

SEM-CT: 과학(S), 공학(E), 수학(M)적 문제해결과정과 컴퓨팅 사고(CT)

남윤경[†] · 윤진아^{††} · 한금주^{†††} · 정주훈^{†††}

요 약

STEM 융합교육의 중요한 목적은 서로 다른 학문이 가지는 탐구의 방법을 이해함으로써 융합적 문제해결력을 기르는 것이다. 이를 위해 우선적으로 각 학문에서 중요하게 다루어지는 문제해결과정을 이해해야 한다. 본 연구는 과학(S), 공학(E), 수학(M) 각각의 분야에서 어떻게 문제해결과정을 정의하고 있는지 비교 분석하고, 이를 근거로 SEM 문제해결과 CT 문제해결의 관련성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 먼저 SEM 각 학문의 문제해결과정을 비교 분석하여 그 공통점과 차이점을 기술하였다. 다음으로 CT를 도구적 측면과 사고적 측면으로 구분하고 문제해결과정으로서 CT가 SEM 각각의 학문에서 문제해결과 어떤 차이가 있는지 기술하였다. 마지막으로, SEM 문제해결 프로세스와 CT와의 관계를 모형으로 제시하였다. 본 연구는 문제해결과정으로써 CT와 SEM이 융합할 수 있는 방향을 제시한다는 점에서 그 의미가 있다.

주제어 : 융합 과학 교육, 컴퓨팅 사고, 문제해결과정, STEM 교육

SEM-CT: Comparison of Problem Solving Processes in Science(S), Engineering(E), Mathematic(M), and Computational Thinking(CT)

Younkyeong Nam[†] · JinA Yoon^{††} · KeumJoo Han^{†††} · JuHun Jeong^{†††}

ABSTRACT

The main purpose of STEM education is to understand methods of inquiry in each discipline to develop convergent problem solving skills. To do this, we must first understand the problem-solving process that is regarded as an essential component of each discipline. The purposes of this study is to understand the relationship between the problem solving in science (S), engineering (E), mathematics (M), and computational thinking (CT) based on the comparative analysis of problem solving processes in each SEM discipline. To do so, first, the problem solving process of each SEM and CT discipline is compared and analyzed, and their commonalities and differences are described. Next, we divided the CT into the instrumental and thinking skill aspects and describe how CT's problem solving process differs from SEM's. Finally we suggest a model to explain the relationship between SEM and CT problem solving process. This study shows how SEM and CT can be converged as a problem solving process.

Keywords : Integrated Science Education, Computational Thinking, Problem Solving Process, STEM Education

[†]정 회 원: 부산대학교 지구과학교육과 부교수 ^{††}정 회 원: 부산대학교 과학교육연구소 전임연구원
^{†††}정 회 원: 부산대학교 수학교육과 박사수료 ^{††††}총신회원: 부산대학교 소프트웨어교육센터 초빙교수(교신저자)
논문접수: 2019년 2월 28일, 심사완료: 2019년 5월 19일, 게재확정: 2019년 5월 20일
* 본 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5A2A03031413).
* 본 논문은 2019 한국컴퓨터교육학회 동계 학술대회 발표논문인 '문제해결의 과정으로써 컴퓨팅 사고'를 확장하였음

1. 서론

최근 급변하는 사회적 환경과 첨단기술에 의해 산업구조가 융합·재편됨에 따라, 21세기 인재가 갖추어야 할 핵심역량으로 창의·융합적 사고와 문제 해결력이 대두되었다[1]. 이에 전 세계적으로 교과목의 경계를 넘어선 STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 융합 교육의 필요성이 요구되고 있다. STEM 교과 간의 의미 있는 융합이 이루어지기 위해서는 각 교과목이 가지는 특성인 교과 핵심 목표와 역량, 교과내용과 본성, 문제해결 방법 간의 연계성이 고려되어야 한다. 특히, 융합적 사고와 문제해결력은 융합교육에서 다루어야 할 핵심역량으로, 명확한 개념 정립을 위한 각 교육공동체의 합의가 필요하다.

융합적 문제해결력을 정의하기 위해서는 STEM 각 교과에서 다루는 문제해결 방법이 어떤 관련성을 있는가에 대한 이해가 우선되어야 한다.

STEM교과 중 과학(S)과 수학(M)은 오랜 역사를 통해 고유한 문제해결 방법이 정립되어 왔다. 과학은 과학적 탐구(Scientific Inquiry), 수학의 경우 수학적 문제해결과 모델링이다. 비교적 최근에 정립된 공학(E)의 경우에는 공학설계(Engineering Design)가 공학적 문제 해결의 방법으로 대표된다[2]. 기술(T)은 문제 해결 방법이라기보다는 문제를 해결하기 위한 도구를 다루는 지식과 기술을 의미하는 경우가 많았다.

그 중에서도 3차 산업혁명시대부터 가장 중요한 기술적 도구로 대두된 컴퓨터는 그 역할과 사용 범위를 한정할 수 없을 정도로 다양한 분야의 문제해결에 사용되고 있다. 아울러, 컴퓨터는 과학, 공학, 그리고 수학적 문제 해결을 위한 도구의 역할에 그치는 것이 아니며, 컴퓨터적 문제 해결 자체가 독립된 하나의 학문 분야로 여겨지고 있다[3]. 최근에는 많은 컴퓨터 과학자와 교육자들을 통해 컴퓨팅 사고(Computational Thinking: CT)라는 용어가 다방면으로 사용되면서 도구적 측면의 컴퓨터 활용(Computing)보다 사고적 측면의 문제해결을 위한 사고(Thinking)로 활용하는 역량이 더욱 중시되고 있다[4].

Wing(2006)은 CT는 컴퓨터가 아니라 인간이 생각하는 방법에 관한 것이고, 결과물이 아니라 아이

디어이며, 어디에서나 누구에게나 필요한 것이라고 하였다[5]. 이는 사람이 컴퓨터가 효율적으로 실행할 수 있는 방식으로 문제의 해결책을 생각해낸다는 점을 강조하고 있으며, CT의 사고적 측면을 보여준다. 따라서 CT는 단순히 컴퓨터를 이용하는 능력, 즉 소프트웨어 활용이나 프로그래밍 능력을 넘어서 컴퓨터 관련 학문 뿐 아니라 다른 학문 분야에 적용될 수 있는 문제해결의 방식에 대한 태도와 일련의 기술이라고 정의할 수 있다[6].

우리나라에서는 2015 개정 교육과정에서 SW교육을 초·중학교에 필수교육으로 적용하여 실시하고 있으나, 다른 교과에 어떻게 CT를 융합·적용할 것인지에 대한 구체적인 기준이나 방법이 제안되지 않고 있다. 창의융합인재 양성을 위한 융합교육, 특히 과학(S), 공학(E), 수학(M)(이하 SEM), 그리고 컴퓨터로 대표되는 기술(T)이 융합된 교육을 위해서는 각 교과의 고유 관점에서 문제해결의 과정이 어떻게 정의되고 어떤 공통점과 차이점이 있는지를 명확하게 밝힐 필요가 있다[7][8]. 이에 따라 본 연구에서는 SEM 각 과목에서의 문제해결 방법을 비교, 분석하고 CT의 문제해결 방법이 SEM의 문제해결과정에 어떻게 융합 될 수 있을지 제안하고자 한다. 본 연구의 목적을 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다

첫째, 과학(S), 공학(E), 수학(M)의 문제해결과정은 어떤 공통점과 차이점을 가지는가?

둘째, 컴퓨팅사고(CT)를 문제해결의 과정으로 이해할 수 있는가?

셋째, SEM(과학, 공학, 수학)의 문제해결과정과 컴퓨팅사고(CT)의 관련성은 무엇인가?

2. 연구 방법론

본 연구는 서로 다른 학문 분야(SEM-CT)에서의 문제해결과정에 대해 파악하고, 그 연관성을 개념적 관계 모형으로 나타내고자 하였다. 이를 위해 먼저 각각의 학문에서 제시하고 있는 문제해결과정을 문헌연구를 통해 분석 및 정리하였으며, 각 학문 간의 문제해결과정을 본 연구에 참여한 각 분야의 연구자(과학교육, 공학교육, 컴퓨터교육, 수학교육 전문가 각 1인)들이 함께 교차검증을 통해 비교 분석을 실시하였다.

문헌연구 분석을 위해 각 연구자는 학술연구정보 서비스(Riss), Google 학술검색 등 국내외 논문 DB검색 서비스를 통해 ‘문제해결’, ‘문제해결과정’을 키워드로 사용하여 문헌을 검색하고 분류하였다. 이후 연구자 간의 교차 검증과 내용 분석, 인용도 등을 통해 분야별 주요 문헌을 선정하였다.

선정된 주요 문헌들을 대상으로 참여 연구자들이 함께 내용을 검토하고 분석하여 각 분야별 문제해결과정을 도출하였으며, 이를 통해 타 학문 분야의 문제해결과정과 사용되는 용어를 상호 이해하고 연구자들의 각 분야별 문제해결과정과 어떤 관계가 있는가를 파악하여 전체적인 비교분석틀 설계를 위한 배경 지식을 공유하고 분석틀의 분류 기준을 예시로 설정하였다.

이를 기준으로 분야별 문제해결과정을 비교 분석하였으며, 연구자들 간의 토론과 상호 검증을 통해 분류기준을 정교화하고, 타당도를 확보하고자 하였다. 도출된 결과에 대해서는 모든 연구자가 동의할 때까지 수정 및 보완 과정을 반복하였다.

