Original Article

〈인공지능 수학〉 교과를 위한 새로운 수학적 역량 개념 제안: 디지털 역량을 중심으로

한서현[†]

서울대학교 대학원생

New Mathematical Competence for 〈Artificial Intelligence Mathematics〉: A Focus on Digital Competence

Seo-Hyeon Han[†]

Graduate Student, Department of Mathematics Education, College of Education, Seoul National University, Seoul, South Korea

Abstract

본 연구의 목적은 수학과 교육과정에서 추구해야 할 수학적 역량 중 하나로 〈인공지능 수학〉 교과를 위한 ‘수학적 역량 네트워크’를 제안하는 것이다. 수학적 역량 네트워크란 수학적 역량을 구성하는 요소들 간의 유기적·위계적 집합체로서의 새로운 역량 개념이다. 이를 정의하기 위해 체계적인 문헌 분석과 고찰을 주된 연구 방법으로 삼고, 먼저 수학적 역량을 구성하는 요소들 사이의 관계와 그 속성을 검토하였다. 다음으로 디지털 역량의 의미를 살펴보고 〈인공지능 수학〉을 통해 기르고자 하는 ‘목표’ 역량을 디지털 역량으로 설정하였다. 마지막으로 연구의 핵심 아이디어가 되는 디지털 역량 프레임워크에 대한 탐구를 통해 수학적 역량 네트워크 개념을 확립하고, 이를 기준으로 2015 개정 교육과정에서 제시된 여섯 가지 수학적 역량을 구조화함으로써 〈인공지능 수학〉을 위한 수학적 역량 네트워크를 완성하였다. 이는 현장에서 〈인공지능 수학〉에 대한 ‘역량 교육’을 실현하기 위한 구체적인 기준이 될 수 있다는 점에서 의미가 있을 것으로 기대된다.

핵심어: 수학적 역량, 디지털 역량, 수학적 역량 네트워크, 역량 프레임워크, 인공지능 수학

This study proposes a mathematical competence network for the subject “Artificial Intelligence Mathematics.” The proposed competence network is a new concept of competence as an organic and hierarchical aggregate of mathematical competencies. To define this, the research used systematic literature analysis and review as a main research method and reviewed the relationship and properties among the elements constituting mathematical competence. Next, the research reviewed the meaning of digital competence and specified digital competence as the goal competence to be developed with Artificial Intelligence Mathematics. Finally, the research explored the digital competence framework which was the core idea of the study. The mathematical competence network for Artificial Intelligence Mathematics was then created by making a mathematical competence network and structuring the six mathematical competencies of the 2015 amended curriculum around the network. The new framework is expected to serve as a key standard for implementing competence-based education for Artificial Intelligence Mathematics.

Keywords: mathematical competence, digital competence, mathematical competence network, competence framework, artificial intelligence mathematics

Received: January 2, 2022 Revised: January 29, 2022 Accepted: January 29, 2022

[†]Correspondence: Seo-Hyeon Han, gkstigus@snu.ac.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9100-5330>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Society of Educational Studies in Mathematics

I. 서론

근 10년간 사물인터넷(IoT), 블록체인(Blockchain), 메타버스(Metaverse), 대체불가능토큰(NFT) 등 4차 산업혁명 시대로의 세계적 변화를 나타내는 많은 지표가 있었다. 놀라울 정도의 과학·기술의 진보가 가져다주는 혜택의 기쁨도 잠시, 이로 인해 역설적이게도 우리는 한치 앞을 내다볼 수 없는 불안한 미래와 마주하고 있는 것이 현실이다. 우리가 알고 있는 수많은 직업이 사라질 것이고, 미지의 직업이 생길 것이라 예측하고 있지만(WEF, 2016) 그 사회가 구체적으로 어떠한 모습이며 그래서 우리는 지금 무엇을 준비해야 하는가에 대한 답을 명확히 아는 사람은 없다. 그럼에도 불구하고 적어도 누군가는 이에 대해 깊이 있는 고민을 해야 하고, 그러한 집단 중 하나가 교육 분야 종사자임은 분명하다. 외부에서는 늘 현 교육의 문제점을 지적하며 미래 인재를 양성하기 위해서는 교육이 변해야 한다고 주장한다. 그렇다면 교육계는 이에 대해 어떤 답을 하고 있는가? 아마도 대부분이 ‘역량 교육(Competence-based Education)’에서 그 해답을 찾고 있는 것으로 보인다. “역량 교육은 근대적 지식 교육의 문제를 해결할 획기적인 대안으로 등장했으며 현장에서도 그 중요성을 인정받아 급격히 확산되는 추세에 있다”(Park et al., 2019, p. 3). 하지만 Park et al. (2019)는 “역량 교육이 어떠한 관점에서 접근하고 해석하느냐에 따라 근대 교육과 별반 다르지 않을 수도, 근대 교육이 직면한 문제를 타개할 대안이 될 수도 있음”(p. 3)을 지적하였다.

90년대 OECD에 의해 수행된 DeSeCo¹⁾ 프로젝트에서 제시된 핵심 역량 개념은 이론적이고 추상적인 논의에 그쳐 정책 담당자들과 학교 현장에 실천적인 시사점을 제시하기 어려웠고, 그 결과 교육정책 또는 교육과정의 적용으로 이어지지 못하는 한계가 있었다(Lee & So, 2019). 또한 Lee (2018)는 “역량을 반영하는 방식을 지나치게 국가 교육과정 문서상의 진술 방식의 변화와 관련시켜 논의하는 경향을 보이고 있었다”(p. 55)는 점을 지적하며 수업에서 역량 교육이 실현된 모습이 구체적으로 어떠해야 하는가에 대한 관심을 제고할 필요성을 언급하였다. 실제로 역량을 반영한 2015 개정 교육과정의 경우, 핵심 역량이 문서상 선언적 구호 이상의 의미를 갖기 어려워 보이고, 교과 역량과 성취기준의 연계 또한 미흡하여 역량 교육을 구현하는 것이 오히려 교사들의 몫으로 남게 되었다는 비판이 있다(Lim et al., 2017). 그래서 현 2015 개정 교육과정은 역량이 반영된 교육과정임에도 불구하고, 현장에서 교사들이 실제로 역량 교육을 실천함에 있어 적지 않은 난관이 존재한다(Choi et al., 2017).

그간 ‘수학적 역량’의 개념에 관하여 많은 연구와 담론이 있어 왔다. 수학적 역량이 무엇인가에 대해 학자마다 관점과 강조하는 부분의 차이는 있지만 ‘수학적 사고, 수학적 추론, 수학적 모델링, 문제 해결’ 등 수학적 역량의 개념을 구성하고 특징짓는 핵심은 본질적으로 동일하다고 할 수 있다. 즉, 학계에서 수학적 역량이라는 개념이 갖추어야 할 요소와 범위는 이미 어느 정도 정해져있다. 하지만 현장에서 실제로 ‘역량 교육을 실현한다’는 관점에서 보았을 때, 그러한 역량을 깨치고 발휘해서 살아가야 할 주체인 ‘학생들의 입장’을 반드시 고려해야 하며, 이 경우 학생들이 살아갈 ‘시대의 변화’를 고려하지 않을 수 없다. 다시 말해, 수학적 역량의 본질은 큰 테두리 안에서 변하지 않겠지만 그것이 학생들의 삶에서 실제 의미를 갖는 ‘실질적인 역량’으로 발전·발현되기 위해서는 본질적 의미에 시대적 변화상을 반영하여 기존의 역량 개념을 새롭게 재정립할 필요가 있다. 그렇지 않으면 역량의 의미를 찾기 위한 많은 노력들이 탁상공론으로 전락할 위험이 있다. 미래의 수학교육 방향에 대한 연구를 수행한 Na et al. (2018)는 “4차 산업혁명 시대로 대변되는 미래 시대에서는 매우 극적인 변화가 예상되는 만큼, 미래 시대에 더욱 강조될 주제나 역량을 적극적으로 추구할 필요가 있음”을 지적하며 미래를 위한 수학적 주제와 역량을 제안하였는데, 이 중에는 “새롭게 설정된 것

1) Definition and Selection of Key Competencies

도 있고, 현재에는 언급되는 정도이지만 미래 시대에 더욱 강조될 필요가 있는 것도 있으며, 현재까지 강조되었던 것처럼 지속적으로 강조될 필요가 있는 것도 있다”(p. 462).

현대 사회는 바야흐로 ‘인공지능’의 시대라고 할 수 있다. 인공지능(AI: Artificial Intelligence)이란 “인간의 지적능력을 컴퓨터로 구현하는 과학기술이다”(Ministry of Science and ICT, 2020). 즉, 용어에서 나타나는 의미 그대로 인간의 지능을 인위적으로 구현해내는 기술 또는 구현된 실체이다. 인공지능을 구현하기 위해 필요한 여러 가지 지식들 중에서도 ‘수학’은 특히 중요한 역할을 하고, 시대적 요구에 발맞추어 우리나라 교육과정에서도 최근 <인공지능 수학>이라는 교과목이 진로 선택 과목으로 신설되었다. 그런데 Ministry of Education (2020)은 <인공지능 수학>을 학습함으로써 함양하고자 하는 수학적 역량으로 2015 개정 교육과정에서 추구하는 여섯 가지 수학적 역량을 제시하고 있다. 본 연구는 전술한 바의 관점에 따라 일견 당연해 보이는 이 사실이 과연 충분한지 의문을 제기하는 것으로부터 시작되었다. 즉, 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량은 당연히 추구해야 할 대상이지만 이것들이 학생들에게 실질적인 역량으로서 의미를 가지려면 인공지능 시대라는 사회적 배경을 고려하여 여섯 가지 수학적 역량이 구체적으로 어떤 의미를 갖고 어떤 역할을 수행하는지에 대하여 설명해주는 새로운 역량 개념이 필요하다고 보았다.

본 연구는 신설 교과인 <인공지능 수학>에서 추구해야 할 수학적 역량을 제안하는 것이 목적이다. 이때, 앞서 언급한 문제의식을 고려하여 “수학적 역량을 유기적이고 위계적인 관계로 설명하는 개념을 개발할 수 있는가”를 연구 문제로 설정하고, 그러한 개념을 “수학적 역량 네트워크(Mathematical Competence Network)”라 명명하였다. 그리고 본 연구자는 인공지능으로 특징지어지는 4차 산업혁명 시대를 살아가기 위한 필수 핵심 역량을 ‘디지털 역량’으로 설정하여 이로부터 새로운 역량 개념 구축을 위한 아이디어를 얻고자 했다. 따라서 <인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크를 확립하기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다. 첫째, 연구의 주요 개념인 ‘수학적 역량’, ‘디지털 역량’에 대한 문헌 검토를 실시하였다. 이어 <인공지능 수학>을 통해 디지털 역량을 함양해야 함을 주장하고, 수학적 역량과 디지털 역량 사이의 관계를 규정하였다. 둘째, 연구의 핵심 아이디어가 되는 Choi (2018)의 ‘디지털 역량 프레임워크’를 분석하였다. 셋째, 수학적 역량을 구성하는 요소들은 서로 유기적이고 위계적인 관계를 가짐을 연구 가설로 설정하고 체계적인 문헌 분석과 고찰을 통해 이를 검증하고자 하였다. 넷째, 검증 결과를 토대로 위계적 속성을 갖는 디지털 역량 프레임워크 모델을 수학적 역량에 적용하여 수학적 역량 네트워크라는 새로운 수학적 역량 개념을 확립하고, 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량을 수학적 역량 네트워크를 기준으로 구조화하여 <인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크를 완성하였다.

