

구조적 토픽모델링을 활용한 한국과 미국의 산업수학 연구동향 비교분석

김성연
인천대학교 교육대학원

Comparative Analysis of Research Trends on SIAM and KSIAM using Structural Topic Modeling

Sung-Yeun Kim
Graduate School of Education, Incheon National University

요약 본 연구에서는 산업수학에 나타나는 연구주제의 현황과 동향을 파악하기 위해 국가와 시기에 따라 연구주제가 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 이를 위해 2010년부터 2019년까지 미국산업응용수학회와 한국산업응용수학회에서 출판한 총 3,310편의 논문 제목과 초록을 대상으로 구조적 토픽모델링 분석을 수행하였다. 주요 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 산업수학의 연구주제들은 국가과학기술표준분류의 중분류에 제시되어있는 전 수학 분야와 산업현장에서 요구되는 국가직무능력표준에 제시되어있는 직무 유형의 약 71%와 관련 있는 것으로 나타났다. 둘째, '바이오수학'과 '조합수학/그래프이론'은 미국에서 안정기에 접어든 분야로, '수치해석', '금융/보험통계', '수리계획법/최적화이론'은 향후 성장 가능성이 있는 분야로, 그리고 '함수해석'은 한국에서 선도적인 역할을 기대할 수 있는 분야로 나타났다. 이를 바탕으로 국내 연구자들에게는 학술적, 그리고 정부에는 그동안의 산업수학 육성방안 성과에 대한 시사점을 제공하였다.

Abstract In this study, we investigated the differences in research topics related to industrial mathematics between Korea and the US, in the three periods namely the jumping, the growth, and the maturity stages. For this purpose, the structural topic modeling (STM) method was used to analyze the titles and abstracts of 3,310 papers published by the Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) and the Korean Society for Industrial and Applied Mathematics (KSIAM) from 2010 to 2019. The main results were as follows. First, the research topics in industrial mathematics were related to all the fields of mathematics presented in the middle classification of the National Science and Technology Standard Classification (NSTC) and about 71% of job types presented in the National Competency Standards (NCS) required in industrial sites. Second, 'bio mathematics' and 'combinatorial mathematics/graph theory' were fields that have reached a stable stage in the US, 'numerical analysis', 'financial/actuarial statistics', and 'mathematical programming/optimization theory' were fields with the potential for future growth, and 'functional analysis' appeared to be a field that can be expected to play a leading role in Korea. Based on these findings, the academic implications were provided for the benefit of Korean researchers, and the policy implications were presented to the Korean government. This could have a bearing on the outcome of the industrial mathematics fostering plan.

Keywords : Industrial Mathematics, KSIAM, NCS, NSTC, SIAM, STM

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2019R1F1A1059437).

본 논문은 인천대학교 2020년도 자체연구비 지원에 의하여 연구됨.

본 논문의 발전을 위해 조언을 해주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

*Corresponding Author : Sung-Yeun Kim(Incheon National Univ.)

email: syk@inu.ac.kr

Received April 28, 2022

Revised July 8, 2022

Accepted August 3, 2022

Published August 31, 2022

1. 서론

최근 전 세계적으로 코로나바이러스감염증-19(이하 코로나19)가 확산하면서 우리 사회는 새로운 위기에 직면하게 되었고, 신종 감염병이라는 불안감으로 범국가적인 혼란과 경제적으로 큰 손실이 우려되고 있다[1]. 그러나 수학계에서는 지금의 코로나19 사태가 위기이기는 하지만, 오히려 적절한 대응 및 후속 조치를 취한다면 4차 산업발전을 가속화시킬 것이라고 예측하고 있다. 이를 위해서는 코로나19 사태로 중요해진 비대면 방식의 4차 산업 육성에 필요한 적극적인 투자 대책이 요구된다. 또한 2009년 신종인플루엔자, 2003년 중증급성호흡기증후군(SARS), 2015년 중동호흡기증후군(MERS) 등에서 축적된 데이터를 활용한 빅데이터 확보, 신형 스마트 도시 및 산업단지 구축, 인터넷 의료 서비스 확충, 온라인 교육시스템 마련 등 생활 전반을 체계적으로 준비하는 대책이 필요하다. 바로 이러한 대책 마련의 핵심에 수학이 있으므로 탄탄한 수학 이론을 바탕으로 실용수학의 발전이 가속화되어야 하며, 수학을 통해 대용량의 데이터를 기반으로 객관적이고 정확한 예측을 통해 사회와 산업의 다양한 난제를 해결해야 한다[2-4]. 이에 따라 주로 수학을 분석 도구로 사용하는 응용수학의 하위 분야로 산업의 문제를 해결하기 위한 수학의 사용 및 개발에 초점을 두는 산업수학의 활용과 역할이 더욱 강조되고 있다. 응용수학이 매우 광범위한 특성으로 물리적 현상의 모델링, 문제 해결과 결과 해석에 있어 전형적으로 가장 기본적인 핵심을 다룰 뿐 아니라, 학문 간의 연결과 수학 언어를 활용한 서로 다른 연구 분야의 융합을 포함한다면 산업수학은 다음의 관점에서 차이가 있다. 산업수학은 수학과 물리적 세계 간의 연결을 설정하고 보급하는 데 중점을 둔 실제 문제와 관련이 있다. 산업이라는 용어는 전기 모터의 최적 설계, 금융 옵션 모델링 또는 사회학적 상호 작용 분류와 같이 상업적 또는 사회적 효익이 있는 모든 분야로 구성되어 있음을 의미한다. 특히 산업수학은 실생활 문제와 관련된 고유한 복잡성에도 불구하고 현장의 필수 매커니즘을 명확히 설명하고 수학분야와는 다른 분야의 사람들에게 논리적 결과를 효과적으로 전달하여 과정의 이해를 현저히 높이는 역할을 한다 [5]. 본 연구에서는 산업수학의 정의를 미래창조과학부 [3]가 제시한 수학적 이론과 분석방법을 활용하여 세상의 문제를 해결하거나 산업의 부가가치를 창출하는 활동으로 한다.

미국을 비롯한 선진국에서는 이미 20년 전부터 산업

수학의 가치를 인식하고 에너지, 바이오, 교통, 제조업 등 다양한 분야에서 기업의 문제해결 및 신기술, 신상품 개발에 산업수학을 활용 중이며 빅데이터, 딥러닝, 사물인터넷 등 지능형 정보 분야에서의 활용도가 높아지고 있다. 이러한 선진국의 산업수학 성공 요인으로는 세 가지를 들 수 있다. 첫째, 정부가 미래를 내다보고 문제 설정부터 R&D 사업까지 지원하기 때문이다. 일례로 미국에서는 연간 90억~100억원의 수학 기반의 응용연구를 지원하고 있으며, 일본에서는 창조연구사업에서 응용수학연구지원을 연 300억~400억원을 지원하고 있으며, 2011년부터 산업수학 육성에 박차를 가하였기 때문이다. 둘째, 수학전문 연구기관을 중심으로 대학과 기업 간 협력 생태계가 형성되어 있기 때문이다. 즉, 산업현장의 문제해결 프로젝트를 중심으로 기업인과 수학자들이 모였다 흠어지는 개방형 협력 생태계가 조성되어 있으며, 이 과정에서 수학, 공학, 산업을 두루 섭렵한 산업수학 분야의 다학제적인 전문인력이 양성되고 취업 및 창업으로 자연스럽게 연계될 수 있기 때문이다. 일례로 산업수학 전문 연구기관으로 미국에서는 미네소타대학의 응용수학연구소(IMA), 독일의 마테온연구소와 프라운호퍼 부설연구소(ITWM), 영국의 옥스퍼드 협동응용수학센터(OCCAM), 캐나다의 미탁스 연구소와 엠프라이엄연구소를 들 수 있다. 셋째, 수학 기반의 융합인재를 양성하고 산업계로 진출할 수 있도록 활성화되어 있기 때문이다. 즉, 다학제적 지식을 바탕으로 창의력을 발휘하여 시장을 주도할 혁신적인 상품이나 비즈니스를 창출하는 실리 콘밸리형 인재를 양성하는 대학 교육시스템을 갖추고 있으며, 이는 곧 고급 수학 두뇌들의 산업계 진출로 이어지게 된다. 일례로 미국에서는 학부 과정부터 수학과 공학을 모두 경험할 수 있도록 유연한 학제를 29개 대학에서 운영하고 있으며, 유럽에서도 대학원 과정에서 산업수학 교육을 운영하고 있다[4].

국내에서는 2005년 수학을 통해 산업과 과학기술에 기여하겠다는 취지로 수학 분야의 유일한 정부출연 연구기관인 국가수리과학연구소(NIMS: National Institute for Mathematical Sciences, 이하 NIMS)를 설립하였으며, 2016년 산업수학 허브의 필요성을 인식하고 산업수학혁신센터(ICIM)를 설립하고, 산업수학 점화프로그램, 산업문제 발굴 세미나, 연구교류 세미나, 산업수학 아카데미, 그리고 라운드테이블 등을 운영하고 있다. 또한 2017년에는 신규 산업수학센터(IMC)로 부산대학교에 빅데이터 기반 금융·수산·제조 혁신 산업수학센터(F²mimc)와 서울대학교에 수학 기반 산업데이터해석

연구센터(IMDARC: Industrial & Mathematical Data Analytics Research Center, 이하 IMDARC)를 선정하여 연간 약 10억원 규모의 연구비를 5년간 지원하였다. 구체적으로 교육과 관련하여 F²mimc에서는 수학 전문 지식과 실무능력을 갖춘 맞춤형 산업수학 전문가를 양성하기 위하여 산업수학 연계과정과 융합전문가 과정인 PSM(professional science master) 과정을 도입하는 등 다양한 학부, 대학원 교육과정을 개발하고 있으며, IMDARC에서도 학위 프로그램과 산업인력 기초수학 재교육 및 수요중심 수학 재교육을 위한 프로그램을 운영하고 있다[4].

