韓國數學教育學會誌 시리즈 A <數學教育>
http://dx.doi.org/10.7468/mathedu.2019.58.3.383
2019. 08. 제 58권, 제 3호, 383-401.

J. Korean Soc. Math. Ed. Ser. A: The Mathematical Education
August. 2019, Vol. 58, No. 3, 383-401.

‘Mendel(1865)의 연구에서 발견한 수학적 연결고리’를 이용한 통합 수업 자료 개발에 관한 연구

이동근(서울특별시교육청교육연구정보원, 교사)

A study on the development of integrated class data using the mathematical linkage found in the study of Mendel (1865)

Lee, Dong Gun(jakin7@hanmail.net)

초록

고등학교의 통합 교육에서는 각 교과 간의 공통 개념이나 아이디어를 중심 내용으로 다루어야 하기 때문에, 본 연구는 이미 학습한 과학적 개념인 ‘Mendel의 유전 법칙’을 이용하여 수학을 중심으로 한 통합 수업이 진행될 수 있도록 자료를 개발하고, 개발된 자료에 대하여 CVR 검증을 통하여 전문가 타당성을 확인한 연구이다. 선행연구에 의하면 중학교에서 학습한 과학 개념 중에서 수학과 연계가 비교적 적은 것으로 알려진 내용 중 Mendel의 유전 법칙을 대상으로 하여 연구를 진행하였다. 수학과 다른 과목을 통합한 수업에서는 두 과목 사이의 공통 연결고리가 풍부할수록 수업 효과가 좋기 때문에, 본 연구에서는 확률 영역 이외에도 통계 영역의 개념까지 포함하여 조사를 진행하였으며, 이에 근거하여 1차시(100분) 수업에 해당하는 수업 자료를 개발할 수 있었다.

Abstract

This study started with the idea that it is necessary to focus on common concepts and ideas among the subjects when conducting integrated education in high school. This is a preliminary study for developing materials that can be taught in mathematics in the context of already learning scientific concepts in high school. For this purpose, Mendel 's law of genetics was studied among the contents of biological subjects which are known to have relatively little connection with mathematics. The more common links between the two subjects are, the better, in order to integrate math and other subjects and develop materials for teaching. Therefore, in this study, we investigated not only the probability domain but also the concept of statistical domain. We have been wondering if there is a more abundant idea to connect between 'Mendel's law' and 'probability and statistics'. Through these anxieties, we could find that concepts such as 'likely equality' and 'permutation and combination' including 'a large number of laws' can be a link between two subjects. Based on this, we were able to develop class materials that correspond to classes. This study is expected to help with research related to development of integrated education support materials, focusing on mathematics.

* 주요어 : 통합, 생물, Mendel, 큰 수의 법칙, 동등성, 일반화, 수학적 모델링
* **Key words** : integration, biology, Mendel, a large number of laws, likely equality, generalization, mathematical modeling
* **Address**: Seoul education research & information institute, Seoul, Korea
* **ZDM Classification** : D10
* **2000 Mathematics Subject Classification** : 97D99
* **Received**: June 17, 2019 **Revised**: July 12, 2019 **Accepted**: July 24, 2019

Ⅰ. 서론

Gauss가 ‘수학은 과학의 여왕’이라고 언급한 것에 대하여 사람마다 다양한 관점에서 해석할 수 있으나, 수학이 다른 영역의 과목들과 밀접한 관련 있음을 강조한 것이라는 점에는 모두가 동의할 것이다. 최근 보편적으로 통용되는 ‘융합’, ‘통섭’이라는 단어들을 보면 여전히 현대 사회에서도 학문간 결합에 대한 관심이 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 학교수학에서도 수학과 다른 교과목들 사이의 결합에 대한 지속적인 고민을 하고 있다. Cho et al.(2007)은 ‘학문간 경계를 넘나들되 학문 고유의 성격은 유지하는 것’을 통섭이라 하였고, Kim(2012)은 ‘서로 다른 학문을 화학적으로 완전히 통합하는 것’을 융합이라 하였다.

학교수학에서 수학과 다른 교과목 사이의 결합에 대하여 고민할 때, ‘융합’과 ‘통섭’의 측면 모두 고려할 필요가 있지만, 최근 교육 현장에서는 ‘융합’적 측면이 강한 STEAM 교육 관련 연구가 주목을 받았다. Lee & Rim(2013)은 교육과학기술부(2010, as cited in Lee, Rim, 2013)가 과학 기술에 대한 흥미와 이해를 높이고 융합적 사고와 문제해결능력을 배양할 수 있도록 학습 내용을 핵심역량 위주로 재구조화하기 위한 계획을 제시하면서 초·중등 STEAM 교육을 강조했다고 언급하였고, 이때 STEAM에서 추구하는 바가 ‘융합’에 해당한다고 하였다. 교육과학기술부(2011, as cited in Lee, Rim, 2013)가 STEAM 교육을 ‘융합인재교육’으로 명명하였다는 점도 ‘융합’적 측면이 강조되어왔음을 보여준다.

그러나 이러한 흐름 속에서 수학의 역할에 대한 재고가 필요하다는 의견도 꾸준히 제시되어왔다. Ju, Moon, & Song(2012)은 수학 관련 융합 프로그램들이 영재 학생을 대상으로 하고 있다는 점과 다양한 이슈가 등장하기는 하지만 동기 유발에 치우쳐 수학적 탐구로 이어지지 못하고 있음을 지적하였다. 또한 수학이 다른 과목과의 융합에서 계산이나 공식을 제공하는 정도의 도구적 역할에 그치고 있음을 지적하고 결과적으로 수학 기반의 융합적 역량을 기르지 못하고 있음을 지적하거나 융합인재교육에서 수학이 다른 과목(기술, 공학, 과학)에 비하여 연구가 적은 점이 언급되기도 하였다(Kim, 2014).

이에 Jeong(2015)은 융합 수업의 활성화를 위한 방안으로 수업에서 서로 다른 교과와의 결합을 할 때, 각 교과에 기반하여 다른 과목들의 내용을 활용하는 접근 방식을 제안하였다. 즉, 수학과 다른 과목을 연계할 때 수학에 기반하여 다른 과목을 통합하는 방식을 제안하였으며, 이러한 방식이 분리된 교과체제에 익숙한 교사들이 지속적인 융합 수업을 진행할 수 있는 방식이라고 하였다. Lee, Rim, & Moon(2010)도 수학과 과학 과목간의 통합 과정에서 수학 교사가 주체가 되어 ‘과학 개념을 이미 학생들이 배웠다는 전제’하에 수학 수업 시간에 다루는 방안을 현실적인 통합 모형이라고 하였으며, 자신들이 제시한 통합 모형이 과학적 상황으로부터 점진적 수학화 과정을 통하여 수학적인 현상을 이해하는 능력과 안목을 키우는데 도움을 줄 수 있다고 하였다.

한편 So(2005)는 고등학교에서 통합 교육을 실행할 때 각 교과간의 공통 개념이나 아이디어를 중심으로 할 필요가 있다고 하였으며, 이는 과학적 맥락을 중심으로 수학화를 경험하는 기회를 제공하는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 관점은 Freudenthal(1991)이 ‘현실성이 풍부한 맥락 내에서 그 정리 수단인 수학적 본질을 찾고 조직하는’ 수학화 활동을 강조한 것과도 맥을 같이 한다. 이때 Shin & Ju(2014)는 수학과 과학 과목을 통합할 때, 국내 연구들이 주로 함수 영역을 중심으로 물리 교과와의 통합에 치우쳐있음을 지적하였고, Shin(2005)은 수학과 과학 통합 교육을 예로 들어서 통합 교육 실현을 위해서는 다양한 과목들과의 통합 방안이 필요하다고 하였다.

Choi(2008)는 수학과 생명과학계열의 협조적 교과과정 개발 방향의 연구를 수행하면서, 과학영역이면서도 수학과 거의 관계가 없는 것으로 인식되어왔던 생명과학계열 영역과 수학분야의 상호 보완적 관계에 대한 연구가 미국을 중심으로 활발히 진행되었다고 하였다. Kang, Kim, Seo, Ahn, & Choi(2006)도 현대 과학의 두드러진 특징 중 하나는 본질적으로 다른 연구 분야들이 만나 새로운 분야를 만들어 낸다는 것이라고 하면서, 수리 생물학이라 불리는 생명과학과 수학의 만남을 언급하였다. 다만, 본 연구와 관련하여 Choi(2008)가 Rutgers 대학교의 BMC 프로그램에 대한 소개를 인용한 것에 주목할 필요가 있다. 인용된 글에서는 미국을 기준으로 대학 내에서는 수학과 생명과학의 만남이 어느 정도 자리 잡으면서 수학-생물학의 두 학문 분야를 오가며 연구하는 학생들이 조

금씩 늘어나고 있는 반면, 고교 과정에서는 거의 백지상태에 있다고 우려를 표현하였고, 이러한 문제의 해결을 위해서 고등학교 교사들이 교실에서 수학과 생물학의 상호관계를 잘 설명할 수 있는 수업자료를 준비할 필요가 있다고 하였다. Shin & Ju(2014)는 2007 개정 수학과 교육과정 해설서에서 확률론이 다양한 분야에 응용되고 있음을 인용하면서 'Mendel의 유전 법칙'과 학교수학에서의 '확률과 통계'과의 통합을 시도하였다. 특히 해당 연구에서는 두 과목의 통합 과정에서 '확률의 곱셈 법칙의 수학화'와 '통계적 확률의 점진적 수학화 과정'을 확인하였다는 점과 수학 과목에 기반한 통합 모형의 실천적 사례를 제시하였다는 점에서 본 연구에 시사해주는 바가 있다.

