Journal of the Korean Chemical Society
2018, *Vol. 62, No. 4*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2018.62.4.288

서로 다른 질량을 가진 분자들로 이루어진 대기의 조성에 대한 과학교사들의 인식 변화

유승균 · 백성혜*
한국교원대학교 화학교육과
(접수 2018. 2. 22; 게재확정 2018. 6. 1)

Change of Science Teachers' Perceptions About the Atmosphere Composition of Molecules with Different Masses

Seunggyun Yoo and Seoung-Hey Paik*
Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungju 28173, Korea.
**E-mail: shpaik@knue.ac.kr*
(Received February 22, 2018; Accepted June 1, 2018)

요 약. 이 연구에서는 과학교사 11명을 대상으로 서로 다른 질량을 가진 분자들로 이루어진 대기의 균질권에 대한 사고를 알아보기 위하여 사전·사후 검사지를 개발하고 조사하였다. 사전 검사 결과, 교사들은 크게 2가지 유형의 사고로 분류되었으며, 대기를 균일 용액처럼 생각하여 조성비가 균일하다는 사고와 입자의 질량이 다름을 고려하여 대기의 조성비가 비균질하다는 사고가 나타났다. 각각의 사고는 다시 중력의 크기를 크게 고려한 경우와 작게 고려한 경우, 그 중간 정도로 고려한 경우 등 3가지 유형으로 재분류 되어서 총 6가지 유형의 사고를 찾아볼 수 있었다. 이러한 다양한 사전 개념을 제시하고 교사들에게 학문간 교차개념의 중요성을 소개한 후에 화학에서의 원자량과 온도에 따른 분자 운동, 공기라는 용액의 균질성, 물리에서 다루는 질량과 중력, 그리고 거리의 관계, 지구과학에서 다루는 대기의 분포 및 대류 현상 등의 개념을 연계하여 사고하도록 제안하였다. 교사들 간의 토론 후에 사후 개념을 조사한 결과 사전 개념에서 벗어나 중력, 질량, 온도, 고도 등을 고려하여 대기의 조성에 대한 통합적 시각을 가지는 사고로 변화하였다. 이러한 변화를 통해 다양한 학문에서 다루는 교차개념의 중요성에 대해 확인할 수 있었으며, 통합과학에서 앞으로 이러한 유형의 사고를 교사들이 학생들에게 제공함으로써 일관된 세계관을 형성하고 지적 도구로 탐구적 사고를 실행할 수 있도록 도울 필요가 있다고 이 연구에서는 제안하였다.

주제어: 교차개념, 대기의 조성, 과학교사

ABSTRACT. In this study, we surveyed pre- and post- perceptions of fourteen science teachers related to the atmosphere composition of molecules with different masses by the developed test. As a result of the test, the teachers were classified into two types of thoughts; One of them is considered the atmosphere to be a homogeneous solution, and the other is a thought that the composition ratio of the atmosphere was not homogeneous considering the different weights of particles. The two types were reclassified into three categories; one of them is considering large gravity effect, another is considering small gravity effect, and the other is considering medium scale gravity effect. Total six types of thoughts were found from the pre-test. After introducing crosscutting concepts which are related to the composition of atmosphere. The teachers discussed the phenomena with the molecular motion by weights of atoms and temperature, the homogeneity of the solution of air in chemistry domain. They also discussed with the relationship between mass and gravity and distance in physics domain. And the discussion included distribution of the atmosphere, convection phenomena, etc. After the discussion, the teachers changed their pre-conceptions to post-concoctions considering combined perspectives of gravity, mass, temperature, altitude etc. Through these changes, we are able to confirm the importance of crosscutting concepts covered in various disciplines. In the integrated science, we should help teachers to provide students with these types of thinking in order to form a coherent world-view and to carry out inquiry thinking as an intellectual tool.

Key words: Crosscutting concept, Composition of atmosphere, Science teacher

서 론

대기의 조성에 대한 사고는 화학에서 가장 중요한 개념인 '특정한 원자량을 가진 원자론'을 돌턴이 구상하는데 중요한 기여를 하였다.[1] 특히 원자의 실존을 증명하기 위하여 서로 다른 원자량을 가지는 입자들의 대기 조성 분포에 대한 그의 창의적 사고는 원자론을 과학 개념으로 정립하는데 큰 역할을 하였다.[2]

그러나 대기의 조성에 대한 내용은 현 교육과정[3]에서는 지구과학 영역[4,5]에서 다루며, 기체를 구성하는 입자의 개념은 화학 영역[6]에서 다룬다. 이러한 교육에서의 학문 영역에서의 단절 이외에도 '질량을 가진 입자들의 중력을 고려한 분포'에 대한 사고는 중력 개념을 다루는 물리 영역[7,8]과 유기적 통합을 필요로 하지만, 화학에서 기체 입자의 운동을 다룰 때에나, 지구과학에서 대기의 입자 조성분포를 다룰 때에 입자의 질량을 고려한 중력의 개념은 다루지 않고 있다. 이러한 문제 때문에 많은 중·고등학생들이 대기의 입자 조성에 관하여 단편적인 사고를 하고 있으며,[9,10] 특히 중력에 따른 입자 분포가 기압과 어떤 관련을 가지는 지에 대한 사고에 어려움을 가진다.[11]

사람들은 일반적으로 지구에서 일어나는 대기 순환을 통해 대기권의 공기가 골고루 섞여 있을 것이라 생각하지만, 대기권은 연직 구조의 층으로 구성되어 있으며 각 층은 독특한 기체 분자들의 움직임과 온도 변화를 갖는다.[12] 또한 대기의 조성은 대기 분자의 운동에 의한 분자 확산과 대기의 난류운동에 의한 혼합작용에 따라 좌우된다. 따라서 높이 약 100 km까지의 대기 하층에서는 대기의 운동에 의한 공기의 혼합작용이 분자 확산운동보다 훨씬 크기 때문에 공기는 잘 혼합되어 그 조성 비율이 거의 같다고 받아들이고 있다.

이처럼 지구의 대기는 고려해볼 만한 복합적인 요인을 갖고 있지만 현재 우리나라의 과학 교과서에서는 대기의 조성에 대하여 단편적인 지식만이 나열되어 있다. 예를 들어 공기가 다양한 질량을 가진 미시적 분자들의 혼합물로 제시하지 않고, 한 종류의 분자로 표현하거나, 한 덩어리의 물질로 표현된 단순화된 그림을 제시하여 대기를 마치 순수한 한 종류의 물질로 인식하게 하는 문제가 있다.[10] 이로 인해 대기를 구성하는 여러 가지 서로 다른 질량을 가진 기체들이 독립적으로 중력의 영향을 받을 수 있다고 생각해 볼 수 있는 기회를 상실하게 한다.[9]

실제로 많은 학생들은 눈에 보이지 않는 원자와 기체 분자를 인식하는데 어려움을 느끼고 있으며,[13] 특히 미시적인 입자 세계와 거시적인 물질세계를 연관 짓는 데 곤란함을 느낀다.[14] 이로 인해 학생들은 입자에 대해 온전한 개념을 습득하기 어려워한다. 그러나 물질을 이루고 있는 미시적인 입자에 대해 안다는 것은 화학 변화와 반응을 이해하기 위한 가장 기본적인 개념이기 때문에 중요하다. 특히 균일 혼합물의 개념은 화학에서 중요하게 다루는 용액에 대한 기본적인 사고를 형성하는 데 중요하다. 그러나 선행연구[9,10]에서 밝힌 바와 같이 화학에서 다루는 용액의 균일 혼합물의 개념과 지구과학에서 다루는 대기 입자 조성과 균질권에 대한 개념은 서로 충돌하고 있다.

