Journal of Korean Society of Earth Science Education
15(2); 285~298; August 2022

pISSN: 2005-5668 eISSN: 2289-0386
https://doi.org/10.15523/JKSESE.2022.15.2.285

ORIGINAL ARTICLE

창의공학적 문제해결성향에 기여한 과학–공학 융합수업의 특성

이동영[1] · 남윤경[2*]
([1]부산 동궁초등학교 교사, [2]부산대학교 교수)

Characteristics of Science-Engineering Integrated Lessons Contributed to the Improvement of Creative Engineering Problems Solving Propensity

Dongyoung Lee[1] · Younkyeong Nam[2*]
([1]Busan Donggung Elementary School, [2]Pusan National University)

ABSTRACT

This study is to investigate the effects and characteristics of science and engineering integrated lessons on elementary students' creative engineering problem solving propensity (CEPSP). The science and engineering integrated lessons used in this study was a 10 lesson-hours STEM program, co-developed by University of Minnesota and Purdue University. The program was implemented in the 6th grade science class of H Elementary School located in P Metropolitan city. The main data of this study are the pre-post CEPSP result and interview with 5 students collected before and after the research. The CEPSP result was analyzed by a paired-sample t-test and hierarchical cluster analysis. As a result of the t-test, it was found that overall, the program has a positive effect on the students' CEPSP score. As a result of cluster analysis, it was confirmed that studnets' CEPSP could be classified into two groups (lower and higher score cluster). Five students whose, CEPSP score has significantly improved after the lessons were interviewed to find out what the characteristics of the program that contribute the significant change are. As a result of conducting centroid analysis of the interview transcription and the hybrid analysis method, it was found that the meaningful experiences that the five students commonly shared were 'problem solving through collaboration' and 'through repeated experiments (redesign)', problem solving' and 'utilization of scientific knowledge'. As minor reactions, 'choice of the best experimental method' and 'difference between science and engineering' appeared.

Key words : science-engineering integrated education, engineering design, semantic network analysis, degree centrality

Ⅰ. 서 론

현재 한국을 포함한 대부분의 선진국에서 융합적 문제해결 역량을 지닌 인재양성은 과학 교육의 중요한 목표 중 하나이다(이동영, 2022). 이에 따라 지난 10여 년간 주요 선진국들은 STEM 교육을 정책적으로 지원하고 있다. 한국과학창의재단(2012)에 따르면 미국은 STEM 펀드를 중심으로 STEM 교육을 지원하고 있고, 영국은 STEM Network를 조성하여 융합교육을 추진하고 있다. 이스라엘의 과학예술영재학교를 중심으로 융

Received 30 July, 2022; **Revised** 16 August, 2022; **Accpted** 22 August, 2022
***Corresponding author :** Younkyeong Nam, Pusan National University. 2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, 46241, Busan
E-mail : ynam@pusan.ac.kr
This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2022R1A2C1011366).

ⓒ The Korean Society of Earth Sciences Education. All rights reserved.
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.

합교육을 진행하고 있으며, 한국은 STEAM 교육을 교육과정에 편성하여 융합교육을 실시하고 있다. 우리나라는 2011년부터 교육과정에 STEAM 교육을 편성함에 따라(교육부, 2017), STEAM 교육 실행을 위한 교사 연수, 교사 연구회 운영, 연구 및 시범학교 운영, 프로그램 개발 및 보급 등 다양한 정책적 지원을 시행하고 있다. 또한 2020 과학교육 종합계획(교육부, 2020)에 제시된 바와 같이 미래 과학교육에서 과학-기술-공학 융합교육의 중요성은 더욱 강조되고 있다.

다른 선진국에서 실시되는 STEM이나 Integrated STEM 교육은 한국 STEAM 교육과 그 추구하는 중심 가치 측면에서 차이를 보인다(이동영과 남윤경, 2018). STEM 교육이나 Integrated STEM 교육은 공학적 문제해결을 중심으로 이공계 흥미 증진 및 여학생과 소수민족을 포함한 모든 학생들의 STEM 진로 준비 등, STEM 계열 직업 장려와 전문성의 향상을 그 중심 가치로 두고 있다(박현주 외, 2012). 반면 STEAM 교육은 학습자들의 흥미 증진과 실생활과 연계된 교육 상황제공, 학습자들의 창의성 증진 등을 그 중심 가치로 두고 있다(백윤수 외, 2012; 이상균과 이하룡, 2013; 최은영 외, 2017),

이러한 차이는 각국의 STEM 교육 등장 배경과 그 정당성이 달랐기 때문이다. 예를 들어 미국의 STEM 교육은 국가 경쟁력에 대한 위기의식에서 출발하였다. 투입되는 교육비에 비해 국제비교연구 결과가 부진한 점을 STEM 분야 국가 경쟁력 약화의 원인으로 파악하고 국가학업수준의 경쟁력 확보를 위해 STEM 학업성취도와 진로선택, 전문성 향상을 중심에 두고 있으며, 과학에서 공학적 문제해결을 핵심적 교수법으로 채택하여 국가교육과정에 포함하였다. 이에 비해 한국의 경우 국제비교 연구에서 과학과 수학의 국가학업수준은 최상위권이나 과학 수학에 대한 자기효능감과 자신감이 최하위인 양극단적 상황을 극복하기 위해 STEAM 교육을 정책적으로 도입하였다. 따라서 STEM 분야에 대한 흥미와 창의성 증진을 중점 가치로 두게 되었다(심재호 외, 2015).

그 결과 STEM 교육 연구는 STEM 교육에 대한 사회 전반적 관심과 국가적 차원의 정책적 지원에 힘입어 공학적 문제해결력을 중심으로 한 교육내용과 방법, 교육철학, 교사 재교육, 예산과 정책 방향성, 학부모 교육, STEM 진로 교육 등 다양한 주제에 대해 진행되고 있지만, STEAM 교육 연구는 프로그램의 개발과 적용, 흥미와 태도 변화에 중점을 둔 효과성 검증에 집중되어 있다(김민철, 2013). 더욱이 이동영과 남윤경(2018)은 국내 76개의 STEAM 프로그램 분석을 통해 STEM 교육의 핵심으로 다루어 지는 공학설계 및 문제해결에 중점을 둔 STEAM 프로그램이 전체의 5%미만로 매우 부족하다는 것을 보여 주었다.

지금까지 국내 많은 STEAM 관련 연구들은 융합교육의 중심가치가 문제해결력에 있어야 한다고 주장해 왔다(백윤수 외, 2012; 최은영 외, 2017; 박현주 외, 2012; 교육부, 2017; 이동영, 2022). 하지만 교육과정에서 교수법으로써의 공학설계의 중요 요소들을 포함하지 않으며, 체계적인 방법이나 지침에 대해서는 안내하지 않고 있기 때문에(이동영과 남윤경, 2018), 안타깝게도, STEAM 교육프로그램에서 문제해결력, 즉 공학적문제해결력을 주요 목적으로 다루는 경우는 드물었다. 더욱이, 이러한 공학적 문제해결력에 영향을 미치는 요인으로 STEAM 프로그램이 가진 교수법적 특성에 대해 다루는 경우는 거의 없었다.

