

융복합교육 기반 순수교양수학 수업을 위한 내용 제안*

: 바이러스의 구조를 밝히는 수학기론에 대하여

김수정[†]

【목차】

1. 서론
2. 바이러스의 구조와 수학
3. 결론 및 과제

국문초록

대학에서 교양수학의 바람직한 교육을 위해서는 수학에 대한 부담감을 줄이고 수학에 대한 흥미를 유도하며, 인문사회계열을 포함한 모든 분야의 대학생들이 수학의 필요성과 역할을 인식할 수 있도록 하는 순수교양수학 과목의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 순수교양수학 과정의 수업 내용으로 ‘바이러스의 구조를 밝히기 위해 적용한 수학적 이론’을 제안한다. 이는 최근 사회적 이슈가 되는 COVID-19와 관련되며, 학제 간 연구를 통해 통찰력을 배양할 수 있는 주제라 판단된다. 또한, 이 주제를 교양수학 수업에서 실제로 가르칠 때 고려해야 할 몇 가지 과제를 제시하고자 한다.

키워드: 순수교양수학, 융복합교육, 바이러스의 구조, 군론, 정이십면체군

* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5C2A04083293).

[†] 연세대학교 학부대학 부교수 soojkim@yonsei.ac.kr

1. 서론

수학의 교육적 가치는 수학 내용 그 자체에만 국한되는 것이 아니라, 한 개인이 수학을 학습함으로써 인해 자신의 사고체계가 확립되고, 더불어 논리적 사고력과 창의적 사고능력의 개발이 가능하게 한다는 측면에서 그 가치가 매우 높다고 판단된다. 특히, IT기술이 고도화 되고 있는 4차 산업혁명의 시대를 살아가고 있는 현재 상황을 고려할 때, 기초교양교육으로서의 수학의 교육적 가치가 더 높아지는 것이 시대의 현실이다.¹⁾

우리나라의 초·중·고등학교 수학교육열이 매우 높다는 것은 누구나 잘 알고 있을 것이다. 실제로 국제 교육성취도 평가 협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement)가 발표한 수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구(Trends in International Mathematics and Science Study) 결과에 따르면, 이 평가를 처음으로 실시한 1995년부터 현재까지 우리나라 초등학교생과 중학생의 수학 성취도는 최상위 수준을 지속적으로 유지하고 있다.²⁾ 그러나 연구 결과에는 유심히 보아야 할 부분이 있다. 수학에 대한 높은 성취도에 반하여, 자신감, 흥미, 가치인식 등과 같은 태도는 상대적으로 낮게 나타났으며, 심지어 국제 평균보다 훨씬 낮았다. 이는 과도한 입시 위주의 교육에서 비롯된 우리 수학 교육 시스템의 문제를 표현한다. 수학 교육을 통한 논리적 사고력과 데이터에 대한 이해는 더할 나위 없이 중요하지만, 유사한 문제를 반복해서 푸는 방식의 수학 학습에 지친 학생들은 어디 쓰

1) 서보억(2015), 「기초교양교육으로서 수학의 교육적 가치 공유」, 『대학교육』 189, 한국대학교육협의회, 59~60쪽.

2) 교육부 보도자료(2020), 「수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구(TIMSS) 2019 결과 발표」 참조. <https://www.moe.go.kr>

는지도 모르는 수학을 좋아하기 힘든 것은 당연한 결과일 것이다. 그렇다면, 이러한 상황에서 대학에 들어온 학생들에게 수학을 통해 세상의 문제를 성공적으로 해결한 사례를 함께 접하도록 한다면, 수학 학습의 새로운 동기가 마련되지 않을까 한다.³⁾

대학에서 수학 교육은 크게 수학을 전공하는 학생들을 위한 ‘전공수학’과 비전공 학생들을 위한 ‘교양수학’으로 분류된다. 교양수학은 다시 두 가지로 구분이 되는데, 이공계열 학생뿐만 아니라 인문사회계열 학생들이 전공과목을 이수하는 데 도움을 주고, 응용능력을 배양하기 위해 개설된 ‘기초교양수학’과 기초교양수학을 제외한 교과목인 ‘순수교양수학’으로 분류된다. 기초교양수학 과목의 내용은 주로 미분적분학과 통계학을 위주로 하며, 순수교양수학 과목은 수학과 실생활, 혹은 타 학문과의 연계 등을 설명하여 일반교양을 함양할 수 있는 내용을 포함한다.⁴⁾

물론 전공과목을 성공적으로 이수하기 위한 기초교양수학 과목은 대학교양에서 필수적인 강좌이다. 하지만 전공을 떠나 모든 계열(특히 인문사회계열)의 대학생들에게 수학에 대한 거부감을 줄이고, 흥미를 유발하며, 수학의 필요성과 역할을 인식시켜 주는 것은 ‘순수교양수학’ 교과목의 몫일 것이다. 실례로, 김윤민(2016)의 연구에서 수학과 일상생활 및 과학, 예술의 관계를 다룬 ‘자연속의 과학세상’ 강좌를 수강한 학생들이 수학에 대한 신념이 긍정적으로 변하였음을 확인할 수 있었다.⁵⁾ 또한, 박형빈과 이현수(2009)는 자연과학, 인문·사회분야 등 모든 분야에 기초가

3) 박형주(2017), 『4차 산업혁명시대의 기초 ‘수학’의 역할』, 대한민국 정책브리핑, <https://www.korea.kr/news/contributePolicyView.do?newsId=148833581> 참조.

4) 박형빈·이현수(2009), 「대학생들의 교양수학에 대한 인식과 교양수학의 긍정적 인식변화를 위한 방안」, 『수학교육논문집』 제23권 4호, 한국수학교육학회, 1000~1쪽.

5) 김윤민(2016), 「대학 순수교양수학에 대한 수학적 신념 연구」, 『East Asian Mathematical Journal』 제32권 2호, 영남수학회, 175~92쪽.

되는 수학적 내용을 담은 ‘수학과 문화’ 강좌를 개설하고, 수강 전 후로 수강생의 수학과목에 대한 인식을 조사하였으며, 그 결과 긍정적으로 변화했음을 확인하였다.⁶⁾ 그럼에도 불구하고 현재 대부분의 대학에서의 순수교양수학 교과목은 기초교양수학에 비해 양적 측면과 다양성 측면에서 부족한 실정이다.⁷⁾ 따라서 바람직한 대학의 교양수학을 위해서는 다양한 순수교양수학 교육과정 개발 및 강의 콘텐츠에 대한 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서는 흥미를 유발하며 수학의 사회적 필요성과 역할을 인식시켜 줄 수 있는 순수교양수학의 강의내용으로 ‘바이러스의 구조를 밝히는 데 다양한 각도에서 적용된 수학 이론’을 선택하여 강의를 개발하고자 하였다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 최근 COVID-19 관련하여 사회적 요구에 부합하는 주제이다. 바이러스는 현대사회에서 큰 이슈가 되고 있다. 19세기 말에 바이러스가 처음 발견된 이래로, 인류는 끊임없이 바이러스와의 전쟁을 치르고 있다. 바이러스의 구조를 밝히는 데 수학이 성공적으로 기여함을 배움으로써, 현대사회에서 필요한 바이러스에 대한 기초지식을 이해함과 동시에 수학의 역할과 가치를 인식할 수 있게 될 것이다. 둘째, 학문간 융합을 통한 통찰력을 함양할 수 있다. 이는 교양수학뿐만 아니라 대학교양 전체를 아울러 핵심적으로 필요한 역량이다. 바이러스와 수학의 관계는 타 학문(생물학)과 수학의 연계성을 설명해 줄 수 있는 좋은 예가 될 것이다. 셋째, 비전공 학생들에게 다양한 고급수학을 소개할 수 있다. 수

6) 심상길·고애영(2019), 「고등교육 환경 변화에 따른 대학수학교육의 방향」, 『교양교육연구』 제13권 4호, 한국교양교육학회, 143~60쪽.