II. 이론적 배경

1. 수학적 역량

본 절에선 연구의 핵심 개념인 ‘수학적 역량’에 관한 선행 연구들(Abrantes, 2001; Gresalfi et al., 2009; NRC²⁾, 2001; Niss et al., 2016; Niss & Højgaard, 2019; RAND Mathematics Study Panel, 2003)을 검토한다. Niss et al. (2016)에 따르면 수학적 역량에 관한 연구는 두 가지 중요한 유형이 있는데, 하나는 “수학적 역량과 역량 요소를 구성하는 것 자체가 이론적 또는 경험적 연구 대상인 연구”이고, 다른 하나는 “수학적 역량 요소들이 어떤 다른 목적을 위한 연구

2) National Research Council

수단인 연구”이다. “이 두 가지 유형이 서로 상충되는 관계인 것은 아니고, 두 유형을 결합한 연구들도 있다”(p. 621). 수학적 역량에 대한 연구들 중 이론적으로 수학적 역량 요소의 개념을 파악하려는 시도가 적지 않았고, 그러한 연구들에선 수학적 역량 요소를 구성하는 핵심 요소들을 찾고 이들 사이의 유사점과 차이점을 밝히는 것이 주요 쟁점이 었다(Niss et al., 2016). 본 연구에서 하고자 하는 주요 작업은 수학적 역량을 이를 구성하는 요소들 간의 유기적이고 위계적인 관계로 설명하는 개념을 구성하고, 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량에 적용하는 것이다. 따라서 Niss et al. (2016)의 관점에 따르면 본 연구는 수학적 역량과 역량 요소를 연구 대상으로 하는 이론적 연구로 볼 수 있고, 연구 문제를 고려하여 수학적 역량을 구성하는 요소들 사이의 관계와 그 속성을 찾는 것에 초점을 두고 문헌 검토가 이루어졌다. 각 연구는 나름대로의 수학적 역량에 대한 개념을 제시하고 있지만 개념의 구체적 의미와 속성에 대하여 직관적으로 이해하기 어렵거나 말하고자 하는 바가 명시적으로 드러나지 않아서 추측을 해야 하는 경우도 있었다. 여기서는 가능한 한 각 연구에서 수학적 역량의 의미에 대해 분명하게 제시하고 있다고 판단되는 것들을 위주로 정리하여 제시하였다.

Abrantes (2001)은 2001년 당시 포르투갈 국가 교육과정에 담긴 수학적 역량의 의미를 다음과 같이 제시함으로써 수학적 역량의 속성과 구성 요소를 구체적으로 파악할 수 있게 해주었다.

모든 학생들이 기본 교육을 통해 개발해야 하는 수학적 역량은 태도(attitudes), 기능(skills) 및 지식(knowledge)을 통합하며 다음을 포함한다:

- 수학적으로 사고하는 기질(disposition), 즉, 문제 상황을 탐구하고, 패턴을 찾으며, 추측을 만들고 검증하며, 일반화하고, 논리적으로 사고하는 기질;
- 수학적 추론을 포함하는 지적 활동을 전개할 때 얻는 즐거움과 자신감, 그리고 어떤 진술의 타당성이 어떤 외부의 권위보다는 논리적 논증의 일관성과 관련 있다는 개념(conception);
- 다른 사람과 토론하고 상황에 맞는 문어 및 구어 모두를 사용하여 수학적 사고를 의사소통하는 능력;
- 추측, 정리, 증명과 같은 개념에 대한 이해뿐만 아니라 다른 정의를 사용하여 얻는 결과에 대한 이해;
- 문제의 구조를 이해하려고 노력하는 기질과 문제 해결 과정을 발전시키고, 오류를 분석하며 대안적인 전략을 시도하는 능력;
- 결과의 타당성을 결정하고, 상황에 따라 암산 과정(mental computational processes) 및 작성된 알고리즘이나 공학적 도구를 사용하는 능력;
- 일상생활과 자연 또는 예술 속에서 수치적이거나 기하학적 요소 또는 둘 모두를 포함하는 어떤 상황에 놓인 추상적인 구조를 보고 올바르게 이해하는 경향;
- 실세계 상황을 이해하기 위해 다른 분야의 지식과 결합하여 수학을 사용하는 경향, 그리고 수학적 방법과 결과를 사용하는 것에 대한 비판적인 태도(DEB: Abrantes, 2001, p. 133에서 재인용).

Niss & Højgaard (2019)는 덴마크 KOM³⁾ 보고서(Niss & Højgaard, 2011; Niss & Jensen, 2002)에서 처음 소개된 수학적 역량 개념에 대하여 “최신 용어와 함께 원문보다 더욱 명쾌하고 풍부한 설명을 제공한다”(p. 9). 실제로 수학적 ‘역량

3) KOM은 “Kompetencer og matematiklæring [Competencies and the Learning of Mathematics]”의 준말로, 2000년 당시 덴마크 교육부와 과학교육위원회에 의해 KOM 프로젝트가 수행된 이래 수학적 역량이라는 개념은 세계 곳곳의 서로 다른 맥락 속에서 다양한 목적을 갖고 수학교육학 연구 개발 및 적용을 위한 주제가 되어왔다(Niss & Højgaard, 2019, pp. 9-10).

(competence)의 개념을 수학적 '역량 요소(competency)⁴⁾'들로 세분화하여 분석함으로써 개별적인 요소들의 의미와 속성 뿐만 아니라 요소들 간의 관계 등 역량과 관련된 여러 가지 측면을 상세하게 밝히고 있다. Niss & Højgaard (2019)에 따르면 “수학적 역량이란 주어진 상황과 관련된 모든 종류의 수학적 도전에 대응하여 적절하게 행동하기 위한 통찰력 있는 준비상태(insightful readiness)”(p. 12), “수학적 역량 요소란 주어진 상황에서 특정 종류의 수학적 도전에 대응하여 적절하게 행동하기 위한 통찰력 있는 준비상태”(p. 14)를 의미한다. 즉, “수학적 역량은 어떤 상황이나 문맥의 모든 종류의 도전을 다루기 위한 수학의 활성화(activation of mathematics)와 관련된 반면, 수학적 역량 요소는 질문에 답하고, 문제를 해결하며, 현상 및 관계 또는 메커니즘을 이해하거나 혹은 어떠한 입장을 취하고 결정을 내리기 위해 수학의 특정 종류의 활성화를 실제로 또는 잠재적으로 요구하는 특정 종류의 도전들을 다루기 위한 수학의 활성화에 초점을 맞춘다”(p. 14). 따라서 “수학적 역량은 수학적 역량 요소들의 집합으로 구성된 체계(edifice)이다”(p. 14). 이때, 수학적 역량 요소는 크게 ‘수학 안에서 수학을 이용하여 질문을 제기하고 답하기’와 ‘수학의 언어 및 구조들과 도구들을 다루기’의 2가지 범주로 나눌 수 있고, 각 범주는 4개의 요소를 포함하여 Table 1과 같이 총 8개의 수학적 역량 요소가 있다(Niss & Højgaard, 2019).

Niss & Højgaard (2019)는 다음과 같은 설명을 통해 역량 요소들을 인지적인 본성(cognitive nature)의 것으로 제한하면서도 “정의적(affective), 기질적(dispositional), 의지적(volitional) 요소들을 포함하거나 추가하여 역량 요소들을 개념화하는 것은 분명 가능”하다고 하였다(p. 18).

두말할 것 없이, 개인들의 정의적, 기질적, 의지적 특성은 전반적인 수학 학습뿐만 아니라 수학적 역량 요소들의 발달과 발휘에 엄청난 영향을 미친다. 사람들의 정의적, 기질적, 의지적 특성들은 학교 교육과 교육 안팎에서 만들어진 삶의 궤적과 경험들, 수많은 배경 변수에 대한 다변수 함수이므로 이러한 특성들은 매우 개별화 되어있다. 그러한 이유로 분석의 명확성을 유지하기 위해 수학적 역량 요소들의 개념과 정의에서 정의적, 기질적, 의지적 요인들을 생략하기로 결정했다. 다시 말하면 우리의 개념체계에서 역량 요소들은 순전히 인지적인 본성에 관한 것인데, 이는 역량 요소들의 포괄적 정의의 일부를 형성하는 “행동하기 위한 준비상태”가 그러한 것과 마찬가지로(Niss & Højgaard, 2019, p. 18).

Table 1 Eight mathematical competencies (Niss & Højgaard, 2019)

범주	역량 요소 ⁵⁾
수학 안에서 수학을 이용하여 질문을 제기하고 답하기	<ul style="list-style-type: none"> · 수학적 사고(수학적인 탐구에 몰입하는 능력) · 수학적 문제 처리(수학적 문제를 제기하고 해결하는 능력) · 수학적 모델링(수학 외적인 맥락과 상황의 모델을 구성하고 분석하는 능력) · 수학적 추론(수학적 주장에 대해 정당화하고 평가하는 능력)
수학의 언어 및 구조들과 도구들을 다루기	<ul style="list-style-type: none"> · 수학적 표현(수학적 대상의 다른 표현들을 다루는 능력) · 수학적 기호와 형식화(수학적 기호와 형식화를 다루는 능력) · 수학적 의사소통(수학적인 상황에서 수학이라는 도구를 이용하여 수학에 대한 내용을 의사소통하는 능력) · 수학적 보조물과 도구(수학적 활동을 위한 보조물과 도구들을 다루는 능력)

4) Niss & Højgaard (2019)는 ‘competence’와 ‘competency’를 구분하여 mathematical competence를 mathematical competencies로 구성된 개념으로 보고 있다. 이러한 점에서 본고에서는 ‘competence’를 ‘역량’, ‘competency’를 ‘역량 요소’로 번역하였다. 또한 이 관점을 따라 본 연구에서는 수학적 역량을 수학적 역량 요소들의 집합으로 간주하고, ‘역량’과 ‘역량 요소’라는 표현을 구분하여 사용할 것이다.

5) 본고는 각 역량 요소의 개념만 간단히 적어놓았지만 원문은 각 역량 요소가 포함하는 의미를 상세하게 기술하였다.

NRC (2001)의 Adding It Up 프로젝트에 따르면 ‘수학적 능력(Mathematical proficiency⁶⁾)’이란 “수학을 성공적으로 학습하는데 필요한 수학의 전문지식(expertise), 역량(competence), 지식(knowledge) 및 재능(facility)”(p. 116)을 뜻한다. 이러한 수학적 능력의 개념은 ‘개념적 이해(수학적 개념과 연산 및 관계에 대한 포괄적 이해)’, ‘절차적 유창성(절차를 유연하고 정확하게 효율적이고 적절하게 수행하는 능력)’, ‘전략적 역량(수학 문제를 형식화하고 표현하며 해결하는 능력)’, ‘조정 가능한 추론(논리적 사고, 반성, 설명 및 정당화를 할 줄 아는 능력)’, ‘생산적 태도(성실함과 자기 효능에 대한 믿음을 갖고 수학을 합리적이고 유용하며 가치 있는 것으로 보는 습관적 성향)’의 다섯 가지 요소로 구성되어 있는데, 이들은 수학적 능력의 발달에 있어 서로 상호의존적인 역할을 하며 “수학적 능력을 구성하는 지식, 기능, 능력 및 신념을 논하는 프레임워크를 제공해준다”(p. 116). Adding It Up 프로젝트가 제시한 수학적 능력에 대하여 RAND Mathematics Study Panel (2003)은 “수학에서 역량이 있다는 것이 무엇을 의미하는지에 대한 개념”(p. 9)이라고 언급하며, 다섯 가지 수학적 능력의 개념을 기반으로 수학교육 연구개발에 대한 장기적이고 전략적인 프로그램을 제안하였다. 이를 통해 사회적, 문화적, 인종간의 서로 다른 집단에 있는 학생들 사이의 수학적 능력의 차이를 없애고, 수학적 능력의 수준을 제고하고자 하였다(RAND Mathematics Study Panel, 2003).