또한 정부 주도하에 산업수학과 관련한 정책연구들 [6-8] 특정 산업 분야인 엔터테인먼트 산업수학에 관한 연구[9]가 수행되었다. 이러한 연구들은 공통적으로 연구자들이 지닌 뛰어난 전문 해석을 바탕으로 미래의 산업수학 활성화를 위한 전략과 정책 방향을 제시해준다는 장점이 있다. 그러나 다른 연구자들이 같은 방법으로 분석 결과를 재현하는 것이 가능하지 않고, 이미 연구자가 분석 전에 어떤 내용이 분석할 가치가 있는지 알아야 하며, 연구자가 수작업으로 자료를 처리해야 하므로 분석 대상인 텍스트의 용량이 제한적일 수밖에 없다는 한계가 있다[10,11]. 이에 김성연[12-14]은 연구자가 사전에 가정할 내용이 없으며, 대용량의 텍스트 자료를 자동화된 방법으로 분석하여 텍스트가 갖는 주제를 도출하는데 효과적인 잠재 디리클레 할당(LDA: Latent Dirichlet Allocation, 이하 LDA) 기법의 토픽모델링을 분석에 활용하였다. 구체적으로 미국산업응용수학회(SIAM: Society for Industrial and Applied Mathematics, 이하 SIAM)에서 출판한 학술지 중 초록이 실린 1970년부터 SIAM Journal on Applied Mathematics에 대해, 4차 산업혁명이란 용어가 처음으로 사용된 2016년부터 SIAM에서 출판한 전체 17종의 학술지에 대해, 그리고 한국산업응용수학회에서(KSIAM: Korean Society for Industrial and Applied Mathematics, 이하 KSIAM)에서 출판한 창간호인 1997년부터 한국산업응용수학회지(J-KSIAM: Journal of the Korean Society for Industrial and Applied Mathematics, 이하 J-KSIAM)의 제목 및 초록을 대상으로 산업수학 연구의 동향 및 산업수학 교육에 대해 시사점을 제시하는 연구들을 수행하였다.

이처럼 LDA 기법의 토픽모델링 분석은 한 학문의 새로운 패러다임의 등장에 대응하고 향후 연구 방향을 예측하는데 기반이 되므로 기존 연구의 현황 및 동향을 파

악하는 연구들에서 다양하게 활용되었다[10,12-18]. 그러나 LDA 기법은 문서에 대한 작성 시간, 저자 정보, 문서 종류와 같은 메타데이터를 활용하지 않으며, 각 문서 내에 존재하는 단어들의 빈도수를 기반으로 토픽들을 추출하며, 토픽 간에 상관구조를 가정하지 않기 때문에 토픽 간의 구조적 관계를 분석하는 데에는 한계가 있다 [19,20]. 특히 산업수학과 관련한 논문들을 분석한 연구들은[12-14] 한국 또는 미국 각각의 데이터만을 대상으로 하고 있으며, 두 국가의 데이터를 모두 활용한다 하여도 LDA 기법 적용 시, 한국과 미국이라는 두 국가의 차이점을 탐색적으로만 기술할 수 있을 뿐 통계적 검증을 할 수 없다는 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여, Roberts[20]는 문서에 메타데이터를 활용하여 토픽을 구성하는 단어들의 분포를 결정하고, 문서의 메타데이터가 문서 내에 잠재된 특정 토픽의 발현 확률(topic prevalence)에 미치는 영향을 통계적으로 검정할 수 있는 구조적 토픽모델링(STM: Structural Topic Modeling, 이하 STM)을 개발하였다. STM을 적용한 연구들은 최근 들어 사회과학[21-23]을 중심으로 교육학 [24,25], 공학[26,27], 자연과학[28], 보건학 및 의학 [29,30] 등 다양한 분야에서 수행되고 있지만, 산업수학과 관련하여 STM을 적용한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 산업수학 발전 단계 중 수학의 활용 가능성이 극대화되었던 도약기 이후인 2010년부터 초유의 사태인 코로나19가 발발하기 전인 2019년까지 전 세계 산업수학의 흐름을 주도하는 SIAM과 한국에서 이에 해당하는 KSIAM에서 출판한 논문들의 제목과 초록을 대상으로 STM을 활용하여 한국과 미국의 산업수학 분야에서 연구자들이 관심을 갖는 주요 연구주제들을 분류함으로써 구체적으로 무엇인지 파악하고, 국가와 시기에 따라 산업수학 분야에서 연구되는 주제에 차이가 있는지를 분석하고자 한다. 이를 바탕으로 산업수학에서 나타나는 연구주제의 현황 및 동향에 대한 이해를 도모함으로써 국내 연구자들에게는 학술적 시사점을, 그리고 정부에는 코로나19의 영향력을 배제한 전반적인 그동안의 산업수학 육성방안 성과에 대한 시사점을 제공하고자 한다.

구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 산업수학과 관련하여 주로 연구되는 주제들은 무엇인가?

둘째, 산업수학 연구주제에 국가 효과(한국과 미국)는 존재하는가?

셋째, 산업수학 연구주제에 시기 효과(도약기, 성장기, 성숙기)는 존재하는가?

넷째, 산업수학 연구주제에 시기와 국가의 상호작용 효과는 존재하는가?

2. 이론적 배경

2.1 STM

토픽모델링은 텍스트 마이닝의 한 분야로 구조화되지 않은 대규모의 텍스트 데이터에 잠재적으로 존재하는 구조들을 추출해내는 비지도 학습 방법 중 하나로, LDA 기법이 가장 널리 알려져 있다[20,31]. LDA는 텍스트에 포함된 단어의 전반적인 분포를 고려하여 텍스트에 잠재된 토픽을 추론하게 되므로, 문서는 잠재적인 토픽들의 집합으로 모델링되고 주어진 문서 내는 다양한 확률을 가진 단어들의 집합으로 구성된다[32]. 그러나 LDA 기법은 메타데이터를 활용하지 않고, 토픽을 추출할 때 문서 내의 빈도수를 기반으로 하므로 부정확한 결과를 도출할 수 있다는 단점이 존재한다. 이러한 제한점을 해결하기 위해 Roberts[20]는 STM을 제안하였다. STM은 LDA의 확장된 모형으로 문서에 메타데이터를 활용하여 토픽을 구성하는 단어들의 분포를 결정한다. 이에 따라 STM은 메타 데이터와 문서 내에 존재하는 토픽들의 상관관계에 대해 추정할 수 있고, 각 토픽들의 관계를 구분하여 해석할 수 있다는 장점이 있다[26,33]. 구체적으로 STM을 이용해 분석 대상이 되는 문서집합에서 k 개의 토픽을 추출하는 경우, 문서 작성 주체나 문서 작성 시기 등의 메타데이터를 독립변수로, 각 토픽의 발현 확률을 종속변수로 가정하는 선형회귀모형에 기반하여 통계적 유의성을 검증할 수 있다.

d 개 문서에서 k 개의 토픽을 추출하기 위한 STM의 생성과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- [1단계] $\vec{\theta}_d | X_{d\gamma}, \sum \sim \text{LogisticNormal} (\mu = X_{d\gamma}, \sum)$
- [2단계] $\beta_{d,k} \propto \exp(m + \kappa_k^{(t)} + \kappa_{yd}^{(c)} + \kappa_{yd,k}^{(i)})$
- [3단계] 문서 내 각 단어에 대해, ($n \in 1, \dots, N_d$)
 - a) $z_{d,n} | \vec{\theta}_d \sim \text{Multinomial}(\vec{\theta}_d)$
 - b) $w_{d,n} | z_{d,n}, \beta_{d,k=z_{d,n}} \sim \text{Multinomial}(\beta_{d,k=z_{d,n}})$

1단계에서는 토픽 발현 확률에 대한 독립변수(X_d)들의 선형모형을 평균 벡터로 가지는 로지스틱 정규분포로부터 개별 문서에서 특정한 토픽들이 발현할 확률이 추

출된다. 2단계는 토픽에 대한 단어 분포를 형성하는 단계로, 단어 확률은 기본적인 단어 분포(m), 토픽 편차($\kappa_k^{(t)}$), 독립변수 집단 편차($\kappa_{yd}^{(c)}$), 그리고 두 편차 간의 상호작용($\kappa_{yd,k}^{(i)}$)에 비례하여 추출된다. 3단계는 문서 내 각 단어에 대해 토픽을 할당하는 단계로, 개별 문서에서 특정한 토픽들이 발현할 확률 분포에 기반하여 토픽($z_{d,n}$)이 할당되고, 주어진 토픽에 해당하는 단어들($w_{d,n}$)이 추출된다. 또한 이와 같은 STM의 생성과정은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다[20,34].

