

STEM교육을 기반으로 한 미분방정식의 교육

Teaching Differential Equations based on STEM Education

하준홍*

한국기술교육대학교 문리 HRD학부

Jun-Hong Ha*

School of Liberal Arts, KOREATECH, Cheonan 330-708, Korea

[요약]

본 연구에서는 미국에서 시발된 STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)교육과 이를 벤치마킹하여 만든 한국의 STEAM(Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics)교육의 실태를 조사하여 대학용 STEM교육을 주관적으로 정의하고 이를 달성하기 위한 방안을 제안한다. 현재의 STEM교육은 초등학교에서 고등학교를 대상으로 하고 있지만, 조만간 그 여파가 대학에까지 미칠 것이 예측되므로 STEM교육을 기반으로 하는 수학교육 방안을 제안한다. 대학 4학년 때에 수행하는 졸업설계작품을 통한 기술(T)과 공학(E)에 대한 탐구활동과 hands-on 활동을 2학년 때에 배우는 수학교과목 중 하나인 미분방정식의 학습도구로 취급하는 새로운 교육 및 학습방안을 제안한다. STEM교육의 중요성을 교훈하기 위해서 실제 사회의 문제가 즉시 전달되어야 한다는 것을 강조한 통로가 설치된 피비우스 띠를 STEM교육의 심벌로 도입 및 설정한다.

[Abstract]

STEM Education in the US and Korean STEAM are reviewed. The present STEM education focuses on K-12 and it does not concern STEM education in university. In this paper, we define a STEM education that can be made available in university and we establish a way of teaching and learning differential equations based on the STEM education. The class provides students with a chance to explore the capstone design projects that are developed by seniors and do hands-on activities. We introduce and set a Mobius strip with an instant delivery pathway to solve real problems as a symbol of STEM education.

Key Words : Differential equations, Hands-on, Mobius strip, STEM education

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2015.001>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 27 September 2014; **Revised** 30 April 2015

Accepted 11 May 2015

***Corresponding Author**

E-mail: hjh@koreatech.ac.kr

1. 서론

국외의 교육시스템 평가기관들은 한국의 교육시스템 및 학업성취도는 매우 우수하지만, 그러한 우수성은 입시에 유리한 암기로 달성된 면이 강하다는 지적하고 있다. 실제로, 2014년도 영국 최대의 교육·출판 기업인 피어슨 그룹은 40개 조사대상국 가운데 한국의 교육시스템을 세계의 1위로 평가했지만, 국내외에서 우리의 교육시스템을 칭찬하기는 커녕 냉소가 가득한 비평이 더 많다는 사실에 놀라지 않을 수 없다. 무엇이 정당하게 드러난 평가를 인정하지 않는 비평들을 내어놓도록 하는 것일까 또는 어떤 부분이 비평가들에게서 질타를 받고 있는 것일까? 교사중심교육과 암기식 교육이 창의성의 발휘 기회를 차단한다는 것인데, 암기가 정말 창의성을 막는 원인이 되는지는 좀 더 숙고해 볼 필요가 있다고 판단된다. 많은 부분의 암기는 반드시 필요하다고 강변해도 지탄의 대상은 되지 않을 것이라 생각한다. 그러나 그 정도가 지나치면 창의성을 저해하는 요인이 충분히 될 수 있다는 데 저자는 동의한다. 최근의 보도에 의하면, 초등 및 중학교 재학생들의 수학 및 과학의 학업성취도는 매우 탁월하지만, 그 교과목에 대한 흥미도 및 자신감은 세계의 평균에도 미치지 못하는 것으로 조사되었다[1]. 초등학생 및 중학생의 학습에 대한 자료조사 결과이지만 대학교육에서도 이러한 분위기가 형성되어 있음은 어렵지 않게 발견할 수 있다. 다분히 창의성의 저해와 관련이 있어 보이기 때문에 창의적으로 수학교과를 학습할 수 있는 방안을 제고해보고자 한다.

현행, 세계 교육계의 뜨거운 이슈는 학생의 창의성 개발 및 발휘에 초점이 맞추어져 있다고 해도 과언은 아니라고 생각한다. 모든 세대에 걸쳐 창의성은 국가의 미래와 직결된 가장 기초적인 요소이기도 하다. 특히, 첨단기술이 넘쳐나는 21세기는 국가 또는 인류가 직면한 실제적인 문제를 창의적인 아이디어를 가지고 논리적으로 빠르게 해결하는 인재를 더 많이 필요로 하고 있다. 창의성이 무엇인지 수학 공식처럼 언급할 수는 없지만, 정의적 스펙트럼을 줄이기 위해 Nickerson 및 Amabile이 주장하는 창의성의 개념을 염두에 두기로 한다. 즉, 창의성이란 비구조적 문제(ill-structured or open-end problem)에 대한 참신하고 타당한 응답(a novel and appropriate response)과 제품(product) 또는 해결법(solution)으로 요약할 수 있다[2-3]. 또한 Leung은 다양한 환경 또는 이질적인 환경에서의 경험이 창의성을 발휘하게 하는 기본적인 에너지라는 주장한다[4]. 따라서 창의성에 포커스를 둔 인재 양성을 위한 교육시스템을 구축하고자 한다면, 서로 다른 재능을 가진 학생들끼리 팀을 구성하여 학생중심적 활동과 학습이 가능한 교과과정운영과 인프라를 구축한 다음 비

