

## 고등학교 생물 II 교과서 5종의 세포호흡 관련 내용에 나타난 개념들의 정교화

곽 대 오(경상대학교 교수)  
하 소 현(경상대학교 박사과정)  
김 호 진(경상대학교 박사과정)

### 《요약》

고등학교 생물 II 교과서 5종의 세포호흡 관련 내용을 범주별로 추론한 결과 최상위 주요 개념은 세포호흡 필요조건, 세포호흡 과정, 세포호흡 산물 등의 세 가지로 확인되었으며, 개념도 작성을 통해 분석한 결과 제시된 개념들의 수는 교과서별로 약간의 차이가 있었으나 개념들의 조직이나 위계에는 별 다른 차이가 없었다. 분석대상 교과서 5종 모두 다수의 세포호흡 관련 개념들에 대해 전반적인 정교화가 이루어져 있었으나 정교화의 정도에는 개념에 따라 상당한 차이가 있었다. 세포호흡 관련 세 가지 최상위 주요개념들 중 세포호흡과정에 대한 정교화 정도가 가장 높았고 세포호흡 산물에 대한 정교화 정도가 가장 낮았다. 교과서별로는 교과서 E에서 세포호흡 관련 개념들에 대한 전체적인 정교화 정도가 가장 높았고, 교과서 D에서 가장 낮게 나타났다. 한편, 분석대상 교과서 세포호흡 관련 내용 중 잘못된 정보의 기술, 불분명한 기술, 불충분한 설명 등으로 인해 부분적으로 부적절한 정교화가 이루어져 있는 것이 확인되었다.

세포호흡과 관련된 부적절한 정교화는 교과서를 읽는 많은 학생들이 세포호흡과 관련된 개념을 이해하는 데 있어 장애 요인으로 작용할 가능성이 많으므로 향후 교과서 편찬 시 수정, 보완되어야 할 것으로 사료된다.

주제어 : 생물 II 교과서, 세포호흡, 개념도, 정교화

## I. 서론

독해에 영향을 미치는 중요한 심리적 과정들 중의 하나가 정교화 과정인데, 이는 학습자/독자 또는 본문에 의해 관념들(ideas)이 윤색(embellishment)되는 것이다(Lloyd, 1990).

본문이해, 인간의 학습, 그리고 기억 등에 관한 연구에 있어서 한 가지 중요한 문제가 정

보를 어떻게 나타내어야 그 정보가 보다 더 잘 이해되고, 학습되고, 파지되게 할 것인가 하는 것인데, 본문이 학습될 표적 정보(target information)에 대한 정교화를 포함해야 한다는 것이 중심적인 의견이 되어왔다. 정교화란 학습될 정보를 지지하고, 명료화하고, 보다 구체화하는 여타의 정보를 부언하는 과정으로서 논리적 추론, 계속적인 설명, 예, 구체적 기술, 또는 그림 등과 같은 다른 형태로 표적정보를 윤색해주는 어떤 것들이 부언되는 정보가 될 수 있다(Reder, Charney & Morgan, 1986). Hamilton(1997)은 정교화를 학습될 정보와 학습자의 선행지식, 경험과 같은 관련 정보간의 관계를 명료하게 해 주거나 구체적으로 설명해주는 정보를 더해주는 것으로서, 본질적으로 본래의 내용을 본래의 방식과는 다르지만 관련된 방식으로 부호화하는 것으로 정의하였다.

이러한 개념의 정교화가 갖는 영향력은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 첫째로는 부호화(encoding)나 인출(retrieval)단계에서 정보의 기억에 영향을 미칠 수 있고(Reder, 1980), 둘째로는 개념들로 하여금 관련성과 구속성을 갖게 함으로써 유의미성을 더할 수 있다(Bransford, 1979). 정교화가 항상 유용한 것만은 아니며, 표적정보의 파지를 약화시킬 수도 있다는 일부 연구결과들도 있지만(Bradshaw & Anderson, 1982; Walker, 1986), 정교화는 표적정보의 파지를 촉진시키는 것으로 일관되게 밝혀져 왔다(Anderson, 1983; Stein et al., 1984; Willoughby, Wood, & Khan, 1994; Hamilton, 1997; Kim & VanDusen, 1998).

Anderson(1983)이 제안한 정교화 모형에 의하면 장기 기억(long-term memory)은 상호연결된 명제(propositions)의 정보망(network)으로서 학습자가 어떤 구절을 읽으면 이 기억 정보망에 새로운 명제들이 더해지는데, 읽을 동안에 표적정보와 이를 정교화하는 내용 모두가 명제들로서 부호화된다. 이 모형은 표적정보만이 분리되어 부호화된 것에 비해 표적정보를 정교화해 주는 관련 명제들과 함께 부호화된 표적정보가 인출될 때 더 잘 회상(recall)될 것으로 예측하면서 그 이유로서 다음의 두 가지를 들었다. 첫째, 표적정보와 관련성이 있는 정교화는 표적정보를 연합적인 정보망의 부분으로서 기억에 저장되게 하는 방식으로 기억에 있어서 정보망의 중복성(redundancy)을 보다 크게 해 주기 때문이다. 따라서 표적정보에 직접적으로 접근될 수 없다면 표적정보와 연결된 정교화의 경로를 통해 간접적으로 접근될 수 있다. 둘째, 표적정보와 관련된 정교화는 기억의 재구성성을 용이하게 해 준다. 그러므로 만약 표적정보를 기억에서 잃게 되면 관련이 있는 정교화 내용의 회상을 통해 표적정보를 추리하거나 재구성할 수 있다.

과학 교과서는 학교 과학수업의 중요한 요소로서 교실 현장에서 가장 널리, 그리고 가장 빈번하게 사용되는 수업자료이다. 과학수업과 과학숙제를 위해 과학교사와 학생들의 90% 이상이 과학 교과서를 사용한다는 연구보고들(Yayer, 1982; Blystone, 1989)이 있으며, Stinner(1992)는 영어권 국가들에서 과학수업이 실제로 교과서 중심으로 이루어지고 있음을 밝힌 바 있다.

