

21세기 인재양성을 위한 스템융합교육



한 정

미국 퍼듀대학교 기술학과 (Purdue University Polytechnic Institute)
박사후 연구원
izzogi@gmail.com

미국 내셔널 스템융합교육 프로젝트 (NSF Project: Teachers and
Researchers Advancing Integrated Lessons in STEM - "TRAILS")
연구원

관심분야: 스템융합교육, 기술공학 교사교육, 디자인 씽킹



Todd R. Kelley

미국 퍼듀대학교 기술학과 (Purdue University Polytechnic Institute) 교수
trkelley@purdue.edu

미국 내셔널 스템융합교육 프로젝트 (NSF Project: Teachers and
Researchers Advancing Integrated Lessons in STEM - "TRAILS")
Principal Investigator

Integrated STEM, Engineering Design/Cognition, Design Thinking,
Design Sketching, Place-based Education

**스스템융합교육을 통해 창의적이고
비판적이며 협업 능력과 소통 능력을 갖춘
미래인재 양성이 필요하다.**

21세기 스킬 (21st Century Skills)

21세기에 요구되는 교육은 교과 지식 습득뿐만이 아니라 미래를 선도할 인재들이 갖추어야 할 역량을 효과적으로 함양할 수 있도록 하는 데 있다. 현재 미국에서는 21세기 스킬로 비판적 사고 (Critical Thinking), 협업능력 (Collaboration), 소통능력 (Communication), 창의성 (Creativity)이 거론되고 있다 (Han, Park, & Kelley, 2023; Kelley, Knowles, Han, & Sung, 2019). 비판적 사고 (Critical Thinking)는 현실에 당면한 문제들을 직시하고 문제점을 제시하며 문제해결을 위해서 비판적인 시각으로 접근하여 해결하려는 능력을 말한다. 협업능력 (Collaboration)은 이러한 문제해결을 위한 과정에 여러 사람들의 전문성을 활용할 수 있는 능력을 말하고, 이를 위해 소통능력 (Communication)과 팀워크가 필요하다. 또한 문제해결능력에 있어서 비판적 사고와 더불어 창의성 (Creativity)이 요구되고 있다. 구체적인 21세기 스킬의 예시로는 표 1을 참조하기 바란다.

스스템융합교육 (Integrated STEM Education)

미래 혁신 기술산업 시대에는 현실적으로 당면한 문제해결들을 위해서 여러 분야에 걸친 종합적인 지식과 창의적 적용이 필요하다. 이에 발맞추어 문제해결 (problem solving) 능력을 포함한 21세기 역량 (21st Century Skills)을 갖춘 인재를 배출하기 위한 교육으로서 스템융합교육 (Integrated STEM Education)이 중요시되고 있다.

스스템융합교육은 과학 (science), 기술 (technology), 공학 (engineering), 수학 (math) 과목을 따로따

표 1. 21세기 스킬 예시 (Kelley, Knowles, Han, & Sung, 2019)