3. 과학(S), 공학(E), 수학(M)에서의 문제 해결

3.1 과학적 문제해결

과학적 탐구는 과학자들이 자연의 현상을 연구하고 이를 통해 얻어진 증거를 기반으로 설명을 제안하는 방법을 의미한다. 일반적으로는 자연과 현상에 대한 의문을 가설로 만들고 이를 사고, 추리, 실험으로 검증하여 일반화함으로써 문제를 해결하는 통합적 과정으로 정의된다[9]. 따라서 과학에서 문제를 해결하는 과정을 과학적 탐구라고 한다. 실제로 과학적 탐구는 하나의 현상이나 문제로부터 과학적 이론을 발전시키는 과정이며 이는 곧 과학 지식이 구성되는 과정을 보여준다[10]. 따라서 과학적 탐구는 문제를 해결하기 위한 과정이라는 기능적 측면 뿐 아니라 과학적 논리를 기반으로 사고하고 논의하는 영역도 매우 중요하게 다루어진다.

과학적 탐구과정은 그 순서가 정해져 있거나 반드시 따라야할 규격화된 과정은 아니지만, 일반적으로 문제를 해결하기 위한 과정으로 학자에 따라 다양한 요소들을 제시하고 있다. Bybee 외(2008)

는 과학적 탐구과정에 대해 문제를 정의하고, 가설을 세우고, 실험을 설계하고, 자료를 해석하여 이론을 형성하는 과정으로 정의하였으며[11], Wang 외(2014)는 문제인식과 정의, 가설생성, 실험설계, 자료수집 및 분석, 자료해석 및 결론도출의 5단계로 정의하였다[12]. Lunetta 외(2007)는 질문을 정의하고 가설을 설정하는 단계, 설계 및 실험계획 단계, 데이터 수집 및 분석 단계, 결과 요약 및 결론 도출 단계, 그리고 조사 결과를 전달하는 6단계로 구분하였다[13]. So 외(2017)는 STEM의 탐구과정을 요약하여 탐구개시단계(Initiating an investigation), 탐구수행단계(Conducting the investigation), 탐구결과 발표단계(Presenting the investigation)로 크게 3단계로 나누었다[14]. 미국과학교육 기준에서 제시한 과학적 탐구는 우리나라 7차 교육과정처럼 전 세계 과학교육과정에서 탐구의 역할을 크게 증가 시키는 역할을 하였는데, 1) 과학적으로 검증 가능한 문제(가설) 제시, 2) 문제(가설)를 검증하기 위한 탐구 방법설계, 3) 탐구를 통해 수집된 증거에 기반한 설명 구성, 4) 기존 과학지식과 구성된 설명의 연계, 5) 설명을 논리적으로 정당화하기로 탐구 과정을 제시하였다[9]. 과학의 탐구과정 요소들은 과학적 탐구를 가르치는 다양한 교육모델에서도 볼 수 있으며, <표 1>은 여러 연구에서 제시된 과학적 문제해결의 과정(탐구과정)을 비교한 것이다.

과학적 탐구과정은 이와 같이 몇 가지 단계로 세분화한 다양한 모델들이 있지만 일반적으로 다음의 다섯 가지 과정으로 요약할 수 있다.

먼저 과학적 탐구의 첫 번째 단계인 문제 인식 단계는 ‘자연현상을 관찰하고 의문을 생성하는 과정’이다[15]. 과학적 문제해결의 시작은 대부분 문제를 발견하는 것으로부터 시작되며[16], 기존 사고형태로는 해결할 수 없는 질문이나 복잡성을 유발하여 갈등을 일으키고, 새로운 질문을 통해 가능성을 제기하고 새로운 관점에서 사고하게 함으로써 창의적 상상력을 필요로 한다[17].

두 번째 단계는 구체적인 문제를 정의하는 단계로 과학적으로 검증 가능한 가설을 만드는 단계이다. 이 단계에서는 ‘실제적이고 잘 정의되지 않은 상황이 제공되었을 때 가설을 설정하는 능력’[18], ‘새로운 문제의 생성, 재구성, 정교화를 포함하는

<표 1> Scientific inquiry process

단계	NRC (2000)	Schwab (1966)	이범홍, 김영민 (1983)	So 외 (2017)	Dewey (1938)	Lawson (1995)
문제 인식	1) 과학적 문제제시	1) 문제인식과 발견	1) 탐색 및 문제파악	1) 탐구 개시	1) 문제인식 단계	1) 문제의 파악 및 인식 2) 가설 설정 3) 실험 설계 4) 실험 수행
문제 정의		2) 가설설정	2) 가설설정		2) 문제파악 단계	
탐구 실행	2) 탐구실행	3) 실험설계	3) 실험설계	2) 탐구 실행	3) 가설형성 단계	
		4) 자료수집 및 처리 5) 자료해석 및 검증	4) 실험		4) 가설검증 단계	
결론 도출	3) 결론도출 4) 결론의 정교화	6) 일반화	5) 적용 및 새로운 문제발견	3) 탐구 결과 발표	5) 해결안 수락 및 수정 단계	5) 자료정리 및 결론 도출
평가와 일반화	5) 결론 평가					

문제의 발견'[19] 등으로 표현된다.

과학적 문제의 인식과 가설 설정은 문제를 인식하는데서 비롯된다. 따라서 이 두 단계는 탐구의 개시[14]로 함께 다루어지기도 한다. 이 두 단계에서는 자연현상에 대한 관찰을 통해 객관적인 자료를 수집하고, 이를 통한 인과적 의문을 생성함으로써 문제를 인식하고 명료화하며 새로운 문제를 생성하여 탐구의 목표 상태를 분명하게 정의하는 것 [20]을 목표로 한다.

세 번째 단계는 문제를 해결하기 위한 단계로 가설을 검증하기 위해 탐구활동을 설계하고 탐구를 실행하는 단계이다. 따라서 실험을 설계하기 위해 변인을 확인하고 조작하는 과정뿐만 아니라 관찰과 측정에 대한 계획, 실험 장치를 조작하거나 제작하는 활동을 포함하고 있다[10][21]. 이때 탐구변인설정과 통제 능력은 탐구문제의 인과적 관계를 밝히는데 필수적 능력으로 매우 중요하다. 또한 문제를 해결하기 위해 무엇을 조절하며, 무엇을 측정하고, 무엇을 통제할 것인지를 명료화함[22]으로써 실험 절차를 구체적으로 기술하고 수행하여 도출된 데이터로부터 자료의 의미를 해석하고 한계점을 확인하는 것을 목표로 한다.

네 번째 단계는 '결과를 토대로 추론하는 과정'[21], '가설 검증 결과에 따라 특정 해결안을 수락하거나 거부하는 단계'[23], 탐구과정에서의 인과

관계를 논의하는 것으로 표현되며, 실험결과에 대한 요약이 아니라 주제, 문제, 가설에 대한 최종적 해답이며 수집된 자료를 통한 판단을 확정적으로 진술하고 포괄적 의미를 도출하는 과정이다.

마지막 단계는 결론을 평가하고 연구의 한계점을 인식하고 향후 연구를 위한 개선사항 및 권장사항을 제안하는 활동이 이루어지는 단계이다. 이 단계에서는 대체로 과학자 공동체에서 연구에 대한 결과를 평가하고 그 결과에 따라 후속 연구가 계획되기도 하며 연구과정이 다시 반복되기도 한다.

3.2 공학적 문제해결

과학적 탐구가 자연 현상에 대한 질문을 풀기 위해 가설을 설정하고 이를 검증하기 위한 과정이라면 공학적 설계는 인간 사회(넓은 의미의 소비자)의 필요에 의해 시작되며 이를 해결하기 위한 구체적인 산출물을 제작하고 최적화하는 과정이다 [24]. 다시 말해 과학과 공학은 해결해야 할 문제의 본성(자연현상에 대한 의문인지 아니면, 필요를 채우기 위한 산출물의 제작인지)이 다르다. 따라서 공학적 문제 해결은 주어진 자원(예산, 인력)이 가지는 한계에서 문제를 해결할 수 있는 가장 최적화된 산출물을 만들어 내는 것이다[25]. 또한 공학적 문제 해결의 결과인 산출물이 반드시 물리적인 외

형을 가지고 있는 것은 아니다. 공학적 문제 해결과정은 소비자의 요구 중 어떤 문제를 해결 할 수 있는지 파악하고, 이미 만들어진 여러 가지 관련 자료를 비교·분석하여 주어진 자원 안에서 문제를 해결하는 과정으로, 그 핵심은 공학 설계(Engineering Design)라고 할 수 있다[2][25]. 학자들에 따라 공학 설계 과정을 다양한 용어(‘engineering design cycle’, ‘engineering design process’, ‘design research model’ 등)로 표현하기도 한다. <표 2>는 여러 연구에서 제시된 공학적 문제해결의 핵심 과정인 공학 설계 과정을 비교한 것이다.

각 연구에서 제시한 공학 설계 과정 간에는 약간의 차이가 있지만 대체로 4가지 핵심적인 단계가 있음을 알 수 있다. 첫 번째 단계는 공학문제를 정의하는 단계로 ‘공학 문제의 정의 및 제한된 조건 확인’[25], ‘문제상황조사’[26], ‘요구조사’[27], 또는 ‘(문제)분석’[28] 등으로 표현된다. 이 단계에서는 해결해야 할 문제에 포함되어 있는 성공 기준의 범위와 한계 또는 제약을 가능한 한 명확하게 정의함으로써 해결 할 수 있는 문제를 정의하고 해결책의 성공여부를 판단할 수 있는 평가의 명확한 기준을 설정하는 것을 목표로 한다.

