

소집단 면담을 통한 「과학 꿈나무 예비대학」 참가 중학생들의 유전자에 대한 선개념 분석 사례

유미정¹, 조은희²

조선대학교 교육대학원¹, 생물교육과²

A Small Group Interview on Genetic Concepts with Middle School Students Participated in a Science Camp

Mi Jung Yu¹, Eun Hee Cho²

Graduate School of Education¹, Department of Biology Education² Chosun University, Gwangju, Korea

요약

본 연구는 전남지역에 거주하는 중학생 5명과의 소집단 면담을 통하여 유전자에 대한 선개념과 오개념의 원인을 구체적으로 분석하고자 하였다. 학생들은 과학에 흥미를 가지고 있었으며, 정규 생물교과과정에서 유전자나 유전현상에 대해 배우지 않았지만, 대중매체나 타 교과에서 유전자나 유전자재조합기술에 대해 들어본 경험이 있었다. 다양한 생물과 무생물의 그림을 제시하고 이들이 유전자를 가지고 있는지, 그렇지 않은지에 대해 질문해 본 결과, 유전자를 부모로부터 자손에게 전달되는 유전정보라고 대답한 학생은 그가 이해한 유전자에 대한 정의를 일관되게 적용하여 잘 판단하였다. 그러나 4명의 학생들은 의외의 답을 말하였는데 이는 학생들이 "생물은 유전자를 가진다"는 사실은 이해하고 있었지만, 생물이나 생명현상을 올바르게 이해하지 못하고 있었다는 것을 알 수 있었다. 또, 학생들에게 동일한 유전자를 물려받은 일관성 쌍둥이가 다른 환경에서 자랐다면, 어떤 특성이 같거나 다른지에 대해 생각해 보게 하였다. 그 결과 학생들은 사람의 키, 몸무게, 취향이나 성격 등이 대부분 유전자에 의해 결정될 것이라고 생각하였는데, 5명 모두 지능에 대해서만은 노력에 따라 달라질 수 있으며 환경에 따라 다를 것이라고 답하였다. 이러한 학생들의 선개념들은 대중매체나 책, 주변의 경험을 바탕으로 형성되었음을 알 수 있었다. 이들은 정규 생물 교과과정보다 먼저 다양한 경험과 대중매체를 통해 인간의 키, 몸무게, 취향이나 성격 등의 특성을 유전자가 결정하는 것이라는 선개념을 가지고 있었다.

주제어 : 유전자, 유전학 개념, 선개념, 천성과 양육, 소집단 면담

서론

유전자재조합기술의 활용이 인간을 비롯한 전 지구의 미래에 어떤 영향을 미치게 될 것이며, 어떤 문제점을 초래하게 되는지에 대한 논의가 사회적으로 활발하게 진행되고 있다. 유전자변형작물(Genetically modified organism: GMO)이나 형질전환동물 또는 인간배아복제 등은 중학생들에게도 더 이상 낯선 용어가 아니다. 중등교육과정에서도 과학 교과는 물론 사회, 도덕, 국어, 기술가정 교과 등에서 이들 첨단생명공학기술이 소개되고 있다(박지영 등, 2005).

이러한 첨단과학의 쟁점들을 학생들이 올바르게 이해하고 합리적으로 판단할 수 있는 능력을 함양하는 것은 과학적 소양 의 바탕이 되며, 이를 위해 중고등학교 교육과정에서부터 유전에 관련된 기본 지식들이 올바르게 학습되어야 할 것이다(황수연과 이진성, 2000). 하지만, 유전자재조합기술뿐만 아니라 이를 이해하기 위한 바탕개념인 유전자를 이해하는 것은 교사나 학생들에게 어려운 분야로 지적되어 왔다(강경미와 김희백, 2005; 강소연, 2004; 광대오 등, 1997; 고정호 등, 1997; 김연희, 2007; 김희백과 이선경, 1996; 박종석과 조희형, 1986; 신영준과 정완호, 1995; 정영란과 계보아, 1998; 정영란과 김은주, 2002; 정은영과 김영수, 2001). 유전분야에서 다루는 개념들은 그 수가 많지는 않더라도 형태학이나 개체 수준의 생물학 분야

¹교신저자: ehcho@chosun.ac.kr

•2008년 4월 8일 접수, 2008년 7월 23일 통과.

와는 달리 염색체나 DNA처럼 눈에 보이지 않는 분자수준의 이해가 필요한 부분이기 때문이다(김지현, 2003; 이세영 등, 2006; 이은정 등, 2006). 그 중 DNA는 교과서에 모형이나 그림이 함께 설명되고, 염색체 또한 보다 적절한 모형이 개발되고 있다(김희백 등, 2002). 하지만, “유전자”라는 개념은 이에 대한 이해를 도울 수 있는 적절한 비유나 상징적 그림 등이 마땅하지 않은 추상적 개념이다.

현행 중등교육과정을 보면 과학교과에서 본격적으로 유전자에 대한 개념을 학습하기 앞서 기술가정 시간 등의 다른 교과를 통해 유전자재조합기술 뿐만 아니라 첨단생명공학기술에 대해 접하게 된다(강호감 등, 2007). 뿐만 아니라 최근의 광우병 파동에서 보는 것처럼 유전자와 관련된 문제는 대중매체에서도 흔히 접할 수 있는 소재가 되었다. 따라서 학생들은 9학년 과학교과에서 유전자에 대한 개념을 학습하기 전에 다양한 경로를 통해 유전자에 대한 선개념을 형성하게 된다.

물리학에서도 추상적인 개념이 다수 소개되는데(송진웅, 2003), 이에 대한 학생들의 선개념을 파악한 후, 조작하고 통제 가능한 실험과정을 직접 보여주거나 모의실험을 통해 올바른 경험을 갖도록 유도할 수 있었다(김지나와 권재술, 2005; 김지나와 변영찬, 2007; 노학기 등, 2005). 그러므로 유전자에 대한 올바른 이해를 위해 학생들이 이미 가지고 있는 선개념과 선개념이 형성되는 배경을 구체적으로 파악한다면 교사들과 학생들에게 모두 어려운 분야로 여겨지는 유전학 분야의 교수-학습과정에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

지금까지 유전자와 관련된 오개념을 조사한 연구들(김지현, 2003; 민진선 등, 2004; 박종석과 조희형, 1986; 정영란과 김은주, 2002)이 많았지만, 이 연구들은 모두 질문지를 개발하여 학생들에게 설문하는 방법을 통해 유전 관련 개념에 대해 이해도를 확인하거나 오개념을 찾고자 하였다. 박종석과 조희형(1986)은 희망하는 학생들을 선발하여 면담을 통해 학생들이 가진 오개념을 분석하였지만 학생들의 대답이 형식적이거나 짧고 단조로워서 학생들이 오개념을 형성하게 된 근본적인 이유를 찾아내지 못한 것을 연구의 한계로 지적하였다. 학생들이 유전자에 대해 어떻게 생각하고 있는지를 파악하는 것뿐만 아니라 왜 그렇게 이해하는지에 대한 원인을 분석하고자 할 때는 심층 면담 등의 개별 사례연구가 도움이 될 것이다. 유전자나 유전현상을 주제로 학생들이 가진 오개념이나 상징적인 개념을 심층 면담을 통해 분석하고자 노력한 연구들이 소개된 바 있다(Lewis and Kattmann, 2004; Venville et al., 2005).