	I'm confident in my ability to (나는 다음의 항목에 해당하는 능력에 대한 자신감을 가지고 있다)
비판적사고 (Critical Thinking)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revise drafts and justify revisions with evidence (초안을 수정하고 근거자료에 의해 수정을 정당화한다). 2. Develop follow-up questions that focus or broaden inquiry (조사범위를 좁히거나 넓히면서 심화탐구를 할 수 있는 질문들을 한다). 3. Create new, unique, surprising products (새롭고 특징적이며 괄목할 만한 성과를 낸다). 4. Identify in detail what needs to be known to answer a science inquiry question (과학적 질문에 답하기 위한 세부적으로 알아야 할 사항을 파악한다). 5. Evaluate reasoning and evidence that support an argument (주장을 뒷받침할 추론과 근거를 평가한다). 6. Create ideas geared to the intended client or user (고객이나 사용자를 특정한 아이디어를 창출한다). 7. Develop follow-on questions to gain understanding of the wants and needs of client or product users (고객이나 사용자가 필요하거나 원하는 것을 파악하기 위해 후속 질문/문제점 등을 생각해낸다). 8. Combine different elements into a complete product (서로 다른 요소들을 결합하여 완제품을 창출한다). 9. Understand questions that lead to critical thinking (비판적 사고를 이끌어내는 질문들을 이해한다). 10. Justify choices of evaluation criteria (평가기준 선택을 정당화할 수 있다). 11. Gather relevant and sufficient information from different sources (관련된 충분한 정보들을 다방면에서 수집한다).
협업능력 (Collaboration)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Be polite and kind to teammates (팀 동료들에게 친절하고 예의 있게 대한다). 2. Acknowledge and respect other perspectives (다른 사람들의 관점을 인정하고 존중한다). 3. Follow rules for team meetings (팀의 회의 규칙을 따른다). 4. Make sure all team members' ideas are equally valued (모든 팀원들의 아이디어가 동등하게 중요하다는 것을 인정한다). 5. Offer assistance to others in their work when needed (다른 팀원들이 도움이 필요할 때 도움을 준다). 6. Improve my own work when given feedback (피드백을 받았을 때 적절하게 나의 업무를 개선한다). 7. Use appropriate body language when presenting (발표 시 적절한 신체언어를 활용한다). 8. Come physically and mentally prepared each day (매일 신체적으로 정신적으로 준비된 상태로 임한다). 9. Follow rules for team decision-making (팀의 의사결정 룰을 따른다).
의사소통능력 (Communication)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Use time, and run meeting efficiently (효율적으로 시간을 활용하고 회의를 진행한다). 2. Organize information well (정보를 잘 정리한다). 3. Track our team's progress toward goals and deadlines (팀의 목표에 대한 진행상황과 마감시한을 잘 추적한다). 4. Complete tasks without having to be reminded (작업을 타인의 추가적인 리마인드 없이 마감기한 내에 완료한다). 5. Present all information clearly, concisely, and logically (모든 정보를 명확하고 간결하며 논리적으로 제시한다).
창의성 (Creativity)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Understand how knowledge or insights might transfer to other situations or contexts (지식과 통찰력이 어떻게 다른 상황들에 적용될 수 있을지 이해한다). 2. Find sources of information and inspiration when others do not (다른 사람들이 찾지 못하는 정보와 영감의 출처를 찾아낸다). 3. Help the team solve problems and manage conflicts (팀원들을 도와 과제를 풀고 문제상황을 해결한다). 4. Adapt a communication style appropriate for the purpose, task, or audience (목표, 과제, 대상에 따라 적절한 소통 스타일을 활용한다). 5. Elaborate and improve on ideas (아이디어를 창출하고 발전시킨다).

로 분리하여 교육하는 것이 아니라 둘 이상의 스템과목을 하나의 수업에서 가르치는 (interdisciplinary/multidisciplinary) 방식을 말한다. 그뿐만 아니라 실생활과 산업에 현실적으로 적용할 수 있는 내용을 가르치는 situated learning을 기반으로 하기 때문에 단순 교과지식 전달이 아닌 현실적 문제해결능력 함양을 목표로 한다.

스템융합교육을 실시하기 위해서는 첫 번째로, 프로젝트 방식의 수업 (project-based learning)이 필요하다. 융합교육이란 단순히 여러 과목을 가르치는 것을 말하는 것이 아니라, 둘 이상의 과목이 수업에 녹아들어가 한 수업에서 둘 이상의 과목에서 다루는 개념을 배우는 방식이므로, 각 교과목 담당교사들이 협력하여 프로젝트를 구상, 실행하는 것이 추천된다. 즉, 두 과목 이상이 한 프로젝트 단위의 수업에 포함되고, 교사 간의 협력으로 수업이 이루어지며, 필요에 따라서 과목이 다른 학생들 간의 상호 교류와 협력이 필요하기도 하다.

현재 한국에서는 현실적으로 교과목을 나누어 각각의 전문 교사가 한 과목만을 가르치는 방식으로 교육이 대부분 실행되었기 때문에 프로젝트에 기반한 스템융합교육이 널리 공교육에서 실행될 수 있는 가능성이 많지 않았다고 보인다. 이에 미국에서는 어떤 식으로 스템융합교육이 공교육에서 효과적으로 실행되고 있는지 사례를 통해 알아보고, 구체적인 스템융합교육 접근법을 고찰하여 한국 교육현장에서의 적용 가능성을 살펴보고자 한다.

스템융합교육 (Integrated STEM Education) 미국 사례

하나의 예로서 필자가 소개하고자 하는 미국 스템융합교육 프로젝트는 미국 내셔널 과학재단 (National Science Foundation - NSF award #DRL-1513248)에서 펀딩을 받아 퍼듀 대학교에서 주관하는 TRAILS 프로젝트이다. TRAILS는 Teachers and Researchers Advancing Integrated Lessons in STEM의 약자로, 프로젝트 이름에서도 나타나듯이 교사와 연구자들이 협력하여 스템융합교육을 발전시키고자 하는 목표로 시작되었다. 2016-2019에 실행된 TRAILS 1.0은 인디애나주 고등학교들이 참가하였고, 이후 현재 2022-2025까지 진행되고 있는 TRAILS 2.0은 미국의 세군데 지역 (동부해안지역, 중서부지역, 하와이)에 걸친 7개 주에서 실행되고 있다 (표 2 참조).