남윤경 외(2020)에 따르면 과학-공학 융합수업의 목적은 지식적 측면, 탐구적 측면, 정의적 측면으로 구분할 수 있다. 다시말해, 공학설계에 기반한 과학-공학 융합수업은 지식, 탐구, 정의적 측면에서 구체적인 교수법적 전략이 있어야 하며 이것이 궁극적으로 학습자의 공학적 문제해결력에 긍정적 영향을 미치는 요인으로 작용한다는 것이다. 이러한 교수법적 전략이 잘 설계되어 진 경우 과학-공학 융합수업 1) 과학지식의 연계를 통한 과학지식(개념)의 증진을 기대할 수 있으며, 2)탐구적 측면에서 공학설계를 통한 융합적 문제해결력과 융합적 사고력 증진, 그리고 3) 팀웍과 토론을 통한 공학자적 마음가짐/공학윤리와 의사사통 능력을 기를 수 있다는 것이다(Guzey *et al.*, 2014; Pinnell *et al.*, 2013; Moore *et al.*, 2014; Nam *et al.*, 2016; Nam *et al.*, 2020; Roehrig, 2017).

따라서 본 연구에서는 공학 설계에 기반한 과학-공학 융합수업이 적용하고, 이러한 수업의 효과로 학생들의 창의공학적 문제해결성향의 변화를 확인하고자 한다. 뿐만 아니라 과학-공학 융합수업의 어떤 특성이 학습자의 창의공학적 문제해결성향 증진에 긍정적인 영향을 미치는지 지식, 탐구, 정의적 측면에서 창의공학적 문제해결성향이 유의미하게 증가한 학생을 대상

으로 그 특성을 탐구하고자 한다.

본 연구의 목적을 위한 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 과학-공학 융합수업이 초등학교 학생들의 '창의적 공학문제해결 성향'에 어떠한 영향을 미치는가?

둘째, '창의공학적 문제해결성향'의 세부 요인에 따라 학생들은 어떤 성향으로 분류되는가?

셋째, 학습자들의 창의공학적 문제해결성향에 긍정적 영향을 준 과학-공학 융합수업의 특성을 무엇인가?

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 배경 및 순서

본 연구는 과학-공학 융합수업이 학생들의 '창의공학적 문제해결성향'에 어떤 영향을 미치는지 알아보고, 학생들은 '창의공학적 문제해결성향'에 따라 어떻게 분류되며, 분류군이 변동된 학생들은 어떤 경험을 하였는지 알아보기 위해 진행되었다. 본 연구의 순서는 Fig. 1과 같다.

2. 연구대상 및 검사도구

본 연구는 P 광역시에 위치한 H 초등학교 6학년 학생 24명을 대상으로 이루어졌다. 이 학생들의 성비 구성은 남 10명, 여 14명으로 이루어 져 있다. 수업처치에 사용된 과학-공학 융합수업은 미국과학재단의 지원을 받아 미국 미네소타대학과 퍼듀대학에서 제작하여 배포한 10차시의 프로그램(Planet Andoddin)(EngrTEAMS, 2017)을 한국 실정에 맞도록 번안/수정 하여 사용하였으며, 실험처치는 2개월에 걸쳐 이루어졌다. 프로그램의 내용은 새로운 행성인 안도닌(Andoddin)에 착륙한 연구원들이 행성의 자원(철, 돌, 나무 등)을 채취하기 위하여 자연 환경을 조사하고, 환경 파괴를 최소화하는 조건을 유지하며 최대의 자원을 채취하기 위해 계획을 세우고, 자원 채취 도구를 제작하고, 모형 행성에서 실제로 자원을 채취해 보는 활동으로 이루어 져 있다.

사전·사후에 학생들의 창의공학적 문제해결성향을 알아보기 위하여 강주원과 남윤경(2016)이 개발한 '창의공학적 문제해결성향 검사지'를 활용하였다. 이 검사지는 '동기', '공학 설계', '공학적 사고 습관', '공학과 공학자', '소통 및 협업 능력'의 5개 요인, 28개 문항으로 이루어진 검사지로 전체 Cronbach' α 값은 .906, 동기 요인 .733, 공학적 사고 습관 .892, 공학 설계 .797, 공학과 공학자 .765, 소통 및 협업 능력은 .846으로 보고되어 있다.

3. 자료수집 및 분석

사전·사후 검사 결과 수집된 자료는 SPSS 21.0을 이

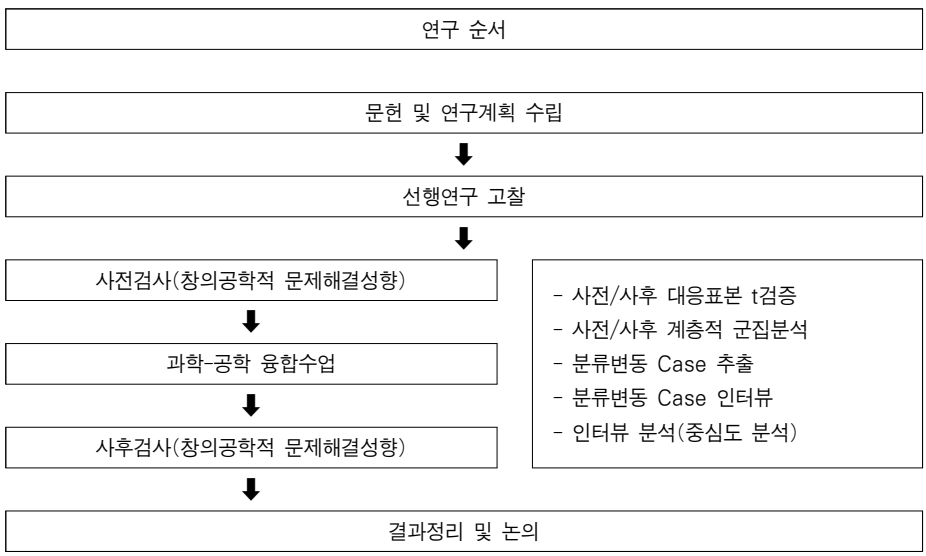


Fig. 1. Research process

용하여 대응표본 t 검정을 실시하였다. 이를 통하여 먼저 학생들의 창의공학적 문제해결성향의 향상 여부를 확인하였다. 다음으로 창의공학적 문제해결성향 점수에 기반하여 계층적 군집분석을 실시하여 분류군의 개수를 확정하고 각 분류군의 성질을 규명하여 사전 분류군과 사후 분류군의 개별 Case들을 비교하였다. 분류군의 특성과 중심축의 이동 과정, 그리고 개별 사례들의 변화 양상을 확인 후, 분류군이 다르게 확인된 5개의 사례를 대상으로 과학-공학 융합수업 과정에서의 학습 경험에 대해 반 구조화된 인터뷰를 실시하였으며, 이들이 겪은 경험의 공통점을 찾아내기 위해 인터뷰 내용을 전사하였으며, 전사한 내용을 분석하기 위하여 Netminer 4.0을 활용하여 언어 네트워크 분석(Semantic Network Analysis)방법 중 한 가지인 '중심도 분석(Degree of Centraltiy)을 실시하였다. 분석 결과는 Kamada and kawai(1989)의 시각화 방법을 활용하여 시각화하였으며, 시각화 내용에 대한 해석은 하이브리드 분석 방법(박치성과 정지원, 2013)에 따라 질적 데이터와 함께 해석하여 그 의미를 추출하였다. 추출된 의미를 유형에 따라 분류하여 학습자들이 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 경험을 정리하였다. 이를 통해 5개의 사례가 공통적으로 경험한 것은 무엇인지를 밝히고, 사례별 특이점에 대해서도 밝힐 수 있도록 하였다. 학습자들의 공통적인 경험은 남윤경 외(2020)에서 제시한 지식, 탐구, 정의적 측면에서 교수법적 특성과 연관지어 분석하였으며, 사례별 특이점은 질적 데이터와 함께 제시하도록 하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 과학-공학 융합수업이 초등학교 학생들의 '창의공학적 문제해결성향'에 미치는 영향