한편 수학적 역량에 관한 선행 연구들은 ‘수학적 역량 요소들 간의 관계’에 대해 어떤 관점을 취하고 있는지 살펴보자. Niss & Højgaard (2019)에 따르면 수학적 역량을 구성하는 요소들은 서로 분명히 구별되지만 그렇다고 해서 공통점이 없는 것은 아니다. 즉, “각각의 요소가 다른 요소들과 구별되는 잘 정의된 독자성을 갖는다는 점에서는 서로 구별할 수 있으나 어떤 하나의 요소에 관심이 집중되면, 상황과 문맥에 따라 다른 역량 요소들 중 일부 또는 전부는 보조역할을 한다”(p. 19). 이러한 관점을 예와 함께 다음 설명에서도 찾아볼 수 있다.

이론적 용어로서 역량 요소 각각이 다른 역량 요소와의 구별이 가능하도록 잘 정의된 정체성을 갖는다고 할지라도, 한 역량 요소의 수행은 보통 다른 역량 요소들에 의존하여 이루어질 것이다. 다시 말해 역량 요소들은 실제로 정의에 의해 서로 자주 겹친다. 이는 꽃의 은유에서 서로 교차하는 꽃잎들이라는 시각적 표현과 KOM 보고서에 의해 설명된 바 있다. 예를 들어 수학적 문제를 제기하고 해결하는 역량 요소는 최소한 수학적 표현, 수학적 기호와 형식화, 또는 수학적 추론을 다루는 몇 가지 기본 측면을 반드시 수반한다. 만일 이 세 가지 역량 요소 중 어느 하나라도 없다면 수학적 문제해결은 불가능할 것이다(Niss et al., 2016, pp. 622-623).

이 설명에 나오는 ‘교차하는 꽃잎들이라는 시각적 표현’이란 Figure 1의 좌측 그림을 의미하는데, 이는 추후 Figure 1의 우측 그림과 같이 새롭게 표현되었다.

이러한 설명을 고려해보면 수학적 역량 요소들은 서로 유기적인 관계를 갖는다고 말할 수 있다. 즉, 수학적 역량은 유기성을 가진 개념이다. 유사하게 역량 요소들 간의 상호 연관성과 상호 의존성은 Adding It Up 프로젝트에서 ‘다섯 가지 수학적 능력의 엮인 실타래(Intertwined Strands of Proficiency)’라는 시각적 상징(Figure 2)으로도 묘사된 바 있다.

RAND Mathematics Study Panel (2003)은 다섯 가지 수학적 능력이 “숙련된 수학적 추론과 문제 해결 과정에서 상호 연결되고 통합된다”고 표현하며, “개념적 이해 대 절차적 유창성과 같이 한 요소를 다른 요소와 비교하려는 논쟁들은 수학적 능력의 속성을 잘못 해석하는 것”이라고 설명하였다(p. 9). 즉, “다섯 가지 요소는 서로 상호의존적이

6) NRC (2001)는 ‘proficiency (본 연구에서는 능력으로 번역)’를 ‘competence’를 포함하는 의미로 사용하였다. 이를 고려하여 본 연구에서는 ‘수학적 능력’을 ‘수학적 역량’의 한 종류로 보고 문헌 검토 대상에 포함시켰다.

Figure 1 A visual representation of the eight mathematical competencies

Figure 2 Intertwined Strands of Proficiency (NRC, 2001, p. 5)

기 때문에 문제는 어떤 요소가 가장 중요한지가 아니라 이들이 언제, 어떻게 상호작용하며 맞물리는가"이며, "학교 수학에서 다섯 가지 요소를 모두 다루는 접근법이 필요하다"고 하였다(p. 9). 이러한 역량의 속성을 고려하면 수학적 역량의 개념을 논할 때, 역량을 구성하는 각 요소들의 구체적인 의미를 밝히는 일도 물론 중요하지만 일단 개별적인 의미가 정립되고 나면 그것들의 상호연관성을 밝히는 것 또한 의미 있는 일이라 할 수 있다. 본 연구자는 이러한 역량 요소들 간의 관계에 주목하는 것이 역량 개념에 대한 모호성을 해소하고 역량 교육의 구현에 도움을 주는 실마리가 될 수 있다고 보았다.

역량이 구성되는 과정에 초점을 두고 역량의 의미를 파악하고자 한 연구도 있었다. Gresalfi et al. (2009)는 교실 안에서 역량이 어떻게 형성되는지, 그 구성 과정에 초점을 둔 연구를 통해 역량이라는 개념은 학생 개인에게 내재된 것이 아니라 교실 안에서 학생이 참여할 때 의미를 갖는다고 하였다. 즉, "역량은 일반적으로 교실에서 교사와 다른 학생들에 의해 성공한 것으로 간주되기 위해 학생들이 알아야 하거나 해야 하는 것"(p. 50)으로 학생이 교실 활동에 적극 참여함으로써 획득될 수 있다. 이러한 관점에 의하면 "학생이 역량을 가졌는지의 여부는 개별 학생의 특성이 아니라 학생이 역량을 구성하는 활동에 참여할 수 있는 기회와 그러한 기회를 취하는 방식 간의 상호 작용"으로 볼 수 있고, 따라서 "역량은 참여하는 교실의 환경에 따라 매우 다르게 보인다"(p. 50). 역량은 "정답을 맞추기 위해 학생들이 알아야 하거나 해야 하는 것"일 수 있고, "실수나 오개념을 공유하는 행위"일 수도 있다(p. 51). 또한 "학생의 어떤 행동이 과제에서 벗어나거나 틀린 것"으로 식별되었을 때, 그 순간 일시적으로 학생의 역량은 부족한 것으로 판단할 수 있지만 그것이 곧 "일반적으로 역량이 부족함"을 의미하는 것은 아니라는 점을 유의하는 것이 중요하다(pp. 56-57). 이러한 역량의 의미로부터 역량은 구성적이고 참여적인 특징을 갖는다고 말할 수 있고, 구성적·참여적 속성으로서의 역량 개념은 '태도·의사소통'과 같은 역량의 정의적인 측면을 강조하는 것으로 해석해볼 수 있다. 즉, 역량은 교실에서 일어나는 수학 활동에 적극 참여함으로써 구성될 수 있으므로 학생은 교실 구성원들과의 원활한 의사소통을 바탕으로 적극적인 태도로 임하는 것이 중요하다. 이는 Niss & Højgaard (2019)가 개인의 정의적, 기질적, 의지적 요소들이 수학적 역량 요소들의 발달과 발휘에 영향을 끼친다고 한 것과도 맥을 같이 한다. 따라서 역량 요소들 간의 관계에 있어 태도 및 의사소통은 다른 요소를 발휘하기 위한 선행 요소로 볼 수 있고, 이러한 해석은 수학적 역량 네트워크 개념에서 태도와 의사소통이 위치할 단계를 결정하는 데에 있어 영향을 주었다.

이상으로 수학적 역량의 의미와 수학적 역량을 구성하는 요소들 간의 관계 등에 대하여 살펴보았다. 수학적 역량의 의미를 규명하는 방식과 이를 바라보는 관점은 각 연구마다 다소 차이를 보이는데, 이는 수학적 역량이라는 개념이 단순히 정의될 수 있는 개념이 아님을 시사한다. 하지만 대부분의 연구가 공통적으로 수학적 역량을 그 개념을 구성하는 요소들의 집합으로 보고 있다. 바꿔 말하면 수학적 역량은 어떤 특정한 하나의 능력으로 축소될 수 없으며 여러 가지 요소들의 통합된 하나로 해석될 때 그 의미를 갖는다. 그리고 수학적 역량 요소들은 상호 배타적이지 않고, 오히려 서로 밀접하게 관련되어 있다. "수학적 역량 요소는 독자적으로 개발 또는 소유되거나 실행되지 않으며 거대한 복합체로서 함께 작동한다"(Niss et al., 2016, p. 623). 이제 문헌 검토를 통해 얻은 수학적 역량에 대한 각 연구들의 개념과 관점을 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량에 적용하여 본 연구자는 수학적 역량을 다음과 같이 정의한다.

수학적 역량이란 수학에 대한 제반 지식을 바탕으로 문제 해결 능력, 추론 능력, 창의·융합 능력, 의사소통 능력, 정보 처리 능력, 태도 및 실천 능력을 종합적으로 발휘하여 디지털 사회의 다양한 문제를 수학적으로 대응할 수 있는 능력이다.

2. 디지털 역량과 인공지능 수학

본 절에선 디지털 역량의 개념을 살펴보고, <인공지능 수학> 교과를 통해 인공지능 시대의 필수 역량인 디지털 역량을 함양해야 함을 주장한다. 또한 <인공지능 수학> 교과에서 새롭게 추구하고자 하는 디지털 역량과 현재 추구하고 있는 수학적 역량 사이의 관계를 설정하여 <인공지능 수학>을 위한 새로운 수학적 역량 개념을 구축할 수 있는 토대를 마련한다.

Choi (2018)는 4차 산업혁명 시대를 살아가는데 필요한 핵심 역량으로서 디지털 역량의 중요성이 점점 커지고 있다고 하였고, Lee & Jeon (2020)은 디지털 기술로 촉발된 디지털 변환이 일으킨 산업 생태계의 혁신적 상황을 4차 산업혁명으로 규정하며 디지털 역량이 4차 산업혁명 시대의 핵심 역량임은 자명한 사실이라고 하였다. 그런데 수학적 역량이 그러하듯 디지털 역량 또한 이와 관련된 여러 가지 개념과 디지털 역량을 구성하는 요소의 다양성을 고려해볼 때, 쉽게 정의할 수 있는 개념으로 보이지 않는다. 실제로 각 선행 연구들은 디지털 역량의 개념을 규명하기 위해 광범위한 자료를 대상으로 디지털 역량의 의미와 속성을 조사하였으며 이를 바탕으로 디지털 역량을 정의하였다.

Lee & Jeon (2020)은 디지털 역량을 “디지털 사회의 시민으로서 책임과 의무를 준수하고, 권리를 행사하며, 직업적 요구를 수용하기 위해 필요한 디지털 지식, 기능, 태도”(pp. 331-332)로 정의하고, 디지털 역량을 구성하는 요소로 디지털 기기 리터러시, 디지털 콘텐츠 리터러시, 디지털 의사소통 및 협력, 디지털 시민의식, 디지털 문제 해결, 디지털 직업 리터러시의 여섯 가지를 제시하였다. 여기서 여섯 가지 요소는 Table 2와 같이 각각 세부 역량으로 나뉜다.