Venville et al. (2005) 등의 연구에는 학생들과의 면담을 통해 특별히 다른 바탕개념을 가지거나 유전학에 대해 잘못 이해하고 있는 특수한 몇몇 사례를 분석하여 제시하였다. 이러한 관점은 지금까지 국내에서 소개된 연구들과의 차이점으로 볼 수 있다. 즉, 심층 면담을 통해 얻어낸 소수의 사례를 통해 실제 학생들이 어떻게 유전관련 개념을 이해할 수 있는지에 대한 범위를 예측해 볼 수 있기 때문이다. 이 때, 학생들 개인과의 1:1 면담을 진행하는 경우보다 소집단 면담을 진행하는 것이 자연스러운 분위기를 조성하여 평상시 학생들이 생각하고 있던 선개념이나 바탕개념을 확인하는데 더욱 효과적일 수 있다.

본 연구에서는 소집단 면담을 통해서 아직 정규 생물교육과정에서 유전자나 유전자재조합기술에 대해 학습한 경험은 없지만 과학이나 생물에 관심을 보이는 중소도시의 중고등학생들이 유전자와 유전자재조합기술을 어떻게 이해하고 있는지 알아보고자 하였다. 중학생 5명으로 구성된 소집단과 각 각 고등학생 4명으로 구성된 세 개의 소집단을 대상으로 면담을 진행하였다. 본 연구는 이들 중 소집단 면담에 참여한 중학생들 5명에 대한 분석의 결과이므로 이를 중학생들의 유전자에 대한 일반적인 이해로 해석할 수는 없다. 하지만, 이들과의 면담 결과를 통해 유전학 단원을 학습하기 이전에 적어도 몇몇 학생들이 가질 수 있는 선개념 또는 바탕개념을 찾아 볼 수 있었다.

연구방법

연구 대상

2006년 7월 31(월)일부터 2006년 8월 4일(목)까지 「광주 전남여성과학기술인네트워크」에서 주최하는 「과학 꿈나무 예비대학」 프로그램에 참여한 학생들 중 중학생 5명으로 구성된 한 개의 집단과 고등학생 4명으로 구성된 세 개의 집단을 대상으로 면담을 진행하였다. 「과학 꿈나무 예비대학」 프로그램은 첨단과학기술에 대한 노출이 적은 전남지역 중소도시의 학생들

표 1. 면담에 참여한 학생들에 관한 기초 정보

학교소재지	학년	성별	기호
전라남도 중소도시	3	여	A
	3	남	B
	3	여	C
전라남도 읍면지역	3	여	D
	2	여	E

에게 대학 연구실에서 일주일동안 연구 프로젝트를 수행할 기회를 제공하였다. 본 연구에서는 「과학 꿈나무 예비대학」 참가자들 가운데 그룹별 면담에 참여를 희망하는 학생들을 대상으로 하였다. 면담에 참여한 4개의 그룹 가운데 비교적 자유로운 반응으로 면담에 참여한 중학생들과의 면담 결과를 분석하였다. 다음의 표 1에는 면담에 참여한 학생들을 학교의 소재지별, 학년별, 성별로 분류하여 고유한 기호로 표기하였고, 앞으로 면담의 내용을 발췌하여 다루는 부분에서 학생들을 표 1과 동일한 기호로 표시할 것이다.

A 학생은 과학자를 꿈꾸고, 과학에 흥미를 가지고 있었기 때문에 캠프에 참여할 수 있는 기회를 접하게 되어 기쁘다며 지원하였다. B 학생은 생물학자가 꿈이며, C 학생도 연구원이 장래 희망임을 밝혔고, D와 E 학생도 모두 과학에 흥미를 가지고 있었다. 이 들 중 3명의 학생(C, D, E)은 전에 과학실험관찰대회, 과학축전, 자연탐사대회, 3M 사이언스캠프 등의 행사에 참여한 적이 있었다.

연구 과정

1) 면담에 사용한 질문 문항의 개발

중·고등학생들을 대상으로 “유전”단원에 대한 이해도를 조사하기 위해 질문지를 활용한 선행연구들로부터 유사한 질문을 수집하였고, 선행연구결과에서 알 수 없었던 학생들의 구체적인 이해도와 인식도를 알아볼 수 있도록 적절히 수정하였다. 다음의 표 2는 소집단 면담에서 사용한 질문 문항을 정리한 것이다.

첫 번째 질문의 경우는 민진선 등(2004)과 정영란과 김은주(2002)의 연구에서 사용했던 DNA나 염색체 등의 역할에 대한 질문, 유전자가 왜 중요한지에 대한 질문과 유사하게 구성하였다. “다양한 그림 속 생물과 비생물 중 유전자를 포함하는 것은 무엇인가?”라는 두 번째 질문은 생물이 유전자를 가진다는 일반적인 내용을 학생들이 알고 있느냐와 같은 표면적인 질문보다 학생들이 유전자를 이해하기 위해 바탕이 될 수 있는 생물

표 2. 소집단 면담에서 사용한 질문 문항

「유전자」에 대한 이해와 관련된 질문	
1	- 자신이 생각하는 유전자의 정의나 역할은 무엇인가?
2	- 다양한 그림 속 생물과 비생물 중 유전자를 포함하는 것은 무엇인가?
3	- 다른 환경에서 자란 일란성 쌍둥이는 무엇이 같고, 무엇이 다를까?

과 비생물에 대한 이해도 확인해 볼 수 있도록 유도하였다. 이는 정영란과 김은주(2002)와 벤빌 등(Venville et al., 2005)의 연구에서 동일한 의도의 질문 중 보기들을 다르게 재구성한 것이다. 세 번째 질문은 벤빌 등(Venville et al., 2005)의 연구에서 학생들이 유전적으로 유전되는 형질과 사회적·문화적으로 습득하는 형질을 구분할 수 있는지 알아보기 위해 질문했던 일양 시나리오를 재구성 한 것이다.

