

생물 II 교과서 광합성 단원의 오류 분석 및 생물 교사의 오류 인지 조사*

박혜경 · 윤기순 · 권덕기**
(경북대학교)

Analysis of Mistakes in Photosynthesis Unit in Biology II Textbooks and Survey of Biology Teachers' Recognition on them

Hae-Kyung Park · Ki-Soon Yoon · Duck-Kee Kwon
(Kyungpook National University)

(Abstract)

The purpose of this study was to know whether or not any wrongful description or simple errors were in photosynthesis unit of Biology II textbook under 7th national curriculum and if so, to know whether or not high school teachers recognized and corrected properly the mistakes. The mistakes in photosynthesis unit of text books were determined by the comparison with several reference books and through examination by three plant physiologists in 8 different Biology II textbooks. After the mistakes were analysed, the survey using contents of textbook containing the mistakes was conducted on high school teachers teaching Biology II. As a result, 48 mistakes were determined in 13 subjects. As many as four mistakes were found even in one subject in a certain textbook and a same mistake was found repeatedly in several textbooks. The survey result showed that the teachers who pointed exactly the mistakes out corrected properly, however, the percentage of these ones out of 35 teachers replied to survey was less than 50%. The ratios of correction out of total number of responses were high in question #6 (43%), #4-3 (40%), and #1-2 (32%) which were containing a simple mistake in graph, a wrong word and a wrong picture, respectively. But, no one pointed out and made correction in question #5-1 and #5-2 which were containing Z scheme of light reaction without the legend of vertical axis that should be explained as electron energy or standard reduction potential. The result indicates the possibility that the mistakes in photosynthesis unit of Biology II textbook can be corrected and taught properly by teachers may be low. In order to reduce the possibility that students may have misconceptions about photosynthesis, the list of print's errors should be provided to the teachers and/or the training program and/or workshop for in-service high school biology teachers was recommended.

Key words: Biology textbook, photosynthesis unit, mistake, teachers' recognition

* 이 논문은 2008 경북대학교 과학교육연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.

** 교신저자 권덕기(dkkwon@knu.ac.kr)

I. 서론

과학교육의 목표 중의 하나는 학습자로 하여금 정확한 개념을 갖게 하는 것이다(유영한 외, 2002). 과학지식의 습득은 다양한 방법으로 이루어 질 수 있으나, 현실적으로 학생들은 교재를 읽거나 교사의 강의를 들음으로써 과학지식을 습득하는 경우가 많다. 즉, 학생들은 교과서와 교사의 권위를 믿고, 그에 따라 과학의 개념·법칙·이론을 수용한다(조희형·최경희, 2006). 과학의 개념은 과학적 사실에 기초하기 때문에, 학생들이 과학적 개념을 갖기 위해서는 교과서와 교사가 정확한 내용을 수록하고 가르치는 것이 매우 중요하다.

교과서는 교육목표를 달성하기 위해 교육과정의 기본 정신에 알맞게 편찬된 학생용 도서이다(최영란·이형철, 1998). 교과서는 학생들의 학습 활동에 중요한 길잡이가 되기 때문에, 교과서의 내용은 사실에 근거를 두고 기술되어야 한다(유영한 외, 2002). 만약 검인정 교과서에 부정확한 내용이 실려 있다면, 교과서를 통해 많은 잘못된 선입관을 가지게 될 것이며, 이러한 선입관은 학습에 지대한 영향을 끼치게 될 것이다. 따라서, 교과서는 보다 정확하고 확실한 사실들이 열거되어야 한다(신현철 외, 1995).

교과서의 내용은 교사에 의해, 교사를 거쳐 학생들에게 전달되고 이용되고 적용된다(국동식, 2004). 따라서 학생들의 개념 학습이 제대로 이루어지기 위해서는 교사가 생물학의 기본 개념을 정확히 이해하는 것

이 선행되어야 한다(김수미·정영란, 1997). 교과서에 오류가 있더라도 교사가 자신의 지식을 이용하여 오류를 인지하고 수정하여 바른 내용을 가르치면 교과서로 인해 학생들이 오개념을 가지는 것을 줄일 수 있을 것이다.

‘광합성’은 지구권이 어떻게 생태계로서의 역할을 할 수 있는지(Eisen & Stavy, 1988)와 무생물권과 생물권이 어떻게 연결되는지(Waheed & Lucas, 1992)를 이해하는 데에 중요한 단원이다. 그러나 고등학교 생물 II ‘광합성’ 단원은 학생들에게 비교적 익숙한 주제임에도 불구하고 그 세부 내용이 상당히 난해하고 생소하여 학생들이 학습에 어려움을 겪는 단원으로 알려져 있다(박재근, 2004). 또한 생물 II ‘광합성’ 단원에서 처음으로 배우는 내용이 많고, 사용하는 용어나 내용이 8학년 과학이나 고등학교 과학에 비하여 폭발적으로 증가(정화숙 외, 2005)한다고 보고되어 있다. 이러한 생물 II ‘광합성’ 단원의 특성 때문에 교과서가 정확한 내용을 수록하는 것과 아울러 오류가 있다면 교사가 그 오류를 인지하고 수정하여 가르치는 것이 학생들의 과학적 개념 형성에 중요하다.

따라서 제7차 교육과정 생물 II 교과서의 ‘광합성’ 단원에서 오류를 조사·분석하고, 오류가 존재한다면 그 오류가 교사들에 의해 수정되어 지도될 가능성을 조사해 볼 필요가 있다. 오류의 수정지도는 우선 교사가 오류를 인지하고, 올바른 내용으로 수정할 수 있을 때 가능할 것이다. 만약 교사에

의한 오류의 인지 및 수정이 미흡하다면 오류의 수정지도 방안에 대한 연구가 이어져야 할 것이다.

