

온실 효과에 대한 바른 개념 고찰

신현연 · 이두곤*

(원광중학교 · *한국교원대학교)

A Research on the Correct Concept of the Greenhouse Effect

Hyoun-Youn Shin · Du-Gon Lee*

(*Won-Kwang Middle School · *Korea National University of Education*)

Abstract

This research compared the mechanism of the greenhouse effect in the atmosphere with retaining warmth in the actual greenhouse, analyzed the styles of explaining the greenhouse effect in current textbooks, and investigated teachers' and students' degrees of understanding the effect.

The mechanisms of the actual greenhouse and the greenhouse effect are not the same. Nevertheless, in all the current textbooks, the radiation phenomenon by the atmosphere is described as the 'greenhouse effect'. Using the words of the "greenhouse effect" to refer to the effect of air being kept warm by the heat absorbing gases, causes confusion of concepts.

To make learners understand the greenhouse effect exactly, concrete principles such as radiating electromagnetic phenomenon should be explained. However, teachers and current textbooks explained the radiating electromagnetic phenomenon as actual greenhouse. Therefore, it is difficult for learners to understand the greenhouse effect, scientifically. Because of this, learners maybe confused about greenhouse effect concepts.

Key words : greenhouse effect, correct concept, greenhouse gas, retaining warmth in the actual greenhouse

I. 서론

최근 환경 문제에 대한 인식의 정도가 높아지고 환경에 대한 정보의 양 또한 많아졌으나, 환

* 2006. 7. 17 접수, 8. 24 심사 완료, 8. 25 게재 확정

경 문제에 관련된 지식이나 환경 관련 개념에 대한 심층적인 연구나 환경 용어에 대한 올바른 개념 정립이 부족한 실정이다. 지금까지 학생의 환경 관련 지식을 조사한 국내의 환경 관련 연구는 적지 않으나 대부분 환경에 대한 인식이나 현황 조사이며 보다 구체적으로 개념을 분석한 경우는 극소수이다.

온실 효과 개념과 관련된 선행 연구들을 살펴보면, 온실 효과와 지구 온난화 개념의 구분에 대한 연구로 손중달(1996), 계귀연(1998)과 안희수(1999)가 개념을 분석하여 학생들이 가지는 오개념을 지적하고 있고, 한재영 등(2000)과 백남권(2002)이 산성비, 오존층, 온실 효과에 대하여 고등학생과 예비 초등 학교 교사들의 개념 조사에서 온실 효과와 제반 환경 문제와의 관련성에 대해서 일부 연구하였다. 위의 연구들은 온실 효과에 대한 내용의 오류를 지적하지는 않고 있지만, 국동식(2002)은 오개념의 근원이 교과서의 본문 진술이나 그림과 도표 등이 될 수 있고 오개념을 유발하고 강화할 가능성이 많다고 지적한다. 또한 6차 교육 과정의 고등학교 공통 과학 교과서 중의 온실 효과에 관련된 부분의 분석을 통하여 개념상의 미흡함과 문제점을 지적하고 있다.

온실 효과라는 용어는 1827년 프랑스 수학 및 물리학자 Fourier가 대기의 기능을 ‘뜨거운 집’ 즉 ‘온실’로 비유하면서 비롯되었고, 그후 영국의 Tyndall이 열복사선을 흡수하는 기체가 질소나 산소가 아니라 수증기, 탄산가스, 오존 등 좀 더 구조가 복잡한 분자들임을 실험적으로 제시하면서 사용되기 시작하였다.

학생뿐만 아니라 일반인에게도 상식화되어 있는 대기의 온실 효과 개념은 중요한 환경 문제로서 지구 온난화와 관련하여 많이 다루어지고 있다. 그런데 학교 환경교육의 현장에서 이산화탄소 등 온실 효과 기체에 의한 온실 효과를 실제 온실과 동일한 작동을 하는 개념으로 이해되고 있는 경향이 있다. 하지만 실제 온실의 주된 원리는 온실 내부와 외부의 공기 교환을 막아 대류를 억제함으로써 온실 내부의 온도를 따뜻하게 해주는 담요 역할을 하는 것인데 비하여, 대기의 온실 효과는 지구 복사선의 에너지 흡수에 의한

것이므로 실제 온실의 효과와 대기의 온실 효과는 작동의 원리가 다르다(Botkin & Keller, 2000). 즉, 온실 효과라는 개념은 그 용어를 자연 현상을 쉽게 설명하고자 비유적으로 사용한 결과 의도하지 않게 잘못된 이해, 즉 오개념을 형성하고 있는 것으로 보인다.

학생들이 대기 온실 효과 개념을 과학적으로 정립하는 것은 현재 부각되어지고 있는 환경 문제에 대한 올바른 개념 정립과 대처를 위해서도 중요하리라 생각된다. 특히 학교 교육에 있어서 교과서는 교사와 학습자 모두에서 가장 중요한 학습 자료이고, 부정확한 교과서의 내용이나 도표는 효과적인 개념학습지도에 장애가 될 뿐만 아니라 학생들의 개념 이해를 저해하여 오개념 발생의 원인이 된다는 것이 여러 교육학자들의 연구 결과들에서 보여주고 있다(국동식, 2002).

따라서 본 연구는 환경교육에서 중요하게 인식되고 있는 대기 온실 효과에 대해서 설명되어지고 있는 7차 교육과정의 환경, 과학 교과서의 내용을 분석함으로써 부적절한 설명이 있는지 찾아보고, 환경 담당 교사들과 고등학생의 온실 효과에 대한 개념의 유형을 조사하여 대기 온실 효과에 대한 바른 개념 정립에 기여할 수 있는 개선 방안을 모색하고자 하였다.

