



융합인재교육(STEAM) 프로그램이 학생에 미친 효과에 대한 메타분석

강남화*, 이나리, 노민정, 유진은
한국교원대학교

Meta Analysis of STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) Program Effect on Student Learning

Nam-Hwa Kang*, Na-ri Lee, Minjeong Rho, Jin Eun Yoo
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 November 2018

Received in revised form

3 December 2018

10 December 2018

Accepted 19 December 2018

Keywords:

STEAM, meta-analysis,
effective size,
effect on student learning

ABSTRACT

This study examined overall effect of STEAM programs on student learning through meta-analysis of journal articles published for the past six years. We examined the areas of effects that the research tested and analyzed overall effect across the research. We first identified academic journal articles that utilized quasi-experimental design in examining STEAM effects on student learning and presented appropriate data for meta-analysis such as effect size. A total of 63 articles were identified to be appropriate for meta-analysis. Using R packages, we first identified outliers and eliminated them in the analysis of mean effect size. Thus, 172 effect sizes from 60 studies were analyzed. The results showed that the mean effect was medium (effect size = 0.52). Analysis showed that moderators of the effect were affective measures, thinking skills, character measures, and career aspirations, which meant the studies that measured these variables had more effect than achievement measures. On the other hand, the school level (elementary, middle, and high school), the absence or presence of student products as program requirements, hours of intervention, and sample size did not moderate the effect. Thus, regardless of these variables STEAM programs produced medium effect in general. Based on these results, further research areas and topics are suggested.

1. 서론

과학교육은 전통적으로 과학적 소양을 갖춘 시민 교육과 과학기술 인재의 양성을 목표로 한다. 이를 위해 국내외 과학교육에서는 과학의 모습을 적절히 수업에 반영하려는 노력이 지속되어 왔다. 가령, 과학탐구 중심 교육과정은 과학자들의 탐구과정을 과학교육의 내용에 포함시켜 학생들이 과학적 탐구과정에 대해 학습을 하거나 과학적 탐구를 할 수 있는 능력을 기르도록 함으로써 과학적 소양을 기르거나 미래 과학기술인력의 과학능력을 준비하게 하고 있다(Brandwein, & Schwab, 1962; Korea Ministry of Education, 2015; NGSS Lead States, 2013). 이러한 노력은 과학교육에서 최근 변화하는 과학의 모습을 과학교육에 반영해야 한다는 주장에 당위성을 부여한다.

20세기 말부터 가속화된 정보화에 따른 지식사회로의 변화는 21세기를 살아가는 시민을 위한 소양교육과 21세기를 이끌어갈 과학기술인재의 양성을 위한 과학교육 내용의 변화를 요구한다. 이러한 요구는 특히 생화학, 물리화학, 양자정보학 등 과학영역 내 융합의 증가와 인지과학, 뇌과학 등 과학과 다른 영역간의 융합, 그리고 공학과 기술 이용의 보편화로 시민의 과학기술정보에 대한 소양교육과 융합인재의 필요성을 배경으로 한다. 또한 세계화(globalization), 초연결사회(internet of everything), 인공지능으로 대변되는 제4차 산업혁명에 대한 담론은 세계 각국에서 국가경쟁력을 키우기 위한 창의

적 융합인재와 감성 및 인성교육을 강조하는 교육개혁에 대한 논의와 노력에 박차를 가하고 있다(Banks & Barlex, 2014; Bybee, 2010; Johnson, Peters-Burton, & Moore, 2016; KOFAC, 2018; Schwab, 2016). 이러한 세계적인 추세와 궤를 같이하여 우리나라의 융합인재 교육은 당시 과학기술부가 “제2차 과학기술인력 육성·지원 기본계획(’11~’15)”에서 초등과 중등 교육에서 “과학기술-예술융합의 융합인재교육(STEAM)”을 2011년도 중점 추진 과제로 제시하면서 지금까지 지속되고 있다. 이러한 정책적 추진은 예산의 투입으로 이어져 STEAM에 관한 교사 연수 프로그램, 학교 실시를 위한 교육 프로그램이 개발이 되고 STEAM 수업 설계를 위한 틀이 개발되어 활용이 되고 있다(Han, Hwang, & Yoo, 2016; Park, Kim, Noh, Lee, Jeong, Choi, *et al.*, 2012). 특히 한국과학창의재단을 통해 전문가들의 STEAM 프로그램 개발과 시범 실시, 교사 연구회 지원을 통한 STEAM 프로그램의 개발과 시범실시를 통해 STEAM이 학교로 빠르게 전파가 되었다. 현재 한국과학창의재단의 지원을 통해 2017년도까지 전문가가 개발한 프로그램은 600개에 이르고 재단의 홈페이지를 통해 개발된 프로그램을 열람하고 학교에서 사용할 수 있도록 하고 있다. 마찬가지로 교사연구회 지원을 통한 성과물로서 현재 1,089개의 초, 중, 고 수업지도안이 재단의 홈페이지에 제공되어 있고 이를 활용하도록 공개하고 있다(KOFAC, 2018).

이러한 STEAM의 학교 현장 확산을 위한 노력은 연구에서도 드러

* 교신저자 : 강남화 (nama.kang@knue.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.6.875>

나고 있다. 한 보고서에 따르면 2011년부터 2016년 상반기까지 5년 6개월 기간 동안 국내 학술지에 발간된 STEAM 관련 연구 논문이 361편에 달해 상당한 연구가 이루어지고 있음을 알 수 있다(Kang, Yoo, Byun, Lim, Oh, & Jeong *et al.*, 2017). 이 연구의 규모는 최근의 과학교육 연구 동향을 고찰한 논문(Kim, Paik, Choi, Kang, Maeng, & Joung, 2015)에서 15년간의 학생의 과학학습 관련 연구 논문 중 가장 많은 수를 차지한 학생의 학습 및 수업 활동 관련 논문이 259편인 것과 비교해 볼 때 규모가 상당하다고 볼 수 있다.

STEAM 프로그램 개발 및 보급과 관련된 노력은 STEAM 효과에 대한 증거 없이는 그 의미가 없다고 할 수 있다. 다양한 STEAM 관련 사업의 지원 효과를 확인하기 위해 한국과학창의재단에서는 매년 STEAM 참여 학생의 과학 수학 학습에 대한 흥미도와 참여 학생과 교사의 만족도 조사 결과를 보고하고 있으며 꾸준히 긍정적인 결과를 보이고 있다(Kang *et al.*, 2017). 또한 STEAM 프로그램 개발 팀에서는 프로그램의 효과를 검증한 결과를 보고하고 있으며 많은 연구 논문에서도 STEAM 수업의 긍정적 효과를 보고하고 있다. 그러나 프로그램 개발자들이 보고하는 효과의 결과는 프로그램의 다양한 측면을 반영하여 다양한 종류의 결과를 제시하며, 유사한 측면의 결과라 할 지라도 그 효과의 정도는 다양하게 보고되고 있다. 마찬가지로 STEAM 수업의 효과를 보고하는 연구보고서 역시 연구의 목표에 따라 서로 다른 측면의 측정 결과를 보고하고 있으며 같은 측면이더라도 그 효과의 크기가 다르게 나타난다. 따라서 다양한 측면에서 서로 다른 수준의 효과성 결과를 종합 정리하여 일반적으로 STEAM 수업의 효과가 어느 정도인지를 탐색하는 것은 앞으로 지속될 STEAM 프로그램의 개발 및 보급에 시사점을 줄 수 있다.

