



과학, 기술, 공학, 수학(STEM) 직종에 요구되는 핵심 역량 분석

장혜원*
한국교원대학교

Identifying Key Competencies Required for STEM Occupations

Hyewon Jang*
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 September 2018

Received in revised form

29 October 2018

10 December 2018

Accepted 11 December 2018

Keywords:

science and technology workforce, STEM education, career education, STEM competencies, key competencies

ABSTRACT

In modern society, as technology develops and industry diversifies, students can choose from a variety of career paths. Since science, technology, engineering, and mathematics require a longer education and experience than other fields, it is important to design science education policies based on the competencies required for science, technology, engineering, and mathematics (STEM) occupations. This study explores the definition of science and technology manpower and STEM occupations and identifies core competencies of STEM occupations using standard job information operated and maintained by the US Department of Labor (O*NET). We specially analyzed ratings of the importance of skills (35 ratings), knowledge (33 ratings), and work activities (41 ratings) conducting descriptive analysis and principal component analysis (PCA). As a result, core competencies of STEM occupations consist of STEM problem-solving competency, Management competency, Technical competency, Social service competency, Teaching competency, Design competency, Bio-chemistry competency, and Public service competency, which accounts for 70% of the total variance. This study can be a reference for setting the curriculum and educational goals in secondary and college education by showing the diversity of science and technology occupations and the competencies required for STEM occupations.

1. 서론

과학 기술의 중요성은 국가 경제 발전뿐만 아니라 사회, 문화, 복지 전반에서 강조되고 있으며, 우수한 과학기술 인력의 양성을 위한 과학, 기술, 공학, 수학(STEM: Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 교육 역시 중요성이 강조되어 왔다. 과학, 기술, 공학, 수학 분야는 다른 분야에 비해 오랜 교육과 경력을 필요로 하기 때문에(Jang & Kim, 2015) 과학기술 직종에 필요한 역량에 기반을 두어 과학교육정책을 설계하고, 학습자가 가진 능력과 적성에 맞는 과학기술 진로를 제시할 필요가 있다. 종래의 지식 교육으로는 21세기 사회에 적절하게 대응할 수 없다는 문제의식으로부터 역량 중심 교육에 대한 논의가 이루어져 왔다. 2015 개정 교육과정에서 학교 교육 과정 전반에 걸쳐서 길러져야 할 범교과적이고 일반적인 역량을 기술하였으며, 교과별로 규명할 수 있는 개별 교과 고유의 특수한 역량으로 교과 역량을 포함하였다(So, 2017). 과학과 핵심 역량은 과학적 사고력, 과학적 탐구능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력으로 모든 과학과 교육과정 지침에 공통으로 강조된다(Ministry of Education, 2015).

최근 과학기술의 변화와 경제 및 산업구조의 변화로 학생들을 직업 세계에 준비시킬 필요성이 고조되고 있다. 진로 교육은 모든 학생이 자신의 잠재력을 발견하고 발전시켜 그에 맞는 직업을 찾고 커리어를

만들어갈 수 있게 하므로 개인의 자아실현을 위한 행복 교육 실현을 위해 필요하다. 정부는 진로교육의 중요성이 증가함에 따라 2015년 6월 진로교육법을 공포하고 진로교육 5개년 계획을 수립하여 지원 체계를 확립하였다. 교육부는 초등학교에서는 진로 인식, 중학교에서는 진로 탐색, 고등학교에서는 진로 설계, 대학교에서는 진로 선택을 할 수 있도록 진로 교육 체계를 확립하고자 한다. 과학교육 내에서 진로 교육을 위한 노력도 이루어져 왔다. 초중등 학생들의 발달 단계별 과학진로교육 프로그램 연구와 자료 개발의 필요성을 인식하고 기초 자료 분석부터 프로그램 개발 및 적용까지 다양한 연구를 진행해왔다(Yoon, 2002; Kim *et al.*, 2008; Kim & Yoo, 2012; Shin *et al.*, 2016; Shin, Ha, & Lee, 2016; Ahn *et al.*, 2017). 그러나 과학기술이 발전하면서 산업의 규모가 커지고 직종이 세분되어 진로가 다양해지는 변화에 주목한 과학교육 연구는 없다. 학생들은 여전히 과학자는 '실험실에서 실험복을 입고 혼자 연구에 몰두하는 사람'으로 인식하고 있었으며, 과학 관련 직업을 접할 기회는 주로 미디어와 서적, 주변 사람들의 직업으로 한정되어 있었다(Yoon, Park, & Myeong, 2006).

과학기술 진로를 선택하게 하는 공통요인은 과학기술직업에 대한 인식이다(Jang, 2004; Seo, Jang, & Pereira-Mendoza, 2004). 중등학교 과학교사는 과학기술 직종의 다양성을 알고 학생의 흥미, 적성, 가치, 강점, 약점 등을 고려하여 진로 탐색을 안내할 수 있어야 할 것이다. 따라서 과학기술 직종을 탐색하고 이에 요구되는 역량 탐색

* 교신저자 : 장혜원 (hwjang@knue.ac.kr)

** 이 논문의 작성은 2016년도 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨(NRF-2016S1A5B5A02025245).

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.6.781>

이 필요하다. 이 연구는 과학 기술 직종의 정의를 탐색하고, 미국 직업 정보를 활용하여 과학기술 직종의 다양성을 탐색한다. 기존의 과학기술 인력정책연구는 연구 인력의 역량에 관심을 두었다(Lee *et al.*, 2005; Hong *et al.*, 2013; Hong, 2015). Hong *et al.*(2013)은 대학원생, 신진연구자, 중견 연구자로 구분하여 전문가 설문 및 인터뷰를 기반으로 과학 연구 인력에 요구되는 주요 역량을 도출하였으나 과학기술 연구 인력에 한정하였기 때문에 과학 기술 산업의 발전으로 인한 직업의 분화를 반영하지 못하였다. 2000년부터 정부는 능력 중심 사회를 위해 국가직무 능력표준(NCS: National Competency Standards)을 개발하여 산업현장에서 직무를 수행하는데 필요한 지식, 능력, 태도를 체계화하였다. NCS는 직업별 세부 지식과 기술, 학습모듈을 제공하여 대학 및 직업교육에 활용되고 있다. 예를 들어, 기계-자동차-자동차설계-자동차설계 직무의 NCS는 직무 정의와 함께 15개의 능력 단위, 9개의 학습 모듈, 평생경력개발경로, 훈련기준(시안), 출제기준(시안), 융합 자료를 제공한다(NCS, 2018). 15개의 능력 단위는 자동차 패키지, 차체, 의장, 전장 등 각 부분에 대한 설계를 포함하며 9개의 학습모듈은 자동차 패키지, 차체부밍파트, 의장 등 설계 등을 포함한다. 이처럼 직업별 지식 내용이 나열되어 직업교육 모듈을 설계하는데 도움이 되지만 과학교육 측면에서 함의를 얻기는 어렵다.

교육 연구자들은 역량을 실증적으로 탐색하기 위해 직업정보를 활용해왔다(ETS, 2013; Hwang, Lee, & Jang, 2016; Choi *et al.*, 2017; Jang, 2016) 미국 직업정보는 응용심리학자들이 만든 내용 모델(Content Model)에 기반을 두어 직업에 필요한 지식, 기술, 작업 활동 등을 기술한다(Figure 1). 직업정보는 진로 탐색이 필요한 학습자, 교육자, 연구자, 인사 담당자들이 활용할 수 있도록 설계되어 있어 과학 기술 직종의 다양성 및 필요 역량을 탐색하기에 적합하다. Jang(2016)은 과학, 기술 직종에 평균적으로 중요한 지식, 기술, 작업 활동을 도출한 후 질적으로 분류하여 21세기 역량과 미국과학교육표준이 STEM 직종에 중요한 역량을 포괄하지 않음을 보였다. 그러나 중요한 지표를 질적으로 분류하였기 때문에 직업별 역량 점수를 산출하지 못하는 것과 같은 한계가 있었다.