이에 본 연구는 제7차 교육과정 생물 II 교과서의 ‘광합성’ 단원에 나타난 내용 오류를 분석하여 수정 예시를 제시함과 아울러 이 오류가 과목 담당 교사들에 의해 어느 정도 인지되고 수정되는지 조사함으로써 오류가 수정 지도될 가능성을 알아보고자 하였다. 연구문제는 첫째, 생물 II 교과서 ‘광합성’ 단원에 어떤 내용의 오류가 나타나는가와 둘째, 생물 교사의 오류 인지 및 수정정도는 오류의 수정 기준과 어느 정도 일치하는가였다.

II. 연구 방법

1. 분석 대상 교과서

제 7차 교육과정에 준하여 집필된 고등학교 생물 II 교과서 8종의 광합성 단원을

분석하였다. 분석에 사용한 교과서는 검정을 거친 8종 교과서로, 2006~2007년에 출판된 것을 사용하였다(<표 1>). 이 후 교과서를 지칭할 때는 출판사에 따라 붙인 기호로 표시하였다.

2. 생물 II ‘광합성’ 단원에 나타난 오류의 분석 및 수정 예시의 작성

생물 II 교과서 광합성 단원 내용의 오류 판단과 수정 예시 작성은 생물 I 교과서의 잘못된 기술이나 오류를 분석했던곽세근(2005), 구창희(2005), 나상현(2005) 등의 방법과 같이 교과서 집필진이 밝힌 참고문헌과 대학 일반생물학 및 식물생리학 교재(<표 2>)의 내용을 기준으로 수행하였다. 오류는 교과서 내용 중 참고 문헌과 다르게 기술된 내용을 오류로 판단하였다. 암반응과 켈빈 회로, 광계 I, 광계 II와 제 I 광계, 제 II 광계 등과 같이 용어 선택상의 차이는 오류에서 제외하였다. 또한 ‘엽록체’를 ‘염록체’로 표기한 것과 같은 오

<표 1> 분석 대상 교과서: 제 7차 교육과정 생물 II 교과서

출판사	검정일	출판년도	기호
(주)교학사	2002.12.12	2006	A
(주)금성출판사	2002. 7.30	2006	B
대학서림	2002.12.12	2006	C
대한교과서(주)	2002. 7.30	2006	D
(주)중앙교육진흥연구소	2002. 7.30	2006	E
(주)지학사	2002. 7.30	2007	F
(주)천재교육	2002. 7.30	2006	G
도서출판 형설	2002. 7.30	2006	H

탈자에 의한 오류도 제외하였다. 다만, ‘카로티노이드는 청색과 녹색을 흡수하고 노란색·오렌지색 및 붉은색을 반사하며...’는 ‘청색’이 ‘청색광’으로, ‘녹색’이 ‘녹색광’으로 표현되어야 카로티노이드의 기능을 올바르게 표현하는 것이 된다. 이는 단순한 오타자로 볼 수도 있으나, 개념설명의 측면에서 볼 때 중요하므로 오류로 분류하였다. 오류의 수정안은 참고 문헌(<표 2>)을 토대로 작성하였다. 생물 II 교과서가 참고한 것으로 밝힌 전공서적과 최근에 출판된 문헌들 간

에 그림의 차이나 본문 중 설명의 차이가 있을 경우에는 최신판을 기준으로 하였고, 오류의 판정과 수정안의 적절성에 대해서는 식물생리학 전공 과학자 3인의 검증을 받았다. 과학자들에게 오류가 포함된 교과서 지문을 발췌하여 오류 판정 이유를 서술하고, 수정안을 함께 제시한 후, 오류 판정 및 수정안의 적절성을 여부를 평가하고, 부적절한 경우에는 그 이유 및 새로운 수정안을 제시해 줄 것을 요청하였다. 그 결과, 과학자들은 교과서에서 발췌한 지문의

<표 2> 오류 분석에 사용한 참고 문헌

제목	저자	출판사	출판년도
생명 생물의 과학	Purves <i>et al</i>	교보문고	2003
생명과학: 이론과 현상의 이해	Campbell <i>et al</i>	라이프사이언스	2004
생물과학	Solomon, Berg & Martin	월드사이언스	2006
생물학 생명의 과학	Wallace, Sanders & Ferl	을유문화사	2004
식물생리학	Hopkins	을유문화사	2001
식물생리학	Taiz & Zeiger	라이프사이언스	2005
식물의 이해	Ridge	월드사이언스	2006
생명과학사전	생명과학사전편찬위원회	아카데미서적	2003
생물학사전	한국생물과학협회	아카데미서적	1998
Biochemistry	Mathews & Van Holde	Benjamin/Cummings Publishing Company	1996
Biology of Plant	Raven, Evert & Eichhorn	W. H. Freeman & Co.	2007
Botany	Moore, Clark & Vodopich	McGraw-Hill Companies, Inc.	1998
Introductory Plant Biology	Stern, Jansky & Bidlack	McGraw-Hill Companies, Inc.	2003
Physicochemical and environmental Plant Physiology	Nobel	Academic Press	2005
Plant Physiology	Salisbury & Ross	Wadsworth Publishing Company	1992

오류 판정에 대해 적절하다고 평가하였고, 오류의 수정안에 대해서는 표현이 모호하거나 설명이 추가·수정되어야 할 것, 오류 판정에서 누락된 것과 수정안을 추가하였다. 이 결과를 반영하여 오류의 수정 예시를 완성하였다. 이후 ‘수정 예시’라는 용어는 전공 과학자들의 검증을 거친 수정안으로서 그 일부가 설문응답의 분류기준이 되는 것을 가리킨다.