이 프로젝트는 단순히 어느 곳에나 적용할 수 있는 교육 프로그램을 개발하는 것이 아니라, 각 지역의 지역적 특성을 고려하고 지역산업과 연계를 시켜 산간지역, 해안지역, 다문화지역 등 지역 현실에 당면한 문제 해결에 학생들이 직접 참여할 수 있는 교육 활동 기회를 제공한다.

프로그램에서 실행하는 주목할 만한 스템융합교육 접근방식으로는, 과학교사 (생명과학)와 기술공학 교사가 짝을 이루어 생명과학-기술공학 융합 수업을 프로젝트 방식으로 (project-based) 교육 현장에서 가르치게 되는데, 이를 위한 준비과정으로 2주간의 여름방학 교사교육 프로그램에 교사들이 참가를 하고 훈련을 받는다. 이

표 2. TRAILS 프로젝트 실행지역

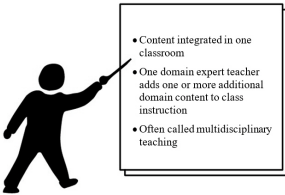
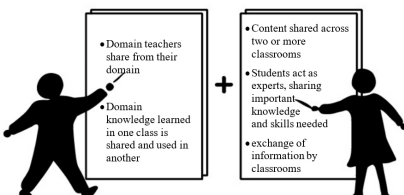
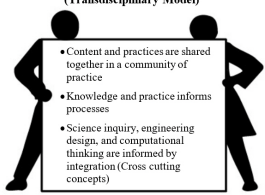
	실행기간	실행지역
TRAILS 1.0	2016 - 2019	Indiana
TRAILS 2.0	Year 1 (2022 가을 - 2023 봄)	미국 동부 해안가 지역 (Colorado, Kansas, New Mexico)
	Year 2 (2023 가을 - 2024 봄)	미국 중서부 지역 (Colorado, Kansas, New Mexico)
	Year 3 (2024 가을 - 2025 봄)	하와이 지역 (Hawaii)

2주간의 교사트레이닝 과정 기간 동안 교사들은 연구자들이 미리 개발한 모델 수업을 어떻게 교육현장에서 가르칠지 훈련을 받고, 또한 이를 바탕으로 새로운 스템융합 프로젝트를 연구자들 및 다른 참석 교사들과 함께 협력하여 개발하게 된다. 이후 훈련받은 모델수업과 교사들이 직접 개발한 스템융합수업을 학교로 돌아가 학생들에게 가르치게 된다 (Han, Kelley, Bartholomew, & Knowles, 2020).

스스템융합교육 (Integrated STEM Education) 적용 방식

TRAILS 1.0이 진행되는 동안 연구자는 교사들이 현실적으로 수업을 진행하는 방식에 따라 스템융합교육 적용 방식이 세 가지 모델로 나타난다는 것을 발견했다. 즉, 융합의 방법과 정도에 따라 과목 통합/병합 모델 (Inclusion Model), 과목 융합 모델 (STEM content

표 3. 스템융합교육 적용법에 따른 분류 (Kelley, Knowles, Han, & Trice, 2021, pp. 40-41.)

Model 1. 과목 통합/병합 모델 (Inclusion Model)	Model 2. 과목 융합 모델 (STEM content integration model)	Model 3. 과목과 활동 융합 모델 (STEM content and practices integration model)
<p>Content Inclusion Integration</p> 	<p>Content Integration</p> 	<p>Content and Practices Integration (Transdisciplinary Model)</p> 
한 교사가 한 수업 (프로젝트)에 두 과목 이상을 가르친다.	다른 과목의 교사들이 협력하여 수업 (프로젝트)을 가르치며, 다른 과목의 학생들을 따로 가르친다.	다른 과목의 교사들이 협력하여 수업 (프로젝트)을 함께 가르치며 다른 과목 학생들이 같은 수업안에서 함께 배운다.

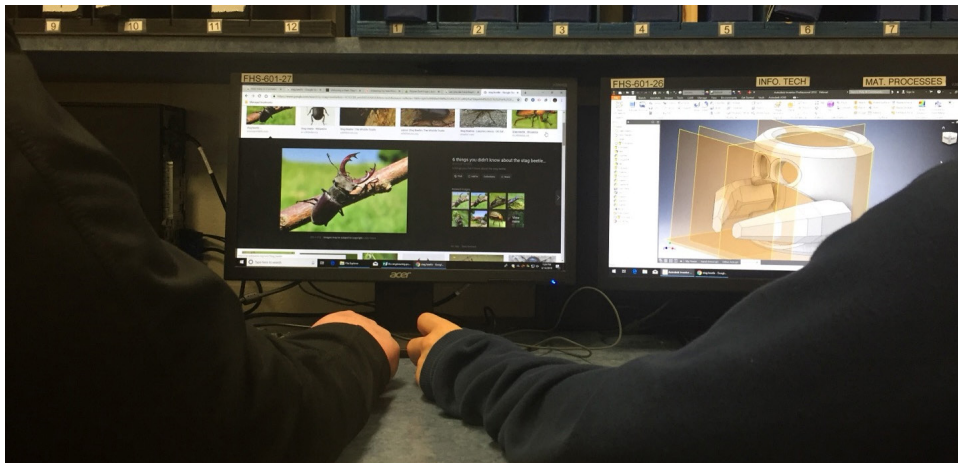


그림 1. 과학-기술공학 융합 프로젝트 협업


integration model), 과목과 교과활동 융합 모델 (STEM content and practice integration model)로 다양한 접근법이 나타남을 확인하였다 (표 3 참조).

