

# Driver의 개념변화 학습 모형을 적용한 수업이 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정에 미치는 효과

김동렬\*

부산해동고등학교

## Effects of Teaching Based on Driver's Conceptual Change Model on Rectifying High School Students' Misconception of Photosynthesis and Respiration

Kim, Dongryeul\*

Busan Haedong High school

**Abstract:** This study aims to research high school students' misconception of botanic photosynthesis and respiration, and as the measure of rectifying the misconception, to develop the teaching program based on Driver's conceptual change model, applying it to classes and observing the effect. Selected as the research subject was sixty-six students in 1st year of a highschool located in Busan who had chosen Biology Learning as discretionary subject, with their conceptual level on botanic photosynthesis and respiration researched through tests in drawing and descriptive writing. As a consequence of applying drawing as a way of classifying the levels of students' misconception on photosynthesis and respiration, many students' drawings included their misconception caused by textbooks or scientists, but after application of Driver's conceptual change model, they drew scientific drawings including the fundamental factors of botanic photosynthesis and respiration such as light, carbon dioxide, water, glucose, oxygen, leaf, chloroplast, mitochondria, stoma, and energy. Likewise, as a result of the descriptive writing test implemented for researching the students' conception on the various aspects of botanic photosynthesis and respiration, many students in the pretest showed misconception on the point of time and location at which botanic photosynthesis and respiration occur, botanic nutrient, the role of a leaf in photosynthesis, and the relation between botanic photosynthesis and respiration, but after teaching based on Driver's conceptual change model, their misconceptions on photosynthesis and respiration were rectified to a high degree.

**Key words:** Driver's conceptual change model, photosynthesis, respiration, misconception, drawings, writing test

### I. 서론

과학교육에서 개념변화 학습의 목적은 학습자 스스로 자신의 개념 수준과 이해 정도를 인식하게 하고 학습자의 기존 개념에 과학적인 새로운 개념을 연결하도록 도와주는 데 있다. 특히, 과학 개념변화 학습 과정에서는 학생들이 교수·학습의 능동적인 주체로 인정하여 학생들이 기존에 가지고 있는 선개념과 그 개념이 형성되는 요인을 잘 파악하여야 할 필요가 있다(박영효, 홍승호, 2006). 이와 관련하여 학생에게 유의미한, 영구적인 학습을 방해하는 가장 중요한 요인이 오개념이며(Köse, 2008), 이를 어떻게 과학적 개념으로 변화시킬 수 있는가는 과학교육에서 매우 중요한 과제이다.

구성주의적 관점이 성립되기 이전에는 학생들은 학습을 통해 학생 자신의 생각을 교사의 과학적인 개념과 쉽게 대체시키며, 교사의 역할은 학생이 사전에 이미 갖고 있는 생각과는 무관하게 교사 자신이 갖고 있는 과학적 개념을 가르치는 것인 '교사 중심적 견해'를 가지고 있었다(박영효, 홍승호, 2006). 그러나 그동안의 오개념에 관한 연구에 의하면 학생들의 오개념은 자신만의 체계를 가지며(Driver & Oldham, 1986), 올바른 과학개념으로 쉽게 변화하지 않기 때문에 오개념을 변화시키기 위해서는 특별한 노력을

구성주의적 관점이 성립되기 이전에는 학생들은 학습을 통해 학생 자신의 생각을 교사의 과학적인 개념과 쉽게 대체시키며, 교사의 역할은 학생이 사전에 이미 갖고 있는 생각과는 무관하게 교사 자신이 갖고 있는 과학적 개념을 가르치는 것인 '교사 중심적 견해'를 가지고 있었다(박영효, 홍승호, 2006). 그러나 그동안의 오개념에 관한 연구에 의하면 학생들의 오개념은 자신만의 체계를 가지며(Driver & Oldham, 1986), 올바른 과학개념으로 쉽게 변화하지 않기 때문에 오개념을 변화시키기 위해서는 특별한 노력을

\*교신저자: 김동렬(ahabio@hanmail.net)

\*\*2009.06.28(접수) 2009.08.03(1심통과) 2009.08.26(2심통과) 2009.08.30(최종통과)

기울여야 함을 강조하고 있다(정영란, 강경리, 1998; Driver *et al.*, 1985). 학생이 지닌 개념은 학생들의 개인적 경험의 결과로 학습 이전에 형성된 것이 많기 때문에 전통적인 수업에 의해서는 쉽게 변화되지 않고 오히려 강화되거나 과학적 개념의 획득에 대한 갈등을 겪게 한다.

특히, 생물교과에서 식물의 광합성과 호흡은 학생들이 가장 어려워하는 주제 중 하나로 나타나고 있다(Stavy *et al.*, 1987; Waheed & Lucas, 1992).

에너지가 풍부한 영양소를 통해 일어나는 생화학적 과정인 식물의 광합성과 호흡은 지구상에서 존재하는 가장 중요한 생화학 과정이다(Barker & Carr, 1989). 특히 유기체 그리고 종속영양균 모두에게 있어 중요한 이유이자 지구상에서 생물이 생존할 수 있는 이유는 식물이 태양에너지를 이용하여 다른 생물들의 생장에 필요한 유기영양 물질과 에너지를 생산하기 때문이다(Marmaroti & Galanopoulou, 2006). 즉, 식물의 광합성과 호흡은 생물의 기본적인 생명 현상인 물질 대사를 이해하기 위한 기본 개념이므로 그 중요도가 높다고 볼 수 있다(정영란, 강경리, 1998). 이와 같이 과학적인 중요성으로 인해, 학교 생물학에서 중요하게 다루는 주제 중 하나가 식물의 광합성과 호흡이며, 실제 대부분의 모든 나라의 과학교과에서 채택하고 있다(Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Waheed & Lucas, 1992). 그러나 식물의 광합성과 호흡은 미분자의 개념이 도입되는 시점 이래로 교육자들에게는 어려운 문제점들을 가져다 주었다. 이러한 미분자들은 아주 작으며, 실제 과정을 시각화하기란 어려운 실정이다. 또한 학생들이 쉽게 이해할 수 없는 복잡한 생물학적 조직 구조, 수많은 개념적 측면(생태학적, 생리적, 생화학적, 에너지적, 독립영양)등으로 인해 어려움을 느끼는 것이다(Waheed & Lucas, 1992). 이런 측면에서 교과서의 도표들은 학생들이 인지하고 있는 오해를 풀어주기에 불충분하다. 특히 교과서상의 식물의 광합성과 호흡의 주제가 각각 독립적으로 다뤄지며, 교과서의 식물의 광합성과 호흡에 대한 잘못된 개념들이 학생들에게 오개념을 가지게 함을 많은 연구를 통해 밝혀졌다(Guzzetti, 2000; Lloyd, 1990). 또한 식물의 광합성과 호흡은 학생들이 이해하기에 어려운 개념(Ross *et al.*, 2006)임에도 불구하고 전통적인 교과서 중심의 강의로 이루어져 왔다(Hodson, 1998; Ross *et al.*,

2006).

그러나 구성주의 관점에서 교사의 역할은 학생들에게 지식을 전달하려고 하는 것이 아니라 학생 자신의 경험을 바탕으로 하여 개념을 구성해 나가도록 해주어야 한다(박영효, 홍승호, 2006). 따라서 새로운 개념을 제시해준다거나 학습자의 생각이 정확하지 못하다고 말해주는 것만으로는 개념의 변화를 가져오지 못한다. 개념 변화를 가르치려면 학습자가 자신의 지식을 인식하는데 있어 능동적인 역할을 하는 구성주의적 접근이 요구된다. 따라서 어려운 개념 학습을 위해서는 피아제식의 구성주의적 접근에서 유래되는 인지 갈등 전략이 개념 변화를 가르치는데 있어 효과적인 도구가 될 수 있다(Davis, 2001; Duit, 1999). 그 전략은 우선 특정 현상이나 주제에 대해 학습자가 갖는 기존 개념이 분명해 지는 상황을 먼저 만들고 나서, 인지적 갈등이나 인지적 불균형(불안정)의 상태를 만들어 나간다. 인지 갈등 전략은 개념 변화에 필수적인 4가지 상황을 만든다는 점에서 Posner *et al.*(1982)의 개념 변화 이론과 비슷하다. 다시 말해 학습자는 자신이 갖고 있는 현재의 개념에 불만족을 느끼게 되면 보다 현실적으로 가능하고 생산적이며 지적인 개념으로 교체하여 수용하게 된다(Davis, 2001, Duit, 1996).

인지 갈등은 개념 변화를 가르치기 위한 많은 모형과 전략을 개발하는데 있어 그 토대가 되어 왔다. 그런 모형들 중에는 Nussbaum과 Novick(1982)이 제시한 개념변화 교수 전략에 기반을 둔 Driver 개념변화 학습 모형이 가장 대표적이다. Driver는 어떠한 방식으로 교사는 학생이 주요 학습적 개념에 대해 이해할 수 있도록 돕고, 이를 어떻게 설명할 것인가와 관련하여 인지갈등 수업 모형 활동의 속성에 따라 더 세분하여 개념변화학습 모형을 제시하였다(Bybee *et al.*, 2008; Lawson, 1995). 이를 통해 Driver는 학생들이 사전 개념에 대해 고찰하고, 새로운 경험을 바탕으로 수정할 수 있도록 격려하는 방법을 제시하였다(Lawson, 1995).

Driver 개념변화 학습 모형은 학생들이 자신들의 생각을 표현하고 재구성하며 재구성한 생각의 타당성을 평가하고 재구성된 생각을 응용하여 검토하는 단계로 이루어져 있다. 즉, Driver 개념변화 학습 모형에서는 우선 교사는 학생들이 무엇을 배울지에 대해 간단한 오리엔테이션을 하고, 학생들이 자신의 생각

을 표현하는 단계로 이어지며, 학생들이 믿었던 것 또는 생각했던 것과 대조를 이루는 현상에 대해 경험을 하는 단계를 거친다. 이를 계기로 학생들은 현상에 대한 자신의 사고에 대해 다시 한 번 생각하는 갈등을 겪게 되고, 원하는 개념을 성취할 수 있도록 학생들은 실험을 설계하며 문제 해결에 참여하는 등 다양한 학습 활동을 하게 된다. 이러한 활동 후 교사는 학생들이 의도된 개념 또는 원리에 대한 학생의 이해를 평가하고, 이러한 과정을 통해 학생들은 새로운 내용에 대해 이해하고 새로운 상황에 지식을 적용할 수 있게 된다는 것이다(Bybee *et al.*, 2008; Driver & Bell 1986).