구조적 문제에 도전할 수 있는 기회를 제공해야 할 것이다. 이러한 개념이 잘 반영되어 있는 학습법 가운데 활동학습(Active Learning)이 있고, 그 가운데 공학교육에서 빈도가 높게 사용되고 있는 것이 문제중심학습(Problem Based Learning, PBL)이다[5-6]. 본래 의과대학의 교수-학습법으로 도입된 PBL은, 공학에서 실제 문제를 해결하는데 유용함이 입증되어 프로젝트를 기반으로 하는 공학설계교과의 핵심 학습 도구로 도입되고 있다. PBL이 비구조적 문제에 대한 다양한 응답, 제품 또는 해결책을 제시하는 방법으로 인식되어 왔기 때문에, 구조적이고 정답을 요구하는 수학 및 과학의 교육에 적합하지 않다고 생각한 면이 있다. 이러한 의식은, 수학과 과학은 모든 전공 학문의 기초적인 역할만 충실히 해주면 된다는 오해로 이어 졌고, 이 오해는 오랫동안 수학 및 과학의 학습에 전통적인 방법을 지속시킨 에너지원으로 작용해 왔다. 오늘날 대부분의 학생들은 현재의 수학과 과학 교과목 운영방법에 만족하지 못하고 있다고 앞서 언급하였다. 걸출한 학생들이 출전하는 세계수학올림피아드, 세계과학올림피아드 대회에서 최상위의 성과를 달성하였고, 또한 한국의 교육시스템이 매우 우수하다는 영국평가기관의 발표에도 불구하고 수학 및 과학에 대한 학생들의 흥미 및 관심도는 경쟁국가에 비해 상대적으로 매우 낮다. 즉, 대부분의 학생들은 수학과 과학은 어렵고 또한 지루한 교과목이라는 생각을 가지고 있음도 드러난 적이 있다[1]. 이러한 추세는 한국에만 국한된 것이 아니라 선진국들이 내적으로 지니고 있는 공통적인 문제이며, 이러한 현상이 지속된다면 과학, 공학, 기술 분야 직업에 종사할 근로자 수가 계속 감소하는 상황을 피할 수 없을 것이다. 이는 미래 이공학과 관련된 직업이 압도적으로 늘어나게 된다는 예측에 반대되는 현상으로, 국가 및 세계의 경제성장에 악영향을 끼칠 것임은 자명하다[7]. 1990년 초반기 미국, 영국, 호주는 이러한 추세는 국가의 경쟁력의 퇴보를 가져올 수 있는 심각한 문제라는 점을 인식하여, STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)과 관련된 분야에 전 국민의 관심을 집중시킬 의로도 STEM정책을 추진하게 된다[8-10]. 문제는 유인책이 아니라, 학생들이 수학과 과학은 배우기 어렵다고 생각하는 것과 동시에 수학과 과학의 학습을 기피하는 데 있었다. 2010년 미국 정부는 이러한 부정적인 분위기를 전환하기 위한 조치로 과학, 기술, 공학, 수학의 융합교육방안을 제시하여 STEM정책을 STEM교육으로 전환하였다. 좀 과장되게 말하면, 공학연구기법과 첨단기술의 힘을 빌려 수학과 과학을 재미있게 배울 수 있도록 해보자는 방안이다[11]. 물론, 이러한 개념에 혹평을 하는 학자들도 있지만, 공학연구기법 및 첨단기술 등을 수학 및 과학 교육에 적극적으로 활용하자는 것은 의미가 있는 전환

이다. STEM교육에 가장 적극적인 국가는 미국이며, 현재 행정부의 전폭적인 지원으로 미국의 유수의 대학은 STEM교육자의 체계적인 양성을 추진하고 있고, K-12(초등학교에서 고등학교까지)에 적합한 STEM교육체계를 만들어 가고 있다 [12]. 미국의 저명한 많은 대학들이 STEM교육을 지원할 수 있는 인력양성 프로그램을 실시하고 있으며, 그들 가운데 콜로라도 대학은 K-12뿐만아니라 대학 전체를 STEM교육 체계로 전환하려는 전략을 세우고 현재 이를 이행해 나가고 있다 [11].

한기대를 예를 들어 한국 내 대학의 수학교육 및 학습에 대한 현주소를 짚어보자. 신입생의 모집단위가 다양하여 전체 학생들에 대한 객관적인 학습능력을 판별하기는 힘든 측면이 존재할 수 있다는 것을 미리 언급해 둔다. 각종 지표에 의하면 수학능력시험에서 상위 15% 이내에 속하는 고등학교 졸업생들이 한기대에 입학하고 있는 것으로 보도되고 있다. 본 연구자는 한기대의 신입생과 2학년생에 선형대수학과 미분방정식의 교과목을 가르치고 있으며, 한국공학인증제를 준수하여 학생들의 학업성적을 판정하고 있다. 15% 이내에 드는 학업능력은 선형대수학과 미분방정식의 교과목의 학업 성취에 그대로 반영되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 실제로, 학생들은 교과서에 실려 있는 연습문제의 해결능력은 뛰어나며 동시에 학점취득을 매우 수월하게 하고 있다. 그러나 교과목의 학습성도가 실제문제의 해결 또는 실제적인 지식으로 잘 연결하지 않는다는 점을 발견할 수 있었다. 이에 대해서는 여러 가지 문제점이 언급되고 있지만, 수학과 과학의 교육은 여전히 전통적인 도구와 교수중심으로 진행되고 있기 때문이라 생각한다. 물론, 그룹별 토론이라는 방법을 도입하고 있지만, 이는 학생들의 교과서에 있는 연습문제 풀이 능력 개발에는 도움이 되나 실제문제에 수학과 과학을 창의적으로 적용하여 해결하는 역량 개발에는 큰 도움이 되지 못하고 있다. 따라서 많은 학생들이 수학과 과학이 주는 혜택을 누리지 못하고 있다고 결론 지을 수 있다.

이 연구에서는 대학생들을 위한 STEM교육을 기반으로 한 교과운영이 필요하다는 판단으로 STEM교육의 이념을 적용한 수학교과목 교육방안을 제안한다. 구체적으로, 졸업작품연구, hands-on 활동을 미분방정식의 교육도구로 끌어들이는 방법을 제안한다.