구체적으로 연구 질문은 다음과 같다. 첫째, 과학기술직종은 어떻게 정의되는가? 둘째, 과학기술직종에 요구되는 주요 숙련은 무엇인가? 이를 위해 과학기술인력 및 직종을 분석한 선행연구를 살펴보고 미국 직업정보의 과학, 기술, 공학, 수학 직종에 요구되는 주요 역량을 도출한다. 한국직업사전은 직업정보 지표로 12가지를 제공하여 필요 역량에 대한 구체적인 결과를 얻기 어렵다. 한국직업정보(KNOW)는 미국직업정보에 근간을 두어 설계되어 한국직업사전에 비해 구체적인 정보를 제공하나 한국고용정보원 연구진들의 자의적 해석으로 몇몇 변수를 간소화하였다¹⁾. 따라서 한국직업정보를 분석한 결과는 기존의 내용 모형(Content Model)에 비추어 결과를 해석하기 어렵다.

1) 한국직업정보(KNOW)는 미국의 O*NET을 참고하여 만든 국내 직업정보시스템으로 2001년 100개 직업에 종사하는 재직자를 대상으로 조사하여 2006년부터는 업무수행능력, 가치관, 지식, 성격, 업무환경, 흥미에 대해 조사한다. O*NET은 Content Model에 기반하여 능력을 기술하는 52개 지표와 스킬을 기술하는 35개의 지표로 구성되어 있다. 한국고용정보원 연구진은 지표들이 비슷한 정보를 제공한다고 판단하고, 능력과 기술 지표를 통합하여 업무수행능력 44개의 지표로 구성하였다. 그러나 O*NET을 만든 연구진들은 각각의 범주가 겹치지 않으면서도 독립적으로 재직자에게 요구하는 능력과 스킬을 기술한다고 설명하고 있다(Peterson *et al.*, 2001).

미국직업정보는 응용심리학 및 직업연구자들이 함께 구성한 내용 모형에 기반을 두었으며, 직업 종사자 및 직업 연구자가 각 직종에 필요한 지식, 기술, 작업 활동 등을 주기적으로 조사하여 신뢰도 및 타당도가 높다. 주요 역량을 도출하기 위해 직종에서 요구되는 숙련의 중요도 간의 상관관계를 반영하여 주성분 분석을 활용한다.

이 연구의 의의는 다음과 같다. 기존의 과학교육 연구가 이공계 진로 선택 및 진로 교육 연구에 초점을 맞추었다면 이 연구는 과학 기술 직종에 초점을 맞추어 과학기술 직종의 정의를 탐색하고, 과학 기술 직종에 요구되는 역량을 실증적으로 분석한다. 이 연구는 과학 교육에서 과학기술 직업정보를 활용하여 STEM 직종에 필요한 역량과 직종의 다양성을 나타내는 연구로 과학 진로교육 연구에 활용할 수 있으며, 개인의 소질과 적성을 바탕으로 개별화된 교육과정 지원에 기초 자료로 활용할 수 있다. 이를 통해 학계 및 연구자들이 지적하였던 과학, 기술, 공학, 수학 분야에서 요구하는 역량과 교육의 미스매치(Lu, Chung, & Wang, 1998; Tang, Lee, & Koh, 2000; Meier, Williams, & Humphreys, 2013)를 해결하는 과학교육연구에 기여할 수 있을 것이다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 STEM 직종과 역량의 정의와 선행연구를 살펴보고, 3장은 미국직업정보의 구성, 기술통계 및 미국 직업정보 분석 방법에 관해 기술한다. 4장에서는 연구 결과인 STEM 직종의 핵심 역량에 대해 상세히 기술하며 기존의 선행연구와 관련지어 논의한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 제언이다.

II. STEM 직종과 역량

1. 과학기술인력과 STEM 직종

STEM은 과학, 기술, 공학, 수학 분야를 의미하지만, STEM 직종이 무엇인지에 대하여 명확하게 합의된 정의는 없다(Koonce, Zhou, & Anderson, 2011). 이 소절에서는 오랫동안 통용되어온 과학기술인력에 대한 다양한 정의를 먼저 살펴본 후에, STEM 직종의 정의를 탐색한다. 과학기술인력을 규정하는 요건은 취득한 교육과 종사하는 직종의 두 가지 차원에 걸쳐 있다. 구체적인 정의는 이러한 요건을 어떻게 적용하느냐에 따라 다양한 인력개념을 정립할 수 있어 지역별, 시기별, 연구자별로 다르다(Cho, 2010).

Table 1과 같이 가장 국제적으로 통용되는 사례는 OECD 캔버라 매뉴얼의 ‘과학기술인력(Human Resources in Science and Technology)’이다. ‘과학기술인력’이란 ‘과학기술 분야의 고등교육을 성공적으로 마쳤거나(HRST-O), 과학기술 분야의 고등교육을 마치지는 못했지만 해당 자격 요건을 갖춘 자가 취업하는 직업에 종사하고 있는 자(HRST-E)’로 정의하고 있다(Table 1). 달리 말해서, OECD 캔버라 매뉴얼은 교육수준과 직종 중 어느 한 가지만을 충족시키더라도 과학 기술 인적자원의 범위에 포함한다. 이때, 직종과 전공에 있어 모두 포함되는 경우를 핵심과학기술인력(HRST-C)으로 정의한다(OECD/Eurostat, 1995).

과학기술 인력과 관련하여 광범위하게 사용되고 있는 또 다른 국제 정의는 UNESCO의 ‘과학기술인력(Scientific and Technical Personnel)’이다(UNESCO, 1984). UNESCO는 ‘과학기술인력’을 ‘특정 기관 및 부문에서 직접 과학, 기술 활동에 참여하거나 또는 이에 대한 용역을

Table 1. Definition of science and technology workforce and STEM occupations

Source	Title	Definition
OECD/Eurostat(1995)	과학기술인력 (Human Resources in Science and Technology)	과학기술분야의 고등교육을 성공적으로 마쳤거나 과학기술분야의 고등교육을 마치지는 못했지만 해당 자격 요건을 갖춘 자가 취업하는 직업에 종사하고 있는 자 (Those who have successfully completed education at the tertiary level in an S & T field and/or those not formally qualified in this way but employed in an S & T occupation where such qualifications are normally required)
OECD/Eurostat(1995)	핵심 과학기술인력 (HRST-C)	과학기술분야의 고등교육을 성공적으로 마치고 해당 자격요건을 갖추어 과학기술직업에 종사하고 있는 자(Those who have successfully completed education at the tertiary level in an S & T field and employed in an S & T occupation where such qualifications are normally required)
UNESCO(1984)	과학기술인력 (Scientific and Technical Personnel)	특정 기관 및 부문에서 직접적으로 과학, 기술 활동에 참여하거나 또는 이에 대한 용역을 통해 보수를 지급받고 있는 인력(The total number of people participating directly in S & T activities in an institution or unit, and, as a rule paid for their services. Those group include scientist and engineers, technicians, and auxiliary personnel)
NSF(2015)	과학공학인력 (Science and Engineering Labor Force)	학사 학위 이상의 학위를 가지고 과학과 공학을 전공했거나 과학자나 공학자로 활동하고 있는 사람(Workers in S & E occupations, holders of S & E degrees, or those who use S & E technical experts on the job)
O*NET(2014)	STEM 직종 (STEM Occupations)	STEM 분야의 교육 및 훈련이 필요한 직종(Occupations that require education in science, technology, engineering, and mathematics disciplines)

통해 보수를 지급받고 있는 인력'으로 정의한다. 이 안에 과학자, 공학자, 기술자, 보조 인력, 행정인력을 모두 포함한다. UNESCO의 '과학기술인력'은 교육이나 자격요건에 상관없이 과학기술 분야의 직종에 종사하고 있는지에 의해 정의하므로, 과학기술 분야의 교육을 마쳤으나 과학기술직종에 종사하지 않는 잠재적인 인력(HRST-O)은 포함하지 않는다.

