

저자 동시인용 분석을 이용한 북한 과학기술의 지적 구조 규명에 관한 연구*

Identification of Intellectual Structure of Science and Technology in North Korea using by Author Co-citation Analysis

노 경 란 (Kyungran Noh)**

최 현 규 (Hyunkyoo Choi)***

초 록

본 논문은 북한 과학자들이 발표한 학술 논문을 분석함으로써, 북한 과학기술의 주요 연구 영역을 밝혀내고, 과학기술 연구의 기반이 되는 지적 구조를 밝혀내는 데 목적이 있다. 정량 분석을 통해 주요 연구 주체가 누구인지, 어떤 분야를 주로 연구했는지, 비교적 장기간 지속되는 연구 영역과 중단된 연구 영역과 최근 새롭게 주목받고 있는 연구 영역에 대해 조사 분석하였다. 북한 과학기술의 주요 연구 영역, 지적 기반, 연구개발 주체 분석을 위해 Web of Science (SCIE)에 색인된 북한 과학자 논문을 수집하고, 과학계량분석 툴인 CiteSpace를 사용하였다. 저자 동시인용 분석 기법을 이용해 찾아낸 북한 과학기술의 주요 연구 영역은 material properties, vibration analysis, incline matrice, sodium cointercalation, external magnetic field 등으로 나타났다.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze academic papers published by North Korean scientists, to uncover major areas of research in North Korean science and technology, and to uncover the intellectual structures that underlie these science and technology. Through quantitative analysis, it is to find out who the main research actors are, what research areas are being dealt with, which research areas last a long time, which areas have been discontinued, and which research areas are receiving new attention. In order to detect major research areas and intellectual bases in North Korean science and technology, North Korean scientists' articles were collected from WoS (SCIE). CiteSpace, a scientific quantitative analysis tool, was used to identify major research areas based on author simultaneous citation analysis. The main research areas in North Korea are found to be material properties, vibration analysis, incline matrice, sodium cointercalation, and external magnetic field.

키워드: 저자 동시인용 분석, 북한 과학기술, 지식 구조, 연구 영역, 시각적 분석

Author Co-citation Analysis, North Korea, Intellectual Structure, Research Areas,
Visual Analysis

* 본 연구는 2020년도 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제(K-20-L04-C03-S08)의 지원을 받아 수행한 것임.

** 한국과학기술정보연구원 R&D 투자분석센터 책임연구원(infor@kisti.re.kr) (제1저자)

*** 한국과학기술정보연구원 학술정보공유센터 책임연구원(hkchoi@kisti.re.kr) (교신저자)

논문접수일자 : 2020년 11월 27일 논문심사일자 : 2020년 12월 13일 게재확정일자 : 2020년 12월 16일
한국비블리아학회지, 31(4): 169-190, 2020. <http://dx.doi.org/10.14699/kbiblia.2020.31.4.169>

1. 서론

북한은 해방 직후부터 과학기술을 강조해 왔고, 과학기술 발전을 위해 다양한 정책들을 펼쳐왔다. 1998년부터 지속적으로 “국가 과학기술 발전 5개년 계획”을 수립했으며, 2016년부터 경제와 과학기술의 일체화를 강조하면서 “국가 경제발전 5개년 전략(2016-2020)”으로 통합하였다(이춘근 2019). 북한은 2016년부터 2018년까지 국가 예산 중 과학기술 투자를 연평균 7.1%씩 증액시킨 것으로 알려졌다. 2018년 과학기술 투자 금액은 2015년 대비 22.8% 증가하였다. 이는 북한의 과학기술 중시 정책이 빈말 아니라 실제 국가전략으로 추진되고 있음을 보여준다(NK 경제 2019).

최근 통일을 대비한 남북교류 협력에 새로운 해법을 모색해야 한다는 목소리가 높아지고 있다. 북한의 과학기술 수준 및 관심 분야를 파악하는 것은 북한과의 교류/협력을 위한 기초가 된다(최현규 2009). ‘군사기술’로만 비춰 왔던 북한의 ‘과학기술’에 대해 정확한 진단이 필요하다. 북한 경제 낙후로 인해 북한의 과학기술도 전반적으로 낙후되었다고 인식할 수 있지만, 일부 핵심 분야에서 북한의 과학기술은 상당한 수준에 도달해 있다(나승혁 2016).

본 논문의 목적은 북한 과학자들이 국제 학술지에 발표한 학술 논문을 분석하여 북한 과학기술의 주요 연구 영역을 밝혀내고, 과학기술 연구의 기반이 되는 지적 구조를 밝혀내는 것이다. 정량적 분석을 통해 주요 연구 주체가 누구인지, 어떤 연구 영역을 다루는지, 비교적 장기간 지속되는 연구 영역과 중단된 연구 영역은 무엇인지, 최근 새롭게 주목받고 있는 연

구 영역은 무엇인지 찾아내는 것이다. 각 연구 영역의 지적 기반 및 리서치 프런트를 추적함으로써 북한의 과학기술 특징과 변화를 도출하고자 한다.

본 논문은 북한 과학기술의 주요 연구 영역 및 지적 기반을 탐지하고 연구개발 주체를 찾고자 정량적 분석을 시도하였다. Web of Science(SCIE, 이하 WoS)의 저자 주소 필드에 북한 주소가 한 개 이상 존재하는 논문을 북한 과학자에 의해 생산된 논문으로 정의했으며, 이들이 북한 과학기술 논문을 대표한다고 간주하였다. WoS의 주소 필드에서 북한의 지역명, 연구기관명, 북한에 대한 다양한 이형표기를 이용해 검색식을 작성한 후, 북한 과학자가 발표한 논문 데이터 셋을 구축하였다. Microsoft Excel 2016 프로그램을 사용해 기본 데이터 셋을 전처리하였다. 정량적 분석, 특히 저자 동시인용 분석을 위해 Drexel University의 Chaomei Chen이 개발한 분석툴 CiteSpace 5.6.R5를 사용하였다.

사이언스 매핑 툴인 CiteSpace에서 지원하는 저자 동시인용 분석 방법을 적용하여 2001년부터 2020년까지 국제 학술지에 나타난 북한 과학기술의 지적 구조 및 리서치 프런트를 분석하고, 북한 과학자의 논문에 나타난 주요 연구 영역을 시각적으로 탐색하였다.

본 연구에서 다루는 내용은 다음과 같다. 첫째, 저자 동시인용 분석을 이용해 북한 과학기술의 지식 구조를 형성하는 주요 연구 영역을 밝혀낸다. 타임라인 분석을 통해 비교적 장기간 지속되는 연구 영역과 현재 중단된 연구 영역을 찾아내고, 최근 새롭게 주목받는 연구 영역이 무엇인지 찾아낸다. 둘째, 각 주요 연구 영

역별 핵심 개념을 찾고, 핵심 용어의 계층구조를 파악한다. 셋째, 주요 연구 영역을 이루는 지적 기반과 리서치 프런티로부터 핵심 연구자들과 이들의 주요 테마를 찾는다.

2. 선행연구

북한의 과학기술 수준 및 현황에 관한 선행 연구는 2001년 이후 전문가에 의한 정성적 방식과, 북한에서 발표된 학술지에 의한 정량적 방식으로 이루어지고 있다. 북한의 과학기술 현황 및 수준 분석은 크게 세 가지 방식으로 구분할 수 있다. 첫째, 비공개 입수 자료 및 표류 정보, 전문가를 활용한 연구, 둘째, 북한 학술지를 이용한 연구, 셋째, WoS나 SCOPUS와 같은 학술데이터베이스를 이용한 연구이다.

먼저, 홍성범 등(2001)과 최현규(2009)는 비공개 입수 자료 또는 표류 정보(float information)를 이용하고, 각 분야별 국내의 전문가 네트워크를 활용하여 북한의 주요 분야별 기술 현황을 조사 분석하였다. 홍성범 등(2001)은 IT중심의 첨단 기술 분야, 북한이 현실적으로 가장 필요로 하는 식량, 에너지 관련 분야, 그리고 전통적인 산업기반 분야를 선정하고, 소프트웨어, 전자공학, 통신, 농업, 에너지, 기계, 원자력 분야 등에 대한 기술 현황을 조사하였다. 또한 최현규(2009)는 비공개 입수 자료를 바탕으로 북한의 기초과학 수준 및 관심 분야, 응용과학 수준 및 관심 분야를 북한 과학원의 활동 등을 중심으로 분석했으며, 나노, 기계 산업 등을 분석하였다. 분석 결과, 북한의 전문 분야별 인적 역량 파악의 중요성을 언급했으며, 남한

과의 차이가 비교적 적은 분야로 나노과학, 생물학의 동물 클론 분야, 북한의 전통적 강점 분야인 고분자화학, 탄소하나(C1)화학 등을 제시하였다.

둘째, 북한의 학술지를 이용한 연구는 이춘근과 김종선(2009), 최창용과 강영실(2015), 나승혁(2016)의 연구가 있다. 이춘근과 김종선(2009)은 북한의 분야별 주요 학술지와 '기술혁신'에 투고된 논문을 이용해 북한의 과학기술분야 주력 연구과제와 수준을 기초과학과 응용과학으로 나누어 분석하였다. 최창용과 강영실(2015)은 북한의 '정보과학', '전자공학', '기술혁신' 3개 학술지를 활용하여 북한의 지속가능한 연구과제와 중단된 대상, 새로 개발할 연구대상을 분석하였다. 또한 지속적으로 추진하고 있는 연구 대상과 연구 인력의 규모를 파악하였다. 나승혁(2016)은 북한에서 발간되는 과학기술계 학술지를 조사하여 과학기술자, 과학기술 연구기관, 연구 내용 등을 시기별로 조사하였다. 전문가 자문을 통해 북한 과학기술 수준을 분석하고, 남북통일을 대비한 북한 과학기술의 전략적 활용 방안을 도출하였다.