이 논문은 2장에서는 STEM교육을 자세하게 분석하여 대학용 STEM교육의 개념을 정의하고, 3장에서는 4학년 졸업작품연구와 hands-on 활동을 미분방정식의 교육 및 학습 도구화하는 방법을 제안한다.

II. STEM Education

STEM은 과학(Science), 기술(Technology), 공학(Engineering), 수학(Mathematics)으로부터 만들어진 두문자(스텨이라 읽음)이다. STEM교육은 과학, 기술, 공학, 수학을 통섭적으로 학습 및 교육하는 21세기형 새로운 교수-학습법이라 칭할 수 있다. STEM은 서론에서 언급했듯이 미국, 영국, 호주에서 과학, 기술, 공학, 수학과 관련된 직업에 종사할 미래의 노동자가 급격히 감소할 것이라는 예측에 대처하기 위한 수단으로 만들어진 정책적 용어에 불과하였다. 즉, 1990년대 국가 및 가정적으로 부유해진 선진국의 학생들은 어려운 수학과 과학학습을 기피하기 시작하였고, 그 결과 수학과 과학 교과목의 수학능력이 매우 낮아져 미래 핵심전략산업이 될 공학 기술분야의 인력수급이 원활하지 않을 것이라는 보고서가 제출되었는데, 정부는 이 보고서의 내용이 국가경쟁력에 잠재적 위협요소가 될 수 있다고 판단하게 된다. 현재 미국 고등학교 졸업생의 90% 정도가 STEM 관련 직업에 흥미가 없다는 것이 실체이다. 미국과 아시아의 상황은 완전히 일치하지 않지만 수학과 과학을 그 다지 좋아하지 않는다는 점은 흡사하다. 미국 연방정부는 국가의 미래를 위협하는 잠재적 위협요인을 제거하기 위해 위해 1990년에서 2010년 사이에 STEM정책을 마련하여 STEM과 관련된 막대한 예산을 투입하였다. 이러한 노력으로 STEM과 관련된 학과를 선택하는 학생 비율은 약간 증가하였으나, STEM과 관련된 직업을 회피하려는 관성을 바꿀 수는 없었다. 그러나 2010년 이후 STEM에 융합적 개념, 즉 수학과 과학의 학습에 공학연구기법 및 첨단기술 등을 활용한 학습방안이 제시되면서 STEM정책이 STEM교육으로 변신(transform)하게 되었다. 이러한 변신을 위한 연방정부의 지대한 노력으로 STEM교육의 시대가 성큼 도래했고, 많은 국가에서 STEM교육이 21세기 창의적인 기술기반사회에 적합한 최선의 교육 및 학습법이 될 수 있다는 판단 하에 벤치마킹 및 STEM교육을 위한 자료를 생산해 내고 있다. STEM교육 분야의 선두주자는 미국이며, 미국 연방정부는 STEM교사 양성과 인프라구축을 위해 매해 3조에 달하는 예산을 투입하고 있다 [13, 14]. 또한 미국 내 저명한 대학들도 STEM교육자료 개발 및 STEM교사의 양성하기 위한 학과 및 센터를 설립으로 정부의 정책을 지원하고 있다. 그 가운데 콜로라도 대학(University of Colorado Boulder)은 K-12뿐만아니라 대학 전체를 STEM교육이 가능한 인프라를 구축해 나가려는 계획을 세워 추진 중에 있다. 또한 미국의 수많은 교육기관들이 STEM교육에 필요한 콘텐츠 개발에 열심을 내고 있는데, 아무튼 미국은 현재 STEM교육의 열풍 가운데 놓여 있다고 해도 과언은 아니다.

STEM교육이 탄생하기 전에도 전통적인 철학 강의중심에서 벗어난 문제중심학습(PBL)이 대학 공학설계의 연구에 도입되고 있었다. 그러나 PBL이 수학 및 과학의 교육 및 학습에 도입되지 못했던 이유는, 학문영역의 구조와 비구조적 특성 차이 때문으로 판단된다. 즉, 수학과 과학은 구조화되어 있기 때문에 다양한 해가 도출될 수 있다는 PBL과정에 적합하지 않다고 본 것이다. 특히, 수학에 대해서는 더욱더 그렇다. 이러한 한계를 뛰어 넘는 시도가 STEM교육이라 할 수 있다. PBL에서 구체적인 8단계 학습단계를 제시하고 있는 것과 마찬가지로 STEM교육도 6개의 역량이 개발될 수 있도록 교육과정을 설계해야 한다는 것을 주장하고 있다[15]. 6가지의 역량은 문제해결, 혁신, 발명, 자립, 논리적 사고, 기술적 글쓰기의 역량으로, 이러한 역량을 개발하는 하나의 도구로 PBL이 활용된다. 한마디로 정리하면 공학과 기술, 수학과 과학이라는 두 그룹 사이에 파이프라인을 설치하고 첨단 공학적 연구와 첨단기술을 이용하여 수학 및 과학의 학습에 적용하고, 이렇게 학습된 수학과 과학의 지식을 역으로 공학 연구 및 기술의 개발에 창의적, 혁신적 및 논리적으로 사용할 수 있는 능력을 배양하자는 것이다. 이러한 주장에 반해 Lantz는 위의 개념을 학제간(inter-disciplinary)의 개념으로 간주하고, STEM교육은 학제간의 개념을 뛰어 넘어 Kaufman이 주장한 초학제(trans-disciplinary)의 개념으로 설계되어야 한다고 주장했다[16-17]. 구체적으로, 표준구현(초학제의 개념으로 구현), 설계를 통한 이해, 탐구기반 교육 및 학습, 수행기반 교육 및 학습, 5단계 교육, 학습, 평가 사이클(5단계는 참여-탐구-설명-정교화-평가), 디지털 기술을 반영한 디지털 교과과정, 과제 및 비과제 루브릭에 대한 형성평가 및 총괄평가의 8가지 요소가 고려된 STEM교육을 구축해야 한다고 주장했다. 학제간과 초학제는 용어의 단순한 차이처럼 보이지만, 둘 사이에는 4개 학문의 틀을 부분적으로 유지하는 것과 학문의 틀을 완전히 제거해야 한다는 근본적인 차이가 존재한다. 또 다른 점은 학제간은 교수로부터 사전에 교육받아야 할 부분과 PBL 활동을 통하여 학생들이 스스로 학습해야 할 부분이 존재할 수 있다는 것을 인정하자는 것이고, 초학제는 학생주도적인 PBL활동을 통하여 교육과 학습이 동시에 실시되어야 한다는 것이다. 초학제의 발상은 매우 좋으나 학생들의 성향에 따라 목적인 것을 이루지 못하는 경우가 발생할 경우, 많은 것을 잃을 수 있다는 위험성이 존재하므로, 위험성을 줄인 학제간 STEM교육에서 출발하여 점진적으로 초학제 STEM교육으로 나아가는 전략을 세우는 것이 좋을 것이다.