지금까지 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정을 위한 방안으로는 과학사를 활용하여 학생들의 광합성 개념 형성을 돕고자 하였으며(김남일, 강태완, 1998; 위관량, 김성하, 2002), 식물 호흡 과정의 주요 내용을 행동으로 표현하는 역할놀이 비유수업을 통해 학생들의 잘못된 개념을 수정하고자 하였다(Ross *et al.*, 2005). 그러나 식물의 광합성과 호흡에 대한 학생들의 개념은 일상적으로 쓰는 언어를 통해 형성된 개념들이 많고(조희형, 1998), 생활 경험을 통해 형성된 선행지식은 교수·학습을 통해 쉽게 바뀌지 않는 어려움이 있다(조희형, 최경희, 2007). 따라서 학생들이 직접 선개념을 파악하고 선개념에 대한 불만을 느끼도록 하며, 유용한 대안과 새로운 경험을 바탕으로 수정할 수 있도록 하는 방법을 제시하여야 한다. 이런 맥락에서 Driver 개념변화 학습 모형은 학생들이 자신들의 생각을 표현하고 재구성하며 재구성한 생각의 타당성을 직접 평가하고 재구성된 생각을 응용해 보는 단계를 통해 생활 경험에 의해 형성된 오개념을 교정할 수 있도록 한다(Bybee *et al.*, 2008). 특히, Driver 개념변화 학습 모형은 선행지식에 대한 인지갈등(cognitive conflict)을 유발하여 자신의 생각에 불만을 갖도록 하고 생각을 변화시킬 수 있도록 과학 개념을 이해 가능하고, 그럴듯하고 활용 가능성이 많음을 보여주도록 제시하는 과정을 포함하고 있어 학생들의 오개념을 과학 개념으로 대체하거나 변화시켜 새로운 과학지식과 기능을 획득하게 하거나 구성하게 하는 유용한 수업모형이라고 할 수 있다(Driver & Oldham, 1986; Küçüközer & Kocaktilah, 2008).

국내에서는 초등학교학생들을 대상으로 한 생명 영역의 개념에 관한 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 개

념변화 연구가 이루어졌으나(박영효, 홍승호, 2006), 아직까지 고등학생들을 대상으로 개념변화 학습 모형을 적용한 식물의 광합성과 호흡에 대한 오개념 연구는 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구에서는 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡에 관련된 오개념을 조사하고, 이를 교정할 수 있는 방안으로 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 효과를 알아보기 위해 학생의 오개념을 구분 짓는 방법으로 그림그리기 방법을 적용하여, Driver 개념변화 학습 모형 적용 전·후에 학생들의 광합성과 호흡의 개념 이해 수준을 5단계로 구분·비교하였다. 그리고 서술형 검사를 통하여 학생들의 개념 변화를 분석하였다.

본 연구는 앞으로 현장 교사들의 개념변화 학습 모형 적용을 통한 효과적인 오개념 교정 수업에 긍정적인 영향을 줄 것으로 기대된다.

## II. 연구 방법

### 1. 검사절차 및 자료처리

본 연구는 부산광역시 소재의 남자고등학교 재량교과 시간에 생물학을 선택한 1학년 66명을 연구 대상으로 하였다. 이 학생들은 중학교에서 식물의 광합성과 호흡에 대한 기본학습이 이루어진 상태였으며, 수업은 한 교사에 의해 진행되었다.

학생들의 식물의 광합성과 호흡에 관한 개념은 그림그리기와 서술형 검사지로 서로 상호적인 방법으로 조사되었다(그림 1).

본 연구의 첫 번째 단계에서는 사전 그림그리기를 실시하였는데, 그림그리기는 교수·학습 과정에서 가치 있는 정보를 제공하며 잘못된 개념을 구분할 수 있도록 하고, 다른 평가 전략과 함께 창의적 표현과 결론이 정해져 있지 않은(open-ended) 정보를 제공해 준다(Köse, 2008). 또한 많은 학생들이 질문에 대답하는 것을 싫어하기에, 그림은 빠르고 쉽게 즐기면서 할 수 있는 장점이 있으며(Thomas *et al.*, 1990), 학생들 자신의 사고를 언어적으로 표현하는 것이 어려운 학생에게 유용한 대안이 되는 방법이다. 따라서 그림그리기를 통해 광합성과 식물호흡과 같은 추상적 개념에 대한 학생들의 생각을 세심하게 탐구할 수 있

다. 그리고 사전 서술형 문제를 제시하여 식물의 광합성과 호흡에 대해 자신의 생각을 표현하도록 하였다. 이것은 그림 해석의 타당성을 확인하고자 하는데 목적이 있다. 즉, 식물의 광합성과 호흡이 무엇인지, 언제 일어나는지, 식물의 어느 부위에서 일어나는지, 나뭇잎의 역할, 광합성과 호흡의 관계, 식물의 영양소는 무엇인지, 어디서 영양소를 얻는지와 같은 질문이 학생들에게 주어졌다. 사전검사는 2시간 동안 실시되었다.

식물의 광합성과 호흡의 기본 개념에 대해 학생들의 이해도를 조사하기 위하여 개발된 서술형 검사지는 수업 차시를 고려하여 4문항으로 구성되어 있으며 생물교사 3인과 과학교육학 박사 1인의 도움을 받아 선정 되었고, 연구대상 외의 동일 학년의 13명을 대상으로 Pilot test를 거쳐 검사문항을 구성하고 있는 단어나 문장의 의미를 파악하는데 어려움이 없는가를 검토한 후 수정·보완하여 본 검사에 최종 투입하였다.

두 번째 단계에서는 생물교사 3인과 과학교육학 박사 1인에 의해 단계별 수업 전략의 적절성, 시간 배분의 적절성, 교사 질문의 적절성 등이 포함된 체크리스트로 평가를 받고, 수정·보완한 Driver 개념변화 모형을 적용한 수업 프로그램을 8차시에 걸쳐 적용하였다. 생각의 재구성, 생각의 응용 단계의 수업 후 생각의 변화 단계에서는 새로운 생각의 평가로 사전검사

로 제시한 서술형 문제를 한 번 더 제시하여 학생들의 생각의 변화를 확인하였다. 이를 통해 학생들의 식물의 광합성과 호흡에 대해 개념의 변화를 확인하였다.

세 번째 단계에서는 8차시 수업 종료 후 다음 차시에 식물의 광합성과 호흡을 그림으로 다시 표현하도록 하고 식물의 광합성과 호흡에 대한 개념 변화를 확인하였다.

모든 검사의 결과는 생물교사 3인과 과학교육학 박사 1인의 4차에 걸친 협의(1차: 개념 이해 수준 단계별 분류 기준 및 필수 개념 타당성 검토, 2차: 개념변화 수업 프로그램의 타당성 검토, 3차 사전검사를 통한 오개념 분석 비교, 4차: 수업 처치 후 개념 변화 분석 비교)를 통해 정리되었다. 특히, 그림그리기와 서술형 검사를 통한 개념 이해 수준과 오개념 분석은 4인이 각자 1차적으로 분석한 다음, 이를 비교하여 서로 차이가 나는 부분에 대해서는 과학 교과서와 전문도서를 참고하여 토론을 통해 최종 분석 결과를 확정하였다.

학생들의 광합성과 호흡에 대한 그림그리기를 통해 얻은 결과는 수준별로 구분하기 위해 Köse(2008)가 제시한 5단계의 개념적 이해 수준 단계를 활용하였다. 즉, 그림이 없는 단계, 그림으로 표현되지 않은 단계, 오개념으로 그려진 단계, 부분적 그림의 단계, 올바른 이해를 표현한 그림의 단계로 구분하였다(표 1).

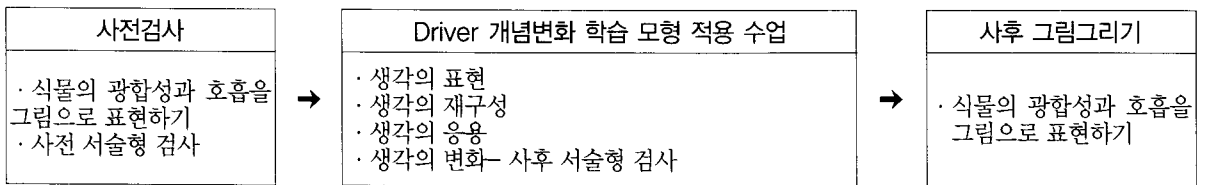


그림 1 수업과정

표 1 개념적 이해 수준 단계 분류 기준

|  |
|--|
| <p>Level 1 그림이 없는 단계: '모르겠다'거나 무반응으로 그리지 않은 상태이다.</p> <p>Level 2 그림으로 표현되지 않은 단계: 그림 대신에 간단한 도형(diagram)과 조직화를 포함한 대답들이 이 범주에 속한다.</p> <p>Level 3 오개념으로 그려진 단계: 과학교과서나 과학자에 의해 이해되지 않은 오개념이 포함된 그림이 속한다.</p> <p>Level 4 부분적 그림의 단계: 개념의 부분적 이해를 설명하고, 광합성 요소인 해/빛, 이산화탄소, 비/물, 포도당/당/녹말, 산소, 나뭇잎을 포함하고, 호흡 요소인 포도당/당, 산소, 이산화탄소, 물, 에너지, 나뭇잎을 포함한다.</p> <p>Level 5 올바른 이해를 표현한 그림의 단계: 광합성과 식물 호흡에 관해 가장 적당하고 과학적인 그림이다. 그림은 광합성과 호흡의 연관성을 표현하고, 7개 이상의 구성요소(표 2)를 포함한다.</p> |
|--|

표 2  
식물 광합성과 호흡 과정의 필수 요소

| 과정  | 광합성과 식물 호흡의 필수 요소  |
|-----|--|
| 광합성 | 해/빛, 이산화탄소, 비/물, 엽록체, 나뭇잎, 푸른 나뭇가지, 줄기, 기공, 과일(열매), 포도당/당/녹말, 산소, 토양, 뿌리 |
| 호흡  | 포도당/당, 산소, 이산화탄소, 물, 미토콘드리아, 에너지, 나뭇잎, 줄기, 가지, 과일(열매), 꽃, 토양, 기공, 낮/밤    |