과학교육에 있어서 과학 교과서가 차지하는 역할이 중요함에 따라 외국에서는 과학 교과서의 실험실습활동(Tamir & Pilar-Garcia, 1992; Soyibo, 1998; Tiberghien et al., 2001), 과정기능(Newton & Gott, 1989; Roberts & Gott, 2000), 과학적 소양(Chiapetta, Sethna, & Fillman, 1991; Lumpe & Beck, 1996), 이독성(Glynn & Muth, 1994; Wellington, 2001), STS(Rosenthal, 1984; Chiang-Soong & Yager, 1993; Gardner, 1999), 오개념(Abimbola & Baba, 1996; Gibson, 1996), 문제수준(Shepardson & Pizzini, 1991; Costa et al., 2000), 삽화와 그림(Constable, Campbell, & Brown, 1988; Stylianidou, Ormerod, & Ogborn, 2002), 그래프와 시각적 이미지(Roth, Bowen, & McGinn, 1999; Dimopoulos, Koulaidis, & Sklaveniti, 2003) 등 다각적인 측면에서 분석적 연구들이 이루어져 왔다. 그리고 정교화가 과학학습에 매우 중요한 역할을 한다는 사실을 밝힌 연구들(Tobin & Tippins, 1996; Dole & Sinatra, 1998; Hogan & Maglienti, 2001)과 함께 과학 교과서 내용의 정교화에 대한 연구들(Lloyd, 1990; Soyibo, 1995; Paris & Glynn, 2004)도 수행되었다.

한편, 최근 국내에서의 과학 교과서에 관한 연구는 탐구활동(김윤희·문성배, 2000; 하소현·곽대오·성민웅, 2001; 심규철·김현섭·박영철, 2002; 정외주·곽대오·성민웅, 2003), STS(김종웅·조현욱·김종홍, 1999; 조태호·박강은·정희철, 2002; 홍미영·정은영, 2004), 비유(김영민·박희숙, 2000; 최경희·이영애·류수경, 2003) 등의 주제를 중심으로 이루어지고 있으나 과학 교과서 내용의 정교화에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 뿐만 아니라 대다수의 교사들과 학생들은 과학 교과서를 아무런 오류나 결점이 없는 수업자료로 여기지만(Elliott, Nagel, & Woodward, 1986), 실제로는 과학 교과서에 정교화 되지 않은 관념들이 피상적으로 나타나 있어서(Blystone, 1987) 학생들이 유의미하게 그 관념들을 이해하지 못하고 암기만을 할 수 밖에 없다는 비판(Soyibo, 1995)에 비추어 볼 때, 우리나라 과학 교과서 내용의 정교화 정도를 분석하는 일은 중요하고 의미 있는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 다수의 학생들이 어렵다고 인식하는 것으로 알려진 세포호흡 관련 내용(Johnstone & Mahmoud, 1980; Haslam & Treagust, 1987)을 대상으로 개념도를 이용하여 세포호흡 관련 개념들을 확인하고, 이들 개념들에 대한 정교화가 어느 정도 이루어져 있는지를 분석하고자 하였다.

## II. 연구자료 및 방법

### 1. 연구자료

본 연구는 현행 7차 교육과정에 따라 개발된 고등학교 생물 II 교과서 5종(A~E)의 세포호

흡 관련 내용을 분석대상으로 하였으며, 분석대상 교과서 선택과 관련하여 특별한 기준과 준거는 없었다.

## 2. 연구방법

본 연구를 수행하기 위하여 Lloyd(1990)가 개발한 두 단계 분석 과정을 통하여 분석대상 교과서 내용을 분석하였다. 첫 단계로 분석대상 교과서들에 나타난 세포호흡 관련 개념들을 확인하기 위하여 세포호흡 관련내용을 대상으로 개념도를 작성한 다음에 두 번째 단계로 확인된 각각의 개념에 대한 정교화 정도를 분석하는 과정을 거쳤으며 그 구체적인 방법은 아래와 같다. 아울러 정교화 분석을 통해 잘못된 정보의 기술, 불분명한 기술, 불충분한 설명 등으로 인한 부적절한 정교화의 사례가 있는지의 여부도 조사하였다.

### 가. 개념분석

교과서의 세포호흡 관련 내용의 정교화 정도를 분석하기 위해서는 먼저 세포호흡 관련 내용에 나타난 개념들을 확인하는 것이 필요한데 개념도를 작성함으로써 이들 개념들을 확인할 수 있다. 각 교과서의 세포호흡 관련내용을 대상으로 Novak & Gowin(1984)의 방법에 준하여 다음과 같이 개념도를 작성하였다.

먼저 교과서 내용을 숙지하고 요지를 파악하기 위하여 여러 번 숙독한 다음 교과서 내용에 근거하여 최상위 주요 개념들을 확인하였는데, 세포호흡과 관련하여 가장 포괄적이고 추상적이면서 하위개념들은 포섭하는 이들 최상위 주요 개념들이 교과서에 명시적으로 표시되어 있는 경우에는 표지대로 확인한 반면에 명시적으로 표시되어 있지 않은 경우에는 해당 내용을 포괄하는 개념명을 추론하여 확인하였다. 이 과정을 5종 교과서를 대상으로 차례대로 실시하면서 다음 교과서 내용에서 새로운 최상위 주요개념이 확인되면 기록하고 필요하면 앞서의 교과서 내용에서 확인된 최상위 주요개념을 수정하였다. 이렇게 함으로써 5종 교과서의 세포호흡 관련 내용을 포괄하는 세 가지의 최상위 주요개념들을 확인할 수 있었다. 다음으로 교과서 내용으로부터 세 가지 최상위 주요개념들의 범주별로 하위개념들을 확인하여 위계적으로 배열한 후 각 개념들간의 관계를 명제로 연결함으로써 개념도를 완성하였다.