모수 검정을 위해 사전, 사후 창의공학적 문제해결성향 검사 데이터의 정규성을 SPSS 23.0을 활용해 검정하였다. 정규성 검정 결과, 사전 데이터의 왜도는 .173, 첨도는 .751로 나타났으며 사후 데이터의 왜도는 .398, 첨도는 0.96으로 나타났다. 또한 Shapiro-Wilk의 정규성 검정 유의확률 결과는 사전 .67, 사후 .76으로 정규성을 충족시키는 것을 확인하였다. 데이터의 정규성이 확인 되었으므로, 과학-공학 융합수업이 연구대상 학생들의 창의공학적 문제해결성향에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대응표본 t검증을 실시한 결과는 Table 1과 같다.

검정 결과를 살펴보면, 전체 요소는 p=.000으로 유의미한 변화가 나타났으므로, 본 연구에서적용한 과학-공학 융합수업은 초등학교 학생들의 '창의공학적 문제해결성향'에 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단할 수 있다. 세부요인을 살펴보면, 공학설계, 공학적 사고습관, 공학과 공학자, 소통 및 협업능력의 4개 요인에서 p<.05로 역시 유의미한 변화를 관측할 수 있으며, 동기 요인에서는 p=.152로 유의미한 변화가 나타나지 않았다.

Table 1. Result of t test for creative engineering problem solving propensity

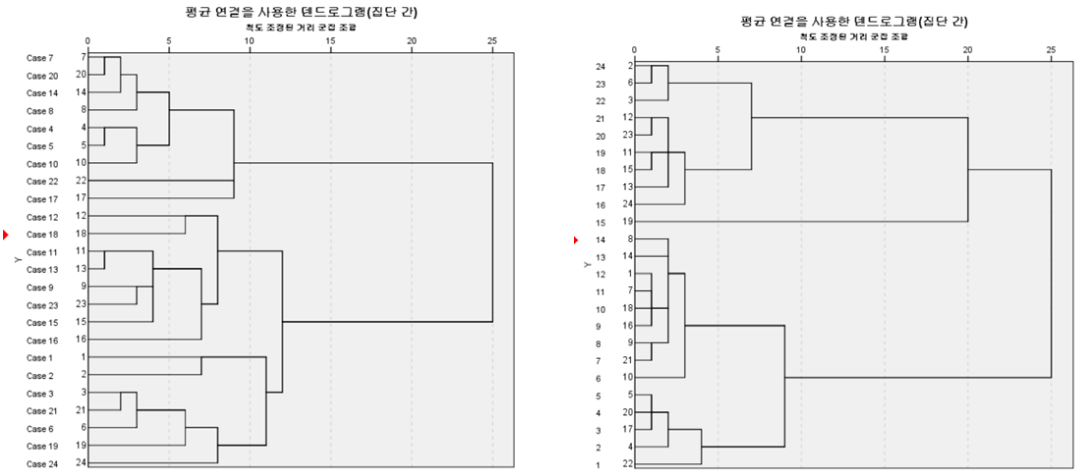
구분	집단	N	M	SD	*t*	*p*
동기	pre	24	3.63	.828	-1.480	.152
	post	24	3.82	.873		
공학 설계	pre	24	4.06	.591	-4.423	.000
	post	24	4.52	.450		
공학적 사고습관	pre	24	3.85	.473	-2.500	.020
	post	24	4.04	.532		
공학과 공학자	pre	24	3.37	.908	-2.876	.009
	post	24	3.73	.712		
소통 및 협업능력	pre	24	4.42	.410	-2.473	.021
	post	24	4.66	.560		
전체	pre	24	3.93	.475	-5.055	.000
	post	24	4.21	.468		

2. '창의공학적 문제해결성향'의 세부 요인에 따른 학생의 성향 분류 결과

과학-공학 융합수업이 학생들의 '창의공학적 문제해결성향'의 분류에 어떤 영향을 미치는지에 대해 알아보기 위해 '창의공학적 문제해결성향' 의 각 요소를 변인으로 하여, 사전과 사후, 각각 계층적 군집분석을 실시하였다. 집단 간 연결법을 활용한 등간 측도(제곱-유클리디안 거리)를 이용하여 소속 군집수를 지정하지 않고 계산하여 군집의 개수와 특징을 도출하였다. 사전과 사후 각각 2개의 군집으로 분류되었으며, 각 군집의 분류 과정에서 나타난 덴드로그램은 Fig. 2와 같다. 사전과 사후 검사 모두, 초기 군집중심으로부터 10회 반복계산 후 군집중심이 도출되었으며, 사전의 군집중심간 거리는 10.825, 사후의 군집중심간 거리는 10.205로 선명하게 두 집단으로 분류됨을 확인할 수 있었다. 덴드로그램 분석 결과, 사전과 사후 모두 두 집단으로 분류되는 것이 타당함을 확인할 수 있었으며, 분산분석 결과, 분류적합도 또한 타당한 것으로 나타났다. 분류적합도를 판단하는 분산분석 결과는 Table 2와 같다.

덴드로그램 분석 결과, 사전과 사후 모두 두 집단으로 분류되는 것이 타당함을 확인할 수 있었으며, 분산분석 결과, 분류적합도 또한 타당한 것으로 나타났다. 분류적합도를 판단하는 분산분석 결과는 Table 2와 같다. 이렇게 2개 군으로 분류된 집단의 군집중심은 Table 3과 같다. 군집 중심의 특징을 살펴보면, 사전과 사후 모두 군집1은 군집2에 비하여 전체적인 '창의공학적 문제해결성향'이 일관되게 낮은 특성을 확인할 수 있다.