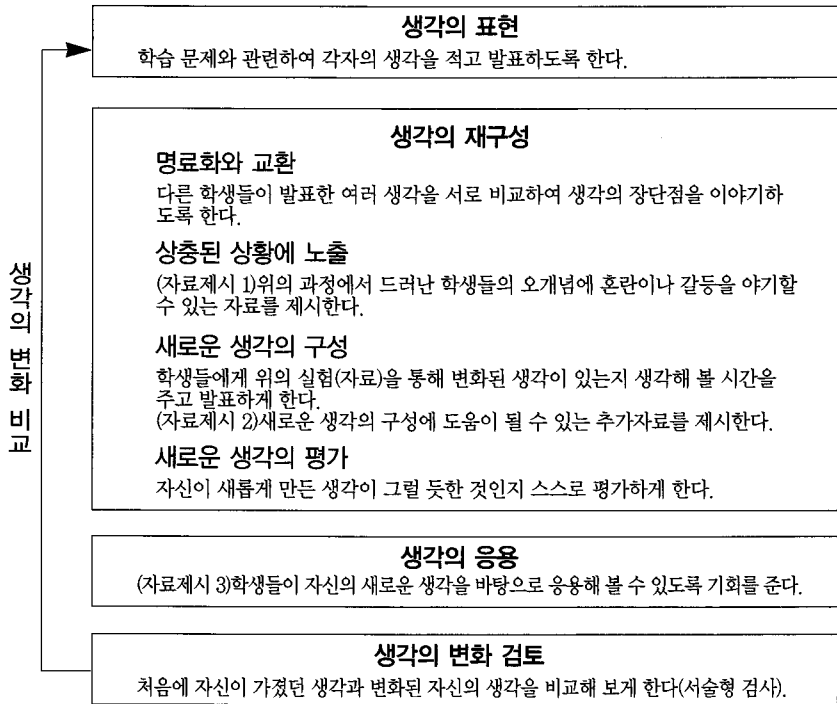


그림 2 Driver 개념변화 학습 모형의 과정 및 주요 전략

## 2. Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 프로그램 개발

Driver 개념변화 학습 모형의 각 단계별 구체적인 수업 전략은 <그림 2>와 같다.

### 1) 생각의 표현 단계

개념 변화에 있어 기본이 되는 가정은 '새로운 개념의 구성은 기존의 개념이라는 토대 위에서만 가능하다'고 보는 구성주의적 관점이다(Davis, 2001; Duit, 1999). 그러므로 개념 변화를 가르치는데 있어 가장 중요한 첫 번째 단계는 학습 주제나 현상에 대해 자신이 가지고 있는 생각을 학습자가 자각하도록 만드는 것이다(Davis, 2001; Driver et al., 1994).

'생각의 표현' 단계에서는 학생들이 학습할 내용과 관련된 각자의 생각을 표현하도록 한다. 교사는 학습 내용과 관련된 현상이나 예를 제시하고, 학생들은 이를 관찰하고, 자신의 생각을 설명하도록 한다. 학습자는 많은 방식으로 자신의 생각을 보여줄 수 있다. 글로 설명할 수도 있고 그림을 그릴 수도 있으며 모형을 실제로 만들 수도 있고 개념도를 그려서 보여줄 수도 있으며 여러 방법을 혼합하여 보여줄 수도 있다(Davis, 2001; Driver et al., 1996).

본 연구에서는 '식물의 광합성과 호흡은 언제 일어나는가? 일어나는 장소는 어디인가?', '식물의 영양소는 무엇인가? 그런 영양소는 어디에서 얻는가?', '광합성에서 잎의 역할은 무엇인가?', '빛이 공급되고 쥐와 식물이 들어 있는 유리종, 빛이 차단되고 쥐

와 식물이 들어 있는 유리종에 각각 어떤 일이 일어날까? 그렇게 생각하는 이유는?’ 등에 대해 여러 가지 표상 방법으로 생각을 표현하도록 하였다.

## 2) 생각의 재구성 단계

‘생각의 재구성’ 단계는 여러 가지 하위 단계로 세분화된다. 첫 번째 하위 단계인 ‘명료화와 교환’에서는 학생들이 자신의 생각을 서로 발표하도록 한다. 학생들은 다른 학생들의 생각에 비추어 자신들이 가지고 있는 생각의 의미를 명료화하고, 서로의 생각이 가지고 있는 장점과 단점을 비교해 볼 기회를 가진다(강호감 등, 2008; 윤성규 등, 2007; Driver et al., 1994; 1985, Driver & Bell, 1986). 이어지는 ‘상충된 상황에 노출’ 단계에서는 교사는 학생들의 생각과 상충되는 현상이나 사건을 제시한다. 학습자가 가지고 있는 개념을 이끌어 내기 위해서는 사건의 노출로 시작된다(Driver et al., 1994; Driver & Oldham, 1986). 사건의 노출이란 학습자가 기존의 개념을 사용해서 해석해야 하는 사건을 제시하는 것을 말하는 것으로(Davis, 2001), 사건의 노출에는 결과를 모르는 사건(상황)이거나 아니면 결과를 아는 사건(상황)이 있을 수 있다(Chinn & Brewer, 1993). ‘결과를 알지 못하는’ 사건(상황)인 경우, 교사는 학생에게 결과를 예측하게 하고 그런 예측을 하게 된 토대를 설명해 보게 한다. ‘결과를 아는’ 사건(상황)인 경우, 학생은 예측은 하지 않지만 그 사건을 설명해 보도록 한다. 이와 같이 상충된 상황의 노출로 학생들은 자신이 알고 있는 개념이 불충분하다는 것을 인식함으로써 학습자는 자신의 개념을 바꾸고자 하는데 보다 열린 마인드를 가지도록 하였다.

본 연구에서는 상충된 상황에 노출 단계에서는 주로 광합성과 관련된 과학사 자료를 제시하였다. 과학사는 과학적 이론이나 법칙들의 형성 과정을 포함하고 있기 때문에 학생들의 개념 발달을 가져오는 많은 예를 제공할 수 있으므로 과학의 이해를 도와줄 뿐만 아니라 개념 발달의 새로운 가능성도 제시해 줄 수 있다(위관량, 김성하, 2002). 따라서 식물의 광합성과 호흡의 본질을 확인하기 위해 과학사에서 나타난 광합성의 개념 발견에 관한 실험들을 이야기 자료로 학생들에게 제시하여 토론하게 하고(김남일, 강태완, 1998), 토론 결과와 실험에서 확인한 결과를 종합하여 식물의 광합성과 호흡의 기본 개념을 학습하도록 하

였다.

본 연구에서의 상충된 상황에 노출 단계의 구체적 전략으로서 1~2차시에는 ‘밤에도 광합성을 할까?’에 대해 생각해 볼 수 있는 벤슨의 실험과 ‘식물도 호흡을 할까?’ 실험을 통해 식물의 호흡에 대해 고민할 수 있는 기회를 제공하였다. 3~4차시에는 아리스토텔레스, 헬몬트, 소쉬르의 과학사적 실험을 제시하여 식물의 영양소를 토양이라 할 수 있는지, 식물의 생장에 물이 어떤 역할을 하는지, 독립영양생물의 광합성 산물의 이용과 저장에 대해 생각할 수 있는 기회를 주었다. 5~6차시에는 잎의 역할과 관련하여 잎을 이용한 광합성이 일어나는 장소와 광합성의 산물을 확인하기 위해 은박지로 일부분을 가린 잎의 엽록소를 제거한 다음 요오드-요오드화칼륨 용액을 떨어뜨려 녹말 반응의 여부를 실험을 통해 확인해 보도록 하였다. 7~8차시에는 프리스틀리와 잉겐하우스의 구체적인 실험 과정과 이를 통한 결과에 대해 논의할 수 있도록 하였다. 즉, ‘잉겐하우스의 실험과 프리스틀리의 실험의 차이점은 무엇인가?’, ‘잉겐하우스 실험이 식물의 광합성과 호흡에 있어서 중요한 의미는 무엇이며 잉겐하우스가 밝히지 못한 것은 무엇인가?’ 라는 질문을 제시하여 광합성과 호흡의 연관성을 고민할 수 있도록 하였다.

‘새로운 생각의 구성’ 단계에서는 자신의 부족한 생각을 대체할 수 있는 새로운 생각을 구성한다. 학생들이 스스로 구성하기 어려운 과학 개념은 교사가 제시해 주고, 이 때 제시되는 과학개념은 학생들이 쉽게 이해할 수 있어야 하며, 동료 학생들의 생각과 비교할 때 어떤 장·단점이 있는지를 잘 드러나도록 계획해야 한다.

본 연구에서의 새로운 생각의 구성을 위해 교사가 제시한 전략은 1~2차시에는 광합성과 호흡의 관계 및 일어나는 장소와 연관성을 생각해 볼 수 있는 그림 자료를 제시하여 새로운 생각을 구성할 수 있도록 하였다. 3~4차시에는 콩이 발아되면서 떡잎의 무게가 변화는 이유를 생각해 볼 수 있는 기회를 주어 식물의 영양소에 대해 고민하도록 하였고, 5~6차시에는 하루 동안 어두운 곳에 두었던 검정말 잎에 요오드-요오드화칼륨 용액을 떨어뜨리고 현미경으로 관찰하여 검정말의 잎에서 광합성이 일어나는 곳은 어디인지, 그렇게 결론을 내린 까닭을 설명해 보도록 하였다. 7~8차시에는 식물과 동물의 공존에 관한 영상자료를

5분 정도 보여주고 학습을 통해 새로운 생각을 구성할 수 있는 시간을 주었다.

새로운 생각의 구성이나 도입이 이루어지면 그 다음에는 새로운 생각이 얼마나 타당한 지를 평가하도록 한다. '새로운 생각의 평가' 단계에서는 다른 학생들에게 발표를 하고 동료 학생의 평가를 통하여 자신이 가지고 있는 개념의 타당성을 평가하도록 하였다.