한국의 STEM교육 상황에 대하여 간단히 살펴보자. 한국 정부는 2010년 말 미국의 STEM교육을 벤치마킹 하였고,

STEM교육이 창의성을 기반으로 하는 21세기 교육 패러다임에 적합하다는 판단을 내렸다. 그 판단에 따라 2011년에는 STEM교육(한국은 STEAM교육으로 명명하였고, A는 인문학을 의미한다)을 위한 콘텐츠 개발 및 교사세미나를 지원하였고, 2012년에서 2013년 사이에 시도별 초등학교를 STEAM교육 시범적용학교로 지정하여 STEAM교육을 시범적으로 실시하였다. 현재, 정부는 STEAM교육을 전국의 모든 초등학교에 적용하기 위한 인프라구축 및 콘텐츠 개발을 범국가적인 차원에서 지원하고 있다. 한국 및 미국의 STEM교육의 현황 및 향후 계획과 한국의 준비상황에 대한 자세한 내용은 참고문헌[14, 18, 19]을 참고하기 바란다.

저자는 한국이 추진 중인 STEAM교육이 학제간인지 초학제간인지 대한 명확한 지식을 가지고 있지 않고 있으며, 현 시점에서 어느 수준의 STEM교육이 적절한지에 대해서도 확고한 지식을 가지고 있지는 않다. 외국의 학자들이 주장하는 STEM교육의 개념도 너무 넓어 그 영역을 조금 좁게 할 필요가 있어, 17세기의 위대한 몇몇 학자들의 연구활동을 통하여 STEM교육의 요소를 유추해 보고자 한다[20]. 첫 번째는 만유인력, 광학 및 미분적분학 분야에서 위대한 업적을 창출한 뉴턴이다. 그의 위대한 업적은 운동에 관한 3법칙과 이를 미분적분학을 이용하여 운동을 기술한 점이다. 이것은 수많은 관찰과 실험을 통해 밝혀진 갈릴레이 갈릴레오의 자유낙하 및 지동설, 케플러의 행성 운동에 대한 3법칙, 그리고 데카르트의 좌표계의 업적이 바탕이 되어 성취된 것이다. 두 번째는 전자기 유도법칙을 발견한 페러데이와 그 법칙을 뉴턴 및 라이프니츠가 발견한 미분적분학을 이용하여 수식으로 표시한 맥스웰에 관한 이야기이다. 호기심과 실험에 충실했던 페러데이는 가역(자석이 전기를 생성하는 것)을 알아내기 위해 강연회의 참석과 실험적 연구를 거듭한 끝에 전자기 유도법칙을 발견하지만, 수학적인 지식이 없어 이를 설명할 방정식을 만들지는 못했다. 맥스웰은 페러데이의 실험결과를 방정식으로 표현하였고, 맥스웰 방정식이라 불리는 이 수학적식을 통해 전자기의 행동을 멋지게 설명하였다. 위의 학자들을 통해 발견할 수 있는 점은 1) 실제문제와 시대의 핵심 이슈에 대하여 도전하였고 2) 다른 사람들의 성과를 영국왕립학회를 통하여 공유했으며 3) 창의적인 발견을 위한 수많은 실험과 제품을 만들었으며 4) 법칙을 수학이라는 언어를 이용하여 표현하고, 그 표현을 이용하여 사물의 행동을 설명했으며 5) 발견이 인류의 유익과 산업에 적용할 수 있도록 하였다. 이를 기반으로 저자는 STEM교육을 다음과 같이 주관적인 정의를 제안한다. STEM교육이란 학생들이 실제적이고 이슈가 되고 있는 될 수 있는 실제 사회의 문제를 창의적인 실험과 hands-on 활동을 수행하여 문제를 관통하는 법칙을 발견

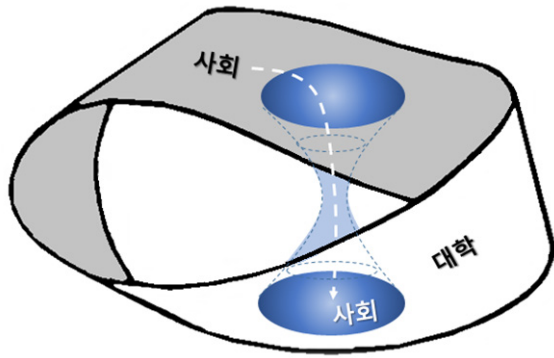


그림 1. 순간 지식 통로(블랙홀)를 가진 뫼비우스 띠
Fig. 1. Mobius strip, an instant pathway to knowledge.

