

일반생물학 수업에서 첫 번째 단원(Introductory chapter)이 제시하는 주제의 중요성

장수철¹⁾ · 신주옥²⁾

〈목차〉

1. 서론
2. 첫 번째 단원의 구성과 내용
3. 생물학 주제: 각론과의 연계성
4. 결론에 대신하여

1. 서론

현대 생물학의 발전은 눈부시다는 표현이 무색할 정도이다. 음식, 건강과 질병, 농업, 환경, 범죄 수사 등 일상 속에서 생명과학의 영향은 여러 곳에서 어렵지 않게 찾아볼 수 있다. 과학 분야에서도 마찬가지이다. 종합과학 학술지인 ‘Nature’ 나 ‘Science’ 에 게재된 논문들 중에서 생물학과 관련

1) 제1저자, 연세대학교 학부대학, schang@yonsei.ac.kr

2) 연세대학교 생명과학기술부, coshin@yonsei.ac.kr

된 논문의 편수가 반을 넘어 60~70% 이상을 차지한지는 오래 전 일이다.³⁾ 생물학 분야에서 발표되는 논문의 수가 많아 일정 기간 동안 바뀌거나 첨가 되는 내용이 다른 과학 분야에 비해 상대적으로 많은 것으로 보인다. 이를 반영하듯이 생물학 전 영역을 포괄하는 일반생물학 교과서에 포함되는 내용도 날이 갈수록 증가하고 있다. 일례로 전 세계적으로 가장 많이 채택되는 것으로 알려진 Campbell 등이 저술한 'Biology'의 경우 2002년에 출판된 6판의 본문은 55개 단원(chapter)으로 구성된 1319쪽의 분량이고 2015년에 출판된 10판은 56개 단원으로 구성된 1512쪽의 분량이어서 약 15% 정도 증가하였다.⁴⁾ 판수가 바뀌는 간격도 짧아지고 있다. 여러 일반생물학 저서들이 4년에 한 번씩 판수가 바뀌었으나 2000년대 들어 3년에 한 번씩 판수가 바뀌고 있다.⁵⁾ 이는 출판사의 판매 전략일 수 있지만 실제로 바뀐 판에는 꽤 주목할 만한 내용과 분량으로 최근의 발전된 연구 성과들을 반영하고 있다.

현대의 생물학은 분자 수준의 발전을 토대로 하여 빠르게 발전하고 있다. 개별 유전자나 세포 또는 개체 등의 구조와 기능이 주요한 연구 주제였던 과거와 달리 생물 체계를 하나의 system으로 파악하려는 시도⁶⁾들이 늘

3) 이 사실은 도서관에서 우연히 한권의 해당 학술지를 집어 살펴보면 확인 할 수 있다. 2015년 9월 10일자 Nature지의 경우, Research 부문에 게재된 News 또는 Article이 모두 27편인데 이 중 21편이 생물학과 관련된 것이다.

4) 분량의 증가는 일반적인 현상인데 또 다른 예는 Sadava 등이 저술한 'Life: the Science of Biology'이다. 2008년에 출판된 8판은 56개 단원으로 구성되었으나 2014년에 출판된 10판은 59개의 단원으로 구성되어 3개의 단원이 증가하였다.

5) Campbell 등이 저술한 'Biology'의 경우, 7판까지는 4년에 한 번씩 판수가 바뀌었으나 8판부터 2015년에 출판된 10판까지는 3년에 한 번씩 판수가 바뀌었고 Jay Phelan이 저술한 'What Is Life?: A Guide to Biology'도 2010년에 초판, 2013년에 2판을 출판하였다. 또한 Russel 등이 저술한 'Biology: the Dynamic Science'는 2012년에 2판, 2014년에 3판을 출판하였다.

6) 세포, 개체, 생태계 등을 하나의 system으로 간주한다. 각 system을 구성하는 여러 성분들과 이들의 상호작용에 대한 정보를 이용하여 실제로 있음직한 생명현상을 simulation하는 것을 systems biology라 한다.

어나고 있다. 전체 생물을 아우르는 진화 계통수를 분자 수준에서 파악하여 재정립하는 분자진화학, DNA와 단백질 등에 대한 엄청나게 많이 축적된 정보를 일정한 논리에 의거하여 설명하는 생물정보학, 유전체, 단백질체, 전사체, 대사체 등 생물을 구성하는 성분들을 한꺼번에 연구하는 오믹스(omics) 등은 과거의 연구 성과를 기반으로 하지만 생명을 이해할 수 있는 새로운 접근방법이 유용함을 나타낸다. 이들은 발전된 기술을 토대로 하고 매우 포괄적인 특징을 갖고 있어서 생명현상의 규명이 새로운 차원에서 이루어질 수 있음을 예견하고 있다.

물리학과 화학 영역은 많은 법칙을 담고 있다. 화학의 경우만 살펴보다 라도, 보일의 법칙, 질량보존의 법칙, 아보가드로의 법칙 등을 포함한 매우 많은 법칙들이 나열될 수 있다. 이에 비교하여 생물학 고유의 법칙은 앞의 두 분야에 비해 거의 없다고 판단해도 틀리지 않을 것이다. 멘델의 분리의 법칙과 독립의 법칙, 하디-바인베르크 평형의 법칙 등 일부 예를 들 수 있지만 이 외의 법칙들을 예로 들기 쉽지 않고 앞의 법칙들도 유성생식을 하는 생물들의 유전에 제한적으로 적용되는 것이라 할 수 있다. 도브잔스키의 말을 인용⁷⁾하지 않더라도 생물학을 공부하려는 많은 학생들에게 생명현상을 기술한 일반생물학 저서에서 볼 수 있는 내용들은 많은 사실의 나열로 간주될 수도 있다. 이를 반영하듯이 고등학교에서 ‘생명과학1’ 또는 ‘생명과학 2’ 교과목을 채택하여 공부한 학생들의 대다수가 생물학을 암기하는 과목으로 기억하고 있다. 그러나 생명현상을 총체적으로 살펴보면 생명현상을 포괄하는 많은 이론과 몇 가지 중심적인 주제가 있어서 이 주제(들)을 이해한다면 생물학의 내용과 생명현상 전반에 대한 파악을 체계적으로 이룰 수

7) 우크라이나 출신의 저명한 유전학자인 Theodosius Dobzhansky는 ‘Nothing in biology make sense except in the light of evolution’ 라는 말로 유명하다. 1973년에 출판된 논문 주제가기도 한 이 말은 생물학을 관통하는 주제가 없다면 생물학의 많은 내용은 단순한 사실의 나열에 불과함을 나타내는 명제이다.