3. 생물 교사의 오류 인지 조사

생물 교사들이 제 7차 교육과정 생물 II 교과서 ‘광합성’ 단원에 나타난 오류를 인지 및 수정 지도 가능성을 알아보기 위하여, 대구광역시 소재 일반계 고등학교 총 62개교 중 생물 II 수업을 하지 않는 11개교*를 제외한 51개교의 생물 II 과목 담당 교사 중 설문조사에 응한 45명을 대상으로 설문조사하였다. 설문지는 우편으로 발송하였으며, 35부가 회수(회수율 78%)되었다.

1) 조사 도구

생물 교사의 교과서의 내용 오류에 대한 수정 지도 가능성을 알아보기 위해, 제 7차

교육과정 해설서에 명시된 광합성 단원의 주요 학습주제와 탐구 내용을 기반으로 오류가 발견된 교과서의 지문을 발췌하여 설문 문항을 개발하였다. 설문 문항은 8종의 생물 II 교과서에서 추출하여 오류와 오류의 수정내용에 대해 전문가 검증을 거친 것 중 일부(10개)를 사용하였다. 교과서의 지문을 발췌하여 제시한 후, 이에 대해 오류의 유무를 표기한 후, 오류가 있을 경우 해당 부분에 표시하고 수정하도록 해당란을 제시하였다. 또한 고등학생의 인지수준을 고려하였을 때 수정의 필요성 여부를 물어, 과학자의 견해로는 수정이 이루어져야 하는 내용이지만 현재의 고등학생들의 이해수준을 고려하여 간략히 표현하는 내용으로 판단하여 오류를 지적하지 않을 수도 있으므로 이에 대한 교사들의 견해를 확인하였다.

문항수는 소문항을 포함하여 모두 10문항이었으며, 엽록체의 구조, 카로티노이드의 기능, 광계, 산소의 출처 밝힌 실험, 명반응, 빛의 세기와 광합성량 등의 6개 주제로 구성하였다(<표 3>). 설문문항에 포함된 교과서별 지문은 표 1에 괄호안의 설문문항번호로 나타내었다.

<표 3> 설문 문항의 주제와 문항 번호

주제	문항번호	주제	문항번호
엽록체의 구조	1-1, 1-2	산소의 출처 밝힌 실험	4-1, 4-2, 4-3
카로티노이드의 기능	2	명반응	5-1, 5-2
광계	3	빛의 세기와 광합성량	6

* 11개교 중 1개교는 2006년에, 1개교는 2007년에 개교하여 생물 II 대상 학년이 없었으며, 9개교는 생물 II 수업을 하지 않았다(2007년 현재).

2) 설문 결과 분석

3인의 식물생리 전공 과학자에 의해 검증 받은 오류 판정 근거와 수정예시를 기준으로 하여 교사들의 설문문항에 대한 응답을 기준과 일치와 불일치로 분류하였다. 오류의 지적과 수정이 올바른 경우를 일치로, 오류를 옳게 지적하였으나 수정을 틀리게 하거나 하지 않은 경우, 오류가 아닌 것을 오류로 지적하거나 수정을 틀리게 한 경우를 모두 불일치로 분류하였다. 교사의 오류 인지 및 수정정도는 기준과의 일치, 불일치의 빈도로 분석하였다. 한 명의

교사가 한 문항에 대하여 2개 이상의 복수 응답을 한 경우 이를 모두 포함시켰다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 광합성 단원의 오류와 수정 예시

광합성 단원은 모두 13개 주제에서 총 48건의 오류가 발견되었고, 교과서마다 그 분량이 20페이지 내외임에도 불구하고 한 교과서에서 최대 10건의 잘못된 기술이 발견

<표 4> 교과서별 광합성 단원의 학습주제별 오류 현황과 설문문항

학습 주제	교과서별 오류 출현 수(개)																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	계										
엽록체	엽록체의 구조		2(1-1)*		1		1(1-2)		4										
광합성 색 소	카로티노이드의 종류와 기능		1		- **		4(2)		5										
	흡수 스펙트럼						1		1										
명반응	광계의 구성 요소와 기능						2(3)		2										
	명반응 과정		1		1		2(5-2)		10										
빛의 세기	NADPH의 표기		1		1		1		7										
	빛의 세기와 식물의 반응		1		1				2										
실험	순광합성량		-		1		-		3										
	실험		1(4-1)						1										
정리와 반응식	루벤의 실험				1(4-3)		-		6										
	캘빈의 실험				2				2										
정리와 반응식	광합성 정리		1				1		2										
	반응식		1		1		1		3										
계		9		4		6		2		5		7		5		10		48	

* ()안의 숫자 표기는 생물교사의 오류 인지 및 수정 현황을 조사하는데 사용한 오류의 설문 문항 번호를 나타내며, 각 교과서의 지문이 설문내용에 포함되었음을 의미함.

** -표는 교과서에 해당 내용이 없음을 나타냄.

되어 오류가 많았다. 학습주제별로는 오류가 많은 것은 명반응에서 19건, 광합성 과정 발견 실험 9건의 순이었다(<표 4>). 교과서마다 한 주제에 한 개의 오류가 발견된 경우가 많았지만, 한 주제에서 2개 이상의 오류가 나타나거나 많게는 4개의 오류가 나타나기도 했다. 한 교과서에서만 발견되는 오류 외에도 엽록체의 구조, 명반응 과정, NADPH의 표기, 순광합성량, 루벤의 실험, 광합성 정리, 반응식 등에서도 같이 여러 교과서에서 같은 오류가 발견되는 경우도 있었다. 이것은 오류가 수정되지 않은 예전 교과서 또는 참고 문헌을 인용하거나 고등학교 개념 수준으로의 간략화 과정에서 누락이나 오기 등에 의한 것으로 보인다.