두 번째 단계는 문제에 대한 배경 지식 및 해결책과 관련된 선행 연구단계이다. Hjalmarson과 Lesh(2008)의 두 번째 단계인 ‘개념탐색’[26]과 Moore 외(2014)가 제시한 첫 번째 단계 ‘문제 정의 및 배경 지식조사’ 중 배경조사[29] 부분이 이

에 해당한다고 할 수 있다. 공학적 문제 해결에서 배경지식과 선행연구의 단계는 이미 만들어진 해결책을 기반으로 더 나은 산출물을 만들도록 해 주기 때문에 사용될 자원을 줄이고 합리적인 선택을 하기 위해 꼭 필요한 단계이다.

세 번째 단계는 해결책을 디자인 하는 단계로 ‘공학 문제 해결을 위한 해결책 디자인’[25], ‘공학 설계의 계획 및 실행’[29], 문대영(2008)이 제시한 ‘설계’, ‘모델링’ 및 ‘시제품제작’[27], 그리고 이영준 외(2014)의 ‘설계’와 ‘제작’[28] 단계가 여기에 해당한다. 이 단계에서는 공학 문제를 해결하기 위해 실현 가능한 해결 방법을 찾아 설계하고, 다양한 방법 중 최선의 것이 무엇인지에 대해 설정한 기준에 의해 구체적으로 평가하는 것이다.

네 번째 단계는 여러 번의 검사와 개선 과정을 거쳐 최종 산출물을 만들어 내는 것으로 ‘해결책 최적화하기’[25], ‘산출물의 체계 구축 및 발전’[26], ‘공학 설계의 시험 및 평가’[29], ‘테스트와 피드백’[27], ‘평가’[28]로 표현된다. 이 단계에서는 시제품(prototype)을 설계하고 처음 단계에서 정의한 문제해결의 기준에 맞추어 시제품에 대한 여러 번의 평가와 재설계 과정을 거친다.

3.3 수학적 문제해결

수학에서의 문제해결이란 ‘해결 방법을 알고 있지 않은 문제 상황에서 수학의 지식과 기능을 활용

<표 2> Engineering design process

공학 설계 과정 모델	Engineering design (NGSS Lead States, 2013)	Engineering design research model (Hjalmarson & Lesh, 2008)	Engineering design (Moore 외, 2014)	Engineering design (문대영, 2008)	ADBA model (이영준 외, 2014)
공학문제 정의	1) 공학 문제를 정의 및 제한된 조건을 확인	1) 문제 상황 정의	1) 문제 정의 및 배경 지식 조사	1) 요구 조사	1) 분석
관련 연구		2) 개념 탐색			
해결책설계	2) 공학 문제 해결을 위한 해결책 디자인	3) 해결책 디자인	2) 공학 설계의 계획 및 실행	2) 설계 3) 모델링 4) 시제품제작	2) 설계 3) 제작
최적화	3) 해결책 최적화하기	4) 산출물의 체계 구축 및 발전	3) 공학 설계의 시험 및 평가	5) 테스트와 피드백	4) 평가

하여 해결 전략을 탐색하고 최적의 해결 방안을 선택하여 주어진 문제를 해결하는 것'을 말한다[30]. 또한, 넓은 의미로 하나 이상의 답을 구하고 좀 더 일반적인 해법을 찾기 위해 문제를 확장하거나 분해하는 것처럼 열린 방식으로 문제를 탐구하는 것을 말한다[31]. 이처럼 문제를 해결하는 것은 단편적인 지식만을 이용하는 것이 아니라 복합적인 사고 과정이 요구되고, 문제를 해결하는 과정은 하나의 절차가 아닌 여러 단계를 거치게 된다. 문제해결 과정에 관해서는 여러 학자들의 연구가 이루어졌으며 그 사이에서 유사점을 확인할 수 있었다. 문제해결 과정에 대한 대표적인 학자는 Polya(1971)이며, 그는 문제 해결단계를 문제이해, 계획 작성, 계획 실행, 반성의 4단계로 설명하였다[32]. Polya의 문제해결 과정은 수학뿐 아니라 다른 학문에서도 일반적인 문제해결과정으로 받아들여지고 있다. Schoenfeld(1985)는 문제해결단계를 분석, 계획, 탐구, 실행, 검증의 5단계로 나누어 설명하였다[33]. Schoenfeld의 문제해결 5단계 중 계획단계와 탐구단계는 Polya의 계획 작성 단계를 조금 더 세분화 하였다고 볼 수 있다. Burton(1985)은 문제해결 단계를 도입, 공략, 검토, 확장의 4단계로 설명하였다[34]. Burton의 문제해결 4단계는 Polya의 문제해결단계와 비교했을 때, 반성단계를 검토, 확장으로 세분화하였다고 볼 수 있다. <표 3>은 위의 관점을 비교하여 여러 학자들이 제시한 수학적 문제해결과정을 Polya의 연구를 중심으로 비교한 표이다.

<표 3> Mathematical problem solving process

문제해결 단계	Polya (1971)	Schoenfeld (1985)	Burton (1985)
문제 이해	1) 문제 이해 단계	1) 분석	1) 도입
계획 수립	2) 해결 계획 단계	2) 계획 3) 탐구	2) 공략
계획 실행	3) 계획 실행 단계	4) 실행	
검토	4) 반성 단계	5) 검증	3) 검토 4) 확장

Polya의 각 단계별 주요내용과 학자들의 이론을 비교하면 다음과 같다.

첫번째 단계는 문제이해단계이다. 이 단계에서는 문제에서 구하려는 것과 주어진 것을 파악하고, 용

어의 뜻을 이해하며, 문제를 분석하는 단계이다. Schoenfeld의 분석단계, Burton의 도입단계가 이에 해당된다.

두번째 단계는 해결계획단계이다. 해결계획단계에서는 문제에서 주어진 것과 구하려는 것 사이의 관계를 파악하며, 여러 가지 문제해결 전략을 이용한다. Schoenfeld가 제시한 계획단계는 문제에 대한 전반적인 해결과정을 제시하는 단계이며, 탐구 단계는 좀 더 전략적으로 문제를 해결할 수 있는 방안을 찾는 단계이다. 이 두 단계는 조금 더 큰 의미에서 본다면 문제를 해결하기 위한 계획단계로 볼 수 있다. 또한 Burton의 공략단계는 문제해결 방법을 찾는 과정을 포함하기 때문에 해결 계획단계로 분류할 수 있다.

세번째 단계는 계획 실행의 단계이다. 해결 계획 단계에서는 계획한 것을 직접 실행하면서 문제를 해결을 한다. Schoenfeld의 실행단계가 여기에 해당된다. Burton의 공략단계는 문제해결 방법을 찾는 과정뿐만 아니라 문제를 해결하기 위한 주된 사고 작용, 실제 문제풀이 과정까지 모두 포함한다. 따라서, Polya의 해결계획단계와 계획실행단계 모두를 포함한다고 할 수 있다.

마지막 단계는 반성 단계이다. 반성은 문제를 해결한 과정을 처음부터 검토해보고, 다른 해결방법을 알아보는 과정이다. 이 과정은 수학적 문제해결에서 가장 중요한 단계이다. 반성단계는 자신의 사고 과정을 대상으로 하는 인식활동이라는 점에서 메타인지적 사고라 할 수 있다. Schoenfeld의 검증단계, Burton의 검토단계가 반성단계에 해당된다. Burton이 제시한 확장 단계는 문제를 일반화하는 과정으로, 문제를 풀고 난 후에 문제에 대한 흥미 및 후속 학습을 강조한다고 볼 수 있다. 따라서, Polya의 반성단계와 같은 맥락으로 볼 수 있다.

3.4 SEM의 문제해결 과정 비교

지금까지 과학, 공학, 수학 각각의 학문에서 다루어지는 문제해결의 방법에 대해 알아보았다. 여기서는 먼저 과학, 수학, 공학의 세 학문 분야가 문제 해결 과정에서 어떤 공통점과 차이점을 가지며 이 세 학문 분야를 관통하는 공통적인 문제해결

방법에 대해 알아보자 한다.

문제해결이란 문제해결자가 주어진 상황에서 구체적인 해결 방법이 없을 때 목표상태에 도달하기 위한 인지적 처리(cognitive processing)를 말한다[35]. Mayer(1999)는 문제해결이 문제표상과 문제해결이라는 두 단계로 이루어진다고 보았는데 먼저 문제표상단계에서는 문제를 진술하고 문제에 대해 내적인 정신적 표상을 수립하며 이후, 문제해결 단계에서 문제를 해결하기 위한 계획을 고안하고 실행한다[35]. 다시 말해 문제를 인식하는 과정과 이에 대한 구체적인 해결책을 찾는 과정으로 구분할 수 있다. Polya(1971)는 문제 해결 과정을 좀 더 구체적으로 문제이해(Understanding a problem),

계획수립(Planning), 계획 실행(Carrying out the plan), 검토 및 반성 (Examination)의 4단계로 제시[32]하였으며, 이는 상대적으로 독립적인 기초학문이라고 할 수 있는 수학에서의 문제해결 과정이기 때문에 학문의 경계를 넘어 가장 전통적이고 일반적인 문제해결과정으로 인식되고 있다. 과학과 공학은 넓은 의미에서는 Polya의 문제해결과정에 모두 포함되지만 구체적으로 세분화 된 단계들을 가지고 있다. <표 4>는 과학, 공학, 수학에서 정리된 문제해결과정의 세부 과정을 표로 나타낸 것이다.