있을 것이다.

예측을 불허할 정도로 빠르게 바뀌면서 발전해가는 최신의 경향을 이해하고 단순한 사실의 나열이 아닌 생명현상을 본질적으로 파악하는 것은 생물학을 가르치는 교강사에게 필수적이고 공부하는 학생들에게도 매우 중요하다. 이는 단순히 새로운 발견 또는 진전을 그때그때 이해하거나 다양한 생명현상을 암기하는 것만으로 가능한 일이 아니다. 따라서 생물학의 중심 주제를 이해하는 것은 생물학의 전반적인 구도를 이해하는 토대가 되는 것은 물론 현대생물학의 빠른 변화를 이해하는 데에도 중요한 근거가 될 수 있다. 이는 현대의 변화무쌍한 사회에 적응하기 위한 가장 좋은 지적 토대가 고전인 것과 맥락이 닿아있다고 할 수 있다.

대부분의 교강사들은 첫 번째 단원(introductory chapter)을 수업하지 않고 있다.⁸⁾ 이 교강사들은 첫 번째 단원의 중요성을 인정⁹⁾하면서도 수업하지 않는 이유에 대해서 첫 번째 단원에 나열식으로 내용들이 배치되었다는 의견과 함께 주로 첫 번째 단원의 내용이 뒤 단원들과 겹치기 때문이라 주장한다. 그러나 한 학기 동안에 수업하는 단원들을 비교하면 첫 번째 단원에는 뒤 단원에서 포괄하지 못하는 내용을 포함하기도 한다. 그리고 앞으로 살펴 보겠지만 첫 번째 단원은 생물학 전체를 개괄하여 볼 수 있는 눈을 제공할 뿐만 아니라 생물학을 관통하는 주제들을 정리하여 담고 한다.

일반생물학 수업에서 첫 번째 단원을 강조하는 이유는 한 학기 동안 진행될 수업의 내용을 고려할 때 도입부에서 학습자가 주도적이고 유의미한

8) 수업 진행에 대한 대화를 통해 알게 된 사실은 대학의 일반생물학 성격의 교과목 수업이 진행될 때 교강사들은 첫 번째 단원을 수업하지 않는 경우가 많다는 것이다. 반면 첫 번째 단원을 수업하는 교강사는 일반생물학 교강사 1415명 중 34명 정도에 지나지 않는다.

9) 매 학기가 시작 전에 열리는 일반생물학 수업을 위한 workshop에서 교강사들은 첫 번째 단원에서 계층구조와 창발성, 진화, 과학적 방법론 등을 포함한 표2에서 제시한 주제들이 중요하고 이후 단원의 수업 전에 가능하면 소개하는 것이 유용한 중요한 주제라는 데에는 이견이 없다.

학습으로 시작하는 것을 중요하게 간주하기 때문이기도 하다. 이 때 첫 번째 단원은 학생들에게 이후 수업을 통해 설명 될 단원들과의 내용적 연계성과 생물학의 특징인 여러 수준에서의 설명이 가능한 체계성을 띤다고 볼 수 있어 오수벨(Ausubel)이 제시한 유의미 학습모델(meaningful learning model)로 설명이 가능하다(김영봉 등, 2008). 그래서 첫 번째 단원은 학습자인 학생들에게 이후 단원을 학습하는 데에 선행 조직자(advance organizer)로 작용한다고 판단할 수 있다. 생물학 교과서에 대한 분석에서 이와 같은 접근은 종종 발견되는데 고등학교 교과인 과학 교과목에 대한 전성호(2011)의 논문도 그 중 하나이다.

이 논문은 생물학의 주요한 주제를 정리하여 소개하는 생물학 교과서의 첫 번째 단원의 내용을 제시하고 그 중요성을 강조하여 수업에서 꼭 활용하도록 권장하는 데에 목표를 두고 있다. 이 연구는 생물학 전공자가 아닌 이공계 대학생들을 주요 학습자로 하는 일반생물학 성격의 교과목들을 대상으로 하였다. 이를 통해 거의 대부분의 대학에서 개설된 일반생물학 성격의 교과목을 수업하는 데에 도움을 주고자 하였다. 이 연구에서는 생물학의 주제(biological themes)에 대한 소개를 가장 체계적이고 풍부하게 수행한 Campbell 등이 저술한 ‘Biology’ 를 중심으로 다섯 권¹⁰⁾의 저서를 참고하였다.

2. 첫 번째 단원의 구성과 내용

〈표 1〉 대학 수준 생물학 교과서의 첫 번째 단원의 구성

저자	Campbell 등	Freeman 등	Russel 등	Sadava 등	Jay Phelan
저서명	Biology	Biological Science	Biology the dynamic science	Life: the Science of Biology	What Is Life

10) 이 글에 등장하는 일반생물학 저서들의 저자와 제목 등의 정보는 참고문헌에 첨가하였다.