Lee (2015)는 디지털 역량 개념과 관련 있는 구체적인 특징을 다음과 같이 네 가지로 제시하였다(p. 183). 첫째, 디지털 역량은 컴퓨터와 정보기술에 대한 지식을 활용하여 얻고자 하는 언어, 상징, 텍스트, 이미지 등 디지털 자료를 식별 및 확인하고 정의하는 것과 관련 있다. 둘째, 디지털 역량은 소프트웨어를 포함한 각종 기술을 이용하여 문제를 인식하고 필요한 정보를 수집하여 비판적으로 분석 및 판단하는 것과 관련 있다. 셋째, 디지털 역량은 목적에 맞게 새로운 정보를 제작하여 교환하고 공유함으로써 타인과 효과적으로 의사소통할 수 있는 것과 관련 있다. 넷째, 디지털 역량은 디지털 자원을 이용함에 있어 윤리적 책임 의식과 올바른 가치관 및 공동체 의식을 갖는 것과 관련 있다. 이를 통해 알 수 있는 디지털 역량 개념을 구성하는 요소는 ‘컴퓨터 · 정보기술 · 디지털 도구에 대한 지식과 사용 능력’,

Table 2 Six digital competencies (Lee & Jeon, 2020, pp. 332-333)

대역역	세부 역량
디지털 기기 리터러시	· 디지털 기기 다루기
디지털 콘텐츠 리터러시	· 디지털 콘텐츠 활용
디지털 의사소통 및 협력	· 디지털 기술을 통한 의사소통
디지털 시민의식	· 디지털 전환의 영향 이해
	· 디지털 예절 준수
	· 저작권 및 라이선스 이해
디지털 문제 해결	· 디지털 문제 해결
	· 컴퓨팅 사고(데이터 수집 및 패턴 인식 / 추상화 / 알고리즘 설계 및 프로그래밍)
디지털 직업 리터러시	· 직업적 디지털 역량 요구 인식
	· 4차 산업혁명의 직업적 영향 이해
	· 디지털 기기 인식
	· 디지털 콘텐츠 생성
	· 디지털 기술을 통한 공유 및 협업
	· 디지털 시민권 참여
	· 개인 정보 및 프라이버시 보호
	· 신규 디지털 범죄 인식
	· 직업적 디지털 역량 함양

‘디지털 자료를 식별하고 정의하는 능력’, ‘정보를 수집·분석·판단하는 능력’, ‘새로운 정보를 제작하는 능력’, ‘협력과 의사소통’, ‘윤리 의식’으로 정리해볼 수 있다.

Choi (2018)는 디지털 역량을 “디지털 사회에서 주어진 문제를 해결하기 위해 다른 사람과의 협업과 소통을 통해 디지털 기술을 활용하여 필요한 정보를 탐색하고 분석하여 결과물을 생산하는 능력”(p. 25)으로 정의하며 디지털 역량을 구성하는 요소로 ‘디지털 기술과 사회의 이해’, ‘디지털 시민의식’, ‘안전과 보안’, ‘ICT 스킬’, ‘협력’, ‘의사소통’, ‘정보 리터러시’, ‘문제해결’, ‘디지털 창조’를 제시하였다(p. 33). 즉, “디지털 사회에서 각 구성원들이 일상적인 삶을 살아가고, 학습하고, 각 분야에서의 작업을 혁신적이고 창의적으로 수행하기 위해 필요한 능력으로, 디지털 기술에 대한 지식, 태도, 스킬 및 문제 해결을 위한 사고력 등을 포함한다”(p. 32). 수학적 역량이 태도, 기능, 지식을 통합하는 특징이 있다(DEB: Abrantes, 2001, p. 133에서 재인용)는 관점에서 보면 디지털 역량은 수학적 역량의 속성과 유사하다고 할 수 있다. 이러한 유사성은 OECD의 두 개의 프로젝트에서 정의한 일반적인 역량의 개념(Table 3)에 기인하는 것으로 보인다.

이상에서 살펴본 디지털 역량에 대한 각 선행 연구들의 개념은 표현하는 방식에 있어 다소간 차이는 있지만, 개념을 구성하는 요소를 ‘디지털 기술에 대한 이해와 사용 능력’, ‘의사소통과 협력’, ‘올바른 윤리 의식과 가치관’, ‘문제해결’, ‘콘텐츠와 정보 등에 대한 창작’ 등으로 정리할 수 있다는 점에서 그 핵심은 본질적으로 동일하다.

한편, 2015 개정 교육과정은 <인공지능 수학>의 교과 목표를 다음과 같이 제시하고 있다.

지능정보사회의 핵심 기술인 인공지능을 이용하여 실생활의 다양한 문제를 해결할 때 수학을 어떻게 활용하는지 이해하며, 수학의 가치를 인식하고 미래 사회가 필요로 하는 역량을 기른다(Ministry of Education, 2020, p. 164).

여기서 ‘미래 사회가 필요로 하는 역량’이라는 것이 무엇인지, 즉 <인공지능 수학>을 배움으로써 기를 수 있는 역량이 무엇인지 생각해보자. 이에 대한 답으로 당연히게도 2015 개정 교육과정에서 추구하는 여섯 가지 수학적 역량을 생각할 수 있다. 실제로 <인공지능 수학>의 교과 성격에서 “학생들은 인공지능에 활용되는 수학의 유용성을 이해하고 문제 해결, 추론, 창의·융합, 의사소통, 정보 처리, 태도 및 실천의 여섯 가지 수학 교과 역량을 길러야 한다”(Ministry of Education, 2020, p. 163)고 명시되어 있다. 그런데 본 연구자는 관점을 바꾸어 질문에 대한 또 하나의 답으로 ‘디지털 역량’이 될 수 있음을 주장한다. 수학교육의 목표는 단순히 수학자만을 양성하는 것이 아닌 인공지능 시대를 지혜롭게 살아갈 인재를 육성하는 것이고, 인공지능 시대를 살아가기 위한 필수 역량은 ‘디지털 역량’이다. 그런데 <인공지능 수학>을 통해 학생들은 단순히 수학만 배우는 것이 아니라 인공지능에 대해서도 배운다. 따라서 다른 수학 교과목보다 <인공지능 수학>에서 디지털 역량을 추구하겠다는 생각은 자연스럽

Table 3 Definition of competence in the two OECD projects

구분	역량의 정의
DeSeCo Project	“단순한 지식과 기능 이상으로서, 특정한 맥락에서 (기능과 태도를 포함한) 심리사회적 자원들을 끌어내고 동원함으로써 복잡한 요구사항들을 충족시키는 능력을 포함하는 것”(OECD, 2005, p. 4)
Education 2030 Project	“지식과 기능의 단순한 습득 이상을 포함하는 것으로, 지식, 기능, 태도와 가치를 동원하여 복잡한 요구를 충족시키는 능력을 포함하는 것”(OECD, 2018, p. 5)

다. 이러한 주장은 Ministry of Education (2021)가 ‘2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안)’에서 미래 변화에 대응하는 교육과정 혁신 과제 중 하나로 밝힌 “디지털 · AI 소양 함양 교육 강화”(p. 17)라는 시대적 흐름과도 일치한다.

만약 디지털 역량을 기르는 것도 <인공지능 수학>의 한 목표임을 받아들인다면, <인공지능 수학>이 수학 교과로서 기존에 추구하고 있는 수학적 역량과 앞으로 새롭게 추구하고자 하는 디지털 역량 사이의 관계는 어떻게 규정되어야 하는가를 고민해볼 필요가 있다. <인공지능 수학>이 인공지능의 원리를 설명하고 인공지능을 구현하기 위한 수단으로서의 수학을 배우는 과목임을 고려할 때, 본 연구자의 기본적인 생각은 기존의 수학 교과에서 추구하는 수학적 역량이 디지털 역량을 기르는 데 도움을 주어야 한다는 것이다. 즉, <인공지능 수학>을 인공지능 구현을 위한 ‘수단으로서의 수학’으로 생각하는 것처럼, 수학적 역량이 디지털 역량을 함양하기 위한 ‘수단으로서의 역량’ 역할을 하길 바란다. 그런데 이 경우, 기존에 우리가 알고 있던 수학적 역량의 개념, 예컨대 “수학적 역량은 문제 해결 능력, 추론 능력 등이 있다.”와 같은 방식으로 수학적 역량을 구성 요소들의 단순한 집합으로만 생각하는 것은 이러한 역량들이 어떻게 디지털 역량을 함양하기 위한 수단으로서 기능할 수 있는지를 규명해주시지 못한다고 보았다. 그래서 본 연구자는 역량 요소들 간의 상호 관계, 그리고 ‘수단 → 목표’라는 관계, 즉 수단이라는 전제로부터 목표라는 결과를 얻는 순서적 · 단계적 관계에 주목하였고, 그 결과 Choi (2018)의 디지털 역량 프레임워크로부터 새로운 역량 개념을 정립하기 위한 구체적인 아이디어를 얻을 수 있었다.

3. 디지털 역량 프레임워크

본 절에서는 Choi (2018)가 제안한 디지털 역량 프레임워크를 분석할 것이다. Choi (2018)는 디지털 역량에 관한 국내외 연구에서 제시하고 있는 구성요소들을 비교 분석하여 중요하게 고려되는 요소를 파악하고, 4차 산업혁명 시대의 핵심 역량과 디지털 역량을 비교 분석함으로써 디지털 역량 프레임워크를 Figure 3과 같이 설계하였다.

그리고 이에 대해 다음과 같이 설명하였다.

Figure 3 The composition diagram of the digital competency framework in the era of the 4th industrial revolution (Choi, 2018, p. 33)

먼저, 각 역량 요소들에 영향을 미치는 ‘사고력’ 단계가 있고, ‘기본 지식과 스킬’의 관점, 지식과 스킬을 이용하여 ‘활용하고 수행’하는 단계, 활용하고 수행 과정을 통해 실제 문제를 해결하거나 디지털 콘텐츠를 창작하는 ‘창조와 실현’의 단계로 보다 높은 수준으로 정의된다.

4차 산업혁명 시대의 디지털 역량에 요구되는 사고력으로 ‘창의적 사고’, ‘융합적 사고’, ‘비판적 사고’, ‘혁신적 사고’를 포함하고 있는데, 이러한 사고력은 단지 디지털 역량의 측면뿐만 아니라 일반 역량에서도 요구되는 능력이라고 할 수 있다. 특히, ‘컴퓨팅사고’와 ‘디자인사고’는 ‘창조와 실현’ 단계의 문제해결과 디지털 창조를 위해서 중요한 사고력이라고 할 수 있다.

실제 핵심역량은 타원 안에 포함되도록 구성하였는데 ‘기본지식과 스킬’ 단계에 해당되는 요소로 ‘디지털 기술과 사회의 이해’, ‘디지털 시민의식’, ‘안전과 보안’, ‘ICT 스킬’ 등이 포함되었다. 이 부분에서는 디지털 기술과 사회에 대한 이해와 윤리적 태도 등의 정의적인 측면, 디지털 기술을 활용하여 일을 문제를 처리하기 위한 ICT 스킬과 기술의 안전한 실행이 가능하도록 하는 요소들을 포함하고 있다. ‘활용과 수행’ 단계에서는 하위 단계의 스킬, 지식, 태도를 바탕으로 하여 문제 해결을 위해 실제 정보를 탐색, 분석, 관리 등을 수행하는 단계로 서로 협력하고 소통하며 일을 처리하는 단계이다. 이러한 요소들과 함께 실제 문제해결이나 콘텐츠를 창작하는 ‘창조와 실현’이 최상의 단계가 된다 (Choi, 2018, pp. 32-33).