이러한 학문적 관점의 충돌로 인한 자연 현상에 대한 통합적 사고의 어려움을 극복하기 위하여 중학교에서는 '과학'이라는 과목으로, 그리고 고등학교에서는 7차 교육과정부터 '공통과학', 혹은 '과학'이라는 과목으로 물리, 화학, 생물, 지구과학의 영역을 유기적으로 통합하여 가르치려는 시도가 꾸준히 이루어지고 있다.[3] 그러나 아직까지 다양한 자연 현상에 대한 통합적 교육의 효과에 대한 연구는 충분히 이루어지지 못하고 있다.

이러한 문제는 우리나라에만 한정된 것이 아니다. 미국은 과학 교육의 다양한 문제를 해결하기 위하여 국가 과학 아카데미(the National Academy of Sciences)에서 2013년 차세대 과학 기준을 제시하였다.[15] 여기에서는 '과학과 공학의 실천(scientific and engineering practices)', '학문 내 핵심개념(disciplinary core idea)', '학문간 교차개념(crosscutting concepts)'의 세 가지 차원을 중심으로 과학교육 틀(A Framework for K-12 science education)을 제시하였는데 '학문 간 교차개념'은 '물상과학', '생명과학', '지구와 우주과학', '공학, 기술 및 응용과학'의 영역에서 도출한 통합개념 및 공통주제(unifying concepts/common themes)로 학생들에게 서로 다른 학문 영역의 내용에 대한 연관성을 제시하여 학문 내 핵심 개념을 이해하고 이를 실생활에 응용하는데 도움을 주고자 하는 것이 주요 내용이다. 특히 여기에서는 '패턴(patterns)', '원인과 결과 (cause and effect)', '척도, 비율과 양(scale, proportion, and quantity)', '계와 모델(systems and system models)', '에너지와 물질(energy and matter)', '구조와 기능(structure and function)'과 '안정성과 변화 (stability and change)'라는 일곱 가지 학문 간 교차개념을 제시하였다. 또한 NGSS에서는 학년 별로 다루는 각각의 핵심개념들과 관련된 '학문 간 교차개념'을 제시하면서 이들이 성취목표와 어떻게 관련되어 있는지 명시하고 있다.

학문 간 교차개념은 물리, 생명과학, 지구와 우주 과학 모두에서 나타나는 간학문적 통합의 특성을 지니는 개념이다. 또한 본질적 개념이나 학문 간 교차개념은 특정 분야에 한정되지 않고 여러 학문의 기저가 될 수 있는 아이디어로 기존의 연구에서 제시된 통합개념과 유사한 의미를 가진다.[16–19] 이러한 학문간 교차개념(crosscutting concepts)은 학생들이 "다양한 과학 교과의 지식들을 이해하여 과학에

기반한 일관된 세계관을 발전시킬 수 있게 도와주는 조직적인 체계를 제공" 해주며,[16] "모든 과학 교과에서 공통적으로 연관되는 매우 중요한 과학적 주제"[15]이다. 따라서 학문간 교차개념들은 서로 다른 과학 교과의 내용에서 공통적으로 연관되어 있는 지적 도구(intellectual tools)로 볼 수 있으며, 학문간 교차개념에 대한 이해를 바탕으로 "학생들은 과학 교과의 핵심 개념들을 이해하고 과학적 탐구실행 활용 능력을 증진"[16]시킬 수 있다.

학문간 교차 개념을 개발하고 교육에 적용하기 위해서는 과학사적인 자료를 찾아볼 필요가 있다. 과학교육에 과학사를 도입하는 노력은 매우 오랫동안 이루어져 왔으며, 이러한 과정은 학생들에게 유의미한 과학 학습을 제공하고,[20] 인식론적 접근을 통하여 교사 교육의 향상에도 기여할 수 있다.[13]

돌턴의 원자 개념은 기상학자로서 대기의 분포에 대한 이해와 근대 화학의 출발로 중력의 영향을 받는 원자량을 가진 미시적 입자의 존재에 대한 과학적 증명 과정에 대한 노력의 결과로 형성되었다. 그리고 이러한 돌턴의 원자 개념은 화학 교육의 중요한 부분이다.[1] 과학사를 이용한 교육은 과학의 잠정성을 가지는 과학지식[21]을 학습하는 학생들이 스스로 과학을 이해하는 사고방식을 형성하는데 도움을 줄 수 있기 때문이다.[22]

과학사를 살펴보면, 매우 오랜 기간 동안 공기를 구성하는 미시적인 입자 관점은 지지받지 못하였다.[23] 대부분의 과학자들은 공기를 하나의 원소로 보았다.[1] 18세기 이후 폰 베리케, 파스칼, 토리첼리, 프리스틀리 등 과학자들에 의해 공기는 자체의 무게를 지니고 있으며 여러 종류의 기체로 분류될 수 있는 물질이라는 것이 밝혀지게 되었다.[24] 그 후 대기의 조성에 대한 연구를 하던 돌턴[1,25]은 공기가 눈에 보이지 않는 매우 작은 입자로 구성되어 있으며 구체적인 물질로서 원자량을 가지고 있다고 주장하였다.[2] 특히 그는 기체를 이루고 있는 개별 원자의 질량 차이에 주목하였으며, 각각의 원자들이 가지는 부피와 질량을 제안하였다.[26]

돌턴은 기상학자로의 전공분야의 지식을 지니고 있었으며, 물질의 질량과 중력의 개념을 탄생시킨 뉴턴역학이 탄생한 영국의 과학자로서 미시적 입자관점에 뉴턴역학을 도입하려는 시도를 하였으므로[27] 그 당시 유럽의 화학자들과는 다른 패러다임에서 접근[28]이 가능하였다. 기상학과 화학, 물리학의 영역에서 독창적으로 만들어진 돌턴의 원자설은 교육적 가치[29]를 가지며, 교차개념의 사례로 유용하다.

오늘날 통합적 시각으로 자연현상을 다루고자 하는 많은 시도에도 불구하고 그 교육적 효과가 가시적으로 나타나지 못하는 이유 중 하나는 교사교육으로부터 찾아볼 수 있다. 사범대학에서 학과별로 다루는 학문 내용이 단절되어 있으므로 교과서의 내용을 통합적으로 지도할 수 있는 교사를 길러내기 어려운 실정이다. 비록 과학 교과서에서 다루는 내용이 분절적으로 제시되어 있다고 해도 학생들의 과학 개념은 대부분 학교에서 교사와의 상호작용에 의해 획득되기 때문에,[30] 중력, 기체의 입자 분포, 대기의 조성 등을 모두 가르치는 과학교사는 교육의 주체로서[31] 과학 교과의 다양한 관련 내용을 스스로 재구성하여 학생들의 이해를 돕고 과학적 사고를 할 수 있도록 가르칠 수 있어야 한다.

이 연구에서는 과학 교과서에서 분절적으로 제시되어 있는 대기의 입자 조성에 대한 과학 교사의 개념을 조사하고, 중력, 기체의 입자 질량 차이, 대류현상, 대기의 분포 등에 대한 통합적 이해에 대한 필요성을 제시하였을 때 교사들의 인식에 어떤 변화가 일어나는지 알아보고자 하였다. 교사의 과학 개념에 대한 인식이 교사의 수업 실행 및 교육적 목표 달성에 큰 영향을 미치기 때문이다.[32–34] 이러한 연구를 통해 학생들의 통합적 과학 개념 형성에 영향을 미칠 수 있는 교육[34]을 실행할 과학 교사의 전문성 신장에 대한 가능성을 찾아볼 수 있을 것이다. 연구문제를 보다 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

1. 다양한 질량을 가진 미시적 입자들로 구성된 대기의 조성은 높이에 따라 척도와 비율의 측면에서 어떻게 변화하는지에 대한 교사들의 인식은 어떠한가?