특히 세 번째 모델 (과목과 활동 융합 모델 - STEM content and practices integration model)의 구체적인 수업 활동 모습의 경우, 과학학급과 기술공학학급이 함께 한 교실에 모여서 어떤 프로토타입을 개발할지 의논하는 과정에서 과학학급 학생들은 과학적인 추론과 적용, 기술공학 학급 학생은 프로토타입의 구체적인 작동 가능성, 재료특성 등을 고려하여 서로 단순한 물건의 생산이 아닌 기술을 통한 과학적 사고의 실현이라는 공통의 목표로 작업을 하게 된다. 과정에서 교사의 가이드와 학생들 간의 협력과 소통이 중요하게 된다 (그림 1 참조).

이러한 스템융합교육 방식이 학생들의 21세기 기술 함양에 어떻게 긍정적인 영향을 미치는지에 대한 사전 사후 평가에 의하면, 스템융합교육이 학생들에게 비판적 사고 (critical thinking)를 갖게 하는데 긍정적인 효과가 있었음이 증명되었다 (Han, Kelley, & Knowles, 2023). 단순히 내용을 전달하는 주입식 교육과는 달리, 스템융합교육은 학생들이 스스로 문제를 인식하고 해결책을 찾기 위해 노력하는 탐구 과정을 경험하도록 설계되었기 때문에 이를 통해 학생들은 비판적 사고 능력을 향상시킬 수 있었다.

뿐만 아니라, 기술과 공학이 접목된 스템융합교육은 프로토타입 개발 과정을 통해 구체적인 문제 해결 방식을 실천하며 이를 평가하고 개선하는 과정을 거치도록 한다. 이러한 기술공학 디자인 씽킹 프로세스를 통해 학생들은 비판적 시각 (Critical Thinking)과 더불어 협업 능력 (Collaboration), 소통능력 (Communication), 창의성 (Creativity) 등 21세기 기술을 종합적으로 함양할 수 있게 된다.

미국에서 시행되는 스템융합교육 방식을 그대로 한국 교육 현장에 적용하기는 쉽지 않다는 지적도 있다. 하지만 2025 학점제 도입을 위한 점진적 추진 과정 중 프로젝트 방식 수업 도입에 대한 연구들이 진행되어 왔고, 이

를 바탕으로 해외 및 국내 스템융합교육 우수사례들을 소개하여 한국 교육 현장에 적용 가능한 방안을 찾는다면 한국교육 현실에 맞게 적절히 변형된 스템융합교육이 실행될 수 있으리라 믿는다. 또한, 연구자, 교육자, 그리고 산학 협력 기관 등 전문가의 협업을 통해 교사들의 스템융합교육 관련 지식과 역량을 높이기 위한 교육 프로그램을 제공하고 효과적인 프로그램 운영을 지원한다면 스템융합교육의 효과를 극대화할 수 있을 것이다. 

NSF Disclaimer

Any opinions, and findings expressed in this material are the authors and do not necessarily reflect the views of NSF.

참고문헌

1. Han, J., Park, H. K. & Kelley, T.(2023). engineer's notebook as a cognitive device: developing a realtime collaborative engineer's notebook iOS application. *Technology and Engineering Teacher*, 82(5), 20-26.
2. Han, J., Kelley, T., & Knowles, J. G.(2023). Building a sustainable model of integrated stem education: Investigating secondary school STEM classes after an integrated STEM project. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(4), 1499-1523. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09777-8>
3. Han, J., Kelley, T., Bartholomew, S., & Knowles, G.(2020). Sharpening STEL with integrated STEM. *Technology and engineering teacher*, 80(3). <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10210623>
4. Kelley, T. R., Knowles, J. G., Han, J., & Sung, E.(2019). Creating a 21st century skills survey instrument

for high school students. American Journal of Educational Research, 7(8), 583-590. <http://article.scieducationalresearch.com/pdf/education-7-8-7.pdf>

5. Kelley, T. R., Knowles, J. G., Han, J., & Trice, A. N.(2021). Integrated STEM Models of Implementation. Journal of STEM Education: Innovations & Research, 22(1). <https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/2395>