3) 생각의 응용 단계

생각의 응용 단계에서는 학생들에게 새로운 소재나 상황을 제시하여 재구성한 생각을 적용하게 하였다 (Driver et al., 1994; 1985, Driver & Bell, 1986). 이 과정은 새로운 생각이 얼마나 활용 가능성이 많은지를 인식하게 한다. 또한 학생들에게 시간을 주어 자신들이 가지고 있는 개념과 수업의 목표가 되는 이론의 차이점을 심사숙고하여 조절할 수 있게 하는 활동을 수업시간에 포함시켰다(Davis, 2001).

생각의 재구성 단계를 통해 형성된 개념을 확고히 하기 위해서 1~2차시에는 알파파 식물의 하루 동안의 광합성량과 호흡량을 비교할 수 있는 문제를 제시하여 광합성과 호흡이 일어나는 시점과 장소에 대해 심사숙고 하도록 하였고, 3~4차시에는 녹색인간에 대한 자료와 식물의 늘어난 무게를 측정하는 문제를 제시하여 식물의 영양소는 무엇이고 그 영양소는 어디에서 얻는지에 대한 이해 정도를 스스로 확인할 수 있도록 하였다. 5~6차시에는 '잎의 구조 관찰을 통한 잎의 속 구조에서 광합성이 가장 활발하게 일어나는 조직은 무엇인가?' 에 대해 잎의 역할을 좀 더 심화적으로 이해할 수 있도록 하였다. 7~8차시에는 '낮에 방 안에 식물을 심은 화분을 놓아두면, 보기에 좋을 뿐만 아니라 방안의 공기도 신선하게 하고 습도도 적당히 유지되어, 우리가 쾌적한 생활을 할 수 있게 한다. 그러나 밤에는 그렇지 않다고 한다. 그 이유는 무엇일까?' 에 대해 생각해 보도록 하여 광합성과 호

흡의 관계를 실생활에 적용해 볼 수 있도록 하였다.

4) 생각의 변화 검토 단계

생각의 변화 검토 단계에서는 학생들의 생각이 어떻게 어느 정도 변화되었는지를 검토한다(강호감 등, 2008; Driver et al., 1994; Driver & Bell, 1986; Driver & Oldham, 1986). 이 단계를 통해 재구성된 생각을 처음 생각과 비교할 수 있다. 본 연구에서는 수업을 통해 학생들의 생각의 변화 정도를 알아보기 위해 사전검사에서 제시한 서술형 문제를 다시 제시하여 식물의 광합성과 호흡에 대한 생각의 변화를 확인하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 식물의 광합성과 호흡에 대한 개념 이해 수준 분석 결과

본 연구에서는 식물의 광합성과 호흡에 관한 학생의 오개념을 구분 짓는 방법으로 그림그리기 방법을 적용하였다. Driver 개념변화 학습 모형 적용 전·후의 광합성과 호흡에 대한 학생들의 개념적 이해 수준을 구분한 결과는 표 3과 같고, 그림3~6은 개념 이해 수준의 단계적 예시 그림이다.

표 3 개념 이해 수준 검사 결과 명(%)

| 단계  | 사전검사    | 사후검사    |
|-----|---------|---------|
| 1단계 | 5(8)    | 0(0)    |
| 2단계 | 7(10)   | 2(3)    |
| 3단계 | 37(56)  | 7(10)   |
| 4단계 | 13(20)  | 16(24)  |
| 5단계 | 4(6)    | 41(63)  |
| 계   | 66(100) | 66(100) |

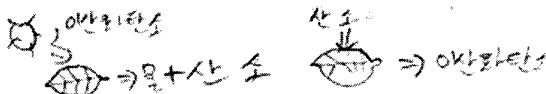


그림 3 2단계 개념 수준의 그림

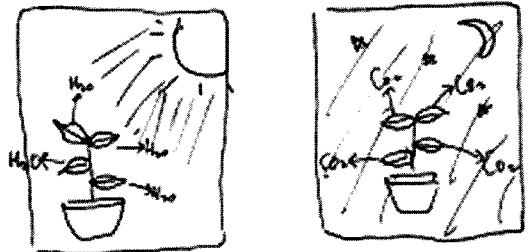


그림 4 3단계 개념 수준의 그림

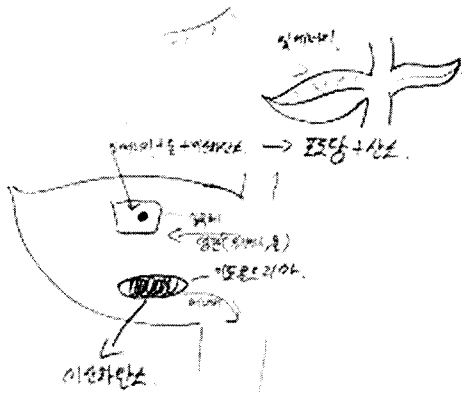


그림 5 4단계 개념 수준의 그림

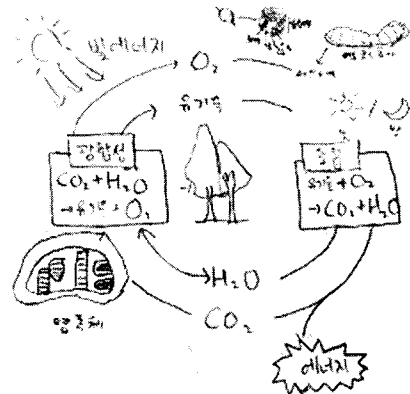


그림 6 5단계 개념 수준의 그림

**표 4**  
광합성에 관해 학생이 빈번하게 그린 요소(사전/사후)

|       | 해/빛 | 이산화탄소 | 비/물 | 포도당 | 산소 | 나뭇잎 | 엽록체 | 뿌리 | 토양 | 기공 | 줄기 | 가지 | 기공 |
|-------|-----|-------|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 사전(N) | 53  | 31    | 18  | 17  | 31 | 54  | 4   | 2  | 3  | 5  | 14 | 19 | 3  |
| %     | 80  | 47    | 27  | 26  | 47 | 81  | 6   | 3  | 4  | 7  | 21 | 28 | 4  |
| 사후(N) | 58  | 56    | 36  | 56  | 56 | 59  | 51  | 7  | 11 | 22 | 25 | 21 | 29 |
| %     | 87  | 85    | 54  | 64  | 64 | 89  | 77  | 10 | 16 | 33 | 37 | 31 | 44 |

**표 5**  
식물호흡에 관해 학생이 빈번하게 그린 요소(사전/사후)

|       | 포도당 | 산소 | 이산화탄소 | 물  | 에너지 | 나뭇잎 | 미토콘드리아 | 뿌리 | 줄기 | 가지 | 꽃/열매 | 토양 | 기공 |
|-------|-----|----|-------|----|-----|-----|--------|----|----|----|------|----|----|
| 사전(N) | 13  | 30 | 32    | 19 | 12  | 35  | 4      | 2  | 6  | 5  | 2    | 5  | 3  |
| %     | 20  | 45 | 48    | 28 | 18  | 53  | 6      | 3  | 9  | 7  | 3    | 7  | 4  |
| 사후(N) | 56  | 58 | 58    | 59 | 61  | 55  | 51     | 14 | 20 | 19 | 15   | 18 | 26 |
| %     | 84  | 87 | 87    | 89 | 92  | 83  | 77     | 21 | 30 | 28 | 22   | 27 | 39 |

학생들의 그림을 분석한 결과(표 3), 사전검사에서 학생들은 3단계 수준의 그림을 가장 많이 그렸다(37명). 3단계 수준의 그림을 그린 학생들은 식물의 호흡에 관한 지식이 거의 없는 것으로 나타났다. 4명만이 호흡에 관해 부분적으로 정확한 그림과 광합성에 관한 필수 요소를 7개 이상이 포함된 올바른 그림을 그렸다. 즉, 학생들은 식물의 호흡보다는 광합성에 대한 지식이 더 많은 것으로 나타났고, 식물호흡, 식물의 광합성과 호흡과의 관계, 포도당, 일어나는 장소, 에너지, 나뭇잎의 역할 부분에서 개념적 이해가 서툴고 빈약했다.

광합성에 관해 학생이 빈번하게 그린 요소를 살펴

보면(표 4), 절반 이상의 학생들이 해/빛, 나뭇잎 요소를 그렸다. 반면에, 4명만 엽록체를 그렸고 대부분 학생들은 광합성이 일어나는 장소를 잎으로만 나타내는 점에 대해 주목할 필요가 있다. 18명만이 광합성에 대한 기본적 요소인 물에 대해 언급하였고, 많은 학생들이 광합성을 이산화탄소가 흡수되고 산소가 방출되는 기체 교환 과정으로만 표현하였다. 반면에 17명만이 광합성의 산출물인 포도당에 대해 언급하였다.

식물호흡에 관해 빈번하게 학생이 그린 요소는 표 5와 같다. 대부분의 학생들은 호흡과 물을 기본적인 영양소로 생각하였고, 기본적인 산출물 에너지가 발생하는 그림을 그리지 않았다. 단지 4명의 학생만 호흡



이 일어나는 미토콘드리아를 그림으로 그렸다. 비록 일부 학생들이 뿌리, 줄기, 나뭇가지, 꽃을 그렸지만, 호흡과의 연관성을 그림으로 나타내지 못했다.

Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 후 동일한 주제와 방법으로 그림그리기를 실시한 결과, 57명의 학생이 4, 5단계의 수준의 그림을 그렸다. 이는 수업 처치 이후에 개념 변화에 긍정적인 변화가 생긴 결과로 해석할 수 있다. 특히, 광합성과 관련해서는 광합성이 일어나는 장소인 엽록체를 51명 학생들이 정확히 그렸고, 광합성 산물인 포도당을 호흡과 연관시켜 그린 것을 확인할 수 있었다. 식물의 호흡에 관해서도 미토콘드리아를 51명의 학생이 정확히 그렸고 에너지에 관한 구체적인 용어까지 그림으로 설명한 학생들도 많았다. 즉, Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 이후 대부분 학생들이 광합성과 호흡에 대해 필수적인 요소를 포함한 그림을 그렸고 식물의 광합성과 호흡의 연관성을 특히 잘 표현한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 학생들의 생각과 상충되는 현상이나 사건을 제시한 개념변화 전략을 적용한 수업은 오개념을 인지적 갈등을 통해 올바른 과학적 개념으로 변화시켜 주는데 효과적이다(Küçüközer & Kocakulah, 2008; Scott *et al.*, 1992; Zietsman & Hewson, 1986)라는 연구결과와 일치한다.