구성	생명의 특징 생물학 주제 생물학의 가장 큰 주제 과학적 방법	생명의 정의 생물학 주제 과학적 방법	생명의 정의 생물학 주제 생물학적진화 생물다양성 생물학 연구	생물학의 주제 생물다양성 과 진화 과학의 방법 생물학과사회	과학의 정의 과학적 방법 생물학의 주제
비고		핵심주제는 세포와 진화			주요주제는 제목만 나열

일반생물학 내용을 다루는 주요 저서들의 첫 번째 단원을 비교하였다. 표1에서 나타나듯이 대부분의 저서들은 생명의 정의 또는 특징을 기술하였고 많은 경우, 과학적(또는 생물학적) 방법에 대하여 소개하고 있다. 생물학의 주제에 대해서는 Campbell 등(2015), Russel 등(2014), Sadava(2014) 등이 자세하게 몇 가지를 소개하는 데에 반해 다른 저서들은 상대적으로 적은 수의 주제를 담고 있다. 그러나 대부분의 저서들이 나타내는 공통점은 가장 포괄범위와 중요도가 큰 핵심주제로서 진화를 강조하고 있다는 점이다. Campbell 등(2015)은 주제에 대한 설명 이외에 핵심주제로 진화에 대한 설명을 담고 있고 Freeman 등(2014)의 경우, 진화를 중심 주제로 삼아 첫 번째 제목에 계통수를 포함하고 있다. Phelan(2014)의 첫 번째 단원은 독특하게도 생물학의 주제는 제목만 나열하였고 주로 과학의 정의와 방법에 대해서 기술하였다. 요컨대 대부분의 일반생물학 저서들이 본격적으로 생물학 내용을 전개하기 전에 도입부로서 설정한 첫 번째 단원에는 생명의 정의, 생물학의 주제, 과학의 정의와 방법 등을 포함한 것으로 판단할 수 있다. 또한 첫 번째 단원의 이러한 구성은 생물학 교과과정에서 거의 필수적인 것으로 간주될 수 있다. 우리나라의 고등학교 ‘생명과학1’ 에서도 이를 반영하여 내용요소를 작성한 것으로 보인다.¹¹⁾

11) 2009개정 ‘생명과학1’ 의 첫 번째 영역인 (1) 생명과학의 이해에는 생명현상의 특징, 생물체의 구성 체계, 과학자 탐구에 의한 생명과학의 구성 등이 제시되어 있다.

2.1. 생물의 개념

생물을 정의하기가 용이한 일은 아니다. 가장 간단하게는 생물은 대사를 수행하면서 번식하는 것이라는 정의이다. 이 정의는 매우 집약적인 것으로 생물학을 전공하거나 생물학에 관심이 큰 사람들에게 쉽게 받아들여질 수 있다. 또한 생물의 탄생을 연구하고 논의할 때 이 간단한 정의는 꽤 유용하다.¹²⁾ 그러나 이 정의는 생물을 이해할 때 너무 포괄적일 수 있어 생물의 특징에 대한 비교적 구체적인 설명을 필요로 한다. 일반생물학 저서마다 생물의 특징에 대한 묘사가 다르지만 이를 감안하더라도 다음과 같은 특징이 제시될 수 있다.

첫째 생물체들은 자기만을 독특한 구조(적 질서)를 유지한다는 점이다. 해바라기나 사자 등 생물의 명칭을 듣게 되면 사람들은 이 생물들의 공통적인 구조를 떠올리는 것이 자연스럽다. 또한 이 생물들이 세포로 이루어져 있고 세포들이 모여 몸의 기관, 기관들이 몸 전체를 구성 등의 계층 구조를 이루고 있음도 잘 알려져 있다. 둘째 모든 생물은 적응을 통해서 진화한다는 점이다. 주어진 자연환경에 적응할 수 있었던 생물들은 유전자를 자손에게 남기는 데에 일반적으로 더 유리했을 것이다. 보호색, 의태, 초식동물과 육식동물의 행동 등을 비롯한 수많은 예가 이러한 특징을 지지한다. 셋째 생물은 환경에 반응한다는 점이다. 생물은 온도, 습도, 빛, 중력 등의 무생물적 요인과 다양한 생물적 요인에 대응하여 반응한다. 넷째 생물은 조절작용을 수행한다는 점이다. 온도, 염분의 농도, pH 등의 체내 조건들을 일정하게 유지하는 항상성이라는 특징이 대표적인 예라 할 수 있다. 다섯째 생물은 에너지를 부단히 가공한다는 점이다. 에너지의 공급과 소비 없이는 생명

12) 최초의 세포인 원시세포(proto-cell)의 탄생에서 대사 관련 분자와 번식 관련 분자의 출현 순서에 대한 논의를 보면 이 정의의 유용성을 알 수 있다. 참고문헌에 수록된 Hazen(2005)의 저서 참조.

을 유지할 수 없다. 여섯째 생물은 번식을 한다는 점이다. 모든 생물은 자손을 낳아 대를 이어 유전자를 전달한다. 일곱 번째 특징은 생물은 세포로 이루어져 있고 유전물질로서 DNA를 가지고 있다는 점이다. 여덟 번째는 생물은 성장과 발생을 한다는 점이다.

간략하게 살펴본 앞의 여덟 가지 특징은 일반생물학 저서들의 여러 각론의 내용을 요약, 정리한 결과로 보일 수도 있다. 더불어 이러한 특징들은 간단한 정의만으로는 부족할 수 있는 생물에 대한 개념을 세우는 데에 더 많은 도움을 제공한다. 그런데 이 특징들이 원핵생물과 단세포 진핵생물에게도 동일한 정도로 적용되는지는 논란의 여지가 있다. 단세포 생물의 경우, 성장과 발생은 세포 수준에서 설명되어야 하는 난점을 갖고 있음은 물론 구성의 계층 구조에도 한계를 보인다. 따라서 생물을 설명하는 것이 구체성이나 보편성 등을 고려할 때 일률적이고 단순한 것이 아님을 알 수 있다. 이러한 특징에 대한 이해는 생물의 자격을 판별할 때 기준으로 적용될 수도 있다. 바이러스는 첫째와 여섯째의 특징은 일부 지녔다고 할 수 있지만 나머지 여섯 가지의 특징은 지니고 있지 않아 생물로 간주되지 않는다. 이처럼 생물의 특징에 대한 묘사가 생물에 대한 이해에 도움을 주지만 생물학을 학습하는 데에 더 중요한 것은 생물학을 관통하고 있는 주제일 것이다.

