획할 때에는 공간에 대응하는 비유물이 팽창하고 변화하는 특징을 가지게 하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구에서 제시된 A형, 즉 풍선 모형은 대부분의 교과서에서 자주 등장하는 모형이다. 고무밴드나 고무 풍선 등 늘어나는 재질의 표면을 활용한 모형은 공간에 고정된 은하가 시간에 따른 우주의 척도 인자(scale factor) 증가에 따라 서로 간의 거리가 멀어진다는 설명 방식을 충실히 따른다. 풍선 위에 펜으로 표시하거나 스티커로 붙인 은하들의 거리 변화를 직접 측정할 수 있기 때문에 학습 발달 수준과 단계에 따라서는 이후 심화 학습 과정에서 허블-르메트르 법칙을 유도하기 위한 정량적인 분석도 가능하다. 한편 B형, 즉 빵 모형은 우리의 결과에서도 나타났듯이 풍선 모형이 가지는 한계점, 즉 2차원 공간을 우주로 인식하기 어렵다는 점을 보완하여 팽창하는 우주를 공간 자체로 인식하게 도와주는 장점이 있다.

중학생은 풍선 모형을 사용했을 때 우주 팽창의 중심이 없다는 점을 더 쉽게 기억하였다. 풍선 모형을 사용할 때 풍선의 중심으로 집착되는 지점은 팽창하는 표면이 아니라 풍선 내부에 위치하기 때문에, 팽창에 중심이 없다는 것을 모형을 통해 판단할 여지가 있다고 보인다. 반면 빵 모형에서는 빵의 중심부가 곧 부풀어 오르는 팽창의 중심으로 인식될 가능성이 있기에 우주 팽창의 중심을 찾을 수 없다는 개념을 인식하는 데에 방해가 될 것으로 추정할 수 있다. 물질 밀도의 변화, 은하 후퇴 속력과 거리의 관계 등의 학습에 대해서는 두 모형이 학생 이해도에 비슷한 영향을 주었다. 이와 같이 두 모형은 각각 장점과 단점이 있어, 배타적으로 사용할 필요가 없다고 판단되며, 동일한 개념을 설명하기 위한 모형의 다양성을 인식시키고 모형을 비교 평가하는 역량을 기르기 위해 함께 활용하는 것이 좋을 것으로 보인다.

국가 수준의 학업 성취도 평가에 근거해 중학교 과학 교육과정의 성취기준에 대해 성취수준별 숙달 여부를 확인한 기존 연구(Lee *et al.*, 2020)들이 교육과정 상 성취기준을 적절하게 설정하였는지에 대해 확인한 바 있으나, 성취도 평가가 6월에 실시된 점 때문에 출제 범위에 해당하지 않는 우주 관련 부분에서 성취기준이 어느 정도 도달하고 있는지를 살펴본 기존 연구는 없었다. 고등학생과 중학생을 비교했을 때 고등학생의 평균 점수가 높다는 것, 특히 모형의 인식도가 높다는 것은 '모형으로 우주 팽창을 설명한다'는 성취기준에 맞게 교수.학습이 진행되었다는 것을 보여주는 의미가 있다.

우주 팽창을 설명하기 위한 두 가지 비유 모형이 학생들의 개념 이해에 서로 다른 영향을 미치는지 살펴본 것이다. 관련 내용을 학습하기 전인 중학교 3학년 학생들에게는 '우주의 팽창에 중심이 없다'는 내용을 전달하는 데에는 풍선 표면을 우주, 표면 위의 스티커를 은하로 대응한 모형이 더 효과적이었다. 이미 중학교 단계의 학습을 통해 우주 팽창에는 중심이 없다는 것을 인식하고 있는 고등학교 2학년 학생들의 경우, 풍선-스티커 모형보다 빵-건포도 모형을 사용했을 때 모형을 구성하는 요소들을 더 잘 대응시킬 수 있었다. 우주의 팽창에 따른 우주의 밀도 변화 등, 모형으로 개념을 학습한 뒤 이를 적용하여 예측과 판단을 수행해야 하는 데에는 두 모형의 차이가 없었다.