학습주제별, 교과서별 오류 내용과 수정 예시를 <표 5>에 정리하였다.

학습주제 가운데 엽록체의 구조와 광합성 색소의 종류와 기능, 명반응에서 많은 오류가 나타났는데, 이 주제는 학생들이 전체 교육과정 중에서 생물 II 광합성 단원에서 처음으로 배우는 내용이기 때문에, 이들 내용에 나타난 오류를 학생들이 의심하지 않고 학습할 경우 오개념 유발이나 학습 지연을 초래할 가능성이 있다. 대부분의 교과서에서 엽록체의 구조를 소개하는 삽화에서 식물체에 존재하는 엽록체를 잎의 엽육 조직에 한정하여 나타내고 있어 학생들이 광합성은 식물의 잎에서만 일어나는 것으로 생각하는 경우가 많은데(Marmaroti & Galanopoulou, 2006), 일부 교과서에서는 광합성이 식물의 ‘잎’에서 일어나는 것으로

정리하고 있어 학생들의 오개념을 강화시킬 가능성이 있었다.

루벤의 실험에 사용되었던 산소의 동위원소에 대한 표기는 1995년에 검정을 거친 교과서(박인국 외, 1997)에서도 방사성동위원소로 표기 되었다. 7년 뒤에 새로 검정을 거친 교과서에서도 이 오류는 여전히 수정되지 않은 것으로 나타났다. 이는 교과서에 실린 내용의 오류가 오랫동안 수정되지 않을 수 있음을 보여주는 일례라 하겠다. 고등학교 교육과정에서 중요하게 다루지 않는 내용이라 하더라도 이러한 용어를 잘못 사용함으로써 은연중에 $^{18}\text{O}_2$ 를 방사성 동위원소로 오해할 가능성이 있으므로 주의해야 할 것이다.

7종의 교과서가 명반응 과정을 설명하는 삽화에서 y축의 의미 즉, 전자 에너지 또는 산화·환원 전위라는 표현을 생략하였다. 더욱이 1종의 교과서에서는 광계 I과 II의 에너지 준위에 대한 고려 없이 같은 높이에서 P680과 P700을 표현하였다. 고등학생들에게 전자수용체의 명확한 명칭과 개개의 기능을 설명하지 않는다 하더라도, 전자전달의 원리와 개념을 명확히 전달하고 형성하기 위해서는 y축에 전자 에너지 준위 또는 산화·환원 전위의 크기를 표현하여 설명하는 것이 중요하다.

학습주제별로 살펴 본 오류 외에도 광합성의 발견 역사에 대한 소개에서도 헬몬트의 실험년도가 1648년인데 1748년으로 표기된 것, 프리스틀리의 실험(1772년)이 잉겐하우스의 실험(1779년) 이전에 수행되었으나 순서를 잘못 소개하였으며, 실험 결과에 대한 해석 또한 틀리게 설명한 사례가

있었으며, 광합성에서 Hill 반응을 소개하면서 연구자의 생애를 동물 연구자인 Hill, A. V.(1886~1977)를 소개한 사례도 있었다. 3종 교과서가 모두 엽록체의 실험을 소개하면서 실험 년도는 1880, 1881, 1882년과 같이 모두 다르게 표현하고 있는 경우도 있었다. 연도의 표기는 실험을 시작한 시점과

실험 결과를 얻은 시점, 결과를 발표한 시점 등과 같이 어느 시점을 소개하고 있는가에 따라 차이가 있을 수도 있겠으나, 발견의 역사를 통해 개념 이해를 돕기 위한 자료로서 제시하는 것이라면 좀더 정확한 자료 조사와 정보를 토대로 기술하는 것이 필요할 것이다.