구체적인 사항으로는 수업 이후 학생들은 광합성 산물은 식물을 구성하는 성분이 되거나 호흡을 통해 일부가 ATP로 전환되어 생활 에너지로 이용되며, 나머지는 열에너지로 방출된다는 것을 인지하고 있었다. 또한 수업 처치 전에는 광합성의 생성물은 산소를 포도당보다 더 중요한 물질로 생각하는 경향을 보였으나, 수업 처치 이후에는 광합성에서의 빛의 에너지가 무기물질을 탄수화물로 변화시키는데 사용되어지는 것이며, 여기서 나온 산소는 부산물인 것을 이해하는 것도 확인할 수 있었다. 또한 수업 처치 전에서는 학생들이 식물의 호흡에 대한 표현이 매우 부족했으나, Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 이후에는 학생들이 식물 세포도 동물 세포와 같이 미토콘드리아에서 유기호흡으로 에너지를 얻으므로, 에너지를 얻기 위해 산소를 소모하고 이산화탄소를 내놓는다는 것을 이해하고 있다는 것을 학생들 간의 발표 내용을 통해 확인할 수 있었다. 그리고 육상식물의 생존에 있어서 가장 중심적인 생리현상인 광합성과 호흡을 간접적으로 조절하는 기공(김판수, 이준상, 2001)을 언

급한 것은 광합성과 호흡의 메커니즘과 기공의 간접적인 역할까지 이해한 것으로 보인다.

그러나 Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 이후에도 식물의 세포 중 녹색을 띤 부분의 세포에 엽록체가 있으나 공변세포를 제외한 표피조직 세포나 관다발을 만드는 세포, 저장조직의 세포 등 많은 부분의 세포에는 엽록체가 없다는 것은 아직 이해하고 못하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 광합성과 관련하여 평소 들어 볼 수 없었던 구체적인 식물의 조직과 관련해서는 받아들이기 어렵하다는 것을 의미한다. 즉, 학생들은 과학 개념과 원리가 현상이나 과정들이 학생들에게 익숙하지 않으면 과학지식을 신뢰하지 않고 일상의 설명을 사용한다(Mintzes *et al.*, 1991). 따라서 개념변화 수업에서는 일상적 개념을 고려한 익숙한 수업 전략들이 마련되는 것이 가장 필수적인 요소라 할 수 있다.

## 2. 식물의 광합성과 호흡에 관한 오개념 분석 결과

### 1) 식물의 광합성과 호흡은 언제 일어나는가? 일어나는 장소는 어디인가?

수업 처치 전 대부분의 학생들은 식물의 광합성과 호흡이 일어나는 시점과 장소를 정확히 알지 못한 상태였다(표 6). 광합성과 호흡은 앞에서 일어난다는 학생이 많았고(그림 7), 호흡은 밤에만 일어난다는 생각을 가진 학생이 10명 있었다(그림 8). 즉, 밤에는 빛이 없기 때문에 밤에 상대적으로 호흡을 더 많이 한다고 생각하였고, 광합성도 항상 일어난다는 생각은 빛과 광합성량의 관계를 이해하지 못했기 때문으로 판단된다.

잘못된 개념을 가지는 이유 중 하나가 과학적 언어와 일상의 언어의 차이에서 올 수 있다. 예를 들면, 학생들은 산소를 흡수하고 이산화탄소를 방출하는 의미인 ‘호흡(respiration)’ 이라는 개념을 ‘숨쉬기(breathing)’ 라는 단어의 의미와 함께 이용하기도 한다(Köse, 2008). 그러나 두 단어의 의미는 서로 다르며 호흡은 화학적 작용이며, 숨쉬기는 신체적 작용이다. 학생들과의 인터뷰를 통해서 ‘밤에 식물이 호흡을 하기 때문에, 우리가 잠자는 옆에 식물을 두어서는 안 됩니다.’ 와 같이 말한 이유도 학생의 일상 경험을 바탕으로 해석한 결과로 보인다(Köse, 2008).

Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 후 식물의 광

**표 6**  
식물의 광합성과 호흡이 일어나는 시점 및 장소에 대한 오개념 분석

| 오개념                             | N  |    | 선행연구 *                        |
|---------------------------------|----|----|-------------------------------|
|                                 | 사전 | 사후 |                               |
| 광합성은 녹색식물에서 항상 일어난다.            | 3  | 0  | (7) (8) (9)                   |
| 식물의 호흡은 밤에만 일어난다.               | 10 | 0  | (3) (4) (7) (8) (9) (10) (12) |
| 식물의 호흡은 낮 동안에만 일어난다.            | 8  | 0  | (6) (7) (8) (9)               |
| 호흡은 밤이나 낮이나 빛에너지가 필요 없을 때 일어난다. | 4  | 1  |                               |
| 호흡은 식물세포에서는 일어나지 않는다.           | 3  | 0  | (8) (9) (10)                  |
| 식물은 광합성을 하는 동안, 호흡은 하지 않는다.     | 2  | 0  | (7) (11)                      |
| 식물은 광합성만 하고 동물은 호흡한다.           | 6  | 0  | (7) (8) (9)                   |
| 광합성은 식물의 호흡이다.                  | 2  | 0  | (4) (7) (8) (9) (11)          |
| 광합성은 호흡의 한 형태이다.                | 1  | 0  | (8) (9) (10) (11)             |
| 광합성은 앞에서 일어난다.                  | 30 | 2  | (6) (7) (8) (9)               |
| 식물의 호흡은 나뭇잎에서만 일어난다.            | 9  | 1  | (6) (7) (8) (9) (12)          |
| 식물은 나뭇잎의 기공을 통해 호흡한다.           | 4  | 1  | (8) (9)                       |
| 광합성은 앞에서 주로 일어나고 호흡은 전체에서 일어난다. | 3  | 0  |                               |
| 식물의 호흡은 뿌리에서만 일어난다.             | 1  | 0  | (9)                           |

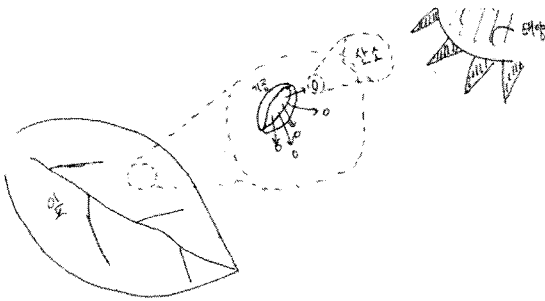


그림 7 광합성과 호흡이 일어난 장소에 대한 오개념 그림

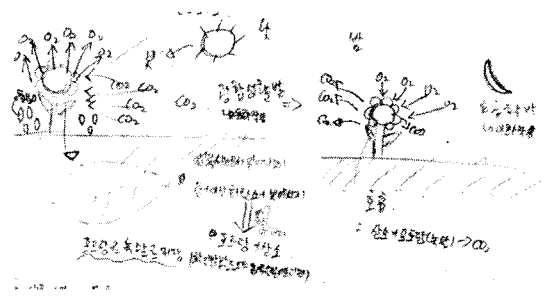


그림 8 광합성과 호흡이 일어난 시점에 대한 오개념 그림

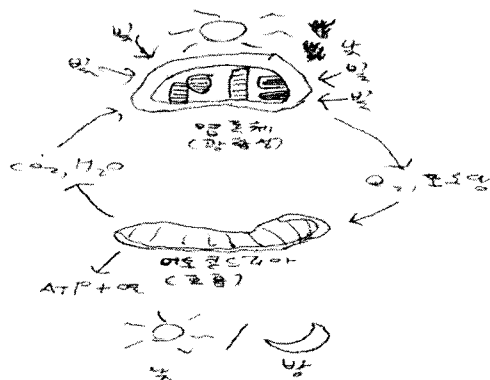


그림 9 수업 처치 후 광합성과 호흡이 일어나는 장소/일어나는 시점에 대한 학생 그림

\* (1)김남일, 강태완(1998) (2)김수미, 정영란(1997) (3)정영란, 강경리(1998) (4)정완호(1993) (5)Anderson et al.(1990) (6)Cepni et al.(2006) (7)Haslam & Treagust(1987) (8)Hill(1997) (9)Kose(2008) (10)Songer & Mintzes(1994) (11)Tamir(1989) (12)Wandersee(1994)

합성과 호흡이 일어나는 시기와 장소에 대해 오개념이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 특히, 수업 처치 후 생각의 재구성과 응용 단계 과정을 거치면서 식물은 항상 호흡을 하며, 빛이 없는 밤에는 광합성을 하지 않는다는 사실과, 호흡작용은 빛에 의한 메커니즘은 아니고, 항상 진행되고 호흡을 통해 생성되는 화학에너지가 세포들에게 에너지원을 제공한다는 학생들의 생각을 생각의 변화 단계에서 확인할 수 있었다(그림 9). 또한 대부분의 학생들은 광합성과 호흡이 일어나는 장소인 엽록체와 미토콘드리아를 정확히 표현하여 광합성과 호흡의 과정과 두 작용의 관련성을 이해하는 것을 확인할 수 있었다.

한편, 현재 고등학교에서 다루어지고 있는 식물 호흡에 관한 주제가 동물과 함께 다루지고, 교과서의 호흡관련 부분이 동물과 인간의 호흡 부분을 중점적으로 다루고 있기에 학생들에게 오개념이 생길 수 있다(Ross et al., 2006). 또한 교과서에서 광합성을 표현하기 위해 나뭇잎의 구조를 중요하게 제시되고 있어 식물의 호흡이 나뭇잎에서만 일어나는 것으로 생각될

수 있다. 또한 일부 학습에서는 식물 호흡이 다뤄지지 않기 때문에, 학생들이 식물은 호흡하지 않는 것으로 생각할 수도 있다. 따라서 이러한 잘못된 생각을 막기 위해 학생들이 식물을 생명체로, 밤낮 동안 호흡하며, 호흡하는 동안 산소를 흡수하고 이산화탄소를 방출하며, 식물의 모든 조직에 분포하는 미토콘드리아에서 생명활동을 위한 에너지를 만들어내고 이를 활용하여 식물이 성장한다는 것을 초등학교 때부터 교육할 필요가 있다.