다만, Shin & Ju(2014)의 연구에서는 'Mendel의 유전 법칙'을 '확률' 영역을 중심으로 통합한 것으로 보이는데, 본 연구에서는 앞서 So(2005)가 고등학교에서 통합 교육을 실행할 때 각 교과간의 공통 개념이나 아이디어를 중심으로 할 필요가 있다고 언급한 점을 고려하여 'Mendel의 법칙'과 '확률과 통계' 사이를 연결할 수 있는 더 풍부한 아이디어가 있는지에 대하여 살펴보았다. 연결고리에 해당하는 아이디어가 풍부하다는 것을 밝히는 것이 추후 통합 교과 자료를 개발하는데 도움이 될 수 있다고 생각하였기 때문이다. 이를 위하여 본 연구에서는, 'Mendel의 유전 법칙'이 소개된 Mendel(1865)의 연구 결과를 분석하여 수학적 연결고리를 조사하고 이들 수학적 연결고리를 고려하여 Mendel(1865)의 연구를 재해석함으로써, 선행연구에서 다루었던 '확률의 곱셈정리', '통계적 확률' 개념 이외에 수학과 생물 과목 간의 연결고리에 해당하는 아이디어를 도출하고자 한다. 또한 이러한 연결고리에 해당하는 아이디어에 근거하여 수학과 생물 과목에서의 통합 교육의 자원으로 'Mendel의 법칙'을 활용한 수업 자료를 개발하고자 한다. 이때 개발한 자료가 통합 교육의 자원으로서 수학 수업에 적용가능한 자료인지와 수업에서 실현 가능한지 여부에 대하여 수학교사들을 대상으로 CVR 검증을 실시하여 자료의 타당성을 확인할 것이다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. Mendel(1865) 연구의 배경

Mendel은 1865년에 식물 잡종에 관한 연구를 보고서 형태로 발표하였으며, 해당 내용을 1866년에 Moravia의 Brünn(현 Brno) 지역의 자연과학회에 논문 형태로 발표하였다(Orel, 1984). 해당 연구는 1856년부터 1863년까지 일곱 쌍의 대립형질을 가진 완두콩을 재배한 결과를 다루고 있으며, 현재 우리나라의 중·고등학교에서 'Mendel의 유전 법칙'으로 알려진 내용을 포함하고 있다. Mendel이 실험을 통하여 유전 법칙에 해당하는 결과를 도출하는 과정을 이해하기 위해서는 먼저 Mendel이 살았던 시기와 지역적 특성 및 학문적 배경을 살펴볼 필요가 있다. Mendel이 활동하였던 Brno 지역은 당시 방직 공업의 중심지로 양모 생산의 양적, 질적 향상이 필요한 시기였다(Orel, 1984). 이에 과학적인 면양 육종법의 발전을 위해 1814년 농학회 산하에 면양 육종가 협회를 결성되었으며, Orel(1984)이 소개한 일화에 따르면 1810년에 한 영국 방문객이 종자 역할을 할 수 있는 수컷 면양이 당시 시세보다 월등히 비싼 가격에 거래되는 것에 놀랐다는 기록이 있다. 이는 당시 Brno 지역의 면양 육종에 대한 관심이 높았고 실제 이를 상용화하였음을 알 수 있는 대목이다. 이후 이러한 육종법은 과실 재배 쪽으로 이어졌고, Mendel이 속했던 수도원에서도 종묘원을 건립하였다. 수도원은 1825년 이후 품종 개량에 대한 관심을 바탕으로 개량 품종 재배 방법에 관한 지침서를 내기도 하였으며, 1843년 Mendel이 이 수도원에 들어오기 전에 이미 수도원은 육종 연구소로 불릴 정도로 관련 분야에서 인정받고 있었다(Orel, 1984).

한편 Mendel이 수행한 연구 자체는 그와 유사한 실험들이 이미 진행되거나 수행되었다는 기록이 있는데, Darwin도 Mendel이 수행한 실험과 비슷하게 금어초라는 식물을 가지고 교배 실험을 진행하였다는 기록이 있다(Wallace, Sanders, & Ferl, 1990). 다만 Orel(1984)은 이러한 실험들이 여러 가지 상이한 식물들을 이용하였고, 이러한 방법을 통하여 식물을 전체적으로 대상으로 하여 양친의 형질이 잡종에서 융합되는 것을 찾으려는 경향을 가졌기 때문에 유전과 관련된 법칙을 찾아낼 수 없었다고 평가하고 있다. 반면 Mendel은 확실하고 쉽게 구분되는 대립형질을 가지는 두 개의 순종을 교배하는 방법을 택함으로써 문제 해결에 용이하게 접근할 수 있었다고 평가하였다. 이에 연구자는 Mendel의 연구에서 '손쉽게 구분되는 대립형질을 가지는 두 개의 순종을 교배하려는

전략'이 이전 연구들과 달리 Mendel의 의도적이고 중요한 차이를 가져온 전제라고 판단하였다.

Mendel의 일대기를 다룬 서적들은 공통적으로 Mendel(1865)의 연구가 Mendel 생존 당시 큰 주목을 받지 못한 것으로 기술하고 있다(Bryson, 2003; Orel, 1984; Watson, 2017). 반면 Darwin(2009)에서 다룬 주제인 '진화'는 Darwin 자신에게도 Mendel에게도 관심이 높은 주제였다. 따라서 Darwin과 Mendel이 서로의 연구에 대하여 어떠한 의미를 부여했는지에 대하여 생각해볼 수 있다. Watson(2017)은 "Mendel이 Darwin(2009)의 연구를 읽은 상태였을 뿐만 아니라 Darwin의 자연선택 이론을 수용할 준비가 되어있었다."고 하였다. Bryson(2003)은 "Mendel이 자신의 연구가 Darwin의 연구에 기여할 수 있을 것으로 생각하였다."고 언급하고 있다. 이는 Darwin(2009)에서 Darwin이 진화 관련 연구를 목적으로 식물의 교배 실험과 자료를 수합하였으나, 결과적으로 유전을 지배하는 법칙에 대하여 미지라고 결론을 내렸던 반면 Mendel은 유전과 관련하여 법칙을 찾아냈고 그 법칙이 Darwin에게도 도움이 될 수 있을 것이라 생각하였기 때문이다(Orel, 1984).

그러나 Darwin은 Mendel의 연구 결과에 주목하지 않은 것으로 알려져있다(Bryson, 2003). 그러한 이유 중에는 Mendel의 연구 당시에는 밝혀지지 않았던 교차율 개념 때문에 실험에 사용할 종을 선택할 때 동일한 결과를 보장할 수 없었던 이유 때문이기도 하고, Mendel(1865)의 연구방법이 지금에는 큰 문제없이 받아들여지는 수리 통계학적 방법이지만 당시 학회에서는 생소한 연구방법이었다는 점을 이유로 들기도 한다(Bryson, 2003). Mendel(1865)의 연구 결과는 Mendel 사후에 1900년 de Vries, Correns, Tschermak 등에 의하여 재조명 받았으며, 후속 연구들에서 Mendel이 사용한 수리적 분석법을 적용한 연구들도 이어졌다(Orel, 1984). 이렇게 재조명된 Mendel(1865)의 연구 결과는 유전에 대한 사람들의 생각에 전환을 가져온 것으로 보인다. 특히 Wallace et al.(1990)은 Mendel의 유전 법칙에 대한 의미를 기술하면서, Mendel 당시에는 '융합 유전'이라고 하여 부모의 형질의 중간형으로 후손의 형질이 나타난다고 보았으나, Mendel은 어느 한쪽 형질만 나타나는 '입자 유전' 방식으로 이루어진다고 예상하고 실험을 진행한 것이라고 평가하였다. 한편 Mendel 이후에 생식세포의 분열이 관찰되면서 Mendel의 연구는 더욱 주목 받았다.

2. Mendel(1865) 연구의 개요

Mendel(1865)의 연구는 1865년 2월 8일과 3월 8일의 두 번에 걸친 보고서를 모아놓은 것이며, 이 내용은 1866년 논문 형태로 학회에 제출되었다. 서론과 결론을 포함하여 총 11개의 장으로 구성되어있으며, 해당 목차를 표로 제시하면 [Table 1]과 같다.

[Table 1] Contents of Mendel (1865)

Chapter	Contents
1	Introductory remarks
2	Selection of the experimental plants
3	Division and arrangement of the experiments
4	The forms of the hybrids
5	The first generation from the hybrids
6	The second generation from the hybrids
7	The subsequent generations from the hybrids
8	The offspring of hybrids in which several differentiating characters are associated
9	The reproductive cells of the hybrids
10	Experiments with hybrids of other species of plants
11	Concluding remarks

1장과 11장은 논문에서의 보편적인 방식에 따른 서론과 결론으로 볼 수 있다. 2장은 Mendel이 자신이 완두콩을 실험 대상으로 선택한 이유에 대하여 상세한 설명을 하고 있으며, 3장은 7쌍의 대립형질을 이용한 실험 절차에 대하여 기술하고 있다. Mendel의 7쌍의 대립형질은 종자 모양(둥글거나 주름진 것), 종자 색(황색이거나 녹색), 종피 색(백색이거나 회색), 미성숙 깍지 색(녹색이거나 황색), 깍지 모양(부풀거나 압축된 모양), 줄기 길이(짧거나 긴 것), 꽃 위치(축 둘레 혹은 정단) 등이다. 4장에서 잡종의 형태에 대한 설명을 한 다음, 5장과 6장은 잡종인 종자를 자가수분한 다음 그러한 실험 결과를 기술하고 있다. 이 부분에서 Mendel은 7쌍의 대립형질들에 대한 실험 결과에 근거하여 각각의 결과가 3:1이라는 비율로 나타난다고 주장하였다. 7장은 잡종의 대가 반복되면서 발견되는 규칙에 대하여 다루고 있으며, 여기서 Mendel은 대립형질을 문자로 표현하여 우성인자를 A, 열

성인자를 a로 표현하기 시작하였다. 이때 Aa와 aA를 다르게 보는 것을 순열형[1]이라 하고, Aa와 aA를 동일하게 Aa로 보는 것을 유전형이라 하며, 겉으로 드러나는 모습의 형질을 표현형이라 한다. 표현형은 우성인자가 있을 경우 우성인자의 형질로 나타난다. 예를 들어 AA, Aa, aA는 순열형은 3개이고 유전형은 2개이다. 또한 AA와 Aa는 유전형은 다르지만 표현형은 동일한 것으로 본다. 이전 5, 6장은 실험에 의한 결과를 이용하여 통계적으로 접근한 것이라면, 7장부터는 조합과 확률을 이용하여 Mendel이 자신의 실험 결과를 수리적으로 해석하는 장으로 볼 수 있다. 8장과 9장은 여러 다른 특성의 대립형질들이 결합된 잡종의 자손에 대하여 논하고 있다. 여기서도 7장과 마찬가지로 문자를 이용한 조합을 이용하여 도출한 결과들을 자신의 실험 결과와 연계하여 정당화하는 내용이 소개되고 있다. 10장에서는 다른 식물 종에 대한 잡종 실험을 언급하면서 마무리하고 있다. Orel(1984)은 Mendel이 Mendel(1865)에서 자신이 수행하는 실험의 목적을 분명하게 인식하고 있었으며, 또한 그러한 실험 결과를 수리적으로 해석할 수 있다는 가정하에 실험을 진행한 것으로 보았다. 이러한 추측은 장기간에 수행한 많은 수의 자료를 처리하는 방대한 실험을 수행하면서 아무런 계획 없이 수행하였을 리가 없기 때문에 일리가 있어보인다. 다만 본 연구에서 주목한 부분은 Mendel이 Wien 대학에서 수학과 통계학을 공부하였기 때문에 수리적 모형으로 결과를 해석하거나 예상할 수 있었고, 이러한 차이점이 Mendel 이전의 학자들이 결론 도출에 실패한 것과 달리 성공적으로 실험을 추진할 수 있었던 것(Orel, 1984)이라는 부분이다. 이에 본 연구에서는 Mendel이 자신의 실험을 수리적으로 해석하는 5, 6, 7, 8, 9장을 중심으로 살펴볼 것이며, 특히 이 과정에서 나타나는 수학적 요소에 관심을 가질 것이다. 이를 통하여 Mendel(1865)의 연구에서 학교수학으로의 연결고리를 발견할 수 있을 것으로 보인다.