7) 황인아·김인경(2020), 「‘교양적 소양(Cultivated Literacy)’을 기르기 위한 수학적 추론’ 교과목 개발에 대한 연구」, 『교양교육연구』 제14권 6호, 한국교양교육학회, 161~73쪽.

학에는 미분적분학 이외에도 다양한 분야가 존재하며, 이들은 수많은 영역에서 응용되고 있다. 바이러스의 구조를 밝히는 데에는 기하학, 위상수학, 군론 등의 수학기론이 기여를 하였다. 이를 비전공자의 눈높이에서 소개하고 그 과정에서 수학의 논리적 사고력과 응용력을 키울 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

2. 바이러스의 구조와 수학

인류는 아주 오래전부터 세균과 바이러스가 일으키는 전염병에 끊임없이 영향을 받아왔다. 세균은 비교적 일찍 발견되었지만, 바이러스는 19세기 말이 되어서야 그 존재가 인지되었고, 수십~수백 나노미터($1\text{nm} = 1\text{m}$ 의 10억분의 1) 밖에 안 되는 초미세한 크기를 가졌기 때문에, 전자현미경이 개발되어진 20세기에 들어서 그 모습을 제대로 관찰할 수 있게 되었다.⁸⁾

최초의 바이러스는 1892년 러시아의 미생물학자 드미트리 이 바노프스키에 의해 발견된 담배모자이크 바이러스(tobacco mosaic virus, TMV)였다. 담배잎을 병들게 하는 병균을 연구하던 중, 세균을 걸러내는 필터에 걸러지지 않는 존재가 있다는 것을 발견하게 되었다. 그로부터 6년 후 1898년 네덜란드의 미생물학자 마르티누스 베이예링크가 라틴어로 독을 의미하는 ‘비루스, virus’를 따라서 ‘바이러스’라는 이름을 붙였다. 이후 1931년 독일의 막스 놀과 에른스트 루스카가 전자현미경을 개발하면서, 실제로 바이러스의 입자 구조를 관찰할 수 있게 되었다. 현재까지 대략 6000종이 넘는 바이러스들이 발견, 연구되어지고 있다.⁹⁾

8) 위키백과, <https://en.wikipedia.org/wiki/Virus>

현대사회에서 세상을 떠들썩하게 하였던 전염병 중, 많은 수가 바이러스 감염에 의한 것들이었다. 2002년 사스(SARS), 2009년 신종플루(Swine flu), 2014년 에볼라(Ebola), 2015년 메르스(Mers), 그리고 2019년의 판데믹 사태를 초래했던 신종 코로나 바이러스 COVID-19까지, 끊임없이 바이러스에 의한 감염병이 인류를 공포에 몰아넣고 있다. 바이러스와 싸워서 이기려면, 치료제와 백신을 개발하는 것이 최고의 방법일 것이다. 그러기 위해선 제일 먼저 바이러스의 구조를 이해하는 것이 필수적이다.

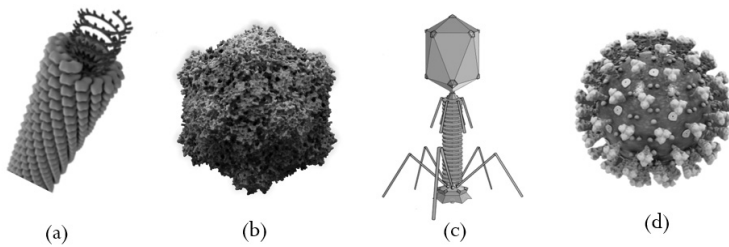
현재까지 알려진 바이러스의 구조는 [그림 1]¹⁰⁾에서와 같이 크게 네 가지로 분류된다. 긴 나선의 모양의 단백질 껍질로 유전정보를 감싸고 있는 ‘나선형’, 공처럼 생긴 단백질 껍질로 자신의 유전정보를 덮고 있는 ‘정십면체형’, 머리는 정십면체형이고 몸통은 나선형이며 몸통 끝에 다리모양의 섬유단백질이 달려있는 ‘복합형’, 그리고 앞서 정의한 세 가지 유형의 바이러스가 외막에 쌓여있는 ‘외막형’이 있다.¹¹⁾

2장에서는 현재까지 밝혀진 바이러스의 구조에 대해 자세히 살펴보고, 그 과정에서 이미 수백 년 전에 만들어진 위상수학, 기하학과 군론이라는 수학 이론이 어떻게 활용되었는지에 대해 소개해 보고자 한다.

9) Dimmock, NJ, Easton, AJ & Leppard, K(2007), *Introduction to Modern Virology* (Sixth ed.), Blackwell Publishing, p.4. <https://talk.ictvonline.org/taxonomy/> 참조.

10) [그림1] 저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.

11) 수학동아(2015), 『세상에서 가장 작은 기하학자 바이러스』, 12월호 기획칼럼, 동아사이언스, 29쪽.



[그림 1] 바이러스의 대표적인 네가지 구조
(a) 나선형 (b)정이십면체형 (c) 복합형 (d) 외막형

2.1. 바이러스의 기하학적 구조¹²⁾

바이러스는 핵산과 캡시드라는 아주 간단한 구조로 이루어져 있다. 핵산은 바이러스의 유전정보를 담고 있는 DNA나 RNA를 의미하며, 캡시드(capsid, 상자를 뜻하는 라틴어 capsa에서 유래)는 핵산을 둘러싸고 있는 단백질 덩어리의 명칭이다. 캡시드는 캡소머(capsomere)라는 동일한 단위 단백질들로 이루어진다. 특이하게도 바이러스는 스스로 번식하지 못하고, 세균이나 동물, 식물, 미생물 등의 숙주 세포를 이용해 빠르게 증식한다. 숙주에 바이러스가 침투하여 자신의 유전물질을 안전하게 전달하여야만 증식을 할 수 있기 때문에, 바이러스의 구조에서 핵산을 보호하며 보관하는 캡시드의 구조는 매우 중요한 부분이 된다.¹³⁾

1953년 DNA의 이중나선 구조를 발표한 것으로 유명한 영국의 생물학자 프랜시스 크릭과 미국의 생물학자 제임스 왓슨은 같은 해에 바이러스의 구조에 대한 연구에도 관심을 가지기 시작하였

12) 바이러스의 구조에 대한 연구와 수학의 관계에 대한 시간적 흐름에 따른 논리 전개 방식은 다음의 책을 참고함. 이언 스튜어트(2015), 안지민 역, 『생명의 수학』, 사이언스북스, 207~33쪽.