II. 연구 방법

이 연구는 실제 온실과 대기의 온실 효과 개념에 관련된 자료를 분석 검토한 다음에 현행 환경 관련 교과서의 내용을 분석하였고 이를 토대로 교사들과 학생들의 이해 정도를 알아보기 위하여 설문조사를 하였다.

설문조사 과정은 온실 효과에 관한 선행 연구 및 이와 관련된 자료를 토대로 문항을 개발한 다음, 이의 적절성을 알아보기 위해 학생들에게 투입한 후 수정 보완한 다음 6명의 과학 교사들에게 타당도를 검증 받아 최종 문항을 선정하고 현장에 투입하여 설문을 조사하였다.

연구 대상 학생은 지역적인 고려 없이 전북 익산시에 위치한 여자고등학교로 A고등학교 1학년 2학급과 2학년 4학급, 전북 익산시에 위치한 남자 고등학교로 B고등학교 1학년 2학급과 2학년 3학급, 3학년 2학급으로 하였고 경북 대구시에 위치한 C고등학교 2학년 2학급으로 439명의 학생들을 남녀간·학년간 안배를 고려하여 표집하였다.

교사의 경우는 환경 교과를 담당하는 교사를 대상으로 하기에는 현실적으로 담당 학교가 없었고 실제로 학생들이 학습하게 되는 대기 온실 효과의 개념에 대한 내용은 고등학교 과학 교과에서 이루어지고 있었기 때문에 고등학교 과학 교사를 대상으로 하였으며 응답자는 전라북도 전주, 익산과 경북 지역에서 근무하는 현직 교사를 대상으로 하였다. 1학년 과정에서 학습하게 되는 과학을 가르쳐야 하는 과학 교사 48명을 대상으로 온실 효과에 대한 지도 경험에 관계없이 고등학교 과학 교사를 대상으로 하였다.

대기의 온실 효과와 관련된 교과서 설명 내용을 알아보기 위하여 대기의 온실 효과를 다루고 있는 중학교 환경 교과서, 고등학교 생태와 환경 교과서, 고등학교 환경 보전 교과서, 고등학교 과학 교과서를 분석하였다. 교과서 분석에서는 제 7차 교육 과정에 따라 개발되어 현재 교육 현장에서 사용하고 있는 중학교 환경 교과서 3종 교과서와 고등학교 생태와 환경 교과서 3종, 고등학교 환경보전 교과서, 고등학교 과학 교과서 8종에 설명되어진 온실 효과 관련 내용과 삽화를 대상으로 하였다.

교과서 분석에 사용된 기호의 표기와 내용은 <표 1>과 같다.

III. 연구 결과

1. 대기 온실 효과와 실제 온실의 보온 원리

가. 대기 온실 효과 개념의 이해

<표 1> 분석대상 환경, 과학교과서

교육 과정	학교급	교과서	온실 효과 관련단원	분류 기호
7차	중학교	환경	지구의 환경 문제 1. 더워지는 지구	M1
7차	중학교	환경	지구의 환경 문제 1. 더워지는 지구	M2
7차	중학교	환경	위기에 처한 지구 1. 더워지는 지구	M3
7차	고등학교	환경 보전	1. 공기의 오염 -더워지는 지구	H1
7차	고등학교	생태와 환경	지구적 환경 문제와 대응 1. 지구 온난화	H2
7차	고등학교	생태와 환경	지구적 환경 문제와 대응 1. 지구 온난화	H3
7차	고등학교	생태와 환경	지구적 환경 문제와 대응 1. 지구 온난화	H4
7차	고등학교	과학	환경-4. 온실 효과	S1
7차	고등학교	과학	환경 -3.온실 효과	S2
7차	고등학교	과학	환경-17. 온실 효과	S3
7차	고등학교	과학	환경-3. 온실 효과	S4
7차	고등학교	과학	환경-3. 온실 효과	S5
7차	고등학교	과학	환경-4. 더워지는 지구	S6
7차	고등학교	과학	환경-3. 온실 효과	S7

온실 효과는 대기가 없는 경우에 비해 지표의 온도가 더 상승하는 과정을 일컫는 용어이다. 지표의 온도는 대기가 존재하지 않는 경우에 비해 더 높으며, 이는 대기 중 온실 기체의 역할 때문이다.

태양은 대기 에너지의 근원이며 태양으로부터 지구 및 대기로의 에너지 전달은 전자파 형태의 열복사에 의하여 이루어진다. 태양으로부터 복사 에너지는 0.4 μ m로부터 0.7 μ m 사이의 가시광선 영역에서 최대로 전체 에너지의 44%를 차지하지만, 자외선(0.1~0.4 μ m 이하)이 7%, 근적외선(0.7~1.5 μ m)과 1.5 μ m 이상의 파장도 각각 37%와 12%를 차지하고 있다(조병환, 1999).

지구는 태양광선을 약 30% 대기권과 지표에

서 외계로 되돌려 보내고, 대기권에서는 약 25% 정도만 흡수한다. 따라서 지구로 들어오는 태양 에너지의 절반 정도가 지구 표면에 도달하여 지표표를 가열한다. 태양으로부터 복사 에너지를 받은 지표면은 Planck's law에 따라 지표면 기온의 4제곱에 비례하여 에너지를 방출하는데 지구는 거의 모든 에너지를 적외선 파장으로 복사한다. 실제로 표면의 평균온도가 288K(15°C)인 지구는 거의 모든 에너지를 5~25 μ m의 파장으로 복사하며 적외선 영역에 속하는 10 μ m 파장에서 강도가 최고에 이른다.