현재까지 STEAM 프로그램 효과성을 통계적으로 검토한 메타분석을 조사한 결과 세 편의 논문만을 찾을 수 있었다(Kim & Won, 2014, 2016; Rho & Yoo, 2016). 세 편 모두 STEAM 프로그램의 일부 요소에 초점을 맞추었으며 분석 대상 연구의 수와 효과크기의 수가 상대적으로 적었다. 또한, 세 편 중 한 편만 통계적으로 유의한 조절변수를 파악하였다. Kim & Won(2014)은 초등학생을 대상으로 하는 STEAM 수업이 창의성의 두 가지 하위변인인 창의적 사고기능과 창의적 사고성향에 미치는 효과성에 초점을 맞추어 15편의 연구를 메타분석을 하였으나, 통계적으로 유의한 조절변수는 없었다(Kim & Won, 2014). 동일 연구자들은 다시 같은 변인에 대하여 초·중등 학생을 대상으로 하는 30편의 연구에 대하여 조절변수를 추가하여 메타분석을 하였으나, 역시 통계적으로 유의한 조절변수를 찾지 못하였다. Rho & Yoo(2016)의 연구에서는 초·중등 학생을 대상으로 하는 총 33편의 연구에 대하여 과학관련 정의적 영역에서의 효과에 초점을 맞추어 메타분석을 하였다. 그 결과, 실험 및 공작활동이 스마트기기/미디어 활용에 비하여 통계적으로 유의하게 그 효과가 높았고, 실험 집단 학생 수가 작을수록 효과크기 값이 크다는 것을 밝혀내었다. 이러한 메타분석들은 여전히 지금까지의 STEAM 연구 규모에 비해 일부만을 보여주고 있다(Rho & Yoo, 2016).

따라서 이 연구에서는 지난 6년간 국내 학술지에 보고된 STEAM 수업의 효과에 대한 연구들이 확인한 효과의 전반적인 영역을 검토하고 발견한 효과성을 통계적으로 분석하여 어떤 변인들이 어떤 영향을 주어 어느 정도의 효과를 평균적으로 산출하는지 분석하여 전체적인 STEAM의 효과 현황을 파악하고자 하였다.

II. 연구방법

문헌에서 보고하는 STEAM을 통한 학생의 학습에 대한 다양한 효과를 종합하여 전체 효과 정도를 알아보기 위해 메타분석을 실시하였다. 메타분석은 다양한 영역에서, 다양한 정도의 효과성을 제시하고 있는 많은 연구 논문들을 통계적으로 처리하여 일반적으로 기대할 수 있는 효과의 정도를 알아보는 방법이다. 구체적으로는 각 연구에서 보고하는 처치의 효과(효과크기)를 하나의 자료로 간주하여 많은 효과크기의 분포를 통계적으로 처리 후 평균 효과크기와 효과를 조절하는 변수의 효과를 확인하는 방법이다(Borenstein, Hedges, Higgins, & Rothstein, 2009; Hunter, 2004).

1. 연구 대상 선정 및 코딩

본 연구의 메타분석에 사용한 1차 연구의 데이터베이스는 학술연구정보서비스(RISS)와 한국학술정보(KISS), 그리고 구글 학술정보(Google Scholar)다. 먼저, 해당 데이터베이스에서 ‘융합’, ‘통합’, ‘STEAM’을 주제로 하여 2000년부터 2016년 6월까지 발행된 STEAM 연구를 검색하여 총 357편을 찾았다. 그 중 설계와 결과의 해석에 있어 신뢰할 수 있는 연구결과를 대상으로 STEAM 교육의 효과성을 알아보려고 편집자 및 전문가의 리뷰를 거친 학술지 논문을 추출하였고, STEAM과 관련이 없는 순수 공학 분야의 논문들과 융합과 통합을 교수방법 개념으로 취급한 논문, 중복 검색된 논문을 제외하였다. 이렇게 1차 선별된 논문들의 제목, 초록, 본문을 바탕으로 연구 주제가 STEAM 프로그램의 학생 학습에 대한 효과성 분석이며, 연구 대상이 초, 중, 고등학생이고, 사전·사후 통제집단 설계를 사용한 논문을 2차 선별하여 최종적으로 63편의 논문을 연구대상으로 선정하였다. 이들 논문을 학술지 별로 구분했을 때 18편의 논문이 ‘초등과학교육’에 게재된 것이고, 과학교육관련 학술지(과학교육학회지, 생물교육, 대한지구과학교육학회지 등)에 20편, 기술, 정보, 컴퓨터 및 실과 교육관련 학술지에 게재된 것이 10편이었다. 그밖에 교원교육, 환경교육, 수학교육, 과학영재교육 등에 관련된 학술지에 게재되었다. 연구대상 논문은 참고문헌에 (*)로 표시하여 제시하였다.

연구 대상을 선정할 후, 조절변수 추출을 위한 코딩 작업을 하였다. 최초 코딩의 구체적인 내용은 일련번호(id), 저자, 출판년도, 종속변인, 학교급, 영재 대상 여부, 수업 상황, 수업 중 산출물 유형, 수업 차시수, 실험/통제 집단 크기, 실험/통제 집단 평균, 실험/통제 집단 표준편차이다. 종속 변수는 연구마다 다양하고 서로 다른 측정도구를 사용하고 있었다. 연구진들이 각 연구에서 사용한 검사도구의 내용을 바탕으로 중점적으로 다루어진 변인을 추출하고, 혐의를 거쳐 유사한 내용 또는 영역을 측정한다고 판단한 종속변수를 묶어 총 7가지 범주로 분류하였다(Table 1). 종속 변수 중 성취도 효과는 학생에게 투입된 STEAM 프로그램이 다른 교과 지식의 습득 정도의 측정에 대한 것을 범주화 하였다. 정의적 효과는 과학에 대한 정의적 특성을 폭넓게 묶었다. 대상 논문의 각 연구 별로 다양한 정의적 특성이 측정되었으며 유사한 정의적 특성 별 효과크기의 수가 적어 구분하여 분석하기에는 적절하지 않아 포괄적으로 분류하였다. 사고력은 학업 성취도와 같은 인지적 성과 외에 학업과 관련한 인지적 능력 변화를

측정한 경우를 취합한 범주이다. 인성 범주에 창의적 인성을 포함하였는데 이는 실제 검사 문항을 확인한 결과 창의성보다 인성, 정서기능의 검사도구와 더 유사하다고 판단하여 창의적 인성으로 분류하고 인성과 함께 코딩하였다. 소양 변수는 ICT 소양, 환경 소양, 친환경 생활 습관을 측정한 것으로 과학에 대한 정의적 성과와 구분되는 성격으로 판단되어 별도로 분류하였다. 창의성 범주는 STEAM 사업에서 주로 강조하는 효과성의 영역이므로 유사한 종속 변수를 하나로 묶어 하나의 범주로 구성하였다.