<표 5> 교과서별 광합성 단원의 오류 내용과 수정 예시

학습주제	교과서	오류 내용	수정 예시
엽록체 구조	A	삼화에 불완전한 구조의 판다발	완전한 구조로 표현
	A	해면 조직 세포를 확대하면서 <u>검정말 사진(이광만 외, 2003) 제시</u>	해면 조직 세포 사진을 제시
	D	해면 조직 세포를 확대하면서 <u>검정말 사진 제시</u>	해면 조직 세포 사진을 제시
광합성 색소	G	<u>해면 조직 세포를 확대하면서 엽록체의 구조를 제시</u>	엽록체가 세포 소기관임을 보여줄 수 있는 단계를 삽입
	A, F	카로틴은 녹색광에서 적색광까지 모두 반사	청색광을 가장 잘 흡수하며 보라색광과 녹색광의 일부도 흡수
		카로틴은 흡수한 빛을 반응 중심 색소에 전달	빛에너지
흡수 스펙트럼	H	카로틴은 빛이 강할 때 엽록소를 보호해 주는 역할도 한다. 강한 빛에서는 광합성이 활발히 일어나 산소가 과도하게 발생하므로 엽록소가 산화되어 파괴될 수 있는데 카로티노이드는 빛을 분산시켜 엽록소를 보호한다	활성산소종이 생성되어 엽록소가 파괴, 과도한 빛에너지를 열로 방출 또는 '강한 빛 조건에서 카로티노이드는 과도한 빛에너지를 열로 방출함으로써 엽록소를 보호한다'고 간략히 설명
	H	카로티노이드가 없는 음식 식물	함량이 적은
광계의 구성 요소와 기능	H	명반응에서는 엽록소가 빛에너지를 받아 <u>활성 엽록소가 되어 고에너지로 인산기를 ADP에 결합시켜 ATP를 생성하는데 이것을 광인산화 반응이라 한다</u>	화학삼투설로 설명
	H	엽록소 b, 카로티노이드 등의 색소도 빛에너지를 모아 P700으로 전달	반응 중심 색소 또는 P680과 P700으로 전달
명반응 과정	A,B,C,D,G	명반응 삼화의 y축에 의미 표기하지 않음	'전자의 에너지' 또는 '산화 환원 전위' 표기
	E	명반응 삼화의 y축에 의미 표기하지 않음	'전자의 에너지' 또는 '산화 환원 전위' 표기
	E	순환적 광인산화의 단계 표기 틀림	순환적 광인산화의 경로 표기시 반응중심 색소인 P700 이후의 전자수용체로 순환되어 시작하는 것으로 표기
	H	명반응 삼화의 y축에 의미 표기하지 않음 제 I 광계, 제 II 광계의 위치 표기 잘못됨	'전자의 에너지' 또는 '산화 환원 전위' 표기 광계의 구조를 그림 4의 e 등과 같이 그린다
NADPH의 표기	H	광계II의 반응 중심인 P680으로부터 방출된 <u>고에너지 전자가 광계 I의 반응 중심인 P700으로 가는 동안 양성자를 방출하고 ATP를 생성한다</u>	화학삼투설로 설명 또는 '고에너지 전자는 전자전달계를 이동하면서 에너지를 방출하고, 이 에너지를 이용하여 ATP가 생성'으로 간략히 설명
	A,B,E,F,G,H	NADP, NADPH ₂	NADP ⁺ , NADPH+H ⁺
	C	NADP, NADPH ₂ 와 NADP ⁺ , NADPH 혼용	NADP ⁺ , NADPH+H ⁺

<표 5> 계속

학습주제	교과서	오류 내용	수정 예시	
빛의 세기와 식물체의 반응 빛의 세기	A	빛의 세기가 보상점 이하로 계속되면 광합성량보다 호흡량이 많기 때문에 <u>CO₂가 방출되고 O₂가 흡수되면서</u> 죽는다. 그러나 보상점 이상에서는 반대로 광합성량이 호흡량보다 많기 때문에 <u>CO₂가 흡수되고, O₂가 방출되면서</u> 식물이 성장한다.	'호흡에 필요한 유기물을 축적하지 못하여 죽게 된다.' '유기물이 축적되고 이를 이용하여 식물이 성장한다.'	
	C	식물은 빛의 세기가 강하면 기공을 열고 이산화탄소를 흡수하여 광합성을 활발히 한다. 그러나 광합성량이 한 계점에 도달할 정도로 빛이 강하면 엽록체로부터 방출되는 산소의 양이 증가하여 상대적으로 이산화탄소를 흡수하기가 어렵게 된다	이를 대신하여 호흡량, 순광합성량, 총광합성량과 보상점, 광포화점을 상세히 설명한다.	
순동화량 (순광합성량)	B	광포화점에서부터 흡수되는 이산화탄소의 양	보상점 이상	
	H	광포화점에서 흡수된 CO ₂ 량을 순광합성량이라 하여, 음지 식물의 경우 보상점, 광포화점, 총광합성량이 양지 식물에 비해 낮다	보상점 이상 총광합성량은 빛의 강도에 따라 다르므로 제외되어야 한다.	
실험	엽록체의 실험	A	엽록체	
	루벤의 실험	C	동위원소 ¹⁴ C을 함유한 이산화탄소 산소는 명반응과 암반응 중 어느 과정에서 발생한 것일까?	동위원소 ¹⁸ O를 함유한 이산화탄소 물과 이산화탄소 중 어느 것
		E	¹⁸ O를 '방사성' 동위원소라 설명	비방사성
		F	¹⁸ O를 '산소의 방사성 동위원소'라 설명	비방사성
		G	¹⁸ O를'방사성 산소'라 설명	비방사성
		H	루벤의 실험을 '루벤의 방사성 동위원소 실험'이라 설명	비방사성 또는 생략
	켈빈의 실험	C	씨네티데스무스, 세네티데스무스	클로렐라
정리와 반응식	광합성 정리	A	광합성은 녹색 식물의 잎에서 일어나는 반응	엽록체 또는 식물체의 녹색 부분의 세포의 엽록체
		G	광합성은 식물의 잎에서 일어나는 반응이며	엽록체 또는 식물체의 녹색 부분의 세포의 엽록체
	반응식	A	6CO ₂ +12NADPH ₂ +18ATP→ C ₆ H ₁₂ O ₆ +6H ₂ O+12NADP+18ADP+Pi	우변의 'Pi'를 '18Pi'로, 'NADPH ₂ '는 'NADPH+H'로, 'NADP'를 'NADP'로
		B	12NADPH ₂ +6CO ₂ +18ATP→ C ₆ H ₁₂ O ₆ +6H ₂ O+12NADP+18ADP+Pi	우변의 'Pi'를 '18Pi'로 대체, 'NADPH ₂ '는 'NADPH+H'로,'NADP'를 'NADP'로
		F	12H ₂ O+12NADP ⁺ +18ADP→12NADPH ₂ +18ATP+6O ₂	좌변에 '18Pi'를 추가, 'NADPH ₂ '는 'NADPH+H'로

2. 생물 교사의 오류 인지 조사

생물 교사의 교과서의 내용 오류에 대한 수정 지도 가능성을 알아보기 위해 실시한 설문 조사 결과를 수정 예시(<표 5>)와 일치 여부에 따라 일치, 불일치로 구분하여 그 빈도를 분석하고 그 결과를 <표 6>에 나타내었다.