<표 4>에서 제시된 문제 해결 과정은 각각의 과정에서 학문의 특성상 고려해야 할 요소들이 있지

<표 4> Problem solving process in science, engineering and mathematics

Process	Science	Engineering	Mathematics (Polya, 1971)
Recognizing Questions	S1: Recognizing questions	E1: Defining the problem to be solved	M1.Understanding the problem
Identifying Questions	S2: Formulate and refine questions to set up a scientifically oriented hypothesis	E1.1: Ask questions to define the problem to be solved E1.2: Defining the problem	M1.1: we have to see what is required. M1.2: Look at the unknown. M1.3: The verbal statement of the problem must be understood
Designing Investigation	S3: Conducting the investigation (modified from So et al., 2017) S3.1: Identify variables S3.2: Describe the procedures	E2: Researching about the problem E2.1: Researching E2.2: Brainstorming	M2.Devising a plan M2.1: Try to think of a familiar problem having the same or a similar unknown. M2.2: Introduction and use of auxiliary elements M2.3: Consider about auxiliary problem
Conducting Investigation	S3.3: Data collection	E3: Creating and testing the solution E3.1: Design a solution E3.2: Identify the constraints and flaws	M3.Carrying out the plan M3.1: Carrying out the plan
	S3.4: Analyze the results	E3.3: Test the design solution based on the defined problem	M3.2: Check each step
Drawing Conclusion	S4: Draw conclusions	E4: Optimizing E4.1: Modify the model or design E4.2: Analyze and choose an optimal solution to solve the problem	
Evaluation and Generalization	S5: Evaluation S5.1: Presenting the result to be evaluated by scientist community S5.2: Suggest improvements and recommendations for further study		M4.Looking back M4.1: Check the problem solving process M4.2: Think about another method

만 넓은 범위에서 공통적인 문제 해결 과정이 존재한다는 것을 보여 준다. 공통된 문제해결과정은 (1) 문제인식(Recognizing problems), (2)문제정의(Defining problems), (3)탐구/해결책 설계(Designing Investigation), (4)탐구실행(Conducting investigation), (5)결론도출(Drawing conclusion), (6)평가와 일반화(Evaluation and Generalization)로 제시될 수 있다. [그림 4]에서는 <표 4>에 정리된 탐구과정을 SEM Practice로 나타내고 있다. 과학은 공학과 수학에서 강조되는 연구 문제에 대한 연구(research) 또는 브레인스토밍 과정이 구체적으로 다루어지지 않는다. 공학은 과학과 수학에서 결론 도출 후에 이루어지는 전체적인 과정에 대한 반성과 탐구의 순환 보다는 연구 실행 단계에서 최적화(optimizing)과정을 더 중요하게 다룬다. 과학에서는 특히 반성을 통한 탐구과정 전체의 순환보다는 결론 도출 후 이루어지는 과학자 사회에서의 평가와 과학지식으로서의 일반화 과정이 중요하게 다루어진다. 탐구의 각각의 과정이 반드시 어떤 순서를 따라야 하는 것은 아니며 <표 4>에서 제시된 각각의 과정은 상황에 따라 탐구의 시작이 될 수도 있고 탐구의 과정 중에 빠질 수도 있다[25].

4. 컴퓨팅사고(CT)는 문제해결과정인가? 도구인가?

4.1 CT의 정의

CT를 3Rs(읽기, 쓰기, 말하기)와 더불어 모든 학습자가 갖추어야 할 기본 역량으로 보아야 한다는 Wing(2006)의 의견 개진 이후, 미국 국가연구 위원회(NRC, National Research Council)는 CT가 보통의 사람들이 꼭 지녀야 할 인지기술이라고 하였다[2][5]. 21세기 인재가 갖추어야 할 핵심 역량을 규정한 P21(2009)과 ATC21S(2012)에서도 CT를 미래 핵심역량의 하나로 발표하였다[36][37]. 이에 맞춰 ISTE(International Society for Technology in Education)와 CSTA(Computer Science Teachers Association)에서는 K-12를 위한 CT의 조작적 정의요소로 ‘자료수집(Data Collection)’, ‘자료분석(Data Analysis)’, ‘자료표

현(Data Representation)’, ‘문제분해(Problem Decomposition)’, ‘추상화(Abstraction)’, ‘알고리즘 및 절차(Algorithms & Procedures)’, ‘자동화(Automation)’, ‘시뮬레이션(Simulation)’, ‘병렬화(Parallelization)’의 9가지 요소를 제시하였다[38].

CT의 정의와 구성요소에 대해서는 학자들마다 의견이 분분하다. Wing(2006)은 CT의 핵심요소로 추상화(abstraction)와 자동화(automation)를 제시하고 있다[5]. 추상화는 실제 문제를 해결 가능한 형태로 표현하기 위한 사고 과정으로, 수집된 자료를 활용하여 문제의 복잡성을 효과적으로 해소한 뒤에 적절한 해결의 모델을 설계하는 과정이라 할 수 있으며, 자동화는 컴퓨터가 이해할 수 있는 언어로 표현하여 반복 작업이나 시뮬레이션을 실시하는 과정을 의미한다[28]. Lockwood와 Mooney(2017)는 CT가 일반적으로 분해(decomposition), 추상화, 알고리즘적 사고 및 패턴 맞추기(algorithmic thinking and pattern matching)등을 포함하며 이러한 요소에 대한 이해는 다른 학문에도 도움이 된다고 하였다[7]. Burgett 외(2015)는 알고리즘적 문제해결(algorithmic problem solving)과 추상화, 그리고 모델링과 시뮬레이션 능력(modeling and simulation)이 CT의 주요 요소라 하였다[39]. Henderson(2009)은 CT는 우리의 일상 및 다른 학문 분야에 쉽게 통합할 수 있는 ‘컴퓨터적 개념’이라고 정의 하면서 우리가 일상생활에서 어떤 문제를 해결하기 위해 패턴을 찾고 그것에 따라 문제를 해결하는 것처럼(어떤 순서에 따라 기계를 조작하거나 길을 찾는 등) 우리가 가지고 있는 창조를 위한 본능적 능력, 논리적 사고와 컴퓨터적인 규칙성에 대한 이해를 CT라고 부연 한 바 있다[40]. 여러 학자와 기관에서 정의한 컴퓨팅 사고력에 관한 구성요소를 비교한 표는 <표 5>와 같다.

4.2 문제해결의 과정으로써 CT

Wing(2006)은 CT를 단순히 컴퓨터를 이용하는 능력, 즉 소프트웨어 활용이나 프로그래밍 능력을 넘어서 컴퓨터 관련 학문 뿐 아니라 다른 학문 분야에 적용될 수 있는 문제해결의 방식에 대한 태도와 일련의 기술이라고 정의한 바 있다[5]. 또한, 유

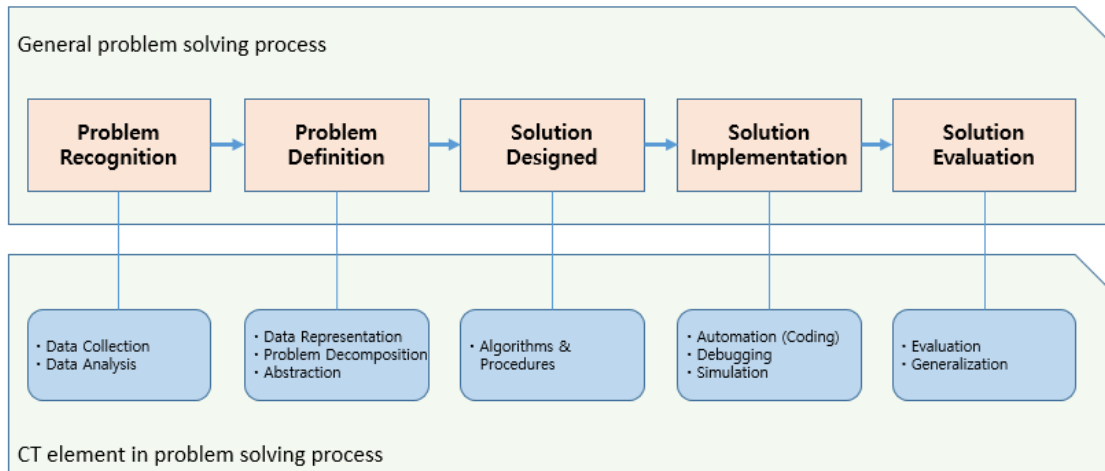
<표 5> Computational Thinking Concepts

CT의 구성요소	Wing (2006)	CSTA & ISTE (2011)	code.org	Barr & Stephenson (2011)	Purdu Univ.	최속영 (2016)
자료 수집	Abstraction	Data Collection		Data Collection		Data Collection
자료 분석		Data Analysis		Data Analysis		Data Analysis
자료 표현		Data Representation		Data Representation & Analysis		Data Representation
문제 분해		Problem Decomposition	Decompose	Problem Decomposition		Problem Decomposition
추상화		Abstraction	Abstraction	Abstraction	Abstraction	Abstraction
알고리즘과 절차		Algorithm & Procedures	Algorithms	Algorithms & Procedures	Algorithm	Algorithms & Procedures
자동화	Automation	Automation		Automation		Automation
시뮬레이션		Simulation		Simulation		Simulation
병렬화		Parallelization		Parallelization		
패턴화			Patterns			
디버깅				Testing & verification	Debugging	Debugging
평가 및 일반화			Control Structures	Logical thinking	Evaluation & Generalization	

중현과 김종혜(2008)는 CT를 여러 가지 사고 및 추론의 형태를 바탕으로 하는 하나의 사고과정이자 컴퓨터 과학의 개념이 포함되어 있는 복합적인 개념이라고 정의하면서 수학적 사고방식에 기인하고 있지만 공학적 사고처럼 일상생활과 긴밀히 상호작용한다고 밝힌바 있다[6][41]. 즉, CT는 컴퓨터에 국한하지 않고 어떠한 문제를 해결하기 위한 사고 과정의 총체를 의미하며[41][42], 정보나 컴퓨터 교과목에서 컴퓨터의 기능을 익히고 능숙도 향상을 목표로하던 것과 달리 일상적인 문제를 컴퓨터를 이용하여 해결하는 것으로 내용과 범위가 확대되고 있다[43]. Bundy(2007)는 CT개념이 문제 해결 과정을 통해 다른 전공의 교육에서도 사용되어 왔으며 컴퓨터적으로 사고하는 능력은 모든 분야에서 기본적으로 필요하며, 특히 물리, 생물, 의학, 철학, 건축, 교육 등 다양한 분야에 영향을 주고 있음을 밝혔다[44].