본 연구의 대상이 된 63편에는 메타분석에 필요한 자료 중 결측치는 존재하지 않았고, 대부분의 논문이 다양한 종류의 효과를 검증함으로써 총 183개의 효과크기가 보고되었다. 코딩과정에서 분석자간 일치율 확보하기 위해 임의로 선택한 2편의 논문에 대한 1차 코딩 일치율을 조사하여 약 86%의 일치율을 확인하였다. 연구자간 논의 및 협의 후 재코딩을 하였을 때 일치율은 100%였다. 이후 한 명의 연구자가 전부 코딩을 하였고, 모호한 결과에 대해서만 연구자간 논의를 통하여 함께 코딩을 하였다.

2. 분석방법

본 연구에서 사용한 효과크기 분석방법은 작은 표본에서 편향 발생 가능성이 있는 Cohen's d 를 자유도를 이용하여 교정한 Hedges' g 다(Borenstein *et al.*, 2009; Schwichow, Croker, Zimmerman, Hoffer & Hartig, 2016). 효과 크기의 해석은 Cohen(1988)에 따라 0.2, 0.5, 0.8을 각각 작은, 중간, 큰 효과크기로 해석하였고, 평균 효과크기의 해석을 위하여 비중복 백분위 U^3 를 확인하여 제시하였다.

효과크기 분석에 앞서 분석의 타당성을 저해할 수 있는 이상치(outliers)와 출판 편향을 조사하였다. 이상치는 비정상적인 효과크기를 보고하는 사례로서 그 존재여부를 탐색하기 위하여 영향력 검사를 실시하였고, 이상치를 판별하기 위해 SAMD(Simple-Adjusted Meta-analysis Deviancy; Huffcutt & Arthur, 1995)를 계산하였다. SAMD가 클수록 이상치일 가능성이 커진다(Huffcutt & Arthur, 1995). 또한, 통상적으로 통계적으로 유의한 연구 결과만 논문에 보고되는 경향에 의한 출판편향이 있을 수 있다. 따라서 메타분석 시 출판편향을 확인하는 것이 필요하다(Borenstein *et al.*, 2009; Rho & Yoo, 2016). 본 연구에서는 이상치 삭제 전후의 깔대기 그림(funnel plot) 비교를 통하여 출판편향 정도를 확인하였다.

분석 도구로는 통계 분석 및 그래픽 프로그램인 R의 car, metafor, MAd, robumeta 패키지를 사용하였다(The R Foundation, 2018). 데이터 정리 시 car 패키지를, 효과크기 계산 시 metafor와 MAd 패키지를 사용하였고, 평균효과크기 계산 및 조절변수 분석을 위한 위계적 메타-회귀분석 시 robumeta 패키지를 사용하였다.

3. 효과크기의 독립성 가정 문제 해결 방법

메타분석을 실시할 때 주의하여야 할 문제 중 하나는 효과크기의 독립성 가정이다(Borenstein *et al.*, 2009; Gleser & Olkin,

2009; Pigott, 2012). 전통적인 메타분석 기법은 분석논문에서 보고하는 효과크기들이 서로 독립이라고 가정한다. 그러나 실제 연구에서는 한 쌍의 실험/비교 집단에 대하여 다수의 종속변수를 측정하는 실험설계가 빈번하며, 이러한 연구 설계로부터 얻은 효과크기들은 서로 독립이지 않다. 따라서 이러한 효과크기들을 독립이라고 가정하는 경우 편향이 발생할 수 있다(Del Re, 2015). 이러한 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 효과크기의 독립성 가정이 필요하지 않은 RVE(Robust Variance Estimation)를 활용하는 위계적 메타-회귀 분석을 통해 평균효과크기를 계산하였다(Hedges, Tipton & Johnson, 2010).

III. 연구결과

1. 분석 대상 특징 및 코딩 결과

본 연구의 분석 대상인 63개의 논문에서 총 183개의 효과크기를 제시하였다(Table 1). 효과크기는 종속변수 중 과학에 대한 흥미, 태도 등의 정의적 영역에서 가장 많이 산출되었다. 학교급으로는 초등학교 대상 연구가 주로 이루어졌으며, 영재 학생보다는 일반 학생에 대한 연구가 주류를 이루었다. 투입한 STEAM 프로그램의 성격 측면에서는 수업 중 제시 상황이 개인적인 경우가 더 많았고 수업의 결과물로서 물리적인 산출물을 만드는 프로그램 투입이 다수였다. 즉, 융합인재교육 프로그램의 효과성을 분석한 연구는 주로 초등학교에서, 일반 학생들을 대상으로 이루어졌으며, STEAM 프로그램은 대체로 개인적인 문제 상황을 통하여 학습 주제를 소개하고 학습 동기를 유발하였으며, 프로그램 후반부에서는 직접 조작 가능한 산출물을 만드는 사례가 다수였다. 실험집단 크기는 평균 31명, 최소 9명, 최대 75명이었으며, 수업 시수로 드러난 처치 횟수는 평균 9회, 최소 1회, 최대 24회였다.

2. 이상치 및 출판편향 분석

영향력검사(Viechtbauer & Cheung, 2010) 실시 결과는 Figure 1과 같다. DFFITS(dffits), 표준화제외잔차(rstudent), Cook의 거리(cook.d), 공분산비(cov.r) 등에서 이상치(outliers)가 있음을 확인할 수가 있었다. 이상치를 판별하기 위해 SAMD를 구하고 그래프로 제시하였다(Figure 2). SAMD의 절대값이 클수록 이상치일 확률이 높기 때문에 SAMD의 급격한 감소가 멈추는 점을 절단값으로 상정하여, 6편의 연구에서 11개의 효과크기를 이상치로 판정하였다.

출판편향 정도를 알아보기 위하여 이상치 제거 전후의 깔대기 그림을 비교하였다(Figure 3). 이상치 제거 전인 왼쪽 깔대기 그림에서 다수의 효과크기가 오른쪽으로 쏠려 있고, 극단적인 양수 값을 지니는 효과크기들이 다수 있음을 확인할 수 있었다. 반면, 이상치 제거 후인 오른쪽 깔대기 그림에서는 대부분의 효과크기 값이 0.5를 기준으로 좌우 대칭에 가깝게 분포되어 있었다. 그러나 여전히 극단적인 양수값을 보이는 효과크기를 볼 수 있어서 이상치 제거 후에도 약간의 출판편향이 존재하는 것으로 보인다. 이후 분석에서는 이상치를 제거한 172개의 효과크기를 대상으로 하였다.