[1] 해당 용어는 개체 수를 헤아릴 때 Aa와 aA를 구분할 필요가 있는데 이러한 의미를 표현하는 적절한 용어를 찾지 못하여 학교수학에서 순열의 의미를 차용해서 연구자가 임의로 붙인 명칭이다. Mendel(1865)에서는 본 연구에서의 유전형을 영어 ‘combination series’라고 하였으나 본 연구에서는 이를 국내 생물학에서 사용하는 ‘유전형’으로 대체하여 용어를 사용하였다.

3. 교육과정에서 ‘Mendel의 유전 법칙’과 ‘확률과 통계’

본 연구에서는 앞서 언급하였던 바와 같이 이미 다른 교과 개념을 학습한 경우를 전제하여 수학 과목을 중심으로 통합할 수 있는 방향에 목적을 두고 있기 때문에, Mendel(1865)에 해당하는 내용이 교육과정 상으로 확률과 통계를 학습하게 되는 고등학교 2학년 이전에 편성되어있는지를 확인할 필요가 있다. ‘고등학교 2학년 이전’이라는 기준을 제시한 이유는, Mendel의 유전 법칙을 학교수학 혹은 융합 자료로 구성하여 연구를 진행한 국내 연구들에서 Mendel의 유전 법칙과 관련되는 수학 개념으로 확률의 곱셈법칙, 통계적 확률을 제시하고 있는데, 이들 개념이 고등학교 2학년에 소개되고 있기 때문이다. 또한 본 연구가 수행되는 시점이 2009 개정 교육과정에서 2015 개정 교육과정으로 이행되는 교육과정 전환기에 해당하므로, Mendel의 유전 법칙이 교육과정에서 소개되는 시점을 확인할 때 두 교육과정을 모두 살펴볼 필요가 있다. 2009 개정 교육과정에서는 Mendel의 법칙이 중학교 1~3학년군에서의 과학 과목과 고등학교 일반선택과목의 생명과학Ⅰ에서 소개되고 있었는데, 중학교 1~3학년군에서는 염색체에 대한 언급 없이 (Mendel(1865)의 수준으로) 소개되지만 고등학교에서는 염색체를 이용하여 Mendel의 법칙을 다룬다는 차이가 있었다. 반면 2015 개정 교육과정에서는 중학교 1~3학년군에서의 과학 과목에서 Mendel의 법칙을 소개하고 있지만, 2009 개정 교육과정에서와는 달리 2015 개정 교육과정에서는 고등학교에서 Mendel의 법칙을 소개하지 않았다. 다만 두 교육과정 모두 Mendel(1865)의 내용을 고등학교 2학년 이전에 학습하고 있으므로 본 연구 수행에 있어서는 문제가 되지는 않는다고 판단하였다. 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 중학교 1~3학년군을 대상으로 개발된 과학3 교과서를 조사한 결과 Mendel의 유전 법칙은 ‘우열(우성)의 법칙’, ‘분리의 법칙’, ‘독립의 법칙’과 같은 현대적인 용어로 정리되어 소개되고 있었다.

그러나 본 연구에서는 Mendel(1865)의 연구를 분석하여 수학적 요소를 도출하는 것에 목적이 있으므로 Mendel(1865)의 연구를 분석하는 과정에서는 Mendel이 사용하지 않은 현대적인 용어의 도입은 최소화하고자 한다. 이때 ‘우성’이나 ‘열성’과 같이 Mendel이 사용한 표현이나 ‘순열형’, ‘유전형’, ‘표현형’과 같이 논의를 전개하는

데 부득이한 경우는 일부 용어를 사용하였다.

한편 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 확률과 통계 과목이 고등학교 1학년 이후에 편성되는지에 대하여는 서울 소재 일반계 고등학교 20개교를 임의 선택하여 정보공시 관련 2018년의 교육과정 계획(2019년 교육과정은 공개 시기 이전임)을 확인하였으며, 확인 결과 대상 학교 모두 해당 연도에는 고등학교 1학년 이후에 확률과 통계 과목을 편성하여 운영하고 있었다. 2018년 교육과정 계획을 확인한 것이므로 2018년에 고등학교 1학년 학생들이 확률과 통계를 어느 학년에 학습할 것인지에 대한 정보는 없지만 학생들이 고등학교 1학년에 확률과 통계 과목을 배우지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 앞서 '순열형', '유전형', '표현형'과 같은 용어의 사용이 교육과정 상 문제를 야기하는지 여부에 대하여 살펴볼 필요가 있다. 그런데 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 Mendel의 유전 법칙은 중학교1~3학년군에서 소개되고 있으며, 학교에서는 과학3 과목(중학교 3학년 대상 교과서)에서 그 내용을 다루고 있다. 따라서 본 연구에서는 과학 개념을 학습한 이후 수학 과목에서 이를 통합하는 관점에서 연구를 진행하고 있으므로, '순열과 조합' 개념이 중학교 3학년 이후에 소개되고 있는지 확인할 필요가 있는데, 2009 개정 수학과 교육과정에서는 '순열과 조합'은 확률과 통계 과목에서 소개되며 이는 고등학교 2학년에서 다루는 과목이기 때문에 문제가 발생하지 않는다.

한편 2015 개정 수학과 교육과정에서는 중학교 3학년을 대상으로 하는 '수학' 과목에서

(다) 평가 방법 및 유의 사항

- 경우의 수는 두 경우의 수를 합하거나 곱하는 경우 정도로만 다루고, 순열과 조합을 이용하면 쉽게 해결되는 등의 복잡한 경우의 수를 구하는 문제는 다루지 않는다.

와 같은 유의 사항을 제시하고 있으므로, '순열과 조합'의 개념은 중학교 3학년 이후에서 다룬다는 것을 확인할 수 있으며, 따라서 교육과정 상의 문제는 발생하지 않는 것을 확인하였다.

4. 갈등 해결 수업모형

Stevahn(2004)은 갈등 해결 모형을 통하여 갈등 해결 능력을 키우고 동시에 교과 내용의 학습을 증진시킬 수 있다고 하였다.

Gunter, Estes, & Mintz(2007)는 갈등 해결 수업 모형의 장점으로, 갈등과 갈등하고 있는 참여자의 갈등에 대한 반응에 대하여 추론할 수 있다는 점과 문제를 비판적이고 분석적으로 생각할 수 있도록 한다는 점을 언급하였다. 또한 Gunter, Estes, & Mintz(2007)는 갈등 해결 모형이 어떤 저자의 근본적인 아이디어를 발견하기 위한 분석 도구가 될 수 있다고 하였다. Gunter, Estes, & Mintz(2007)는 갈등 해결 수업 모형의 8단계에서 마지막 평가 부분을 제외한 나머지 7단계에 대하여 학생들의 활동 중심으로 표현된 질문들로 소개하였다.

- 무슨 일이 일어났는가?
- 참여자가 왜 그렇게 했는가?
- 갈등에 대하여 학생은 어떠한 해결책을 제시할 수 있는가?
- 최선의 해결책인가?
- 학생이 제시한 그러한 해결책은 다른 사람들에게도 받아들여질 수 있는가?
- 또 다른 해결책은 있는가?
- 이와 유사한 상황에서 어떻게 행동할 것인가?

한편 Anoymous(1986)에서는 Gunter, Estes, & Mintz (2007)이 갈등 해결 수업 모형의 8단계를 실제 수업에 적용한 사례를 소개하고 있다.

Anoymous(1986)에서는 동화 '빨간 망토를 두른 소녀와 늑대 이야기'를 이용하여 갈등 해결 모형을 적용한 수업 사례를 소개하고 있다. 해당 글에서는 늑대가 할머니를 잡아먹기 위한 시간을 벌기 위하여 빨간 망토를 두른 소녀에게 꽃을 꺾어달라고 요구하는 장면을 학생들에게 제시한 다음, 학생들에게 갈등의 참여자들인 빨간 망토를 두른 소녀와 늑대 그리고 할머니에 대한 상황을 학생들 입장에서 설명하도록 하였다.

그리고 나서 수업을 진행하는 교사는 학생들에게 '빨간 망토를 두른 소녀가 어떻게 하는 것이 최선이었을까?'라는 질문을 통하여 학생들이 그러한 갈등 상황을 해결하는 것에 몰입할 수 있도록 하였다.

이러한 점은 본래 이야기 속에 감추어져 있었지만 갈

등 해결에 중요한 역할을 할 수 있는 연결고리를 학생들이 찾아서 재구성하는데 도움을 줄 수 있는 장치로 보인다.

Anoymous(1986)에서 제시된 수업 사례는 본 연구와 관련하여 시사해주는 바가 있다. 본 연구에서도 Mendel(1865)의 연구를 분석하여, 그 안에 드러나지 않았지만 해당 연구에서 논지 전개에 중요한 역할을 하고 있는 수학적 요소를 드러낸 다음, 수학적 요소를 연결고리로 하여 수학과 생물 과목의 통합 교수·학습자료를 개발하는 것에 목적을 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 'Mendel의 법칙을 이미 학습한 경험이 있는 학생들'에게 교사가 Mendel의 연구를 소개 및 갈등 요소를 제시한 다음, '참여자인 Mendel'이 수행한 연구 과정에 대하여 학생들이 살펴보는 기회를 제공하고자 한다. 이러한 과정은 학생들에게 수학과 생물의 연결고리를 찾아서 탐구할 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 Gunter, Estes, & Mintz (2007)에서 소개한 갈등 해결 모형의 단계를 이용하여 수학과 생물 과목의 통합 수업 자료를 개발하고자 한다. 특히 Gunter, Estes, & Mintz (2007)에서 제시한 7단계 중에서, 학생들이 갈등을 경험하게 되는 장치에 해당하는 절차(1단계와 2단계)와 갈등에 대한 학생들의 해결책에 해당하는 절차(3단계) 및 자신들의 해결책에 대한 반성과 일반화의 과정에 해당하는 절차(4단계와 5단계)를 참고할 것이다. 즉, 이들 5단계에 해당하는 절차를 본 연구에서 개발하고자 하는 수업자료에 적절한 질문 형태로 바꾸어 자료 개발에 있어서 구성 틀로 사용하고자 한다.

Ⅲ. 연구방법 및 절차

본 연구에서의 연구방법 및 절차는 큰 틀에서
· 문헌 분석
· 자료 개발
· 개발된 자료의 CVR 검증
과 같은 세 가지 과정을 따라 진행하였다.

세부적으로 살펴보면, 우선 'Mendel의 유전 법칙'이 소개된 Mendel(1865)의 연구를 중심으로 문헌 분석을 실시할 것이다. 이를 통하여 기존 선행연구에서 다루어졌던 수학과 생물 과목 간의 연결고리에 해당하는 아이디어 외에 추가로 두 과목의 연결고리에 해당하는 아이디어들을 도출하고자 한다. 이는 두 과목을 연결해주는 연결고리에 해당하는 아이디어가 풍부해질수록 통합 교육 학습 자료 개발에 도움이 될 것이라 판단하였기 때문이다.