2) 식물의 영양소는 무엇인가? 그런 영양소는 어디에서 얻는가?

사전검사에서는 식물은 빛, 이산화탄소, 물을 이용해서 식물 내부에서 영양소(탄수화물)를 만든다고 바르게 응답한 학생은 11명에 불과하였으며, 많은 학생들은 식물이 흙이나 비료로부터 영양소를 얻고 뿌리를 통해 영양소를 흡수한다는 오개념을 가지는 것으로 나타났다(표 7) (그림 10). 즉, 인터뷰에서 '토양은 영양소를 가지고 있고, 뿌리는 토양속의 영양소를 찾

표 7 식물의 영양소에 대한 오개념 분석 결과

| 오개념                          | N  |    | 선행연구 <sup>1)</sup>            |
|------------------------------|----|----|-------------------------------|
|                              | 사전 | 사후 |                               |
| 식물은 물을 먹이로 한다.               | 12 | 1  | (5) (6) (8) (9) (10) (12)     |
| 토양은 식물의 영양소인 물을 공급해준다.       | 9  | 2  | (5) (6) (7) (8) (9) (11) (12) |
| 식물은 박테리아 분해를 통해 영양소를 얻는다.    | 1  | 0  |                               |
| 식물은 뿌리를 통해 토양으로부터 영양소를 흡수한다. | 10 | 2  | (1) (5) (6) (8) (9) (11) (12) |
| 식물은 양분을 먹는다.                 | 3  | 0  | (5) (6) (8) (9) (12)          |
| 비료는 식물의 영양소이다.               | 5  | 1  | (9)                           |
| 빛물은 식물의 영양소이다.               | 2  | 0  |                               |
| 식물은 물만 먹고도 산다.               | 3  | 0  | (4)                           |



그림 10 식물의 영양소에 대한 오개념 그림

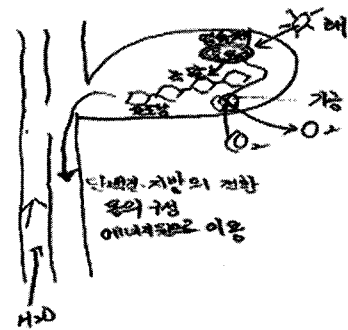


그림 11 수업 처치 후 식물의 영양소에 대한 학생 그림

아 흡수해요’, ‘사람들이 비료를 뿌리는 것도 자체 영양소를 만들지 못하는 식물이 성장하는데 반드시 필요한 영양소를 공급해주기 위해서입니다.’라고 주장하는 학생도 있었다.

학생들은 식물의 영양소로 뿌리를 통해 흙으로부터 흡수한 비료, 물, 흙, 여러 가지 무기물들을 말하였다. 이는 동물이 먹거나 마시는 음식을 식물에까지 적용하여 생각한 결과로 볼 수 있다(조희형, 1998).

식물의 에너지원이 되는 물질은 외부로부터 흡수한 무기물이 아니라 식물체 안에서 그 무기물로부터 만들어진 유기물이다(조희형, 1998). 즉, 광합성을 통해 식물체 안에서 스스로 영양소를 만든다는 것이다.

수업 처치 후, 생각의 변화 검토 단계에서 ‘녹색을 띠는 식물 잎의 엽록체에서 빛에너지를 이용해서 이산화탄소와 물로부터 포도당을 만들어 냅니다.’라고 답을 하는 학생들이 많았다. 다시 말해서 빛에너지를 화학 에너지로 전환해서 포도당이라는 물질 속에 저장한다는 것을 이해한 학생이 많았다(그림 11). 또한 광합성을 호흡과 연관지어 식물에서 만들어진 ‘포도당은 동물 세포에서 일어난 것과 같이 세포 호흡을 거치면서 ATP를 만들기도 하고, 세포벽 구성 성분인 셀룰로오스를 만드는 데 사용되기도 합니다.’고 이해한 학생도 있었다. 결국 광합성 산물인 포도당이 공급되어야 식물과 동물은 세포 호흡을 할 수 있고 자기 몸을 구성하는 물질을 만들 수 있다는 것을 이해한 것이다. 이러한 결과는 생각의 재구성과 응용 단계에서의

광합성의 산물인 포도당에 대한 학생들의 이해를 높이기 위해서 포도당과 관련하여 광합성과 호흡 과정을 연관시킬 수 있는 활동 제시가 생각의 변화에 도움을 준 것으로 판단된다.

### 3) 광합성에서 잎의 역할은 무엇인가?

사전검사에서 학생들의 대답은 ‘잎의 주된 기능은 산소, 이산화탄소를 배출하는 것이다.’로 답한 학생들이 가장 많았으며 다음으로 많은 응답은 ‘잎의 주된 기능은 비를 흡수하여 공기 중으로 수분을 증발시키는 데 있다.’, ‘식물의 잎은 인간과 다른 생물체를 위해 산소와 음식을 제공한다.(그림 12)’, ‘식물의 잎은 빛을 받아들이는 역할을 한다(그림 13)’ 등이 있었다(표 8). 이와 같이 이산화탄소와 비, 산소와 같은 물질을 잎의 기능과 연관시킨 것은 일상적인 경험과 연관하여 상식적 수준에서 해석하거나 식물에 인간의 특성을 부여하는 결과로 보인다.

수업 처치 후 생각의 변화 단계에서 확인한 결과는, 식물의 잎에 대한 잘못된 생각들이 많이 줄어들었는데(그림 14), 그 이유는 ‘잎은 양분을 만든다/양분은 토양에서 온다.’ 등 인지 갈등을 유발할 수 있는 학습 내용 제시를 통해 갈등을 경험하게 한 결과로 보인다. 그러나 수업 처치 이후에도 일부 학생들은 잎에만 엽록체가 존재하는 것으로 알고 있었다. 따라서 이와 관련하여 식물에서의 엽록체 분포에 관한 추가 자료를 통한 학습이 필요했다. 또한 일부 학생들은 낮에

**표 8**  
잎의 역할에 대한 오개념 분석 결과

| 오개념                                      | N  |    | 선행연구 <sup>1)</sup>   |
|--|----|----|----------------------|
|  | 사전 | 사후 |                      |
| 잎의 주된 기능은 비를 흡수하여 공기 중으로 수분을 증발시키는 데 있다. | 6  | 0  | (8) (9) (12)         |
| 잎의 주된 기능은 산소를 배출하는 것이다.                  | 10 | 2  | (8) (12)             |
| 잎의 주된 기능은 이산화탄소를 배출하는 것이다.               | 7  | 1  | (7) (8) (9) (12)     |
| 잎은 식물에서 물줄기 흐르는 통로로 작용한다.                | 1  | 0  |                      |
| 잎은 뿌리에서 흡수한 먹이를 저장한다.                    | 2  | 0  | (2)                  |
| 잎은 이산화탄소를 이용하여 무기물을 흡수해 유기물로 만든다.        | 3  | 0  |                      |
| 광합성 동안 물이 식물 안으로 이동하는 통로이다.              | 2  | 1  | (8) (9) (12)         |
| 식물은 잎의 기공을 통해 기체 교환되기에 잎을 통해 호흡한다.       | 4  | 1  | (6) (7) (8) (9) (12) |
| 식물의 잎은 인간과 다른 생물체를 위해 산소와 음식을 제공한다.      | 5  | 0  | (9)                  |
| 식물의 잎은 빛을 받아들이는 역할을 한다.                  | 5  | 1  |                      |

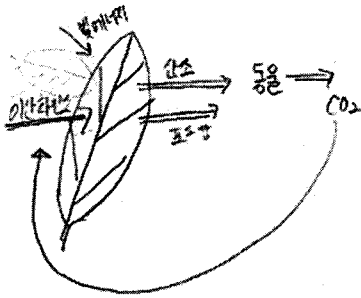


그림 12 식물의 잎은 인간과 다른 생물체를 위해 산소와 영양분을 제공한다는 오개념 그림

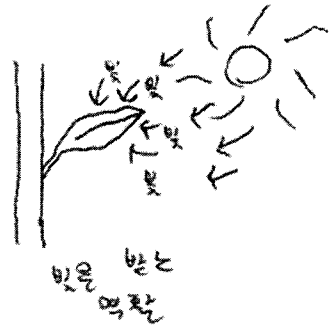


그림 13 식물의 잎은 빛을 받는 역할을 한다는 오개념 그림

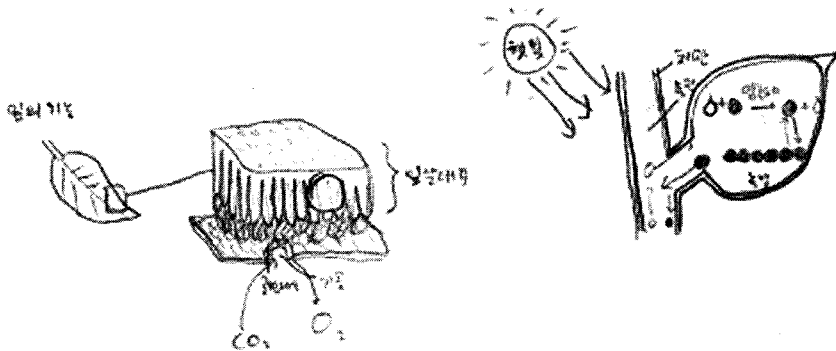


그림 14 수업 처치 후 식물의 영양소에 대한 학생 그림

는 녹색 식물의 잎 속에 생성된 포도당의 이동과정에 대해서는 구체적으로 알지 못했다. 따라서 포도당은 낮에 녹말로 전환되어 축적되었다가 밤이 되면 다시 당으로 분해되어 체관을 따라 뿌리, 줄기 등 다른 부분으로 이동하여 지질, 단백질과 같이 몸의 성분으로 변하거나 에너지원으로 쓰인다(이기태 등, 2002)는 추가 설명이 필요했다.

4) 빛이 공급되고 쥐와 식물이 있는 유리종, 빛이 차단되고 쥐와 식물이 있는 유리종에 각각 어떤 일이 일어날까? 그렇게 생각하는 이유는?