Table 1. Definition of moderators and coding results

| 변수 종류 | 조절변수명 | 코딩 범주 및 범주별 정의 | 효과 크기 개수 | 해당 논문 편수 |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| 범주형 | 종속변수 | 1 (성취도): 학업성취도, 과학개념변화, 과학지식, 환경지식 | 16 | 14 |
| | | 2 (정의적): 과학에 대한 흥미, 태도, 정의적 영역, STEAM 태도, 과학 관련 정의적 영역, 자기효능감, 학습동기, 유용성 인식, 융합인재소양, 융합적 소양, 기술적 사고성향, TORSA | 73 | 43 |
| | | 3 (사고력): 논리적 사고력, 탐구능력, 문제해결능력, 자기주도학습, 학습몰입, 메타인지, 의사소통능력, 과학과정기술, 공간지각능력, 비판적 사고력 | 27 | 22 |
| | | 4 (인성): 인성, 정서지능, 창의적 인성 | 8 | 6 |
| | | 5 (진로): 진로, 진로지향, 진로의식 | 10 | 5 |
| | | 6 (소양): ICT 소양, 환경소양, 친환경 생활습관 | 13 | 5 |
| | | 7 (창의성): 창의력, 창의적 문제해결력, 과학적 창의성 | 36 | 21 |
| | 학교급 | 초: 초등학교 | 152 | 50 |
| | | 중: 중학교 | 14 | 8 |
| | | 고: 고등학교 | 17 | 5 |
| 영재 대상 여부 | 0: 일반 학생 대상 | 164 | 56 | |
| | 1: 영재 학생 대상 | 19 | 8 | |
| 수업 상황 | 0: STEAM 프로그램 도입 시 제시 상황/문제가 개인적임 | 131 | 47 | |
| | 1: STEAM 프로그램 도입 시 제시 상황/문제가 집단/사회적임 | 52 | 16 | |
| 산출물 유형 | 0: 수업의 결과물로 물리적 산출물을 만들지 않음 | 32 | 13 | |
| | 1: 수업의 결과물로 물리적 산출물을 만들 | 151 | 50 | |
| 연속형 | 처치 횟수 | STEAM 프로그램 처치 횟수 | 183 | 63 |
| | 실험집단 크기 | 실험집단 인원수 | 183 | 63 |
| 합계 | | | 183 | 63 |

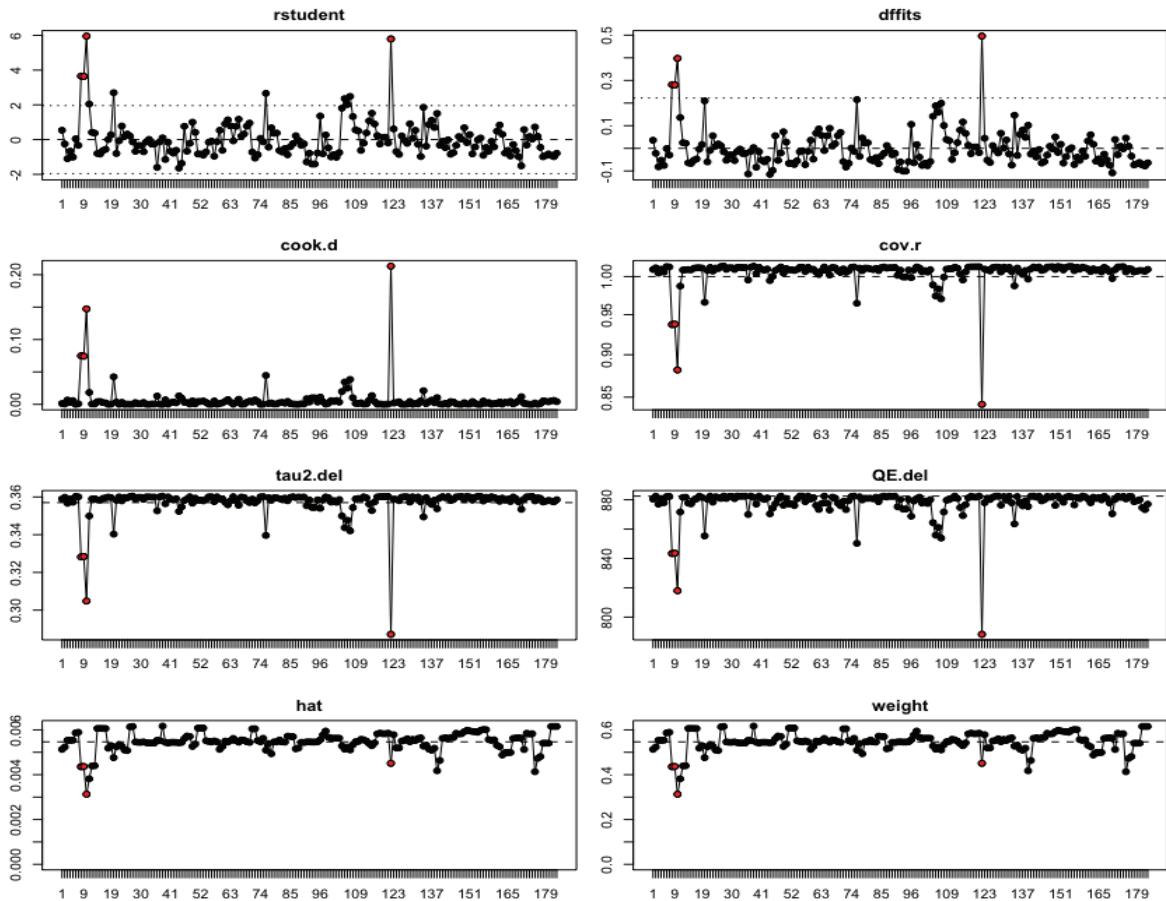


Figure 1. Influence before elimination of outliers (N=183)