2. 학문간 교차개념으로 화학의 원자량과 온도에 따른 분자운동, 공기라는 용액의 균질성, 물리의 중력과 질량, 거리의 관계, 지구과학에서의 대기 분포 및 대류 현상을 고려하였을 때, 높이에 따른 대기의 조성에 대한 교사의 인식은 어떻게 변화하였는가?

연구 방법

본 연구에서는 선행 연구[9,10]를 통해 대기의 균질성에 대한 개념의 충돌이 학생들에게 일어남을 파악하고, 교사들을 대상으로 척도와 스케일의 측면에서 대기의 균질에 대한 사고를 파악하기 위하여 사전-사후 검사 도구를 개발하였다. 검사 도구는 두 종류의 다른 원자량을 가진 입자의 분포를 10 km와 1000 km에서 그려보고, 그렇게 생각한 이유를 적도록 한 것이다. 지구과학에서는 대류 현상으로 대기의 분포가 균질한 범위는100 km로 본다. 그러나 엄밀한 의미에서 원자량이 다른 입자들의 분포를 어느 범위까지 균질하다고 보는 지에 대한 교사들의 인식을 분석함으로써 척도와 비율에 대한 교사들의 사고의 충돌을 찾아보고자 하였다. 이러한 사고의 충돌은 화학에서 다루는 원자량과 온도에 따른 분자운동, 공기라는 용

***Table* 1.** Information of the subjects

Category		Teacher (Number)
School	Middle	6
	High	5
Teaching experience (year)	0~5	4
	6~10	3
	11~15	2
	16 and over	2
Major	Physics	1
	Chemistry	5
	Biology	2
	Earth Science	1
	Common Science	2

액의 균질성, 물리에서 다루는 질량과 중력, 그리고 거리의 관계, 지구과학에서 다루는 대기의 분포 및 대류 현상 등의 개념이 연결되지 못하여 일어나는 것으로, 학문간 교차 개념의 중요성을 보여주는 것이다. 사전 검사 후에 교사들에게 관련된 학문간 개념들을 제공하고 조별 토론을 통해 학문간 교차 개념의 연계를 시도한 후에 사후 검사를 통해 교사들의 인식의 변화를 알아보았다. 연구 대상은 K대학교의 대학원에 재학하고 있는 교사들이었으며, 이들에 대한 정보는 *Table* 1과 같다.

개발된 설문지는 타당성 확보를 위하여 과학교육전문가 1인, 박사 1인, 과학교육전공 박사과정 2인, 현직교사 1인으로 구성된 전문가 집단과 함께 수정·보완 작업을 거쳤다. 수집된 자료의 분석은 질적 연구에서 광범위하게 사용되고 있는 반복적 비교 분석법을 사용하였다.[35] 이 방법을 이용하여 설문지를 개발하였던 전문가 집단에서 수집한 자료들을 비교 분석하였고, 공통점을 도출하는 과정을 거쳤다.

연구 결과 및 논의

척도와 비율의 측면에서 대기의 조성에 대한 교사들의 사전 인식 비교 분석

대기의 균질권에 대한 교사들의 사고는 크게 6가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째 유형은 10 km와 1000 km에서 질량이 큰 입자의 수와 작은 입자의 수가 동일한 비율로 줄어든다고 인식하는 것이다. 이는 중력의 영향을 받지만 매우 작은 질량 차이를 가지는 입자들 사이의 중력 차이는 무시하고 균질권에 대한 사고는 높이가 달라져도 다른 종류의 입자들이 동일한 조성비를 유지한다는 사고를 하는 경우이다. 이러한 사고에는 서로 다른 질량을 가진 입자들이 균일하게 혼합되어 있다고 인식하는 경향이 포함되어 있다.

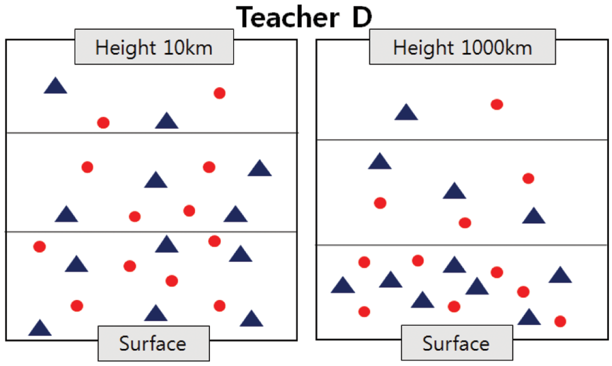

***Figure* 1.** Teacher D's explanation of atmosphere composition.

이에 해당하는 교사 D의 사례를 *Fig.* 1에 제시하였다. 같은 유형에 속하는 교사 E는 자신의 생각을 다음과 같이 설명하였다.

"10 km 이내의 기권에서는 균질권이지만 중력의 영향을 고려하면 다소 많은 입자들이 땅 표면과 가깝게 위치할 것이고, 점점 올라갈수록 입자 수의 합은 감소할 것이라고 생각합니다. 만약 조성비가 1:10이라면 그 비율은 어느 정도 일정하게 유지될 것이라고 생각합니다."

"높이 1000 km 정도 되면 제일 높은 위치에서는 기체 분자가 거의 존재하지 않고, 1000 km에서는 중력의 영향을 벗어나기 때문에 조성비는 같을 것이다."

둘째 유형은 첫째 유형과 유사하지만, 10 km에서는 질량이 작은 입자와 질량이 큰 입자들의 분포에 중력에 따른 차이가 발생하지 않은 입자 수와 조성비 균질의 상태이며, 1000 km에서는 첫째 유형의 10 km 수준으로 중력의 영향을 받는다고 생각하고 입자 수는 줄어들지만 조성비는 균질하다고 보는 것이다. 이는 첫째 유형의 10 km에 해당하는 사고를 1000 km에 적용한 것으로 중력이 미치는 영향에 대한 척도와 비율에 대한 인식의 차이 때문에 나타난 것이라고 볼 수 있다. 이에 해당하는 교사 H의 사례를 *Fig.* 2에 제시하였다. 그는 자신의 생각을 다음과 같이 설명하였다.

"대기는 균일 조성이다. 균일하다는 것은 단위부피당 입자 수가 같다는 뜻이다. 공기 속 입자는 질량이 아주 작다. 따라서 높이에 무관하게 기체 분자는 일정한 수로 존재할 것이다. 즉 균질권에서는 모든 높이에서 존재하는 입자 수가 같다."