이러한 설명으로부터 본 연구자는 역량을 바라보는 새로운 관점인 ‘프레임워크로서의 역량’ 개념을 생각하였고, 이는 ‘수학적 역량 네트워크’ 개념을 생성하는 아이디어로 작용했다. 본 연구에서 ‘프레임워크’란 ‘역량을 구성하는 요소들이 수행하는 특정한 역할에 따라 각 요소를 단계별로 구분하는 분석틀’, 프레임워크로서의 역량, 즉 ‘역량 프레임워크’란 ‘역량을 구성하는 요소들이 각 역할에 따라 단계적이고 종합적으로 발휘되는 역량’으로 정의한다. 이 개념에 따르면 Choi (2018)가 설계한 디지털 역량 프레임워크는 디지털 역량의 개념을 규명하기 위해 역량을 구성하는 요소를 단순히 나열했다기보다 각각의 요소들이 수행하는 특정한 역할끼리 묶어 단계별로 구성했고, 이러한 단계에 따라 종합적으로 발휘되는 역량을 디지털 역량 프레임워크라 부른 것이라고 할 수 있다. 즉, 디지털 역량은 디지털 역량을 구성하는 요소들의 단순한 집합이 아니라는 점을 인지하는 것이 중요하다. 또한 역량 프레임워크 개념에서는 역량 요소들을 구분하는 기준인 단계가 중요한데, 역량 프레임워크에서 ‘단계’란 ‘역량 개념을 구성하는 의미의 단위이자 역량 요소를 구분할 수 있는 기준’으로 정의한다.

이제 Choi (2018)의 디지털 역량 프레임워크의 의미를 본 연구자가 제안하는 ‘역량 프레임워크(프레임워크로서의 역량)’의 관점에서 단계적(위계적) 속성에 초점을 두어 구체적으로 해석해보자. 이에 앞서 분석을 용이하게 하기 위해 Figure 3의 구성도에 ‘1·2·3단계’라는 표현을 추가하여 디지털 역량 프레임워크를 Table 4와 같이 제시한다.

Table 4 The composition diagram of the digital competency framework in the era of the 4th industrial revolution (Choi, 2018)

구분	단계		역량 요소			
3단계	창조와 실현		문제 해결		디지털 창조	
2단계	활용과 수행		협력	의사소통	정보 리터러시	
1단계	기본 지식과 스킬	디지털 시민의식	디지털 기술과 사회의 이해		안전과 보안	ICT 스킬

먼저 ‘단계’의 정의를 고려하면 디지털 역량 프레임워크에 내재된 역량의 개념은 ‘기본 지식과 스킬을 갖추고, 이를 활용하고 수행함으로써, 창조와 실현을 할 수 있는 능력’으로 볼 수 있다. 이제 각 단계를 살펴보면 [1단계]는 디지털 역량을 발휘하기 위한 기본 지식과 스킬을 갖추는 단계다. 그러한 요소에는 디지털 시민의식, 디지털 기술과 사회의 이해, 안전과 보안 및 ICT (Information and Communication Technologies) 스킬이 있다. ‘기본 지식과 스킬’이라는 명칭에는 정의적 측면이 드러나지 않지만 실제 구성 요소를 살펴보면 시민의식과 같은 정의적 영역도 디지털 역량을 구성하는 한 요소로 고려하고 있음을 알 수 있다. 즉, 디지털 역량 프레임워크는 OECD에서 정의한 역량의 구성 요소인 지식, 기능, 태도를 포함한다고 말할 수 있다.

기본 지식과 스킬이 갖추어지고 나면 실제 이들을 활용하고 수행하는 [2단계]로 넘어갈 수 있다. [2단계]를 구성하는 역량 요소로 협력, 의사소통 및 정보 리터러시를 제시하고 있는데, [2단계]의 의미를 [1단계]를 고려하여 구체화해보면 [1단계]에서 습득한 지식과 스킬 및 태도를 바탕으로 협력과 의사소통을 통해 정보를 탐색하고 비판적으로 분석하며 다루는 단계라고 할 수 있다.

마지막으로 [3단계]는 활용과 수행을 한 결과로 창조와 실현을 하는 단계다. 즉, [1단계], [2단계]에서 갖춘 능력을 이용하여 문제를 실제로 해결하거나 디지털 콘텐츠를 창작하고 실현한다. 여기서 주목할 만한 것은 문제 해결 능력을 가장 상위 단계인 [3단계] 요소로 제시했다는 점이다. 즉, 문제 해결 능력이 제대로 기능하기 위해서 상당히 많은 하위 요소들을 전제하고 있다. 이러한 특징은 본고에서 수학적 역량 요소 중 하나인 문제 해결 능력의 역할을 규정하는데 영향을 주었다.

지금까지 디지털 역량 프레임워크의 구조와 개념을 살펴보았다. 이상을 종합하여 연구 문제를 해결하기 위한 핵심 아이디어를 다시 한 번 정리하면 ‘역량은 역량 개념이 포함해야 하는 하위 요소들의 단순한 합집합이 아니라는 점’이다. 각 요소들은 그 역할에 따라 특정한 단계 중 어느 하나에 속하며 이들의 위계적인 관계, 즉 ‘프레임워크’가 곧 역량이다. 이처럼 위계적이고 종합적인 관계로서의 역량 개념이 ‘역량 프레임워크’이다. 본 연구자는 이러한 ‘역량 프레임워크’의 관점을 앞의 2절에서 정리한 디지털 역량의 구성 요소에 적용하여 <인공지능 수학>에서 추구해야 할 디지털 역량을 다음과 같이 정의한다.

디지털 역량이란 디지털 기술에 대한 제반 지식과 충분한 이해를 바탕으로, 디지털 시대에 필요한 올바른 윤리 의식과 가치관을 견지하고, 디지털 사회 구성원 간 원활한 의사소통을 통해 정보를 공유하고 협력하며, 4차 산업혁명 시대의 다양한 문제를 해결함으로써 새로운 정보·지식·가치를 만들어내는 능력이다.

III. 연구 방법

본 연구는 수학적 역량에 대한 이론적 연구로, 기존에 통용되는 수학적 역량의 개념을 새로운 관점으로 접근함으로써 수학적 역량에 대한 학계의 논의를 진전시키는 데 그 의의가 있다. 따라서 역량 및 디지털 역량과 더불어 수학적 역량에 대한 이론을 체계적으로 고찰하고 분석하는 것을 주요 연구 방법으로 설정하였다. 현재까지의 논의를 정리하여 본 연구를 위한 연구 모형을 Table 5와 같은 구조로 설계하였으며, 문헌 고찰 결과에 연구자의 직관과 통찰을 결합하여 연구 문제를 해결하였다.

Table 5 Study model

구분	내용
연구 목적	<인공지능 수학> 교과를 위한 새로운 수학적 역량 개념 제안
연구 문제	수학적 역량을 유기적이고 위계적인 관계로 설명하는 개념을 개발할 수 있는가?
연구 가설	수학적 역량을 구성하는 요소들은 서로 유기적이고 위계적인 관계를 갖고 있다.
연구 방법	문헌 분석 및 고찰

IV. 연구 결과

1. 새로운 수학적 역량 개념 제안: 수학적 역량 네트워크

본 절에서는 역량 프레임워크 개념에 착안하여 본질적인 의미로서의 수학적 역량이 아닌 유기적이고 위계적인 의미로서의 수학적 역량 개념인 ‘수학적 역량 네트워크’를 정의하는 것이 목표다. 즉, 수학적 역량을 구성하는 요소들 간의 단순한 합집합이 아닌 요소들 간의 유기적이고 위계적인 관계로 수학적 역량을 바라보는 것이다.

본 연구자는 디지털 역량과 수학적 역량이 모두 지식·기능·태도를 종합하는 개념이라는 유사성과 수학적 역량 요소들은 서로 밀접한 관련을 갖는 하나의 종합체라는 관점을 근거로 디지털 역량 프레임워크를 수학적 역량에 적용시킨 ‘수학적 역량 네트워크’를 고안하였다. 수학적 역량 네트워크란 역량 프레임워크로서의 수학적 역량 개념으로서, 그 기본적인 의미는 ‘수학적 역량을 구성하는 요소들이 각 역할에 따라 단계적으로 발휘되는 종합적인 능력’이다. 즉, 수학적 역량을 디지털 역량 프레임워크의 단계별 의미 단위에 맞추어 각 단계에 수학적 역량을 구성하는 요소를 대응시킨 개념이다. 이를 잘 정의하기 위해선 수학적 역량 요소들을 구분하는 기준인 ‘단계’를 규정하는 작업이 중요하다. 본 연구자는 수학적 역량 네트워크의 각 단계에 대하여 디지털 역량 프레임워크를 기본적으로 따르되 약간의 변형을 주어 총 4개의 단계를 가지는 것으로 정의하고, [1단계]는 지식·기능, [2단계]는 기술·태도·의사소통, [3단계]는 문제 해결, [4단계]는 응용·창작으로 정의하였다. 즉, 수학적 역량 네트워크의 [1단계] 지식·기능 역량은 디지털 역량 프레임워크의 [1단계]의 기본 지식에 대응하고, [2단계] 기술·태도·의사소통 역량은 디지털 역량 프레임워크의 [1단계]의 스킬과 [2단계]를 통합한 것이며, [3단계] 문제 해결 역량과 [4단계] 응용·창작 역량은 디지털 역량 프레임워크의 [3단계]를 분리한 것이다. 이렇게 설정한 단계별 역량을 의미 단위로 하여 수학적 역량 네트워크를 다음과 같이 정의한다.

수학적 역량 네트워크란 수학에 대한 지식과 기능을 바탕으로 기술·태도·의사소통 능력을 발휘하여 디지털 사회의 다양한 문제를 해결하고 그 결과를 응용하거나 새로운 가치를 창작할 수 있는 능력이다.

그리고 수학적 역량 네트워크의 의미를 시각적으로 나타내기 위해 Figure 4와 같은 시각적 모델을 고안하였다.