13) 이언 스튜어트(2015), 앞의 책, 217쪽.

다. 그들은 X선 회절 사진과 전자현미경 사진을 통해 바이러스의 구조를 추측하였으며, 1956년에 바이러스의 모양이 대부분 구형이나 막대형으로 되어있다는 연구결과를 네이처지에 발표하였다.¹⁴⁾ 구형과 막대형으로 나뉘는 기준은 자연스럽게 바이러스의 DNA나 RNA의 모양에 의한 것으로 추측했다. 핵산이 길게 풀어져 있다면 이를 원통형(나선형) 구조 [그림 1a]의 단백질로 감싸는 것이 가장 효율적일 것이며, 핵산이 둥글게 뭉쳐있다면 이를 감싸고 있는 단백질은 구형의 구조 [그림 1b]를 가지는 것이 가장 효율적일 것이라는 이유에서이다. 크릭과 왓슨은 구형 바이러스의 구조에 대해 재미난 주장을 하는데, 실체는 매끄러운 구가 아닌 정다면체의 모양일 것이며, 그 중에서도 정이십면체일 것이라고 추측했다.

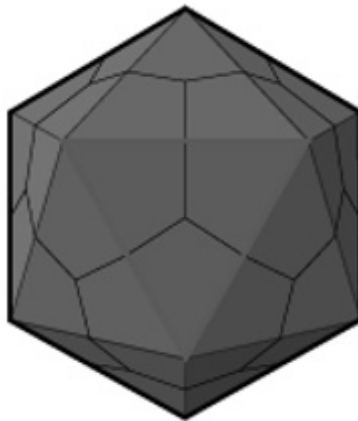
여기서 잠깐, 고대 그리스 철학자 플라톤의 정다면체에 대해 살펴보고 넘어가자. 정다면체란 모든 면이 똑같은 정다각형으로 이루어져 있으며, 각 꼭짓점에서 만나는 면의 개수가 같은 볼록한 입체도형을 말한다. 예를 들어, 정육면체는 모든 면이 똑같은 크기의 정사각형으로 되어있고, 각 꼭짓점에서 반드시 세 개의 사각형이 만난다. 입체도형이 되려면 정다면체의 한 꼭짓점에서 적어도 세면이상 모여야 하고, 모인 면의 내각의 합이 360° 보다 작아야 하므로, 오로지 다섯 가지의 정다면체, 즉 정사면체, 정육면체, 정팔면체, 정십이면체, 정이십면체만이 존재한다. 이들은 모두 여러 개의 대칭축을 가진다는 공통적인 특징이 있으며, 그 중 정이십면체가 가장 구에 가까운 구조를 가지고 있다.¹⁵⁾

크릭과 왓슨은 구형 바이러스의 모델을 정이십면체로 선택한

14) Crick, F. & Watson, J.(1956), "Structure of Small Viruses", *Nature* 177, pp.473~5.

15) 위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%95%EB%8B%A4%EB%A9%B4%EC%B2%B4>

이유를 크게 두 가지로 요약했다.¹⁶⁾ 첫 번째로, 바이러스의 유전 물질의 길이는 굉장히 짧기 때문에, 구형 바이러스의 캡시드가 하나의 커다란 단백질인 경우, 핵산에 모든 유전정보를 담기 힘들 것이라고 예측하였다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 방법은 동일한 작은 단백질들이 규칙적인 배열을 반복함으로써 하나의 구형 바이러스를 형성하는 것이라고 추측하였다. 규칙적이고 반복적인 구조를 가지면서 최대한 구에 가까운 입체가 바로 정이십면체인 것이다. 두 번째로, 구형 바이러스의 X선 회절사진과 전자현미경 사진의 다수가 15개의 2겹 회전대칭축, 20개의 3겹 회전대칭축, 24개의 5겹 회전대칭축을 가진다는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 정이십면체와 정확하게 같은 성질이다. (입체의 회전과 반사를 통한 대칭구조에 대한 수학적 이론을 ‘군론(Group Theory)’라고 하는데, 이는 2.2장에서 좀 더 구체적으로 다룰 것이다.)



[그림 2] 60개의 단위단백질로 구성된 정이십면체 구조의 바이러스 모형

16) Crick, F. & Watson, J.(1956), 앞의 논문.

예상대로 정이십면체 구조를 가지는 바이러스는 실제로 발견되었다. 대표적인 예로 폴리오바이러스(poliovirus, 소아마비 바이러스),¹⁷⁾ 박테리오파지 ϕ X174(bacterio-phage ϕ X174, 대장균 바이러스) 등이 있다.¹⁸⁾ 정이십면체는 크기가 같은 정삼각형 20개로 이루어져 있으며, 12개의 각 꼭짓점에서 정삼각형 5개가 만난다. 크릭과 왓슨은 정이십면체의 완벽한 대칭구조를 기반으로, 단백질 단위체(protein subunit) 3개가 하나의 삼각형 판을 형성하고, 이 삼각형 판 20개가 모여 최대 60개의 단백질 단위체로 정이십면체 모양의 캡시드가 형성될 것으로 예측하였다([그림 2]¹⁹⁾).²⁰⁾ 하지만 이후 발견되는 많은 수의 구형 바이러스가 60개를 훌쩍 넘는 수의 단백질 단위체로 구성되어 있음이 밝혀졌고, 더 이상 바이러스 구조를 정이십면체만으로 설명하는데 난관에 봉착하게 되었다.

이에 대해, 1962년 미국의 구조생물학자 도널드 캐스퍼(Donald Caspar)와 영국의 생물리학자 에런 클루그(Aaron Klug)는 구형 바이러스가 ‘유사정이십면체(pseudo-icosahedral)’구조를 따른다는 ‘준평형 원리(quasi-equivalence principle)’ 이론을 발표했다.²¹⁾ 크릭과 왓슨은 바이러스 캡시드의 모든 단백질 단위체가 동일한 환경에 놓일 것이라 가정했지만, 캐스퍼와 클루그는 바이러스의 크기가 커지면, 화학구조는 동일한 단위단백질이라 할지라도, 서로간의 결합하는 방법은 위치에 따라 조금씩 다를 것이라고 생각했

17) 수학동아(2015), 앞의 책, 29쪽 참조.

18) 스위스 바이오인포매틱스 연구소, <https://viralzone.expasy.org/1057#tab7>

19) [그림 2] 저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.

20) Gregory J. M.(2003), “Historical review: Viruses, crystals and geodesic domes”, *Trends in Biochemical Sciences* 28(2), pp.86~90.

21) Caspar D. L. & Klug A.(1962), “Physical principles in the construction of regular viruses”, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 27, pp.1~24.