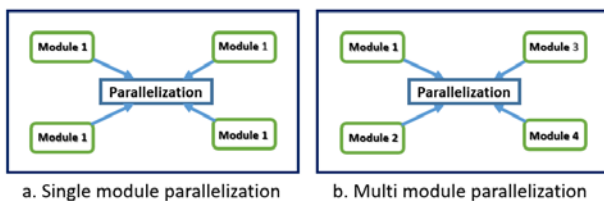
그러나 현재까지 진행된 다양한 사례연구나 교육 과정을 살펴보면, 문제해결을 위해 CT의 사고적 측면(Thinking)이 강조되기보다는 코딩(Coding)이나 피지컬 컴퓨팅(Physical Computing) 등의 문제해결을 위한 도구적 측면(Computing)이 강조되었음을 알 수 있다[3][43]. 이는 전통적 관점의 CT인 컴퓨터 과학적 활용에만 국한된 협의의 개념으로만 사용되었다는 것이다. Selby 외(2014)는 CT

를 프로그래밍이라는 협소한 측면으로만 접근하는 것에 대한 문제점을 제시하고 CT를 프로그래밍을 통한 결과물 산출에 초점을 맞추기보다는 문제 해결을 위한 사고 과정(thought process)으로 보아야 한다고 하였다[4][45]. 문제해결의 측면에서 CT 사고에 대한 개념적 고찰을 시도한 유중현과 김종혜(2008)의 연구에서는 문제 해결 과정의 프로세스로 Deek 외(1999)의 연구에서 제시된 ‘문제 분석’, ‘문제 해결방법 탐색’, ‘해결방법 설계’, ‘해결 및 구현’, ‘평가’의 5단계를 제시하면서 ‘알고리즘적 사고(Algorithmic thinking)’, ‘재귀적 사고(Recursive thinking)’, ‘비판적 사고(Critical thinking)’, ‘논리적 사고(Logical thinking)’의 4가지 사고를 CT의 하부적 사고로 제시한 바 있다[41][46]. 따라서, 일반적인 문제해결의 과정에서 CT를 적용하는 것은 CT의 도구적 측면이 강조된 협의적 사용에만 그치는 것이 아니라 컴퓨터 기반의 문제해결과정을 이해하고 이를 바탕으로 다양한 분야에 적용할 수 있는 CT기반의 문제해결력과 사고의 영역을 높일 수 있다[4]. 다시 말해 CT는 컴퓨터를 도구로 사용하는 기술적 측면보다는 문제를 해결하는 과정이며 각 과정에서 필요한 역량이라 할 수 있다. 최속영(2016)은 일반적인 문제해결 과정단계를 ‘문제인식’, ‘문제정의’, ‘해결책 고안’, ‘문제해결의 실천’, ‘문제해결의 평가’의 5단계로



[그림 1] CT element in general problem solving process (최속영, 2016)

나타낸 바 있다. 아울러 CT를 이용한 문제해결을 진행함에 있어 각 단계에서 고려될 수 있는 CT 구성요소를 [그림 1]로 제시하였다[4]. 이 연구에서는 CT요소를 ISTE & CSTA(2011)에서 제시한 9가지 요소 중에서 병렬화를 제외하고 디버깅을 포함시켰다[4][38]. 병렬화는 [그림 2]의 b와 같이 여러 가지의 문제를 동시에 해결하기 위한 것이므로 최속영(2016)의 연구에서처럼 한 가지의 문제를 해결하는 관점에서는 의미가 없다고 생각할 수도 있으나, [그림 2]의 a와 같이 동일 모듈의 병렬처리를 통해 문제를 빠르게 해결할 수 있어 한 가지 문제해결에서도 적용이 가능한 개념이라 할 수 있다. [그림 2]는 이 두 가지 관점을 그림으로 나타낸 것이다.

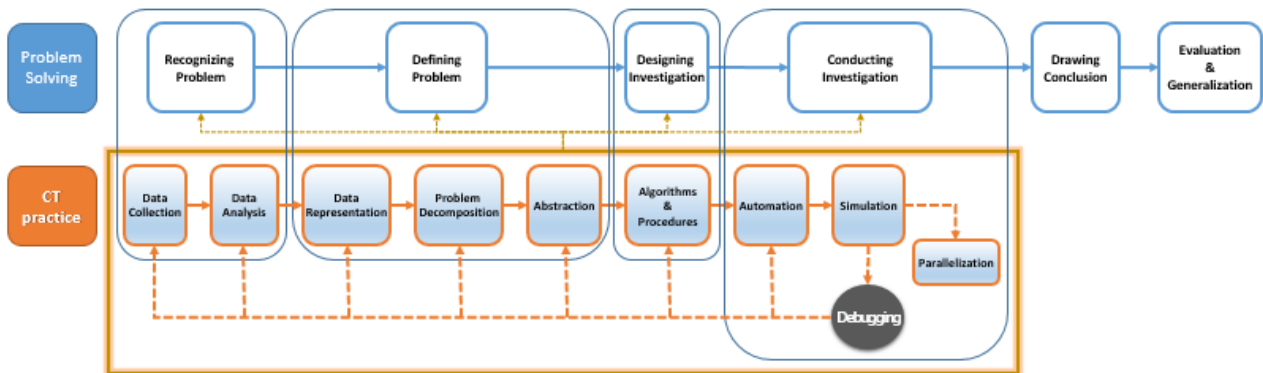


[그림 2] Two types of Parallelization

디버깅은 본질적으로 코딩을 진행할 때 발생한 오류를 수정하는 과정으로, 협의의 개념의 디버깅은 자동화 과정에서 나타나는 오류의 수정 및 전체 프로그램을 실행할 때 발생하는 의도치 않은 버그에 대처하는 과정이라 할 수 있다. 하지만, 문제해결의 측면에서 디버깅은 넓은 의미에서 수학의 반성적 사고처럼 문제해결의 전체 과정이 과연 옳았는지, 문제의 선정방향이 제대로인지, 문제가 제대로 해결되었는지 등 사고적 측면에서 전체를 재검

토하고 수정하는 과정이라 할 수 있다. 유중현과 김종혜(2008)가 제시한 CT의 하부적 사고들 중 비판적 사고와 논리적 사고, 재귀적 사고[41]를 적용하여 전체적으로 피드백하는 과정이 디버깅이라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 문제해결 과정으로서의 CT를 ISTE & CSTA(2011)에서 제시한 9개 요소에 '디버깅' 요소를 추가한 실행과정을 CT practice로 정의하였다. 데이터 수집부터 병렬화까지의 순차적 흐름은 ISTE & CSTA(2011)의 과정을 따르되, 시뮬레이션 과정 이후 발생한 피드백과 디버깅을 통해 모든 요소를 다시 수정할 수 있다.

[그림 3]은 앞에서 제시한 요소들을 결합하여 만든 문제해결의 과정과 CT practice의 관계를 제시한 그림이다. 실선 화살표로 제시된 부분은 필연적으로 발생하는 문제해결의 흐름을 제시하였고, 점선 화살표는 옵션(필요에 따라 실행 가능)에 해당한다. 문제해결 과정의 각 요소와 CT 요소가 묶인 얇은 실선 묶음은 최속영(2016)의 [그림 1]을 활용하되, 일반적인 문제해결의 단계를 SEM practice에서 제시된 6단계로 바꾸어 나타내었으며, 사각형 박스는 CT practice 전체를 의미한다. 사각형 박스에서 뻗어나가 문제해결 과정의 각 요소에 닿은 점선 화살표는 CT practice 전체가 하나의 문제해결 요소의 과정을 위한 모듈로 작동하여 도구로 사용될 수 있음을 나타내었다. 예를 들어, 문제인식의 단계는 CT practice 중 자료수집과 자료분석의 과정에 해당될 수 있는데, 자료수집과 자료분석을 위한 문제해결 과정을 CT practice 전체 과정을 수행하여 설계할 수도 있음을 보여준다.



[그림 3] Problem Solving and CT Practice

5. SEM 문제 해결과 CT

여기서는 지금까지 알아본 과학(S), 공학(E), 수학(M), 그리고 컴퓨팅사고(CT)에서의 문제해결과정을 비교하고 각각의 학문적 본성을 문제해결 측면에서 기술하고자 한다. [그림 4]는 SEM에서 탐구 활동(SEM practice)와 CT에서의 탐구 활동(CT practice)를 비교하고 있다.