만약 지구에 온실 기체가 없을 경우 지구의 평균 기온은 약 255K(-18°C)이 되겠지만, 온실 기체의 역할 때문에 실제로 관측된 평균 기온은 288K(15°C)를 유지하고 있다. 온실 기체는 외계로 방출되는 지구 장파 복사를 파장별로 선택 흡수하여 자신의 온도 4제곱에 비례하여 외계로 방출하는 동시에 지구 표면으로 되돌려 보낸다. 이렇게 지표면에서 방출된 에너지는 대기 중에 존재하는 기체들에 의하여 흡수된다. 각 기체는 모든 파장의 지구 복사를 흡수하는 것이 아니라 그들이 갖는 분자 구조의 특성에 따라 독특한 흡수 파장 영역을 나타낸다. 그중 수증기는 1 μ m에서 8 μ m 사이, 12 μ m보다 큰 파장의 에너지를 흡수하고 CO₂가 파장 13~17 μ m, CFC-11,12가 11~12 μ m, CH₄와 N₂O가 7~8 μ m, 오존이 9~10 μ m의 에너지를 흡수하며 4 μ m 이상의 지구 복사에 대해서는 흡수가 많은 것을 볼 수 있다. 이것은 이 파장 영역에 CO₂, H₂O, N₂O, CH₄ 오존 등의 적외선 흡수대가 있기 때문이다. 이때 대기는 흡수한 에너지를 다시 우주 공간과 지표면으로 복사하게 되고 이러한 대류권내 대기의 에너지 순환 과정이 반복되면서 대기권은 지구를 보온하게 된다. 이러한 대기의 보온을 온실 효과라고 하고 있다.

나. 실제 온실의 보온 효과에 대한 이해

일반적으로 온실이라고 하면 건물 구조물의 외면을 유리로 씌워 건축한 유리 온실을 말하며, 유리 대신 플라스틱 필름을 이용한 시설을 보통 비닐 하우스라고 한다. 온실은 17세기에서 18세기에 걸쳐 영국에서 활용되기 시작했는데 그 당

시 유리의 대량 생산이 이루어져 이를 활용한 태양열 활용의 시초라 하겠다. 온실의 피복재로 사용하는 유리에는 보통판 유리, 형판 유리 및 열선 흡수 유리가 있으나 두께 3~4mm의 보통판유리가 온실 피복재로 가장 많이 이용된다(양정식, 1996).

온실의 난방은 건물의 난방과 마찬가지로 온실 자체가 태양 빛을 받아들이는 시스템으로 온실 자체가 집열기이고 온실 내부의 공기를 열매체로 볼 수 있다.

태양으로부터의 단파 복사 에너지는 유리창을 투과하여 실내 물체에 흡수된다. 복사 에너지를 흡수한 실내 물체는 온도가 상승하고 장파 복사 에너지를 방사한다. 실내 물체로부터 방사된 장파 복사 에너지는 유리창을 투과하지 못하고(김철영, 1999), 유리에 흡수되고 일부는 온실 내부로 반사된다. 태양으로부터의 열이 온실 안에 갇히게 되고 유리를 투과한 광선은 온실 바닥에 있는 물체를 따뜻하게 하며 온실 밖으로 흩어지지 않아 열은 실내에 축적된다. 또 온실 안에는 수증기의 양이 많으므로 이 수증기도 같은 원리로 열을 흡수 축적하게 된다. 이로 인해 온실과 외부 공기의 교환이 되지 않아 열이 빠져나갈 수 없으므로 온실의 난방 효과가 나타난다.

실제 온실의 주된 작용은 온실 내부와 외부의 공기 교환을 막아 대류를 억제함으로써 온실 내부의 온도를 따뜻하게 유지시키는 것이다(Botkin & Keller, 2000). 따라서 온실은 지표로부터 따뜻한 공기가 밖으로 빠져나갈 수 없도록 덮어주는 담요와 같은 역할로 외부 공기와의 대류를 억제시키는 역할을 하고 있다.

2. 온실 효과에 대한 교과서 분석

가. 대기 온실 효과에 관한 설명 유형 분석

(1) 온실의 유리와 대기의 온실 기체를 같은 역할로 설명하는 유형

대기의 온실 기체와 실제 온실의 유리를 같은 역할로 설명하는 경우는 “온실 기체는 지구 표면에서 방출되는 복사열을 흡수, 차단하는 온실의 유리와 같은 역할”과 같이 설명하는 유형이며,

중학교 환경 교과서 3종(M1, M2, M3)과 고등학교 환경 보전 교과서(H1), 고등학교 생태와 환경 교과서(H2, H3, H4), 고등학교 과학 교과서 4종(S1, S3, S4, S7)등 분석 교과서 대부분이 이러한 유형으로 설명하고 있다.

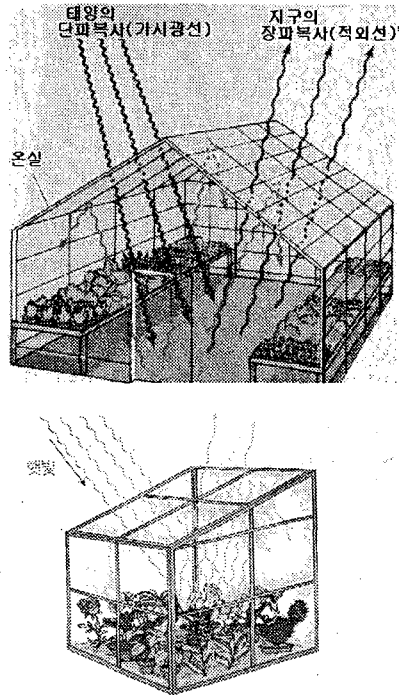
그러나 실제 온실 내부의 온도 상승과 대기의 온실 효과는 그 작용 원리에 있어서 큰 차이가 있다. 온실 유리는 대기처럼 주로 적외선을 흡수하거나 재복사함으로써 내부 공간을 따뜻하게 유지하는 것이 아니다. 대부분의 유리 구조물은 공기 운동을 통한 열의 물리적인 전달을 억누르고 있다. 온실의 유리는 온실 내부의 공기를 밀폐시키는 역할을 한다. 온실 내부의 따뜻한 공기가 온실 밖으로 대류되는 것을 유리가 차단하기 때문에 온도가 높게 유지된다.