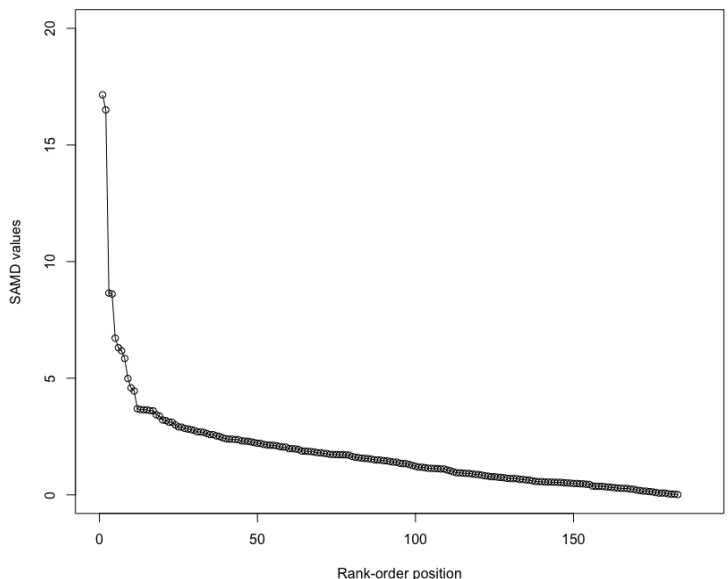


Figure 2. SAMD statistic results

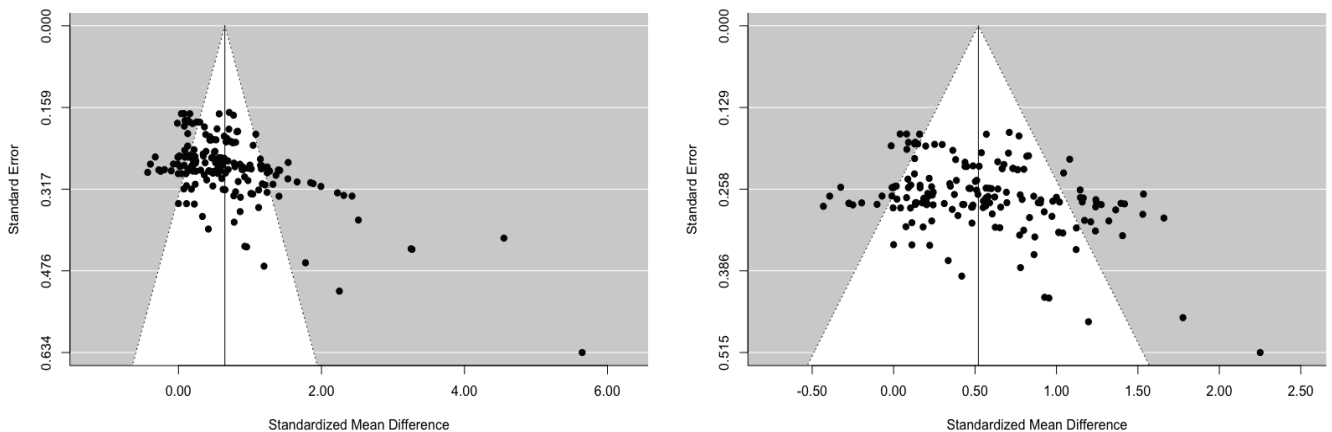


Figure 3. Funnel plots before and after outlier elimination

Table 2. Mean effect size for combined dependent variables

| 사례수 | | 평균 효과크기 | 표준 오차 | U_3 | 신뢰구간[95%] | | T^2 | ω^2 |
|-----|------|------------|----------|-------|-----------|-------|-----------|------------|
| 편 | 효과크기 | | | | 하위 | 상위 | | |
| 60 | 172 | 0.52** | 0.0578 | 69.85 | 0.404 | 0.637 | 0.1134925 | 0 |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

3. 평균효과크기 분석

이상치 조사 결과를 바탕으로 평균효과크기 분석에서는 이상치를 제거한 총 60편의 연구논문에서 제시한 172개 효과크기를 이용하였다. 한 편의 연구논문에서 1개의 효과크기가 산출된 연구는 60편 중 단 8편뿐이었으며, 52편의 연구에서 2개 이상의 효과크기가 산출되었다. 효과크기의 독립성 위배 문제를 해결하기 위하여 RVE를 사용하는 위계적 메타-회귀 분석을 하여 그 결과를 Table 2에 제시하였다.

분석결과 STEAM의 전체 평균효과크기는 0.52이며 95% 신뢰구간은 [0.404, 0.637]이다. 따라서 Cohen(1988)의 효과크기 해석 기준에 따라, STEAM 프로그램은 학생의 학습에 있어서 중간 정도의 효과크기를 가진다고 할 수 있다. 비중복 백분위 U_3 값은 69.85로, 이는 실험집단의 상위 50%가 비교집단 전체 70%보다 앞선 점수를 받았음

을 의미한다. 즉, STEAM을 받은 실험집단의 평균 측정치는 통제집단에서 상위 30.15%에 해당한다고 해석할 수 있다. 분석 대상 논문 내 효과크기 간 분산의 정도를 나타내는 ω^2 는 0이며, 논문 간 분산의 정도를 나타내는 T^2 는 0.113이었다. $\omega^2 < T^2$ 즉, 연구 내 효과크기 간 분산보다 연구 간 효과크기 분산이 더 컸으므로 연구 간 효과크기 분산의 차이를 유발하는 조절변수 분석이 필요하다고 볼 수 있다.

4. 조절변수 분석

조절변수들의 영향력(impact)을 분석하기 위해 위계적 메타-회귀를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 연속변수인 처치 횟수와 실험집단 크기를 제외한 다른 변수는 범주형 변수이므로 더미코딩 후 메타-회

Table 3. Results of hierarchical meta-regression analysis of moderators

| 변수 | 회귀 계수 | 표준오차 | t | df | p | 신뢰구간[95%] | |
|---------------|---------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | 하위 | 상위 |
| 상수 | 0.36 | 0.179 | 2.011 | 23.43 | 0.056 | -0.01 | 0.729 |
| 학교급 2(중학교) | 0.157 | 0.206 | 0.765 | 8.56 | 0.465 | -0.312 | 0.627 |
| 학교급 3(고등학교) | 0.184 | 0.42 | 0.438 | 2.81 | 0.693 | -1.206 | 1.574 |
| 영재 대상 | 0.075 | 0.275 | 0.272 | 8.20 | 0.792 | -0.557 | 0.706 |
| 수업 상황-사회적 | -0.048 | 0.148 | -0.326 | 14.79 | 0.749 | -0.365 | 0.268 |
| 종속변수2(정의적) | 0.328** | 0.098 | 3.362 | 15.00 | 0.004 | 0.12 | 0.536 |
| 종속변수3(사고력) | 0.264* | 0.119 | 2.222 | 16.26 | 0.041 | 0.012 | 0.516 |
| 종속변수4(인성) | 0.391* | 0.13 | 3.02 | 9.31 | 0.014 | 0.1 | 0.683 |
| 종속변수5(진로) | 0.541** | 0.137 | 3.955 | 10.10 | 0.003 | 0.237 | 0.846 |
| 종속변수6(ICT 소양) | 0.601 | 0.354 | 1.701 | 7.31 | 0.131 | -0.227 | 1.43 |
| 종속변수7(창의력) | 0.242 | 0.129 | 1.868 | 19.03 | 0.077 | -0.029 | 0.513 |
| 산출물 있음 | 0.028 | 0.136 | 0.204 | 18.88 | 0.84 | -0.257 | 0.313 |
| 처치 횟수 | -0.008 | 0.012 | -0.639 | 25.04 | 0.529 | -0.034 | 0.018 |
| 실험집단 크기 | -0.003 | 0.004 | -0.88 | 15.75 | 0.392 | -0.012 | 0.005 |

$$\omega^2 = 0, T^2=0.1134925$$

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

귀식에 투입하였다. 더미코딩에서의 기준 범주는 첫 번째 범주였다. 즉, 종속변수의 경우 학업성취도 범주가, 학교급의 경우 초등학교 범주가, 영재 대상 여부의 경우 일반학생 범주가, 수업 상황의 경우 개인적 STEAM 프로그램 도입 상황이, 그리고 산출물 유형의 경우 산출물을 만들지 않는 범주가 기준 범주가 되었다.

위계적 메타-회귀 분석 결과는 연구 간 효과크기의 차이가 종속변수에 의해 조절됨을 드러냈다. 모든 종속변수들의 기준 범주였던 학업성취도 관련 종속변수의 영향과 비교할 때, 진로 관련 종속변수와 과학 관련 정의적 영역 종속변수의 효과가 $\alpha=0.01$ 수준에서, 그리고 인성 관련 종속변수와 사고력 관련 종속변수의 효과가 $\alpha=0.05$ 수준에서 통계적으로 유의하게 높았다. 즉 성취도 대비 이들 요인들이 효과크기가 더 컸다는 결과이다. ICT 소양과 창의성 관련 종속변수는 그 효과가 정적이기는 하였으나, 학업성취도 관련 종속변수와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 종속변수 이외의 독립변수였던 학교급, 영재 대상 여부, 수업 상황, 산출물 유무, 처치 횟수, 실험집단 크기는 모두 통계적으로 유의하지 않았다.