문항 4-3번의 경우, 삽화에는 C¹⁸O₂라고 하고 본문에는 ¹⁴C이라고 한 것과 같이 단순 오류의 경우에는 인지하고 정확히 수정한 예가 17건으로 가장 높은 빈도를 나타내었다. 문항 1-2번과 6번의 경우와 같이 해면조직 세포를 확대한 사진으로 검정말을 제시한 경우나 그래프에 나타난 순광합

성량과 총광합성량의 표시 오류는 수정 예시와 일치하는 응답을 한 건수가 12건과 13건으로 비교적 많았다. 그러나 단순오류라 하더라도 문항 4-1번과 같이 힐 실험에 사용한 것은 세포에서 분리해 낸 엽록체이다. 교과서에 ‘분리해낸 엽록소’라고 표기된 것을 오류로 지적하고 수정한 경우는 2건으로 매우 적었다.

문항 4-2번에서는 루벤의 실험이 광합성시 발생하는 산소의 기원이 H_2O 인지 CO_2 인지 구별하기 위함이며, 또한 문항 4-1번의 정리 부분에 ‘광합성의 결과 발생하는 산소는 CO_2 와 H_2O 중 어느 것으로부터 비롯된다고 할 수 있는가?’로 나타나 있음에도 문항 4-2번에 기술해 놓은 ‘이 산소는 명반응과 암반응 중 어느 과정에서 발생한 것인가?’에 대해 정확하게 지적하고 고친 경우도 3건으로 수정 정도가 낮았다.

문항 3번의 ‘명반응에서는 엽록소가 빛에 에너지를 받아 활성 엽록소가 되어 고에너지로 인산기를 ADP에 결합시켜 ATP를 생성하는데...’에 대해 ATP합성을 화학삼투설로 설명해야 한다고 지적한 빈도가 비교적 높았다(11건). 교과서에 기술된 내용은 ‘빛을 받으면 엽록소가 활성엽록소가 되고, 이 활성엽록소가 직접 ADP에 인산기를 결합시켜 ATP를 생성하는 것’으로 되어 있어 학생들에게 오개념을 형성하게 만들 수 있다. 그러나 같은 개념이 포함되어 있는 문항 5-1번의 경우에는 ‘광계 II의 반응중심인 P_{680} 으로부터 방출된 고에너지 전자가 광계 I의 반응중심인 P_{700} 으로 가는 동안에 양성

자를 방출하고 ATP를 생성한다.’고 기술되어 있는 것을 화학삼투설로 설명해야 한다고 지적한 것은 4건에 불과했다. 심지어 ‘고에너지 전자가 광계 I의 반응중심인 P_{700} 으로 가는 동안에 양성자를 방출하고 ATP를 생성한다.’라는 기술은 양성자를 방출하면서 동시에 ATP를 생성하는 오개념을 형성하기 쉬운데도 이를 지적한 예가 적었다.

문항 5-2번의 경우에는 문항 5-1번과 마찬가지로 Z scheme에서 세로 축을 전자의 에너지 또는 산화·환원에너지로 나타내어야 의미의 전달이 분명해짐에도 불구하고 이를 지적한 교사는 없었다. 교사들 가운데는 이 오류가 포함된 E 교과서의 지문에서 오히려 전자전달계를 계단식으로 표현한 것에 대해, 다음과 같이 수정하여 잘못된 개념을 소유하고 있는 것으로 나타났다.

‘에너지 준위가 낮아지는 것은 아니기에 없어야 한다.’

‘에너지 준위가 낮아지면 ATP가 생성되어야 하므로 잘못되었다.’

카로티노이드의 기능에 관한 문항 2번의 경우, 4가지의 오류가 포함되어 있다. 잘못 기술된 카로티노이드의 특성과 기능의 일부를 오류로 바르게 지적한 사례는 15건으로 다른 내용에 대한 오류지적에 비해 많았으나, 4가지 모두를 지적한 교사는 없었다.

학생들이 한 번 정립한 개념은 변화되기 어렵기 때문에(신현철 외, 1995), 학습 초기에 정확한 개념을 심어주어야 한다. 그러므로 교사는 교과서의 오류를 지적하고 바르

게 수정하려는 노력이 필요하다. 교과서의 모든 오류를 교사가 지적할 수 없더라도 주요 내용에 대한 오류는 지적하고 바르게 가르쳐야 할 것이다.

이와 같이 교사들의 오류 수정안에서 과학자와의 견해와 불일치 응답이 월등히 많은 것은 많은 교사들이 내용 오류의 분명한 지적 보다는 지문의 모호한 표현을 학생들이 이해하기 쉽게 설명할 것, 보충 설명을 추가할 것, 글의 전개를 다시 재구성해야 한다는 등의 학생들의 이해를 돕기 위한 방안을 전제로 한 오류 지적이 많았기 때문이었다. 이는 교사들이 교과서의 서술형태가 학생들에게 내용을 설명할 때 의미 전달에 문제가 있음을 개선한 것으로, 차기 교과서 집필시에는 이러한 교사들의 의견을 반영하면 좀 더 학생들의 눈높이에 맞는 교과서를 제작할 수 있을 것으로 생각된다.