따라서 연구자들은 군집 1을 '저이해군', 군집 2를 '고이해군'으로 명명하여 분류하기로 결정하였다. 이는 사전 검사와 사후 검사에서 동일하게 확인할 수 있는 부분으로, 사후 검사에서도 군집의 성향 자체는 변



군집분석 결과(Pre) 군집분석 결과(Post)

Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis(pre-post data)

Table 2. Result of analysis of variance for classification relevance

분산분석													
	군집		오차		F	유의확률		군집		오차		F	유의확률
	평균제곱	자유도	평균제곱	자유도				평균제곱	자유도	평균제곱	자유도		
전동기	69.34	1	3.29	22	21.046	.000	후동기	79.85	1	3.55	22	22.495	.000
전설계	80.27	1	9.52	22	8.428	.008	후설계	51.01	1	5.34	22	9.542	.005
전사고	279.13	1	6.26	22	44.557	.000	후사고	313.29	1	9.83	22	31.861	.000
전공학자	165.37	1	6.30	22	26.246	.000	후공학자	72.63	1	5.19	22	13.976	.001
전소통	65.02	1	3.40	22	19.091	.000	후소통	90.68	1	7.69	22	11.783	.002

Table 3. Cluster center analysis results

Pre 군집중심			Post 군집중심		
	군집			군집	
	Pre1(저이해)	Pre2(고이해)		Post1(저이해)	Post2(고이해)
전동기	10	13	후동기	9	13
전설계	23	27	후설계	25	28
전사고	32	39	후사고	32	39
전공학자	11	17	후공학자	13	16
전소통	25	29	후소통	26	30
학생수	15	9	학생수	10	14

Table 4. Cluster classification and movement by case

Pre			Post		
케이스 수	군집	거리	케이스 수	군집	거리
1	저	5.439	1	고	3.932
2	저	7.388	2	저	5.347
3	저	3.897	3	저	5.221
4	고	4.998	4	고	7.425
5	고	4.711	5	고	6.506
6	저	5.278	6	저	4.501
7	고	2.724	7	고	5.434
8	고	2.683	8	고	2.435
9	저	4.904	9	고	4.098
10	고	3.783	10	고	6.816
11	저	3.631	11	저	7.128
12	저	6.864	12	저	3.963
13	저	3.713	13	저	6.661
14	고	3.296	14	고	3.846
15	저	4.918	15	저	5.728
16	저	6.120	16	고	4.626
17	고	6.323	17	고	5.202
18	저	7.334	18	고	2.839
19	저	7.928	19	저	8.181
20	고	3.540	20	고	4.305
21	저	3.510	21	고	4.633
22	고	5.172	22	고	6.971
23	저	3.223	23	저	4.005
24	저	6.392	24	저	5.541

하지 않은 것을 확인할 수 있다. 또한 '창의공학적 문제해결성향'의 대부분 요소들은 사전과 사후에 군집을 막론하고 모두 군집의 중심의 값이 상승하는 방향으로 변했다는 것을 확인할 수 있었으나, 동기 요소는 저이해군의 군집중심의 값이 하락한 것을 확인할 수 있으며, 이는 저이해군의 전체적인 동기 감소에 따라 t-test의 동기 요소가 향상되지 못한 결과의 직접적인 증거라고 할 수 있다.

또한 연구자들은 사전과 사후 검사에서 '저이해군'과 '고이해군'의 사례 수 변화를 확인할 수 있었다. '저이해군'으로 분류된 사례는 사전검사에서 15명으로 확인되나 사후검사에서는 10명으로 확인되었으며, '고이

해군'으로 분류된 사례는 사전검사에서 9명으로 확인되나 사후검사에서 14명으로 확인되었다. 이는 과학-공학 융합수업이 학습자들 중 일부를 '창의공학적 문제해결성향'을 '저이해군'에서 '고이해군'으로 변화시키는데 영향을 주었을 수 있다는 가능성을 의미한다고 판단하였고, 개별 사례들에 대한 직접적인 연구가 추가로 필요하다고 판단하였다. 개별 사례별 분류 결과 및 중심거리는 <Table 4>와 같다.

개별 사례들을 확인해 본 결과, 케이스 1, 케이스 9, 케이스 16, 케이스 18, 케이스 21 등 총 5명의 학생이 '저이해군'에서 '고이해군'으로 군집이 변화된 것을 확인할 수 있었다. 이러한 군집 변화의 이유를 탐색하기 위하여 연구자들은 5개의 사례들에 대하여 추가 연구를 진행하기로 하였다.

3. 학습자들의 창의공학적 문제해결성향에 긍정적 영향을 준 과학–공학 융합 수업의 특성 추출 및 분석

과학-공학 융합수업 과정에서 분류군이 변화한 5개의 케이스에 해당하는 학생들에 대하여 사후 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰의 방법은 반 구조화된 인터뷰로 일부 질문은 미리 정하여 인터뷰를 실시하고, 추가적으로 대상이 발언하고자 하는 내용에 대해서는 융통성 있게 인터뷰의 질문과 내용을 추가하는 형태로 진행하였다. 인터뷰를 위해 사전에 준비한 질문은 공학문제해결 과정의 필요성과 장점, 효과, 공학문제해결 과정에서 필요한 요소와 인식, 과학과 공학의 차이점 등 총 7문항이며, 응답하지 않은 문항에 대해서는 응답을 추가로 요청하지 않았다.

응답한 내용은 모두 전사하여 기록하였으며, 언어 네트워크 분석(Semantic Network Analysis)방법 중 중심도 분석(Degree Centrality)을 실시하였다. 분석을 위하여 전사 데이터는 총 3차에 걸쳐 클렌징 작업을 거쳤으며, 비교적 소량의 데이터임을 활용하여 문맥과 의미를 손상시키지 않는 범위 내에서 유사어에 대한 통일 작업을 진행하였다. 총 26개의 어휘를 분해/합성하여 의미단위를 완성하였으며, 사전에 고정시키는 작업을 통하여 노드 추출이 원활이 이루어 질 수 있도록 하였다. 분석 결과는 Kamada & Kawai(1989)의 시각화 Spring을 활용하여 시각화하였으며, 하이브리드 분석 방법(박치성과 정지원, 2013)에 따라 내용을 분석하였다. 분석된 결과는 Fig. 3부터 7까지 표현하였다.

Case 1(김OO1)의 경우, 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 주된 경험을 1. 협업을 통한 문제해결, 2. 반복실험(재설계)을 통한 문제해결, 3. 과학 지식의 활용, 4. 최선의 실험방법 선택으로 보고하였다. 협업을 통한 문제해결 과정에서는 타인의 아이디어를 수용하는 과정과 본인의 아이디어를 주장하는 과정을 토론을 통하여 실시하였다고 보고하였다. 반복실험(재설계)을 통

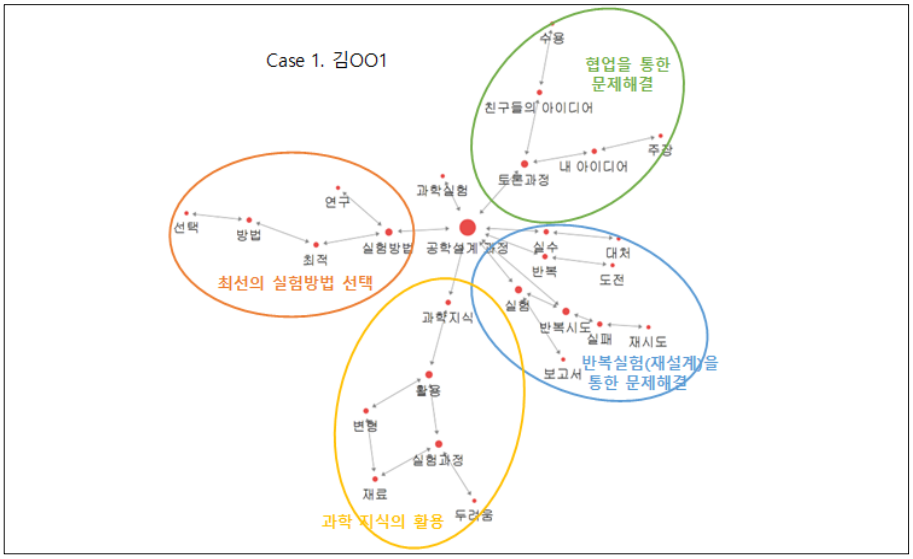


Fig. 3. Hybrid analysis result of degree centrality analysis(Case 1)