IV. 결론 및 제언

STEAM의 효과에 대한 연구는 일반적으로 긍정적인 결과를 보고 해왔다. 이 연구에서는 그러한 효과성 보고를 보다 객관적으로 바라보기 위해 각 연구에서 보고하는 효과크기를 하나의 데이터로 간주하여 통계적으로 분석하고, 효과를 조절하는 변인들의 영향을 분석하였다. 연구 결과 STEAM의 효과는 연구자들이 그 영향으로 조사하는 다양한 종속 변인에 있어서 평균 중간정도의 효과를 드러냄을 알 수 있었다. 이러한 효과크기에 영향을 주는 조절변인으로는 학생의 정의적 영역, 사고력, 인성 및 진로의향이 유의미한 것으로 드러났다. 즉, 많은 효과성 측정 연구 중에서 학생의 정의적 특성, 사고력, 인성 및 진로의향을 측정하는 연구에서 보다 큰 효과크기를 보이는 것으로

드러났다. 한편, 대상 학생의 학교급, 수업에서 물리적 산출물 유무, 수업시수, 연구대상 학생의 수는 효과크기에 영향을 미치지 않는 것으로 드러났다. 즉, 평균 효과크기는 이들 변인들과 무관하게 기대할 수 있음을 나타낸다. 결론적으로 본 연구에서 분석한 연구들로부터 STEAM 수업은 대상 학생의 학교급이나 수업시수, 산출물 유무와 대상 학생수와 무관하게 학생들에게 중간 정도의 효과를 드러내며, 성취도에 비해 과학에 대한 정의적 특성, 사고력, 인성 및 진로에 더 큰 효과를 보이는 것으로 드러났다.

본 연구는 몇 가지 연구 의의가 있다. 먼저, 방법론적인 타당성의 확보에서 의의를 찾을 수 있다. 본 연구는 이상치 제거 후 총 60편의 172개에 달하는 효과크기를 분석하였다. 기존 메타분석 연구들에 비하여 상대적으로 많은 수의 연구를 분석함으로써 연구 결과의 타당성을 높였다. 또한 메타분석 연구에서 빈번하게 발생하는 효과크기 독립성 문제를 현재 가장 발전된 방법 중 하나인 RVE를 활용한 위계적 메타-회귀 분석을 통하여 해결하였다. 한편, 내용적으로는 종속변수 유형, 학교급, 영재 대상 여부, 수업 상황, 산출물 유무, 처치 횟수, 실험집단 크기의 총 일곱 가지 조절변수를 한 모형에서 다루어 STEAM 프로그램의 효과성을 포괄적으로 분석하여 STEAM의 효과를 전반적으로 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구 결과 학생의 정의적 특성, 사고력, 인성 및 진로에서 보다 큰 효과크기를 확인한 것은 지금까지 개발하여 실시된 STEAM 프로그램이 그 목적을 어느 정도 달성하는 것으로 볼 수 있다. 그런데 정의적 특성(73편)이나 사고력(27편)에 비해 인성(8편) 및 진로(10편)를 목표로 하여 그 효과를 측정된 연구논문의 수가 아직 적다는 것은 앞으로 이를 목표로 하는 STEAM 개발 및 실시의 필요성을 제시한다고 하겠다. 한편, 정의적 특성으로 묶인 많은 하위 변인들은 STEAM을 통해 다양한 정의적 특성의 개발을 시도하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 다양성은 프로그램의 특성을 반영한 결과일 수도 있지만, STEAM의 목표에 대한 다양한 이해를 드러내는 것일 수도 있다. 따라

서 STEAM 프로그램에서 강조하는 다양한 정의적 특성의 성격과 그 의미를 좀 더 연구할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 독립적으로 취급한 각각의 종속 변수 사이의 관계에 대한 연구가 필요하다. 가령, STEAM의 목표 중 하나가 이공계 흥미의 촉진을 통한 이공계 진로에 관심을 증진하는 것임을 고려할 때 정의적 특성에서의 효과가 진로에 대한 생각에 영향을 미칠 수도 있다. 이와 마찬가지로 본 연구에서 분석한 다양한 측정 변인들 사이의 관계에 대한 연구는 현재 드러난 효과를 보다 더 강화할 수 있는 효율적인 방안에 대한 시사점을 제공할 것이다.

한편, STEAM 프로그램의 개발 및 실제 운영과 관련된 처치 횟수, 실험집단 크기, 대상 학생의 성격(영재 또는 일반 학생)과 같은 변인들이 통계적으로 유의하지 않은 것에 대해서는 다양한 사항을 고려할 필요가 있다. 가령, 처치 횟수 즉, STEAM 수업 시수가 효과크기를 조절하는 변수로 드러나지 않았다. 비록 분석 대상 논문에 처치 회수가 1회인 논문도 있었지만 평균 회수가 9회였고, 융합적 성격의 STEAM 수업이 기본적으로 다수의 시수를 요구하는 것에 비추어 대부분의 연구에서 효과를 얻을 만큼 충분한 처치를 하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 반면 현실적인 제약으로 처치 시수가 역효과를 낼 정도로 과다한 경우는 찾기 힘들기 때문에 처치 시수가 조절변인으로서 유의미하지 않다는 것은 어느 정도 적절한 시수를 전제하는 것일 수 있다. 한편, STEAM 프로그램 대상 학생이 영재인 경우와 일반학생의 경우 효과크기의 차이가 없는 것은 실시하는 프로그램의 성격과도 관련이 있을 수 있으므로 프로그램의 성격과 함께 분석하는 추가적인 연구가 필요하다.

2011년부터 지속적으로 정부의 지원을 통해 STEAM 교육의 현장 활성화가 지원되어 왔고, 2018년 새 정부가 시작하면서 교육부의 6대 국정 과제 중 하나로 “4차 산업혁명을 주도하는 창의융합 인재” 육성이 제시되면서 STEAM을 통한 창의융합교육 활성화 기반 구축이 여전히 강조되고 있다(KMOE, 2018). 본 연구에서는 그동안의 STEAM 프로그램의 실사가 프로그램이 목표로 하여 측정된 학습 전반에서 중간 크기의 효과가 있었음을 보였다. 또한 특정 영역에서는 효과크기가 더 컸다는 것도 확인하였다. 따라서 앞서 제시한 추가 연구를 비롯하여 더 큰 효과크기를 확보하기 위한 연구와 개발이 필요하다.

국문요약

이 연구에서는 지난 6년간 국내 학술지에 보고된 STEAM 수업의 효과에 대한 연구들이 확인한 효과의 전반적인 영역을 검토하고 어떤 변인들이 어떤 영향을 주어 어느 정도의 효과를 평균적으로 산출하는지 분석하여 전체적인 STEAM의 효과를 분석하였다. 메타분석에 충분한 자료를 제시하는 논문을 파악 후 이상치가 제시된 논문을 제외한 총 60편의 172개의 효과크기를 분석하였다. 연구 결과 STEAM의 효과는 논문에서 보고하는 다양한 종속 변수에 있어서 평균 중간 정도임을 알 수 있었다. 이러한 효과크기에 영향을 주는 조절변인을 분석한 결과 학생의 정의적 특성, 사고력, 인성 및 진로희망을 측정하는 연구에서 보다 큰 효과크기를 보이는 것으로 드러났다. 한편, 대상 학생의 학교급, 수업에서 물리적 산출물 유무, 수업시수, 연구대상 학생의 수는 효과크기에 영향을 미치지 않는 것으로 드러났다. 즉, 평균 효과크기는 이들 변인들과 무관하게 기대할 수 있음을 나타낸

다. 이들 결과에 비추어 추후 필요한 연구영역 및 주제를 제시하였다.