Figure 4 A visual representation of the mathematical competence network

이제 수학적 역량 네트워크의 단계별 의미를 구체적으로 살펴보면 먼저 [1단계]의 '지식' 역량이란 '수학 교과에서 다루는 수학적 내용을 얼마나 알고 있는가를 나타내는 지표로서의 역량'으로 정의한다. 이는 디지털 역량 프레임워크의 [1단계]의 '기본 지식'에 대응하여 고안한 요소로서, 위계적으로 볼 때 지식은 역량을 발휘하기 위한 원료, 즉 역량의 근원이 된다는 점을 강조하기 위해 첫 번째 단계로 설정하였다. 또한 [1단계]의 '기능' 역량은 '2015 개정 수학과 교육과정의 기능'으로 정의한다. '기능'이란 "수학 교과 고유의 탐구기능 및 사고방식을 반영하는 것으로, 수학 내용을 학습한 후 학생들이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 도달점(outcome) 혹은 수행능력"(Park et al., 2015, p. 27)을 말한다. 즉, 기능은 "지식을 경험할 수 있도록 하는 것으로, 교과 역량이 구체화되는 양태라고 할 수 있다"(Ministry of Education: Park et al., 2015, p. 27에서 재인용). 이러한 [1단계]의 지식과 기능 역량을 구성하는 세부 요소는 각각 교육과정에 규정된 교과별 내용 체계의 '내용 요소'와 '기능'으로 정의한다. 내용 요소는 "교과 및 영역을 구성하는 지식"(Park et al., 2015, p. 27)으로서 "학년(군)에서 배워야 할 필수학습내용"(Ministry of Education, 2020)을 의미한다. 이때, [1단계]를 구성하는 세부 요소를 내용 요소와 기능의 두 가지로 보는 대신 교육과정의 '성취기준'으로도 볼 수 있는데, 왜냐하면 성취기준이란 "학생들이 교과를 통해 배워야 할 내용과 이를 통해 수업 후 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력을 결합하여 나타낸 수업 활동의 기준"(Ministry of Education, 2020)이기 때문이다. 즉, 성취기준은 "수학을 통해 학생들이 배워야 할 지식과 기능을 의미"(Park et al., 2015, p. 24)하는데, '내용 요소'와 '기능'을 결합함으로써 "수학 교과 역량의 구현을 촉진"(Park et al., 2015, p. 27)시키려는 의도가 담겨있는 개념이다.

여기서 한 가지 짚고 넘어가야 할 부분은 '지식'을 역량의 개념에 구체적으로 명시하는 것의 타당성에 의문을 제기할 수 있다는 점이다. 예컨대, NCTM (2000)의 관점에서 보면 지식과 역량은 각각 내용 기준(수와 연산, 대수, 기하, 측정, 자료 분석과 확률)과 과정 기준(문제 해결, 추론과 증명, 의사소통, 연결성, 표현)에 대응되고, 내용 기준과 과정 기준은 어느 하나가 다른 하나에 포함되는 관계가 아닌 것처럼 지식을 역량의 일부로 보는 것은 적절하지 않다는 반론이 있을 수 있다. 수학적 역량에 대한 체계적인 연구를 진행한 Niss & Højgaard (2019)의 경우, 역량 발휘에 있어 지식의 역할이 필수적이라고 하면서도 역량 요소와 교과 내용 사이의 관계를 독립적이지만 상호작용하는 두 개의 차원을 구성하는 것으로 규정하였다. 하지만 본 연구자는 학교 교육의 맥락에 역량 교육을 도입시킨 계기가 되었던 DeSeCo 프로젝트(So, 2007)와 이를 발전시킨 Education 2030 프로젝트에서 제시한 역량의 정의를 역량 개념의 연구를 위한 기본 전제로 하고, 지식을 포함시켜 수학적 역량 네트워크를 개념화하는 것이 수학적 역량의 개념을 보다 구체화 시켜준다는 점에서 합리적이라고 판단하였다. 즉, 지식 · 기능 · 태도를 포함하는 개념으로 설명하는 것이 선행 연구에서 확인한 수학적 역량의 통합적인 속성을 대변해준다고 보았다. Hwang (2017)은 역량과 지식의 관계에 대하여 다음과 같은 인상적인 설명을 통해 역량과 지식의 상호의존성을 강조하였다.

일반역량(적어도 정신능력과 관련된 일반역량)의 교육에 있어서는 교과지식 교육과 일반역량교육은 상호 경쟁적이라거나 어느 하나가 다른 하나를 대체할 수 있는 그러한 관계로 보아서는 안 된다. 올바른 지식교육은 정보의 기억을 넘어서는 많은 능력을 요구하며, 이러한 지식 교육이 수반되지 않는다면 정신역량의 교육은 형식으로서의 부소능력에 대한 도야와 훈련이 그러하였듯이 공허한 일이 될 것이다. 역량 없는 지식은 무기력하고, 지식 없는 역량은 공허하다(p. 261).

결론적으로 "지식과 기능은 역량 요소들의 실행을 위한 연료가 된다"(Niss et al., 2016, p. 619)는 점을 분명히 하는 것이 역량의 의미를 이해하는 데에 도움이 된다고 보았다. 예컨대, 2015 개정 교육과정에서 추구하는 수학적 역량

Table 6 Definition of six mathematical competencies in 2015 amended curriculum (Park et al., 2015, pp. 39–42)

역량 요소	정의
문제 해결 능력	해결 방법을 알고 있지 않은 문제 상황에서 수학의 지식과 기능을 활용하여 해결 전략을 탐색하고 최적의 해결 방안을 선택하여 주어진 문제를 해결하는 능력
추론 능력	수학적 사실을 추측하고 논리적으로 분석하고 정당화하며 그 과정을 반성하는 능력
창의·융합 능력	수학의 지식과 기능을 토대로 새롭고 의미 있는 아이디어를 다양하고 풍부하게 산출하고 정교화하며, 여러 수학적 지식, 기능, 경험을 연결하거나 수학과 타 교과나 실생활의 지식, 기능, 경험을 연결·융합하여 새로운 지식, 기능, 경험을 생성하고 문제를 해결하는 능력
의사소통 능력	수학 지식이나 아이디어, 수학적 활동의 결과, 문제 해결 과정, 신념과 태도 등을 말이나 글, 그림, 기호로 표현하고 다른 사람의 아이디어를 이해하는 능력
정보 처리 능력	다양한 자료와 정보를 수집·정리·분석·활용하고 적절한 공학적 도구나 교구를 선택·이용하여 자료와 정보를 효과적으로 처리하는 능력
태도 및 실천 능력	수학의 가치를 인식하고 자주적 수학 학습 태도와 민주 시민의식을 갖추어 실천하는 능력

여섯 가지는 각각의 명칭만 놓고 보면 ‘지식’이라는 측면과는 관련이 없는 것처럼 보이지만 실제 그 정의(Table 6)를 살펴보면 정보 처리 능력과 태도 및 실천 능력을 제외하고 나머지는 역량을 발휘하는 데 있어 지식이라는 요소를 명시적으로 전제하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 지식을 포함시켜 역량의 개념을 논하는 것이 효과적일 수 있음에 대한 실례로 볼 수 있다.

다음으로 [2단계]의 ‘기술’ 역량은 [1단계]에서 습득한 ‘지식과 기능을 어떤 목적을 위해 실제로 사용하는 능동적이고 실천적인 능력’, ‘태도’ 역량은 ‘수학의 가치에 대한 이해를 바탕으로 삶의 다방면에 수학을 지혜롭게 적용 및 활용하려고 노력하는 자세(능력)’, ‘의사소통’ 역량은 ‘수학의 언어와 표현 체계에 대한 올바른 이해를 바탕으로 자신의 생각을 수학적으로 설명하고 다른 사람의 수학적 생각에 공감하는 능력’으로 정의한다. 따라서 ‘기술’은 인지적 영역에 속하는 역량, ‘태도’와 ‘의사소통’은 정의적 영역에 속하는 역량으로 구분할 수 있다.

[3단계]의 ‘문제 해결’ 역량은 이전 단계에서 습득한 ‘지식·기능·기술·태도·의사소통’ 역량을 적절히 활용하여 당면한 문제를 수학적으로 해결하는 능력’으로 정의한다. 여기서 ‘문제’란 단순히 수학과 관련된 문제뿐만 아니라 학습자가 살아가며 마주하는 모든 종류의 문제를 의미한다. 따라서 문제 해결 역량은 학습자가 어떤 문제를 마주했을 때, 그것이 어떠한 종류의 문제로 인식되든, 그 문제를 수학과 연관 짓고, 수학적으로 사고하여 해결하는 능력을 뜻한다. 디지털 역량 프레임워크와 달리 문제 해결 역량을 가장 상위에 두지는 않았지만 [3단계]의 지위를 부여함으로써 디지털 역량 프레임워크와 마찬가지로 문제 해결 역량이 적절히 기능하기 위해선 많은 다른 종류의 역량들이 전제되어야 하는 것으로 보았다.

[4단계]의 ‘응용’ 역량은 ‘해결된 문제로부터 얻은 결과를 다른 여러 분야에 적용하고 활용할 수 있는 능력’을 말하고, ‘응용하는 과정에서 새로운 가치를 만들어내는 능력’이 바로 ‘창작’ 역량이다. 여기서 창작 역량은 본 연구자가 서두에서부터 강조해온 ‘역량의 실현’이라는 관점을 드러내는 것으로 볼 수 있다. 즉, 학생들의 입장에서 ‘무엇을 만들어 낼 수 있다’와 같은 역량 개념은 단계별 역량을 갖추어 가며 최종적으로 새로운 무언가를 만들어내고 직접 관찰함으로써 학생들로 하여금 실제로 자신이 역량을 갖추었다는 성취감을 느끼게 할 수 있다. 이러한 관점을 고려할 때, 비록 사소한 차이일지라도 수학적 역량 네트워크로서의 수학적 역량 개념은 이전보다 실질적인 역량 교육을 가능하게 해주는 지표가 될 수 있다고 본다. 또한 [4단계]를 통해 발휘된 역량은 다음 역량 발현을 위한 지식과 기능이 된다는 점에서 수학적 역량 네트워크는 유기적이고 순환적인 개념이다.

마지막으로 수학적 역량 네트워크라는 개념이 가진 특징을 정리하고자 한다. 이는 수학적 역량 네트워크 개념에 대한 학계의 공감을 얻고, 후속 연구를 통해 충분히 논의되어야 하는 사안이다.

첫째, 수학적 역량 네트워크는 수학적 역량을 구성하는 요소들이 상호 배타적이지 않고 서로가 영향을 주고받으며 밀접한 관련을 갖는다는 점에서 ‘유기적’이며, 각 요소가 온전히 발현되기 위해 다른 요소들을 전제한다는 점에서 ‘위계적’인 속성을 갖는다. 본 연구자는 수학적 역량 네트워크의 관점으로 수학적 역량을 생각할 때, 수학적 역량의 개념을 온전히 파악할 수 있다고 생각하였다. 다만 본 연구에서 역량 요소들 간의 위계성에 대한 근거를 충분히 제시하지 못한 만큼, 위계성은 후속 연구가 특별히 더 요구되는 부분이다.

둘째, 각 단계별 역량은 역방향으로도 서로 영향을 주고받으며 발전한다. 즉, 각 단계별 역량이 반드시 ‘[1단계] → [2단계] → [3단계] → [4단계]’ 순으로 진행되는 것은 아니다. 의미와 역할에 의해 단계가 구분되지만 꼭 한 방향으로만 역량이 발현된다고 볼 수는 없다. 특정 단계의 역량이 적절히 발현되지 못할 경우 이전 단계로 돌아가 해당 역량을 재점검함으로써 역량은 성장한다. 예컨대, 문제 해결이 제대로 이루어지지 않은 경우 현재 자신이 가진 이전 단계의 역량을 점검함으로써 다시 문제 해결을 위한 발판을 만들어야 한다. 만약 지식이 부족해서 발생한 일이라면 [1단계]로 돌아가서 지식을 갖추는 것에 먼저 집중해야 한다. 이러한 측면에서도 수학적 역량 네트워크 개념은 유기적인 속성을 갖는다고 말할 수 있다.