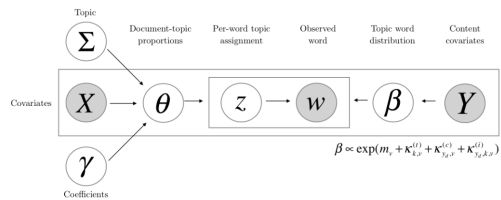


Fig. 1. Generative process of STM

2.2 산업수학

산업수학이란 수학적 이론과 분석 방법을 활용해 세상의 문제를 해결하거나 산업의 부가 가치를 창출하는 활동을 말한다[3]. 이러한 산업수학의 발전 단계를 시기에 따라 6단계로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 1단계는 태동기로 1980년대와 1990년대가 이에 속하며, 미국, 독일과 같은 선진국에서 산업이 고도화됨에 따라 수학이 공학과 접목되어 산업의 기술적 문제를 해결하는 수단으로 활용되었다. 2단계는 확산기로 2000년대가 이에 속하며, 산업수학 개념이 보편화되고 혁신생태계가 조성되었다. 3단계는 도약기로 2010년대가 이에 속하며, 수학의 활용 가능성이 극대화되고, 수학 그 자체로 비즈니스가 되었다. 이후 국내에서도 산업수학의 중요성을 인식하고 산업수학 육성방안을 마련하였으며 4단계는 성장기로 2016년과 2017년이 포함되며, 산업현장의 문제를 발굴하고, 산업수학 연구과제를 추진하고, 개방형 문제해결 플랫폼을 가동하는 데 정부 지원이 마중물이 되었다. 5단계는 성숙기로 2018년부터 2021년까지로 초, 중등 교육에 산업수학 저변을 형성하는 등 산업수학의 자발적 생태계가 작동된다. 마지막 6단계는 정착기로 2022년 이후가 이에 속하며 민간 주도하에 산업수학 생태계가 조성된다[4]. 구체적으로 현재는 성숙기로 산업수학 문제 해결을 본격화하고 성공 사례를 확산하며, 수학, 공학, 산업을 섭렵한 융합형 산업수학 인재를 양성하여 기업에

취업시키거나 수학 기반 스타트업 창업으로 연계하는 단계이다. 또한 초·중등 교육에 산업수학 저변을 형성하는 단계로 초·중등 수학에 산업수학 가치를 소개하기 위해 지금 배우는 수학 이론이 언제·왜 탄생해서 어디에 쓰이고 있는지 우리 생활과 어떤 관계가 있는지를 이해하는데 중점을 두는 학생 눈높이에 맞는 산업수학 교재를 개발하고 있으며, 이 중 고등학생을 대상으로 한 실용수학 교과서는 이미 개발되어 있는 실정이다. 그리고 학생들에게는 방학 중에 수학캠프를, 수학 교사에게는 실용적인 수학을 가르칠 수 있도록 체험형 장기연수를 제공하고 있다. 또한 학생들의 수학기반 문제해결 경험 및 진로 설계를 지원하기 위해 산업수학 문제해결 경진대회를 개최하고, 수학 진로 설계 및 직업체험 프로그램을 운영하고 있다[3,4,35,36].

국제적으로 산업수학 활성화를 위한 노력은 다양한 국가 기관 또는 국제기구를 중심으로 이루어지고 있다. 이 중 전 세계 산업수학의 흐름을 주도하는 학회인 SIAM에 대해 살펴보면 다음과 같다. SIAM은 1951년 발족되었으며, 전 세계 산업응용수학 관련 학회 중 가장 긴 역사를 갖고 있다. SIAM은 전 세계 산업응용수학의 흐름을 주도하는 학회로 학술진흥, 연구 교류, 교육, 커리어 개발 등 다양한 역할을 수행하고 있다. 구체적으로 학술진흥 및 연구 교류 역할로 20종의 산업응용수학 학술지를 발간하고 있으며, 매년 약 25권의 전문 서적을 출판하고 있으며, 계산과학, 금융수학, 데이터마이닝, 동역학계, 병렬 계산, 선형대수, 생명과학, 이미지과학, 이산수학, 재료과학, 제어이론 등 산업응용수학의 거의 모든 분야의 국제 학술대회를 개최하고 있으며, 세부 분야 연구 활동 장려를 위한 20개의 활동 분과가 있다. 교육 역할과 관련하여서는 과학, 공학, 산업 등의 분야에서 발생하는 문제를 수학을 이용해 표현하고 이를 해결할 수 있는 능력을 갖춘 인재를 양성하기 위해 고등학생을 대상으로 M^3 챌린지를 주관하고 있다. M^3 챌린지는 고등학생들의 수학적 모델링 능력 함양을 위해 3~5명으로 구성되는 고등학생팀이 매년 제시되는 한 문제를 14시간 이내 답을 제출하도록 하고 있으며, 수상자에게는 125,000달러의 장학금을 수여하고 있다. 또한 대학생과 대학원생을 위한 프로그램으로는 그들의 연구 결과를 게재할 수 있는 온라인 학술지인 "SIAM Undergraduate Research Online"을 발간하고 있으며, Gene Golub SIAM 여름 학교, 그리고 SIAM Student Travel Award 등이 있다. 커리어 개발 역할과 관련하여서는 학생 및 신진 연구 인력들에게 기관 회원으로 참여하고 있는 기업의 인턴십

프로그램을 요약하고 정리해서 제공하고 있으며, 산업계의 커리어와 관련한 개략적인 정보를 알 수 있도록 브로슈어를 제작하여 배포하고 있다. 또한 산업응용수학 분야의 기업, 학교, 연구소 등과 이들을 연결해주는 별도의 웹사이트를 운영하고 있다[4,6,37-39].

국내에는 SIAM에 해당하는 KSIAM이 있으며, KSIAM은 1997년에 정보통신 및 첨단산업 기술의 획기적인 발전에 원동력이 되는 수학의 응용이론을 창출하고 공학자, 과학자, 수학자 간의 새로운 학술정보와 창의적인 아이디어의 개발 및 교환을 위한 학제 간의 생산적인 학술토론의 장을 마련하는 것을 목표로 설립되었다. KSIAM에서는 학술지로 J-KSIAM을 발간하여 전통적인 '연구 논문(research article)' 분야와 함께 산업응용수학에서 주요 주제에 대한 통합적이고 최신 관점을 다룬 '리뷰와 조사(review and survey)', 현재 기업들이 직면하고 있는 수학적 문제에 초점을 맞춘 '산업수학(mathematics in industry)', 저자들이 새로운 아이디어와 실험적인 제안을 제시함으로써 서로 다른 분야의 연구자들과 의사소통할 수 있도록 장려하는 '수학 및 공학에서의 의사소통(communications in mathematics and engineering)', 그리고 응용 및 계산과학 교육을 위한 특정 주제 또는 소스 코드 및 데이터를 포함하는 과학 소프트웨어와 관련한 '소프트웨어 및 교육(software and education)'을 다루고 있다. 학술연구사업으로 매년 춘계와 추계에 학술발표회를, 국제학술교류사업으로 중국, 일본, 미국의 전문가들과 학술대회를, 그리고 산업응용수학 관련 소프트웨어 개발 워크숍을 개최하고 있다 [40].

따라서 본 연구에서는 산업수학의 발전 단계 중 수학의 활용 가능성이 극대화되는 도약기, 정부 지원이 마중물이 되는 성장기, 그리고 초, 중등 교육에 산업수학 저변을 형성하는 성숙기로 구분하여 미국의 SIAM과 국내의 KSIAM이 발간한 학술지에서 발현되는 연구주제를 비교 분석함으로써 학술적 시사점과 초유의 사태인 코로나19가 발발하기 전까지 그동안의 산업수학 육성방안 성과에 대한 시사점을 제공하고자 한다.

3. 연구방법

3.1 분석 데이터

본 연구는 국가와 시기에 따라 전반적인 산업수학 연구주제 차이를 통계적 검증을 기반으로 비교하기 위해

산업수학 발전 단계 중 도약기, 성장기, 그리고 성숙기의 일부(이하 성숙기로 칭함)에 해당하는 2010년부터 2019년까지 SIAM과 KSIAM에 게재된 제목과 초록 데이터를 분석대상으로 정하였다.

구체적으로 2010년과 2019년을 선정한 이유는 다음과 같다. 먼저 2010년은 도약기가 시작되는 첫 해에 해당하며, 도약기는 수학의 활용 가능성이 극대화되는 시기로 이후 국내에서 산업수학의 중요성을 인식하게 되었기 때문이다[3]. 또한 성숙기로 2019년을 택한 이유는 첫째, 초유의 사태인 코로나19의 영향력을 축소하기 위해 SIAM에서 코로나19와 관련한 특별호를 발행하기 전의 시점으로 하였으며 둘째, 기존에 국내에서 산업수학 주제에 대해 토픽모델링을 분석한 연구들의 시작 시점은 각각 1970년[11], 1997년[13], 2016년[12]으로 다르지만 종료 시점이 2019년으로 동일하므로 일부 연구 결과를 비교하기 위해 2019년으로 정하였다. 제목과 초록 데이터는 메타데이터인 학술지 명과 출판연도와 함께 각 홈페이지에 있는 아카이브에서 R로 크롤링 프로그램을 작성하여 수집하였다.

SIAM에서는 총 17종의 학술지가 발간되고 있지만, KSIAM에서는 J-KSIAM 1종만 발간되고 있으므로 이를 고려하여 SIAM에서 대표적으로 가장 오래되고 많은 논문들을 출판한 SIAM Journal on Applied Mathematics와 2000년대 이후에 창간된 6종의 학술지로 한정하여 Erratum과 특별호를 제외한 총 3,310편의 논문을 수집하였으며, 연도와 학술지별 논문 편수는 Table 1과 같다.

학술지마다 창간된 연도가 다르므로 게재된 논문 편수는 다양하게 나타났으며, 연도 별로 살펴보면 2018년이

450편으로 가장 많게, 반면에 2012년에는 256편으로 가장 작게 나타났다. 또한 연도를 도약기에 해당하는 2010년부터 2015년, 성장기에 해당하는 2016년과 2017년, 그리고 성숙기에 해당하는 2018년과 2019년으로 나누어 살펴보면 각각 1,774편, 708편, 828편으로 나타났다.

3.2 분석 방법

이상의 전처리 과정이 완료된 데이터를 대상으로 R을 활용하여 STM 분석을 수행하였다. 구체적으로 메타데이터는 SIAM과 KSIAM을 각각 한국과 미국으로 구분하는 국가로, 그리고 게재 연도를 도약기(2010년~2015년), 성장기(2016년~2017년), 성숙기(2018년~2019년)의 3시기로 나누어 독립변수로 활용하였으며, 토픽의 개수는 30개로 정하였다. STM을 포함한 토픽모델링 분석을 수행하기 위해서는 먼저 연구자가 토픽의 개수를 정해야 한다.

본 연구에서는 적절한 토픽 개수를 찾기 위해 R에서 제공하는 단어의 의미론적 응집도(semantic coherence)가 최소화되지 않으면서, 하한(lower bound) 및 최대우도 추정치(held-out likelihood)는 극대에, 그리고 잔차(residual)는 극소에 가까운 Fig. 2에 제시된 바와 같이 30개를 선정하였다[20].

Fig. 2는 토픽의 개수를 20부터 60까지 변화시킬 때 산출되는 4개 지수의 값을 나타낸다. 또한 해석 가능성을 고려할 때 선정된 토픽 개수가 적절한지에 대해 기하학, 교육학, 대수학, 통계학, 해석학을 전공으로 하는 5인의 박사들로 구성된 전문가협의회를 개최하여 최종적으로 이를 확정하였다.