다. 최근까지도 캡시드 구조에 대한 이론의 기본이 되고 있는 이 획기적인 아이디어는 엉뚱하게도, 건축가 풀러의 지오데식 돔(geodesic dome, 많은 삼각형 판들을 맞물려서 만든 공모양의 울타리 같은 건축물, [그림 3]²²⁾에서 영감을 받아 만들어졌다고 한다.²³⁾ 유사정이십면체 모델의 핵심은 정이십면체 모양의 바이러스 캡시드를 구성하는 캡소머들의 배열이 오합체, 혹은 육합체만으로 이루어져있다는 것이다. 이때, 오합체(혹은 오량체, pentamer)란, 한 개의 캡소머가 5개의 캡소머로 둘러싸여 있는 것이며, 육합체(혹은 육량체, hexamer)는 하나의 캡소머가 6개의 캡소머로 둘러싸여 있는 것을 의미한다.²⁴⁾



[그림 3] 지오데식 돔 형식의 건축물인 Montreal Biosphere(캐나다 퀘벡 주 몬트리올에 있는 환경 관련 박물관)

22) [그림3] 저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.

23) 이언 스튜어트(2015) 앞의 책, 217쪽.

24) 같은 책, 215쪽.

여기에서 오합체와 육합체로만 이루어진 다면체와 유사정이십면체는 어떤 관계가 있을까? 이는 1752년에 스위스의 천재수학자인 레온하르트 오일러(Leonhard Euler)가 발견한 다면체정리에 의해 밝혀진다. 다면체 정리란, 간단히 말해 입체의 면, 모서리, 꼭짓점의 관계식을 말한다. 면(face)의 수를 F , 모서리(edge)의 수를 E , 꼭짓점(vertex)의 수를 V 라고 하면, 위상적으로 구와 동치인 다면체²⁵⁾의 경우 $F-E+V=2$ 를 항상 만족한다는 것이다. 예를 들어 정이십면체의 경우, $F=20$, $E=30$, $V=12$ 이므로 $20+30-12=2$ 이다. 캡소머의 중심에 꼭짓점을 만들고, 이웃하는 캡소머끼리의 꼭짓점과 꼭짓점을 모서리로 연결하면 바이러스 캡시드는 위상적으로 구와 동치인 정다면체로 표현된다. 오일러의 다면체 정리를 이용한 간단한 계산으로, 오합체와 육합체로만 이루어진 바이러스 캡시드는 정확하게 12개의 오합체가 있어야하며, 나머지는 모두 육합체로 구성되어야 한다는 사실을 알 수 있다.²⁶⁾ 오합체의 위치는 알 수 없으나, 그 수가 반드시 12개여야 한다는 것은 증명이 된 것이다. 다만, 오합체 중심에는 정삼각형 5개가 모이고, 육합체의 중심에는 정삼각형 6개가 모여서 만들어지는 점을 고려하면 오합체가 중심에서 더 솟아있는 뿔모양이 될 것이라고 추측할 수 있다. 캐스퍼와 클루그는 이러한 기하학적인 여러 가지 측면을 고려하여, 구형 바이러스 캡시드의 모양은 12개의 오합체의 중심에 꼭짓점을 가지며 나머지 면들은 육합체로 채워진 유사정이십면체 모형 [그림 5]를 만들어냈다.

25) 구 표면을 찢거나, 구위의 한 점을 다른 점에 붙이지 않고, 누르거나 당겨서 만들 수 있는 다면체를 구와 위상동형(homeomorphic, 위상적으로 동치)인 다면체라고 한다.

26) Fowler, P. W. & Manolopoulos, D. E.(1995), *An Atlas of Fullerenes*, Oxford University Press, pp.68~83.

케스퍼와 클루그의 유사정이십면체 구조를 설명하기 위해서는 육각좌표계가 필요하다. 직교좌표계에서 x 축과 y 축이 90° 의 각을 이루고, 평면 위의 점의 위치를 좌표로 표현하기 위해 정삼각형 격자판을 사용한다면([그림 4a]²⁷⁾), 육각좌표계에서는 h 축과 k 축이 60° 를 이루고, 정육각형 격자판을 사용하여 좌표를 표현한다([그림 4b]²⁸⁾). 이때, 원점은 하나의 정육각형의 중심점이 되고, $(h, k)=(a, b)$ 는 h 축 방향으로 a 번, k 축 방향으로 b 번 옮겨간 정육각형의 중심점의 위치를 뜻한다. 원점과 (a, b) 를 연결한 선분을 한 변으로 하는 정삼각형을 20개 사용하여 정이십면체를 만든 것이 바로 유사정이십면체의 구조가 된다([그림 5]²⁹⁾).

육각좌표계 위의 두 점, 원점과 (h, k) 의 거리의 제곱³⁰⁾을 삼각분할수(triangulation number)³¹⁾ $T = h^2 + hk + k^2$ (h, k 는 음이 아닌 정수, 둘 다 0인 경우는 제외)로 정의하는데, T 는 1, 3, 4, 7, 9, 12, ...등의 값을 갖는다. T 값에 따라 각 유사정이십면체 모형을 분류할 수 있으며, 구성하는 캡소머와 단백질 단위체의 수 또한 T 값으로 표현이 가능하다.³²⁾

27) [그림4a] 저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.

28) [그림4b]: Timothy Baker(원저작권자)와 협의를 거쳐 가공됨.

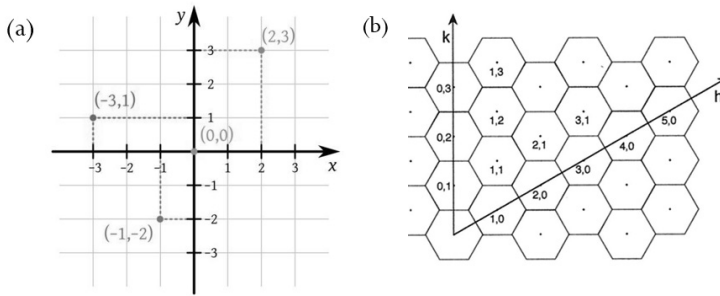
29) [그림5]: Timothy Baker(원저작권자)와 협의를 거쳐 가공됨.

30) 원점과 (h, k) 의 거리를 d 라고 두면, h 축과 k 축의 사잇각이 60° 이므로,

$$\begin{aligned} d^2 &= (h + k \cos 60^\circ)^2 + (k \sin 60^\circ)^2 = (h + \frac{1}{2}k)^2 + (\frac{\sqrt{3}}{2}k)^2 \\ &= h^2 + hk + k^2 \text{ 이 된다.} \end{aligned}$$

31) Caspar D. L. & Klug, A.(1962), 앞의 논문.