### 나. 정교화 분석

먼저 교과서 내용에 나타난 세포호흡 관련 개념들과 이들 개념들에 대한 정교화 정도를 교과서별로 비교할 수 있도록 개념분석 과정에서 확인된 세포호흡의 필요조건, 세포호흡의 과정, 세포호흡의 산물 등의 세 가지 최상위 주요개념과 교과서별로 확인된 그 하위 개념들을 한 장의 도표에 통합하여 나타내었다(표 1 참조). 다음으로 각 교과서 내용을 대상으로

① 각 개념들의 교과서 내용에서의 출현 여부, ② 각 개념들에 대해 부가적으로 관련되는 정교화의 수, ③ 각 개념들에 대해 관련성은 있으나 세포호흡과는 직접적으로 관련성이 없어 부수적인 것으로 간주되는 정교화의 수, ④ 각 개념들에 관련되어 사용된 비유의 수(그 비유는 그 개념에 대한 하나의 정교화로 간주) 등의 네 가지 요인별로 분석하였다.

정교화 빈도는 그림(삽화 포함)이나 도표와 같이 시각적으로 정교화 된 것과, 본문 내용 속에서 문장을 통해 정교화 된 것을 합산하였다. 예를 들어, 교과서에 TCA 회로라는 용어가 나타나고, 그 용어를 설명하는 내용과 그림이 있을 경우 +2(개념의 출현, 정교화 빈도)로 나타났다. 또한 전체 세포호흡 과정에서 TCA 회로가 언급되거나 그림 속에 나타날 경우에도 정교화 빈도에 포함시켰다.

#### 다. 신뢰도와 타당도

본 연구의 신뢰도와 타당도를 확립하기 위하여 두 단계의 과정을 거쳤다. 첫 단계로 3명의 연구자들이 본 연구와 관련된 연구방법을 공동으로 충분히 논의하고 숙지한 다음 각자 앞에서 기술한 연구방법에 따라 교과서별로 세포호흡 관련 개념 분석을 위한 개념도를 작성하였다. 이어 연구자별로 각자 작성한 개념도를 비교하여 서로 다른 부분은 토론을 통하여 통일된 형태로 수정하였다. 또한 정교화 분석도 앞서 기술한 네 가지 요인별로 연구자 각자가 분석한 다음 비교하여 서로 다른 부분은 토론을 통해 단일본으로 만들었다.

두 번째 단계로는 생물교육과 교수 1명과 석사학위 이상을 소지한 현직 고등학교 생물교사 2명에게 의뢰하여 연구자들에 의해 단일본으로 작성된 개념도에 나타난 개념들의 타당성과 정확성, 그리고 개념들간의 관계를 나타내는 명제에 관한 타당성과 정확성을 검증 받았는데, 이 과정에서 지적된 사항들은 연구자들이 토론을 통하여 필요한 경우 수정, 보완하였다.