2) 결과 분석

「과학 꿈나무 예비대학」 프로그램에 계획된 하루 일과가 끝난 오후에 학생들과 만나 자유로운 형식으로 면담을 진행하였다. 소집단을 구성하는 각각의 학생들이 모두 면담에 참여하였으며, 각각의 집단들이 준비된 질문과 관련된 면담에 참여한 시간은 평균 1시간 정도였다. 면담과정은 모두 녹음하였고 이를 그대로 전사한 후 유전자에 대한 학생들의 이해도와 그 원인을 파악하기 위해 질문 문항별로 구분하여 분석하였다. 학생들의 답변을 그 내용에 따라 범주화하여 개별 학생이 갖고 있는 유전자에 대한 선개념을 찾아내고자 하였다. 이를 분석한 결과, 고등학생들은 대부분 정형화된 답을 말하는 경향이 강하고, 정답을 말하려고 노력함으로써 그들의 구체적이고 다양한 의견들을 파악하기 힘들었기 때문에 고등학생과의 면담 결과는 논문에 소개될 연구대상에서 제외하였다. 반면, 중학생들로 구성된 그룹은 비교적 자유롭게 자신의 의사를 표현하여 중학생들과의 면담과정을 구체적으로 소개하고자 한다.

결과 및 논의

“유전자”나 “유전자재조합기술”에 대해 들어 본 경험

먼저, 학생들에게 면담의 주제를 소개하기 위해 학생들이 “유전자”나 “유전자재조합기술”이란 용어를 들어본 적이 있는지

표 3. “유전자”나 “유전자 재조합 기술”이란 용어를 들어본 경험

구체적인 경험에 대한 시기나 장소	
수업시간	A, C: “기술·가정” 시간
	B: 특기적성 과학시간
	D: 과학수업시간
	E: 캠프
기 타	C: 뉴스
	B: 생물에 관련된 책

물어보았다. 5명의 학생들이 모두 경험한 적이 있다고 답하였고, 좀 더 구체적인 경험 시기나 장소 등에 대한 질문에 다음과 같이 답변하였다(표 3).

연구원이 꿈인 학생 C는 수업시간에 들어 본 적이 있었고, “뉴스”에서도 들어보았다며 좀 더 적극적으로 관심을 보였다. 이 학생은 유전자의 역할이 무엇이라고 생각하느냐는 질문에 “부모가 자식을 낳으면 닮을 수 있게 하는 것.”이라고 답하였고, 학생 E도 그 의견에 동조하였다. B의 경우는 스스로 구입한 생물학과 관련된 책에서 유전자라는 단어를 들어보았으며, 유전자를 유전정보를 담고 있는 물질이라고 간결하게 답하였다. 학생 A에게 “기술가정”시간에 무엇을 배웠느냐는 보충질문을 하자, “유전자재조합”이라고 대답하였고, 유전자의 역할을 물어보자 유전자에 대해서는 설명할 수 없지만, 유전자재조합에 대해 배운 경험이 있으므로 “원래 어떤 생물체가 가지고 있는 유전자에 다른 생물체의 유전자를 재조합 시켜서 새로운 생물체를 만드는 그런 거요.”라고 답하였다. 과학수업시간에 들어 본 적이 있다고 대답한 학생(D)은 염색체에 관한 수업 중에 들어 본 적이 있다고 답할 뿐, 유전자에 대한 다른 의견은 말하지 않았다.

면담에 참여한 중학생들은 정규 교육과정 중 과학시간에 포함된 생물교과 수업에서 “유전자”에 대해 배우기 전에 이미 다양한 매체를 통하거나 다른 교과에서 “유전자재조합”에 대해 배운 경험을 가지고 있었다. 두 명의 학생이 언급했던 기술가정 교과에서는 7학년 「생명 기술과 재배」라는 단원에서 유전자재조합, 세포 융합, 조직 배양, 체세포 배양, 돌리의 복제 등

을 미래의 생명기술로 소개하고 있다. 하지만, 생물 교과에서는 11학년(고등학교 2학년)부터 선택하는 ‘생물 I’과 ‘생물 II’에서 이들을 설명하고 있어 현대 생물학의 대표적인 분야에 해당하는 생명공학의 내용이 시기적으로 매우 늦게 학습되고 있다는 지적이 있다(강호감 등 2007). 하지만, 유전자라는 단어는 학생 D의 경험처럼 8학년의 「생식과 발생」 단원에서 염색체에 대한 설명과 함께 지도할 수 있으므로 타 교과보다 크게 늦다고 할 수 없다. 오히려, 학생 C의 경우처럼 이미 타 교과에서 먼저 학습하게 되는 경우, 생물학에 대한 흥미가 유발되는 효과가 나타날 수도 있다. 생물교과는 타 교과에서 다양한 기술의 일부로 소개하는 수준과 차별화 된 교수-학습을 통해 학생들에게 유전자에 대한 올바른 과학적 개념이 정착될 수 있도록 해야 할 것이다.

유전자를 가지는 것과 유전자를 가지지 않는 것에 대한 판단

학생들에게 “유전자”의 역할이 무엇인지에 대해 묻고 대답한 후 학생들에게 다양한 생물과 비생물의 사진들로 구성된 그림판을 제시하였다(그림 1). 학생들에게 각자 사진속의 생물 또는 비생물이 유전자를 가지고 있는 것은 무엇이며, 그렇지 않은 것은 무엇인지에 대해 질문하였다. 그리고 학생들에게 그렇게 판단하는 이유에 대해서도 설명하도록 하였다(표 4). 질문에 앞서 학생들이 정답을 알고 있는지를 판단하고자 함이 아니라 학생