2. <인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크

본 절에선 연구의 최종 목표인 ‘<인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크’를 확립할 것이다. 이는 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량을 앞서 정립한 수학적 역량 네트워크를 기준으로 분류하여 Figure 4의 시각적 모델을 완성하는 일이다. 따라서 본 절에서 하고자 하는 작업은 앞서 진행한 논의의 종합이라는 점에서 어렵지 않게 진행될 것이다. 우선 2015 개정 교육과정의 수학적 역량을 구성하는 여섯 가지 역량 요소와 그 하위 요소를 정리하여 표로 나타내면 Table 7과 같다.

이제 Table 6과 Table 7에 제시된 2015 개정 교육과정의 수학적 역량 여섯 가지의 각 의미와 세부적인 요소를 고려하여 수학적 역량 네트워크의 각 단계별 역량의 정의에 따라 여섯 가지 역량 요소를 분류하고, <인공지능 수학>의 내용 요소와 기능을 대응시킴으로써 ‘<인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크’를 완성하면 Figure 5와 같다.

Figure 5를 단계별로 살펴보면 먼저 [1단계]의 ‘지식·기능’ 역량을 구성하는 요소는 ‘<인공지능 수학> 교과’의 성취기준’으로 설정하였다. 교육과정 문서에서 <인공지능 수학>의 내용 체계는 다른 수학 교과목의 그것과는 달리 ‘기능’에 대한 부분이 명시적으로 기술되어있지 않다. 따라서 앞서 논의한 바에 근거하여 [1단계]를 구성하는 세부 역량 요소는 교과 내용 요소와 기능을 모두 아우르는 개념인 ‘성취기준’으로 대체하였다. 이때, <인공지능 수학> 교과 성취기준은 Table 8과 같다.

[2단계]에서 ‘기술’ 역량에 해당하는 역량 요소는 ‘추론 능력’과 ‘정보 처리 능력’이다. 이는 추론 능력과 정보 처리 능력이 [1단계]에서 습득한 지식과 기능을 실제로 사용함으로써 문제 해결을 위한 능동적이고 실천적인 수단의 역할을 한다고 보았기 때문이다. 그리고 ‘태도’ 역량은 수학에 대해 학습자가 갖고 있는 신념과 자세를 의미하므로 ‘태도 및 실천 능력’을 역량 요소로 갖는 것이 합당하며, ‘의사소통’ 역량은 수학의 언어와 표현 체계를 이해하고 수학적으로 소통하는 능력을 의미하므로 ‘의사소통 능력’을 역량 요소로 갖는 것이 타당하다.

[3단계]에서 ‘문제 해결’ 역량은 주어진 문제를 수학적으로 해결하는 능력을 의미하므로 ‘문제 해결 능력’을 역량

Table 7 Six mathematical competencies in 2015 amended curriculum (Park et al., 2015, pp. 39–42)

역량 요소	하위 요소		
문제 해결 능력	<ul style="list-style-type: none"> 문제 이해 및 전략 탐색 수학적 모델링 	<ul style="list-style-type: none"> 계획 실행 및 반성 문제 만들기 	<ul style="list-style-type: none"> 협력적 문제 해결
추론 능력	<ul style="list-style-type: none"> 관찰과 추측 정당화 	<ul style="list-style-type: none"> 논리적 절차 수행 추론 과정의 반성 	<ul style="list-style-type: none"> 수학적 사실 분석
창의·융합 능력	<ul style="list-style-type: none"> 독창성 정교성 	<ul style="list-style-type: none"> 유창성 수학 내적 연결 	<ul style="list-style-type: none"> 융통성 수학 외적 연결 및 융합
의사소통 능력	<ul style="list-style-type: none"> 수학적 표현의 이해 타인의 생각 이해 	<ul style="list-style-type: none"> 수학적 개발 및 변환 	<ul style="list-style-type: none"> 자신의 생각 표현
정보 처리 능력	<ul style="list-style-type: none"> 자료와 정보 수집 공학적 도구 및 교구 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 자료와 정보 정리 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 정보 해석 및 활용
태도 및 실천 능력	<ul style="list-style-type: none"> 가치 인식 	<ul style="list-style-type: none"> 자주적 학습 태도 	<ul style="list-style-type: none"> 시민의식

Figure 5 Mathematical competence network for <Artificial Intelligence Mathematics> **Table 8** Achievement standards for <Artificial Intelligence Mathematics> (Ministry of Education, 2020, pp. 166–169)

영역/핵심 개념	성취 기준
인공지능과 수학	[12인수01-01] 인공지능의 발전에 기여한 역사적 사례에서 수학이 어떻게 활용되었는지를 이해한다. [12인수01-02] 인공지능에 수학이 활용되는 다양한 예를 찾을 수 있다.
자료의 표현	[12인수02-01] 수와 수학 기호를 이용하여 실생활의 텍스트 자료를 목적에 알맞게 표현할 수 있다. [12인수02-02] 수와 수학 기호로 표현된 텍스트 자료를 처리하는 수학 원리를 이해하고 자료를 시각화할 수 있다. [12인수02-03] 수와 수학 기호를 이용하여 실생활의 이미지 자료를 목적에 알맞게 표현할 수 있다. [12인수02-04] 수와 수학 기호로 표현된 이미지 자료를 처리하는 수학 원리를 이해한다.
분류와 예측	[12인수03-01] 인공지능을 이용하여 텍스트를 분류하는 수학적 방법을 이해한다. [12인수03-02] 인공지능을 이용하여 이미지를 분류하는 수학적 방법을 이해한다. [12인수03-03] 자료를 분석하여 사건이 일어날 확률을 구하고 예측에 이용할 수 있다. [12인수03-04] 자료의 경향성을 추세선으로 나타내고, 예측에 이용할 수 있다.
최적화	[12인수04-01] 주어진 자료로부터 분류와 예측을 할 때, 오차를 표현할 수 있는 함수를 구성하는 원리와 방법을 이해한다. [12인수04-02] 함수의 최솟값 또는 최댓값을 찾아 최적화된 의사 결정 방법을 이해한다. [12인수04-03] 합리적 의사 결정과 관련된 인공지능 수학 탐구 주제를 선정하여 탐구를 수행한다.

요소로 갖는 것이 합리적이다. [4단계]의 ‘응용·창작’ 역량의 경우, ‘창의·융합 능력’의 의미를 모두 포함한다고 할 수 없지만 창의·융합 능력의 하위 요소 중 ‘수학 외적 연결 및 융합’이 “수학과 타 교과나 실생활의 지식, 기능, 경험 등을 연결·융합하여 새로운 지식, 경험 등을 생성하고 문제를 해결하는 능력”(Park et al., 2015, p. 41)을 뜻한다는 점에서 창의·융합 능력을 [4단계] 역량을 구성하는 요소로 설정할 수 있다고 보았다.

이로써 <인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크의 구축을 완료하였다. 그 형태가 비록 단순할지라도 2015 개정 교육과정의 수학적 역량 여섯 가지를 유기적·위계적 집합체로서 구조화하기까지 소요됐던 상당한 사전작업과 그 과정에서 파생된 의미를 고려하면 <인공지능 수학> 수업에서 역량 교육을 실현하고자 하는 현장의 요구에 대하여 보다 분명하고 구체적인 지표로 기능할 수 있을 것으로 기대한다.

V. 결론 및 논의

본 연구는 “교육과정에서 추구하는 수학적 역량이라는 개념은 실제로 학생들의 삶 속에서 기능할 역량으로 발전될 수 있는가?”라는 근본적인 의문에서 출발하여 수학적 역량 네트워크라는 새로운 수학적 역량 개념을 확립하고, 이를 기준으로 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량을 <인공지능 수학> 교과에 적합한 개념으로 발전시켰다. 이를 통해 “수학과 교육과정에서 어떤 역량을 추구할 것인가?”에 대한 하나의 답을 제시함으로써 현장에서 역량 교육의 구현에 조금이나마 기여하고자 하였다. 이제 그 답을 말하면 다음과 같다.

<인공지능 수학>에서 추구해야 하는 수학적 역량은 디지털 역량이라는 목표 역량을 함양하기 위한 수단으로서의 역량이어야 하고, 그것은 바로 수학적 역량 네트워크 안에서 유기적이고 단계적으로 작동하는 여섯 가지 능력이다.

이러한 답을 얻는 과정에서 본 연구의 의의를 몇 가지 찾을 수 있다. 첫째, 디지털 역량을 통해 수학적 역량을 논할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이러한 의의는 본 연구가 “모든 교과에 디지털 소양을 강화”(Ministry of Education, 2021, p. 4)하려는 2022 개정 교육과정의 의도를 구현하기 위한 시도로 볼 수 있다는 점에서 특히 의미를 갖는다. 수학적 역량 네트워크 개념은 <인공지능 수학> 외의 다른 교과로 확장가능하며, 이때 본 연구는 하나의 기준이 될 수 있다. 예컨대, 교사가 특정 교과를 통해 함양하고자 하는 역량을 구체적으로 정의하고, 의미 단위로 적절하게 단계를 나누어 역량 네트워크를 구성한 뒤 이를 기준으로 해당 교과에 대한 교육과정의 내용을 구조화하는 경우를 생각할 수 있다. 물론 연구에서 제안하는 내용이 실제로 받아들여지기 위해서는 적지 않은 연구가 추가적으로 후속되어야 하겠지만 본 연구는 수학교육의 미래를 준비하기 위한 하나의 시도라는 측면에서 그 자체로 의미를 갖는다.

둘째, 수학적 역량의 개념을 논하는 새로운 관점인 수학적 역량 네트워크 개념을 정립하고, 네트워크의 관점에서 2015 개정 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량에 구체적인 의미와 역할을 부여하여 구조화하였다. 즉, 현 교육과정의 여섯 가지 수학적 역량을 그 자체로서 개별적인 의미는 받아들이되, 이를 접근하고 해석하는 하나의 틀을 제시하였다. 이러한 관점이 아직 검증된 개념은 아니라 하더라도 인공지능 시대를 고려한 실질적인 역량이란 무엇인지 생각하는 기회를 제공함으로써 역량 교육의 실현을 위한 발전적 논의가 된다는 점에서 의미가 있을 것으로 본다.

셋째, <인공지능 수학>을 위한 수학적 역량 네트워크의 시각적 모델(Figure 5)은 역량 교육의 실현에 도움을 줄 수 있다. 2015 개정 교육과정은 수학적 역량을 구성하는 여섯 가지 요소를 제시하고, 이들을 함양하기 위해 교수·학습

방법에서 각 요소별로 강조하는 사항을 제시하는 것에서 그치고 있다. 이러한 지침만으로는 각 역량 요소를 구성하는 많은 하위 요소들을 고려할 때, 역량을 함양하기 위한 수업이란 구체적으로 어떠한 형태이어야 하는지 막연할 수 있다. 이때, 수학적 역량 네트워크 모델이 역량 기반 수업의 구조를 조직하고 틀을 짜는 가이드 역할을 해줄 수 있다. 예컨대, Figure 5를 수업의 전체적인 구조를 조직하는 기준 또는 틀로 설정하고 교수학습지도안을 설계하는 상황을 생각해보자. 먼저 수업의 주제와 목표를 정하고, 해당 주제에 대하여 특정 차시의 수업에서 실제로 다루게 될 구체적인 수업 내용을 선정한다. 그리고 수업의 목표를 달성하기 위해 요구되는 수학적 역량 요소(Table 6)와 구체적인 세부 역량 요소(Table 7)가 무엇인지 분석한 뒤 수업에 맞는 적절한 역량 요소들을 선정한다. 이렇게 선정된 요소들을 Figure 5의 각 단계에 대응시킴으로써 해당 수업에 대한 일종의 ‘역량 지도’를 구성한다. 또한 교수·학습 방법에서 제안하는 수학적 역량을 함양하기 위한 강조사항을 고려하여 선정된 역량들을 함양하기 위한 효과적인 수업 방법과 활동 등을 결정한다. 이제 선정된 수업 내용, 역량 요소, 수업 방법과 활동 등을 적절히 종합하고 구조화함으로써 구체적인 수업 모형을 완성한다. 본 연구자는 이렇게 설계된 수업이 역량 교육을 실현하기 위한 가능성 있는 하나의 구체적인 모델이 될 것으로 보고 있다. 물론 교사의 재량에 따라 수학적 역량 네트워크 모델을 여러 가지 방식으로 변형하고 활용할 가능성도 있을 것이다. 이처럼 수학적 역량 네트워크 모델은 역량 교육의 실현에 도움을 줄 수 있다고 생각한다.