프리스틀리(Priestly)의 ‘병 안의 쥐’ 실험을 변형시켜 학생에게 쥐와 식물이 밀폐된 유리종 안에 있다면 어떤 일이 일어날 것인지 예상해 보게 했다.

사전검사에서 대부분 학생은 산소에 초점을 두었다. ‘암실에서는 쥐의 생존에 필요한 만큼 충분한 양의 산소를 식물이 만들지 못해요. 그래서 쥐는 죽고 곧 식물도 죽어요.’ 또한 일부 학생들은 빛을 한계요인으로 고려하지 않고 ‘유리종 안에 식물과 쥐가 함께

있다면 식물과 쥐는 모두 살아요. 왜냐하면 쥐가 이산화탄소를 배출하고 식물이 자랄 수 있고 식물은 쥐가 살 수 있도록 산소를 배출해요.’로 대답한 학생들도 있었다(표 9). 이와 더불어 학생들은 식물 역시 쥐와 마찬가지로 호흡을 통해 산소를 흡수하고 이산화탄소를 방출한다는 사실을 잘 이해하지 못하고 있었다(그림 15). 이는 탄소 순환에서 식물의 역할에 대해 다양한 수준의 학생들을 대상으로 오개념을 분석한 Mintzes et al.(1991)의 연구 결과와 일치하였다.

한편, 빛이 있는 조건에서 쥐와 식물이 이산화탄소를 방출하면 식물이 그 이산화탄소를 받고 산소를 내보내므로 쥐와 식물이 산소를 취할 수 있기 때문이라고 바르게 이해한 학생은 18명이었다.

수업 처치 후에는 학생들은 세포 호흡은 산소를 필요로 하며, 호흡은 햇빛이 있을 때만 일어나는 광합성과 달리 그것이 있을 때나 없을 때나 항상 일어난다는 것을 인식한 학생이 많았다(그림 16). 이러한 결과는 프리스틀리와 잉겐하우스의 구체적인 실험 과정과 이에 대해 논의할 수 있는 다양한 질문을 제시하여 광합

표 9 동식물의 호흡과 광합성의 관계에 대한 오개념 분석 결과

| 오개념  | N  |    | 선행연구 <sup>1)</sup> |
|--|----|----|--------------------|
|  | 사전 | 사후 |                    |
| 식물은 이산화탄소를 흡수하고, 그것을 산소로 교환한다.               | 17 | 3  | (5)                |
| 식물의 호흡은 빛 에너지를 받으면 발생하지 않는다.                 | 4  | 1  | (8) (9) (12)       |
| 쥐는 호흡시 이산화탄소를 배출하지만, 식물은 산소를 배출한다.           | 3  | 0  | (5)                |
| 식물의 광합성과 호흡은 기체 교환의 작용이다.                    | 5  | 0  | (7) (6) (9)        |
| 광합성을 통한 녹색식물의 가장 중요한 역할은 쥐를 위해 산소를 방출하는 것이다. | 3  | 0  | (8) (9)            |
| 광합성은 빛이 없어도 일어난다.                            | 4  | 0  | (8) (9)            |
| 식물의 호흡에 필요한 산소는 외부로부터 제공 받는다.                | 7  | 2  |                    |
| 식물은 광합성만 하면 생존한다.                            | 4  | 1  | (7) (8) (9) (12)   |
| 암실 안에 있는 쥐는 일단 공기가 부족해 죽게 되고, 식물만 남게 된다.     | 3  | 0  |                    |

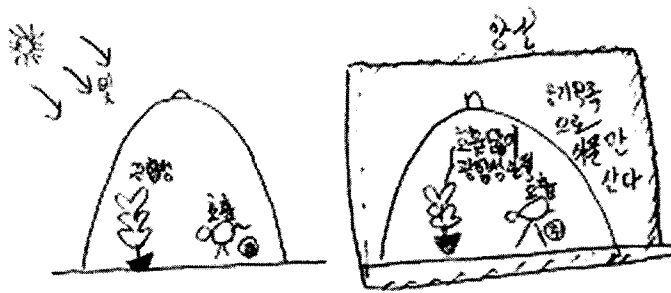


그림 15 동식물의 호흡과 광합성에 대한 오개념그림

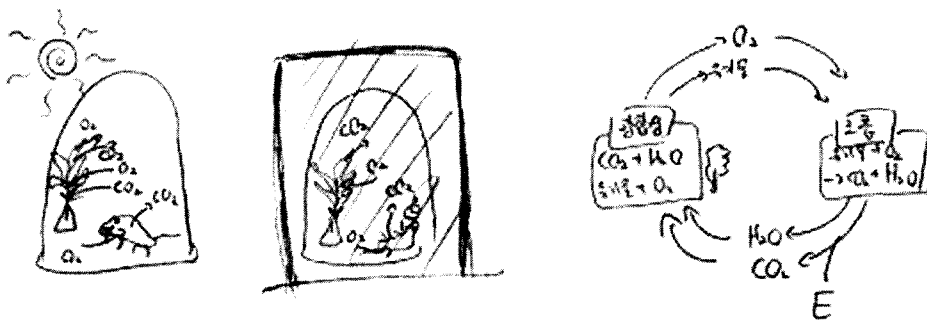


그림 16 수업 처치 후 동식물의 호흡과 광합성에 대한 학생 그림

성과 호흡의 연관성을 고민하고 새로운 생각을 구성할 수 있도록 한 결과로 보인다.

그러나 수업 처치 이후에도 식물은 이산화탄소를 흡수하고, 그것을 산소로 교환하는 것으로 이해한 학생들이 소수 있었고, 몇몇 학생들은 광합성 결과 만들어진 산소도 호흡에 이용되며, 식물이 직접 호흡에 사용되고 남은 산소는 기공을 통해 방출된다는 것을 이

해 못한 학생도 있었다. 따라서 식물 자체의 광합성과 호흡 과정의 통합적 메커니즘을 이해할 수 있는 다양한 표상자료를 과학 교과서에서 제시할 필요가 있으며(Hill, 1997), 동식물의 광합성과 호흡의 연관성에 대한 올바른 개념 형성을 위해 동식물을 공존시켜 관찰할 수 있는 탐구실험을 과학 교과서에 제시할 필요가 있다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 고등학생의 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정을 위한 구성주의적 이론에 근간을 둔 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업을 적용하고, 그림그리기와 서술형 검사를 통하여 오개념 교정의 효과를 알아보고자 하였다. 연구 결과를 바탕으로 결론을 내리면 다음과 같다.

첫째, Driver 개념변화 학습 모형 적용 전·후의 식물의 광합성과 호흡에 대한 학생들의 개념적 이해 수준을 구분한 결과, 학생들은 사전검사에서 3단계 수준의 그림을 가장 많이 그렸다. 즉 식물호흡, 식물의 광합성과 호흡과의 관계, 일어나는 장소, 에너지, 나뭇잎의 역할 부분에서 학생의 개념적 이해가 빈약했다. 단지 17명만이 광합성의 산출물인 포도당에 대해 언급하였고 4명만 식물의 광합성과 호흡이 일어나는 엽록체와 미토콘드리아를 그림으로 그렸다. 그러나 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 후, 4, 5단계의 수준의 그림을 많은 학생이 그렸으며, 특히, 광합성과 관련해서는 광합성이 일어나는 장소인 엽록체를 51명 학생들이 정확히 그렸고, 광합성 산물인 포도당을 호흡과 연관시켜 그린 것을 확인할 수 있었다. 식물의 호흡에 대해서도 미토콘드리아를 51명의 학생이 정확히 그렸고 에너지에 관한 구체적인 용어까지 그린 학생들도 많았다. 즉, Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 이후 대부분 학생들이 식물의 광합성과 호흡에 대해 필수적인 요소를 포함한 그림을 그렸고 식물의 광합성과 호흡의 연관성을 특히 잘 표현한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 이후에도 광합성과 관련하여 평소 들어 볼 수 없었던 구체적인 식물의 조직과 관련하여서는 받아들이기 어려워하는 것으로 나타났다.

둘째, 학생의 식물의 광합성과 호흡에 관한 서술형 검사 결과, 수업 처치 전 대부분의 학생들은 광합성과 호흡이 일어나는 시점과 장소를 정확히 알지 못한 상태였고, 광합성과 호흡은 앞에서 일어난다는 학생이 많았으며, 호흡은 밤에만 일어난다는 생각을 가진 학생도 많았다. 또한 많은 학생들은 식물이 흙이나 비료로부터 양양소를 얻고 뿌리를 통해 무기염류와 물을 흡수하여 탄수화물을 얻는 것으로 생각하는 학생들이 많았으며, 잎의 주된 기능은 산소, 이산화탄소를 배출하는 것으로 생각하는 학생들이 많았다. 즉, 일상적 경험과 관련하여 상

식적 수준에서 해석하거나 식물에 인간의 특성을 부여하는 것으로 나타났다. 프리스틀리의 병 안의 쥐 실험과 관련하여서도 많은 학생들은 식물 역시 쥐와 마찬가지로 호흡을 통해 산소를 흡수하고 이산화탄소를 방출한다는 사실을 잘 이해하지 못하고 있었다.

그러나 Driver 개념변화 수업 모형을 적용한 수업 후 식물의 광합성과 호흡이 일어나는 시기와 장소를 질문했을 때, 오개념이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 특히, 식물은 항상 호흡을 하며, 빛이 없는 밤에는 광합성을 하지 않는다는 사실과, 호흡작용은 빛에 의한 메커니즘은 아니며 호흡을 통해 생성되는 화학에너지가 세포들에게 에너지원을 제공한다는 생각을 생각의 변화 단계에서 그리고 학생들의 그림그리기에서 확인할 수 있었다. 또한 학생들은 식물의 광합성과 호흡이 일어나는 장소인 엽록체와 미토콘드리아를 정확히 표현하여 광합성과 호흡의 과정과 두 작용이 관련성을 이해하는 것을 확인할 수 있었고, 빛 에너지를 화학 에너지로 전환해서 포도당이라는 물질 속에 저장하는 것이라고 답한 학생이 많았다. 이러한 결과는 광합성의 산물인 포도당에 대한 학생들의 이해를 높이기 위해서 포도당과 관련하여 광합성과 호흡과정을 연관시켜 생각을 재구성한 결과로 보인다. 또한 인지 갈등을 유발할 수 있는 학습 내용 제시를 통해 갈등을 경험하게 한 결과로 식물의 잎에 대한 잘못된 생각들이 많이 줄어들었고, 수업 처치 후에는 학생들은 세포 호흡을 숨쉬기와 혼동하는 생리적 과정으로 인식하는 경우가 많이 줄었다. 따라서 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업은 고등학생들의 광합성 오개념 교정에 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구 결론을 토대로 후속 연구를 하기 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 학생들이 잘못된 개념을 가질 수 있는 이유 중의 하나는 교사가 가진 잘못된 개념 때문이다 (Sanders, 1993). 이것은 또한 과학적으로 올바른 지식을 학생들이 학습하기 위해서라도 수정해야 하는 가장 우선적인 순위라 할 수 있다(Köse, 2008). 이를 위해서 교사들을 위한 전공교과에 대한 심화연수가 필요하며, 교사들은 학생들이 오개념을 극복할 수 있게 학생들이 인지하고 있는 오개념을 수업 전 미리 파악할 필요가 있다.