OECD 및 UNESCO의 과학기술 인력에 대한 정의는 과학기술인력에 대한 정량적 측정을 위해 도출된 개념으로 국제적으로 오랫동안 통용되어 왔다. 그러나 최근에 일어나는 과학기술 분야의 확대 추세와 과학기술과 인문학, 사회학의 융합 추세를 반영하지 못하는 한계점이 제기되어 왔다(Uhm, 2007). 미국의 과학재단(NSF: National Science Foundation)은 과학기술 인력을 조사하기 위해 과학기술인력 통계(SESDS: the Science & Engineers Statistical Data System)를 구축하였다(Uhm, 2007). 미국의 NSF가 채택하고 있는 과학 공학 인력(Science and Engineering Labor Force: S&E 인력)은 '학사 학위 이상의 학위를 가지고, 과학과 공학을 전공했거나, 과학자나 공학자로 활동하고 있는 사람들'이다. 과학과 공학(Science & Engineering)은 과학과 공학과 직접 관련 있는 분야와 간접적으로 관련 있는 분야로 나뉜다. 과학과 공학 분야에 직접 관련 있는 분야는 컴퓨터(computer), 수학(mathematics), 생명과학(life science), 물리학(physical science), 사회학(social science), 건축학(architecture), 공학(engineering)이다(National Science Foundation, 2015).

미국의 노동부, 교육부는 STEM 분야의 국가경쟁력을 좌우하는 인적자원의 공급 및 질 관리에 문제가 있음을 인식하고, STEM 교육 및 인적자원 관리를 위하여 STEM 직종에 대해 정의를 시도하였다. 그러나 STEM이 무엇을 의미하는지에 대해서는 기관 및 연구자들에 의해 다양하게 정의되어 왔다(Koonce *et al.*, 2011). 미국직업정보네트워크(O*NET)는 STEM 직종을 'STEM 분야의 교육 및 훈련이 필요한 직종'으로 정의하였다²⁾. 한편, 미국 노동부(BLS: the Bureau of

Labor Statistics)는 STEM 분야를 과학, 공학, 수학, 정보기술 분야(SEMI: Science, Engineering, Mathematics, and Information Technology Domain)와 과학 및 공학과 연관성이 있는 분야(SED: Science and Engineering-related Domain)로 나눈다. 구체적으로 과학, 공학, 수학, 정보기술 분야(SEMI)는 생명과학(life science), 물리학(physical science), 공학(engineering), 수학(mathematics), 정보기술(information technology), 사회과학(social science)을 포함한다. 과학 및 공학과 관련된 분야(SED)는 건축(architecture), 의료(health) 분야를 규정한다(Watson, 2014). 이 연구는 과학교육에의 함의를 얻기 위해 교육에 초점을 맞추어 과학기술 직종을 정의한 O*NET의 STEM 직종에 대한 정의를 활용한다.

2. 역량

1970년대 하버드 대학의 심리학자인 David McClelland는 기존의 지능의 한계점을 지적하고 높은 성과를 측정하고 예측하기 위한 방법으로 역량(Competency) 접근법을 제시하였다. 그는 지능, 학업 적성, 성취도 검사들이 업무 성과나 직업에서의 성공을 예측하지 못하며, 성공적인 업무 수행자는 평균 수행자보다 남다른 특성이 있다고 주장하였다(McClelland, 1973). 역량은 조직 역량, 개인 역량으로 나눌 수 있으며 이 연구에서는 개인 역량에 한정한다. 개인 역량에 대한 정의는 학자에 따라 다른데 Boyatzis(1982)은 '역량은 어떤 역할을 수행함에 있어 성공적인 결과를 가져오는 개인이 갖고 있는 내재적 특성'으로 정의하였고, Spencer & Spencer(1993)은 '역량은 직무 수행이 뛰어난 개인의 내적 특성으로 다양한 상황에서도 비교적 오래

2) STEM 직종에 대한 표준적인 정의를 만들기 위해 다양한 산업 및 기관을 대표하는 위원들로 구성된 표준직업분류체계 정책위원회(SOCPC: the Standard Occupation Classification Policy Committee)를 결성한다. 위원회(SOCPC)는 STEM 직종을 정의하는데 다양한 권고사항을 제시하였다.

지속되는 행동 및 사고방식'으로 정의하였다. 역량은 높은 성과자에 관찰되는 행동 특성으로 지식, 기술, 태도, 가치의 다면적이고 복합적인 특성을 포함한다. 가치관, 특성, 사명, 동기와 같은 내재적인 특성은 드러나기 어렵지만, 지식, 기술, 태도는 관찰할 수 있다. 이 연구는 다양한 학자들에 의해 논의된 역량의 정의의 공통적인 특성에 기초하여 O*NET의 직업정보 중 지식(Knowledge), 기술(Technology), 작업 활동(Work Activities)에 대한 중요도(Importance) 자료를 활용하여 역량을 도출한다.

한국은 2003년부터 국외에서 제기된 역량 기반 교육과정 및 핵심 역량에 대한 담론을 반영하여 2015 교육과정에서는 역량 중심 교육과정을 표방하였다(Kwak, 2016). 핵심 역량(Key competencies)이란 현재 및 미래 사회의 학습자가 성공적인 삶을 살아가기 위해 갖추어야 할 자질로 OECD는 DeSeCo 프로젝트에서 '직업적 상황을 포함한 삶의 상황에서 발생하는 요구를 개인의 인지적, 사회적, 심리사회적 특성을 동원하여 성공적으로 대처하는 능력'으로 정의하였다. OECD는 DeSeCo 보고서 이후 많은 나라가 핵심 역량 개발을 중심으로 학교교육의 목적과 방향을 재설정하려는 노력을 기울였으며, 우리나라 역시 교육과정을 통해 길러야 할 핵심 역량을 문헌연구 및 전문가 조사를 활용하여 '일반역량'과 '교과역량'으로 나누어 제시하였다(Lim, Choi, & Park, 2008; So, 2017).

교육과정 총론에 제시된 일반역량은 자기 관리 역량, 지식 정보 처리 역량, 창의적 사고역량, 심미적 감성 역량, 의사소통 역량, 공동체 역량으로 구성된다. 일반 역량을 통해 학교 교육의 역할을 미래 직업에 필요한 역량으로 한정하지 않고 21세기 미래 정보화 사회에서 타인과 더불어 온전한 삶을 영위할 수 있도록 개인 역량을 강화하는 것에 두었다. 2015 개정 과학과 교육과정에서는 핵심 역량과 과학과 탐구 능력을 접목하여 과학과를 통해 가장 잘 길러줄 수 있는 핵심 역량인 '과학과 교과 역량'을 선정하여 명시하였다. 과학과의 역량 중심 교육과정은 '가르치는 것'이 아닌 '성취해야 할 것'을 중심으로 학습자가 앎을 기반으로 한 실천 능력의 획득을 목표로 하며, 과학 지식을 활용하여 길러주고자 하는 역량에 초점을 둔다(Kwak, 2016). 따라서 역량은 과학 지식 보다 과학을 가르치고 배우는 과정에 대한 지점 역할을 한다. 과학과 역량은 다섯 가지로 과학적 탐구 능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력이다(Ministry of Education, 2015).

일과 교육의 연계, 개인 맞춤형 교육, 진로교육이 강조되는 시대에 비추어 일반 역량과 과학과 교과 역량 모두 생애와 교과교육을 통한 역량 개발은 강조하지만, 실질적으로 일의 세계에서 요구하는 역량을 충분히 반영하는가는 의문이다. 일반 역량 및 과학과 역량의 범주는 생애, 과학과 탐구 능력에 한정되어 있고 과학, 기술 직종에 요구되는 주요 역량에 대한 기술이 없다. 과학교육 과정은 과학적 소양과 우수한 과학기술 인력 양성을 위한 과학교육 모두 강조해야 한다. 따라서 우리의 관심을 과학 기술직종으로 확장하여 필요 역량을 살펴볼 필요가 있다.

3) DeSeCo 프로젝트에서 도출한 핵심 역량은 매우 일반적으로 기술되어 있는데, 핵심 역량 범주는 도구를 상호적으로 활용하기, 이질 집단 속에서 상호 작용하기, 자율적으로 행동하기이며, 각 범주에 해당하는 하위 역량에 대한 구체적인 기술은 So(2017) 혹은 Kwak(2016)을 참조한다.