그림 1. 학생들에게 제시한 다양한 생물과 비생물 그림

표 4. 유전자의 보유 여부에 대한 학생들의 응답

사진	학생	유전자 유무	판정 근거
거미	A	X	: 거미 자체가 없을 것 같은데요. 거미가 비 곤충이라고 들어서요.
거미줄	D	O	: 거미가 걸으면서 조금씩 배출되지 않을까? 거미알집 같은데 거미줄이 쌓여 있잖아요.
열매 (옥수수)	D	O	: 나뭇가지랑 연결되어 있잖아요.. 아주 미세한 유전자가 나오지 않을까요?
	B	O	: 있어요. 열매는 나무에서 나온 거고, 심으면 다시 싹이 나오고 그러니까.
		O	: 옥수수 알에 유전자가 있어요. 알 속에 씨 같은 거에 있어요.
꽃	E	O	: 꽃은요 씨 같은 게 있잖아요. 번식을 할 수 있잖아요. 그럼 부모랑 유전자가 같은 거라 그랬잖아요. 그러니까 꽃은 있어요.
	D	O	: 있어야 되요. 근데 이 피카추는 곤충이야? 사람이야? 인간이야? 동물이야? 애도 살아 움직이는 동물 쪽에 속하니까.. 전기... 다 유전자가 타버리나? 그러니까 그것들은 유전자 곁에 보호하는 고무막 같은 게 있어야 될 꺼 같아요.
피카추	E	O	: 있을 것 같아요. 생물이니까
	A	X	: 없을 것 같아요. 이건 작가들이 허구적으로 상상력으로 만든 거니까 없을 것 같아요.
	C	X	: 없을 것 같아요. 이건 만화잖아요. 근데 만화에 이런 게 진짜 있다면 유전자는 있을 것 같아요
	B	응답 회피	: 만화 캐릭터일 뿐이니까 실제로 살아있을 수가 없으니까요.
버섯	D	O	: 있어야 되요.. 애는 나무에서 옆으로 퍼지잖아요. 나무속에다 유전자를 뿌려서 나게 하지 않을까요? 나무도 물도 먹고, 수분도 있으니까 나무속에 유전자를 뿌려서.. 버섯 속에 유전자가 있어야 나무속에 박아서 자랄 수 있으니까.
	E	X	: 버섯은 없어요. 버섯은 기생하는 건데요. 기생을 어떤 거에 하는가에 따라 다르잖아요.
	C	X	: 버섯은 감수분열해서 번식하지 않잖아요. 포자라고 해야 하나?
아메바	A	X	: 아메바. 없을 것 같아요. 단세포 생물이니까. 심장도 없다 그랬으니까.
	E	X	: 없을 것 같아요. 심장도 없고요. 자기 혼자 못 움직이잖아요.

들의 솔직한 생각이 어떠한지 알고 싶다는 면담자의 의도를 말해주었다.

표 4와 같이 학생들이 그렇게 대답한 이유도 설명하게 함으로써 선행연구에서 학생들에게 선택지를 선택하거나 의견을 기입하도록 하는 방법으로는 파악하기 힘들었던 유전자에 대한 이해 상태를 좀 더 구체적으로 파악할 수 있었다.

즉, 학생들이 유전자라는 용어를 자신들이 가지고 있던 생물학 지식에 어떻게 구조화 시키고 있는지를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 학생들은 생물이 유전자를 가지고 있다는 것을 전제로 답하였기 때문에 이들의 판단 근거로부터 바탕개념인 생물의 정의나 생명현상의 이해정도를 파악할 수도 있었다. 면담에 참여한 학생들이 가지고 있는 유전자에 대한 이해를 다음과 같은 기준으로 유형화하여 분석하였다.

▷ 다음 세대로 대물림되는 유전자 (B)

열매가 유전자를 가지고 있다고 말한 B의 경우, “열매는 나무에서 나온 것이고, 심으면 다시 싹이 나오기 때문에”라고 말했으며, 동일한 근거로 옥수수에도 “옥수수 알에 유전자가 있어요. 알 속에 씨 같은 거에 유전자가 있어요.”라고 말했다. 이 학생은 유전자는 유전정보를 담고 있는 물질이며, 열매와 옥수

수 알맹이는 식물의 유성생식과정을 통해 생성한 씨를 포함하고 있기 때문이라고 이해하였기 때문에 유전자가 있다고 판단한 것이다. 자신이 이미 가지고 있던 생명현상에 대한 이해와 유전자에 대한 이해가 바르게 통합되어 있음을 알 수 있었다.

▷ 생물체에서 배출되는 유전자 (D)

D는 거미줄에 유전자가 있을 것이라고 말했으며 그 근거로 “거미가 걸으면서 조금씩 배출되지 않을까?” 라고 말했다. 거미줄이 생물은 아니지만, 유전자를 생물인 거미에서 외부로 배출되는 물질로 이해하고 있었다. 이 학생은 열매가 유전자를 가지는 이유에 대해서도 “나뭇가지랑 연결되어 있잖아요. 아주 미세한 유전자가 (나무로부터) 나오지 않을까요?” 라고 다른 학생들과 비교할 만한 다른 근거를 제시하였다. 또한, 버섯에 유전자가 있다는 근거로는 “애는(버섯은) 나무속에다 유전자를 뿌려서 나게 하지 않을까요? 나무는 물도 먹고, 수분도 있으니까 나무속에 유전자를 뿌려서,, 버섯 속에 유전자가 있어야 나무속에 박아서 자랄 수 있으니까..”라고 대답하였다.

즉, 버섯은 나무에게 기생하는 생물임은 이해하고 있지만, 버섯속의 유전자가 버섯과 나무를 연결하는 어떤 물질이라고 표현하였다. 거미줄, 열매, 버섯의 경우를 종합해 볼 때, D학생

은 유전자를 생물 안에 있는 물질로써 생명현상과 관련된 물질이며 생물체와 접촉하거나 연결됨으로써 옮겨지는 물질로 이해하고 있었다.

▷ 곤충이나 동물이 아니면 유전자도 없다 (A, D)

A학생은 거미에 유전자가 없을 것이라고 반박하였다. “거미 자체가 없을 것 같은데요. 거미가 비(非) 곤충이라고 들어요.”라고 설명하였다. 이것은 “거미”라는 것은 자신이 이미 가지고 있던 생물의 범주에 속해 있는 곤충류가 아니므로 생물이 가지는 유전자도 가지고 있지 않다고 말한 것이다. 이 학생처럼 다양한 생명현상을 고려하지 않고 한 가지 척도로 성급하게 판단하는 경향은 피카츄에게 유전자가 있다고 답한 학생들에게서도 찾아 볼 수 있었다.