Table 1. Number of papers by years and journals

Journal \ Year		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
S I A M	Applied Algebra and Geometry								32	25	28	85
	Applied Dynamical Systems	47	47	63	62	67	68	77	74	87	69	661
	Applied Mathematics	90	112	90	104	90	117	106	99	146	104	1058
	Financial Mathematics	34	39	28	33	27	43	33	31	42	30	340
	Mathematics of Data Science										33	33
	Multiscale Modeling & Simulation	68	67	55	54	67	59	53	64	69	45	601
	Uncertainty Quantification				23	36	48	53	48	63	48	319
KSIAM	J-KSIAM	21	24	20	20	25	26	20	18	18	21	213
Total		260	289	256	296	312	361	342	366	450	378	3310

추출된 30개 토픽의 주제를 본 연구에서는 산업수학 분야의 연구주제로 해석하였으며, 각 연구주제를 대표할 수 있는 핵심 단어로 STM 분석 결과에서 FREX(FRequent and EXclusive)를 제시하였다. FREX는 해당 단어가 해당 연구주제에서 높은 확률로 나타날 뿐만 아니라 다른 연구주제에는 잘 나타나지 않는 단어일 때 상승함으로써 해당 연구주제를 다른 연구주제와 잘 구분해주는 특성이 있다. 연구주제는 각 토픽에서의 핵심 단어를 바탕으로 전문가협의회에서 국가과학기술표준분류(NSTC: National Science and Technology Standard Classification, 이하 NSTC)에 기반한 수학의 중분류에서 확정하였다.

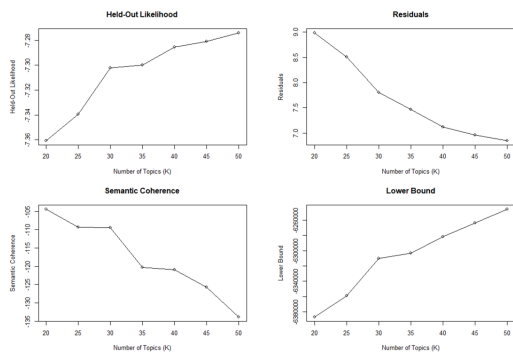


Fig. 2. Diagnostic values by number of topics

또한 국가직무능력표준(NCS: National Competency Standards, 이하 NCS)에서 제시하는 직무의 유형에 기반하여 연구주제와 관련한 산업 분야를 확정하였다. NCS란 산업현장에서 직무를 수행하기 위해 요구되는 지식·기술·태도 등의 내용을 국가가 체계화한 것으로, 본 연구에서는 24개의 대분류인 사업관리, 경영·회계·사무, 금융·보험, 교육·자연·사회과학, 법률·경찰·소방·교도·국방, 보건·의료, 사회복지·종교, 문학·예술·디자인·방송, 운전·운송, 영업판매, 경비·청소, 이용·숙박·여행·오락·스포츠, 음식서비스, 건설, 기계, 재료, 화학·바이오, 섬유·의복, 전기·전자, 정보통신, 식품가공, 인쇄·목재·가구·공예, 환경·에너지·안전, 그리고 농림어업을 제시하였다[41]. 구체적으로 전문가협의회를 개최하기 이전에 5인의 박사들은 STM 분석 결과를 연구자로부터 받았으며, 개별적으로 선정된 토픽 수가 적절한지 여부 및 연구주제와 관련한 수학 분야와 산업 분야를 선정하여 회의에 참석하도록 하였으며, 토론 과정을 거쳐 최종 연구주제 명과 관련한 산업을 선정하였다.

4. 연구결과

4.1 산업수학 연구주제 도출

산업수학 분야에서의 연구주제 및 각 연구주제를 대표할 수 있는 핵심 단어들을 추출하기 위해 총 3,310편의 논문을 대상으로 STM을 분석한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 연구주제는 전문가협의회 결과 선정된 수학 분야로 선정하였으며, 핵심 단어는 지면 제약 상 해당 연구주제가 다른 연구주제와 구분되는 특성을 잘 나타내는 FREX에서 상위 10개의 단어만을 제시하였다. 또한 NCS에서 제시하는 직무 유형에 기반하여 각 연구주제별로 관련 있는 산업 분야를 가능한 한 중복하지 않게 제시하였다.

Table 2. Research topics and keywords

Topics	Keywords
1. Bayesian inference	monte, carlo, estimator, probability, prior, error, multilevel, sample, likelihood, posterior
2. Financial mathematics	price, option, volatility, american, martingale, transaction, heston, money, hedge, bermudan
3. Functional analysis	operator, function, domain, approximation, space, spectrum, equation, convergence, integral, finite
4. Combinatorics/graph theory	polynomial, selex, group, graph, vector, semidefinite, weight, identifiability, combinatorial, algebra
5. Differential geometry	vorticity, capillary, pipe, fluid, tension, flow, incompressible, flame, slip, velocity
6. Financial/actuarial statistics	optimal, capital, constraint, dividend, systemic, investment, penalty, withdrawal, hjb, bank
7. Applied probability	emulator, emulation, output, sobol, simulator, surrogate, markov, uncertainty, estimation, computer
8. Medical/bio statistics	infection, drug, epidemic, virus, mosquito, outbreak, wolbachia, malaria, infect, hiv
9. Variation/nonlinear analysis	energy, droplet, free, minimizer, boundary, quantum, metric, formulation, dirichlet, wannier
10. Ordinary differential equation/dynamical systems	heat, conduction, temperature, ion, boundary, homogenization, thermal, channel, composite, pore
11. Actuarial mathematics	order, asymptotic, measure, expansion, insure, exponential, risk, game, backward, explicit
12. Stochastic process	collocation, basis, stochastic, sparse, tensor, pde, noise, copolymer, process, spde
13. Multivariate statistics	extraction, cluster, information, component, cloak, assimilation, sensor, measurement, datum, forecast

14.General topology	bind, upper, bound, local, set, proof, quartic, connectivity, family, interval, space
15.Mathematical programming/ optimization theory	law, conservation, time, stiff, guidance, process, traffic, hyperbolic, fast, missile
16.Mathematical physics	kuramoto, oscillator, isochrons, phase, force, period, cycle, floquet, stable, hamiltonian
17.Global analysis	homoclinic, canard, codimension, torus, bifurcation, manifold, invariant, hopf, orbit
18.Computing analysis	multiscale, mesh, random, accuracy, discretization, coarse, preconditioner, elliptic, computational, material
19.Numerical analysis	analysis, reduction, term, transition, path, numerical, feature, microscopic, interest, wave
20.Bio mathematics	network, neural, bump, follicle, synaptic, activity, node, reaction, gene, cortex
21.Mathematical methods in science/ engineering	particle, swarm, skeletonization, configuration, diffusive, collision, regime, pedestrian, trap, escape
22.Bio mathematics	delay, migratory, equilibrium, chemostat, immune, persistence, species, aggregation, phytoplankton, harvest
23.Mathematical physics	scatter, acoustic, timeharmonic, image, obstacle, cavity, inverse, ultrasound, segmentation, helmholtz
24.Medical/ bio statistics	sleep, diffusion, closure, kinetic, macroscopic, model, rem, microscale, sleepwake, mobility
25.Tele communication mathematics	solitary, travel, dispersive, pulse, propagation, beam, crack, wave, shock, period
26.Stochastic analysis	filter, wavelet, ensemble, tomography, kalman, lipschitz, code, gabor, conductivity, electrode
27.Partial differential equation	stripe, crystal, band, instability, schrodinger, localize, pattern, soliton, defect, snake
28.Queuing system analysis	discrete, system, continuous, dynamical, converge, evolution, action, queue, process, service
29.Complex analysis	dynamic, computation, complex, conley, protein, numerical, technique, koopman, insulin, chaotic
30.Linear algebra	centrality, algorithm, matrix, design, identification, efficiency, eigenvector, covariance, projection, subspace

연구주제1은 ‘베이지안추론’으로 ‘prior’, ‘posterior’, ‘likelihood’ 등으로, 연구주제3은 ‘함수해석’으로 ‘operator’, ‘function’, ‘domain’ 등으로, 그리고 연구주제14는 ‘일반위상수학’으로 ‘bound’, ‘set’, ‘connectivity’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 학교교육, 평생교육, 직업교육 등에서 활용할 수 있는 교육·자연·사회·과학 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제2는 ‘금융수학’으로 ‘price’, ‘option’, ‘martingale’ 등으로, 연구주제6은 ‘금융/보험통계’로 ‘optimal’, ‘investment’, ‘bank’ 등으로, 그리고 연구주제11은 ‘보험수학’으로 ‘asymptotic’, ‘exponential’, ‘insurer’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 금융영업, 신용분석, 자산운영, 증권·외환, 보험영업·손해사정 등에서 활용할 수 있는 금융·보험 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제4는 ‘조합수학/그래프이론’으로 ‘group’, ‘graph’, ‘combinatorial’ 등으로, 연구주제17은 대역 해석학/다양체위의 해석학으로 ‘canard’, ‘bifurcation’, ‘manifold’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 자동차, 철도, 선박, 항공의 운전·운송 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제5는 ‘미분기하’로 ‘vorticity’, ‘fluid’, ‘tension’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 디지털 디자인과 VR콘텐츠디자인 등을 세분류로 갖는 디자인과 영상그래픽, 영상미술 등을 세분류로 갖는 문화콘텐츠 등에서 활용할 수 있는 문화·예술·디자인·방송 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제7은 ‘응용확률’로 ‘emulator’, ‘simulator’, ‘markov’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 프로젝트관리와 해외관리 등에서 활용할 수 있는 사업관리 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제8과 연구주제24는 ‘의학/생물통계’로 각각 ‘infection’, ‘drug’, ‘virus’와 ‘sleep’, ‘kinetic’, ‘rem’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 의료기술지원, 보건지원, 약무, 임상의학, 간호, 기초의학, 임상지원 등에서 활용할 수 있는 보건·의료 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제9는 ‘변분론/비선형해석’으로 ‘energy’, ‘quantum’, ‘minimizer’ 등으로, 연구주제16은 ‘수리물리’로 ‘oscillator’, ‘force’, ‘hamiltonian’ 등으로 구성되어 있으며, 기계설계, 기계가공, 기계조립·관리, 기계 품질관리, 기계장치설치, 자동차, 철도차량제작, 조선, 항공기제작, 금형, 스마트공장 등에서 활용할 수 있는 기계 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제10은 ‘동력계/상미분방정식’으로 ‘kuramoto’, ‘heat’, ‘channel’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 산업환경, 환경보건, 자연환경, 환경서비스, 에너지·자원, 산업안전 등에서 활용할 수 있는 기계 등과 관련된 환경·에너지, 안전 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제12는 ‘확률과정’으로 ‘stochastic’, ‘copolymer’,