다음으로 이러한 연결고리에 해당하는 아이디어에 근거하여 갈등 해결 수업모형에 따른 '수학과 생물 과목에서의 통합 교육의 자원'으로 'Mendel의 법칙'을 활용한 수업 자료를 개발하고자 한다. 갈등 해결 수업모형을 적용하면 Mendel의 법칙을 이미 학습한 학생들이 Mendel을 참여자로 인식하여 그의 연구를 관찰자의 입장에서 살펴보게 됨으로써 감추어진 생물과 수학의 연결고리를 발견하고 또 Mendel의 연구를 자신의 관점에서 재구성하여 이해하는 것이 가능하기 때문에, 수학과 생물 과목의 통합 교육 자료 개발이라는 본 연구의 취지에 적합한 수업모형이 될 수 있다.

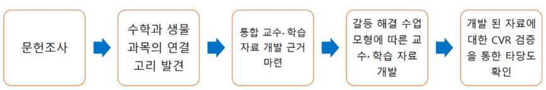
[Table 2] CVR Validation participant

number	affiliation	name
1	OO high school	KimOO
2	OO high school	AhnOO
3	OO high school	LeeOO
4	OO high school	HanOO
5	OO high school	KoOO
6	OO high school	ParkOO
7	OO high school	KimOO
8	OO high school	ChoiOO
9	OOOO high school	ParkOO
10	OO high school	ParkOO
11	OO high school	KimOO
12	OO high school	KangOO
13	OO high school	YoonOO
14	OO high school	LeeOO
15	OO high school	LeeOO
16	OO high school	ChoiOO
17	OO high school	KimOO
18	OO high school	HanOO
19	OO high school	KimOO
20	OO high school	ParkOO

마지막으로 개발한 자료가 통합 교육의 자원으로서 수학 수업에 적용 가능한 자료인지에 대하여 경력 10년 이상의 수학교사들을 대상으로 CVR 검증을 하여 자료의 타당성을 확인할 것이다. CVR 검증에서 10년 이상의 수학교사들을 선택한 이유는 개발된 자료의 개발 목적에 따른 타당성은 물론이고 실제 수업 적용 가능성 여부까

지 확인하기 위해서이다. 즉, 연구자는 전문가에 의한 자료의 타당도 검증은 실제 개발된 자료를 가지고 수업을 해야할 현장 수학교사들의 의견이 중요하다고 판단하였다. [Table 2]는 CVR 검증에 참여한 수학교사 20명에 대한 정보이다.

CVR 검증은 델파이 조사에 기반한 것으로서 전문가에 의한 타당성을 확인하고자할 때 적용할 수 있는 방법이다. 델파이 조사는 다수의 의견을 소수의 의견 보다 선호하는 민주적 의사결정 원리와, 두 사람의 판단이 한 사람의 판단보다 더 정확하다는 계량적 객관의 원리에 근거한다(Lee, 2016). 델파이 조사에 근거하여 Lawshe(1975)가 개발한 CVR은 패널들이 긍정적으로 반응한 비율을 나타낸 것으로서, 리커르트 5점 척도에서는 '타당함'과 '매우 타당함'에 해당하는 것을 합친 것을 긍정적인 답변으로 보았을 때 그러한 긍정적인 답변의 비율을 뜻한다. 즉, CVR이 높을수록 개발된 자료의 타당성이 높다고 할 수 있다. [Fig. 1]은 본 연구에서 연구 절차를 그림으로 나타낸 것이다.



[Fig. 1] 연구 절차 흐름

Ⅳ. 결과 분석 및 논의

1. Mendel(1865)의 연구 중 5, 6, 7, 8, 9장에서 나타난 수학적 연결고리

본 연구에서는 앞서 언급하였던 바와 같이, 문헌조사 대상으로 Mendel(1865)의 연구를 대상으로 선정하였으며, 특히 수학적 내용이 포함되어있는 5장에서 9장까지의 내용을 분석의 주 대상으로 하였다.

1) '5474:1850'을 '3:1'로 볼 수 있었던 이유

Mendel은 표현형이 둥근 형태의 잡종인 종자 Rr을 자가수분으로 재배하여 총 7324개의 종자를 얻었다. 이 중 5474개는 둥근 형태의 종자였고 1850개는 주름진 종자였으며, 이를 비율로 표현하면 약 2.96:1이 된다. Mendel은 이 결과를 3:1로 보았으며 다른 6쌍의 대립형질들에 대하여도 유사한 결과가 나온다는 점을 근거로 3:1의 결과를 일반화할 수 있다고 하였다.

[Table 3] The genotype number and ratio of the seven opposites

Classification standard	dominant, recessiveness	the ratio of the number of seeds obtained	
		genotype number	genotype ratio
pod shape	smooth, narrow	882:299	2.95:1
pod color	green, gold	428:152	2.82:1
plant size	big, small	787:277	2.84:1
position of flower	leaf armpit, end of stem	651:207	3.14:1
color of flower	purple, white	705:224	3.15:1
seed shape	round, wrinkle	5474:1850	2.96:1
seed color	gold, yellow	6022:2001	3.01:1

Mendel과 유사한 실험을 진행하였던 Darwin이나 다른 학자들도 이와 유사한 결과를 얻었을 것으로 보이나 그들은 Mendel과 같이 얻어진 실험 결과를 근사적으로 처리하여 정수비에 해당 결과로 처리하지 못하였다. 그렇다면 Mendel이 처리한 방식은 우연에 의한 것인지 아니면 Mendel이 의도를 가지고 처리한 것인지 생각해볼 여지가 있다. Mendel은 5장에서 실험을 통하여 종자모양에 따른 비율을 약 2.96:1로 얻었고, 7장에서는 대립형질을 A와 a로 구분하여 표시하는 방법을 보여주었다. 이를 이용하여 [Fig. 2][2]와 같은 절차를 거치면 3:1이라는 결과를 얻을 수 있다.

	A	a
A	AA	Aa
a	aA	aa

[Fig. 2] Aa를 자가수분한 것에 대한 punnett square

여기서 선행연구들에 의하면 확률의 곱셈정리와 덧셈정리가 적용되고 있음을 확인할 수 있다. 우선 제일 처음의 잡종인 종자의 유전형을 Aa라 하였을 때 각 인자형인

[2] Figure 2는 punnett square를 이용하여 표현한 것으로서 이는 Mendel이 이용한 도구는 아니다. 본 연구에서 punnett square는 왼쪽 행과 위쪽 열의 교차되는 빈칸에 왼쪽인자와 위쪽인자를 순서대로 나열하는 방식으로 빈칸에 내용을 구성하는 방식이다.

A와 a는 입자라고 하면 각각 A와 a로 분리가 된다고 생각할 수 있다. 이제 예를 들어서 살펴보면 Figure 2에서 열에서 A인자와 a인자가 성택될 확률은 각각 $\frac{1}{2}$이고, 이는 행에서 마찬가지로 적용되므로 행에서 A인자와 a인자가 선택될 확률이 각각 $\frac{1}{2}$이다. 이제 제일 처음 잡종인 종자 Aa를 자가수분하여 얻은 종자에서 AA가 될 확률은 곱셈정리에 의하여 $\frac{1}{4}\left(=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\right)$이 된다. 한편 잡종(순열형이 Aa 혹은 aA)이 나올 확률을 구하는 것이나 표현형이 둥근 것과 주름진 것이 3:1로 나오는 것에는 확률의 덧셈정리로 설명이 가능하다. 우선 잡종인 Aa와 aA가 나오는 사건은 서로 독립이므로 각각 나올 확률을 더하는 것이므로 $\frac{1}{2}\left(=\frac{1}{4}+\frac{1}{4}\right)$이 된다. 그리고 표현형이 둥근 것은 순열형이 Aa이거나 aA 혹은 AA인 경우인데 이들 각각이 나오는 사건도 서로 독립이으로 $\frac{3}{4}\left(=\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{4}\right)$이다.

단, 이러한 절차를 수행하기 위해서는 A와 a로 분리될 때 동등성이 보장되어야 하는데, Mendel은 동등성을 가정하고 해당 절차를 수행하여 표현형의 비율이 3:1이라는 것을 생각했을 것으로 보인다. Mendel이 동등성이 보장된다고 가정할 수 있었던 것은, 그가 유전에 대하여 당시 보편적으로 받아들여졌던 융합설이 아니라 입자설을 사전에 생각하고 실험 진행하였을 가능성이 있음을 보여준다. Mendel이 수리적인 모형을 먼저 생각하고 실험을 진행한 것인지 아니면 실험을 통하여 관찰한 결과를 수리적인 모형으로 해석한 것인지에 대하여 본 연구의 자료만으로는 판단할 수 없다. 다만, Mendel이 Mendel(1865)의 연구에서와 같은 거대한 규모의 실험을 아무런 계획 없이 수행하지 않았을 것이라는 전제하에, 사전에 관찰한 결과에 따라 수리적인 모델을 세우고 이 수리적 모델을 수립한 이후 본 실험을 진행하였을 가능성은 충분히 생각해볼 수 있다.

그런데 Mendel이 수리적으로 얻어낸 결과와 이전에 실험에서 얻어진 값을 서로 연결하여 '실험에서 얻어진 값을 수리적으로 얻어낸 결과로 대체하는 과정'에는 또 다른 수학적 개념을 생각할 수 있다. 학교수학에서 사용하는 용어를 이용하여 살펴보면, 실험에서 얻어진 값은 통계적 확률로 볼 수 있고 수리적으로 얻어낸 결과는 수학적 확률로 볼 수 있으며, 통계적 확률을 수학적 확률로 보는 것은 큰 수의 법칙에 해당하는 개념이다. 즉, Mendel은 실험에서 얻어진 결과 약 2.96:1을 근사적으로 처리하여 정수비로 고쳐서 3:1로 제시한 것이 아니라 통계적 확률을 수학적 확률로 대체한 것으로 보이며, 이는 큰 수의 법칙을 적용한 것으로 볼 수 있다.

본 연구에 대한 이해를 돕기 위하여 학교수학에서 확률과 통계 과목에 소개되는 '큰 수의 법칙'의 내용을 살펴볼 필요가 있다. 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정에서의 총 17종의 확률과 통계 교과서를 조사한 결과, 공통적으로 정규분포를 학습하기 전에 이항분포 $\mathrm{B}(n,p)$의 특정 사례를 이용하여 '큰 수의 법칙'을 설명하고 있었으며, 이를 통하여 수학적 확률을 통계적 확률로 대체할 수 있음을 언급하고 있다. 교과서에서 소개하고 있는 큰 수의 법칙은 18세기에 Bernoulli에 의하여 처음 증명되었으며(Kojima, 2004), 'Bernoulli의 정리' 혹은 '약한 큰 수의 법칙(Weak law of large number)'으로 불리기도 한다(Burton, 1991). 큰 수의 법칙에 대한 일반적인 수학적 표현은 다음과 같다.

> θ는 값이 무엇인지 알 수는 없지만 존재하는 참값이고, 추정량 θ_n은 θ의 일치추정량(consistent estimator)이라 할 때, $\forall\epsilon>0$에 대하여 $\lim_{n\to\infty}\mathrm{P}(|\theta_n-\theta|\le\epsilon)=1$ 이다(Wackerly, Mendenhall, & Scheaffer, 2002).