III. 연구방법

1. 분석 자료

과학기술인력 및 직종의 정의를 살펴보기 위해 미국의 노동부, 미국과학재단, 미국직업정보네트워크 등의 정의를 분석한다. 다음으로 미국직업정보네트워크(O*NET: Occupational Information Network) (버전 18.1, 2014년 3월 1일 업데이트)에서 STEM 직종을 추리고 직종 정보에 주성분 분석을 적용한다. 미국직업정보네트워크(O*NET)는 응용심리학자 및 직업연구자에 의해 형성된 내용 체계(content model)에 기반을 둔 방대하고 구체적인 직업정보로 미국 노동부에 의해 관리된다. 미국직업정보네트워크(O*NET)은 과학, 기술 산업의 창발성을 인식하고 STEM 직종 리스트를 공개하며 변화추이를 주기적으로 제공한다(O*NET, 2014).

O*NET은 응용심리학자들의 사전 논의와 합의에 따라 구축된 내용 체계(content model)에 기반을 두어 지식, 경험, 작업환경, 임금, 필요 교육 등 480여 개 변수에 대한 정보를 제공하고 있다(Figure 1). 구체적으로 O*NET이 제공하는 정보는 근로자 특성(Worker characteristics), 근로자 요건(Worker requirements), 경험 요건(Experiences requirements), 직업 요건(Occupational requirements), 직업-특수 요건(Occupation-specific requirements), 직업 특성(Occupation characteristics) 등 6개의 범주로 구성된다. 각 범주는 다시 세부 항목으로 구성되는데, 근로자 특성의 경우 능력(Abilities), 흥미(Occupational interests), 근로 가치관(Work values), 근로 스타일(Work styles)로 구성된다. 이 연구는 Jang(2016)와 마찬가지로 근로자의 작업 활동(Work activities), 근로자 요건에 있는 기술(Skills)과 지식(Knowledge)을 활용한다. 이 세 가지 세부 항목이 직업에 필요한 역량에 관해 기술하고 있기 때문이다.

데이터는 각 직종에 종사하는 종사자 혹은 직업 분석가(Job analyst)가 응답한 결과를 바탕으로 숙련 수준과 중요도에 대한 정보가 제시된다. 설문 문항은 “~은 해당 직업을 수행하는데 얼마나 중요합니까?”이며, 응답은 ‘전혀 중요하지 않다(1점)’에서 ‘매우 중요하다(5점)’의 리커트 척도로 구성된다. 응답 점수가 높을수록 해당 지표의 중요도가 높음을 의미한다. 작업 활동(Work activities)은 총 41개의 지표, 평균

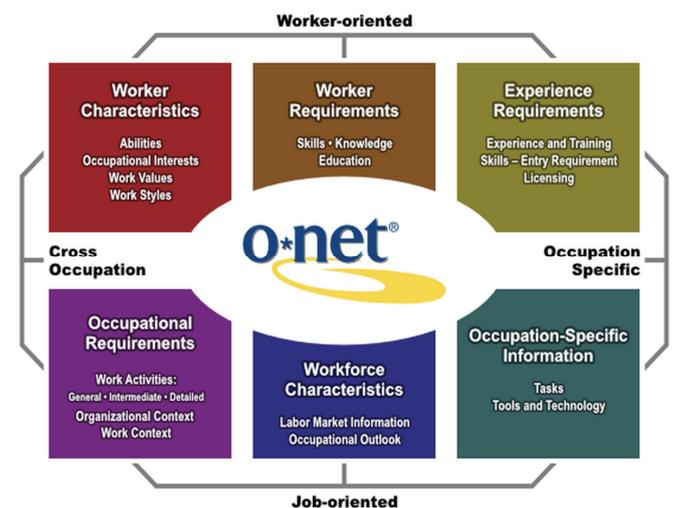


Figure 1. Content model of O*NET (O*NET, 2018)

Table 2. Descriptive statistics of skills, knowledge, and work activities

Sub-category	Number of variables	Importance	
		Average	Standard deviation
Skills	35	2.81	0.85
Knowledge	33	2.19	0.97
Work activities	41	3.2	0.87

Table 3. Result of principal component analysis (PCA)

Principal components	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Comp5	Comp6	Comp7	Comp8
SS loadings	15.97	15.01	14.11	8.13	7.24	5.57	5.28	5.23
Proportion variance	0.15	0.14	0.13	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05
Cumulative variance	0.15	0.28	0.41	0.49	0.55	0.61	0.65	0.70

중요도는 3.2이며, 기술(Skills)은 35개의 지표로 평균 중요도는 2.81이다. 지식(Knowledge)은 33개의 지표로 평균 중요도는 2.19이다. 각 지표의 정의는 Content Model(O*NET, 2018)을 참조한다.

2. 분석 방법

자료 분석에 앞서 O*NET의 정의를 바탕으로 STEM 직종을 선정하고, 각 직업에 요구되는 작업 활동(Work activities), 근로자 요건에 있는 기술(Skills), 지식(Knowledge)변수를 통합한다. 자료는 O*NET Resource Center (O*NET, 2015)에서 18.1 버전의 Text 파일을 받았다.⁴⁾ O*NET 18.1에는 전체 923개의 직업 중에서 167개의 STEM 직업이 있다.⁵⁾ 만약 직종에서 요구하는 능력, 지식, 기술의 다양한 측면을 나타내는 변수 간에 상관관계가 존재한다면, 상관관계가 높은 것끼리 범주화를 할 수 있다. 따라서 작업 활동(Work activities), 기술(Skills), 지식(Knowledge)의 중요도 자료에 ETS (2013)와 마찬가지로 주성분 분석(PCA: Principal Component Analysis)⁶⁾을 하여 핵심 역량을 도출한다. 주성분 분석은 여러 개의 변수 사이에 분산-공분산 관계를 이용하여 변수들의 선형 결합으로 표시되는 주성분을 찾고 이것으로 전체 변동의 대부분을 설명하는 방법이다. 직업별 작업 활동(Work activities), 지식(knowledge), 기술(skills)에 속한 109개 지표의 상관관계를 이용하여 주성분 분석으로 109개의 지표의 차수를 감소시키고 핵심 역량을 도출할 수 있다. 이를 위해 직업별 작업 활동, 기술, 지식 지표의 평균 점수를 구하고 지표별로 평균이 0이고 표준편차가 1인 분포를 하도록 표준화한 다음 직업 코드를 기준으로 통합하였다. 최초 분석에 의해 나타난 고유치(eigenvalue)가 1보다 큰 요인들을 주요 속련으로 추출하였는데, 주성분의 수를 선정하기 위해 스크리 산점도(scree plot)과 parallel analysis를 참고하였다(Horn, 1965; O'conner, 2000)⁷⁾. 상호 독립적인 주성분을 도출하고자 직교 특성을 극대화하는 직교 회전 옵션(varimax rotation)을 수행하였으며 추출된 주요 속련이 어떤 특성이

있는지 적재치(standardized loading)가 큰 값을 가진 지표를 중심으로 각 성분의 특징을 추론하고 명명하였다.

IV. 연구결과 및 논의

1. STEM 직종의 핵심 역량

Table 3은 주성분 분석 결과로 상호 독립적인 8가지 주요 성분이 전체 분산의 70%를 설명한다. 각 주성분은 적재치가 큰 지표를 중심으로 특징을 추론하고 명명하였다. 다음 소절에서는 분산의 비율이 높은 것부터 낮은 순으로 각 주성분에 대해 기술한다.

가. STEM 문제해결 역량(STEM problem-solving competency)

제1 주성분은 수학, 과학, 공학적 지식을 바탕으로 문제 상황에 대한 데이터를 수집하고, 복잡한 문제를 해결하며, 시스템을 분석하고 평가하는 것과 같은 과학기술 문제해결 역량으로 전체 분산의 15%를 설명한다. Table 4는 적재치 0.5 이상의 변수들을 적재치 순으로 나타낸 것이다.

가장 적재치가 높은 지표는 데이터 및 정보 분석(analyzing data or information, 0.87), 정보처리(processing information, 0.82), 지식활용 및 업데이트(updating and using relevant knowledge), 독해(Reading comprehension, 0.81), 비판적 사고(critical thinking, 0.77), 정보 및 의미 이해(interpreting the meaning of information for others, 0.75), 작문(writing, 0.72), 컴퓨터 활용(interacting with computers, 0.71), 복잡한 문제해결(complex problem solving) 등이다. 과학기술 문제해결 역량은 언어, 수학, 과학, 컴퓨터를 활용한 문제를 해결하는 역량뿐만 아니라 타인에게 조언 하거나(providing consultation and advising to others), 전략을 개발하며(developing objectives and strategies), 조직화하고 우선순위를 정하며(prioritizing), 의사 결정 하는 역량(making decisions)을 모두 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 생물학자(Biologists), 물리 생물학자(Biophysicists), 수학 기술자(Mathematic technicians), 유전학자(Genicists)와 같이 STEM 분야의 연구자들에 해당한다.