이러한 의의에도 불구하고 디지털 역량 개념과 수학적 역량 개념을 서로 연결 짓는 것에 대하여 타당성이 부족하다는 점은 연구의 한계점으로 남는다. 본 연구는 인공지능 시대를 바라보는 연구자의 신념에 따라 서로 다른 분야 사이의 접점을 찾고 일종의 융합을 시도한 모험으로 볼 수 있다. 따라서 디지털 역량 프레임워크에서 얻은 아이디어로부터 곧바로 수학적 역량 네트워크를 도출한 작업을 뒷받침할 만한 선행 연구를 근거로서 충분히 제시하지 못하였다. 수학적 역량과 디지털 역량을 결합하여 ‘수학적 디지털 역량(Mathematical digital competency)’이라는 연결된 전체로 보고자 하는 시도(e.g., Geraniou & Jankvist, 2019)는 있었지만 본 연구와는 맥락이 다르다. 그러므로 본 연구에서 제시한 수학적 역량 네트워크가 실제로 받아들여질 수 있는 개념이 되기 위해 충분한 후속 연구가 필요하며, 특히 역량 요소들 사이의 위계성을 이론적·경험적 관점에서 검증하는 작업이 필요하다.

2015 개정 교육과정이 현장에 적용 된지 오래 되지 않은 상태로 벌써 2022 개정 교육과정의 전면 시행을 불과 3년 남겨두고 있다. 이는 우리가 너무나 빠르게 변하는 세계를 살아가고 있다는 사실에 대한 방증으로 볼 수 있다. 인공지능 시대를 살아갈 학생들에게 수학교육은 무엇을 어떻게 제공할 수 있는가에 대한 광범위하고 심층적인 연구가 필요한 오늘날(Na et al., 2018), 본 연구자는 이 글에서 제시한 수학적 역량 네트워크가 ‘실현 가능한 역량’ 개념의 발전에 기여하고, 역량 개념이 갖는 모호함으로 인해 역량 교육의 실천에 어려움을 겪는 현장에서 구체적인 지침의 역할을 할 수 있기를 조심스럽게 기대해본다. 그럼으로써 <인공지능 수학>에 대한 실질적인 역량 교육이 이루어지고, 수학적 역량 네트워크를 바탕으로 한 디지털 역량 함양을 통해 인공지능 시대의 인재 양성에 기여할 수 있기를 바라며 글을 마친다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

- Abrantes, P. (2001). Mathematical competence for all: Options, implications and obstacles. *Educational Studies in Mathematics*, 47(2), 125-143.
- Choi, S. J., Lee, J. D., Kim, E. Y., Kim, H. J., Paik, N. J., & Kim, J. M. (2017). *A study on OECD Education 2030 project: Analyzing validity of OECD competencies framework and exploring practices of competency-based education in South Korea*. Research Report RR 2017-18, Jincheon: Korean Educational Development Institute.
- 최수진, 이재덕, 김은영, 김혜진, 백남진, 김정민(2017). OECD 교육 2030 참여 연구: 역량 개념틀 타당성 분석 및 역량 개발을 위한 교육체제 탐색. 연구보고 RR 2017-18, 진천: 한국교육개발원.
- Choi, S. Y. (2018). A Study on the digital competency for the fourth industrial revolution. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 25-35.
- 최숙영(2018). 제4차 산업혁명 시대의 디지털 역량에 관한 고찰. *컴퓨터교육학회 논문지*, 25-35.
- Gresalfi, M., Martin, T., Hand, V., & Greeno, J. (2009). Constructing competence: An analysis of student participation in the activity systems of mathematics classrooms. *Educational Studies in Mathematics*, 70(1), 49-70.
- Geraniou, E., & Jankvist, U. T. (2019). Towards a definition of "mathematical digital competency". *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 29-45.
- Hwang, G. H. (2017). Critical review of issues in general competence education. *The Journal of Curriculum Studies*, 35(3), 247-271.
- 황규호(2017). 일반역량 교육 논의의 쟁점 분석. *교육과정연구*, 35(3), 247-271.
- Lee, A. H. (2015). Conceptual characteristics and limitations of digital competence for digital literacy education. *Journal of Education & Culture*, 21(3), 179-200.
- 이애화(2015). 디지털 리터러시 교육을 위한 디지털 역량의 개념적 특성과 한계. *교육문화연구*, 21(3), 179-200.
- Lee, S. E. (2018). Exploring an alternative direction for a competence-based curriculum in an age of uncertainty: An "ontological approach". *The Journal of Curriculum Studies*, 36(1), 45-69.
- 이상은(2018). 불확실성 시대의 학습의 속성에 비추어 본 역량기반 교육과정의 대안적 방향 탐색: 존재론적 접근을 중심으로. *교육과정연구*, 36(1), 45-69.
- Lee, S. E., & So, K. H. (2019). Analysis of change trends on OECD's competencies frameworks for curriculum redesign: Focused on "Education 2030". *The Journal of Curriculum Studies*, 37(1), 139-164.
- 이상은, 소경희(2019). 미래지향적 교육과정 설계를 위한 OECD 역량교육의 틀 변화 동향 분석: 'Education 2030'을 중심으로. *교육과정연구*, 37(1), 139-164.
- Lee, C. H., & Jeon, J. H. (2020). Exploring digital competence for the era of the 4th industrial revolution. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20(14), 311-338.
- 이철현, 전종호(2020). 4차 산업혁명 시대의 디지털 역량 탐구. *학습자중심교과교육연구*, 20(14), 311-338.
- Lim, Y. N., Jang, S. Y., & Hong, H. J. (2017). An analysis of curriculum leading teachers' opinions on competencies of the 2015 revised national curriculum and its implications. *The Korea Educational Review*, 23(1), 5-33.
- 임유나, 장소영, 홍후조(2017). 2015 개정 교육과정의 역량 구현 양상과 실천 요인에 관한 교육과정 선도교원의 의견 분석 및 논의. *한국교육학연구*, 23(1), 5-33.
- Ministry of Education (2020). *Mathematics curriculum*. Notification of the Ministry of Education No. 2020-236 [Vol. 8]. Sejong: Ministry of Education.
- 교육부(2020). *수학과 교육과정*. 교육부 고시 제2020-236호 [별책 8]. 세종: 교육부.
- Ministry of Education (2021). *Key issues in the general guideline draft for the 2022 revised national curriculum*. Ministry of Education.
- 교육부(2021). *2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안)*. 교육부.
- Ministry of Science and ICT (2020). *Artificial intelligence(AI)*. Republic of Korea policy briefing(2020.01.24.). <https://www.>

korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148868542#L7.

과학기술정보통신부(2020). 인공지능(AI). 대한민국 정책브리핑(2020.01.24.). <https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148868542#L7>.

Na, G. S., Park, M. M., Kim, D. W., Kim, Y., & Lee, S. J. (2018). Exploring the direction of mathematics education in the future age. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 28(4), 437-478.

나귀수, 박미미, 김동원, 김연, 이수진(2018). 미래 시대의 수학교육 방향에 대한 연구. *수학교육학연구*, 28(4), 437-478.

National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA.

National Research Council (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington DC: Mathematics Learning Study Committee (editors: J. Kilpatrick, J. Swafford & B. Findell), Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, National Academy Press.

Niss, M., Bruder, R., Planas, N., Turner, R., & Villa-Ochoa, J. A. (2016). Survey team on: Conceptualisation of the role of competencies, knowing and knowledge in mathematics education research. *ZDM*, 48(5), 611-632.

Niss, M., & Højgaard, T. (2011). *Competencies and mathematical learning—Ideas and inspiration for the development of mathematics teaching and learning in Denmark* (No. 485). Roskilde: MFUFA, Roskilde University. English translation of part I-VI of Niss and Jensen (2002).

Niss, M., & Højgaard, T. (2019). Mathematical competencies revisited. *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 9-28.

Niss, M., & Jensen, T. H. (2002). *Kompetencer og matematiklæring—Ideer og inspiration til udvikling af matematikundervisning i Danmark* [Competencies and mathematical learning—ideas and inspiration for the development of mathematics teaching and learning in Denmark]. Copenhagen: The Ministry of Education.

Organization for Economic Cooperation and Development (2005). *The definition and selection of key competencies: Executive summary*. Paris, France: OECD.

Organization for Economic Cooperation and Development (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. Position Paper.

Park, J. A., So, K. H., Chang, Y. W., & Hu, Y. J. (2019). Rethinking competence-based education from a post-modern perspective: Based on the deleuzian ontology. *The Journal of Curriculum Studies*, 37(2), 1-25.

박지애, 소경희, 장연우, 허예지(2019). 포스트모던 관점에서 다시 생각하는 역량 교육: Deleuze의 존재론에 기초하여. *교육과정연구*, 37(2), 1-25.

Park, K. M., Lee, H. C., Park, S. H., Kang, E. J., Kim, S. H., Lim, H. M., Kim, S. Y., Jang, H. W., Kang, T. S., Kwon, J. R., Kim, M. J., Bang, J. S., Lee, H. Y., Lim, M. I., Lee, M. G., Kim, H. K., Yoon, S. H., Lee, K. S., Lee, K. E., ..., & Yeo, M. J. (2015). *A development of a draft for the 2015 revised mathematics curriculum*. Research Report BD15120005, The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity.

박경미, 이환철, 박선화, 강은주, 김선희, 임해미, 김성여, 장혜원, 강태석, 권점례, 김민정, 방정숙, 이화영, 임미인, 이만근, 김화경, 윤상혁, 이광상, 이정은, ..., 여미주(2015). 2015 개정 수학과 교육과정 시안 개발 연구 II. 연구보고서 BD15120005, 한국과학창의재단.

RAND Mathematics Study Panel (2003). *Mathematical proficiency for all students: Toward a strategic research and development program in mathematics education*. Santa Monica: RAND

So, K. H. (2007). 'Competency' in the context of schooling: It's meaning and curricular implications. *The Journal of Curriculum Studies*, 25(3), 1-21.

소경희(2007). 학교교육의 맥락에서 본 '역량(competency)'의 의미와 교육과정적 함의. *교육과정연구*, 25(3), 1-21.

World Economic Forum (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. World Economic Forum.