앞에서 소개한 D 학생은 피카츄에 유전자가 있다고 말했고, 그 근거로 “있어야 되요. 근데 이 피카츄는 곤충이야? 사람이야? 인간이야? 동물이야? 애도 살아 움직이는 동물 쪽에 속하니까... 전기(를 방출한다)...다 유전자가 타버리나? 그러니까 유전자 곁에 보호하는 고무막 같은 게 있어야 될 것 같아요.”라며 제시하였다. 살아 움직이기 때문에 피카츄도 이미 존재하고 있는 “생물”이라는 범주에는 포함되지만, 안타깝게도 “생물”의 하위개념이라고 볼 수 있는 생물의 다양한 분류군(곤충, 사람, 동물)에는 어디에도 쉽게 포함시키지 못해 몹시 혼란스러워 하고 있었다. 그럼에도 불구하고 이것이 생물의 특성 중 번식, 대물림 또는 유전되는 가에 대해서는 전혀 고려하지 않았다.

이것은 벤빌 등(Venville et al, 2005)이 9세~15세 학생들에게 비슷한 질문을 한 결과에서도 디지털이라는 만화 캐릭터와 같은 비생물이 DNA나 유전자를 가진다고 답한 경우가 있었고, 이것들은 학생들에게 살아있는 것처럼 보이기 때문이라고 한 것과 유사한 결과이다.

▷ 단세포 생물이나 기생생물에는 유전자가 없다(A, C, E)

A학생이 아메바에 유전자가 없다고 주장한 이유 또한 “단세포 생물이니까 (유전자가) 없을 것 같아요”라고 말했다. 이 학생의 경우는 생물의 분류에 관한 개념이 바르게 이해되지 않은 상태이다. 단세포 생물이라고 말한 건 아메바도 생물이라고 인정할 게 아니냐고 보충질문을 하자 “심장도 없다 그랬으니까..”라고 대답하였다.

강민정 등(2004)의 연구에서 아동들이 생물을 정의하는 주요 바탕개념 중의 하나가 ‘동물형상’이라고 한 것과 같이 이 학

생 역시 짧은 시간동안 생물을 판단하는 기준으로 심장을 가지고 있어야 한다는 ‘동물형상’을 사용하였다. A학생은 아메바를 배웠을 때 학생의 인지구조 속에 아메바가 단세포 생물이라는 단어만 하나 더 추가되었을 뿐, 자신이 가진 생물의 범주에 포함시키지 못했었다는 사실을 알 수 있었다.

E학생도 아메바는 자기 혼자 움직이지 못한다고 설명하면서 아메바를 자신이 가진 생물의 범주에 포함시키지 않았고 따라서 유전자를 가지지 않았다고 말했지만, 동일한 생물의 분류 기준에 따라 피카츄는 움직이기 때문에 생물이며, 당연히 유전자가 존재한다고 판단하였다.

정영란과 김은주(2002)가 중고등학생들을 대상으로 한 연구에서도 나무, 포유동물, 양치식물, 바이러스, 균류, 박테리아, 곤충의 생물들은 유전정보를 가지고 있는지 학생들에게 설문한 결과, 균류의 경우는 38%만이 유전정보를 가진다고 응답하였다.

이 면담에서도 E와 C 학생들은 균류인 버섯에 대해 잘 이해하지 못하고 있었다. 학생 E는 버섯에 유전자가 없으며, 그 근거로 “버섯은 없어요. 버섯은 기생하는 건데요. 기생을 어떤 거에 하는가에 따라 다르잖아요.”라고 말했다. 학생 C 또한 “버섯은 감수분열해서 번식하지 않잖아요. 포자라고 해야 하나?”라고 하면서 버섯은 유전자를 가지고 있지 않다고 주장했다.

이들은 앞에서 자식이 유전자를 부모로부터 물려받아 닮게 되는 유전현상의 원인이라고 정의했었지만, 자손을 번식시키는 방법 중 유성생식과정에 국한시켜 유전현상이 일어난다고 이해(C)하고 있거나 기생하는 버섯의 번식 방법 자체를 이해하지 못한 경우이다(E).

▷ 면담 문항에 대한 고찰

학생들은 유전자란 ‘부모를 닮게 하는 원인’이라 표현하였음에도 유전자 보유여부를 판단할 때에는 1명(B)을 제외하고는 다음 세대로 전해지는 유전물질의 존재여부를 확인하려는 시도를 하지 않았다. 대부분 ‘유전자를 지니고 있는 것을 찾으려는 질문에 유전자는 ‘모든 생명체 속에 들어 있는 것’이라고 판단을 하고 이에 근거하여 어느 것이 생물에 속하는지를 찾으려 한 것처럼 보인다. 피카츄를 실제 존재하는 그 무엇이라고 가정한 학생들이 피카츄의 형질이 다음 세대로 그대로 전달되는 것인가에는 관심을 두지 않고 생물로 간주할 수 있느냐에 생각을 집중한 것(D, E)에서도 드러난다. 또한 생물에 존재하는 것이므로 유전현상과는 관계없이 거미줄이나 나뭇잎으로 배출될 수 있다(D)는 생각을 하기도 하였다. 이런 학생들의 사고 과정

에서 유전자를 갖고 있는 것은 무엇인가라는 질문에서 학생들이 ‘생물’을 어떻게 이해하고 있는가도 드러났다. 이러한 학생들의 생각을 구체적으로 들어 볼 수 있었다는 점을 부각시켜 앞으로 수업 현장에서 중학생들을 대상으로 유전관련단원의 도입부에 활용할 수 있을 것이다. 이 질문에 답할 때 학생들이 단순히 한, 두 가지의 척도로만 생물과 비생물을 판단한다면 더 다양한 판단기준들을 함께 고민해 본 후 생식과정 중 부모에서 자손으로 전달되어 ‘부모를 닮게 하는 원인’이 유전자임을 이해할 수 있도록 이끌어 줄 수 있을 것이다.

유전자에 의해 영향을 받는 형질

면담에 참여한 학생들을 포함한 중고등학생들은 유전자를 “유전정보를 전달하거나, 생물의 겉모습을 결정 하는 것.”으로 이해하고 있다(정영관과 김은주, 2002). 유전자가 생물의 특성을 결정한다고 이해하고 있는 학생들에게 부모로부터 똑같은 유전자를 물려받은 쌍둥이 형제나 자매를 비교해보도록 하였다.

학생들에게 20년 동안 다른 환경에서 자란 일란성 쌍둥이가 만났다면, 무엇이 같고 무엇이 다를지에 대해 물어보았다. 이 질문을 통해 “생물의 특성”이라고 일컫는 특성들이 얼마나 유전자에 의해 결정되는 것인지 비교해 보도록 하였고, 학생들의 의견은 다음의 표 5와 같이 정리할 수 있었다.