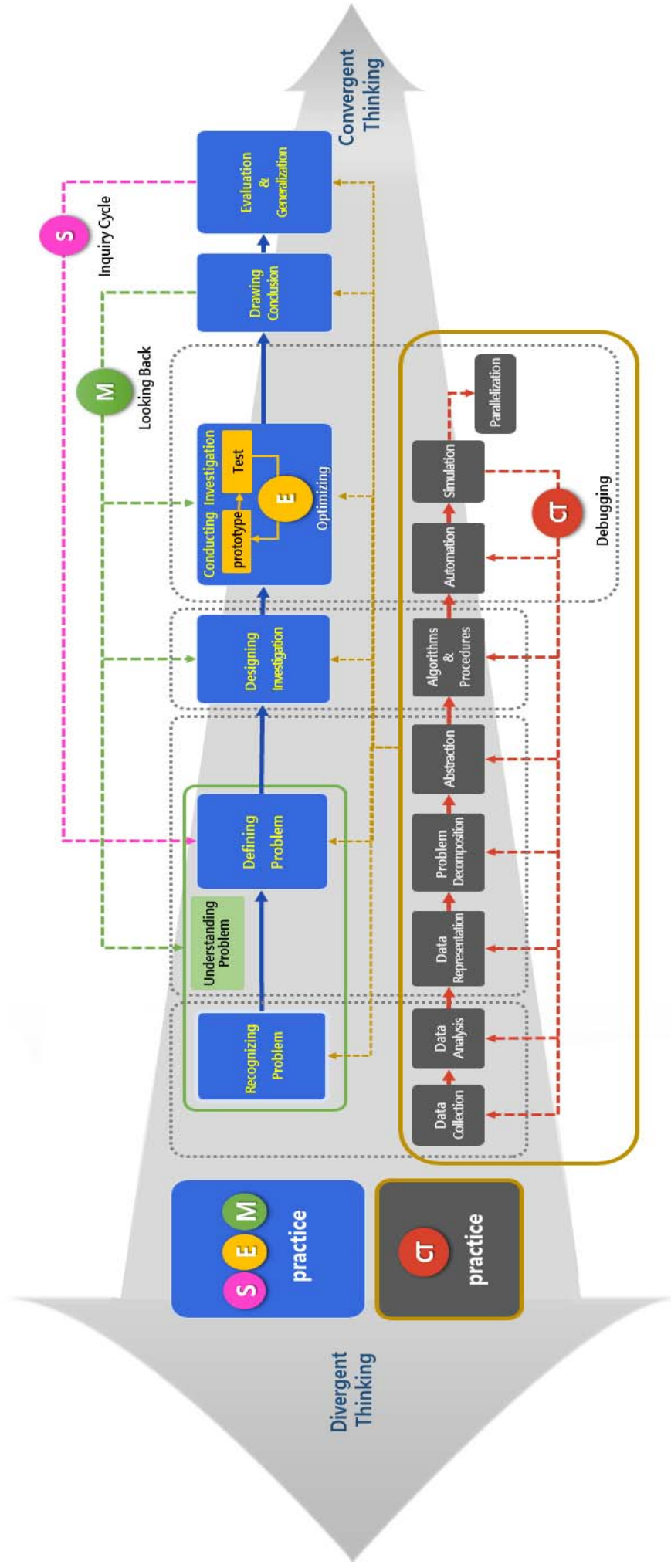
SEM과 CT 모두 문제 해결의 과정은 답이 정해지지 않은 문제에서 출발하여 구체적인 해결책을 찾아 간다는 점에서 공통적이다. 이러한 공통점은 발산적 사고와 수렴적 사고의 개념을 통해 이해할 수 있다. Guilford(1967)는 창의적 문제해결을 발산적 사고(divergent thinking)와 수렴적 사고(convergent thinking)의 두 측면에서 정의[47]하였으며 이후 많은 연구자들에 의해 구체화되었다 [48][49]. 발산적 사고는 독창적인 아이디어를 생성해내는 것과 관련된 인지 과정으로, 흔히 수렴적 사고와 반대되는 개념으로 정의된다[50]. 발산적 사고는 다양한 대안을 생성하고[51], 가설을 생성하고, 이에 대한 신뢰성 있는 평가와 관련이 있으며 [50]. 문제발견 능력과 높은 상관관계를 보인다 [52].

수렴적 사고는 과학탐구 활동의 수행과정에서 도출되는 다양한 정보들을 통합하고 조직화 하는 과정에서 하나의 통합된 구조를 이루어내는 과정이다. 따라서 발산적 사고에서 생성된 여러 아이디어와 대안, 또는 가능성들을 분석하고, 평가하여 가장 유망하다고 판단되는 것을 선택하는 것을 의미한다[53]. 수렴적 사고는 문제나 쟁점에 대한 올바

른 해결책에 도달하는데 초점을 두는 비판적(critical), 판단적(judicial) 사고를 포함하므로[54] 적절하고 정교한 해결책을 생성하기 위해서는 필수적이다. 따라서 문제해결 과정의 시작 단계에서는 발산적 사고가 필수적이지만, 이후에는 발산적-수렴적 사고가 함께 증가하여, 가설을 결정할 때는 수렴적 사고가 필수적이게 된다[55].

[그림 4]에서 제시된 것처럼 SEM에서 공통적으로 다루어지는 문제해결과정과 CT의 문제해결과정은 문제의 인식, 문제의 정의, 탐구(해결책)의 설계와 실행 면에서 아주 비슷하다고 할 수 있다. 하지만 각각의 학문이 가지는 특성에 의해 각각의 과정에서 중요하게 다루어지는 점을 해석할 수 있어야 한다.

과학이 자연 현상에 대한 의문에서 출발하여 이에 대한 임시적 답으로 가설을 설정하고 검증하여 가설 진위여부를 가리는 과정이라면 공학은 누군가에 의해 주어진 문제(인류의 요구)에 대한 해결책을 설계하고 평가하여 최선의 해결책을 찾아내는 과정이라 할 수 있다. 또한, 과학 탐구과정의 핵심이 가설을 뒷받침할 충분한 증거를 수집하는 과정이라면 공학적 문제해결은 설정된 문제가 제시한 기준에 가장 부합하는 산출물을 가장 적은 자원을 이용해서 만들어 내는 과정이다. 따라서 과학에서의 가설은 그것을 뒷받침하는 과학적 증거 유무에 의해 채택되거나 기각된다. 하지만 공학적 문제에 대한 해결책은 더 좋은 해결책이 나올 때까지 기각되지 않으며, 해결책이 얼마나 문제(소비자의 요구)에서 제시된 기준에 부합하는가에 따라 채택되거나 기각된다.



[그림 4] The relationship between problem solving in SEM and CT

공학은 문제를 해결하는 사고적 측면을 강조하기 때문에 새로운 도구의 개발과 이용능력을 강조하는 기술과 본질적으로 다르다. 오히려 공학은 문제를 정의하고, 논리적인 사고과정을 통해 주어진 문제에 대한 답을 얻는 문제해결 과정이라는 측면에서는 과학적 탐구와 더 비슷하다. 하지만 자연세계에 대한 궁금증에서 시작하는 과학과는 달리 인간의 삶을 보다 향상시키기 위한 유용한 제품, 과정, 시스템을 만드는 과정이라는 점에서 과학과는 본질적으로 그 목적이 다르다[56].

과학은 문제해결의 시작이 자연에 대한 호기심이지만, 수학은 이미 주어진 문제 상황에서 해결방법을 찾는 점에서 다르다고 할 수 있다. 과학에서 문제해결의 마지막 단계가 일반화라면 수학은 최적의 해결책을 찾았는지 검토 반성하는 단계이다. 즉, 과학에서의 문제해결은 자연현상과 실세계에 대한 이해, 일반화가 중심이라면, 수학은 주어진 문제를 최적의 방법으로 해결하는 것이 중심이다. 이러한 점에서는 수학적 문제해결이 공학설계(인간사회의 필요에 의해 시작되며 이를 해결하기 위한 구체적인 산출물을 제작하고 최적화하는 과정)와 좀 더 유사하다. 특히, 수학적 모델링은 공학적 문제해결 측면에서 더 잘 이해된다[25].

수학적 모델링은 실세계의 여러 현상을 수학적인 수단에 의해 정리하고 조직하는 활동으로, 문제를 해결하기 위해 여러 가지 수학적 표현으로 변환하면서 현상에 내재된 수학적 개념을 파악하고 문제를 해결하여 실세계의 문제 상황에 적용할 수 있도록 조직하는 활동과정이다[57].

이러한 점에서 수학적 모델링은 문제해결의 특징을 지니지만, 비수학적 문제 상황에서 출발하는 것을 기본으로 한다는 점에서 문제해결과 차별화되며 공학적 설계와 관련이 깊다[58]고 할 수 있다.

지금까지 CT는 SEM 문제 해결을 위한 각각의 단계에서 대부분 도구적으로 사용되었다. 하지만 문제를 해결하기 위해 다양한 변수를 다루고 그들의 관계를 여러 가지 방법으로 나타내고, 자료를 통계적이고 논리적으로 분석한다는 점에서 수학적 사고와 유사하다. 또한 주어진 문제에 대한 잠정적인 답을 가지고 문제 해결 과정을 창의적으로 구상하고 그 결과를 논리적으로 설명, 예상한다는 측면에서는 과학과 유사하다. 무엇보다 CT에서는 문제

에 대한 답이 무엇인지 중요한 것이 아니라 그 답을 찾기 위해 다양한 방향에서 여러 방법들을 적용해보고, 가장 효율적인 답을 찾아낸다는 점, 그리고 문제에 대한 답이 나오는 방법을 찾아 다른 유사한 문제에 적용하여 또 해결하는 과정을 강조하는[59] 점에서 공학적 설계와 가장 유사하다고 할 수 있다.