32) 육각좌표계의 정육각형 하나는 중심과 각 꼭지점을 이어줌으로써 6개의 작은 정삼각형으로 표현할 수 있다. 이때, 작은 정삼각형 하나가 단백질 단위체 하나에 해당하게 된다. 따라서 $T=1$ 인 경우에는 20개의 면으로 이루어져 있고, 각 면이 단백질 단위체 3개로 이루어져 있으므로, 총 60개의 단백질 단위체로 구성



[그림 4] 평면을 표현하는 두 가지의 좌표계
(a) 직교좌표계 (b) 육각좌표계

즉, 캡소머의 수는 $10T + 2$ 개(유사정이십면체의 꼭짓점 수)이며, 캡시드를 구성하는 단백질 단위체의 수는 총 $60T$ 개다.³³⁾ $T=1$ 인 경우는 정이십면체 구조인 [그림 2]와 같고, $T=3, 4$ 인 경우는 [그림 5]와 같다. 특히, $T=3$ 인 경우는 정이십면체의 각 면을 이루는 정삼각형 가운데에 육합체가 있고, 정이십면체의 각 꼭짓점에 오각뿔 모양의 오합체가 있는데, 각 꼭짓점의 오각뿔을 납작하게 잘라 오각형으로 만들면 우리가 알고 있는 전형적인 축구공 모양이 된다. 수학에서는 이런 모양의 도형을 ‘까운 정이십면

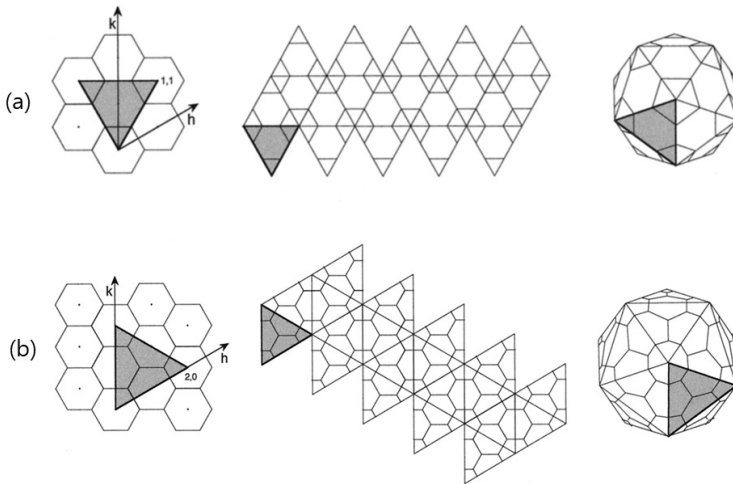
된다. 한 변의 길이가 a 인 정삼각형의 넓이는 $\frac{\sqrt{3}}{4}a^2$ 으로, 정삼각형의 넓이는

한 변의 길이의 제곱에 비례한다. 따라서, $T=n$ 인 경우 $T=1$ 일 때보다 표면적이 n 배 늘어남으로, $60n$ 개의 단백질 단위체로 구성된다.

또한, 오합체는 항상 12개가 되므로, 삼각분할수가 T 인 유사정이십면체 구조의 바이러스 캡시드에 대해 항상 $60T=12 \times 5 + (\text{육량체의 갯수})$ 를 만족한다. 따라서 육량체의 수는 $10(T-1)$ 이 되며, 총 캡소머의 수(오합체와 육합체의 갯수를 합한 수)는 $12+10(T-1)=10T+2$ 개가 된다.

- 33) Carrillo-Tripp, M., Shepherd, C. M., Borelli, I. A., Venkataraman, S., Lander, G. & Natarajan, P. et al(2009), “VIPERdb2: an enhanced and web API enabled relational database for structural virology”, *Nucleic Acids Research* 37(Database issue): D436~D442; Johnson, J. E. & Speir, J. A.(2009), *Desk Encyclopedia of General Virology*, Boston, Academic Press, pp.115~23.

체(truncated icosahedron)'라고 한다.³⁴⁾



[그림 5] 캐스퍼와 클루그의 유사정이십면체 바이러스 모델 (a) $T=3$ ($h=1$, $k=1$)일 때, 캡시드는 180개의 단백질 단위체와 32개의 캡소머를 가지는 구조를 가진다. (b) $T=4$ ($h=2$, $k=0$)일 때, 캡시드는 240개의 단백질 단위체와 42개의 캡소머를 가지는 구조를 가진다.

많은 수의 바이러스가 캐스퍼와 클루크의 유사정이십면체형 구조를 가지는 것으로 밝혀졌다. 토마토부시스틴트 바이러스(tomato bushy stunt virus), 순무황색모자이크 바이러스(turnip yellow mosaic virus)는 $T=3$ ($h=1$, $k=1$)인 구조를, 포진을 일으키는 헤르페스 바이러스(herpesvirus)는 $T=16$ ($h=4$, $k=0$)의 구조를, 감기를 비롯한 여러 가지 질병을 유발하는 아데노 바이러스(adenovirus)는 $T=25$ ($h=5$, $k=0$)의 구조를 가지는 등 수많은 바이러스에 그들의 이론이 적용된다.³⁵⁾ 하지만 안타깝게도 예외는 어김없이 발견되

34) 이언 스튜어트(2015), 앞의 책, 209쪽.

35) 스위스 바이오인포매틱스 연구소, <https://viralzone.expasy.org>

었다. 폴리오마 바이러스(polyoma virus)는 오합체의 수가 12개보다 많다는 사실이 발견되었다.³⁶⁾ 이처럼 캐스퍼와 클루크의 이론으로 설명할 수 없는 바이러스의 구조는 10년 이상 난제로 남겨져 있었다.

21세기에 들어서, 영국 요크대학의 수학과 교수인 라이둔 트바로크(Reidun Twarock, 독일 태생)는 바이러스의 기하학적 구조에 대한 좀 더 일반적인 이론으로 ‘바이러스 타일링(viral tiling theory)’ 모델을 발표했다.³⁷⁾ 이 이론은 1974년 영국의 수학자 로저 펜로즈(Roger Penrose)가 발견한 ‘펜로즈 타일링’이라는 패턴에서 힌트를 얻어 연구되었다고 한다. 펜로즈 타일링은 두가지 모양의 타일이 규칙적으로 평면을 덮고 있는 듯 보이지만, 실제로는 불규칙한 패턴으로 평면을 덮고 있다. 트바로크의 이론은 마치 두가지 이상의 모양을 가지는 단백질 타일로 구형 바이러스 캡시드를 덮는 것과 같다고 하여 ‘바이러스 타일링’이라는 이름을 붙이게 되었다.³⁸⁾ 이 이론을 통해 난제로 남겨져 있었던 폴리오마 바이러스의 구조를 밝혀냈다. 뿐만 아니라, 유인원바이러스⁴⁰, 세균 바이러스HK97 등 캐스퍼와 클루크의 이론이 적용되지 않는 다수의 바이러스 구조를 규명해냈다.³⁹⁾

트바로크의 이론은 대수학의 ‘군론(Group Theory)’이라는 고난이도의 추상수학 이론을 기본으로 하고 있다. 군론이란, 한마디로 표현하자면 어떤 대상의 대칭성에 관한 이론이다. 바이러스 타일링 이론은 정이십면체가 가지는 대칭성을 수학적인 구조로

36) Liddington, R., Yan, Y. & Moulai, J. et al.(1991), “Structure of simian virus 40 at 3.8-Å resolution”, *Nature* 354, pp.278~84.

37) Twarock, R.(2004), “A tiling approach to virus capsid assembly explaining a structural puzzle in virology”, *Journal of Theoretical Biology* 226(4), pp.477~82.

38) 수학동아(2015), 앞의 책, 37쪽.

39) 이언 스튜어트(2015), 앞의 책, 232쪽.