하고, 그 발견을 수학식으로 표현하여 논리적으로 설명하고, 그 발견법칙을 기초로 세상에 유익한 효율적인 제품을 제작하기 위한 공학연구와 기술개발로 이어지게 하는 교육으로 정의한다.

본 연구의 목적은 위의 주관적인 정의의 요소를 일부 포함하고 있는 STEM교육을 기반으로 하는 미분방정식의 교육방안을 제안하는 것으로, 다음 장에서 이 방안을 제시한다. 장래 모든 요소가 포함되는 교과간의 통합 또는 융합이 일어나기를 바라는 소망을 있음은 여기에 기록해 둔다.

III. STEM교육 기반 미분방정식 교육방안

Shull은 공과대학생을 위한 수학교과가 그들의 지식으로 확실하게 연계 되지 않는다는 것을 지적하면서 STEM교육의 핵심요소인 실험과 hands-on을 통한 수학교과목 학습이 지식들 간의 상호연계에 보다 효과적이라고 주장했다[21]. 논문에서는 푸리에변환의 수업을 예를 들고 있었는데 즉, 학생들 스스로가 hands-on 개념으로 광학장치를 설계 및 설치하고, 광학실험으로 스크린에 맺혀진 상이 변환이론에서 등장하는 주파수와 스펙트럼과는 어떠한 관계가 있는지를 탐구하는 것이었다. 광학에 대한 사전지식의 전무에 대한 우려가 있었지만 교육의 효과는 대단히 성공적이었다고 결론 맺고 있다. Hands-on 경험을 수반하는 수학 및 과학수업의 성과는 전통적인 방식에 비교하여 훨씬 뛰어나다는 것은 자명한 사실이다[4, 22]. Shull의 주장처럼 수학 지식이 수학 지식을 필요로 하는 분야에 필요한 적용 지식으로 전환되지 않는다면, 실제 문제에 수학을 창의적 및 논리적으로 적용한다는 것은 거의 불가능하므로, STEM교육의 기반으로 실시되는 수학 교과과정에는 실험 또는 hands-on 활동이 반드시 포함되는 것이 바

람직하다는 점을 먼저 언급해 둔다.

이 장에서는, 2장의 끝 부분에서 언급한 것처럼 공과대학생을 위한 수학교과에 STEM교육을 기반으로 하는 수학교과과정의 운영방법을 제안한다. 즉, STEM교육의 요소 가운데 T(기술), E(공학)와 관련된 분야에서 학생주도적 탐구활동을 장려하고 또한 가능하면 hands-on을 미분방정식의 교육 및 학습도구로 간주하는 방안을 제안한다. STEM교육을 기반으로 하는 완벽한 미분방정식 교과과정을 개발 및 운영하고자 한다면, MSC 교과목 및 관련 전공 교과목의 융합이 필요하므로 이는 장기적인 과제로 넘긴다(해결되어야 할 과제).

A. 실제 문제를 즉시적으로 전달할 수 있는 통로를 가진 뫼비우스 띠

전공교과에 나오는 미분방정식과 관계된 내용을 수업시간에 제공하고 있어 학습동기를 제공하는 데는 큰 문제가 없지만 동기부여만으로 실제 문제를 해결할 수 있는 능력으로 잘 연결되지 못한다는 것은 위에서 지적한 바 있다. 졸업작품을 통하여 실제 문제에서 미분방정식이 어떠한 형태로 적용되고 있는지를 탐구하고, 이를 동료들끼리 토의하고 발표할 수 기회를 마련하고자 한다. 졸업작품은 STEM의 모든 요소를 다 포함하고 있어서 자기주도적 탐구학습에 매우 훌륭한 대상이 될 수 있고, 미분방정식의 실제적인 적용 방법도 체험할 수 있다. 또한 당면한 시대적 문제가 무엇인지 생생하게 접할 수 있는 대상 또는 장소이기도 하다. 17세기 학자들의 연구에서 보았듯이 당대의 연구결과가 영국왕립학회라는 공간에서 공유되었을 때 창의적인 결과들이 쏟아져 나왔다는 것을 인식하자. 이것은 매우 중요한 인식이다. 이런 인식이 흐려지는 것을 방지하기 위한 수단으로 실제 문제를 즉시적으로 전달할 수 있는 통로(블랙홀)를 가진 뫼비우스 띠를 STEM교육의 심볼로 도입한다(그림 1).

띠의 핵심은 두 가지로, 첫째는 교과과정 내의 학습과 교과과정 외의 학습이 연속적으로 일어나야 한다는 것을 강조한 점이고, 둘째는 고학년의 경험이 저학년에 전달될 수 있는 통로(블랙홀)가 필요하다는 교훈을 주는 점이다. 참고로, 단순한 원형 띠는 안과 밖을 이분적 관점으로 나누기 때문에 교과학습(대학)과 실제학습(사회) 사이에 불연속이 존재한다. 산학과 같은 채널을 통해 사회적 이슈가 대학 내로 많이 유입되어 대학과 사회를 이분하여 교육했던 과거의 관행이 많이 개선된 것은 사실이지만, 교과과정으로 좀처럼 이입되지는 않고 있는 것이 현실이다. 뫼비우스 띠는 안과 밖이 없는 즉, 안에서 밖으로 밖에서 안으로의 흐름이 끊이지 않고 이어지는 특수한 3차원 기하구조를 가지고 있어, 사회