셋째, 노경란 등(2016), 최현규와 노경란(2016, 2017)은 WoS(SCIE)와 SCOPUS 인용색인 데이터베이스를 이용해 북한 과학자의 국제 학술 논문을 분석하였다. 분석 결과, 국제 학술 논문을 발표하는 북한 과학자는 주로 해외 연구기관이나 대학 등과 공동연구를 수행하며, 북한 단독으로 발표한 논문은 소수에 불과하였다. 이 연구는 북한 우수 과학자의 정황을 파악하고, 과학기술 부문에서 북한의 해외 연구 네트워크를 파악하였다.

3. 연구 방법

3.1 데이터 입수 및 전처리

북한 과학기술의 지적 구조를 파악하기 위해, 2001년부터 2020년까지 WoS에 색인된 북한 과학자 논문을 수집하였다. WoS의 주소 필드에서 국가명이 North Korea, DPR Korea, 또는 DPRK 이거나, 지역명에 평양, 사리원, 원산, 함흥이 포함된 논문을 검색하였다. 평양, 김일성종합대학, 김책종합공업대학은 다양한 이형 표기가 존재하며, 이들을 검색식에 사용하였다. 이와 같은 조건으로 2020년 4월 28일 WoS에서 북한 과학자의 논문 982건을 수집하였다. 데이터의 국가명, 기관명, 저자명 데이터를 정제하고, 논문 유형을 Article, Review로 제한하여 분석 대상 논문을 847건으로 확정하였다.

WoS 검색결과, 확보한 982건의 레코드에는 North Korea, South Korea가 잘못 입력되어 있는 경우가 다수 발견되었다. 논문 수가 많지 않은 북한의 경우, 분석 데이터 셋 구축시 데이터 오류는 분석 결과에 큰 영향을 미친다. 인용색인 데이터베이스의 주소 필드에는 North Korea 대신에 South Korea로, South Korea 대신에 North Korea로 오기입되는 사례가 다수 발생하고 있다. 국가명은 South Korea이지만, 북한의 지역명, 기관명을 갖고 있는 레코드의 경우 국가명 오류를 정정하였다. 또한 국가명은 North Korea로 기재되었지만, 한국의 지역명, 기관명을 갖고 있는 레코드는 분석대상에서 제거하였다.

WoS 데이터베이스에는 저자를 식별할 수 있는 네 개의 필드가 존재한다. 저자 약기명(AU), 저자 풀네임(AF), 교신저자 주소(RP), 저자 주

소(C1)이다. 본 논문에서는 분석을 위해 WoS 주소 필드(C1)에 표기된 기관명과 소속 학과, 지역명, 우편번호 등을 참조하여 동일 저자여부를 식별하여 저자명을 표준화하였다. 동일 저자를 식별하고 저자명을 표준화하기 위해 저자필드(AU, AF), 주소필드(C1)에 기재된 저자명, 교신저자명(RP)을 대조하였다. 그럼에도 불구하고, 북한과 중국 저자의 경우 동명이인을 구분하는데 한계가 있었다.

전통적으로 저자 동시인용 분석은 참고문헌의 제 1저자를 이용한다. 이는 모든 저자를 분석하는 데 필요한 데이터가 부족하기 때문이다. 본 논문에서도 WoS에 색인된 참고문헌에서 데이터를 추출하였으며, 저자 동시인용 분석 대상을 제 1저자로 제한하였다. 저자 동시인용 분석을 위해 WoS에서 입수한 북한 과학자 논문 데이터 셋에서 참고문헌 필드(CR)를 추출해 정제하였다. 북한 과학자 논문 한 편에 인용된 참고문헌의 수는 최소 1편에서 최대 223편에 이른다. WoS의 참고문헌 필드는 제 1저자명, 발행년도, 학술지명, 권, 호, DOI 형태를 갖추고 있다. 참고문헌 필드에서 제 1저자명은 성과 이니셜로 구성되는데, 이니셜 다음에 구두점이 있거나, 구두점 사이에 빈칸이 있어서 저자명 형태를 표준화하였다.

3.2 저자 동시인용 분석

저자 동시인용 분석은 문헌에 함께 인용된 저자 그룹측면에서 육안으로 쉽게 보이지 않는 여러 주요 영역들을 찾아내는 것을 목적으로 하며, 동시 인용 링크로 서로 연결된 피인용 저자간 네트워크에 초점을 둔다. 저자 동시인용

분석은 학문의 지적 구조를 분석하는 대표적인 분석 방법으로 White and Griffith(1981)의 연구에서 처음 소개되었다. 이 기법은 제 3의 저자에 의해 두 명의 저자가 동시에 인용되었다는 사실만으로 동시인용이 발생된다는 것이며(김희전, 조현양 2010), 두 명의 저자가 특정한 논문에 빈번하게 함께 인용될수록 두 저자의 주제 분야는 더욱 밀접한 관계가 있다는 것을 전제로 한다. 즉, 동시에 인용된 횟수를 이용하여 저자들 간 주제적인 관계를 나타냄으로써 특정 학문분야의 지적 구조를 나타내는 기법이다(허고은, 송민 2013). 저자 동시인용 분석은 학문의 세부 주제 분야에 대한 지적 구조를 이해하기에 매우 유용하다. 문헌이 아닌 저자명을 분석 대상으로 하고, 저자가 특정 주제를 포괄적으로 나타낸다는 특성을 이용하기 때문에 연구자가 그 분야의 상세한 서지정보와 뚜렷한 전문 지식을 갖고 있지 않아도 분석이 가능하다는 장점이 있다(김희전, 조현양 2010).

북한 과학자의 논문은 문헌 동시인용, 서지 결합 기법을 이용해 분석하기에는 데이터의 한계를 가지고 있다. 북한 과학기술 논문에 출현한 전체 참고 문헌 22,786건 중에서 단 1-2회만 인용된 문헌이 94% 이상이고 3회 이상 인용된 문헌은 5.8%이다. 동시 인용되는 문헌의 수가 절대적으로 작기 때문에 문헌 동시인용 분석을 수행하기에는 어려움이 존재한다. 이는 북한 과학자들은 동일 연구 주제에 대한 기관내 또는 기관간 공동연구가 많지 않으며, 해외 과학기술 문헌에 대한 접근이 제한되어 있기 때문으로 여겨진다. 또한, 참고문헌 서지 데이터의 부정확성과 참고문헌 이형 표기의 표준화 결여로 인해 정확한 결과를 얻기 어렵다. 따

라서, 본 논문에서는 저자 동시인용 분석 기법을 적용하여 주요 연구 영역을 파악하고자 하였다.

3.3 주요 연구 영역의 식별 및 특성 파악

본 연구에서는 CiteSpace를 활용하여 2001년부터 2020년까지 데이터를 발행년 기준으로 매년 상위 100여명의 고피인용 저자를 추출하여 20개의 동시인용 네트워크를 생성하였다. CiteSpace는 이들 동시인용 네트워크를 하나의 거대한 네트워크로 합쳐서 클러스터링한 후, 영향력이 큰 참고문헌, 그리고 리서치 프런트를 나타내는 인용논문을 이용해 주요 클러스터를 찾아낸다. 이 클러스터는 연구 영역을 가시적으로 형상화한 것이다(Chen 2017).

클러스터로 표현되는 각 연구 영역은 두 개의 상호 연결된 컴포넌트를 갖는다. 하나는 해당 연구 영역이 영감을 받은 지적 기반(intellectual base)이고, 다른 하나는 해당 연구 영역이 새로운 논문을 발표하는 리서치 프런트(research fronts)이다(Chen and Song 2017). <그림 1>의 클러스터 뷰에서 보듯이, 지적 기반은 클러스터를 구성하는 노드로 이루어지며, 빈번하게 동시에 인용되는 저자들이다. 리서치 프런트는 1965년 프라이스에 의해 처음 소개되었으며, 해당 연구 분야의 과학자들이 가장 활발하게 인용하는 논문들을 가리킨다. Chen은 리서치 프런트를 ‘어떤 연구 영역의 현재 상태’, ‘연구 영역의 가장 최근 아이디어’로 정의하며, CiteSpace에서는 지적 기반에 해당하는 논문들을 활발하게 인용하는 논문들을 가리킨다(Chen 2006).

연구 영역의 특성을 파악하는 가장 좋은 방

법은 이 연구 영역이 어떤 토픽에 중점을 두는지 살펴보는 것이다. 연구 영역, 즉 클러스터를 구성하는 지적 기반과 리서치 프런트를 이용해 연구 영역의 특성을 파악할 수 있다. CiteSpace의 리서치 프런트는 연구 영역의 시간의 흐름에 따라 출현하는 이머징 트렌드(emerging trends)를 나타낸다(Chen 2006). CiteSpace는 클러스터를 구성하는 논문의 제목에서 빈번히 출현하는 단어를 이용해 이들 이머징 트렌드를 탐지한다.

본 논문에서 북한 과학기술의 지적 기반은 동시 인용된 저자들, 그리고 이 저자들이 발표한 논문들이며, 북한 과학기술의 리서치 프런트는 지적 기반을 이루는 저자들로부터 영향을 받아 북한 과학자들이 발표한 논문으로, 지적 기반에 속한 논문을 다수 인용한 논문으로 이루어진다.