표현한 ‘정이십면체 대칭군(icosahedral symmetry group)’에서부터 출발한다. 이 이론에 사용된 군론을 본 글에서 모두 다루기는 어려우나, 군론이란 분야가 직관적으로 말해 무엇을 의미하는지, 정이십면체 대칭군은 어떤 것인지에 대한 내용을 다음 장에서 간단히 소개해 보고자 한다.

2.2. 군론과 바이러스의 구조

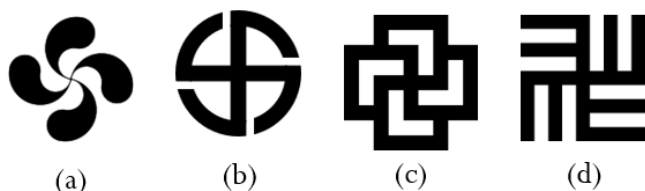
1830년대에 프랑스의 사회운동가이자 수학자 에바리스트 갈루아(Evariste Galois)는 5차방정식의 일반적인 근의 공식이 없다는 것을 증명하는 과정에서 처음으로 ‘군(Group)’이라는 수학적 개념을 사용하였다. 이 엄청난 난제를 풀어낸 당시 갈루아는 고작 10대의 나이였다니, 천재 수학자였음이 분명하다. 수학에서 군이라는 개념을 직관적으로 설명하자면, 어떤 대상이 가지는 모든 대칭성을 모아 만들어진 집합에 수학적 구조를 부여한 것이라고 할 수 있다.⁴⁰⁾ 여기서 대칭성이란 주어진 대상의 구조를 보존하면서, 대상을 움직여서 그 자신과 겹치게 해주는 방법을 의미한다.

이해를 돕기 위해 간단한 예를 들어보자. [그림 6a]⁴¹⁾에 그려진 도형을 대상 ‘A’라고 두고, $G(A)$ 를 A를 움직여 다시 원래 A의 모습으로 되돌리는 움직임들을 모두 모아놓은 집합이라고 하자.

40) 군의 정확한 수학적 정의는 다음과 같다. 집합 G 의 이항연산 $*$ 이 i)~iii)의 세 가지 조건을 만족할 때, $(G, *)$ 를 군이라 정의한다: i) G 의 임의의 세 원소 a, b, c 에 대하여 $(a*b)*c=a*(b*c)$ 를 만족한다. ii) G 의 임의의 원소 a 에 대하여, $a*e=e*a=a$ 를 만족하는 e 가 G 의 원소 중에 존재한다. 이때, e 를 항등원이라고 부른다. iii) G 의 임의의 원소 a 에 대해, G 의 원소 b 가 존재하여, $a*b=b*a=e$ 를 만족한다. 이때 b 를 a 의 역원이라고 부른다. 대표적인 예로, $(\mathbb{Z}, +)$ 를 들 수 있다. 여기서 $\mathbb{Z}$ 는 정수 전체 집합을 의미한다.

41) [그림6a~d]저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.

A의 중심을 기준으로 90° , 180° , 270° , 360° (혹은 0°)로 시계 방향으로 회전하는 움직임 모두 A의 모양을 변형시키지 않는다. 도형의 대칭성을 생각할 때 회전과 반사를 고려하는데, 반사는 쉽게 말해 거울상을 생각하면 된다. A의 거울상이 A자신과 같지 않다는 것은 쉽게 확인 할 수 있다. 따라서 $G(A)$ 는 위의 네 가지 회전변환을 원소로 가지는 집합이 된다.



[그림 6] 네 가지 종류의 스와스티카(swastika)문양.
산스크리트어 기원으로 행운을 뜻하는 상징이라 한다.

이를 수학적인 용어를 사용하여 군을 정의하면 다음과 같다. 90° 회전을 r 이라고 두면, 180° 회전은 $r \times r = r^2$ (90° 회전 후 다시 90° 회전), 270° 회전은 $r \times r \times r = r^3$ 으로 표현할 수 있고, 360° 회전은 원래모습 그대로 있는 것과 같으므로 $r^4 = 1$ 로 표현할 수 있다 ('1'은 아무런 변환 없이 원래대로 있는 것을 의미). 따라서 $G(A) = \{1, r, r^2, r^3\}$ 이 된다. 이때, $1, r, r^2, r^3$ 중 어떤 두 개의 회전 변환을 곱하여도 $1, r, r^2, r^3$ 중 하나가 되는데, 이를 수학적 용어로 바꾸어 말하면, 집합 $G(A)$ 는 곱($\times$)에 '닫혀있다'라고 한다. 이때, $G(A)$ 의 임의의(중복 가능) 세 가지 원소 a, b, c 에 대해, $(a \times b) \times c = a \times (b \times c)$ 를 만족하는데, 이를 '결합법칙이 성립'한다고 한다. r 과 r^3 을 곱하면 (즉, 90° 회전 후 270° 회전) 360° 회전과 같으므로 r 의 반대 움직임을 r^3 이라고 할 수 있고, 이 반대 움직임을 곱($\times$)에 대한 '역원(inverse)'이라고 부른다. '1'과 같은 대칭성

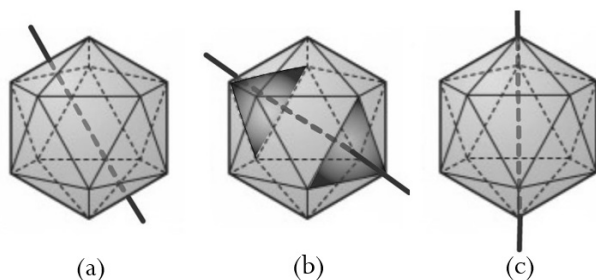
은 수학 용어로는 ‘항등원(identity)’이라고 한다. 이처럼, 모든 대칭성을 모은 집합 $G(A)$ 가 주어진 연산 ‘ $\times$ ’에 대해 닫혀있고, 결합법칙을 만족하며, 유일한 항등원을 가지고, 모든 원소가 하나의 역원을 $G(A)$ 의 원소 중에 가질 때, $(G(A), \times)$ 을 군이라고 정의한다. [그림 6a~d]는 모두 다르게 생긴 문양이지만, 동일한 대칭성을 가지고 있다. 따라서 모두 동일한 군을 가진다. 이처럼, 군의 개념을 활용하면 달라 보이지만, 사실상 똑같은 대칭성을 가진 대상을 분류할 수 있다.

위의 예제에서 대상 ‘A’를 기하학적인 문양으로 선택하였다. 하지만 일반적인 대수학에서의 군의 대상은 미분방정식이 될 수도 있고, 복잡하고 추상적인 대수적 집합이 될 수도 있다. 특히 기하학적인 대상에 대한 군을 ‘대칭군(Symmetry group)’이라고 한다.⁴²⁾ 대칭군을 찾기 위한 단계는 2가지로 정리할 수 있다. 첫째, 주어진 대상의 모든 대칭성을 찾고, 둘째, 각 대칭성들 간의 곱(혹은 합성)을 구하는 것이다. 그렇다면, 바이러스의 구조와 밀접한 관련이 있는 정이십면체의 대칭군은 어떻게 정의할 수 있을까?