둘째, 식물의 광합성과 호흡의 학습은 실제 여러 식물들을 대상으로 직접 실험을 통해 학습하는 것이 효

과적일 수 있으므로 야외에서의 소집단을 구성하여 직접적인 경험을 해 보도록 하는 발견 학습도 중요하다. 또한 이런 개념 변화 학습을 위한 학습 환경으로 협동적인 학습 환경이 필수적이다. 반드시 토론의 기회가 있어야 하며, 학생들은 다른 학생의 관점을 생각하고 평가할 때, 자신의 관점을 공유하는데 있어 안전함을 느껴야만 한다, 즉 불안감을 느껴서는 안 된다 (Bruning *et al.*, 1999; Scott *et al.*, 1992). 왜냐하면 성취도가 낮은 학생은 자신감의 상실을 경험하며 갈등상황을 또 다른 실패로 여길 수 있기 때문이다.

셋째, 생물학에서 한 가지 주제를 올바르게 이해하는데, 다른 교과와의 연계적인 배움도 효과적일 수 있다. 주제들의 연관성을 올바르게 이해하기 못한 학생들은 기본적 개념을 이해하는데 어려움을 가지게 되며, 이로 인해 오개념을 가지게 된다. 특히, 광합성은 생태학적, 생화학적, 생리학적 그리고 에너지 변화 같은 많은 주제와 관련되기에, 이런 주제를 배우기 위해 연관된 개념들을 배워야 한다. 게다가, 화학과 물리학에서 다루는 화학적 반응, 에너지, 유기적 그리고 무기적 분자 주제들에 대해 충분한 올바른 지식을 가져야 한다. 따라서 생물개념을 통합교과적으로 접근하기 위한 수업 방안에 관한 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

## 국문 요약

본 연구에서는 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡에 관련된 오개념을 조사하고, 이를 교정할 수 있는 방안으로 Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 프로그램을 개발·적용하여 그 효과를 알아보는데 목적이 있다. 연구 대상은 부산광역시 소재의 남자고등학교 재량교과 시간에 생물학을 선택한 1학년 66명을 연구 대상으로 하였으며, 학생들의 광합성과 식물의 호흡에 관한 개념 정도는 그림그리기와 서술형 검사로 서로 상호적인 방법으로 조사되었다. 광합성과 식물 호흡에 관한 학생의 오개념을 단계별 수준으로 구분 짓는 방법으로 그림그리기 방법을 적용한 결과, 많은 학생들이 과학교과서나 과학자에 의해 이해되지 않은 오개념이 포함된 그림을 그렸으며, Driver 개념변화 학습 모형 적용 후에는 식물의 광합성과 호흡의 필수 요소인 빛, 이산화탄소, 물, 포도당, 산소, 나뭇잎, 엽록체, 미토콘드리아, 기공, 에너지 등을 포함한 과학적인 그림을 그렸다. 식물의 광합성과 호흡의

여러 측면에 대한 개념을 조사하기 위해 실시한 서술형 검사 결과에도 사전검사에서는 식물의 광합성과 호흡이 일어나는 시점과 장소, 식물의 영양소, 광합성에서의 잎의 역할, 식물의 광합성과 호흡의 관계에 대해서 많은 학생들이 오개념을 보였으나, Driver 개념변화 학습 모형을 적용한 수업 후에는 식물의 광합성과 호흡에 대한 오개념이 많이 교정된 것으로 나타났다.

## 참고 문헌

- 강호감, 공영태, 권혁순, 김재영, 배진호, 송명섭, 신영준, 양일호, 윤혜경, 이대형, 이명제, 임채성, 임희준, 장신호, 전영석, 채동현 (2008). 초등과학교육론. 서울: 교육과학사.
- 김남일, 강태완 (1998). 초등학생들의 광합성에 대한 오개념 유형 조사와 실험 및 과학사 자료를 이용한 개념적 탐구 연합 프로그램의 오개념 교정 효과. 과학교육연구, 21, 33-55.
- 김수미, 정영란 (1997). 항상성 동식물 분류 식물의 양분생산에 대한 학생의 개념 조사와 오개념 형성 원인으로써 교사 요인의 분석. 한국과학교육학회지, 17(3), 261-271.
- 김판수, 이준상 (2001). 초중고등학교 과학교과서의 광합성 개념에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 29(2), 106-112.
- 박영효, 홍승호 (2006). Driver의 학습 모형이 초등학생들의 꽃에 대한 오개념 교정에 미치는 성별, 지역별 영향 분석. 초등과학교육, 25(3), 231-243.
- 윤성규, 김창만, 박양희 (2007). 생물 오개념 연구와 지도. 서울: 월드사이언스.
- 위관량, 김성하 (2002). 광합성 연구의 과학사를 활용한 수업의 효과. 한국생물교육학회지, 30(2), 126-135.
- 이기태, 양용석, 김종배, 이규영, 임혁, 오문창, 유병서 (2002). 고등학교 생물 II. 서울: 대학서림.
- 정영란, 강경리 (1998). 광합성의 기본개념에 관한 학생들의 이해도 조사 및 오개념 분석. 한국생물교육학회지, 26(1), 1-7.
- 정완호 (1993). 한국 고등학생의 생물 오개념에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 조희형 (1998). 잘못 알기 쉬운 과학 개념. 서울: 전파과학사.
- 조희형, 최경희 (2007). 과학교육의 이론과 실제.



서울: 교육과학사.

- Anderson, C. W., Sheldon, T. H., & DuBay, J. (1990). The effect of instruction on college nonmajors' conceptions of photosynthesis and respiration. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 761-776.
- Barker, M., & Carr, M. (1989). Teaching and learning about photosynthesis. Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, 49-56.
- Bruning, R. H., Schraw, G. J., & Ronning, R. R. (1999). *Cognitive Psychology and Instruction*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Bybee, R. W., Powell, J. C., & Trowbridge, L. W. (2008). *Teaching Secondary School Science: Strategies for Developing Scientific Literacy* (9nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.
- çepni, S., Tas, E., & Köse, S. (2006). The effects of computer-assisted material on students' cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science. *Computers and Education*, 46(2), 192-205.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Davis, J. (2001). Conceptual Change. In M. Orey (Ed.), *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. (<http://projects.coe.uga.edu/epltt>), Accessed: Mar 13 2009.
- Driver, R., & Bell, B. F. (1986). Student's thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review*, 67, 443-456.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas and the learning of science, in: R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds) *Children's ideas in science* (Buckingham, Open University Press).
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science* (Buckingham, Open University Press).
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science education*, 13, 105-122.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science*. London: Routledge.
- Duit, R. (1996). The constructivist view in science education-what it has to offer and what should not be expected from it. *Investigações Ensino de Ciências*, 1(1), 40-75.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263-282). Oxford: Pergamon.
- Guzzetti, B. J. (2000). Learning counter-intuitive science concepts: What have we learned from over a decade of research? *Reading and Writing Quarterly*, 16 (2), 89-95.
- Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple-choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21(3), 203-211.
- Hill, D. G. (1997). *Conceptual change through the use of student-generated analogies of photosynthesis and respiration by college nonscience majors*. Ph. D Thesis, Georgia University, Athens, Georgia, USA.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and learning Science: towards a personalized approach*. Buckingham, Philadelphia, Open University Press.
- Köse, S. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 283-293.
- Kütüközer, H. & Kocakulah, S. (2008). Effect of simple electric circuits teaching on

conceptual change in grade 9 physics course. *Journal of Turkish Science Education*, 5(1), 59-74.

Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wordsworth Publishing Company.

Lloyd, C. V. (1990). The elaboration of concepts in three biology textbooks: Facilitating students learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1019-1032.

Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403.

Mintzes, J. J., Trowbridge, J. E., Arnaudin, M. W., & Wandersee, J. H. (1991). Children's biology: Studies on conceptual development in the life sciences. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 179-202). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Nussbaum, J., & Novick, N. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict, and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.

Ross, P., Tronson, D., & Ritchie, R. J. (2006). Modelling Photosynthesis to Increase Conceptual Understanding. *Journal of Biological Education*, 40(2), 84-88.

Ross, P. M., Tronson, D. A., & Ritchie, R. J. (2005). Increasing Conceptual Understanding of Glycolysis and the Krebs Cycle using Role-play. *The American Biology Teacher* 70(3), 164-168.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

Sanders, M. (1993). Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. *Journal of*

*Research in Science Teaching*, 30(8), 919-934.

Scott, P., Asoko, H., & Driver, R. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 310-329). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.

Songer, J. C., & Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: An analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 621-637.

Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9(1), 105-115.

Tamir, P. (1989). Some issues related to the use of justifications to multiple-choice answers. *Journal of Biological Education*, 23(4), 285-292.

Thomas, G. V., & Silk, A. M. J. (1990). An introduction to the psychology of children's drawings. Hemel Hempstead: Harvester Wheat Sheaf.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* Gabel, D. (Ed.). New York: Simon and Schuster Macmillan.

Waheed, T., & Lucas, A. (1992). Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14. *Journal of Biological Education*, 26(3), 193-199.

Zietsman, A. I., & Hewson, P. W. (1986). Effect of instruction using microcomputer simulations and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 27-39.