(2) 전자기 복사의 과정으로 온실 효과를 설명하는 유형

대기 중의 수증기, 이산화탄소와 같은 기체는 태양으로부터 입사되는 에너지는 잘 통과시키지만 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지는 흡수하여 복사한다. 이로 인해 지구의 온도를 보호하고 유지시키는 현상을 대기의 온실 효과라 한다. 교과서의 온실 효과 개념 설명에서 추상적으로 온실의 유리와 온실 기체를 같은 역할로 설명하지 않고 구체적인 지구 복사 에너지의 재복사로 인해 지구의 온도를 따뜻하게 유지시켜 주는 것으로 설명하는 유형은 중학교 환경 교과서 1종(M3)과 고등학교 환경 보전 교과서, 고등학교 생태와 환경 교과서 1종(H2), 고등학교 과학 교과서(S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7)등이다. 그런데 대기 온실 효과의 개념은 흡수한 지구 복사 에너지의 재복사 과정으로 설명하였음에도 부연되어지는 내용에서 실제 온실과 비유되어지는 설명들을 하고 있었다.

나. 대기 온실 효과를 설명하는 삽화 분석

대기의 온실 기체와 온실의 유리를 같은 역할로 설명하는 유형의 교과서에서는 대부분이 <그림 1>과 비슷한 유형의 삽화를 이용해 대기 온실 효과를 설명하고 있다. <그림 1>과 같은 유형



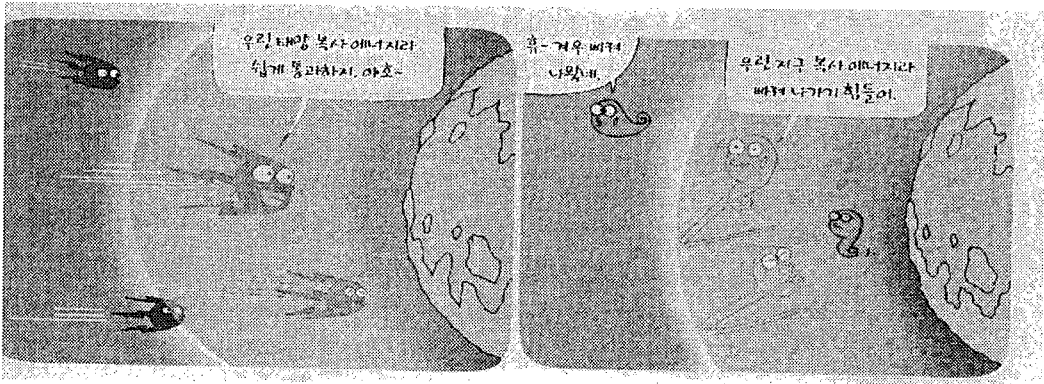
온실 효과의 원리 - 온실 안의 온도가 높은 것은 온실 유리가 온실 밖으로 나가는 빛을 반사하기 때문이다.

<그림 1> 온실의 유리와 온실 기체를 같은 역할로 보는 삽화 1

의 삽화에서는 실제 유리로 된 온실이 태양 복사 에너지는 통과시켰으나 지구 복사 에너지를 통과시키지 못하고 반사함으로 인해 온실 내부의 온도가 높아진다는 것을 나타내고 있다. 하지만 실제 온실이 따뜻함을 유지할 수 있는 것은 외부와 내부의 차단으로 인하여 대류 현상이 이루어지지 않고 바깥 공기와 온실 안의 공기가 섞이지 않기 때문이다. 즉, 대기의 온실 효과를 일으키는 온실 기체의 역할과 실제 온실의 유리는 다른 역할을 수행하고 있다.

<그림 2>는 태양 복사 에너지는 대기를 통과하였으나 대부분의 지구 복사 에너지는 대기를 통과하지 못한 것을 나타내 주는 삽화이다. 그림은 지구 복사 에너지가 대기의 유리와 같은 막에 반사되는 형태로 대기의 온실 효과를 설명해 주는 삽화이기보다는 실제 온실의 보온 효과를 설명해 주는 삽화라고 볼 수 있다.

이상과 같은 삽화는 온실 효과를 일으키는 기



〈그림 2〉 온실의 유리와 온실 기체를 같은 역할로 보는 삽화 2

체와 온실의 유리가 같은 역할을 한다는 개념을 갖게 할 수 있고, 대기 온실 효과 개념에 대한 혼란을 가지게 할 가능성이 있다.