4) 자료 접근 및 다운로드 방법에 관해 Jang(2018a)을 참조한다.

5) STEM 분야별 직업 수는 Appendix 1을 참조한다.

6) 주성분 분석을 위해 통계프로그램 R의 라이브러리 psych, GPArotation을 활용하였다.

7) Scree plot 및 parallel analysis결과는 Jang(2018b)를 참조한다.

Table 4. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the first component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Analyzing Data or Information	0.87	Active Listening	0.63
Processing Information	0.82	Systems Analysis	0.62
Reading Comprehension	0.81	English Language	0.61
Updating and Using Relevant Knowledge	0.81	Making Decisions and Solving Problems	0.6
Critical Thinking	0.77	Systems Evaluation	0.58
Interpreting the Meaning of Information for Others	0.75	Mathematics	0.55
Getting Information	0.73	Thinking Creatively	0.55
Writing	0.72	Speaking	0.52
Interacting with Computers	0.71	Provide Consultation and Advice to Others	0.52
Complex Problem Solving	0.7	Judgment and Decision Making	0.51
Active Learning	0.68	Communicating with Supervisors, Peers, or Subordinates	0.51
Documenting Recording Information	0.66	Developing Objectives and Strategies	0.51
Science	0.64	Organizing, Planning, and Prioritizing	0.5

Table 5. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the second component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Coordinating the Work and Activities of Others	0.83	Resolving Conflicts and Negotiating with Others	0.66
Monitoring and Controlling Resources	0.78	Negotiation	0.65
Management of Personnel Resources	0.77	Time Management	0.65
Staffing Organizational Units	0.76	Persuasion	0.62
Coordination	0.74	Organizing Planning, and Prioritizing Work	0.55
Management of Financial Resources	0.73	Sales and Marketing	0.54
Administration and Management	0.73	Establishing and Maintaining Interpersonal Relationships	0.52
Management of Material Resources	0.72	Communicating with Persons Outside Organization	0.51
Selling or Influencing Others	0.68	Systems Evaluation	0.5
Economics and Accounting	0.66		

나. 관리 역량(Management competency)

두 번째 주성분은 협력, 관리, 행정, 인사와 같은 높은 수준의 관리 역량으로 전체 분산의 14%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 다른 사람의 업무 및 활동 조직(coordinating the work and activities of others, 0.83), 자원 모니터링 및 조정(monitors and controlling resources, 0.78), 인사자원 관리(management of personnel resources, 0.77) 등이다(Table 5). STEM 직종에게 필요한 관리 역량은 경영(management), 경제(economics), 회계(accounting), 판매(sales), 마케팅(marketing), 커뮤니케이션(communication)에 관한 지식 뿐만 아니라 협업, 협상, 설득, 이해관계조정(resolving conflicts and negotiating with others) 등과 같은 사회적 역량, 시간 관리(time management), 계획하고 우선순위 정하기(organizing planning, and prioritizing work)와 같은 업무관리 역량을 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 다양한 산업 분야의 관리자(Managers)에 해당하는데, 예를 들어 컴퓨터 시스템 관리자(Computer and information systems managers), 생물 연료 발전소 관리자(Biomass power plant managers), 건설 관리자(Construction managers), 식품 생산 및 서빙 근로 감독자(First-line supervisors of food preparation and serving workers) 등이다.

다. 기술 역량(Technological competency)

세 번째 주성분은 장치를 선택하여 설치하고, 유지하며, 작동 및 수리와 관련된 기술 역량으로 전체 분산의 13%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 전기장치를 수리 및 유지(repairing and maintaining electronic equipment, 0.85), 기계장치 수리 및 유지(repairing and maintaining mechanical equipment, 0.83), 문제해결(troubleshooting, 0.84), 작동 모니터링(operation monitoring, 0.83), 장치 구조 및 재질 점검(inspecting equipment structures or material, 0.83), 장치 유지(equipment maintenance, 0.81) 등이다(Table 6). STEM 직종 종사자들에게 요구되는 기기 관리 역량은 장치를 선택하여 설치하고 작동을 모니터링 하는 것뿐만 아니라 상태를 점검하고 문제가 발생하였을 때 수리하는 것과 같은 높은 수준의 설비관리 역량을 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 다양한 산업의 기술자로 구성되는데, 예를 들어 항공 기술자(Aircraft mechanics and service technicians), 풍력 터빈 기술자(Wind turbine service technicians), 전자공학 기술자(Electronics engineering technologists), 핵시설 기술자(Nuclear equipment operation technicians) 등이다.

Table 6. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the third component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Repairing and Maintaining Electronic Equipment	0.85	Quality Control Analysis	0.75
Repairing and Maintaining Mechanical Equipment	0.85	Equipment Selection	0.73
Troubleshooting	0.84	Handling and Moving Objects	0.69
Operation Monitoring	0.83	Performing General Physical Activities	0.64
Inspecting Equipment Structures or Material	0.83	Monitor Processes Materials or Surroundings	0.63
Equipment Maintenance	0.81	Installation	0.53
Repairing	0.8	Production and Processing	0.51
Operation and Control	0.77		

Table 7. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the fourth component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Psychology	0.77	Sociology and Anthropology	0.62
Therapy and Counseling	0.75	Customer and Personal Service	0.54
Assisting and Caring for Others	0.69	Philosophy and Theology	0.54
Social Perceptiveness	0.67	Establishing and Maintaining Interpersonal Relationships	0.52
Service Orientation	0.64		

Table 8. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the fifth component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Training and Teaching Others	0.8	Coaching and Developing Others	0.6
Education and Training	0.76	Philosophy and Theology	0.56
Instructing	0.74	Foreign Language	0.51
Learning Strategies	0.67		

라. 사회 서비스 역량(Social service competency)

제4 주성분은 상담, 테라피, 보조, 케어, 고객 응대와 같은 사회적 서비스 역량으로 전체 분산의 7%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 심리학(psychology, 0.77), 테라피 및 상담(therapy and counseling, 0.75), 보조 및 케어(assisting and caring for others, 0.69) 등이다 (Table 7). 사회적 서비스 역량은 고객응대를 위한 심리학, 상담, 테라피, 사회학, 인류학과 같은 지식을 바탕으로 관계를 형성하고 양질의 사회적 서비스를 제공하는 역량을 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 임상 심리학자(Clinical psychologists), 신경 심리학자(Neuro-psychologists), 영양학자(Nutritionists), 학교 상담 심리학자(School psychologists) 등이다.

마. 교육 역량(Teaching competency)

Table 8은 다섯 번째 주성분(Comp5)의 적재치 0.5 이상의 변수들을 적재치 순으로 나타낸 것이다. 제 5 주성분은 훈련, 지도, 교육, 코칭과 같은 교육 역량으로 전체 분산의 7%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 훈련과 지도(training and teaching others, 0.8), 교육과 훈련(education and training, 0.76), 지도(instructing, 0.74), 학습 전략(learning strategies, 0.67) 등이다. STEM 직종에게 필요한 교육 역량은 철학과 이론, 교육, 학습에 관한 지식을 바탕으로 스스로 학습하여

다른 사람을 가르치고 훈련하며 발전시키는 코칭 역량을 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 STEM 분야의 교육자(Post-secondary teachers)로 건축(Architecture), 물리(Physics), 컴퓨터 과학(Computer science), 공학(Engineering), 생물학(Biology), 경영(Business) 분야의 교육자이다.