한 문제해결 과정에서는 실수에 대한 대처와 실험 실패의 경우 재시도를 할 수 있었다고 보고하였고, 과학 지식의 활용에 대해서는 재료를 변형시켜 문제 해결에 활용하였다고 언급하였으며, 실험과정에 대한 두려움에 대해 보고하였다. 최선의 실험방법 선택 과정에 대한 경험은 실험 방법 선정 과정에서 최선의 방법을 선택하기 위해 실험 방법에 대해 연구하였다고 언급하였다. Case 1이 보여준 특이점은 다른 피험자들과는 다르게 최선의 실험방법 선택 과정에 대해 언급한 내용이 존재한다는 것이다.

Case 1에서 특이점으로 보고된 최선의 실험방법 선택과 관련된 원문은 아래와 같다.

> "어.... 문제를 풀려고 실험 방법을 막 이야기 했는데 여러 가지가 있는데.... 나온 것들 다 연구해 보고 최선? 이라고 이야기 된 방법을 골랐어요"

Case 9(김OO2)의 경우, 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 주된 경험을 1. 협업을 통한 문제해결, 2. 반복실험(재설계)을 통한 문제해결, 3. 과학 지식의 활용으로 보고하였다. 협업을 통한 문제 해결 과정에서는 토론을 통해 의견을 조율하고 아이디어를 공유하였으며, 이 과정에서 다툼이 감소하였다고 보고하였다. 과학 시직의 활용 과정에서는 본인의 지식을 활용하여 혼합물을 분리하였다고 보고하였으며, 반복실험(재설계)를 통한 문제해결 과정에서는 처음 실험에 실패하였으며, 오류가 발생하여 보완할 점을 탐색하였고, 실험 과정에서의 문제점을 찾아냈다고 보고하였다. 이후 효율적인 방법을 고안하여 재설계 과정에서 실험을 성공하였다고 보고하였다. 학습자는 이 두 경우를 분리하여 언급하는 것으로 드러났다. Case 9가 보여준 특이점은 반복실험(재설계)를 통한 문제해결 과정을 2가지 종류(첫 번째 실험과 두 번째 실험)로 구분하여 인식하고 자세하게 언급하였다는 점이며, 갈등(다툼)이 감소되었다는 것을 보고하였다는 것이다.

Case 9에서 특이점으로 보고된 갈등(다툼) 감소와 관련된 원문은 아래와 같다.

> "음…. 아… 그 잘은 모르겠는데 친구들이랑 토론해 보면서 예전에는 토론에서 좀 싸웠었거든요, 근데 토론을 많이하다 보니까 좀 나아진 것 같아요."

Case 16(윤OO)의 경우, 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 주된 경험을 1. 협업을 통한 문제해결, 2. 반복실험(재설계)를 통한 문제해결, 3. 과학 지식의 활용으로 보고하였다. 협업을 통한 문제해결 과정은 친구를 중심으로 펼쳐졌으며, 토론을 통해 아이디어를 공유하고, 친구들과 직접적 상호 작용을 진행한 것을 보고하였으며, 다툼이 감소된 것을 언급하였다. 반복실험(재설계)를 통한 문제해결 과정에 대해서는 실패와 실수가 있었을 때 재시도하였다는 것을 언급하였으며, 활동 시간에 대해 언급하였다. 과학 지식의 활용에 관련

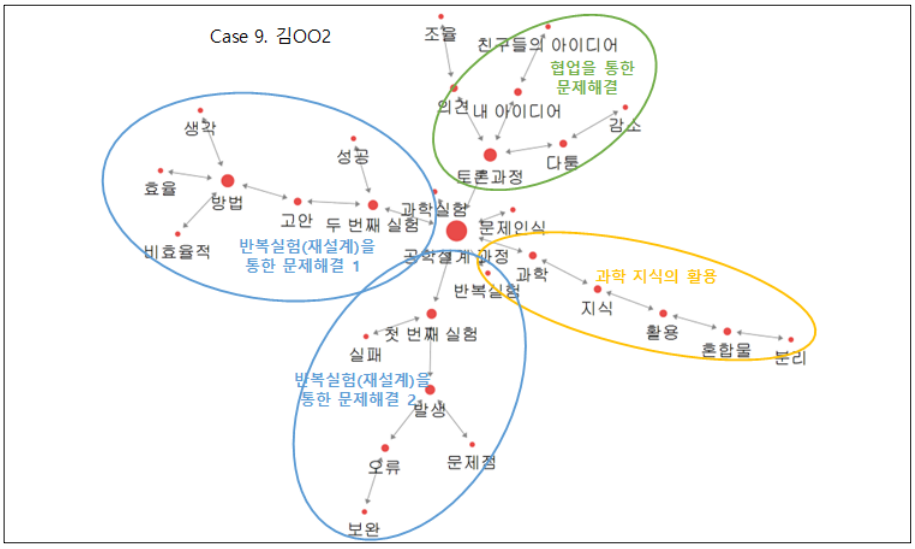


Fig. 4. Hybrid analysis result of degree centrality analysis(Case 9)

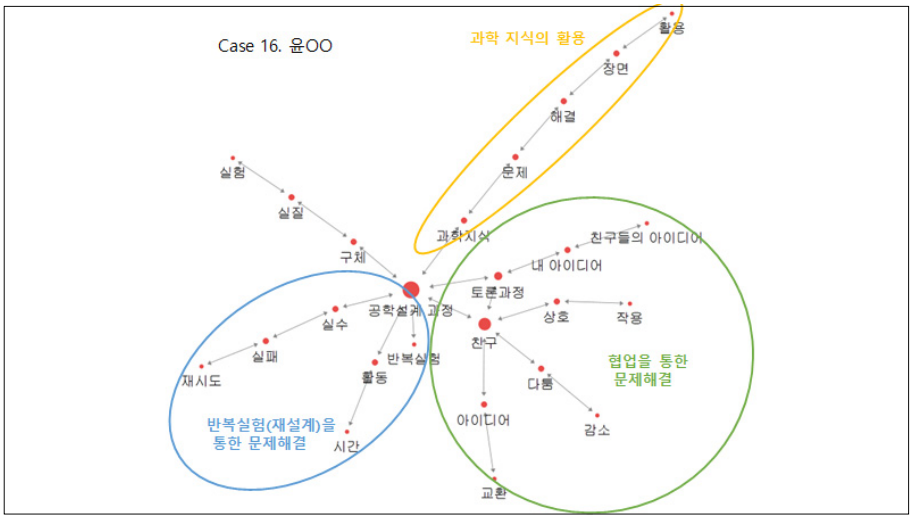


Fig. 5. Hybrid analysis result of degree centrality analysis(Case 16)