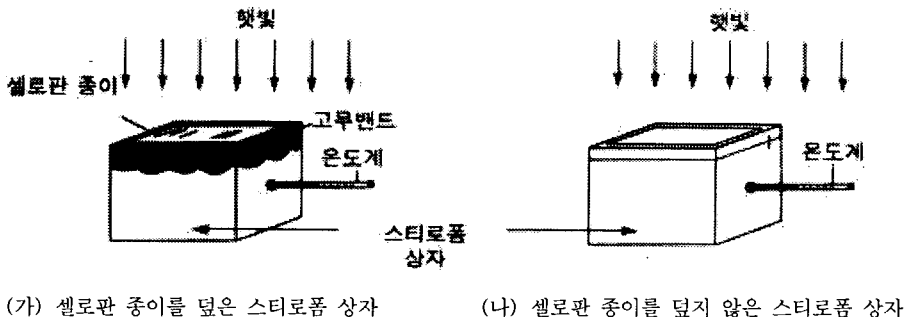
다. 대기 온실 효과를 설명하는 탐구활동 분석

고등학교 생태와 환경 교과서 중 1종 교과서(H2)와 고등학교 과학 교과서 중 4종 교과서(S1, S3, S5, S7)에 온실 효과 관련 단원에서는 대기 온실 효과의 이해를 돕기 위한 탐구 활동이 있다. 탐구 활동 내용으로는 햇빛에 노출된 수조의 온도 측정, 뚜껑이 있는 스티로폼 상자와 뚜껑이 없는 스티로폼 상자의 온도 비교, 랩을 씌운 유리병과 뚜껑이 없는 유리병의 온도 비교, 비닐 봉지안과 비닐 봉지 밖의 온도를 비교하는 〈그림 3〉과 같은 유형의 탐구 실험이 있다.

이 실험들은 햇빛에 노출된 상자나 유리병, 비닐 등을 밀폐시켰을 때와 외부와 밀폐시키지

않고 노출시켰을 때의 온도 차이를 측정하는 실험이다. 모든 실험에서 나타나는 온도 차이는 내부와 외부가 차단된 상태에서 태양 복사에 의해 용기 내부 바닥의 온도가 상승하고 이로 인해 덮혀진 용기 내부의 공기가 바깥 공기와 대류가 이루어지지 않은 것이 주된 원인이다. 이는 지구 대기의 온실 효과가 실제 온실의 유리나 비닐과 같은 역할을 한다고 생각하여 유리를 덮은 것과 덮지 않은 것을 비교하도록 하고 있는 것이다. 그러나 온실의 유리와 지구 대기의 온실 효과를 일으키는 과정은 전혀 다르다. 즉 온실의 유리는 주로 덮혀진 공기가 바깥 공기와 혼합되는 것을 막아주는 역할을 하나, 지구 대기는 지구 복사를 흡수했다가 다시 복사하는 역할을 한다.

온실의 유리는 온실 내부 표면과 지표로부터 방사되는 적외선에 대하여 잘 흡수하여 유리가 따뜻해지며 이 에너지를 적외선의 형태로 온실



(가) 셀로판 종이를 덮은 스티로폼 상자

(나) 셀로판 종이를 덮지 않은 스티로폼 상자

〈그림 3〉 대기 온실 효과를 설명하는 탐구 활동

안과 밖으로 방사한다. 따라서 온실에 유리가 있으므로 약간 온실 내부 온도가 유리가 없는 것보다 상승할 수 있으나, 이것이 온실 내부가 외부보다 온도가 높아지는 주된 이유는 아니며, 주된 이유는 온실내 공기의 대류가 외부의 차가운 공기로부터 차단되기 때문이다.

위의 실험은 실제 온실의 유리가 하는 역할을 대기의 온실 기체가 하는 역할로 혼동시킬 수 있는 가능성이 있다. 즉 램이나 셀로판지 혹은 유리가 있고 없음이 대기 중의 이산화탄소와 같은 온실 기체가 있고 없음의 차이로 생각하게 할 가능성이 있는 바 이는 잘못된 개념이다. 온실에서 유리의 역할은 대기 중 이산화탄소의 역할과 결과적으로 공기의 온도 상승의 효과는 비슷할 수 있으나, 그 작동 원리는 다르다. 그러므로 온실 유리와 대기의 이산화탄소를 동격으로 이해하는 것은 학습과 교육에 있어서 오류를 야기할 수 있다.

라. 환경 관련 교과서의 온실 효과 정의와 설명

본 연구에서 분석대상이 된 중 고등학교 환경 관련 교과서에 나타난 온실 효과의 정의와 설명을 구체적으로 <표 2>에 정리하여 제시하였다. 이 표에서 나타나듯이 중학교 과정의 온실 효과 설명은 대부분의 교과서가 실제 온실과 온실 기체의 역할을 동일시하여 온실 기체를 온실의 유리에 비유하는 표현으로 설명하였고, 고등학교 교과서에서는 개념 설명은 전자기 복사의 과정으로 온실 효과를 설명하고 있으나 온실 효과 관련 예나 삽화, 탐구 활동에서는 온실 기체와 온실의 유리를 같은 역할로 설명함으로써 혼동을 야기하고 있다. 대기의 온실 효과 개념을 식물을 재배하는 실제 온실에 비유하여 그 작동 원리까지 같거나 유사하다고 설명하여 온실 효과 개념의 혼동을 야기하는 부분과 이에 비해 온실 효과의 원리에 대한 바른 설명을 한 부분을 <표 3>에서 대비하여 정리하였다.

이상과 같이 환경 관련 교과서에는 대기 온실 효과의 개념을 정의하고 설명하며, 삽화로 제시하고 탐구 활동으로 안내하는 데에 있어서, 대기의 온실 기체에 의한 온실 효과의 원리와 실제 온실의 보온 원리를 유사하게 설명하여 대기 온

실 효과의 원리에 대한 개념적 혼동을 야기할 수 있는 부분이 많이 있음을 확인할 수 있다. 대기의 온실 효과와 실제 온실은 결과적으로 온도 상승효과가 있다는 것은 같다고 할 수 있으나, 그 온도 상승의 원리가 앞에서 논의한 바와 같이 같지 않으므로, 대기의 온실 효과를 그 작동 원리까지 실제 온실처럼 유추하여 비슷하다고 생각하는 것은 과학적으로 바른 개념 형성에 오히려 방해가 된다는 인식이 필요하다.