본 논문은 북한 과학기술의 이머징 트렌드를 탐지하고, 토픽을 추적하는데 관심이 있다. 주요 연구 영역별 키워드 트리, 지적 기반과 리서치 프런트를 살펴봄으로써 북한의 주요 연구 영역의 특성을 파악할 수 있다. 또한 북한의 지적 구조에 영향을 끼친 핵심 연구자뿐만 아니라, 현재 북한의 과학기술을 이끄는 선도 연구자들을 찾아낼 수 있다.

4. 북한의 주요 연구 영역

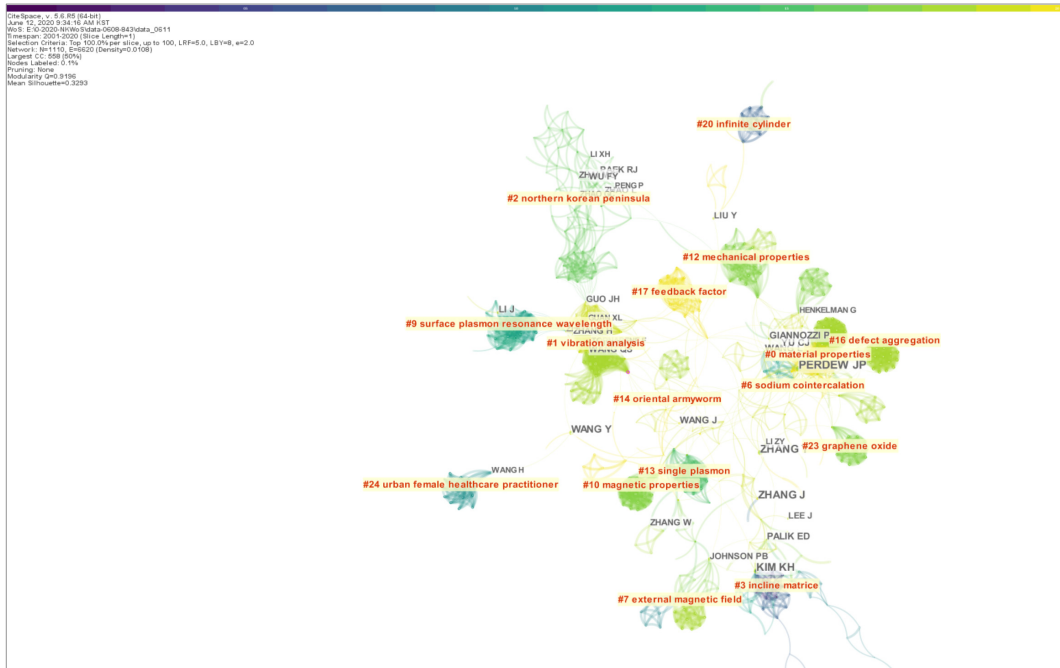
4.1 주요 연구 영역의 클러스터 뷰

CiteSpace는 연구 영역을 클러스터 뷰, 타임 라인 뷰를 포함해 몇 가지 유형의 시각화 뷰를

지원한다. CiteSpace 클러스터 뷰는 전체 네트워크에서 각 클러스터의 위치와 규모, 다른 클러스터와의 관계를 보여준다. 각 클러스터는 연구 영역을 나타내며, 클러스터를 구성하는 동시인용 저자는 이 연구 영역의 지적 기반을 나타낸다.

네트워크에서 노드로 표현되는 클러스터의 멤버는 빈번하게 동시 인용되는 저자들이고, 네트워크에서 링크의 색상은 노드간 동시인용 링크가 처음 생성된 연도이다. 클러스터의 색상을 보고 클러스터, 즉 연구 영역의 생성 시기를 추정할 수 있다. <그림 1>은 2001년부터 2020년까지 북한 과학기술 논문에 수록된 참고문헌의 저자 데이터를 이용한 저자 동시인용 클러스터 뷰이다. <그림 1>은 최소 2회 이상 출현한 피인용 저자 1,110명, 동시인용 링크 6,620건으로 이루어진 저자 동시인용 네트워크이다. 북한 과학기술 논문을 181개의 클러스터로 나누고, 단일 거대 컴포넌트(Largest Connect Component, LCC)로 연결된 16개의 주요 클러스터를 시각화하였다. 네트워크에서 가장 큰 컴포넌트(LCC)는 558개의 노드를 가지며, 전체 네트워크의 50%를 차지한다. 이는 북한의 과학기술이 서로 연결되지 않는 작은 클러스터들로 존재한다는 것을 알려준다. CiteSpace는 규모가 가장 큰 클러스터에 클러스터 번호 #0이 부여하며, 그 다음 #0보다 작은 클러스터에 #1을 부여한다. 클러스터의 번호가 클수록 클러스터의 규모는 작아진다.

CiteSpace는 클러스터에 속한 저자를 동시 인용한 북한 과학자의 논문 제목에서 클러스터 레이블을 추출하여 클러스터의 레이블을 자동으로 부여한다. 저자 동시인용 분석으로 파악한



〈그림 1〉 북한 과학기술의 주요 연구 영역에 대한 클러스터 시각화(2001-2020)

북한의 주요 연구 영역은 클러스터 #0 material properties, #1 vibration analysis, #2 northern korean peninsula, #3 incline matrice, #6 sodium cointercalation, #7 external magnetic field 등이다.

〈표 1〉은 북한 과학자 논문에 대한 저자 동시인용 분석으로 파악된 북한의 주요 연구 영역에 대해 요약한 것이다. 각 클러스터를 구성하는 동시인용 저자들의 평균 출현 연도는 이들 연구 영역이 생성된 시기를 추정할 수 있다. 북한의 주요 연구 영역을 나타내는 클러스터들의 평균 연도는 2017년, 2018년이 많았다.

가장 규모가 큰 클러스터 #0 material properties는 75명의 동시인용 저자로 이루어지며, 클러스터 평균 연도는 2017년이다. 그 다음으로 큰 클러스터는 #1 vibration analysis

이며 69명의 동시인용 저자로 이루어지고, 클러스터 평균 연도는 2018년이다. 클러스터 #0 material properties와 #1 vibration analysis는 2012년 출현한 이후 현재까지 활발하게 연구되는 클러스터이다. 반면 클러스터 #2 northern korean peninsula는 2016년 한 해만 활발했던 클러스터이다. 클러스터 #12 mechanical properties와 클러스터 #13 single plasmon은 각기 2015년, 2016년에 출현해서 2018년에 마지막으로 논문이 출현했다.

4.2 주요 연구 영역의 타임라인 시각화

주요 연구 영역의 타임라인 뷰는 왼쪽에서 오른쪽으로 수평 타임라인을 따라 동시인용 저자로 이루어진 클러스터를 시계열로 보여주며,

〈표 1〉 북한 과학기술의 주요 연구 영역에 대한 클러스터 요약

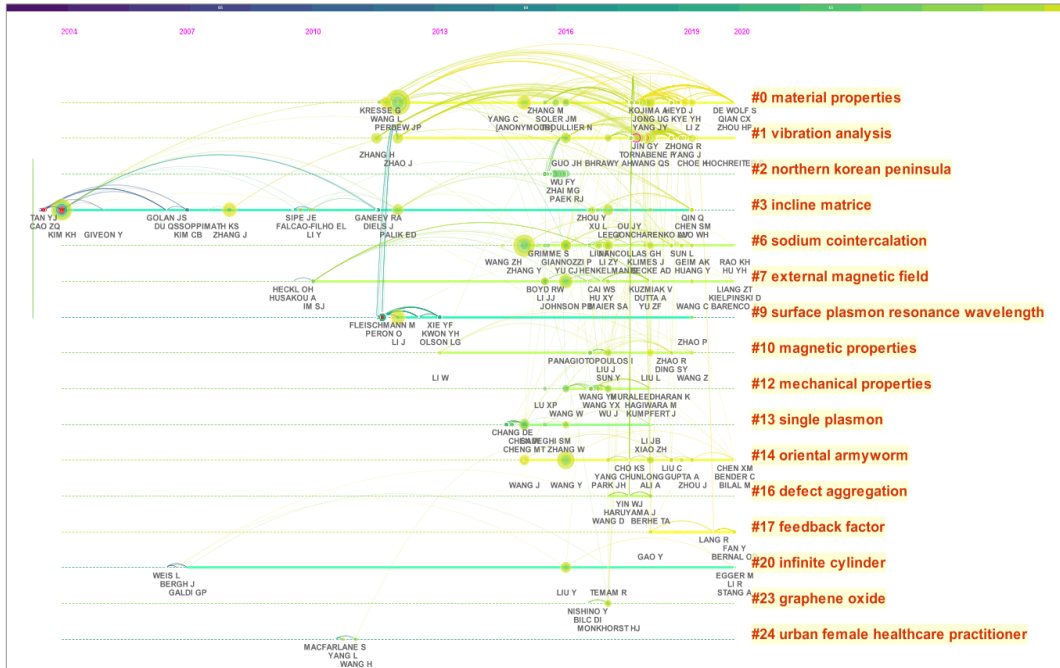
ClusterID	Cluster Label	Size	Silhouette	mean(Year)	From	To
0	material properties	75	0.92	2017	2012	2020
1	vibration analysis	69	0.927	2018	2012	2020
2	northern korean peninsula	58	0.997	2016	2016	2016
3	incline matrice	57	0.992	2010	2004	2019
6	sodium cointercalation	39	0.926	2017	2015	2020
7	external magnetic field	35	0.952	2016	2010	2020
9	surface plasmon resonance wavelength	32	1	2012	2012	2019
10	magnetic properties	27	0.969	2017	2013	2019
12	mechanical properties	27	0.976	2017	2016	2018
13	single plasmon	26	0.997	2015	2015	2018
14	oriental armyworm	24	0.967	2018	2015	2020
16	defect aggregation	21	0.987	2017	2017	2018
17	feedback factor	21	1	2019	2018	2020
20	infinite cylinder	17	1	2011	2007	2020
23	graphene oxide	15	0.997	2017	2017	2017
24	urban female healthcare practitioner	15	0.998	2011	2011	2011

오른쪽에는 각 연구 영역의 레이블을 볼 수 있다. 클러스터들은 클러스터 크기에 따라 내림차순으로 세로로 배열된다. 가장 큰 클러스터가 타임라인 뷰의 상단에 위치한다. 타임라인 뷰에서 원은 동시인용 저자를 나타내며, 라인은 동시인용 링크이다. 원의 크기가 클수록 인용횟수가 많음을 나타낸다. 각 연도마다 클러스터를 가장 잘 대표하는 노드가 레이블과 함께 표시된다.