학생들이 모두 겉으로 드러나는 생김새는 똑같기 때문에 생김새는 유전자에 의해 결정된다고 답하였다. D 학생은 키나 몸무게는 어느 정도 유전적인 영향도 있지만, 예전에 먹을 것이 부족한 시대에 사셨던 할아버지 할머니보다 지금 사람들의 평균 신장이 더 커진 것 등을 예로 들며 환경에 따라 다를 수 있다고 답하였다. 학생 A의 경우 몸무게는 전적으로 먹는 양에 따라 달라질 수 있다며 유전적인 영향을 배제하였고, 이에 비해 C 학생은 “키, 몸무게도 비슷할 거 같아요. (먹는 습관이 달라도) 체질이란 게 있잖아요. 조금만 먹어도 살찌는 체질이 있고, 일란성 쌍둥이니까 유전자가 거의 같잖아요. 그러니까 체질이

같으니까.”라고 말했다.

이들 중 두 명의 학생은 다음과 같이 TV나 책으로부터 경험한 예를 제시하였다.

◎ TV에서 봤거든요. ‘꼭 한 번 만나고 싶다’ 비슷한 프로그램에서 봤는데, 쌍둥이들이요 30년 동안 떨어져 살았대요. 한 명은 외국에서 한 명은 우리나라에서 살았는데, 만났을 때 서로 연락 한 번도 만난 적도 없었는데, 옷 스타일도 비슷하고, 귀걸이도 똑 같았어요. 그래서 취향 같은 건 비슷할 거 같아요(D).

◎ 책에서 봤는데요, 떨어져 있어도 좋아하는 숫자도 같고, 좋아하는 옷도 같고 그런다고(B).

지능은 어떤 영향을 받을 것 같은가에 대한 질문에 학생들은 모두 성적이나 IQ등이 노력에 따라 달라질 수 있다고 강하게 주장하였다.

D : 지능은 자기가 노력해야지 올라갔다 내려갔다.. IQ는 자기가 노력한 만큼 올라가거나 내려간다고, 유전은 상관 없을 것 같은데요.

E : 친구 중예요. 지능이 높은 아이가 있는데요. 그 친구의 엄마 아빠는 공부를 잘 못하시는데요. 친구는 어릴 때 책을 많이 읽어서 IQ가 높아졌대요.

B : 책을 봤는데요. 자기가 천재라고 어릴 때 대학교 간 사람도 보면요. 지능지수가 100이 안 넘는데요. 그러니까 노력에 의해서 그렇게 될 수도 있고

면담자 : 그럼 주변 사람들이 저 사람은 천재적인 거 같다가 나 지능이 높은 거 같다고 하는 그 사람의 유전자를 나에게 넣어도 나의 지능은 변함이 없을까?

D : 없을 거 같아요.

B : 지능은 변함없을 것 같아요. (지능이 높은 사람의 유전자를) 넣어도 자신이 노력이 없다면 별 소용이 없어요.

표 5. 유전자와 환경이 생물의 특성에 미치는 영향에 대한 응답 비교

학생	유전자의 영향	유전자와 환경의 영향	환경의 영향
A	키, 성격, 취향		지능, 몸무게
B	키, 몸무게, 취향		지능
C	취향, 키, 몸무게		지능
D		키, 몸무게 (유전 < 환경)	성격, 지능
E	취향과 체질이 같다면 지능도 비슷할 것이다.		

학생들은 지능을 제외한 대부분의 특성을 주로 유전자에 의해 결정되므로 일란성 쌍둥이에게 동일하게 나타난다고 말했고, 성격이나 취향등도 유전자의 영향을 받으므로 비슷할 것이라고 생각하고 있었다. 이러한 판단을 내리는 과정에 가장 큰 영향을 미친 것은 대중매체에서 접한 경험으로 판단된다. 키, 몸무게, 성격이나 취향 등이 대부분 유전자에 의해 결정되는 것이라 생각하는 경우에도 지능이나 성적과 관련해서는 강력하게 유전자의 영향을 부정하는 경향이 있었다. 지능에 대해 유전자의 영향을 부정하는 경우에도 특별한 근거를 제시하는 예는 없었다. 다만 노력하면 공부도 더 잘할 수 있고 더 똑똑해질 수 있다고 들어온 경험 그리고 이에 기댄 바람 등의 정서적이고 직관적인 감성에 근거하여 강력하게 주장한 것으로 판단된다.

학생들이 유전자가 생물의 특성을 결정한다는 말을 할 때, 이들은 유전자에 키, 몸무게, 성격, 취향 등을 결정하는 정보가 있으면 그대로 나타나는 것으로 이해하고 있었다. 유전정보가 발현되는 과정 중에 환경이나 유전자 사이의 상호 작용 등에 의해 다양한 변화가 발생할 수 있음을 생각하지 못하고 있었다. 따라서 생물 교육과정에서는 좀 더 다양한 유전자의 발현과정과 환경의 상호작용을 생각해 볼 수 있는 기회를 제공해야 할 필요가 있다. 하지만, 실제 중등교육과정의 생물학 교과서에는 멘델의 실험이나 사람의 유전형상들 중 대부분 단일한 유전자에 의해 결정되는 몇몇 특성들을 소개하는데 그치고 있다. 이렇게 단일한 유전자에 의해 고유한 형질이 결정되는 경우는 실제 유전형상 중 매우 소수에 불과하므로, 수업시간에 일상생활에서 학생들이 경험하였던 소재들과 접목시켜 동일한 유전자의 발현과정도 다양할 수 있음을 생각해 볼 수 있어야 할 것이다.

결론 및 제언

개별 학생의 유전자에 대한 이해

학생 A는 생물에 대한 바탕개념이 올바르게 정립되지 않은 상태였기 때문에 거미가 곤충류가 아니므로 생물의 범주에서 제외하였고 심장이 없다는 단편적인 근거로 아메바 또한 생물의 범주에 포함시키지 못하였다. 이 학생은 보충질문과정 중 부모가 동일한 형제나 자매가 닳지 않는 이유는 부모 중 어느 한쪽으로부터 더 많은 유전자를 물려받았기 때문이라고 설명하였고, 형제나 자매가 비슷한 이유는 부모의 유전자를 비슷하게 나눠서 물려받은 것이라고 설명하였다. 이는 부모는 각각 자손

에게 전달하는 유전정보를 동등하게 부여함을 알지 못하여 생긴 오개념으로 볼 수 있다.