3. 교사와 학생들의 대기 온실 효과 이해

가. 교사와 학생의 온실 효과 개념 이해

온실 효과 개념의 학생 이해에 교사의 영향이 어떤가를 알아보기 위해 교사와 학생의 응답 유형을 <표 4>에 정리하였다. 현행 교과서에서 설명되고 있는 온실 효과 개념 유형은 <표 4>의 응답 유형과 같이 여러 유형으로 표현되고 있음에도 대부분의 교사들은 '수증기, CO₂와 같은 기체들이 지구 복사 에너지를 흡수·복사하여 지구의 온도를 보호하고 유지시키는 현상'이라고 응답하였으나 학생들이 가지는 개념의 유형은 다양하게 나타나고 있다. 이는 '온실 효과'처럼 일반적으로 상식화되어 있는 개념 습득은 교사에 의한 지식 전달과 함께 교과서와 각종 문헌 등의 매체를 통해 이루어진다고 추측해 볼 수 있다.

나. 온실 비유의 효과

대기 온실 효과를 설명하는 과정에서 실제 온실의 예를 이용하고 있고 교과서에서 실제 온실의 삽화를 이용하여 온실 효과를 설명하고 있다. 대기 온실 효과에서 '온실'의 예가 대기 온실 효과의 이해 정도에 어느 정도의 영향을 미치는가를 알아보기 위한 설문 조사 결과는 <표 5>와 같았다.

대부분의 교사들은 온실 효과를 설명할 때 실제 온실의 예가 도움이 된다고 응답하였고 학생들도 온실의 예로 온실 효과를 이해하는데 도움이 된다는 응답은 교사와 학생이 온실 효과에 대한 이해가 부족하다는 것을 보여주고 있다. 또 '온실'이란 용어 사용으로 인해 실제 온실의 작동 원리와 온실 효과의 작동 원리가 같다고 생각하는

〈표 2〉 환경 관련 교과서의 온실 효과 정의와 설명

교과서	온실 효과에 관한 정의, 설명
M1	· 온실 기체의 양이 증가하게 되면 온실의 유리처럼 지구가 방출하는 열을 더 많이 흡수하여 지구 표면의 기온이 높아지게 되는데, 이를 온실 효과라 한다.
M2	· 대기 중에 분포하는 이산화탄소는 마치 온실의 유리가 온실을 따뜻하게 유지해 주듯이 지구를 따뜻하게 하는 온실 효과를 일으킨다. · 지구의 대기 중에 있는 이산화탄소와 같은 온실 기체가 바로 온실의 유리와 같은 역할을 한다.
M3	· 대기 중의 온실 기체는 태양에서 지구로 오는 복사 에너지는 잘 통과시키는 반면, 지구 표면에서 밖으로 나가는 적외선 복사 에너지를 흡수하여 이를 다시 지구 표면으로 되돌아가게 하는 작용을 온실 효과라 한다. · 온실 기체는 지구 표면에서 외계로 방출되는 복사열을 흡수, 차단하는 온실의 유리창과 같은 역할을 한다.
H1	· 이산화탄소와 같은 기체가 대기 중으로 배출되어 지구를 둘러싸 마치 온실과 같은 역할을 한다. · 외부에서 오는 태양 에너지는 잘 통과시키지만, 복사된 에너지는 흡수함으로써 일정한 온도를 유지하는 것이 온실의 역할인데, 이러한 현상이 지구에서도 일어난다.
H2,	· 온실 기체의 증가로 인해 지구 밖으로 나가는 지구 복사 에너지의 양이 감소하게 되어 지구의 기온이 상승하는 현상을 온실 효과라 한다. · 온실의 유리나 투명한 비닐이 태양의 복사 에너지는 투과시키나 온실 내에서 방출하는 적외선은 통과시키지 못하여 온실내의 온도가 높아지는 현상과 비슷하다.
H3	· 수증기, 이산화탄소와 같은 기체들은 온실의 유리처럼 온실 속으로 들어온 열을 빠져 나가지 못하게 해서 온도를 올리는 것과 같은 모양으로 지구의 기온을 높이는 것을 온실 효과라 한다.
H4	· 대기 중의 수증기와 이산화탄소, 메탄 등과 같은 온실 기체가 온실의 유리처럼 작용하여 지구 표면의 온도를 높게 유지하는 효과를 온실 효과라 한다.
S1	· 지구 대기는 온실의 유리창과 유사한 역할을 하여 태양 빛을 흡수한 지표면을 따뜻하게 한다. 이런 현상을 마치 따뜻한 온실과 같다고 해서 온실 효과라고 한다.
S2	· 대기 중의 온실 기체는 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지(적외선)를 흡수한 후 에너지의 일부를 지표로 재복사하여 지표를 따뜻하게 보온하는 역할을 한다. 이와 같은 대기의 역할을 온실 효과라고 한다.
S3	· 지구는 태양으로부터 받은 양만큼의 에너지를 적외선 영역의 장파 복사 에너지로 방출한다. 지구 대기는 적외선 영역의 장파 복사 에너지를 잘 흡수하여 지표면을 따뜻하게 하는 역할을 한다. 이와 같은 효과를 온실 효과라 한다.
S4	· 지구의 대기는 지표 복사 에너지가 우주 공간으로 직접 방출되는 것을 방해하여 지구의 온도를 상승시키는 역할을 한다. 이러한 대기의 보온 효과를 온실 효과라 한다.
S5	· 지구에는 대기가 있어 태양으로부터 지표로 들어오는 복사 에너지는 잘 통과시키지만 지표가 공간으로 재방출하는 복사에너지는 대부분 대기에 흡수된다. 그 결과 지구의 평균 온도가 높아지게 되는데, 이러한 현상을 온실 효과라 한다.
S6	· 지표면이 햇빛을 받아 가열되면 지표면에서 적외선의 형태로 복사열을 방출되는데, 대기가 이를 흡수하였다가 그 일부를 다시 지표로 방출함으로써 지구가 따뜻하게 유지되는 지구대기에 의한 보온 효과를 온실 효과라 한다.
S7	· 대기 중의 CO ₂ 와 수증기는 태양으로부터 입사되는 에너지는 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 에너지는 흡수하여 지표로 다시 방출한다. 이로 인해 지표면의 온도는 상승된다. 이러한 대기 효과를 온실 효과라 한다.