이를 2007 개정 수학과 교육과정에서의 적분과 통계(혹은 미적분과 통계 기본) 교과서에서는 이항분포 $\mathrm{B}(n,p)$의 상황에서 확률변수 X에 대하여 상대도수 $\frac{X}{n}$에 대하여, 수학적 확률을 p라 할 때, $\forall\epsilon>0$에 대하여 $\lim_{n\to\infty}\mathrm{P}\left(\left|\frac{X}{n}-p\right|<\epsilon\right)=1$으로 표현하였으며, 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정의 확률과 통계 교과서에서는 내용을 정리하여 기술할 때, $\lim_{n\to\infty}$의 표현을 사용하지 않고 $P\left(\left|\frac{X}{n}-p\right|<\epsilon\right)$로 표현하거나 아

에 $P\left(\left|\frac{X}{n}-p\right|<\epsilon\right)$이라는 표현 자체도 사용하지 않은 경우가 발견된다. 이는 2007 개정 수학과 교육과정과 달리 2009 개정 수학과 교육과정과 2015 개정 수학과 교육과정에서는 교육과정 상의 위계에 따라 극한 개념을 학습하지 않은 상태에서 확률과 통계를 학습할 수 있기 때문인 것으로 보인다.

Bramald(1994)는 실생활의 확률적 상황 대부분이 각 근원사건의 동등성 보장을 충족하지 않기 때문에 수학적 확률을 사용하기 보다는 통계적 확률이 보다 의미 있게 사용된다는 것을 언급하면서, 동시에 학교 수학에서는 통계적 확률의 이러한 의미를 드러내지 못하고 있음을 지적하였다. Shaughnessy, Canada, & Ciancetta(2003)도 학교수학에서 확률을 '한 번의 시행에서 어떤 사건이 출현할 가능성'으로 보는 것에 치중하고 있음을 지적하고, 반복 시행의 문제 상황 속에서 확률 학습이 이루어질 필요가 있음을 주장하였다. 이는 통계적 확률의 이론화에 대하여 연구한 Mises(1957)가 확률에서 반복적인 사건의 집합을 다룬다고 설명한 것과 같은 맥락에서 이해할 수 있다.

반복적인 시행에 의한 상대도수가 한 번의 시행에서 기대되는 확률에 가까워지는 경향이 있다는 것을 확인하는 것은 학습자가 '통계적 확률'과 '큰 수의 법칙'에 대한 의미를 구성하는데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 Quinn(2000)은 큰 수의 법칙 학습 과정에서 '시행이 반복될수록 성공할 확률은 한 번 시행에서 성공할 확률에 가까워지는 경향이 있다.'고 하면서, 이때 학생들이 '가까워지는 경향이 있다.'는 부분을 시행 횟수가 증가할수록 실험적 확률은 이론적 확률에 항상 가까워진다고 생각하거나, 시행 횟수가 충분히 크면 실험적 확률과 이론적 확률이 정확하게 같은 것으로 생각할 수 있음을 지적하였다.

이는 Freudenthal(1972)도 지적한 적이 있는데, Freudenthal(1972)은 동전을 100번 던졌을 때 앞면이 나오는 상대도수가 점점 $\frac{1}{2}$로 가까워지는 것으로 설명하는 것에 대하여 문제를 제기하면서, 통계적 확률에서 '도수의 안정성'은 시행 횟수가 커질수록 상대도수가 $\frac{1}{2}$에 확률적으로 가까워지는 것으로 설명해야 한다고 주장하였다. 국내에서도 동일한 맥락에서 통계적 확률과 큰 수의 법칙에 대한 학습에서의 문제점을 지적한 연구가 있다. Shin & Lee(2006)는 주사위를 120번 던졌을 때 각 눈이 나오는 상대도수와 1200번 던졌을 때 각 눈이 나오는 상대도수를 비교하여 도수의 안정화를 설명하는 방식을 소개하면서, 이러한 방식은 큰 수의 법칙에 대한 실험적 의미를 학생들이 파악할 수 있게 함으로서 지식의 성격을 통계적 확률을 강조하는 방향으로 이동시킨 것으로 볼 수 있다고 하였다. Brousseau(1997)의 견해에 비추어볼 때, 이러한 방식은 어떤 개념이 발생되는 것이 가능하도록 상황을 설정하고 그 안에서 교사와 학생이 다양한 의미를 부여함으로써 교수학적 논쟁이 이루어질 수 있게 하려는 의도를 가지고 있지만, 한편으로는 학생의 직관적 경험과 부적절하게 연결되어 오히려 큰 수의 법칙에 대한 이해를 방해할 수도 있음을 지적하였다. Shin & Lee(2006)는 교과서에서 큰 수의 법칙에 대한 설명이 자칫 학생들로 하여금 큰 수의 법칙을 $\lim_{n\to\infty}\frac{X}{n}=p$로 오해할 수 있게 한다는 점을 지적하면서, 통계학적 관점에서 큰 수의 법칙은 상대도수의 극한으로 정의된 통계적 확률에 대하여 어떤 사건의 상대도수 $\frac{X}{n}$이 n이 커질수록 모비율 p에 가까운 값을 취하는 경향으로 설명하고 있다(Shin, 2004).

이상의 논의에 대하여 본 연구에서는 '어떤 개념이 발생되는 것이 가능하도록 상황을 설정하고 그 안에서 교사와 학생이 다양한 의미를 부여함으로써 교수학적 논쟁이 이루어질 수 있게 하려는 의도'라는 부분과 '학생의 직관적 경험과 부적절하게 연결되어 오히려 큰 수의 법칙에 대한 이해를 방해할 가능성'이라는 부분에 주목하였다. 또한 과학사 속에서 Mendel(1865)의 연구 내용이 앞서 언급한 두 가지 관점에 대한 논의를 진전시키는데 도움이 될 수 있을 것이라 생각하였다. 이는 수업에서 교사가 학생들을 대상으로 교수학적 논쟁이 이루어질 수 있도록 해주는 자료가 필요하기 때문이며, 본 연구가 과학사의 맥락 속에서 실험 자료를 통하여 해당 부분에 대한 논의를 진행할 수 있는 자료 개발과 같은 후속 연구에 기초 연구 역할을 할 수 있을 것으로 보았기 때문이다.[3)]

---

3) 다만 본 연구에서는 Mendel(1865)의 연구에서 드러난 '큰 수의 법칙' 외에도 다른 연결고리들 까지도 고려한 수업 자료 개발을 다루고자 하기 때문에 어느 하나의 연결고리에 집중하여 자료를

2) 7쌍의 대립형질에 대한 순종을 찾아낸 방법

Mendel의 실험에서 우선적으로 주목할 부분은 7쌍의 대립형질을 가지고 있는 각각의 순종들을 찾아내는 것에서부터 시작해야만 한다는 것이다. 이를 현대적으로 표현하면 우성 인자를 R이라 하고 열성 인자를 r이라 했을 때, Rr을 확실하게 만들거나 보장하기 위해서는 RR과 rr에 해당하는 두 순종을 찾아내는 것에서부터 시작해야 한다. RR과 rr을 교배해서 Rr을 얻을 수 있기 때문이다.[4] 즉, 본 연구에서 RR과 rr은 순종이고 Rr이나 rR은 잡종으로 보면 된다. 앞서 이론적 배경에서도 살펴보았듯이 Mendel의 연구는 개인이 수행한 연구로서는 기간과 자료처리양이 방대한 것으로 볼 수 있다. 따라서 가볍게 시작했다기보다는 철저하게 '확인하고자 하는 목적'에 따라 체계적으로 진행한 연구로 보아야 한다. 이러한 점을 고려하면, Mendel이 실험을 시작하는 첫 단계로서 왜 7쌍의 대립형질을 선택하였는지와 대립형질을 가지고 있는 순종을 어떻게 확보하였고 또 순종이라는 것을 어떻게 정당화하였는지에 대하여 관심을 가질 필요가 있다. Orel(1984)은 Mendel이 15종의 대립형질을 가진 완두를 2년 이상 연구하였으며 이들 중에서 22가지의 순종형질을 찾은 다음 최종적으로 7쌍의 대립형질을 정한 것으로 소개하고 있다. 특히 Orel(1984)은 "Mendel 직전의 연구자들은 실험에 사용할 식물 형질의 불변성을 검증하는데 실패하였으나, Mendel은 이에 성공한 것"으로 기술하고 있다. 그런데 Mendel(1865)의 7장에서 소개된 [Table 4]와 관련된 내용을 살펴보면 Mendel이 그러한 방식으로 정당화한 기록은 없지만, Mendel이 7쌍의 대립형질에서 '순종에 해당하는 종자를 찾아내는 것을 수리적으로 설명하는 것'이 가능하다는 것을 추측할 수 있다.

개발하는 것은 지양할 것이다.

[4] 만약 이 과정이 생략되었다면 표현형이 R의 형질로 드러났을 때 Rr인지 RR인지 확신할 수 없다. 한편 본 연구에서는 '겉으로 드러난 형질을 확인한 종자를 가지고 자가수분하여 겉으로 드러나는 형질이 동일하게 나오는 종자들을 선별하는 과정을 반복적으로 수행'하게 되면, 얻어진 종자가 결과적으로 '겉으로 보이는 형질을 가지는 순종 종자'라는 논리를 설명하고 있다. 이때 둥근 모양의 종자를 사례로 설명하였는데, 해당 논리는 주름진 모양의 종자를 사례에 대하여도 적용가능하다. 다만 본 연구에서는 둥근 모양의 종자와 주름진 종자가 어떻게 얻어지는 지에 대하여는 별도의 설명을 하지 않았다.

[Table 4] The genotype ratio table for each generation introduced in Chapter 7

	genotype			Ratio				
Generation	R	Rr	r	R	:	Rr	:	r
1	1	2	1	1	:	2	:	1
2	6	4	6	3	:	2	:	3
3	28	8	28	7	:	2	:	7
4	120	16	120	15	:	2	:	15
5	496	32	496	31	:	2	:	31
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
n	⋮	⋮	⋮	2^n-1	:	2	:	2^n-1

만약 Mendel에게 둥근모양의 완두콩이 주어졌다고 하였을 때, 이 완두콩의 유전형은 RR 혹은 Rr이라고 생각할 수 있다. 즉, 순종이 아니면 잡종이라는 두 가지 선택만이 가능하다. 이제 잡종이라고 가정하고 Rr을 세대를 반복하여 자가수분을 해나가면, Table 4에 근거하여 해석할 때 5번의 자가수분만으로도 얻어진 완두콩 1024개 중 32개만 잡종이고 나머지는 순종이라는 결론을 얻을 수 있다. 이는 5번의 자가수분 결과 얻어진 결과물 중에서 잡종을 선택할 확률이 $3\%\left(=\frac{32}{1024}\times 100\right)$정도가 된다. 애초에 순종이었다면 계속해서 주름진 콩이 안 나올 것이므로 순종이었음을 확인할 수 있었을 것이다. Table 4가 Mendel의 연구에서 제시되었다는 점을 고려하면, Mendel은 해당 방식을 이용하여 자신의 실험이 대립형질 중 순종인 것들로 시작되었다는 것을 확신할 수 있었을 것으로 보인다.