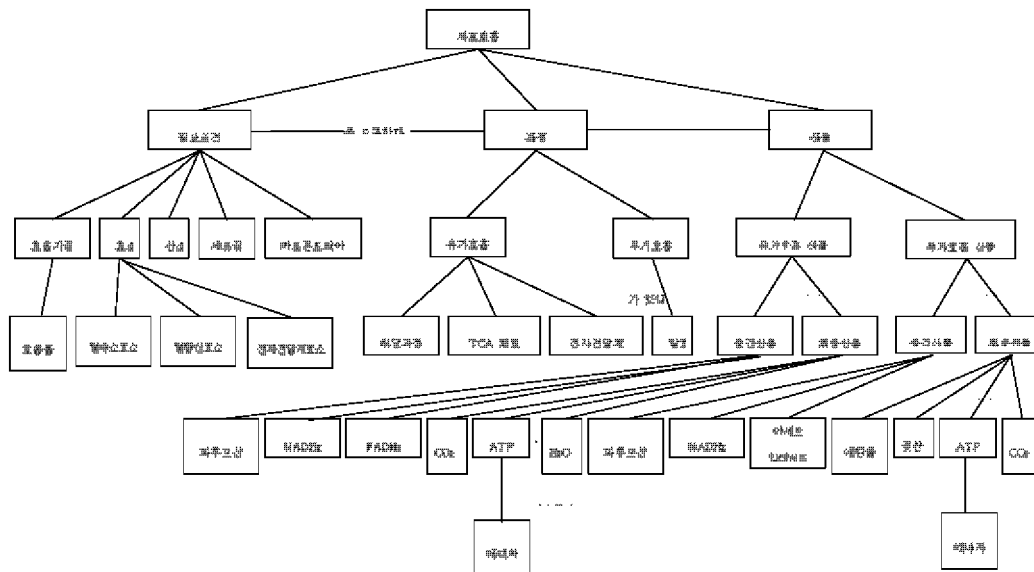
### III. 결과 및 논의

#### 1. 개념분석

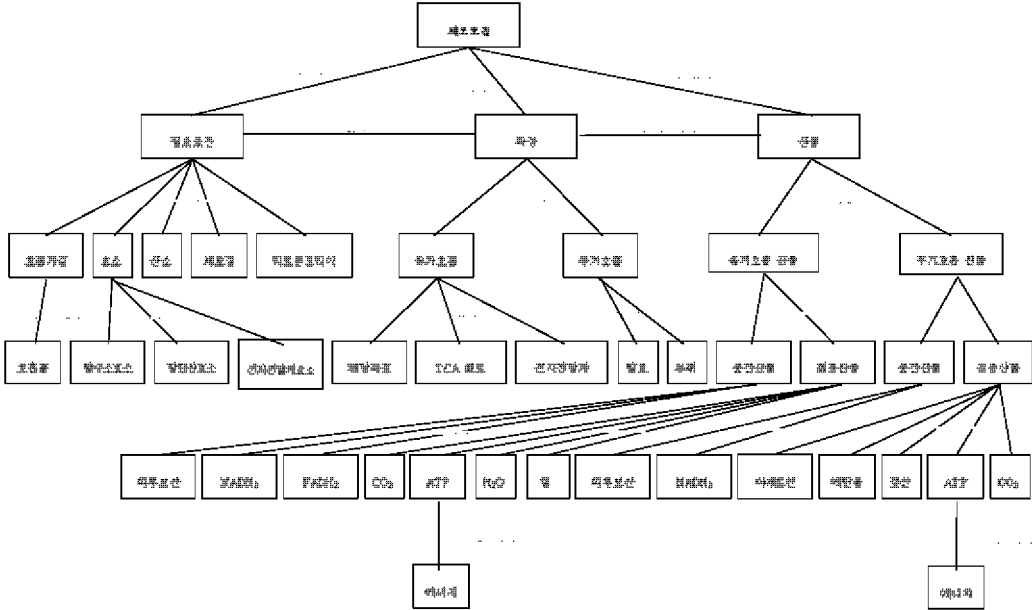
[그림 1]부터 [그림 5]까지는 고등학교 생물II 교과서 5종에 세포호흡 관련 개념들이 어떻게 나타나 있는지를 보여주는 개념도이다. 교과서의 세포호흡 관련 내용을 분석한 결과 최상위 주요 개념으로 확인된 것은 세포호흡에 필요한 조건, 호흡과정, 호흡결과 생성되는 산

를 통 세 가지였는데, 이들 개념들은 교과서 내용에 그대로 표지된 것들이 아니고 교과서 내용을 범주화하여 추론한 것들이다. 이들 최상위 주요개념들은 세포호흡과 관련된 대부분의 일반적 수준의 관념들을 대표하며 포섭하는 것들이다.

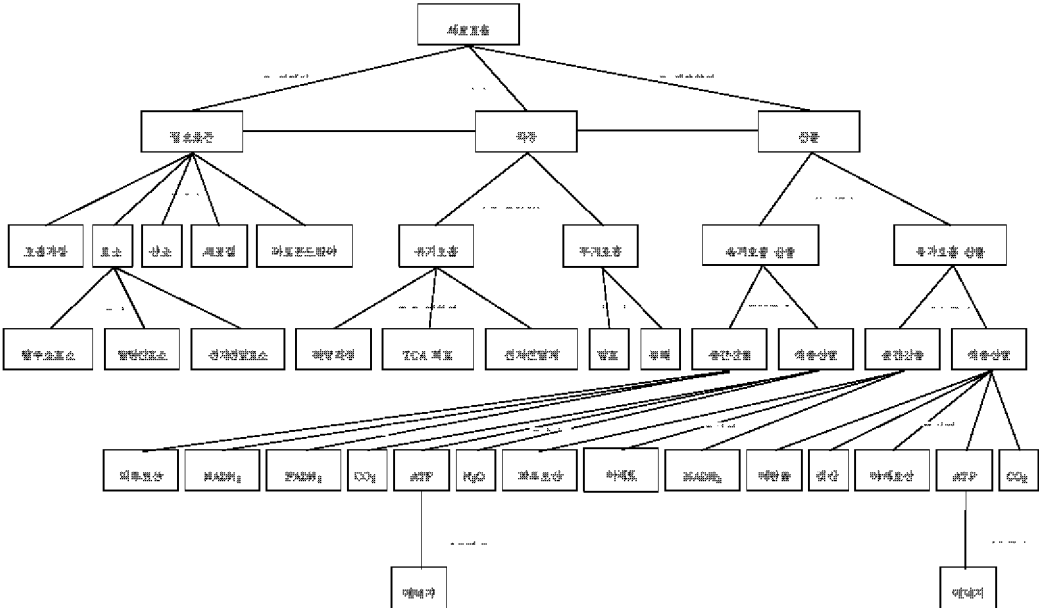
전체적으로 볼 때 교과서의 세포호흡 관련 내용에 나타난 개념들의 조직과 위계에서는 교과서간에 별 다른 차이가 없었고 나타난 개념들의 수에서만 약간의 차이가 있었다. 교과서 A에서는 무기호흡의 한 유형인 부패와 유기호흡의 최종산물 가운데 하나인 열에 대한 언급이 없었으며, 교과서 C에서는 호흡률과 열에 대한 설명이 나타나지 않았다. 그리고 알콜 발효 과정에서 생성되는 중간산물인 아세트알데히드가 교과서 B, E에는 나타나지 않았다. 또한 호흡의 최종산물인 ATP와 관련된 에너지 이용에 관해서 다른 교과서와는 달리 교과서 C에서는 설명이 없었던 반면에 교과서 E의 경우에는 단원과는 별도로 13페이지로 구성된 에너지의 이용과 진원이라는 독립된 단원에서 다루고 있었다. 이러한 결과는 미국에서 학생들의 능력에 따라 수준별로 만든 새 종의 고등학교 생물 교과서의 광합성 관련 내용을 분석한 결과 교과서 내용에 나타난 개념 수뿐만 아니라 개념들의 조직과 위계에서도 수준별로 차이가 있었다는 Lloyd(1990)의 연구결과와는 대비되는 것으로서, 우리나라의 경우 현행 7차 과학과 교육과정은 수준별 교수학습을 지향하고 있지만 교과서는 수준별로 제작되지 않고 동일 교과서 내에 보충과정, 심화과정이 같이 포함되어 있는 것 때문으로 풀이된다.