SEM에서의 문제 해결과 CT에서의 문제해결의 차이점은 일련의 공통과정만으로 표현할 수 있는 SEM에서의 문제 해결에 비해 CT는 일련의 공통과정뿐 아니라 각각의 세부과정이 CT 전체 과정을 다시 포함하고 있다는 점에서 다르다(그림 3 참조). Weintrop 외(2016)가 제시한 것처럼 CT 각각의 세부과정들은 SEM 문제해결의 각 단계에서 유연하게 중복되어져서 사용된다[3]. 예를 들어 CT의 세부 과정 중 자료수집과 자료분석은 과학과 수학의 문제해결 초기 단계에 문제를 인식하는 과정에서 중요하게 사용되지만, 자료의 표현과 문제 분해, 그리고 추상화와 함께 문제를 구체적으로 정의하는 과정에서도 중요한 CT 활동으로 사용되고 있다. 마치 프렉탈 구조처럼 CT 각각의 과정을 포함하는 CT 문제해결과정은 SEM의 문제해결 과정에서 유연하고 긴밀하게 융합되어진다. Weintrop 외(2016)는 이러한 과학과 수학에서 CT를 활용한 융합적 문제해결활동을 CT practice라고 넓게 정의하고 있다[3].

6. 결론 및 제언

6.1 결론

지금까지 과학(S), 공학(E), 수학(M)의 문제해결 과정을 비교 분석하고 SEM에서의 문제해결과 CT의 문제해결적 본성사이의 관련성을 알아보았다. 서론에서 제시한 연구문제 각각에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 과학(S), 공학(E), 수학(M)의 문제해결과정은 어떤 공통점과 차이점을 가지는가? 과학(S), 공학(E), 수학(M)의 문제해결과정은 문제인식, 문제정의, 탐구(해결책) 설계, 탐구(해결책) 실행, 결론도출, 그리고 평가와 일반화로 구분되는 공통적인 과정으로 이해할 수 있었다. 수학의 경우 탐구의 실

행이 끝나면 문제의 인식과 정의부터 다시 전체과정을 돌아보는 반성적 사고를 강조하며, 이와 비슷하게 과학의 경우도 결론도출이 끝나면 가설의 검증과정과 연관된 새로운 가설의 도출을 위한 반성적 사고과정을 거치게 되는데 과학에서는 이를 탐구의 순환이라고 표현한다. 공학의 경우 탐구의 실행단계가 이러한 반성적 과정, 즉 시제품의 평가와 최적화과정을 거치게 된다는 점에서 과학, 수학적 문제해결과 차별화된다.

둘째, 컴퓨팅사고(CT)를 문제해결의 과정으로 이해할 수 있는가? 지금까지 CT는 SEM 각각의 문제해결과정에서 도구적(T)으로 이해되어 왔다. CT를 문제해결의 과정으로 표현하기 위해 노력한 연구들이 있지만, 이러한 연구들은 CT의 각 요소들을 일반적인 문제해결과정의 하위 요소로만 제시하는데 그쳤다. CT를 왜 문제해결로 이해해야 하는지에 대한 질문은 CT가 기술적 도구(T)인가 아니면 문제 해결적 사고를 강조하는 공학(E)인가에 대한 질문과 같다. CT에서 사고적 측면을 강조했던 Wing (2006; 2008)은 CT가 수학과 가장 가까운 활동[5][6]이라고 생각했고 CT를 통해 수학과 공학적 설계를 보완하고 연결하고자 했다. 과학과 공학에서 문제 해결의 목적이 다른 근본적인 이유는 과학은 문제에 대한 답을 예상하고 시작하지만 공학은 주어진 문제, 즉 소비자가 요구하는 답을 알고 그것에 도달하는 최선의 방법을 간구한다는 점이다. CT도 공학처럼 이미 도달해야하는 목표를 알고 시작한다. 그 목표에 도달할 수 있는 여러 가지 방법 중에 최선의 것을 찾아내는 것이 CT의 목적이다. 찾아낸 한 가지 방법에 대해 그것이 최선인지 반성하는 수학적처럼 공학과 CT도 그 과정을 통해 최선의 것을 찾아내는 것이 중요하다. 하지만 CT 각각의 요소들은 마치 프렉탈 구조와 같이 다시 CT 각각의 문제해결 활동(CT practice)들에 유연하게 포함 된다는 점에서 도구적 측면과 문제해결과정으로써의 측면을 함께 가지고 있다.

셋째, SEM(과학, 공학, 수학)의 문제해결과정에서 컴퓨팅사고(CT)의 관련성은 무엇인가? SEM에서 다루어지는 문제해결 방법과 CT의 문제해결 방법은 매우 비슷한 점이 많다. SEM에서 반성적 사고가 강조되는 부분이 CT에서는 전체 프로그램을 최적화하는 디버깅과정으로 표현된다. 하지만 이러

한 반성적 사고과정이 반드시 디버깅(프로그램이 수정)에만 한정되어 있지는 않다. CT는 공학적 문제해결방법과도 매우 비슷하며 문제를 해결하기 전에 그 도달점을 알고 있다는 점에서 수학과도 비슷하다.

6.2 제언

오늘날 우리의 일상은 급속한 과학기술의 혁신과 정보화로 인해 수많은 문제에 직면하고, 이 문제를 해결하며 살아간다. 이는 보다 다양한 맥락에서 문제해결 능력이 요구되고 있음을 의미하며 사회전반에 걸쳐 문제해결을 위한 융합적 문제해결 역량이 더욱 중요시되고 있다[1]. 본 연구에서 살펴본 바와 같이 수학, 공학, CT는 본질적으로 도착점을 알고 방법을 모색한다는 점에서 과학적 문제해결과는 차이점이 있다. 여러 학문 분야가 융합된 문제에 직면하게 될 미래 사회에 적합한 인재를 양성하기 위해서는 여러 학문 분야를 효율적으로 융합한 융합교육의 방향이 구체적으로 제시되어야 한다.

미국을 비롯한 유럽 선진국에서는 이미 국가 과학교육과정에서 공학을 과학과 융합된 하나의 학문 분야로 소개하고 체계적인 과학·공학 융합교육을 시도하고 있다[24]. 미국은 과학교육과정 (NGSS)에 공학융합교육의 범위를 구체적으로 ‘공학 설계 (Engineering Design)’에 대한 이해로 한정하고 과학교육을 위해 공학 설계 활동을 도입하는 것을 주요 방안으로 채택하고 있으며, 9가지 과학·공학적 실천 중 한가지로 수학적 사고와 CT를 제시함으로써 과학교육에서 CT의 중요성을 강조하였다. 이는 국가차원에서 STEM교육의 주요 핵심 학문으로 ‘공학(E)’과 ‘컴퓨팅사고(CT)’에 대한 중요성을 강조하고 있음을 보여준다. 하지만 2017년부터 시행되는 우리나라 국가 과학 교육과정에서는 아직 과학·공학 융합 교육에 대한 정확한 방향이 제시되지 않고 있으며 구체적으로 CT를 과학이나 수학과 같은 기초학문에 어떻게 적용하여 가르칠지에 대한 기준이 없다. 이동영과 남윤경(2018)에 의하면 우리나라에서 개발된 STEAM 프로그램 76개에 대한 분석결과 공학적 문제해결이 정확하게 적용된 사례는 28%에 불과했다[60].

최근 CT에 대한 국가적 관심이 2015개정 교육

과정에서 초·중학교의 소프트웨어 교육을 필수화하는 것으로 나타났다. 하지만 대부분의 선진국에서 다루어지는 CT교육과는 거리감이 있어 보인다. 상황과 맥락을 중요시하는 공학교육처럼 CT 교육도 단순한 프로그래밍 교육에서 벗어나 실제 상황에서의 문제해결로 나아가야 한다. 영국, 이스라엘, 미국, 일본, 독일 등 거의 대부분의 선진국에서는 이미 많은 종류의 CT 교육을 위한 프로그램과 모듈이 개발되었으며 과학 또는 수학 교사가 정보과학, SW 교육을 함께 적용하여 학생들의 융합적 문제해결력을 기르는데 주력하고 있다[7]. 이러한 프로그램들은 과학을 바탕으로 CT를 접목해서 가르침으로써 융합적 사고력을 키울수 있음을 보여주었다[61][62]. 이와 같이 우리나라도 초중등 교육에서 CT를 SEM과목에 구체적으로 접목할 수 있는 방향이 제시되어야 한다. 본 연구는 과학, 수학, 그리고 공학적 문제 해결의 본질을 파악하고 CT의 사고적 측면을 강조하여 SEM과 CT의 효율적 융합을 위한 방향을 제시하였다는데 그 의미가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 교육부 (2015a). **과학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책9]. 서울 : 교육부.
- [2] National Research Council(NRC). (2010). *Standards for K-12 engineering education?*. National Academies Press.
- [3] Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127-147.
- [4] 최숙영 (2016). 문제해결의 관점에서 컴퓨팅 사고력 증진을 위한 교수학습에 대한 연구. **컴퓨터교육학회논문지**, 19(1), 53-62.
- [5] Wing, J. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- [6] Wing, J. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical transactions of the royal society of London A: mathematical, physical and engineering sciences*, 366(1881), 3717-3725.
- [7] Lockwood, J., & Mooney, A. (2017). *Computational thinking in education: Where does it fit? A systematic literary review*. arXiv preprint arXiv:1703.07659. Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/856e/edbf3ad4902e86ba94ab8dd124e6a1495889.pdf>
- [8] 정웅열·이영준 (2018). SW·수학·과학 융합형 교수·학습 자료에 나타난 교육과정 성취기준 내용 분석. **컴퓨터교육학회논문지**, 21(5), 11-23.
- [9] National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry in the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- [10] Chinn, C., & Malhotra, B. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- [11] Bybee, R., Carlson-Powell, J., & Trowbridge, L. (2008). *Teaching secondary school science: Strategies for developing scientific literacy*. Columbus: Pearson/Merrill/Prentice Hall.
- [12] Wang, L., Zhang, R., Clarke, D., & Wang, W. (2014). Enactment of scientific inquiry: Observation of two cases at different grade levels in China Mainland. *Journal of Science Education and Technology*, 23(2), 280-297.
- [13] Lunetta, V., Hofstein, A., & Clough, M. (2007). *Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice*. Handbook of Research on Science Education, 2.
- [14] So, W. W. M., Zhan, Y., Chow, S. C. F., & Leung, C. F. (2017). Analysis of STEM activities in primary students' science