"1000 km는 균질권이 아니므로 기체의 무게와 중력을 고려할 때 아래에는 입자의 수가 더 많고 위는 입자의 수가 더

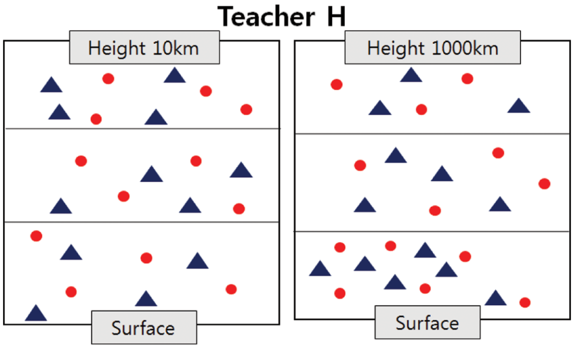

***Figure* 2.** Teacher H’s explanation of atmosphere composition.

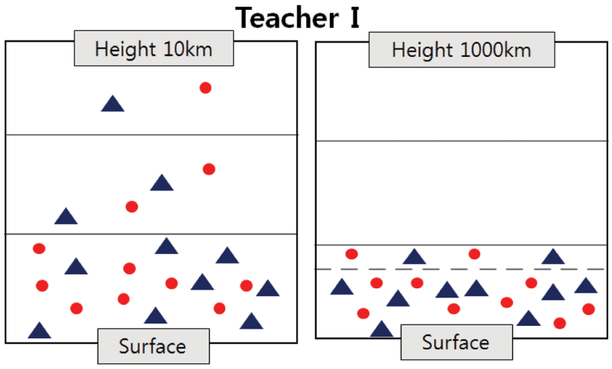

***Figure* 3.** Teacher I’s explanation of atmosphere composition.

적을 것이다. 하지만 입자의 질량 차이가 작기 때문에 조성비는 일정하다.”

Fig. 2의 10 km에서 대기의 입자 분포에 대한 사고는 화학에서 다루는 용액의 균일성과도 깊은 관련을 가진다. 화학에서는 1m보다 작은 척도의 상황에서 용액을 다루는데, 따라서 중력의 영향은 무시하고 입자 수 및 조성비의 균질성을 고려한다. 따라서 이 사고에서는 상대적으로 중력의 영향을 작게 고려하였다고 볼 수 있다.

셋째 유형은 중력의 영향을 상대적으로 크게 인식하고, 높이가 높아질수록 점자 입자의 개수는 줄어들지만 질량이 큰 입자의 수와 작은 입자의 수의 비율은 동일하다는 균일 조성비로 이해한다는 점에서 첫째 유형과 유사한 사고이다. 그러나 척도와 비율에 대한 인식이 달라서 첫째 유형의 1000 km에 해당하는 사고를 10 km에 적용한 것이다. 이런 점에서 둘째 유형의 사고와는 반대되는 척도와 비율에 대한 인식을 가지고 있다고 볼 수 있다. 이 유형에서는 중력의 영향을 매우 크게 인식하기 때문에 1000 km에서 대부분의 입자들이 균일하게 아래쪽에 몰려 있고 높이가 올라가면 진공으로 존재한다고 생각한다. 그러나 조성비의 측면에서 균질하다는 인식은 가지고 있었다. 이에 해당하는 교사 I의 사례를 *Fig*. 3에 제시하였다.

Fig. 1과 2, 3에 해당하는 사고 유형은 대기를 구성하는 서로 다른 질량의 입자들이 균일한 조성비를 가진다는 것으로 대기의 균질권을 이해하고 있는 경우이다. 이때 중력의 영향은 높이에 따라 줄어든다는 것도 인식하고 있지만, 미시적 입자 질량의 차이는 무시한다는 특징이 있다.

이렇게 척도와 비율 측면에서 대기의 입자 구성에 대한 인식의 차이가 발생하는 것을 통해 화학과 지구과학, 물리 등 학문간 교차 개념을 다양한 영역의 과학 지식에 적용할 필요성을 찾아볼 수 있다. 즉, 학문간 교차개념을 다양한 영역의 과학 지식에 적용함으로써 인식의 차이를 드러내고 보다 일관된 세계관을 발전시키는데 도움을 줄 수 있다면 과학의 통합적 사고에 대한 교육적 효과를 높일 수 있을 것이다. 서로 다른 과학 교과의 내용에서 공통적으로 연관되어 있는 학문간 교차개념을 지적 도구로 활용할 때 학생들은 과학 교과의 핵심 개념을 이해하고 과학적 탐구실행을 활용하는 능력을 증진하게 될 것이기 때문이다.[16]

넷째 유형은 대기의 균질권에 대한 사고를 버리고, 무거운 입자는 아래쪽에 더 많이 분포하고 가벼운 입자는 높은 곳에 더 많이 위치한다고 생각하는 것이다. 이는 미시적인 입자라도 질량의 차이에 따라 중력의 영향이 달라진다고 생각하는 것으로 대류 현상에 의한 대기의 균질성에 대한 사고를 버렸다는 점에서 첫째부터 셋째 유형까지와는 매우 다른 사고라고 할 수 있다. 이러한 사고의 특징으로는 1000 km에서 진공이 존재한다고 생각하는 것이다. 중력을 크게 고려하였다는 점에서는 *Fig*. 3의 셋째 유형과 유사하지만, 균질권에 대한 기본적인 사고가 다르다는 점에서 차이가 있다. 이에 해당하는 교사 C의 사례를 *Fig*. 4에 제시하였다.

다섯째 유형은 대기의 높이가 10 km 일 경우에는 첫째 유형과 유사하지만, 1000 km 높이에서는 넷째 유형과 유

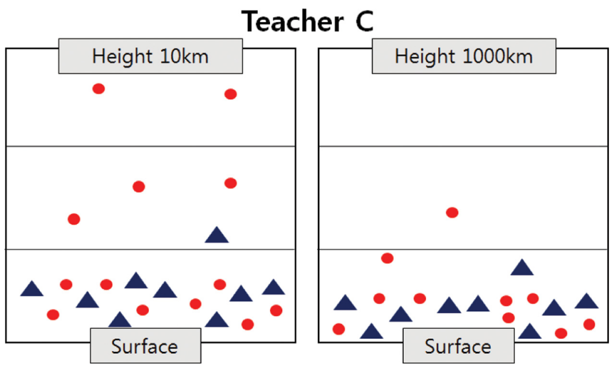

***Figure* 4.** Teacher C’s explanation of atmosphere composition.

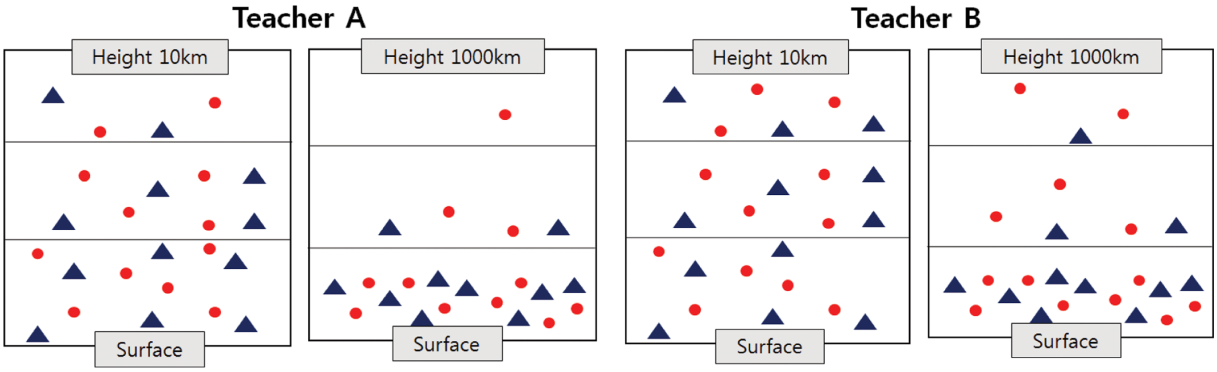

***Figure* 5.** Teacher A and B's explanation of atmosphere composition.

사하게 생각하는 경우이다. 즉 10 km에서는 대기의 입자 조성비가 같아서 균질권이라고 생각하지만, 1000 km에서는 중력의 영향으로 가벼운 입자의 비율이 높이에 따라 점차 높아지는 현상이 나타난다고 생각하는 것이다. 따라서 높이가 높아지면 혼합물이 중력에 의해 분리된다고 생각하는 것이다. 이러한 두 가지 사고의 충돌은 다섯째 유형의 가장 특징적인 사고라고 할 수 있다. 이에 해당하는 교사 A와 교사 B의 사례를 *Fig*. 5에 제시하였다.