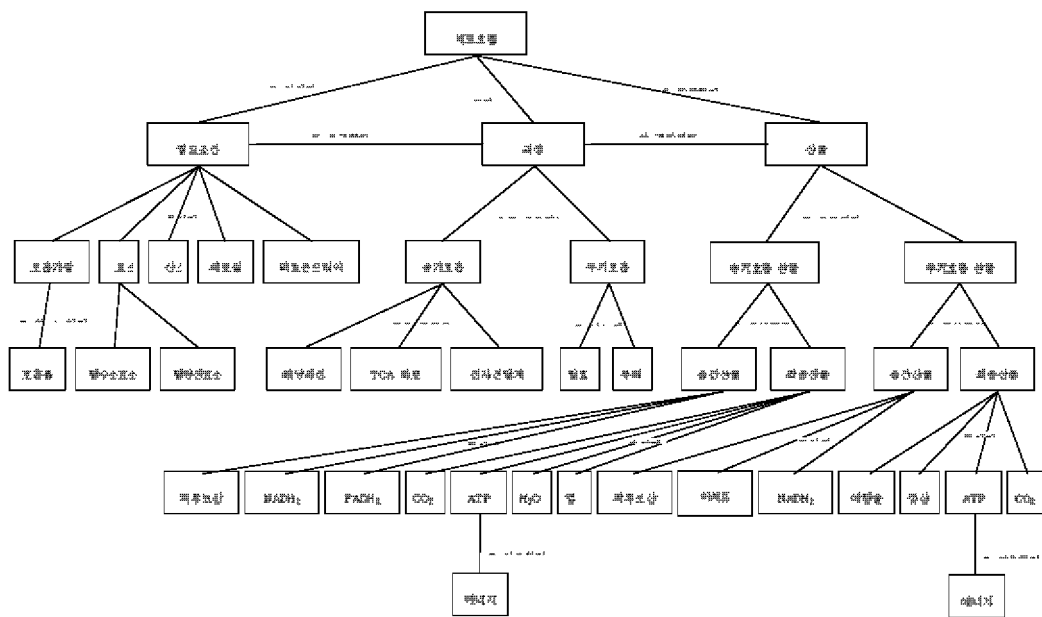
(그림 1) 교과서 A의 세포호흡 관련 내용을 분석한 개념도



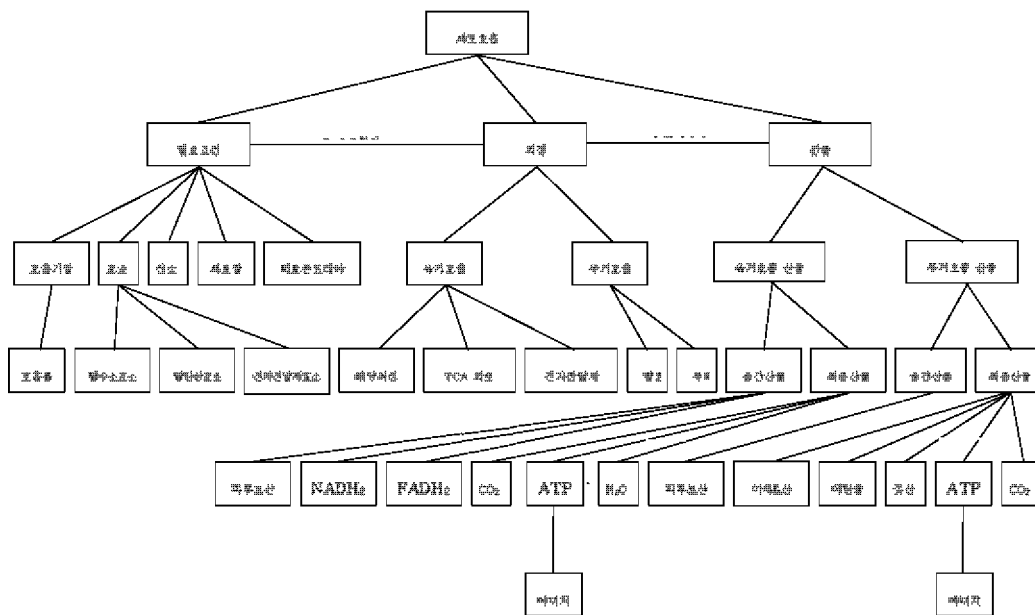
(그림 2) 교과서 B의 세포호흡 관련 내용을 분석한 개념도



[그림 3] 교과서 C의 세포호흡 관련 내용을 분석한 개념도



(그림 4) 교과서 D의 세포호흡 관련 내용을 분석한 개념도



(그림 5) 교과서 E의 세포호흡 관련 내용을 분석한 개념도



## 2. 정교화 분석

<표 1>은 5종의 고등학교 생물교과서 내용에 나타난 개념들에 대한 정교화 정도를 나타내고 있는데, 5종 교과서 모두에서 다수의 개념들에 대한 정교화가 전반적으로 이루어져 있으나 그 정도에는 차이가 있음을 알 수 있다. 세포호흡 과정에서 일어나는 중요한 반응이나 원리에 대해서는 그림 등을 통한 정교화가 잘 이루어져 있으나 세포호흡의 산물에 대해서는 부가적인 설명이나 비유와 같은 정교화가 잘 이루어져 있지 않았는데 이 부분에 대해 학생들이 이해하기가 상대적으로 어려울 것으로 추정된다. 유기호흡 과정의 해당과정, TCA회로, 전자전달계에 대한 정교화가 다른 개념들에 비해 상대적으로 많이 이루어져 있었으며, 무기호흡의 경우 부패에 비해 발효에 대한 정교화 정도가 월등히 높았다. 또한 세포호흡을 조절하는 효소들의 경우, 교과서 본문에 자주 나타나는 NAD나 FAD와 같은 탈수소효소에 비해 전자전달효소에 대한 정교화 정도가 약간 높았다.