바. 설계 역량(Design competency)

Table 9는 여섯 번째 주성분(Comp6)의 적재치 0.5 이상의 변수들을 적재치 순으로 나타낸 것이다. 제6 주성분은 공학, 기술, 물리학, 역학, 건설공학의 지식을 활용하여 구조를 설계 역량으로 전체 분산의 5%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 디자인(design, 0.81), 공학 및 기술(engineering and technology, 0.79), 장치 및 기술 장비 명시 및 설계제도(drafting laying out and specifying technical devices parts and equipment, 0.7) 등이다. STEM 직종에 필요한 구조설계 역량은 물리학(physics), 공학(engineering), 기술(technology), 역학(mechanical), 건축(construction)에 대한 지식과 기계장비와 장치에 대한 지식을 활용하여 구조를 설계하고 디자인하는 역량을 포함한다. 이들 역량이 높은 직종은 메카트로닉스 공학자(Mechatronics engineers), 항공 공학자(Aerospace engineers), 메카닉스 공학자(Mechanical engineers), 건축가(Architects), 농업 공학자(Agricultural engineers), 해양 건축학자(Marine architects) 등이다.

Table 9. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the sixth component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Design	0.81	Physics	0.65
Engineering and Technology	0.79	Building and Construction	0.63
Drafting Laying Out and Specifying Technical Devices Parts and Equipment	0.7	Mechanical	0.54

Table 10. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the seventh component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Biology	0.64	Chemistry	0.57

Table 11. Skills, knowledge, and work activities with loading over 0.5 for the eighth component in PCA

O*NET Descriptors	Loading	O*NET Descriptors	Loading
Geography	0.72	Law and Government	0.60
History and Archeology	0.62	Performing for or Working Directly with the Public	0.56

사. 생물·화학 역량(Bio-chemistry competency)

Table 10은 일곱 번째 주성분의 적재치 0.5 이상의 변수들을 적재치 순으로 나타낸 것이다. 제7 주성분은 생물학과 화학 지식을 바탕으로 환경, 농업, 축산업 분야에서 종사하는 생화학 역량으로 전체 분산의 5%를 설명한다. 적재치가 큰 지표는 생물학(biology, 0.64), 화학(chemistry, 0.57)이다. 이들 역량이 높은 직종은 농산물 수확 작업 감독자(First-line supervisors of agricultural crop and horticultural workers), 벌목자(Fallers), 임업자(Foresters), 생화학 공학자(Biochemical engineers), 생물학자(Biologists) 등이다.

아. 공공 서비스 역량(Public service competency)

Table 11은 여덟 번째 주성분의 적재치 0.5 이상의 변수들을 적재치 순으로 나타낸 것이다. 제8 주성분은 지리학, 역사, 법, 행정에 관한 지식을 활용하여 공공에 서비스를 제공하는 역량으로 전체 분산의 5%를 설명한다. 가장 적재치가 큰 지표는 지리학(geography, 0.72), 역사학 및 고고학(history and archeology, 0.62), 법률 및 행정(law and government, 0.60) 등이다. STEM 직종에 필요한 공공서비스 역량은 지리, 지역, 역사, 법, 행정에 관한 지식과 공공에 봉사하는 마음가짐을 가지고 환경, 운송, 도시계획, 건축 등 다양한 분야에서 공공서비스를 제공하는 역량을 포함한다. 이 역량이 높은 직종은 공원 동식물 연구자(Park naturalists), 숲 관리자(Range managers), 건축 교육자(Architectures teachers, post-secondary), 수렵 감시관(Fish and game wardens), 운송 설계자(Transportation planners) 등이다.

이 연구는 이공계 직종에 요구되는 역량을 직업정보를 이용하여 실증적으로 분석하였다. 2015 개정 교육과정은 직무에 필요한 역량이 아닌 모든 시민이 과학교육을 통해 갖추어야 할 역량이기 때문에 이 연구결과와 차이가 있다. 2015 개정 교육과정의 과학과 핵심 역량은 과학 교육을 통해 길러줄 수 있는 역량이라면 이 연구는 과학 교육을 통해 진입 가능한 STEM 직종에 필요한 역량을 보여준다. 과학과 역량과 STEM 역량을 비교하면, 과학과 역량은 STEM 문제해결 역량,

기술 역량, 생물 역량, 설계 역량과 관련이 깊으나 그 외의 역량을 포괄하지 않는다. STEM 역량은 기존의 과학 교육 범주 안에서 기술 한 과학과 교과 역량의 한계를(Sim, Lee, & Kim, 2015) 극복하고 STEAM교육 및 진로교육에 도움을 줄 것이다. 과학, 기술, 공학, 수학 직종 종사자는 다른 분야에 비해 오랜 교육과 경력을 필요로 하는 점을 고려할 때 과학교육은 과학적 소양을 위한 교육뿐 만 아니라 진로 교육도 함께 지원해주어야 할 것이다.

기존의 과학기술 직종에 필요한 역량에 대한 연구는 전체 STEM 직종에서 평균적으로 중요한 역량을 도출하였는데 반해 이 연구는 지표 간 상관관계를 바탕으로 주요 역량을 도출하였다. Jang(2016)은 과학, 기술 직종에 평균적으로 중요한 지식, 기술, 작업 활동을 도출한 후 질적으로 분류하여 21세기 역량과 미국과학교육표준이 STEM 직종에 중요한 역량을 포괄하지 않음을 보였다. 그러나 중요한 지표를 질적으로 분류하였기 때문에 직업별 역량 점수를 산출하지 못하는 것과 같은 한계가 있었다. 이 연구는 과학기술 직업별 지식, 기술, 작업 활동의 중요도 간 상관관계를 고려한 주성분 분석을 적용하여 주요 역량뿐만 아니라 직업별 역량 점수도 산출할 수 있었다. 따라서 이 연구는 과학 기술 직종의 핵심 역량을 제시할 뿐만 아니라 직업별 역량점수를 활용하여 학습자의 적성과 능력을 과학 기술 직종에 매칭할 수 있을 것이다. 예를 들어, 유전학자의 경우 STEM 문제해결 역량(STEM problem-solving competency)이 매우 높으나, 공공서비스 역량(Public service competency)은 낮다. 건축가(Architects)의 경우 설계 역량(Design competency)은 높으나 생물·화학 역량(Bio-chemistry competency)은 낮다. 과학 기술 진로를 희망하는 학생 가운데 문제해결 역량이 뛰어난 친구는 과학기술 연구자로서 길을 안내할 수 있으며, 설계역량이 뛰어난 친구는 건축가, 공학자로 진로를 안내할 수 있다.

이 연구는 미국직업정보의 STEM 직종의 정의에 근거하여 STEM 직종을 분류하고, 직업정보를 활용하여 핵심 역량을 도출하였다. 기존의 과학기술 인력연구 및 과학교육연구는 과학기술자에 한정하여 관심을 두었다(Lee et al., 2005; Hong et al., 2013; Hong, 2015). Hong et al.(2013)은 과학기술 인재를 과학기술 연구 인력으로 한정하여

경력단계별로 대학원생, 신진연구자, 중견 연구자로 구분하여 역량을 분석하였다. 흥미로운 점은 과학기술 연구에 필요한 STEM 문제해결 역량은 전체 STEM 직종 분산의 15%만 설명한다⁸⁾. 과학, 수학, 공학, 기술 교육을 이수해야 진입할 수 있는 STEM 직종에서 관리역량(Management competency), 기술 역량(Technological competency), 사회 서비스 역량(Social service competency) 등 다양한 역량이 많은 부분을 차지한다. 과학과 관련된 분야의 직업을 과학자, 의약학계, 과학 관련 교직계열, 공학계열, 발명가로 임의로 구분하기 보다는 (Yoon, Park, & Myeong, 2006) 표준직업분류 및 직업정보를 활용하는 것이 옳다. 미국 노동부(BLS: the Bureau of Labor Statistics)는 모든 STEM 직종은 연구 및 개발에 종사하는 직종(Research, development, design, or practitioner occupations), 기술자 및 기술 직종(Technologist and technician occupations), 고등교육기관 교육 직종(Post-secondary teaching occupations), 관리 직종(Managerial occupations), 판매 직종(Sales occupations)에 속한다고 규정하였다 (Watson, 2014). 과학기술 산업이 발달함에 따라 과학 기술 직종의 분화를 반영하여 과학 교육 연구가 이루어질 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

과학기술이 발전하면서 과학기술 산업의 직업도 분화하여 STEM 과목을 배워야 진입하는 이공계 직종에서 요구하는 역량도 다양해졌다. STEM 직종은 직종에 진입하기 위해 STEM 분야의 교육 및 훈련이 필요한 직종이다. STEM 직종에 필요한 핵심 역량은 STEM 문제해결 역량(STEM problem-solving competency), 관리역량(Management competency), 기술 역량(Technological competency), 사회 서비스 역량(Social service competency), 교육 역량(Teaching competency), 설계 역량(Design competency), 생물 화학 역량(Bio-chemistry competency), 공공서비스 역량(Public service competency)이다. 2015 개정 교육과정의 과학과 교과 역량은 STEM 문제해결 역량, 기술 역량, 생물 역량, 설계 역량과 가장 관련이 깊으나 그 외의 역량을 포괄하지 않는다. STEM 역량은 기존의 과학 교육 범주 안에서 기술한 과학과 교과 역량의 한계를(Sim, Lee, & Kim, 2015) 극복하고 STEAM교육 및 진로교육에 도움을 줄 것이다.