3) 서로 다른 형질의 종류가 n개일 때 순열형, 유전형, 표현형 각각에 대한 종류의 수

8장과 9장에서는 서로 다른 형질의 종류가 여러 개일 때 모든 형질에 대하여 잡종이 아닌 것들을 교배하여 F_1세대를 얻고 이후 F_1세대를 자가수분하여 F_2세대를 얻었을 때 순열형, 유전형, 표현형 각각에 대한 종류의 수를 논하고 있다.

예를 들어서 종자 모양이 둥근 것을 A, 주름진 것을 a라 하고 종자 색이 황색인 것을 Y, 녹색인 것을 y라 하자. 이 들에서 순종인 AAYY, aaYY, AAyy, aayy를 교배하여 F_1세대 중 AaYy를 얻었다고 하면, 이러한 F_1을

자가수분하여 F_2세대를 얻을 수 있다. F_2세대에서 얻을 수 있는 종류를 앞서 Figure 2에서 사용한 바 있는 punnett square를 이용하여 표현하면 [Fig. 3]과 같다.

	AY	Ay	aY	ay
AY	AYAY	AYAy	AYaY	AYay
Ay	AyAY	AyAy	AyaY	Ayay
aY	aYAY	aYAy	aYaY	aYay
ay	ayAY	ayAy	ayaY	ayay

[Fig. 3] The results of self-determination punnett square(AaYy)

8장과 9장의 내용은 [Fig. 3]과 같은 상황에서 순열형과 유전형 및 표현형 각각에 대한 종류의 수를 다루면서 순열형은 그 종류의 수가 4^2이고 유전형은 3^2, 표현형은 2^2으로 기술하고 있다. Figure 3은 두 가지 형질에 대하여 살펴본 것이지만, 8장과 9장의 내용은 서로 다른 형질 n가지로 일반화하여 소개하고 있다는 점에 주목할 필요가 있다. 그렇다면 그 결과는 순열형이 4^n이 되고 유전형이 3^n, 표현형이 2^n이다. 그 이유에 대하여 생각해보면, 순열형은 i번째 형질에서 우성 인자를 A_i라 하고 열성 인자를 a_i라 하면, 생각할 수 있는 경우는

$$A_iA_i,\ A_ia_i,\ a_iA_i,\ a_ia_i$$

의 4가지가 나오고, 이러한 4가지가 n가지 형질에서 각각 고려가 되므로 총 나올 수 있는 경우의 수는 4^n이 된다. 유전형은 생각할 수 있는 경우가 A_iA_i, A_ia_i, a_ia_i의 3가지가 나오고, 이러한 3가지가 n가지 형질 각각에서 고려가 되므로 총 나올 수 있는 경우의 수는 3^n이 된다. 표현형에 대하여는 결국 생각할 수 있는 경우가 우성으로 표현되는 경우와 열성으로 표현되는 경우의 2가지가 나오고, 이러한 2가지가 n가지 형질 각각에서 고려가 되므로 총 나올 수 있는 경우의 수는 2^n이 된다. 이때 학교 수학에서 소개하는 일반적인 '순열과 조합'의 개념이 적용되는 것은 아니지만, 순열형을 구하는 과정에서는 순열이 이용되고, 유전형과 표현형을 구하는 과정에서는 조합의 개념이 이용되는 것을 확인할 수 있었으며, 특히 한 쌍의 대립형질에서 하였던 논의에 근거하여 n쌍의 대립형질의 논의로 일반화하였다는 점에서 의미가 있다.

2. 교수·학습 자료 개발

Mendel(1865)의 연구를 Mendel이 기술한 순서대로 내용을 나열하면,

1) 종자를 완두콩으로 선택한 이유와 완두콩에서 연구 수행 목적에 부합하는 7쌍의 대립형질을 선택한 이유에 대하여 서술
2) 순종들을 교배하여 잡종에 해당하는 것을 얻음
3) 처음 얻은 잡종인 종자를 자가수분하여 F_1세대를 얻어서 표현형에 따른 개체 수의 비율을 구함
4) 실험에서 얻은 개체 수의 비율을 정수비에 해당하는 비율로 추정하여 제시
5) 정수비에 해당하는 비율로 추정한 것에 대하여 수리적 모형으로 해석 시도
6) 수리적 모형으로 n개의 형질에 대한 순열형, 유전형, 표현형 각각의 종류의 수로 일반화

로 정리할 수 있다. 그러나 연구의 흐름을 논리적으로 연결하기 위해서는 기술된 순서와 다르게 재구성하여 이해할 필요가 있다. 위의 순서에서 1), 2), 3), 4)는 실험을 진행한 내용이고, 5), 6)은 수리적으로 해석한 내용이다. 따라서 Mendel(1865)의 구성은 실험과 수리적 해석이라는 두 부분이 연결된 것으로 볼 수 있으며, 이는 학교 수학에서의 수학적 모델링을 도입하는 교수·학습 자료와 매우 유사한 구성 방식이다.

앞 절에서 Mendel(1865)의 연구를 분석한 결과에 의하면, 실험과 수리적 해석이라는 각 부분에서 연구의 흐름을 살펴볼 때, '논리적 연결을 위해 꼭 필요하지만 생략된 수학적 요소'들이 발견된다.

예를 들어 2)에서 '순종들을 교배하여 잡종인 종자'를 얻기 위해서는 처음 단계에 해당하는 순종 형질을 가진 종자를 보장 받아야만 한다. 이러한 보장을 위해서 당시 육종법에 대한 지식을 가지고 있던 Mendel은, 관찰하고자 하는 형질에 해당하는 종자(예 : 겉모양이 둥근 종자)를 반복적으로 자가수분하여 그 결과 다른 형질(예 : 겉모양이 주름진 종자)의 것이 섞여 나오지 않는 것을 확인하는 방법으로 하였을 것이다. 그러나 이는 어디까지나 경험에 의한 방식이고 Mendel의 입장에서는 이 전제를 보장받기 위한 논리가 필요했을 것으로 보이며, 직접적으

로 명시된 사료는 없지만 Mendel(1865)에서 제시된 [Table 4]를 참고해보면 Mendel이 경험적인 육종법에서 순종에 해당하는 형질을 얻을 수 있다는 것을 확률적으로 설명하는 것이 가능하였을 것으로 추정된다.

그런데 이때 Mendel이 실험을 위한 선결과제인 순종 형질을 보장할 수 있는 논리를 제시하였다 하더라도, 그 논리를 설명하기 위해서 가정해야만 하는 조건이 있다. 그것은 [Table 4]가 성립하기 위해서는 유전형 Rr을 예로 들었을 때 'R'과 'r'로 분리가 된다고 생각하여야만 하며, 또한 분리될 때 그 가능성이 동등해야 한다는 것이다.

특히 여기서 동등한 가능성으로 분리가 되어야한다고 가정한 것은 확률에서 '동등성' 개념에 해당하며, 이 개념은 Mendel(1865)의 연구에서 '수리적 해석' 부분에 해당하는 5), 6) 단계의 대전제에 해당하는 내용이기도 하다. [Fig. 2]와 [Fig. 3]의 내용은 모두 '동등성'이 전제되었을 때 제시 가능한 것이기 때문이다. 물론 이 '동등성' 이전에 Mendel이 유전형 Rr의 표현을 하는 것이 우선이고 그러한 표현은 당시에는 생소한 '입자설'을 가정한 것이기에 가능했던 것이지만, 분리 과정에서의 '동등성'에 대한 개념을 인지하지 못했었다면 Mendel이 '입자설'을 가정하는 것에 어려움을 겪었을 수도 있다. 따라서 연구자는 Mendel(1865)의 연구에서 논지를 전개할 때 '동등성' 개념이 매우 중요한 역할을 했을 것으로 판단하였다.

한편 Mendel(1865)의 연구에서는 여러 대립형질들에 대하여 순열형, 유전형, 표현형들이 발현될 수 있는 종류의 수에 대하여 언급을 하였는데, 이 과정에서 '일반화' 과정을 살펴볼 수 있다. 예를 들어 Mendel(186)에서는 [Fig. 2]와 [Fig. 3]을 통하여 한 쌍 혹은 두 쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형을 보여준 다음, 이를 일반화하여 n쌍의 대립형질들에 대하여 순열형, 유전형, 표현형을 각각 $4^n, 3^n, 2^n$으로 표현하였는데, 이는 n을 이용하여 '일반화'를 한 것으로 볼 수 있다.

다음으로 명시적으로 드러나지는 않았지만 Mendel(1865)의 연구에서 논지 전개를 위해서는 실험 부분과 '수리적 해석' 부분을 연결해주는 '큰 수의 법칙' 개념이 필요함을 알 수 있다. Mendel(1865)에서 Mendel은 1), 2), 3), 4)에서 실험을 통하여 얻은 결과인 '5474:1850'를 '2.96:1'로 결론을 내리지 않고, 5)와 6)에서와 같이 수리적으로 해석해서 얻어진 결과인 '3:1'로 연결 지어 결론을 내렸다. 앞서 얻어진 결과는 '통계적 확률'로 볼 수 있는데 이는 Mendel이 연구를 수행하면서 적은 수의 실험 대상보다는 많은 수의 실험 대상으로 실험을 진행하려한 것에서 근거를 찾을 수 있다. 그러나 이러한 통계적 확률에 해당하는 결과치는 Darwin과 같은 Mendel 이전의 생물학자들에게서도 언급되었던 것이므로 Mendel만의 고유한 업적이라 볼 수 없다. Mendel은 이들과 달리 유전형 Rr를 가정하여 '동등성' 개념을 이용하여 표현형의 비가 3:1임을 보였는데, 이는 수학적 확률에 해당하는 것이며 Mendel은 통계적 확률을 수학적 확률로 연결 지어 결론을 내렸다는 점에서 '큰 수의 법칙' 개념이 숨겨져 있음을 알 수 있었다.

이어서 연구자는 Mendel(1865)의 연구에서 수학적 모델링에 대한 부분에 주목하였다. Jung, Lee, Baek, Jung, & Lim(2018)은 수학적 모델링과 관련된 선행연구들을 분석하여, 수학적 모델링이 큰 틀에서 '실세계 탐구→수학적 모델 수립→수학적 결론→모델적용'이라는 과정을 따른다고 하였는데, Mendel(1865)의 연구 역시 실험을 통한 실세계 탐구(표현형에 대한 비율 조사)를 '수리적 해석'이라는 과정을 통하여 수학적 모델을 수립(유전형 Rr은 동등한 가능성으로 R과 r로 분리된 후 다시 결합하는 방식으로 후대에 전달됨)하고 수학적 결론(표현형 비율은 수리적으로 3:1이다.)을 내려서 그러한 모델로 후속 연구(다른 식물들과 동물들에서도 이러한 법칙으로 해석 가능한 장면이 관찰될 것이다.)를 진행하는 일련의 과정을 밟고 있다는 점에서 수학적 모델링의 구조를 따른다고 볼 수 있다.