‘process’ 등으로, 연구주제20은 ‘바이오수학’으로 ‘network’, ‘neural’, ‘cortex’ 등으로, 그리고 연구주제29는 ‘복소해석’으로 ‘dynamic’, ‘complex’, ‘protein’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제들은 화학물질·화학 공정관리, 정밀화학제품제조, 플라스틱·고무제품제조, 바이오제품제조 등에서 활용할 수 있는 화학·바이오 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제13은 ‘다변량통계’로 ‘cluster’, ‘cloak’, ‘sensor’ 등으로, 연구주제23은 ‘수리물리’로 ‘acoustic’, ‘timeharmonic’, ‘image’ 등으로, 그리고 연구주제26은 ‘확률해석학’으로 ‘filter’, ‘kalman’, ‘conductivity’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제들은 지능형전력망서설비, 미래형 전기시스템 등을 세분류로 하는 전기, 반도체개발, 디스플레이개발, 로봇개발, 광기술개발, 의료장비제조 등을 세분류로 갖는 전자기기개발 등에서 활용할 수 있는 전기·전자 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제15는 ‘수리계획법/최적화이론’으로 ‘process’, ‘fast’, ‘missile’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 구조구급, 위험물운송·운반관리, 위험물안전관리 등을 세분류로 하는 소방, 기업재난관리, 방재안전대책관리 등을 세분류로 하는 방재, 스마트재난위험예측, 스마트재난관리설계 등을 세분류로 하는 스마트재난관리 등에서 활용할 수 있는 법률·경찰·소방·교도·국방 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제18은 ‘계산수학’으로 ‘computation’, ‘accuracy’, ‘material’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 금속엔지니어링, 금속재료제조, 금속가공, 표면처리, 용접, 비철금속재료제조 등을 소분류로 하는 금속재료와 파인세라믹제조, 전통세라믹제조 등을 소분류로 하는 요업재료 등에서 활용할 수 있는 재료 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제19는 ‘수치해석’으로 ‘reduction’, ‘numerical’, ‘wave’ 등으로, 연구주제21은 ‘과학/공학의 수학적 방법론’으로 ‘skeletonization’, ‘collision’, ‘pedestrian’ 등으로, 연구주제25는 ‘통신수학’으로 ‘pulse’, ‘propagation’, ‘beam’ 등으로, 연구주제27은 ‘편미분방정식’으로 ‘instability’, ‘schrodinger’, ‘localize’ 등으로, 연구주제30은 ‘선형대수’로 ‘algorithm’, ‘matrix’, ‘eigenvector’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제들은 보안사고분석대응, 지능형영상정보처리, 생체인식 등을 세분류로 하는 정보기술, 유·무선통신구축, 통신서비스, 실감형콘텐츠제작을 소분류로 하는 통신기술

등에서 활용할 수 있는 정보통신 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제22는 ‘바이오수학’으로 ‘immune’, ‘phytoplankton’, ‘harvest’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 작물재배, 종자생산·유통, 농촌개발 등을 소분류로 하는 농업, 축산자원개발, 사육관리를 소분류로 하는 축산, 어업, 양식, 수자원관리, 어촌개발을 소분류로 하는 수산 등에서 활용할 수 있는 농림어업 등과 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

연구주제28은 ‘대기체계이론’으로 ‘system’, ‘queue’, ‘service’ 등으로 구성되어 있다. 이 연구주제는 객실관리, 접객서비스 등을 세분류로 하는 숙박서비스, 카지노, 크루즈, 유원시설, 리조트 운영관리 등을 세분류로 하는 관광레저서비스, 스포츠시설운영관리를 세분류로 하는 스포츠시설 등에서 활용할 수 있는 이용·숙박·여행·오락·스포츠 등과 이 시설 내에 설치되어 있는 음식점에서의 음식서비스 및 영업판매와 관련되어 있다고 해석할 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 산업수학 관련 중심 연구주제들은 대수학, 해석학, 위상수학, 기하학, 응용수학, 이산/정보수학, 추론/계산, 모형/자료분석, 응용통계, 그리고 확률/확률과정까지 전 분야에서 연구주제가 나타났으며, 응용수학이 40%로 가장 높게 나타났다. 또한 연구주제와 관련한 NCS기반의 산업 분야는 24개 중 17개인 약 71%에서 활용할 수 있는 것으로 나타났으며, 이 중 정보통신 분야는 가장 많은 5개의 연구주제와 관련 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 산업수학과 관련하여 정보통신 분야에서 활용할 수 있는 응용수학 분야와 관련한 연구주제들이 상대적으로 많이 수행되고 있지만 대체로 순수수학을 비롯해 다양한 수학 분야가 1차산업, 2차산업, 그리고 3차 서비스산업에까지 광범위하게 활용되고 있다고 해석할 수 있다.

4.2 국가와 시기에 따른 산업수학 연구주제 동향 분석

국가와 시기에 따라 산업수학 연구주제에 변화가 있는지를 살펴보기 위해 시기, 국가, 그리고 시기와 국가의 상호작용 항을 독립변수로, 논문에 등장하는 연구주제의 발현 확률을 종속변수로 상정하여 STM을 분석한 결과 중 지면 제약 상 국가, 시기 또는 국가와 시기의 상호작용 효과가 존재하는 경우로 한정하여 Table 3~Table 5, 그리고 Fig. 3~Fig. 5에 제시하였다. STM 분석 결과, Table 3과 Fig. 3는 국가 효과가, Table 4와 Fig. 4는 국가와 시기 효과가, 그리고 Table 5와 Fig. 5는 국가와

시기의 상호작용 효과가 통계적으로 유의미한 경우를 제시하였다. Fig. 3~Fig. 5에서 x 축의 0, 1, 2는 각각 산업수학의 도약기, 성장기, 성숙기를 나타내며, y 축은 각 토픽의 발현 확률을, 빨간색 선은 한국으로, 그리고 파란색 선은 미국으로 나타내었다.

국가 효과만 나타난 경우는 Table 3과 Fig. 2에 제시한 바와 같이 ‘16수리물리’, ‘17대역해석학/다양체위의 해석학’, ‘20바이오수학’, ‘21과학/공학의 수학적방법론’, ‘25통신수학’, 그리고 ‘27편미분방정식’으로 나타났다. 한국에서는 도약기부터 성숙기에 이르기까지 해당 연구주제들은 거의 등장하지 않았으며, 미국에서만 해당 연구주제의 발현 확률이 유의미하게 높게 나타났다(순서대로 $b = .026, p < .01; b = .043, p < .001; b = .037, p < .001; b = .021, p < .01; b = .032, p < .01; b = .021, p < .05$). 이는 국내에서 해당 주제에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있지 않은 반면에 미국에서는 2000년대 이후부터 현재까지도 꾸준히 연구되고 있는 주제라고 해석할 수 있다. 또한 통계적으로 유의하게 나타나지는 않았지만 Fig. 3에 제시된 것처럼 국내에서는 바이오 수학에 관한 연구가 급격히 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이는 산업수학을 육성하는 방안 중 하나로 국내에서 2016년부터 정부가 국가전략 프로젝트로 바이오의약을 선정하고 지원하였기 때문이라고 해석할 수 있다[3,34].

Table 3. Analysis results of topic prevalence probability of nation and phase (National effects)

	16.Mathematical physics	17.Global analysis	20.Bio mathematics
Intercept	.009 (.007)	.008 (.012)	.003 (.010)
Phase: Growth	-.006 (.016)	-.006 (.025)	.004 (.022)
Phase: Maturity	-.006 (.015)	.002 (.025)	.018 (.023)
Nation: US=1	.026 (.008)**	.043 (.012)***	.037 (.011)***
Growth × Nation	.001 (.017)	.009 (.026)	-.007 (.023)
Maturity × Nation	-.003 (.016)	-.015 (.026)	-.013 (.024)
	21.Mathematical methods in science/engineering	25.Telecommunication mathematics	27.Partial differential equation
Intercept	.008 (.006)	.007 (.010)	.016 (.009)

Phase: Growth	-.004 (.013)	.003 (.022)	-.001 (.019)
Phase: Maturity	-.002 (.013)	-.001 (.021)	-.002 (.018)
Nation: US=1	.021 (.007)**	.032 (.011)**	.021 (.009)*
Growth × Nation	.006 (.014)	-.008 (.023)	-.002 (.019)
Maturity × Nation	.003 (.014)	-.010 (.022)	-.010 (.019)

주1. Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

주2. init.type은 spectral, max.em.its는 75, runs는 20으로 stm을 분석했음.