〈그림 2〉는 동시인용 저자에 의해 형성된 주요 클러스터들의 시간적 패턴을 보여준다. 타임라인 시각화는 연구 영역의 라이프 사이클을 가시적으로 보여준다. 또한 새롭게 출현한 연구 영역을 쉽게 식별할 수 있다. 〈그림 2〉에서 가장 빠른 라이프 사이클을 갖는 연구 영역은 클러스터 #3 incline matrice이며, 그 다음은

클러스터 #20 infinite cylinder, 클러스터 #7 external magnetic field 순이다. 클러스터 #3 incline matrice는 2004년부터 현재까지 가장 긴 라이프사이클을 갖고 있다. 이와는 대조적으로 클러스터 #2 northern korean peninsula는 2016년, #23 graphen oxide는 2017년, #24 Turban female healthcare practitioner는 2011년이라는 단일 연도에만 출현해 가장 짧은 라이프사이클을 갖는 것으로 나타났다.

최근 북한 과학자들이 주목하는 연구 영역은 클러스터 #17 feedback factor, #14 oriental armyworm, #1 vibration analysis로 나타난다. 현재 가장 활발하게 움직이고 있는 4개 연구 영역은 클러스터 #0 material properties, #1 vibration analysis, #6 sodium cointercalation, #7 external magnetic field로 나타난다.



〈그림 2〉 북한 과학기술의 주요 연구 영역에 대한 타임라인 시각화

4.3 주요 연구 영역의 특성

4.3.1 클러스터 #0 material properties

북한의 주요 연구 영역중 규모가 가장 큰 클러스터 #0은 material properties에 관한 연구 영역이다. 태양전지 개발을 위한 페로브스카이트 재료 특성에 대한 제 1원칙 가상결정 근사 접근법을 다루고 있다. 클러스터 #0은 2012년부터 관심을 갖기 시작해서 2020년 현재까지 북한 과학자들의 연구가 활발히 이루어지고 있는 영역으로, 이 연구 영역의 지적 기반을 형성한 주요 연구자는 75명이다. 이 클러스터에 포함된 동시인용 저자의 평균 출현년도는 2017년으로 북한에서는 비교적 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다.

CiteSpace의 저자 동시인용 분석을 이용해

〈표 2〉와 〈표 3〉에서 처럼 특정 연구 영역의 지적 기반을 형성하는데 영향력을 끼친 동시인용 저자들 중에서, 이 연구 영역의 발전 과정에서 중요한 역할을 한 저자를 찾아낼 수 있다. 〈표 2〉는 클러스터 #0을 형성하는데 지적 기반이 된 상위 피인용 논문이다. 〈표 2〉의 LCS (Local Citation Score)는 분석 데이터 셋내에서 인용 횟수를 나타낸다. 클러스터#0에서 가장 많이 인용된 논문은 Kojima A의 페로브스카이트에 관한 논문과 Perdew JP의 일반 기울기 근사 (generalized gradient approximation, GGA)에 관한 논문이다.

클러스터 #0 material properties의 형성에 중요한 역할을 한, 영향력이 큰 저자는 정은기 (Jong Un-Gi), Perdew JP, 김광현(Kim Kwang-Hyon), 유철준(Yu Chol-Jun), Yang Jia-Yue

〈표 2〉 클러스터 #0 material properties에서 지적 기반이 되는 최다 피인용 논문

LCS	Bibliography
9	Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., & Miyasaka, T. (2009). Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. <i>Journal of the American Chemical Society</i> , 131(17), 6050-6051. DOI 10.1021/ja809598r
9	Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. <i>Physical review letters</i> , 77(18), 3865. DOI 10.1103/PhysRevLett.77.3865
7	Jong, U. G., Yu, C. J., Ri, J. S., Kim, N. H., & Ri, G. C. (2016). Influence of halide composition on the structural, electronic, and optical properties of mixed CH ₃ NH ₃ Pb(I _{1-x} Br _x) ₃ perovskites calculated using the virtual crystal approximation method. <i>Physical Review B</i> , 94(12), 125139. DOI 10.1103/PhysRevB.94.125139
7	Jong, U. G., Yu, C. J., Jang, Y. M., Ri, G. C., Hong, S. N., & Pae, Y. H. (2017). Revealing the stability and efficiency enhancement in mixed halide perovskites MAPb(I _{1-x} Cl _x) ₃ with ab initio calculations. <i>Journal of Power Sources</i> , 350, 65-72. DOI 10.1016/j.jpowsour.2017.03.038
7	Perdew, J. P., Ruzsinszky, A., Csonka, G. I., Vydrov, O. A., Scuseria, G. E., Constantin, L. A., ... & Burke, K. (2008). Restoring the density-gradient expansion for exchange in solids and surfaces. <i>Physical review letters</i> , 100(13), 136406. DOI 10.1103/PhysRevLett.100.136406

〈표 3〉 클러스터 #0 material properties의 리서치 프린트

Coverage	Bibliography
23	Jong, Un-Gi, Chol-Jun Yu, and Yun-Hyok Kye. "Computational prediction of structural, electronic, and optical properties and phase stability of double perovskites K ₂ SnX ₆ (X = I, Br, Cl)." <i>RSC Advances</i> 10.1 (2020): 201-209.
20	Yu, Chol-Jun, et al. "First-principles study on material properties and stability of inorganic halide perovskite solid solutions CsPb(I _{1-x} Br _x) ₃ ." <i>Physical Review Materials</i> 4.4 (2020): 045402.
20	Jong, Un-Gi, et al. "A first-principles study on the chemical stability of inorganic perovskite solid solutions Cs _{1-x} Rb _x PbI ₃ at finite temperature and pressure." <i>Journal of Materials Chemistry A</i> 6.37 (2018): 17994-18002.
20	Jong, Un-Gi, et al. "First-principles study on the material properties of the inorganic perovskite Rb _{1-x} Cs _x PbI ₃ for solar cell applications." <i>Physical Review B</i> 98.12 (2018): 125116.
10	Jon, Sangmo, et al. "Flexible perovskite solar cells based on AgNW/ATO composite transparent electrodes." <i>Synthetic Metals</i> 262 (2020): 116286.
8	Yu, Chol-Jun, et al. "Interface Engineering in Hybrid Iodide CH ₃ NH ₃ PbI ₃ Perovskites Using Lewis Base and Graphene toward High-Performance Solar Cells." <i>ACS Applied Materials & Interfaces</i> 12.1 (2019): 1858-1866.

이다. 김일성종합대학 재료과학부의 정은기는 클러스터 #0에서 6편의 논문이 총 25회 인용되어 가장 큰 영향력을 가진다. 그 다음으로 이 클러스터에서 자주 인용된 저자는 미국 Tulane 대학(Tulane University) 물리학 및 양자이론 그룹의 Perdew JP이며 논문 3편이 20회 인용되었다. Perdew JP가 1996년 발표한

논문 'Generalized Gradient Approximation Made Simple(Phys. Rev. Lett. 1996.)'을 클러스터 #0에 속한 북한 과학자들은 2009년부터 9회 인용하였다. 클러스터 #0에서 국가과학원 레이저연구소 김광현의 논문 10편이 17회, 김일성종합대학 재료과학부 유철준의 논문 6편이 15회 인용되었다. Yang Jia-Yue가 Journal

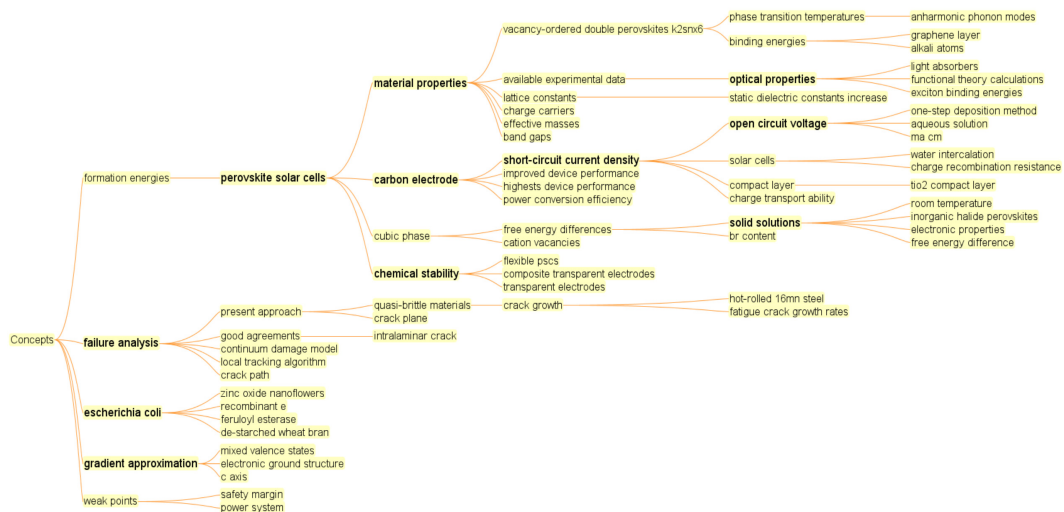
of Physical Chemistry Letters에 발표한 페로브스카이트(Perovskite)에 관한 논문 1편은 2018년부터 6회 인용되었다.