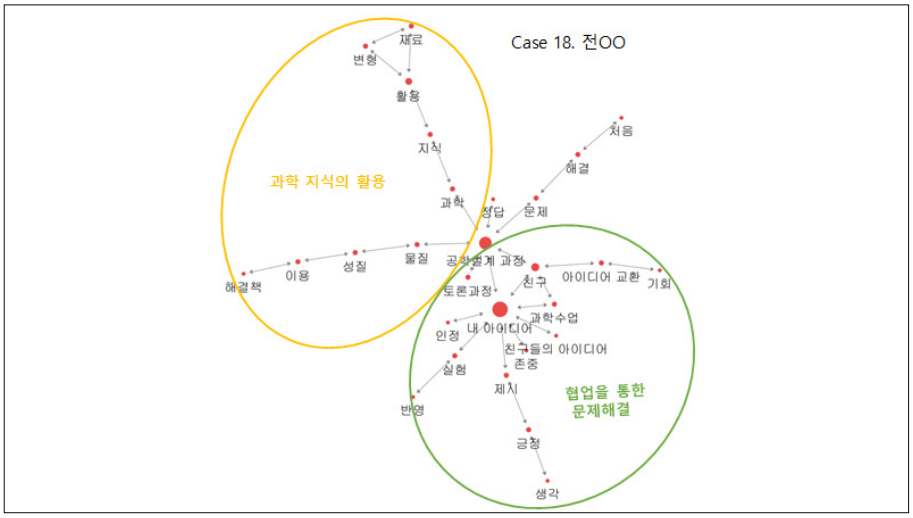


Fig. 6. Hybrid analysis result of degree centrality analysis(Case 18)

된 보고에서는 문제 해결 장면에서 과학지식을 활용하였다고 보고하였다. Case 16의 특이점은 갈등(다툼)이 감소되었음을 보고하였으며, 실수(실패)에 대한 불안감이 감소되었음을 보고하였다.

Case 16에서 특이점으로 보고된 실수(실패)에 대한 불안감 감소와 관련된 원문은 아래와 같다.

> "그리고 여러 번 실험을 해 볼 기회가 있어서 실수해도 괜찮은게 좋아요. 실수하면 안되고 한반에 답을 찾아야 한다는 부담감이 없어서 좋아요"

Case 18(전OO)의 경우, 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 주된 경험을 1. 협업을 통한 문제해결, 2. 과학지식의 활용으로 보고하였다. 협업을 통한 문제해결 과정은 피험자의 아이디어를 중심으로 전개되었으며, 친구들과 아이디어를 교환하는 과정과, 본인의 아이디어가 실험에 반영되었다는 사항에 대한 긍정적 언급들을 확인할 수 있었다. 이 과정을 통해 친구들의 아이디어 또한 존중할 수 있었다고 보고하였다. 과학 지식의 활용에 대해서는 재료를 변형시켜 문제 해결에 활용하였으며, 물질의 성질을 이용하여 해결책을 고안하였다고 보고하였다. Case 18의 특이점은 피험자의 아이디어가 모둠 학습자들에게 수용되는 과정에 대한 긍정적 언급이 매우 강하게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

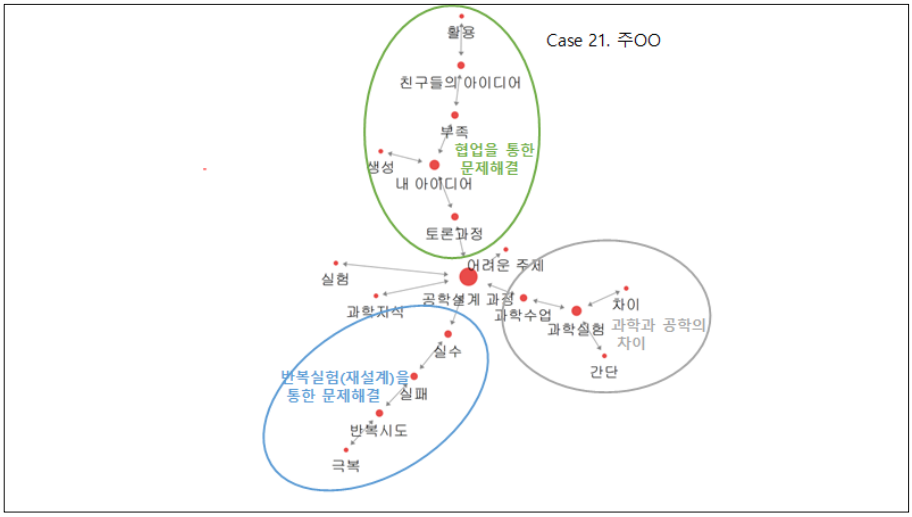


Fig. 7. Hybrid analysis result of degree centrality analysis(Case 21)

Case 18에서 특이점인 피험자 아이디어의 수용에 대한 긍정적 발언과 관련된 원문은 아래와 같다.

> "그리고 내 생각에 대해서도 실험해 보는 것이 좋았어요.. 과학시간에는 맨날 내 생각은 실험 못해봤는데 이건 여러 번 할 수 있으니까 내 생각도 실험이 가능해서 좋았어요"

Case 21(주OO)의 경우, 과학-공학 융합수업 과정에서 겪은 주된 경험을 1. 협업을 통한 문제해결, 2.반복실험(재설계)를 통한 문제해결, 3. 과학과 공학의 차이로 보고하였다. 협업을 통한 문제해결 과정은 피험자의 부족한 아이디어를 친구들의 아이디어를 활용하여 극복하였으며, 본인의 아이디어를 형성할 수 있었다고 보고하고 있다. 또한 반복실험(재설계)를 통한 문제해결 과정에서는 실수와 실패를 반복시도를 통해 극복하였다고 보고하였다. 과학과 공학의 차이는 실험의 측면에서 제시하였는데, 과학실험이 공학설계 과정의 실험에 비해 비교적 간단하다고 보고하였다. Case 21의 특이점은 실수(실패)의 부담감이 감소하였다고 보고하였으며, 아이디어 생성에 대한 방법으로 협업을 제시하였다. 또한 과학과 공학의 차이에 대해 언급하였다.

Case 21에서 특이점으로 보고된 아이디어 생성에 대한 방법으로의 협업에 대한 원문은 아래와 같다.

> "처음에 일단 머리에 아이디어 같은게 잘 없었는데 하고나니까 쪼끔씩 생긴…. 주변에 일어나는 일들에 대해서…. 잘 모르는 주제에 대해서도 계속 해 보다 보니까 뭔가 조금씩 방법이 생각났어요.."

위의 내용을 간략하게 정리하면 Table 5 와 같다.

전체적으로 학습자들이 공통적으로 경험한 가장 중요한 요소는 '협업을 통한 문제해결'에 대한 경험으로 확인되었다. 모든 학습자들이 협업을 통한 문제해결 과정에 대해 보고하였으며, 이 과정에서 Case 9와 Case 16은 갈등이 감소되었다고 보고하였다. Case 18은 본인의 아이디어가 수용되는 것을 보고하였고 Case 21은 아이디어 형성 과정에서 협업이 중요한 역할을 했다고 보고하였다. 즉, 학습자들의 창의공학적 문제해결성향에 '협업을 통한 문제해결'과정이 중요한 요소로 작용한 것을 알 수 있다.