이 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 미국직업정보를 활용하여 과학기술 직종의 역량을 분석하였으므로 한국의 과학기술 직종의 특징을 담지 못하였다. 그러나 과학기술 분야는 세계적으로 통용되는 분야로 국가 간 인력 이동이 가장 활발하므로 이 연구는 과학교육 및 진로교육을 위한 자료로 활용될 수 있다. 향후 한국직업정보(KNOW)를 활용하여 STEM 직종에 요구되는 핵심 역량을 도출하고 이 연구결과와 비교할 필요가 있다. 둘째, 이 연구는 직업 정보를 활용하였으나 고용상황을 반영하지 않았다. 따라서 이 연구결과는 STEM 직종에 요구하는 역량을 보여줄 수 있으나 실제 노동시장에서 차지하는 비율을 보여주지 않는다.

이 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 이공계 직종의 직업정보를 활용하여 필요 역량을 실증적으로 보여준다. 21세기 과학기술 직종은

수학, 과학을 활용한 고차원적 인지적 역량뿐만 아니라 관리, 사회적 서비스, 기계, 교육 등 다양한 역량을 갖춘 인재들을 필요로 한다. 기술이 발전하고 산업이 분화되면서 학생들이 선택할 수 있는 과학기술 직종의 폭은 넓어졌다. ‘과학자’는 수많은 이공계 진로 중의 하나로 과학기술을 활용한 상품 개발자, 데이터 분석가, 관리자 등 다양한 직업이 존재한다. 최근 학생 개개인의 맞춤형 진로 교육 및 지도의 필요성이 대두되었다. Woolnough(1994)은 학생들이 과학을 선택하는 학교 밖 요인 중 하나로 과학과 기술 분야에서 직업을 찾을 기회를 꼽았다. 앞으로의 과학진로교육은 과학기술직종의 다양성을 보여주고 개인의 적성에 맞는 과학기술직종을 탐색해야 한다. 교실에서 과학기술 직종의 다양성을 필요 역량에 비추어 논의한다면, 학생들의 과학진로선택에 도움이 될 것이다.

둘째, 기술이 발전함에 따라 직종에서 요구되는 숙련도 변화한다 (Autor, Levy, & Murnane, 2003; Hwang *et al.*, 2016; Jang, 2017). 최근 4차 산업혁명과 같은 근본적인 기술발전이 매우 빠르게 진행되는 점을 고려할 때, 실증적인 과학기술 인력 연구와 이를 어떻게 교육에 답할 수 있을지에 대해 융합연구가 중요해졌다. 미국의 노동시장에서 2000년대와 2016년도 동일한 직업에서 요구하는 숙련을 비교하였을 때, 더 높은 수준의 인지적 숙련과 사회적 역량을 요구한다. 과학기술직종에서 기존의 과학적 지식보다 정보시스템 및 알고리즘을 이용한 문제해결 역량의 중요성이 증가하였다(Hwang *et al.*, 2016; Jang, 2017). 4차 산업혁명을 이끄는 인공지능(Artificial Intelligence)의 발전과 사물인터넷, 나노기술(NT), 생명공학기술(BT) 등 과학기술 분야 간의 융합으로 인해 신기술과 신산업이 탄생할 것이다. 따라서 기술이 발전함에 따라 주기적으로 노동시장에서 요구되는 숙련의 변화를 관찰하며, 과학교육에 대한 논의가 함께 이루어져야 한다.

미국은 노동시장에 필요한 역량을 꾸준히 모니터링하고 이를 교육 혁신에 반영해왔다. 기술이 발달할수록 반복적이지 않은 문제와 복잡한 문제해결을 위한 인지적 사회적 역량이 필요하다는 연구결과를 바탕으로 K-12 과학교육을 위한 프레임워크를(A framework for K-12 Science Education)을 만들었다(National Research Council, 2008, 2012). 핀란드 교육부는 미래 노동시장에서 특정 분야의 지식 자체보다 협력 기반의 문제해결역량이 중요해진다는 결과를 바탕으로 교과 간의 경계를 없애고 프로젝트 기반의 수업을 확대 추진하고 있다 (Finnish National Board of Education, 2016). 우리나라는 국외에서 제기된 역량 기반의 교육과정 및 핵심 역량에 대한 담론을 반영하여 역량 중심 교육과정을 표방하였다(Kwak, 2016). 기술 발전에 의한 노동시장의 변화가 클 것으로 예상되는 만큼 과학기술 직종에 요구되는 역량을 다각도로 분석하고, 어떻게 교육에 답할 수 있을지에 대한 선도적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

국문요약

현대 사회에서는 기술이 발전하고 산업이 분화되면서 학생들은 다양한 진로를 선택할 수 있게 되었다. 과학, 기술, 공학, 수학 분야는 다른 분야에 비해 오랜 교육과 경력이 필요하므로 과학기술 직종에 필요한 역량을 기반을 두어 과학교육정책을 설계하고, 학습자가 가진 능력과 적성에 맞는 과학기술 진로를 제시할 필요가 있다. 이 연구는 과학기술 인력과 STEM 직종에 대한 정의를 탐색하고, 미국 노동부에

8) 고용지수를 반영하지 않았으므로 ‘미국 노동시장에서 문제해결 역량이 요구되는 연구 인력은 전체 과학 기술 인력의 15%를 차지한다’ 와 같은 해석은 옳지 않다.

서 운영 및 관리하는 표준 직업 정보(O*NET)를 사용하여 STEM 직종의 핵심 역량을 분석하였다. 이 연구는 O*NET의 숙련, 지식, 직업 활동으로 구성된 총 109개의 지표를 대상으로 기술통계와 주성분 분석을 하였다. 그 결과, STEM 직종의 핵심 역량은 STEM 문제해결 역량, 관리역량, 기술 역량, 사회 서비스 역량, 교육 역량, 설계 역량, 생물 화학 역량, 공공서비스 역량으로 구성되며 이들은 전체 분산의 70%를 설명한다. 이 연구는 과학기술직종의 다양성과 과학기술 직종에 요구되는 역량을 구체적으로 보여주어 중등 및 대학교육에서 교육과정 및 교육목표를 설정하는데 참고자료로서 활용될 수 있으며, 개인의 적성에 맞는 개별화된 과학진로교육에 기여할 것이다.