〈표 3〉은 클러스터 #0에 속한 동시인용 저자의 논문을 가장 많이 인용한 6편의 논문이며, 이 연구 영역의 역동성을 파악할 수 있는 정보를 제공한다. 이 클러스터를 인용하는 북한 과학자 논문에서 추출한 용어들로부터 이머징 트렌드를 찾을 수 있다. 이 클러스터를 인용하는 리서치 프런트 논문의 제목을 살펴보면 주요 테마는 material properties, computational prediction, first principles, perovskite, solar cells 이다. 타임라인 시각화에서 볼 수 있듯이 이 클러스터는 2012년 이후 9년간 지속되었다. 〈표 3〉의 coverage는 인용 논문이 이 클러스터의 지적 기반이 되는 레퍼런스를 몇 건 인용하고 있는지 서지적 중복도를 나타낸다(Chen 2019).

북한에서 연구 영역 material properties를 이

끄는 선도 과학자는 정은기(Jong Ungi), 황석경(Hwang Suk-gyong), 전상모(Jon Sangmo), 최성혁(Choe Songhyok)으로 나타나며, 이들이 발표한 논문의 공통 키워드는 페로브스카이트(Perovskite)인 것으로 나타났다. 정은기는 리서치 프런트와 지적 기반에서 모두 출현하고 있어서, 이 연구 영역을 형성했을 뿐만 아니라, 연구 영역의 발전을 주도하는 과학자로 여겨진다.

클러스터 #0을 구성하는 피인용 저자를 동시 인용한 북한 논문의 제목과 초록에서 출현한 용어들을 이용해, 클러스터 #0의 주요 개념들을 트리 구조로 구성할 수 있다. 〈그림 3〉에서 현재 활발하게 연구 중이며, 규모면에서 가장 큰 연구 영역인 클러스터 #0의 주요 관심사는 perovskite solar cells, failure analysis, escherichla coll, gradient approximation, material properties, carbon electrode, optical properties 입을 알 수 있다.



〈그림 3〉 클러스터 #0 material properties 핵심 개념의 계층구조

4.3.2 클러스터 #1: Vibration Analysis

클러스터 #1은 vibration analysis에 관한 연구 영역으로 자유 진동 해석을 다루고 있다. 이 영역에서 북한 과학자들의 연구는 2012년부터 시작해 2020년 현재까지 활발히 이루어지고 있다. 두 번째로 큰 이 클러스터는 북한의 Vibration Analysis 연구에 영향을 끼친 동시인용 저자 69명으로 이루어져 있다. 이들 동시인용 저자가 북한 논문에 나타난 평균 출현 연도는 2018년으로 최근의 연구 트렌드를 보여준다.

〈표 4〉에서 보듯이, 클러스터 #1에서 가장 영향력이 큰 저자는 중국 중남대학(Central South University)의 Wang Qing-Shan으로, 클러스터 #1에서 14편의 논문이 90회 인용되었다. 지면 관계상 〈표 4〉의 최다 피인용 논문에는 없

지만, University of Macau의 Zhao Jing이 발표한 7편의 논문은 68회 인용되었고, Harbin Engineering University의 Zhang Hong의 논문 8편이 45회 인용되었다. Qang Quing-Shan, Zhao Jing, Zhang Hong은 북한 논문에 다수 이용된 참고문헌에서 공저 관계로 빈번히 출현한다. Wang Qing-Shan과 Zhao Jing은 북한에서 이 연구 영역이 처음 생성되던 2012년에 동시인용 저자로 처음 출현해 북한의 vibration analysis 연구에 큰 영향을 주었다. 이 연구 영역에서 평양기계종합대학의 최광남(Choe Kwangnam)이 2018년 발표한 논문 2편이 이 연구 영역 안에서 각각 11회씩 인용되었다. 최광남은 이 연구 영역에서 주요한 영향력을 행사하는 Wang Quing-Shan, Zhao Jing과 공저 관계를 형성하고 있다.

〈표 4〉 클러스터 #1 Vibration Analysis에서 최다 피인용 논문

LCS	Bibliography
11	Choe, K., Wang, Q., & Tang, J. (2018). <u>Vibration analysis</u> for coupled composite laminated axis-symmetric doubly-curved revolution shell structures by unified Jacobi-Ritz method. <i>Composite Structures</i> , 194, 136-157. DOI 10.1016/j.compstruct.2018.03.095
11	Choe, K., Tang, J., Shui, C., Wang, A., & Wang, Q. (2018). Free <u>vibration analysis</u> of coupled functionally graded (FG) doubly-curved revolution shell structures with general boundary conditions. <i>Composite Structures</i> , 194, 413-432. DOI 10.1016/j.compstruct.2018.04.035
10	Wang, Q., Cui, X., Qin, B., Liang, Q., & Tang, J. (2017). A semi-analytical method for <u>vibration analysis</u> of functionally graded (FG) sandwich doubly-curved panels and shells of revolution. <i>International Journal of Mechanical Sciences</i> , 134, 479-499. DOI 10.1016/j.ijmecsci.2017.10.036
9	Guan, X., Tang, J., & Wang, Q. (2018). Application of the differential quadrature finite element method to free vibration of elastically restrained plate with irregular geometries. <i>Engineering Analysis with Boundary Elements</i> , 90, 1-16. DOI 10.1016/jenganabound.2018.02.005
9	Guo, J., Shi, D., Wang, Q., Tang, J., & Shuai, C. (2018). Dynamic analysis of laminated doubly-curved shells with general boundary conditions by means of a domain decomposition method. <i>International Journal of Mechanical Sciences</i> , 138, 159-186. DOI 10.1016/j.ijmecsci.2018.02.004
9	Jin, G., Ye, T., Wang, X., & Miao, X. (2016). A unified solution for the <u>vibration analysis</u> of FGM doubly-curved shells of revolution with arbitrary boundary conditions. <i>Composites Part B: Engineering</i> , 89, 230-252. DOI 10.1016/j.compositesb.2015.11.015
9	Wang, Q., Qin, B., Shi, D., & Liang, Q. (2017). A semi-analytical method for <u>vibration analysis</u> of functionally graded carbon nanotube reinforced composite doubly-curved panels and shells of revolution. <i>Composite Structures</i> , 174, 87-109. DOI 10.1016/j.compstruct.2017.04.038

〈표 5〉는 클러스터 #1 Vibration Analysis의 리서치 프런트를 클러스터 #1의 지적 기반에 속한 참고문헌과의 서지적 중복도 순으로 순위를 매긴 북한 논문이다. 이들 북한 논문의 최근 주요 테마는 vibration analysis, doubly-curved revolution shell, boundary conditions 등이다. 클러스터 #1 Vibration Analysis의 리서치 프런트를 대표하고, 이 연구 영역을 주도하는 북한의 핵심 과학자는 최광남이다. 최광남은 클러스터 #1을 구성하는 피인용 저자들의 논문을 활발하게 인용하고 있으며, 2018년과 2019년 Composite Structures 저널에 다수의 논문을 발표하였다. 최광남의 주요 공동연

구자는 중국의 중남대학의 Wang Qingshan와 Wang Ailun, 동북대학의 Zhao Jing과 Shuai Cijun이다. 최광남의 북한내 공동연구자는 평양기계종합대학의 리광철(Ri Kwangchol), 김일성종합대학의 신기남(Sin Kinam)이다.

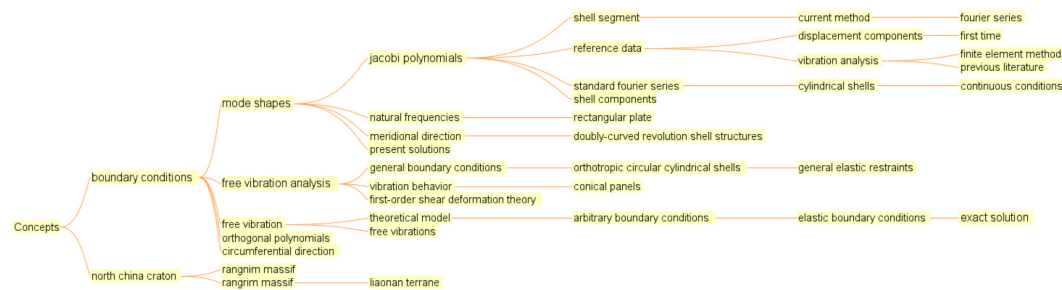
〈그림 4〉의 클러스터 #1 Vibration analysis의 핵심 개념의 계층 구조를 살펴보면, 클러스터 #1의 주요 테마는 boundary condition, mode shapes, doubly-curved revolution shell structures 등이다.