또한 '반복실험(재설계)를 통한 문제해결' 과정과 '과학 지식의 활용'도 중요한 요소로 확인되었다. 두 요인 모두 5명중 4명의 학습자들이 보고하였으며, '반복실험(재설계)를 통한 문제해결'은 실수(실패)를 극복한 경험에 대한 보고와 반복시도를 통한 문제해결의 경험에 대한 언급이 나타났다. 또한 '과학 지식의 활용'은 본인의 과학적 지식을 문제해결 과정의 구체적 장면에서 활용하여 문제를 해결하는데 직접적인 도움을 받았다는 다양한 종류의 보고들을 확인할 수 있었다.

이외에 피검자에 따라 '최적화 과정'이나 '프로토타입 제작과 문제(개선점) 발견', '과학과 공학의 차이'에 대한 경험들을 소수 보고하였으며, 이것은 학습자들의

Table 5. Characteristics of learners with changed clusters

과학-공학 융합수업의 목적의 세 가지 측면		Case 1	Case 9	Case 16	Case 18	Case 21
정의적 측면	협업을 통한 문제해결	O	O	O	O	O
탐구적 측면	반복실험(재설계)을 통한 문제해결	O	◎	O		O
지식적 측면	과학 지식의 활용	O	O	O	O	
	기타	최선의 실험방법 선택				과학과 공학의 차이
	특이점		반복실험 과정 2회로 분리 보고. 갈등 감소 보고	갈등 감소 보고. 실수(실패) 극복.	피험자 아이디어 수용에 대한 언급	실수(실패) 극복. 협업을 통한 아이디어 생성.

개별 특성이나 사전학습 상태, 학습 능력의 차이 등에서 비롯된 것으로 추측된다.

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구는 공학 설계에 기반한 과학-공학 융합수업을 적용하고, 수업의 효과로 학생들의 창의공학적 문제해결성향의 변화와 과학-공학 융합수업의 어떤 특성이 학습자의 창의공학적 문제해결성향 증진에 긍정적인 영향을 미치는지 탐구한 것이다. 창의공학적 문제해결성향이 유의미하게 증가한 5명의 학생 경험에 근거하여 을 식, 탐구, 정의적 측면에서 교수법적 특성 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 적용한 과학-공학 융합수업은 참여한 24명의 학생들의 '창의공학적 문제해결성향' 검사 결과를 사전과 사후에 비교한 결과 통계적으로 유의미한 변화가 나타났다(p=.000). 본 연구의 결과는 Moore *et al.*(2014)와 Glancy *et al.*(2017)의 공학설계를 적용한 과학 수업이 학습자들의 문제해결력과 공학적 사고력에 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과와 유사하다고 할 수 있다. Roehrig *et al.*(2017) 또한 공학설계를 적용한 과학 수업이 학습자들에게 주어진 비정형화된 문제를 해결할 수 있는 능력을 해결하는데 도움이 된다고 밝히고 있으며, 국내연구에서도 이동영(2022)은 공학설계를 적용한 과학수업이 학습자들의 융합적 문제해결력을 향상시킨다고 밝혔다. 본 연구의 결과로 많은 선행연구에서 제시한 바와 같이 과학-공학 융합교육이 학습자의 공학적 문제해결력에 긍정적 영향을 미친다는 것을 다시 한번 더 확인 할 수 있다.

둘째, '창의공학적 문제해결성향' 검사 결과에 따라 학생들을 분류한 결과 세부요인에 따른 차이가 나타나지 않았으며, 전체 점수에 따라 학습자들이 '저이해'군과 '고이해'군으로 분류되는 것을 확인하였다. 군집중심의 성질을 분석한 결과, 두 집단은 모든 요인에서 '저이해'군이 '고이해'군에 비하여 응답범주의 평균이 유의미하게 낮은 것을 확인하였다. 사전과 사후 검사 결과 모두 동일하게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 사전 검사에서 저이해군으로 분류되었지만, 사후 검사에서 고이해군으로 분류된 5명의 피험자들을 확인하였다. 검사지의 세부 요인들에 따라 분류군이 형성되는 것이 아니라, 검사지의 전체 평균값을 기준으로 군집이 형성되는 것이 특징적이었다. 이러한 특징은 사전 검사 결과와 사후 검사 결과에 동일하게 나타났으며, 따라서 과학-공학 융합수업의 경험과는 무관하다고 판단된다.

셋째, 군집변화를 보인 5명의 학생들은 공통적으로 과학-공학 융합수업의 긍정적 경험으로 '협업을 통한 문제해결', '반복실험(재설계)를 통한 문제해결'. '과학 지식의 활용'에 대한 경험을 보고하였다. 이러한 경험들은 학습자들이 집단활동에서의 갈등(다툼) 감소, 실수(실패)의 극복, 피험자 아이디어에 대한 수용, 협업을 통한 아이디어의 생성 등을 경험할 수 있는 기반이 되었음을 의미한다. 남윤경 외(2020)은 공학설계의 목적을 3가지 범주(지식적, 탐구적, 정의적)로 제시하였고, 본 연구에

서 나타난 결과 또한 학습자들의 경험이 이러한 세 가지 범주에 해당되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 과학-공학 융합수업의 교수법적 특성이 잘 발현된 수업을 진행하는 경우 학생들은 남윤경(2020)에서 제안한 것처럼 지식, 탐구, 정의적 측면에서 의미있는 수업을 경험할 수 있으며, 이러한 경험이 학습자의 창의공학적 문제해결성향에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이것은 NGSS(2013)에서 말하는 공학설계의 세 가지 중심 가치와도 일맥상통한다. 많은 연구자들이 다양한 종류의 공학설계 모델을 제시하고 있지만(MDE, 2006; Hjalmarson & Lesh, 2008; Hynes *et al*., 2011; NGSS, 2013; Moore *et al*., 2014; Roehrig, 2017) 그 핵심 가치에 대한 주장은 변하지 않고 있다. 공학 설계의 가장 중요한 가치는 1)반복실험 및 재설계를 통한 최적화 과정, 2)과학 지식과의 연계, 3)상호작용 및 협업을 통한 문제해결이라는 중요한 의미(NASEM, 2018; NGSS, 2013; NRC, 2009; NRC, 2012; NRC, 2013)를 다시 한번 상기시켜주고 있다.