교과서별 세포호흡 관련 개념들에 대한 정교화 정도는 교과서 E에서 가장 높게 나타난 반면에 교과서 D에서 가장 낮게 나타났다. 동일 교과서 내에서도 개념에 따라 정교화 정도의 상대적 격차가 많이 있는 경우도 나타났는데, 교과서 A의 경우 무기호흡의 한 유형인 발효에 대한 정교화는 18번이나 이루어져 있는데 반해 무기호흡의 또 다른 유형인 부패에 대해서는 개념조차 제시되어 있지 않아 학생들이 발효만이 무기호흡의 과정이라고 잘못 이해할 수 있는 소지가 있다고 생각된다. 그리고 교과서 B의 경우에는 유기호흡의 하위개념들인 해당과정, TCA회로, 전자전달계에 대해서는 각각 11회, 14회, 8회의 정교화가 이루어져 있고, 무기호흡의 하위개념들인 발효와 부패에 대해 각각 20회, 2회의 정교화가 이루어져 있으나 정작 유기호흡과 무기호흡 자체의 개념에 대해서는 유기호흡의 경우 정교화는 전혀 없이 개념만 제시되어 있고 무기호흡의 경우도 유기호흡 과정 중의 해당과정과 연관시켜 설명하는 단 한 차례의 정교화가 나타나 있을 뿐이었다. 교과서에 제시된 개념의 중요도, 난이도 등의 특성에 따라 정교화 정도에 차이가 있을 수 있겠으나 예시한 바와 같은 극단적인 격차는 다음의 교과서 집필시에 보완되어야 할 점으로 생각된다.

정교화 전략 중 비유의 사용은 미토콘드리아, 전자전달계, ATP, 열의 개념에만 나타났을 뿐 대부분의 세포호흡 관련 개념들에 대해서는 비유라는 정교화가 사용되지 않았다. 정교화된 비유가 친숙한 비유물을 새롭게 학습할 목표물에 관련시킴으로써 과학지식과 과학적 태도를 신장시키는데 유용하다는 Paris & Glynn(2004)의 연구보고에 미루어 볼 때 정교화된 비유의 개발과 이의 과학 교과서에서의 사용에 관한 연구가 앞으로 필요할 것으로 사료된다.

〈표 1〉 고등학교 생물 II 교과서 5종의 세포 호흡 관련 내용의 정교화 정도

개 념	A	B	C	D	E
세포 호흡의 필요조건					
호흡기질	+9	+8	+1	+4	+2
호흡물	+4	+7	—	+4	+5
효소	+2	+	+1	+3	+1
탈탄산 효소	+1	+1	+1	+	+2
탈수소 효소	+1	+1	+1	+2	+2
전자전달 효소	+2	+4	+2	+1	+2(5)
산소	+	+1	+	+1	+
세포질	+	+	+	+	+
미토콘드리아	+3a	+	+2	+1	+1
세포 호흡의 과정					
유기호흡	+12	+	+7	+13	+5
해당과정	+10	+11	+10	+5	+10(1)
TCA 회로	+10	+14	+17	+2	+12(3)
전자전달계	+8a	+12a	+14a	+9	+16(6)
무기호흡	+9	+1	+10	+9	+6
발효	+18	+20	+24	+8	+22
부패	—	+2	+5	+1	+3
세포 호흡의 산물					
유기호흡 산물					
중간산물					
피루브산	+	+1	+	+	+
NADH2	+	+	+	+2	+(1)
FADH2	+	+	+	+1	+(1)
최종산물					
ATP	+7a(15)	+4(1)	+5(11)	+6(1)	+7(11)
CO2	+	+	+	+	+
H2O	+	+	+	+	+
에너지	+18a	+13	+	+11	+15(2)
열	—	+4a	—	+1	—
무기호흡 산물					
중간산물					
피루브산	+	+	+	+	+
NADH2	+	+	+	+	—
아세트알데히드	+	—	+	+	—
최종산물					
ATP	+	+	+	+	+
에탄올	+	+	+	+	+
젖산	+	+	+	+	+
아세트산	+	+	+	—	+

+: 표에 제시된 개념들이 해당 교과서 내용에 사용되었음을 나타내고 숫자는 정교화의 빈도를 나타냄.

—: 해당 개념이 해당 교과서에 사용되지 않았음을 나타냄.

( ): 세포 호흡에 관하여 무수적인 것으로 간주되는 정교화의 수를 나타냄.

a: 비유가 사용되었음을 나타내고 하나의 비유는 하나의 정교화로 계산됨.

한편, 분석대상 교과서들에서 세포호흡 관련 개념들의 보다 나은 정교화를 위해 개선해야 할 내용들이 발견되었는데 그 중 몇 가지 사례들은 다음과 같다. 첫째, 분석대상 5종 교과서 모두 유기호흡 과정에서 ATP가 생성되는 인산화 과정을 기질수준의 인산화와 산화적 인산화로 구분하지 않고 설명하고 있었는데, TCA회로에서 생성되는 ATP는 기질수준의 인산화 과정의 결과로, 전자전달계를 거치는 동안 생성되는 ATP는 산화적 인산화 과정의 결과라는 사실을 구분하여 설명할 필요가 있다고 판단된다. 둘째로, 해당과정에 대한 설명으로서 교과서 A는 ‘세포질에서 일어나는 호흡의 예비단계로 산소를 필요로 하지 않는다.’로, 교과서 B는 ‘지구상의 대부분의 생물체에서 공통으로 나타나는 작용으로 산소를 필요로 하지 않는 반응’으로, 교과서 C는 ‘지구상에 있는 대부분의 생물에서 공통으로 이루어지는 작용’으로, 교과서 D는 ‘산소를 필요로 하지 않는 무기호흡’으로, 그리고 교과서 E는 ‘모든 생물에서 공통적으로 일어나는 작용’으로 표현하고 있어 개념상에 약간씩 차이가 있음을 알 수 있다. 이 중 교과서 D의 경우 유기호흡의 한 과정인 해당과정의 설명에서 무기호흡이라는 개념을 도입함으로써 유기호흡에 대비되는 개념인 무기호흡과의 구분에 혼란을 초래할 소지가 있을 것으로 추정된다. 셋째, 세포호흡을 통해 포도당 1분자 당 생성되는 ATP 분자수를 원핵세포의 경우와 진핵세포의 경우를 구별하지 않고 있는데, 특히 원핵세포에는 없는 세포소기관인 미토콘드리아 내에서 일어나는 전자전달과정에서의 산화적 인산화에 의한 ATP 생성을 설명하면서도 전체적으로 생성되는 ATP 분자수는 원핵세포 기준으로 제시하고 있어 진핵세포에서도 원핵세포에서와 동일한 수의 ATP 분자가 생성되는 것으로 학생들이 잘못 받아들이는 결과를 초래할 수도 있을 것이다. 넷째, 교과서 A를 제외한 나머지 교과서들에서는 전자전달계에서의 전하이동 원리에 대한 설명이 없거나 부족하여 기계적 학습으로 인한 오개념이 발생할 수 있는 여지가 있었다. 대학입학 수학능력 시험에서 전자전달계에서의 전하이동과 관련된 문항들이 출제되고 있고, 고등학교 생물II 참고서들에서도 관련 내용을 다루고 있는 점을 감안하면 생물II 교과서 내용에서 전하이동에 관한 설명이 보충되어야 할 것으로 생각된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 현행 7차 교육과정에 따라 편찬된 고등학교 생물II 교과서 5종의 세포호흡 관련 내용에 나타난 개념들을 개념도 작성을 통하여 분석하고 이들 개념들의 정교화 정도를 분석하였다.