이러한 그림을 그린 교사 B의 설명은 다음과 같다.

"높이가 올라갈수록 중력이 적어지므로 입자 수는 적어지지만 대체로 균질할 것이라고 생각했다. 그리고 높이 올라갈수록 입자 수는 줄어들지만 조성비는 변함이 없을 것이다.."

"무거운 입자든 가벼운 입자든 아래쪽에 더 많을 것 같다. 그리고 1000Km에서는 입자가 위로 갈수록 적어지지만 10km와 달리 가벼운 입자의 비율이 무거운 입자의 비율보다 많을 것이다. 비균질권이므로 중력의 영향이 더 작은 가벼운 분자일수록 더 높은 높이에 상대적으로 많이 존재할 것이다."

여섯째 유형은 높이에 상관없이 질량에 따른 중력의 차이로 입자들이 분리된다는 사고이다. 이렇게 극단적으로 대기의 조성을 사고한 경우 역시 대기의 균질권을 고려하지 않고 중력만을 고려한 경우라고 볼 수 있다. 이에 해당하는 교사 J와 교사 K의 사례를 *Fig*. 6에 제시하였다.

이러한 그림을 그린 교사 J의 설명은 다음과 같다.

"중력의 영향은 위로 갈수록 적게 받고 무거운 입자가 더 영향을 크게 받을 것이므로 위로 갈수록 가벼운 입자만 남고 아래에는 무거운 입자들이 더 많이 있을 것이다."

"비균질권이고 10Km 보다 스케일이 커졌으므로 땅 표면에 공기 입자들이 많을 것이고 위로 갈수록 가벼운 입자만 남게 될 것이다."

높이에 따른 대기의 조성에 대한 교사들의 사전 인식은, 크게 '조성비가 같다'와 '조성비가 같지 않다'는 두 가지 유형으로 구분된다. 그리고 각각 중력의 영향을 더 작게 고려한 경우와 더 크게 고려한 경우 등의 3가지 유형으로 구분될 수 있다. 이를 *Table* 2에 정리하면 다음과 같다.

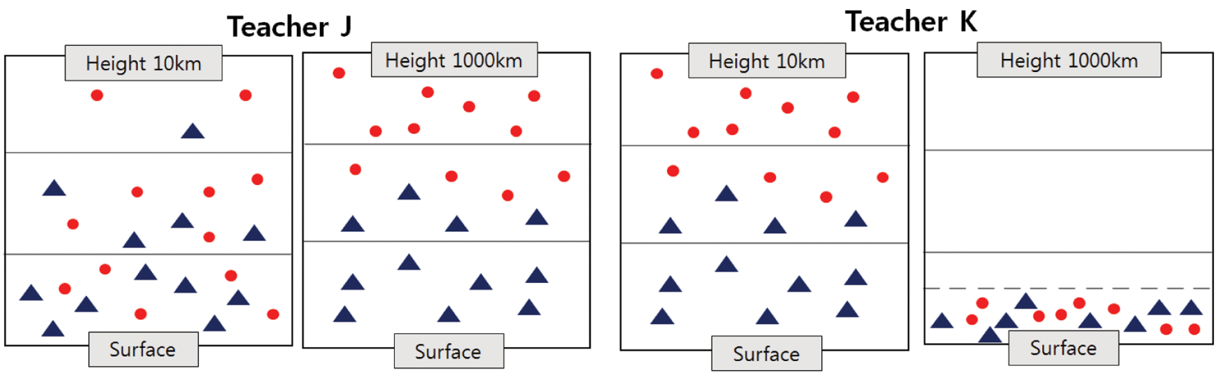

***Figure* 6.** Teacher J and K's explanation of atmosphere composition.

***Table* 2.** Teacher's pre-conceptions of atmospheric composition according to height

Atmospheric composition according to height	Effect of gravity	Teacher
Even distribution (Assuming a compound or homogeneous solution)	Medium	D, E, F, G
	Small	H
	Large	I
Uneven distribution (Considering separation by mass of particles)	Medium	C
	Small	A, B
	Large	J, K

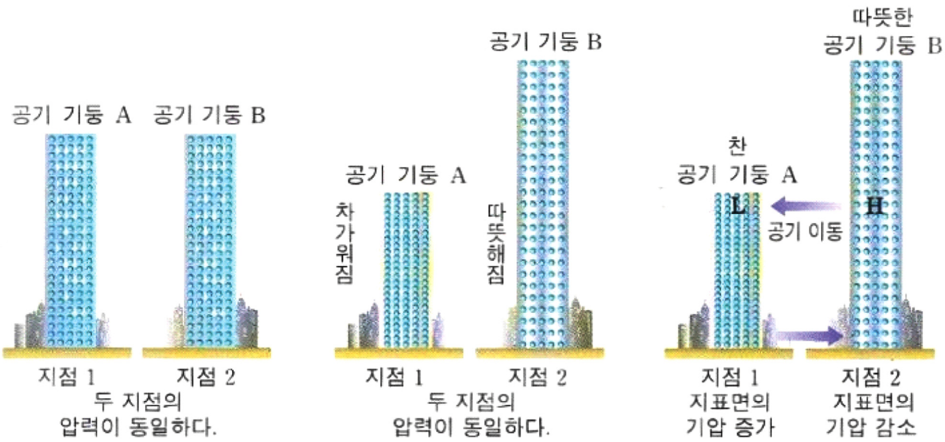

***Figure* 7.** Expression of a textbook related to composition of atmosphere[36]

Table 2를 통해 과학 교사들의 대기 조성에 대한 인식이 매우 다양함을 확인할 수 있다. 특히 이러한 다양성은 미시적인 입자의 질량에 미치는 중력과 범위에 대한 척도와 비율의 인식 차이로부터 발생하는 것이다, 따라서 물리, 화학, 지구과학 등에서 다루는 다양한 개념들의 충돌을 통해 자현현상을 이해하는 통합적인 사고를 가능하게 하는 노력이 필요함을 확인할 수 있다.

흥미로운 것은 교과서[36]에서도 공기의 균일한 조성을 표현할 때 중력을 고려하지 않고 한 종류의 입자로 구성된 형태로 제시한다는 점이다(*Fig.* 7). 이러한 단순화된 입자 사고는 대기의 조성에 대한 학문간 교차 개념의 형성에 방해를 줄 수 있다.

학문간 교차개념으로서 대기의 조성에 대한 교사들의 사후 인식 비교 분석

사전검사를 통해 대기의 조성에 대한 서로 다른 인식을 확인한 후에, 11명의 교사들에게 화학에서 다루는 원자량과 온도에 따른 분자운동, 공기라는 용액의 균질성, 물리에서 다루는 질량과 중력, 그리고 거리의 관계, 지구과학에서 다루는 대기의 분포 및 대류 현상 등의 개념을 연결하여 사고할 필요가 있다는 점을 제시하고, 토론을 유도하였다. 교사들은 자신들의 선개념의 다양성에 대해 놀라면서 자신들의 사고를 정교화하기 위하여 다양한 토론과 논의를 진행하였다. 그 후 다시 동일한 검사지를 사후 검사로 활용하여 사고의 변화를 확인하였다. 그 결과, 교사들의 사고 유형은 다음과 같이 3가지 유형으로 분류할 수 있었다.