4.3.3 클러스터 #3: Incline matrice

클러스터 #3은 incline matrice에 관한 연구

〈표 5〉 클러스터 #1 Vibration Analysis의 리서치 프런트

Coverage	Bibliography
35	Choe, Kwangnam, Qingshan Wang, and Jinyuan Tang. "Vibration analysis for coupled composite laminated axis-symmetric doubly-curved revolution shell structures by unified Jacobi-Ritz method." Composite Structures 194 (2018): 136-157.
34	Wang, Qingshan, et al. "Vibration analysis of the coupled doubly-curved revolution shell structures by using Jacobi-Ritz method." International Journal of Mechanical Sciences 135 (2018): 517-531.
29	Choe, Kwangnam, et al. "Free vibration analysis of coupled functionally graded (FG) doubly-curved revolution shell structures with general boundary conditions." Composite Structures 194 (2018): 413-432.
17	Zhao, Jing, et al. "A modified series solution for free vibration analyses of moderately thick functionally graded porous (FGP) deep curved and straight beams." Composites Part B: Engineering 165 (2019): 155-166.
16	Guan, Xianlei, et al. "A general vibration analysis of functionally graded porous structure elements of revolution with general elastic restraints." Composite Structures 209 (2019): 277-299.



〈그림 4〉 클러스터 #1 Vibration Analysis 핵심 개념의 계층구조

영역으로 인클라인 매트릭스를 주로 다루며, 금속나노 복합체를 사용한 고체 레이저를 다룬다. 클러스터 #3에는 57명의 동시인용 저자가 포함되며, <표 1>에서 보듯이, 2004년부터 2019년까지 16년 동안 북한 과학기술의 주요 연구 영역이었다. 이 클러스터에 포함된 동시인용 저자의 평균 출현 연도는 2010년이며, 이는 과거에 비해 최근 연구 논문의 수가 적음을 나타낸다.

북한의 incline matrice 연구에 가장 큰 영향력을 끼친 저자는 2010년 출현한 이후부터 21편의 논문이 총 61회 인용된 국가과학원 레이저연구소의 김광현이며, 그 다음은 한성철(Han Song-Chol)이다. Palik ED도 2010년 이후부터 북한의 incline matrice 연구에 큰 영향을 끼치고 있다.

클러스터 #3에서 가장 많이 인용된 김광현 논문중 7편은 논문이 독일 막스보른 비선형광학 단펄스분광 연구소(Max-Born-Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy)에서, 14편은 국가과학원 레이저연구소에서 발표한 것이다. 김광현은 2015년 논문에서 국가과학원 레이저연구소의 배명철(Bae Myong-

Chol), 국가과학원 물리학연구소 김송혁(Kim Song-Hyok)과 공저를 시작으로, 2017년부터 2019년까지 같은 연구소에 소속된 최송혁(Choe Song-Hyok)과 4편의 논문, 2019년과 2020년 림위송(Rim Wi-Song)과 4편의 논문을 발표했다. 이들 논문은 클러스터 #3에서 다수 인용되었다.

클러스터 #3 incline matrice의 지적 기반은 다른 클러스터와는 두 가지 측면에서 차이점을 보인다. 첫째, 다수의 논문을 발표한 북한의 과학자 김광현과, 이 연구 영역의 생성 초창기인 2004년부터 출현한 한성철이 이 연구 영역의 지적 기반을 형성하고 있다는 점이다. 둘째, 단행본에 대한 의존도가 다른 클러스터에 비해 크게 나타난다. <표 6>에서 보듯이, Cao Zhi-Qing과 김기항(Kim Ki-Hang)이 1984년 발표한 단행본 "Incline Algebra", Palik E가 편저한 "Handbook of Optical Constants of Solids"에 대한 인용이 상위에 나타났다. Cao Zhi-Qiang 등의 저서는 incline algebra의 개념을 소개하고 있기 때문에 이 연구 영역에서 빈번하게 인용되었다.

<표 7>에서 클러스터 #3 incline matrice 연

<표 6> 클러스터 #3 Incline matrice에서 최다 피인용 논문

LCS	Bibliography
9	Falcão-Filho, E. L., de Araújo, C. B., Galembek, A., Oliveira, M. M., & Zarbin, A. J. (2005). Nonlinear susceptibility of colloids consisting of silver nanoparticles in carbon disulfide. <i>JOSA B</i> , 22(11), 2444-2449.
8	Kim, K. H., Griebner, U., & Herrmann, J. (2012). Theory of passive mode locking of solid-state lasers using metal nanocomposites as slow saturable absorbers. <i>Optics letters</i> , 37(9), 1490-1492.
8	Cao, Zhi-Qiang, Ki Hang Kim: Fred William Roush (1984), <i>Incline Algebra and Applications</i> , Ellis Horwood, Chichester, Wiley, New York.
7	Kim, K. H., & Roush, F. W. (2004). Inclines and <u>incline matrices</u> : a survey. <i>Linear Algebra and its Applications</i> , 379, 457-473.
7	PALIK, EDWARD D. (Ed.) (1985). <i>Handbook of optical constants of solids</i> . (Academic, Orlando)

〈표 7〉 클러스터 #3 Incline matrice의 리서치 프런트

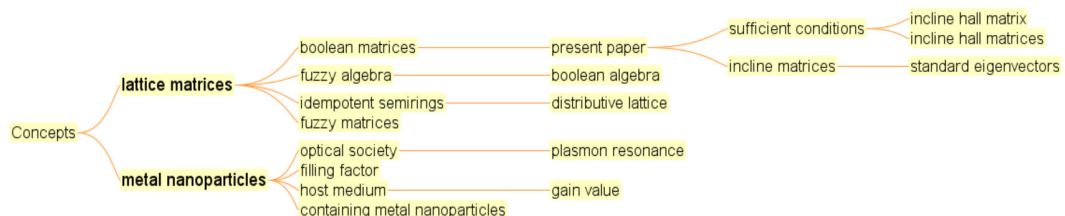
Coverage	Bibliography
8	Han, Song-Chol, and Hong-Xing Li. "Indices and periods of <u>incline matrices</u> ." Linear algebra and its applications 387 (2004): 143-165.
7	Kim, Kwang-Hyon, Uwe Griebner, and Joachim Herrmann. "Theory of passive mode locking of solid-state lasers using metal nanocomposites as slow saturable absorbers." Optics letters 37.9 (2012): 1490-1492.
7	Han, Song-Chol, Hong-Xing Li, and Yun-Dong Gu. "Standard eigenvectors of incline matrices." Linear algebra and its applications 389 (2004): 235-248.
6	Kim, Ryongjin, et al. "Growth of SiO2 hierarchical nanostructure on SiC nanowires using thermal decomposition of ethanol and titanium tetrachloride and its FTIR and PL property." Materials Chemistry and Physics 119.1-2 (2010): 309-314.
5	Han, Song-Chol, and Hong-Xing Li. "Invertible <u>incline matrices</u> and Cramer's rule over inclines." Linear algebra and its applications 389 (2004): 121-138.
5	Kim, Kwang-Hyon, Uwe Griebner, and Joachim Herrmann. "Theory of passive mode-locking of semiconductor disk lasers in the blue spectral range by metal nanocomposites." Optics Express 20.15 (2012): 16174-16179.
5	Kim, Kwang-Hyon, Anton Husakou, and Joachim Herrmann. "Linear and nonlinear optical characteristics of composites containing metal nanoparticles with different sizes and shapes." Optics Express 18.7 (2010): 7488-7496.

구 영역을 이끈 북한의 과학자를 살펴보면 2004년 초창기에는 한성철이 주도했으며, 2010년 이후 김룡진(Kim Ryongjin), 안룡남(An Ryongnam), 김광현이 활약하고 있다.

클러스터 #3을 지적 기반으로 하는 연구 영역에서 북한 과학자 논문의 주요 테마는 2004년부터 2007년까지 incline matrices, optics 였으나, 2010년에는 nanoparticle, nano wire, nanocable, 2012년에는 nano composite로 변

화한 것으로 보인다. 2019년 최근에는 김광현은 plasmonic nanoantennae, nanoparticles을, 안룡남은 hierarchial nanostructures, hydrothermal synthesis를, 호진혁(Ho Jinhyok)은 nanostructures, liquid-assisted synthesis에 관한 연구를 수행하였다.

〈그림 5〉에서 클러스터 #3에서 주요 테마는 lattice matrices와 metal nanoparticles로 나타난다.



〈그림 5〉 클러스터 #3 Incline matrice 핵심 개념의 계층구조

4.3.4 클러스터 # 6: Sodium cointercalation
 클러스터 #6은 sodium cointercalation에 관한 연구 영역으로 나트륨 이온 배터리를 전극 개발, 철 및 황산염 이온을 기반으로 한 혁신적인 음극재료 개발을 다루고 있다. 클러스터 #6은 39명의 동시인용 저자가 지적 기반을 형성하고 있으며, 북한 과학자들은 2015년부터 2020년 현재까지 이 연구 영역에서 활동을 이어가고 있다.

〈표 8〉에서 보듯이, 클러스터 #6에서 가장 영향력이 큰 저자는 클러스터 #0 연구 영역을

형성하는데도 영향을 끼친 Perdew JP이며, 클러스터 #6에 속한 북한 과학자 논문이 2015년 출현한 이후 4편의 논문이 28회 인용되었다. 또한 Giannozzi P 등이 발표한 Quantum Espresso라는 오픈소스 소프트웨어 프로젝트에 관한 논문 1편은 13회 인용되었다.