본 연구는 공학설계 과정을 경험한 학생들이 공학적 사고에 익숙해지고, 또 문제 해결 과정을 공학적으로 실행하는 경험을 통하여 창의공학적 문제해결성향이 향상되는 것을 보여준다. 창의공학적 문제해결성향의 응답 결과로 학습자들을 분류하여 보면, 특정 영역이나 특정 요인을 중심으로 군집이 구성되는 것이 아니라, 전체적인 평균을 중심으로 군집이 구성되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 창의공학적 문제해결성향은 개별 요인별로 인지되고 학습되는 것이 아니라 전체로 인지되고 학습되는 것이라는 의미이다. 또한 학습자들은 공학 설계 과정의 3가지 범주(지식적, 탐구적, 정의적)를 골고루 경험할 때 창의공학적 문제해결성향이 향상되는 특징을 나타냈다. 즉, 과학지식에 집중되거나 공학적 문제해결을 정확하게 경험할 수 없을 경우 학습자들의 공학적 문제해결력에 긍정적인 영향을 미치지 않을 수 있다. 한국창의재단에서 제시한 STEAM 수업틀은 창의적 설계를 중요한 수업의 단계로 제시하고 있지만 실제 개발되는 STEAM프로그램을 살펴보면 대부분 반복적 설계를 포함하는 공학적인 접근을 시도하지 않는 것을 확인할 수 있다(이동영과 남윤경, 2018). 본 연구는 과학-공학 융합수업의 학습의 효과를 높일 수 있는 핵심요소인 공학 설계(남윤경, 2022)를 적용하여 STEAM 융합수업이 개발될 때 의미있는 학습효과를 거둘 수 있음을 보여준다. 과학-공학 융합수업의 핵심요소를 포함한 공학설계 프로그램을 개발하고 적용할 수 있도록 교사재교육 및 구체적인 안내서가 보급되어야 하며, 학교 현장에서 교사들이 융합교육(STEAM)의 핵심요소인 공학설계가 융합적인 문제해결력 향상을 위한 핵심과정임을 인지하고 이를 적극적으로 과학수업에 적용한다면 학습자들의 창의공학적 문제해결성향은 물론, 한국 융합교육이 추구하는 다양한 가치들을 증진시키는데 기여할 것이다.

국문요약

본 연구는 공학 설계를 적용한 과학 수업이 참여 학생들의 창의공학적 문제해결성향에 미치는 효과를 알아보기 위한 연구이다. 본 연구에서 사용된 공학 설계를 적용한 과학 수업은 미국 미네소타대학과 퍼듀대학에서 공동 제작한 10차시의 프로그램을 번역하여 사용하였으며, P 광역시에 소재한 H 초등학교 6학년 24명의 학생들에게 적용하였다. 본 연구의 주요 데이터는 연구 사전과 사후에 수집한 창의공학적 문제해결성향 검사지이다. 창의적 공학문제해결력 검사는 대응표본 t-검증과 계층적 군집분석을 통해 분석하였다. t-검증 결과 공학 설계를 적용한 과학 수업은 전반적으로 참여 학생들의 창의공학적 문제해결성향에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 나타났다. 군집분석 결과 창의공학적 문제해결성향은 2가지 군으로 분류할 수 있다는 것을 확인하였으며, 5명의 학생의 경우 사전과 사후에 유의미한 차이로 성향(분류군)이 바뀐 것을 확인할 수 있었다. 군집의 변화가 생긴 5명의 학생들을 인터뷰하여 중심도 분석을 실시하고 하이브리드 분석 방법에 따라 해석한 결과, 학생들이 공통적으로 경험한 것은 '협업을 통한 문제해결'과 '반복실험(재설계)를 통한 문제해결', 그리고 '과학 지식의 활용'으로 나타났으며, 소수반응으로 '최선의 실험방법 선택'과 '과학과 공학의 차이' 등이 나타났다.

주제어: 과학-공학 융합 수업, 공학 설계, 언어 네트워크 분석, 중심도 분석

References

강주원, 남윤경(2016). 융합인재교육(STEAM)을 위한 창의공학적 문제해결성향 검사도구 개발. 대한지구과학교육학회지, 9(3), 276-291.

교육부(2017). 2015 개정 과학 교사용 지도서.

교육부(2020). 2020 과학교육 종합계획.

김민철(2013). 미국의 STEM 교육 정책과 한국의 STEAM 교육 정책의 비교. 전남대학교 석사학위논문.

남윤경(2022). 미래세대를 위한 과학 융합교육. 부산대학교출판문화원, pp. 106-108.

남윤경, 이용섭, 김순식(2020). 과학-공학 융합수업 준거틀 및 공학 설계 수준 제안. 대한지구과학교육학회지, 13(1), 121-133.

박치성, & 정지원. (2013). 텍스트 네트워크 분석: 사회적 인식 네트워크 (socio-cognitive network) 분석을 통한 정책이해관계자 간 공유된 의미 파악 사례. 정부학연구, 19(2), 73-108.

박현주, 백윤수, 심재호, 손연아, 한혜숙, 변수용, 서영진, 김은진(2014). STEAM 프로그램 효과성 제고 및 현장활용도 향상 기본연구. 한국과학창의재단.

백윤수, 박현주, 김영민, 노석구, 이주연, 정진수, 최종현(2012). 융합인재교육 (STEAM) 실행방향 정립을 위한 기초연구. 한국과학창의재단 연구보고서.

심재호, 이양락, 김현경(2015). STEM, STEAM 교육과 우리나라 융합인재교육의 이해와 해결 과제. 한국과학교육학회지, 35(4), 709-723.

이동영(2022). 공학설계기반 과학수업에서 성별과 공학설계 단계에 따른 학습자들의 융합적 문제해결력 및 상의성, 창의성 자기인식의 변화. 부산대학교 박사학위논문.

이동영, 남윤경(2018). 공학설계 측면에서 한국 STEAM 프로그램 분석틀 제안. 대한지구과학교육학회지, 11(1), 63-77.

이상균, 이하룡(2013). 프로젝트 기반 STEAM 프로그램 개발 및 적용 효과. 대한지구과학교육학회지, 6(1), 78-86.

최은영, 문병찬, 한광래(2017). 국내 융합인재교육(STEAM)의 연구 동향 분석. 대한지구과학교육학회지, 10(2), 185-198.

한국과학창의재단(2012). 손에 잡히는 STEAM 교육. 교육과학기술부.

Guzey, S. S., Tank, K., Wang, H. H., Roehrig, G., & Moore, T. (2014). A high-quality professional development for teachers of grades 3-6 for implementing engineering into classrooms. School Science and Mathematics, 114(3), 139-149.

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. 96-110). Routledge.

Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. NCETE.

Kamada, T., & Kawai, S. (1989). An algorithm for drawing general undirected graphs. Information Processing Letters, 31(1), 7-15.

Massachusetts, D. O. E. (2006). Massachusetts science and technology/engineering curriculum framework. Malden: Massachusetts Department of Education.

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, 4(1), 2.

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.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). Graduate STEM education for the 21st century. National Academies Press.

National Research Council. (2009). Engineering in K-12 education: Under standing the status and improving the prospects. Washington, DC: National Academies Press.

National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: National Academies Press.

National Research Council. (2013). Developing assessments for the next generation science standards. Washington, DC: The National Academy Press.

NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: The National Academy Press.

Pinnell, M., Rowly, J., Preiss, S., Franco, S., Blust, R., & Beach, R. (2013). Bridging the gap between engineering design and PK-12 curriculum development through the use the STEM education quality framework. Journal of STEM Education: Innovations and Research, 14(4), 28-35.

Roehrig, H. (2017. 1). A curricular framework for integrated STEM. In Chairperson Nam. Y. Science and Engineering Integrated STEM Education, Workshop Conducted at the Pusan National University, Pusan, South Korea.