***Table* 3.** Teacher’s pre- and post-conceptions of atmospheric composition according to height

Atmospheric composition according to height	Effect of gravity	Teacher	
		Pre-conceptions	Post-conceptions
Even distribution (Assuming a compound or homogeneous solution)	Medium	D, E, F, G	-
	Small	H	-
	Large	I	-
Uneven distribution (Considering separation by mass of particles)	Medium	C	J
	Small	A, B	A, B, C, D, E, F, G, K
	Less small	-	H, I
	Large	J, K	-

사후검사 결과, 높이에 상관없이 균일 조성비를 가질 것이라고 생각하는 사고는 사라졌다. 따라서 대기의 구성을 균일 용액으로 생각하는 사고가 사라졌음을 알 수 있다. 그리고 대부분의 사고는 중력의 영향으로 인한 비균질권을 가정하고, 이때 중력의 영향을 작게 인식하는 방향으로 변화하였다. 그러나 입자 관점을 가지고 독립적인 질량을 가진 입자들이 중력의 영향으로 분리될 수 있다는 사고를 형성하였다.

높이와 상관없이 조성비가 균질한 용액으로 대기를 생각하였던 E 교사는 비균질한 대기의 조성으로 사고를 바꾼 것에 대해 다음과 같이 자신의 생각을 표현하였다.

“10 km는 균질권이라고 생각해서 모든 층에 같은 개수가 있을 것이라고 생각했다. 그러나 균일이라는 개념도 조성비에 대한 것이지 입자의 수에 대한 것이 아니라는 것을 알게 되었고 무게 때문에 아래 부분에 더 입자가 많을 것이라는 생각을 하게 되었다. 그리고 균일도 대략적인 것이기 때문에 입자 질량의 작은 차이는 무시하고 10 km의 경우, 균일한 조성의 분포를 가질 것이라고 생각한다.”

“높이가 상당히 높아지면 입자의 차이가 상당히 커질 것 같다. 중력의 효과로 입자는 땅 표면에서 가까이에 대다수 존재하게 될 것이다. 다만 진공이 아니므로 위에는 가벼운 입자들이 조금 있을 것이다.”

동일한 사고의 변화를 일으킨 F교사는 자신의 생각을 다음과 같이 표현하였다.

“균질권에서는 입자가 모두 같은 개수 같은 종류가 있어서 균질한 것이라고 생각했다. 균질권에서는 대류 활동으로 인해 분자 운동으로 고르게 섞여서 모두 같은 비율로 입자가 존재한다고 생각한다. 하지만 중력의 영향을 고려하니 10km에서는 전체 기체 입자 수는 상층으로 올라갈수록 줄어들 것이라고 생각하게 되었다. 그리고 입자의 상대적 질량 차이가 균질권에서는 그렇게 크지 않기 때문에 잘량 차이는 무시하고 조성비는 일정하게 된다는 것을 알게 되었다. 즉 균질의 의미는 같은 개수가 있기 때문이 아니라 같은 입자의 비율이 같다는 것을 알게 되었다.”

“중력으로 인해 무거운 입자는 땅 근처에 있고, 가벼운 입자는 더 위에 있을 것이다. 위로 올라갈수록 입자의 양이 줄어들고 가벼운 입자가 더 많을 것이다. 그러나 비율은 상대적으로 가벼운 입자가 많지만 절대적으로는 입자 수가 훨씬 적을 것이다. 더구나 비균질권에서는 대류와 같은 분자 운동이 잘 일어나지 않을 것이다.”

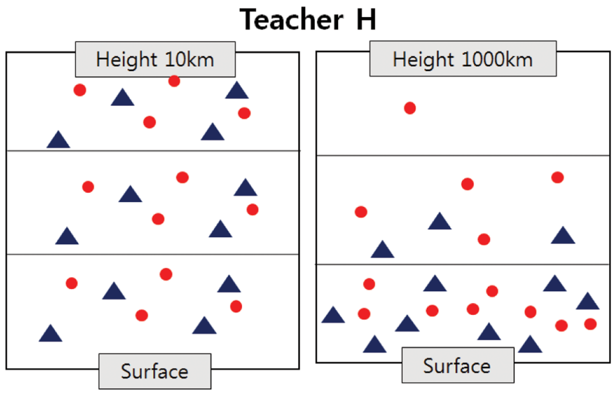

***Figure* 8.** Teacher H’s explanation of atmosphere composition.

이러한 사고의 표현을 통해 교사들이 중력, 원자의 질량 차이, 대류현상, 분자운동 등 학문적 교차 개념으로 대기의 조성에 대한 사고를 하면서 매우 다양한 유형의 사고가 수렴되어 감을 확인할 수 있었다.

그러나 모든 교사들이 한 가지 유형의 사고로 수렴하지는 않았다. 가장 많은 교사들이 사전 개념의 다섯 번째 유형으로 수렴하였으나, 일부 교사들은 사전 검사에서는 나타나지 않은 다른 유형의 사고를 제시하였다. 이러한 유형으로 분류된 H와 I 교사는 사전에는 높이가 달라져도 조성비가 균일하다고 생각하였다. 즉 대기의 균질권을 균일한 조성비의 용액으로 생각하였다. 그러나 사후에 10 km에서는 균일 용액의 관점을 유지하였으나, 1000 km에서는 독립된 질량을 가진 입자를 가정하고 중력에 따라 분리되는 것으로 인식하였다. 이는 다섯째 유형보다 더 중력의 영향을 작게 고려한 것으로 볼 수 있으며 따라서 유형을 따로 분리하였다.

이러한 그림을 그린 교사 I의 설명은 다음과 같다.

“10 km 범위에서는 균질권이고 대류로 인한 기상현상들이 많이 생각하기 때문에 같은 입자수와 조성비도 같은 상태로 분포할 것입니다.”

“1000km 까지도 전체적으로 비슷한 비율로 입자들이 존재할 것이라고 생각했다. 그러나 균질권을 벗어난 기체는 혼합의 비율이 달라질 것이고 무거운 기체가 아래에 있다는 것을 생각하게 되었다.”

대부분의 교사들은 사전 개념의 다섯 번째 유형으로 사고를 수렴하였으나, 사전개념에서 여섯 번째 유형의 사고를 하였던 교사 J는 다른 교사들과 달리 넷째 유형의 사고로 변화하였다. 그는 스케일에 상관없이 질량을 가진 입자이므로 중력에 따라 비균질하게 분포할 것이라고 생각

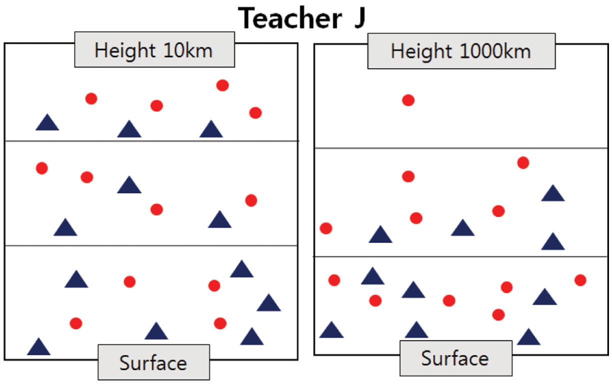

***Figure* 9.** Teacher J's explanation of atmosphere composition.

에서 벗어나, 공기의 대류 등 다양한 다른 변인의 고려를 통해 대기의 높이가 올라갈수록 점차적으로 혼합비율이 줄어든다는 생각으로 변화다. 이러한 사고는 여섯째 유형에서 넷째 유형으로 이동한 것이라고 할 수 있다.