와 대학의 연속적 속성을 각성시키는 교훈적 상징이 된다. 블랙홀은 심볼의 핵심으로 해당연도 졸업작품 및 제작에 대한 노하우가 블랙홀을 통하여 순식간에 저학년 수업에 전달되어야 한다는 것을 강조하기 위함이다. 이것은 학생들이 수학교과를 왜 배우고 또한 수학을 어떻게 활용해야 하는지를 좀더 구체적으로 인식시키는 것이 마땅하다는 교훈을 주기 위함이다. 이 심볼을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다. 띠의 형태가 꼬여져 있기 때문에 안에서 밖으로 도약(예, 불연속 교과과정을 도약으로 봄) 없이 나갈 수 있는 구조를 가지고 있다. 꼬인 부분은 on-campus 학습과 off-campus 학습이 단절 없이 공존해야 함을 나타내고 시간의 흐름에 동반하여 on-campus에서 off-campus, off-campus에서 on-campus로의 흐름이 있어야 한다는 것을 나타내는데 사용한다. 한기대는 3, 4학년 기간 중 현장에서 준 사원처럼 일을 하면서 차후 학습을 준비하는 IPP(장기현장실습)프로그램을 운영하고 있어 이 띠의 도입 취지와 잘 부합된다[23]. IPP프로그램에 의해 한기대의 4학년은 실제 사회에서 파생되는 문제를 졸업작품으로 제작하고 심사를 받아 통과한 다음에 졸업할 수 있다. 따라서 4학년의 졸업작품은 수학교과목을 왜 배워야 하는지 또 어디에 어떻게 활용하는지에 대한 훌륭한 가이드가 된다. 졸업작품의 탐구활동시기는 신중하게 생각할 필요가 있다. 그 이유는 해가 넘어간 작품은 제작자를 직접 만날 수 없기 때문에 매년 10월에 발표되는 졸업작품에 초점을 맞추어 학습계획서를 작성해야 한다. 10월이면 학기의 절반이 지나지 않았기 때문에 수강생들은 탐구활동을 할 수 있는 충분한 시간을 가질 수 있고, 또한 3일간의 작품발표 및 전시회를 시행하기 때문에 전시회에서 제작자를 직접 만날 수 있고, 작품을 보면서 대학에서 배운 지식을 어떻게 활용하였는지, 설계 및 hands-on 과정 등에 대한 다양한 정보를 알아내기가 용이하다.

B. 새로운 미분방정식 운영방안

현재 미분방정식의 이수기준이 3-2-2(학점-강의-연습)으로 구성되어 있으며 그 가운데 연습 2시간은 학생중심의 연습문제풀이 시간으로 활용하고 있다. 미분방정식은 전공교과의 전공기초학습 도구로 간주되고 있기 때문에 2학년 1학기 또는 2학기에 수강할 수 있도록 수업시간을 배정하고 있다. 2시간의 강의내용은 미분방정식의 개념, 1계 및 2계 선형 미분방정식과 그 응용, 라플라스변환, 급수해, 선형연립미분방정식과 그 응용, 수치해석, 비선형방정식의 안정성으로 구성되어 있다. 본 연구의 주된 목적은 대학에서 배운 수학 지식이 전공분야 또는 실제 사회의 문제를 터치하고 해결할 수



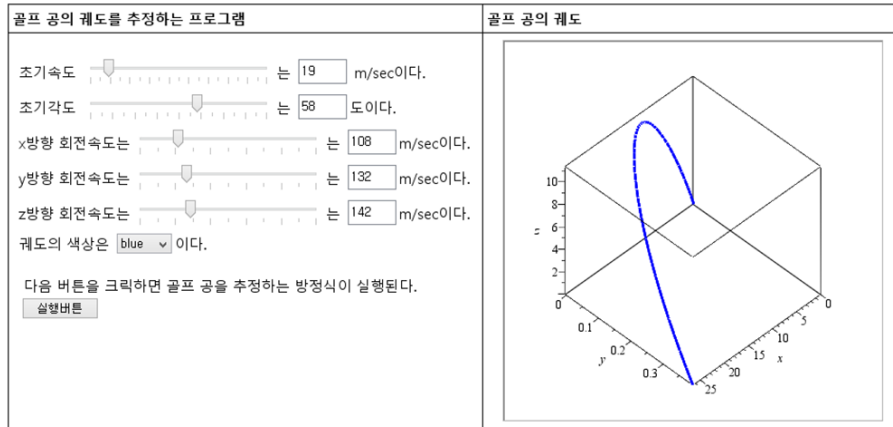
그림 2. 볼의 궤도의 추정하는 프로그램

Fig. 2. Program to estimate trajectories of basketball.

있는 지식으로 연계되도록 강의 및 학습방법을 개선하는 것이므로 기존 방법을 개혁하는 방안이 제시되어야 한다. 이러한 방안을 마련하기 위해 기존 연습 2시간을 기술(T) 및 공학(E) 분야에서 학생주도적 탐구활동이 가능하도록 전환하고, 동시에 hands-on을 촉진하는 콘텐츠를 개발하여 교육내용에 포함한다. 즉, 강의방법은 2시간 강의로 진행하고 및 2시간 탐구활동 및 발표로 진행할 수 있도록 수업계획서를 다음과 같이 개선하는 방안을 제안한다. 이 연구에서는 강의내용에 대한 개선을 시도하지 않으며 그 대신 hands-on 콘텐츠의 개발에 대해서는 다시 언급할 것이다. 먼저 T와 E분야의 학생주도적 탐구활동 방안을 소개한다. 탐구활동은 4-5명이 한 팀이 되어 졸업작품 발표 및 전시회가 시작되기 2주일전부터 탐구활동을 실시한다. 구체적인 활동계획은 다음과 같다.

- 1-6주: 탐구활동을 하지 않고 새롭게 작성된 콘텐츠에 따라 hands-on 활동을 실시한다.
- 7-8주: 팀을 구성하고 졸업작품을 탐구하기 위한 전략을 수립한다.
- 9-12주: 졸업작품 발표 및 전시회에서 탐구활동을 실시한다.
- 14-15주: 탐구활동을 발표한다. 가능하면 파워포인트로 작성하여 발표한다.
- 16주: 탐구보고서 제출한다.