중학교 과학과 교육과정에서 관련 성취기준이 '모형으로 우주 팽창을 설명할 수 있다'인 점을 고려할 때, 모형을 실제 자연 현상에 대응하는 능력을 비롯하여 우주 팽창의 특성에 대한 개념 이해도 모두 고등학생들이 중학생에 비해 높은 것으로 나타나 성취기준이 적절하게 달성되고 있음을 확인할 수 있었다. 모형의 구성 요소에 포함되지 않는 별과 관련된 문항에 대해서는 학습 단계와 무관하게 정답률이 낮았는데, 이는 모형을 사용한 학습에서 아우를 수 없는 부분에 대해 분리하여 지도할 수 있는 교수 계획이 필요함을 시사한다. 본 연구 결과를 바탕으로 다음과 같이 제언할 수 있다.

첫째, '우주 팽창'과 같이 추상적인 개념을 설명하기 위한 모형은 실제 자연 현상을 그대로 대응시키는 방식으로 구성하기 불가능하므로, 하나의 비유 모형이 갖는 한계점을 보완하고 개념 이해 정도를 높이기 위해서는 여러 모형을 함께 활용할 필요가 있다.

둘째, 학생들은 주로 각자의 경험에 근거하여 모형을 인식하므로, 학습의 효과를 높이기 위해서는 학생 인지 수준에 맞추어 구체적이고 직관적인 모형으로 보완하여 개발하여야 한다. 이후 심화 학습에서는 구체적이고 조작 가능한 모형을 개념적이고 추상적인 모형과 조합함으로써 상호 보완 효과를 가져올 수 있다.

국문 요약

본 연구에서는 '우주 팽창'을 설명하는 두 가지 비유 모형이 중학생과 고등학생의 이해도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 널리 사용되는 모형 중 풍선 표면을 우주에 대응한 모형, 빵을 우주에 대응한 모형을 선정하였다. 풍선 모형은 2차원적인 면을 공간으로 대응시키는 사고가 필요하며, 빵 모형은 자르기 전까

지 내부를 들여다볼 수 없기 때문에 이를 상상하는 것이 필요하다. 우주 팽창에 대한 학습이 이루어지지 않은 중학생의 경우, 팽창에 중심이 없다는 기초적인 특성을 이해하는 데에는 풍선 모형이 더 효과적이었다. 반면 이미 우주 팽창을 학습하여 팽창에 중심이 없다는 점을 인지하고 있는 고등학생의 경우, 비유물과 목표물을 대응시키는 데에는 빵 모형이 더 효과적이었다. 이로 미루어 볼 때, 추상적인 개념을 교수할 때는 하나의 비유 모형이 갖는 한계점을 보완하기 위해 여러 모형을 함께 활용할 필요가 있다.

주제어: 우주 팽창, 과학 모형, 모델링, 과학 교육, 우주론 교육

References

Cho, H., & Nam, J. (2017). Analysis of Trends of Model and Modeling-Related Research in Science Education in Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(4), 539-552.

Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.

Kuhn, T. (1970). *The nature of scientific revolutions*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Lee, J., Kim, S., Kim, J. (2003). The Effect of Using Analogies in High School Earth Science Classes. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 24(5), 393-401.

Lee, J., Ku, J., Choi, W., Shim, K.-C., & Shin, M.-K. (2020). Analysis of Achievement Characteristics by Achievement Standard of the Middle School Curriculum Based on the National Assessment of Educational Achievement. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 40(5), 473-483.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research*

in Science Teaching, 48(5), 486-511.

Pössel, M. (2020). Interpretations of cosmic expansion: anchoring conceptions and misconceptions. *Physics Education*, 55, 065006.

저 자 정 보

- 이 현 정** (구미전자공업고등학교 교사)
- 유 다 연** (영신중학교 교사)
- 공 병 민** (두호고등학교 교사)
- 원 준 연** (구미고등학교 교사)
- 심 현 진** (경북대학교 교수, 경북대학교 과학교육연구소 운영위원)