주제어: STEAM, 메타연구, 효과크기, 학습효과

References

- Bae, D., Kim, B., & Kim, J. (2014). The effect of making bridge model STEAM program based SMART education on interest and STEAM literacy. *The Korean Journal of Technology Education*, 14(1), 158-176.
- Bae *et al.* (2014). The effects of science lesson applying STEAM education on creative thought activities and emotional intelligence of elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 762-772.
- Bae, J., Yun, B., & Kim, J. (2013). The effects of science lesson applying STEAM education on science learning motivation and science academic achievement of elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(4), 557-566.
- Bak, A., & Kim, Y. (2014). The effects of STEAM program on the scientific communication skills and the learning flow of elementary gifted students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(3), 439-452.
- Bak, A., & Kim, Y. (2014). The effects of STEAM program on the scientific communication skills and the learning flow of elementary gifted students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(3), 439-452.
- Banks F., & Barlex, D. (2014). *Teaching STEM in the secondary school*. New York: Routledge.
- Brandwein, P. F., & Schwab, J. J. (1962). *The teaching of science: The teaching of science as enquiry and Science in the Elementary School*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Chichester, UK: Wiley.
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996. <https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Chae, H., & Noh, S. (2013). The effect of the STEAM activities on the elementary student's science process skills and science-related attitudes. *Journal of Science Education*, 37(3), 417-433.
- Cho, S., & Park, C. (2013). The development and application of a STEAM program based on backward design. *Journal of the Korean Educational Research Association*, 17(4), 1385-1404.
- Choi, Y., & Hong, S. (2013). The development and application effects of STEAM program about 'World of small organisms' unit in elementary science. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(3), 361-377.
- Choi, Y., & Hong, S. (2016). The development and application effects of 'Life Cycle of Plants' STEAM program using time-lapse based on smart media. *Biology Education*, 44(1), 35-48.
- Choi, Y. M., Kim, E. H., Yang, J. H., & Hong, S. H. (2016). The influences of STEAM program using infragram for plant health monitoring on elementary student's creative problem solving ability, scientific process skills and affective domain. *Biology Education*, 44(1), 72-86.
- Choi, Y., Yang, J., & Hong, S. (2016). The effects of smart media based STEAM program of chicken life cycle on academic achievement, scientific process skills and affective domain of Elementary School Students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 35(2), 166-180.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Del Re, A. C. (2015). A practical tutorial on conducting meta-analysis in R. *Quantitative Methods for Psychology*, 11(1), 37-50.
- Gleser, L. J., & Olkin, I. (2009). Stochastically dependent effect sizes. In H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Eds.), *The handbook of research synthesis and meta analysis* (2nd ed., pp. 357-376). New York: Russell Sage Foundation.

- Han, I., Hwang, S., & Yoo, J. (2016). Development and Management of the Advanced STEAM Teacher Training Program. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 36(3), 399-411.
- Han, M., & Hong, S. (2015). The development and application of a STEAM program making connections between the material transport systems of plants and animals. *Journal of Educational Studies*, 46(1), 69-91.
- Hedges, L. V., Tipton, E., & Johnson, M. C. (2010). Robust variance estimation in meta-regression with dependent effect size estimates. *Research Synthesis Methods*, 1(1), 39-65.
- Hong, H. J., Bae, J. H., So, K. H. (2015). The effects of the STEAM based field trip program on the elementary students' science process skills and attitude toward science. *Biology Education*, 43(4), 344-354.
- Hunter, J. E. (2004). *Methods of meta-analysis: Correcting error and bias in research findings* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Jeon, S., & Lee, Y. (2014). Art based STEAM education program using EPL. *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 19(4), 149-158.
- Johnson, C. C. Peters-Burton, E. E. Moore T. J. (eds.) (2016). *STEM road map: A framework for integrated STEM education*. New York: Routledge.
- Jun, M., & Park, M. (2015). Effects of STEAM program development and application for the 1st grades of elementary school. *Education of Primary School Mathematics*, 18(2), 91-106.
- Kang, J., Ju, E., & Jang, S. (2013). The effect of science-based STEAM program using a portfolio on elementary students' formation of science concepts. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(4), 593-606.
- Kang, I., Kim, H., & Kim, D. (2012). A case study on the learning effects of the STEAM education using open source softwares in terms of students' interesting and attitudes toward science. *Secondary Education Research*, 60(4), 1105-1134.
- Kang, H., & Seo, H. (2013). The development and application of a life science based STEAM program for middle school gifted students. *Journal of Science Education for the Gifted*, 5(3), 162-173.
- Kang, N., Yoo, J., Byun, S., Lim, S., Oh, K., & Jeong, J. *et al.*, (2017). The effect of STEAM projects: Year 2016 analysis. Seoul, KOFAC.
- Kim, D., & Hong, S. (2014). The Development and application effects of convergence program for field trip and STEAM education related geology. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(2), 364-379.
- Kim, D. H., & Hong, S. H. (2014). STEAM program development and the application effect for the geological feature relation which can be executed at an indoors. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(3), 510-523.
- Kim, D. H., Ko, D. G., Han, M. J., & Hong, S. H. (2014). The Effects of science lessons applying STEAM education program on the creativity and interest levels of elementary students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(1), 43-54.
- Kim, D., & Koo, D. (2013). Development and application of elementary science IT convergence education program. *Korean Journal of Elementary Education*, 24(3), 119-138.
- Kim, G., & Choi, S. (2012). The effects of the creative problem solving ability and scientific attitude through the science-based STEAM program in the elementary gifted students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(2), 216-226.
- Kim, H., & Choi, S. (2013). The Effects on the STEAM learning program of intelligent life in elementary school. *Journal of Science Education*, 37(3), 550-561.
- Kim, H., & Choi, S. (2015). The Effects of the science inquiry and scientific attitude through the science-based PRIDE of STEAM program in the elementary science class. *Journal of Education & Culture*, 21(2), 137-158.
- Kim, J., & Hong, S. (2015). Development and effect of STEAM program on environment using smart equipment in elementary science. *The Environmental Education* 28(3), 178-192.
- Kim, M., & Choi, S. (2013). The Effects of the STEAM project-based learning on students' creative problem solving and science achievement in the elementary science class. *Science Education Research*, 37(3), 562-572.
- Kim, T., Yang, Y., & Kim, J. (2013). Kim, T., Yang, Y., & Kim, J. (2013). Development and Application of STEAM Education Program by Producing UCC - 2nd Graders in Elementary School. *Journal of the Korean Association of Information Education*, 17(3), 339-346.
- Kim, Y., Paik, S., Choi, S., Kang, N., Maeng, S., & Joung, Y. (2015). Analysis on the trends of science education studies related to students' science learning in Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(4), 751-772.
- Kim, J. W. & Won, H. H. (2014). The effect of creativity in STEAM education by meta-analysis in elementary school. *Journal of Educational Evaluation*, 27(4), 965-985.
- Kim, J. W. & Won, H. H. (2016). The effect of creativity in STEAM education by meta-analysis. *Korean Journal of Educational Research*, 54(2), 169-195.
- KOFAC (2018, July 17). About STEAM. Retrieved from https://steam.kofac.re.kr/?page_id=11269
- Ko, C., Kim, J., Jin, S., Cho, H., Jung, S., & Park, Y. (2016). The effects of STEAM programs applied the practical personality education on STEAM attitudes and practical personalities for elementary school students. *The Journal of Elementary Education*, 29(1), 1-22.
- Ko, E., & Hong, S. (2015). The development and application effects of STEAM program utilizing natural game for the ecosystem learning in elementary science. *Biology Education*, 43(4), 368-380.
- Korea Ministry of Education (2015). 2015 revised curriculum: science. Sejong-si: Author.
- Korea Ministry of Education (2018). Policy: focus, the fourth industrial revolution. Retrieved from <http://happydumoe.go.kr>
- Lee, D. (2015). Development of the G-STEAM program and its application with the application of project based learning: Focusing on 'Green City Project'. *Journal of the Association of Korean Geographers*, 4(2), 169-186.
- Lee, D., & Park, H. (2015). Method application of the G-STEAM integrated curriculum based on project-based learning -Dokdo to make space for sustainable development project as a focus on-. *Journal of the Association of Korean Photo-Geographers*, 25(1), 63-85.
- Lee, E., & Choi, Y. (2013). The Effect of the application of STEAM within the technology subject's information and communication technology unit on middle school students technological thinking disposition. *The Korean Journal of Technology Education*, 13(2), 128-155.
- Lee, S. (2012). Effects of STEAM-based environmental program for elementary school students' environmental literacy. *Korean Journal of Environmental Education*, 25(1), 66-76.
- Lee, S., Kwon, S., & Kwon, Y. (2015). Development of a convergence-oriented digital textbook on the structure and function of plant using iBooks Author. *Biology Education*, 42(4), 414-427.
- Lee, S., & Lee, H. (2013). The effects of science lesson applying STEAM education on the creativity and science related attitudes of elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(1), 60-70.
- Lee, W., & Kang, S. (2014). Creative and critical thinking skills-reinforced and STEAM-oriented teaching strategy of science for students' extracurricular activities through a junior high school intervention study program. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 18(2), 321-342.
- Lee, Y., & Cho, J. (2012). Development and application of STEAM education program based on topic-specific project. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 13(12), 5770-5775.
- Lee, Y., & Cho, J. (2012). Development and application of STEAM education program based on topic-specific project. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 13(12), 5770-5775.
- Lee, Y., & Cho, J. (2012). Development and application of STEAM education program based on topic-specific project. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 13(12), 5770-5775.