2.2. 생물학의 주제

〈표 2〉 일반생물학 저서 첫 번째 단원에 수록된 생물학 주제

저서	생물학 주제
Biology	계층구조와 창발성, 유전정보, 세포설, 에너지 전환, 환경과 조절, 상호작용, 진화론
Biological Science	세포설, 진화론, 계통수
Biology the dynamic science	계층구조와 창발성, 유전정보, 대사와 에너지, 환경과 조절, 번식과 발생, 개체군의 변화, 생물학적 진화, 생물 다양성

Life: the Science of Biology	세포설, 자연선택에 의한 진화, 유전정보, 에너지 전환, 조절, 생물간 상호작용
What Is Life	계층구조, 진화의 힘

위의 다섯 저서들을 비교한 결과, 생물학의 가장 핵심적인 주제는 ‘진화’임을 알 수 있다.¹³⁾ 진화 이외의 주제 중에서 가장 중요한 주제로 간주되는 것은 계층구조에 대한 것이다. 생물학 연구는 분자, 세포소기관, 세포, 조직, 기관, 기관계, 개체, 개체군, 군집, 생태계 등의 여러 수준(level)에서 이루어지는 계층 구조를 가진다. 따라서 생물학은 이 여러 수준에서 생명현상을 다루고 있다. 더불어 생명현상은 수준이 높아질 때마다 아래 수준에서 볼 수 없었던 새로운 특징이 나타나는 ‘창발성(emergent property)’을 띠고 있다. 이는 생물학에서 매우 뚜렷하게 볼 수 있는 중요한 주제이다.¹⁴⁾ 생명현상을 연구하는 과정에서, 아래 수준에서의 연구는 그 위 수준에서의 생명현상의 특징을 종합할 수 있는 ‘전체론(holism)’적인 접근을 통해 완성된 결론에 이를 수 있다. 마찬가지로 위 수준에서의 생명현상에 대한 분석은 아래 수준에서 볼 수 있는 다양한 구성요소를 분석하는 ‘환원론(reductionism)’적 접근으로 ‘원인-결과’의 관계(cause and effect relation)를 파악하는 데에 위력을 발휘한다.¹⁵⁾ 따라서 생물학은 다양한 수준에서의 연구를 수행하고 종합할 것을 요구하고 이러한 연구 성과들은 일반생물학 저서에서 수준에 따라 잘 정리되어 있다. 생물의 구조와 기능의 관련성도 여러 수준에서 설

13) 이 주제에 대해서는 뒤에서 논의할 예정이다.

14) Na⁺와 Cl⁻ 각각의 이온이 지닌 성질만 파악한다면 이 두 이온이 결합하여 생긴 NaCl의 성질을 알 수 없다. 즉 수준이 하나 높아지면서 새로운 성질이 출현한 것이다. 이런 창발성의 예는 바닷가의 모래들이 보이는 무늬의 생성에서도 볼 수 있다. 모래의 양이 증가하거나 바닷물이 에너지를 공급하면서 새롭게 출현하는 일정한 패턴의 무늬가 이에 해당한다. 이렇게 무생물에서도 예를 볼 수 있으나 생물학에서 발견되는 창발성의 사례는 압도적으로 많고도 다양하여 이 특징은 생명현상을 이해하는 데에 매우 유용한 개념이다.

15) 아래 수준에서의 연구 내용을 집대성하여 위 수준에서 하나의 system으로 생명현상을 설명하려는 시도가 시스템생물학(systems biology)이다.

명될 수 있고 해당 예들이 제시되어 있다. 이러한 특징은 일반생물학 저서의 첫 번째 단원에서 강조하는 예가 있고 그렇지 않더라도 많은 일반생물학 저서의 구성은 이를 반영하고 있다. 예를 들어 Freeman 등(2014)의 저서인 Biological Science의 첫 번째 단원에서 생물학에 대한 전반적인 소개에 생물 또는 생물학의 계층구조와 그에 따른 발달성에 대한 설명을 포함하고 있지 않다. 그렇지만 전체 책의 구성을 보면, 단원이 진행되면서 분자, 세포, 개체, 개체군, 군집의 수준 등에서의 내용을 담고 있어 생물학의 계층구조를 잘 나타내고 있다.¹⁶⁾

세포설¹⁷⁾은 또 하나의 생물학 주제이다. 생명현상의 기본 단위는 세포이다. 즉, 세포가 파괴되면 생명현상이 일어나지 않는다. 생명의 역사에서도 세포가 출현한 이후부터 나타난 생명현상을 근거로 본격적인 생명의 정의가 가능했다고 볼 수 있다. 또한 과거에 있었던 생물은 물론 현존하는 수많은 종의 생물들도 세포 하나가 개체인 단세포생물이다. 다세포 생물의 경우, 세포들 사이의 소통은 생명을 유지하는 데에 매우 중요한 역할을 하는 점도 생명의 최소 단위로서 세포의 중요성을 나타낸다. 따라서 여러 수준에서 생명현상을 이해할 수 있지만 세포 수준에서의 구체적인 현상의 이해가 가장 기본적이라 할 수 있다.

생명현상을 이해하는 또 다른 주제는 유전정보의 발현과 전달이다. 모든 생물은 유전물질로서 DNA를 갖고 있는데 이 분자는 복제되어 자손에게 전달되고 개체들의 생명현상을 담당하는 단백질을 비롯한 생체분자를

16) 이 책의 전체 구성은 다음과 같다. 크게 9개의 대제목으로 구성되어 있는데 전반부의 '생명의 분자'와 '유전자 구조와 발현' 이 분자 수준, '세포의 구조와 기능'은 세포 수준, '발생생물학', '식물의 작용', '동물의 작용'은 기관, 기관계, 개체 수준, '진화적 과정과 양식', '생태학'은 개체군, 군집, 생태계 수준에서 생물학 내용을 다루고 있다. 이렇게 수준을 달리하여 생물학 전반을 구성한 예는 다른 일반생물학 저서에서 흔히 볼 수 있다.