학생 B는 “유전자”는 부모로부터 전달되며, 생물의 특성을 결정하는 정보를 담고 있는 물질로 이해하고 있었고, 자신이 이해하고 있는 유전자에 대한 정의를 활용하여 다양한 생물이 유전자를 가지는 이유를 일관성 있게 설명하였다. 이 학생은 다른 학생들에 비해 비교적 유전자를 바르게 이해하고 있는 것으로 판단되었지만, 유전자가 결정하는 정보에 키나 몸무게뿐만 아니라 성격과 취향등도 모두 결정된다는 생각을 가지고 있었다.

학생 C는 부모가 자손을 만드는 생식방법들 중 감수분열과 관련된 유성생식만을 기준으로 판단하여 버섯과 같은 기생생물에는 유전자가 없다고 설명하였다. 일란성 쌍둥이를 비교할 때는 처음에 다른 환경에서 자랐어도 동일한 유전자를 가지므로 취향이나 키, 몸무게도 비슷할 것이라고 말했지만, 뒷부분에서 지능은 노력에 의해 달라질 수 있다는 자신의 주장을 설명하기 위해 지능뿐만 아니라, 키나 몸무게 취향등도 노력에 따라 달라질 수 있는 것들이라고 말하였다. 이 학생은 생물의 특성이 나타나는 과정이나 유전자에 대한 이해가 명확하게 정립되지 않은 상태인 것으로 보인다.

학생 D는 염색체와 관련된 과학수업시간 중에 유전자에 대해 들어 본 경험이 있었지만, 생물과 비생물에 존재하는 유전자에 대해 판단하는 근거를 분석해 본 결과, 유전자를 생명현상과 관련된 물질이며 생물체와 접촉하거나 연결됨으로써 옮겨지는 물질로 이해하고 있었다. 일란성 쌍둥이의 성격은 주변 환경에 따라 바뀌는 것이지만, 취향은 TV에서 보았던 일란성 쌍둥이의 극적인 사례를 근거로 비슷할 것이라 판단하였다. 이에 비해, 키에 대해서는 과학수업시간에 들어본 경험을 근거로 들며, 유전자가 동일하기 때문에 둘 다 키가 크거나 작을 것이라 설명하였다. 하지만, 부모가 각각 크거나 작은 경우 이란성 쌍둥이가 태어난다면 둘 다 크거나 둘 다 작진 않고, 반드시 한 명이 크면 다른 한 명은 작다고 설명하였다. 이는 이란성 쌍둥이가 수정되는 과정에서 키를 결정하는 유전정보의 조합이 각각 독립적인 사건으로 일어난다는 것을 이해하지 못한 것으로 볼 수 있다.

학생 E도 버섯이나 아메바가 유전자를 가지는지 판단하는 과정에서 생명현상과 생물에 대한 정의가 올바르게 정립되지 않았다는 것을 파악할 수 있었다. 일란성 쌍둥이에 대한 비교에서 이 학생은 다른 학생들과 달리 처음 태어날 때 유전자에 의해 성격이나 생김새 등이 비슷할 수 있지만, 자라면서 모두

환경에 의해 달라질 수도 있다고 말하였다. 하지만, 환경에 의해 달라질 수 있다는 근거로 주위에서 친구들도 닳는다거나 가죽끼리 닳는다는 등을 설명한 것으로 보아 일상생활에서 통용되는 비과학적인 구절 등을 인용한 것일 뿐, 유전자의 발현과정에 관련된 환경의 상호작용들을 구체적으로 이해한 것은 아니었다.

위 학생들은 모두 일관성 쌍둥이의 여러 특성 가운데 지능에 대해서만 “노력에 따라 달라질 수 있다.”, “하면 된다.” 등의 신념적인 근거를 가지고 있었다.

유전자와 유전관련 수업에 대한 제언

학생들에게 유전자의 정의나 역할을 질문하였을 때에는 “부모로부터 물려받는 정보”라는 개념과, “생물의 특성을 결정하는 정보”라는 답을 주어 이들이 유전자를 바르게 이해하고 있다는 생각을 하였다. 하지만, 학생들에게 유전자를 가지고 있는 것과 가지고 있지 않는 것에 대해 판단하게 해 본 결과, 유전자를 이해하기 위해 바탕이 되는 “생물”과 “생명현상”에 대한 이해가 부족하여 실제로는 유전자에 대한 이해에 어려움을 겪고 있음을 확인할 수 있었다. 이 질문 결과를 통해 학생들이 “유전자”를 이해하기 위해 생물에 대한 바탕개념이 올바르게 정립되었는지를 확인한 후, 생물의 정의나 생명현상에 대한 올바른 이해를 바탕으로 유전자라는 개념이 바르게 통합되도록 도와야 함을 알 수 있었다. 또, 학생들은 대중매체나 일상경험을 통해 유전 관련 정보들을 접하는 경우가 많다. 이 과정을 통해 학생들에게 형성된 선개념은 올바른 과학적 개념을 이해하는데 걸림돌이 될 수 있다(민진선 등, 2004; 이세영 등, 2006). 면담에 참여한 학생들도 유전정보가 사람의 키나 몸무게, 성격, 취향등도 결정하며, 이 정보가 동일하면 그대로 동일하게 나타날 것으로 유전자의 발현 과정을 이해하고 있었다. 이러한 학생들과 유전 정보로부터 생물의 특성이 결정되기까지 더욱 다양한 환경과의 상호작용이나 변화가 일어날 수 있음을 생각해 보는 기회를 가질 필요가 있다.

소집단 면담의 유용성

본 연구를 수행하기 전 비슷한 문항에 대해 1:1 개인면담을 실시하였다. 개인면담 후 면담에 참여한 학생에게 느낀 점을 물어보고, 면담과정을 검토·분석한 결과 다음과 같은 어려움을

발견하였다. 학생은 면담자와 학생이 1:1로 면담하는 상황이 자신을 평가하는 상황으로 인식하게 되어 부담스러워 했다. 그 결과, 학생은 질문에 대한 자신의 의견보다 질문자의 의도를 파악하고 정답을 찾으려는 고민에 빠지는 경우가 있었다고 말했다. 또한 익숙하지 않은 사람과의 면담이어서 질문을 받았을 때 학생이 대답하지 않고 시간이 흐르는 순간이 길었다. 이 때 대답을 유도하거나 다른 질문으로 전환하기 위해 보다 숙련된 면담 기술이 요구되었다.