고등학교 생물II 교과서의 세포호흡 관련 내용에 나타난 개념들의 수에는 교과서간에 약

간의 차이가 있었지만 개념들의 조직과 위계에는 별다른 차이가 없었는데, 세포호흡 관련 내용에서 확인된 최상위 주요개념은 세포호흡의 필요조건, 과정, 산물 등의 세 가지 개념이었다. 분석대상 5종 교과서 모두에서 다수의 세포호흡 관련 개념들에 대해 전반적으로 정교화가 되어 있었으나 정교화의 정도에는 개념에 따라 상당한 차이가 있었다. 세포호흡 관련 세 가지의 최상위 주요개념들 중 세포호흡 과정에 대한 정교화가 가장 높게 나타났고, 반면에 세포호흡의 산물에 대한 정교화가 가장 낮게 나타났다. 분석대상 5종의 교과서들 중 교과서 E의 세포호흡 관련 개념들에 대한 전체적인 정교화 정도가 가장 높았고, 교과서 D에서 가장 낮게 나타났다.

한편 같은 교과서 내에서도 개념에 따라 정교화 정도의 격차가 상대적으로 크게 나타난 경우도 있었으며, 과학 교수-학습에 유익한 전략 중의 하나로 알려진 비유에 의한 정교화 전략이 대부분의 개념들에 사용되지 않았다. 그리고 분석대상 5종의 교과서 세포호흡 관련 내용 중에서 잘못된 정보의 기술, 불분명한 기술, 불충분한 설명 등으로 인한 부적절한 정교화가 이루어져 있는 것을 부분적으로 확인할 수 있었다. 이러한 점들은 세포호흡 관련 개념들의 정교화에 대한 정확성과 질을 저하시키고 교과서를 읽는 많은 학생들이 세포호흡에 관련된 개념들을 이해하는데 장애가 될 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제점들은 향후 교과서 편찬 시 수정, 보완되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에 사용된 개념도 작성과 정교화 분석은 시간이 많이 소요되는 작업이긴 하지만 과학 교과서들의 특정 주제들에 대한 조직과 정교화 구조를 비교하는데 유용한 도구로 판단된다. 따라서 이들 방법에 따라 생물교과서의 주제들, 특히 학생들이 어렵다고 인식하고 있는 광합성, 생식과 발생, 유전 등의 주제들을 중심으로 교과서 내용의 정교화 정도를 분석하는 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 김영민 · 박희숙(2000). 중학교 과학교과서의 물리 개념설명에 사용된 비유에 대한 학생들의 이해도 조사. *한국과학교육학회지*, 20(3), 411-420.
- 김윤희 · 문성배(2000). 3차원 분석틀을 이용한 고등학교 공통과학(물질부분) 교과서의 탐구활동 분석. *한국과학교육학회지*, 20(2), 274-287.
- 김종웅 · 조현욱 · 김종홍(1999). 제6차 교육과정에 따른 공통과학 교과서 생물단원의 STS 내용 분석. *한국생물교육학회지*, 27(1), 1-10.
- 심규철 · 김현섭 · 박영철(2002). 제7차 교육과정 7학년 과학교과서 생명영역의 탐구분석. *한국과학교육학회지*, 22(3), 550-559.
- 정외주 · 광대오 · 성민웅(2003). 과학 교과서에 나오는 증산의 탐구활동 방법과 기능요소에 대한 분석. *한국생물교육학회지*, 31(2), 106-118.
- 조태호 · 박강은 · 정희철(2002). 초등학교 과학교과서의 생명 영역에 대한 STS 내용분석. *한국생물교육학회지*, 30(3), 246-255.
- 하소현 · 광대오 · 성민웅(2001). 초 · 중 · 고등학교 탐구기능요소에 대한 6차와 7차 과학 교육과정의 비교. *한국과학교육학회지*, 21(1), 102-113.
- 홍미영 · 정은영(2004). 중학교 과학 교과서와 수업에 반영된 STS 내용분석. *한국과학교육학회지*, 24(3), 659-667.
- 최경희 · 이영애 · 류수경(2003). 고등학교 과학교과서에 제시된 비유 분석 및 비교. *한국과학교육학회지*, 23(2), 165-175.
- Abimbola, I. O. & Baba, S. (1996). Misconceptions & alternative conceptions in science textbooks: The role of teachers as filters. *The American Biology Teachers*, 58(1), 15-19.
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261-295.
- Blystone, R. V. (1987). Biology learning based on illustrations. In Rosen, W. G.(Ed.), *High school biology today and tomorrow* (pp.154-164). Washington, DC: National Academy press.
- Blystone, R. V. (1989). College introductory biology textbooks. *The American Biology Teacher*, 49(7), 418-425.
- Bransford, J. D. (1979). *Human Cognition: Learning, Understanding and Remembering*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Bradshaw, G. & Anderson, J. R. (1982). Elaborative encoding as an explanation of levels of

- processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21, 165-174.
- Chiang-Soong, B. & Yager, R. (1993). The inclusion of STS in the most frequently used secondary science textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 339-349.
- Chiapetta, E. L., Sethna, G. H., & Fillman, D. A. (1991). A quantitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literacy themes and expository learning aids. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 939-951.
- Constable, H., Campbell, B., & Brown, R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: An experimental investigation into pupils' understanding. *British Journal of Educational Psychology*, 58, 89-102.
- Costa, J., Caldeira, H., Gallastegui, J. R., & Otero, J. (2000). An analysis of question asking on scientific texts explaining natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 602-614.
- Dimopoulos, K., Koulaidis, V., & Sklaveniti, S. (2003). Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education*, 33, 189-216.
- Dole, J. A. & Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction knowledge. *Educational Psychologist*, 33, 109-128.
- Gardner, P. L. (1999). The representation of science-technology relationships in Canadian physics textbooks. *International Journal of Science Education*, 21(3), 329-347.
- Gibson, D. J. (1996). Textbook misconceptions: The climax concept of succession. *The American Biology Teachers*, 58(3), 135-140.
- Glynn, S. M. & Muth, K. D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 1057-1074.
- Hamilton, R. J. (1997). Effects of three type of elaboration on learning concepts from text. *Contemporary Educational Psychology*, 22, 299-318.
- Haslam, F. & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary school students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21(3), 203-211.
- Hogan, K. & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 663-687.
- Johnstone, A. H. & Mahmoud, N. A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14(2), 161-166.

- Kim, S. I. & Van Dusen, L. M. (1998). The role of prior knowledge and elaboration in text comprehension and memory: A comparison of self generated elaboration and text-provided elaboration. *The American Journal of Psychology*, 111(3), 353-378.
- Lloyd, C. V. (1990). The elaboration of concepts in three biology textbooks: Facilitating student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1019-1032.
- Newton, D. P. & Gott, R. (1989). Process in lower school science textbooks. *British Educational Research Journal*, 15(3), 249-258.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984), *Learning how to learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paris, N. A. & Glynn, S. M. (2004). Elaborate analogies in science text: Tools for enhancing preservice teachers' knowledge and attitudes. *Contemporary Educational Psychology*, 29, 230-247.
- Reder, L. M. (1980). The role of elaboration in the comprehension and retention of prose: A critical review. *Review of Educational Research*, 50, 5-53.
- Reder, L. M., Charney, D. H., & Morgan, K. I.(1986). The role of elaborations in a learning skill from an instructional text. *Memory and Cognition*, 14, 64-78.
- Rosenthal, D. B. (1984). Social issues in high school biology textbook: 1963-1983. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(8), 819-831.
- Roth, W., Bowen, M., & McGinn, M. N. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 977-1019.
- Sephardson, D. P. & Pizzini, E. L. (1991). Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. *Science Education*, 75(16), 673-682.
- Soyibo, K. (1995). Using concept maps to analyze textbook presentations of respiration. *The American Biology Teacher*, 57(6), 344-351.
- Soyibo, K. (1998). An assessment of Caribbean integrated science textbooks' practical tasks. *Research in Science and Technological Education*, 16(1), 31-41.
- Stein, B. S., Littlefield, J., Bransford, D., & Persampieri, M. (1984). Elaboration and knowledge acquisition. *Memory and Cognition*, 12, 522-529.
- Stinner, A. (1992). Science textbooks and science teaching: From logic to evidence. *Science Education*, 76(1), 1-16.
- Stylianidou, F., Ormerod, F., & Ogborn, J. (2002). Analysis of science textbook picture about

- energy and pupils' reading of them. *International Journal of Science Education*, 24(3), 257-283.
- Tamir, P. & Pilar-Garcia, M. (1992). Characteristics of laboratory exercises included in science textbooks in Catalonia(Spain). *International Journal of Science Education*, 14(4), 381-392.
- Tiberghiem, A., Veillard, L., LeMaréchal, J. F., Buty, C. & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.
- Tobin, K. & Tippins, D. J. (1996). Metaphors as seeds for conceptual change and the improvement of science teaching. *Science Education*, 80, 711-730.
- Walker, N. (1986). Direct retrieval from elaborated memory trace. *Memory and Cognition*, 14, 321-328.
- Wellington, J. (2001). School textbooks and reading in science: Looking back and looking forward. *School Science Review*, 82(300), 71-81.
- Willoughby, T., Wook, E., & Khan, M. (1994). Isolating variables that impact on or detract from the effectiveness of elaboration strategies. *Journal of Educational Psychology*, 86, 279-289.
- Yager, R. B. (1982). The crisis in biology education. *The American Biology Teacher*, 44(6), 328-334.

• 논문접수 : 2004년 10월 8일 / 수정본 접수 : 2004년 11월 22일 / 게재 승인 : 2004년 12월 3일



## ABSTRACT

### The Elaboration on Concepts Related to Cellular Respiration in Five High School BiologyⅡ Textbooks

Dae-Oh Kwack(Professor, Gyeongsang National University)

So-Hyeon Ha(Ph. D. Candidate, Gyeongsang National University)

Ho-Jin Kim(Ph. D. Candidate, Gyeongsang National University)

The content related to cellular respiration in current five school biologyⅡ textbooks was analyzed to describe what concepts are represented and how these concepts are elaborated.

The uppermost principle concepts related to cellular respiration were identified as requirements, processes, and products. Concept mapping revealed that the presentation and organizational strategies as well as the number of concept presented had little difference among textbooks, except that respiration rate, and putrefaction was not included in textbook C, and A, respectively.

All textbooks analyzed in this study elaborated on many of their concepts related to cellular respiration, but to different degrees. Among textbooks, textbook E presented the most amount of elaboration, whereas the least amount of elaboration was included in textbook D. The variation in the quantity of elaboration of each concept in a textbook was very wide.

Elaborate analogy was not used for many concepts related to cellular respiration in the textbooks. A few of defects in elaboration on the concepts related to cellular respiration in each textbook was found, which should be corrected in the following edition.

Key Words : biologyⅡ textbooks, cellular respiration, concept mapping, elaboration