17) 세포설은 첫째 모든 생물은 세포로 이루어져 있고 둘째 세포는 세포로부터 유래한다는 내용의 이론이다.

만들어내는 암호를 지니고 있다. 일반생물학 저서들은 DNA의 구조와 복제, 전사, 번역, 유전자 발현 등에 대한 단원을 할애하지만 모든 생명현상에 유전자 발현이 관여하는 것을 기본으로 하여 생명현상에 대한 설명을 하고 있다.

생명현상은 에너지를 사용하는 과정이므로 생물은 끊임없이 에너지를 얻어 소모하여야 한다. 동물의 경우, 소화, 호흡, 순환 등의 과정은 에너지 대사를 위해 서로 밀접하게 연관되어 기능한다. 에너지를 얻고 소비하는 방법에 따라 생산자, 소비자, 분해자 등 생태학적 분류가 가능하고 이는 생물들 사이 또는 생물과 무생물사이의 상호작용을 연구하는 데에 기본적인 토대가 된다. 생물은 이처럼 에너지와 물질을 전달하고 전환한다는 것 또한 생물학의 주제이다. 생물의 조절 작용은 생물학의 또 다른 주제이다. 생물은 음성 되먹임조절을 통해 항상성을 유지하거나 양성 되먹임조절을 통해 빠른 반응을 유도한다.

2.3. 생물학의 핵심 주제: 진화

생물은 매우 다양하다. 학명이 부여된 종만 180만 정도인데 생물학자들은 적어도 천만 많게는 3억 정도까지 지구상의 생물 종의 수를 추산한다 (Campbell 등, 2015, p58). 반면 지구상의 모든 생물들은 공통점을 지니고 있다. 모든 생물은 세포로 이루어져 있고 DNA를 유전물질로 보유하고 있다. 모든 생물은 DNA로부터 단백질을 만들어 표현형을 나타내며¹⁸⁾ 단백질을 합성할 때 해독하는 암호가 동일하다. 또한 모든 생물은 섭취한 에너지를 ATP로 전환하여 사용한다. 그리고 생물들은 전체 몸 구조가 서로 다르지만 세포수

18) 단백질 합성과정에는 리보솜이 관여하는데 이는 지구상의 모든 생물은 리보솜을 갖고 있음을 의미한다. Carl Woese(1978)는 이점에 착안하여 지구상의 모든 생물을 분류하는 기준으로 리보솜 유전자를 사용하였다.

준에서는 동일한 구조를 지닌 경우도 꽤 존재한다. 이러한 공통점들은 현존하는 모든 생물이 하나의 공통조상에서 유래했음을 강력하게 지지한다.¹⁹⁾ 요컨대 현존하는 생물들은 매우 다양하지만 공통조상에서 유래한 것으로 간주할 수 있다. 진화는 현존하는 생물들의 다양성과 공통조상으로부터 현재 이르기까지의 생물의 변화를 반영한 역사를 설명할 수 있다. 따라서 ‘진화’는 생물학의 가장 중요한 핵심 주제로서 충분한 자격이 있다.

모든 일반생물학 저서들은 진화를 몇 개의 단원을 할애하여 집중적으로 다루고 있다. 표3에 보듯이 대부분 5개 이상의 단원에서 진화를 직접 소개하고 있다. 그만큼 생물학에서 진화는 중요한 위치를 차지한다고 판단할 수 있다. 그런데 진화의 중요성은 첫 번째 단원에서도 나타난다. 모든 일반생물학 저서들은 진화를 생물학의 핵심적인 주제로 소개하여 생명현상을 이해하는 데에 도움을 주고자 하고 있다.

〈표 3〉 각 저서별 ‘진화’를 직접적으로 소개한 단원

저서	해당 단원의 제목
Biology	유전체의 진화, 다윈주의와 진화의 증거, 계통수, 소진화, 종의 분화, 대진화
Biological Science	자연선택에 의한 진화, 진화과정, 종분화, 계통과 생명의 역사
Biology the dynamic science	진화적 사고의 발달, 소진화, 종분화, 고생물학과 대진화, 계통분류학과 계통발생학
Life: the Science of Biology	발생과 진화, 진화의 메카니즘, 계통발생학, 종분화, 유전자와 유전체의 진화, 지구 생물의 역사
What Is Life	진화와 자연선택, 진화와 행동, 지구생명의 기원과 다양성

진화론은 다윈이 종의 기원을 발표한 1859년 이후로 꾸준히 검증되어 왔다. 즉, 유전학, 세포학, 발생학, 분자생물학 등 19세기말과 20세기 그리고

19) 모든 생물이 유전암호를 해독하여 아미노산을 배열하는 방식이 동일한 사실은 공통조상이 존재했음을 의미하는데 그 공통조상이 출현할 가능성이 희박하다고 판단한 Francis Crick은 공통조상이 외계의 지적 생명체의 의도에 의해 유래했을 가능성을 제안했다.

21세기에 이르기까지 다양한 분야에서 수행된 수많은 연구 성과들이 진화가 일어났음을 증명하였다. 현대에는 발생과 진화의 관련성을 연구하는 발생진화학(evo-devo)과 진화를 분자 수준에서 전체 유전자를 대상으로 연구하는 분자진화학의 중요성이 강조되고 있다. 모든 일반생물학 저서들이 진화를 첫 번째 단원에서 다루는 또 하나의 이유는 바로 이런 현대 생물학의 조류를 반영하고 있기 때문이다. 나머지 이유는 진화가 과학적 이론임을 강조하는 것이다. 이러한 시도를 통해 일부 종교 단체가 주장하는 창조론과의 필요 없는 마찰을 피할 가능성이 증가하기 때문일 것이다.