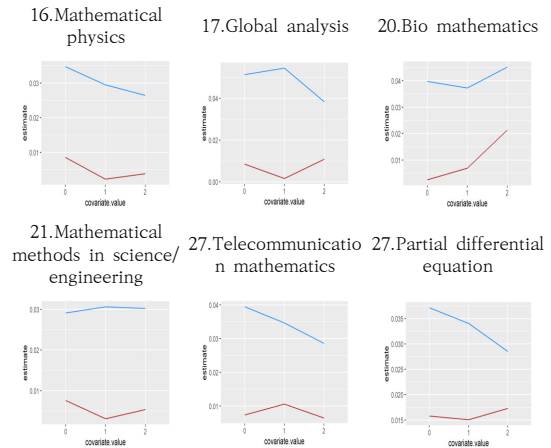


Fig. 3. Topic prevalence probability of nation over time (National effects)

국가 효과와 시기 효과가 나타난 경우는 Table 4와 Fig. 4에 제시한 바와 같이 ‘14일반위상수학’, ‘18계산수학’, ‘24의학/생물통계’, ‘29복소해석’ 그리고 ‘30선형대수’로 나타났다. 해당 토픽들은 모두 도약기에 한국에서 출현 확률이 높게 나타났으며(순서대로 $b = .039, p < .001; b = .082, p < .001; b = .018, p < .01; b = .013, p < .01; b = .038, p < .001$), ‘30선형대수’는 시기가 지날수록 지속적으로 출현 확률이 높아지는 것으로 나타났다($b_{\text{성숙기}} = .057, p < .05$). 반면에 ‘14일반위상수학’과 ‘18계산수학’은 미국보다 한국에서 발현 확률이 높게 나타났지만($b_{\text{국가}} = -0.013, p < .01; b_{\text{국가}} = -.033, p < .05$), ‘24의학/생물통계’와 ‘29복소해석’은 한국보다 미국에서 더 많이 연구되는 주제로 나타났다($b_{\text{국가}} = 0.019, p < .01; b_{\text{국가}} = .010, p < .05$).

Table 4. Analysis results of topic prevalence probability of nation and phase (National and phase effects)

	14.General topology	18.Computing analysis	24.Medical/bio statistics
Intercept	.039 (.005)***	.082 (.014)***	.018 (.006)**
Phase: Growth	.003 (.013)	.020 (.027)	-.003 (.011)
Phase: Maturity	-.007 (.011)	-.001 (.027)	-.002 (.013)
Nation: US=1	-.013 (.005)*	-.033 (.014)*	.019 (.007)**
Growth× Nation	.000 (.013)	-.024 (.027)	.001 (.013)
Maturity× Nation	.009 (.011)	-.005 (.027)	-.003 (.013)
	29.Numerical analysis	30.Linear algebra	
Intercept	.013 (.005)**	.038 (.010)***	
Phase: Growth	-.006 (.010)	.007 (.019)	
Phase: Maturity	-.004 (.010)	.057 (.023)*	
Nation: US=1	.010 (.005)*	-.014 (.010)	
Growth× Nation	.006 (.010)	.002 (.020)	
Maturity× Nation	.006 (.010)	-.037 (.024)	

주1. Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

주2. init.type는 spectral, max.em.its는 75, runs는 20으로 stm을 분석했음.

Fig. 3에 제시된 것처럼 통계적으로 유의하게 나타나지는 않았지만 ‘14일반위상수학’과 ‘18계산수학’은 두 국가에서 모두 감소하고 있는 것으로 나타났으며, ‘30선형대수’는 증가하는 것으로 나타났습니다. 또한 ‘24의학/생물통계’는 시기가 진행됨에 따라 미국에서는 감소하는 연구주제로 나타났으며, 반면에 한국에서는 성장기부터 증가하는 연구주제로 나타났습니다. 이를 바탕으로 국내 산업수학 분야 연구가 국외 연구동향을 그대로 뒤따라가지만은 않은 것으로 해석할 수 있으며, ‘24의학/생물통계’의 증가는 2019년부터 정부의 지원을 바탕으로 산업수학을 의료로 확대한 의료수학센터가 설립되면서 의료생체정보를 활용한 진단용 의료영상, 수학적 모델링, 데이터 분석 기술 등을 통합적으로 활용한 연구들이 수행되고 있기 때문이라고 해석할 수 있다[3,34,35].

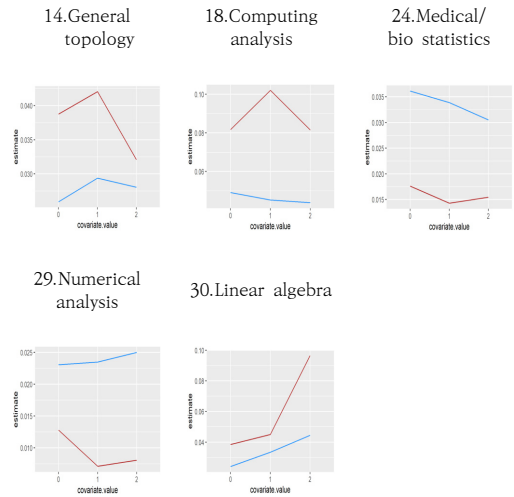


Fig. 4. Topic prevalence probability of nation over time (National and phase effects)

국가와 시기의 상호작용 효과가 나타난 경우는 Table 5와 Fig. 5에 제시한 바와 같이 ‘3함수해석’, ‘4조합수학/그래프이론’, ‘6금융/보험통계’, ‘10동력계/상미분방정식’ 그리고 ‘15수리계획법/최적화이론’으로 모두 다른 패턴으로 나타났다. ‘3함수해석’은 미국보다 한국에서 지속적으로 발현 확률이 높게 나타났으며($b = .061, p < .001$; $b = .096, p < .001$; $b = -.019, p < .05$), 출현 확률 증가율은 도입기에 비해 성숙기에서 미국이 약 10% 높은 것으로 나타났다($b = -0.099, p < .001$). ‘4조합수학/그래프이론’은 도약기에 한국에서 출현 확률이 높게 나타났지만($b = .022, p < .01$), 출현 확률 감소율은 도약기에 비해 성숙기에서 한국이 약 4% 더 감소한 것으로 나타났다($b = .043, p < .01$). ‘6금융/보험통계’는 도약기에 빈번하게 나타났으며($b = .079, p < .001$), 성장기는 도약기에 비해 연구주제 발현 확률이 낮게 나타났다($b_{\text{성장기}} = -.050, p < .05$). 한국보다 미국에서 연구주제 발현 확률이 낮게 나타났지만($b_{\text{국가}} = -.048, p < .001$), 연구주제 발현 확률의 감소율은 도약기에 비해 성장기에 한국이 약 5% 더 감소한 것으로 나타났다($b_{\text{성장기} \times \text{국가}} = .050, p < .05$).

Table 5. Analysis results of topic prevalence probability of nation and phase (Interaction effects)

	3.Functional analysis	4.Combinatorics/graph theory	6.Financial/actuarial statistics
Intercept	.061 (.007)***	.022 (.008)**	.079 (.013)***
Phase: Growth	.029 (.019)	-.003 (.017)	-.050 (.024)*
Phase: Maturity	.096 (.020)***	-.013 (.016)	-.021 (.023)
Nation: US=1	-.019 (.008)*	-.007 (.008)	-.048 (.013)***
Growth × Nation	-.029 (.019)	.023 (.018)	.050 (.024)*
Maturity × Nation	-.099 (.021)***	.043 (.017)**	.023 (.024)
	10. Ordinary differential equation/dynamical systems	15. Mathematical programming/optimization theory	
Intercept	.074 (.012)***	.051 (.007)***	
Phase: Growth	.074 (.027)	-.034 (.013)**	
Phase: Maturity	-.005 (.026)	-.031 (.012)*	
Nation: US=1	-.036 (.012)**	-.024 (.008)**	
Growth × Nation	-.077 (.028)**	.035 (.014)*	
Maturity × Nation	-.003 (.026)	.035 (.013)**	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

반면에 ‘10동력계/상미분방정식’은 도약기에 미국보다 한국에서 발현 확률이 높게 나타났으며($b = .074, p < .001$; $b_{\text{국가}} = -.036, p < .01$), 연구주제 발현 확률의 증가는 도약기에 비해 성장기에 한국이 약 8% 증가한 것으로 나타났다($b_{\text{성장기} \times \text{국가}} = -.077, p < .01$). ‘15수리계획법/최적화이론’은 시기가 진행됨에 따라 지속적으로 한국에서 발현 확률이 낮게 나타났지만($b = .051, p < .001$; $b_{\text{성장기}} = -.034, p < .01$; $b_{\text{성숙기}} = -.031, p < .05$), 연구주제 발현 확률의 감소율은 도약기에 비해 성장기와 성숙기에 한국이 각각 약 4% 더 높게 나타났다($b_{\text{성장기} \times \text{국가}} = .035, p < .05$; $b_{\text{성숙기} \times \text{국가}} = .035, p < .01$).

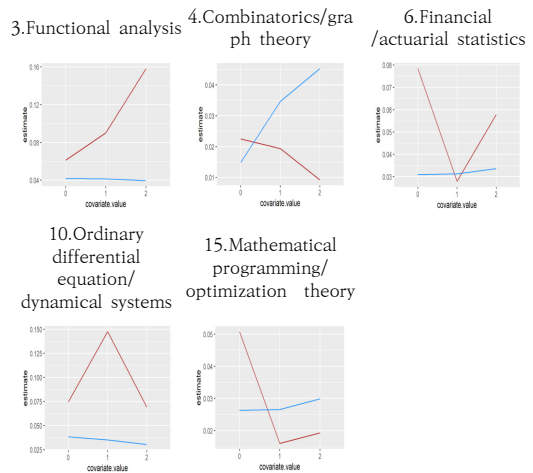


Fig. 5. Topic prevalence probability of nation over time (Interaction effects)

Fig. 5에 제시된 것처럼 미국의 도약기부터 성장기에 해당하는 패턴이 국내의 성장기부터 성숙기에 나타나지 않는 연구주제는 ‘3함수해석’과 ‘4조합수학/그래프이론’이며, 각각 국내에서는 증가와 감소 형태의 반대로 나타났다. 이를 바탕으로 국내 산업수학 분야 연구가 국외 연구동향을 그대로 뒤따라가지만은 않은 것으로 해석할 수 있으며, 성장기부터 증가하는 ‘6금융/보험통계’는 2016년 정부가 지원한 산업수학 접합프로그램에 선정된 시민 금융 지원과 우수 성과로 선정된 보험 컨설팅을 통해서도 확인할 수 있다[34,35].