먼저, 정이십면체의 모든 대칭성은, 2.1장에서 간단히 언급한 바와 같이, 총 60개(모두 회전에 의한 대칭)가 있으며, 크게 ‘2, 3, 5회 대칭’의 세 가지로 분류가 되어 진다. ‘n회 대칭’이란, n번 변환하여 원래의 위치로 돌아가는 대칭성을 의미한다. 정이십면체의 2회 대칭은 마주보는 모서리의 중심을 이은 직선을 회전축으로 180° 회전하는 대칭이다([그림 7a]⁴³⁾).

42) 위키백과, https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetry_group

43) [그림 7a~c] 저작권: Wikimedia Commons, GNU Free Documentation License에 근거하여 가공됨.



[그림 7] 정이십면체 대칭군의 회전축
(a) 2회전 대칭 (b) 3회전 대칭 (c) 5회전 대칭

마주보는 모서리의 쌍이 15개이므로, 2회 대칭 회전은 총 15개가 있다. 정이십면체의 3회 대칭은 마주보는 두 면의 무게중심을 이은 선을 회전축으로 120° , 240° 회전하는 대칭이다([그림 7b]). 마주보는 면의 쌍이 10개이므로, 3회 대칭 회전은 총 20개가 있다. 정이십면체의 5회 대칭은 마주보는 두 꼭짓점을 이은 선을 회전축으로 72° , 144° , 216° , 288° 회전하는 대칭이다([그림 7c]). 마주보는 꼭짓점의 쌍이 6개이므로, 5회 대칭 회전은 총 24개가 있다. 어떤 회전도 하지 않고 원래의 모습 그대로 있는 1회 대칭(항등원) 1개를 마지막으로, 정이십면체의 대칭성(대칭군의 원소 개수)은 총 60개가 된다.⁴⁴⁾

그 다음으로, 60개의 대칭성(회전변환)들 간의 모든 곱(혹은 합성)을 구하기 위해, 60×60 가지의 경우를 고려해 보아야 한다. 이때, 흔히 사용하는 방법이 ‘케일리표(Cayley table)’를 만들어 보는 것이다. 케일리표란, 19세기 영국의 수학자 아서 케일리(Arthur Cayley)이름을 따라 만들어진 표로, 모든 군의 원소들(가능한 모든 대칭변환들) 간의 곱을 정사각형 표로 배열하는 것이다(<표 1> 참고).⁴⁵⁾ 주로 유한개의 원소를 가지는 군의 성질을 살펴보기 위해

44) 박수미(2015), 「정다면체의 대칭군」, 석사학위논문, 11~5쪽.

사용된다. 이때, 정이십면체의 각 회전변환에 하나의 색깔을 입히고, 이를 이용하여 변환들 간의 곱을 시각화한 케일리표는 [그림 8]⁴⁶⁾과 같다.⁴⁷⁾ 총 3600개의 작은 칸들이 60가지 색으로 모두 표현이 되었으며, 검정색은 항등원 1에 해당하는 색깔이다. 결합 법칙이 성립하는 것과, 유일한 역원의 존재성도 확인할 수 있다. 이로써 정이십면체 대칭군의 정체가 모두 밝혀졌다.

트바로크는 정이십면체 대칭군과, 더 나아가 이를 포함하는 콕스터군(Coxeter groups)을 활용하여 바이러스 타일링 이론을 만들었으며, 난제로 남아있었던 여러 바이러스의 구조를 이를 통해 밝혀냈다. 이처럼 군론은 생물학 연구와 더불어, 바이러스의 구조를 밝히는 데에 큰 도움이 되어왔다. 하지만 현재까지 밝혀진 바이러스의 구조는 극히 일부에 불과하며, 여전히 그 구조를 모르는 바이러스들이 무수히 많다. 이를 해결하기 위해 군론을 바탕으로 한 바이러스의 연구는 계속 활발하게 진행 중이다.

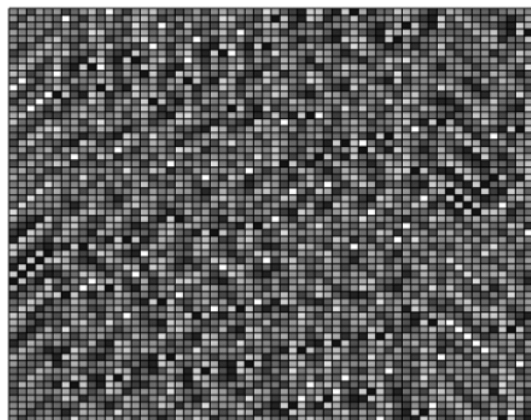
〈표 1〉 $G=\{-1,1\}$ 일 때, 군 $(G, \times)$ 의 케일리표

$\times$	-1	1
-1	1	-1
1	-1	1

45) 위키백과, https://en.wikipedia.org/wiki/Cayley_table

46) [그림8] 출처: Carlos Esteves(원저작권자)와 협의를 거쳐 가공됨.

47) Esteves, C., Xu, Y., Allen-Blanchette, C. & Daniilidis, K.(2019), "Equivariant multi-view networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp.1568~1577.



[그림 8] 정이십면체 대칭군의 케일리표

물론, 바이러스의 구조를 안다고 해서 바로 치료제나 백신을 만들 수 있는 것은 아니다. 최근 신종 코로나바이러스 감염병 유행 사태가 심각해지자, 우리는 뉴스를 통해 치료제나 백신의 개발 소식 이전에 코로나바이러스의 구조가 밝혀졌다는 소식을 제일 먼저 들었다. 이를 통해서도 유추할 수 있듯이, 바이러스의 구조를 아는 것은 그 바이러스가 숙주에 침투하는 방법 등 여러 가지 특징을 이해하는 도구가 될 수 있을 것이고, 바이러스가 결합하는 과정을 방해할 수 있는 실마리를 제공하는 등 생물학적으로 흥미로운 발견을 하는 데에 분명히 도움이 될 것이다. 인류와 바이러스와의 끝없는 전쟁에서 추상적인 수학개념인 군론이 핵심적인 역할을 하는 것을 보며, 다시 한번 자연의 법칙을 가장 간결하게 표현할 수 있는 언어가 수학이 아닐까 라는 생각을 해본다.

3. 결론 및 과제

지금까지 제시한 순수교양수학 수업 내용은 바이러스의 구조에 대한 기초적인 이해와, 바이러스의 구조를 밝히기 위한 연구의 첫 도입 단계부터 최근까지의 모든 과정에서 수학이 어떤 역할을 하였는지를 포함하고 있다. 현대사회에서 큰 이슈가 되고 있는 바이러스에 대한 이해와 그 구조를 밝히는 데 핵심적인 역할을 했던 수학기론의 소개는 대학생들에게 수학에 대한 흥미를 유발할 뿐 아니라, 생물학과 수학의 학문간 융합을 통한 통찰력을 함양할 수 있는 기회가 되리라 판단된다. 본 연구 결과를 바탕으로 몇 가지 생각할 점과 과제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 수학 전공학생들이 학부 고학년이 되어야 배우는 군론, 위상수학, 기하학 등의 개념이 비전공 학생들이 배우기에 어렵게 느껴질 수도 있다. 하지만 2.2장에서 군론의 개념을 정확한 수학적 정의와 이론을 통해 설명하기 보다는 직관적인 개념과 쉬운 예시를 통해 설명하였듯이, 난이도를 적절히 조절하여 소개한다면 다양한 방면으로 논리적 사고력을 향상시키고, 수학의 심미적인 가치를 생각해 볼 수 있는 좋은 기회가 되리라 생각된다.