〈표 3〉 환경 관련 교과서의 온실 효과 개념의 혼동을 야기하는 부분과 바른 설명

온실 효과 개념의 혼동을 야기하는 부분	온실 효과의 바른 설명
<ul style="list-style-type: none"> • 온실의 유리를 직접 비유하는 표현 - 온실의 유리처럼(M1) - 온실의 유리가 온실을 따뜻하게 해주듯이(M2) - 온실의 유리반사가 온도를 높여준다(M2) - 온실의 유리창과 같은 역할(M3) - 마치 온실과 같은 역할 (H1) - 온실의 유리나 투명한 비닐과 같이(H2) - 온실의 유리처럼 열을 빠져나가지 못하게(H3) - 온실의 유리처럼 작용(H4) - 온실의 유리창과 유사한 역할(S1) - 온실의 유리가 태양광선을 통과시키지만(S4) • 삽화 - 지구 복사 에너지가 통과하지 못하는 막을 이용한 삽화 (M1) - 실제 온실의 삽화(M2) - 온실 사진(S1) - 자동차안의 열기(S3) - 온실안의 채소 삽화(S6) - 겨울철 따뜻한 온실의 삽화(S7) • 탐구 활동 - 비닐하우스안과 밖의 기온 차 확인(H2) - 뚜껑이 있는 상자와 없는 상자의 온도 비교(S3) - 랩을 씌운 유리병과 뚜껑이 없는 유리병의 온도 비교 (S5) - 밀폐된 비닐 봉지안의 온도 측정 (S6) 	<ul style="list-style-type: none"> • 온실 기체는 태양에서 지구로 오는 복사 에너지는 잘 통과시키지만, 지구 표면에서 밖으로 나가는 적외선 복사 에너지를 흡수하여 이를 다시 지구표면으로 되돌아가게 하는 작용(M3) • 대기 중의 온실기체는 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지를 흡수한 후 에너지의 일부를 지표로 재복사하여 지표를 따뜻하게 보온하는 역할(S2) • 지구 대기는 적외선 영역의 장파 복사 에너지를 잘 흡수하여 지표면을 따뜻하게 하는 역할(S3) • 지구의 대기는 지표 복사에너지가 우주 공간으로 직접 방출되는 것을 방해하여(S4) 지표가 공간으로 재방출하는 복사 에너지는 대부분 대기에 의해 흡수(S5) • 지표면이 햇빛을 받아 가열되면 지표면에서 적외선의 형태로 복사열을 방출하는데, 대기가 이를 흡수하였다가 다시 방출(S6) • 대기 중의 CO₂와 수증기는 태양으로부터 입사되는 에너지는 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 에너지는 흡수하여 지표로 다시 방출한다.(S7)

〈표 4〉 온실 효과 개념에 대한 교사·학생의 이해 비교 (단위 : 명(%))

응답 유형	교사	학생
대기는 지구 복사 에너지가 우주 공간으로 직접 방출되는 것을 방해하여 지구의 온도를 상승	2 (4.2)	56 (12.8)
대기 중 온실의 유리와 같은 CO ₂ 로 인해 지구가 따뜻하게 되는 현상	2 (4.2)	38 (8.7)
지구는 커다란 온실이고, 온실의 유리는 CO ₂ 와 같은 역할로 인해 따뜻한 현상	5 (10.4)	51 (11.6)
수증기, CO ₂ 와 같은 기체들이 지구 복사 에너지를 흡수·복사하여 지구의 온도를 보호하고 유지시키는 현상	34 (70.8)	175 (39.9)
온실 기체로 인해 지구의 온도가 지속적으로 상승하는 현상	5 (10.4)	119 (27.1)
계	48 (100.0)	439 (100.0)

〈표 5〉 온실 비유의 효과 (단위 : 명(%))

응답유형	교사	학생
무응답	5 (10.4)	76 (17.3)
실제 온실의 예로 온실 효과를 설명하면 효과가 있다.	30 (62.5)	261 (59.5)
실제 온실의 예로 온실 효과를 설명하면 효과가 없다.	13 (27.1)	102 (23.2)
전체	48 (100.0)	439 (100.0)

잘못된 개념이 형성될 수도 있다.

IV. 결 론

대기 온실 효과와 실제 온실의 보온 효과는 작동 원리가 다르다. 실제 온실은 온실 내부와 외부의 공기 교환을 막아 대류를 억제함으로써 온실 내부의 온도를 따뜻하게 해주는 담요 역할을 하는 것이고, 대기는 지표면에서 복사되는 파장이 긴 에너지를 흡수·복사하여 대류를 억제하지 않고 오히려 대류를 촉진시킨다.