2.4. 과학의 정의와 방법

일반생물학 저서들은 모두 첫 번째 단원에서 과학의 정의와 과학적 방법을 기술하고 있다. 과학적 방법은 귀납적 추론과 연역적 추론으로 나누어 설명하고 있다.²⁰⁾ 두 가지 추론 모두의 중요성과 차이점을 기술하고 있다. 또한 과학의 방법으로 가설의 설정과 증명에 대해 기술하고 있다. 우선 가설의 정의와 중요성 그리고 가설의 조건을 소개하고 가설검증을 위한 결정 실험의 중요성과 실험에서 대조구와 처리구의 정의와 의미 등을 설명하고 있다. 더불어 과학적 판단의 대상이 아닌 것들, 미적 판단, 신의 존재 등에 대한 언급도 포함하고 있다.

대학에서 교과서로 사용하는 일반생물학 저서들은 첫 번째 단원에서 과학에 대한 기술을 함으로써 저서 내에 실린 생물학적인 내용들이 과학이고 과학적인 방법으로 검증된 것임을 제시하고 있다. 또한 생명현상을 관찰하고 연구할 때 과학적인 방법을 사용할 것을 요구하고 있다. 물리학 또는 화학을 통해 과학의 정의와 과학적 방법을 배운 독자를 대상으로 하더라도 일

20) 기술하는 방식은 다르지만 이 연구에서 인용한 5권의 저서 모두 비슷하게 과학을 다루고 있다.

반생물학 저서는 첫 번째 단원에 과학의 정의와 방법을 소개함으로써 과학의 중요성을 다시 한 번 강조하고 있다.

이 점은 고등학교 생물학 교과과정과 일관성을 띠고 있다고 할 수 있다. 2009개정 생명과학1의 ‘(1) 생명과학 이해’ 단원에 생명과학 지식이 과학자의 탐구를 통해 이루어진 과학의 체계를 강조하고 있다.²¹⁾ 그러나 고등학교 때에 ‘생명과학1’을 배우지 못한 학생들은 과학의 정의와 방법을 처음으로 접하게 된다. 게다가 과학의 정의와 방법이 대학의 생물학 교과내용처럼 자세하지 않아 이 내용은 첫 번째 단원에서 중요한 위치를 차지한다고 볼 수 있다.

3. 생물학의 주제: 각론과의 연계성

〈표 4〉 일반생물학 저서의 대제목과 단원 이름

대제목	단원 이름
생물학 소개	생명의 정의, 생물학 주제, 과학적 방법
기초 화학	원자와 분자, 물, 생명체의 유기 분자와 거대분자
세포	원핵세포와 진핵세포, 세포막과 세포소기관, 세포주기와 이의 조절, 세포간 소통
에너지학	ATP와 효소, 광합성, 발효와 세포내 호흡
유전	감수분열과 생식세포 생성, 멘델의 유전법칙, 염색체와 유전
분자 생물학	DNA의 특징과 복제, 전사와 번역, 유전자 발현조절, 바이오테크놀로지
진화	다윈주의, 소진화, 종의 분화, 대진화, 계통발생학
생명체의 다양성	바이러스, 고세균과 진정세균, 원생생물, 식물의 다양성, 균류, 동물의 다양성

21) 2009 개정 교육과정에서는 과학의 정의와 방법을 독립된 단원에서 기술하지 않았다. 제7차 교육과정에서는 ‘과학’ 교과목의 ‘과학의 탐구’ 단원에서 과학자가 하는 일, 과학에서의 탐구 등의 내용을 담고 있다.

동물의 구조와 기능	구조와 기능의 기본 원리, 번식과 발생, 소화계, 순환계, 호흡계, 면역계, 배설계, 재분비계, 신경계, 감각기관과 운동기관, 행동학
식물의 구조와 기능	식물의 성장과 발생, 식물의 수송, 식물의 영양, 식물의 생식, 식물의 반응
생태학	생태계, 개체군의 특징, 군집과 생태계, 보전생태학, 전 지구 차원의 이슈

표4는 일반생물학 저서의 차례를 큰 제목과 작은 제목(단원에 해당)으로 나누어 정리한 것이다. 앞에서 Freeman 등(2014)의 저서에 대해 기술한 것처럼 대제목은 생물학의 주제 중의 하나인 생명의 계층구조를 어느 정도 반영한다. 또한 세포, 유전자, 진화 등에 대한 내용은 일부 단원에서 집중적으로 기술하고 있다. 더불어 이 주제들은 집중적으로 기술된 단원 이외에도 광범위하게 퍼져 기술되어 있다. 그러나 나머지 주제들은 제목에서 명시적으로 드러나지 않는다.

위 표의 대제목은 주제와 일치하기도 한다. 세포, 에너지학, 진화 등이 그 예이다. 이 대제목들은 생물학의 주제에 대한 상세한 설명을 담고 있는 총론에 해당한다. 유전과 분자생물학은 명시적으로 주제와 연관성을 나타내지 않지만 단원 이름을 보면 유전정보와 발현과 전달에 해당하는 내용을 담고 있다. 예를 들어 ‘생명공학’ 단원에는 DNA 염기서열결정, DNA와 유전자의 증폭, PCR에 의한 클로닝, 유전자 발현 방법, 유전자 발현 분석, 유전자 기능 결정, 식물 복제, 동물복제, 동물줄기세포, DNA 기술의 응용, 범죄증거 분석, 환경정화, 농업에 응용, DNA 기술의 안전과 윤리적 문제 등의 내용요소를 포함하고 있는데 약간의 다른 주제와 함께 모두 유전정보의 발현과 전달이라는 주제와 관련되어 있다.

이러한 주제를 적용하면 학생들이 생명현상을 이해하는 데 유리할 것으로 보인다. 이에 해당하는 예는 영양이나 기체교환 등 생물들의 주요한 특징을 다루는 각론이다. 표5와 표6은 각각 동물 소화계와 식물의 반응 단원

의 내용요소를 해당하는 주제와 연관시켜 나열한 것이다. 각 내용요소가 포함된 풍부한 내용을 이해하는 데에 옆에 기술된 해당 주제들을 토대로 학습을 한다면 체계적인 이해가 가능할 것이다. 그런데 아래와 같은 표는 생물 다양성, 동물의 구조와 기능, 식물의 구조와 기능, 생태학 등의 대체목이 포괄하는 여러 단원에서 쉽게 작성될 수 있어 활용에 어려움이 없을 것으로 판단된다.