둘째, 현대사회에서 과학은 빠른 속도로 발전하고 있다. 바이러스에 대한 연구 또한 꾸준히 진행되고 있으며, 이와 관련한 수학기론의 시의적절한 적용과 발전 또한 진행형이다. 따라서 수업 내용에 최신 경향을 반영하기 위해 새로운 연구 성과를 주시해야 할 것이다.

셋째, 본 연구 내용을 적용시킬 과목의 선택에 대한 고민도 필요하다. 이미 개설된 순수교양수학 교과목의 한 챕터로 넣어서 활용하는 방안도 있을 것이고, 수학의 생물학에 대한 다양한 응용에 대한 연구를 추가로 진행하여 새로운 과목을 개발하는 것도

하나의 선택지가 될 것이다. 실제로 단순한 수비학에서부터, 위상수학(매듭이론), 기하학, 군론, 미분방정식, 머신러닝에 이르기까지 다양한 수학이 생물학 연구에 응용되고 있다.

마지막으로, 과목개설의 준비에 교수법에 대한 연구가 반드시 병행되어야 할 것이다. 수학에 관심은 있으나 흥미를 잃어 수학에 대한 학습에 큰 불안감을 가지고 있는 학생들에게 교수중심의 수업 및 능력에 대한 강조는 오히려 반감을 일으켜 수학을 멀리하게 할 수 있다.⁴⁸⁾ 다양한 학습 자료를 제공하고, 조별활동 등을 통하여 학생들이 보다 적극적으로 참여할 수 있는 방안을 고민해 보아야한다. 예컨대, 정이십면체 바이러스의 구조는 3차원 입체 모형으로 쉽게 만들어 볼 수 있다. 이를 통해 실제 모형으로 바이러스의 구조의 대칭성을 이해하고, 정이십면체의 대칭군 원소 및 원소간의 곱의 결과를 직접 모형을 확인해 보는 활동 등을 수행하여 수학에 대한 이해와 흥미를 불러올 수 있다고 본다.

48) 서보억(2015), 앞의 논문, 65쪽.

참고문헌

- 교육부(2020), 『수학과학 성취도 추이변화 국제비교 연구 2019 결과 발표』, 교육부 보도자료.
- 김윤민(2016), 「대학 순수교양수학에 대한 수학적 신념 연구」, 『East Asian Mathematical Journal』 제32권 2호, 영남수학회.
- 박수미(2015), 「정다면체의 대칭군」, 석사학위논문.
- 박형빈·이헌수(2009), 「대학생들의 교양수학에 대한 인식과 교양수학의 긍정적 인식변화를 위한 방안」, 『수학교육논문집』 제23권 4호, 한국수학교육학회.
- 박형주(2017), 『4차 산업혁명시대의 기초 ‘수학’의 역할』, 대한민국 정책브리핑.
- 서보억(2015), 「기초교양교육으로서 수학의 교육적 가치 공유」, 『대학교육』 189, 한국대학교육협의회.
- 수학동아(2015), 『세상에서 가장 작은 기하학자 바이러스』, 12월호 기획칼럼, 동아사이언스.
- 심상길·고애영(2019), 「고등교육 환경 변화에 따른 대학수학교육의 방향」, 『교양교육연구』 제13권 4호, 한국교양교육학회.
- 이언 스튜어트(2015), 안지민 역, 『생명의 수학』, 사이언스북스.
- 황인아·김인경(2020), 「‘교양적 소양(Cultivated Literacy)을 기르기 위한 수학적 추론’ 교과목 개발에 대한 연구」, 『교양교육연구』 제14권 6호, 한국교양교육학회.
- Baker, T. S., Olson, N. H. & Fuller, S. D.(1999), “Adding the Third Dimension to Virus Life Cycles: Three-Dimensional Reconstruction of Icosahedral Viruses from Cryo-Electron Micrographs”,

Microbiology and Molecular Biology Reviews 63(4).

Carrillo-Tripp, M., Shepherd C. M., Borelli, I. A., Venkataraman S., Lander G. & Natarajan P. et al(2009), "VIPERdb2: an enhanced and web API enabled relational database for structural virology", *Nucleic Acids Research* 37(Database issue).

Caspar, D. L. & Klug A.(1962), "Physical principles in the construction of regular viruses", *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 27.

Crick, F. & Watson, J.(1956), "Structure of Small Viruses", *Nature* 177.

Dimmock, N. J., Easton, A. J. & Leppard, K.(2007), *Introduction to Modern Virology* (Sixth ed.), Blackwell Publishing.

Esteves, C., Xu, Y., Allen-Blanchette, C. & Daniilidis, K.(2019), "Equivariant multi-view networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*.

Fowler, P. W. & Manolopoulos, D. E.(1995), *An Atlas of Fullerenes*, Oxford University Press

Gregory, J. M.(2003), "Historical review: Viruses, crystals and geodesic domes", *Trends in Biochemical Sciences* 28(2).

Johnson, J. E. & Speir, J. A.(2009), *Desk Encyclopedia of General Virology*, Boston, Academic Press.

Liddington, R., Yan, Y. & Moulai, J. et al.(1991), "Structure of simian virus 40 at 3.8-Å resolution", *Nature* 354.

Twarock, R.(2004), "A tiling approach to virus capsid assembly explaining a structural puzzle in virology", *Journal of Theoretical Biology* 226(4).

스위스 바이오인포매틱스 연구소, <https://viralzone.expasy.org>

위키백과, <https://en.wikipedia.org/wiki/Virus>

위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A0%95%EB%8B%A4%EB%A9%B4%EC%B2%B4>

위키백과, https://en.wikipedia.org/wiki/Symmetry_group

위키백과, https://en.wikipedia.org/wiki/Cayley_table

Abstract

Proposal of the Contents of Liberal Arts Mathematics Classes Based On Interdisciplinary Studies

: Mathematical Theory that Reveals the Structure of Viruses

Kim, Soojeong

Keywords: liberal arts mathematics, interdisciplinary studies, virus structure, group theory, icosahedron group

For desirable education of liberal arts mathematics in universities, there is a need for research on the development of subjects that can reduce resistance to mathematics, induce interest in mathematics, and recognize the necessity and role of mathematics for university students in all fields, especially in the humanities and social sciences.

In this study, we propose mathematical theories applied to reveal the structure of a virus as the content of the liberal arts mathematics course. This is a topic that can meet the recent social needs related to COVID-19, and cultivate insight through interdisciplinary studies. At the end, some challenges to consider when this topic is actually taught in liberal arts mathematics class are discussed.

이 논문은 2021년 3월 21일까지 투고 완료되어 2021년 3월 23일부터 2021년 4월 5일까지 심사위원이 심사하고 2021년 4월 15일 심사위원 및 편집위원 회의에서 게재 결정된 논문임.