연구자는 앞 절에서 Mendel(1865)의 연구를 분석하여 해당 연구의 논지를 설명하기 위하여 다음과 같은 네 가지 수학적 연결고리를 발견할 수 있었다.

1) 동등성
2) 큰 수의 법칙
3) 일반화
4) 수학적 모델링

이후 연구자는 이러한 네 가지 수학적 연결고리를 다음과 같은 네 가지 질문으로 변환하였다.

1) [Fig. 2]에서 유전형의 비 AA:Aa:aa가 1:2:1이 되기 위해서 필요한 조건은 무엇일까?

2) '5474:1850'를 '2.96:1'이 아닌 '3:1'이라고 할 수 있는

이유는 무엇인가?

3) (한 쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 구한 다음) n쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 식으로 어떻게 표현할 수 있는가?

4) Mendel(1865)의 연구를 '실세계 탐구→수학적 모델 수립→수학적 결론→모델적용'라는 과정으로 해석해볼 수 있는가?

이어서 연구자는 Gunter, Estes, & Mintz (2007)에서 소개한 갈등 해결 모형을 적용하여 블록수업 1차시(100분)에 해당하는 수업 지도안을 개발하였다. 이 지도안에는 앞서 Mendel(1865)의 연구를 분석하여 연구자가 발견한 네 개의 수학적 연결고리에 근거한 네 개의 질문이 포함되어있으며, 본 연구에서 개발한 수업 지도안은 <부록>으로 제시하였다.

3. 개발한 자료에 대한 전문가 CVR 검증

본 연구에서는 개발한 자료r가 통합 수업 자료로서 타당한지에 대하여, 경력 10년 이상의 고등학교 현장 수학교사 20인을 대상으로 2019년 5월 중순부터 2019년 6월 중순까지의 기간 동안에 CVR 검증을 진행하였다. 앞서 언급한 바 있지만, 학계에서의 논의는 선행 연구를 분석하는 과정을 통하여 수렴하였다고 판단하였기 때문에 CVR 검증에서는 실제 수업 적용 가능성 여부까지 확인하기 위한 목적으로 경력 10년 이상의 고등학교 현장 수학교사를 대상으로 선정하였다. 즉, 연구자는 전문가에 의한 자료의 타당도 검증은 실제 개발된 자료를 가지고 수업을 해야할 현장 수학교사들의 의견이 중요하다고 판단하였다.

분석 방법은, '델파이조사로 전문가 의견 수렴 관련 연구를 수행한 경험을 소지한 박사 1명'과의 논의를 거쳐서 질문지를 작성한 이후, 해당 질문지에 대한 조사 대상자들의 반응에 대한 CVR을 확인하는 방식으로 진행하였다.

연구자는 CVR 검증을 위하여 수학교사 20인에게 두 가지 자료를 e-mail 혹은 우편으로 발송하였으며, 이때 전송한 두 가지 자료는 1) 개발된 수업 지도안과 2) 개발된 자료에 대한 간략한 설명을 포함한 문서 자료였다.

특히 개발된 자료에 대한 설명부분에는, 연구자가 Mendel(1865)의 연구를 분석하여 발견한 수학적 연결고리를 간략하게 소개한 다음 이들 연결고리를 4가지 질문으로 변환하여 수업 지도안에 반영하였다는 것을 기술하였다. 수학교사 20인은 연구자가 전송한 두 가지 자료를 참고하여 CVR 검사지에 응답하게 되는 방식이었다.

한편 CVR 검사지는 자료 개발에 대한 안내를 참고하여 개발된 수업 지도안이 개발 목적에 타당한지를 묻는 질문과 개발된 수업 지도안이 현장 수업에 적용 가능한지에 대하여 묻는 질문의 두 가지 질문으로 구성되었다.

연구자가 CVR 검증을 위하여 작성한 두 가지 질문은

질문1. 수학 수업을 중심으로 생물 과목과의 통합 교육 지원을 목적으로 수업 자료로서 타당한가?

질문2. 제시된 수업 구성대로 현장 수업에 적용한다고 할 때, 수업 실천 가능성 측면에서 타당한 자료인가?

과 같다.

또한 Lawsh(1975)가 개발한 CVR은 평정자들이 타당하다고 응답한 비율을 나타내는 것이며, 리커르드 5단 척도에서 '매우 타당하다'와 '타당하다'라고 응답한 평정자들의 비율을 이용한 것이다. CVR은 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 양수에 해당하는 결과는 평정자들이 타당하다고 평정한 것으로 해석하고, 음수일 때는 평정자들이 타당하지 않다는 것으로 해석한 것을 뜻한다. 즉, CVR의 값이 클수록 평정자들이 타당하다고 판단한 것으로 해석할 수 있다. 이때 Im(2010)에서는 평정자가 20명일 때는 CVR이 0.42, 25명일 때는 CVR이 0.37 이상일 때 타당한 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 평정자가 20명이므로 CVR이 0.42 이상일 때 타당한 것으로 판단할 것이다.

[Table 5] Statistics results for CVR

(N=20)

number	mean	standard deviation
question 1	4.2	0.52
question 2	4.5	0.60

[Table 6] CVR Validation results

	very unreasonable		unreasonable		neutral		reasonable		Very reasonable		CVR
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
question 1	0	0	0	0	1	5	14	70	5	25	0.95
question 2	0	0	0	0	3	15	13	65	4	20	0.85

CVR 검사의 기술통계 결과는 [Table 5]와 같고, CVR 결과치는 [Table 6]과 같다.

통합 교육 수업 자료로서의 타당성을 묻고 있는 질문1에 대하여 CVR이 0.95로 나왔으므로 본 연구에서의 전문가 검토 의견은 타당한 것으로 볼 수 있다. 또한 실제 수업에 적용 가능성 여부에 대한 CVR은 0.85로 조사되었으며, 이 역시 전문가 검토 의견은 '가능하다.'고 판단한 것으로 볼 수 있다.

V. 결론 및 제언

1. Mendel(1865)에서의 수학적 연결고리

본 연구에서는 Mendel(1865)을 분석하여 Mendel이 기술한 순서대로 보았을 때 논지 전개상 필요하지만 생략된 네 가지 수학적 연결고리를 발견할 수 있었다. 연구자가 발견한 수학적 연결고리는 동등성, 큰 수의 법칙, 일반화, 수학적 모델링과 같은 네 가지 였으며, 해당 연결고리들을

1) [Fig. 2]에서 유전형의 비 AA:Aa:aa가 1:2:1이 되기 위해서 필요한 조건은 무엇일까?
2) '5474:1850'를 '2.96:1'이 아닌 '3:1'이라고 할 수 있는 이유는 무엇인가?
3) (한 쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 구한 다음) n쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 식으로 어떻게 표현할 수 있는가?
4) Mendel(1865)의 연구를 '실세계 탐구→수학적 모델 수립→수학적 결론→모델적용'라는 과정으로 해석해 볼 수 있는가?

와 같은 네 가지 질문으로 재구성하여 수업 자료 개발의 근거로 삼았다.

2. 통합 교수·학습 자료 개발

본 연구에서는 Mendel(1865)에 대한 문헌조사를 통하여 네 개의 수학적 연결고리를 발견하였고, 이를 다시 네 개의 질문으로 번안하였다. 이후 Gunter, Estes, & Mintz (2007)에서 소개한 갈등 해결 모형을 적용하여 블록수업 1차시(100분)에 해당하는 수업 지도안을 개발하였으며, 개발된 자료에 대하여 전문가 20명에게 통합 수업 자료로서의 타당성과 수업에서 실현 가능성 여부라는 두 가지 질문에 대한 의견을 조사하여 타당성을 확인하였다. 타당성 확인은 CVR 검증을 이용하였으며, 검증 결과 두 질문에 대한 CVR 값이 각각 0.95와 0.85로 나왔으며 이는 20명에 대하여 결과가 타당하다는 CVR의 기준 값 0.42 이상에 해당한다. 즉 본 연구에서의 CVR 검증 결과는, 개발된 자료에 대하여 전문가 검토 의견이 각각 통합 수업 자료로서 타당하고 수업 실천이 가능하다는 것으로 판단하였음을 보여준다.

3. 제언

본 연구는 수학 과목을 중심으로 생물 과목에서의 소재를 이용하여 통합 교육 수업 자료 개발을 시도한 연구이다. 선행연구들 분석을 통하여 본 연구는 크게 두 가지에 주목하였다. 하나는 수학과 과학 과목 간의 통합 과정에서 수학 교사가 주체가 되어 과학 개념을 이미 학생들이 배웠다는 전제하에 수학 수업 시간에 다루는 방안을 현실적인 통합 모형이라고 한 점과, 또 다른 하나는 그동안 개발된 통합 교육 지원 자료들 중에서 수학과 생물 과목과의 통합 교육 수업 자료가 상대적으로 적다는 지적이다. 이에 연구자는 Mendel의 유전 법칙을 소재로 통합 교육 지원 자료에 해당하는 수업 지도안을 개발하였으며, 개발한 자료에 대하여 현장 수학 교사 20인을 대상으로 통합 수업 자료로서의 타당성과 수업에 실천 가능성에 대하여 확인하였다.

다만, 본 연구를 통하여 개발된 수업 지도안을 이용하여 실제 수업에 적용한 다음 그 효과에 대한 검증 작업이 필요할 것으로 보인다. 또한 본 연구에서는 Mendel의 유전 법칙을 소재로 한정하였으나 주된 취지는 수학과 타 과목 간의 다양한 통합 교수·학습 자료 개발의 필요성을 제기하는데 있으므로, 본 연구를 시작으로 '현장에서 적용가능한 통합 교수·학습 자료 개발'이 활발하게 이루어지기를 기대한다.

참 고 문 헌

Anonymous. (1986). *"Red Riding Hood" in A Child's Book of Stones*. N.Y.: Duffield & Co., 57-60.