이러한 사고의 변화를 보여준 교사 J의 설명은 다음과 같다.

"10km에서도 높이에 따른 기압차가 있으므로 입자의 개수가 달라져야 하고, 중력의 영향이 있으므로 무거운 입자는 땅 쪽에 더 많이 있고, 상대적으로 가벼운 입자는 위쪽에 많이 분포할 것입니다."

"1000km에서는 10km와 달리 무거운 공기 입자들이 중력의 영향을 더 크게 받아 땅 표면에 많이 분포하고 상대적으로 가벼운 공기 입자들은 위쪽에 많이 분포합니다. 10Km 스케일일 때는 이러한 무게에 따른 중력의 차이를 무시할 만 하지만, 1000km 스케일에서는 무시할 수 없어서 10km와 1000km는 다르게 나타날 것입니다."

이와 같이 대기의 조성에서 균질권에 대한 교사들의 인식은 다양한 학문들의 교차 개념으로부터 크게 변화될 수 있음을 확인할 수 있었다.

결 론

오늘날 과학교육과정의 가장 강력한 변화의 방향은 통합, 혹은 융합교육이라고 할 수 있다. 이러한 변화의 근본 이유는 학생들의 창의력을 길러주기 위해서이다. 뿐만 아니라 자연 현상은 우리가 학문적으로 분리하는 물리, 화학, 생물, 지구과학과 같은 영역으로 구분되기 보다는 통합적인 교과로 이해될 때 그 폭이 훨씬 더 깊어질 수 있다.[37] 자연의 탐구가 복잡한 양상을 나타냄에 따라 학교교육에서 과학을 편의상 물리, 화학, 생물, 지구과학으로 분류한 것이 고착화되어 학생들의 사고도 제한하게 된다면, 궁극적으로 과학 개념이라는 지적 도구를 가지고 과학적 탐구실행을 할 수 있는 역량을 가지기 어려울 것이다.

과학적 개념이 다양한 자연 현상과 연관되어 있다는 과학의 속성을 고려해 볼 때, 학문 영역을 절대적으로 구분하려는 의미는 약화될 수밖에 없다.[38] 이러한 문제를 해결하기 위해서도 학문간 교차개념으로 학생들이 다양한 과학 교과의 지식들을 이해하고 과학에 기반한 일관된 세계관을 가질 수 있도록 도와주는 체계를 제공하는 일은 매우 시급하다. 이를 위해 과학교육의 목표에 맞는 다양한 영역에 걸쳐 있는 핵심 개념 내용을 선정하고, 통합적 관점으로 제시하는 방안을 논의할 필요가 있다.

이 연구에서는 대기의 균질이라는 개념을 물리, 화학, 지구과학 분야의 맥락에서 관련된 다양한 개념들과 연계하여 사고함으로써 통합적인 이해를 할 수 있는 가능성에 대해 탐색하여 보았다. 교사들의 인식은 교육에 매우 큰 영향을 미치므로 이 연구에서는 이러한 시도를 과학 교사들에게 제시함으로써 교사들의 사고 변화를 알아보고자 하였다. 이는 전통적으로 분리된 교과 사고에 익숙한 교사들의 변화 가능성을 통해 학교 교육에의 적용 가능성을 파악하기 위한 것이다.

대기의 조성에 대한 교사들의 사전 인식 조사 결과, 6가지 유형의 다양한 사고를 확인할 수 있었다. 특히 용액처럼 균일한 조성비를 가지는 대기를 생각하는 교사들이 매우 많았다. 이러한 사고는 독립적으로 분리된 다른 질량의 입자들에 중력이 어떤 영향을 미치는 지에 대한 사고가 부족함을 의미한다. 고유한 원자량을 가진 독립된 입자들의 존재에 대한 사고는 중학교 1학년 물질의 상태 단원에서부터 제시되지만, 여전히 대기를 균질한 덩어리의 개념으로 사고하는 경향과의 충돌이 사전 검사를 통해 잘 드러났다.

이러한 사전 개념들은 질량이나 거리, 중력의 크기에 대한 척도와 비율의 혼란으로부터 야기된 것이라고 할 수 있다. '대기는 균일한가?'라는 문제는 대기를 폭넓은 고도를 포함하는 매우 큰 물리적 대상으로 보았을 때와 그 중의 어느 한 부분을 대상으로 보았을 때 다른 해석이 가능하다. 전자의 경우는 불균일하다고 해석하는 것이 옳은 해석일 것이고, 후자의 경우는 균일하다고 하는 것이 옳은 해석일 것이다. 이는 화학에서 용액으로의 공기를 다룰 때와 지구과학에서 거시적인 대기를 다룰 때의 차이와 유사하다.

이 연구에서는 학문간 교차개념의 필요성을 제안하고, 이와 관련된 물리, 화학, 지구과학의 다양한 개념들을 고

려하여 토론하도록 한 후에 교사들의 사고에 대한 사후 검사를 실시하였다. 그 결과, 과학 교사들의 사고가 중력, 질량, 온도, 고도 등을 통합적으로 고려하여 대기의 조성에 대한 일관성 있는 사고를 하는 방향으로 변화하였음을 확인할 수 있었다. 분자운동이나 대류 현상 등에 의해 어느 정도의 척도에서 균질과 비균질을 구분하는 가에 대한 사고는 다소 달라졌지만, 전반적으로 보았을 때 다양한 교사들의 선개념들은 사라지게 되었다.

대기는 균일(homogeneous)한가? 라는 질문은 보는 관점에 따라 다르게 논의될 수 있다. 대기를 폭넓은 고도를 포함하는 매우 큰 물리적 대상으로 보았을 때에는 불균일하다고 말할 수 있지만, 그 중 어느 한 지점을 보았을 때에는 균일하다고 말할 수 있을 것이다. 따라서 균일하다 불균일하다 중 하나를 선택한다는 것 자체가 논란이 될 수 있지만, 왜 그러한 생각을 하는 지에 대한 논의를 하는 것은 의미 있는 일일 것이다. 균일의 개념은 지구과학뿐 아니라 화학에서도 다루고 있으므로 두 영역에서 모두 일관성을 가지는 시각으로 전개되는 것이 필요하다. 다만, 화학에서는 대상의 크기가 주로 우리의 시야 크기에 해당하고 미시 세계의 원자 및 분자를 고려하지만, 지구과학의 대기에서는 스케일이 훨씬 크므로 미시세계의 관점이 고려되지 않을 가능성이 크다. 그러나 학생들에게 동일한 대상이라고 하더라도 스케일과 같은 차이로 인해 적용의 유연성과 융통성을 가지고 사물을 인식하도록 하는 통합적 사고를 길러주는 것이 필요하다. 따라서 앞으로 이러한 유형의 사고를 교사들이 학생들에게 제공함으로써 일관된 세계관을 형성하고 지적 도구로 탐구적 사고를 실행할 수 있도록 도울 필요가 있다.