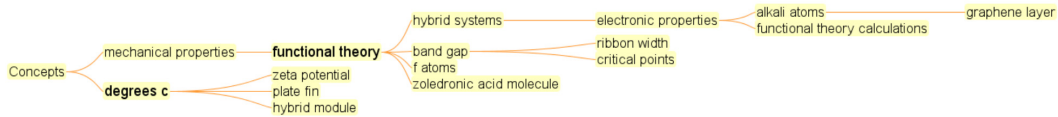
〈표 9〉에서 클러스터 #6의 주요 테마는 sodium cointercalation, first principles, graphene, fluorographene, nanoribbon, electronic transport 이다. sodium cointercalation 연구 영역을 이끄는 북한의 주요 과학자는 최성혁(Choe Songhyok),

〈표 8〉 클러스터 #6 Sodium cointercalation에서 최다 피인용 논문

LCS	Bibliography
14	Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. <i>Physical review letters</i> , 77(18), 3865. DOI 10.1103/PhysRevLett.77.3865
13	Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., ... & Dal Corso, A. (2009). QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials, <i>Journal of physics: Condensed matter</i> , 21(39), 395502. DOI 10.1088/0953-8984/21/39/395502
7	Soler, J. M., Artacho, E., Gale, J. D., García, A., Junquera, J., Ordejón, P., & Sánchez-Portal, D. (2002). The SIESTA method for ab initio order-N materials simulation. <i>Journal of Physics: Condensed Matter</i> , 14(11), 2745. DOI 10.1088/0953-8984/14/11/302
7	Troullier, N., & Martins, J. L. (1991). Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations. <i>Physical review B</i> , 43(3), 1993. DOI 10.1103/PhysRevB.43.1993

〈표 9〉 클러스터 #6 Sodium cointercalation의 리서치 프린트

Coverage	Bibliography
11	Yu, Chol-Jun, et al. "Ab initio study of sodium cointercalation with diglyme molecule into graphite." <i>Electrochimica Acta</i> 253 (2017): 589-598.
10	Yu, Chol-Jun, et al. "Ionic diffusion and electronic transport in eldfellite Na x Fe (SO 4) 2." <i>Physical Review Applied</i> 8,2 (2017): 024029.
7	Jang, Yong-Man, et al. "Ab initio design of drug carriers for zoledronate guest molecule using phosphonated and sulfonated calix [4] arene and calix [4] resorcinarene host molecules." <i>Journal of materials science</i> 53,7 (2018): 5125-5139.
7	Ri, Mun-Hyok, et al. "Ab initio investigation of adsorption characteristics of bisphosphonates on hydroxyapatite (001) surface." <i>Journal of materials science</i> 53,6 (2018): 4252-4261.
5	Ri, Nam-Chol, et al. "First-principles study on effect of partially hydrogenation and fluorination on the mechanical and electronic properties of the graphene nanoribbon under tensile elastic strain." <i>Chemical Physics Letters</i> 734 (2019): 136698.



〈그림 6〉 클러스터 #6 Sodium cointercalation 핵심 개념의 계층구조

장용만(Jang Yongman), 김철학(Kim Chohhak), 김남혁(Kim Namhyok), 정은기(Jong Ungi), 홍성남(Hong Songnam), 장대철(Jang Daechol)이다. 클러스터 #6 sodium cointercalation의 핵심 개념은 mechanical properties와 degrees c이다. 클러스터 #6에서 다루고 있는 테마로는 functional theory, electronic properties, graphen layer로 나타난다.

4.3.5 클러스터 #7: External magnetic field

클러스터 #7은 external magnetic field에 관한 연구 영역으로, 동시인용 저자 35명이 지적 기반을 형성하고 있다. 북한은 2010년부터 2020년까지 11년 동안 이 연구 영역에 대한 연구를 지속하고 있다. 클러스터 #7에 속한 북한 과학자들은 플라즈몬 도파관을 사용한 외부 자기장에 의해 제어되는 플라즈몬 라우터를,

그리고 양자 네트워크 구축을 위한 양자 라우터, 양자 스위치의 설계, 양자 광자 집적 회로 등을 연구하고 있다.

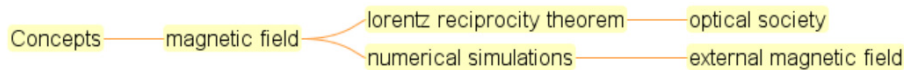
클러스터 #7 external magnetic field에서 가장 많이 인용된 논문은 〈표 10〉에서 보듯이 Johnson PB, Boyd RW의 논문이다. 또한 〈표 10〉의 최다 피인용 논문에는 나타나지 않지만, 클러스터 #7에서 인용횟수가 큰 저자로 임성진(18회)과 김광현(18회)이 나타났다. 〈표 11〉에서 보듯이 클러스터 #7에 속하는 북한 과학자의 주요 테마는 magnetic, plasmon, quantum, waveguide 이다. 클러스터 #7의 리서치 프런트에는 북한 과학자 한용하(Han Yongha)와 최혁(Choe Hyok), 독일 Joachim Herrmann가 나타났다. 독일 막스보른 비선형광학 단펄스분광 연구소의 Joachim Herrmann은 여러 북한 과학자와 지속적으로 공저 논문을 발표하고 있다.

〈표 10〉 클러스터 #7 External magnetic field에서 최다 피인용 논문

LCS	Bibliography
10	Johnson, P. B., & Christy, R. W. (1972). Optical constants of the noble metals. <i>Physical review B</i> , 6(12), 4370. DOI 10.1103/PhysRevB.6.4370
9	Boyd, R. W. (2007). <i>Nonlinear Optics-3rd Edition</i> , wyd. AP, New York, USA.
7	Maier, S. A. (2007). <i>Plasmonics: fundamentals and applications</i> . Springer Science & Business Media.
6	Cai, W., White, J. S., & Brongersma, M. L. (2009). Compact, high-speed and power-efficient electrooptic plasmonic modulators. <i>Nano letters</i> , 9(12), 4403-4411. DOI 10.1021/nl902701b
6	Li, Z. Y., & Xia, Y. (2010). Metal nanoparticles with gain toward single-molecule detection by surface-enhanced Raman scattering. <i>Nano letters</i> , 10(1), 243-249. DOI 10.1021/nl903409x
6	Yu, Z., Veronis, G., Fan, S., & Brongersma, M. L. (2008). Gain-induced switching in metal-dielectric-metal plasmonic waveguides. <i>Applied Physics Letters</i> , 92(4), 041117. DOI 10.1063/1.2839324

〈표 11〉 클러스터 #7 External magnetic field의 리서치 프런트

Coverage	Bibliography
9	Pae, Ji-Song, et al. "Ultracompact high-contrast magneto-optical disk resonator side-coupled to a plasmonic waveguide and switchable by an external magnetic field." <i>Physical Review B</i> 98.4 (2018): 041406.
9	Ho, Kum-Song, et al. "Switchable plasmonic routers controlled by external magnetic fields by using magneto-plasmonic waveguides." <i>Scientific reports</i> 8.1 (2018): 1-8.
7	Im, Song-Jin, et al. "Third-order nonlinearity by the inverse Faraday effect in planar magnetoplasmonic structures." <i>Physical Review B</i> 96.16 (2017): 165437.
6	Ko, Myong-Chol, et al. "Feasible Surface Plasmon Routing Based on the Self-Assembled InGaAs/GaAs Semiconductor Quantum Dot Located Between Two Silver Metallic Waveguides." <i>Plasmonics</i> 15.1 (2020): 271-277.
6	Im, Song-Jin, Anton Husakou, and Joachim Herrmann. "High-power soliton-induced supercontinuum generation and tunable sub-10-fs VUV pulses from kagome-lattice HC-PCFs." <i>Optics Express</i> 18.6 (2010): 5367-5374.



〈그림 7〉 클러스터 #7 External magnetic field 핵심 개념의 계층구조

〈그림 7〉에서 보듯이 클러스터 #7은 핵심 개념은 magnetic field이며, lorentz reciprocity theorem, numerical simulations, external magnetic field 등을 테마로 다룬다.

4.4 결과 요약

북한 과학기술의 지적 구조 형성에 큰 영향을 준 저자, 리서치 프런트를 이끄는 북한 과학자, 북한 논문의 제목과 초록에서 추출한 명사구를 이용해 생성한 키워드 트리에 나타난 핵심 개념을 살펴보았다. 주요 연구 영역의 특성을 요약하면 〈표 12〉와 같다.

주요 연구 영역을 살펴보면, 북한에서 활발하게 움직이고 연구 규모가 큰 영역은 material properties와 vibration analysis로 나타난다. 클러스터 #3 incline matrice의 평균연도는 2010

년으로 북한에서 가장 오래 동안 연구가 지속되고 있지만, 2010년대 초반부에 주춤하다 2017년부터 다시 연구가 활성화되는 추세를 보인다. 클러스터 #6 sodium cointercalation은 다른 클러스터에 비해 규모는 작지만, 이 연구 영역에서 활동하는 북한 과학자들의 수는 비교적 많은 것으로 분석된다.