주제어: 과학기술인력, STEM 교육, 진로교육, STEM 역량, 핵심 역량

References

- Ahn, J., Yoon, S., Kim, C., & Choi, S. (2017). Understanding Female High School Students' Science-Related Career Choice and Its Change-Focus on the Science Career Cultural Capital Perspective. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 37(1), 49-61.
- Autor, D., Levy, F., Murnane, R. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical explorations. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(4), 279-332.
- Boyatzis, R. E. (1982). *The competent manager: A model for effective performance*. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc.
- Cho, K. (2010). High-quality Science and Technology Workforce: Definitions and Estimation. *Korean Journal of Labor Studies*, 16(1), 201-383.
- Choi, Y. S., Chae, C. G., Hwang, G. H., Jeong, J. H., & Jang, H. (2017). A study on the paradigmatic change of skill regime in Korea. Sejong: Korea Research Institute for Vocational Education and Training.
- ETS. (2013). Identifying the Most Important 21st Century Workforce Competencies: An Analysis of the Occupational Information Network(O*NET). ETS Research Report RR-13-21.
- Finnish National Board of Education. (2016). Curriculum Reform in Finland. Retrieved from <http://www.oph.fi>.
- Han, S. (2006). *A Basic Study for Developing KRIVET Occupational Outlook Indicators*. Seoul: Korea Research Institute for Vocational Education and Training.
- Hong, S. M. (2015). An analysis of the deviation from S&T workforce career-path in Korea. *Journal of Engineering Education Research*, 18(1), 11-19
- Hong, S. M., Kim, H. J., Jo, G. W., Park, K. B., Kim, S. W., & Jung, J. H. (2013). *Future Science and Engineering Talents*. Science and Technology Policy Institute.
- Horn, J. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30(2), 179-185.
- Hwang, G., Lee, S., & Jang, H. (2016). Diffusion of AI(Artificial Intelligence) and Changes of Skills. Sejong: Korea Research Institute for Vocational Education and Training.
- Jang, G. (2004). An Analysis on the Factors Affecting on the Procedures of Becoming a Scientist. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 24(6), 1131-1142.
- Jang, H., & Kim, H. (2015). STEM Professionals in Korea: High-level Skills and Wage Penalty. *Journal of Vocational Education and Training*, 18(3), 211-240.
- Jang, H. (2016). Identifying 21st Century STEM Competencies Using Workplace Data. *Journal of Science Education and Technology*, 25(2), 284-301.
- Jang, H. (2017). Technological developments and changes of core competencies. Unpublished paper.
- Jang, H. (2018a). How to download the O*NET data. Retrieved from <https://youtu.be/RTnUFLwmUuQ>.
- Jang, H. (2018b). PCA Report. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1V9y7vHFLViyw5npqijqgdWcRWEAh0tR/view?usp=sharing>.
- Kim, J., Shin, S., Lim, H., & Noh, T. (2008). Middle and High School Students' Awareness on Scientific or Technological Workplaces and Relevant Professions. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28(8), 890-900.
- Kim, S., & Yoo, M. (2012). Comparison on the Vocational Values and the Science Career Orientation between Middle School Scientifically Gifted Students and Non-Gifted Students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32(7), 1222-1240.
- Koonce, D.A., Zhou, J., Anderson, C. D., Hening, D. A., & Conley, V. M. (2011). AC 2011-289: What is STEM? In American Society for Engineering Education. American Society for Engineering Education.
- Kwak, Y. S.(2016). *Competency-based Curriculum in Science*. Paju: Kyoyookbook.
- Lee, H., Choi, K., Lee, J. K., Ma, K. H., & Lee, K. (2005). Study on the Secondary School Students' Perception on Scientists and Woman Scientist as Career and Its Role Model. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 25(2), 184-196.
- Lim, Y., Choi, D., & Park, M. (2008) Core competencies required in the job world of future society. Sejong: Korea Research Institute for Vocational Education and Training, Korea Institute of Curriculum and Evaluation.
- 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 Research in Science Education*, 35(1), 73-84.
- Lu, M., Chung, C., & Wang, P. (1998). Knowledge and Skills of IS Graduates: A Hong Kong Perspective. *The Journal of Computer Information Systems*, 39(2), 40-47.
- McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for intelligence. *American Psychologist*, 28(1), 1-14.
- Meier, R. L., Williams, M. R., & Humphreys, M. A. (2000). Refocusing our efforts: Assessing non-technical competency gaps, *Journal of Engineering Education*, 89, 377-385.
- Ministry of Education. (2015). Science Curriculum. Retrieved from http://www.ktbook.com/info/2015개정교육과정/별책9_과학과%20교육과정.pdf.
- National Research Council. (2008). *Research on future skill demands: A workshop summary*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, cross-cutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Science Foundation. (2015). National Center for Science and Engineering Statistics. Retrieved from <http://www.nsf.gov/statistics/2016/nsf16300/>.
- NCS. (2018). NCS Learning module. Retrieved from <https://www.ncs.go.kr/unity/th03/ncsSearchMain.do>.
- O'connor, B.P. (2000). SPSS and SAS programs for determining the number of components using parallel analysis and Velicer's MAP test, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 32(3), 396-402.
- OECD/Eurostat. (1995). *The measurement of Human Resources Devoted to Science and Technology - Canberra Manual*, Paris: OECD.
- O*NET. (2014). O*NET. Retrieved from <https://www.onetonline.org/>
- O*NET. (2015). O*NET Resource Center. Retrieved from https://www.onetcenter.org/db_releases.html.
- O*NET. (2018). O*NET Content Model. Retrieved from <https://www.onetcenter.org/content.html>.
- O*NET Online. (2018). Browse STEM Occupations. Retrieved from <https://www.onetonline.org/find/stem?t=0>.
- Peterson, N. G., Mumford, M. D., Borman, W. C., Jeanneret, P. R., Fleishman, E. A. (1999). *An Occupational Information System for the*

- 21st Century: The Development of O*NET. American Psychological Association.
- Seo, H., Jang, S., & Pereira-Mendoza, L. (2004). Establishment of Science Education Policy Plan for Elementary and Middle Gifted Students to Enter Science and Engineering. Seoul: Korean Educational Development Institute.
- Shin, S., Rchmatullah, A., Ha, M., & Lee, J. (2016). A Longitudinal Study of Science Core School Students' STEM Career Motivation, *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 36(6), 835-849.
- Shin, S., Ha, M., & Lee, J. (2016). The Development and Validation of Instrument for Measuring High School Students' STEM Career Motivation, *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 36(1), 76-86.
- Sim, J., Lee, Y., & Kim, H. (2015). Understanding STEM, STEAM Education, and Addressing the Issues Facing STEAM in the Issues Facing STEAM in the Korean Context, *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 35(4), 709-723.
- So, K. H.(2017). *Understanding Curriculum*. Paju: Kyoyookbook.
- Spencer, L. M., & Spencer, S. M. (1993). *Competence at work: Models for superior performance*. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc..
- Tang, H., Lee, S., & Koh, S. (2001). Educational gaps as perceived by IS educators: A survey of knowledge and skill requirements, *Journal of Computer Information System*, 41(2), 76-84.
- Uhm, M. (2007). Meaning and Status of Science and Technology Workforce In Uhm, M., & Jin, M. (Ed.), *Korea's Science and Technology Workforce*, (pp. 10-32). Seoul: Korea Research Institute for Vocational Education and Training.
- UNESCO. (1984). *Manual for Statistics on Scientific and Technological Activities*. Paris: UNESCO.
- Watson, A. (2014). Spotlight on Statistics: BLS Statistics by Occupation, STEM occupations list. Washington, DC: Bureau of Labor Statistics. Retrieved from <https://www.bls.gov/oes/publications.htm>.
- Woolnough, B. E. (1994). Factors affecting students' choice of science and engineering. *International Journal of Science Education*, 16(6), 659-676.
- Yoon, J. (2002). Factors of Students' Career Choice Related to Science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 22(4), 906-921.
- Yoon, J., Park, S., & Myeong, J. (2006). A Survey of Primary and Secondary School Students' Views in Relation to a Career in Science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 26(6), 675-690.

저자 정보

장혜원 (한국교원대학교 교수)

Appendix 1. STEM occupations

Field	Count
Chemistry	3
Chemistry, Computer Science, Engineering, Geosciences, Life Sciences, Mathematics, Physics/Astronomy	1
Chemistry, Computer Science, Engineering, Geosciences, Life Sciences, Physics/Astronomy	2
Chemistry, Engineering	1
Chemistry, Geosciences	1
Chemistry, Life Sciences	1
Chemistry, Life Sciences, Physics/Astronomy	2
Chemistry, Physics/Astronomy	1
Computer Science	19
Computer Science, Engineering	6
Computer Science, Mathematics	2
Engineering	48
Engineering, Environmental Science	2
Engineering, Life Sciences	3
Engineering, Physics/Astronomy	2
Environmental Science	5
Environmental Science, Life Sciences	1
Geosciences	2
Geosciences, Mathematics, Physics/Astronomy	1
Life Sciences	50
Life Sciences, Mathematics	1
Life Sciences, Physics/Astronomy	1
Mathematics	5
Mathematics, Physics/Astronomy	2
Physics/Astronomy	5