이 연구에서 밝힌 바와 같이, 균일에 대한 교사들의 다양한 개념은 결국 학문간 교차개념을 통한 일관된 세계관의 형성이 부족하고, 과학 교과에서 공통적으로 연관되는 주제들에 대한 학문간 교차 개념이 도입되어서 과학 교과의 핵심 개념에 대한 이해와 과학적 탐구 실행 능력을 길러주는 것이 필요함을 보여주었다. 이것이 바로 미국의 NGSS에서 제시한 학문간 교차개념의 의미라고 해석할 수 있다.

이러한 연구 결과를 통해 우리는 학문적 교차 개념을 교사들에게 전달하고 그 의미를 파악하도록 하는 시도가 가능함을 확인하였다. 이 연구뿐 아니라 앞으로 다른 자연 현상들에서도 이러한 시도가 이루어져 앞으로 여러 상황에 걸쳐 통합개념이 개발되고 새로운 방식의 통합과학의 내용 구성이 시도되는 것이 필요하다고 본다. 또한 이러한 학문간 교차 개념의 교육을 위해 과학 교과 간에 협력을 시도하는 것도 필요할 것이다.

Acknowledgments. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. Viana, H. E. B.; Porto, P. A. The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. *Science & Education* **2010**, *19*, 75.
2. Dalton, J. *A New System of Chemical Philosophy*; William Dawson & Sons Ltd: London, 1808.
3. Korea Institute for Curriculum and Evaluation. Science Education Curriculum. Ministry of Education Notice No. 2011-361.
4. Lee, M. Y.; Jang, B. K.; Ryu, S. H.; Joe, Y. K.; Noh, S. K.; Lee, J. H.; Jang, C. H.; Lee, B. R.; Kang, H. J.; Han, E. K.; Lee, S. J.; Kim, Y. K.; Lee, Y. J. *Middle School Science 2*; Chunjae Education: Seoul, 2013.
5. Choi, B. G.; Lee, H. S.; Choo, B. S.; Moon, B. K.; So, Y. M.; Lee, J. E.; Joe, M. A. *Earth Science 2*; Chunjae Education: Seoul, 2016.
6. Park, J. S.; Yoon Y.; Jeong, J. O.; Joe, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry 2*; Kyohak Sa: Seoul, 2016.
7. Lim, T. H.; Noh, S. H.; Paik, J. M.; Lee, B. Y.; Kang, D. H.; Jang, H. S.; Kim, J. S.; Lee, Y. C.; Hwang, I. S.; Ko, H. D.; Shin, M. Y. *Middle School Science 1*; Visang Press: Seoul, 2014.
8. Kim, Y. M.; Kim, I. K.; Kim, S. W.; Park, B. Y.; Jeong, B. H.; Park, J. W.; Kim, J. K.; Kwon, K. P. *Physics 1*; Kyohak Sa: Seoul, 2014.
9. Kang, W. M. Investigation of high school students' perception on composition of atmosphere based on creative hypothesis of John Dalton. Thesis, Korea National University of Education, 2016.
10. Yoon, S. H. A Study on Perception Change of Middle School Students on Atmospheric Composition According to Introduction of Creative Hypothesis of John Dalton. Thesis, Korea National University of Education, 2016.
11. Lee, G. R. A study on the high-school students understanding of the concept of atmospheric pressure before and after class. Thesis, Chonnam National University, 2008.
12. Bell, T. E. *Science 101: Weather*; Harper Collins: 2007.
13. Matthews, M. R. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*; Psychology Press: 1994.
14. *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*; Duschl, R. A.; Schweingruber, H. A. Shouse, A. W., Eds.: National Academies Press: 2007.
15. NGSS. *Next Generation Science Standards: For State, By States*; NGSS Lead States: USA, 2013.
16. National Research Council[NRC]. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*; National Academy Press: Washington, DC, 2012.
17. Bang, D.; Park, E.; Yoon, H.; Kim, J.; Lee, Y.; Park, J.;

Song, J.; Dong, H.; Shim, B.; Lim, H.; Lee, H. The design of curricular framework for integrated science education based on big ideas. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2013**, *33*, 1041.
18. Smith, C. L.; Wiser, M.; Anderson, C. W.; Krajcki, J. Implication of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives* **2006**, *4*, 1.
19. Wiggins, G.; McTighe, J. *Understanding by Design*; Expanded 2nd edition; ASCD: Alexandria, VA, 2005.
20. *Constructivism in Education*; Steffe, L. P.; Gale, J. E. Eds., Hillsdale, NJ, 1995.
21. Joe, H. H.; Choi, K. H. Science Education: Constructivist Perspectives. *Korean Journal of Science Education* **2002**, *22*, 820.
22. Paik, S. H. Conceptual study of middle school students about the movement of objects analyzed from the viewpoint of science history. *The Korean Society for the Study of Teacher Education* **2007**, *23*, 155.
23. Greenberg, A. *A chemical history tour. Picturing Chemistry from Alchemy* to *Modern Molecular Science*; John Wiley & Sons: 2000.
24. Adey, P. *Air: Nature and Culture*; Reaktion Books: 2014.
25. Zwier, K. R. John Dalton's puzzles: from meteorology to chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*. **2011**, *42*, 58.
26. Roscoe, H. E. *John Dalton and the Rise of Modern Chemistry*; The Century Science Series; Macmillan and Co: NY, 1895.
27. Dov, M. G.; Paul, T.; John, W. *Philosophy of Chemistry*; 1st edition; 2011, Vol. 6.
28. Kuhn, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*; University of Chicago press: 2012.
29. Kim, D. W. A Study on the Effects of Gowin's Vee Mapping for Producing Process of Dalton's Atom Theory. *The Korean Society for School Science* **2012**, *6*, 80.
30. Won, J. A.; Kwak, J. R.; Park, Y. N.; Paik, S. H. A Research of Chemistry Education Major Pre-Service Teachers' Conceptions Related to Acid-Base & Neutralization Reaction. *The Korean Society for the Study of Teacher Education* **2010**, *26*, 65.
31. Lee, E. J.; Kim, C. J.; Lee, S. K.; Jang, S. H.; Kwon, H. J.; Yoo, E. J. Internalization of Constructivistic Science Teaching of Science Teachers Participating in a Collaborative Program Between Teachers and Researcher. *Korean Journal of Science Education* **2007**, *27*, 854.
32. Kim, K. J.; Kwon, B. D.; Kim, C. J.; Choi, S. U. Beliefs About Gifted Education and Classroom Practices of the Science Teachers at Science Academy in Korea. *Korean Journal of Science Education* **2005**, *25*, 514.
33. Park, J. W. Analysis of instruction according to elementary school teachers' pedagogical content knowledge on the unit of weight and pressure in water. Thesis, Korea National University of Education, 2006.
34. Kim, E. G.; Min, S. B. Does the Introduction of Free Learning Semester Policy Increase Teachers' Workload?. *The Korean Society for the Study of Teacher Education* **2015**, *32*, 181.
35. Merriam, S. B. *Qualitative Research and Case Study Application in Education*; Jossey-Bass: San Francisco, 1998.
36. Choi, B.; Lee, H.; Chu, B.; Mun, B.; So, Y.; Lee, J.; Cho, M. *High School Earth Science II*; Chunjae Ed.: Seoul. 2011.
37. Kang, H.; Kim, E.; Noh, S.; Park, H.; Son, J.; Lee, H. *Integrated Science Education*; Korean Studies Information: Paju, 2007.
38. Choi, M. H.; Choi, B. S. Content organization of middle school integrated science focusing on the integrated theme. *Journal of the Korean Association for Science Education* **1999**, *19*, 204.