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 산업수학의 도약기부터 성숙기에 해당하는 2010년부터 2019년까지 SIAM과 KSIAM에서 출판한 논문들의 제목과 초록을 대상으로 STM을 활용하여 전반적인 산업수학 분야에서의 연구주제와 시기와 국가에 따른 연구주제 차이를 살펴보았다. 이를 바탕으로 주요 연구결과와 시사점을 제시하면 다음과 같다.

먼저, 산업수학의 연구주제들은 수학 분야의 NSTC에 제시된 중분류 중 달리 분류되지 않는 기타수학을 제외한 10개 중분류 전체에서 나타났으며, 산업현장에서 요구되는 NCS에 제시된 24개 직무 유형 중 17개와 관련 있는 것으로 나타났다. 이는 순수수학부터 응용수학에 걸쳐 폭넓게 도출된 연구주제가 보건·의료, 화학·바이오

분야 등의 자연과학과 기계, 전기·전자 분야 등의 공학, 금융·보험, 그리고 문학·예술·디자인·방송 등 다양한 산업 분야의 문제를 해결하고 사회과학 현상을 기술하는데 활용되고 있다고 해석할 수 있다. 따라서 STM을 활용한 분석결과는 산업수학이 수학적 이론과 분석방법을 활용하여 세상의 문제를 해결하거나 산업의 부가 가치를 창출하는 활동이라는 기존의 정의[3]를 반영하는 것으로 나타났다.

그러나 NSTC의 소분류와 NCS의 직무 유형 대분류를 기반으로 수학과 산업에 대해 명명하는 과정에서 수학 분야에 대한 세분화 및 산업의 직무 유형 용어에 대한 수정을 고려할 필요가 있는 것으로 나타났다. 구체적으로 ‘skeletonization’, ‘configuration’, ‘pedestrian’, ‘collision’ 등과 관련하여 본 연구에서는 자연과학, 사회과학, 공학에서의 현상을 수학적으로 모델링하고 해법을 구하는 ‘21과학/공학의 수학적 방법론’으로 연구주제를 분류하였지만, 이는 영상 감시를 통한 보행자의 무단 횡단 예상 행위를 판단하는 데 이용될 뿐만 아니라 다양한 의료영상 데이터를 수학적으로 처리할 수 있는 ‘영상 처리 수학’ 같은 분류를 제안할 수 있다. 또한 국가과학기술표준분류의 중분류에 해당하는 응용수학의 경우 소분류를 특정 상황이나 문제와 관련하여 구체적으로 분류하고 있기 때문에 마찬가지로 산업과 관련된 수학적 문제를 연구하는 분야로 ‘산업수학’ 분류를 제안할 수 있다. NCS와 관련하여서 ‘migratory’, ‘immune’, ‘species’, ‘aggregation’ 등과 관련하여 본 논문에서는 ‘보건·의료’의 산업 분야로 분류하였지만, 이는 사람뿐만 아니라 다양한 동물들에게도 적용할 수 있는 분야이다. 그러나 NCS 직무유형의 대분류에는 농림어업으로만 표시되어 있어 실제 중분류에 축산이 포함되어 있는 것이 나타나지 않는다[41]. 따라서 ‘농림어업’을 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에서도 사용하고 있는 ‘농림축어업’ 용어를 제안할 수 있다[42].

또한 STM 분석방법은 기존의 토픽모델링 연구들이 제시하고 있는 것처럼 대용량의 텍스트 자료를 기반으로 컴퓨터가 도출한 결과가 전문가가 직접 내용을 판단하여 분석한 문헌 연구나 내용 분석의 결과와 유사함으로써 미시적 관점뿐만 아니라 거시적 관점과 맥락을 고려한 연구주제 도출에 적합하다는 결과를 따르는 것으로 나타났다. 즉, 텍스트 자료는 질적 연구를 통해 분석할 수 있지만, 숙련된 전문가만이 많은 시간을 들여 연구를 수행할 수 있다는 접근성의 이슈로 인해 각 학문 분야와 질적

연구 모두에 대해 심도 있는 지식을 갖춘 연구자가 드물다는 문제가 제기되어 왔다[19-28]. 본 논문은 이에 대한 해결책의 하나로 수학 분야에서 범용화된 소프트웨어를 활용하여 대량으로 수집한 텍스트에 대해 이를 상대적으로 효과적이고 빠르게 분석하는 방법을 제시하였다. 이는 점에서 의의가 있다. 이를 바탕으로 본 연구에서 활용한 STM 분석방법 및 데이터 처리 과정은 연구자들에게 다양한 수학 분야에서 관심이 있는 텍스트 자료를 폭넓게 이해할 수 있다. 또한 산업수학 관련 정부 기관과 기업의 실무진들에게는 산업수학과 관련된 신문기사, 블로그 및 SNS의 텍스트 자료를 분석함으로써 실제 현장에서 산업수학과 관련한 문제와 이슈들을 탐색하는 데 있어 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

산업수학의 연구주제들 중 한국과 미국의 국가 효과, 도약기, 성장기, 성숙기의 시기 효과, 그리고 국가와 시기의 상호작용 효과가 통계적으로 유의미하게 나타난 경우는 16개였으며, 이 중 미국의 도약기부터 성장기에 해당하는 패턴이 국내의 성장기부터 성숙기에 나타나지 않는 연구주제는 7개인 약 43%로 ‘16수리물리’, ‘20바이오수학’, ‘27편미분방정식’, ‘14일반위상수학’, ‘24의학/생물통계’, ‘3함수해석’, ‘4조합수학/그래프이론’으로 나타났다. 이는 해당 연구주제에 대한 국내의 산업수학 연구가 미국의 연구 동향을 그대로 뒤따라가지 않는다는 것을 보여줌으로써 현재 성숙기에 해당하는 국내 산업수학 연구가 추격형에서 창조형으로 어느 정도 전환되었다고 해석할 수 있다. 특히 ‘3함수해석’은 전 시기에 걸쳐 미국보다 한국에서 많이 연구되는 주제이며, 동시에 시기가 지날수록 계속 증가하는 주제로 국내 연구자들의 지속적인 연구 수행을 통해 이 분야에서 선도적인 역할을 기대할 수 있다.

반면에 ‘29수치해석’, ‘6금융/보험통계’, 그리고 ‘15수리계획법/최적화이론’은 미국에서 꾸준히 연구되는 주제로 향후 성장 가능성이 있다고 해석할 수 있으므로 국내 연구자들이 새로운 연구주제 탐색 시 이를 고려할 필요가 있다. 또한 ‘20바이오수학’과 ‘4조합수학/그래프이론’은 미국에서 꾸준히 많이 연구되면서 성장기 이후에도 계속 증가하는 주제로 산업수학과 관련하여 이미 안정기에 접어든 분야로 해석할 수 있다. 따라서 국내 연구자들의 미국 연구 동향과의 시간 격차를 줄이고, 독자적인 연구 영역을 확보할 필요가 있다. 실제 국내에서는 산업수학 활성화를 위한 정부 주도 하의 적극적인 지원으로 ‘20바이오수학’에 대한 연구는 미국보다 빠르게 증가하고 있으며, ‘24의학/생물통계’도 미국에서 연구 추세

가 감소하는 데 반해 국내는 증가하는 것으로 나타남으로써 정부 지원의 중요성이 강조됨을 알 수 있다.

또한 '30선형대수'는 한국과 미국 모두 시기가 지날수록 지속적으로 많은 연구가 이루어지는 것으로 나타났다. 국내 산업수학 육성방안이 연구의 변화뿐만 아니라 교육도 함께 생태계를 육성하는 방향으로 나아가야 함을 고려할 때[43], 9차 교육과정 시기에는 필수과목에서, 그리고 10차 교육과정부터는 계열에 상관없이 모두 삭제된 행렬을 최근 인공지능 수학교육과정에 포함시킨 것은 시의적절하다고 할 수 있다[44].

마지막으로 본 연구의 한계점과 후속연구를 제시하면 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 SIAM에서 출판한 논문들을 미국의 연구자들이 출판한 미국 논문으로, 그리고 KSIAM을 국내의 연구자들이 출판한 한국 논문으로 해석하였지만, 실제 논문은 전 세계에 속한 연구자들이 투고한 것이다. 그러나 각 출판사에서 가장 대표적인 국가가 미국과 한국이라는 점을 반영하여 본 논문에서는 해석하였다. 따라서 국가를 비교하기 위해서는 향후 저자의 국적을 반영한 연구가 수행될 필요가 있으며, 국내와 국외를 비교하기 위해서는 SIAM 외에도 다양한 협회에서 출판한 논문들을 대상으로 분석하는 것이 필요하다. 둘째, 본 연구에서는 산업수학의 단계를 반영하여 2010년부터 2019년까지의 논문들을 대상으로 도약기, 성장기, 성숙기로 구분하여 분석하였기 때문에 코로나19 발발 이후의 최신 연구 동향과 연도의 흐름에 따른 변화 추이를 구체적으로 나타내지 못하였다. 향후 연구에서는 출판연도를 확장하고 시기가 아닌 연도를 반영한 STM을 분석함으로써 국내 연구들이 미국의 연구 동향을 그대로 따라가는지, 선택적으로 따라가는지, 어느 분야에서 앞서가는지, 그리고 코로나19에 어떻게 대응했는지 등에 대한 면밀한 분석이 필요하다. 셋째, 본 연구에서 활용한 STM 분석에서 활용한 연구주제의 수와 부여한 연구주제명은 수행하는 연구자에 따라 달라질 수 있다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 R에서 STM 분석 결과 시토픽 개수를 찾는 자동화된 방법을 활용하였으며, 토픽 개수를 확정하고 연구주제 명을 부여하는 과정에서 전공의 다양성을 고려한 5인의 전문가회의를 거쳐 객관성을 확보하고자 하였다. 그러나 이는 STM뿐만 아니라 토픽모델링 기법 자체의 한계로 향후 연구방법 등의 발전을 통해 계속 개선해 나가야 할 것이다.