- Lee, Y., & Kim, S. (2012). The effects of the space perception ability scientific attitudes through the science-based STEAM astronomical learning program. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(3), 297-306.
- Lee, Y., & Kim, Y. (2012). The effects on the creative thinking and creative personality using the 'weather and our life' on science-based STEAM. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(2), 204-212.
- Lee, Y., & Son, J. (2016). Effects of PAE-STEAM-Environment program in Environment literacy and creative problem solving of elementary students. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 22(2), 15-31.
- Lim, K., & Kim, H. (2014). The effects of STEAM education on scientific inquiry skills of high school students. *Journal of the Korean society of earth science education*, 7(2), 180-191.
- Lim, Y., Min, B., & Hong, H. (2015). Development and Application Effect of Design-based STEAM Program for Boosting the Career Consciousness of 5~ 6th Grade Elementary School Students for Natural Sciences and Engineering. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(1), 73-84.
- Moon, S., & Hong, S. (2016). Effects of STEAM program utilizing marine organism on scientific inquiry activity and affective domains of elementary students. *Korean Journal of Teacher Education*, 32(2), 1-25.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oh, D., Bae, J., & Park, S. (2016). The Effects of science based enrichment STEAM gifted program on creative thinking activities and emotional intelligence of elementary science gifted students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 35(1), 13-25.
- Oh, J., Lee, J., & Kim, J. (2013). Development and application of STEAM based education program using scratch: Focus on 6th graders' science in elementary school. In *Multimedia and ubiquitous engineering*. The Journal of Korean Association of Computer Education, 15(3), 11-23.
- Park, H., & Shin, Y. (2012). Effects of science lesson applying STEAM education on self-efficacy, interest, and attitude towards science. *Biology Education*, 40(1), 132-146.
- Park, J., & Hyun, E. (2014). The effects of the education programs of integrating art with science and technology: Focusing on student's perceived learning achievement in science and technology. *The Korean Journal of Educational Methodology Studies*, 26(1), 137-161.
- Park, M., Kim, Y., & O, K. (2012). Effects of the Diagram-Drawing Learning Method on the Science-Related Attitudes of the Middle School Students. *Teacher Education Research*, 51(3), 390-402.
- Park, S. J., & Yoo, P. K. (2013). The effects of the learning motive, interest and science process skills using the 'Light' unit on science-based STEAM. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(3), 225-238.
- Park, S. (2013). The effects of STEAM program using storyline on elementary students' creative personality and science-related attitude. *Journal of the Korean Association of information Education*, 17(4), 487-496.
- Pigott, T. (2012). *Advances in meta-analysis*. New York: Springer Science & Business Media.
- Rhie, D., Kim, J., & Kim, J. (2015). Development and Application of STEAM Education Process Model for the 'Creative Design' Step of STEAM Learning Criteria. *Korea Institute of Technical Education*, 15(1).
- Rho, M. & Yoo, J. E. (2016). A meta-analysis on STEAM programs and science affective domains. *Journal of Educational Evaluation*, 29(3), 597-617.
- Park, H., Kim, Y., Noh, S. G., Lee, J., Jeong, J., Choi, Y. *et al.* (2012). Components of 4C-STEAM education and a checklist for the instructional design. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12(4), 533-557.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. New York: World Economic Forum.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63.
- Seong, S., & Shin, Y. (2015). The Effect of the STEAM Program for Career Education on Career Development of Elementary School Students. *The Journal of Education*, 35(1), 1-23.
- Son, J., Kim, J., & Kim, Y. (2014). Effects of astronomical STEAM program using co-teaching on self-directed learning attitude of elementary science gifted students. *Journal of the Korean earth science society* 35(7), 572-584.
- Song, J., Lee, M., & Park, S. (2015). Effectiveness of STEAM Program Using Thinking Maps on Elementary School Students. *The Journal of Elementary Education*, 28(3), 145-171.
- Viechtbauer, W., & Cheung, M. W. L. (2010). Outlier and influence diagnostics for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1(2), 112-125.
- The R Foundation (2018). *The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>. Accessed May 2, 2018.
- Yu, S., & Kim, T. (2013). The effects of the STEAM-based robot learning on the creativity of elementary IT-gifted students. *Korean Journal of Teacher Education*, 29(3), 219-236.
- Yang, J., & Hong, S. (2013). Effects of STEAM-based education program on environmental literacy and knowledge for effective micro organisms. *Korean Journal of Environmental Education*, 26(4), 423-440.
- Yang, J., & Hong, S. (2014). Development and application effects of STEAM program about flow of energy between organisms. *Biology Education*, 42(3), 249-264.
- Yoo *et al.* (2016). Development of "Movie Production Project" science-arts convergence STEAM program and its effects on elementary school students' Career orientation of science, Career Awareness and Creative Personality. *Journal of Science Education*, 40(1), 31-51.
- Yoon, H., & Kang, S. (2015). The Effect of integrated mind map activities on the creative thinking skills of 2nd year students in junior high school. *Journal of the Korean Chemical Society*, 59(2), 164-178.
- Yoon, J., Kim B., & Kim, J. (2013). The effects of T-STEAM program on interesr and academic achievement in middle school technology subject. *Korean Journal of Teacher Education*, 29(3), 157-175.

저자 정보

- 강남화(한국교원대학교 교수)
 이나리(한국교원대학교 학생)
 노민정(한국교원대학교 박사 후 연구원)
 유진은(한국교원대학교 교수)