단, 탐구보고서에는 졸업작품에 적용된 수학적 개념과 적용방법, 교과서에서 배운 것과의 차이점, 새로운 제안을 반드시 포함하고 있어야 한다. 예를 들어, 졸업작품에 가장 많



▶ 골프공의 궤도에 대한 모델방정식의 풀이 프로그램(접침 상태)

그림 3. 골프 공의 궤도 추정 프로그램

Fig. 3. Program to estimate trajectories of golf ball.

이 출시되는 센서의 감지와 가속도 제어를 통해 주행하는 자율주행차량을 탐구활동의 과제로 선택하였다고 가정해 보자. 움직이는 물체는 뉴턴의 운동역학에 의해 표현된 운동방정식에 따라 움직이는데, 차량의 경우 속도와 가속도의 개념이 필수이기 때문에 미분이 개념이 들어간 운동방정식이 유도된다. 탐구자는 이러한 미분의 개념을 내포하고 있는 미분방정식의 사용처를 작품에서 발견하고, 그러한 방정식이 어떻게 적용되었는지 알아낼 수 있도록 인도해야 한다. 왜냐하면 차량을 아무리 관찰해 보아도 그곳에 미분방정식은 없기 때문이다. 자율주행이므로 자동차를 움직임을 제어하는 다양한 방법이 있으므로 학생의 창의적인 사고에 의한 새로운 제어방안을 제안하도록 유도한다. 이러한 활동이 올바르게 수행되면 교과 지식의 생생히 어디 어떻게 사용되는지 및 어떻게 사용하면 되는지를 스스로 인식할 수 있게 된다. 평가는 강의 60%, 탐구활동 40%를 기준으로 실시하여 탐구활동의 중요성을 강조한다.

C. Hands-on 콘텐츠

마지막으로 hands-on 활동을 포함하고 있는 콘텐츠(extra-content)의 개발 배경 및 내용을 설명한다. hands-on 활동이 수반되는 수학수업의 학업성도가 매우 좋다는 것은 앞에서 언급하였다. hands-on 활동을 동반하는 미분방정식의 소재를 찾는 것은 그렇게 어렵지 않다. 실제 생활에서 경험하는 볼과 관련된 스포츠에서 볼의 궤도를 수학적으로 분석하는 것, 물질의 온도변화는 실험과 수학으로 비교할 수 있는 좋은 대상이며, 종의 경쟁모델(미분방정식)은 사회에서의 종의 추이

를 예측할 수 있는 좋은 도구이다. 공의 궤도에 관해 개발하고 있는 콘텐츠를 가지고 수업에 어떻게 활용하지를 설명해보자. 콘텐츠는 직관과 과학적 사실을 병행해서 작성되었다는 점을 강조해 둔다. 즉, 속도가 느린 공의 궤도는 포물선이고 빠른 공의 궤도는 공기의 저항을 크게 받아 포물선을 이룰 수 없다는 것은 직관적으로 알 수 있다.

이 직관적 사실을 hands-on 활동, 시뮬레이터 제작, 미분방정식의 유도 및 적용이라는 연구자적 관점에서 자신의 지식으로 만들어 과정을 담은 콘텐츠이다. 학생들의 흥미를 자극하기 위해서 농구 슛 장면을 드라마 샷(drama shot)이라는 첨단촬영기술을 이용하여 촬영하고, 볼의 흔적이 포물선임을 어플리케이션을 제작하여 확인할 수 있도록 하고 있다(그림 2). 어플리케이션은 C++로 작성되어 있으면 수업시간에 제공될 것이다. 슛의 성공률을 높이는 방법의 토론을 통해 볼을 던지는 위치에 따른 투사 각도, 투사 속도의 개념을 유도하게 하고, 세 가지의 정보로 볼의 궤도가 완전히 결정할 수 있다는 것을 미분방정식을 통하여 알 수 있도록 하고 있다. 더 나아가 속도가 매우 빠르고 임의의 방향으로 회전이 발생할 수 있는 골프 공, 축구공, 야구공의 운동을 지배하는 미분방정식을 벡터의 개념을 이용하여 유도할 수 있도록 하고 수치해법을 통하여 궤도를 테스트해 볼 수 있도록 한다(그림 3). 이 과정을 통하여 학생들은 벡터의 개념, 벡터미분방정식, 수치해법에 관련된 개념을 실제의 활동으로서 배울 수 있는 기회를 갖게 된다. 또한 미분방정식에 나타나는 물리적 비례상수의 값을 추정하기 위한 많은 실험들이 필요하다는 것도 깨닫게 될 것이다. 고전적인 교수법으로 이러한 수업이 진행될 수 없다는 것은 너무나 자명하다.