- projects in an informal learning environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-12
- [15] Chin, C., & Brown, D. (2002). Student-generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- [16] Schwab, J. (1966). *The teaching of science as inquiry*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [17] 김영민 · 서혜애 · 박종석 (2013). 잘 알려진 창의적 과학자들의 과학적 문제 발견 패턴 분석. *한국과학교육학회지*, 33(7), 1285-1299.
- [18] Hoover, S. & Feldhusen, J. (1990). The scientific hypothesis formulation th-grade students. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 838-848.
- [19] 전윤식 · 김정섭 · 윤경미 (2003). 창의성 교육의 새로운 접근 : 문제 찾기. *교육학연구*, 41(3), 215-238.
- [20] 조희형 · 김희경 · 윤희숙 · 이기영 (2009). *과학 교육의 이론과 실제*. 서울: 교육과학사.
- [21] 조현국 (2018). 2015 개정 교육과정에서 나타나는 과학적 탐구 요소 분석 : 과학탐구실험을 중심으로. *교과교육학연구*, 22(3), 208-218.
- [22] 한효순 · 최병순 · 강순민 · 박종윤 (2002). '생각하는 과학' 프로그램의 변인활동이 초등학생의 변인통제 능력에 미치는 효과. *한국과학교육학회지*, 22(3), 571-585.
- [23] Dewey, J. (1938). *Democracy and education*. New York: Macmillan.
- [24] Nam, Y., Lee, S. J., & Paik, S. H. (2016). The impact of engineering integrated science (EIS) curricula on first-year technical high school students' attitudes toward science and perceptions of engineering. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1881-1907.
- [25] NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press.
- [26] Hjalmarson, M., & Lesh, R. (2008). Engineering and design research: Intersections for education research and design. In Handbook of design research methods in education: *Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching*. (pp. 114-128). Routledge.
- [27] 문대영 (2008). STEM 통합 접근의 사전 공학 교육 프로그램 모형 개발. *공학교육연구*, 11(2), 90-101.
- [28] 이영준 · 백성혜 · 신재홍 · 유현창 · 정인기 · 안상진 · 최정원 · 전성균 (2014). 초중등 단계 **Computational Thinking** 도입을 위한 기초 연구[BD14060010]. 한국과학창의재단.
- [29] Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., Stohlmann, M. S. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), 1-13.
- [30] 교육부 (2015b). **수학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 8]. 서울 : 교육부.
- [31] 김성준 (2002). 학교 대수 도입과 관련된 논의. *학교수학*, 4(1), 29-47
- [32] Polya, G. (1971). *How to solve it: a new aspect of mathematical method (2nd ed.)*. Princeton, N.J. : Princeton University Press, c1957.
- [33] Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. New York: Academic Press
- [34] Burton, D. (1985). *The History of mathematics : An introduction*. Boston: Allyn and Bacon.
- [35] Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 611-623.
- [36] Partnership for 21st Century Skills(P21). (2009). *P21 framework definitions*. Retrieved December 1, 2014, from

- <http://www.p21.org>
- [37] ATC21S (2012). *Defining twenty-first century skills*. Retrieved December 1, 2014, from <http://www.atc21s.org>
- [38] ISTE & CSTA (2011). *Operational definition of computational thinking for K-12 education*.
- [39] Burgett, T., Folk, R., Fulton, J., Peel, A., Pontelli, E., & Szczepanski, V. (2015). *DISSECT: Analysis of pedagogical techniques to integrate computational thinking into K-12 curricula*. In Frontiers in Education Conference (FIE), 2015. 32614 2015. IEEE (pp. 1-9). IEEE.
- [40] Henderson, P. B. (2009) Ubiquitous computational thinking, *Computer*, (2009 October), 100-102.
- [41] 유중현 · 김종혜 (2008). 문제 해결과정에서의 정보과학적 사고 능력에 대한 개념적 고찰. *정보창의교육논문지*, 2(2), 15-24.
- [42] 박성빈 · 안성진 (2016). 컴퓨팅 사고력의 역량 탐색 연구 : 소프트웨어개발자를 중심으로. *컴퓨터교육학회논문지*, 19(5), 41-53.
- [43] Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: what is involved and what is the role of the computer science education community?. *Acm Inroads*, 2(1), 48-54.
- [44] Bundy, A. (2007). Computational thinking is pervasive. *Journal of Scientific and Practical Computing*, 1(2), 67-69.
- [45] Selby, C., Dorling, M., & Woollard, J. (2014). Evidence of assessing computational thinking. *Brookes e Journal of Learning and Teaching*, 1-12.
- [46] Deek, F. P., Hiltz, S. R., Kimmel, H. & Router, N. (1999). Cognitive Assessment of Students' Problem Solving and Program Development Skills. *Journal of Engineering Education*, 88(3), 317-326.
- [47] Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *The Journal of Creative Behavior*, 1(1), 3-14.
- [48] Heller, K. A. (2007). Scientific ability and creativity. *High Ability Studies*, 18(2), 209-234.
- [49] 박종원 (2004). 과학적 창의성 모델의 제안 : 인지적 측면을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 24(2), 375-386.
- [50] Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal*, 24(1), 1-10.
- [51] Sternberg R.J., & Lubart, T. (1993). Creative giftedness: A multivariate investment approach. *Gifted Child Quarterly*, 37 (1), 7-15.
- [52] 하주현 (2003). 문제발견, 창의적 사고, 창의적 인성의 관계. *교육심리연구*, 17(3), 99-115.
- [53] 김영채 (1997). *창의적 문제 해결 : 창의력의 이론, 개발과 수업*. 서울: 교육과학사
- [54] Carson, D. K., & Runco, M. A. (1999). Creative problem solving and problem finding in young adults: Interconnections with stress, hassles, and coping abilities. *The Journal of Creative Behavior*, 33(3), 167-188.
- [55] 박미진 (2016). *과학개념 융합을 통한 문제발견 및 문제해결 과정에서 나타나는 과학영재의 창의적 사고의 특성*. 박사학위논문, 부산대학교.
- [56] Harms, H. R., & Janosz, D. A. (2012). *Pre-engineering*. McGraw Hill Education.
- [57] 황혜정 · 나귀수 · 최승현 · 박경미 · 임재훈 · 서동엽 (2016). *수학교육학신론*. 서울: 문음사.
- [58] NCTM(1991). *Mathematical modeling in the secondary school curriculum*, In Frank Swetz and J. S. Hartzler(Eds.). Reston, VA: The National Council of Teachers of Mathematics.
- [59] 한병래 (2013). 초등정보교육에서의 계산적사고 교육을 위한 언플러그드 컴퓨팅 방법에 관한 고찰. *정보교육학회논문지*, 17(2), 147-156.
- [60] 이동영 · 남윤경 (2018) 공학설계 측면에서 한국 STEAM 프로그램 분석틀 제안. *대한지구과학교육학회지*, 11(1), 63-77.
- [61] Rodriguez, B., Rader, C. & Camp, T.

(2016). *Using student performance to assess CS unplugged activities in a classroom environment*. In proceedings of the 2016 ACM conference on innovation and technology in computer science education (pp. 95-100). ACM.

[62] Taub, R., Armoni, M. and Ben-Ari, M., (2012). CS unplugged and middle-school students' views, attitudes, and intentions regarding CS. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 12(2), No 8.



한 금 주

2008 신라대학교
수학교육과(이학사)
2016 부산대학교
수학교육과(교육학석사)

2017~현재 부산대학교 수학교육과 박사 수료
관심분야: 수학교육, 교사교육, 학교수학
E-Mail: han6893@pusan.ac.kr



정 주 훈

2008 신라대학교
컴퓨터교육과(이학사)
2013 부산대학교
교육공학 전공(교육학석사)

2016 부산대학교 멀티미디어협동과정(교육공학박사)
2009~2016 고등학교 정보·컴퓨터 교사
2016~현재 부산대학교 SW교육센터 초빙교수
관심분야: 컴퓨터교육, 메이커교육, 융합교육
E-Mail: juhun94@pusan.ac.kr

남 윤 경



1997 부산대학교
지구과학교육과(이학사)
2004 한국교원대학교
지구과학교육과(교육학석사)

2011 미국 미네소타대학 과학교육(박사)
2012-2015 뉴욕주립대 브락포트 과학교육(조교수)
2016~현재 부산대학교 지구과학교육과(부교수)
관심분야: 과학·공학융합교육, STEM교육
E-Mail: ynam@pusan.ac.kr

윤 진 아



2000 부산대학교
생물교육과(이학사)
2002 부산대학교
생물학과(이학석사)

2018 부산대학교 영재교육과정(교육학박사)
2000~2008 고등학교 과학교사
2011~2015 부산대학교 입학사정관
2015~현재 부산대학교 과학교육연구소 전임연구원
2018~현재 부산대학교 및 부산교육대학교 강사
관심분야: 융합교육, 과학교육
E-Mail: zenith@pusan.ac.kr