위와 같은 문제점을 보완하기 위해 본 연구에서는 개인별 면담보다 소집단 면담을 시도하였다. 면담에 참여한 5명의 학생들은 프로그램에서 함께 실험하는 집단의 구성원이므로 학생들 사이에 친밀감이 형성되어 있었다. 이 점은 학생과 면담자 1:1의 면담 분위기보다 훨씬 자연스러운 대화의 장을 형성할 수 있었다. 또, 질문이 주어진 후 다른 학생들이 대답하는 동안 자신의 생각을 정리할 수 있는 시간을 가질 수 있으므로 개인별 면담보다 제한된 시간 안에 다양한 생각을 이끌어 낼 수 있는 기회가 제공된다. 정답을 찾으려 애쓰기보다 동료의 의견을 듣고 동의, 반박, 확장하는 과정에서 다양하고 풍부한 논의가 가능하기 때문에 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2003학년도 조선대학교 교내학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었습니다.

ABSTRACT

To analyze preconceptions and/or misconceptions on genetics of middle school students, we interviewed a group of five students from a small town in Cheonranamdo, Korea. We asked three questions and let the students talk over the questions within the group, including two interviewers. The interview started with a question that asked if they were familiar with genes or recombinant DNA techniques. Although they did not have a chance to learn genetics in biology classes, they had heard about genes or recombinant DNA techniques in other classes or through mass media. After that, a series of pictures with living creatures and non-living things were shown to the group, and students were asked whether or not each of the items carried genes. All of the students understood the fact that genes are something a living creature carries. However, they did not incorporate their general understanding in pinpointing the

living creatures with genes. Lastly to investigate how the students understand the human traits, they were asked what kinds of characters would be shared by identical twins raised in different environments. They showed a strong tendency toward genetic determination of human characters such as heights, weights, personalities, and so forth. One exception we noticed was intelligence. All five students agreed that intelligence was the trait that the personal experiences and efforts are more important than the genetic background.

key words: gene, genetic concept, preconception, nature vs. nurture, small group interview

참고문헌

- 강경미, 김희백(2005). 중등 예비 생물교사들의 생명공학에 대한 인식 조사. 한국생물교육학회지, 33(1), 112-121.
- 강소연(2004). 중, 고등학생의 생명공학에 대한 이해도와 인식 조사. 교육대학원석사학위논문, 이화여자대학교.
- 강민정, 권용주, 정완호(2004). 생물과 비생물의 구분에 대해서 유아들이 생각하는 바탕 개념 연구. 한국생물교육학회지, 32(3), 256-266.
- 강호감, 김용진, 박재근 (2007). 제7차 초·중등 교육과정에서 타 교과에 나타나는 생물 관련 내용의 분석. 한국생물교육학회지, 35(1), 117-133.
- 곽대오, 문영인, 성민웅(1997). 중등 과학(생물)교사들의 현직 연수교육에 대한 요구사정. 한국생물교육학회지, 25(2), 195-210.
- 고정호, 길학균, 이길재(1997). 유전개념의 역사적 변천과 학생들의 유전개념 발달의 비교 연구. 한국생물교육학회지, 25(2), 127-142.
- 김연희(2007). 유전자 조작 생물에 대한 고등학교 학생과 생물 교사의 인식조사. 이화여자대학교 생물교육과 석사학위논문.
- 김지나, 권재술(2005). 물리학습에서 불일치 상황에 직면한 학생들의 반응 유형 - 관찰 및 인식, 신념변화, 제안하는 실험의 유형, 신념변화에 따른 인지갈등 정도. 한국과학교육학회지, 25(2), 162-172.
- 김지나, 변영찬(2007). 물리실험에서 선개념과 불일치한 실험 데이터에 대한 학생들의 해석 유형. 한국과학교육학회지, 27(5), 404-411.
- 김지현(2003). 중학교 학생들의 생식과 유전관련 오개념에 대한 연구. 연세대학교 공동과학교육전공 석사학위논문.
- 김희백, 이선경(1996). 과학·기술과 관련하여 사회적으로 쟁점화 된 주제에 대한 중고등학생의 태도. 한국과학교육학회지, 16(4), 461-469.
- 김희백, 이성조, 김형련, 이선경, 강경미, 김성하(2002). 유전개념의 이해를 위한 염색체 모형 이용 수업의 효과. 한국생물교육학회지, 30(), 282-288.
- 노학기, 공윤식, 박창영, 정기수(2005). 고등학교 물리의 기체 분자 운동론에서 웹 활용 모의실험이 학습에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 25(5), 547-554.
- 민진선, 박지영, 김희백(2004). 유전과 진화에 관한 학생의 대한 개념 분석 - 존재론적 속성을 중심으로 -. 한국생물교육학회지 32(2), 158-172.
- 박종석, 조희형(1986). 고등학생들의 유전에 대한 오인의 확인 및 유전학 지도 방향. 한국과학교육학회지, 6(2), 35-42.
- 박지영, 김희백, 소경희, 조은희(2005). 교과서에 제시된 생명윤리교육 실태 - '국어', '도덕', '사회', '과학', '기술·가정' 교과를 중심으로. 교육과정평가연구, 8(2), 121- 144.
- 송진웅(2003). 구성주의적 과학교육과 학생의 물리 오개념 지도. 한국수학교육학회, 42(2), 87-109.
- 신영준, 정완호(1995). 고등학교 문과 학생들의 생명공학과 유전공학에 대한 지식과 태도조사. 한국생물교육학회지, 23(2), 201-212.
- 이세영, 임영진, 정화숙(2006). 생물 영역의 오개념에 관한 연구 동향 분석. 한국생물교육학회지, 34(2), 174-184.
- 이은정, 소금현, 여성희(2006). 중학교 유전 단원의 오개념 교정을 위한 학습 만화 프로그램의 개발 및 적용. 한국생물교육학회지, 34(3), 355-364.
- 정영란, 계보아(1998). 생명공학의 기본 개념에 대한 고등학생의 이해도 조사 및 개념 분석. 한국과학교육학회지, 18(4), 463-472.
- 정영란, 김은주(2002). 염색체, 유전자, 유전정보에 대한 학생들의 이해도 연구. 한국생물교육학회지, 30(4), 316-324.
- 정은영, 김영수(2001). 생물윤리 교육에 대한 생물교사와 중등학생의 인식조사. 한국생물교육학회지, 29(2), 155-167.
- 황수연, 이진성(2000). 감수분열에 대한 고등학생들의 이해를 도울 수 있는 방안. 한국생물교육학회지, 28(4), 342-347.
- Lewis J and Kattmann U (2004) Traits, genes, particles and

information; re-visiting student's understandings of genetics. *International Journal of Science Education* 26(2): 195-206.

Venville G, Gribble SJ and Donovan J (2005) An exploration

of young children's understandings of genetics concepts from ontological and epistemological perspectives. *Science Education* 89(4): 614-633.