교과서에 설명되고 있는 온실 효과 개념은 온실의 유리나 온실 기체를 같은 역할로 설명하는 경우가 있었고, 전자기 복사의 과정으로 설명하는 대부분의 교과서에서도 온실 효과 관련 내용으로 실제 온실을 예로 들고 있었으며, 온실의 삽화나 사진 등을 이용하여 온실 효과를 설명하고 있었다. 그리고 교사와 학생들에 대한 설문조사 결과 대기 온실 효과의 원리나 실제 온실의 보온 원리에 관한 이해가 일부 혼동되고 있었다.

대기 온실 효과의 개념이 상당히 추상적이므로 학생의 학습 흥미와 개념 이해를 돕기 위해 보다 가시적이며 우리 주위에서 쉽게 접할 수 있는 실제 온실을 비유적으로 들어, 대기 온실 효과를 설명하는 것이 경우에 따라 교육적으로도

움이 될 수 있는 부분이 있을 수 있겠으나, 이러한 경우도 그 원리를 지나치게 유추 해석하여 잘못 이해되지 않도록 주의할 필요가 있다. 따라서 온실 효과의 원리를 바르게 이해하기 위해서는 온실 효과를 설명할 때 ‘온실의 유리나 같이’라는 비유적인 표현을 사용하지 않고 ‘파장이 긴 지구 복사 에너지의 흡수, 적외선의 흡수’와 같은 구체적인 전자기 복사를 이용할 필요가 있다. 학생들은 중학교 과학에서 태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지에 관한 내용을 이미 학습한 상태이기 때문에 비유적인 설명보다는 구체적인 원리에 관한 학습을 통해 개념의 혼란스러움을 피할 수 있을 것이다.

환경에 관련된 개념의 정확한 설명이나 교사의 올바른 이해는 학생들에게도 영향을 주게 된다. 현장에서 학생들에게 올바른 개념을 형성시키기 위해서 교과서의 설명이나 교사의 역할이 중요함을 알 수 있다. 따라서 환경 관련 교과서에서 온실 효과 관련 개념을 좀 더 명확하게 제시할 필요가 있고, 각종 연수 과정을 통하여 교사들의 바른 개념 형성을 위한 노력도 필요할 것이다.

〈참고 문헌〉

- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 권숙일, 이민호, 박수인, 윤용, 이강석, 이태욱, 정규효, 양영주 (2002). **고등학교 과학**, 교학사.
- 국동식 (2002). “온실 효과에 대한 고등학교 공통 과학교과서 분석”, **한국지구과학회지**, 23(4), 455-460.
- 김영민, 곽상만, 오용남, 이범홍, 정인철 (2002). **고등학교 생태와 환경**, 교학사.
- 김영민, 최병득, 정인철, 오용남, 곽상만 (2002). **중학교 환경**, 교학사.
- 김찬중, 서만석, 김희백, 심재호, 현종오, 한인욱, 권성기, 박성식 (2002). **고등학교 과학**, 디딤돌.
- 김철영 (1999). **유리의 물성과 응용**, 대광문화사.
- 백남권 (2003). “온실 효과, 오존층파괴, 산성비에

- 대한 예비 초등 교사들의 개념”, **한국환경과학회지**, 12(4), 367-373.
- 성민용, 김봉곤, 조성동, 강대훈, 강충호, 구자옥, 노일환, 이용철, 임태훈, 최범선, 한은택 (2002). **고등학교 과학**, 문원각.
- 손중달 (1996). 온실 효과 파라다임에 관한 중고등학생들의 인지도, 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 송호봉, 정용순, 유병선, 이윤상, 김여상, 정태연, 이하원, 윤덕열 (2002). **고등학교 과학**, 흥진.
- 신동원 (2002). **고등학교 과학**, 천재교육.
- 안희수 (1999). 온실 효과에 대한 학생들의 개념 분석, **한국과학교육학회지**, 19(4), 123-134.
- 양정식 (1996). **원예학개론**, 농업교육교재편찬위원회.
- 이규석, 조희영, 박봉상, 박문수, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 이창진, 이용준 (2002). **고등학교 과학**, 대한교과서.
- 이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최변각 (2002). **고등학교 과학**, 지학사.
- 이연우, 강석분, 김인석, 김성진, 이진우, 안중제, 배미정, 전화영 (2002). **고등학교 과학**, 서울교육정보.
- 이정훈 (1996). **유리공학**, 청문각.
- 정완호, 박국태, 박태운, 남상미 (2002). **중학교 환경**, 중앙교육진흥연구소.
- 정완호, 박국태, 박태운, 이훈정 (2003). **고등학교 생태와 환경**, 중앙교육진흥연구소.
- 제귀연 (1998). 온실 효과에 대한 학생들의 개념 분석, 서울대학교 대학원 과학교육과 지구과학전공 석사논문.
- 조병환 (1999). **대기환경관리**, 향문사.
- 차동우, 김희수, 이명석, 이현주, 최종한, 이복영, 옥준석, 윤세진, 이원경, 정남식, 최돈형, 이상훈, 이민부, 허명, 장영기, 윤석희 (2002). **중학교 환경**, 대한교과서.
- 최석진, 신호상, 이도원, 이두곤 (2002). **고등학교 생태와 환경**, 대한교과서.
- 한재영, 정영선, 노태희 (2000). 산성비, 오존층, 온실 효과에 대한 고등학생들의 개념, **한국과학교육학회지**, 20(3), 364-370.
- Botkin, D. B. & Keller, E. A. (2000) *Environmental Science: Earth as a Living Planet*, New York: John Wiley & Sons, Inc. p. 448.