〈표 5〉 소화계 내용요소와 해당 주제

내용 요소	해당 주제 ^a
필수영양소	에너지 대사, 적응과 진화
섭취, 소화, 흡수, 배설	에너지 대사, 계층구조
구강, 인두, 식도	구조와 기능, 계층구조
위에서의 소화	구조와 기능, 세포
소장에서 소화	구조와 기능, 세포
영양분 흡수	구조와 기능, 에너지 대사
대장에서 흡수	구조와 기능의 관련성, 적응과 진화 ^b
치아 적응	적응과 진화, 구조와 기능
위와 장의 적응	적응과 진화, 상호작용
공생적 적응	다른 생물과의 상호작용, 진화
소화조절	조절작용, 유전정보
에너지 저장의 조절	조절작용, 세포
비만과 진화	조절작용, 진화

a: 가장 관련이 깊은 최대 2가지 주제를 포함시킴

b: 예를 들어, 수생동물은 물의 흡수가 기능인 대장이 없다.

〈표 6〉 식물의 반응 단원의 내용요소와 해당 주제

내용 요소	해당 주제
식물의 신호전달	세포, 계층구조, 조절작용
식물호르몬	조절작용, 세포, 구조와 기능, 유전정보
빛에 대한 반응	구조와 기능, 조절작용, 적응과 진화
식물의 운동	구조와 기능, 조절작용
식물의 방어	상호작용, 조절작용, 진화

4. 결론에 대신하여: 대학의 (일반)생물학 수업에 대한 제언

앞에서 살펴 본 다섯 권의 일반생물학 저서들은 대학에서 교과서로 채택하여 사용되고 있다. 일반생물학을 수강한 학생들은 이 책들의 구성을 좇아 공부를 하게 된다. 대학에서 교재로 채택되어 사용될 것을 전제로 구성된 이 저서들은 도입부에서 생물학 학습에 중요한 내용들을 소개한다. 그래서 첫 번째 단원의 중요성은 너무나 당연한 것이다. 또한 일반생물학 교과서로 사용되는 거의 대부분의 저서들은 첫 번째 단원에서 과학의 정의와 과학적 방법론을 같이 소개하고 있다. 고등학교 ‘생명과학1’ 교과과정에 과학의 방법에 대한 소개가 있으나 미약한 수준이어서 대학 수준에서 제시한 과학의 정의와 방법은 학생들이 생물학을 비롯한 과학 교과목들을 학습하는 데에 매우 유용할 것이다. 따라서 교강사는 이 단원을 수업하는 것이 의미가 있음을 인정해야 한다.

첫 번째 단원을 학습함으로써 학생들은 생명의 정의가 단순하지 않음을 알게 될 것이고 생명현상을 다루는 학문인 생물학이 여러 생명현상을 몇 가지 중요한 주제로 정리되어 있음을 알게 될 것이다. 또한 학생들은 과학적인 방법이 무엇인지 알게 되고 생물학이 과학적인 방법에 의해 구축되었음을 알게 될 것이다. 첫 번째 단원을 수업한 학생들은 이후의 단원들을 학습하면서 생명의 정의, 생명체의 구성 체계와 진화, 세포, 유전정보, 조절, 구조와 기능 등의 원리 속에서 각 단원에 기술된 생명현상을 이해하게 될 것이다. 그 결과, 학생들은 생물학에 대한 이해의 폭과 깊이가 늘어날 것이다. 이러한 시도를 통해 기존의 생물학 교육이 노출한 문제점인 ‘생물학 내용을 외운다’, ‘생물학 내용에 대한 계층구조와 진화론적 관점을 갖지 않는다’ 등을 개선하는 데에 도움이 될 것으로 판단된다.

첫 번째 단원을 수업한 분반과 그렇지 않은 분반과의 생물학에 대한 이해 정도를 비교할 수 있는 정교한 평가가 가능하다면 이 논문이 주장하는 바

에 대한 객관적 근거를 제공할 수도 있을 것이다.²²⁾ 각 단원의 수없이 끝난 후 관련된 생물학 주제들을 학생들이 제시하도록 하거나 해당 주제를 이해했는지를 평가할 문항을 작성하여 사용한다면 정교한 평가가 가능할 것이다. 이는 많은 노력과 시간은 물론 많은 전문가들의 협력 연구가 필요한 것으로 보인다. 그러나 ‘정교한 평가’가 없더라도 각주9에서 밝혔듯이 생물학의 내용과 구조에 대해 이해를 하는 생물학자들이나 교강사들은 첫 번째 단원의 중요성을 인정하는 데에 주저함이 없을 것이라 판단된다. 또한 주제를 강조함으로써 생물학이 적어도 단순한 암기를 요구하는 학문이 아닌 원리의 이해를 동반한 과학임을 인식하는 데에 학생들에게 도움을 줄 수 있을 것이라 판단할 수 있다.

더 나아가 첫 번째 단원을 강조함으로써 학생들이 생물학을 학습하면서 교양교육의 주요한 소양을 갖추는 데에 도움을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 학생들이 현상을 이해하는 데에 원리의 중요성을 인식하고 표면적으로 관련이 없게 보이는 현상들이 일정한 근거에 의해 상호 연관되어 있음을 알게 될 것이다. 요컨대 학생들이 과학적인 사고를 연마하는 데에 도움을 줄 수 있을 것이다. 학생들은 또한 생명현상을 여러 수준에서 이해할 수 있는 토대를 얻을 수 있을 것이다. 더 나아가 생명의 소중함을 깨닫는 데에도 일정 정도 도움을 줄 것으로 판단된다.