과학자간의 견해와 교사들의 오류 인지가 가장 차이를 보인 것 중 하나는 용어의 사용면에서 광합성 속도에 영향을 미치는 요

인으로서는 ‘빛의 세기’를 표현할 때는 럭스(lux)가 아닌 플루언스율(광자 단위)로 표현해야 한다는 것이었다. 과학자들은 식물이 광합성을 할 때 빛의 과장별 에너지량에 따라 광합성량이 달라지는 것이지 사람들의 시각에 의해 평가되는 밝기 단위인 럭스(lux)의 변화에 따라 광합성량이 변하는 것이 아니기 때문이라는 의견을 제시하였다. 교과서에 표기된 빛의 세기 단위인 럭스(lux)는 과학계에서 광자로서 에너지를 가지는 빛 개념을 광합성에 적용하기 이전에 사용되던 단위로서, 과학계에서는 이후 측정도구의 발달과 개념의 변화에 따라 수정이 이루어졌으나 교육현장에서는 아직 이를 수용하지 못하고 있는 예라 할 수 있다. 이러한 사실들로 볼 때, 교사들 또한 최신의 정보와 과학자 및 전문가들과의 지속적인 정보 교환을 통해 변화 가능한 과학 개념의 속성을 이해하고, 이를 학교 현장에 반영하려는 노력을 해 주어야 할 것이며, 전문가들 또한 학교 현장과의 지속적인 정보 교환의 기회를 마련해야 할 것이다.

<표 6> 생물 교사의 광합성 단원에 대한 오류 인지 및 수정정도

오류 인지 유형	빈도 (회)									
	1-1 (2)*	1-2 (1)	2 (4)	3 (2)	4-1 (1)	4-2 (2)	4-3 (1)	5-1 (3)	5-2 (2)	6 (2)
일 치	15	12	15	21	5	4	17	16	5	17
불일치	33	26	20	16	28	29	25	26	34	21
무응답	0	0	6	1	3	3	1	2	1	2
계**	48	38	41	38	36	36	43	44	40	40

* ()안의 숫자는 문항내에 포함된 오류의 수를 나타냄.

**각 오류에 대한 반응을 모두 합한 수임.

IV. 결 론

본 연구는 제7차 교육과정에 준하여 집필된 8종의 생물 II 교과서 광합성 단원의 오류를 분석하여 수정 예시를 제시하였으며, 설문문항을 개발하여 교과서 내 오류를 생물 교사가 인지하고 수정하는 정도를 알아봄으로써 오류의 수정지도 가능성을 알아보았다. 결론은 다음과 같다.

생물 II 교과서 광합성 단원의 오류를 조사한 결과 광합성 단원은 20페이지 내외로 비교적 적은 분량임에도 불구하고 교과서마다 2~10건의 오류가 발견되었다. 또한 생물 II 교과서 광합성 단원의 오류 중 많은 수가 엽록체의 구조와 광합성 색소의 종류와 기능, 명반응 등의 주제에서 발견되었는데, 이 주제는 생물 II 광합성 단원에서야 학생들이 처음으로 배우는 내용이라는 점에서 개념 형성에 그 영향이 클 것으로 보인다. 따라서 현재 사용하는 교과서에 나타난 오류와 수정안을 담은 자료집을 제작·배부하여 수업에 사용할 수 있도록 지원할 필요가 있다. 이와 더불어, 차기 교과서에서는 이러한 오류가 반복되지 않도록 오류없는 교과서 제작을 위한 시스템 구축이 필요하다.

광합성 단원의 주요 내용에 나타난 오류에 대해 교사들의 인지 및 수정정도에 대한 설문조사 결과는 오류를 정확히 지적하지 못하거나 올바르게 수정하지 못한 예가 많음을 보여 주어, 교과서 내 오류가 수정되어 지도될 가능성이 낮은 것으로 평가되었다.

특히 광합성의 ‘에너지’ 변환 개념에서

오류가 나타나는 경우 이를 명확히 인지하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 교사들도 이에 대해 오개념을 가지고 있기 때문인 것으로 파악되었다. 광합성의 의의와 과정을 이해하는데 있어서 에너지 형태의 전환이나 에너지 준위 변화 등 ‘에너지’는 필수적인 개념이기 때문에, 이들 개념에 대한 교사 연수나 워크숍 등을 통한 정개념 형성이 필요한 것으로 보인다.

〈참고 문헌〉

- 곽세근(2005). 고등학교 과학교과서 자극과 반응 단원의 내용 중 잘못 기술된 부분 분석. 공주대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 구창희(2005). 고등학교 생물 I 교과서 물질대사 관련 단원 내용 중 잘못 기술된 부분 분석. 공주대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 국동식(2004). 대기와 해양의 몇 개념들에 대한 중·고등학교 과학교사의 개념. 한국지구과학회지. 25(6), 402-408.
- 김수미, 정영란(1997). 향상성, 동·식물 분류, 식물의 양분생산에 대한 학생의 개념 조사와 오개념 형성 원인으로써 교사 요인 분석. 한국과학교육학회지. 17(3), 261-271.
- 나상현(2005). 제 7차 교육과정에 따른 생물 I 교과서의 오류 조사 분석. 전남대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 박인국, 이덕기, 장기문, 엄영주, 구수길