References

- [1] I. H. Chang, COVID-19 changes education...hope the knowledge of cyber universities in Korea be utilized [Internet], UNN. [Cited 2020 Apr. 17], Available from: <http://news.unn.net/news/articleView.html?idxno=228219> (accessed Apr. 20, 2022).
- [2] H. S. Kim, The value of mathematics from COVID-19 [Internet], Busan Ilbo. [Cited 2020 Apr. 20], Available from: <http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2020042818574048312> (accessed Apr. 20, 2022).
- [3] Ministry of Future, Planning and Science, Mathematics needed in industrial field, the government will raise it. Press release, Sejong: Ministry of Future, Planning and Science, 2016.
- [4] K. B. Park, Linkage between industry and academia for promoting industrial mathematics, Policy Research Report, Science and Technology Policy Institute, Korea, pp.1-122, 2015.
- [5] C. S. Bohun, An introduction to modern industrial mathematics. Notices of the AMS, Vol.61 No.4. pp.364-375.
- [6] M. H. Kim, A study on strategy for vitalizing of industrial and applied mathematics as a national policy. Sejong: Ministry of Future, Planning and Science, 2015.
- [7] K. B. Park, Linkage between industry and academia for promoting industrial mathematics. Policy Research, Sejong: Science and Technology Policy Institute, 2015.
- [8] H. S. Lee, Development strategy for mathematics to advance creative society. PACST, 2016.
- [9] S. J. Kim, M. S. Jung, "Activation plan for entertainment industry mathematics", *Journal of Korea Entertainment Industry Association*, Vol.11, No.2, pp.289-297, Feb. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.21184/ikeia.2017.02.11.2.289>
- [10] M. S. Shin, K. W. Cho, "Analysis of topic modeling and trend of journal of speech-language & hearing disorders using text mining: (2002~2018)", *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, Vol.23, No.8, pp. 81-91, July 2019.
DOI: <https://doi.org/10.15724/jslhd.2019.28.3.081>
- [11] J. W. Mohr, P. Bogdanov, "Introduction—topic models: What they are and why they matter", *Poetics*, Vol.48, No.6, pp.545-569. Vol.21, No.4, pp.209-234, Dec. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.poetic.2013.10.001>
- [12] S. Y. Kim, "Analysis of research trends in SIAM journal on applied mathematics using topic modeling" *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.21, No.7, pp.607-615, July 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.607>
- [13] S. Y. Kim, "Analysis on status and trends of SIAM

- journal papers using text mining” *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol.11, No.2, pp.212-222, July 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2020.20.07.212>
- [14] S. Y. Kim, “Analysis of research trends in journal of the Korean Society for Industrial and Applied Mathematics using topic modeling and implications for industrial mathematics education”, *Secondary Education Research*, Vol.68, No.2, pp.267-293, June 2020.
- [15] M. S. Yoo, S. Y. Jeong, G. H. Kim, C. Sohn, “Seasonal analysis of beach-related issues using local newspaper articles and topic modeling”, *Journal of the Korean Regional Science Association*, Vol.34, No.4, pp.19-34, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.22669/krasa.2018.34.4.019>
- [16] J. H. Yoo, E. C. Jeon, H. N. Kim, “Study of research trends in climate change using text analysis-Focusing on journal of climate change research-”, *Journal of Climate Change Research*, Vol.10, No.3, pp.161-172, Oct. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2019.10.3.161>
- [17] S. Syed, C. T. Weber, “Using machine learning to uncover latent research topics in fishery models”, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, Vol.26, No.3, pp.319-336, Jan. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1416331>
- [18] Y. Zhang, J. Tao, J. Wang, L. Ding, C. Ding, Y. Li, Q. Zhou, D. Li, H. Zhang, “Trends in diatom research since 1991 based on topic modeling”, *Microorganisms*, Vol.7, No.8, pp.213-226, July 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7080213>
- [19] J. Noh, Y. M. Baek, “Topic change in corporate rumor issue and discursive struggles in crisis communication process: Topic modeling approach”, *The Korean Journal of Advertising and Public Relations*, Vol.21, No.1, pp.1-40, Jan. 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.16914/kiapr.2019.21.1.147>
- [20] M. E. Roberts, “stm: R package for structural topic models”, *Journal of Statistical Software*, Vol.10, No.2, pp.1-40, Oct. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v091.i02>
- [21] D. H. Seol, J. H. Ko, S. H. Yoo, “Korean Sociological Association and Sociological Research: Changes in the Areas of Sociology in Korea 1964-2017”, *Korean Journal of Sociology*, Vol.52, No.1, pp.153-213, Feb. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.21562/kjs.2018.02.52.1.153>
- [22] J. Bohr, R. E. Dunlap, “Key Topics in environmental sociology, 1990-2014: results from a computational text analysis”, *Environmental Sociology*, Vol.4, No.2, pp.181-195, Oct. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1080/23251042.2017.1393863>
- [23] M. Chandelier, S. Agnès, M. Raphaël, D. Sascha, “Content analysis of newspaper coverage of wolf recolonization in France using structural topic modeling”, *Biological Conservation*, Vol.220, pp.254-261, Feb. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.029>
- [24] J. Reich, D. Tingley, J. Leder-Luis, M. Roberts, B. Stewart, “Computer-assisted reading and discovery for student generated text in massive open online courses”, *Journal of Learning Analytics*, Vol.2, No.1, pp.156-184, Nov. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.18608/jla.2015.21.8>
- [25] X. Chen, D. Zou, G. Cheng, H. Xie, “Detecting latent topics and trends in educational technologies over four decades using structural topic modeling: A retrospective of all volumes of computer & education”, *Computers & Education*, Vol.151, pp.1-21, Feb. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103855>
- [26] H. S. Park, D. H. Kim, S. J. Chang, “Research trend analysis on smart city based on structural topic modeling”, *Journal of Digital Contents Society*, Vol.20, No.9, pp.1839-1846, July 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.9.1839>
- [27] S. Das, K. Dixon, X. Sun, A. Dutta, M. Zupancich, “Trends in transportation research: Exploring content analysis in topics”, *Transportation Research Record*, Vol.2614, No.1, pp.27-38, Jan. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3141/2614-04>
- [28] E. Tvinnereim, K. Fløttum, “Explaining topic prevalence in answers to open-ended survey questions about climate change”, *Nature Climate Change*, Vol.5, No.8, pp.744-747, June. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2663>
- [29] J. H. Kim, S. Y. Heo, S. I. Kang, G. I. Kim, D. M. Kang, “Machine learning method in medical education: focusing on research case of press frame on asbestos”, *Korean Medical Education Review*, Vol.19, No.3, pp.158-168, Oct. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.17496/kmer.2017.19.3.158>
- [30] Y. S. Youm, Y. C. Seong, J. S. Kim, S. C. Jang, “The trend of the topics and methodologies in “the Journal of the Health and Social Science” from 1997 to 2017”, *Health and Social Science*, Vol.49, pp.65-90, 2018.
- [31] N. Hu, “What do hotel customers complain about? Text analysis using structural topic model”, *Tourism Management*, Vol.72, pp.417-426, June 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.01.002>
- [32] D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan, “Latent dirichlet allocation”, *Journal of Machine Learning Research*, Vol.3, pp.993-1022, Mar. 2003.
- [33] B. E. Bagozzi, D. Berliner, “The politics of scrutiny in human rights monitoring: evidence from structural topic models of US State Department human rights reports”, *Political Science Research and Methods*, Vol.6, No.4, pp.661-677, Oct. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1017/psrm.2016.44>
- [34] A. Shin, Y. L. Yu, and Y. K. Kim, “Keyword Network

Analysis on Free Semester Policy with Korean Newspaper Articles”, *The SNU Journal of Education Research*, Vol.26. pp.17-42, Dec. 2017.

- [35] Ministry of Future, Planning and Science, Selection of 9 national strategic projects to be responsible from the future of Korea. Press release, Sejong: Ministry of Future, Planning and Science, 2016.
- [36] Ministry of Future, Planning and Science (2016c), Solving difficult problems through mathematics presented as 'Industrial Mathematics Festival', Press release. Sejong: Ministry of Future, Planning and Science, 2016.
- [37] SIAM, SIAM report on mathematics in industry [Internet]. Available from: <https://archive.siam.org/reports/mii/2012/index.php> (accessed Mar. 20, 2022)
- [38] SIAM, Thinking of a careers in applied mathematics [Internet]. Available from: <https://www.siam.org/Portals/0/Student%20Programs/Thinking%20of%20a%20Career/brochure.pdf?ver=2018-03-13-125027-530> (accessed Mar. 20, 2022)
- [39] SIAM, www.siam.org [Internet]. Available from: <https://www.siam.org> (accessed Apr. 20, 2022)
- [40] KSIAM, www.ksiam.org [Internet]. Available from: <https://www.ksiam.org> (accessed Apr. 20, 2022)
- [41] NCS, www.ncs.go.kr [Internet]. Available from: <https://www.ncs.go.kr/th03/TH0302List.do?dirSeq=152> (accessed Apr. 20, 2022)
- [42] Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO and the organization of Islamic cooperation: serving our members together, FAO, pp.1-20, 2014.
- [43] S. H. Joo, Mathematics is a solution to public, scientific and industrial problems [Internet], News 1. [Cited 2020 Apr. 20], Available from: <https://www.news1.kr/articles/?2774950> (accessed Apr. 20, 2022).
- [44] S. G. Lee, Example of “Artificial Intelligence Mathematics” subject (matrix) [Internet], Linear Algebra Lab. [Cited 2020 Dec. 07], Available from: <http://matrix.skku.ac.kr/kofac/book/> (accessed Apr. 20, 2022).

김 성 연(Sung-Yeun Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 영남대학교 영남대학원 수학과 (이학석사)
- 2003년 8월 : 성균관대학교 성균관대학원 수학과 (통계학박사)
- 2011년 2월 : 연세대학교 연세대학원 교육학과 (교육학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 교육대학원 조교수

<관심분야>

교육측정 및 평가, 교원평가, 네트워크 분석, 수학영재교육