22) 정교한 평가는 아니지만 2014년 1학기에 첫 번째 단원을 포함하는 ‘공학생물학 및 실험1’을 수강한 5명의 학생들을 대상으로 한 인터뷰를 통해 얻었던 응답은 다음과 같다. 첫째 일반생물학을 구성하는 많은 내용을 이해하는 데에 암기만으로 가능하지 않고 원리에 대한 이해가 필요하다는 것을 알았다는 점이다. 둘째 암기를 해야 되는 내용이라 하더라도 첫 번째 단원에 제시된 주제들과 연관성을 고려하면 쉽게 암기가 가능하다는 점이다. 셋째 생물학도 물리와 화학처럼 실험과 관찰을 동반한 과학적 접근으로 이루어진 과학의 한 분야임을 알게 되었다는 점이다. 첫 번째 단원을 수업하지 않은 분반 학생들(4명)은 위의 대답을 하지 않거나 일부 학생들만이 첫째(1명)와 셋째(2명)의 대답을 하였으나 중요성에 대한 인지도는 상대적으로 적은 답을 하였다.

참고문헌

- 김영봉, 김경수, 강병재, 나항진, 박선미(2008) “오수벨(Ausubel)의 교수이론”, *신교육학개론*, 서현사, 152-154.
- 전성호(2011) “개정 고1 과학 교과서 생명과학 영역의 연속성과 계열성 검토 및 Ausubel의 유의미 학습이론 선행조직자 개념 활용방안 분석”, *고려대학교 석사학위논문*.
- Campbell, N.A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Robert B. Jackson, R. B. (2015) *Biology, A Global Approach*, 10th ed., Pearson.
- Crick, F.H., Orgel, L.E. (1973) “Directed Panspermia”, *Icarus* 19, 341-346.
- Dobzhansky, T. (1973) “Nothing in biology makes sense except in the light of evolution.” *The American Biology Teacher* 35(3), 125-129.
- Freeman, S., Quillin, K., Allison, L. (2014), *Biological Science*, 5th ed, Benjamin and Cummings.
- Hazen, Robert(2005) *제너시스: 생명의 기원을 찾아서*, 고문주 역, 한승.
- Phelan, Jay(2014) *What Is Life?: A Guide to Biology*, 2nd ed., W.H. Freeman and Company.
- Russel, P.J., Hertz, P.E., McMillan, B. (2014) *Biology: the Dynamic Science*, 3rd ed., Brooks Cole.
- Sadava, D., Hills, D.M., Heller, H.C., Berenbaum, M. (2014) *Life: the Science of Biology*, 10th ed., Sinauer Associates, Inc.
- Woose, Carl(1978) “A proposal concerning the origin of life on the planet earth.” *Journal of Molecular Evolution* 13, 95-101.
- <http://ncic.kice.re.kr/mobile.kri>

※ 이 논문은 2016년 2월 20일에 투고 완료되어
2016년 2월 26일 편집위원회에서 심사위원을 선정된 뒤
2016년 3월 12일까지 심사를 완료하여
2016년 3월 21일 편집위원회에서 게재가 결정된 논문임.

◆ 초록 ◆

일반생물학 수업에서 첫 번째 단원(Introductory chapter)이
제시하는 주제의 중요성

장수철(연세대학교)

신주옥(연세대학교)

많은 일반생물학 수업에서 첫 번째 단원(Introductory chapter)의 중요성은 간과되는 경향이 꽤 있다. 이 논문에서는 이러한 경향이 수업의 효과를 얻는 데에 효과적인 방법을 놓칠 수 있음을 지적하고자 한다. 일반생물학 수업에 교과서로 채택된 많은 책들은 각각의 장점을 드러내기 위해 잘 제작 되었는데 첫 번째 단원에는 이러한 장점들이 잘 요약되어 있다. 생명의 정의와 특징, 생물학의 주제, 과학적 방법 등을 묘사하는 가운데 각 저서들은 자신들만의 장점을 표현하고 있다. 따라서 첫 번째 단원을 수업에서 필수적으로 다루어져야 할 이유가 있는 것이다. 이 글에서는 세포, 유전정보, 개체들 사이의 상호작용, 조절, 구조와 기능의 관계, 생물학의 서열 구조, 진화 등 생물학 주제의 중요성을 강조하였다. 이 중 진화는 핵심적인 주제이다. 이 주제들은 다양하고 엄청난 양의 생물학적인 내용 속에서 생물학의 원리로 간주될 수 있다. 이러한 주제들을 마음에 새긴다면 학생들은 이전보다 생물학 공부에 더 나은 성과를 이룰 것으로 기대된다. 또한 교양교육 소양 중의 하나인 과학적 사고를 습득하는 데에 도움을 줄 것으로 보인다.

<주제어> 첫 번째 단원, 일반생물학, 과학적 방법, 주제, 계층구조, 진화

◆ Abstract ◆

The Importance of Themes Suggested in Introductory
Chapter for Classes of General Biology

Chang, Soo Chul(Yonsei University)

Shin, Chuog(Yonsei University)

In many classes of general biology the importance of introductory chapter has been commonly overlooked. This study was carried out to point out that such attitude can miss more efficient way in performing the course. Many general biology text books were designed to stand out their strengths and introductory chapters summarize the strengths. The summarized strengths are demonstrated in descriptions of life, themes of biology, and scientific methods. Therefore, introductory chapter should be regarded as an essential part to be given lesson. In this manuscript, we stress the importance of biological themes such as cells, genetic information, interaction with other individuals, regulation, relationship between structure and function, hierarchical structure, and evolution. Among these, evolution is the core. These themes should be working as principles among various and huge amount of biological features. Keeping these themes in minds, it is expected that students can reach higher performance in studying biology than before. In addition, this may be helpful for students in obtaining literacy of liberal education, i.e scientific thinking.

<Key Words> Introductory Chapter, General biology, Scientific method, Themes of biology, Hierarchical structure, Evolution