북한 과학기술의 지적 구조를 형성하는 데 영향력을 미친 연구자를 살펴보면, 북한 과학기술은 중국 과학자에 대한 의존도가 높은 것으로 나타났다. 북한 과학기술의 발전을 이끄는 과학자들 중에서 김광현은 material properties, incline matrice, external magnetic field에 출현하면서 이들 연구 영역의 지적 기반뿐만 아니라 선도적 역할을 하고 있는 것으로 나타났다. 또한 정은기는 material properties와 sodium cointercalation 연구 영역에서 출현하고 있어

〈표 12〉 북한 과학기술의 주요 연구 영역 및 핵심 과학자

주요 연구 영역	평균 연도	영향력 큰 저자	북한 선도 과학자	주요 테마
#0 material properties	2017	정은기, JP Perdew, 김광현, 유철준, A Kojima, Yang Jia-Yue	정은기, 황석경, 전상모, 최성혁	perovskite solar cells, failure analysis, escherichla coll, gradient approximation, material properties, carbon electrode, optical properties
#1 vibration analysis	2018	Wang Qing-Shan, Zhao Jing, Zhang Hong, 최광남	최광남	boundary condition, mode shapes, doubly-curved revolution shell structures
#3 incline matrice	2010	김광현, 한성철, Edward D. Palik, E.L. Falcao-Filho, Cao Zhi-Qiang	한성철, 김룡진, 안룡남, 김광현, 호진혁	lattice matrices, metal nanoparticles
#6 sodium cointercalation	2017	JP Perdew, 유철준, Paolo Giannozzi	유철준, 최성혁, 장용만, 김철학, 김남혁, 정은기, 홍성남, 장대철	mechanical properties, degrees c, functional theory, electronic properties, graphen layer
#7 external magnetic field	2016	임성진, 김광현, Robert W. Boyd, PB Johnson	한용하, 최혁	magnetic field, lorentz reciprocity theorem, numerical simulations, external magnetic field

서 두 연구 영역의 연결고리 역할을 보여 준다. 최광남은 평양기계종합대학 소속으로 2017년부터 2020년까지 18편의 SCIE 논문을 발표해 Vibration Analysis에서 탁월한 연구자로 자리 매김하였다.

5. 결론

북한은 낙후된 경제 사회 환경으로 인해 과학기술도 전반적으로 낙후되었다고 인식할 수 있지만, 해방 직후부터 과학기술을 강조해 왔고 과학기술 발전을 위해 다양한 정책을 펼쳐

왔다. 핵이나 프로그래밍과 같은 일부 핵심 분야에서 북한의 과학기술은 상당한 수준에 도달해 있다. 전 세계 10개국만 생산에 성공한 대륙간 탄도미사일(ICBM)과 5개국만 보유한 잠수함발사탄도미사일(SLBM) 기술을 갖추고 있으며, 금속, 기계, 재료, 유도장치 등 많은 분야에서 상당한 수준에 도달해 있을 것으로 추정된다(강호제 2018; 나승혁 2016).

본 논문은 국제적으로 유통되는 학술지에 발표된 북한 과학자의 논문에 인용된 저자를 대상으로, 저자 동시인용 분석을 실시함으로써, 육안으로 쉽게 보이지 않는 북한의 과학기술 연구 영역들을 밝혀내고자 하였다. 저자 동시

인용 분석으로 파악된 북한의 주요 연구 영역은 클러스터 #0 material properties, #1 vibration analysis, #3 incline matrice, #6 sodium cointercalation, #7 external magnetic field 등이다. 최근 북한에서 활발하게 연구되고, 규모가 큰 영역은 material properties와 vibration analysis로 밝혀졌다. 클러스터 #3 incline matrice는 북한에서 가장 오랫동안 연구되고 있는 분야로 밝혀졌다. 북한 과학기술의 지적 기반은 중국 과학자에 대한 의존도가 높은 것으로 나타났다. 주요 연구 영역의 발전을 주도

하는 과학자는 정은기, 최광남, 김광현, 유철준, 임성진, 최성혁, 한용하 등으로 분석되었다.

북한의 과학기술 수준과 관심분야 파악은 남북 과학기술 교류 협력을 준비하기 위한 기본 전제 조건이다. 협력에 앞서 가장 중요한 사항은 상대방에 대한 정확한 정보와 데이터이며, 문헌 분석을 통해 북한의 강점영역을 파악할 수 있다. 본 연구는 남북 과학기술협력시대에 대응할 수 있는 기초자료를 제시하고 있어 관련, 연구자, 실무자 및 정책 입안자들이 모두 유용하게 활용하기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 강호제. 2018. 북한-과학기술, 선입견에 빠져 보지 못했던 북한의 모습. 『물리학과 첨단기술』, 27(9): 35-36.
- 김희전, 조현양. 2010. 저자동시인용분석과 저자서지결합분석에 의한 지적 구조 분석: 사회복지학 분야를 중심으로. 『정보관리학회지』, 27(3): 283-306.
- 나승혁. 2016. 『북한 과학기술의 수준 분석 및 전략적 활용방안 도출 연구』. 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 노경란, 김은정, 최현규. 2016. 국제학술논문을 통해 본 북한의 과학기술 지식생산에 관한 연구. 『한국비블리아학회지』, 27(4): 205-227.
- 이춘근, 김종선. 2009. 『북한의 주력 연구과제와 수준』. 서울: 과학기술정책연구원.
- 이춘근. 2019. 『북한의 과학기술분야 신년사 분석과 남북협력에 대한 제언』. 세종: 과학기술정책연구원.
- 최창용, 강영실. 2015. 『학술지를 통해 본 북한의 정보기술동향분석』. KDI School Working Papers Series, 15-04. 서울: KDI School.
- 최현규, 노경란. 2016. 『북한 과학자의 국제학술논문(SCI) 분석연구』. 서울: 한국과학기술정보연구원.
- 최현규, 노경란. 2017. 『북한 과학자의 국제학술논문(SCOPUS) 분석연구』. 서울: 한국과학기술정보연구원.
- 최현규. 2009. 『북한의 과학기술 수준 및 관심분야 분석』. 서울: 통일부.

- 허고은, 송민. 2013. 저자동시인용 분석과 동시출현단어 분석을 이용한 의료정보학 저널의 지적구조 분석. 『정보관리학회지』, 30(2): 207-225.
- 홍성범 외. 2001. 『북한의 주요 분야별 과학기술 현황조사』. 서울: 과학기술정책연구원.
- 『NK경제』. 2019. “북한 3년간 연평균 과학기술 투자 7%씩 늘려.” 5월 29일자.
- Chen, Chaomei. 2006. “CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature.” *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3): 359-377.
- Chen, Chaomei. 2017. “Science Mapping: A Systematic Review of the Literature.” *Journal of Data and Information Science*, 2(2): 1-40.
- Chen, Chaomei and Min Song. 2017. *Representing Scientific Knowledge: The Role of Uncertainty*. Cham: Springer International Publishing.
- Chen, Chaomei. 2019. *How to Use CiteSpace*. British Columbia: Leanpub Publishing.
- White, H.D. and B.C. Griffith. 1981. “Author Cocitation: A Literature Measure of Intellectual Structure.” *Journal of the American Society for Information Science*, 32(3): 163-171.

• 국문 참고자료의 영어 표기

(English translation / romanization of references originally written in Korean)

- Choi, Changyong and Youngsil Kang. 2015. *An Analysis of Science and Technology Journals in North Korea*. KDI School Working Papers Series, 15-04. Seoul: KDI School.
- Choi, Hyunkyoo and Kyungran Noh. 2016. *Analysis of International Scientific Papers (SCI) by North Korean scientists*. Seoul: KISTI.
- Choi, Hyunkyoo and Kyungran Noh. 2017. *Analysis of International Scientific Papers (SCOPUS) by North Korean Scientists*. Seoul: KISTI.
- Choi, Hyunkyoo. 2009. *Analysis on Science and Technology's Level and Interests of North Korea*. Seoul: Ministry of Unification.
- Heo, Go Eun and Min Song. 2013. “Examining the Intellectual Structure of a Medical Informatics Journal with Author Co-citation Analysis and Co-word Analysis.” *Journal of the Korean Society for Information Management*, 30(2): 207-225.
- Hong, Seong-Beom et al. 2001. *Research on North Korean Science and Technology: Observation by Key Technology Area*. Seoul: STEPI.
- ‘Increased Annual Average Investment in Science and Technology by 7% for 3 Years in North Korea.’ 2019. NK Economy. May 29.

- Kang, Hojye. 2018. "North Korea-Science and Technology, the Appearance of North Korea that We Haven't Seen Because of Prejudice." *Physics & High Technology*, 27(9): 35-36.
- Kim, Heejeon and Hyun-Yang Cho. 2010. "A Study on Intellectual Structure Using Author Co-citation Analysis and Author Bibliographic Coupling Analysis in the Field of Social Welfare Science." *Journal of the Korean Society for Information Management*, 27(3): 283-306.
- Lee, Choon Geun and Jongseon Kim. 2009. *North Korea's Main Research Tasks and Level*. Seoul: STEPI.
- Lee, Choon Geun. 2019. *Analysis of New Year's Address in North Korea's Science and Technology Field and Suggestions for Inter-Korean Cooperation*. Sejong: STEPI.
- Nah, Seunghyeog. 2016. *A Study on the Analysis of Level of North Korea's Science & Technology and the Derivation of Its Strategic Utilization*. Seoul: KISTEP.
- Noh, Kyungran, Eunjeong Kim, and Hyunkyoo Choi. 2016. "A Study on the Production of Science and Technology Knowledge in North Korea through International Academic Papers." *Journal of the Korean Biblia Society for Library and Information Science*, 27(4): 205-227.