Burton, D. M. (1991). *The History of Mathematics An Introduction*. Washington, DC: Wm. C. Brown

Publishers.
Bramald, R. (1994). Teaching probability. *Teaching Statistics, 16*(3), 85-89.
Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics*. London: Kluwer Academic Publishers.
Bryson, B. (2003). *A Short History of Nearly Everything*. Seoul: Kachi Publishing Co., Ltd.
Cho, D. H., Lee, J. H., Kim, H., Jeon, Y. H., Choi, J. G., Kang, H. J., …, Hong, S. O. (2007). *Consilience of Knowledge*. Seoul: Eum.
Choi, E. M. (2008). A study of curriculum renewal of interdisciplinary between mathematics and life & biological science. *The Mathematical Education, 47*(3), 337-351.
Darwin, C. (2009). *On the Origin of Species: By Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. Oxford: Oxford University Press.
Freudenthal, H. (1972). The "emprical law of large numbers" or "the stability of frequencies". *Educational Studies in Mathematics, 4*, 484-490.
Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Kluwer Academic Publishers.
Gunter, M. A., Estes, T. H., & Mintz, S. L. (2007). *Instruction: A Models Approach*. London: Pearson Education.
Im, E. A. (2010). *Development of Evaluation Indices of Horticultural Therapy and Examination of its Efficacy*. Doctoral dissertation. Konkuk University.
Jeong, K. S. (2015). Consideration of the support for STEAM classes in elementary school. *Journal of Learners-Centered Curriculum and Instruction, 15*(2), 99-119.
Ju, M. K., Moon, J. E., & Song, R. J. (2012). Convergence education in mathematics: *Issues and tasks. School Mathematics, 14*(1), 165-190.
Jung, H. Y., Lee, K. H., Baek, D. H., Jung, J. H., & Lim, K. S. (2018). Design for 〈mathematical task inquiry〉 subject's task based on the mathematical modeling perspective. *School Mathematics. 20*(1), 149-169.
Kang, H. J., Kim, D. H., Seo, S. H., Ahn, H. J., & Choi, G. H. (2006). On the analysis and improvement of calculus for life science. C*ommunications of Mathematical Education, 20*(4), 503-521.
Kim, H. G. (2014). An analysis of 2009 revised elementary first grads mathematics textbooks based on STEAM-related subject contents. *Education of Primary School Mathematics, 17*(3), 277-297.
Kim, J. S. (2012). *STEAM Educational Theory*. Paju: Yangseowon.
Kojima, H. (2004). *Economics of Probability*. Tokyo: Japan Broadcast Publishing.
Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology. 28*, 563-575.
Lee, H. S., Rim, H. M., & Moon, J. E. (2010). A study on the design and implementation of mathematics and science integrated instruction. *The Mathematical Education, 49*(2), 175-198.
Lee, J. S. (2016). *Delphy Method*, Kyunggi: Kyoyookbook.
Lee, M. H. & Rim, H. M. (2013). A design and effect of STEAM PBL based on the history of mathematics. *School Mathematics, 15*(1), 159-177.
Mendel(1865). Versuche über Plflanzenhybriden. *Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr, Abhandlungen*, 3 - 47.
Ministry of Education and Human Resources Development (2011). *Mathematics Courses*. Bulletin of MOE No.2011-361 [Seperate Volume #8]. Seoul: Author.
Ministry of Education and Science Technology (2010). *Future of the World with Creative Talent and Advanced Technology in Korea*. Bulletin of MOEST 2011. Seoul: Author.
Ministry of Education (2015). *Mathematics Curriculum*. Bulletin of MOE No.2015-84 [Seperate Volume #8]. Seoul: Author.
Mises, R. V. (1957). *Probability, Statistics, and Truth*, George Allen and Unwin LTD., Great Britain.
Orel, V. (1984). *Mendel*. Oxford: Oxford University Press.
Quinn, R. J. (2000). Developing an understanding of the law of large numbers. *Australian Mathematics Teacher, 56*(1), 25-28.
Shaughnessy, J. M., Canada, D., & Ciancetta, M. (2003). *Middle school students' thinking about variability in repeated trials: A cross-task comparison*. In A. D. Pateman, N. A., Dougherty, B. J., & Zilliox, J.(Eds.), Proceedings of the 27th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 4, 159-165. Hawaii: University of Hawaii.
Shin, B. M. & Lee, K. H. (2006). A study on the statistical probability instruction through computer simulation. *Journal of Educational Research in Mathematics, 16*(2), 139-156.
Shin, B. M. & Ju, E. H. (2014). A study of dvelopment and implementation of teaching-learning materials for integrated education of mathematics and biological

science: Focused on probability in calculus and basic statistics curriculum. *Journal of the Korean School Mathematics, 17*(4), 629-656.

Shin, E. J. (2005). A case study on teaching and learning of the linear function in constant velocity movement: Focus on integrated curriculum of mathematics and science. *The Journal of Educational Research in Mathematics, 15*(4), 419-444.

Shin, Y. W. (2004). *Basic Probability Theory.* Seoul: Kyungmoonsa.

So, K. H. (2005). *Curriculum Development: Key Issues and New Approaches*. Seoul: Kyoyookbook.

Stevahn, L. (2004). Integrating conflict Resolution training into the curriculum. *Theory Into Practice, 43*, 50-58.

Wallace, R. A., Sanders, G. P., & Ferl, R. J. (1990). Biology: *The Science of Life*. NY: HarperCollins Publishers Inc.

Wackerly, D. D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. (2002). *Mathematical Statistics with Applications. 6th ed.* MA: Duxbury and Brooks.

Watson, P. (2017). *Convergence*. NY: Simon & Schuster.

〈부록〉 수업지도안

Ⅰ 단원설계서

<table>
<tr><td rowspan="2">관련 교과</td><td rowspan="2">수학, 생물</td><td>교 과 서</td><td>확률과 통계 교과서</td><td>지도교사</td><td></td></tr>
<tr><td>대 상</td><td colspan="3">고2 (영재학급, 영재학교, 방과후학교)</td></tr>
<tr><td>관련 단원</td><td colspan="5">생물 : Mendel의 유전 법칙, 수학 : 확률과 통계 과목에서 ‘큰 수의 법칙’ 학습 이후</td></tr>
<tr><td>주 제</td><td colspan="5">Mendel의 유전 법칙 발견 과정 대한 수학적 이해</td></tr>
<tr><td>학습목표</td><td colspan="3">1. Mendel(1865)의 논지 전개에서 감추어진 수학적 연결고리를 찾아보는 활동을 한다.
2. Mendel(1865)의 연구에서 찾아낸 수학적 연결고리를 이용하여 Mendel(1865) 연구 속에 내재된 수학적 내용(동등성, 큰 수의 법칙, 일반화, 수학적 모델링)을 이해한다.</td><td>교수-학습 방 법</td><td>학습 자료</td></tr>
<tr><td>교수-학습 활 동</td><td colspan="3"><도입 >
○ 인사 및 출석 확인
○ 전시 학습 확인, 동기 유발, 학습 목표 제시
<전개 >
○ (이전 과학 시간에 학습하였던) Mendel의 유전 법칙에 대한 학생들의 발표
○ Mendel(1865) 연구의 기술 순서에 대한 교사 설명
○ 네 가지 질문을 학생들에게 순차적으로 제시
1) Aa를 자가수분하여 얻은 F_1세대 유전형의 비 AA:Aa:aa가 1:2:1이 되기 위해서 필요한 조건은 무엇일까?
2) ‘5474:1850’를 ‘2.96:1’이 아닌 ‘3:1’이라고 할 수 있는 이유는 무엇인가?
3) (한 쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 구한 다음) n쌍의 대립형질에 대하여 순열형, 유전형, 표현형의 종류의 비를 식으로 어떻게 표현할 수 있는가?
4) Mendel(1865)의 연구를 ‘실세계 탐구→수학적 모델 수립→수학적 결론→모델적용’이라는 과정으로 해석해볼 수 있는가?
○ 제시된 네 가지 질문에 대한 탐구 활동 및 발표
<정리 및 평가 >
○ 본시 학습 내용 정리</td><td>• 협동 학습</td><td>▴ 학생활동지
▴ PPT 자료
▴ 교과서
▴ Mendel(1865) 사본</td></tr>
<tr><td>지도상의 유 의 점</td><td colspan="5">○ Anoymous(1986)에 제시된 수업 사례와 갈등 해결 모형을 참고하여 수업을 구성하도록 한다(즉, 다음과 같은 다섯 가지 절차를 통하여 해당 연구에서 논지 전개의 문제점을 드러내고, 이러한 갈등에 학생들이 몰입할 수 있도록 구성한다.).
• Mendel이 논문을 기술한 방식에 대한 문제는 없는가?
• Mendel은 왜 그렇게 기술했을까?
• 네 가지 질문들(네 가지 수학적 연결고리에 근거한 질문들)을 순차적으로 제시
• (학생들이 갈등 상황에 대하여 집중하여 해결책을 제시한 이후)최선의 해결책인가?
• 다른 사람들에게도 받아들여질 수 있는 해결책인가?
○ 수학적 연결고리를 발견하는 과정에서 교사가 결과를 직접적으로 제시 또는 암시하지 않도록 유의한다.
○ 발표된 연결고리에 해당하는 수학적 개념에 대하여 보충 설명할 필요가 있을 시 교사가 설명할 수 있다.
○ 중학교 3학년 생물 과목에서 학습한 내용 이상으로 유전관련 지식을 소개하지 않도록 유의한다.
○ 수학에 대한 유용성과 학생들의 흥미가 반감되지 않도록 지나치게 복잡한 수식을 이용하여 설명하지 않도록 유의한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">준 비 물</td><td>교사</td><td colspan="4">교과서, 학습지도안, PPT 자료, 컴퓨터</td></tr>
<tr><td>학생</td><td colspan="4">교과서, 학생 활동지, 필기도구</td></tr>
</table>

Ⅱ 본시 교수-학습지도안

단계	학습과정	교수-학습 활동		시간 (분)	자료 및 지도상 유의점
		교사 활동	학생 활동		
도입	Mendel 유전 법칙에 대한 확인	○ 인사 및 출석 확인 ○ 학습 준비 상태 확인 ○ Mendel 유전 법칙에 대한 확인 ○ Mendel(1865) 연구의 기술 순서 소개 및 논문 사본을 조별로 제공 ○ 학습목표 제시	○ 인사 ○ 제자리에 앉아 학습 준비 ○ 자신들이 이전에 학습한 Mendel 유전 법칙에 대하여 발표한다. ○ 교사의 설명을 듣고 Mendel(1865) 논문 사본을 확인 ○ 학습목표 확인	30분	• PPT 자료 • 학생발표자료 • Mendel(1865) 사본
전개	개념 익히기 및 과제 해결	○ 교사의 학생들에 대한 질문 및 활동 과제 제시 • Mendel이 논문을 기술한 방식에 대한 문제는 없는가? • Mendel은 왜 그렇게 기술했을까? • 네 가지 질문들(네 가지 수학적 연결고리에 근거한 질문들)을 순차적으로 제시 • (학생들이 갈등 상황에 대하여 집중하여 해결책을 제시한 이후)최선의 해결책인가? • 다른 사람들에게도 받아들여질 수 있는 해결책인가? ※ 학생들이 활동 과정 중 질문이나 확인을 요구하면 해당 조에게 교사의 판단하에 적절한 피드백을 제시해준다.	○ 교사의 질문들을 중심으로 갈등에 해당하는 요인을 조별로 토의하여 해결하고, 조별 결과를 발표하여 집단 토의를 진행한다.	50분	• 협동학습
정리	정리	○ 교사가 필요하다고 판단이 되면, 전개 과정의 말미에 학생들의 활동에서 발견된 수학적 연결고리들에 해당하는 수학적 개념에 대하여 보충 또는 요약	○ 교사의 설명 경청 및 상호 질의 응답	20분	
	수업 마무리	○ 주변 정리 유도	○ 주변 정리 후 인사		