- (1997). *고등학교 생물 II*. 서울: 박영사.
- 박재근(2004). 제 7차 교육과정에 따른 고등학교 생물 II 교과서에서 물질대사 단원에 대한 탐구 활동의 비교 분석. *한국생물교육학회지*. 32(2), 124-134.
- 생명과학사진편찬위원회(2003). *생명과학사전*. 서울: 아카데미서적.
- 신현철, 유성철, 최홍근(1995). 고등학교 생물 교과서 내용 중 잘못된 기술된 부분에 대하여-식물 분야를 중심으로-. *식물분류학회지*. 25(2), 131-138.
- 유영한, 손영목, 이희선, 유미애, 김미희, 이창석(2002). 7차 초등학교 교과서의 생명영역에 나타난 생태분류학적·논리적 오류, 오개념과 이의 정정 및 그 개선안. *한국생물교육학회지*. 30(4), 374-392.
- 정화숙, 박현숙, 임영진, 김자립(2005). 제7차 교육과정에 의한 중등 과학 교과서의 광합성 영역에 대한 용어와 탐구의 연계성 분석. *한국생물교육학회지*. 33(2), 196-208.
- 조희형, 최경희(2006). *과학교육의 이론과 실제*. 서울: 교육과학사.
- 최영란, 이형철(1998). 제 6 차 교육과정에 의한 초등학교 자연 교과서의 내용 분석. *초등과학교육*. 17(2), 55-65.
- 한국생물과학협회(1998). *생물학사전*. 서울: 아카데미서적
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Mitchell, L. G., & Taylor, M. R. (2004). *생명과학: 이론과 현상의 이해*. (김명원, 김옥용, 김희진, 신주옥, 이해영, 진언선, 하영미 역) 서울: 라이프사이언스. (원저는 2003에 출판)
- Eisen, Y., & Stavy, R. (1988). Students' understanding of photosynthesis. *The American Biology Teacher*, 50(4), 208-212.
- Hopkins, W. G. (2001). *식물생리학*. (권덕기, 박연일, 전성수, 진창덕, 홍영남 옮김). 서울: 을유문화사. (원저는 1999에 출판)
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupil's understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403.
- Mathews, C. K., & Van Holde, K. E. (1996). *Biochemistry*. CA: Benjamin/Cummings.
- Moore, R., Clark, W. D., & Vodopich, D. S. (1998). *Botany*. Boston: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Nobel, P. S. (2005). *Physicochemical and environmental plant physiology*. Burlington: Elsevier Academic Press.
- Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, C. (2003). *생명 생물의 과학*. (이광웅, 강봉균, 김영상, 김원, 백상기, 윤권상, 이종섭, 최청일, 홍영남 옮김). 서울: 교보문고. (원저는 2003에 출판)
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants*. 7th ed., New York: W. H. Freeman & Company.
- Ridge, I. (2006). *식물의 이해*. (조성호 역). 서울: 월드사이언스. (원저는 2002에 출판)

- Salisbury, F., & Ross, C. (1992). *Plant physiology*. Belmont: Wadsworth Publishing Company.
- Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (2006). 생물과학. (강신성, 권덕기, 김종봉, 김한순, 박상옥, 박재홍, 박홍덕, 서봉보, 손종경, 송방호, 송승달, 안원근, 양홍준, 전창진, 정재창, 정화숙, 추연식, 황의욱 역). 서울: 월드사이언스. (원저는 2005에 출판)
- Stern, K. R., Jansky, S., & Bidlack, J. E. (2003). *Introductory Plant Biology*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2005). 식물생리학. (전방욱 역). 서울: 라이프사이언스. (원저는 2002에 출판)
- Waheed, T., & Lucas, A. M. (1992). Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education*, 26(3), 193-199.
- Wallace, R. A., Sanders, G. P. & Ferl, R. J. (2004). 생물학 생명의 과학. (이광웅, 구혜영, 김원, 양재섭, 윤권상, 이종섭, 최청일, 홍영남 역). 서울: 을유문화사. (원저는 1991에 출판)

요 약

본 연구의 목적은 제7차 교육과정 생물 II 교과서의 '광합성' 단원에 나타난 내용 오류를 분석하여 수정 예시를 제시함과 아

울러 이 오류가 과목 담당 교사들에 의해 어느 정도 지적되고 수정되는지 조사함으로써 오류가 수정 지도될 가능성을 알아보는 데 있다. 이를 위해, 제7차 교육과정 생물 II 8종 교과서 광합성 단원에서 오류를 분석하고, 오류가 담긴 교과서 내 지문으로 설문문항을 개발하여 교사들의 오류 인지 및 수정정도를 조사하였다. 8종의 교과서 광합성 단원의 13개 학습주제에서 발견된 오류의 수는 총 48개였으며, 1종의 교과서에서 1개의 학습주제에 대해 4가지 오류가 나타나거나 동일한 오류가 여러 교과서에서 각각 나타나기도 하였다. 35명의 생물 II 과목 담당 교사를 대상으로 한 설문 조사 결과, 교과서에 나타난 그래프(문항 6번), 잘못된 용어(문항 4-3번), 잘못된 그림(문항 1-2번) 등과 같은 단순오류의 경우를 오류를 정확히 지적하고 수정한 예가 각각 43%, 40%, 32%로 비율이 높았다. 그러나 광합성의 명반응 과정을 설명하는 삽화에서 에너지 준위의 개념이 접목되어야 하는 오류에 대한 지적을 한 사례는 없었다. 이러한 결과는 생물 II 광합성 단원에 나타나는 오류는 정확히 수정되어 지도될 가능성이 낮음을 시사한다. 학생들이 광합성에 대한 오개념을 가질 가능성을 낮추려면 오류를 수정 사항에 대한 자료를 교사들에게 배부하거나 교사연수 또는 워크숍 등을 통해 이에 대한 정보를 나눌 기회가 제공되어야 할 것이다.

주요어: 생물 교과서, 광합성 단원, 오류, 교사의 인식