IV. 결론

본 연구에서는 미국에서 시발된 STEM교육과 이를 벤치마킹하여 만든 한국의 STEAM교육을 조사하였고, 더 나아가 저자의 주관적인 생각인 들어간 STEM교육을 정의하였다. STEM교육의 이념을 학제간 또는 초학제적으로 설정해야 하는지에 대한 논쟁이 존재하지만, 국가의 인적 및 물질 인프라를 고려해서 결정해야 한다는 것을 지적하였다. 현재의 미국의 STEM교육은 K-12(초등학교에서 고등학교까지)를 대상으로 하고 있지만, 조만간 그 여파가 대학에까지 미칠 것이라는 예측으로 대학에서도 STEM교육에 대한 대책을 마련해야 한다는 것을 강조하였다. 대책으로 일환으로 STEM교육을 기반으로 수학교육, 특별히 미분방정식의 교육 및 학습 방안을 제안하였다. 즉, 졸업설계작품을 통한 기술(T)과 공학(E)에 대한 탐구활동과 hands-on 활동을 미분방정식의 학습도구로 취급하는 미분방정식의 수업계획안을 제안하였다. 제안된 안은 미분방정식이 실제문제의 해결에 사용될 수 있다는 확실한 인식을 갖도록 하는데 주효할 것이며, 즉 미분방정식이 실제 문제를 창의적이고 논리적으로 풀이하는데 활용될 수 있는 지식으로 정착되는데 공헌할 것이라는 점을 주장했다. 이러한 개선된 교육방법은 현재의 교육이 뿐만 아니라 미래 존재하게 될 예측되지 않는 문제들을 풀이하는데 수학을 창의적이고 논리적으로 사용할 수 있는 역량을 배양하는데 도움을 줄 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 한국기술교육대학교 교수해외 파견 연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝힙니다.

참고문헌

[1] Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS 2011 [Internet]. Available: http://timssandpirls.bc.edu/timss2011/downloads/T11_IR_Mathematics_Full-Book.pdf.

[2] R. S. Nickerson, "Enhancing creativity," in *Handbook of creativity*, New York, NY: Cambridge University Press, pp. 392-430, 1999.

[3] T. M. Amabile, *Componential theory of creativity*, *Encyclopedia of Management Theory*. London: Sage Publications, 2013.

tions, 2013.

[4] A. K. Leung, W. W. Maddux, A. D. Galinsky, and C. Chiu, "Multicultural experience enhances creativity," *American Psychologist*, vol. 63, no. 3, pp. 169-181, 2008.

[5] G. R. Norman and H. G. Schmidt, "Effectiveness of problem-based learning curricula: theory, practice and paper darts," *Medical Education*, vol. 34, no. 9, pp. 721-728, 2000.

[6] M. J. Newman, "Problem based learning: an introduction and overview of the key features of the approach," *Journal of Veterinary Medical Education*, vol. 32, no. 1, pp. 12-20, 2005.

[7] S. G. Hong, "A study on the advancement of science and technology education for teachers at the secondary school," Technical Report, Seoul: Ministry of Education, 2008.

[8] PCAST, "Report to the president prepare and inspire: K-12 education in science, technology, engineering and math (STEM) for America's future," Sep. 2010 [Online]. Available: <http://stelar.edc.org/publications/prepare-and-inspire-k-12-education-science-technology-engineering-and-math-stem>.

[9] R. Welford, "Towards a 10-year plan for science, technology, engineering and mathematics (STEM) education and skills in Queensland," 2003 [Online]. Available: education.gld.gov.au/projects/stempland/docs/stem-discussion-paper.pdf.

[10] Office of the Chief Scientist, *Science, Technology, Engineering and Mathematics in the National Interest: A Strategic Approach*. Canberra: Australian Government, 2013.

[11] D. E. Drew, *STEM the Tide: Reforming Science, Technology, Engineering, and Math Education in America*. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press, 2011.

[12] H. B. Gonzalez and J. J. Kuenzi, "Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: A primer," CRS Report for Congress, Aug. 1, 2012 [Online]. Available: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42642.pdf>.

[13] Business-Higher Education Forum (BHEF), "Increasing the number of STEM graduates: insights from the U.S. STEM education & modeling project," 2010 [Online]. Available: <http://www.bhef.com>.

[14] J. P. Holdren, C. Marrett, and S. Suresh, "Federal science, technology, engineering, and mathematics (STEM) educa-

- tion 5-year strategic plan,” A Report from the Committee on STEM Education National Science and Technology Council, 2013.
- [15] J. S. Morrison, *Attributes of STEM Education: The student, The academy, The Classroom*. Baltimore, MD: Teaching Institute for Excellence in STEM, 2006.
- [16] H. B. Lantz, Jr., “Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: What form? What function?”, 2009 [Online]. Available : <http://www.seenmagazine.us/articles/article-detail/articleid/29/stem-education.aspx>.
- [17] D. Kaufman, D. M. Moss, and T. A. Osborn, *Beyond the boundaries: A transdisciplinary approach to learning and teaching*. Westport, CT: Praeger Publishers, 2003.
- [18] J. Y. Kim, “Recent trends of education in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) in the U.S, Survey 2012-001,” 2011 [Online]. Available : http://www.kistep.re.kr/c3/sub2_5.jsp?brdType=R&bbIdx=1205.
- [19] H. S. Cho, H. Kim, and J. Y. Huh, “Understanding of STEM through site case,” KOFAC, Seoul, Report 2012-02-02, 2012.
- [20] M. Guillen, *Five Equations that Changed the World*. New York, NY: Hyperion, 2005.
- [21] P. J. Shull, “Improved learning of engineering mathematics through hands-on, real-world laboratory experiments,” in *Proceedings of the 2008 IAJC-IJME International Conference*, Nashville: TN, Paper 146, ENG 107, 2008.
- [22] P. M. Stohr-Hunt, “An analysis of frequency of hands-on experience and science achievement,” *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, no. 1, pp. 101–109, Jan. 1996.
- [23] K. Y. Om, C. H. Oh, J. H. Ha, J. S. Cho, and N. H. Kim, “Co-op performance evaluation: literature review and suggestions for the IPP program,” *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 4, no. 2, pp. 98-103, June 2012.



하 준 홍 (Jun-Hong Ha)_종신회원

1989년 2월 : 울산대학교 수학과(이학사)
 1991년 2월 : 부산대학교 대학원 수학과(이학석사)
 1996년 9월 : 일본고베대학 자연과학연구과(이학박사)
 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 교양학부 교수
 <관심분야> 시스템의 최적제어문제, 역문제 및 안정성문제